



**HAFİF ÇELİK PERDELERİN BİRLEŞİM VE
BERKİTME PERFORMANSLARI**

Ahmad Jamshid SADID

Danışman: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2024

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

HAFİF ÇELİK PERDELERİN BİRLEŞİM VE BERKİTME PERFORMANSLARI
(The Performance of Connections and Stiffeners in Cold-Formed Steel Shear Walls)

DOKTORA TEZİ

Ahmad Jamshid SADID

Danışman: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Erzurum
Şubat, 2024

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

HAFİF ÇELİK PERDELERİN BİRLEŞİM VE BERKİTME PERFORMANSLARI

Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN danışmanlığında, Ahmad Jamshid SADID tarafından hazırlanan bu çalışma, 7/2/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı'nda doktora tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (5.../5..)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Ensar OĞUZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Abdulkadir KAN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Mahyar MAALİ <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Barış BAYRAK <i>Kafkas Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim
Kurulunun / ... / tarih
ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FDK-2021-9321



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN danışmanlığında sunulan “Hafif Çelik Perdelerin Birleşim ve Berkitme Performansları” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	4	30
Kuramsal Temeller	7	30
Materyal ve Metot	3	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	2	20
Sonuçlar ve Öneriler	1	20
Tezin Geneli	5	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Ahmad Jamshid SADID	Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN
15.2.2024	15.2.2024
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Mühendisin sadece tasarım ve hesap yapan kişi olmaktan ziyade insanlığa faydalı hizmetler sunan, bilimsel gerçekleri argüman olarak kullanarak akılcı ve yenilikçi fikirler üreten bir birey olması gerekmektedir, felsefesini bana ilk günden aşıl原因 aynı zamanda bu tezin oluşması sürecinde akademik bilgilerinden, tecrübelerinden ve özgün fikirlerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN' a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FDK-2021-9321 numaralı lisansüstü tez projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Atatürk Üniversitesi' ne teşekkür ederim. Bilgi, fikir ve tecrübeleri ile çalışmaya katkılar sağlayan tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Abdulkadir KAN' a ve Sayın Prof. Dr. Ensar OĞUZ' a teşekkür ederim. Bu tezin savunma sınavına katılarak, değerli görüşlerini ve yorumlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mahyar MAALİ' a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Barış BAYRAK' a teşekkür ederim.

Tezin çalışmalar sürecindeki yardımları ve kıymetli önerilerinden dolayı Doç. Dr. Mahmut KILIÇ, Arş. Gör. Dr. Oğuzhan ÇELEBİ, Arş. Gör. Recep Ali DEDECAN, Dr. Ahmad Fayeğ GHOWSI ve Dr. Mohammad Adil DAR' a çok teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde çok büyük emekleri olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme ve babama teşekkürü borç bilirim. Doktora sürecimde bana göstermiş oldukları sabır, hoşgörü ve teşviklerinden dolayı eşim Lida' ya ve oğlum Rayan' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ahmad Jamshid SADID

ÖZET

DOKTORA TEZİ

HAFİF ÇELİK PERDELERİN BİRLEŞİM VE BERKİTME PERFORMANSLARI İNCELENMESİ

Ahmad Jamshid SADID

Danışman: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Amaç: Bu çalışmanın amacı çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarda kaplama-çerçeve bağlantılarındaki vida aralıklarının, çelik levha kalınlığının, berkitmelerin ve perde boşluklarının perde duvar sisteminin davranışına etkilerini sayısal olarak araştırılmasıdır. Çalışmada ayrıca yapma kolonların eksenel yük ve stabilitesinin artırılması için çelik profilleri hem gövdelerini hem de flanşlarını birbirine bağlayan yeni bir kutu tipi bağlantı ve tasarım modeli sunulmuştur.

Yöntem: Bu çalışmada toplam 22 adet çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvar ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Kaplama-çerçeve bağlantılarında 100 mm, 150 mm ve 200 mm vida aralığı seçilmişken levha kalınlığı 0,6 mm, 0,8 mm ve 1 mm arasında değişmektedir. Bu değişkenler ile çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların kesme dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bunun yanında berkitmeli hafif çelik perde duvarların kesme dayanımını araştırmak için yedi farklı desene ve iki farklı genişliğe sahip (332 mm ve 141 mm) berkitmeler kullanılarak perde duvarın davranışları analiz edilmiştir. Analizlerde farklı boşluk boyutlarına ve yerlerine sahip dokuz adet duvar modeli ayrıca incelenmiştir. Son olarak hafif çelik perde duvarda yapma kolonun eksenel dayanımına etkisini araştırmak için; 5 farklı profil kalınlığı, 4 farklı bağlantı aralığı ve 18 farklı kolon yüksekliği seçilerek 360 modelin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Yapılan çalışmalarda çelik levha ile kaplanmış hafif çelik levha perde duvarların kaplama ile çerçeve bağlantılarındaki vida aralığının artırılmasının duvar sisteminin düktilitesini artırmış ancak kesme dayanımını ve rijitliğini azalttığı görülmüştür. Ayrıca bulgulara berkitme kullanımının çelik levhanın burkulmaya karşı performansını artırdığı ve duvar sistemlerinin enerji sönmüleme kapasitesine de katkı sağlamıştır. Bununla birlikte çelik levhada yer alan boşluk alanının yüzde 4,4'ün altındaki değerlerinde duvar sisteminin kesme dayanımını azaltmamıştır. Son olarak yapma kolonlarda kutu tipi bağlayıcıların kullanılması kolonların eksenel dayanımını ve burkulma davranışına olumlu katkısı olduğu yapılan analiz çalışmalarında elde edilmiştir.

Sonuçlar: Kaplama-çerçeve bağlantıları arasındaki vida aralığının azaltılması hafif çelik perdelerinin kesme dayanımını artırmakta ancak düktilitesini azaltmıştır. Berkitme kullanımı duvar sistemlerinin kesme dayanımına ve çelik levhanın burkulma davranışına olumlu katkı yapmıştır. Bunun yanında hafif çelik yapma kolonlarda kutu tipi bağlantıların kullanılması kolonların eksenel yük dayanımını artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hafif çelik, Hafif çelik perde duvar, Çelik kaplamalı perde duvarlar, berkitmeli perde duvarlar, Hafif çelik yapma kolonlar.

Şubat, 2024, 199 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

THE PERFORMANCE OF CONNECTIONS AND STIFFENERS IN COLD-FORMED STEEL SHEAR WALLS

Ahmad Jamshid SADİD

Supervisor: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Purpose: The aim of this study is to numerically investigate the effect of screw spacing at sheathing-to-framing connections, steel plate thickness, stiffeners, and openings on the shear strength and buckling behavior of the cold-formed shear walls sheathed with steel plate. In addition, this study introduces a novel built-up column with a box-type connector that links both the webs and flanges of the channels together. As a result, the axial strength and stability of these built-up columns may improve adequately.

Method: In this study, a total of 22 cold-formed shear walls were modeled and analyzed using Abaqus finite element software. A screw spacing of 100 mm, 150 mm, and 200 mm at sheathing-to-framing connections and steel plate thickness of 0.6 mm, 0.8 mm, and 1 mm were used to investigate the effect of sheathing-to-framing connections and steel thickness on the shear strength of the cold-formed shear walls sheathed with steel plate. Meanwhile, two sizes of snuffers (332 mm and 141 mm) with seven different patterns were used for investigating the shear strength of stiffened shear walls. More than nine walls with different opening sizes and locations were generated for the analysis. Furthermore, 360 models with different profile thickness, connector spacing, and column height were generated for cold-formed column analysis.

Findings: It was found that increasing the screw spacing at sheathing to framing connections of the cold-formed steel plate shear walls sheathed with steel plate increases the ductility of the wall system but decreases the shear strength and stiffness. Moreover, the findings show that using stiffeners improves the buckling failure of the steel plate and increases the energy dissipation of the wall systems. Furthermore, the opening sizes below 4,4 percent of the area of the steel plate do not decrease the shear strength of the wall system. Finally, the use of box-type connectors in batted columns improves the axial strength and buckling behavior of the built-up columns.

Results: Decreasing the screw spacing from sheathing to framing connections increases the shear strength of the wall systems but decreases the ductility. The use of stiffeners improves the shear strength of the wall systems and the buckling behavior of the steel plate. Using box-type connections in cold-formed, built-up columns improves the axial strength of the columns.

Keywords: Cold-formed steel, cold-formed shear walls, steel-sheathed CFS shear walls, stiffened shear walls, cold-formed, built-up columns.

January 2024, 199 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xvi
GİRİŞ.....	1
KURUMSAL TEMELER	5
Hafif Çelik.....	5
Hafif çelik elemanların avantajları.....	7
İnşaat sektöründe hafif çelik elemanları	7
Hafif Çelik Perde Duvarlar	8
Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlar	9
Çelik levha ile kaplanmış perde duvarlarda kaplama-çerçeve bağlantıları.....	10
Vida bağlantısı	10
Perçin bağlantısı	17
Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarları önceki çalışmalar	20
Hafif çelik perde duvarların sayısal çalışmaları.....	27
Hafif Çelik Yapma Kolonları.....	31
MATERYAL VE YÖNTEM	34
Yöntem.....	34
Hafif çelik perde duvarların modelleme prosedürü	35
Çelik Plaka ile Kaplanmış Hafif Çelik Perde Duvarlarda Parametrik Çalışma Özellikleri	43
Hafif çelik perde duvarlarının kaplama-çerçeve bağlantılarının ve çelik levha kalınlığının incelenmesi.....	43
Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik kesme duvarlarındaki berkitmeler.....	45

Çelik sac ile kaplanmış boşluklu hafif çelik perdeler	49
Hafif Çelik Yapma Kolonlar	53
Hafif Çelik Yapma Kolonlarda Parametrik Çalışma Özellikleri	60
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	63
Hafif Çelik Perde Duvarlar	63
Kaplama - çerçeve bağlantıları ve çelik levha kalınlığı	65
Vida aralığı ve çelik levha kalınlığı için sonuçların karşılaştırılması	78
Berkitmeli hafif çelik perde duvarlar	86
Berkitmelerin Hafif Çelik Duvar Sistemleri Üzerindeki Etkisi	115
Boşluklu perde duvarlar	125
Boşluklu perde duvarların karşılaştırılması	134
Hafif çelik perde duvarlarda boşluk yeri.....	137
Perde duvarların boşluk yerlerinin karşılaştırılması	151
Kare boşluk ve dairesel boşluk sonuçlarının karşılaştırılması	158
Yapma Kolonların Davranışı	159
Kısa kolonları	159
Ara kolonlar	162
Uzun kolonlar.....	163
Yük - eksenel yer değiştirme.....	164
Performans karşılaştırması (kutu tip bağlantılı yapma kolonları ve levha tip bağlantılı yapma kolonları)	166
Çelik Levha İle Kaplanmış Hafif Çelik Perde Duvarlarda Yapma Kolonun Uygulanması	168
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	171
KAYNAKLAR.....	175
ÖZGEÇMİŞ.....	180

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. SPR Bağlantı Elemanın Matkap Uçlu Vida İle Karşılaştırılması (Xie, 2018)	20
Tablo 2. Çelik Sac ve Çerçeve Malzeme Özellikleri	36
Tablo 3. Vida Aralığı ve Çelik Sac Kalınlığı için Parametrik Çalışma Tablosu	44
Tablo 4. Berkitmeli Perde Duvarların Özellikleri	47
Tablo 5. Boşluklu Perde Duvarların Özellikleri	51
Tablo 6. Vida Bağlantılı Yapma Kolonun Malzeme Özellikleri (Dar et al., 2021).....	54
Tablo 7. Kaynaklı Bağlantılı Yapma Kolonun Malzeme Özellikleri (Dabaon et al., 2015) ...	55
Tablo 8. DeneySEL ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması	58
Tablo 9. Yapma Kolonlar için Parametrik Çalışmanın Detayları.....	61
Tablo 10. CFSW1 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	66
Tablo 11. CFSW1 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	67
Tablo 12. CFSW2 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	69
Tablo 13. CFSW2 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	69
Tablo 14. CFSW3 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	71
Tablo 15. CFSW3 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	72
Tablo 16. CFSW4 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	73
Tablo 17. CFSW4 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	74
Tablo 18. CFSW5 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	75
Tablo 19. CFSW5 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	76
Tablo 20. CFSW6 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	77
Tablo 21. CFSW6 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	78
Tablo 22. Berkitmeli Perde Duvarların Karşılaştırması	87
Tablo 23. CFSW Numunesinin Analiz Sonuçları.....	88
Tablo 24. CFSW Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	89
Tablo 25. CFSWS-1 Numunesinin Analiz Sonuçları	91
Tablo 26. CFSWS-1 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi.....	92
Tablo 27. CFSW-2 Numunesinin Analiz Sonuçları	94
Tablo 28. CFSW-2 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	95
Tablo 29. CFSWS-3 Numunesinin Analiz Sonuçları	98
Tablo 30. CFSWS-3 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi.....	99
Tablo 31. CFSWS-4 Numunesinin Analiz Sonuçları	102

Tablo 32. CFSWS-4 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi.....	103
Tablo 33. CFSWS-5 Numunesinin Analiz Sonuçları	105
Tablo 34. CFSWS-5 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi.....	106
Tablo 35. CFSWS-6 Numunesinin Analiz Sonuçları	108
Tablo 36. CFSWS-6 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi.....	109
Tablo 37. CFSWS-7 Numunesinin Analiz Sonuçları	112
Tablo 38. CFSWS-7 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi.....	113
Tablo 39. CFSWO-1 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	127
Tablo 40. CFSWO-1 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	127
Tablo 41. CFSWO-2 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	129
Tablo 42. CFSWO-2 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	130
Tablo 43. CFSWO-3 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	132
Tablo 44. CFSWO-2 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	132
Tablo 45. CFSWO-4 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	139
Tablo 46. CFSWO-4 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	139
Tablo 47. CFSWO-5 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	141
Tablo 48. CFSWO-5 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	141
Tablo 49. CFSWO-6 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	144
Tablo 50. CFSWO-6 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	144
Tablo 51. CFSWO-7 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	146
Tablo 52. CFSWO-7 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	147
Tablo 53. CFSWO -8 Numunesinin Analiz Sonuçları	149
Tablo 54. CFSWO-8 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	150
Tablo 55. CFSWO-9 Numunesinin Analiz Sonuçları.....	156
Tablo 56. CFSWO-9 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi	157
Tablo 57. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin Analiz Sonuçları	158
Tablo 58. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin Sönümlenen Enerjisi.....	158
Tablo 59. CFSWB ve CFSW Numunelerin Analiz Sonuçları.....	170
Tablo 60. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin Sönümlenen Enerjisi.....	170

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çelik levha ile kaplanmış tipik hafif çelik perde duvar (Yu, 2011).....	2
Şekil 2. Yapma kolonundaki bağlantı detayları. (a) Flanş bağlantılı (Dar, 2021), (b) Gövde bağlantılı (Roy, 2018).....	3
Şekil 3. Önerilen kolon bağlantı detayları.....	4
Şekil 4. Hafif çelik binasının kısa sürede inşa edilmesi (Hikita, 2006)	6
Şekil 5. Orta katlı bir hafif çelik binası (DaBreio, 2014)	6
Şekil 6. İnşaat sektöründe hafif çelik elemanlar ((DaBreio, 2014)	8
Şekil 7. Çelik levha ile kaplanmış timaksimum hafif çelik perde duvar (Shamim, 2013).....	9
Şekil 8. Hafif çelik binasında çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlar (DaBreio, 2014).....	10
Şekil 9. Çerçeve bağlantılarındaki farklı vida desenleri. a) Profilnin iç flanşındaki vidalar, b) Profilnin dış flanşındaki vidalar, c) Çapraz vidalar (Santos, 2018).....	11
Şekil 10. Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik duvarlarında vida göçme modları (Peterman, 2014).....	12
Şekil 11. Çelik plakanın kenarlarında iki farklı vida aralığının göçme modları (Yu, 2010)....	13
Şekil 12. Çelik plakanın kenarlarındaki farklı vida aralıkları için duvar dayanımı (Rizk, 2018).	13
Şekil 13. Rüzgar yükü için panel kenarlarındaki kesme dayanıma karşı bağlantı elemanı aralığı (Yu, 2010)	14
Şekil 14. Deprem yükü için panel kenarlarındaki kesme dayanıma karşı bağlantı elemanı aralığı (Yu, 2010)	15
Şekil 15. Farklı bağlantı elemanları için yüke karşı yer değiştirme (Rizk, 2018).....	15
Şekil 16. Bağlantı göçme modları (Brière, 2018)	17
Şekil 17. Kaplama göçmesi. (a) Çift kaplamalı (b) Merkez kaplamalı (Brière, 2018)	17
Şekil 18. Perçin bağlantısının oluşturma prosedürü (Xie, 2018)	18
Şekil 19. Çelik sac kenarlarındaki farklı perçin aralıklarının yüke karşı yer değiştirme eğrisi (Xie, 2018).....	19
Şekil 20. Rizk ve Rogers (2018) tarafından test edilen çelik sac kaplamalı hafif çelik perde duvar	25
Şekil 21. Brière ve Rogers (2018) tarafından test edilen çift taraflı hafif çelik perde duvar detayları	26

Şekil 22. Brière ve Rogers (2018) tarafından test edilen merkez sac kaplamalı hafif çelik perde duvar detayları	27
Şekil 23. (a) Sonlu eleman modeli, (b) yanal yük yer değiştirme (deneysel ve sayısal) Nie (2020)	29
Şekil 24. Sonlu eleman ve deneysel numunelerde göçme modları (Niari et al., 2015)	30
Şekil 25. Oluklu hafif çelik perde duvarlar modellemesi (Liu, 2014).....	31
Şekil 26. Model doğrulama için kullanılan deneysel numunenin detayları (Mohebbi, 2015) .	35
Şekil 27. Hafif çelik perde duvar elemanları.....	37
Şekil 28. Modellenen hafif çelik perde duvarın ağ detayları	38
Şekil 29. Profilin köşeleri için kullanılan daha küçük sonlu elemanlar ağları.....	38
Şekil 30. Perde duvarın bağlantıların modellemesi	39
Şekil 31. Deney numunesinde kullanılan vidaların dayanımı	39
Şekil 32. Geometrik kusuru tanımak için kullanılan burkulma modu	40
Şekil 33. Perde duvarın sınır koşulları	41
Şekil 34. Deneysel ve sayısal için yük-ötelenme grafiği	42
Şekil 35. Deney ve sayısal numunelerinin burkulma davranışı	42
Şekil 36. Berketmeli hafif çelik perde duvar sisteminin genel bir düzenini	46
Şekil 37. Berkitme olarak kullanılan oluklu çelik.....	46
Şekil 38. Numunelerde kullanılan berkitme desenleri	48
Şekil 39. Boşluklu hafif çelik perde duvarının genel biçimi.....	50
Şekil 40. Boşluklu perde duvarların görünüşü	51
Şekil 41. Vida bağlantılı yapma kolonu (Dar et al. 2021).....	53
Şekil 42. Kaynaklı bağlantılı yapma kolonu (Dabahan et al., 2015).....	54
Şekil 43. Modellenen yapma kolonun sonlu elemanlar ağ görüntüsü.....	55
Şekil 44. Yapma kolonun geometrik kusurlar.....	56
Şekil 45. Sınır koşullarını gösteren sonlu eleman ağ yapısı.....	56
Şekil 46. Bağlantıların modellenmesi	57
Şekil 47. Deneysel ve sayısal göçme modları	58
Şekil 48. Deneysel ve sayısal numunerin eksenel yük-yerdeğiştirme eğrilerin karşılaştırması	59
Şekil 49. Levha bağlantılı ve kutu bağlantılı yapma kolonlar.....	60
Şekil 50. Yapma kolonun geometrik detayları (Birim: mm)	61
Şekil 51. Hafif çelik perde duvar sisteminde yapmalı kolonun kullanılması.....	62
Şekil 52. Eşdeğer Enerji Elastik Plastik (EEEP) uygulaması	64
Şekil 53. CFSW1 için yatay yüke karşı ötelenme oranı.....	66

Şekil 54. CFSW1'in sönümlenen enerji yüzdesi	67
Şekil 55. CFSW2 için yatay yüke karşı ötelenme oranı.....	68
Şekil 56. CFSW2 'nin sönümlenen enerji yüzdesi	70
Şekil 57. CFSW3 için yatay yüke karşı ötelenme oranı.....	71
Şekil 58. CFSW3 'ün sönümlenen enerji yüzdesi	72
Şekil 59. CFSW4 için yatay yüke karşı ötelenme oranı.....	73
Şekil 60. CFSW4 'ün sönümlenen enerji yüzdesi	74
Şekil 61. CFSW5 için yatay yüke karşı ötelenme oranı.....	75
Şekil 62. CFSW5 için sönümlenen enerji yüzdesi	76
Şekil 63. CFSW6 için yatay yüke karşı ötelenme oranı.....	77
Şekil 64. CFSW6 'nın sönümlenen enerji yüzdesi	78
Şekil 65. Perde duvarların yük-ötelenme eğrileri.....	79
Şekil 66. Perde duvarların maksimum yükleri karşılaştırması.....	79
Şekil 67. Perde duvarların akma yükleri karşılaştırması	80
Şekil 68. Perde duvarların elastik rijitliğin karşılaştırması	80
Şekil 69. Test edilen perde duvarların düktilite karşılaştırması	81
Şekil 70. Vida aralığı karşı perde duvarların kesme dayanımı	81
Şekil 71. Perde duvarların burkulma davranışı	82
Şekil 72. Perde duvarların yük-ötelenme eğrileri.....	83
Şekil 73. Kaplama kalınlığına göre perde duvarın maksimum yük kapasitesi.....	84
Şekil 74. Kaplama kalınlığına göre perde duvarın akma yükü	85
Şekil 75. Test edilen numunelerin elastik rijitliğin karşılaştırması	85
Şekil 76. Test edilen numunelerin düktilite karşılaştırması	86
Şekil 77. CFSW duvar sisteminin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	88
Şekil 78. CFSW numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi.....	89
Şekil 79. CFSW'in burkulma davranışı	90
Şekil 80. CFSW1 duvar sisteminin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	91
Şekil 81. CFSWS-1 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi	92
Şekil 82. CFSWS-1'in göçme modu.....	93
Şekil 83. CFSWS-2 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	94
Şekil 84. CFSWS-2 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi	95
Şekil 85. CFSWS-2 numunesinin burkulma davranışı.....	96
Şekil 86. CFSWS-2 numunesinin burkulma davranışı (devamı)	97
Şekil 87. CFSWS-3 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	98
Şekil 88. CFSWS-3 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi	99

Şekil 89. CFSWS-3 numunesinin göçme modu.....	100
Şekil 90. CFSWS-4 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	102
Şekil 91. CFSWS-4 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi.....	103
Şekil 92. CFSWS-4 numunesinin göçme modu.....	104
Şekil 93. CFSWS-5 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	105
Şekil 94. CFSWS-5 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi.....	106
Şekil 95. CFSWS-5 numunesinin göçme modu.....	107
Şekil 96. CFSWS-6 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	108
Şekil 97. Sönmömlenen enerji yüzdesi	109
Şekil 98. CFSWS-6 numunesinin göçme modu.....	110
Şekil 99. CFSWS-6 numunesinin göçme modu.....	111
Şekil 100. CFSWS-7 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	112
Şekil 101. Sönmömlenen enerji yüzdesi	113
Şekil 102. CFSWS-7 numunesinin göçme modu.....	114
Şekil 103. 332 mm berkitmeli perde duvarlar için yük-yer değiştirme eğrileri	115
Şekil 104. 332 mm berkitmeli numunelerin maksimum yük karşılaştırması.....	116
Şekil 105. 332 mm berkitmeli numunelerin akma yük karşılaştırması.....	116
Şekil 106. 332 mm berkitmeli numunelerin elastik rijitliğin karşılaştırması.....	117
Şekil 107. Berkitmesiz perde duvara göre berkitmeli perde duvarların sönmömlenen enerji artışı. (a) E_y , (b) E_u , (c) E_t	118
Şekil 108. 141 mm berkitmeli perde duvarların karşılaştırılması	119
Şekil 109. 141 mm berkitmeli duvarların maksimum yük karşılaştırması.....	120
Şekil 110. 141 mm berkitmeli duvarların akma yükü karşılaştırması.....	120
Şekil 111. 141 mm berkitmeli duvarların elastik rijitlik karşılaştırması.....	121
Şekil 112. Berkitmesiz perde duvara göre 141 mm berkitmeli perde duvarın sönmömlenen enerji artış yüzdesi (a) E_y (b) E_u (c) E_t	122
Şekil 113. CFSWS -1 ve CFSWS -6 numunelerin karşılaştırması	123
Şekil 114. CFSWS -1 ve CFSWS -6 numunelerin göçme modları.....	124
Şekil 115. CFSWS-1 ve CFSWS-6 için maksimum yük değerleri	125
Şekil 116. CFSWS-1 ve CFSWS-6 için akma yük değerleri	125
Şekil 117. CFSWSO-1 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	126
Şekil 118. CFSWO-1 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	128
Şekil 119. CFSWO-1 numunesinin göçme modu	128
Şekil 120. CFSWO-2 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	129
Şekil 121. CFSWO-2 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	130

Şekil 122. CFSWO-2 numunesinin göçme modu	131
Şekil 123. CFSWSO-3 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	132
Şekil 124. CFSWO-3 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	133
Şekil 125. CFSWO-3 numunesinin göçme modu	133
Şekil 126. Boşluklu numunelerin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	134
Şekil 127. Boşluklu numunelerin maksimum yükün karşılaştırılması.....	135
Şekil 128. Boşluklu numunelerin akma yükün karşılaştırılması.....	135
Şekil 129. Boşluklu numunelerin elastik rijitliğin karşılaştırılması.....	136
Şekil 130. Boşluklu numunelerin sönmömlenen enerjisinin karşılaştırması	137
Şekil 131. CFSWSO-4 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	138
Şekil 132. CFSWO-4 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	139
Şekil 133. CFSWO-4 numunesinin göçme modu	140
Şekil 134. CFSWO-5 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	141
Şekil 135. CFSWO-5 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	142
Şekil 136. CFSWO-5 numunesinin göçme modu	142
Şekil 137. CFSWO-6 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	143
Şekil 138. CFSWO-6 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	144
Şekil 139. CFSWO-6 numunesinin göçme modu	145
Şekil 140. CFSWO-7 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	146
Şekil 141. CFSWO-8 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	147
Şekil 142. CFSWO-2 numunesinin göçme modu	148
Şekil 143. CFSWO-8 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	149
Şekil 144. CFSWO-8 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	150
Şekil 145. CFSWO-8 numunesinin göçme modu	151
Şekil 146. Boşluklu perde duvarların yatay yük-yer değiştirme eğrileri	152
Şekil 147. Boşluklu perde duvarların maksimum yükün karşılaştırması.....	152
Şekil 148. Boşluklu perde duvarların akma yükün karşılaştırması.....	153
Şekil 149. Boşluklu perde duvarların elastik rijitliğin karşılaştırması	154
Şekil 150. Boşluklu perde duvarların sönmömlenen enerjisinin karşılaştırması	155
Şekil 151. CFSWO-9 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi	156
Şekil 152. CFSWO-9 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi	157
Şekil 153. CFSWO-9 numunesinin göçme modu	157
Şekil 154. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin yatay yük-yer değiştirme eğrisi.....	158
Şekil 155. CFSWO-1 ve CFSWO-9 numunelerin göçme modu.....	159
Şekil 156. HC-S50-0,25-10 'daki göçme modu.....	160

Şekil 157. HC-S50-0,50-10 'daki göçme modu.....	161
Şekil 158. Kısa kolonlarda göçme modları	162
Şekil 159. Ara kolonlarda göçme modlar.....	163
Şekil 160. Uzun kolonlarda göçme modlar	164
Şekil 161. Kısa kolonların yük - eksenel yer değiştirme eğrileri	165
Şekil 162. Ara ve uzun kolonların yük - eksenel yer değiştirme eğrileri.....	166
Şekil 163. Kolonların karşılaştırması (narinlik oranı 0,25 olanlar).....	167
Şekil 164. Kolonların karşılaştırması (narinlik oranı 0,5 olanlar).....	168
Şekil 165. Yapma kolon çerçeveli perde duvara geçiş (CFSWB)	169
Şekil 166. CFSW ve CFSWB'nin karşılaştırılması	169



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

ACI	:	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
ASTM	:	American Society For Testing And Materials (Uluslararası Amerikan Test Ve Materyalleri Topluluğu)
BS EN	:	British Standards European Norm (İngiliz Standartları Avrupa Normları)
Eurocode	:	European Technical Standards (Avrupa İnşaat/Yapı Tasarımı Teknik Standartları)
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS EN	:	Türk Standartları Avrupa Normları
CFS	:	Cold-Formed Steel (Hafif Çelik)
EEEP	:	Eşdeğer Enerji Elastik Plastik
E	:	Young Modülü
E_y	:	Akma Noktasına Kadar Sönümlenen Enerjisi
E_u	:	Akma Noktasından Nihai Noktaya Kadar Sönümlenen Enerjisi
E_t	:	Toplam Sönümlenen Enerjisi
F_y	:	Çelik Akma Dayanımı
F_u	:	Çelik Kupma Dayanımı
kN	:	Kilonewton
MPa	:	Megapascal
P_d	:	Deneysel Eksenel Maksimum Yüğü
P_p	:	Deneysel Numunesindeki Maksimum Yüğü
P_{se}	:	Sonlu Eleman Numunesindeki Eksenel Maksimum Yüğü
P_y	:	Akma Yüğü
P_u	:	Çekme Yüğü
t	:	Hafif Çelik Profil Narinliği
K_e	:	Elastik Rijitlik
Δ_y	:	Akma Yer Değiştirme
Δ_u	:	Nihai Yer Değiştirme
σ	:	Gerilme

ε	:	Birim Şekil Değişirmesi
λ_c	:	Yapma Kolon Narinliği
λ_{kesit}	:	Kesit Narinliği
μ	:	Düktilite İndeksi



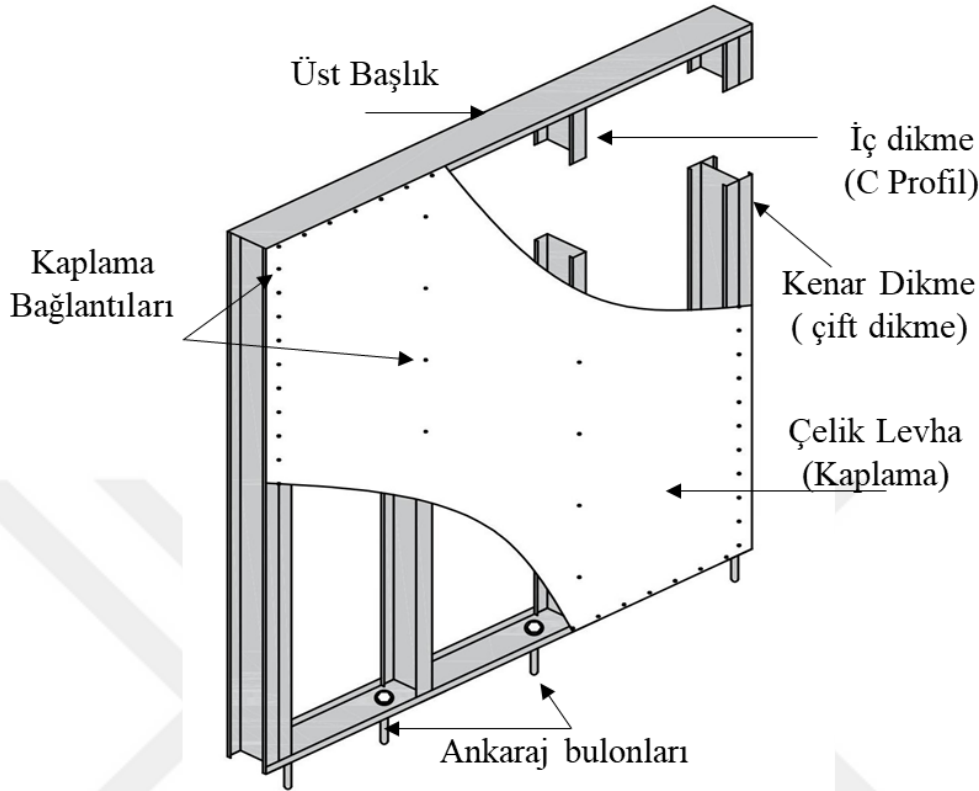
GİRİŞ

Günümüzde hafif çelik profiller dünyada yaygın bir şekilde yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Bağımsız bir yapısal sistem olarak bu tip elemanlardan yapılan binalar çoğunlukla iki katlı binalar, küçük ticari, endüstriyel ve tek katlı spor salonların orak ortaya çıkmaktadır. Hafif çelik elemanlar çerçeve, çatı kaplama ve duvar sistemleri de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Hafif çelik perde duvarlar aynı zamanda yanal yüklemelere karşı etkin bir yapı elemanları olarak da kullanılmaktadır. Daha çok rüzgar ve deprem kuvvetleri gibi yanal yüklerin karşılanmasında hafif çelik perde elemanlar kullanılmaktadır. Hafif perde duvarlar Uluslararası Bina Yönetmeliği (IBC: International Building Code) alçak katlı konut ve ticari binalarda yanal yüke dayanıklı bir sistem olarak önerilmektedir. Çelik sac, alçı panel, kontrplak ve OSB hafif perde duvarlarda kullanılan yaygın kaplama türleridir. Çelik levhalarla kaplanmış hafif perde duvarlar inşaat sektöründe kullanımı son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlar binalara yanal dayanım sağlamak için etkili ve maliyet açısından uygun olan sistemlerdir.

Çelik levha ile kaplanmış tipik bir hafif çelik perde duvarı Şekil 1’de görülmektedir. Hafif çelik perde duvar çerçevesinde yer alan dikme kolon profilleri yanal kuvvetleri karşılayan düşey elemanlar iken kiriş profilleri ise çerçeveyi destekleyen ve duvara yanal dayanım kazandıran yatay elemanlar olarak işlev görmektedirler. Çelik levha kaplamanın en öne çıkan özelliği ise perde duvarın dayanımını ve rijitliğini artırmasıdır.

Hafif çelik perde duvarın dayanımı; kaplama levhanın kalınlığı, burkulması, kaplama-çerçeve bağlantı elemanlarının tipi ve aralığı olmak üzere çok sayıda değişkene bağlıdır. Bunun yanında hafif perde duvarlarının yanal yükler altındaki performansı büyük ölçüde kaplama-çerçeve bağlantılarının dayanımına ve stabilitesine bağlıdır. Çalışmalar hafif çelik perde duvarlarda kullanılan bağlantı tipinin yanal yükler altında perde duvarların performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle kullanılan bağlantı tipi duvarın kesme dayanımını ve burkulma kapasitesini de etkilemektedir. Ayrıca çelik levha ile kaplanmış hafif perde duvarlar yapısal ve ekonomik etkiler nedeniyle berkitmesiz levha ile tasarlanırlar. İnce berkitmesiz hafif çelik perde duvarda levhanın burkulması ise bir dezavantaj olarak öne çıkmaktadır. Berkitmeler ince dolgu plakasının burkulma davranışını genelden yerel veya etkileşimli burkulma moduna dönüştürebilmektedir. Bunun yanında perde duvarın

berkitmeli olması duvar sisteminin yanal yükler etkisinde enerji dağılımını ve rijitliğini de arttırmaktadır.



Şekil 1. Çelik levha ile kaplanmış tipik hafif çelik perde duvar (Yu, 2011)

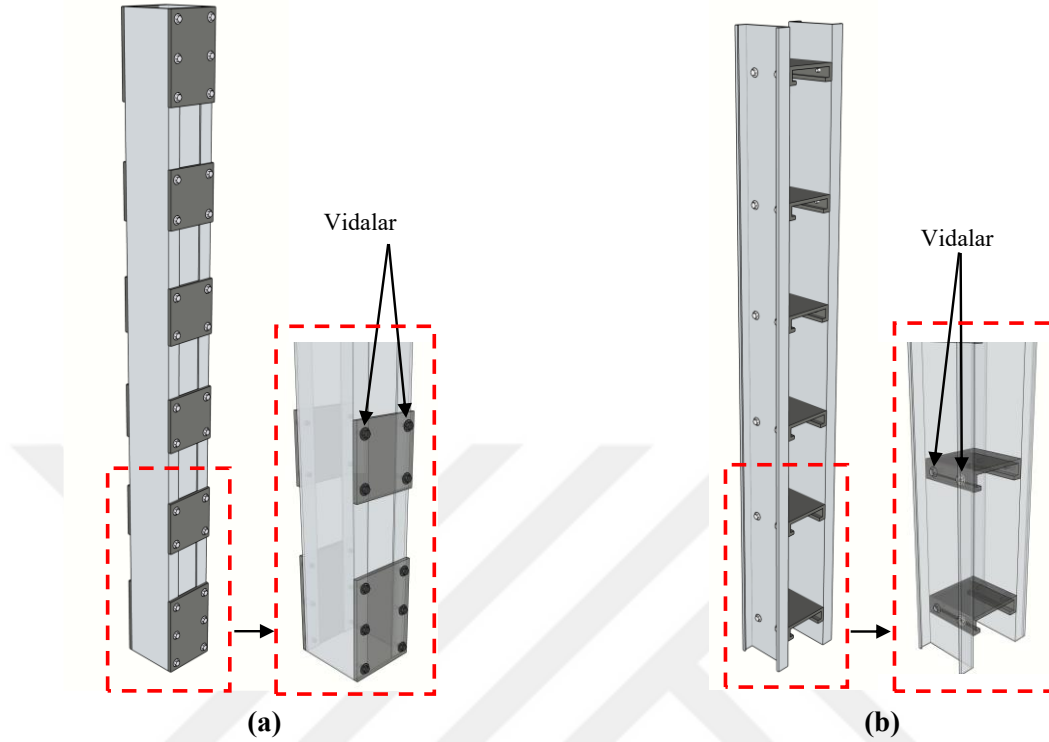
Bu çalışma kapsamında çelik kaplamalı hafif perde duvarlardaki kaplama-çerçeve bağlantılarındaki aralıklar ve kaplama levha kalınlığı birer parametre olarak ele alınmıştır. Bu parametrelerin monotonik yatay yükler altındaki davranışları sayısal olarak incelenmiştir.

Ayrıca çalışmada hafif çelik perde duvar sistemlerinde berkitmelerin hafif perde sistemlerinin kesme dayanımının ve performansının değişimi incelenmiştir. Bununla birlikte hafif çelik perdelerde boşluk geometrisi ve toplam perde yüzey alanına göre boşluk alanı oranı değişken olarak çalışma dahilinde değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında hafif çelik yapma kolonların ve bunların hafif çelik perde duvarlarda kullanılması durumunda perde performanslarına etkisi ayrıca irdelenmiştir. Yapma hafif kolonlar yüz yüze veya arka arkaya birleşim levhaları ile bağlanan dikey profillerden oluşmaktadır. Tek profil kolon gerekli yük kapasitesini veya rijitliği sağlayamadığında yapma kolonların kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

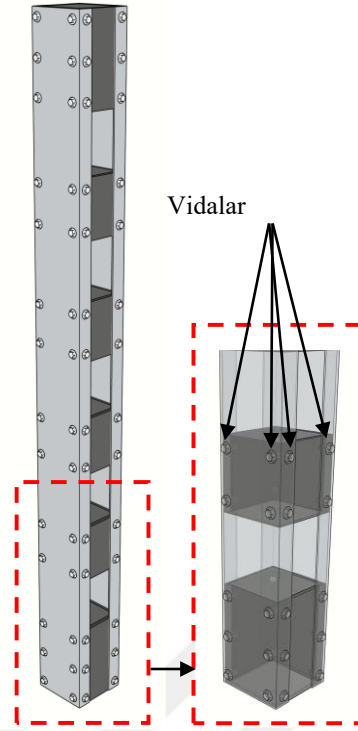
Hafif çelik yapma kolonlar için literatürde yapılan daha önceki çalışmalarda; birleşim levhaları kolon profillerine flanşları aracılığıyla bağlanırken en ince eleman olan profil gövdesi birleşim levhaları ile bağlantısız kalmaktadır (Şekil 2a). Roy (2018) ve Anbarasu (2020) Şekil

2b'de gösterildiği gibi birleşim elemanın flanşlarının profilin gövdelerine bağlandığı yeni bir birleşim eleman türü önermişlerdir. Araştırmacılar bu bağlantı türü yapma kolonların eksenel yük kapasitesi üzerinde olumlu bir etki göstermediğini belirtmişlerdir.



Şekil 2. Yapma kolondaki bağlantı detayları. (a) Flanş bağlantılı (Dar, 2021), (b) Gövde bağlantılı (Roy, 2018)

Ancak hem profil gövdeleri hem de flanşları birbirine bağlayan bağlantı tipi sağlandığında profil gövdelerinin burkulmasının azalması öngörülmektedir. Ayrıca yapma kolonların eksenel dayanımını ve stabilitesini arttıracak da düşünülmektedir. Bu çalışmada hafif çelik kolonlardaki profillerin gövdelerini ve flanşlarını birleştirmek için yeni bir kutu tipi bağlantı da önerilmiştir (Şekil 3). Bu sayısal araştırmanın amacı yapma kolonların literatürden farklı olarak kutu tipi bağlantılarla birleştirilmesi durumunda hafif çelik yapma kolonların eksenel dayanıma ve burkulma davranışına etkisini araştırmaktır. Buna ek olarak hafif perde duvarlarda önerilen kolonun uygulanması üzerinde kapsamlı bir inceleme ve analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma hafif perde duvar sisteminde kutu tipi yapma kolon kullanılması durumunda perde duvarın yanal yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır.



Şekil 3. Önerilen kolon bağlantı detayları

Hafif çelik perde duvarların berkitme ve birleşim performansının araştırılması amacıyla hazırlanan bu tez dört bölüm halinde düzenlenmiştir.

İlk bölüm ‘Kuramsal Temeller’ kısmından oluşmaktadır. Bu bölümde hafif çeliklerden, hafif çelik elemanlardan, hafif çelik perde duvarlarından, çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlardan ve hafif çelik birleşimlerden bahsedilmektedir. Ayrıca hafif çelik perdelerle ilgili yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde hafif yapma kolonların çeşitleri, fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalar da özetlenmiştir.

İkinci bölüm ‘Materyal ve Yöntem’ kısmından oluşmaktadır. Bu bölümde sayısal analizlerde kullanılan her bir adım detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca numunelerin özellikleri, parametre değişkenleri, uygulanan yük ve analiz süreçleri bu bölümde yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, Araştırma Bulguları ve Tartışma başlığı altında numunelerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda hafif çelik perde duvarlar kıyaslanarak incelenmiştir.

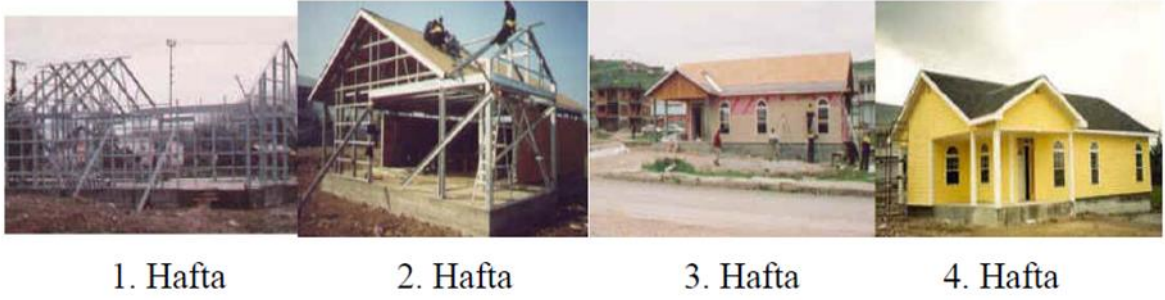
Tezin son bölümünü oluşturan ‘Sonuçlar ve Öneriler’ kısmı sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların genel bir değerlendirmesini kapsamaktadır. Ayrıca bu bölümde bundan sonra konu ile ilgili yapılacak çalışmalar için bazı öneriler sunulmuştur.

KURUMSAL TEMELER

Hafif Çelik

Günümüz dünyasında inşaat endüstrisinde çelik kullanımı eskisinden daha yaygın hale gelmiştir. Bu kapsamda dünya genelinde çeşitli ülkelerin çelik yapılara ilişkin geliştirdiği farklı düzenlemeler kullanılmaktadır. Betonarme elemanlar basınç dayanımı yüksek çekme dayanımı düşük yapı elemanlarıdır. Ancak çelik malzemesi hem basınç dayanımı hem de çekme dayanımı açısından yüksek değerlere ulaşmaktadır. Betonarme ile karşılaştırıldığında daha hafif bir yapı malzemesi olan çelik sayesinde yapıların maruz kaldığı deprem kuvveti daha az olmakta ve bu nedenle deprem anında daha az hasar almaktadırlar. Bir diğer önemli avantajı ise çelik malzemelerin üretiminin belirli bir denetim altında gerçekleştirilmesi ve imalatın genellikle fabrikalarda yapılmasıdır (Aydın et al., 2021).

Öte yandan hafif çelik yapısal elemanları ile yapılan taşıyıcı sistemler özellikle son yıllarda alçak ve orta katlı yapılar için dünya çapında giderek daha popüler hale gelmiştir. Bu taşıyıcı sistemlerde yüksek dayanım/ağırlık oranı ve inşaat süresinin kısalması açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Bu yapıım tekniği sayesinde hafif çeliklerin saha dışı üretiminden ve yerinde kurulumundan yararlanılarak kontrollü olarak üretim ve hızlı inşaat olanağından faydalanılmaktadır. Hafif çeliklerin kontrollü üretimi; boyutlandırmada daha yüksek hassasiyete ve istenilen farklı kesit şekillerine daha fazla olanak sağlamaktadır (Kılıç et al., 2023). Ayrıca hafif çelik elemanları geri dönüştürülebilir çelikten yapıldıkları ve malzeme sarfiyatını en aza indiren bir üretim tekniğine sahip oldukları için çevreye faydalı ürünler olarak da kabul edilmektedir. Hafif çelik yapılar hafif sac profillerinden oluşan bir yapı teknolojisidir. Özellikle bu teknoloji düşük katlı binalarda oldukça uygun maliyetli olarak kullanılmaktadır. Fabrikadaki bağlantıların çoğunun tamamlanmasıyla inşaat süresi büyük ölçüde azalmakta ve yerinde montaj ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Hikita (2006) 'a göre Şekil 4 'te gösterildiği gibi 3-4 hafta gibi kısa bir zaman diliminde 2 -3 katlı bir konut binası inşa etmek mümkündür. Günümüzde hafif çelik profiller küresel olarak birçok yerde yapıların temel bileşenleri olarak hizmet etmektedir. Bu elemanlar Şekil 5 'te görüldüğü gibi daha çok alçak katlı yapıların, küçük ticari binaların, sanayi birimlerinin ve tek katlı spor salonlarının yapımında modüler bir taşıyıcı sistem olarak kullanılmaktadır. Hafif çelik profiller tipik olarak kullanılan sıcak haddelenmiş profillere kıyasla önemli ölçüde daha iyi bir mukavemet /ağırlık oranı avantajına sahiptir ve bu da yapıların toplam ağırlığını azaltmaktadır. Yüksek mukavemet/ağırlık oranı nedeniyle hafif çelik çok yönlü olarak kullanılabilirlik ve maliyet düşüklüğü sunmaktadır.



1. Hafta

2. Hafta

3. Hafta

4. Hafta

Şekil 4. Hafif çelik binasının kısa sürede inşa edilmesi (Hikita, 2006)



Şekil 5. Orta katlı bir hafif çelik binası (DaBreo, 2014)

Hafif çelik çerçeveli yapıların pratik kullanımı açısından onları cazip kılan durum maliyet verimliliği sağlamaları ve zaman açısından tasarruf göstermeleridir. İnşaat süresi bir inşaat projesinin sonucunu etkileyen çok önemli bir faktördür. Bu nedenle hafif çelik çerçeveli yapıların üstünlüğünü değerlendirirken zaman tasarrufunun da dikkate alınması gerekmektedir.

Ayrıca hafif çelik malzemeye ilişkin yeterli norm ve standartların olmaması özellikle sismik bölgelerde hafif çelik yapıların yaygın olarak kullanılmasına mani olmuştur. Hafif çelik elemanların boyutlandırılmasında kullanılan en önemli standart AISI (American Iron and Steel Institute) tarafından hazırlanmış olan boyutlandırma standardıdır. Bunun yanı sıra hafif çelik yapı sistemlerinin kurulması ve birleşimleri hakkında NASFA'nın (Kuzey Amerika Çelik Topluluğu) çalışmaları mevcuttur. Türkiye'de ise Amerika ve Kanada standartları esas alınarak hazırlanmış olan TS 11372 numaralı "Çelik Yapılar- Hafif- Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan- Hesap Kuralları" isimli standart kullanılmaktadır.

Hafif elik elemanların avantajları

- elik profiller homojen, izotrop, yüksek rijitlik, yüksek düktilite özelliklerinin yanında sürekli denetlenerek üretildiğinden güvenlidirler.
- Soğukta ekil verme yöntemiyle yük taşıma kapasitesi / ağırlık oranı oldukça yüksektir.
- Hafif olduğı için zati yükleri en aza indirgermektedirler.
- Galvanizleme tekniğı ile korozyon dayanımı açısından sistemin daha uzun ömürlü olması sağlanmaktadır.
- Optimum kesitler hızlı ve ekonomik şekilde üretilmektedirler.
- Yapı elemanlarının hafif oluğu, bunların üretildikleri yerden (fabrikadan) montajı yapılacak yere kadar (şantiyeye) ekonomik ve hızlı bir şekilde taşınmasını sağlamaktadırlar.
- Az açıklıklı ve dış yüklerin az olduğı elemanlarda hadde profillerine oranla çok daha ekonomik boyutlanma olanağı sağlamaktadırlar.
- Hızlı ve ucuz montaj imkânı sağlamaktadırlar. Taşıyıcı sistemin betonarme sürekli temel üzerinde kurulumu, yapı bileşenlerinin birleşim yerleri, birleşimde kullanılacak yardımcı elemanların biçimleri ve boyutları proje üretim aşamasında önceden belirlenebildiğinden bu işlemler doğru ve hızlı olarak gerçekleşmektedir.
- Sistemi oluşturan elemanların çok sayıda üretilip stoklanması mümkün olmaktadır.
- Uygulamada herhangi bir şekilde kalıp kullanılmadığından ilave malzeme maliyeti bulunmamaktadır.
- Geri dönüşümlü bir malzemedir.
- Yapım sırasında hava koşullarından fazla etkilenmemektedir.
- Bakım masrafları düşüktür.
- Sklp tekrar monte edilebilirler.
- Zararlı organizma ve termitlerden etkilenmezler.

İnşaat sektöründe hafif elik elemanları

Hafif elik profillerin geçmişte belli kesit tipleri ve imalatları sınırlı iken günümüzde gelişen teknoloji ve hafif çeliğe yönelik artan taleplerden dolayı hafif elik yapılara olan talepler gün geçtikçe artmaktadır. Ancak zamanla malzeme ve üretimde yaşanan yeni gelişmeler sayesinde bu profillerin kullanım alanlarının sınırları günümüzde oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Soğuk haddelenmiş elik profiller genellikle elik kolon, kiriş ve makas gibi taşıyıcı

yapı malzemelerinde tek etkili veya çift etkili olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yıldırım, 2010).

Hafif profillerin konutlarda yaygın kullanımına Amerika Birleşik Devletleri öncülük etmiştir. Bugün Avrupa ve Türkiye’de bu profillerin özellikle konut türü yapılarda kullanımının oldukça yaygınlaştığı görülmektedir. Bunun yanı sıra hafif çelik yapılar konut türü yapılar, endüstriyel yapılar ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan geçici yapılar olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Yıldırım, 2010). Hafif çelik elemanların inşaat sektöründe kullanımını Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. İnşaat sektöründe hafif çelik elemanlar ((DaBreo, 2014)

Hafif Çelik Perde Duvarlar

Perde duvarlar düşey yüklerin yanı sıra yatay yüklere karşı da dayanım gösteren yükleri güvenle zemine aktaran yapı elemanlarıdır. Yatay kuvvetler rüzgâr etkisinden veya zemin titreşiminden oluşmaktadır. Zemin titreşimini oluşturan birkaç etken vardır. Bunları sıralamak gerekirse; depremler, demiryolu titreşimleri, ağır makinelerin çalışmasıyla oluşan titreşimler ve ritmik adımlardan oluşan titreşimlerdir. Zemin titreşimlerinden en önemli olan ve önceden tahmin edilemeyen deprem kaynaklı titreşimlerdir. Yapılar en çok ise rüzgâr ve depremden dolayı oluşan yatay yüklerle zorlanmaktadır. Hafif çelik yapıların ağırlıkları az olduğundan depremden daha az etkilenirler. Şekil 1’de tipik bir hafif çelik perde duvarını görülmektedir. Hafif çelik perde duvar panelleri için kaplamalarda farklı malzemeler kullanılabilir. Kaplama için kullanılan en yaygın malzemeler OSB, alçı plakalar ve çelik saclardır. Duvar panelleri karşılamaları gereken yanal kuvvet miktarına bağlı olarak tek taraflı veya çift taraflı kaplama ile imal edilmektedir. Vidalar standart hafif perde duvarlarda kaplama panellerini çerçeve



Şekil 8. Hafif çelik binasında çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlar (DaBreo, 2014).

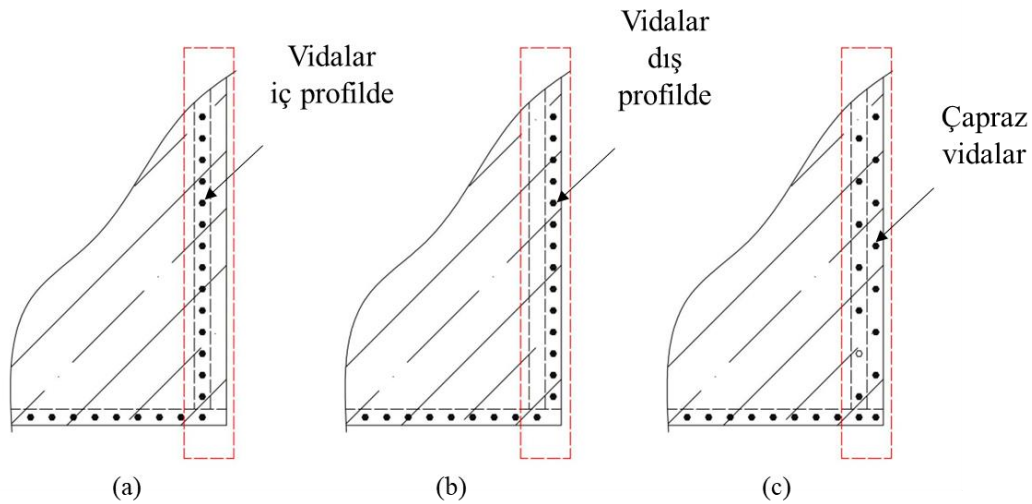
Çelik levha ile kaplanmış perde duvarlarda kaplama-çerçeve bağlantıları

Çelik yapımında bağlantı terimi yükleri bir elemandan diğerine aktarmak için iki veya daha fazla elemanı birleştirme yöntemini ifade etmektedir (Aydın et al. 2015; Yu et al. 2019; Maali et al. 2022). Hafif çelik duvarların kesme dayanımını ve göçme modlarını etkileyen önemli parametreler; bağlantıların tipi, bağlantı elemanının boyutu ve bağlantı elemanlarının aralığıdır (DaBrae et al. 2014). Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarda levha çerçeve elemanlarına çelik levhanın kenarlarından bağlantı elemanları ile bağlanılmaktadır. Kaplama-çerçeve bağlantıları hafif çelik perde duvarların performansında kritik bir rol oynar ve duvar sisteminin göçme modları bu bağlantılarla ilişkilidir (Yanagi et al. 2014). Bu bağlantılar çelik levhadan gelen yanal yüklerin dikmelere ve üst elemanlarına aktarılmasında ve sistemin stabilitesinin sağlanmasında temel işlev görürler. Kaplama-çerçeve bağlantılarının doğru tasarımı ve kurulumu binanın yapısal bütünlüğü ve performansı için gereklidir. Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların kesme davranışı üzerine yapılan çeşitli araştırmalarda perdelerde kesme göçmesinin başlıca nedenlerinden birinin kaplama ve çelik çerçeveyi birbirine bağlayan bağlantı elemanlarının göçmesi şeklinde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tür göçme modu genellikle kaplama levhanın kenarlarında meydana gelmektedir (Attari, 2016). Vidalar ve perçinler çelik levhalarla kaplanmış hafif çelik perde duvarlarının kaplama - çerçeve bağlantısında kullanılan en yaygın bağlantı elemanı tipleridir.

Vida bağlantısı

Vidalar, hafif çelik perde duvarlarda çerçeve elemanlarını kaplamaya bağlamanın yaygın bir yöntemidir. (Zhang, 2020). Genellikle akıllı vidalar veya matkup uçlu vidalar olarak

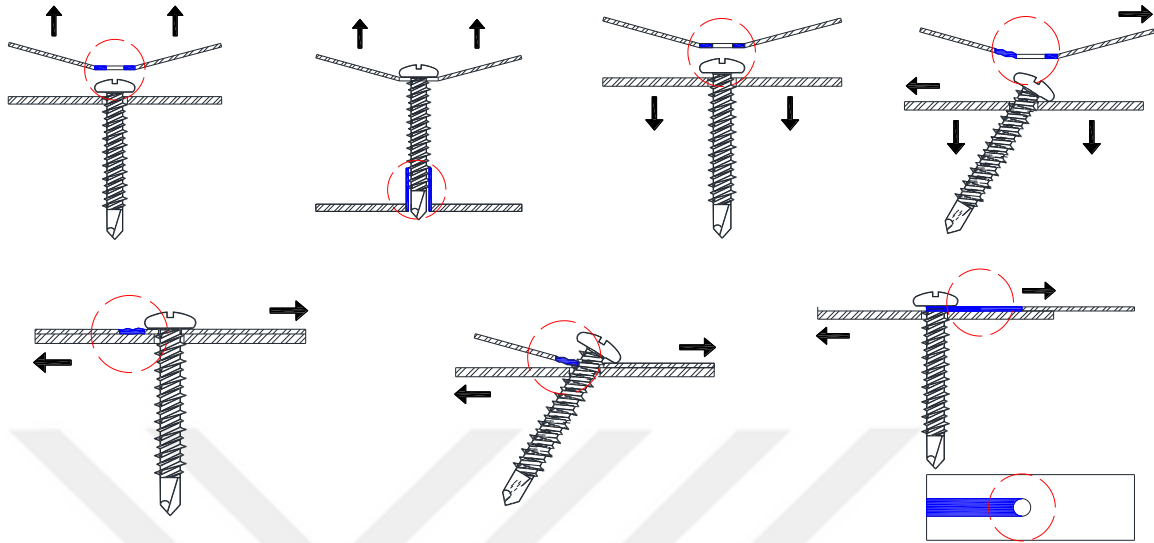
adlandırılan bu vidalar özellikle çelikle kullanım için tasarlanmıştır ve metali kolayca delmelerini sağlayan keskin bir uca sahiptir (AISI-S240, 2007). Vidalar yatay ve dikey çerçeve elemanlarını bağlamak ve çelik kaplama plakasını çerçeve sistemine bağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik perde duvarının performansı ve dayanımı, plakada kenar bağlantısına yeterli sayıda vida kullanılarak önemli ölçüde artırılabilir. Kaplama - çerçeve bağlantısı sadece yanal yükleri çerçeveden çelik plakalara aktarmakla kalmaz aynı zamanda çerçeve elemanlarının burkulmasını da azaltmaktadır. Bu nedenle vida konumunun ve aralığının çelik kaplamalı hafif perde duvarların performansını nasıl etkilediğini araştırılması önem arz etmektedir (Zeynalian, 2017). Hafif çelik perdelerde çelik sac farklı vida aralıkları ve tipleri kullanılarak çerçeve elemanlarına bağlanabilir. Hafif bir çelik perde duvarda kaplama - çerçeve bağlantılarındaki vida aralıkları ve tipler (desenler) duvar sisteminin yapısal performansını etkiledikleri için önemli tasarım hususlarını barındırmaktadır. Vida aralığı, çelik profilleri ve kaplama bağlamak için kullanılan vidaların arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Çelik levha duvar sisteminin bir tarafına, duvar sisteminin her iki tarafına veya duvar sisteminin merkezine tutturulabilir (Santos, 2018). Tek taraflı çelik kaplamalı hafif çelik perde duvarlarda çerçeve profillerinin dış flanşında tek bir vida hattı, çerçeve profillerinin iç flanşında tek bir vida hattı ve çerçeve profillerinin iç ve dış flanşlarında çapraz bir desen çelik plakayı çerçeveye bağlamak için tasarım seçenekleridir (Yu, 2007). Şekil 9'da çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarının kaplama - çerçeve bağlantılarındaki üç farklı vida modeli görülmektedir.



Şekil 9. Çerçeve bağlantılarındaki farklı vida desenleri. a) Profilin iç flanşındaki vidalar, b) Profilin dış flanşındaki vidalar, c) Çapraz vidalar (Santos, 2018).

Çelik kaplamalı hafif çelik perde duvarlardaki vida bağlantıları genellikle sadece kesme yerine kesme ve gerilme kombinasyonundan etkilenirler (Zhang, 2020). Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarda çelik plakanın kenarlarındaki vida bağlantısının en

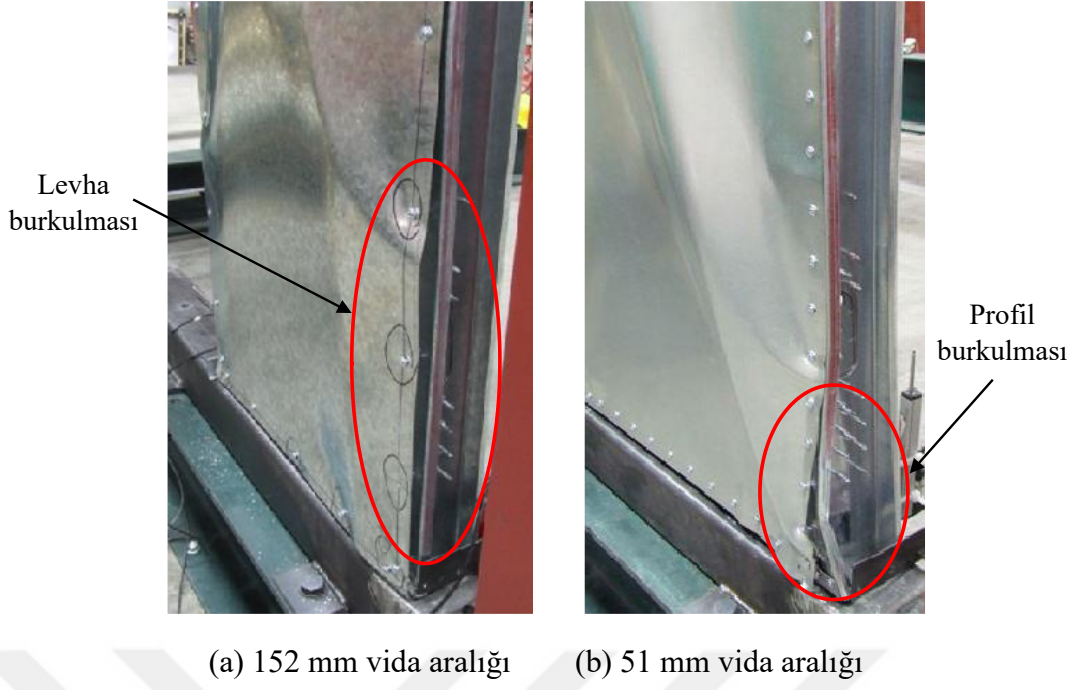
yaygın göçme modları Şekil 10 'da görülmektedir. Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik perde duvarındaki baskın göçme modu çelik plakanın kenarlarındaki vida aralığından, çelik plakanın kalınlığından ve çerçeve elemanlarının kalınlığından etkilenmektedir.



Şekil 10. Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik duvarlarında vida göçme modları (Peterman, 2014).

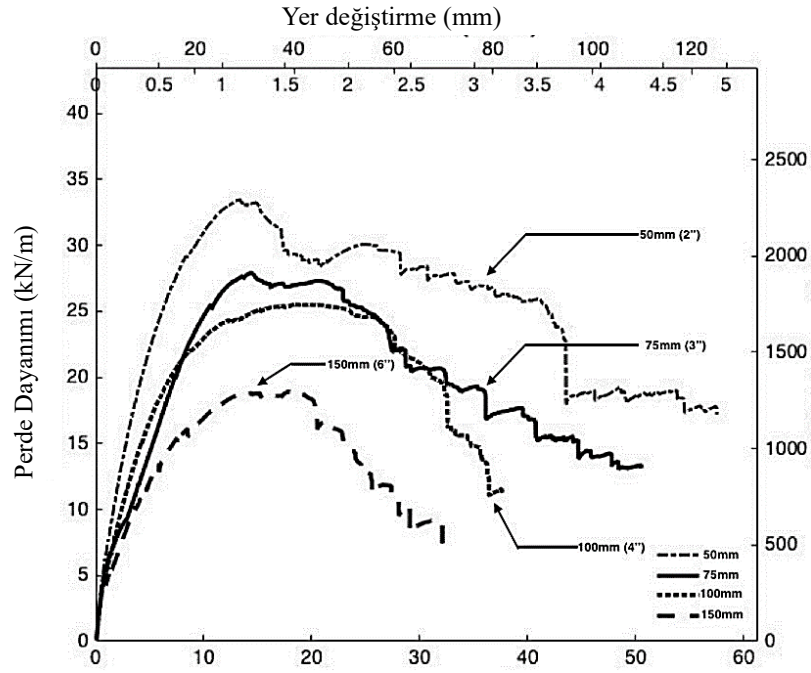
Gerilim altında vidalar için en tipik göçme modları çekme ve çıkarma modlarıdır. Bu göçme tiplerinin her ikisi de ince çelik levhaya bir gerilim yükünün uygulandığı durumda gerçekleşir. Ayrıca çekme göçme modu; kalın çerçeve çeliğinin deforme olması ve bağlantı elemanı ucunu ince çelik sac plakadan çekerek plakaya zarar vermesi durumunda kesme altında meydana gelen bir göçme modu oluşturmaktadır (Peterman, 2014).

Çelik plakalarla kaplanmış hafif çelik perde duvarlarda en yaygın göçmeler kaplama ve çerçeve arasındaki bağlantılarda meydana gelmektedir. Bu göçmelerdeki modlar; bağlantı elemanlarının çekilmesi, önemli bir yatağın neden olduğu kaplama kenarının yırtılması, kaplama burkulması ve profil gövdesinin burkulması şeklinde meydana gelmektedir (Ong-Tone, 2009). Daha yakın aralıklı bağlantı elemanlarına sahip duvar düzeneklerinin hem kaplamasında hem de profillerinde burkulma meydana gelirken bağlantı elemanlarının daha geniş aralıklarla yerleştirildiği duvarlar için çelik plakanın kenarlarındaki bağlantı elemanı çekmesi ve kaplama burkulması oluşturmaktadır (Yu, 2010). Şekil 11'de çelik plakanın kenarlarındaki iki farklı vida aralığının göçme modları görülmektedir. Şekil 11 'den anlaşılacağı üzere bağlantı elemanı aralığının artırılması çelik plakanın yerel burkulması ve bağlantı elemanı çekilmesi ile sonuçlanırken bağlantı elemanı aralığının azaltılması durumunda hem çelik plakada yerel burkulma hem de profilde burkulma oluşmaktadır.



Şekil 11. Çelik plakanın kenarlarında iki farklı vida aralığının göçme modları (Yu, 2010)

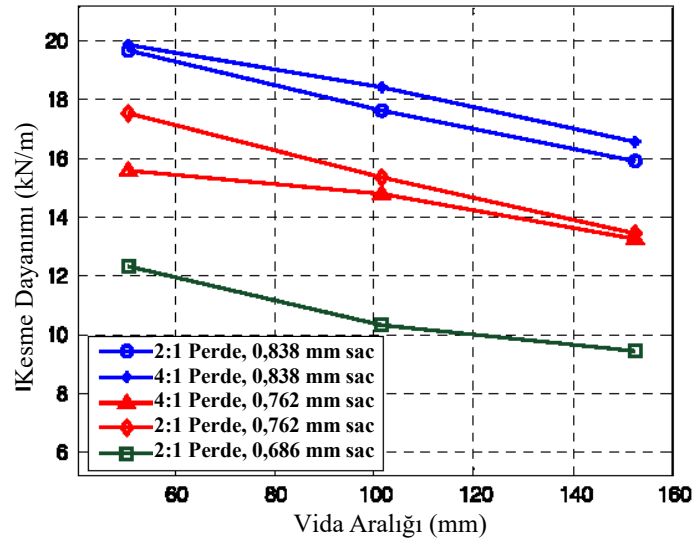
Ayrıca bağlantı elemanları arasındaki aralık perdelerin kesme dayanımını da etkilemektedir. Duvar sisteminin kesme dayanımı, bağlantı elemanlarının çelik plakanın kenarlarındaki mesafesinin azalmasıyla artmaktadır (Yu, 2010). Şekil 12’de çelik plakanın kenarlarındaki farklı vida aralıkları için duvar dayanımı görülmektedir.



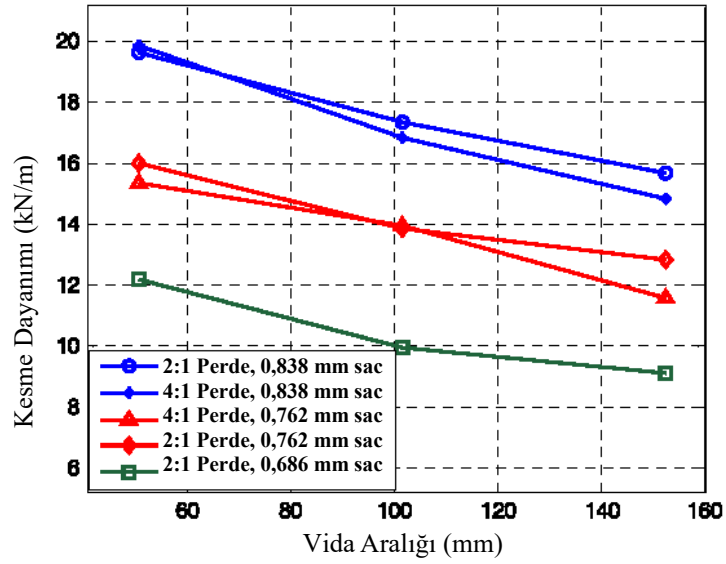
Şekil 12. Çelik plakanın kenarlarındaki farklı vida aralıkları için duvar dayanımı (Rizk, 2018).

Kesme gerilmeleri bir duvara uygulandığında daha az bir vida aralığına sahip bağlantı elemanları kesme kuvvetlerine dayanmak için daha çok bir grup gibi hareket etmektedir. Daha büyük bir bağlantı elemanı aralığına sahip tasarımlar ile karşılaştırıldığında daha yoğun bir vida aralığına sahip konfigürasyonlarda kullanılan münferit vidaların daha az büyüklükteki gerilmelere dayanması gerekmektedir. Duvarlar daha büyük kaplama bağlantı aralığı ile inşa edildiğinde duvara uygulanan kesme kuvvetlerini karşılayacak daha az vida olacaktır. Bu her bağlantıda daha yüksek kuvvetlerin yoğunlaşmasına yol açmakta ve bu da duvar için daha düşük kesme kapasitesine dönüşen yerel göçmelere neden olmaktadır (Rizk, 2018). Şekil 12’de çelik plakanın kenarındaki vida aralığının sınır çerçeve bağlantısına arttırılmasının çelik plaka ile kaplanmış hafif kesme duvarlarının nominal kesme dayanımının azalmasına neden olduğunu görülmektedir. Şekil 12 'de görüldüğü gibi vida aralığı arttıkça duvarın dayanımı azalsa bile vida aralığı 100 mm olarak ayarlandığında duvarın yanal sehimleri maksimuma ulaşmaktadır. Bunun nedeni daha büyük vida aralığı dikkate alınması (150 mm) ve dolayısıyla daha az miktarda vida uygulanması neticesinde çelik saclarda elastik burkulma ve ardından çerçeve bağlantılarının kaplamalarında istenmeyen vida çekme göçme modlarına yol açmaktadır. Sonuç olarak çerçeveden beklenen nihai kapasitesine ulaşamamaktadır (Rizk, 2018).

Şekil 13 ve Şekil 14 'te gösterildiği gibi perdenin kesme dayanımı ile levha kenarlarındaki bağlantı elemanı aralığı arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. (Yu 2010; Sadid ve Aydın 2023).

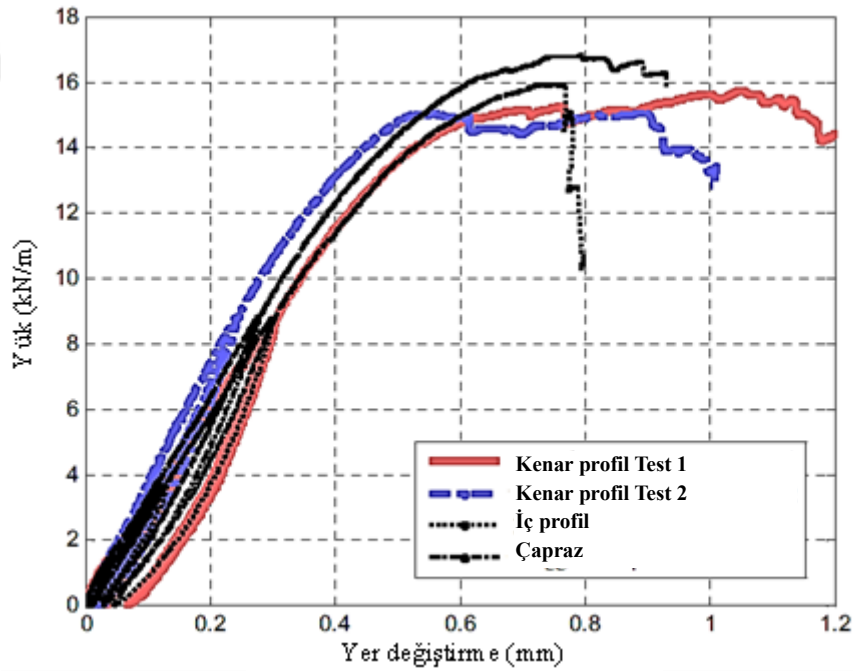


Şekil 13. Rüzgar yükü için panel kenarlarındaki kesme dayanıma karşı bağlantı elemanı aralığı (Yu, 2010)



Şekil 14. Deprem yükü için panel kenarlarındaki kesme dayanımına karşı bağlantı elemanı aralığı (Yu, 2010)

Çerçeve profillerinin iç flanşındaki vidalar ve çapraz bir vida deseni Şekil 9 'da gösterildiği gibi çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarında çelik plakayı çerçeve elemanlarına bağlamak için başka bir yöntemdir.



Şekil 15. Farklı bağlantı elemanları için yüke karşı yer değiştirme (Rizk, 2018)

Şekil 15'te çelik bir plaka ile kaplanmış bir hafif çelik perde duvarının kaplama - çerçeve bağlantısındaki üç farklı vida modeli için duvarın üst kısmında uygulanan yüke karşı yanal yer değiştirmeyi göstermektedir. Duvarların kesme dayanımı kenar profillerinin iç ve dış flanşlarında çapraz bir vida deseni kullanılması ile işlevi artar ve ayrıca profil flanşlarında

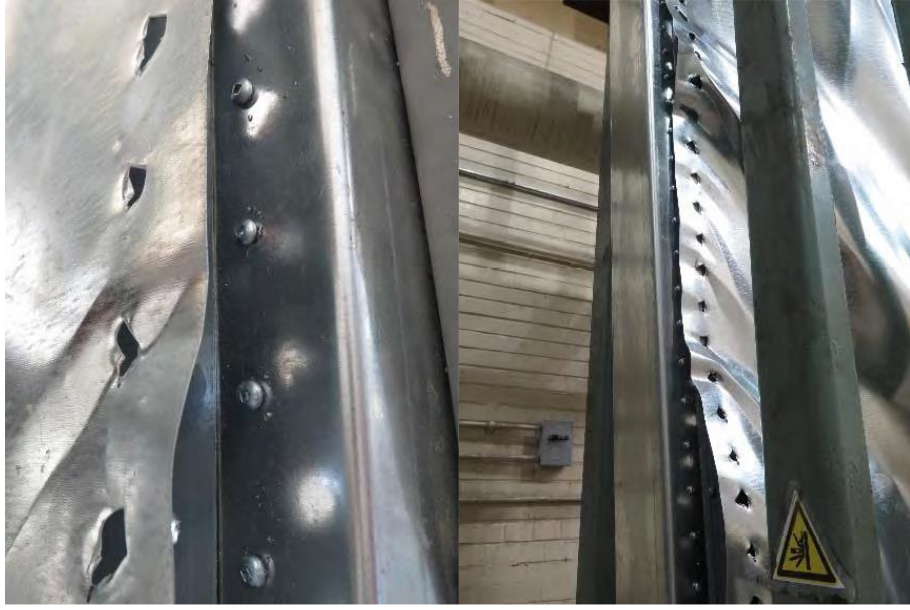
meydana gelen burkulma miktarını azaltır. Bu arada vidaların kenar profillerinin iç flanşlarına yerleştirilmesi de kesme dayanımını biraz artıracak ve çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarında daha az profil burkulmasına neden olacaktır.

Son zamanlarda çift kaplamalı ve merkez kaplamalı duvar sisteminin davranışını incelemek için çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarının yeni tasarım biçimleri test edilmiştir (Brière 2018). Çift kaplamalı bir hafif çelik perde duvarda çelik levha duvar sisteminin her iki tarafına tutturulur ve bu tasarım biçimi düzlem dışı bükülme ve profil burulması en aza indirecek şekilde tasarlanır. Merkez kaplamalı bir perde duvarda ise çelik sac duvar sisteminin merkezine yerleştirilmekte ve bu biçim vidanın dışarı çekilmesini önlemekte ve çelik kaplama burkulmasını en aza indirmektedir. Yukarıda açıklanan tasarım biçimlerinin her biri orta katlı hafif çelik binalarının inşasında önemli kesme kapasitesinde ve düktilite potansiyelinde artış göstermiştir (Santos, 2018).

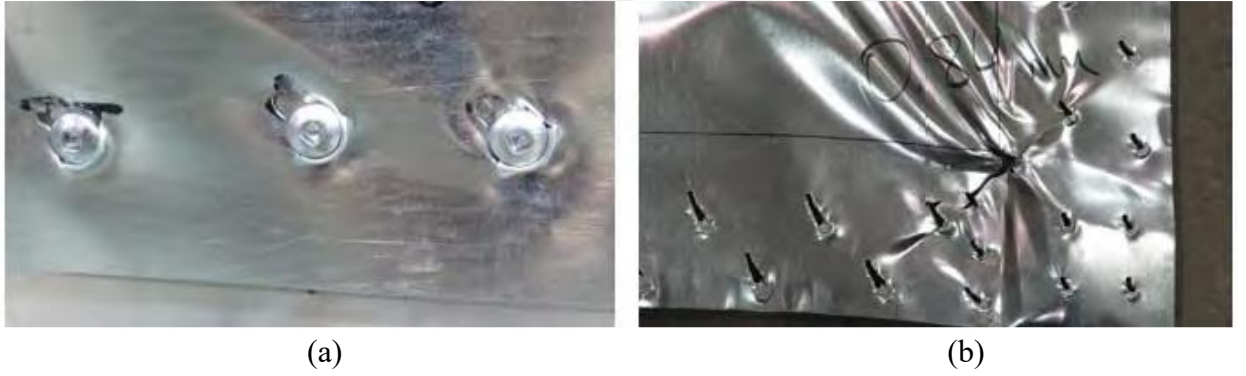
Her iki duvar tipi için de en tipik göçme türü kaplama-çerçeve bağlantısında fark edilmektedir. Çelik sac burkulmasının yanı sıra çift kaplamalı perde duvarlarda kaplama burkulması ve her iki duvar tipte profil burkulması duvar sistemlerinin kaplama - çerçeve bağlantılarında baskın göçme modlarıdır. Şekil 16'da ve Şekil 17'de her iki duvar konfigürasyonunun kaplama - çerçeve bağlantılarının göçme modlarını görülmektedir. Çift kaplamalı konfigürasyonda çelik sac burkulmasından kaynaklanan düzlem dışı kuvvetler ve her iki duvar tipte gerilim kuvvetleri bu iki tip göçmenin nedeni olmaktadır (Niari, 2015).

Merkez kaplamalı hafif perde duvarlarda perde vida bağlantılarının taşıma gücü kesme dayanımının çoğunu oluşturmakta ve perde kalınlığı her bir bağlantının taşıma dayanımını belirlemektedir. Dolayısıyla perde kalınlığının arttırılması perde sisteminin kesme dayanımını arttırmaktadır (Zhang, 2021).

Her iki duvar tipte de kaplama vida aralığı azaldığında duvar sisteminin nihai dayanımı ve düktilitesi artmaktadır. Merkez kaplamalı perde duvar konfigürasyonunun kaplamadan çerçeveye bağlantılarında vidalar arasındaki mesafe belirli bir aralıkla sınırlandırılmalıdır. Vidalar arasındaki çok fazla mesafe kaplamanın kayma burkulmasının getirdiği önemli miktarda düzlem dışı kuvvet nedeniyle biriken kiriş profilinin ayrılmasına yol açmaktadır (Zhang, 2021).



Şekil 16. Bağlantı göçme modları (Brière, 2018)



Şekil 17. Kaplama göçmesi. (a) Çift kaplamalı (b) Merkez kaplamalı (Brière, 2018)

Çift kaplamalı ve merkez kaplamalı hafif çelik perde duvarlarda kaplamanın çerçeveye vida bağlantısının taşıma gücü doğrudan bağlantı elemanı çapı ile ilişkili olduğundan kaplama vidalarının çapının artırılması duvarın nihai kesme dayanımını ve düktilitesini arttırmaktadır (Brière, 2018). Öte yandan tek taraflı çelik sacların vidaların çapını artırıldığı hafif çelik perde duvarlarda duvar sisteminin kesme dayanımında artış görülmemektedir (Macillo, 2017).

Perçin bağlantısı

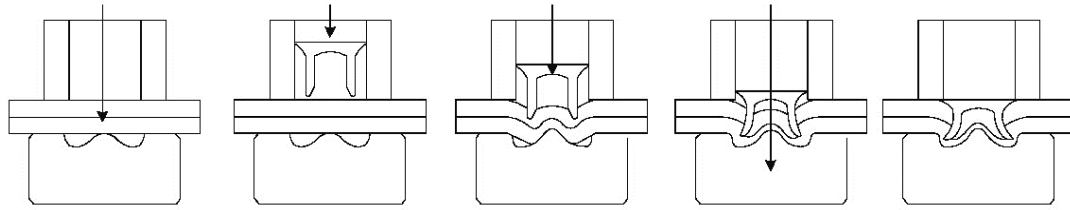
Kendinden delici perçinler (SPR: self percing rivet), hafif yapılarda hafif çelik elemanları bağlamak için kullanılabilen bir bağlantı elemanı türüdür (Mucha, 2013). Kendinden delici perçin (SPR) bağlantıları aşağıda belirtildiği üzere diğer bağlantı elemanlarına göre bazı avantajlar şunlardır:

- (1) SPR, diğer bağlantı elemanlarına kıyasla montaj süresini azaltan özel bir aletle hızlı ve kolay bir şekilde kurulabilmektedir (Lennon, 1999).

- (2) SPR, birleştirilen elemanların önceden delinmesini gerektirmemekte bu da ek ekipman ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve üyelere zarar verme riskini azaltabilmektedir (46).
- (3) SPR, alüminyum veya paslanmaz çelik gibi korozyona karşı oldukça dayanıklı malzemelerden yapıldığından korozyon dayanımının önem arz eden uygulamaları için ideal bir seçim haline getirmektedir (Yan, 2017).

SPR bağlantılarında kesme dayanımı, rijitlik ve enerji sönümlemesi açısından kendiliğinden delinen vidalı bağlantılara göre daha üstün olmaktadır. SPR'nin kesme rijitliği matkap uçlu vidanın on katından fazladır ve bu da iki bağlantı türü arasında önemli bir fark oluşturmaktadır (Wei-ming, 2017).

SRP'lerin ucunda önceden delinmiş bir deliğe ihtiyaç duymadan çeliği delmelerini sağlayan keskin bir nokta mevcuttur. Bu kurulum işlemi sırasında zamandan ve işçilikten tasarruf sağlayabilmektedir. SPR'ler genel olarak alüminyum veya çelikten yapılmakta ve farklı çelik ölçülerine uyacak şekilde çeşitli boyutlarda olabilmektedir. Perçine basınç uygulayan keskin noktanın çelikten geçmesine ve güvenli bir bağlantı oluşturmaya neden olan özel bir alet kullanılarak monte edilirler (Xie, 2018). Şekil 18'de SPR bağlantılarının oluşumunda yer alan adımları görülmektedir. Bu işlemde sıkıştırma cihazına iki çelik sac yerleştirilir ve sabitlenir. Daha sonra üst kalıpların etkisi altında perçin üst tabakayı ve alt tabakayı deler. Son olarak alt kalıpların kısıtlı etkisi altında deforme olmuş perçin ve sac bir kilitleme mekanizması oluşturur.

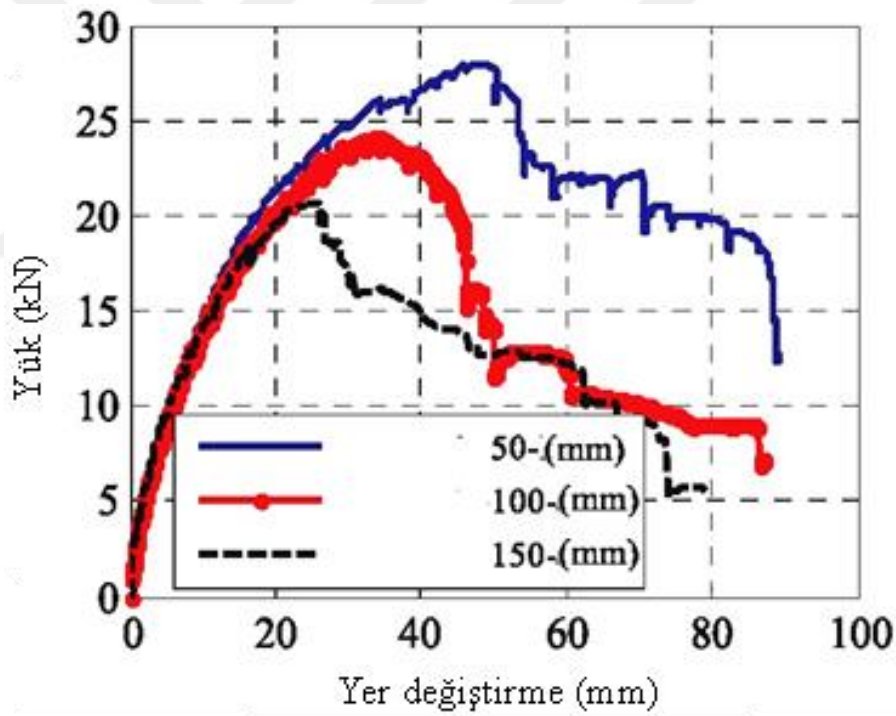


Şekil 18. Perçin bağlantısının oluşturma prosedürü (Xie, 2018)

SRP çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarının kaplamadan çerçeveye bağlantısında kullanılan başka bir bağlantı elemanı türüdür (Zhang, 2019). Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik duvarlarda perçinler arasındaki sac kenarları arasındaki mesafe, perçin duvarı göçme modlarının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Perçin aralığı arttıkça sacda burkulma ve uç profil burkulmasının göçme seviyeleri sınırlarken perçin aralığı arttıkça sacın perçin kafasından çekilmesinin neden olduğu hasar daha fazla olmaktadır. Hafif çelik perçin duvarının düktilitesi ve rijitliği çelik plakanın kenarlarındaki perçin aralığından önemli ölçüde etkilenmezken tepe yükü ve enerji sönümleme kaplama - çerçeve bağlantılarındaki SPR

aralığından büyük ölçüde etkilenmektedir (Zhang, 2019). Artan perçin aralığı duvar sisteminin enerji sönümlenmesini büyük ölçüde artırmaktadır. Bunun nedeni SPR bağlantılarının enerjinin çoğunun dağıldığı çerçeve ve kaplama arasında kaymasından kaynaklanmaktadır.

Çelik sacın kenarları boyunca farklı perçin aralıklarında duvar sisteminin maksimum - yük ve nihai deformasyonu Şekil 19 'da görülmektedir. Maksimum yük çelik sacın kenarlarındaki perçin aralığı arttıkça doğrusal bir düşüşe uğrar. Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik duvarlarının kesme dayanımı etkili şerit genişliği içindeki kaplama - çerçeve bağlantılarının kesme dayanımı belirlenmektedir (Xie, 2018). Perçin aralığı arttıkça etkili şeridin genişliği içindeki kaplama - çerçeve bağlantılarının sayısı azalmakta bu da duvar sisteminin kesme dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Levha kenarlarındaki perçinler arasında daha büyük bir boşluk olduğunda nihai deformasyon da azalmaktadır. Bu arada sac kenarlar boyunca perçinler arasındaki mesafenin azaltılması, duvarın kesme dayanımını ve deformasyonunu önemli ölçüde artırabilmektedir.



Şekil 19. Çelik sac kenarlarındaki farklı perçin aralıklarının yüke karşı yer değiştirme eğrisi (Xie, 2018)

Tablo 1’de duvar sisteminin kaplama - çerçeve bağlantılarına farklı bağlantı tiplerinin kullanılması dışında aynı özelliklere sahip iki duvar örneğinin davranışını göstermektedir. Tip 1 duvar sistemi için çelik sacın çerçeveye bağlanması için SPR kullanılırken tip 2 duvar sisteminde bu bağlantılar için matkap uçlu vidalar kullanılmaktadır.

Tablo 1. SPR Bağlantı Elemanının Matkap Uçlu Vida İle Karşılaştırılması (Xie, 2018)

Nu.	Bağlantı türü	Aralık	K_e (kN/mm)	Δ_y (mm)	P_y (kN)	Δ_p (mm)	P_p (kN)	Δ_u (mm)	μ	E (kJ)
1	SPR	150	2,19	10,77	19,90	31,25	22,52	41,10	3,82	0,71
2	Matkap uçlu vida	150	1,65	9,31	18,85	57,96	21,35	72	7,73	1,27

(K_e : elastik rijitliği, Δ_y : akma deplasmanı, P_y : Akma yükü, Δ_p = Maksimum yüke karşı deplasman, P_p = Maksimum yük, Δ_u = Nihai deplasman, μ düktelite faktörüdür ve E: sönümlebe enerji)

Çelik levha ile kaplamalanmış hafif çelik perde duvarları önceki çalışmalar

Çelik sac kaplamalı hafif çelik perde duvarlar üzerindeki ilk çalışma Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Santa Clara Üniversitesi'nde Serrette et al. (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırma programı 1996 yılında tamamlanan kontrplak ve alçı ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlar üzerindeki önceki deneylerden elde edilen bulguların devamı olarak yürütülmüştür (Serrette et al., 1996). Teste tabi tutulan numunelerde 610 mm x 2440 mm ve 1200 mm x 2440 mm boyutlarında perde duvarlarda 0,46 mm ve 0,68 mm kalınlığında sac çelik ve 0,84 mm kalınlığında çerçeve elemanları yer almıştır. Numuneler AISI S400 Standardı tarafından kabul edilen konfigürasyon kullanılarak oluşturulmuştur. Duvar kolonlar olarak arka arkaya iki profil, bir iç dikey profil ve üst ve alt kirişler ile desteklenen sac plakadan oluşturulmuştur. Çelik sac vidalar kullanılarak çerçeveye sabitlenmiştir. Devrilmeyi önlemek için duvarın her iki ucunda da berkitmeler kullanılmıştır. Test sırasında duvarlar yükün duvarın tepesine deplasman kontrolüne tabi tutulmuştur. Araştırmada statik yükleme prosedürü ve çevrimsel deplasman yükleme tekniği uygulanmıştır.

Hafif çelik çerçeve için Kuzey Amerika Standardı AISI S213 Standardı (2004) hafif çelik perde duvarlar için tasarım hükümleri 0,46 mm ve 0,68 mm sac kalınlıkları ile sınırlandırmıştır. Bu sınırlamalar Serrette et al. (1997) yapmış olduğu çalışma sonuçlarına dayanarak belirlenmiştir. Bu sınırlamanın ötesine geçebilmek için Yu et al. (2007)'nin araştırma çalışmasında bahsedildiği gibi Kuzey Teksas Üniversitesi'nde yürütülen bir çalışmada 0,68 mm, 0,76 mm ve 0,84 mm'lik kaplama kalınlıklarına sahip hafif çelik perde duvarları kullanılmıştır. Yenilik açısından 50 mm, 100 mm ve 150 mm çelik sac kenar bağlantı mesafelerinin kullanılmıştır. Numuneler 8 adet matkap uçlu vida ile imal edilmiştir. Toplam 66 test numunesi test edilmiştir; 33 'ü ASTM E564 -06' da belirtilen yöntemler izlenerek monotonik teste tabi tutulurken geri kalan 33 'ü Deprem Mühendisliği Araştırma Üniversiteleri Konsorsiyumu (CUREE) ve Ters Ahşap Kesme Panelleri Kabul Kriterleri (ICC - ES AC 130) uyarınca çevrimsel olarak test edilmiştir. Çalışma değişen en boy oranlarına (2:1 ve 4:1) sahip duvarların

imalatını içermiştir. Kaplama daha sonra duvarın bir tarafına uygulanmış ve vidalar kullanılarak kolonların ve kirişlerin dış flanşına sabitlenmiştir. Yu et al. (2007) yaptıkları çalışmada vidaların boyutunun arttırılmasının perdelerin kesme dayanımını arttırmadığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte kademeli bir vida modelinin uygulanması kolonların kesme mukavemetlerinde sınırlı katkı sağlamasının yanında flanş bozulmasını arttırdığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca sonuçlardan anlaşılmıştır ki; geniş en boy oranına (2:1 'den büyük) sahip perde duvarlar için AISI S213 Standardında (2004) belirtilen mukavemet azaltma faktörü ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu araştırma programının önemli bir sonucu daha kalın çerçeve elemanları kullanılarak elde edilen kesme dayanımındaki önemli artışlardır. Elde edilen bulgularda Serrette et al. (1997) tarafından 0,68 mm kaplamalı perde duvarlar için elde edilen sonuçlarla uyumsuzluk gösterdiği anlaşılmıştır. Yu ve Chen (2009) tarafından yapılan daha sonraki araştırmalarda 0,46 mm perde duvar kullanımının Serrette'nin bulgularıyla uyumlu olmadığını gösterilmiştir.

Yu ve Chen (2009), AISI S213 (2007) tarafından sağlanan 0.46 mm ve 0.68 mm çelik sac kalınlıklarına sahip kesme duvarları için literatürde bildirilen nominal kesme dayanımlarının daha ayrıntılı bir analizini Serrette et al. 2440 mm × 1830 mm ebatlarında perde duvarlar teste tabi tutulmuştur. 2440 mm × 1830 mm numunelerin test edilmesinin amacı duvarların kesme dayanımı ve düktelite açısından performansını artırırken, kolon ve kiriş göçmesini önlemek için sismik ayrıntılı önlemleri tespit etmek olmuştur. Bunu yapmak ve flanşların bozulmasını önlemek için profiller farklı yerlerde berkitme kullanılarak desteklenmiştir. Bu incelemelerde çerçeve kalınlığı 1,09 mm ile 1,37 mm arasında değişirken, sac kalınlığı 0,68 mm ile 0,84 mm arasında değişmiştir. 2440 mm × 1830 mm ölçülerindeki tüm numuneler çelik levha ile sınır çerçevesi arasında 50 mm'lik tek tip bir vida aralığında olmuştur. Yu ve Chen (2009) yaptıkları çalışmada kuşaklama elemanlarının kullanılmasının perdelerin hem kesme dayanımını hem de düktilitesini arttırdığını bulmuşlardır. Bununla birlikte 0,84 mm sac ve 1,37 mm çerçeveden yapılan 2440 mm × 1830 mm perde duvarların istenen davranışı için berkitme kullanımına ihtiyaç duyulmamıştır.

Yu ve Chen (2009) tarafından yapılan araştırmanın ardından Kanada'daki McGill Üniversitesi'nde Ong - Ton (2009) ve Balh (2010) tarafından kapsamlı bir araştırma programı yapılmıştır. Test numuneleri Yu et al. (2007) ve Yu ve Chen (2009) tarafından yapılan çalışmalarda kullanılanlarla karşılaştırılabilir bir perde duvar yapısı ile oluşturulmuştur. Perde duvarda yalnızca bir tarafta kaplama yapılmıştır. Numune numuneleri bir dizi farklı spesifikasyon (özellikle 18 farklı parametre seti) kullanılarak oluşturulmuştur. Bu parametreler; duvar en boy oranlarını (1:1, 2:1 ve 4:1), sac kalınlığını, çerçeve kalınlığını, berkitmeler ve

bağlantı elemanı aralığını kapsamaktadır. Çerçeve kalınlıkları 0.84 mm ve 1.09 mm olarak ölçülürken çelik sac kalınlıkları 0,46 mm ve 0,76 mm olarak ölçülmüştür. Bazı durumlarda berkitmeler duvarın yüksekliğinin dörtte biri aralıklarla yatay olarak konumlandırılmıştır. Bu düzenlemenin amacı merkez dışına yerleştirilen çelik sadece bir çekme alanının oluşturulmasından kaynaklanan kolonun bükülmeyi azaltmayı amaçlamıştır. Ong - Tone (2009) ve Balh (2010) tarafından değerlendirilen toplam 54 numune incelenmiştir. Kesme duvarının bildirilen göçme modları, bağlantı elemanlarının çekilmesinden ve çelik sac - çerçeve bağlantılarında sac kenarının yırtılmasından kaynaklandığını gösteren önceki çalışmalarla uyumlu olmuştur. Perde duvarların kesme dayanımı bağlantı elemanlarının aralığından ve ayrıca levhaların çerçevesi ve kalınlığından etkilenmiştir. Bağlantı elemanı aralığının azaltılması ve daha kalın çerçeve ve sac levha kullanılması kesme dayanımının artmasına neden olmuştur. Berkitme elemanlarının dahil edilmesinin kolon göçmesini azalttığı ve perdelerin kesme dayanımını arttırdığı açıklanmıştır.

McGill Üniversitesi hafif çelik perde duvarlarının hem yanal hem de düşey yüklerine maruz kaldığında kolon göçmesini önlemedeki etkinliğini incelemek için bir takip çalışma programı yürütülmüştür (DaBreio, 2012). DaBreio (2013) tarafından yürütülen araştırma programı Hikita (2006) tarafından ahşap kaplama ile yanal ve düşey yükünün hafif çelik duvarları üzerindeki etkisine ilişkin daha önceki araştırmaya dayandırılmaktadır. Ankrajlardaki çekme kuvvetinin yatay bileşeninin neden olduğu numuneye herhangi bir ek yanal yüklenmeyi önlemek için numune yanal olarak yer değiştirdiğinde Hikita (2006) tarafından kullanılan yerçekimi yükleme mekanizmasında değişiklikler yapmıştır. DaBreio (2013), Balh (2010) ve Ong - Ton (2009) tarafından daha önce yapılan çalışmaların bu amaçla berkitme kullanımını inceledikten sonra ince berkitme elemanlarını daha kalın olanlarla değiştirerek profillerde burkulma önleme konusunu ele almıştır. Bu çalışmada 2440 mm × 1220 mm ölçülerinde 14 perde duvar örneği test edilmiştir. Çalışmada bağlantı elemanı aralığının yanı sıra farklı çerçeve ve kaplama kalınlığı biçimleri incelenmiştir. Çerçeve kalınlıkları 1,09 mm ve 1,37 mm, sac kalınlıkları ise 0,46 mm ve 0,76 mm olarak ölçülmüştür. Duvarlar, 50 mm, 75 mm, 100 mm ve 150 mm'lik bağlantı elemanları aralıkları kullanılarak imal edilmiştir. Önceki araştırmalarla tutarlı olarak numuneler CUREE ters replikasyon prosedürü kullanılarak hem monotonik hem de döngüsel teste tabi tutulmuştur. Çelik sacın yırtıldığı ve vida bağlantısının söküldüğü kaplamadan çerçeveye bağlantılarda belirgin göçme mekanizmaları gözlemlenmiştir. Sonuçlar DaBreio (2013), Balh (2010) ve Ong - Tone (2009) tarafından yapılan ve daha küçük bağlantı elemanı aralığı ve daha kalın çelik sac ile numunelerin kesme dayanımının arttırdığı sonucuna vardıkları çalışmalarla eşleştirilmiştir. Artan kesme dayanımına ve iyileştirilmiş enerji

dağılımına rağmen berkitme elemanlarına sahip duvarlar, Balh (2010) tarafından incelenen berkitme numunelerine kıyasla düktelitede bir azalma göstermiştir.

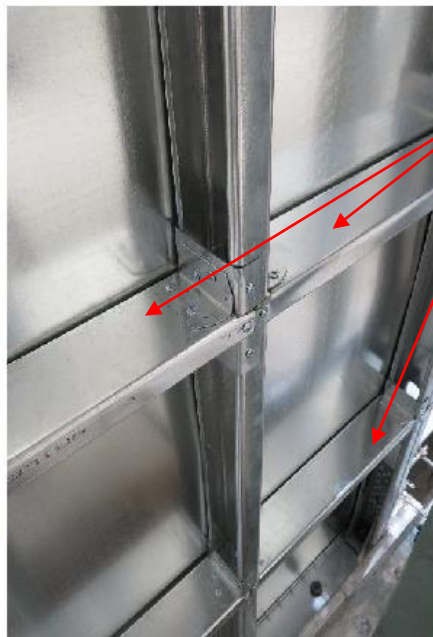
Shamim (2012), numunelerin tasarımını belirlemek için Balh (2010), Ong - Ton (2009), Yu et al. (2007) ve Serrette et al. (1997)' nın test verilerini kullanarak bu spesifik hafif çelik kesme duvarları üzerinde dinamik testler gerçekleştirmiştir. Kanada'da çelik kaplamalı hafif çelik perde duvarlar için özel tasarım gereksinimlerinin bulunmadığı göz önüne alındığında, Shamim'in öncelikli amacı, Kanada Ulusal Yapı Yasası (NBCC) ve AISI S213 Standardına (şimdi AISI S400 Standardı) dahil edilebilecek sismik tasarım hükümleri sağlamak olmuştur. Sarsma tablasında toplam 10 adet tam ölçekli tek ve çift katlı hafif çelik perde duvar test edilmiştir. Numune numuneleri 1220 mm × 2440 mm boyutlarında 0,46 mm veya 0,76 mm kalınlığında kaplama kullanılarak oluşturulmuştur. Tek katlı yapının duvarları 1,09 mm kalınlığında çerçeve elemanları kullanılarak inşa edilmiştir. Buna karşılık çift katlı yapının duvarları 1,09 mm, 1,37 mm veya 1,73 mm kalınlığında çerçeve elemanları kullanılarak oluşturulmuştur. Kaplama aralık değiştirme programı ile 8 numaralı vidalar kullanılarak çerçeveye tutturulmuştur. Numuneler rayların kalınlığına uyan çerçeve engelleme elemanları kullanılarak oluşturulmuştur. Daha önce DaBreio (2013) tarafından incelenen bu yaklaşım giriş profillerinde bükülme hasarını en aza indirmek ve duvarların kesme dayanımını artırmak için kullanılmıştır. Numuneler Kanada'da sismik tehlikeleri simüle eden darbe testi, harmonik cebri titreşim testleri ve yer hareketi testlerine tabi tutulmuştur. Dinamik deney, kırılma mekanizmaları ve sismik performans bulguları, önceki çalışmada statik koşullar altında (hem monotonik hem de döngüsel olarak) daha önce incelenen perde duvarlarla uyumlu olduğu bulunmuştur. Birincil göçme türleri kaplama ve çerçeve arasındaki bağlantılarda yani vidanın çekilmesi ve kaplamanın yırtılması durumlarında tespit edilmiştir. Profiller gerilme alanının neden olduğu basınç ve düzlem içi yanal gerilmelerden zarar görmesine karşılık bu hasar perde duvarların genel performansını olumsuz yönde etkilememiştir. Berkitmenin perde duvarların kesme dayanımını önemli ölçüde artırdığı ve 50 mm'lik bir bağlantı elemanı aralığına sahip numunelerde yaklaşık % 50 'lik bir artışa neden olduğu bulunmuştur. Çalışmanın deneysel kısmına takiben dinamik olarak test edilen numunelerden elde edilen veriler dikkate alınarak perde duvarların sayısal simülasyonu yapılmıştır. OpenSees programı sayısal modeller üretmek ve test edilen perde duvarların sismik performans tahminini değerlendirmek için çeşitli zemin hareketleriyle doğrusal olmayan dinamik analizleri yapmak için kullanılmıştır. Tüm çelik kaplamalı perde duvarların C profilli değerlendirmeleri, histerezis tepkisi, mukavemet tepkisi ve yer değiştirme tepkisi açısından test sonuçlarıyla tutarlı sonuçlar vermiştir. Sayısal modelleme ve kalibrasyonun ayrıntıları Shamim ve Rogers (2013)' te verilmiştir.

Ayrıca Mohebbi (2015) tarafından tek ve çift taraflı çelik saclardan yapılmış hafif çelik perde duvarlar üzerinde bir çalışma yürütülmüştür. Altı adet hafif çelik perde duvar numunesi üzerinde döngüsel yükleme testleri yapılmıştır. Deneylerde çelik levha burkulması, kaplama - çerçeve bağlantısının hasarı ve profil burkulması gözlenmiştir. Kaplama bağlantı hasarı sergileyen duvarlar anlık profil burkulmasına maruz kalan duvarlara kıyasla daha fazla enerji sönümlemesi göstermiştir. Çift taraflı levhaların tek taraflı levhalar kullanan duvarlara kıyasla enerji sönümlemesini, kesme dayanımını ve elastik rijitliğini sırasıyla % 70, % 63 ve % 115 'e kadar arttırdığı görülmüştür.

Xie (2018) tarafında monotonik ve tekrarlı tersinir yükleme altında perçin bağlantılara sahip hafif çelik perde duvarlarının performansını incelemek için bir deney gerçekleştirilmiştir. Çalışmada hafif çelik yapılar için yeni bir bağlantı tipi sunulması amaçlanmıştır. Çelik sac kenarlarında yükleme tipi (monotonik yada çevrimsel), perçin aralığı, çerçeve bağlantılarında perçin sayısı, eksenel basınç oranı ve çelik kaplama çeşitlerinin (çelik sac ve oluklu çelik sac) perde duvarlarının mekanik davranış ve göçme mekanizmaları üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Perçin bağlantılar kullanan perde duvarlarının kesme dayanımı, elastik rijitliği ve düktilitesi vidalı bağlantılar kullanan perde duvarlarının sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Araştırmalar levhanın kenarları boyunca perçinler arasındaki mesafesinin perde duvarlarının göçme mekanizmalarını ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir bileşen olduğunu göstermiştir. Kesme dayanımı ve nihai deformasyon arasındaki korelasyon perçin aralığı arttıkça doğrusal bir düşüş göstermiştir.

Zhang (2019) tarafından perçinli hafif çelik perde duvarları ile ilgili deneysel bir araştırmayı içeren bir çalışma yürütülmüştür. Deney farklı yükleme koşulları altında performanslarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için bu duvarları hem monoton hem de ters çevrimsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Çalışma yükleme yönteminin ve duvarın boşluk oranının perde duvarların davranış ve göçme mekanizmalarına etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonuçlarında boşluklara sahip perde duvarlarda görülen en yaygın göçme modlarının boşlukların kenarlarında sac burkulması ve bağlantı göçmesi olduğunu gösterilmiştir. Önemli bir şekilde boşluk oranı arttığında perdenin hem kesme dayanımında hem de rijitliğinde eş zamanlı bir düşüş olmuştur. Araştırmada ayrıca duvar boşluklarının duvarların düktilitesini arttırmada yararlı bir etkiye sahip olduğunu gösterilmiştir. Bununla birlikte boşluk oranı % 38,9 'u aştığında düktilitesinin azalabileceği gösterilmiştir. Bu gözlemler boşlukları kendinden olan delmeli perçinli hafif çelik perde duvarların çeşitli yükleme durumlarına ve boşluk biçimlerine nasıl tepki verdiğine dair yapısal davranışlarının daha ayrıntılı şekilde anlaşılmasını olanak sağlamıştır.

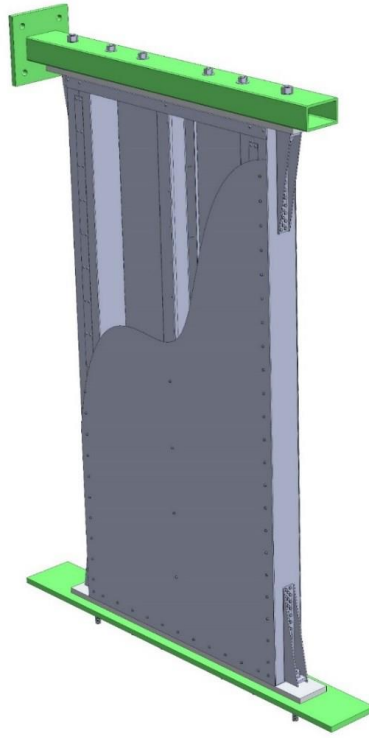
Perde duvarlarla ilgili literatür taraması McGill Üniversitesi'nde (Brière ve Rogers, 2018; Rizk ve Rogers, 2018) yenilikçi tasarımlara sahip çelik sac kaplamalı hafif çelik perde duvarlar üzerinde yapılan deneyleri kapsamaktadır. Bu testlerde numunelerin daha yüksek dayanım ve düktelite performansına ulaştığı gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada çelik perde duvar sistemleri çift taraflı kaplamalı perde duvarlar ve merkez kaplamalı perde duvarlardan oluşan güçlendirilmiş çerçeveli perde duvarlardan oluşmaktadır. Ancak DaBreo (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, berkitmeli perde duvarların kaplama-çerçeve bağlantılarında vida aralığı 50 mm olan numunelerin dayanımında %50'lik bir artış ve vida aralığı 50 mm'den yüksek olan numunelerin dayanımında %35'e kadar artış bulunmuştur. Rizk ve Rogers (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, hafif çelik perde duvarların daha güçlü çerçeve sistemleriyle etkinliği analiz edilmiştir. Şekil 20, Rizk ve Rogers (2018) tarafından test edilen bir perde duvar sisteminin yenilikçi bir bileşimini göstermektedir. Bu duvarlar 2,46 mm kalınlığındaki dikmeler, başlıklar ve berkitme elemanlarından oluşmaktadır. Çalışma, berkitme elemanlarının uygulanmasının perde duvar sistemlerinin düzlem dışı deformasyonunu etkili bir şekilde kısıtlamadığını bulunmuştur. Bununla birlikte, berkitme elemanlarının kullanılması dikmedeki deformasyonu etkili bir şekilde azaltmış ve perde duvar dayanımında önemli bir artış sağlamıştır. Ayrıca analiz, berkitmeli perde duvarların berkitmesiz perde duvarlara göre daha az yanal ötelenme gösterdiği gözlenmiştir. Perde duvardaki yanal ötelenmesinin birincil nedeni, kaplamadaki vida bağlantılarının deformasyonuna ve eksantrik yükün neden olduğu profillerin burkulmasına bağlanmaktadır. Berkitme kullanımı, dikmelerin dönme hareketini etkili bir şekilde önleyerek perde duvar sisteminin yanal yer değiştirmesini azaltır.



Şekil 20. Rizk ve Rogers (2018) tarafından test edilen çelik sac kaplamalı hafif çelik perde duvar

Ayrıca Brière et al. (2018) ve Santos et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada çift taraflı kaplamalı ve merkez kaplamalı hafif çelik perde duvarlar üzerindeki son deneylerden elde edilen bulguları sunulmuştur. Ancak çift taraflı kaplamanın kavramı yeni değildir; AISI S400-20'ye göre, duvarın her iki tarafındaki kaplamanın ve bağlantı elemanlarının düzenliliğini sağlayarak çift taraflı kaplamalı perde duvar tek taraflı kaplamalı perde duvara göre iki katına kadar kesme dayanım sağlar. Öte yandan, merkezde kaplanmış bir perde duvarın amacı, kaplamanın ve çerçeve arasındaki bağlantıların yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini artırmaktır.

Şekil 21, çift kaplamalı perde duvarını göstermektedir. Perde duvar çerçevesi kutu kesitli profillerden yapılmıştır ve bu perde duvarlarda perdenin kesme dayanımını arttırmak için çift kaplama kullanılmıştır. Ayrıca Şekil 22'de merkezi bir çelik sac kaplama ile üretilmiş bir perde duvarını görülmektedir. Bu perde duvar, dikmeler, başlıklar ve çekme tutuculardan oluşan güçlendirilmiş bir çerçeve içeren son derece dayanıklı bir tasarım kullanılarak inşa edilmiştir.



Şekil 21. Brière ve Rogers (2018) tarafından test edilen çift taraflı hafif çelik perde duvar detayları



Şekil 22. Brière ve Rogers (2018) tarafından test edilen merkez sac kaplamalı hafif çelik perde duvar detayları

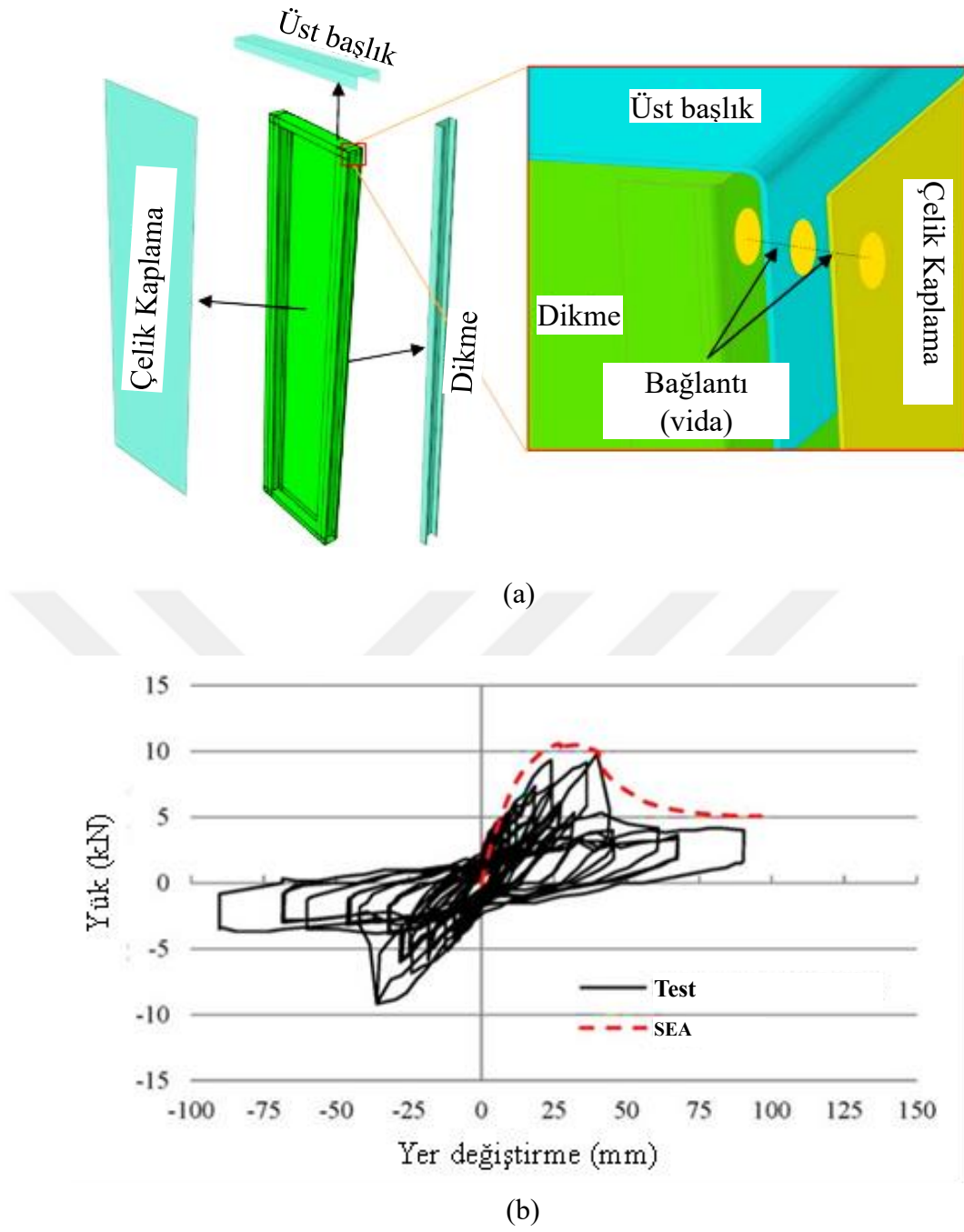
Merkezi kaplama, perde duvarın kesme dayanımını büyük ölçüde artırır ve çerçeve - kaplama bağlantılarının yükünü etkili bir şekilde destekleyerek perde duvarın rijitliğini artırmaktadır. Perde duvar yapısında berkitmeli bir çerçevenin kullanılması, tek kaplamalı perde duvarlar için AISI S400-20'ye göre tasarlanmış kesme dayanımına daha yüksek bir dayanım seviyesi gösterir. Ancak çift kaplamalı perde duvarlar ve merkez kaplamalı perde duvarlar, tek kaplamalı perde duvarlar için tasarım kılavuzlarında (AISI S400-20) belirtilen mevcut maksimum değere (30,43 kN) yaklaşık iki kat ve dört kat daha yüksek kesme dayanımları göstermektedir.

Hafif çelik perde duvarların sayısal çalışmaları

Abaqus son yıllarda hafif çelik elemanlarının modellenmesi için yaygın olarak kullanılan gelişmiş ve değerli bir sonlu elemanlar yazılımıdır (DaBreo, 2014). Ayrıca Abaqus platformu yanal yüklemeye maruz kalan hafif çelik perde duvar sistemlerinin modellenmesi için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Niari et al. (2015) çift taraflı alçı panelli perde duvarının davranışını irdelemek amacıyla sonlu elemanlar modeli oluşturmak için Abaqus hesaplama aracını kullanmıştır. Çalışmanın doğrusal olmayan analizlerde iki yük fazı kullanılmıştır; birisi artık gerilimi dikkate almak için ve diğeri yanal yük uygulamak için. Çalışma ayrıca vida bağlantısındaki tiplerin etkilerini ve alçı panel bağlantı elemanlarının aralık ve kalınlığının etkisini analiz etmek için parametrik araştırmaları yürütmüştür. Attari et al. (2016) tek ve çift taraflı çelik kaplama kullanarak hafif çelik perde duvarlarının monotonik yükleme etkisi altında

modellemesini gerçekleştirmiştir. Çalışmada deney verileriyle eşleşmesi için numunelerin sınır koşulları ve malzeme özellikleri hassas bir şekilde simüle edilmiştir. Ayrıca itme (pushover) analizini gerçekleştirmeden önce, sayısal modellerde ilk burkulmayı oluşturmak için çelik kaplamanın orta noktasına yatay yönde 10 mm'lik yer değiştirme uygulanmıştır. Sonuçların, burkulma sonrası sonuçlar, tepe yükü ve elastik rijitliği açısından test verileriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 23'de sonlu eleman modelini gösterirken sayısal ve deneysel sonuçların kıyaslanması sağlanmaktadır.

Başka bir çalışmada Nie (2020) çelik kaplamalı hafif çelik perde duvar panellerinin sismik performansını incelemek için doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli kullanmışlardır. Çalışmada sonlu eleman modelleri hem geometrik hem de malzeme doğrusal olmadığı durumu kapsamaktadır. Ancak sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen maksimum yük-deplasman değerlerinin deneysel verilere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak sayısal modellerle eşleşen deneysel numunelere göre daha yüksek elastik rijitliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan sayısal yöntem, kesme dayanımı, rijitlik ve göçme modları açısından sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiden de görülebileceği gibi, hafif perde duvarın sismik tepkisini doğru bir şekilde simüle etmiştir.

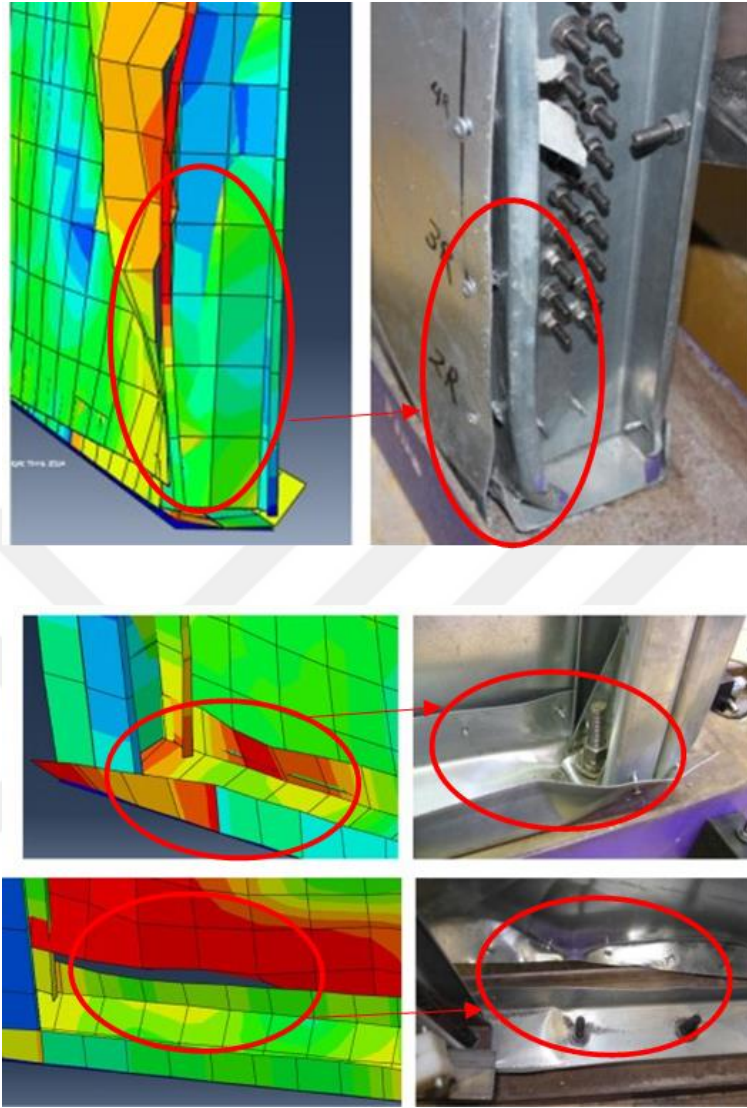


Şekil 23. (a) Sonlu eleman modeli, (b) yanal yük yer değiştirme (deneysel ve sayısal) Nie (2020)

Şekil 24, Niari et al. (2015) tarafından yapılan modellemenin deneysel göçme moduna karşı sayısal göçme modunu görülmektedir.

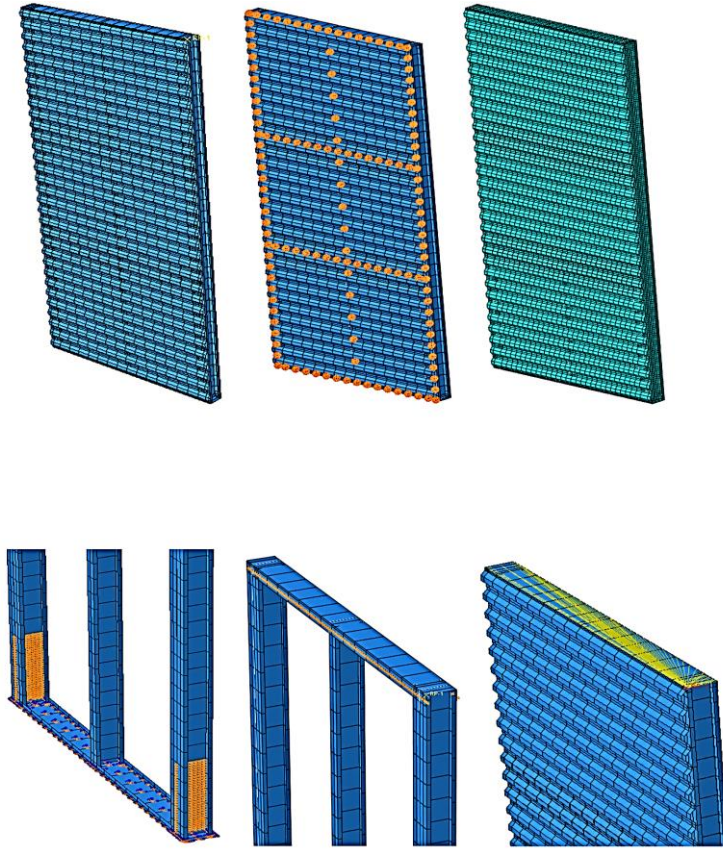
Ayrıca Borzoo et al. (2016) çelik kaplamalı perde duvarların rijitliğini, dayanımını ve göçme modlarını değerlendirmek için sayısal bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, duvar yüksekliği, çelik sac kalınlığı, vida aralığı ve çerçeve elemanın kalınlığı gibi çeşitli perde duvar özelliklerini araştırmak için parametrik analiz yapılmıştır. Borzoo (2016) tarafından yapılan çalışmada hafif çelik çelik kaplamalı perde duvarların davranışları incelenmiş ve tepki

özellikleri değerlendirilmiştir. Araştırmacılar ayrıca kullanılan sayısal tekniğin hassasiyetini de incelemişlerdir.



Şekil 24. Sonlu eleman ve deneysel numunelerde göçme modları (Niari et al., 2015)

Liu (2014) oluklu çelik levhalar da dahil olmak üzere hafif çelik perde duvarlarının yapısal verimliliğini değerlendirmek için nicel bir mikro yöntem geliştirmiştir. Bu yaklaşım, oluklu levhayı iki elastik modüllü düz bir kılıf plakası olarak düşünerek basitleştirir. Bu basitleştirme daha kolay hesaplama ve analiz yapılmasına olanak sağlamaktadır. Sayısal yöntemi doğruladıktan sonra, duvar panellerinin yapısal performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için eşdeğer levha için çeşitli parametreler kullanılmıştır. Yu et al. (2010) oluklu çelik kaplamalı perde duvarların kesme dayanımlarını belirlemek için sayısal analizleri gerçekleştirmiştir. Modelleme prosedürü Şekil 25'te gösterilmektedir. Model perde duvarının davranışını maksimum yük ve elastik rijitliği noktasına kadar doğru bir şekilde simüle etmesine rağmen testin gösterdiği maksimum yükteki yer değiştirme ile sayısal yöntem kullanılarak elde edilen değerler arasında ihmal edilebilecek ölçekte tutarsızlık göstermiştir.



Şekil 25. Oluklu hafif çelik perde duvarlar modellemesi (Liu, 2014)

Hafif Çelik Yapma Kolonları

Hafif çelik yapma kolonlar üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda önemli bir artış olmuştur. Hafif çelik kolonlar için mevcut tasarım yönergelerin kapsamı yetersiz ve sınırlı bilgi sunmaktadır. AISI - S100 (2016) standart elastik global burkulma yükünü her profil için değiştirilmiş bir genel narinlik oranının kullanılmasını önermektedir. Bu bireysel bağlantı elemanlarının aralığının neden olduğu kesme rijitliğindeki azalmayı ele almak için tasarlanmış olsa da diğer burkulma modları üzerindeki bu etkiyi hesaba katmak için herhangi bir yönerge verilmemiştir. Çeşitli araştırmacılar hem deneysel hem de sayısal araştırmaları kullanarak yapma hafif çelik elemanların stabilite davranışlarını değerlendirmek için farklı yöntemler önermişlerdir. El Aghoury (2010) tarafından I ve kutu kesitleri olmak üzere yapma kesitler üzerinde deneysel araştırmalar yapılmıştır. Bu kesitler çift berkitmeli profilin birbirine bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı yerel – genel (global) burkulma arasındaki ilişkiyi irdelenmek olmuştur. El Aghoury (2013) berkitilmesiz elemanlarının etkinliğini değerlendirmek için profilleri arka arkaya bağlayarak oluşturulan I - şeklinde bir kesit kullanmıştır. Söz konusu araştırmalar hafif çelik elemanların hem berkitmeli hem de berkitmesiz bileşenleri için tek tip bir tasarım yaklaşımının geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır.

Stone (2005) tarafından çalışmalarında arka arkaya birleştirilen profil kesitleri üzerinde deneyler yapılmıştır. AISI (1980) tarafından önerilen tasarım global burkulmasına sınırlamak için gereken dayanımı konservatif olduğunu bulmuşlardır. Kim (2006) iki profilden yapılan vidalı bir yapı I kesitinin maksimum dayanımını değerlendirmek için deneysel araştırmalar yapmıştır. Young (2008) elde edilen deneysel verileri kullanarak berkitmeli ve berkitmesiz yapma I kesiti için etkili genişlik yöntemi ve doğrudan rijitlik yöntemi olmak üzere iki tasarım yaklaşımının etkinliğini araştırmak için sayısal bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Megnounif (2008) çalışmalarında flanştan flanşa birleştirilmiş sonlu elemanlar ağı berkitmeli profil kesitlerinden oluşan sabit mesnetli yapma kutu kesitleri üzerinde bir grup deney gerçekleştirmiştir. Mevcut tasarım denklemlerini (AISI - S100, 2016) kullanarak nihai dayanımın bir tahminini sağlayan kritik burkulma gerilmesini her profil için tek bir kesitin kesit özellikleri kullanılmıştır.

Whittle ve Ramseyer (2009), yüz yüze kaynaklı profil kesitleri ile üretilen kolonlar üzerinde deneysel araştırma yapmışlardır. Bu kesitler AISI - S100 (2016)'da tanımlandığı gibi değiştirilmiş bir narinlik oranı kullanarak dayanım tahmini sergilemiştir. Schafer (2011) başlangıçta Whittle ve Ramseyer (2009) tarafından test edilen numune üzerinde hem esnek hem de rijit berkitmeler kullanarak deneyler yapmışlardır. Araştırmalarının amacı çeşitli sınır koşullarının etkisini araştırmak olmuştur. Piyawat (2011) normal ve artan sıcaklıklar altında vidalı sac bağlantılarında bağlantı elemanlarının özelliklerini anlamak için sayısal bir araştırma yapmıştır. Satpute (2012) yeni tip kolonların davranışını araştırmak için deneysel araştırma yapmıştır. Bu kolonlar üç ila dört berkemtesiz ve berkitmeli profil kesitinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Araştırmacılar ayrıca bu kolonlardaki yerel - global burkulma etkileşimleri için denklemler geliştirmişlerdir.

Ellobody (2013) çalışmalarında flanş ve gövde berkitmeli profil kesitleri ile arka arkaya bağlanan I kesiti üzerinde bir grup deney gerçekleştirmişlerdir. Bu deney düzeneği Megnounif (2008) tarafından yapılan çalışmanın devamı niteliğinde olmuştur. Deney elemanları eksenel basınca maruz kalan sabit mesnetli yapma kolonları içermiştir. Craveiro (2014) yapma kolonlar üzerinde deneysel bir araştırma yapmıştır. Çalışmada değişen genel narinlik oranlarına ve genişlik - kalınlık oranlarına sahip numuneler incelenmiştir. Numune öncelikle yerel burulma ve global burkulma etkileşimlerinde olmak üzere birçok etkileşim tipinde göçme gerçekleşmiştir. Muftah (2014) yığılmış kesitlerin burkulma kapasitesi üzerinde deneysel ve sayısal araştırmalar yapmıştır. Boşluklu profil kesitlerini kaynaklarla birleştirerek inşa edilen yapma I ve kutu kesitlerine odaklanmışlardır. Anbarasu (2014) tarafından ara parçaların birikim I kesitin dayanımı üzerindeki etkisini incelemek için parametrik bir araştırma yürütülmüştür.

Yuan (2014) çeşitli vida düzenlemelerinin yapma kutu kesitleri üzerindeki etkisini incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca tasarımdaki bağlantı elemanları için uygun boşluklar önermişlerdir. Anbarasu (2015) vidalı bağlantı elemanlarının bir malzemenin genel elastikiyeti üzerinde oluşturduğu birleşik etkiyi araştırmışlardır. Liao (2015) düz profil kesitlerinden oluşan yapma kolonlarında deneysel ve sayısal incelemeler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar daha sonra belirlenen tasarım standartları ile karşılaştırılmıştır.

Anbarasu (2020) berkitmeli ve berkitmesiz yapma kolonlar üzerinde kapsamlı deneysel ve sayısal araştırmalar gerçekleştirmiştir. Araştırmaları vida aralığının etkisinin analizini kolon profilleri arasındaki kompozit etkinin değerlendirilmesini ve çeşitli narinlik oranlarının yapma kolonlar üzerindeki etkisinin incelenmesini kapsamıştır. Dubina (2015) boyuna berkitmelerle yapılmış boşluklu kesitli kolonlar üzerinde sayısal bir çalışma yapmış ve doğrudan dayanım yöntemine dayalı olarak geliştirilmiş tasarım denklemleri önermiştir. Ma. (2016) farklı uzunluklarda I kesit kolonlar üzerinde deneyler yapmış ve yeni tasarım denklemleri önermişlerdir. Selvaraj (2019) hafif çelik I kesitlerde farklı kalınlıkların, aralıkların ve vida aralıklarının etkilerini inceledikleri bir çalışma yapmıştır. Daha sonraki bir çalışmada ise Roy (2019) önceki araştırmalarını genişletmek için sayısal verileri kullanmış ve doğrudan dayanım metodu alanındaki yapma kutu kesit kolonları için bir tasarım tekniği önermişlerdir. Dar (2018) deneysel ve sayısal araştırmaların bir kombinasyonunu kullanarak iki profildan oluşan yapma bir kutu kesitenin yapısal bütünlüğü değerlendirilmiştir.

Kherbouche (2019) imal edilen I ve kutu kesitleri üzerinde deneysel ve sayısal analizleri gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar bağlantı elemanları arasındaki mesafenin yapma kolonların maksimum dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Buna ek olarak mevcut tasarım tekniklerini değerlendirdiler ve biriken kısımların dayanımını değerlendirmek için yeni bir tasarım metodolojisi önermişlerdir. Dar (2021) yerel ve global burkulma arasındaki ara bağlantıları araştırmak için profillardan oluşan yapma I kesit kolonları üzerinde deneyler yapmış ve uygun tasarım yöntemleri sunmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin bu bölümünde yatay yük altında hafif çelik perde duvarların kesme davranışları incelenirken hafif çelik yapma kolonların ise eksenel yük altında yapısal davranışları incelenmiştir. Bu davranışların sayısal incelenmesinde kullanılan analiz özellikleri ve teknikleri (malzeme özellikleri, eleman tipleri, ağ özellikleri, bağlantı elemanlar vb.) detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca hafif perde duvarların ve kolonların geometrik özellikleri, sonlu eleman modelleme tekniği, analiz prosedürü ve parametrik çalışmaların özellikleri bu bölümde yer almaktadır. Tez çalışmasında biri modeli doğrulanmış numune olmak üzere toplam 22 adet hafif çelik perde duvarı modellenmiştir. Kaplama-çerçeve birleşimi ve levha kalınlığı farklı olan numunelerden 6 adet, berkitmeli olan numunelerden 7 adet ve boşluklu olan numunelerden 9 adet analiz edilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında 5 tanesi model doğrulama numunesi olmak üzere toplam 365 adet yapma kolon modellenmiştir. “Yöntem” başlığı altında hafif çelik perdelerde ve yapma kolonlarda kullanılan sonlu eleman yöntemi, modelleme tekniği, yükleme prosedürleri ve hedeflenen parametreler açıklanmıştır.

Yöntem

Bu bölümde hafif çelik perde duvar sistemleri ve hafif çelik yapma kolonlarını analizi için kullanılan sonlu eleman model özellikleri ve yöntemi sunulmaktadır. İlk aşamada doğrulama için kullanılan modeller ABAQUS yazılım paketi kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonraki aşamada modeller literatürde mevcut olan deneysel araştırmalardan elde edilen verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. En son aşamada ise hafif çelik perde duvarların yanı sıra hafif yapma kolonların performansı üzerinde önemli parametrelerin ne ölçüde etkili olduğunu belirlemek amacıyla parametrik çalışmalar yapmak için doğrulanmış sayısal modellerden yararlanılmıştır.

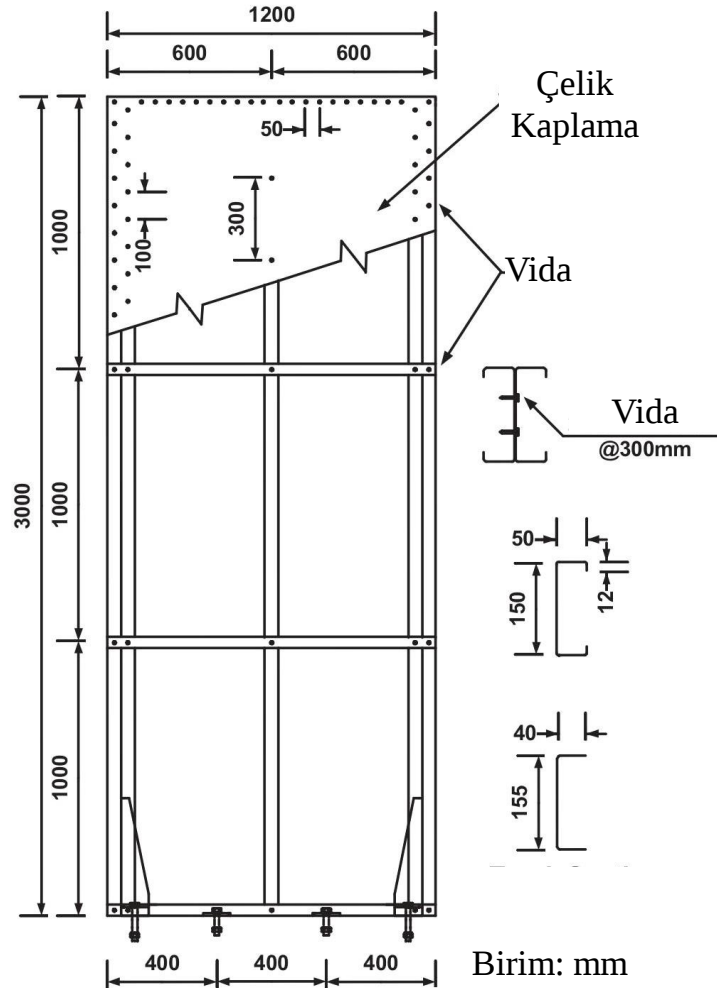
ABAQUS özellikle çelik yapıların sonlu elemanlar analizi için yapı mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan güçlü bir yazılımdır. ABAQUS yapısal analiz için çok çeşitli yazılım araçları kullanarak araştırmacıların ve mühendislerin farklı yapısal tasarımlar ve analizler yapılmasını sağlamaktadır. ABAQUS farklı bileşenlerde yapısal bütünlük, yük taşıma kapasitesi ve deformasyon özellikleri dâhil olmak üzere çelik yapıların çeşitli yönlerini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu yazılım malzemenin doğrusal olmayan davranışını modelleme özelliği ile ön plana çıkmaktadır. Bu özellik çelik yapıların çeşitli yük koşulları altındaki davranışlarını analiz etmek için kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca ABAQUS

hafif çeliğin özelliklerini yansıtmak için etmek için çeşitli araçlar sağlar. Yazılım hafif çelik elemanların yapısında bulunan malzeme özelliklerini ve geometrik biçimlerini doğru bir şekilde modellenmesini sağlar.

Hafif çelik perde duvarların modelleme prosedürü

Çalışmanın bu bölümünde ABAQUS sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak hafif çelik perde duvarlar doğrusal olmayan elastik - plastik sayısal model dikkate alınarak modellenmiş ve analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak modelleme ve analiz prosedürünü doğrulamak için literatürde (Mohebi, 2015) var olan deneysel çalışmalardan bir hafif çelik perde duvarı seçilmiştir. Bu numune, boyutları ve özellikleri bu çalışmadaki parametrik çalışma numunelerine yakın olduğu için seçilmiştir.

Doğrulama için kullanılan numunenin özellikleri



Şekil 26. Model doğrulama için kullanılan deneysel numunenin detayları (Mohebbi, 2015)

Hafif çelik perde duvarın modellemesine doğrulamak için seçilen ilk numune Mohebbi'nin (2015) deneysel bir çalışmasına dayanarak oluşturulmuştur. Seçilen perde duvarın

yüksekliği 3000 mm duvarın genişliği ise 1200 mm'dir. Kolonlar için kullanılan profil kesitleri 150 mm gövdeli, 50 mm flanşlı ve 1,25 mm kalınlığında C tipi profillerdir. Alt ve üst başlık ile berkitme elemanları 155 mm gövde, 40 mm flanş ve 1,25 mm kalınlığında U profillerden oluşmaktadır. Perde duvar 0,8 mm kalınlığında çelik sac ile kaplanmıştır. Bu çalışmanın doğrulanmasını sağlamak için kullanılan hafif çelik perde duvarının geometrisi Şekil 26'da görülmektedir.

Malzeme özellikleri

Perde duvarın malzeme özellikleri Mohebi (2015) makalesinden alınmıştır. Tablo 2 numunenin materyal özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2. Çelik Sac ve Çerçeve Malzeme Özellikleri

Eleman	Kalınlık	Akma Dayanımı F_y (MPa)	Çekme Dayanımı F_u (MPa)	F_u/F_y	Uzama Oranı (%)
Çelik levha	0,8 mm	351	388	1,11	30
Profiller	1,25 mm	263	305	1,16	29

ABAQUS'ta doğrusal olmayan bir analiz yapılırken gerçek gerilme ve gerçek şekil değiştirme dikkate alınarak malzemenin gerilme - şekil değiştirme eğrisinin girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Tablo 2 'de sunulan değerler denklem 1 ve 2 kullanılarak gerçek gerinimlere ve gerçek şekil değiştirmelere dönüştürülmüştür. Denklem 1 ve 2 mühendislik açısından gerilme ve şekil değiştirme dayalı olarak malzemenin gerçek gerilme ve gerçek şekil değiştirme davranışını benzeştirmek için kullanılmaktadır (Phama ve Hancockb, 2010).

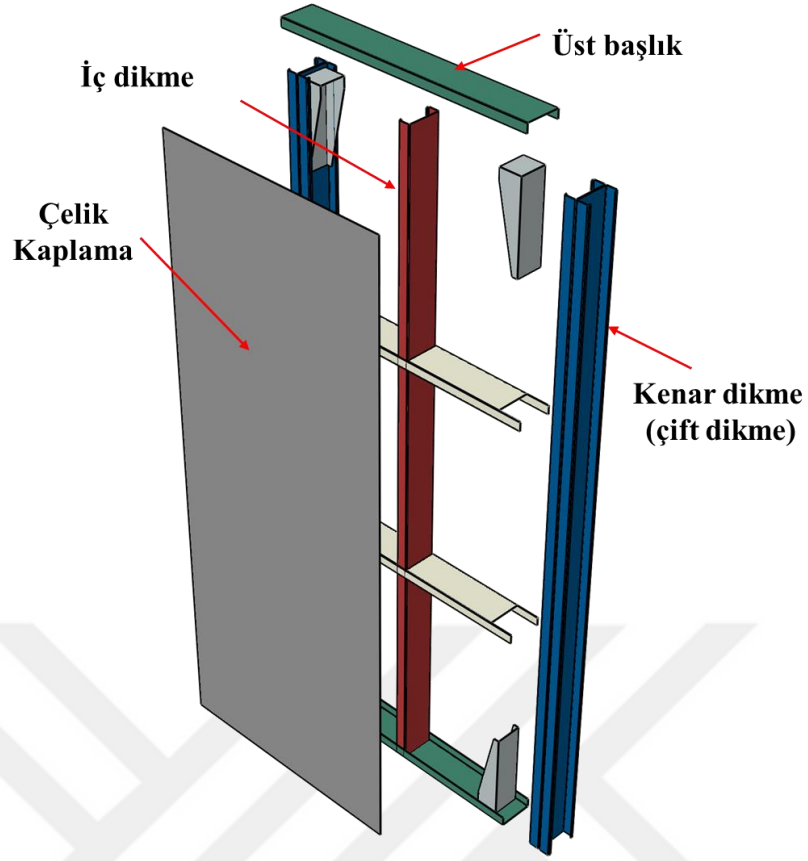
$$\sigma_{true} = \sigma(1 + \epsilon) \quad (1)$$

$$\epsilon_{true} = \ln(1 + \epsilon) - \frac{\sigma_{true}}{E} \quad (2)$$

Bu denklemlerde; σ gerilme, ϵ şekil değiştirme ve E Young modülüdür.

Perde duvar elemanların modellenmesi

Çelik levha ile kaplanmış hafif perde duvarların elemanları Şekil 27'de gösterilmiştir.

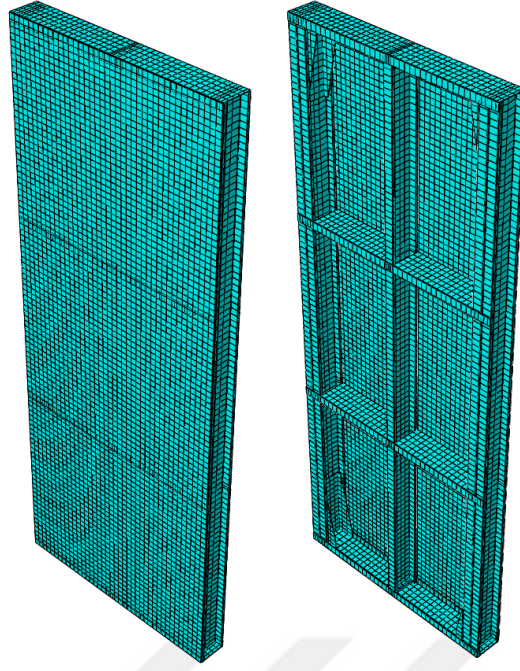


Şekil 27. Hafif çelik perde duvar elemanları

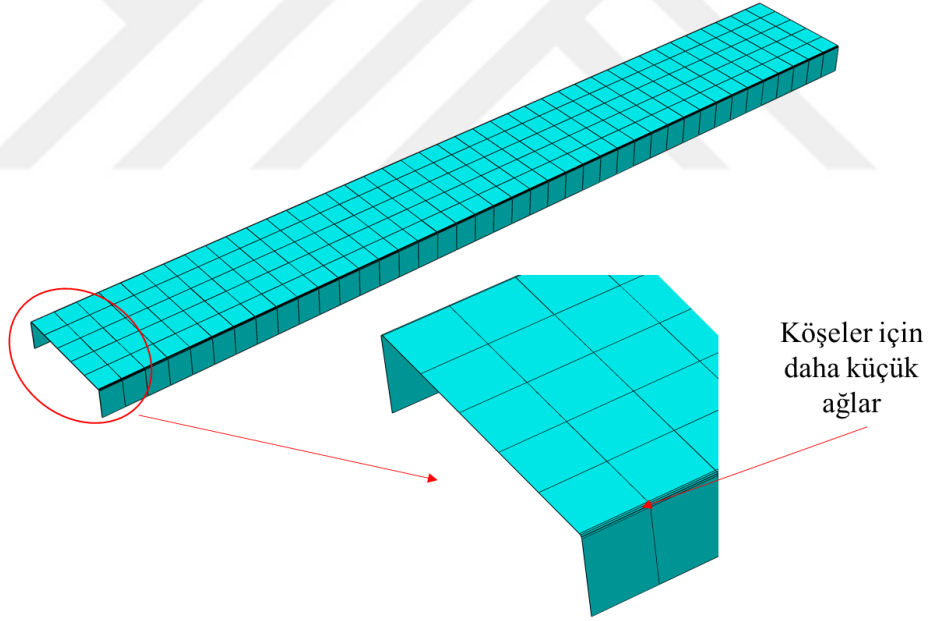
Hafif çelik perde duvarın elemanları 4SR kabuk elemanı kullanılarak oluşturulmuştur. S4R kabuk elemanı dört düğümden oluşmaktadır. Her düğüm üç dönme serbestlik derecesine ve üç öteleme serbestlik derecesine sahiptir. Kabuk elemanlar genellikle bir boyutun (kalınlığı) diğer iki boyuttan çok daha küçük olduğu ve önemli boyut farklılıklarına sahip elemanları modellemek için kullanılır. Bu nedenle hafif çeliğin modellenmesi için ideal bir tercih olmaktadır.

Ağ özellikleri ve ağ seçimi

Uygun ağın seçimi oluşturulan sonlu eleman modelinin hassasiyetini ve etkinliğini sağlamak için son derece önemlidir. Bu çalışmada bir ağ yakınsama araştırması için 30 mm boyutundaki kare ağların düz bölgeler için en ideal olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kanalların flanş-gövde bağlantılarındaki köşeler sonlu eleman analizinde daha hassas olmasından dolayı Şekil 29'da gösterildiği gibi flanş-gövde bağlantılarının köşe bölgelerinde üç bölümden oluşan daha küçük bir sonlu eleman ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 28. Modellenen hafif çelik perde duvarın ağı detayları



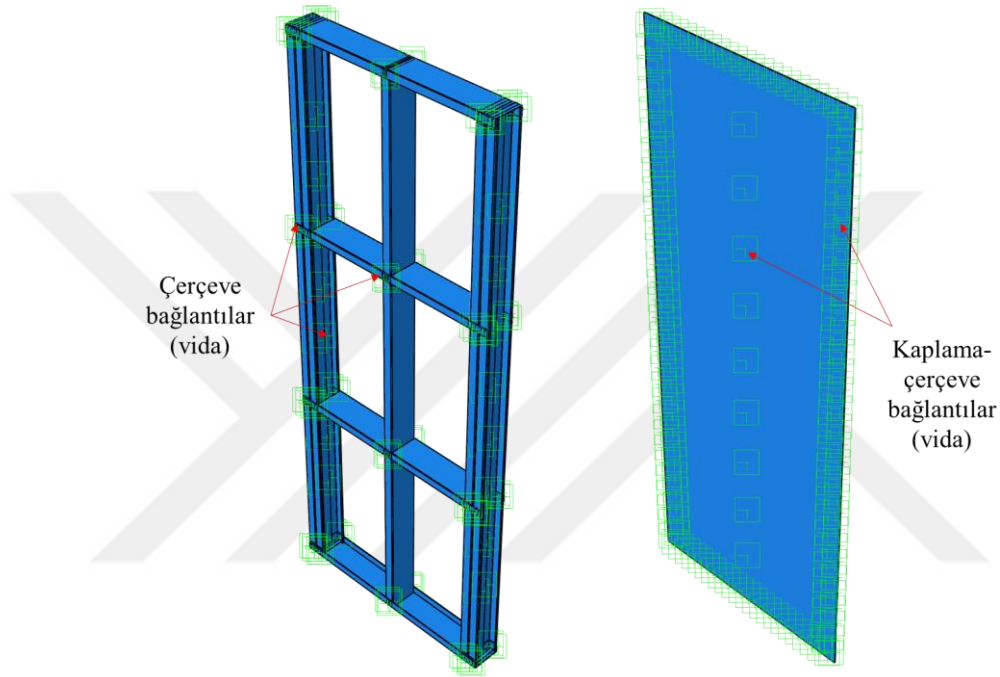
Şekil 29. Profillerin köşeleri için kullanılan daha küçük sonlu elemanlar ağıları

Bağlantıların modellenmesi

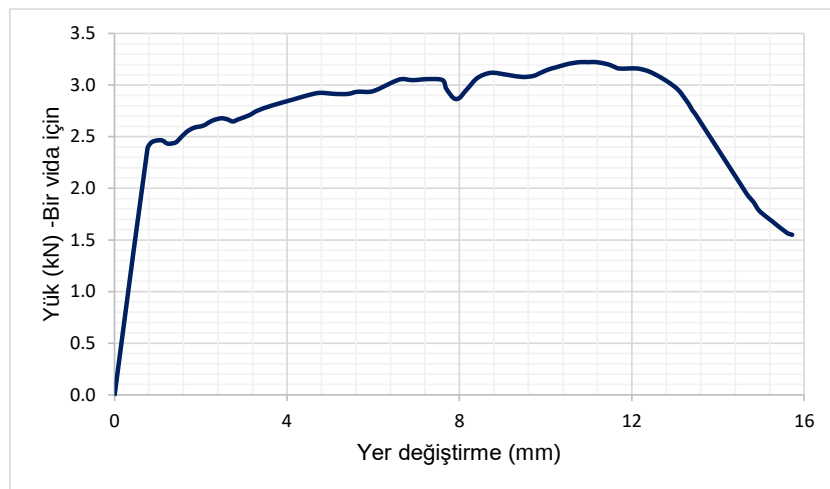
Çerçeveleme elemanlarının ve kaplamanın çerçeve ye bağlantıları için bu numune de kullanılan bağlantı elemanları vidalarıdır. Duvar sisteminin çerçevesindeki dikmelerini bağlamak için 6,3 mm çaplı vidalar kullanılmıştır. Kaplama çelik sacın merkezinin yanı sıra kenarlardan çerçeve elemanlarına bağlanmaktadır. Kaplama-çerçeve bağlantıları için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılmıştır. Üst ve alt profiller kaplama - çerçeve bağlantıları

için kullanılan aynı vidalarla bağlanmıştır. Duvar sisteminin çerçeve ve kaplama bağlantıları Şekil 30’de görülmektedir.

Vida bağlantıları ağdan bağımsız bağlantı elemanları ile modellenmiştir. Ağdan bağımsız bağlantı elemanının kullanılması iki veya daha fazla yüzey arasında noktadan noktaya bir bağlantı tanımlamak için uygun bir yöntem kabul edilmektedir. Vidaların özellikleri Mohebi (2015) tarafından sunulan deney araştırmasında mevcut olan vidaların yük ve yer değiştirme yöntemi kullanılarak bağlantı elemanlarına aktarılmıştır.



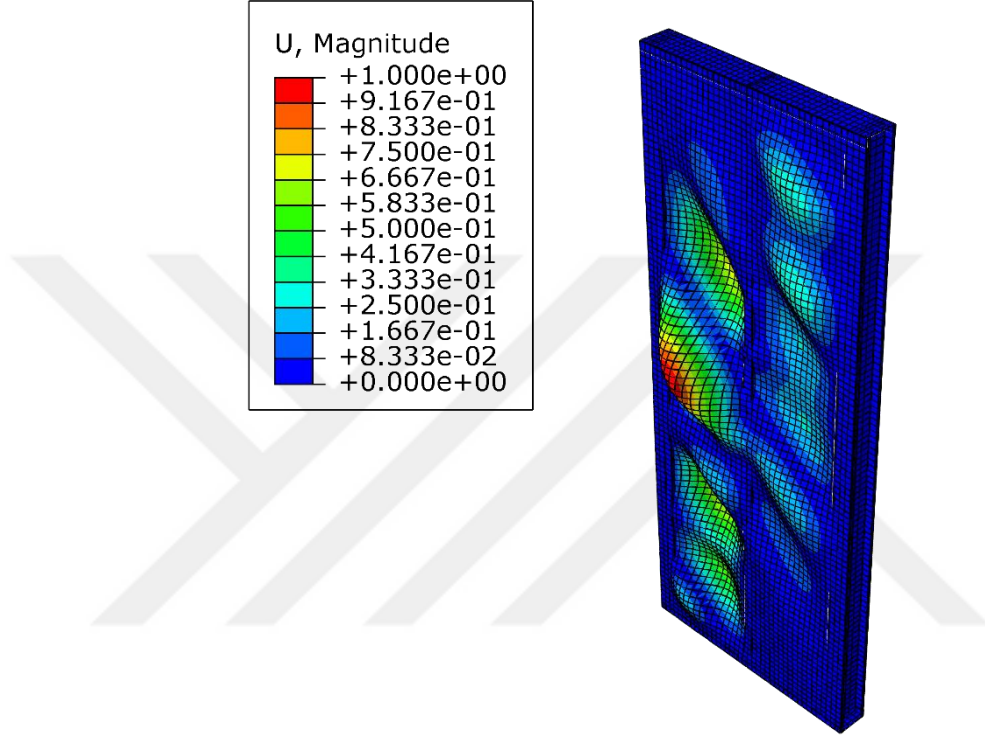
Şekil 30. Perde duvarın bağlantılarının modellemesi



Şekil 31. Deney numunesinde kullanılan vidaların dayanımı

Geometrik kusuru

Bu çalışmada perde duvar sisteminde öngörülen farklı burkulma modlarını belirlemek için bir burkulma analizi gerçekleştirilmiştir. Burkulma modları sisteme başlangıç kusurunun oluşmasında önemli bir etkiye sahiptir. Schafer ve Peckoz (1998) tarafından önerilen çelik sac kalınlığının 0,34 katına eşit bir kusur değeri analize uygulanmıştır. Modellenen perde duvar sistemine geometrik kusur tanımak için kullanılan burkulma modu Şekil 32'de görülmektedir.

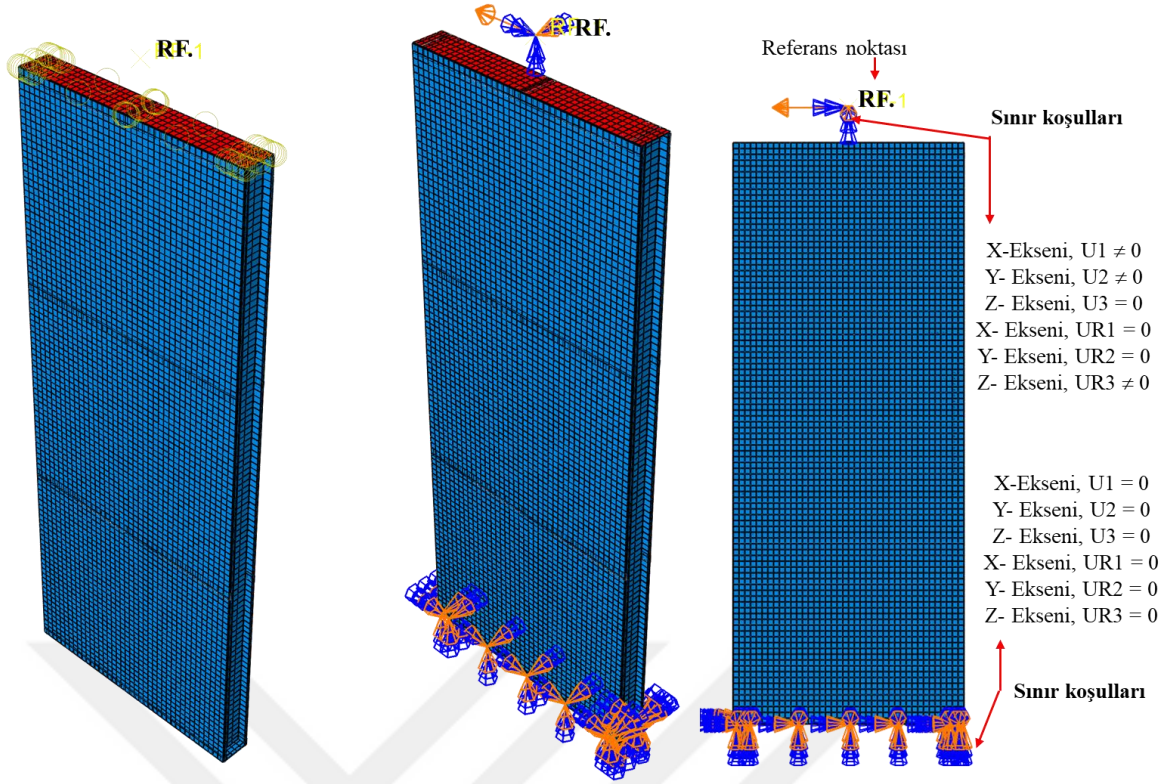


Şekil 32. Geometrik kusuru tanımak için kullanılan burkulma modu

Sınır koşulları

Duvar sisteminin üst kısmının uygulanan yük yönünde ve dikey olarak hareket etmesine izin verilmiş ancak diğer yönlerde (deney örneği sınır koşullarına benzer şekilde) kısıtlanmıştır. Bu arada duvar sisteminin alt kısmı ankastre mesnetli olup herhangi bir yönde hareket etmemesi için sabitlenmiştir. Şekil 33'te perde duvar sisteminin sınır koşullarını görülmektedir.

Elemanların birbirlerinin yüzeylerinin kesmelerini önlemek için modelin yüzeylerine bir temas özelliği atanmıştır. Kayma sürtünmesi için teğetsel davranışta 0,2'lik bir katsayısı seçilmiştir.



Şekil 33. Perde duvarın sınır koşulları

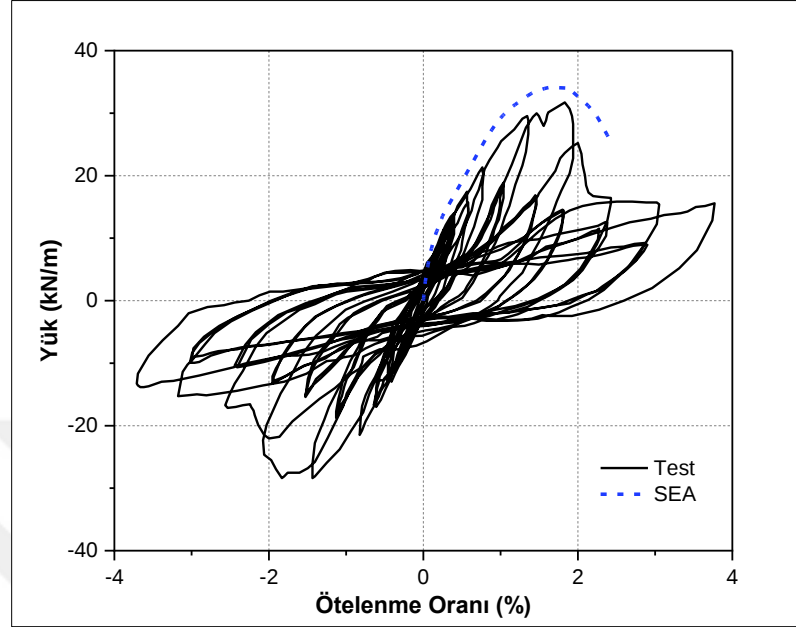
Analiz yöntemi ve yükleme protokolü

Deneysel araştırmada yükleme protokolünü uygulamak için düşük hızlı bir yükleme prosedürü kullanıldığından sayısal modellemeye de statik genel analiz kullanılmıştır. Statik analiz büyük deformasyonların etkilerini dikkate alır ve hem doğrusal hem de doğrusal olmayan problemleri çözebilme olanağı sunmaktadır. Sonlu eleman modelinde geometrinin doğrusal olmaması da dikkate alınmıştır. Bu arada yük duvar sisteminin üst kısmında bulunan referans noktasında maksimum 100 mm yer değiştirme ile monotonik yer değiştirme kontrol yüklemesi olarak uygulanmıştır.

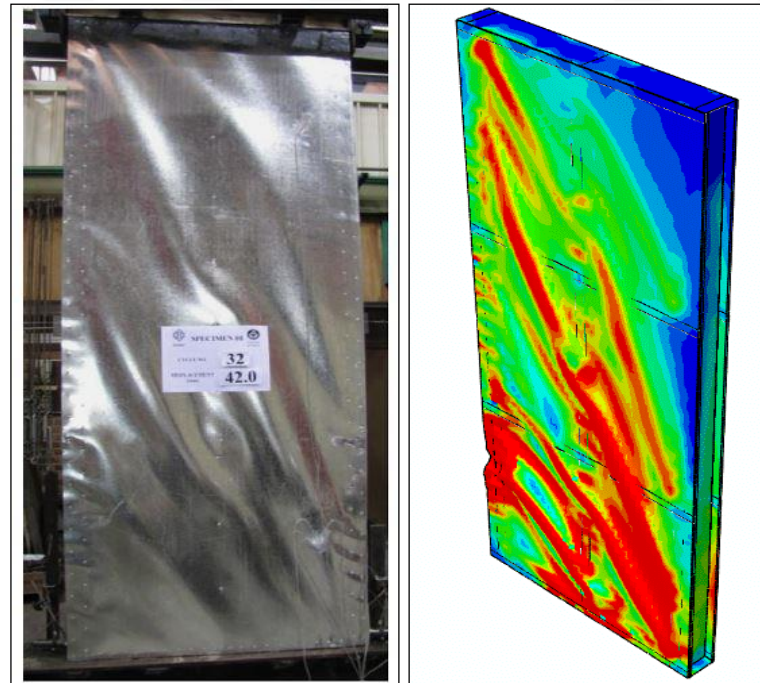
Deney numunesine ait sonlu eleman modelinin doğrulanması

Daha önce de belirtildiği gibi sayısal model Mohebi'nin (2015) çelik plaka ile kaplanmış bir hafif çelik perde duvar testinden elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmaktadır. Şekil 34'te belirtilen hafif çelik perde duvar sisteminin hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi için uygulanan yük ile yer değiştirme arasındaki ilişkiyi görülmektedir. Deney numunesinin yanal yük/ yer değiştirme oranı sonlu eleman analizi sonucu ile uyumlu bulunmuştur. Ayrıca Şekil 35'te sonlu eleman modelinde gözlemlenen göçme modları ile deneysel numunede gözlemlenenler arasında bir uyumun doğruluğu görülmektedir. Çelik plaka ile çerçeve arasındaki bağlantıda vidaların yakın aralıklarla yerleştirilmesinin bir sonucu olarak çelik plaka duvar sisteminin alt bölümünde daha fazla burkulma oluşmaktadır.

Ek olarak elik plakayı sınır çerçevesine bağlamak için kullanılan vidaların yakın aralığı kolon profillerinde yerel burkulmanın meydana gelmesine yol açmaktadır. Bu göçme modları hem deneysel gözlemlerde hem de sonlu elemanlar analizinde belirgindir.

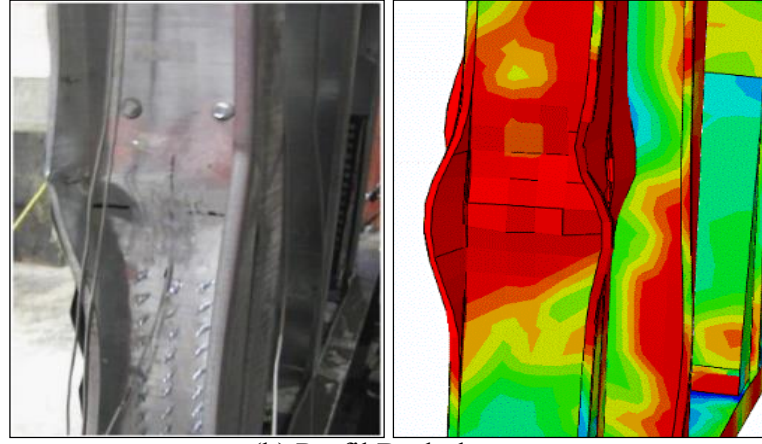


Şekil 34. Deneysel ve sayısal için yük-ötelenme grafiği



(a) elik Sac Burkulması

Şekil 35. Deney ve sayısal numunelerinin burkulma davranışı



(b) Profil Burkulması

Şekil 35. Deney ve sayısal numunelerinin burkulma davranışı (devamı)

Çelik Plaka ile Kaplanmış Hafif Çelik Perde Duvarlarda Parametrik Çalışma Özellikleri

Hafif çelik perde duvar sisteminin dayanımı, çelik plakanın dayanımı, kaplama plakasını sınır çerçevesine bağlamak için kullanılan bağlantı elemanlarının aralığı ve duvar en boy oranı dahil olmak üzere çeşitli parametrelerden etkilenmektedir.

Bu bölümdeki parametrik çalışma aşağıdaki gibi

- Hafif çelik perde duvarlarının kaplama - çerçeve bağlantıları ve çelik levha kalınlığı
- Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlardaki berkitmeleri
- Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarındaki boşluklar olmak üzere 3 bölüme ayrılmıştır.

Numuneler aşağıdaki standartlar ve kodlara göre tasarlanmıştır.

- TBDY 2018
- (ASD & LRFD) (Amerikan Demir-Çelik Enstitüsü Standardı 2001): Soğuk şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanları Tasarımı için Kuzey Amerika Şartnamesi
- Amerikan Demir-Çelik Enstitüsü Manuel: Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Tasarımı
- S EN 1993-1-3 (Eurocode 3- Çelik yapıların tasarımı Birinci Kısım 3: Soğuk şekillendirilmiş elemanlar ve sac kaplama için Genel Kurallar - Yardımcı kurallar.
- TS 11372 Soğuk Şekillendirilmiş İnce Hacim Hesap kuralları

Hafif çelik perde duvarlarının kaplama-çerçeve bağlantılarının ve çelik levha kalınlığının incelenmesi

Kaplama-çerçeve arasındaki bağlantılar hafif çelik perde duvarlarının göçmesinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır (Yu, 2007). Perde duvar sisteminin göçme

modları öncelikle bağlantıların tipinden, bağlantı elemanlarının boyutlarından ve bağlantı elemanlarının aralığından etkilenir. Çalışmanın bu bölümünde çelik plakalarla kaplanmış 6 adet hafif perde duvarın kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır. Bu bölümde esas olarak kaplama - çerçeve bağlantısındaki vida aralığının ve çelik levhanın kalınlığının hafif çelik perde duvar sistemlerinin kesme dayanımını ve burkulma performansı üzerindeki etkisinin araştırılmasına odaklanılmıştır.

Çalışmada duvar sisteminin kaplama - çerçeve bağlantısında 100 mm, 150 mm ve 200 mm olmak üzere üç farklı vida aralığı ile 50 mm çapraz vida düzenlemeleri incelenmiştir.

Öte yandan çelik levha kaplama hafif çelik perde duvarlarının kesme dayanımını arttırmada birincil faktördür. Araştırmalar çerçevenin bir hafif çelik perde duvarın toplam dayanımına sadece % 8 katkıda bulunduğunu göstermektedir (Lee, 2015). Bu analiz çalışmasında çerçeve-kaplama kalınlık oranını dikkate alınarak üç farklı çelik levha kalınlığını incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen çelik levha kalınlıkları 1 mm, 0,8 mm ve 0,6 mm'dir.

Kaplama - çerçeve bağlantıları aralığı ve çelik sac kalınlığı için parametrik inceleme için perde duvar numuneleri Tablo 3 'te görülmektedir.

Tablo 3. Vida Aralığı ve Çelik Sac Kalınlığı için Parametrik Çalışma Tablosu

Numune	Çerçeve kalınlığı	Çelik sac kalınlığı	Vida aralığı
CFSW1	1,25 mm	0,8 mm	100 mm çapraz
CFSW2	1,25 mm	0,8 mm	100 mm
CFSW3	1,25 mm	0,8 mm	150 mm
CFSW4	1,25 mm	0,8 mm	200 mm
CFSW5	1,25 mm	1,0 mm	50 mm çapraz
CFSW6	1,25 mm	0,6 mm	50 mm çapraz

Not: CFSW, Hafif Perde Duvar anlamına gelir

Parametrik analizin bu bölümünde kullanılan perde duvar numunesi 3000 mm × 1200 mm ölçülerinde tek taraflı çelik sac perde duvardır. Perde duvar sistemi hafif çerçeve ve çelik sac kaplama kullanılarak oluşturulmuş.

CFSW1, CFSW2, CFSW3 ve CFSW4, kaplama ve çerçeve arasındaki bağlantılarda vida düzenlemesinde yapılan değişiklikler haricinde aynı özelliklere sahiptir. Yapılan bu parametrik değişiklikler vida düzenlemesinin hafif çelik perde duvarlarının dayanımı üzerindeki etkisini incelemek için uygulanmıştır. Vida düzenlemesindeki değişiklik duvarların genel performansı üzerindeki etkisinin ayrıntılı bir analizine izin vererek perde duvar sisteminin bu değişikliklere duyarlılığı hakkında yararlı gözlemler sunmaktadır.

Öte yandan CFSW5 ve CFSW6 ile vida düzenlemesi CFSW1 ile aynı kalırken esas fark çelik plakanın kalınlığının değişimindedir. Çelik levhanın kalınlığındaki kasıtlı değişiklik bu

özel parametrenin perde duvarların yapısal davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için gerçekleştirilir. Çalışma vida düzenini sabit tutarak sadece çelik plakanın kalınlığında değişikliğe gidilmek suretiyle plaka kalınlığının CFSW5 ve CFSW6 performansı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Kapsamlı bir inceleme yapmak için duvar sistemlerinin üst kısmına maksimum yer değiştirme sınırı 75 mm olan bir yerdeğiştirme kontrollü yükleme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu kontrollü yükleme yönteminin kullanılması literatür taramasında yapılan deneysel testlerle aynı koşullar altında duvarların tepkilerinin metodik olarak değerlendirilmesine izin vermektedir (Mohebi, 2015).

Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik kesme duvarlarındaki berkitmeler

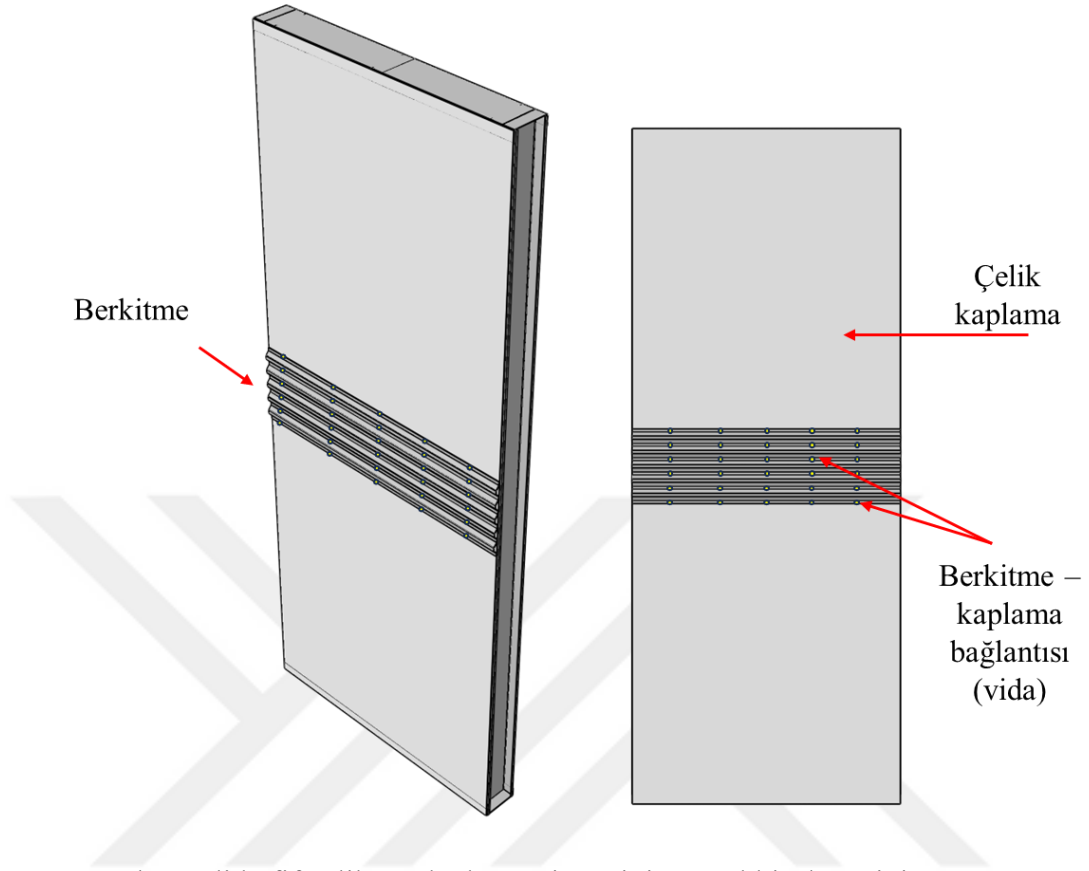
Çelik plaka ile kaplanmış perde duvarlarda kaplama olarak çoğunlukla berkitmesiz çelik sac kullanılmaktadır. Ancak berkitmesiz hafif çelik perde duvarlarının göçmesinin temel nedeni çelik plakanın burkulmasıdır.

Yu et al. (2009) ve Kiliç et al. (2019) oluklu çelik kaplamanın çelik levhanın burkulmasını kontrol ederek çelik sac kaplamaya kıyasla önemli ölçüde daha fazla dayanım ve rijitlik sunduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte Yu'nun araştırması oluklu çelik ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarındaki kırılğan göçme örneklerini ortaya koymuş ve deprem bölgelerindeki uygulamaları için oluklu çelik sac perde duvarların düktilitesini artırmak için daha fazla araştırma yapılmasını gerekliliğini ortaya koymuştur.

Bu nedenle çelik levhadaki burkulma sorunlarını eşzamanlı olarak ele almak ve duvar sisteminin düktilitesini artırmak için bu çalışma kapsamında düz çelik levhaları oluklu çelik ile birleştiren hibrit bir teknik incelenmiştir. Buradaki amaç burkulmayı azaltmak ve hafif çelik perde duvar sisteminin genel düktilitesini artırmak için oluklu çeliğin karakteristik özelliklerini kullanmaktır.

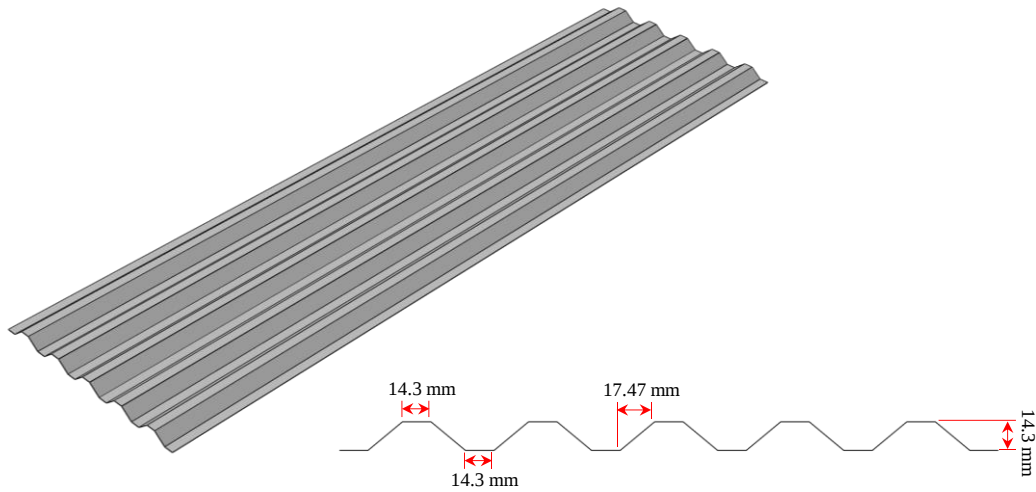
Bunun için çelik levha farklı desenlerde oluklu çelik kullanılarak oluşturulan yatay ve dikey berkitmeler kullanılarak teknik açıdan olarak güçlendirilmiş olmaktadır. Oluklu çeliğin berkitmelerin tasarımına dahil edilmesi burkulmayı kontrol etmek için uygun olan içsel mukavemet ve deformasyon özelliklerine sahip yapısal bir bileşen sunmaktadır. Düz ve oluklu çeliğin etkileşimi yatay ve dikey berkitmelerin stratejik düzenlemesi ile birlikte perde duvar sisteminin yapısal verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış bütünsel bir yaklaşım olmaktadır. Oluklu çelik berkitmeler iki önemli amaca hizmet etmektedir; plan çelik kılıflı perde duvarlara kıyasla burkulmayı kontrol etmek ve oluklu perde duvar sistemine kıyasla düktilitesi iyileştirmektir.

Şekil 36’da berketmeli hafif çelik perde duvar sisteminin genel bir düzenini görülmekte ve bu araştırmada kullanılan oluklu çelik berkitmelerin kullanımını esas alınmaktadır.



Şekil 36. Berketmeli hafif çelik perde duvar sisteminin genel bir düzenini

Bu duvar sisteminde kullanılan berkitme oluklu çelik plakanın yatay olarak 4,8 mm çapında 230 mm aralıklı ve 10 numaralı vidalar kullanılarak çelik plakaya bağlanmaktadır. Şekil 37 'de bu çalışmada berkitme olarak kullanılan oluklu çeliğin kesiti görülmektedir.



Şekil 37. Berkitme olarak kullanılan oluklu çelik

Berkitmelerin farklı desenleri ve boyutları göz önüne alındığında 8 adet perde duvar modellenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde incelenen duvar sistemlerinin özellikleri Tablo 4 ve Şekil 38 'de yer almaktadır. Berkitmenin kalınlığının tüm numunelerde sabit kaldığı (0,8 mm), berkitmele desenlerinin, boyutlarının ve konumlarının farklı duvar numunelerde değiştirilmiştir.

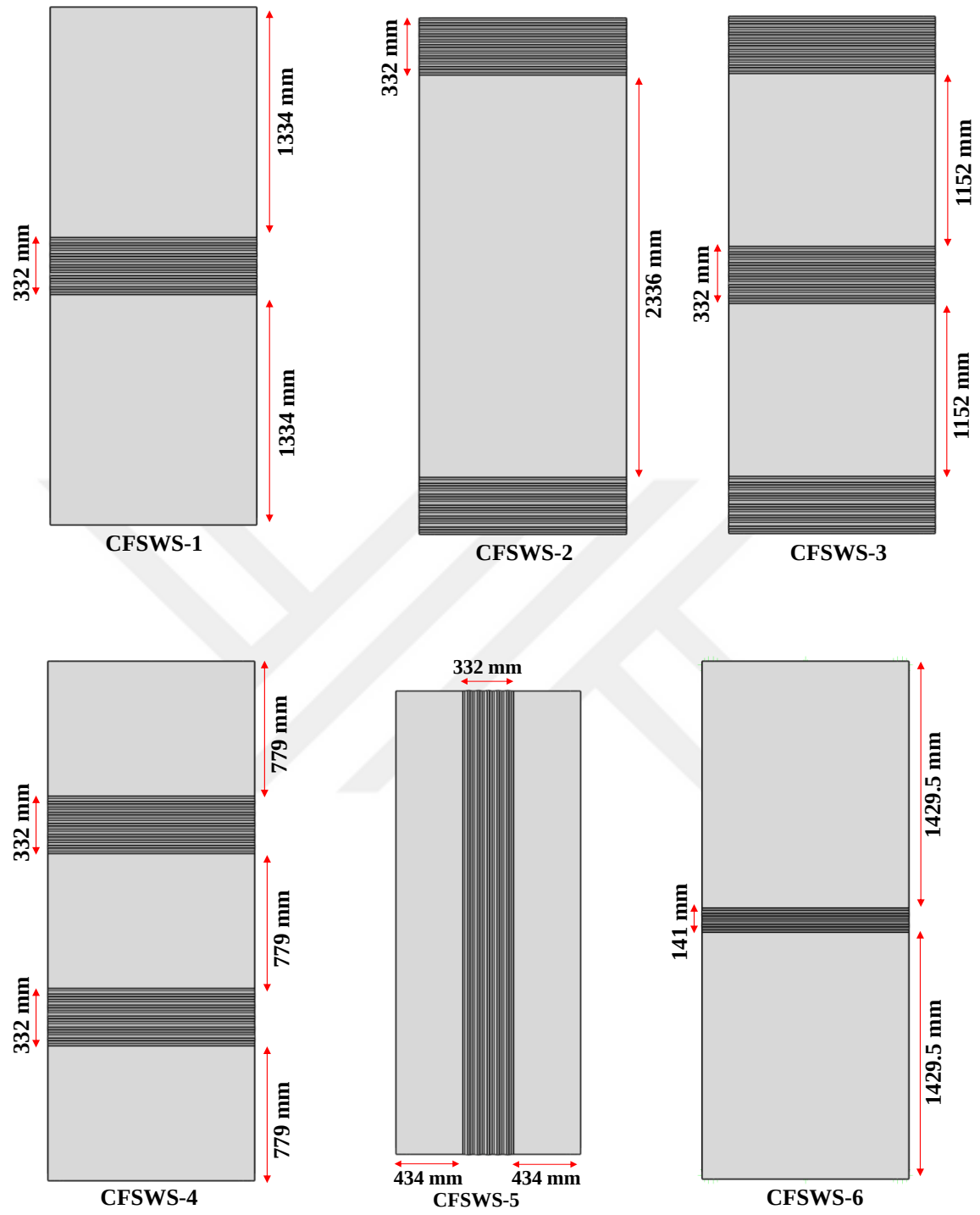
Bu incelemede her biri 332 mm ve 141 mm olmak üzere iki farklı genişlikte berkitme göz önünde alınmaktadır. CFSWS-1, CFSWS-2, CFSWS-3, CFSWS-4 ve CFSWS-5 aynı berkitme genişliğini (332 mm) sahiptir ancak bu numunelerde berkitmelerinin desenleri farklı olmaktadır. Öte yandan CFSWS-6 ve CFSWS-7 numuneleri 141 mm genişliğinde berkitme ile desteklenmiştir. CFSWS-1 ve CFSWS-6 berkitme genişliğinin 141 mm'ye düşürülmesi dışında aynı berkitme desenlerine sahiptir (bkz. Şekil 38).

Parametrik analizin bu bölümünde kullanılan perde duvar numuneleri 3000 mm yüksekliğinde ve 1200 mm genişliğinde tek taraflı çelik sac perde duvarlardır. Perde duvar sistemi 1,25 mm kalınlığında hafif çelik çerçeve ve 0,8 mm kalınlığında çelik sac kaplama kullanılarak oluşturulmuştur.

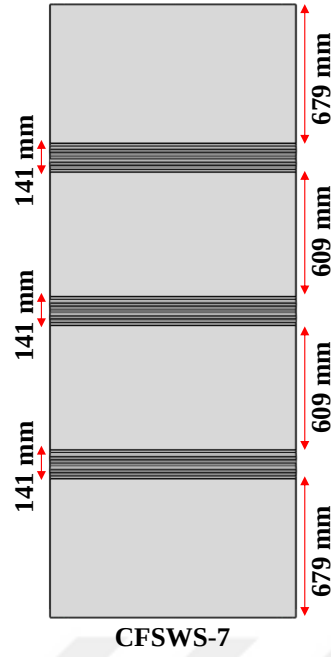
Kapsamlı bir inceleme yapmak için duvar sistemlerinin üst kısmına maksimum yer değiştirme sınırı 100 mm olan bir yer değiştirme - kontrollü yükleme yaklaşımı uygulanmıştır.

Tablo 4. Berkitmeli Perde Duvarların Özellikleri

Numune	Berkitme sayısı	Berkitmenin genişliği	Berkitme yüksekliği	Berkitmenin yönü	Toplam Berkitme alanı (mm ²)
CFSW	-	-	-	-	-
CFSWS-1	1	332 mm	1200 mm	Yatay	459490,35
CFSWS-2	2	332 mm	1200 mm	Yatay	918980,69
CFSWS-3	3	332 mm	1200 mm	Yatay	1378471,04
CFSWS-4	2	332 mm	1200 mm	Yatay	918980,69
CFSWS-5	1	332 mm	3000 mm	Dikey	1148725,86
CFSWS-6	1	141 mm	1200 mm	Yatay	194092,14
CFSWS-7	3	141 mm	1200 mm	Yatay	582276,41



Şekil 38. Numunelerde kullanılan berkitme desenleri

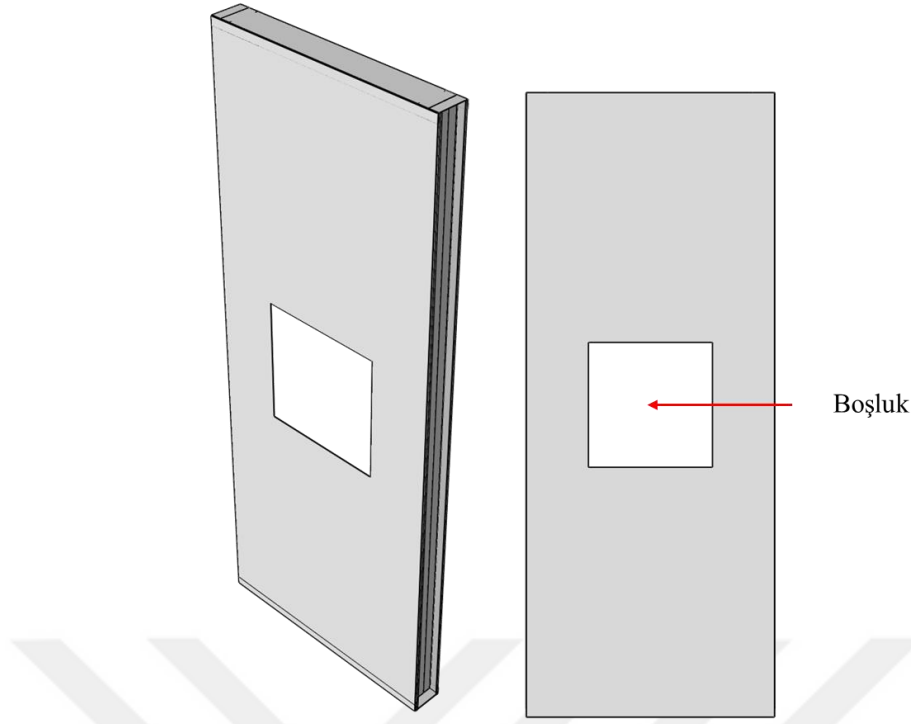


Şekil 38. Numunelerde kullanılan berkitme desenleri (devamı)

Çelik sac ile kaplanmış boşluklu hafif çelik perdeler

Çalışmanın bu bölümde boşlukların çelik plakalarla kaplanmış hafif çelik perde duvarlar üzerindeki etkisine odaklanarak kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. İnceleme farklı boşluk boyutları ve yerleşimleri ile dokuz ayrı perde duvar numunesini kapsamaktadır. Buradaki esas amaç çelik kaplamalı perde duvarların kesme dayanımına boşluk oranı etkisini analiz etmek ve incelemektir.

Boşluğu olan hafif çelik perde duvarlarda burkulmayı önlemek ve çelik levha plakanın kesme dayanımının azalmasını önlemek için genelde boşluğun etrafında çerçeveler kullanılır. Bununla birlikte çerçevelerin imalat ve montaj süreci boyunca kullanılması ek denetim sorumluluklarına duyulan ihtiyaçla birlikte hem malzeme hem de işçilik maliyetlerinde önemli artışlara yol açmaktadır. Bu çalışmada boşluklar için herhangi bir çerçeve nin kullanılmadığı durumda perdelerde boşluk geometrisi ve toplam alandaki boşluk alanı değişken bir parametre olarak çalışma dâhilinde değerlendirilmiştir. Boşluklu hafif çelik perde duvarının genel biçimi Şekil 39’da görülmektedir.



Şekil 39. Boşluklu hafif çelik perde duvarının genel biçimi

Çalışmanın bu bölümünde boşlukların yer ve boyutlarında değişiklik gösteren dokuz ayrı perde duvar numunesi incelenmiştir. Bu aşamada incelenen duvar sistemlerinin özellikleri Tablo 5 'te detaylandırılmış ve Şekil 40' da şematik olarak görülmektedir. Bu parametrik analiz için kullanılan perde duvar numunesi 3000 mm yüksekliğinde ve 1200 mm genişliğinde boyutlara sahip tek taraflı çelik sac perde duvar olarak modellenmiştir. Çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların performansına boşluk oranının etkisini araştırmak için sırasıyla % 4,4, % 10 ve % 20 boşluk oranını ifade eden üç farklı boyuttaki boşluk (400 mm x 400 mm, 600 mm x 600 mm ve 600 mm x 1200 mm) dikkate alınmıştır. Bu üç duvar CFSWO-1, CFSWO-2 ve CFSWO-3 olarak isimlendirilmiştir. Diğer beş duvar numunesi (CFSWO-4, CFSWO-5, CFSWO-6, CFSWO-7 ve CFSWO-8) Şekil 40 'ta görüldüğü gibi çelik plakanın farklı konumlarına yerleştirilmiş 400 mm x 400 mm boşluklara sahiptir. Bu numuneler boşluk konumlarının duvar sistemlerinin dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için tasarlanmıştır.

Ayrıca son numune örneği (CFSWO-9) çelik plakanın merkezinde dairesel açıklığa sahip bir perde duvarı ele alınmaktadır. Bu duvar boşluk şeklinin duvar sisteminin dayanımının üzerindeki etkisini araştırmak için tasarlanmıştır.

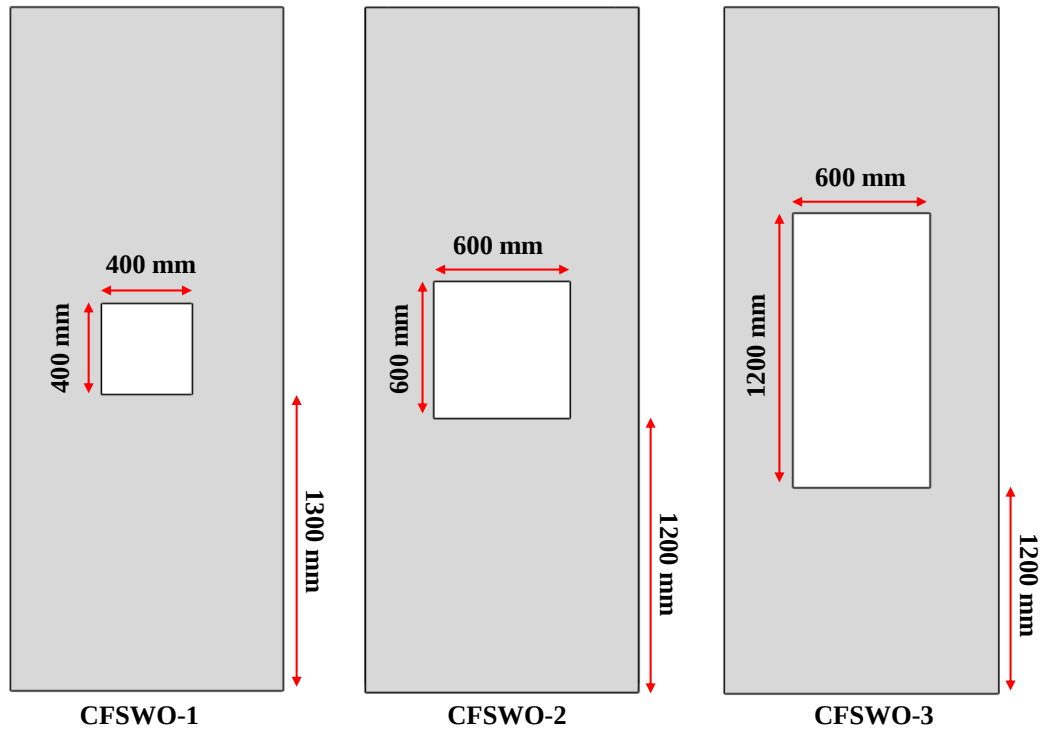
İncelemenin bu bölümünde kullanılan perde duvar sisteminin yapılması 0,8 mm kalınlığında çelik sac kaplama ile eşleştirilmiş 1,25 mm kalınlığında hafif çelik çerçevesinin kullanılmasını kapsamaktadır.

Kapsamlı bir incelemeyi kolaylaştırmak için özellikle duvar sistemlerinin en üst kısmını bir yer değiştirme kontrollü yükleme yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yükleme tekniğinde perde duvar numunelerinin 100 mm olarak belirlenen önceden tanımlanmış bir maksimum yer değiştirme sınırı ile kontrollü yer değiştirmelere tabi tutulmasını içeriyor. Bu yaklaşım belirli yer değiştirme koşulları altında duvar sistemlerinin davranışının ayrıntılı bir şekilde araştırılmasına olanak sağlayarak yapısal tepkinin sistematik ve kontrollü bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

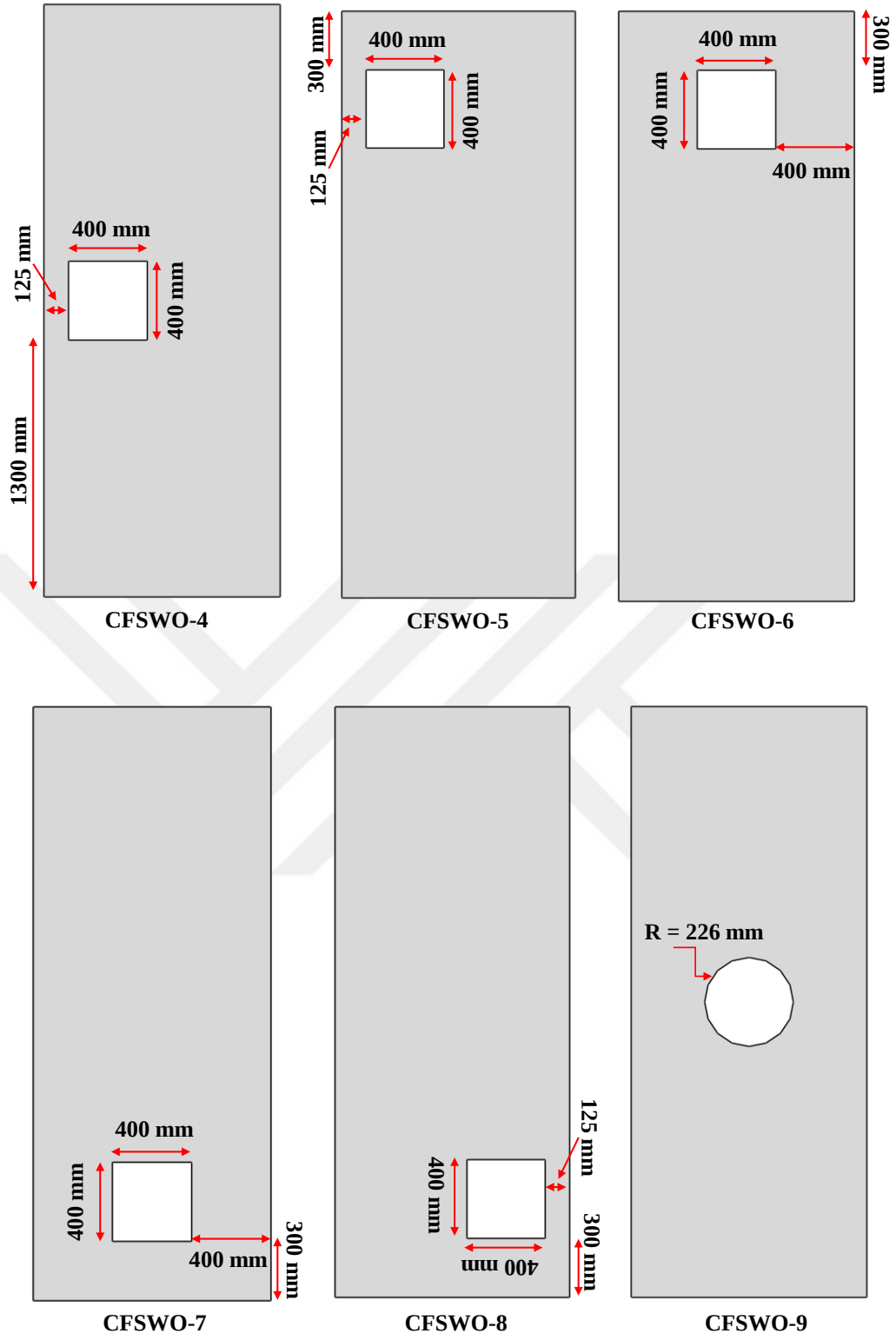
Tablo 5'te çalışmanın bu bölümünde inceleme için kullanılan duvar sistemlerinin özelliklerini görülmektedir.

Tablo 5. Boşluklu Perde Duvarların Özellikleri

Duvar Modeli	Boşluk boyutu (mm x mm)	Boşluk Biçimi	Boşluk alanı (mm ²)	Boşluk oranı (%)
CFSWO-1	400 x 400	Kare	160000	4,4
CFSWO-2	600 x 600	Kare	360000	10
CFSWO-3	600 x 1200	Dikdörtgen	720000	20
CFSWO-4	400 x 400	Kare	160000	4,4
CFSWO-5	400 x 400	Kare	160000	4,4
CFSWO-6	400 x 400	Kare	160000	4,4
CFSWO-7	400 x 400	Kare	160000	4,4
CFSWO-8	400 x 400	Kare	160000	4,4
CFSWO-9	R = 226	Daire	160000	4,4



Şekil 40. Boşluklu perde duvarların görünüşü

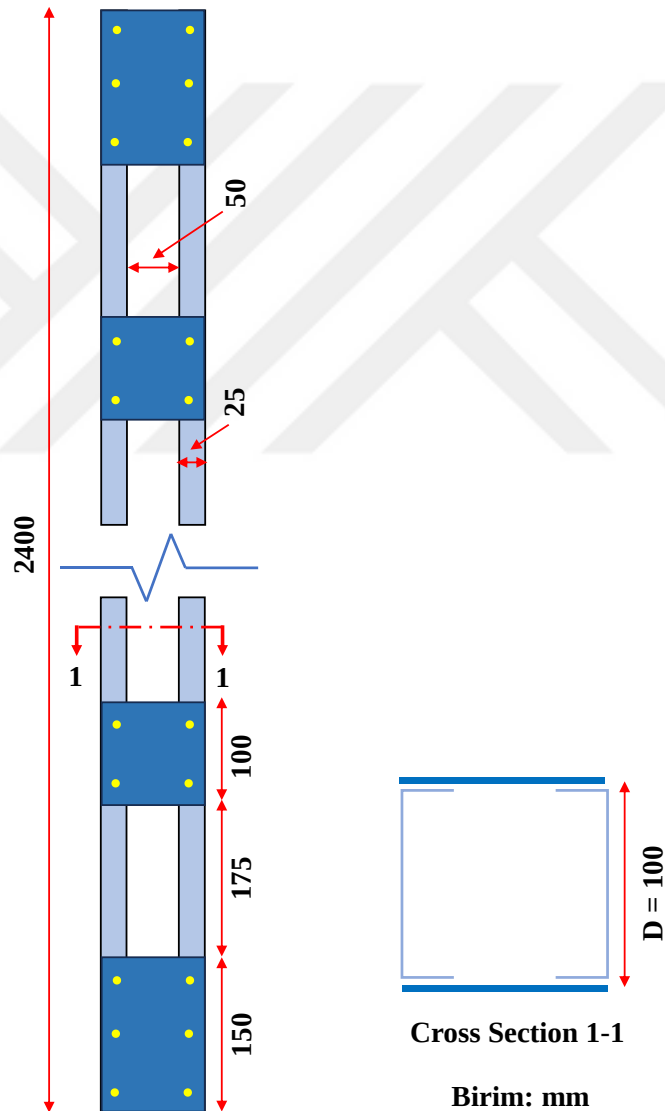


Şekil 40. Boşluklu perde duvarların görünüşü (devamı)

Hafif Çelik Yapma Kolonlar

Çalışmanın bu bölümünde hafif çelik yapma kolonlarını analiz etmek için ABAQUS yazılım paketi kullanılarak bir hafif çelik yapma kolonunun doğrusal olmayan elastik - plastik sayısal modeli oluşturulmuş ve sonuçlar literatürdeki mevcut deneysel araştırmalarla doğrulanmıştır.

Analiz prosedürü ve sonuçlarını doğrulamak için daha önce hafif çelik yapma kolonlarında yapılan araştırmalardan iki tip yapma kolonu seçilmiştir. Hafif çelik yapma kolonun ilk tipi Şekil 41 'de gösterildiği gibi profiller vidalarla bağlanan profillerin yüz yüze yerleştirilmesiyle oluşturulan kolonlardır (Dar et al., 2021).

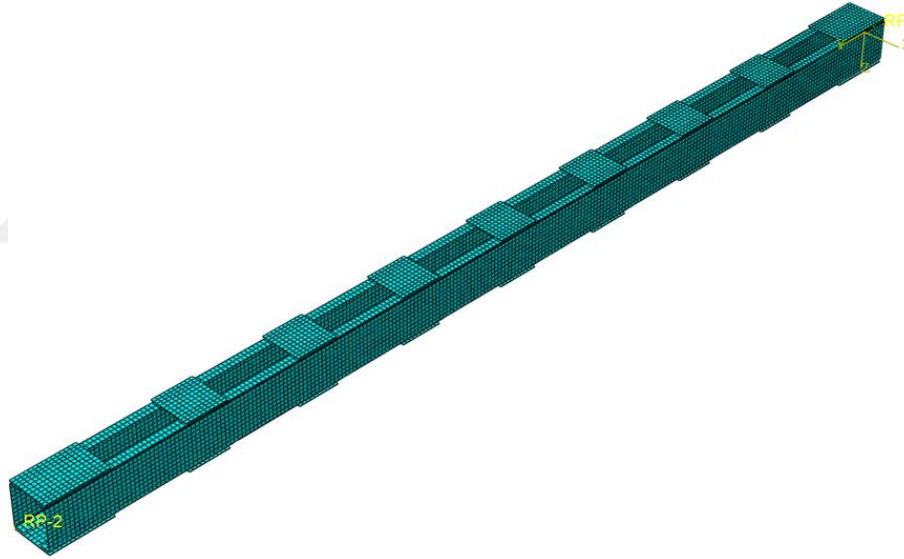


Şekil 41. Vida bağlantılı yapma kolonu (Dar et al. 2021)

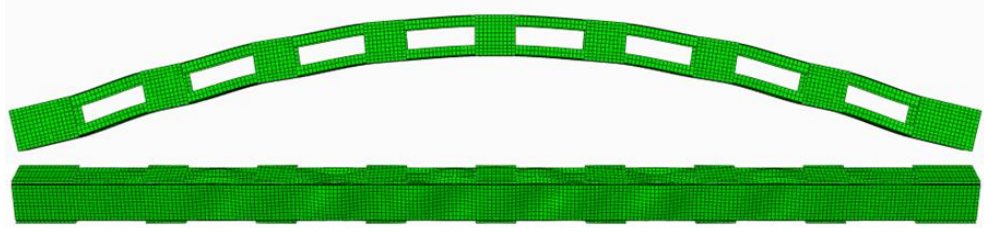
Tablo 7. Kaynaklı Bağlantılı Yapma Kolonun Malzeme Özellikleri (Dabaon et al., 2015)

Eleman	Kalınlık	Akma Dayanımı F_y (MPa)	Çekme Dayanımı F_u (MPa)	F_u/F_y	Uzama (%)
Profil	2 mm	(310)	436	1,40	22
Bağlantı levhası	6 mm	(310)	436	1,40	22

Ayrıca S4R kabuk elemanları ince duvarlı elemanları temsil etmede önemli bir yere sahiptir ve bu nedenle profilleri ve bağlantı levhaları modelleme etmek için kullanılmıştır. Bu nedenle kare ağı optimum boyutlarını belirlemek için bir ağ analizi gerçekleştirilmiş ve düz alanlar için 10 mm'lik bir değer elde edilmiştir. Flanş-gövde bağlantıları için 3 bölümden oluşan daha küçük ağlar kullanılmıştır. Şekil 43'te hafif çelik yapma kolonunun ağ örgülü modeli görülmektedir.

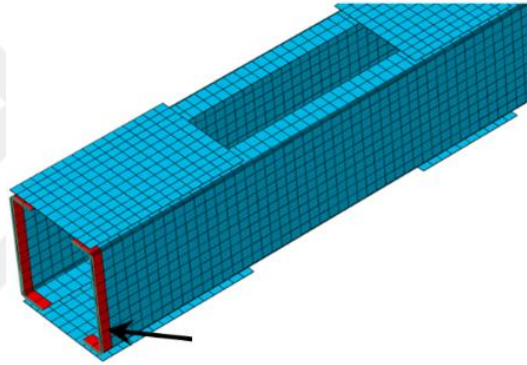
**Şekil 43.** Modellenen yapma kolonun sonlu elemanlar ağ görüntüsü

Araştırmalar hafif çelik ince duvarlı kesitlerin geometrik kusurlara son derece duyarlı olduğunu (Maali et al. 2018, Aydın et al. 2020) ve uygun modelleme gerektirdiğini göstermiştir. Bu çalışmada yerel ve küresel kusurları uygulamak için Schafer ve Pecoş (1998) tarafından önerilen teknikten yararlanılmıştır. Çalışmalarda yerel ve global kusurlar için sırasıyla kirişin kalınlığının 0,34 katı ve yığma kolonun yüksekliğinin 1000 'e bölüldüğü görülmektedir. Şekil 44 numunelerin sonlu eleman analizinde benimsenen global ve yerel geometrik kusur görülmektedir.



Şekil 44. Yapma kolonun geometrik kusurlar

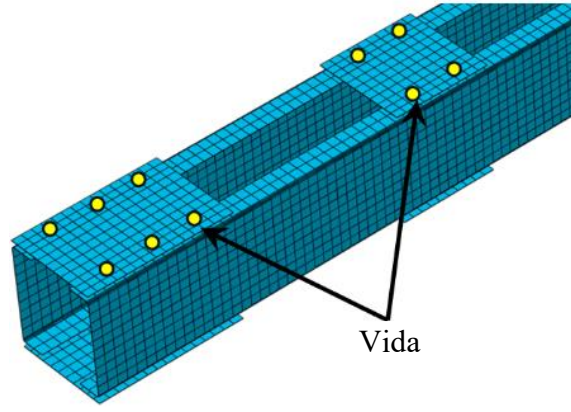
Ayrıca mesnet sınır koşulları olarak her iki deneysel numunesinde (Dar ve diğerleri, 2021; Dabaon ve diğerleri, 2015) sabit mesnet kullanılmıştır. Yükleme yönünde düşey yer değiştirmeye ve kolonun bağlantı levhalara paralel olarak dönmesine olanak sağlamak için yüklenen uçtaki serbestlik dereceleri bu yönlerde serbest bırakılırken diğerleri yönlerde kısıtlanmıştır. Kolonun karşı ucu anakstare mesnetli olarak tasarlanmış ve sayısal analizinde kolonun her iki ucunda yer alan referans noktalarına bu sınır koşulları uygulanmıştır.



Şekil 45. Sınır koşullarını gösteren sonlu eleman ağ yapısı

Elemanların birbirlerinin yüzeylerinin kesmelerini önlemek için modelin yüzeylerine bir temas özelliği atanmıştır. Kayma sürtünmesi için teğetsel davranışta 0,1'lik bir katsayısı seçilmiştir.

Yapma kolon testlerinde kullanılan vida bağlantı elemanlarını modellemek için (Dar et al., 2021) kiriş bağlantı elemanları olan CONN3D2 olarak bilinen nokta tabanlı bağlantı elemanları kullanılmıştır (bkz. Şekil 46). Buna karşılık yapma kolon testinde kullanılan kaynaklı bağlantı tüm serbestlik dereceleri kısıtlanarak, kenardan kenara sonlu elemanlar ağından bağımsız bağlantı elemanları kullanılarak modellenmiştir (Dabaon et al., 2015).

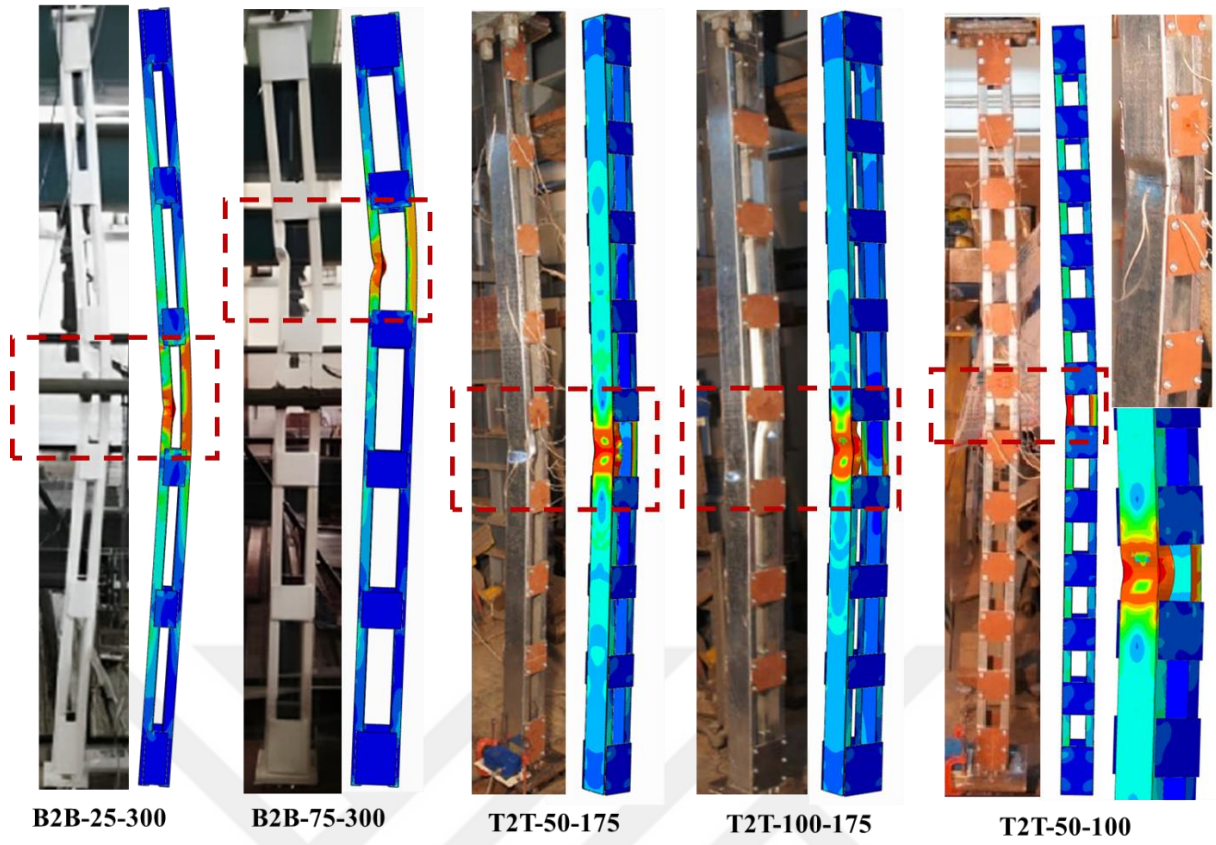


Şekil 46. Bağlantıların modellenmesi

Modellemede kolonun yüklemeyi uygulamak için deneyler sırasında uygulananlara benzer bir yer değiştirme kontrollü monotonik düşey yükleme kullanılmıştır. Bu arada deney sırasında gerçekleştirilen düşük hızlı yükleme protokolünü gerçekleştirmek için modellemede statik genel analizden yararlanılmıştır.

Sayısal modelin doğrulanması

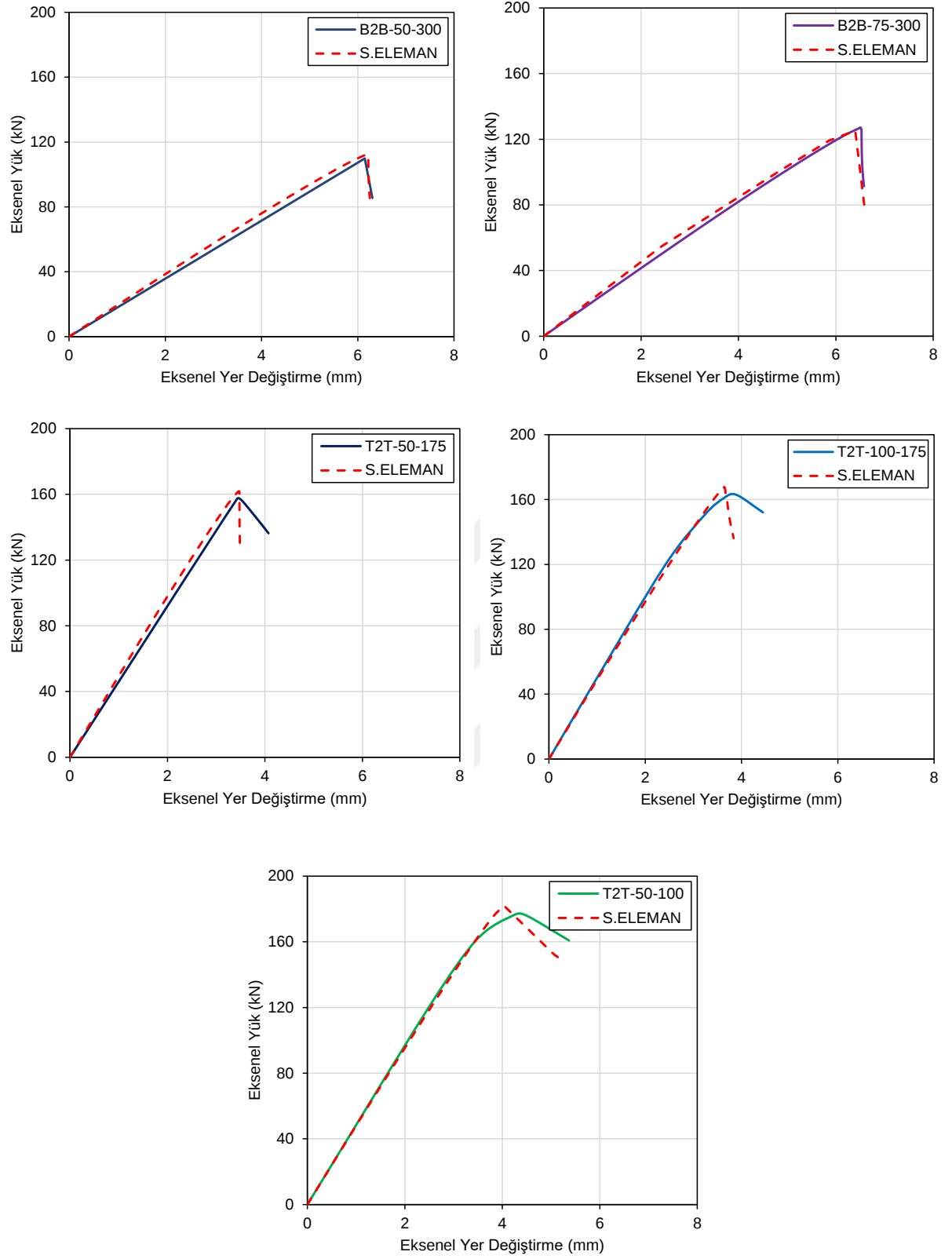
Parametrik bir çalışma yapmadan önce gerçekçi bir modelleme yeteneği sağlamak ve doğru sonuçlar elde etmek için sayısal modellerin deneysel bulgularına göre doğrulanması gerekmektedir. Bu çalışmanın ilk adımında literatürün hafif çelik yapma kolonlarından (Dar et al., 2021; Dabaon et al., 2015) seçilen beş farklı numunelerin sayısal modeller oluşturulmuş, analiz edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney numunelerinin maksimum yüklerin karşılık gelen sayısal modellerinin maksimum yükü Tablo 7 'de gösterildiği gibi 0,974 ortalama değeri ve 0,005 standart sapmasına sahiptir. Numunelerin göçme modları test sonuçlarını sayısal modellemelerle karşılaştırılması Şekil 47 'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 48'de hem deneysel hem de sonlu eleman analizinde numuneler için yatay yüke karşı düşey yer değiştirme eğrilerini görülmektedir. Tablo 8, Şekil 47 ve 48 'de sunulan sayısal davranışın deneysel davranışla karşılaştırılması sayısal modelin deneysel sonuçlarla çok iyi bir uyum içinde olduğunu ve parametrik araştırma için de uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 47. Deneysel ve sayısal göçme modları

Tablo 8. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

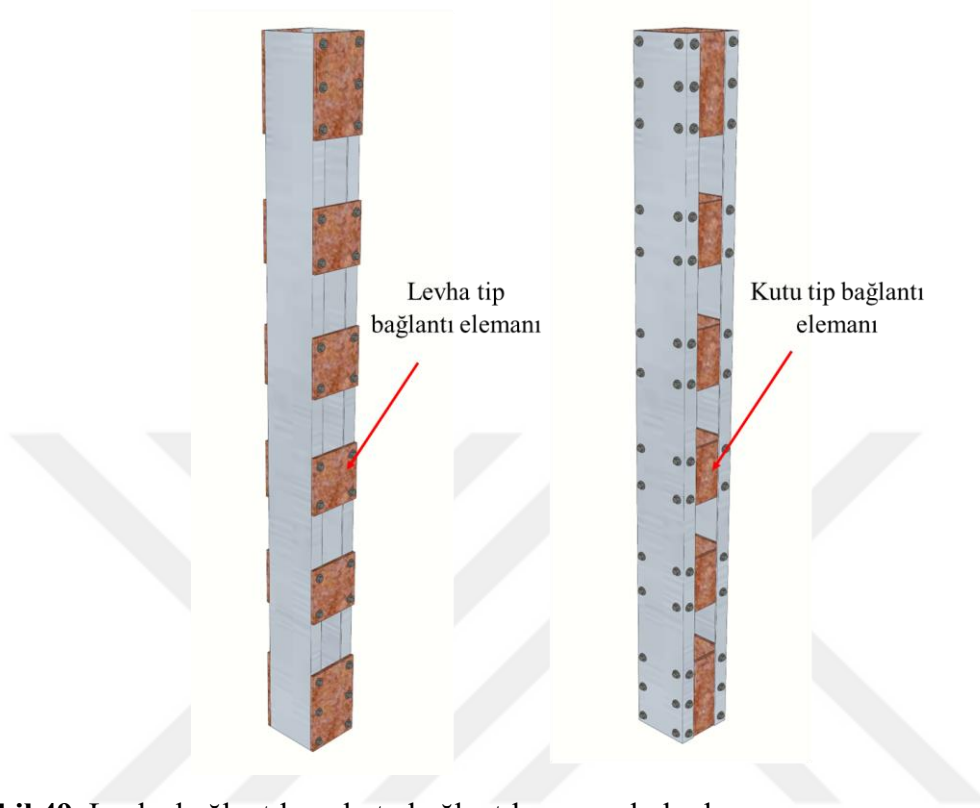
Numune	P_d (kN)	P_{se} (kN)	P_d / P_{se}
T2T -50 -100	176,23	181,94	0,97
T2T -50 -175	157,41	161,96	0,97
T2T -100 -175	163,01	167,72	0,97
B2B25 -300	109,90	112,41	0,98
B2B75 -300	125,30	127,24	0,98
		<i>Ortalama</i>	0,974
		<i>Std. Sapma</i>	0,005



Şekil 48. Deneysel ve sayısal numunelerin eksenel yük-yerdeğiştirme eğrilerin karşılaştırması

Hafif Çelik Yapma Kolonlarda Parametrik Çalışma Özellikleri

Parametrik sayısal model Şekil 49 'da gösterildiği gibi bağlantı haricinde doğrulanmış sayısal model ile aynıdır.

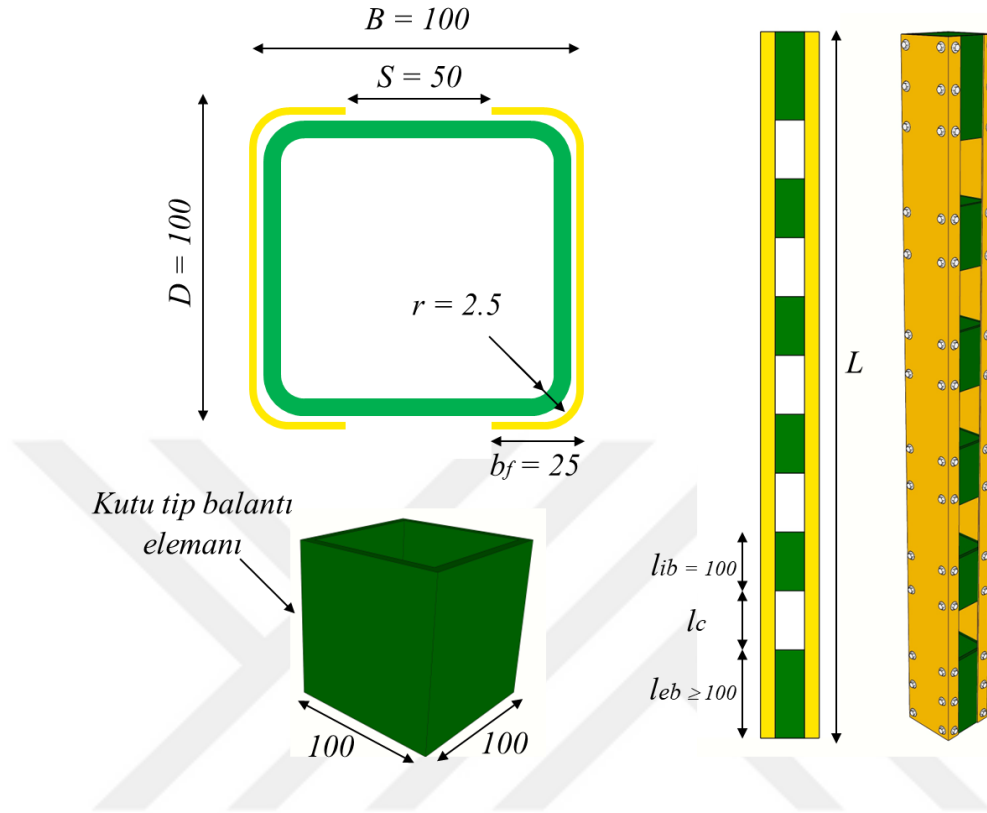


Şekil 49. Levha bağlantılı ve kutu bağlantılı yapma kolonlar

Parametrik sayısal modeller, sabit bir kesitsel en boy oranına sahiptir. Şekil 49 'da gösterildiği gibi vidaların gövde kısımlarında da devam etmesi eklenerek Dar (2021)' nın test numunelerindeki vida düzenlemeleri genişletilmiştir. Profil kalınlığı, gövdenin kesit narınlığının NAS20 tarafından belirlenen yönetmeliğe göre kabul edilebilir aralıkta olan 40, 50, 60, 70 ve ,80 değerlerinde olmasını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Bağlantı arasındaki mesafe profilin narınlığındaki değişim 0,25, 0,50, 0,75 ve 1,0'de elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Yapma kolonların narınlık değerleri 10 ile 180 arasında değişmekte olup 10 'luk tek düze bir aralıkta yer almaktadır. Ara bağlantı yüksekliği 100 mm olarak uç bağlantı yüksekliği 100 mm'ye eşit veya daha büyük olacak şekilde ayarlanmıştır. Her iki bağlantı tipi da 6 mm'lik kalınlığa sahiptir. Çalışmanın bu bölümünde ara bağlantı elemanların aralıkları, kolonların yüksekliği ve profil kalınlığındaki farklılıklar dikkate alınarak oluşturulan ve analizi gerçekleştirilen 360 model yer almaktadır.

Her model bağlantı elemanın tipi, kesit narınlığı, bağlantı elemanların aralığı ve kolonların narınlığı dikkate alınarak isimlendirilmiştir. HC - S50-0,50-60 isimlendirilmesinde HC kısaltması yapma kolonu anlamına gelmektedir. S50'deki 50 bir kesitin narınlığı

gösterirken 0,5 değeri bağlantı elemanların arağılığını temsil etmektedir. 60 terimi ise yapma kolonun inceliğini göstermektedir. Parametrik çalışma için kullanılan kolonların özellikleri Şekil 50 ve Tablo 9'da görülmektedir.

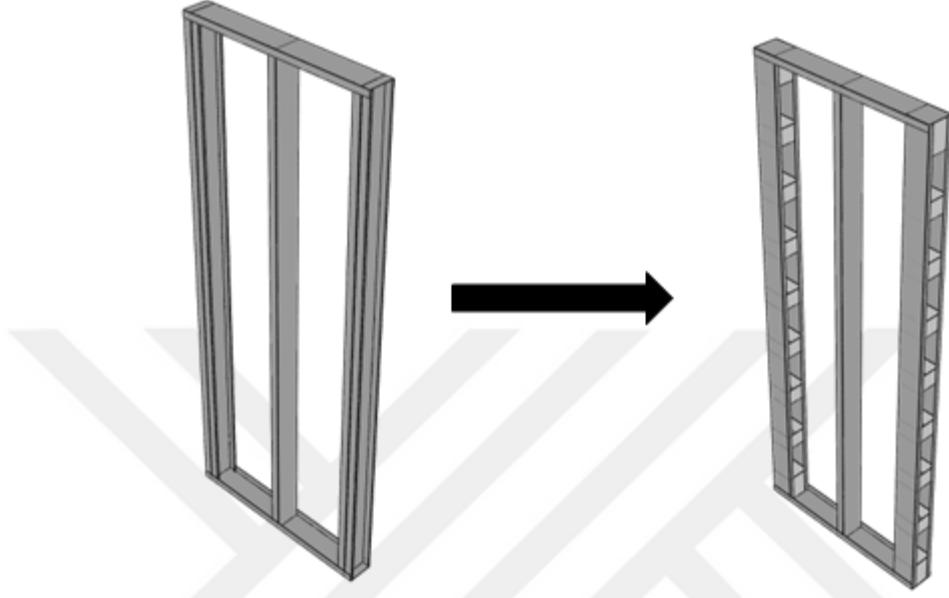


Şekil 50. Yapma kolonun geometrik detayları (Birim: mm)

Tablo 9. Yapma Kolonlar için Parametrik Çalışmanın Detayları

Kolon narınlığı (λ)	Bağlantı Aralıkları (λ_c/λ)	Profil Kalınlığı (t)
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80	0,25	1,19
90	0,50	1,36
100	0,75	1,58
110	1,0	1,90
120		2,38
130		
140		
150		
160		
170		
180		

Bu parametrik çalışmanın son bölümünde elik plakalarla kaplanmış hafif elik perde duvarların ereve sistemine yapma kolonunun dahil edilmesi esas amaç olmaktadır. Bu yaklaşım hafif elik perde duvarlarını ereve için kullanılan arka arkaya profillerin yapma kolonlarla değiştirilmesini içermektedir. Şekil 51’de arka arkaya profillerden hafif elik perde duvar sistemindeki yapma kolonlarına ereve geçişini görölmektedir.



Şekil 51. Hafif elik perde duvar sisteminde yapmalı kolonun kullanılması

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

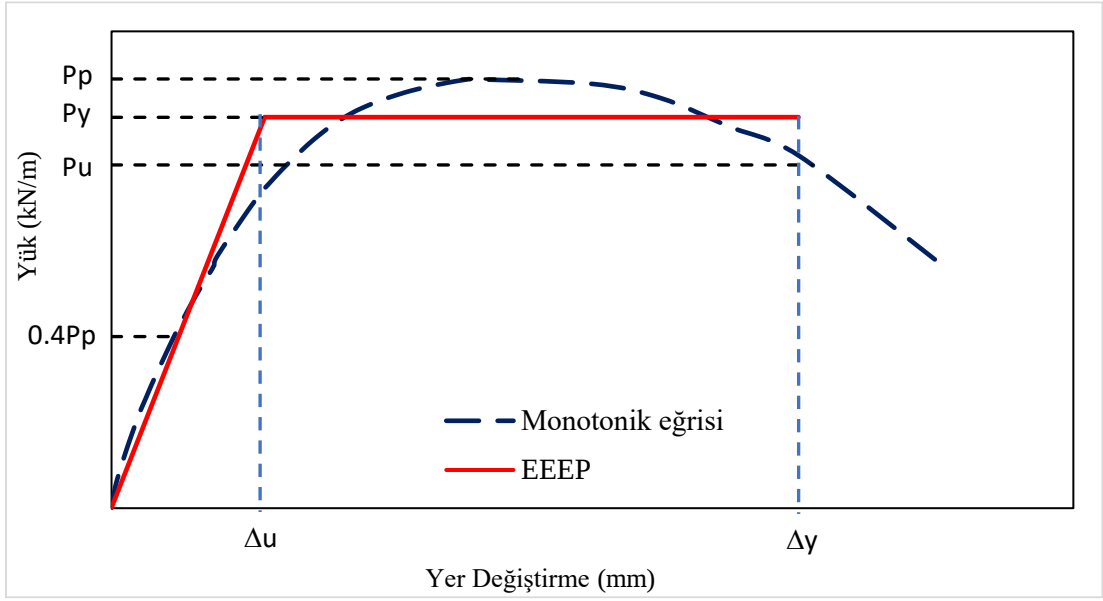
Çalışmanın bu bölümünde tez boyunca yürütülen kapsamlı çalışmalardan elde edilen sonuçlara değerlendirmeler sunulmuş ve tartışılmıştır. Bu bölümün ilk kısmında hafif çelik perde duvarlarla ilgili parametrik çalışmalardan elde edilen sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçlarda kaplama-çerçeve bağlantıları, kaplama kalınlığı, berkitme kullanımı ve duvar sisteminde boşlukların uygulanması gibi faktörler dikkate alınarak hafif çelik perde duvarların dayanımını ve burkulma davranışını kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu araştırmada ele alınan her bir numunenin sonuçları ilk aşamada sunulmuş ve tartışılmıştır. Ardından parametrelerdeki değişikliklerin çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların dayanım, rijitlik ve burkulma özellikleri gibi önemli davranışlarına nasıl etkidiğini anlaşılması için sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Bu bölümün ikinci kısmında hafif çelik yapma kolonlar üzerinde yapılan parametrik çalışmaların sonuçlarını ve değerlendirmelerini kapsamaktadır. Sonuçlarda kolon narinlik oranı, profil kalınlığı ve bağlantı elemanların aralığı gibi parametreleri dikkate alınarak yeni tip hafif çelik yapma kolonların aksel yük altında kapsamlı bir şekilde incelenmesini içermektedir.

Hafif Çelik Perde Duvarlar

Üçüncü bölümde bahsedilen parametrik çalışmaların sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır. Sonuçlar çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlarındaki kaplama - çerçeve bağlantılarını, çelik levha kalınlığını, berkitmeleri ve boşlukları kapsamaktadır.

Bu bölümde elde edilen sonuçlar Eşdeğer Enerji Elastik-Plastik (EEEP) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan bu yöntem; Park (1989), Foliente (1996), Ong - Ton (2009), DaBreio (2012), Balh vd. (2014) ve Rizk (2017) gibi farklı araştırmacılar tarafından yapılan önceki çalışmalarda Eşdeğer Enerji Elastik Plastik (EEEP) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle numunelerin davranışını doğrusal bir elastik - plastik eğri kullanarak akma dayanımı, rijitlik, düktilite vb. özelliklerinin elde edilmektedir. Bu yaklaşımın temel prensibi sönmölen enerji'nin yük-yer değıştirme eğrisinin altındaki alanın hesaplanmasıyla elde edilmesidir. Bu sönmölen enerji aynı zamanda EEEP yöntemi kullanılarak elde edilen doğrusal eğri altındaki alana eşdeğer olmaktadır. Şekil 52 'de EEEP modeli görölmektedir.



Şekil 52. Eşdeğer Enerji Elastik Plastik (EEEP) uygulaması

EEEP grafiği elastik rijitliği, akma dayanımı ve düktiliteyi elde etmek için kullanılmaktadır (Denklem 3,4,5,6).

$$K_e = \frac{0.4 P_p}{\Delta_{0.4P_p}} \quad (3)$$

$$P_y = \frac{-\Delta_u \pm \sqrt{\Delta_u^2 - \frac{2A}{K_e}}}{\frac{-1}{K_e}} \quad (4)$$

$$\Delta_y = \frac{P_p}{K_e} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (6)$$

burada,

K_e = Elastik rijitlik

P_p = Maksimum yükü

P_y = Akma dayanımı

μ = Düktilite indeksi

Δ_u = Nihai yer değiştirme

Δ_y = Akma yer değiştirme

Kaplama - çerçeve bağlantıları ve çelik levha kalınlığı

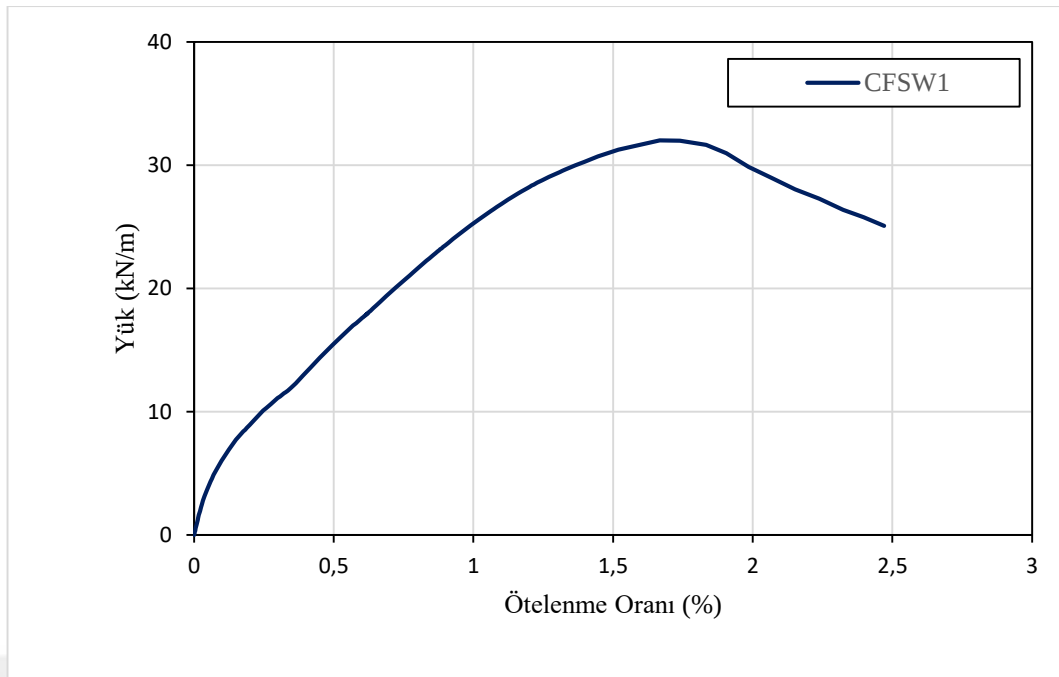
Çelik kaplama plakaları ile çerçeve elemanları arasındaki bağlantılar çelik kaplamalı hafif çelik perde duvarların göçmesinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Perde duvar sisteminin göçme modları öncelikle bağlantıların tipine, bağlantı elemanlarının boyutlarına ve bağlantı elemanlarının aralığına bağlıdır. Çalışmanın bu bölümünde duvar sisteminin kaplama - çerçeve bağlantısında 100 mm, 150 mm ve 200 mm olmak üzere üç farklı vida aralığı incelenmiştir. Öte yandan çelik levha kaplama hafif çelik perde duvarlarının kesme dayanımını artırılmasında öncelikli olan sistem elemanıdır. Araştırmalarda çerçevenin kendisinin bir hafif çelik perde duvarın toplam dayanımına yalnızca % 8 katkıda bulunduğunu görülmüştür. Bu analiz çalışmasında çerçeve-levha kalınlık oranını dikkate alarak üç farklı çelik levha kalınlığını dikkate alınmıştır. Çalışmada incelenen çelik levha kalınlıkları 1 mm, 0,8 mm ve 0,6 mm'dir.

Yükleme durumu için duvar sistemlerinin üst kısmına maksimum yer değiştirme sınırı 75 mm olan bir yer değiştirme kontrollü yükleme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu kontrollü yükleme yönteminin kullanılması literatür taramasında yapılan deneysel testlerle aynı koşullar altında metodik olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Sonlu eleman analizini kullanarak yük - yer değiştirme eğrisi ve göçme modları gibi kritik verilerin elde edilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan durum vida aralığı ve değişen çelik levha kalınlığı ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların genel yapısal performansı arasındaki ilişkilerin belirlenmesine ve anlaşılmasına yöneliktir. Duvar sistemlerinin rijitliği, akma dayanımı, akma yer değiştirmesi ve diğer önemli özellikleri gibi davranışlarını belirlemek için Eşdeğer Enerji Elastik Plastik (EEEP) yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde sunulan duvar sistemleri CFSW1, CFSW2, CFSWS3, CFSWS4, CFSWS5 ve CFSWS6'dır.

CFSW1 numunesinin davranışı

CFSW1 numunesi doğrulama numunesi olarak duvar sistemini temsil etmektedir. Bu numune kaplama - çerçeve bağlantısında çapraz vida düzenlemesine sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm ve genişliği 1200 mm'dir. Duvarın imalatı için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı ile çapraz düzenleme kullanılarak çelik levhayı sınır çerçevesine bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılmıştır. Şekil 53'te duvar sisteminin yatay yük-ötelenme oranı eğrisi görülmektedir.



Şekil 53. CFSW1 için yatay yüke karşı ötelenme oranı

Yatay yük-yer değiştirme eğrisinin oluşturulmasında duvar sisteminin üstüne maksimum 75 mm monotonik bir yatay deplasman uygulanmıştır. Farklı numuneler arasında karşılaştırmayı kolaylaştırmak için grafik 53'ten elde edilen yük 1,2 metre olan duvarın genişliğine bölünerek normalleştirilmiştir. Bu teknik dayanım değerlerinin metre bazında tutarlı ve anlamlı bir şekilde karşılaştırılmasına olanak sağlar.

Dayanımın duvar sisteminin genişliğine bölünmesi dayanım değerlerinin karşılaştırılabilirliğini artırarak duvarın yapısal performansının standartlaştırılmış bir temelde kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu yaklaşım farklı yükleme koşulları altında duvar sisteminin davranışı hakkında anlamlı sonuçlar oluşturmak için çok önemlidir.

Tablo 10'de CFSW1'in maksimum yükü (P_p), akma yükü (P_y), elastik rijitliği (K_e) ve diğer özellikleri yer almaktadır. Tablo 10 'deki verileri oluşturmak için Şekil 53' teki Eşdeğer Enerji Elastik Plastik (EEEP) tekniği uygulanmıştır.

Tablo 10. CFSW1 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δy (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSW1	31,98	28,37	25,54	1,11	74	2,90

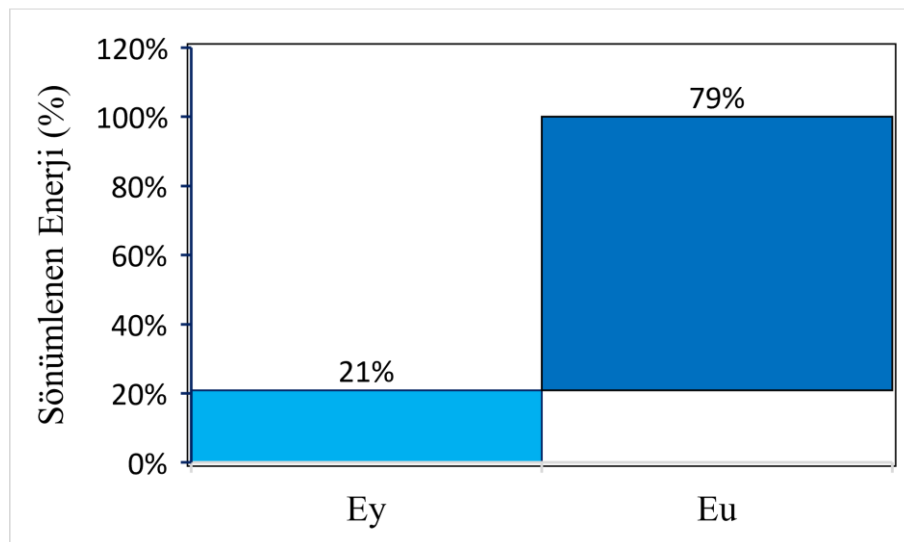
Şekil 53 ve Tablo 10 'e göre CFSW1 in maksimum dayanım kapasitesi 31,98 kN/m'dir. Bu değer duvarın yatay yüklere dayanma yeteneğini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlenmesi açısından için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 28,37 kN/m'den başlamakta ve 25,54 mm yer değiştirmede oluşmaktadır. Bu değerler sistemin

uygulanan yükleri karşılamada malzemede plastik deformasyonun başladığını gösteren önemli bir dayanım değeri olarak görülmektedir. Duvar sisteminin önemli bir parametresi olan elastik rijitlik değeri 1,11 kN/m/mm olarak elde edilmiştir. Bu değer sistemin dış yüklere karşı ilk davranışını ve deformasyon dayanım kapasitesi hakkında bilgi sağlayan veren değer maksimum yükün % 40 'ındaki rijitlik ile hesaplanmaktadır.

Ayrıca duvar sisteminin sönmölenen enerjisini belirlemek için yük - yer değıştirme eğrisi altında kalan alan kullanılmıştır. Bu alan Origin 2021b programı kullanılarak hesaplanmıştır. Alan her biri sistemin sönmölenen enerjisinin özellikleri için önemli uygulamalara sahip iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönmölenen enerjisinin ilk kısmı akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik kısmını kapsamaktadır. Eğri altındaki alanın bu bölümü yüklemenin ilk aşamalarında akmanın başladığı noktaya kadar sistem tarafından sönmölenen enerji hakkında bilgi sunmaktadır. Sönmölenen enerjinin ikinci fazı akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilmektedir. Ayrıca eğri altındaki toplam alan yükleme işlemi sırasında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtmakta ve E_t ile gösterilmektedir. Tablo 11 ve Şekil 54'de duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmölenmesi için duvar sisteminin sönmölenen enerjisini göstermektedir.

Tablo 11. CFSW1 Numunesinin Sönmölenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSW1	434,72	1649,41	2084,13

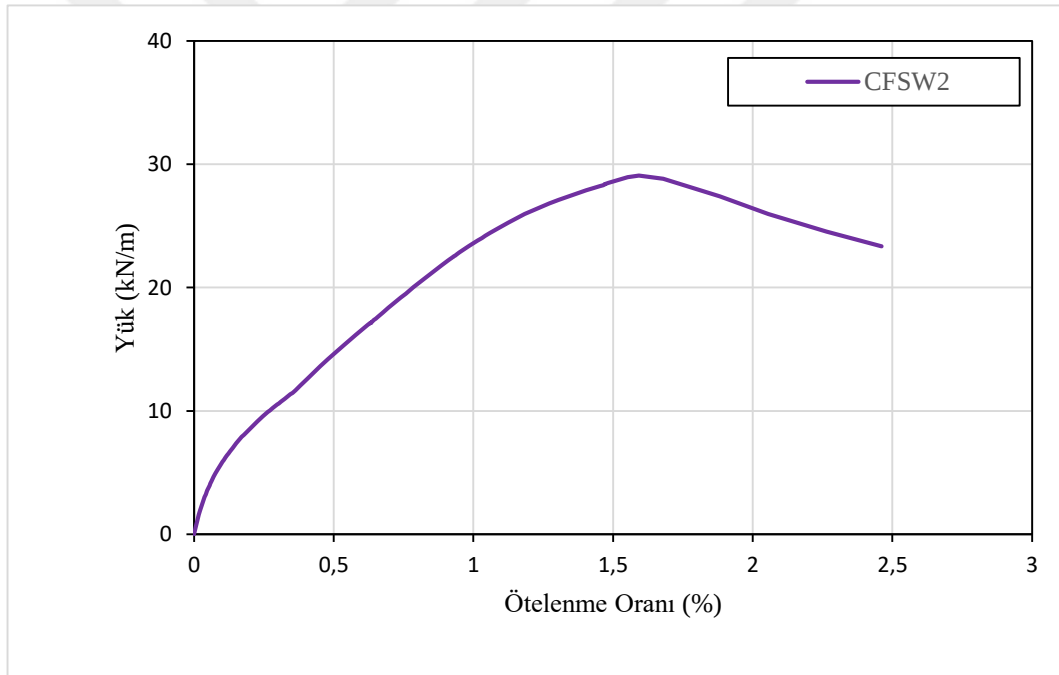


Şekil 54. CFSW1'in sönmölenen enerji yüzdesi

Çapraz vida aralığına sahip hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 2084,13 kN.mm enerji sönümlendiği Tablo 11 'de görülmektedir. Şekil 54'te bu enerjinin % 21 'inin akma noktasına kadar sönümlendiği diğer % 79' unun ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönümlendiği görülmektedir.

CFSW2 numunesinin davranışı

Bu numune kaplama - çerçeve bağlantısında tek hatlı vida düzenlemesine sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu numunede çelik levhanın kenarlarında 100 mm aralıklı ve çelik levhanın merkezinde 300 mm aralıklı tek hatlı vidalar kullanılarak çelik levhayı sınır çerçevesine bağlamak için 4,8 mm çaplı 10 numaralı vidalar kullanılmıştır. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Şekil 55'de duvar sisteminin yatay yük-ötelenme oranı eğrisi görülmektedir.



Şekil 55. CFSW2 için yatay yüke karşı ötelenme oranı

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 75 mm monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuştur. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir. Tablo 13, CFSW2 'nin maksimum yükünü, akma yükünü, elastik rijitliğini ve diğer özelliklerini görülmektedir. Tablo 12 'deki verileri oluşturmak için Şekil 55' e EEEP tekniği uygulanmıştır.

Tablo 12. CFSW2 Numunesinin Analiz Sonuçları

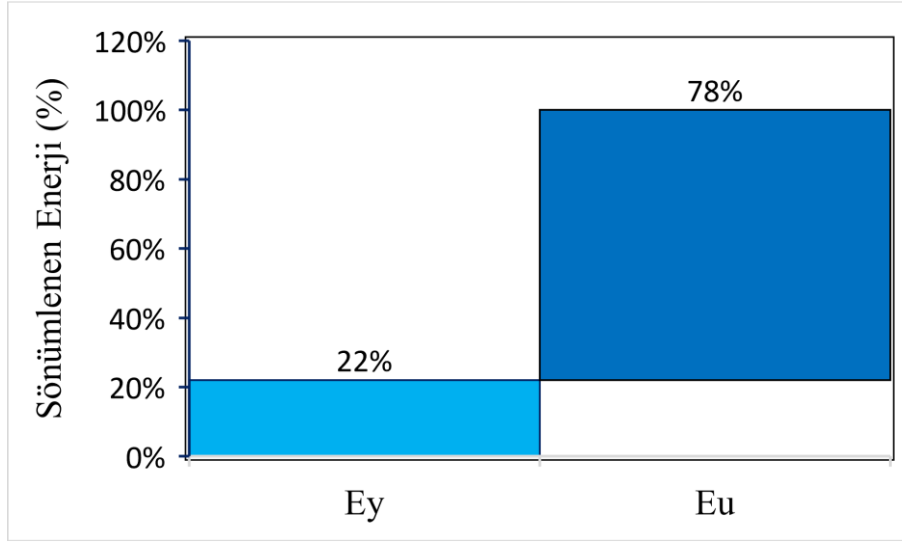
Numune	Pp (kN/m)	Py (kN / m)	Δ_y (mm)	K _e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSW2	29,07	26,17	26,68	0,98	74	2,77

Şekil 55 ve Tablo 12 'e göre CFSW2' nin maksimum dayanım kapasitesi 28,07 kN/m'dir. Duvar sistemindeki akma dayanımı 26,17 kN/m'ye eşittir ve 26,68 mm'lik bir yer değiştirme ile ilgilidir. Bu değerler, sistemin uygulanan yüklere tepkisinde, malzemede plastik deformasyonun başladığını gösteren önemli bir noktayı görülmektedir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 0,98 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

Duvar sisteminin sönmölenen enerjisini belirlemek için, yük - yer değiştirme eğrisinin altındaki alan, her biri sistemin sönmölenen enerjisinin özellikleri için önemli bir uygulamaya sahip olan iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönmölenen enerjisinin ilk kısmı, akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik kısmı ile ilgilidir. Eğri altındaki alanın bu bölümü, yüklemenin erken aşamalarında, akımın başladığı noktaya kadar sistem tarafından sönmölenen enerji hakkında bilgi sunar. Bu ayırım, sistemin ılımlı yükleme durumları altındaki davranışını anlamak için gereklidir. Sönmölenen enerjisinin ikinci fazı, akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilir. Ayrıca, eğri altındaki genel alan, yükleme işlemi sırasında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtır ve E_t ile gösterilir. Tablo 13 ve Şekil 56, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmölenmesi için duvar sisteminin sönmölenen enerjisini görülmektedir.

Tablo 13. CFSW2 Numunesinin Sönmölenen Enerjisi

Numune	E _y (kN.mm)	E _u (kN.mm)	E _t (kN.mm)
CFSW2	418,93	1485.63	1904.56

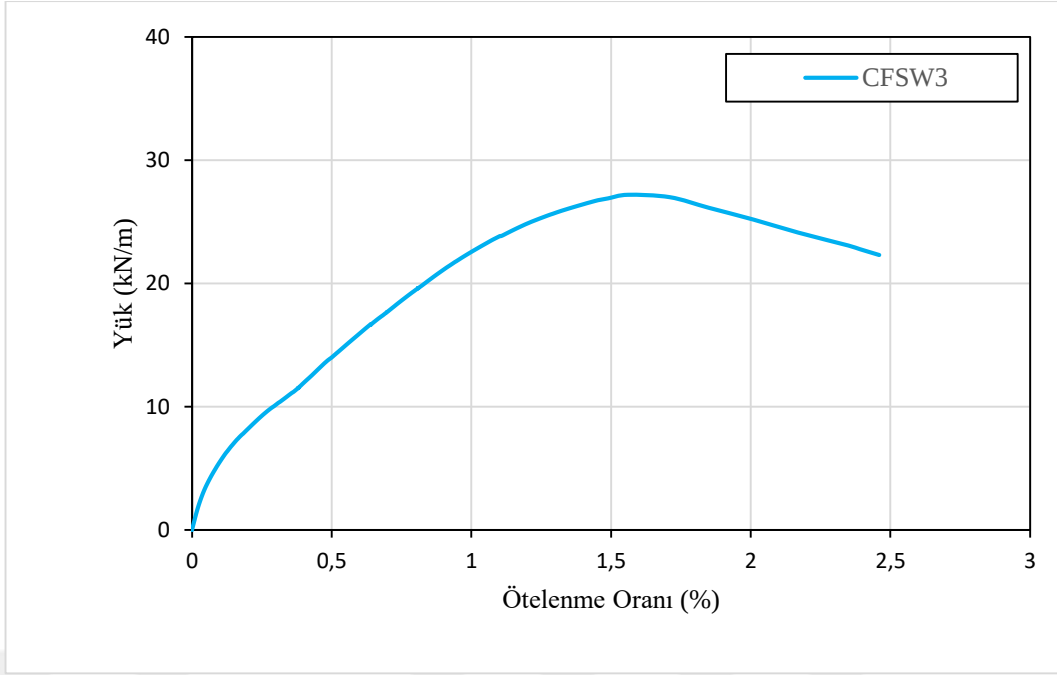


Şekil 56. CFSW2 'nin sönümlenen enerji yüzdesi

100 mm vida aralığına sahip hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 1904,56 kN.mm enerji sönümlendiği Tablo 13 'te görülmektedir. Şekil 56, bu enerjinin %22 'sinin akma noktasına kadar sönümlendiği, diğer % 78' inin ise akma noktası ile duvar sisteminin göçme arasında sönümlendiği görülmektedir.

CFSW3 numunesinin davranışı

Bu numune, kaplama - çerçeve bağlantısında tek hatlı vida düzenlemesine sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu Numunede, çelik levhanın kenarlarında 150 mm aralıklı ve çelik levhanın merkezinde 300 mm aralıklı tek hatlı vidalar kullanılarak çelik levhayı sınır çerçevesine bağlamak için 4,8 mm çaplı 10 numaralı vidalar kullanılır. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Şekil 57'de duvar sisteminin yatay yük-öteleme oranı eğrisi görülmektedir.



Şekil 57. CFSW3 için yatay yüke karşı ötelenme oranı

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 75 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuş. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir. Tablo 15, CFSW3 'ün maksimum yükünü, akma yükünü, elastik rijitliğini ve diğer özelliklerini görülmektedir. Tablo 14 'deki verileri oluşturmak için Şekil 57' ye EEEP tekniği uygulanmıştır.

Tablo 14. CFSW3 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P _p (kN/m)	P _y (kN / m)	Δ _y (mm)	K _e (kN/m/mm)	Δ _u (mm)	μ
CFSW3	27,18	24,63	25,36	0,97	74	2,92

Şekil 57 ve Tablo 14 'e göre CFSW3 ün maksimum dayanım kapasitesi 27,18 kN/m'dir. Duvar sistemindeki akma dayanımı 2,36 kN/m'ye eşittir ve 25,36 mm'lik bir yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 0,97 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

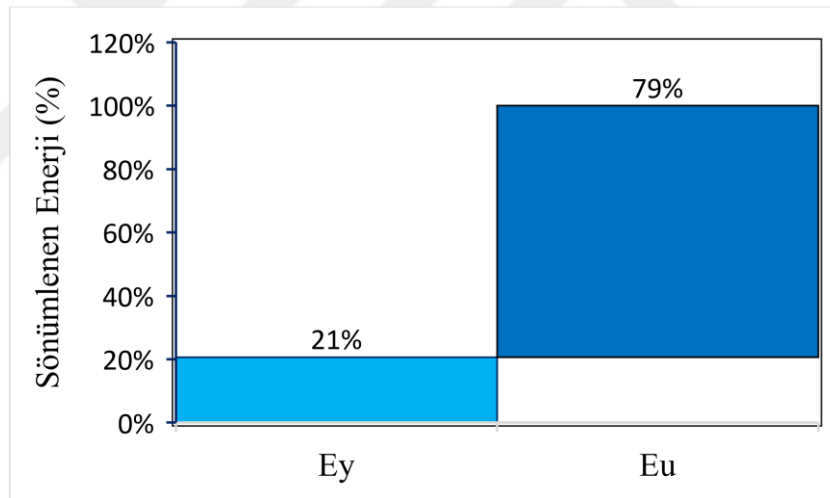
Duvar sisteminin sönmölen enerjiğini belirlemek için, yük - yer değiştirme eğrisinin altındaki alan, her biri sistemin sönmölen enerjiğinin özellikleri için önemli bir uygulamaya sahip olan iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönmölen enerjiğinin ilk kısmı, akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik kısmı ile ilgilidir. Eğri altındaki alanın bu bölümü, yüklemenin erken aşamalarında, akımın başladığı noktaya kadar sistem tarafından sönmölen enerji hakkında bilgi sunar. Bu ayırım sistemin ılımlı yükleme durumları

altındaki davranışını anlamak için gereklidir. Sönümlenen enerjinin ikinci kısmı akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilir. Ayrıca eğri altındaki genel alan, yükleme işlemi sırasında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtır ve E_t ile gösterilir. Tablo 16 ve Şekil 58, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji absorpsiyonları için duvar sisteminin sönümlenen enerjisini göstermektedir.

Tablo 15. CFSW3 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSW3	374,77	1437,73	1812,50

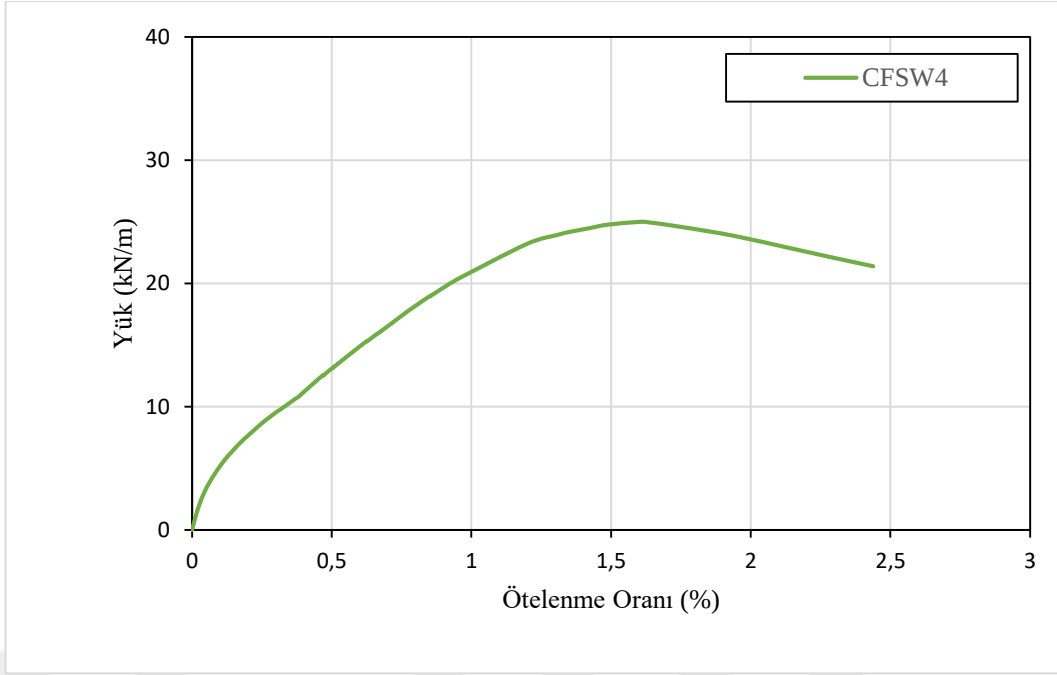
100 mm vida aralığına sahip hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 1812,5 kN.mm enerji sönümlendiği Tablo 15 'de görülmektedir. Şekil 58, bu enerjinin % 21 'inin akma noktasına kadar sönümlendiği, diğer % 79' unun ise akma noktası ile duvar sisteminin göçme arasında sönümlendiği görülmektedir.



Şekil 58. CFSW3 'ün sönümlenen enerji yüzdesi

CFSW4 numunesinin davranışı

Bu numune, kaplama - çerçeve bağlantısında tek hatlı vida düzenlemesine sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu Numunede, çelik levhanın kenarlarında 200 mm aralıklı ve çelik levhanın merkezinde 300 mm aralıklı tek hatlı vidalar kullanılarak çelik levhayı sınır çerçevesine bağlamak için 4,8 mm çaplı 10 numaralı vidalar kullanılır. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Şekil 59, duvar sisteminin yatay yük-yer değiştirme eğrisi görülmektedir.



Şekil 59. CFSW4 için yatay yüke karşı ötelenme oranı

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 75 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuş. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir. Tablo 16, CFSW4 'ün maksimum yükünü, akma yükünü, elastik rijitliğini ve diğer özelliklerini görülmektedir. Tablo 16 'daki verileri oluşturmak için Şekil 59' a EEEP tekniği uygulanmıştır.

Tablo 16. CFSW4 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P _p (kN/m)	P _y (kN / m)	Δ _y (mm)	K _e (kN/m/mm)	Δ _u (mm)	μ
CFSW4	24,98	22,53	24,34	0,93	74	3,04

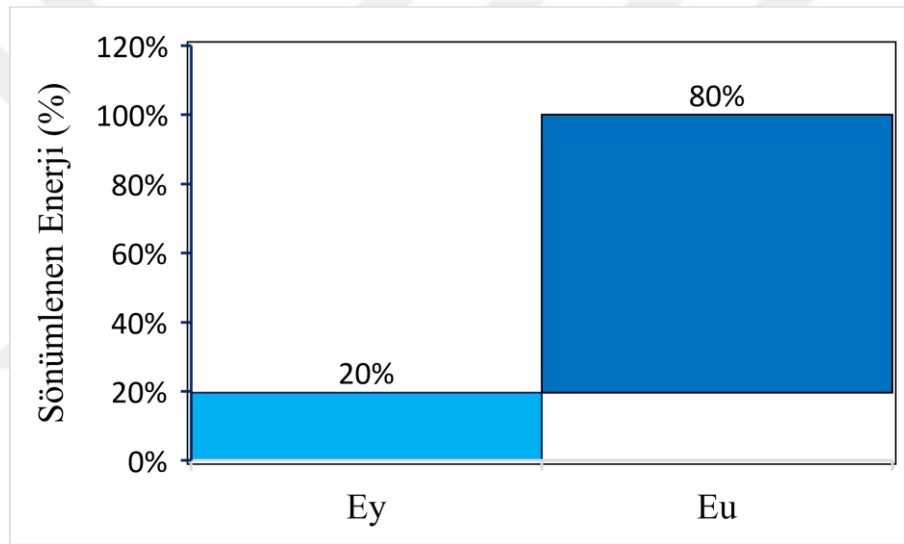
Şekil 59 ve Tablo 16 'ye göre CFSW4' ün maksimum dayanım kapasitesi 24,98 kN/m'dir. Duvar sistemindeki akma dayanımı 22,53 kN/m'ye eşittir ve 24,34 mm'lik bir yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 0,93 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

Duvar sisteminin sönmölenen enerjisini belirlemek için, yük - yer değiştirme eğrisinin altındaki alan, her biri sistemin sönmölenen enerjisinin özellikleri için önemli bir uygulamaya sahip olan iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönmölenen enerjisinin ilk kısmı, akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik kısmı ile ilgilidir. Eğri altındaki alanın bu bölümü, yüklemenin erken aşamalarında, akımın başladığı noktaya kadar sistem tarafından sönmölenen enerji hakkında bilgi sunar. Bu ayrım, sistemin ılımlı yükleme durumları

altındaki davranışını anlamak için gereklidir. Sönümlenen enerjisinin ikinci fazı, akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilir. Ayrıca, eğri altındaki genel alan, yükleme işlemi sırasında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtır ve E_t ile gösterilir. Tablo 17 ve Şekil 60, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji absorpsiyonları için duvar sisteminin sönümlenen enerjisini göstermektedir.

Tablo 17. CFSW4 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSW4	329,06	1342,38	1671,44

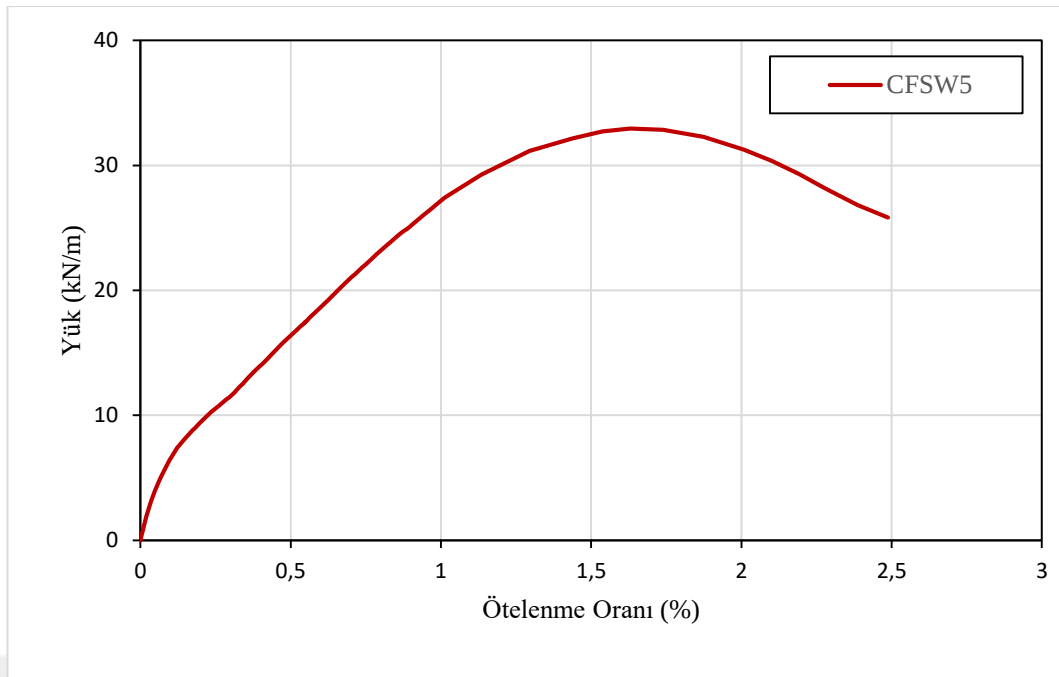


Şekil 60. CFSW4 'ün sönümlenen enerji yüzdesi

100 mm vida aralığına sahip hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 1671,44 kN.mm enerji sönümlendiği Tablo 18 'de görülmektedir. Şekil 60, bu enerjinin % 20 'sinin akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 80' inin ise akma noktası ile duvar sisteminin göçme arasında sönümlendiği görülmektedir.

CFSW5 numunesinin davranışı

Bu numunede, duvarı kaplamak için kullanılan çelik plakanın kalınlığı 1,0 mm olarak değiştirildi, ancak çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm olarak kalır. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı ile çapraz düzenleme kullanılarak çelik levhayı sınır çerçevesine bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Şekil 61, duvar sisteminin yatay yük-yer değiştirme eğrisi görülmektedir.



Şekil 61. CFSW5 için yatay yüke karşı ötelenme oranı

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 75 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuş. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir. Tablo 18, CFSW5 'nin maksimum yükünü, akma yükünü, elastik rijitliğini ve diğer özelliklerini göstermektedir. Tablo 18 'deki verileri oluşturmak için Şekil 61' e EEEP tekniği uygulanmıştır.

Tablo 18. CFSW5 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P _p (kN/m)	P _y (kN / m)	Δ _y (mm)	K _e (kN/m/mm)	Δ _u (mm)	μ
CFSW5	32,96	29,93	24,89	1,20	74	2,97

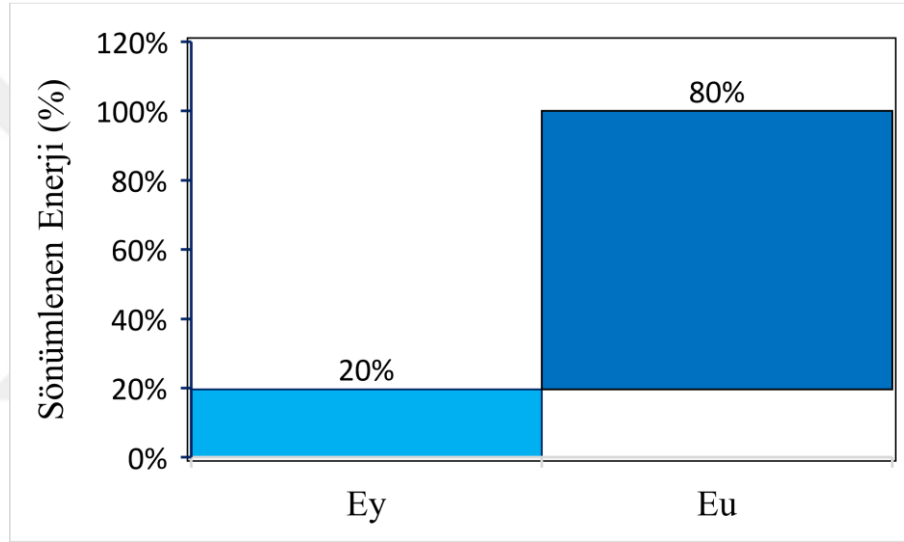
Şekil 61 ve Tablo 18 'a göre CFSW5' ün maksimum dayanım kapasitesi 32,96 kN/m'dir. Duvar sistemindeki akma dayanımı 29,93 kN/m'ye eşittir ve 24,89 mm'lik bir yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,20 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

Duvar sisteminin sönmölenen enerjisini belirlemek için, yük - yer değiştirme eğrisinin altındaki alan, her biri sistemin sönmölenen enerjisinin özellikleri için önemli bir uygulamaya sahip olan iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönmölenen enerjisinin ilk kısmı, akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik kısmı ile ilgilidir. Eğri altındaki alanın bu bölümü, yüklemenin erken aşamalarında, akımın başladığı noktaya kadar sistem tarafından sönmölenen enerji hakkında bilgi sunar. Bu ayırım, sistemin ılımlı yükleme durumları

altındaki davranışını anlamak için gereklidir. Sönümlenen enerjisinin ikinci fazı, akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilir. Ayrıca, eğri altındaki genel alan, yükleme işlemi sırasında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtır ve E_t ile gösterilir. Tablo 19 ve Şekil 62, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji absorpsiyonları için duvar sisteminin sönümlenen enerjisini göstermektedir.

Tablo 19. CFSW5 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSW5	447,07	1763,73	2210,80

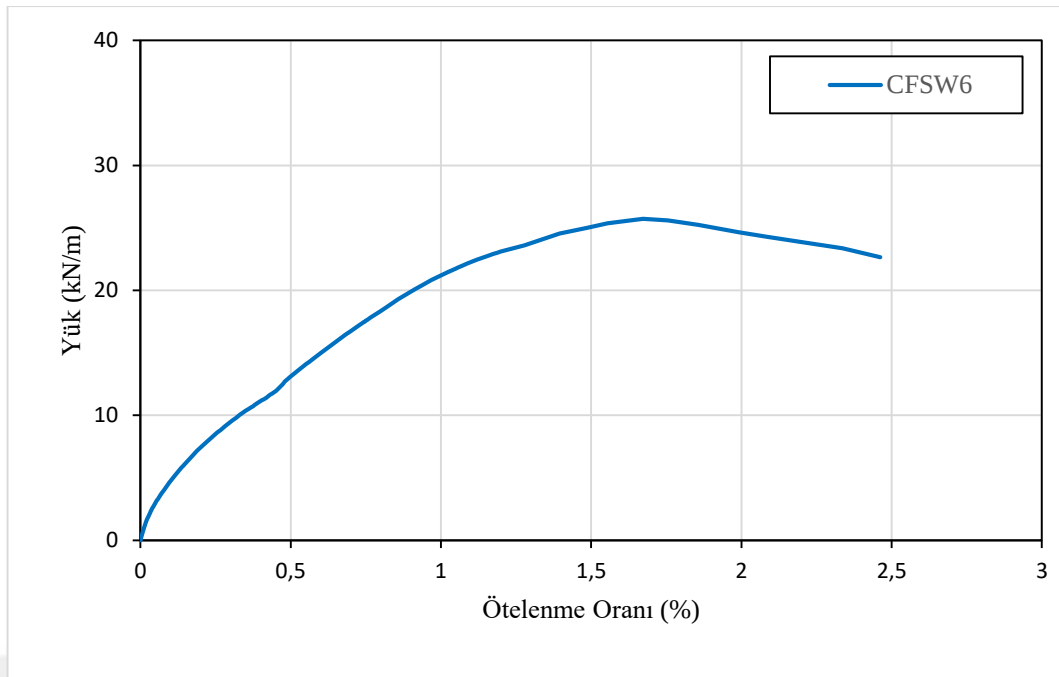


Şekil 62. CFSW5 için sönümlenen enerji yüzdesi

1,0 mm kaplama kalınlığına sahip hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 2210,8 kN.mm enerji sönümlendiği Tablo 19 'de görülmektedir. Şekil 62, bu enerjinin % 21 'inin akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 79' unun ise akma noktası ile duvar sisteminin göçme arasında sönümlendiği görülmektedir.

CFSW6 numunesinin davranışı

Bu numunede, duvarı kaplamak için kullanılan çelik plakanın kalınlığı 0,6 mm olarak değiştirildi, ancak çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm olarak sabittir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı ile çapraz düzenleme kullanılarak çelik levhayı sınır çerçevesine bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Şekil 63, duvar sisteminin yatay yük-yer değiştirme eğrisi görülmektedir.



Şekil 63. CFSW6 için yatay yüke karşı ötelenme oranı

Yük-yer değiştirme eğrisi (ötelenme oranı), duvar sisteminin tepesine maksimum 75 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuş. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir. Tablo 20, CFSW2 'nin maksimum yükünü, akma yükünü, elastik rijitliğini ve diğer özelliklerini görülmektedir. Tablo 21 'deki verileri oluşturmak için Şekil 63' e EEEP tekniği uygulanmıştır.

Tablo 20. CFSW6 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P _p (kN/m)	P _y (kN / m)	Δ _y (mm)	K _e (kN/m/mm)	Δ _u (mm)	μ
CFSW6	25,72	23,11	23,3	0,99	74	3,18

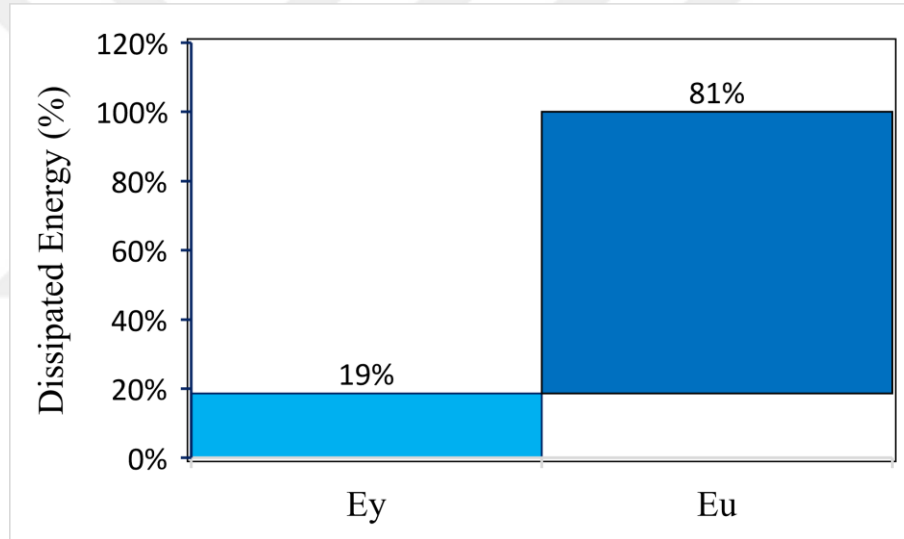
Şekil 63 ve Tablo 20 'e göre CFSW6' nın maksimum dayanım kapasitesi 25,72 kN/m'dir. Duvar sistemindeki akma dayanımı 23,11 kN/m'ye eşittir ve 23,3 mm'lik bir yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 0,99 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

Duvar sisteminin sönmölenen enerjisini belirlemek için, yük - yer değiştirme eğrisinin altındaki alan, her biri sistemin sönmölenen enerjisinin özellikleri için önemli bir uygulamaya sahip olan iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönmölenen enerjisinin ilk kısmı, akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik kısmı ile ilgilidir. Eğri altındaki alanın bu bölümü, yüklemenin erken aşamalarında, akımın başladığı noktaya kadar sistem

tarafından sönümlenen enerji hakkında bilgi sunar. Bu ayrım, sistemin ılımlı yükleme durumları altındaki davranışını anlamak için gereklidir. Sönümlenen enerjisinin ikinci fazı, akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilir. Ayrıca, eğri altındaki genel alan, yükleme işlemi sırasında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtır ve E_t ile gösterilir. Tablo 21 ve Şekil 64, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji absorpsiyonları için duvar sisteminin sönümlenen enerjisini göstermektedir.

Tablo 21. CFSW6 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSW6	323,02	1405,89	1728,91

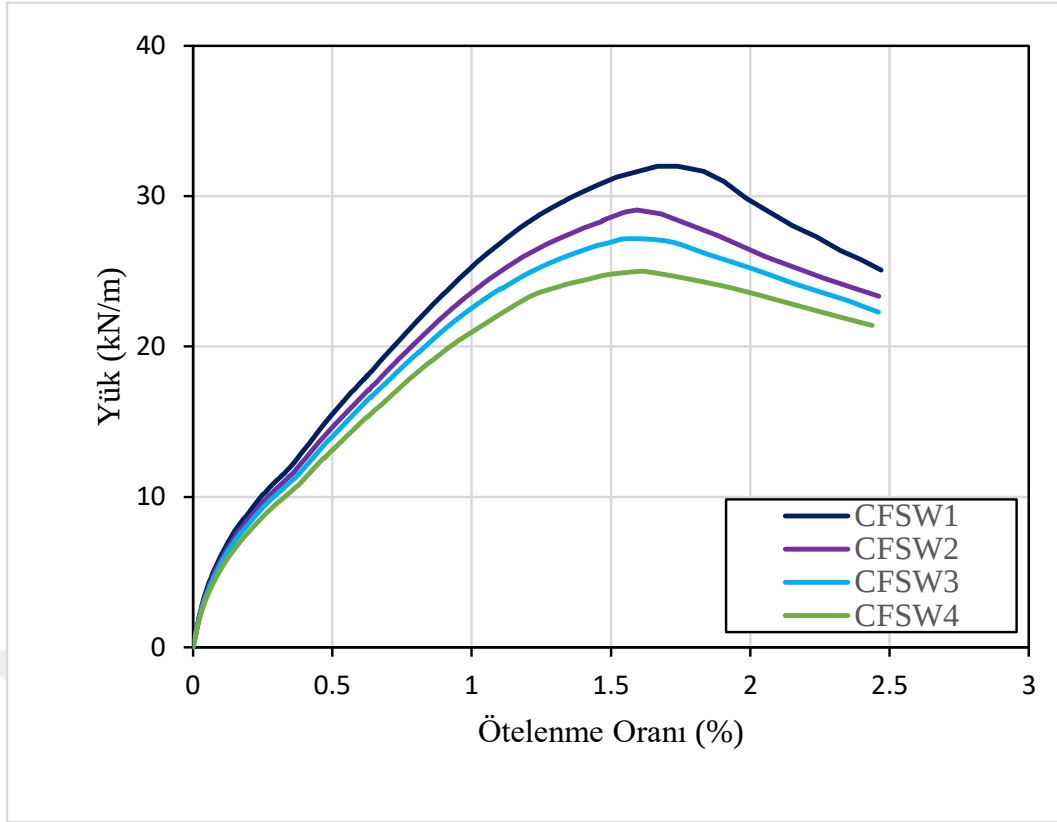


Şekil 64. CFSW6 'nın sönümlenen enerji yüzdesi

1,0 mm kaplama kalınlığına sahip hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 1728,91 kN.mm enerji sönümlendiği Tablo 21 'de görülmektedir. Şekil 64, bu enerjinin % 19 'unun akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 81' inin ise akma noktası ile duvar sisteminin göçme arasında sönümlendiği görülmektedir.

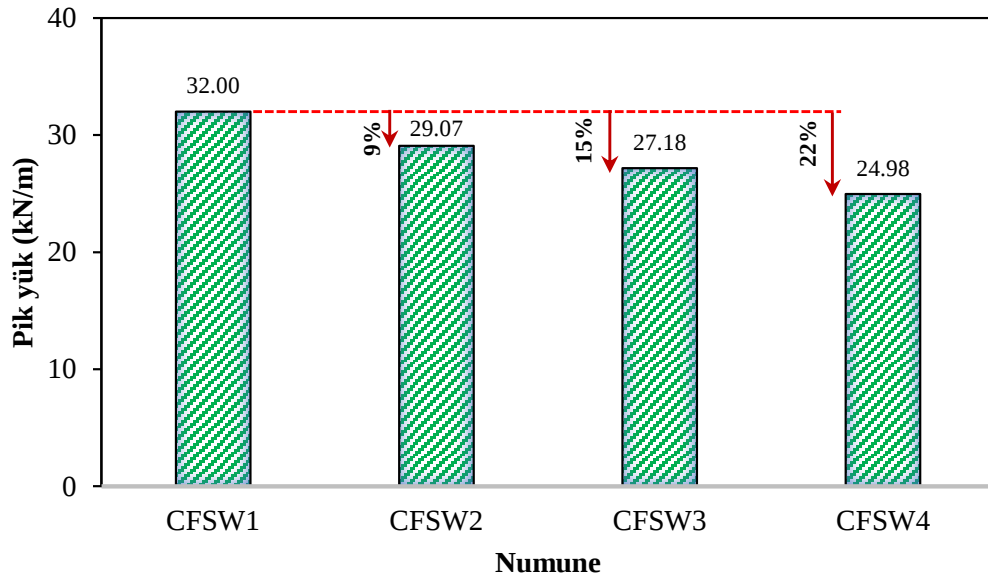
Vida aralığı ve çelik levha kalınlığı için sonuçların karşılaştırılması

Şekil 65 'te çapraz vida düzeninin (CFSW1) 100 mm mesafeli tek hat vida aralığı (CFSW2), 150 mm mesafeli tek hat vida aralığı (CFSW3) ve 200 mm mesafeli tek hat vida aralığı (CFSW4) için yatay yük-yer değiştirme eğrisi görülmektedir. Bağlantı elemanı aralığındaki azalma ile duvar sisteminin kesme dayanımındaki artış arasındaki ilişki Şekil 65'te görülmektedir.



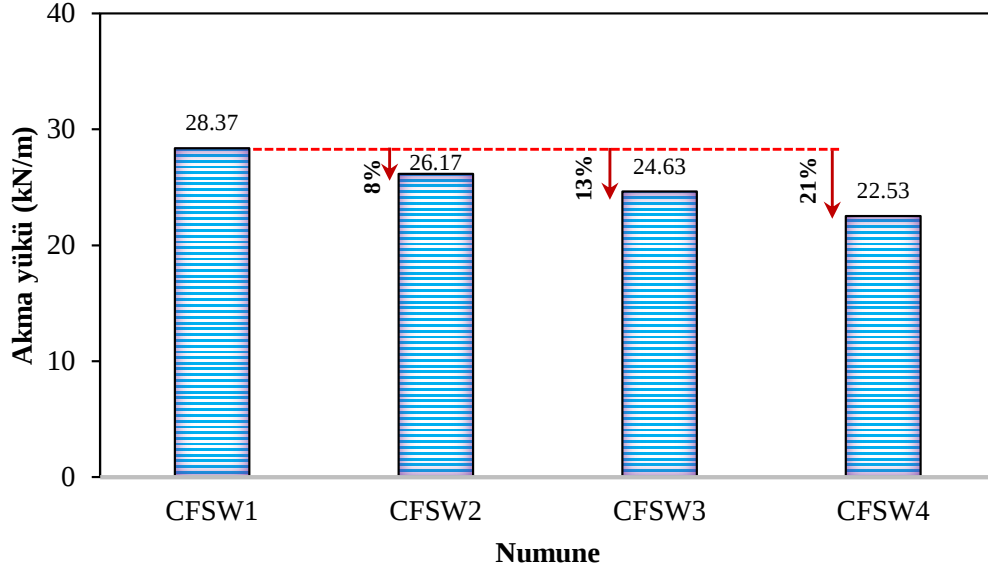
Şekil 65. Perde duvarların yük-ötenme eğrileri

Bağlantı elemanı aralığı çapraz olarak 100 mm'den 150 mm ve 200 mm'ye çıkarıldığında duvar sisteminin kesme dayanımı sırasıyla % 9, % 15 ve % 22 oranında azalmaktadır. Şekil 66 'da gösterildiği gibi dayanım değerleri sırasıyla 29,07 kN/m ve 27,18 kN/m ve 24,98 kN/m olur.



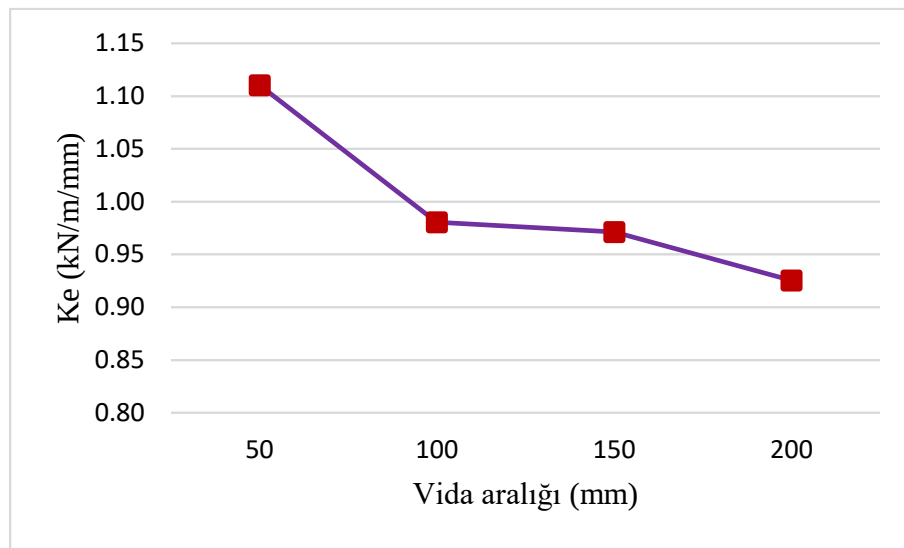
Şekil 66. Perde duvarların maksimum yükleri karşılaştırması

Aynı zamanda Şekil 67 'de görüldüğü gibi çelik plaka ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların kaplamada-çerçevele bağlantısına vida aralığının artırılması ile duvar sisteminin akma dayanımı da azalmıştır. Duvar sisteminin akma dayanımı vida aralığının 100 mm çapraz düzenlemeden sırasıyla 100 mm, 150 mm ve 200 mm'lik tek bir hatta değiştirilmesiyle % 8, % 13 ve % 21 oranında azalmıştır.



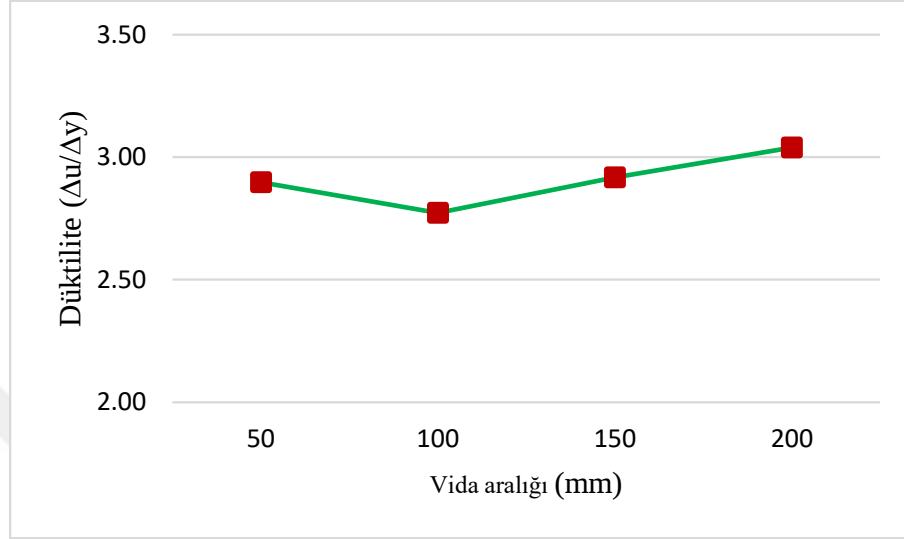
Şekil 67. Perde duvarların akma yükleri karşılaştırması

Ayrıca vida aralığı her arttırıldığında duvar sisteminin elastik rijitliğinde (K_e) oransal bir düşüş olduğu görülmektedir. Şekil 68'de görüldüğü gibi kaplama-çerçeve arasındaki vida aralığı daha da arttıkça duvarın elastik rijitliğinde azalma devam etmektedir

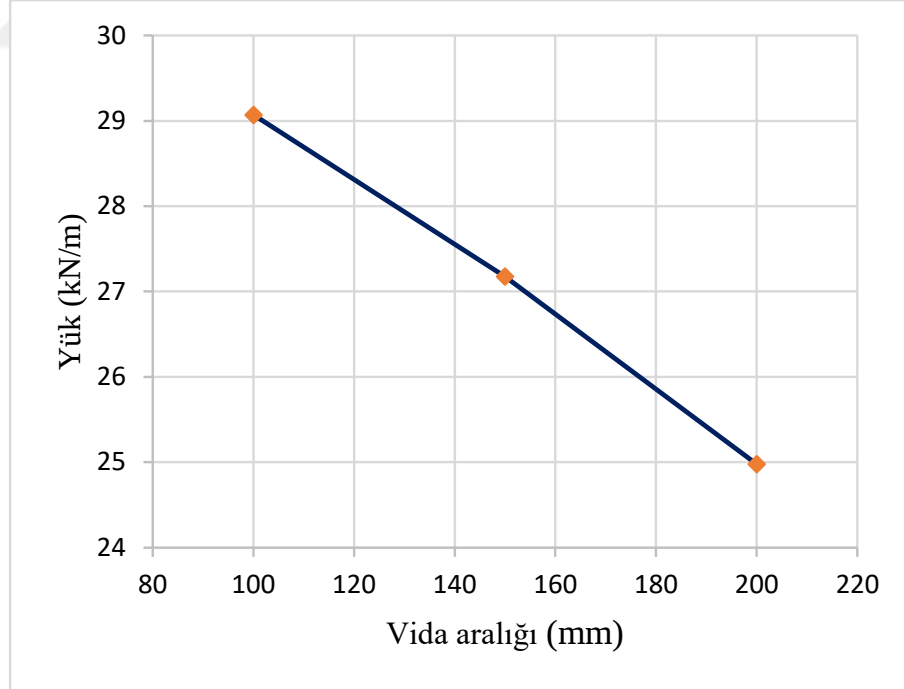


Şekil 68. Perde duvarların elastik rijitliğin karşılaştırması

Öte yandan kaplamada- çerçeve bağlantısına vida aralığının arttırılmasıyla duvar sisteminin düktilite oranının arttığı görülmektedir. Bununla birlikte vida deseni çapraz düzenlemeden tek bir hat düzenlemesine değiştirildiğinde duvar sisteminin düktilite oranında bir düşüş görülmekte ancak aralık 150 mm ve 200 mm'ye çıkarıldıktan sonra Şekil 69 'da gösterildiği gibi düktiliteyi arttırmaktadır.



Şekil 69. Test edilen perde duvarların düktilite karşılaştırması

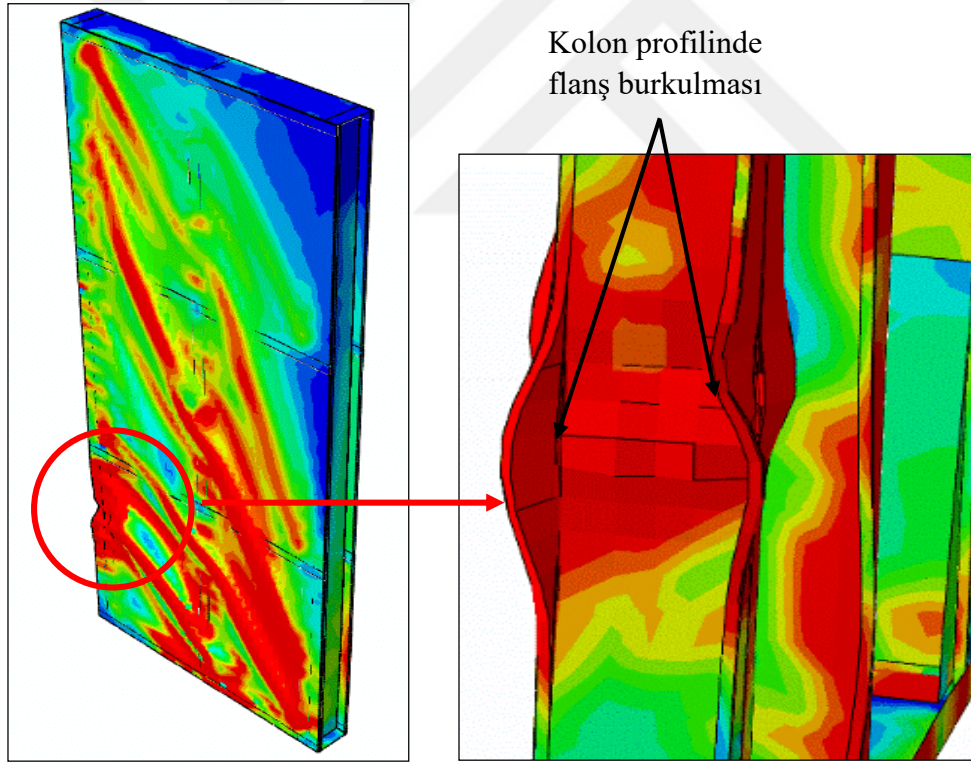


Şekil 70. Vids aralığa karşı perde duvarların kesme dayanımı

Şekil 70'de kaplama - çerçeve bağlantısındaki vidaların aralığı ile duvar sisteminin kesme dayanımı arasında doğrudan bir ilişki görülmektedir. Çelik kaplamalı hafif çelik perde

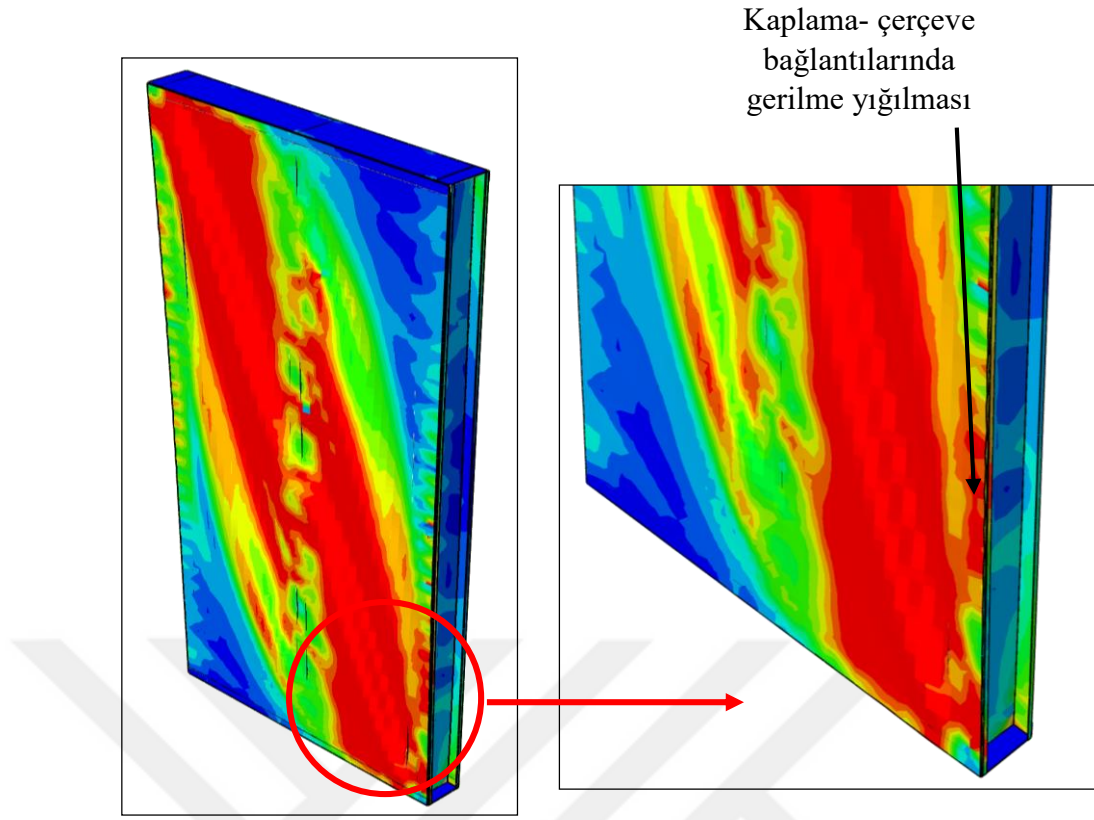
duvarların çeşitli bağlantı elemanı aralıklarındaki dayanımı bu ilişkiyi kullanılarak belirlenebilir.

Şekil 71’de iki farklı vida aralığı için duvar sisteminin göçme modu görülmektedir. Şekil 8a’da 100 mm çapraz vida aralığı için göçme modunu görülmektedir ve Şekil 8b’de hafif çelik duvar sisteminin kaplama-çerçeve bağlantısındaki tek hattı 200 mm vida aralığı için göçme modunu görülmektedir. Yu (2010) tarafından yapılan bir çalışmaya göre çelik levhanın kenarlarındaki bağlantı elemanları arasındaki aralığının arttırılması durumunda çelik levhanın burkulmasına ve vidaların çekilmesine neden olduğu belirtilmiştir. Ancak bu çalışmada bağlantı elemanı aralığı arttırıldığında profillerin alt kısmında herhangi bir flanş burkulması gözlenmemiştir. Bu tezin sonlu elemanlar analizinde de çelik plakanın kenarlarındaki 200 mm vida aralığındaki numune için aynı göçme durumunun meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Çelik plakanın burkulma şeklindeki değişiklik Şekil 71b 'de görülmektedir. Ayrıca bağlantı elemanı aralığındaki artış kolon profillerinin alt bölümlerinde herhangi bir flanş burkulmasına sebebiyet vermemiştir.



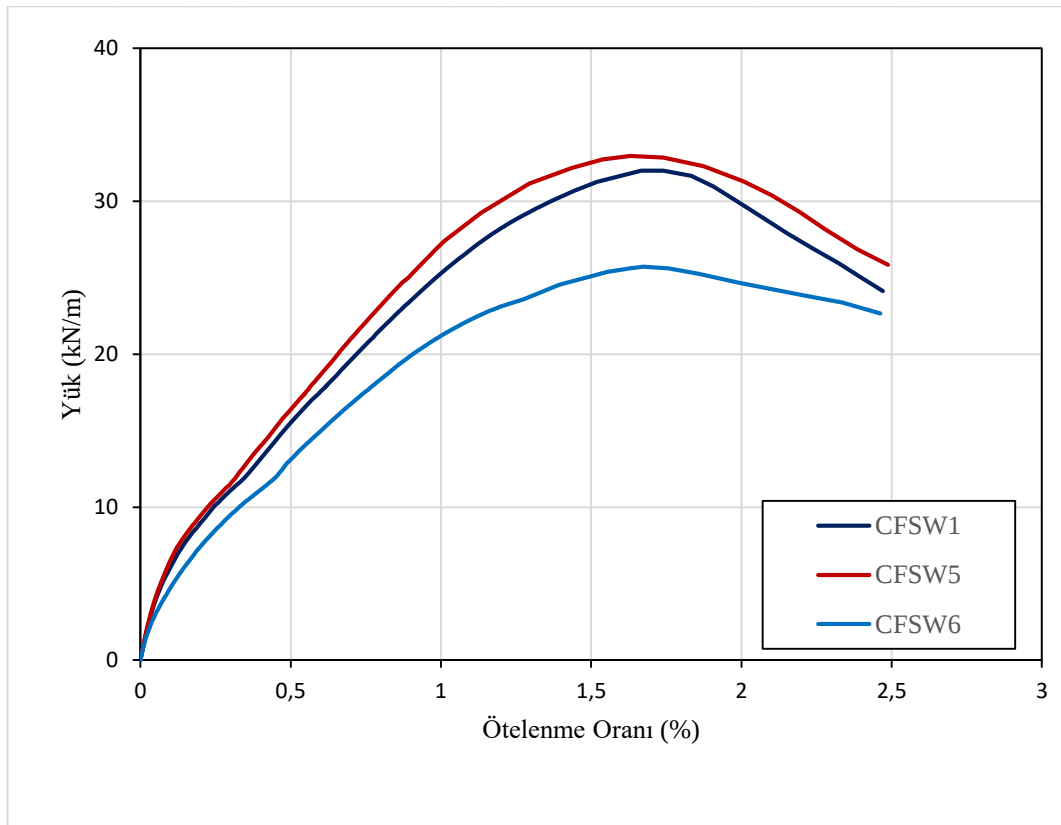
(a) Çapraz vida

Şekil 71. Perde duvarların burkulma davranışı



(b) 200 mm vida aralığı

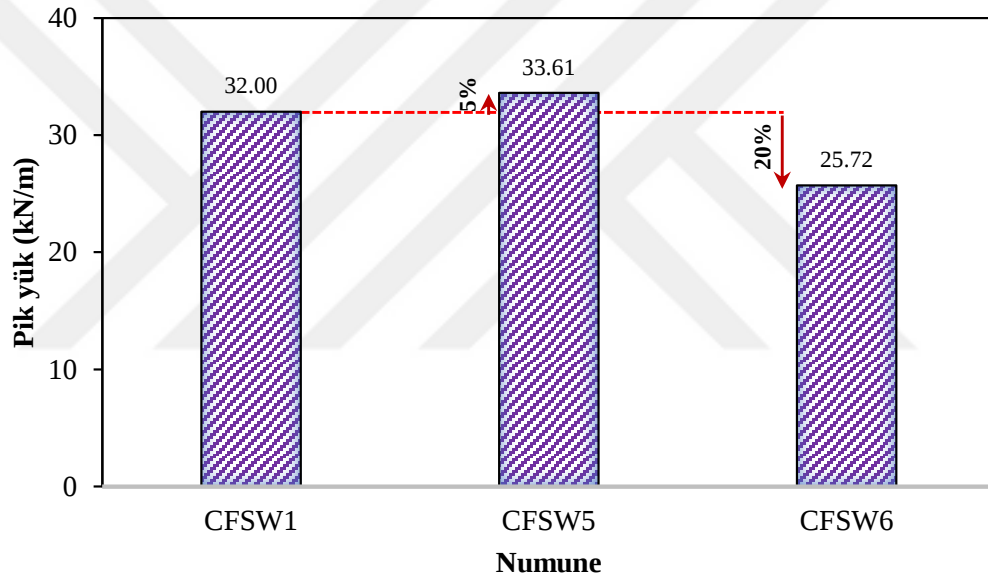
Şekil 71. Perde duvarların burkulma davranışı (devam)



Şekil 72. Perde duvarların yük-ötenleme eğrileri

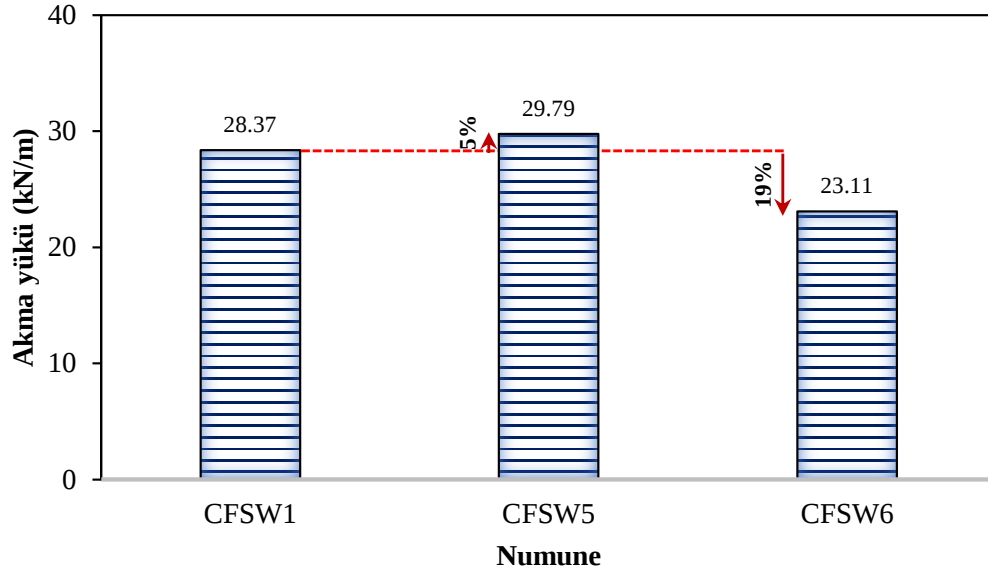
Şekil 72'de çelik levhaların kalınlıkları için yük-yer değiştirme sonuçları görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre çelik plakanın kalınlığının arttırılmasının duvar sisteminin kesme dayanımının artmasına yol açtığı görülmektedir. Çelik bir plaka ile kaplanmış bir kesme duvarının kesme dayanımı üzerindeki plaka kalınlığının etkisi çerçeve elemanlarına göre daha ince çelik saclar kullanıldığında belirgin hale gelmektedir. Plaka kalınlığının arttırılması belirli bir noktaya kadar etkili olurken bu noktadan sonra çelik plakaların kalınlığının daha da arttırılması durumunda perde duvarın dayanımında önemli bir artış göstermemektedir.

Şekil 73 'te de görüldüğü üzere çelik levha kalınlığının 0,8 mm'den 1 mm'ye çıkarılmasıyla duvarın dayanımının sadece % 5 arttığı buna karşılık çelik levha kalınlığının 0,6 mm'ye düşürülmesiyle kesme dayanımının % 20 azaldığı anlaşılmaktadır.



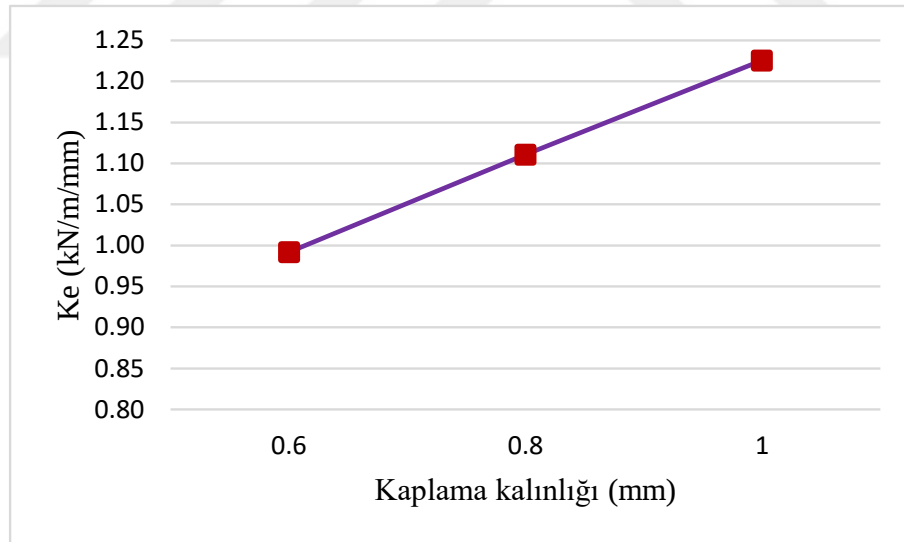
Şekil 73. Kaplama kalınlığa göre perde duvarın maksimum yük kapasitesi

Ayrıca duvar sisteminin akma dayanımı da Şekil 74 'de görüldüğü gibi çelik kalınlığını 1 mm'ye çıkartılarak % 5' lik bir artış ve çelik levha kalınlığını 0,6 mm'ye düşürüldüğünde % 19 'luk bir azalma göstermiştir.

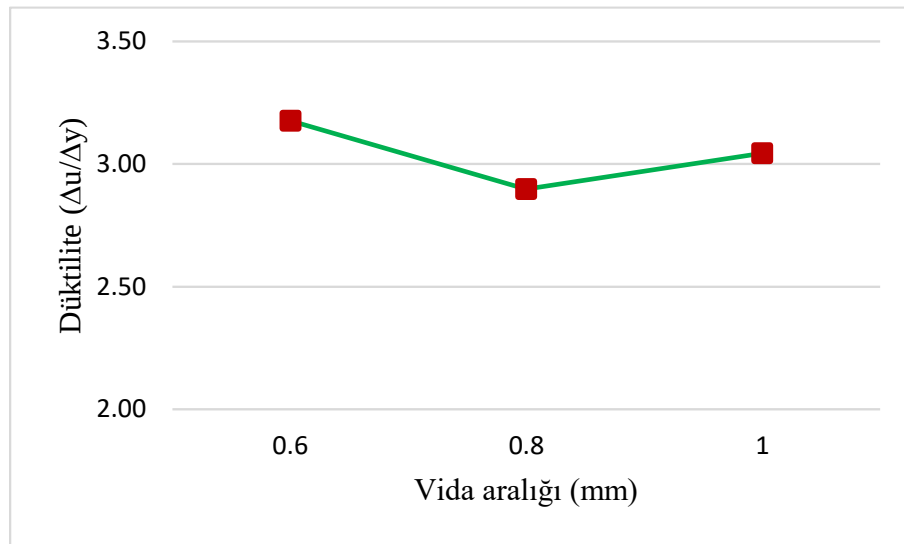


Şekil 74. Kaplama kalınlığa göre perde duvarın akma yükü

Çelik levha kalınlığının artmasıyla duvar sisteminin elastik rijitliğinin (K_e) artmıştır (Şekil 75). Diğer taraftan Şekil 76 'da görüldüğü gibi çelik levha kalınlığı 0,6 mm'den 0,8 mm'ye çıkarılarak duvar sisteminin düktilite oranı azalmıştır. Şekil 76' da görüldüğü gibi kalınlığı 1 mm'ye çıkartılması durumunda duvarın düktilitesinde artış görülmüştür.



Şekil 75. Test edilen numunelerin elastik rijitliğin karşılaştırması



Şekil 76. Test edilen numunelerin düktilite karşılaştırması

Berkitmeli hafif çelik perde duvarlar

Çalışmanın bu bölümünde berkitmelerin hafif perde duvar sistemlerinin kesme dayanımı ve burkulma davranışını üzerindeki etkisinin araştırılmasına üzerinde durulmuştur. Bu bölümde sekiz adet perde duvar numunesi incelenmiştir. Sekiz numuneden biri olan numune CFSW herhangi bir berkitme içermeyen bir perde duvar sistemini temsil etmiştir. Öte yandan geriye kalan yedi numune çeşitli desenler ve boyutlar içeren berkitmeli perde duvarlardır.

Kapsamlı bir inceleme yapabilmek için duvar sistemlerinin üst kısmına önceden belirlenmiş maksimum yer değiştirme sınırı 100 mm olacak şekilde yer değiştirme kontrollü yükleme tekniği uygulanmıştır. Bu kontrollü yükleme yaklaşımının uygulanması literatür taramasında yapılan deneysel araştırmaların aynı koşulları altında duvarların tepkilerinin metodik olarak incelenmesini kolaylaştırmaktadır (Mohebi. 2015).

Bu bölüm analiz bulgularının ve sonuçlarının sunulması ve kapsamlı bir şekilde incelenmesi için bir önem arz etmektedir. Çalışma, berkitmelerin yapıldığının ve farklı desenlerinin, çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların kesme dayanımını ve burkulma davranışını nasıl etkilediğini incelemektedir.

Duvar sistemlerinin yapısal davranışlarını araştırmak için Eşdeğer Enerji Elastik Plastik (EEEP) yönteminin uygulanmasından yararlanılmıştır. Duvar sistemlerinin elastik rijitliği, akma dayanımı, akma yer değiştirmesi ve diğer EEEP kullanılarak elde edilmiştir. CFSW, CFSWS-1, CFSWS-2, CFSWS-3, CFSWS-4, CFSWS-6, CFSWS-6, ve CFSWS-7, EEEP yaklaşımı ile elde edilen veriler Tablo 22’de yer almaktadır.

Maksimum yük performansının analizinden elde edilen bulgulara dayanılarak hafif CFSWS-3 'ün 48,68 kN.m maksimum yüke dayanabildiği için en yüksek dayanım kapasitesine

sahip olduğu belirlenmiştir. Öte yandan CFSWS-2 35,59 kN.m maksimum yüke sahiptir ve bu da berkitmesiz duvar sistemine kıyasla dayanım kapasitesinde kısmi bir artış olduğunu görülmektedir. CFSWS-4 numunesinin 2,46 kN/m/mm'ye eşit K_e değeri ile elastik rijitliğinde en büyük artışı göstermiştir. En az artış ise elastik rijitliğini kaydeden CFSWS-1'dir.

Tablo 22. Berkitmeli Perde Duvarların Karşılaştırması

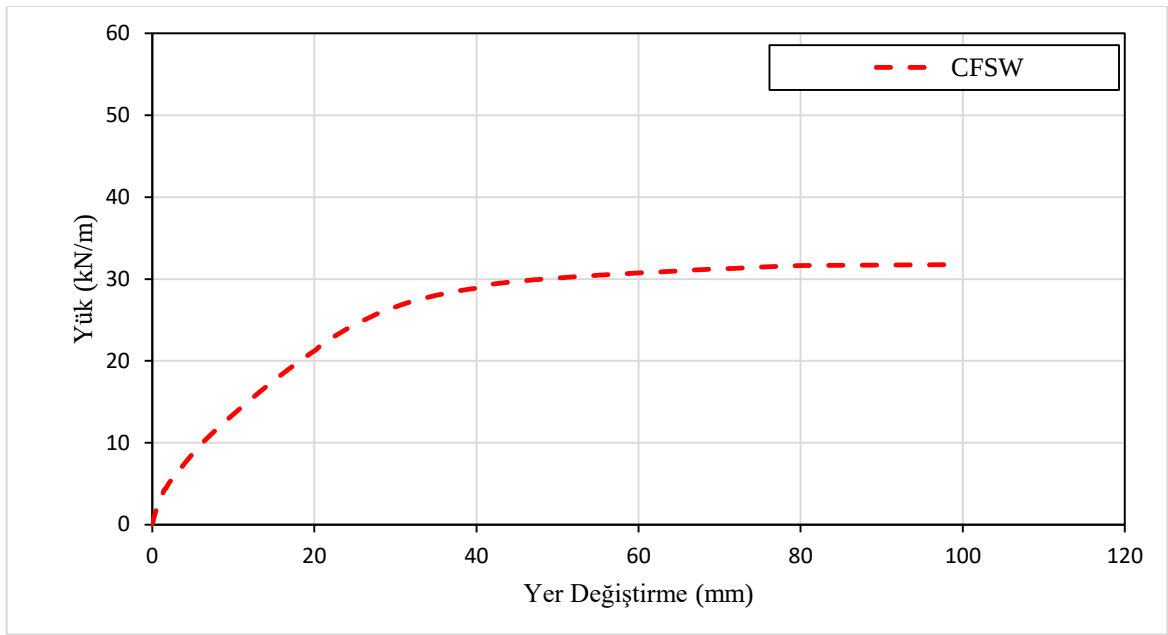
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN/m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ	E_t (kN.mm)
CFSW	31,78	29,53	21,24	1,39	100	4,71	3167,436
CFSWS1	46,69	43,64	22,32	1,96	100	4,48	4652,544
CFSWS2	35,59	33,53	19,59	1,71	100	5,11	3629,424
CFSWS3	48,68	46,15	21,14	2,18	100	4,73	4953,024
CFSWS4	53,29	49,69	20,19	2,46	100	4,95	5361,252
CFSWS5	38,03	36,42	18,08	2,01	100	5,53	3975,252
CFSWS6	37,57	34,34	16,58	2,07	100	6,03	3778,68
CFSWS7	46,75	43,59	18,58	2,35	100	5,38	4744,704

(P_p = maksimum yükü, P_y = akma dayanımı, Δ_y = akmada yer değiştirme, K_e = elastik rijitliği, Δ_u = nihai yükte yer değiştirme, μ = duktilite oranı = (Δ_u/Δ_y) , ve E_t = toplam sönümlenen enerjisinin.)

Ayrıca 4953,024 kN.mm'lik maksimum sönümlemem enerji kapasitesi ile CFSWS-3 numunesi analiz gerçekleştirilirken dikkate alınması gereken en önemli bileşen olarak öne çıkmaktadır. CFSWS-2 sistemi ise toplam 3629,424 kN.mm ile en düşük enerji miktarına sahip olmuştur.

CFSW numunesinin davranışı

CFSW numunesi referans duvar sistemini temsil etmektedir. Bu numune herhangi bir berkitme içermeyen hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm ve genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm ve çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için ise 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılmıştır. Şekil 77'de duvar sisteminin üst kısmında yer değiştirmeye karşı duvar dayanımı görülmektedir.



Şekil 77. CFSW duvar sisteminin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuştur. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir.

Tablo 23. CFSW Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSW	31,78	29,53	21,24	1,39	100	4,71

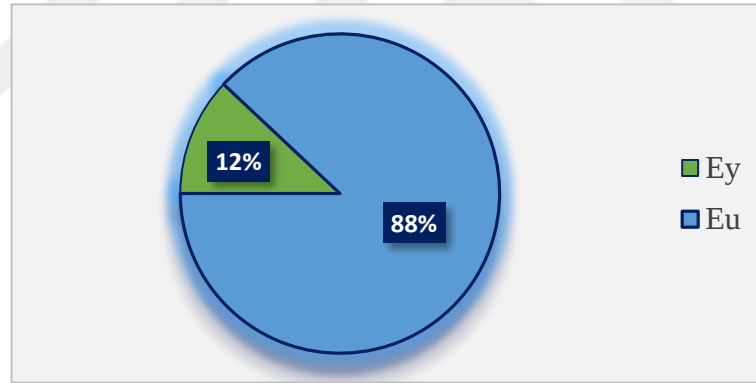
Tablo 23 'deki veriler Eşdeğer Enerji Elastik Plastik (EEEP) tekniğinin Şekil 100' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Bu metodoloji, hafif çelik perde duvar sisteminin kapsamlı bir incelemesini yapmak için kullanılmıştır. Özellikle, Şekil 77 ve Tablo 23, kıyaslama duvar sisteminin yapısal davranışını tanımlayan kritik özellikleri sunmaktadır. Şekil 77 ve Tablo 23 'e göre referans duvar sisteminin maksimum dayanım kapasitesi 31,78 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın yanal yüklere dayanma yeteneğini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 29,53 kN/m olup 21,24 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Bu değerler, sistemin uygulanan yüklere tepkisinde, malzemede plastik deformasyonun başladığını gösteren önemli bir noktayı görülmektedir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,39 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

Duvar sisteminin sönmölenen enerjisini belirlemek için, yük - yer değiştirme eğrisinin altındaki alan, her biri sistemin sönmölenen enerjisinin özellikleri için önemli bir uygulamaya

sahip olan iki ayrı bölüme ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönümlenen enerjisinin ilk kısmı, akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik kısmı ile ilgilidir. Eğri altındaki alanın bu bölümü, yüklemenin erken aşamalarında, akımın başladığı noktaya kadar sistem tarafından sönümlenen enerji hakkında bilgi sunar. Bu ayırım, sistemin ılımlı yükleme durumları altındaki davranışını anlamak için gereklidir. Sönümlenen enerjisinin ikinci fazı, akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilir. Ayrıca, eğri altındaki genel alan, yükleme işlemi sırasında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtır ve E_t ile gösterilir. Tablo 24 ve Şekil 79, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönümlenmesi için duvar sisteminin sönümlenen enerjisini görülmektedir.

Tablo 24. CFSW Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSW	376,26	2791,18	3167,44

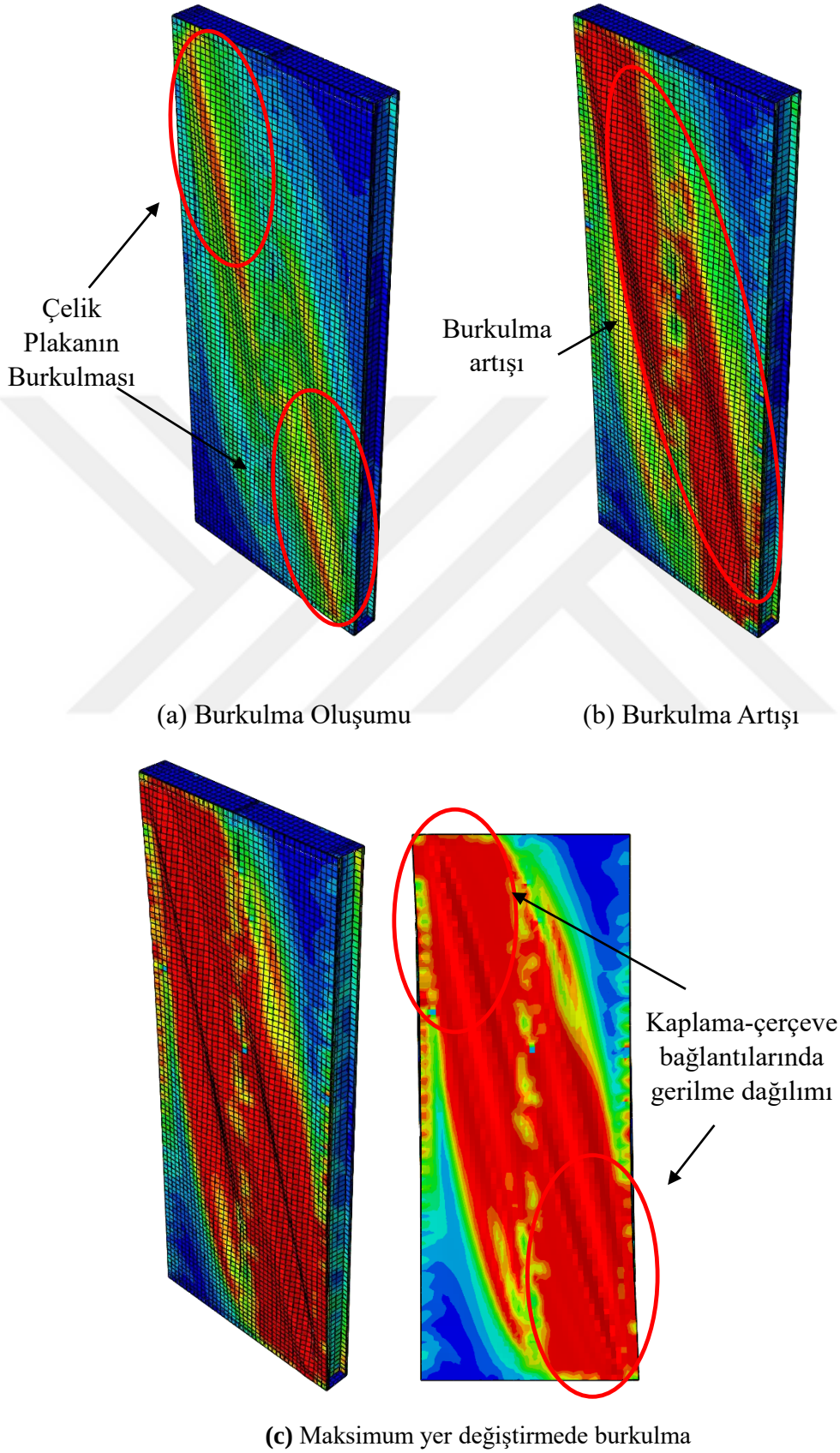


Şekil 78. CFSW numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

Herhangi bir berkitme (CFSW) içermeyen hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 3167,44 kN.mm'lik enerji sönümlenmesi Tablo 24 'te görülebilmektedir. Şekil 78'de bu enerjinin % 12 'sinin akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 88' inin ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönümlendiği görülmektedir.

Ayrıca Şekil 55'te duvar sistemine uygulanan yer değiştirmenin farklı aşamalarında CFSW sisteminin göçme modları görülmektedir. Çelik levhanın elastik bölgesi olan duvar sisteminin üst ve alt köşelerine yakın yerlerde burkulmanın başladığı görülmektedir. Uygulanan yer değiştirmenin arttırılmasıyla burkulmanın kaplama plakasının merkezine çapraz olarak genişlediği görülmektedir. Yer değiştirme daha da arttığında perde duvardaki gerilim duvar sisteminin köşegen boyunca bir şerit şeklinde dağılmıştır. Duvar sisteminin iki köşesinde

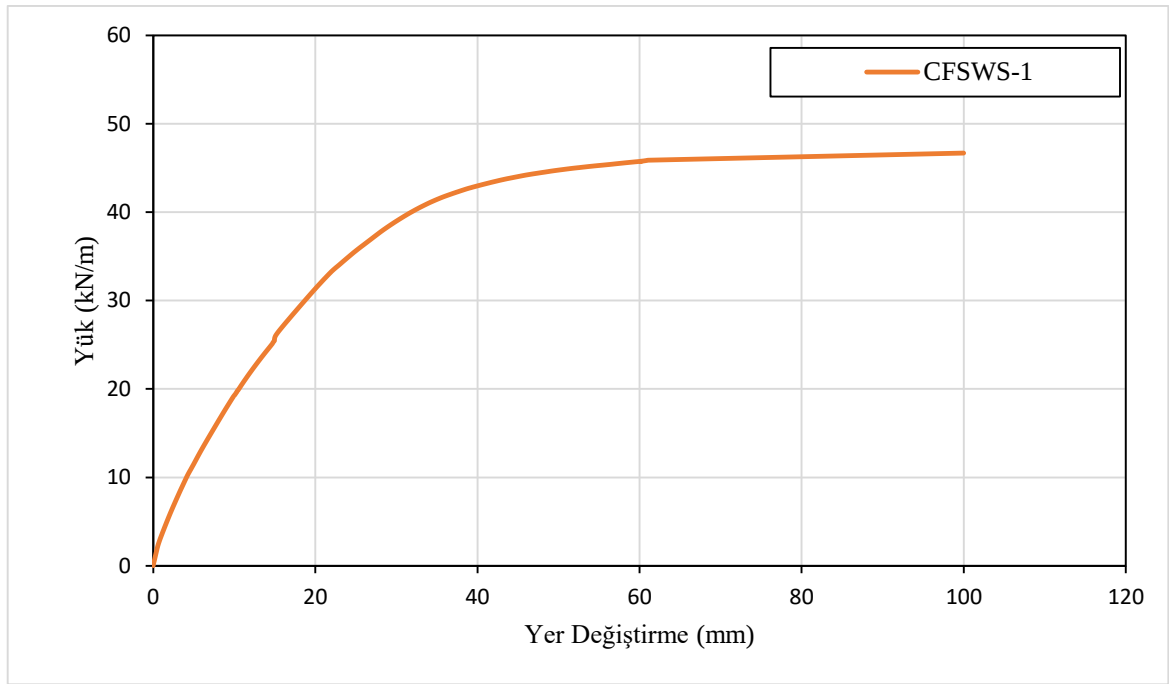
kaplamanın-çerçeve bağlantısının daha fazla gerildiği görülebilmektedir. Bu tür göçme Yu et al. (2010) tarafından yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 79. CFSW'in burkulma davranışı

CFSWS -1 Numunesinin Davranışı

Bu numune, duvar sisteminin merkezinde bulunan 332 mm berkitme ile hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm ve genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Berkitme olarak kullanılan oluklu levhanın kalınlığı 0,8 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Bu arada, berkitmeyi duvar sistemine bağlamak için aynı vida özelliği kullanılır. Şekil 80 'de duvar sisteminin üst kısmında duvar dayanımına karşı uygulanan yer değiştirme gösterilmiştir.



Şekil 80. CFSW1 duvar sisteminin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuştur. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir.

Tablo 25. CFSWS-1 Numunesinin Analiz Sonuçları

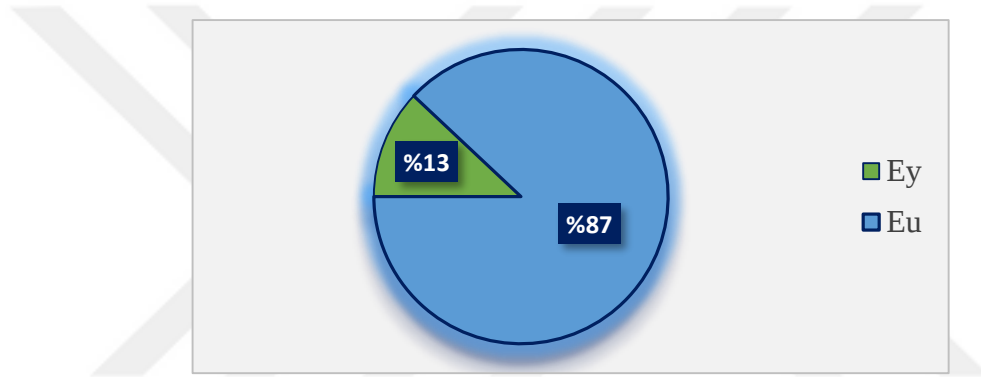
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWS -1	46,69	43,64	22,32	1,96	100	4,48

Tablo 25 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 80' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 100 ve Tablo 25 'ye göre CFAWS -1 duvar sisteminin maksimum dayanım kapasitesi 46,69 kN/m'dir. Ayrıca duvar sisteminin akma kesme dayanımının 43,64 kN/m olduğu ve bunun 22,32 mm'lik bir yer değiştirme ile ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca, duvar sisteminin elastik rijitliği 1,39 kN/m/mm olarak belirlenmiştir

Tablo 26 ve Şekil 81, duvar sisteminin akmaya kadar, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmülmesi için duvar sisteminin sönmülenen enerjisi görülmektedir.

Tablo 26. CFSWS-1 Numunesinin Sönmülenen Enerjisi

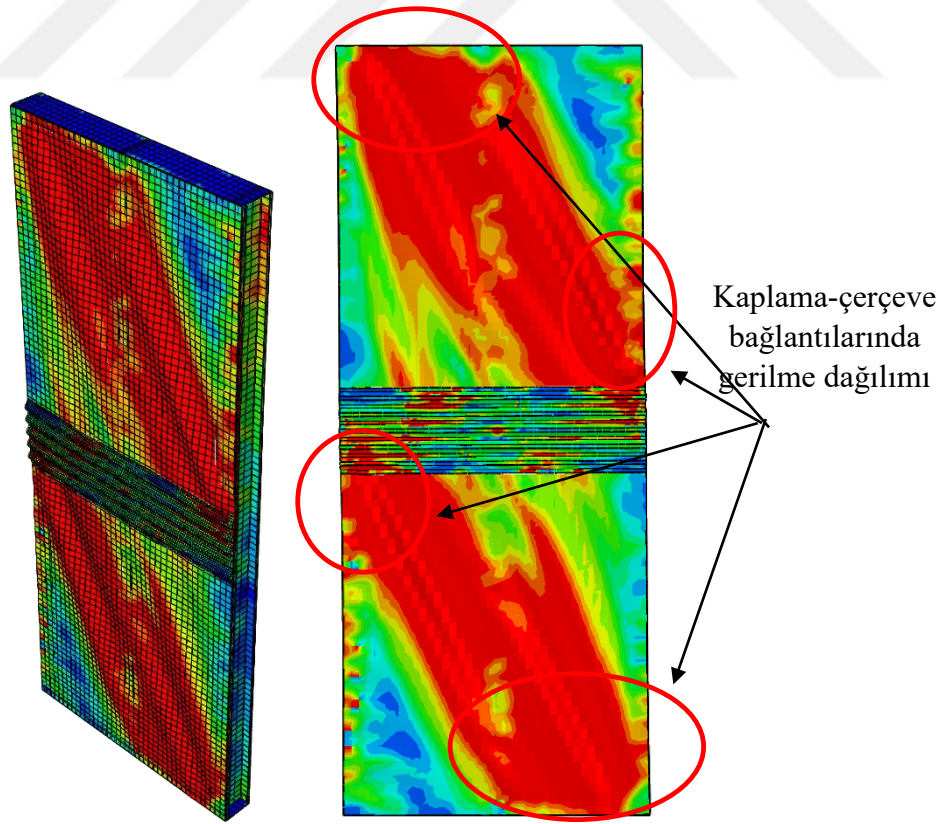
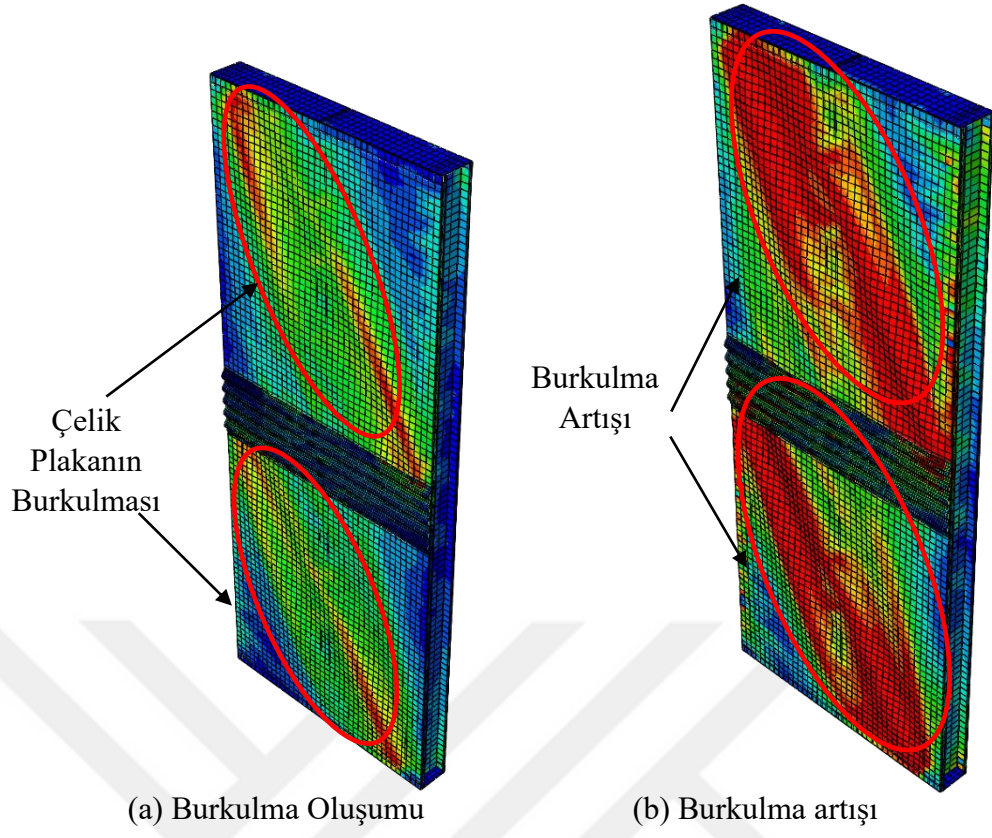
Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWS -1	584,43	4068.12	4652,54



Şekil 81. CFSWS-1 numunesinin sönmülenen enerji yüzdesi

Tablo 26, duvar sisteminin merkezinde 332 mm'lik bir berkitmeye sahip hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWS -1) toplam 4652,54 kN.mm enerji sönmülendiği görülmektedir. Şekil 81, bu enerjinin % 13 'ünün akma noktasına kadar sönmülendiğini, geri kalan % 87' sinin ise akma noktası ile nihai nokta arasında meydana geldiğini görülmektedir. Sönmülenen enerjinin bu şekilde olması hafif çelik perde duvar sisteminin performansı ve davranışı hakkında önemli bilgiler vermekte ve özellikle akmadan sonra nihai seviyeye kadar farklı yükleme aşamaları boyunca sönmülenen enerjisinin dağılımını ortaya koymaktadır.

Bunun yanında Şekil 82'de CFSWS -1 numunesinin burkulma modu görülmektedir. Şekilde berkitme çelik plakayı iki ayrı parçaya böldükçe bu bölünmenin çelik plakanın burkulma dayanımını arttırdığı ve sonuç olarak duvar sisteminin yük taşıma kapasitesinin olumlu olarak katkıda bulunduğu gözlemlenmektedir. Özellikle bu özel perde duvar sisteminde berkitmenin burkulması gözlemlenmemiştir ve bu da burkulma dayanımı açısından olumlu bir performansa davranışı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle berkitmenin varlığı ve deseni hafif çelik perde duvar sisteminin genel yapısal tepkisini ve yük taşıma kapasitesini etkileyerek çelik plakanın burkulma davranışında önemli bir rol oynamıştır.

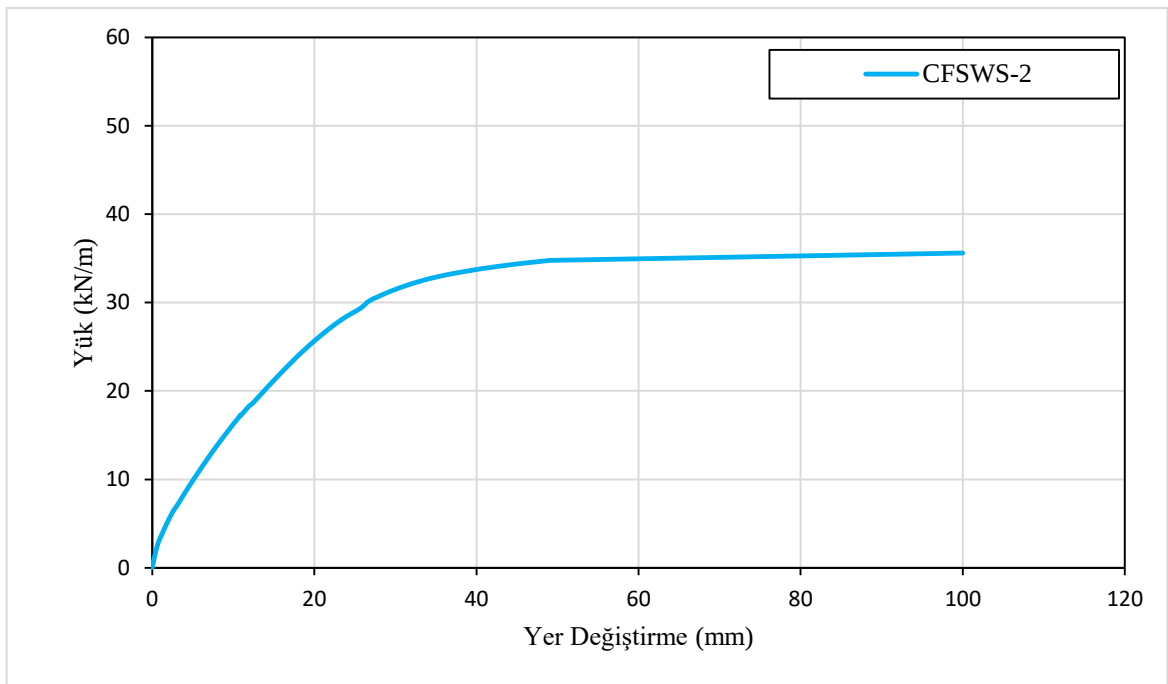


(c) Maksimum yer değiştirmede burkulma

Şekil 82. CFSWS-1'in göçme modu

CFSWS -2 numunesinin davranışı

Bu numune, duvar sisteminin üst ve alt kısmında bulunan iki adet 332 mm berkitmeye sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Berkitme olarak kullanılan oluklu levhanın kalınlığı 0,8 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Bu arada, berkitmeyi duvar sistemine bağlamak için aynı vida özelliği kullanılır. Şekil 83 'de duvar sisteminin üst kısmında duvar dayanımına karşı uygulanan yer değiştirme gösterilmiştir.



Şekil 83. CFSWS-2 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuştur. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir.

Tablo 27. CFSWS-2 Numunesinin Analiz Sonuçları

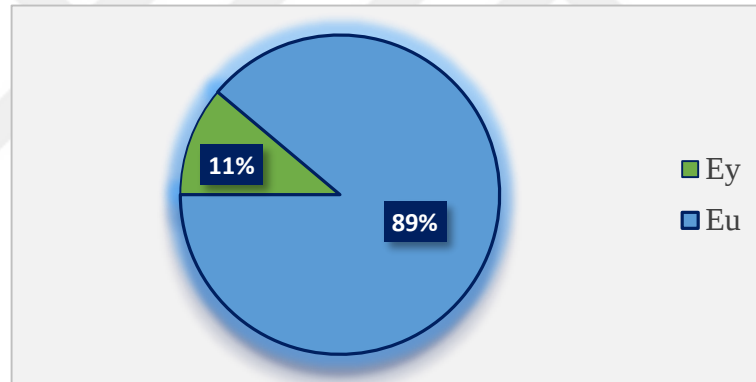
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWS -2	35,59	33,53	19,59	1,71	100	5,11

Tablo 27. 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 83' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 83 ve Tablo 27 'ye göre CFAWS -2 duvar sisteminin maksimum dayanım kapasitesi 35,59 kN/m'dir. Ayrıca duvar sisteminin akma dayanımının 33,53 kN/m olduğu ve bunun da 19,59 mm yer değiştirmeli ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca, duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,71 kN/m/mm olarak belirlenmiştir. Bu değer, sistemin dış yüklere erken tepkisi ve deformasyona dayanım kapasitesi hakkında bilgi sağlayan maksimum yükün % 40 'ındaki rijitlik hesaplanarak hesaplanır.

Tablo 28 ve Şekil 84, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönümlenmesi için duvar sisteminin sönümlenen enerjisini görülmektedir.

Tablo 28. CFSW-2 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWS -2	394,03	3235,39	3.629,42

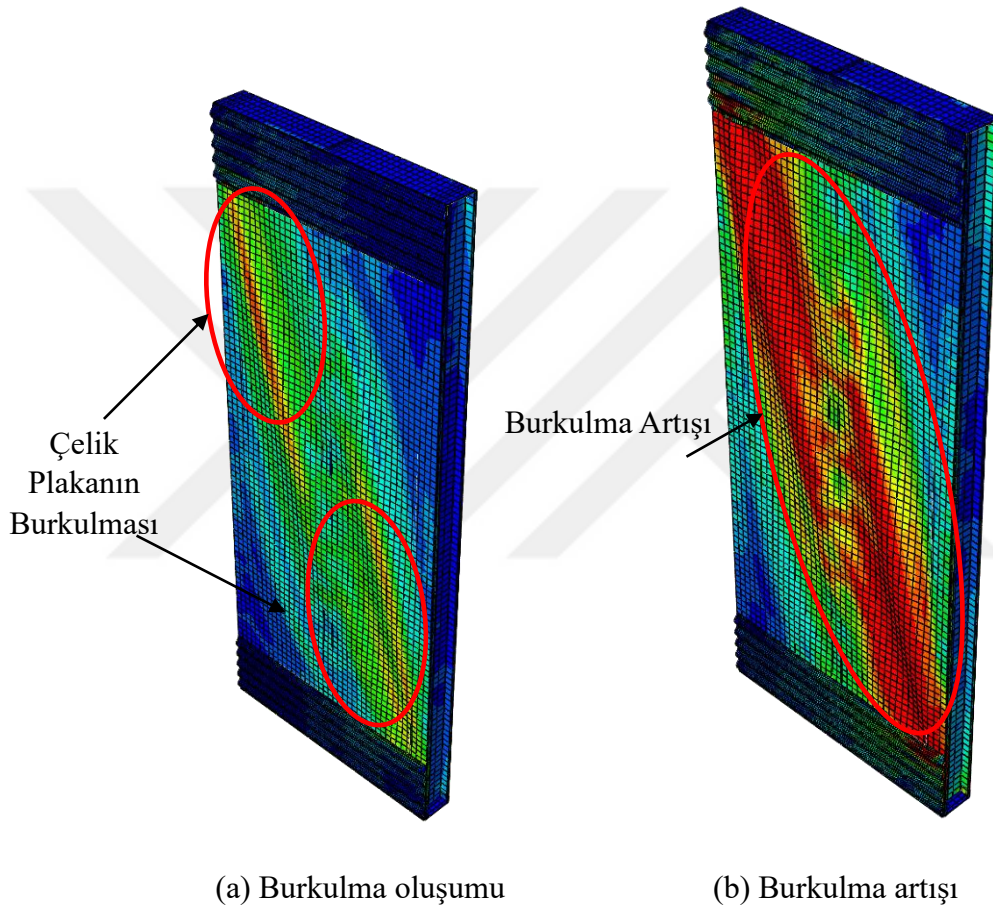


Şekil 84. CFSWS-2 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

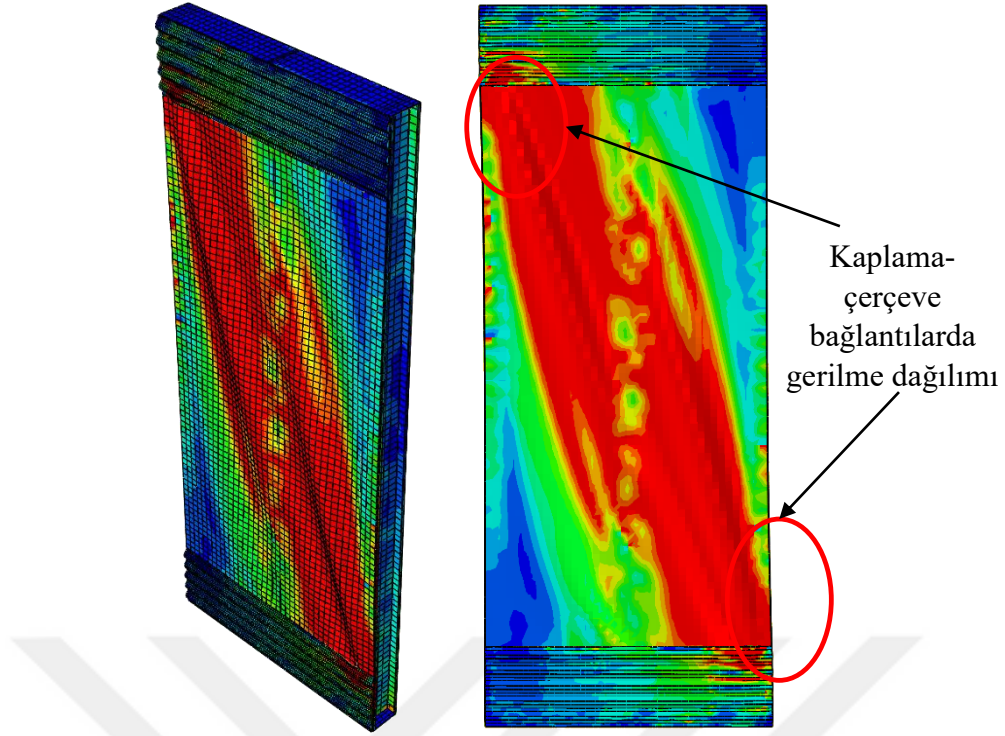
Tablo 28, duvar sisteminin üst ve alt kısmında iki adet 332 mm berkitme ile hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWS-2) toplam 3629,42kN.mm enerji sönümlendiği görülmektedir. Şekil 84, bu enerjinin % 11 'inin akma noktasına kadar sönümlendiğini, geri kalan % 89' unun ise akma noktası ile nihai nokta arasında gerçekleştiğini görülmektedir. Sönümlenen enerjisinin bu şekilde bozulması, hafif çelik perde duvar sisteminin performansı ve davranışı hakkında değerli bilgiler sağlar ve özellikle akmadan nihai seviyeye kadar farklı yükleme aşamaları boyunca sönümlenen enerjisinin dağılımını vurgular.

Şekil 85'te CFSWS-2 sisteminin uygulanan yer değiştirmenin farklı aşamalarındaki göçme modları görülmektedir. Bu sistemdeki çelik plakanın burkulma davranışı çelik plakanın yüksekliğinin azalması durumuyla özellikle berkitmesiz (CFSW) duvara benzemektedir. Bu duvar sisteminde çelik plaka elastik duvar sisteminin üst ve alt köşelerinin yakınında

burkulmayı başlangıcı olmaktadır. Uygulanan yer değiştirme arttıkça burkulma kısmının kaplama plakasının merkezine doğru çapraz olarak genişlediği gözlemlenmektedir. Yer değiştirmede daha fazla artışla gerilim dağılımı duvar sisteminin köşegeninde bir şerit şekli almaktadır. Özellikle kaplamanın ereve ye bağlantısı duvar sisteminin iki köşesinde daha yüksek gerilim oluşturmaktadır. Bu durum uygulanan yer değiştirmenin elik levha içindeki gerilimin dağılımı ve evrimi ve ereve elemanlarına bağlantılar üzerindeki etkisini göstermekte ve CFSWS-2 sisteminin aşamalı göçme mekanizmaları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.



şekil 85. CFSWS-2 numunesinin burkulma davranışı

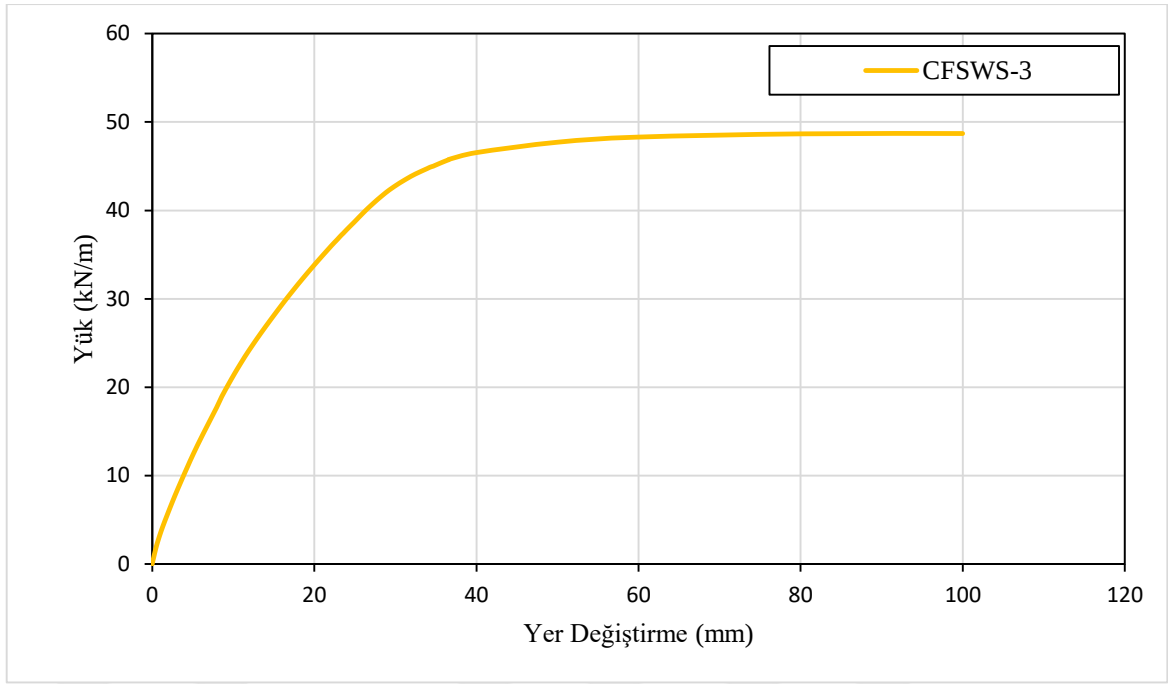


(c) Maksimum yer değiştirmede burkulma

Şekil 86. CFSWS-2 numunesinin burkulma davranışı (devamı)

CFSWS -3 numunesinin davranışı

Bu numune, duvar sisteminin üst, alt ve merkezinde bulunan üç adet 332 mm berkitmeye sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Berkitme olarak kullanılan oluklu levhanın kalınlığı 0,8 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Bu arada, berkitmeyi duvar sistemine bağlamak için aynı vida özelliği kullanılır. Şekil 86 'da duvar sisteminin üst kısmında duvar dayanımına karşı uygulanan yer değiştirme gösterilmiştir.



Şekil 87. CFSWS-3 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuştur. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir.

Tablo 29. CFSWS-3 Numunesinin Analiz Sonuçları

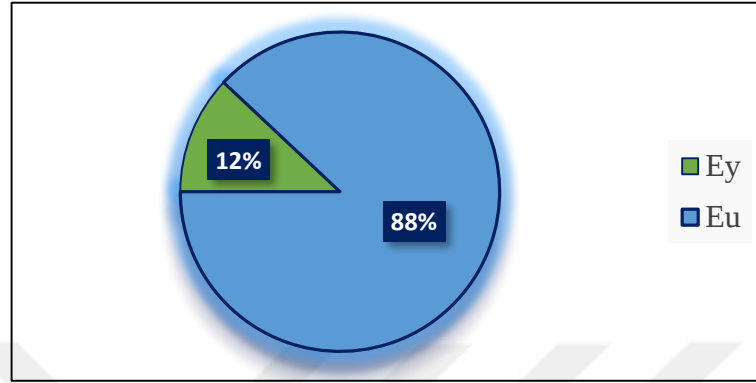
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWS -3	48,68	46,15	21,14	2,18	100	4,73

Tablo 29 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 86' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 86 ve Tablo 29 'ye göre CFAWS -3 duvar sisteminin maksimum dayanım kapasitesi 48,68 kN/m'dir. Ayrıca duvar sisteminin akma kesme dayanımının 46,15 kN/m olduğu görülmektedir, bu da 21.14 mm'lik bir yer değiştirme ile ilgilidir. Ayrıca, duvar sisteminin elastik rijitliği 2,18 kN/m/mm olarak belirlenmiştir, bu da rijitliğini anlamada önemli bir parametredir. Bu değer, sistemin dış yüklere erken tepkisi ve deformasyona direnme kapasitesi hakkında bilgi sağlayan maksimum yükün % 40 'ındaki rijitlik hesaplanarak hesaplanır.

Tablo 30 ve Şekil 87, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmülmesi için duvar sisteminin sönmülmesi enerjisini göstermektedir.

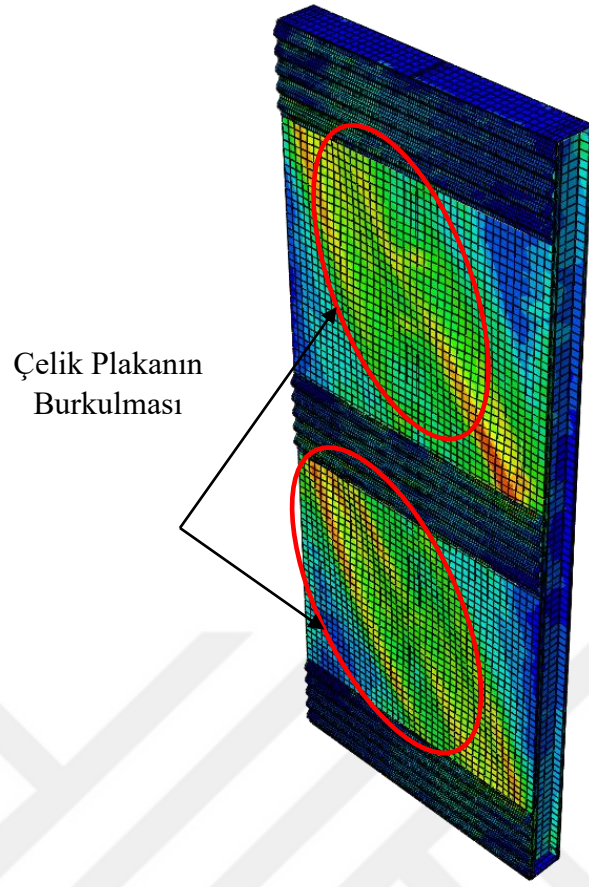
Tablo 30. CFSWS-3 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWS -3	585,33	4367,70	4953,02

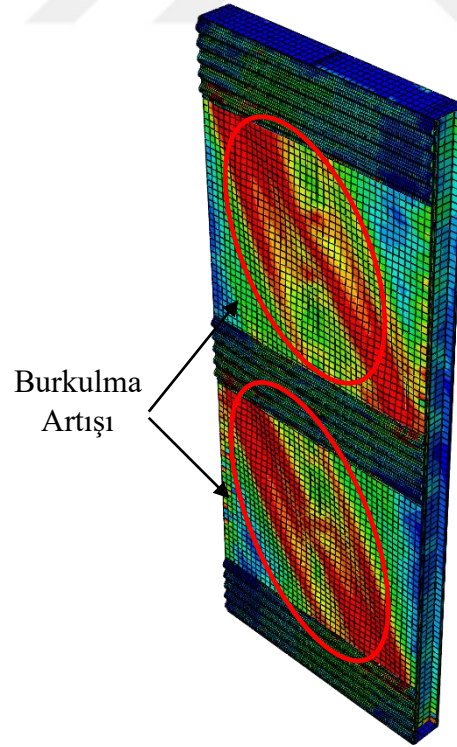
**Şekil 88.** CFSWS-3 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

Tablo 30, duvar sisteminin üst, orta ve alt kısmında 332 mm berkitmeli hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWS -3) toplam 4953,02 kN.mm enerji sönümlendiği görülmektedir. Şekil 87, bu enerjinin % 12'sinin akma noktasına kadar sönümlendiği, geri kalan % 87'sinin ise akma noktası ile nihai nokta arasında meydana geldiğini görülmektedir. Sönümlenen enerjisinin bu şekilde bozulması, hafif çelik perde duvar sisteminin performansı ve davranışı hakkında değerli bilgiler sağlar ve özellikle akmadan nihai seviyeye kadar farklı yükleme aşamaları boyunca sönümlenen enerjisinin dağılımını vurgular.

Şekil 88'de uygulanan yer değiştirmenin çeşitli aşamalarında CFSW -3 sisteminin göçme modları görülmektedir. Bu sistemdeki çelik levhanın burkulma davranışının CFSW ve CFSWS-2 duvarlarının bir göçme modlarının birleşimine benzediği görülmektedir. Duvar sisteminin burkulma modu çelik plakanın ortasına yerleştirilen berkitmenin çelik plakanın burkulmasını kontrol etmede çok önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte çelik plakanın üst ve alt kısmında bulunan diğer iki berkitme duvar sisteminin burkulma dayanımına katkısı az olmaktadır. Çelik plakanın üst ve alt kısmındaki berkitmelerin daha az gerilme yığılmasına katkıda bulunması, böylece duvar sisteminin köşesindeki kaplama - çerçeve bağlantılarını daha az etkilemesi dikkat çekici olmaktadır. Bu gözlem çelik plakanın burkulma davranışını etkilemede berkitmelerin rolünü ve duvar sistemi içindeki gerilim dağılımı üzerindeki ilgili etkiyi vurgulamaktadır.

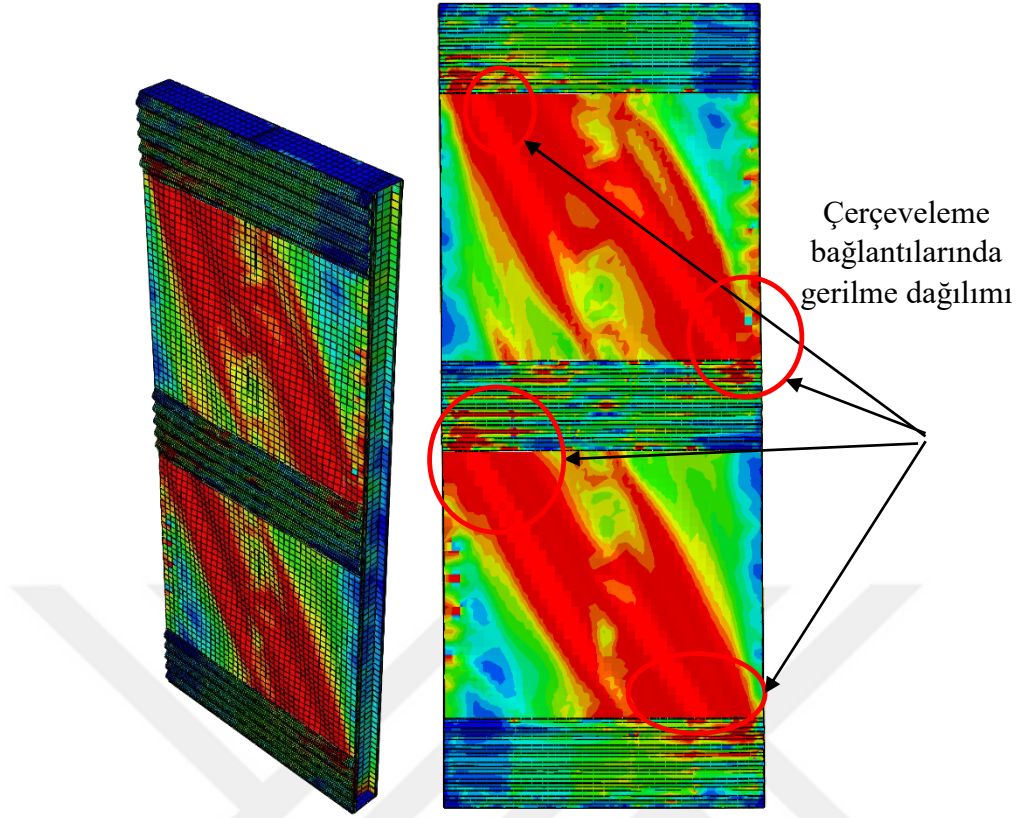


(a) Burkulma oluşumu



(b) Burkulma artışı

Şekil 89. CFSWS-3 numunesinin göçme modu



(c) Maksimum yer değiştirmede burkulma

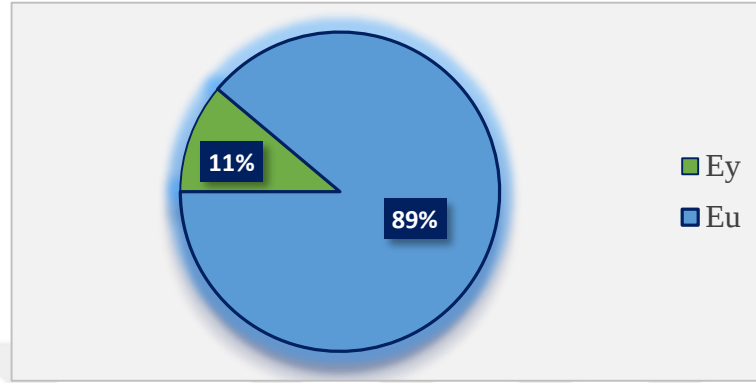
Şekil 89. CFSWS-3 numunesinin göçme modu (devamı)

CFSWS -4 numunesinin davranışı

Bu numune, duvar sisteminin üst kısmının üçte birinde ve alt kısımlarının üçte birinde bulunan iki adet 332 mm berkitmeye sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,2 mm'dir. Berkitme olarak kullanılan oluklu levhanın kalınlığı 0,8 mm'dir. Çelik plakanın kenarlarında 100 mm, çelik plakanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik plakayı sınır çerçeveye bağlamak için 5 mm çapında 8 numaralı vidalar kullanılır. Bu arada, berkitmeyi duvar sistemine bağlamak için aynı vida özelliği kullanılır. Şekil 89 'de duvar sisteminin üst kısmında duvar dayanımına karşı uygulanan yer değiştirme gösterilmiştir.

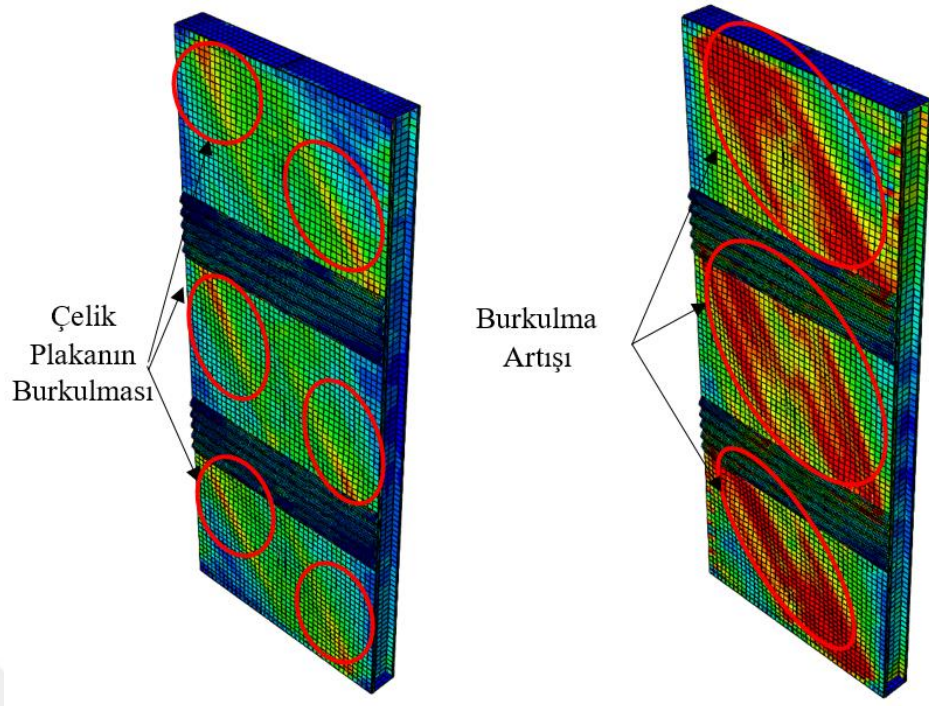
Tablo 32. CFSWS-4 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWS -4	602,03	4759,23	536,.25

**Şekil 91.** CFSWS-4 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

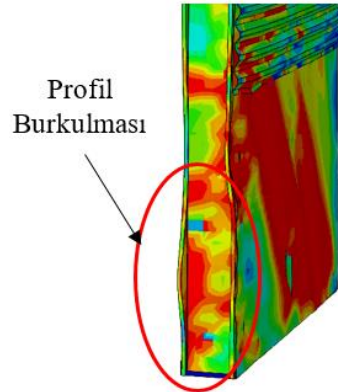
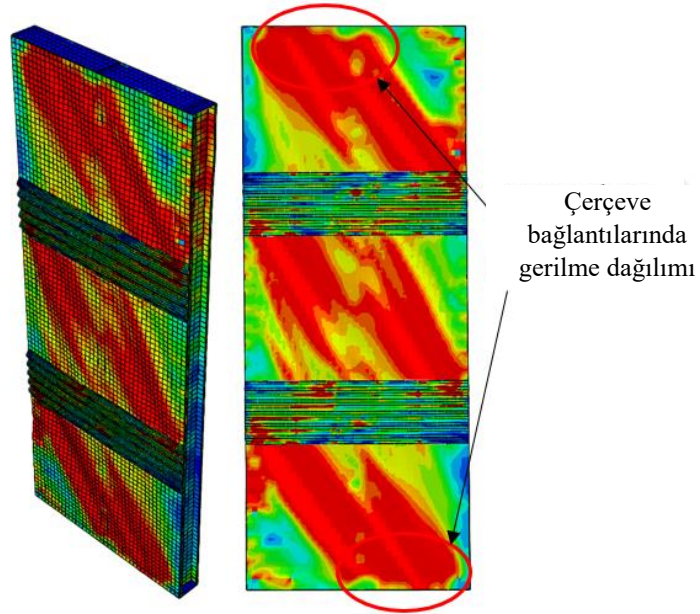
Tablo 32, CFSWS -4 'ün toplam 5361,25 kN.mm enerji sönümlendiği görülmektedir. Şekil 90, bu enerjinin % 11 'inin akma noktasına kadar sönümlendiğini, geri kalan % 89' unun ise akma noktası ile nihai nokta arasında gerçekleştiğini görülmektedir. Sönümlenen enerjisinin bu şekilde bozulması, hafif çelik perde duvar sisteminin performansı ve davranışı hakkında değerli bilgiler sağlar ve özellikle akmadan nihai seviyeye kadar farklı yükleme aşamaları boyunca sönümlenen enerjisinin dağılımını vurgular.

Şekil 91, uygulanan yer değiştirmenin çeşitli aşamalarında CFSW -4 sisteminin göçme modlarını göstermektedir. Bu sistemdeki çelik levhanın burkulma davranışı, bu duvar sisteminin çelik levhayı üç parçaya bölerek burkulmasını azaltmada daha etkili olduğunu kanıtlamasıyla CFSW -2 'ye benzerdir. Bu özel duvar sisteminde, kaplama - çerçeve bağlantılarının yanlarındaki gerilme dağılımı azalmaktadır. Bununla birlikte, üst ve alt kısımlardaki kaplama - çerçeve bağlantıları üzerindeki gerilim daha belirgindir. Bu arada, CFSWS -4 'te duvar sisteminin rijitliğindeki bir artış, Şekil 90' de gösterildiği gibi, duvar sisteminin alt kısmındaki kolon profillerinde flanş bozulmasının gözlemlenmesine neden olmaktadır. Bu gözlem, uygulanan yer değiştirme altında CFSW -4 sisteminin nüanslı davranışı hakkında değerli bilgiler sağlayarak, gerilim dağılımı üzerindeki etkiyi ve duvar sisteminin rijitliği arttıkça kolon profillerinde flanş bozulma potansiyelini vurgulamaktadır.



(a) Burkulma oluşumu

(b) Burkulma artışı

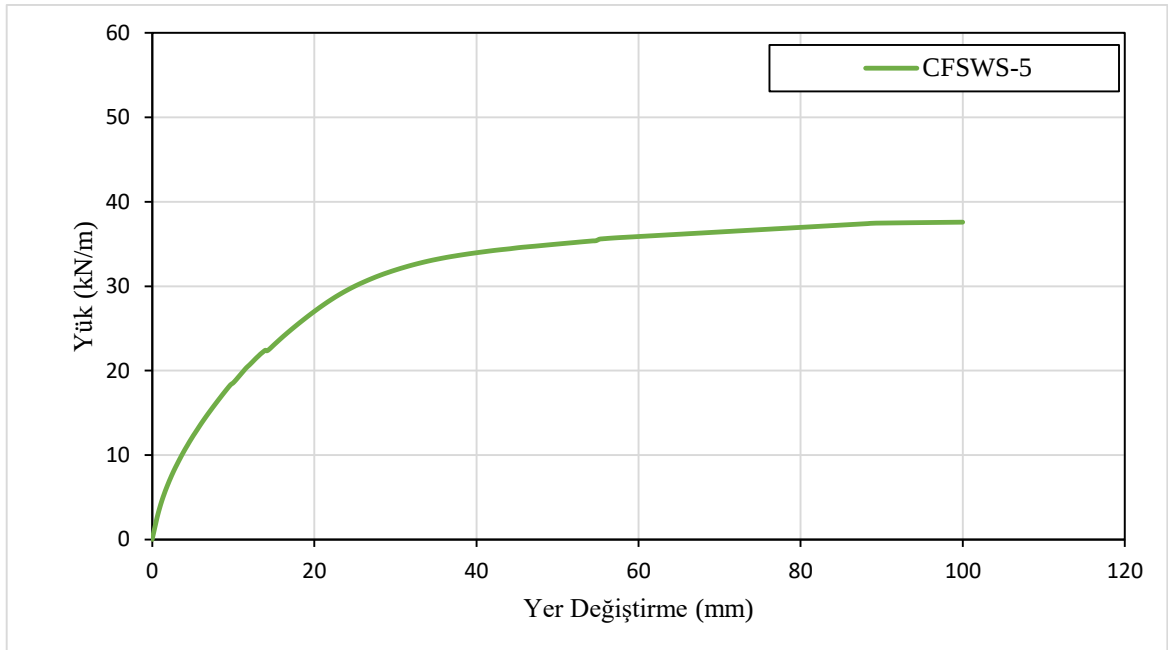


(c) Maksimum yer değiştirmede burkulma

Şekil 92. CFSWS-4 numunesinin göçme modu

CFSWS -5 Numunesinin Davranışı

Bu numune, duvar sisteminin merkezinde dikey olarak bulunan iki adet 332 mm berkitmeye sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,2 mm'dir. Berkitme olarak kullanılan oluklu levhanın kalınlığı 0,8 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Bu arada, berkitmeyi duvar sistemine bağlamak için aynı vida özelliği kullanılır. Şekil 92 'de duvar sisteminin üst kısmında duvar dayanımına karşı uygulanan yer değiştirme göstermiştir.



Şekil 93. CFSWS-5 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturmuş. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir.

Tablo 33. CFSWS-5 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P_p (kN/m)	P_y (KN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWS -5	38,03	36,42	18,08	2,01	100	5,53

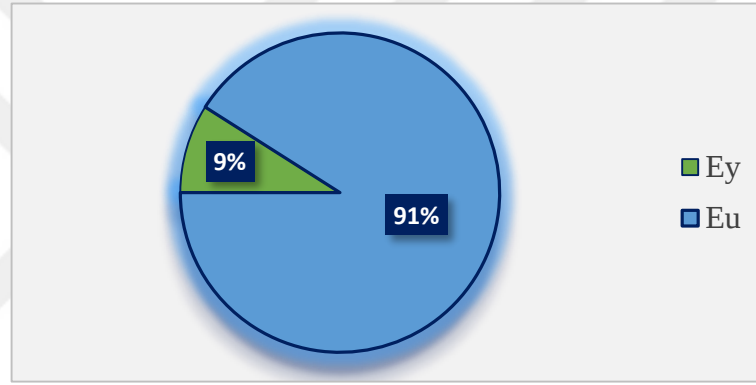
Tablo 33 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 100' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 92 ve Tablo 33 'ye göre CFAWS -5 duvar sisteminin maksimum dayanım

kapasitesi 38,03 kN/m'dir. Ayrıca duvar sisteminin akma dayanımının 36,42 kN/m olduğu ve bunun da 18,08 mm yer değiştirmeli ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca, duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 2,01 kN/m/mm olarak belirlenmiştir. Bu değer, sistemin dış yüklere erken tepkisi ve deformasyona direnme kapasitesi hakkında bilgi sağlayan maksimum yükün % 40 'ındaki rijitlik hesaplanarak hesaplanır.

Tablo 34 ve Şekil 93, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönümlenmesi için duvar sisteminin sönümlendiği enerji görülmektedir.

Tablo 34. CFSWS-5 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_u (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWS -5	341,68	3437	3778,68



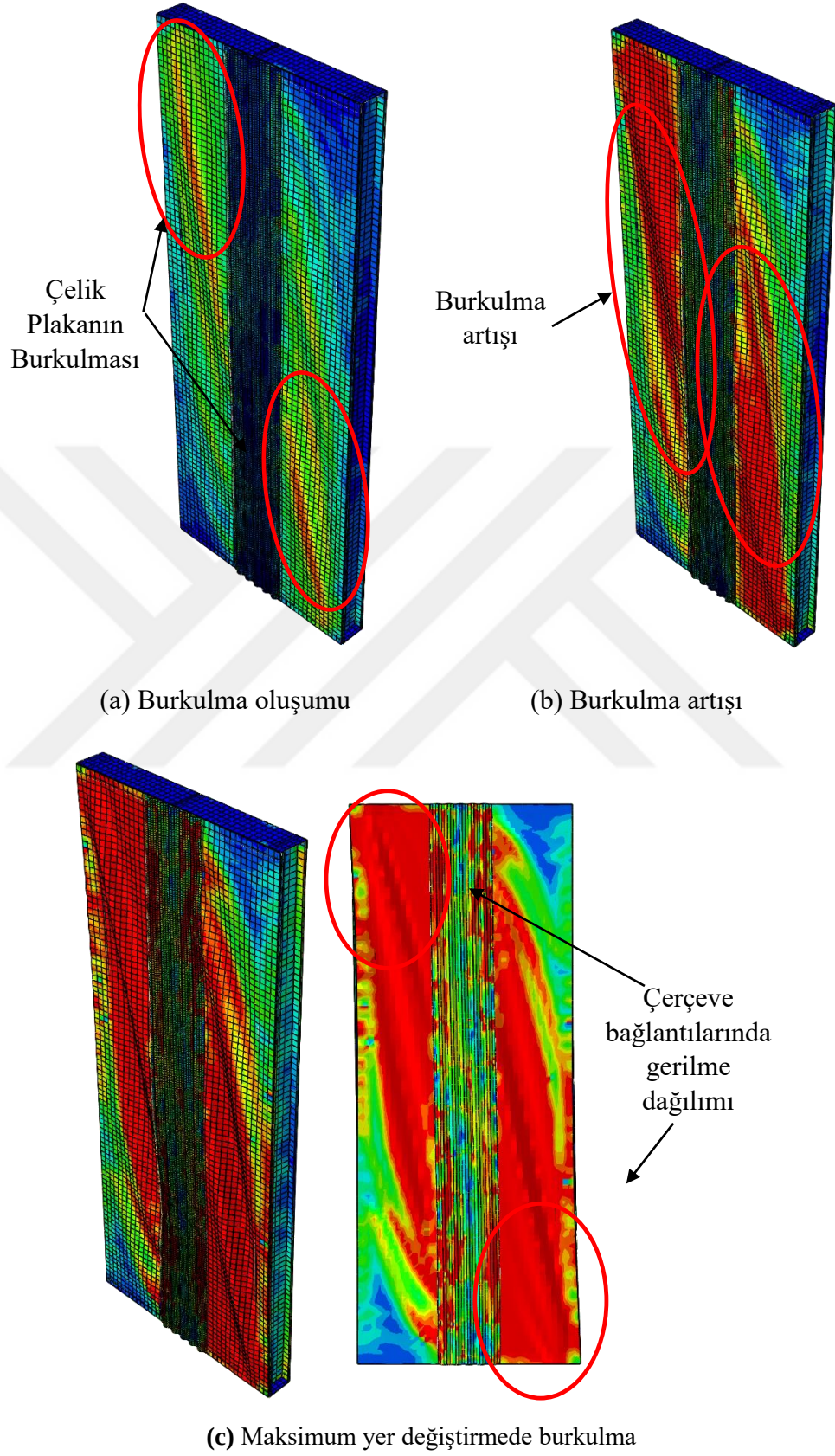
Şekil 94. CFSWS-5 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

Tablo 34, duvarın merkezinde dikey olarak bulunan 332 mm berkitmeli hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWS -5) toplam 3778,68 kN.mm enerji sönümlendiği görülmektedir. Şekil 3, bu enerjinin % 9 'unun akma noktasına kadar sönümlendiğini, kalan % 91' inin ise akma noktası ile nihai nokta arasında meydana geldiğini görülmektedir. Sönümlenen enerjisinin bu şekilde bozulması, hafif çelik perde duvar sisteminin performansı ve davranışı hakkında değerli bilgiler sağlar ve özellikle akmadan nihai seviyeye kadar farklı yükleme aşamaları boyunca sönümlenen enerjisinin dağılımını vurgular.

Şekil 94'te uygulanan yer değiştirmenin çeşitli aşamalarında CFSW-5 sisteminin göçme modları görülmektedir. Bu sistemdeki çelik levhanın burkulma davranışının CFSW ile benzer olduğu görülmektedir. Duvar sisteminin burkulma modu çeliğin ortasına dikey olarak yerleştirilen berkitmenin çelik plakayı dikey olarak böldüğü ve çelik plakanın ortasındaki burkulmanın genişlemesini kısıtladığını göstermektedir.

Bu tip berkitmeli duvar sisteminde kaplama - çerçeve bağlantılarının duvar sisteminin köşelerinde daha fazla gerilme altında olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum çelik plakanın

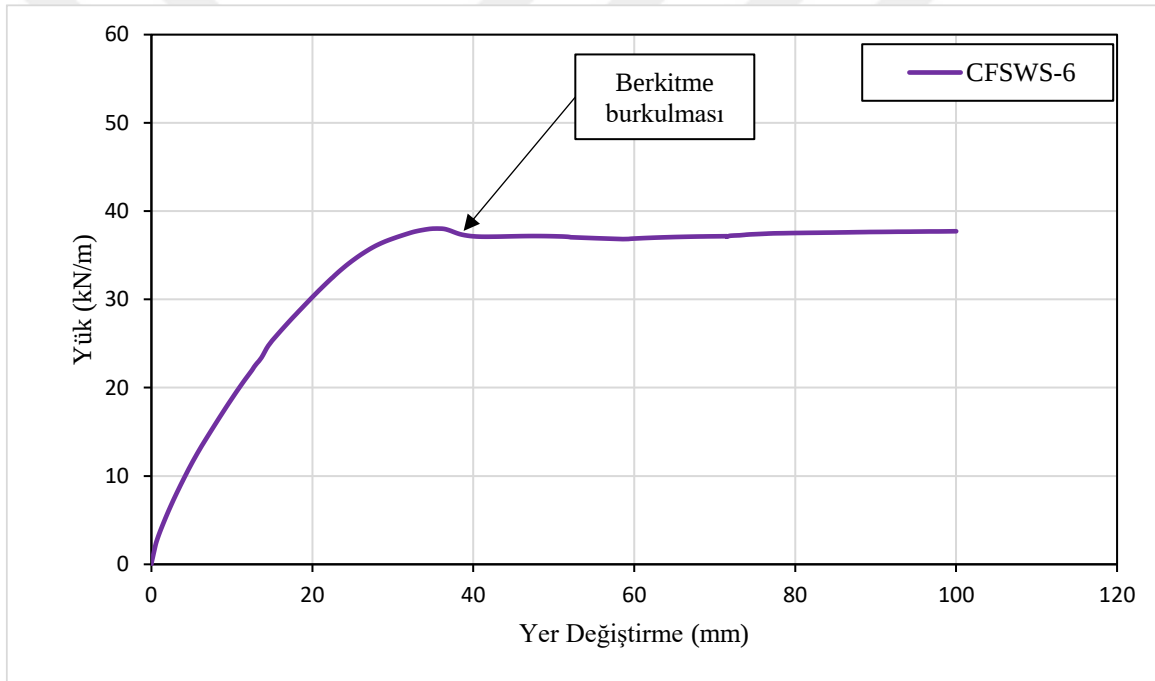
burkulma davranışını ve bunun sonucunda duvar sistemi içindeki gerilim dağılımını kontrol etmede dikey berkitmenin rolü hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.



Şekil 95. CFSWS-5 numunesinin göçme modu

CFSWS -6 numunesinin davranışı

Bu numune, duvar sisteminin bölümünün merkezinde bulunan iki adet 141 mm berkitmeye sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Berkitmenin bu duvar sistemindeki konumu, berkitmenin genişliğinin 144,1 mm'ye düşürülmesi dışında CFSWS -1 'e benzer. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,2 mm'dir. Berkitme olarak kullanılan oluklu levhanın kalınlığı 0,8 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Bu arada, berkitmeyi duvar sistemine bağlamak için aynı vida özelliği kullanılır. Şekil 95 'de duvar sisteminin üst kısmında duvar dayanımına karşı uygulanan yer değiştirme gösterilmiştir.



Şekil 96. CFSWS-6 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuştur. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir.

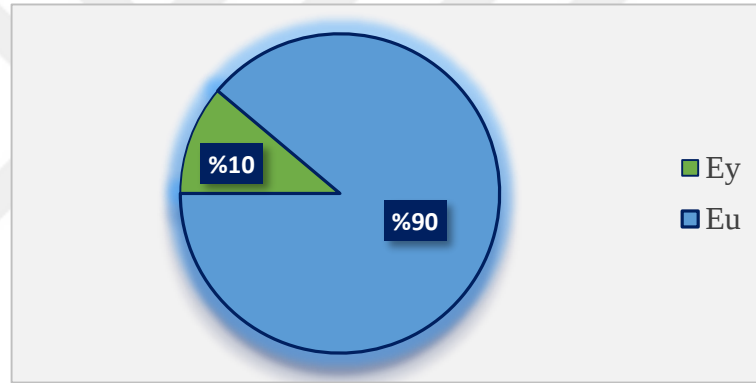
Tablo 35. CFSWS-6 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWS -6	37,57	34,34	16,58	2,07	100	6,03

Tablo 35 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 100' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 95 ve Tablo 35 'ye göre CFSWS-6 duvar sisteminin maksimum dayanım kapasitesi 37,57 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın dış yüklere dayanma yeteneğini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 34,34 kN/m'den başlamakta ve 16,58 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 2,07 kN/m/mm olarak belirlenmiştir. Bu değer, sistemin dış yüklere erken tepkisi ve deformasyona direnme kapasitesi hakkında bilgi sağlayan maksimum yükün % 40 'ındaki rijitlik dikkate alınarak hesaplanır.

Tablo 36. CFSWS-6 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWS -6	395,14	3580,11	3.975,25



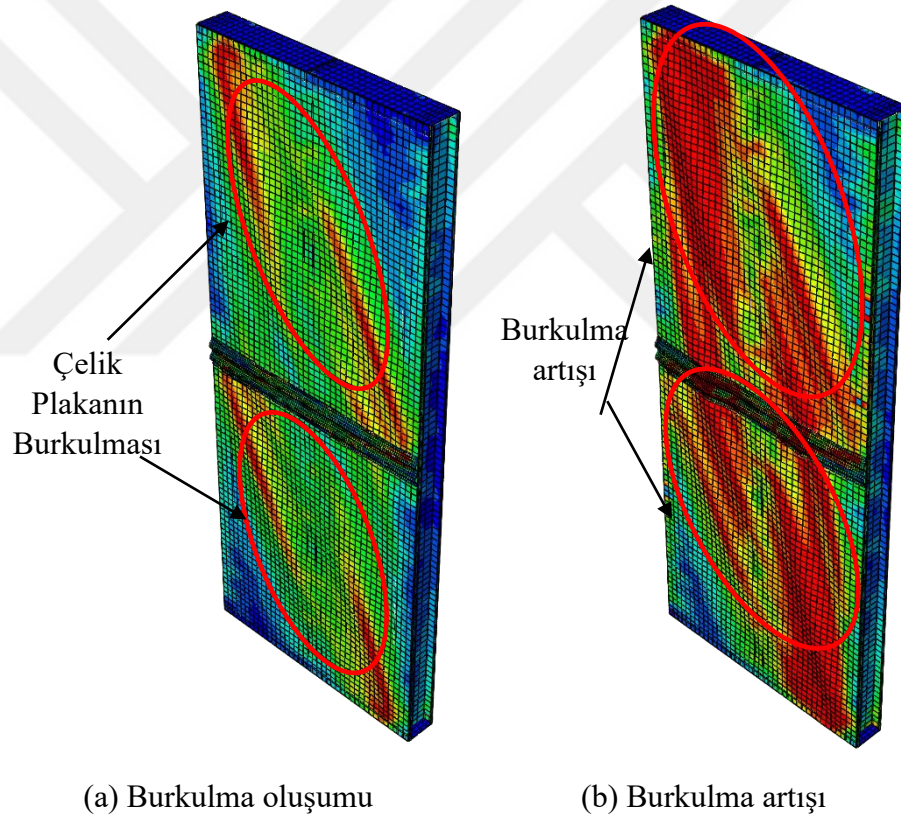
Şekil 97. CFSWS-6 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

Tablo 36, duvarın merkezinde yer alan 141 mm berkitmeli hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWS-6) toplam 3975,25 kN.mm enerji sönümlendiği görülmektedir. Şekil 96, bu enerjinin % 10 'unun akma noktasına kadar sönümlendiğini, kalan % 90' ının ise akma noktası ile nihai nokta arasında meydana geldiğini görülmektedir. Sönümlenen enerjisinin bu şekilde bozulması, hafif çelik perde duvar sisteminin performansı ve davranışı hakkında değerli bilgiler sağlar ve özellikle akmadan nihai seviyeye kadar farklı yükleme aşamaları boyunca sönümlenen enerjisinin dağılımını ifade eder.

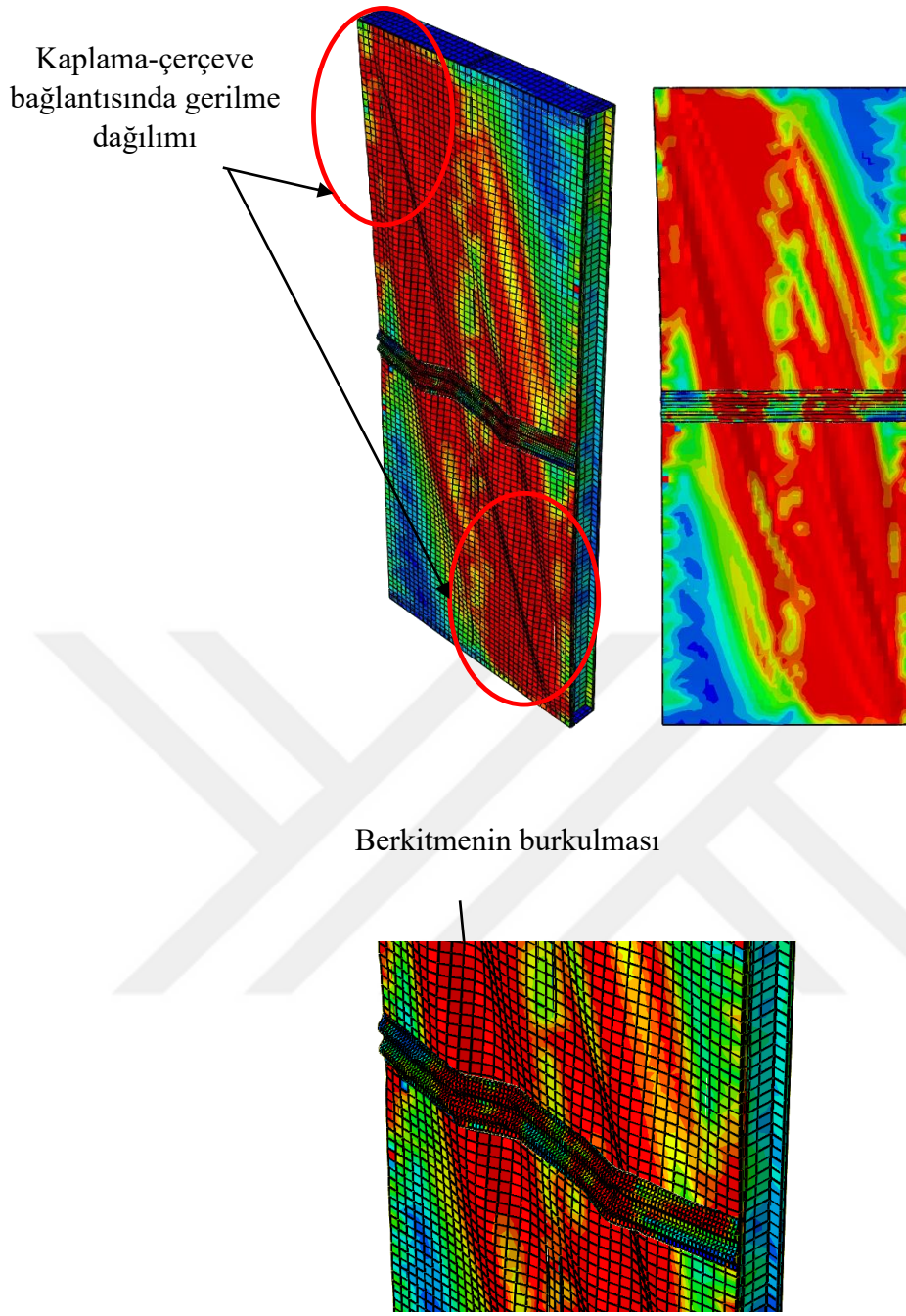
Şekil 97'te uygulanan yer değiştirmenin çeşitli aşamalarında CFSW -6 sisteminin göçme modları görülmektedir. Bu sistemdeki çelik plakanın burkulma davranışı CFSWS -1 'de gözlemlenen davranışa çok yakın benzerlik göstermektedir. Şekilden bir berkitmenin varlığının çelik plakanın iki ayrı parçaya bölünmesinde çok önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu

bölünme çelik plakanın burkulma dayanımını arttırmada etkilidir ve böylece tüm duvar sisteminin yük taşıma kapasitesinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

CFSWS -1 'den farklı olarak bu özel durumda berkitmenin kendisinin burkulmasının belirgin olduğu gözlemi dikkate değerdir. Şekil 97 'de gösterildiği gibi berkitme duvar sisteminin tepesindeki yer değiştirmede bir artışın ardından çelik plaka ile eş zamanlı olarak burkulma sergilemektedir. Bu durum sistemin davranışının kritik bir yönünün göstermektedir. Yani berkitmenin genişliğini azaltılarak berkitmenin burkulma dayanımının azalmasına bağlı olarak berkitmenin kendi içinde burkulmanın başlamasına yol açmaktadır. Berkitme boyutları ve davranışı arasındaki etkileşime ilişkin bu bulgu hafif çelik perde duvar sistemlerinin performansını optimize etmek için önemli esasları dikkate alınmasını gerektirmektedir.



Şekil 98. CFSWS-6 numunesinin göçme modu



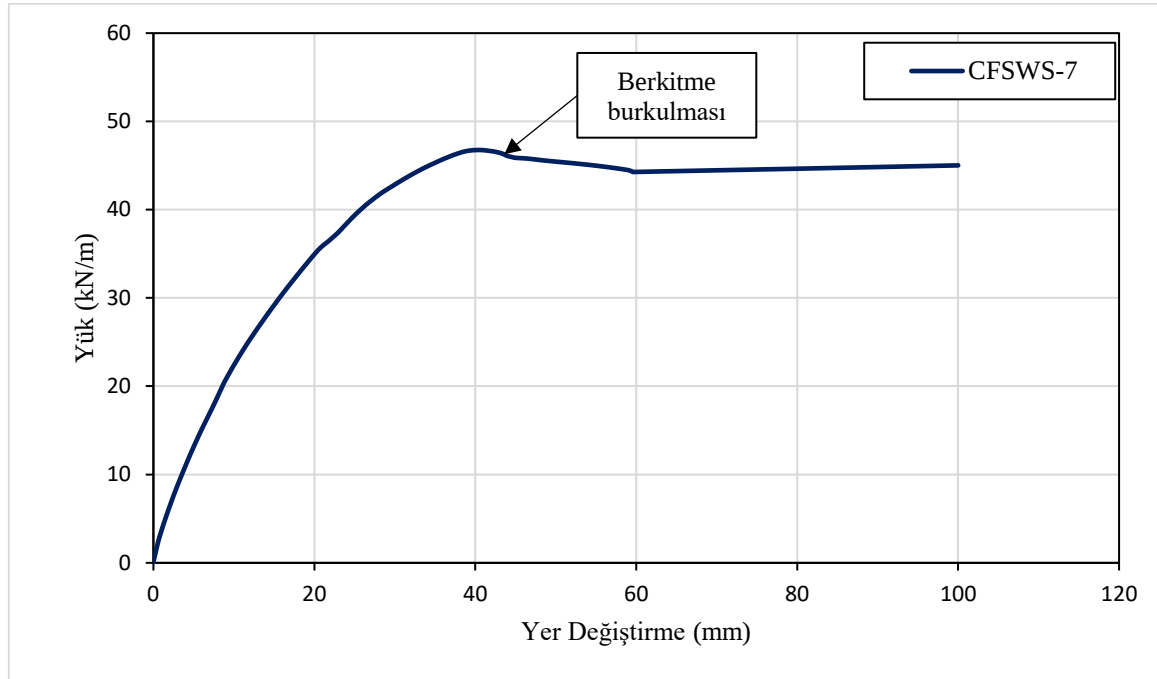
(c) Maksimum yer değiştirmede burkulma

Şekil 99. CFSWS-6 numunesinin göçme modu

CFSWS -7 numunesinin davranışı

Bu numune, çelik plakanın üç farklı konumunda bulunan üç adet 141 mm berkitmeye sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm, genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm, çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Berkitme olarak kullanılan oluklu levhanın kalınlığı 0,8 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılır. Bu arada, berkitmeyi duvar sistemine bağlamak için aynı vida

özelliği kullanılır. Şekil 98 'de duvar sisteminin üst kısmında duvar dayanımına karşı uygulanan yer değiştirme gösterilmiştir.



Şekil 100. CFSWS-7 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisi, duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirmeli monotonik bir yer değiştirme uygulanarak oluşturulmuştur. Numuneler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmak için, elde edilen yük, duvar dayanımının bu çalışmada 1,2 metre olan duvar sisteminin genişliğine bölünmesiyle normalize edilmiştir.

Tablo 37. CFSWS-7 Numunesinin Analiz Sonuçları

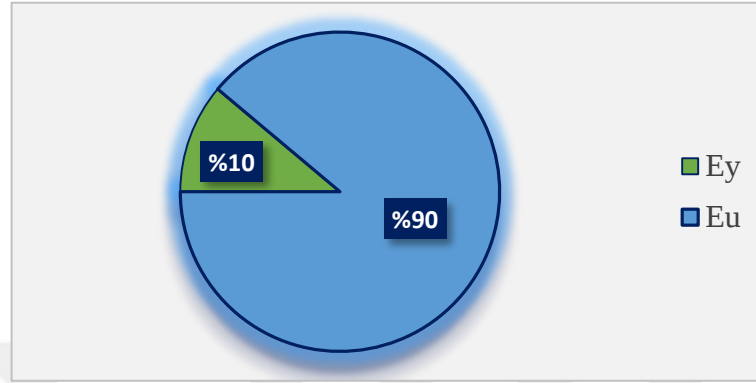
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWS-7	46,75	43,59	18,58	2,35	100	5,38

Tablo 37'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 100' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 98 ve Tablo 37 'ye göre CFAWS -7 duvar sisteminin maksimum dayanım kapasitesi 46,75 kN/m'dir. Ayrıca duvar sisteminin akma dayanımının 43,59 kN/m olduğu ve bunun da 18.58 mm yer değiştirmeli ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca, duvar sisteminin elastik rijitliği 2,35 kN/m/mm olarak belirlenmiştir, bu da rijitliğini anlamada önemli bir parametredir. Bu değer, sistemin dış yüklere erken tepkisi ve deformasyona direnme kapasitesi hakkında bilgi sağlayan maksimum yükün % 40 'ındaki rijitlik hesaplanarak hesaplanır.

Tablo 37 ve Şekil 98, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmülenmesi için duvar sisteminin sönmülen enerjiyi göstermektedir.

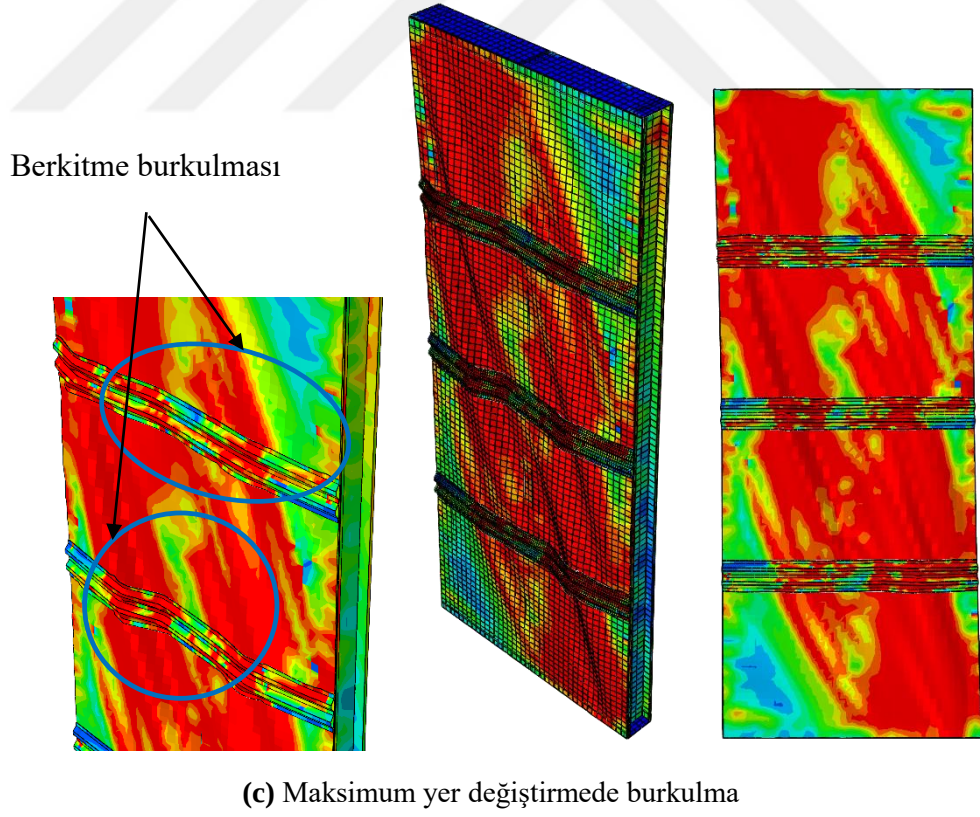
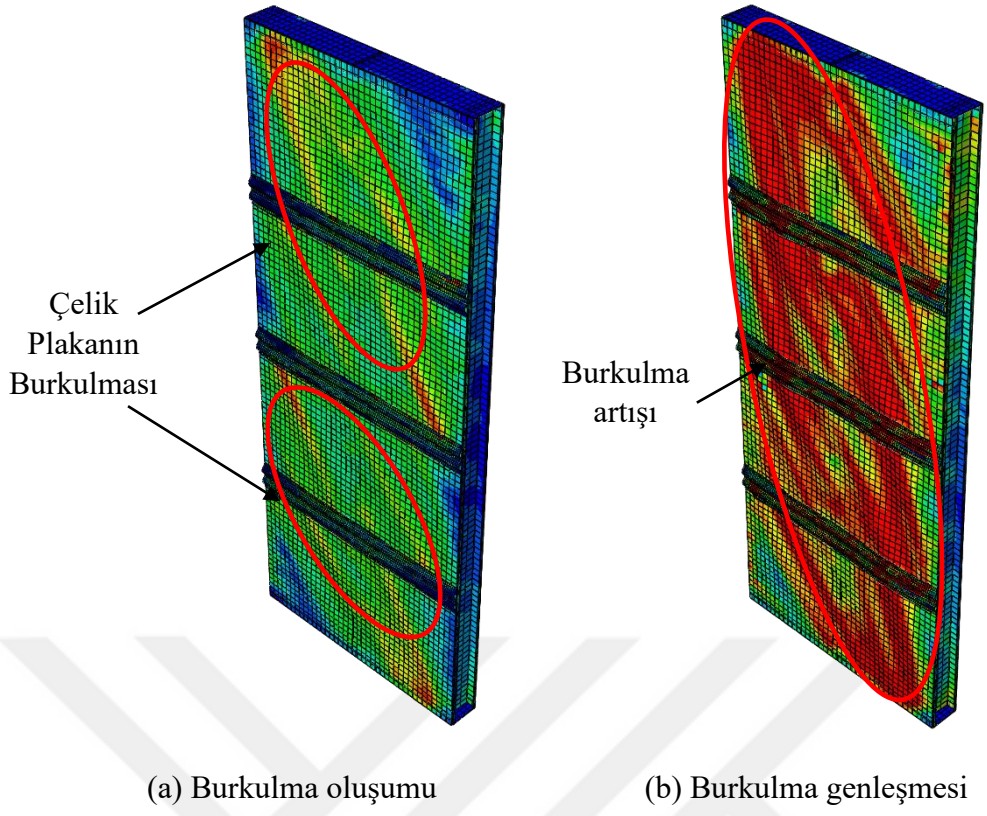
Tablo 38. CFSWS-7 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWS -7	485,86	4258,84	4744,70

**Şekil 101.** Sönümlenen enerji yüzdesi

Tablo 38, çelik plakanın üç farklı konumunda (CFSWS -7) bulunan 141 mm berkitmeli hafif çelik perde duvar sisteminin toplam 4744,70 kN.mm enerji sönümlendiği görülmektedir. Şekil 99, bu enerjinin % 10 'unun akma noktasına kadar sönümlendiğini, kalan % 90' ının ise akma noktası ile nihai nokta arasında meydana geldiğini görülmektedir. Sönümlenen enerjisinin bu şekilde bozulması, hafif çelik perde duvar sisteminin performansı ve davranışı hakkında değerli bilgiler sağlar ve özellikle akmadan nihai seviyeye kadar farklı yükleme aşamaları boyunca sönümlenen enerjisinin dağılımını vurgular.

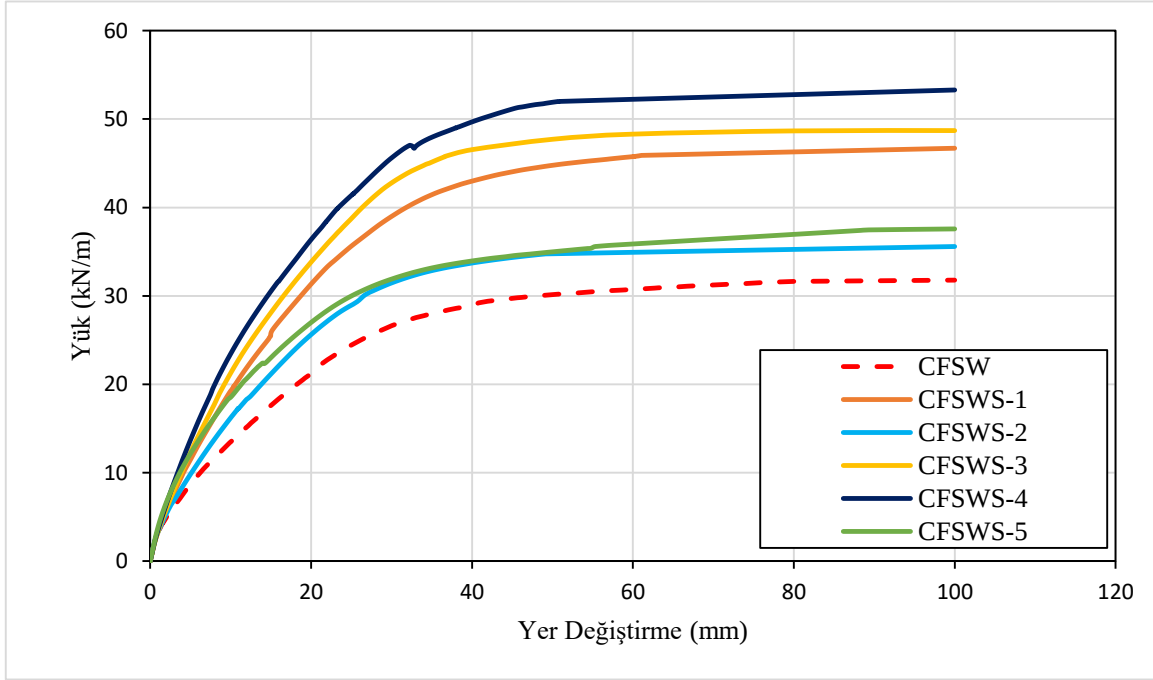
Şekil 100'de uygulanan yer değiştirmenin çeşitli aşamalarında CFSWS -7 'nin burkulma modunu görülmektedir. Bu özel duvar sisteminde üç berkitmenin kullanılması çelik plakanın burkulma genişlemesini farklı bölümlere ayırarak etkili bir şekilde dört bölüme ayırmada etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Bu desen uygulanan yer değiştirmenin ilk aşamalarında burkulma derecesinin sınırlandırılmasına ve çelik plakanın duvar sistemi içindeki genel stabilitesinin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Öte yandan duvar sisteminin tepesindeki yer değiştirme arttıkça sistemdeki üç berkitmenin her birinde burkulma gerçekleşmektedir. Berkitmelerin burkulması berkitmelerin genişliğinin azalmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 102. CFSWS-7 numunesinin göçme modu

Berkitmelerin Hafif Çelik Duvar Sistemleri Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde perde duvarlardan berkitmeler kullanılarak elde edilen sonuçların kapsamlı bir analizini ve sonuçlarını sunmaktadır. Ele alınan ilk eleman 332 mm berkitme içeren perde duvarlardır. Şekil 101’de özellikle 332 mm berkitmeli duvar sistemleri için duvar dayanımı ile uygulanan yer değiştirme arasındaki ilişkisini gösteren karşılaştırma sonuçlarını görülmektedir. Bu karşılaştırmalı analiz için değerlendirilen perde duvar sistemleri CFSWS -1, CFSWS -2, CFSWS -3, CFSWS -4 ve CFSWS -5 'tir.

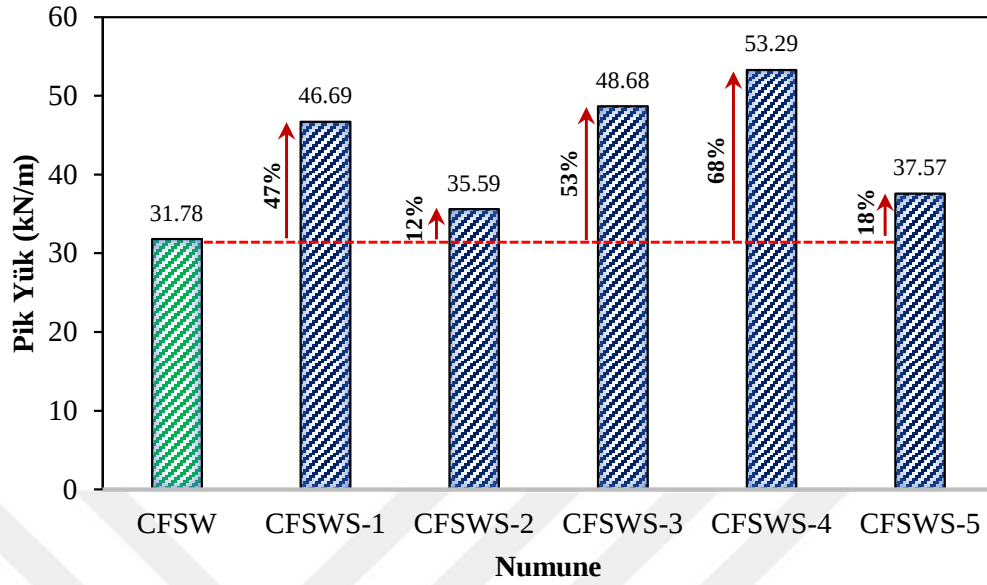


Şekil 103. 332 mm berkitmeli perde duvarlar için yük-yer değiştirme eğrileri

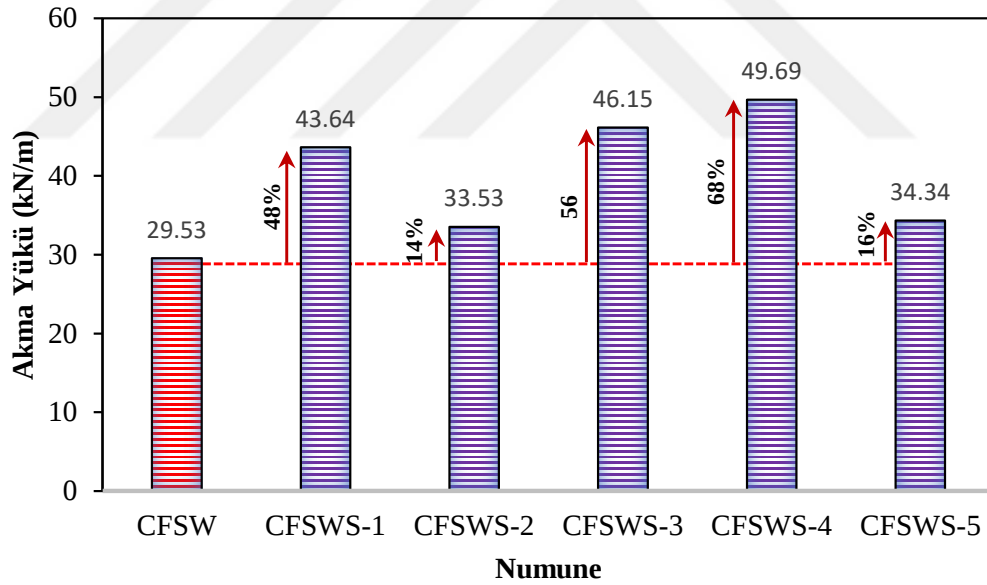
Şekil 101’de berkitme elemanlarının çeşitli düzenlemelerinin duvar sistemlerinin yük taşıma kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Her bir berkitme deseni duvarların kesme dayanımını arttırırken bazı desenler diğerlerinden daha önemli bir etkiye neden olmuştur. Şekil 101’de CFSWS-4 'teki berkitmelerin yerleştirilmesinin duvar yapısının kesme dayanımına artışı en fazla olduğunu göstermektedir. Grafikte CFSWS-4 'teki berkitmelerin desenleri duvarın uygulanan yüklere ve deplasmanlara karşı dayanımını etkili bir şekilde artırdığı görülmektedir. Buna karşılık CFSWS -2 'deki berkitmelerin deseni duvar sistemlerinin kesme dayanımını arttırmada sınırlı bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu duvarda berkitmelerin varlığı belirli bir dereceye kadar olumlu bir dayanım artışıyla sunarken alternatif modellerde gözlemlendiği gibi önemli bir katkısı olmamıştır.

Şekil 102’de duvarların tepe yükü taşıma kapasitesindeki artışı farklı desenlere sahip 332 mm berkitmelerle karşılaştırılmıştır. Duvar sisteminin maksimum yükünde CFSWS -4, CFSWS -3, CFSWS -1, CFSWS -5 ve CFSWS -2 'nin sırası ile artış değerleri Şekil 121’de

görülmektedir. Dayanım artış yüzdesinin sırasıyla % 68, % 53, % 47, % 18 ve % 12 olduğu görülmektedir.



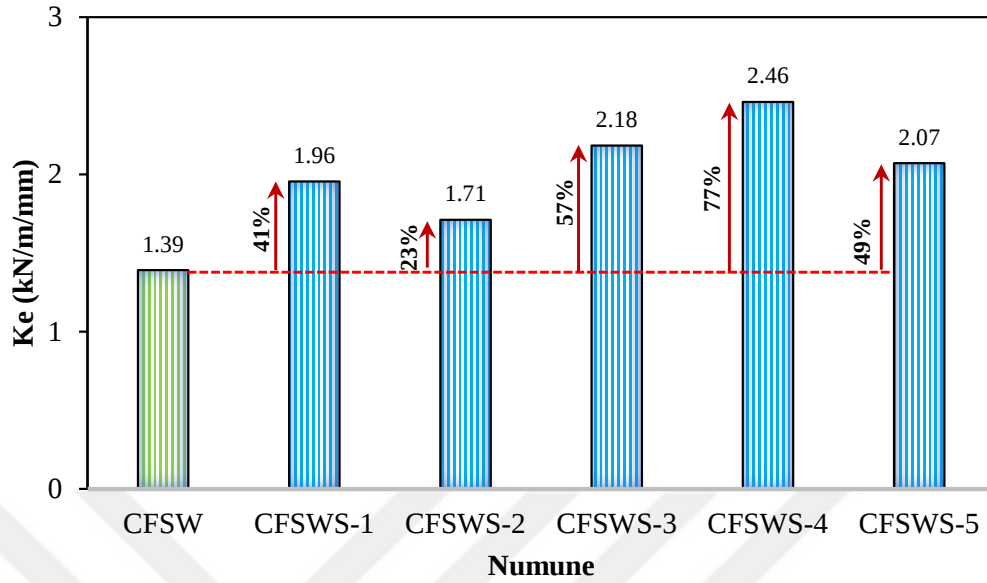
Şekil 104. 332 mm berkitmeli numunelerin maksimum yük karşılaştırması.



Şekil 105. 332 mm berkitmeli numunelerin akma yük karşılaştırması.

Ayrıca, Şekil 103 'te görülen verilerde çeşitli duvar sistemlerinin akma dayanımı görülmektedir. Özellikle berkitmelerin tüm duvarlara dahil edilmesi akma kesme dayanımının artmasına neden olmuştur. Sistemler arasında CFSWS -4 % 68 'lik kayda değer bir artış göstererek en yüksek akma dayanımı değerindedir. Buna karşılık CFSWS -1 numune akma dayanımında % 12 'lik bir artışla en az artışı göstermiştir.

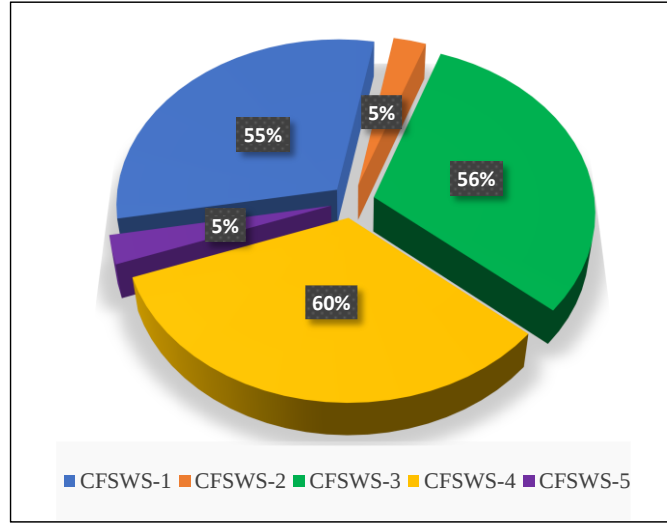
Şekil 104'te farklı duvar sisteminin elastik rijitiğinin (K_e) karşılaştırılmasını görölmektedir.



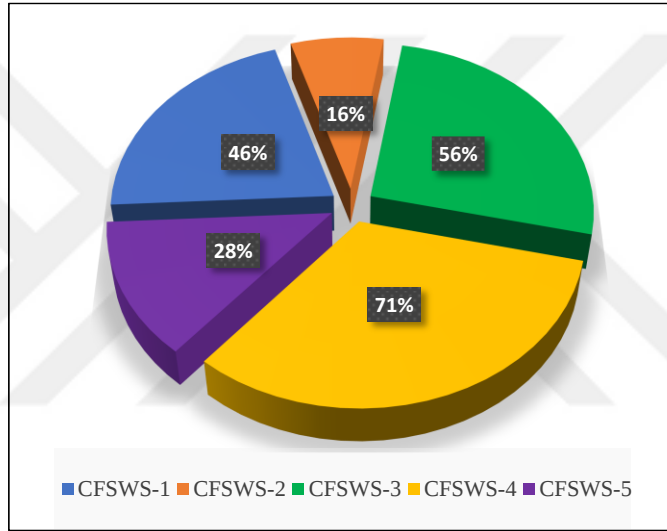
Şekil 106. 332 mm berkitmeli numunelerin elastik rijitliğın karşılaştırması

Berkitmeli tüm duvar sisteminin elastik rijitliğının berkitmesiz (CFSW) duvar sistemine göre artış gösterdiği görölmektedir (Şekil 104). Bu durum çelik plakanın bir dereceye kadar burkulmasını önleyen berkitmelere sahip çelik plakanın desteğıyle oluşmaktadır. CFSWS -4 'te kullanılan berkitme desenin duvar sisteminin elastik rijitliğini maks (% 77) oranında arttırdığı görölmektedir. Öte yandan CFSWS -2 'de kullanılan desen duvar sisteminin elastik rijitliklerinde en az artışı (% 23) göstermiştir.

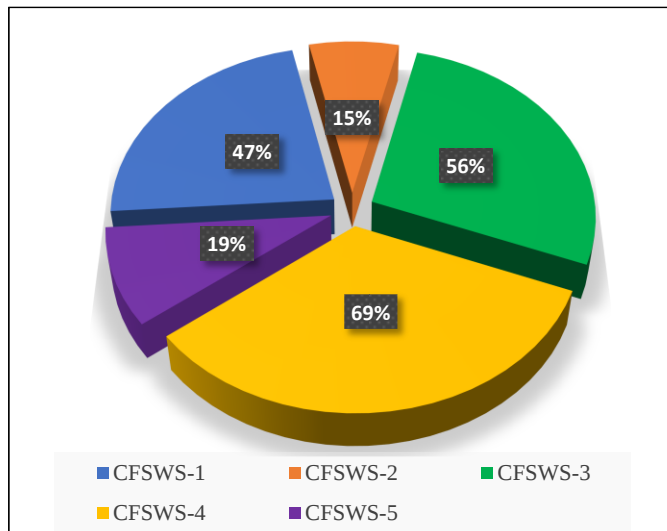
Sönümlenen enerji açısından tüm numunelerde artış gösterdiği görölebilir. Şekil 105'de farklı aşamalarda berkitme içermeyen (CFSW) numuneye kıyasla duvar sistemlerinin sönümlenen enerji değişimi görölmektedir.



(a)



(b)

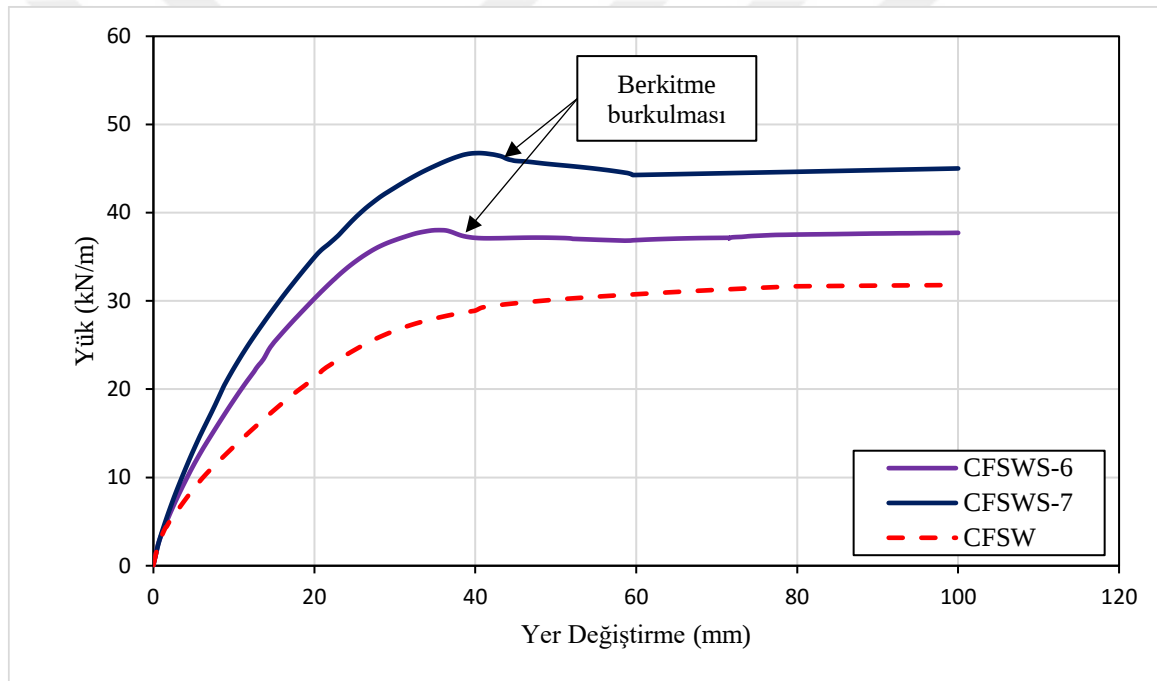


(c)

Şekil 107. Berkitmesiz perde duvara göre berkitmeli perde duvarların sönmölen enerji artışı.
(a) E_y , (b) E_u , (c) E_t

Berkitmeli tüm duvar sistemlerinin her üç aşamada da sönümlenen enerjisinde artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca CFSWS -4, E_y , E_u ve E_t 'de sırasıyla % 60, % 71 ve % 69' luk artış ile sönümlenen enerjinin maksimum artışını vermektedir. Buna karşılık CFSWS -2 toplam enerji sönümleme artışında % 15 'i ile duvar sistemleri arasında en az sönümlenen enerjisinin artışına sahip olmuştur.

Bu karşılaştırmanın ikinci kısmında 141 mm berkitme içeren perde duvarlara değerlendirilmiştir. Bu duvar sistemleri için, duvar sistemlerinin davranışı üzerindeki etkiyi görmek için berkitme elemanlarının genişliği 332 mm'den 141 mm'ye düşürülmüştür. Şekil 106'da 141 mm berkitme ile berkitmeli duvar sistemleri için duvar dayanımı ile uygulanan yer değiştirme arasındaki gösteren karşılaştırma sonuçlarını görülmektedir. Bu karşılaştırmalı analiz için değerlendirilen perde duvar sistemleri CFSWS -6 ve CFSWS -7 'dir.

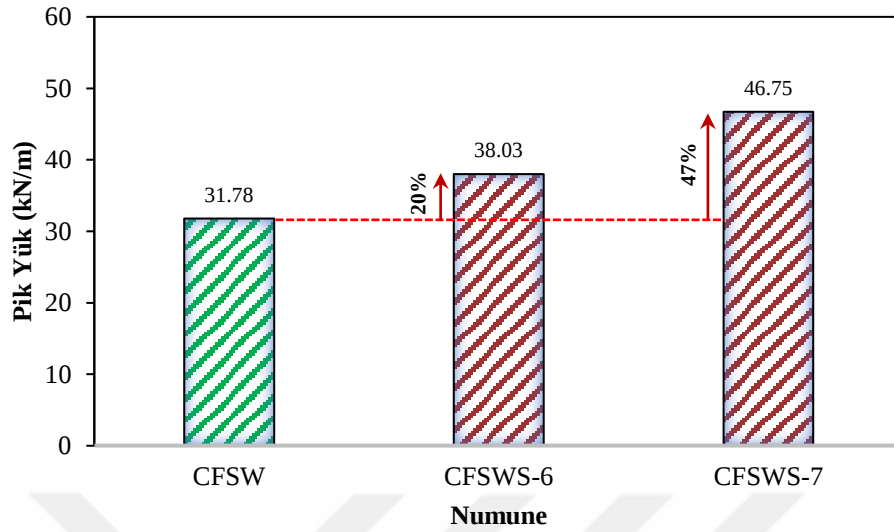


Şekil 108. 141 mm berkitmeli perde duvarların karşılaştırılması

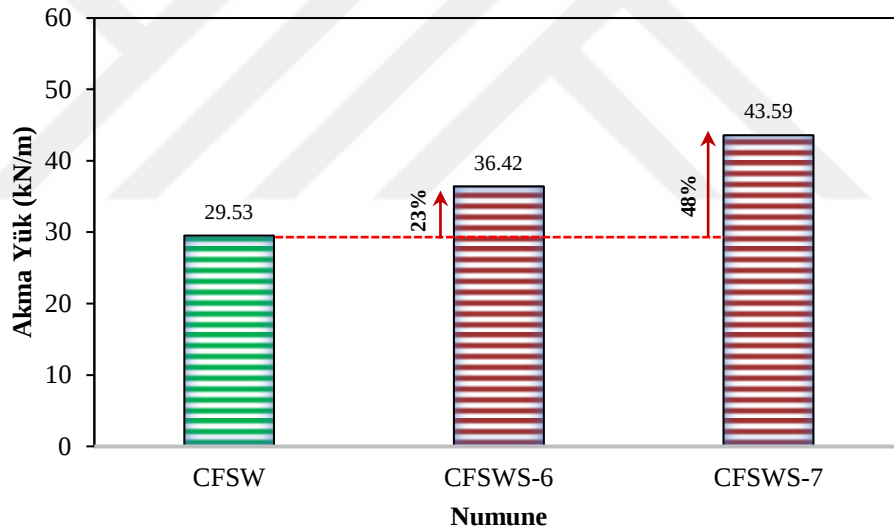
Şekil 106'da uygulanan yer değiştirme arttığında bu duvar sistemlerindeki berkitmelerin çelik plaka ile aynı anda burkulmaya başladığı dikkate değer bir durumu açıkça göstermektedir. Bu davranış berkitmenin genişliğindeki azalma ile açıklanabilir ve bu durum rijitlikte bir düşüşe neden olmaktadır. Berkitmenin rijitliğinin azalması burkulmanın önemli bir nedenidir ve sistemin uygulanan yer değiştirmeye karşı tüm davranışını etkilemektedir. Bu gözlem bu hafif çelik duvar sistemlerini analiz ederken berkitmelerin boyutlarını ve yapısal davranış üzerindeki etkilerini dikkate alma gerekliliğini göstermektedir.

Şekil 107'de duvarların tepe yükündeki artışları farklı desenlere sahip 141 mm berkitmelerle karşılaştırılmaktadır. CFSWS -6 ve CFSWS -7 'nin duvar sisteminin maksimum

yükü açısından en az ve en çok artışı sırasıyla görülmektedir (Şekil 131). Artış yüzdesinin sırasıyla % 20 ve % 47 olduğu yine aynı şekilden görülmektedir.



Şekil 109. 141 mm berkitmeli duvarların maksimum yük karşılaştırması

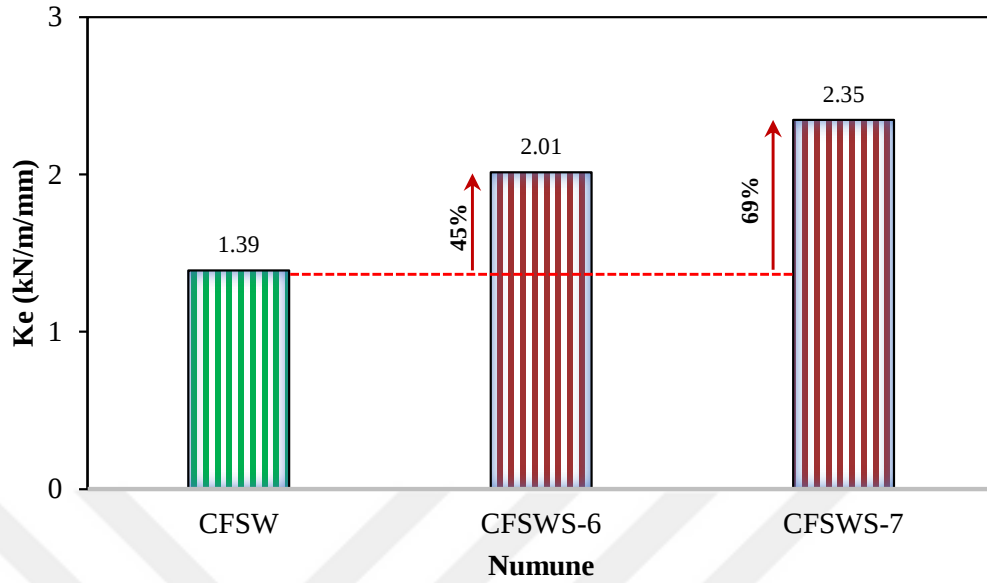


Şekil 110. 141 mm berkitmeli duvarların akma yükü karşılaştırması

Ayrıca Şekil 108 'de sunulan veriler ile 141 mm berkitme ile duvar sistemlerinin akma kesme dayanımını görülmektedir. Özellikle her iki duvara da berkitmelerin dahil edilmesi akma kesme dayanımının artmasına neden olmuştur. Sistemler arasında CFSWS -7, % 48 'lik kayda değer bir yüzdelikle göstererek en yüksek artışı göstermiştir. Buna karşılık CFSWS -6 akma dayanımında % 23 'lük bir artışla en az değere sahip olmuştur.

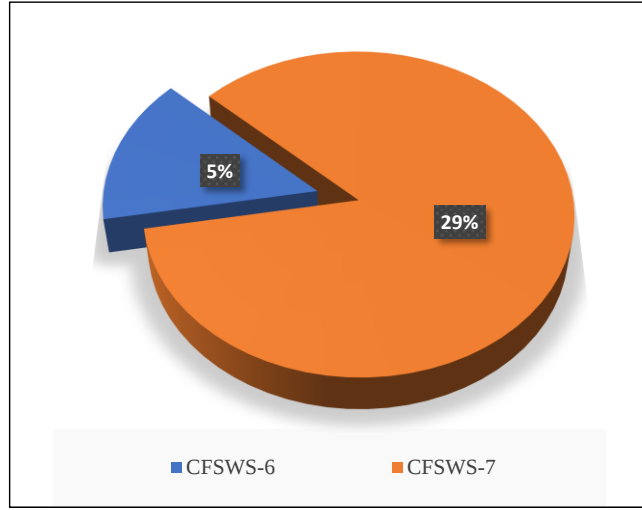
Şekil 109 'de 141 mm berkitmeli duvar sistemlerinin elastik rijitliklerinin (K_e) karşılaştırılması verilmiştir. 141 mm berkitmeli her iki duvar sisteminin elastik rijitliğinin berkitmesiz (CFSW) duvar sistemine göre artış gösterdiği görülmektedir. CFSWS -7 'de

kullanılan berkitme deseninin duvar sisteminin elastik rijitliğinin en fazla arttırdığı (%69) görülmektedir.

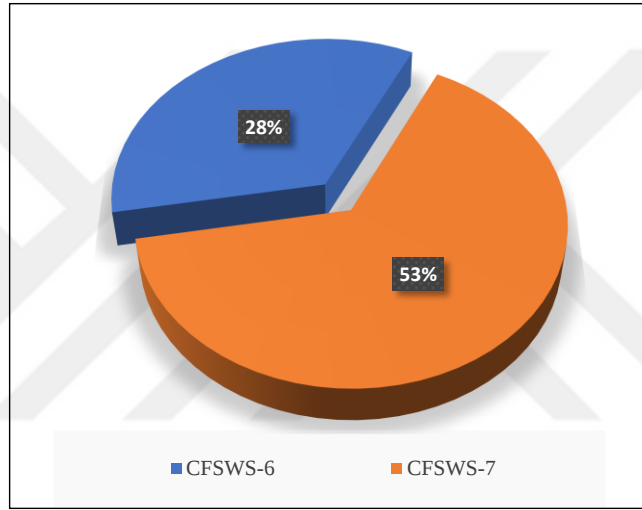


Şekil 111. 141 mm berkitmeli duvarların elastik rijitlik karşılaştırması

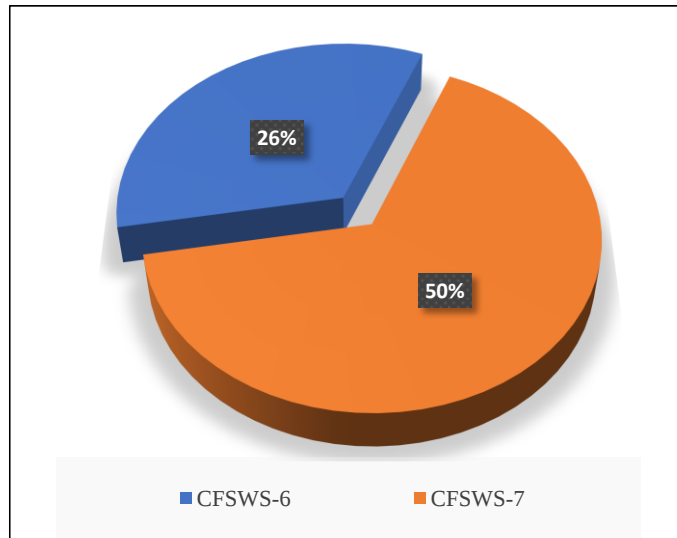
Sönümlenen enerji açısından değerlendirildiğine her iki numunesinde artış gösterdiği görülebilmektedir. Şekil 110'de farklı biçimlerinde berkitme bulunmayan (CFSW) numuneye kıyasla duvar sistemlerinin sönümlenen enerji artırması görülmektedir. Şekil 110a'da akma noktasına (E_y) kadar sönümlenen enerji artışını, Şekil 110b'de akma ve nihai noktalar (E_u) arasındaki sönümlenen enerji artışını ve Şekil 110c'de CFSW'ye kıyasla numunelerin toplam sönümlenen enerji artışı (E_t) görülmektedir.



(a)



(b)



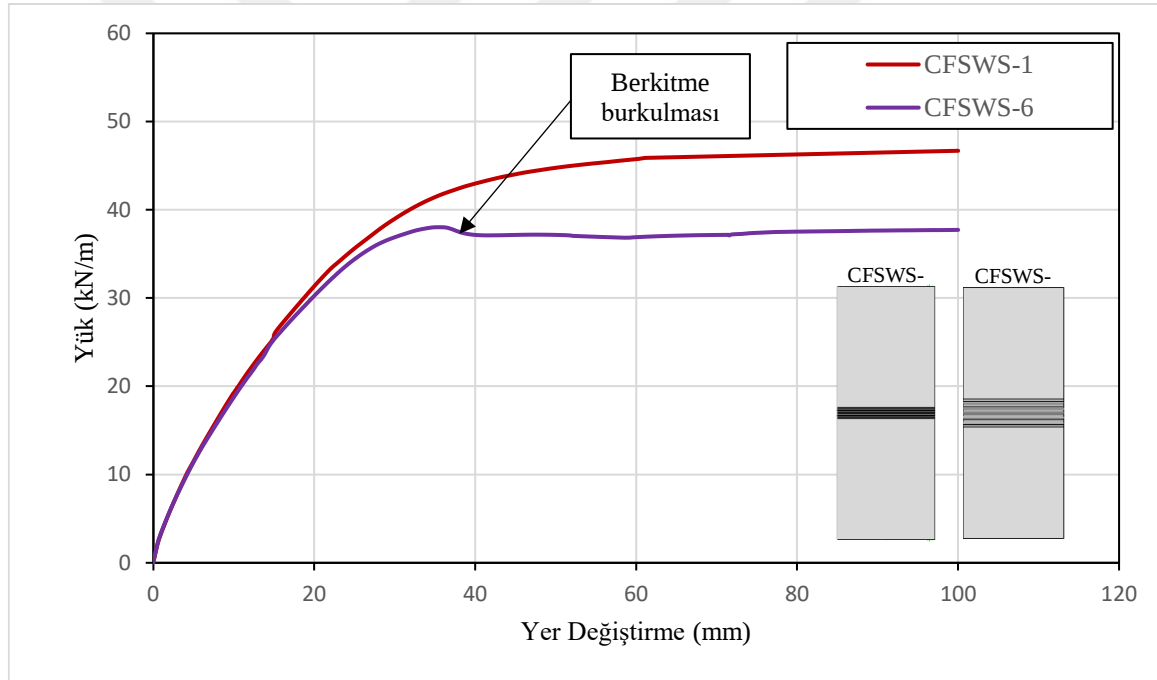
(c)

Şekil 112. Berkitmesiz perde duvara göre 141 mm berkitmeli perde duvarın sönmölenen enerji artış yüzdesi (a) E_y (b) E_u (c) E_t

Bu bölümdeki son karşılaştırma hafif çelik duvar sisteminde aynı desenin bir parçası olan 332 mm ve 141 mm genişliğe sahip berkitme elemanlarının performansını incelemektedir. Karşılaştırma berkitmenin her iki numune de çelik plakanın ortasına yatay olarak yerleştirildiği CFSWS -1 ve CFSWS -6'yı dikkate almaktadır. Bu iki numunedeki asıl fark berkitmenin genişliğidir. CFSWS -1 numunesinde 332 mm genişliğinde bir berkitmeye varken CFSWS -6 numunesinde 141 mm genişliğinde daha dar bir berkitme mevcuttur.

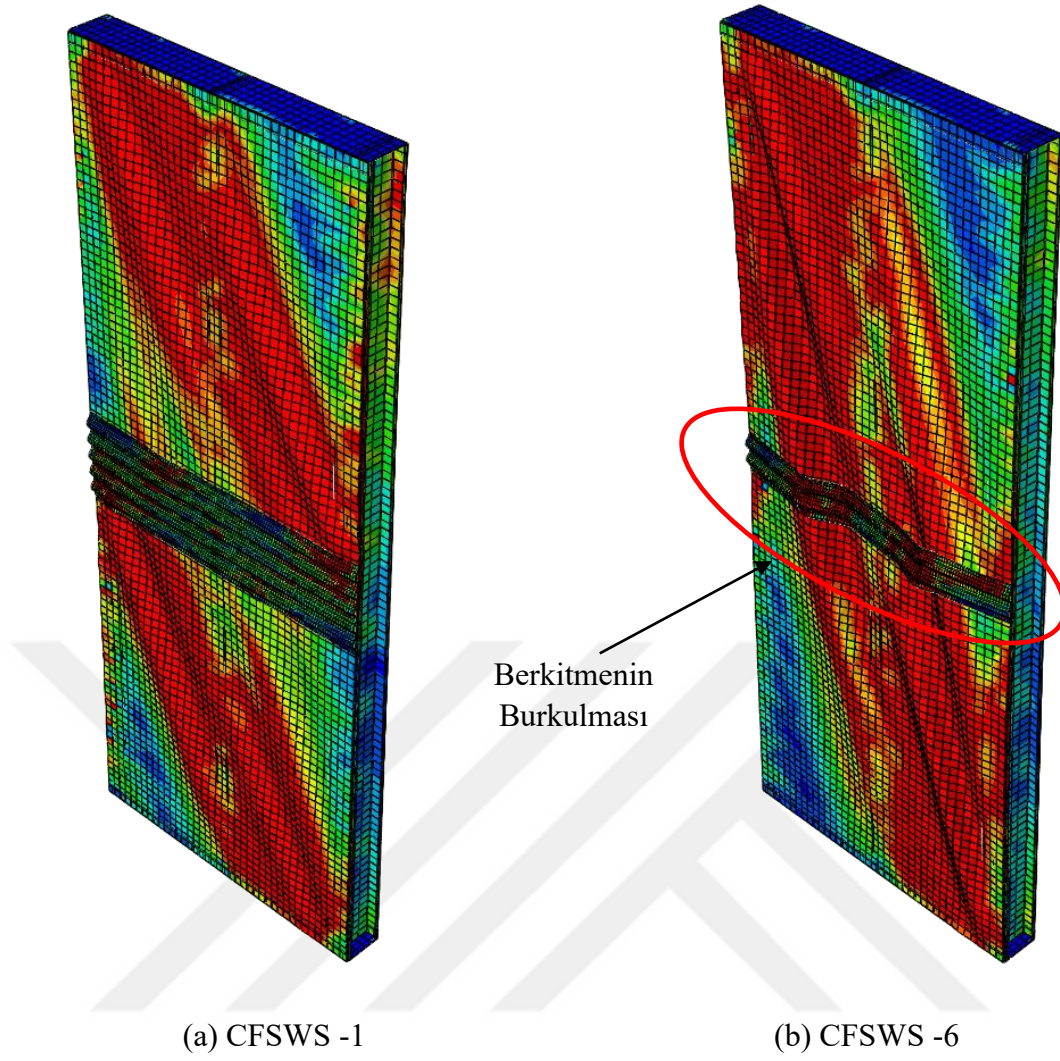
Bu kıyaslama aynı modeldeki berkitmelerin genişliğindeki değişikliklerin hafif çelik duvar sistemlerinin yapısal davranışını nasıl etkilediğinin kapsamlı bir şekilde incelenmesini ve istenen performans özelliklerini elde etmek için ideal berkitme boyutları hakkında önemli bilgiler vermektedir.

Şekil 110'de CFSWS -1 ve CFSWS -6 için duvarların yer değiştirmeye karşı dayanım değerleri görülmektedir.



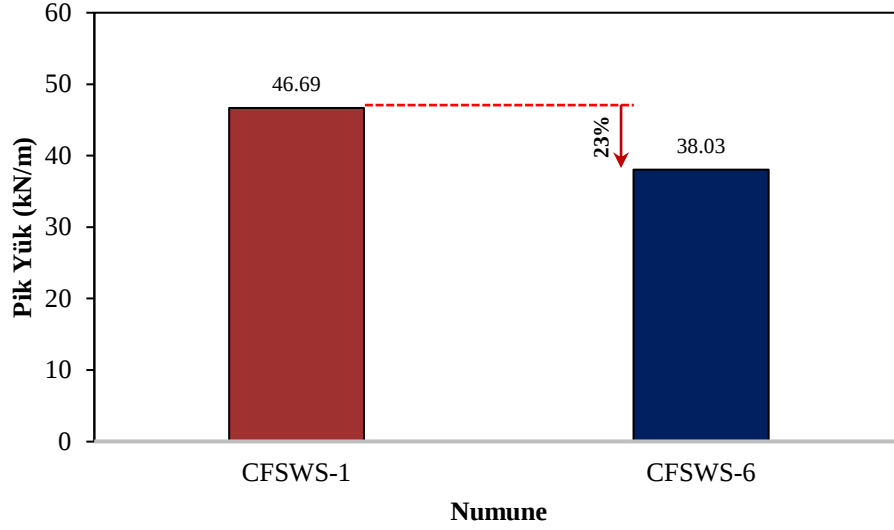
Şekil 113. CFSWS -1 ve CFSWS -6 numunelerin karşılaştırması

Çelik levha ile kaplanmış hafif perde duvarların kesme dayanımı ve göçme modu üzerindeki berkitme genişliğinin etkisi Şekil 111 ve 112'de görülmektedir. 141 mm berkitme genişliğine sahip duvarda (CFSWS-6) berkitmenin kendisi burkulmaya başlamış ve 332 mm berkitme genişliğine sahip duvara (CFSWS-1) kıyasla duvarın elastik rijitliklerinde azalma görülmektedir. Şekil 112'de gösterildiği gibi, 332 mm berkitme genişliğine sahip duvar, 141 mm berkitme genişliğine sahip duvara kıyasla göçme modu açısından daha iyi bir performans göstermiştir.

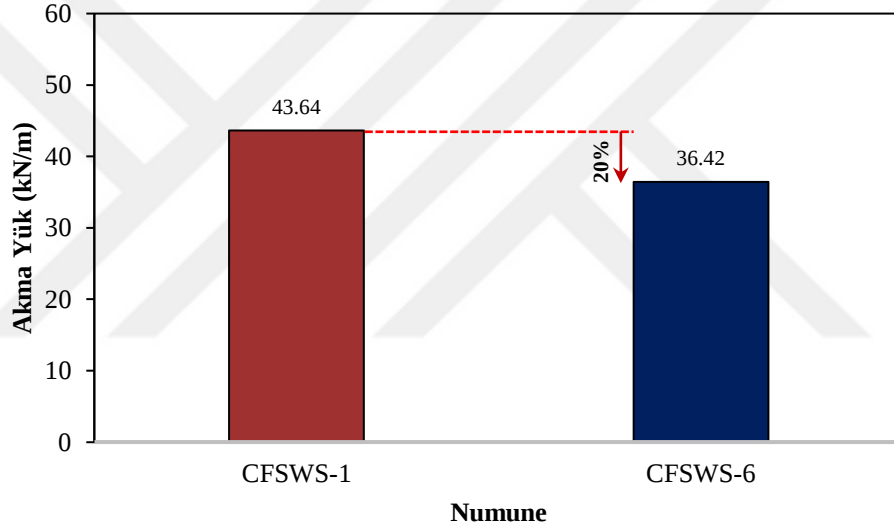


Şekil 114. CFSWS -1 ve CFSWS -6 numunelerin göçme modları

Şekil 113 ve Şekil 114'te görüldüğü gibi, 332 mm berkitme genişliğine sahip duvar (CFSWS-1) 141 mm berkitme genişliğine sahip duvara (CFSWS-6) kıyasla perde duvarın maksimum yükünde ve akma yükünde sırasıyla %23 ve %20'lik bir artış göstermiştir.



Şekil 115. CFSWS-1 ve CFSWS-6 için maksimum yük değerleri



Şekil 116. CFSWS-1 ve CFSWS-6 için akma yük değerleri

Ayrıca her iki duvarın elastik rijitliğinin (K_e) oldukça benzer olduğu ve duvar sistemlerinin elastik rijitliğinde kayda değer bir fark gözlenmediği sonucuna varılmıştır. Buna karşılık CFSWS -1 'in toplam sönümlenen enerji 4652,54 kN.mm ve toplam sönümlenen enerji 3975,25 kN.mm olan CFSWS -6' ya kıyasla % 17 'lik bir artışı temsil etmektedir.

Boşluklu perde duvarlar

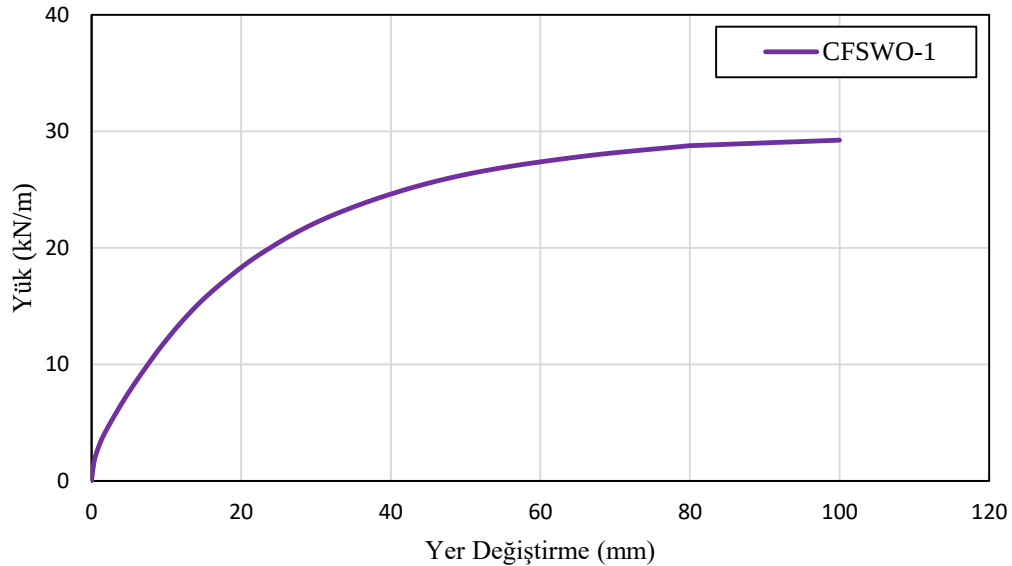
Çalışmanın bu aşamasında boşlukların çelik plakalarla kaplanmış hafif çelik perde duvarlar üzerindeki etkisini incelemek için kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Araştırma 9 ayrı perde duvar numunesinin kapsamlı bir şekilde incelenmesini içermektedir. Her numune boşluklarının hem ebatlarında hem de duvarda bulundukları yerlerinde değişiklikler yapılarak perde duvarlar incelenmiştir. Bu çalışmanın esas amacı hafif çelik perde duvarların yapısal

tasarımında boşlukların varlığından kaynaklanan karmaşık etkilerin anlaşılması ve analiz edilmesidir. Bunu yapmak için önceden belirlenmiş 9 perde duvar örneğinden oluşan bir dizi numune modeli hazırlanmıştır. Bu numuneler kasıtlı olarak farklı boşluk alanlarına ve farklı boşluk yerlerine sahip olacak şekilde modellerde tasarlanmıştır. Bu kapsamlı araştırma farklı boşluk yerlerine ve boyut açısından farklı nitelikleri olan çelik plakalarla kaplanmış hafif çelik perde duvarlar çerçevesinde konumlama ve ebat açısından perde duvarların performansları arasında bir ilişki sunulması amaçlanmıştır.

CFSWO -1 numunesinin davranışı

CFSW-1 numunesi 400 mm x 400 mm ölçülerinde merkezi bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 4,4'tür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak modellenmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı 4,8 mm çapında vidalarla gerçekleştirilmiştir. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 115 'de CFSWO -1 perde duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmesine karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 117. CFSWSO-1 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm yer değiştirme kontrollü yük uygulanarak duvarın yer değiştirmeye karşı dayanımını temsil eden eğri elde edilmiştir. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünmüştür.

Şekil 115 'te sunulan grafiğin özellikleri Tablo 39' da verilmiştir.

Tablo 39. CFSWO-1 Numunesinin Analiz Sonuçları

Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO -1	29,25	26,12	21,34	1,22	100	4,69

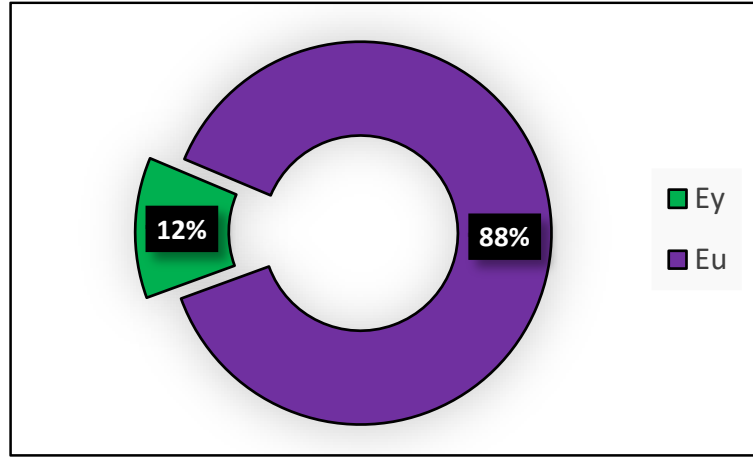
Tablo 39 'daki veriler EEEP tekniğinin Şekil 115' deki grafiğe uygulanmasının sonuçları yer almaktadır. Şekil 115 ve Tablo 39 'ya göre CFSWO -1' in maksimum dayanım kapasitesi 29,25 kN/m'dir. Bu özellik duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil etmekte ve yük taşıma kapasitesinin tayini için önemli bir değer olmaktadır. Duvar sisteminde akma dayanımı 26,12 kN/m'de başlamakta ve 21,34 mm yer değiştirme değerine sahip olmaktadır.

Duvar sisteminde elastik rijitliğin anlaşılması için önemli bir parametre olan elastik rijitlik değeri 1,22 kN/m/mm olarak elde edilmiştir.

Ayrıca duvar sisteminin sönmölenen enerjisini belirlemek için yük - yer değiştirme eğrisinin altındaki alan her biri sistemin sönmölenen enerjisinin özellikleri açısından için önemli olan iki ayrı kısma ayrılmıştır. Duvar sisteminin sönmölenen enerjisinin ilk kısmı akma noktasına kadar uzanan ve E_y ile gösterilen eğrinin elastik değeridir. Eğri altındaki alanın bu kısım yüklemenin ilk aşamalarında akmanın başladığı noktaya kadar sistem tarafından sönmölenen enerji hakkında bilgi vermektedir. Bu ayrım sistemin yükleme durumları altındaki davranışını anlaşılması için gereklidir. Sönmölenen enerjisinin ikinci kısmı akma noktasından nihai noktaya kadar eğrinin altındaki alanla ilgilidir ve E_u ile gösterilmektedir. Ayrıca eğri altındaki toplam alan yükleme durumlarında duvar sistemi tarafından harcanan toplam enerji miktarını yansıtmaktadır ve E_t ile gösterilmektedir. Tablo 40 ve Şekil 116'da duvar sisteminin akma, akma-göçme arası geçişini ve toplam enerji sönmölenmesi için duvar sisteminin sönmölenen enerjisini görölmektedir.

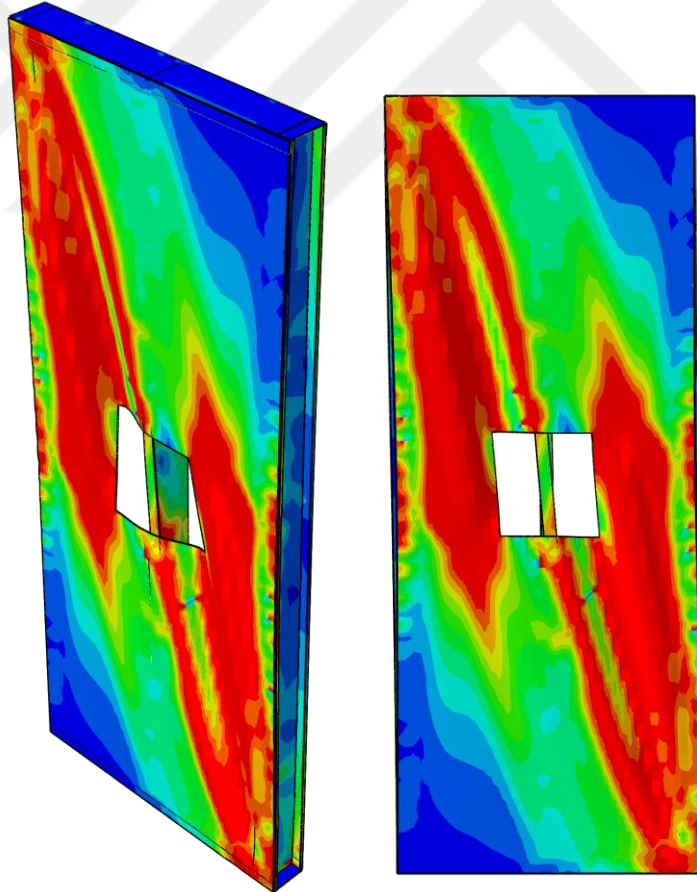
Tablo 40. CFSWO-1 Numunesinin Sönmölenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO -1	334,40	2465,70	2800,10



Şekil 118. CFSWO-1 numunesinin sönmölenen enerji yüzdesi

Duvar sisteminin merkezinde 400 mm x 400 boşluk olan hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWO-1) toplamda 2800,10 kN.mm'lik enerji sönmölendiği Tablo 40 'te görölmektedir. Şekil 116'da bu enerjinin % 12 'sinin akma noktasına kadar sönmölendiği diğör % 88' inin ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönmölendiği görölmektedir.

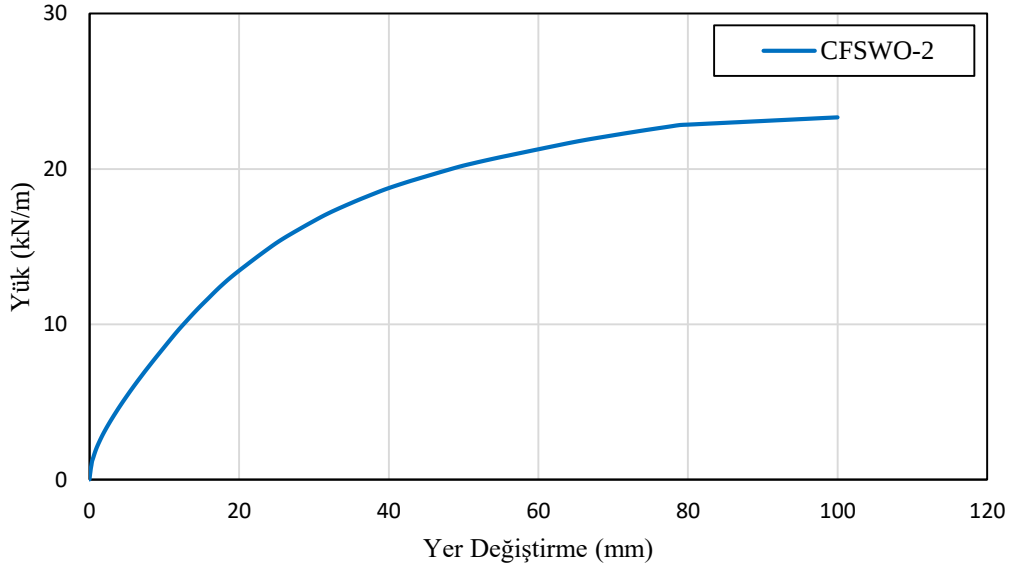


Şekil 119. CFSWO-1 numunesinin göçme modu

CFSWO -2 numunesinin davranışı

Bu numune 600 mm x 600 mm ölçülerinde merkezi bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 10 olarak belirlenmiştir. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak modellenmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı 4,8 milimetre çapında vidalarla yapılmıştır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilmiştir.

Şekil 118'de CFSWO -2 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 120. CFSWO-2 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrolü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirmeye karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 118 'de sunulan grafiğin özellikleri Tablo 41' te verilmiştir.

Tablo 41. CFSWO-2 Numunesinin Analiz Sonuçları

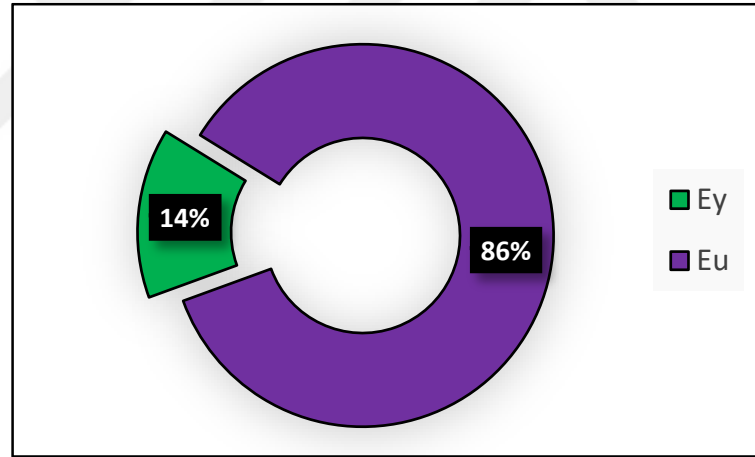
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO -2	23,32	20,58	25,10	0,73	100	3,98

Tablo 41 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 118' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 118 ve Tablo 41 'e göre CFSWO -2' in maksimum dayanım kapasitesi 23,32 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 20,58 kN/m'den başlamakta ve 25,10 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği 0,73 kN/m/mm olarak belirlenmiştir, bu da rijitliğini anlamada önemli bir parametredir.

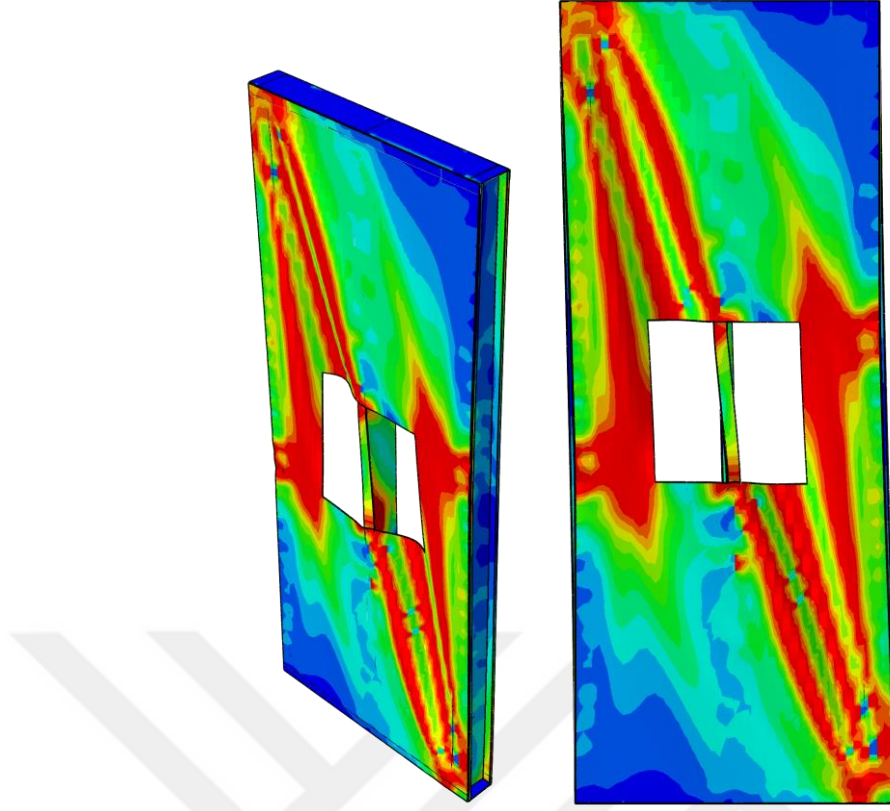
Tablo 42 ve Şekil 119, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönümlenmesi için duvar sisteminin sönümlenen enerjisini görülmektedir.

Tablo 42. CFSWO-2 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO -2	309,99	1850,01	2160



Şekil 121. CFSWO-2 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi



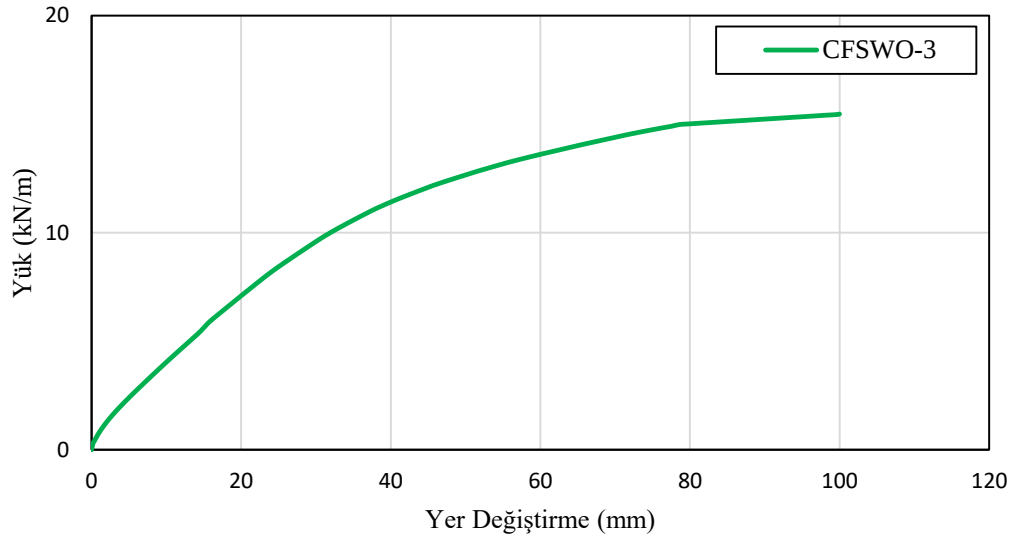
Şekil 122. CFSWO-2 numunesinin göçme modu

Duvar sisteminin merkezinde 600 mm x 600 boşluk olan hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWO -2) toplamda 2160 kN.mm'lik enerji sönümlendiği Tablo 42'de görülmektedir. Şekil 3, bu enerjinin % 14 'ünün akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 86' sının ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönümlendiği görülmektedir.

CFSWO -3 numunesinin davranışı

Bu numune, 600 mm x 1200 mm ölçülerinde merkezi bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 20 olarak ölçülmüştür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken, çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak inşa edilmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı, 4,8 milimetre çapında vidalarla kolaylaştırılır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için, vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 121 'de CFSWO -3 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 123. CFSWO-3 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrollü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirmesine karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 121 'de sunulan grafiğin özellikleri Tablo 43' te verilmiştir.

Tablo 43. CFSWO-3 Numunesinin Analiz Sonuçları

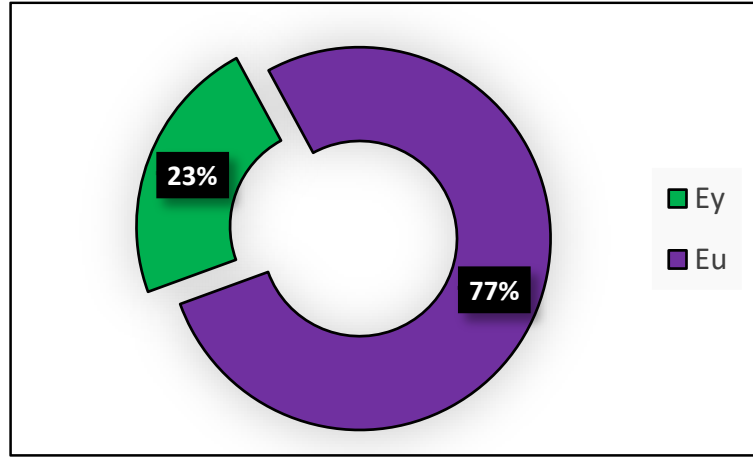
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO -3	15,47	13,66	36,93	0,37	100	2,71

Tablo 43'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 121' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 121 ve Tablo 43 'e göre CFSWO-3' in maksimum dayanım kapasitesi 15,47 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 13,66 kN/m'den başlamakta ve 36,93 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 0,37 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

. Tablo 44 ve Şekil 122, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmülmesi için duvar sisteminin sönmülmesi enerjisini göstermektedir.

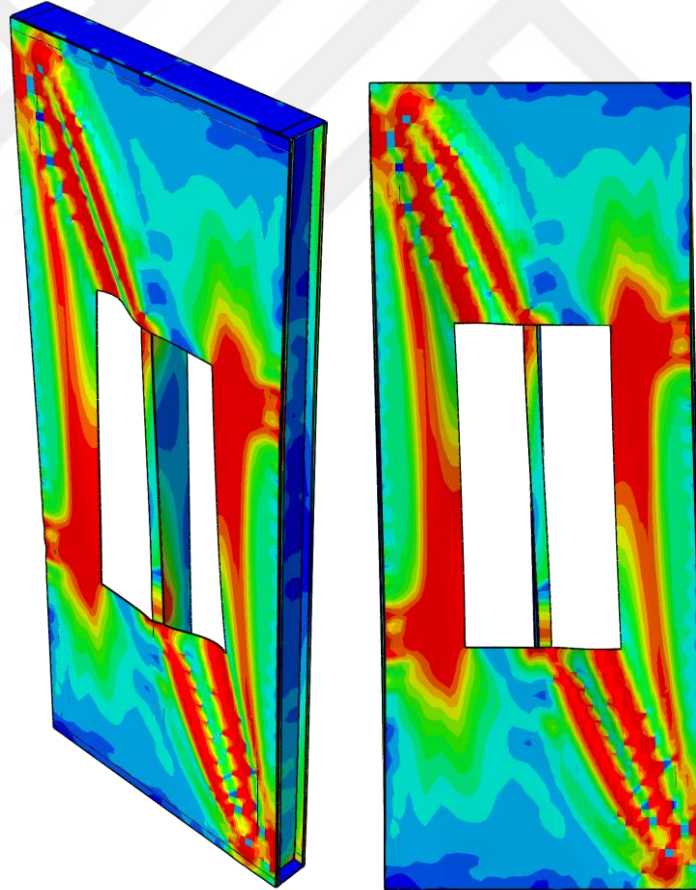
Tablo 44. CFSWO-2 Numunesinin Sönmülmesi Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO -3	302,65	1033,72	1336,37



Şekil 124. CFSWO-3 numunesinin sönmölenen enerji yüzdesi

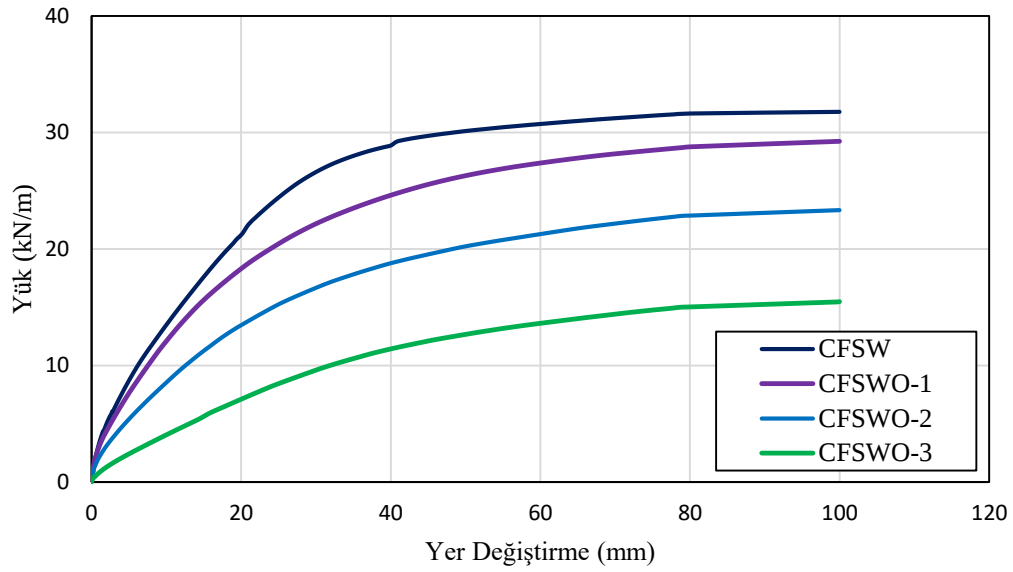
Duvar sisteminin merkezinde (CFSWO -3) 600 mm x 1200 boşluklu hafif çelik perde duvar sisteminin toplamda 1336,37 kN.mm'lik enerji sönmölendiğı Tablo 44 'te görölmektedir. Şekil 122, bu enerjinin % 23 'ünün akma noktasına kadar sönmölendiğini, diğör % 77' sinin ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönmölendiğı görölmektedir.



Şekil 125. CFSWO-3 numunesinin göçme modu

Boşluklu perde duvarların karşılaştırılması

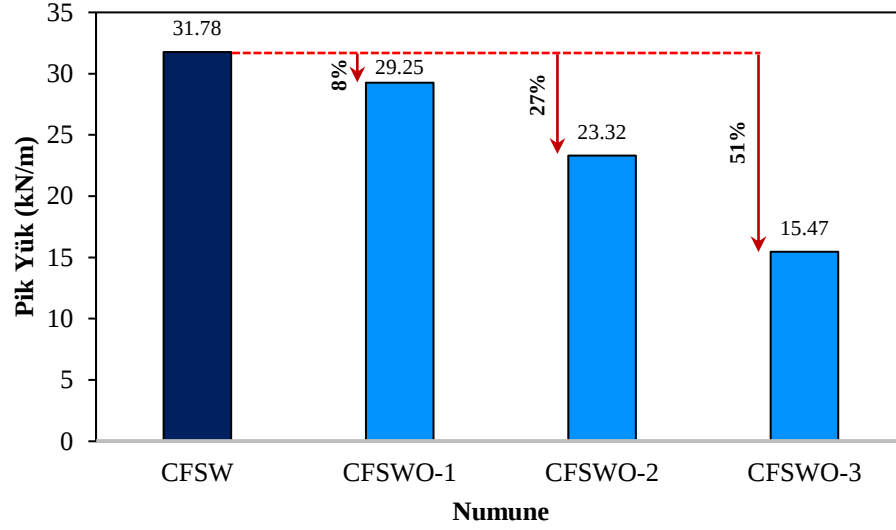
Bu bölümde perde duvarlardan elde edilen sonuçların duvarlarda boşlukların olması durumundaki analiz sonuçlarını kapsamaktadır. Ayrıca bu bölümde duvar sisteminin merkezinde 400 mm x 400 mm, 600 mm x 600 mm ve 600 mm x 1200 mm boşluklar yer alan perde duvarlar incelenmiştir. Şekil 123'te özellikle boşluklu duvar sistemleri ve boşluksuz duvar sistemi için duvar dayanımı ile uygulanan yer değiştirme arasındaki ilişkiyi gösteren karşılaştırma sonuçları görülmektedir. Bu karşılaştırmalı analiz için değerlendirilen perde duvar sistemleri CFSWO -1, CFSWO -2, CFSWO -3'tür.



Şekil 126. Boşluklu numunelerin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

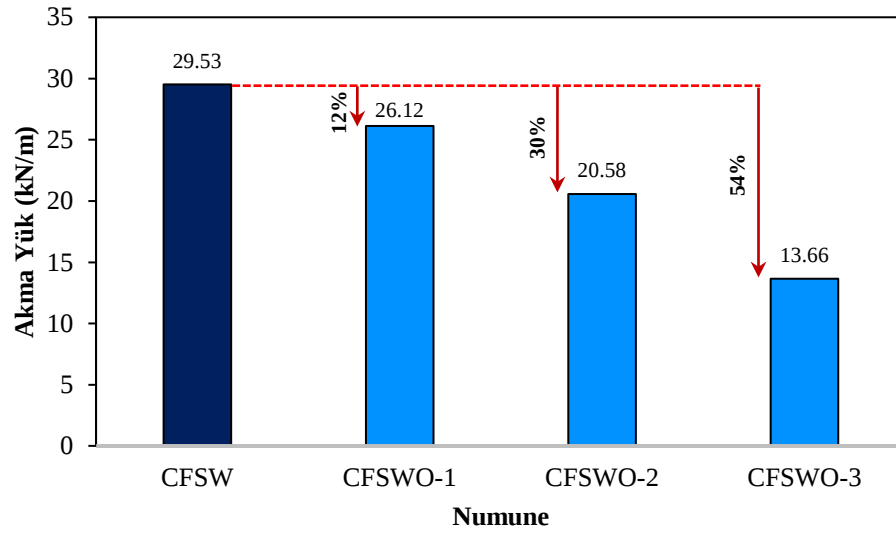
Şekil 124'te çeşitli boşluk alanlarının duvar sistemlerinin yük taşıma kapasitesini azalttığı görülmektedir. Perde duvar sisteminde boşluk boyutu artırılarak perde sisteminin kesme dayanımına olumsuz etkilediği Şekil 120 'de görülmektedir.

Şekil 125 'de farklı boşluk alanına sahip duvar sisteminin maksimum yükü boşluksuz duvar sistemi ile karşılaştırılmıştır. CFSWO -1, CFSWO -2, CFSWO -3 'ün boşluksuz duvara kıyasla duvar sisteminin tepe yüküne göre dayanım azalması sırasıyla görülmektedir. Bu duvar sistemlerinin yük taşıma kapasitesindeki azalma yüzdeleri sırasıyla % 8, % 27 ve % 51 olduğu Şekil 125'den görülmektedir.



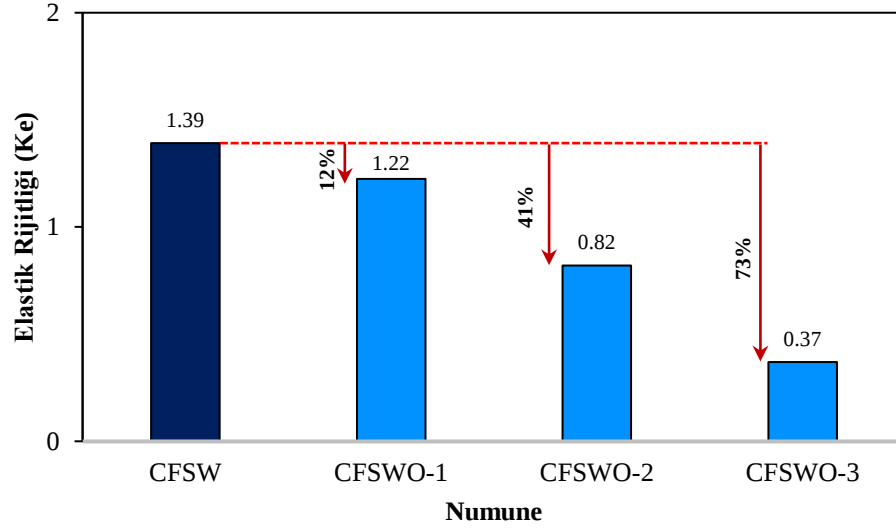
Şekil 127. Boşluklu numunelerin maksimum yükün karşılaştırılması

Ayrıca Şekil 126 'da yer alan değerler farklı boşluk boyutlarına sahip duvar sistemlerinin akma kesme dayanımlarını göstermektedir. Özellikle tüm duvarlardaki boşlukların varlığı duvar sisteminin akma kesme dayanımının azalmasına neden olmuştur. Duvarlar arasında CFSWS -3'te % 54 'lük bir azalma değeri göstererek en yüksek dayanım azalması göstermiştir. Buna karşılık CFSWS -1 numunesinde akma dayanımında % 12 'lik bir azalma ile en düşük dayanım azalması oluşmaktadır.



Şekil 128. Boşluklu numunelerin akma yükün karşılaştırılması

Farklı boşluk boyutlarına sahip duvar sisteminin elastik rijitliğinin (K_e) karşılaştırılması Şekil 127 'de verilmiştir.

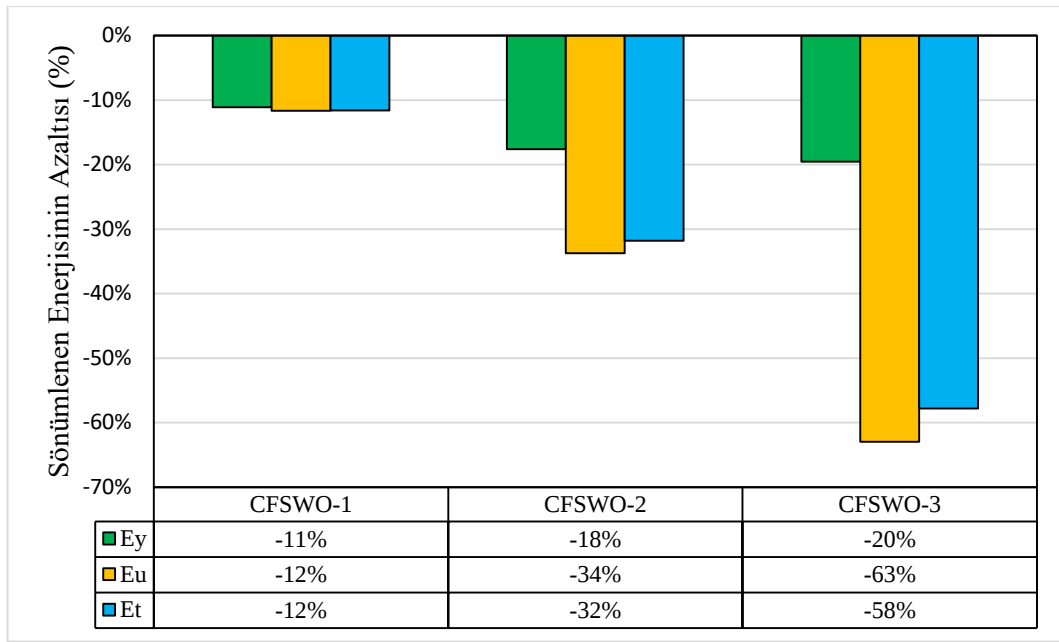


Şekil 129. Boşluklu numunelerin elastik rijitliğin karşılaştırılması

Tüm boşluklu duvar sisteminin elastik rijitliğinin boşluksuz duvar sistemine (CFSW) göre azaldığı görülmektedir. 400 mm x 400 mm boşluklu duvar (CFSWO -1) % 12 ile en az düşüş gösterirken 600 mm x 1200 mm Boşluklu duvar (CFSWO -3) % 73 ile en fazla düşüş göstermiştir.

Sönümlenen enerji açısından incelendiğinde incelenen tüm numunelerde sönümlenen enerji değerlerinin azaldığı sonucuna varılmaktadır. Şekil 128’de farklı açıklığı olan duvar sistemlerinin açıklığı olmayan numuneye (CFSW) kıyasla sönümlenen enerjinin azalma yüzdesi görülmektedir. Şekilde CFSW numunesine göre yeşil renk akma noktasına (E_y) kadar sönümlenen enerji azalımını, sarı renk, akma değerindeki enerji azalımını ve mavi renk nihai noktalar (E_u) arasındaki sönümlenen enerji azalımının toplam sönümlenen enerji düşüşünü (E_t) temsil görülmektedir.

CFSWO -1 'in perde duvar sisteminin tüm aşamalarında sönümlenen enerjideki en az düşüşü azalmayı ve CFSWO -3' ün ise tüm aşamalarda açılmayan duvara kıyasla sönümlenen enerjideki en çok azalmayı gösterdiği görülmektedir.



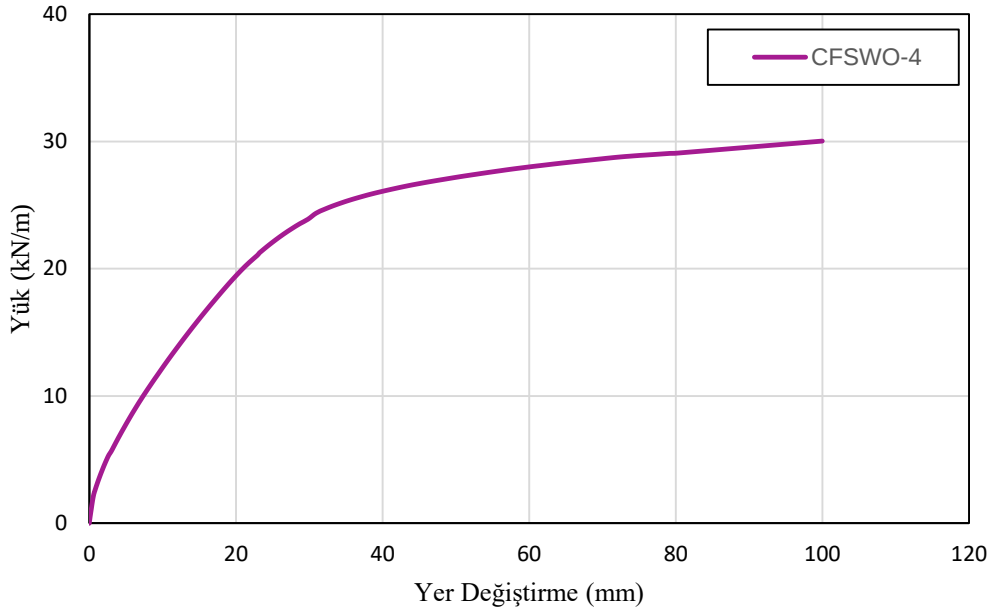
Şekil 130. Boşluklu numunelerin sönmölenen enerjisinin karşılaştırması

Açıklığın toplam çelik levhaya oranının % 4,4 olduğu 400 mm x 400 mm boşluklu duvar (CFSWO -1) açıklığın oranının % 10 olduğu 600 mm x 600 mm boşluklu duvar (CFSWO -2) ve açıklığın % 20 olduğu 600 mm x 1200 mm boşluklu duvar (CFSWO -3) ile boşluğun yer almadığı duvar (CFSW) numunelerinin analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında küçük boşluk boyutunun (bu durumda 400 mm x 400 mm veya daha küçük) duvar sisteminin kesme dayanımını önemli ölçüde azaltmadığı sonucuna varılmıştır. Bu tip perde sistemlerinde kesme dayanımındaki azalma miktarı ve enerji kaybı ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır.

Hafif çelik perde duvarlarda boşluk yeri

Bu bölümde çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarındaki boşluğun yeri araştırılmış ve analiz sonuçları sunulmuştur. Bölümde boşlukların farklı konumlarına ve bunların duvar sisteminin kesme dayanımı üzerindeki ele alınmıştır. Çelik plakanın farklı yerlerinde 400 mm x 400 mm boyutlarında bir boşluk vardır. Farklı boşluk yerlerinin uygulanan yüke karşı duvar dayanımının sonucu sunulmuş ve tartışılmıştır. Bu bölüm CFSWO -1, CFSWO -4, CFSWO -5, CFSWO -6, CFSWO -7, CFSWO -8 'i numunelerini kapsamaktadır.

CFSWO -4 numunesinin davranışı



Şekil 131. CFSWO-4 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Bu numune, duvar sisteminin orta tarafında bulunan 400 mm x 400 mm boyutlarında bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 4,4 olarak ölçülmüştür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken, çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak inşa edilmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı, 4,8 milimetre çapında vidalarla kolaylaştırılır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için, vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 129'da CFSWO -4 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrollü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirmesine karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 129 'de sunulan grafiğin özellikleri Tablo 45' te verilmiştir.

Tablo 45. CFSWO-4 Numunesinin Analiz Sonuçları

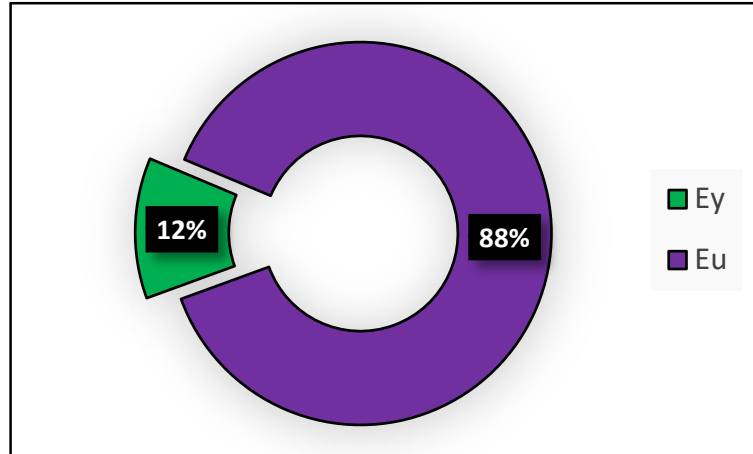
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO -4	30,04	27, 10	21,96	1,23	100	4,55

Tablo 45 'teki veriler EEEP tekniğinin Şekil 129'daki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 129 ve Tablo 45 'ye göre CFSWO-4' in maksimum dayanım kapasitesi 30,04 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 27,10 kN/m'den başlamakta ve 21,96 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğinin anlaşılmasında önemli bir parametre olan 1,23 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

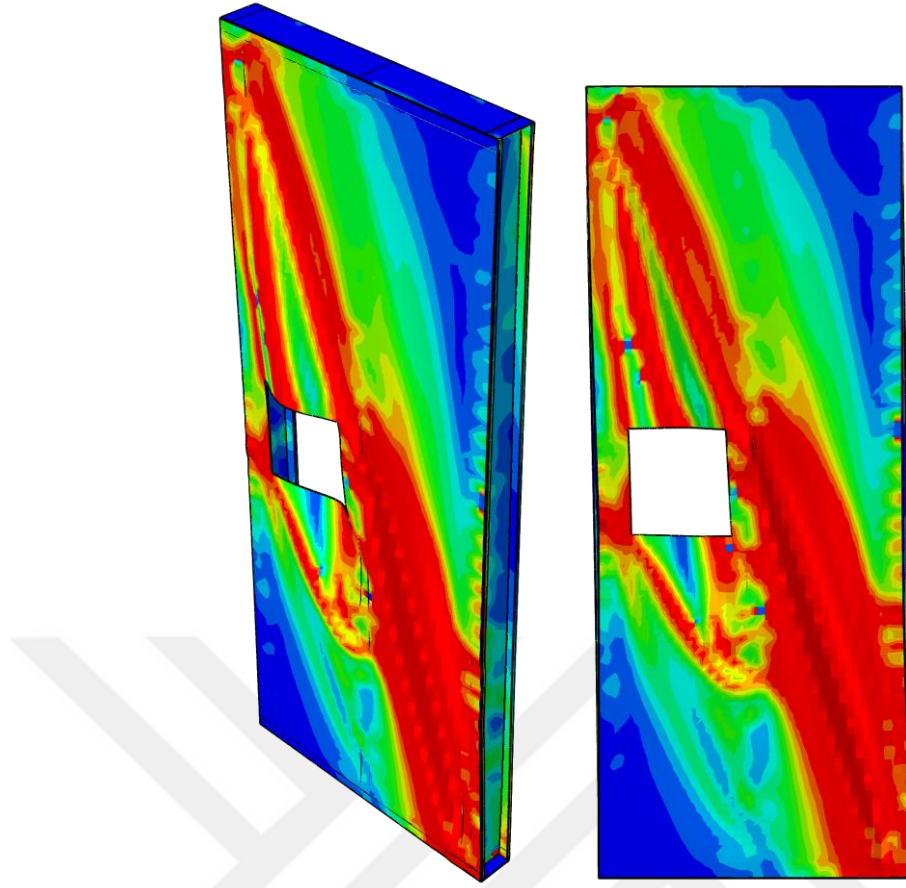
Ayrıca duvar sisteminin yük altındaki alana karşı yer değiştirme grafiği kullanılarak duvar sisteminin sönmölenen enerjisi hesaplanmaktadır.

Tablo 46. CFSWO-4 Numunesinin Sönmölenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO-4	356,99	2537,85	2894,84

**Şekil 132.** CFSWO-4 numunesinin sönmölenen enerji yüzdesi

Duvar sisteminin orta tarafında 400 mm x 400 boşluk olan hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWO -4) toplamda 2894,84 kN.mm'lik enerji sönmölendiği Tablo 46'da görölmektedir. Şekil 3, bu enerjinin % 12 'sinin akma noktasına kadar sönmölendiğini, diğer % 88' inin ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönmölendiği görölmektedir.

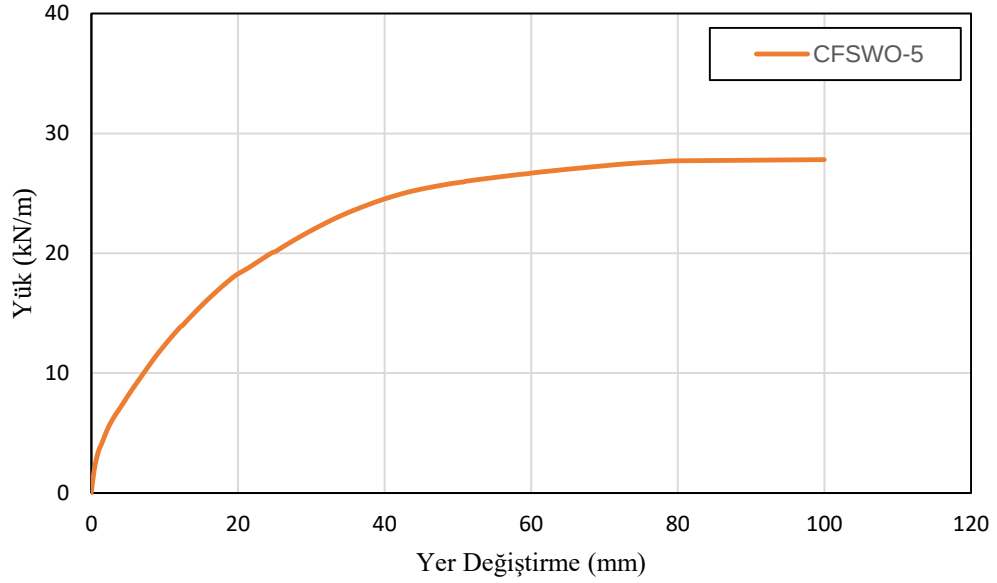


Şekil 133. CFSWO-4 numunesinin göçme modu

CFSWO -5 numunesinin davranışı

Bu numune, duvar sisteminin üst tarafında bulunan 400 mm x 400 mm boyutlarında bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 4,4 olarak ölçülmüştür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken, çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak inşa edilmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı, 4,8 milimetre çapında vidalarla kolaylaştırılır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için, vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 132'de CFSWO-5 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 134. CFSWO-5 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrollü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirmeye karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 132 'de sunulan grafiğin özellikleri Tablo 47' de verilmiştir.

Tablo 47. CFSWO-5 Numunesinin Analiz Sonuçları

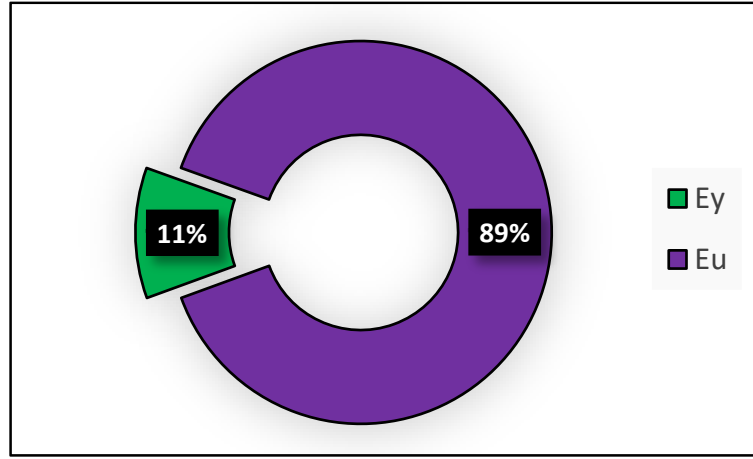
Numune	Pp (kN/m)	Py (kN / m)	Δy (mm)	Ke (kN/m/mm)	Δu (mm)	μ
CFSWO-5	27,80%	25,35	19,87	1,28	100	5,03

Tablo 47 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 100' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 132 ve Tablo 47 'ye göre CFSWO-5' in maksimum dayanım kapasitesi 27,80 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 25.35 kN/m'den başlamakta ve 19,87 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,28 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

Ayrıca duvar sisteminin yük altındaki alana karşı yer değiştirme grafiği kullanılarak duvar sisteminin sönmölen enerji hesaplanmaktadır.

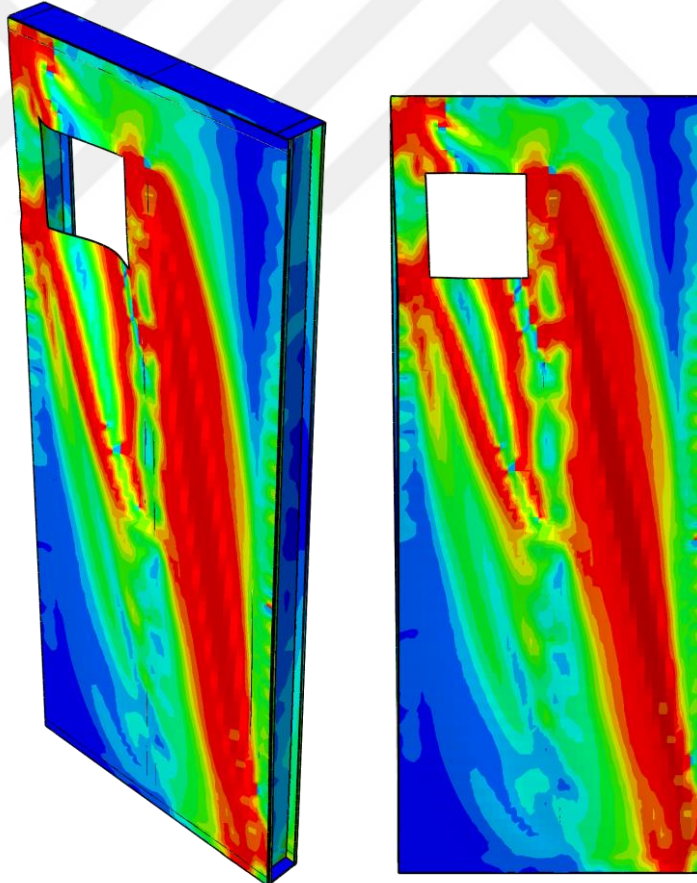
Tablo 48. CFSWO-5 Numunesinin Sönmölen Enerjisi

Numune	Ey (kN.mm)	Eu (kN.mm)	Et (kN.mm)
CFSWO -5	302.30	2437,62	2739,92



Şekil 135. CFSWO-5 numunesinin sönmömlenen enerji yüzdesi

Duvar sisteminin üst tarafında 400 mm x 400 Boşluklu hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWO -5) toplamda 2739,92 kN.mm'lik enerji sönmömlendiğı Tablo 48 'te görölmektedir. Şekil 3, bu enerjinin % 11 'inin akma noktasına kadar sönmömlendiğini, diğör % 89' unun ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönmömlendiğı görölmektedir.

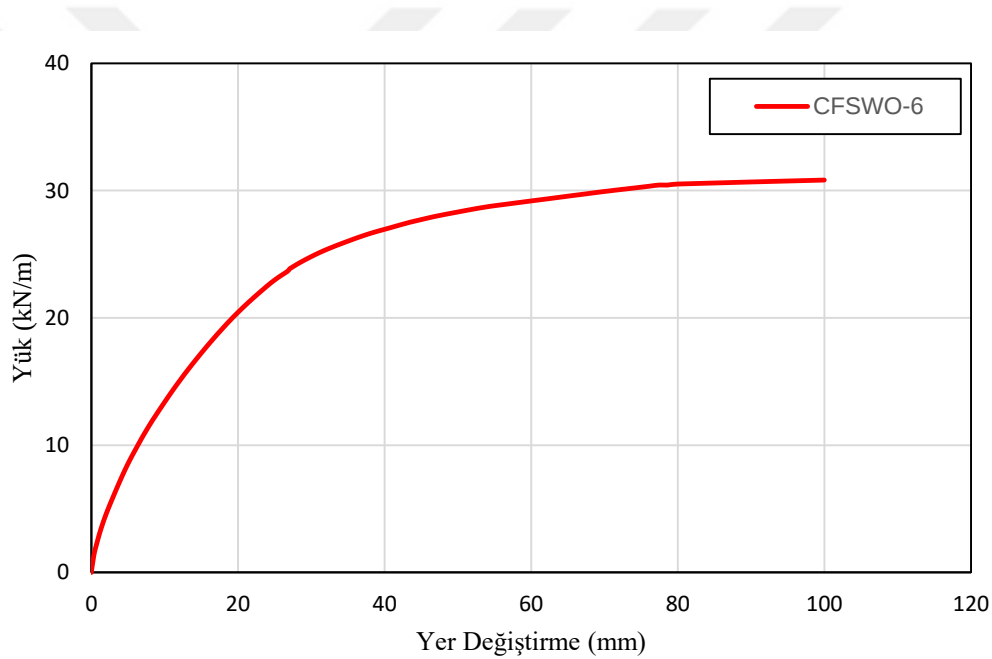


Şekil 136. CFSWO-5 numunesinin göçme modu

CFSWO -6 Numunesinin Davranışı

Bu numune, duvar sisteminin üst merkezinde bulunan 400 mm x 400 mm boyutlarında bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 4,4 olarak ölçülmüştür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken, çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak inşa edilmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı, 4,8 milimetre çapında vidalarla kolaylaştırılır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için, vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 135 'te CFSWO -6 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 137. CFSWO-6 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrollü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirmeye karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 135 'de sunulan grafiğin özellikleri Tablo 49' da verilmiştir.

Tablo 49. CFSWO-6 Numunesinin Analiz Sonuçları

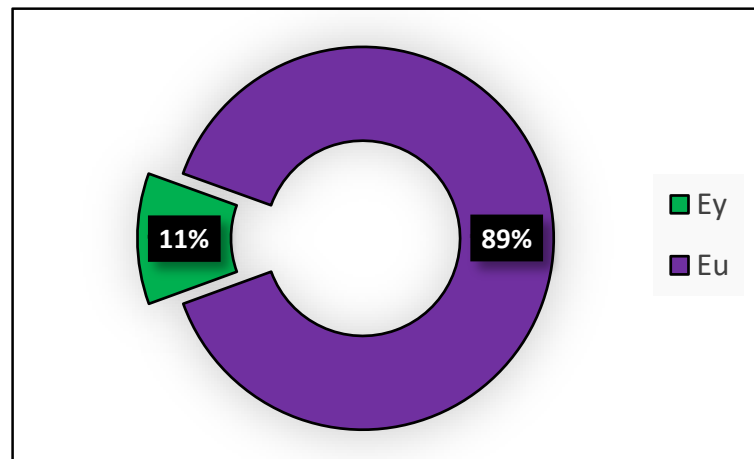
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO -6	30,83	27,95	19,90	1,40	100	5,02

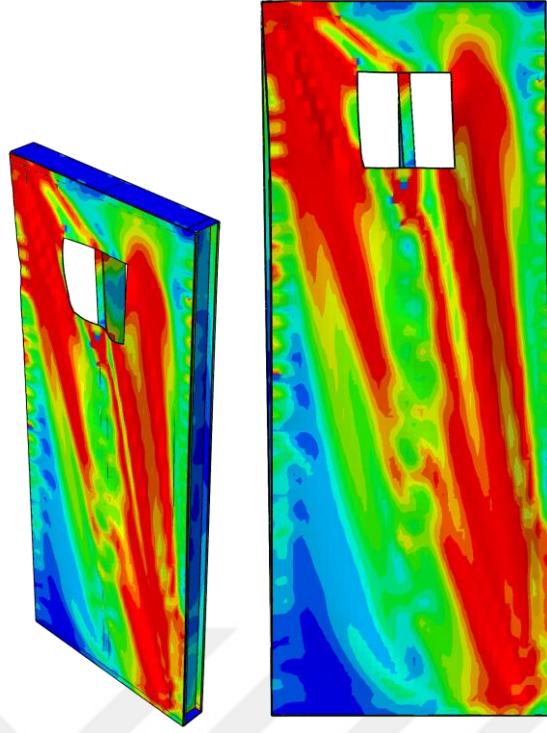
Tablo 49'daki veriler EEEP tekniğinin Şekil 135' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 135 ve Tablo 49 'ye göre CFSWO -6' in maksimum dayanım kapasitesi 30,83 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 27,95 kN/m'den başlamakta ve 19,90 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,4 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

Ayrıca duvar sisteminin yük altındaki alana karşı yer değiştirme grafiği kullanılarak duvar sisteminin sönmölenen enerjisi hesaplanmaktadır. Tablo 50 ve Şekil 136, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmölenmesi için duvar sisteminin sönmölenen enerjisini görölmektedir.

Tablo 50. CFSWO-6 Numunesinin Sönmölenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO -6	333,75	2686,31	3020,06

**Şekil 138.** CFSWO-6 numunesinin sönmölenen enerji yüzdesi



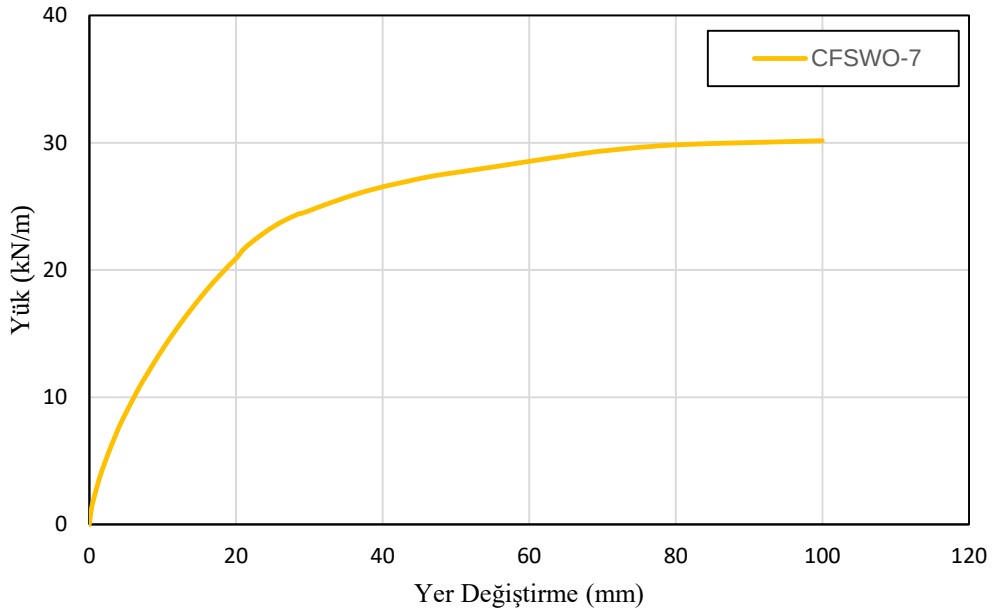
Şekil 139. CFSWO-6 numunesinin göçme modu

Duvar sisteminin orta üst kısmında (CFSWO -6) 400 mm x 400 Boşluklu hafif çelik perde duvar sisteminin toplamda 3020,06 kN.mm'lik enerji sönümlendiği Tablo 50 ' de görülmektedir. Şekil 136, bu enerjinin % 11 'inin akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 89' unun ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönümlendiği görülmektedir.

CFSWO -7 numunesinin davranışı

Bu numune, duvar sisteminin alt merkezinde bulunan 400 mm x 400 mm boyutlarında bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 4,4 olarak ölçülmüştür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken, çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak inşa edilmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı, 4,8 milimetre çapında vidalarla kolaylaştırılır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için, vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 138 'de CFSWO -7 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 140. CFSWO-7 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrollü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirmeye karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 138 'de sunulan grafiğin özellikleri Tablo 51' de verilmiştir.

Tablo 51 CFSWO-7 Numunesinin Analiz Sonuçları

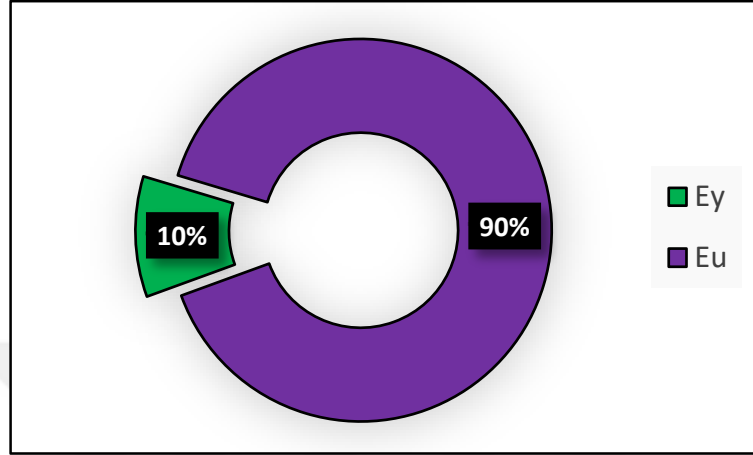
Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO-7	30,16	27,39	18,49	1,48	100	5,41

Tablo 51 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 100' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 138 ve Tablo 51 'e göre CFSWO-7' in maksimum dayanım kapasitesi 30,16 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 27,39 kN/m'den başlamakta ve 18,49 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,48 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

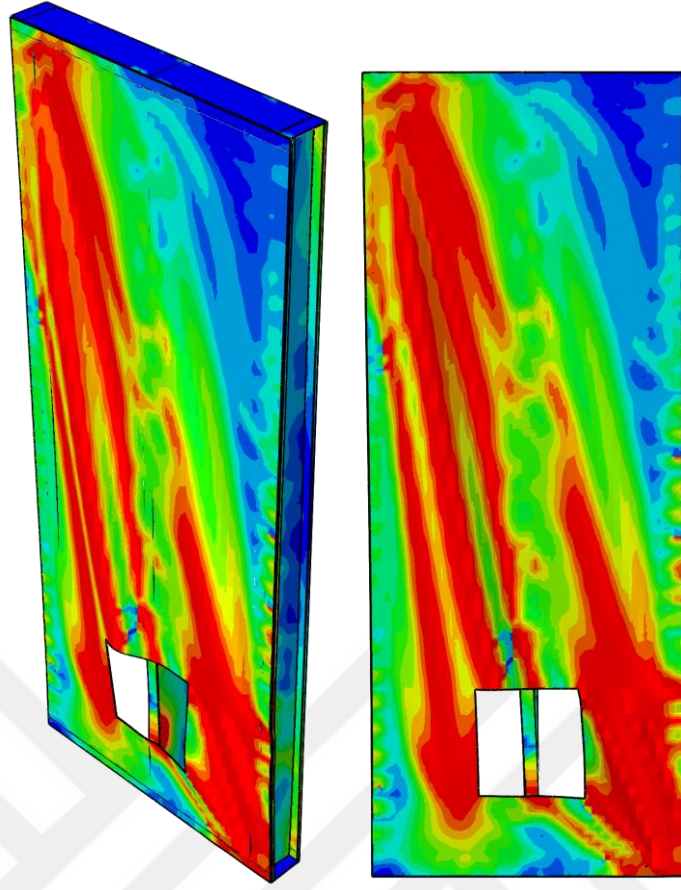
Ayrıca duvar sisteminin yük altındaki alana karşı yer değiştirme grafiği kullanılarak duvar sisteminin sönmölenen enerjisi hesaplanmaktadır. Tablo 52 ve Şekil 139, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmölenmesi için duvar sisteminin sönmölenen enerjisini görölmektedir.

Tablo 52. CFSWO-7 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO -7	303,91	2678,79	2982,70

**Şekil 141.** CFSWO-8 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

Duvar sisteminin alt merkezinde (CFSWO -7) 400 mm x 400 boşluklu hafif çelik perde duvar sisteminin toplamda 2982,70 kN.mm'lik enerji sönümlendiği Tablo 52 ' de görülmektedir. Şekil 3, bu enerjinin % 10 'unun akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 90' ının ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönümlendiği görülmektedir.

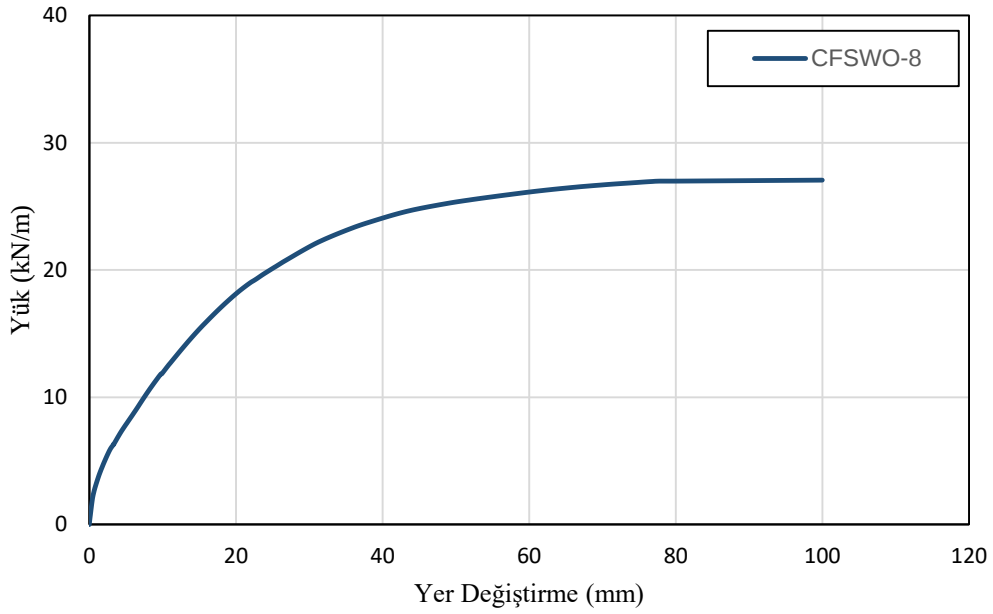


Şekil 142. CFSWO-2 numunesinin göçme modu

CFSWO-8 Numunesinin Davranışı

Bu numune, alt tarafta bulunan 400 mm x 400 mm ölçülerinde bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 4,4 olarak ölçülmüştür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken, çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak inşa edilmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı, 4,8 milimetre çapında vidalarla kolaylaştırılır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için, vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 141'de CFSWO-8 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 143. CFSWO-8 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrollü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirme karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 141 'de sunulan grafiğin özellikleri Tablo 53' te verilmiştir.

Tablo 53. CFSWO -8 Numunesinin Analiz Sonuçları

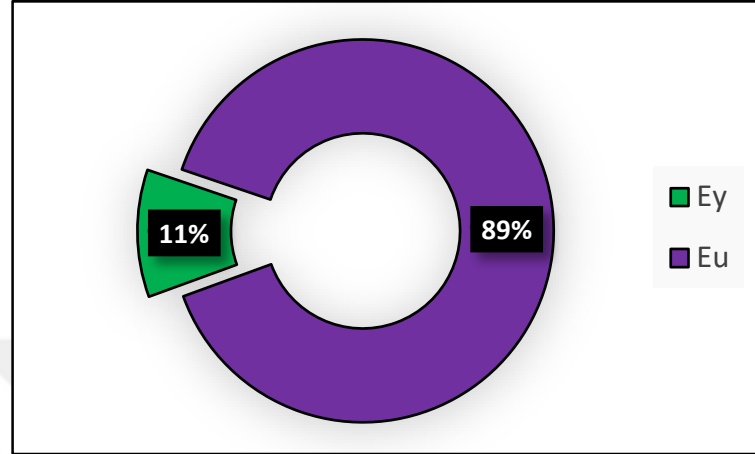
Numune	P_p (kN/m)	P_y (KN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO -8	27,07	24,79	19,42	1,28	100	5,15

Tablo 53 'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 100' deki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 141 ve Tablo 53 'ye göre CFSWO-8' in maksimum dayanım kapasitesi 27,07 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 24,79 kN/m'den başlamakta ve 19,42 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,28 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

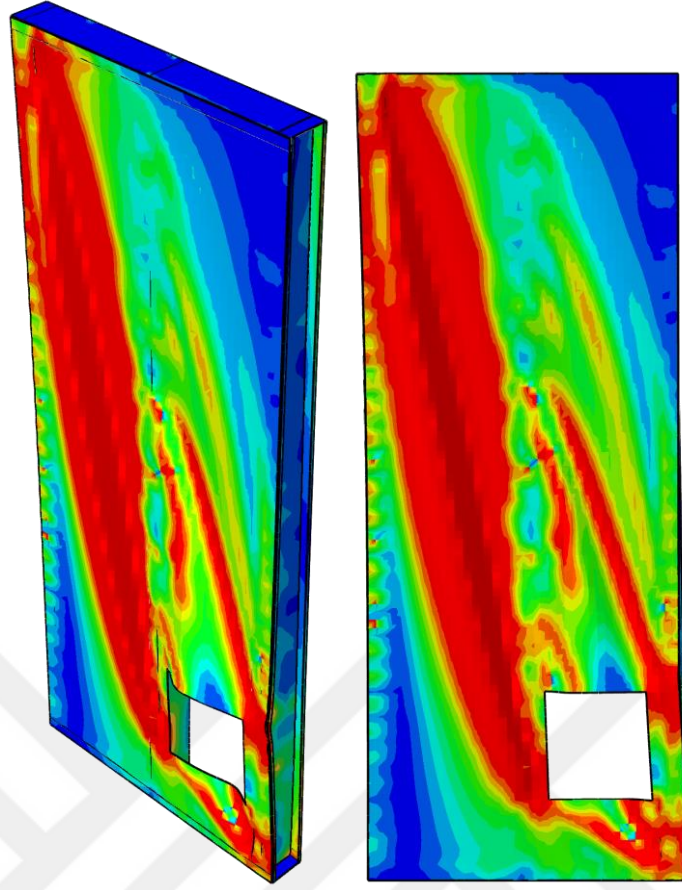
Ayrıca duvar sisteminin yük altındaki alana karşı yer değiştirme grafiği kullanılarak duvar sisteminin sönmölenen enerjisi hesaplanmaktadır. Tablo 54 ve Şekil 141, duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmölenmesi için duvar sisteminin sönmölenen enerjisini görölmektedir.

Tablo 54. CFSWO-8 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO-8	288,87	2396,88	2685,74

**Şekil 144.** CFSWO-8 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi

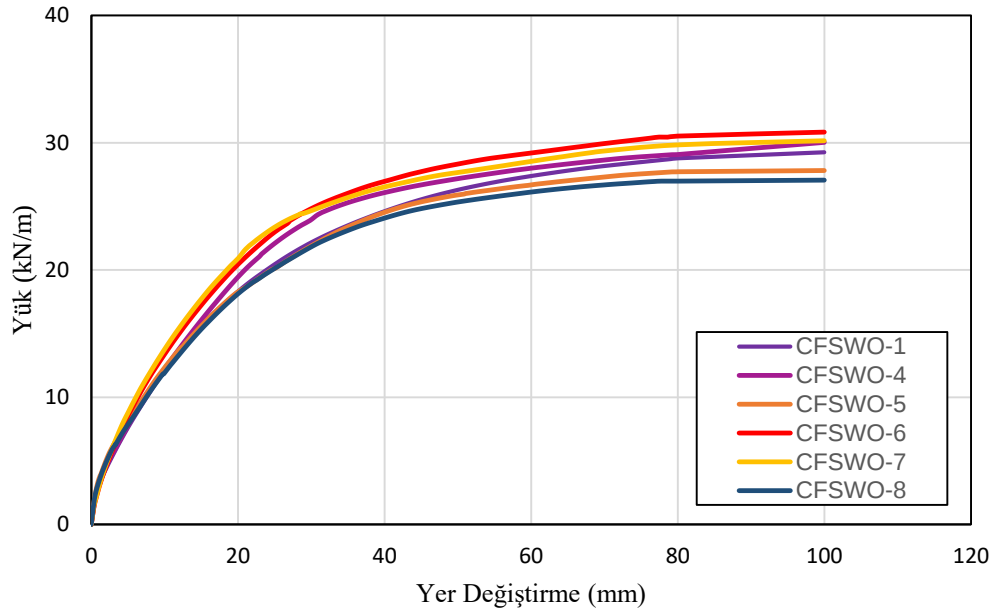
Duvar sisteminin alt tarafında 400 mm x 400 boşluk olan hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWO -8) toplamda 2685.74 kN.mm'lik enerji sönümlendiği Tablo 54 ' te görülmektedir. Şekil 142, bu enerjinin % 11 'inin akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 89' unun ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönümlendiği görülmektedir.



Şekil 145. CFSWO-8 numunesinin göçme modu

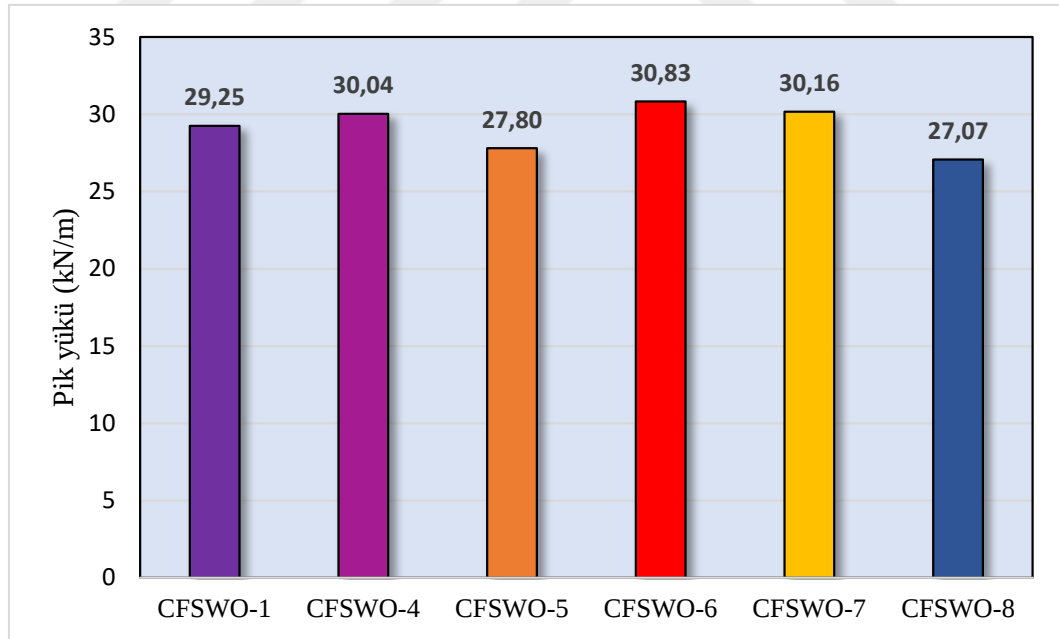
Perde duvarların boşluk yerlerinin karşılaştırılması

Bu bölümde farklı boşluk konumlarına sahip perde duvarlardan elde edilen sonuçların karşılaştırmasını yer almaktadır. Bu bölüm esas amaç önceki bölümde olduğu gibi çelik plakanın farklı yerlerinde 400 mm x 400 mm boşluk içeren perde duvarların davranışını ele almaktadır. Şekil 144’de özellikle farklı konumlardaki boşluklara sahip duvar sistemleri için duvar dayanımı ile uygulanan yer değiştirme arasındaki ilişkiyi gösteren karşılaştırma sonuçlarını görülmektedir.



Şekil 146. Boşluklu perde duvarların yatay yük-yer değiştirme eğrileri

Şekil 155’te çeşitli boşluk yerlerinin duvar sistemlerinin yük taşıma kapasitesinde bazı farklılıklar meydana getirdiği görülmektedir. Perde duvar sistemindeki boşlukların konumu değiştirilerek duvar sisteminin kesme dayanımının değişimi Şekil 150 'de görülebilmektedir.

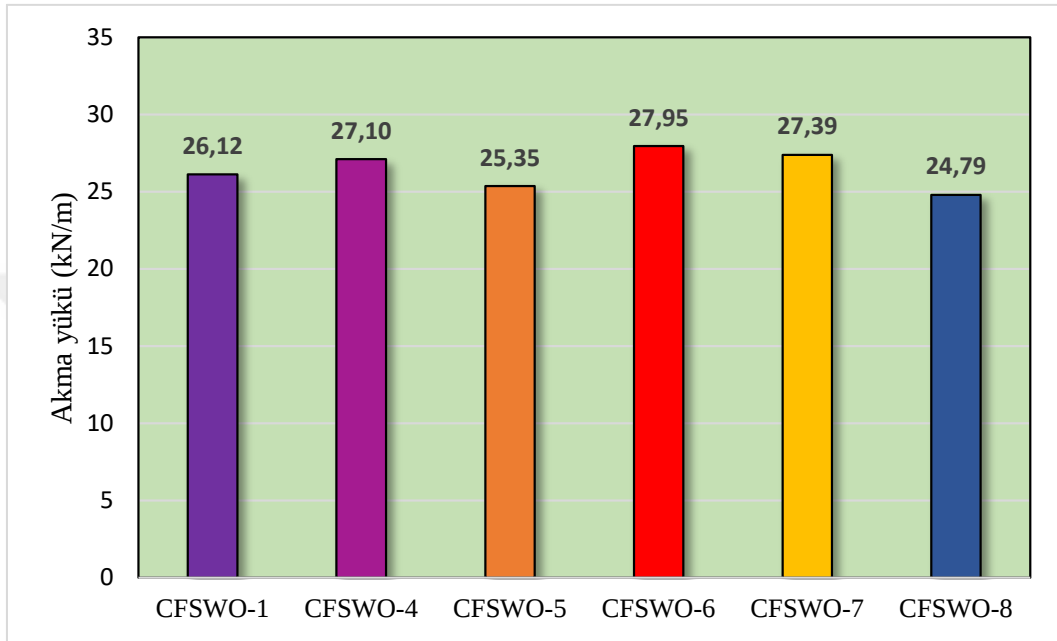


Şekil 147. Boşluklu perde duvarların maksimum yükün karşılaştırması

Şekil 156’da farklı boşluk konumlarına sahip duvar sisteminin tepe yükünü karşılaştırılmaktadır. CFSWO -1, CFSWO -4, CFSWO -6 ve CFSWO -7 'nin duvar sisteminin maksimum yükü açısından önemli farklılıklar göstermediği anlaşılmaktadır. Bu duvar

sistemlerindeki boşluklar duvar sisteminin sırasıyla orta, orta - yan, orta - üst ve orta - alt kısımlarında bulunmaktadır. Bu yerler çelik plakanın daha az burkulma ve gerilmeye yerlerdir.

Buna karşılık CFSWO -5 ve CFSWO -8 duvar sisteminin tepe yük kapasitesinde bir azalma meydana gelmiştir. Bu iki numunede boşluk, çelik plakanın burkulma ve gerilme yığılmasında bu yerlerdeki boşluklarda daha belirgin olduğu duvar sisteminin köşelerinde yer almaktadır.

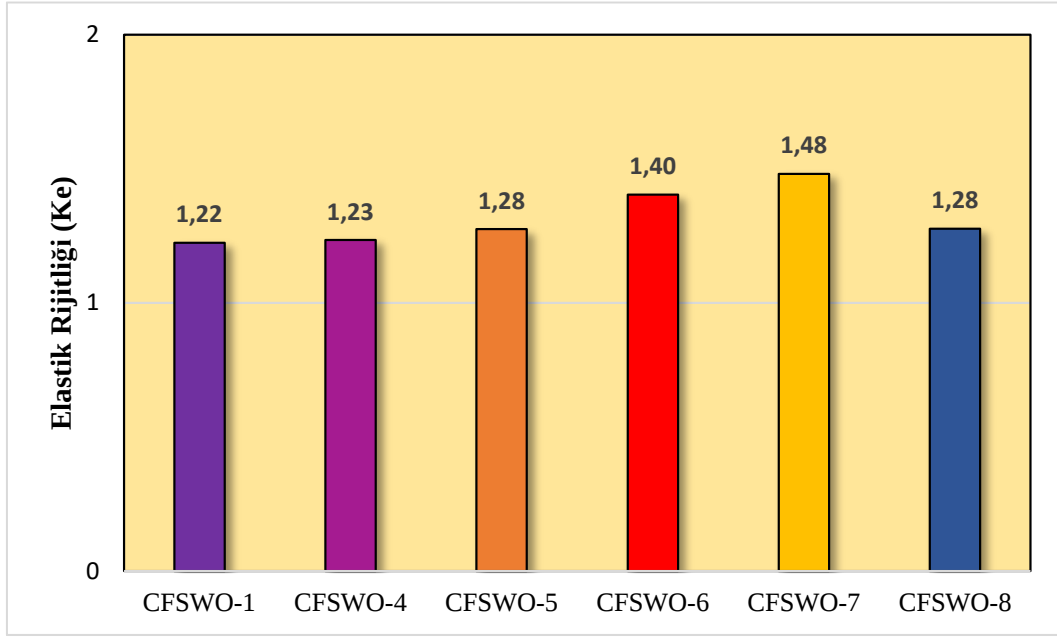


Şekil 148. Boşluklu perde duvarların akma yükün karşılaştırması

Ayrıca Şekil 146 'da yer alan değerlerde farklı boşluk yerlerine sahip duvar sistemlerinin akma kesme dayanımları ele alınmaktadır. Tepe yükünde gözlemlendiği gibi akma kesme dayanımında da benzer değişikliklerin meydana geldiğini göstermektedir.

Şekil 147 'de farklı boşluk yerlerine sahip duvar sisteminin elastik rijitliğinin (K_e) karşılaştırılması görülmektedir.

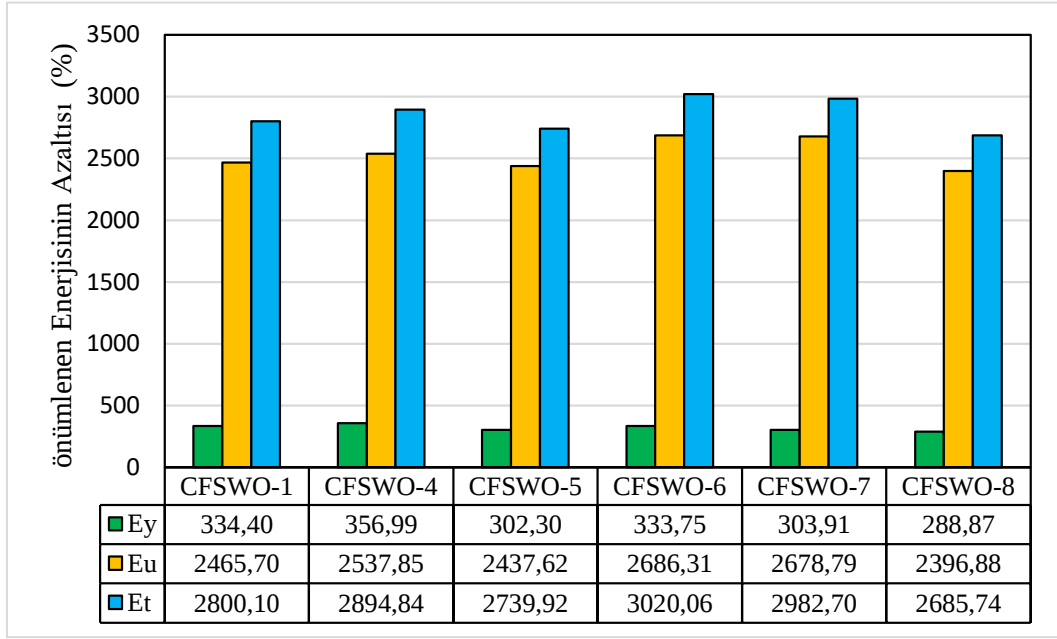
Şekil 147 verileri CFSWO-6 ve CFSWO-7 haricinde çeşitli yerlerde boşluklara sahip perde duvar sistemlerinin elastik rijitliğini önemli ölçüde değiştirmediğini göstermektedir. Çelik levhanın üst ve alt uçlarında boşluklar bulunan bu iki numune elastik rijitlikte hafif bir artış sergilemektedir.



Şekil 149. Boşluklu perde duvarların elastik rijitliğin karşılaştırması

Şekil 148’de çelik plakanın farklı konumlarındaki boşluklara sahip duvar sistemlerinin farklı aşamalarındaki enerji dağılımı görülmektedir. Yeşil renk akma noktasına (E_y) kadar sönümlenen enerjiyi, sarı renk, akma ve nihai noktalar (E_u) arasındaki sönümlenen enerjiyi ve mavi renk, numunelerin toplam sönümlenen enerjisini (E_t) temsil etmektedir. Şekil 154 'te açıklığın farklı konumlardaki enerji dağılımlarının önemli ölçüde etkilemediği görülmektedir. CFSWO -8 tüm aşamalarda en az sönümlenen enerjiyi gösterirken CFSWO -6 diğer numuneler arasında en çok sönümlenen enerjiyi göstermektedir.

Çelik plakanın farklı konumlarında açıklığın toplam çelik plakaya oranının % 4,4 olduğu 400 mm x 400 mm boşluklu duvarın sonuçlarının karşılaştırılmasında küçük boşluk boyutunun (bu durumda 400 mm x 400 mm veya daha küçük) duvar sisteminin kesme dayanımını önemli ölçüde azaltmadığını görülmüştür. Bu tip perde duvar sistemlerinde kesme dayanımının kaybı ve enerji azalması ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır.

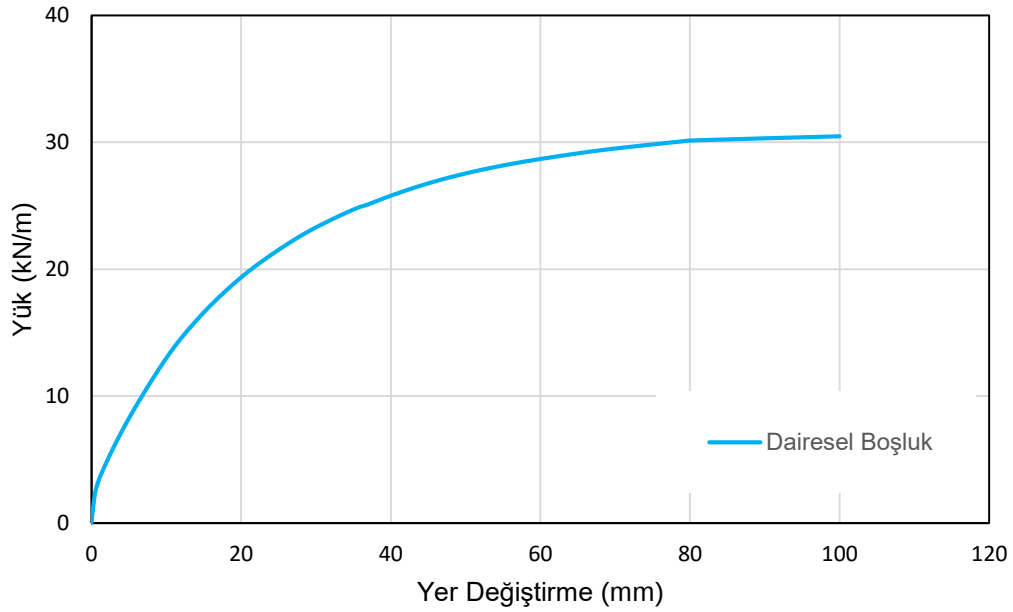


Şekil 150. Boşluklu perde duvarların sönmüş enerji miktarının karşılaştırması

CFSWO -9 numunenin davranışı

Bu numune merkezde bulunan dairesel bir boşluğa sahip çelik bir plaka ile kaplanmış hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Numunenin boşluğun alanının 400 mm x 400 mm boşluk karesinin alanına eşit olarak tasarlanmıştır. Bu duvar sisteminde boşluk alanının çelik levha alanına oranı % 4,4 olarak ölçülmüştür. Duvar 1200 mm genişliğinde ve 3000 mm yüksekliğindedir. Kaplama için kullanılan çelik levha 0,8 milimetre kalınlığa sahipken, çerçeve elemanları 1,25 mm kalınlığında çelik kullanılarak inşa edilmiştir. Çelik plaka ile sınır çerçevesi arasındaki bağlantı, 4,8 milimetre çapında vidalarla kolaylaştırılır. Çelik plakayı sınır çerçevesine sabitlemek için, vidalar çelik plakanın kenarlarında 100 mm ve ortada 300 mm aralıklarla yerleştirilir.

Şekil 149'da CFSWO-9 duvar sisteminin uygulanan yer değiştirmeye karşı duvar dayanımının grafiği verilmiştir.



Şekil 151. CFSWO-9 numunesinin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Duvar sisteminin tepesine maksimum 100 mm kontrollü yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın yer değiştirmeye karşı dayanımını temsil eden eğri elde edildi. Elde edilen yük daha sonra karşılaştırmayı normalleştirmek ve kolaylaştırmak için 1,2 metre ölçülerindeki duvar sisteminin genişliğine bölünür.

Şekil 149 'da sunulan grafiğin özellikleri Tablo 55' de verilmiştir.

Tablo 55. CFSWO-9 Numunesinin Analiz Sonuçları

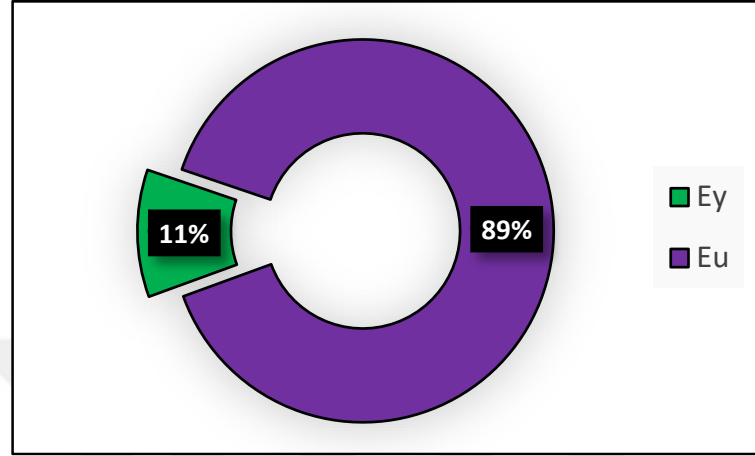
Numune	P_p (kN/m)	P_y (KN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO -9	30,47	27,12	20,34	1.31	100	4,09

Tablo 55'deki veriler EEEP tekniğinin Şekil 149'daki grafiğe uygulanmasının sonuçlarıdır. Şekil 149 ve Tablo 55 'ye göre CFSWO -9' in maksimum dayanım kapasitesi 30,47 kN/m'dir. Bu özellik, duvarın maksimum yüke dayanma kabiliyetini temsil eder ve yük taşıma kapasitesini belirlemek için önemli bir göstergedir. Duvar sisteminde akma dayanımı 27,12 kN/m'den başlamakta ve 20,34 mm yer değiştirme ile ilgilidir. Duvar sisteminin elastik rijitliği, rijitliğini anlamada önemli bir parametre olan 1,31 kN/m/mm olarak belirlenmiştir.

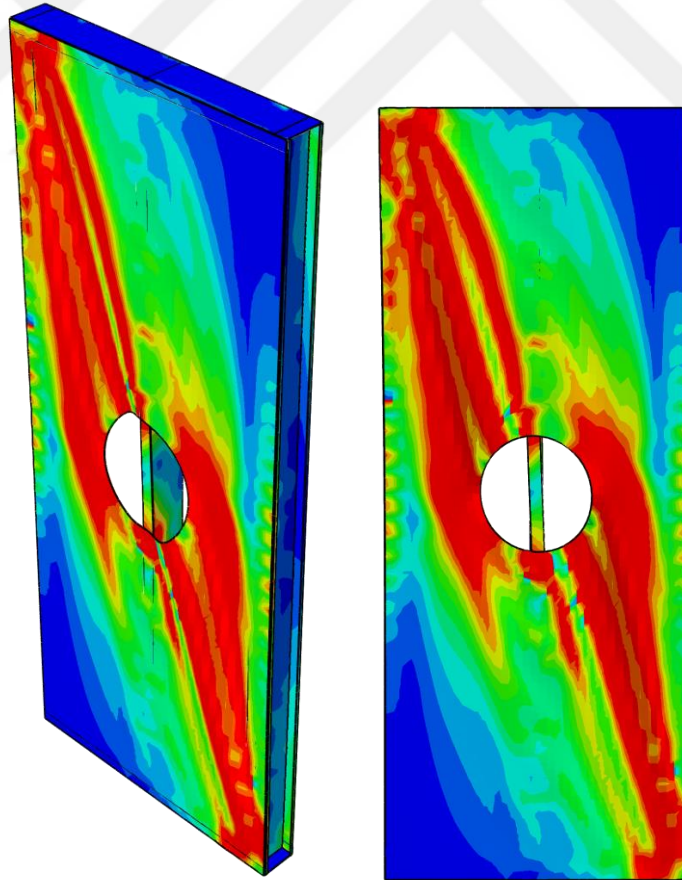
. Tablo 56 ve Şekil 150 duvar sisteminin akma, akma-göçme arası ve toplam enerji sönmülenmesi için duvar sisteminin sönmülenen enerjisini görmektedir.

Tablo 56. CFSWO-9 Numunesinin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO-9	434,40	2665,70	3200,10



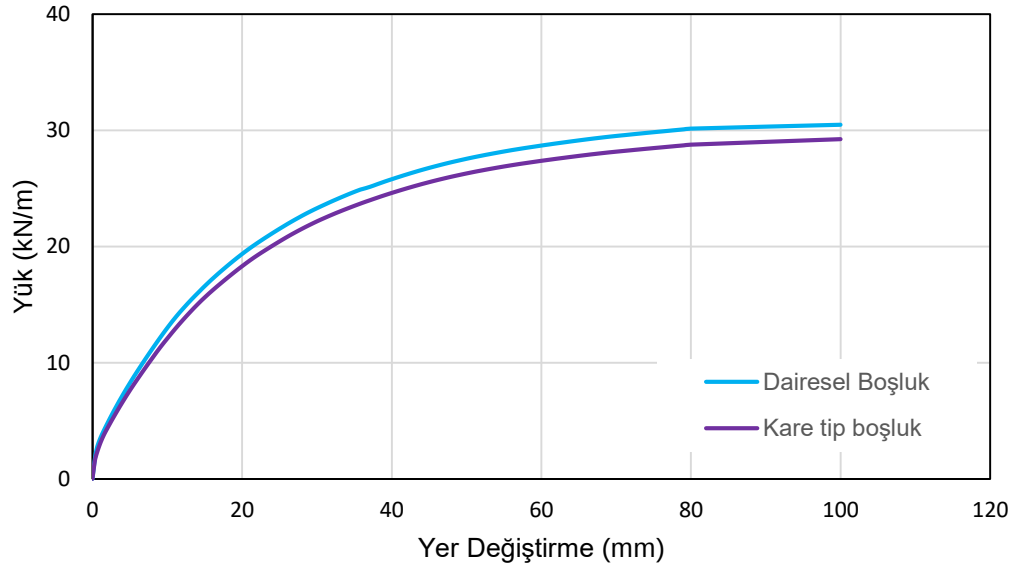
Şekil 152. CFSWO-9 numunesinin sönümlenen enerji yüzdesi



Şekil 153. CFSWO-9 numunesinin göçme modü

Duvar sisteminin merkezde bulunan dairesel bir boşluğa sahip hafif çelik perde duvar sisteminin (CFSWO-9) toplamda 2685,74 kN.mm'lik enerji sönümlendiği Tablo 56 'da görülmektedir. Şekil 152, bu enerjinin % 11 'inin akma noktasına kadar sönümlendiğini, diğer % 89' unun ise akma noktası ile nihai nokta arasında sönümlendiği görülmektedir.

Kare boşluk ve dairesel boşluk sonuçlarının karşılaştırılması



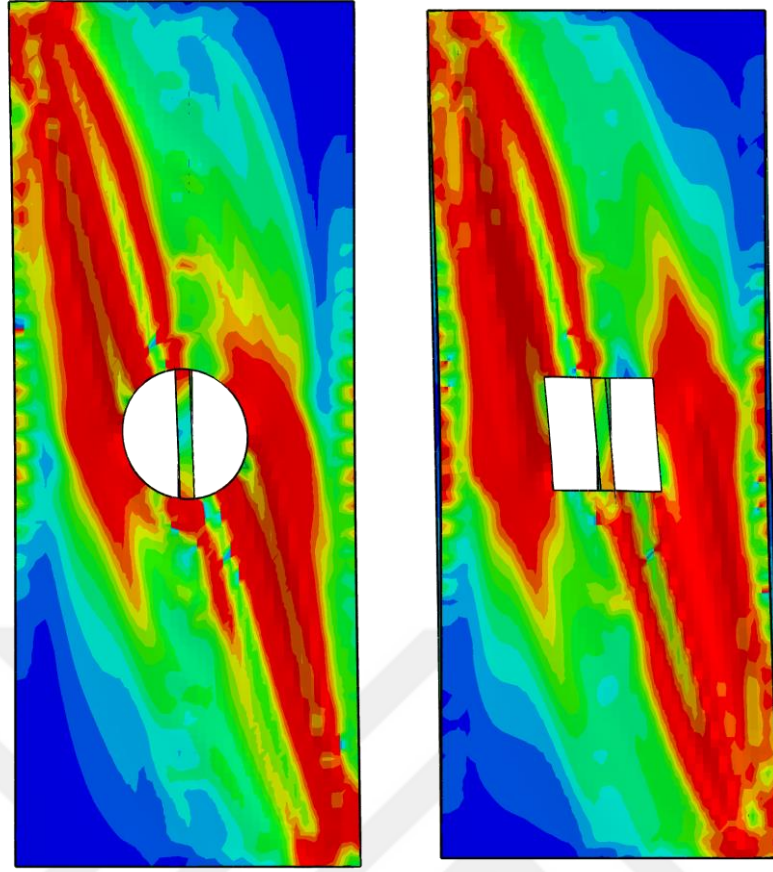
Şekil 154. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin yatay yük-yer değiştirme eğrisi

Tablo 57. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin Analiz Sonuçları

Numune	P_p (kN/m)	P_y (KN / m)	Δ_y (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWO-1	29,25	26,12	21,34	1,22	100	4,69
CFSWO-9	30,47	27,12	20,34	1,31	100	4,09

Tablo 58. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_y (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_t (kN.mm)
CFSWO-1	334,40	2465,70	2800,10
CFSWO-9	428,43	2634,28	3062,71



Şekil 155. CFSWO-1 ve CFSWO-9 numunelerin göçme modu

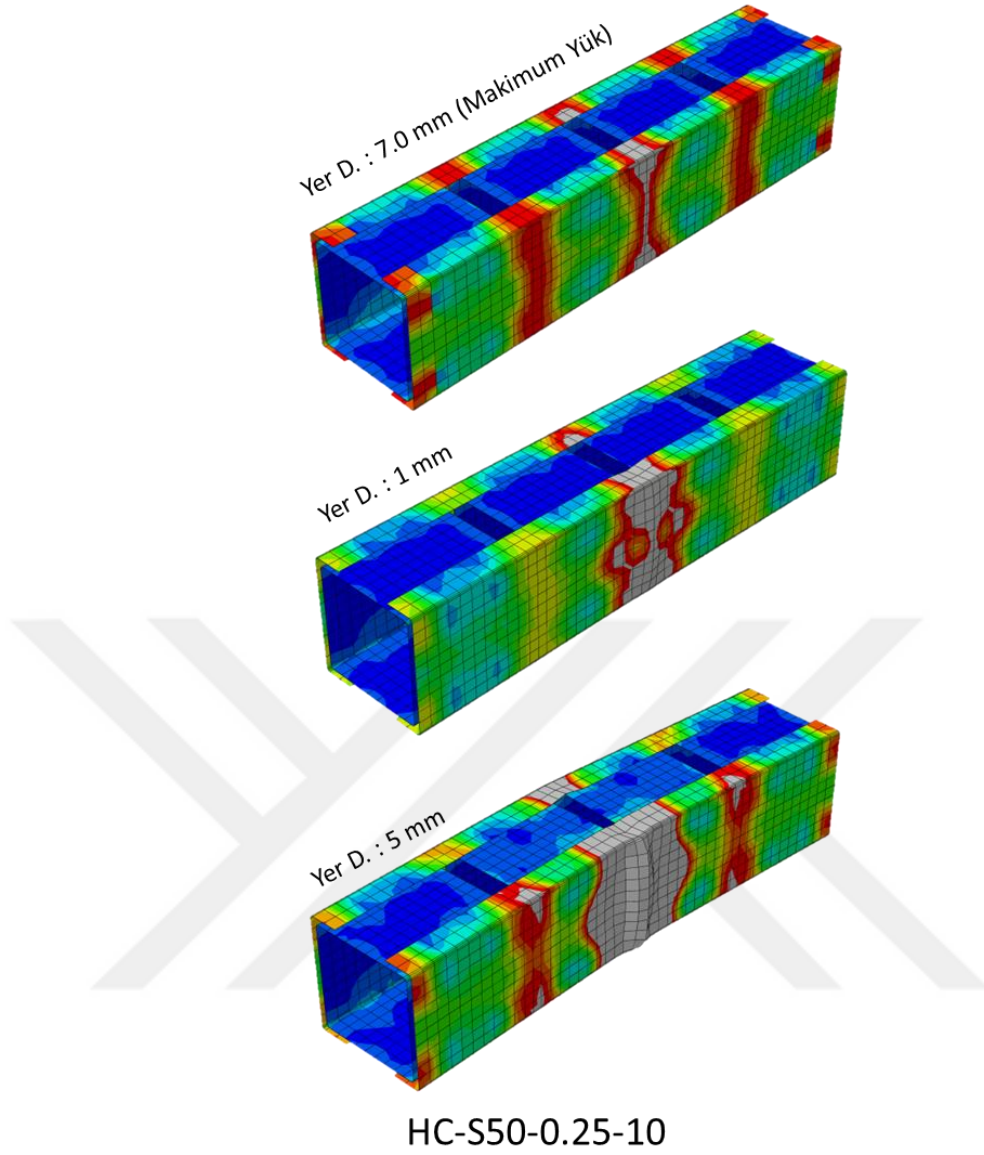
Şekil 152, Şekil 153, Tablo 57 ve Tablo 58'de görüldüğü gibi, boşluk geometrisi çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların kesme dayanımı ve enerji sönümlemesi üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Ancak dairesel boşluğa sahip olan duvarda boşluk etrafındaki burkulmanın kare boşluğa olan duvara göre daha az olduğu görülmektedir

Yapma Kolonların Davranışı

Sonuçlar elde etmek amacıyla sayısal veriler yük - eksenel yer değiştirme özelliklerinin yanı sıra göçme modları açısından da incelenmiştir. Bu çalışmada kolonların narinliğinin 10 ile 180 arasında değişmesi sonucunda narinliklerine göre kolonların üç tipini (kısa kolonlar, ara kolonlar ve uzun kolonlar) kapsamaktadır.

Kısa kolonları

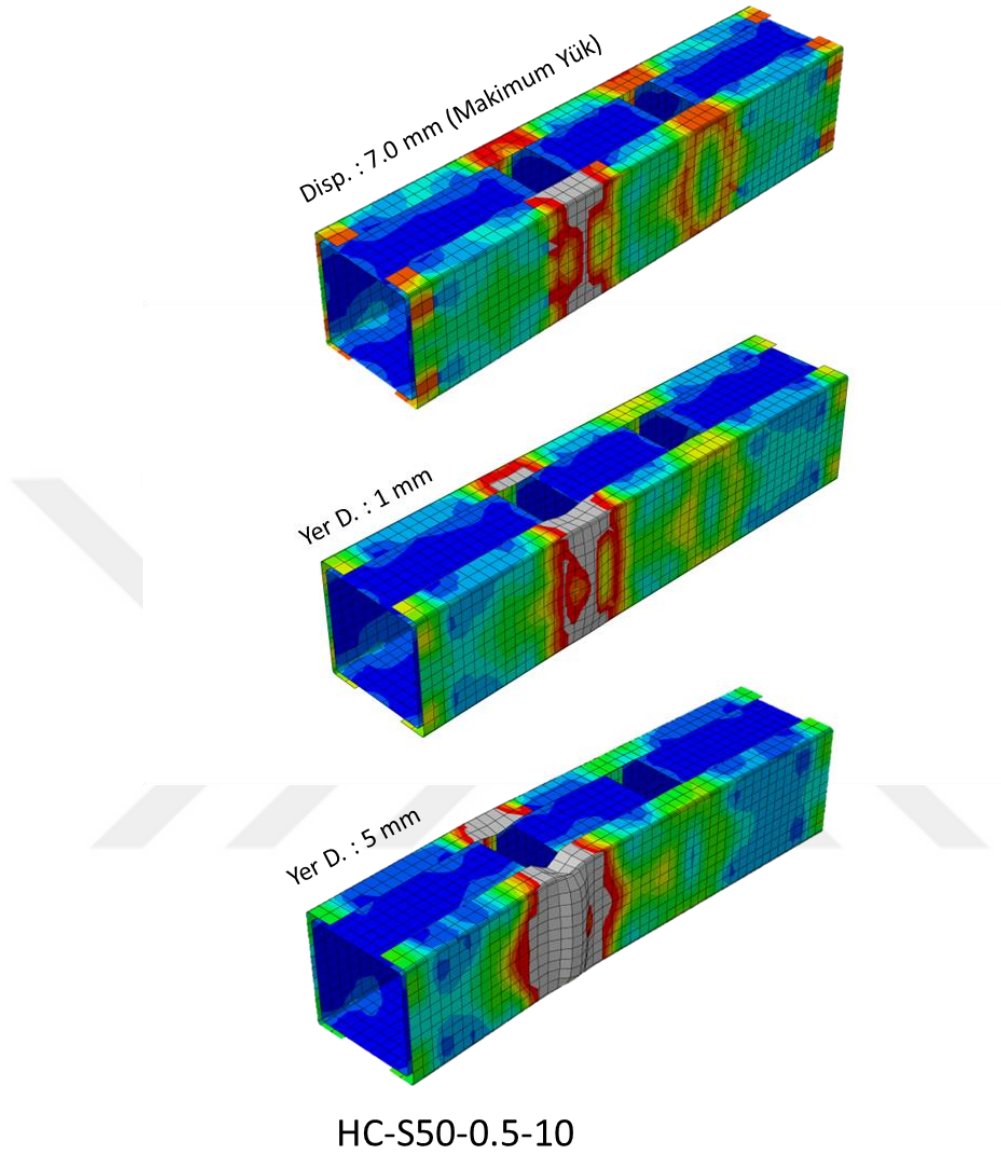
Önceki araştırmanın bulgularına göre kolon narinliği 10 olan yapma kolon, çok kısa kolonlar olarak kabul edilmiştir (Dar et al., 2021).



Şekil 156. HC-S50-0,25-10 'daki göçme modu

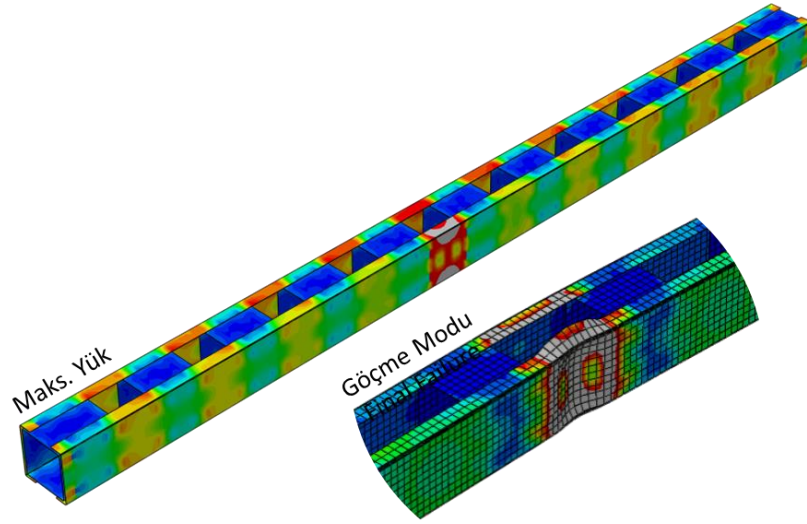
Çalışmanın sonuçlarına göre HC - S50-0,25-10, HC - S50-0,50-10, HC - S50-0,75-10 ve HC - S50-1,00-10 olmak üzere dört kolonunun hepsinin göçmesi akma ve yerel burkulma mekanizmalarının bir kombinasyonundan kaynaklanmıştır. HC-S50-0,25-10 'daki profilin  ekil 154'da gösterildiği gibi maksimum yüke maruz kaldığında akma meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca yükün artması durumunda akma durumu devam etmiş ve ayrıca  ekil 154'de görüldüğü gibi aynı bölgede yerel burkulma ortaya çıkmıştır. Yükleme daha da arttı a akma kısmı daha da ilerlemiş ve ayrıca profillerdeki flanş - gövde bağlantılarına kadar uzanmıştır. Ek olarak yerel burkulma deformasyonunun büyüklüğü  ekil 154'de gösterildiği gibi kolonun göçmesine yol açan merkezi panelde daha belirgin hale gelmeye başlamıştır. HC - S50-0,50-10, HC - S50-0,75-10 ve HC - S50-1,00-10 'da benzer bir davranış gözlemlenmiştir ancak akma ve yerel

burkulma bölgeleri HC - S50-0,25-10' da olduğu kadar baskın olmamıştır. HC - S50-0,50 için bu durum Şekil 155 'da gösterildiği gibi yalnızca tek bir profile sınırlandırılmıştır.

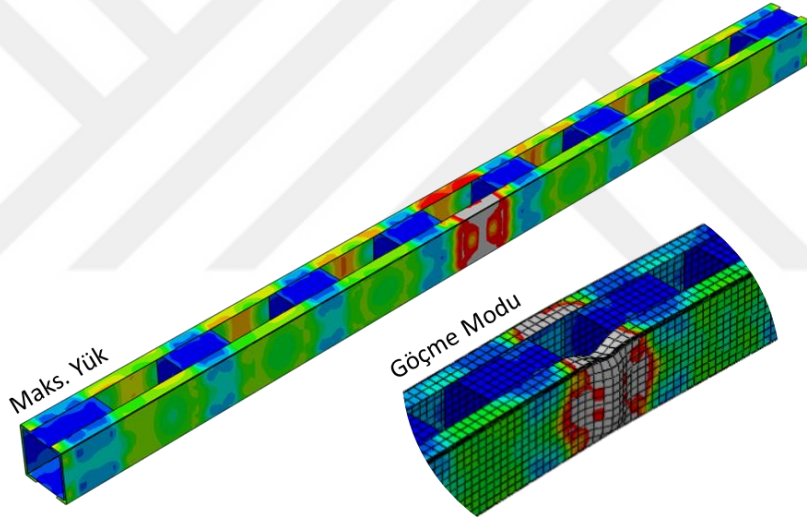


Şekil 157. HC-S50-0,50-10 'daki göçme modu

HC - S50-0,25-40 için Şekil 156a'da görülebileceği gibi kısa kolonların her biri yerel burkulma hasar belirtileri ortaya koymuştur. Diğer profilin yerel burkulma göçmesinde yer almamasına rağmen Şekil 156'daki gerilme şeklinin gösterdiği gibi daha yüksek gerilme seviyelerine maruz kalmıştır.



(a) HC-S50-0,25-40



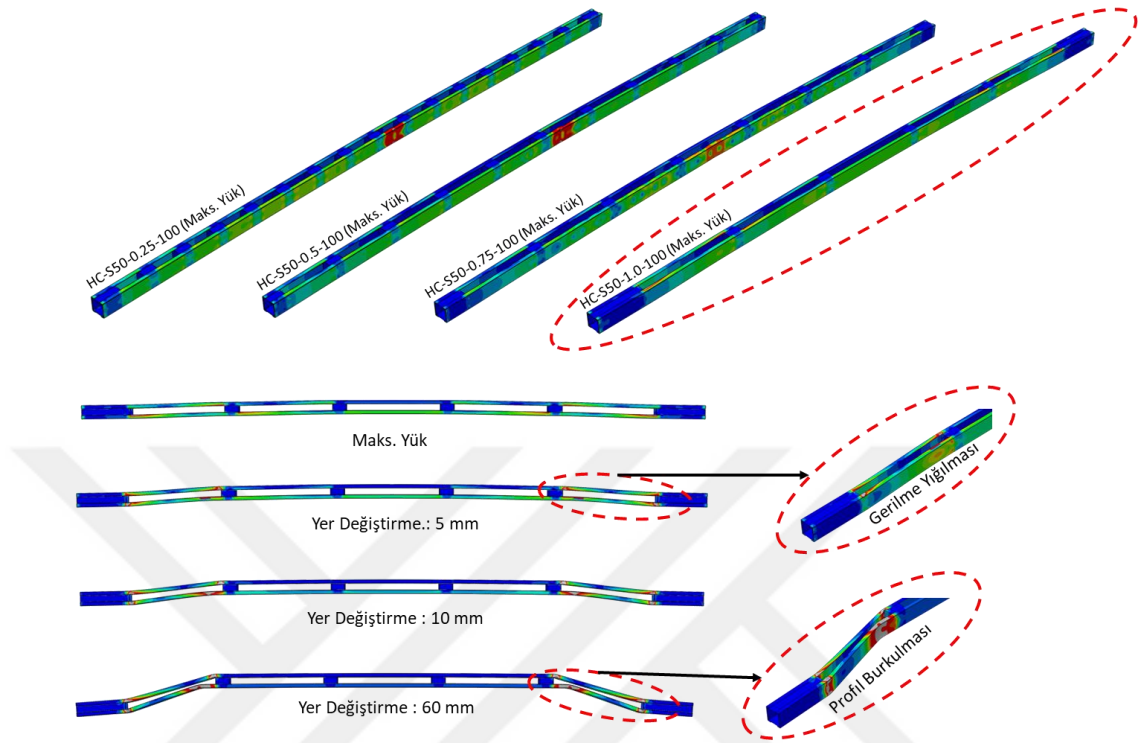
(b) HC-S50-0.5-40

Şekil 158. Kısa kolonlarda göçme modları

Ara kolonlar

Ara kolonlarda oluşan göçme modu etkileşimli burkulma olarak adlandırılan yerel ve global burkulmanın bir kombinasyonundan oluşmaktadır. Kısa kolonlardan sonra ilk ara kolon olması nedeniyle yerel burkulma bileşeninin büyüklüğü HC - S50-0,25-100 'de Şekil 157' de görüldüğü gibi daha büyük olmuştur. Burada gözlemlenen bazı küçük global burkulmalar dışında davranışın geri kalanı HC - S50-0,25-40 ile tamamen aynı olmuştur. Kısa kolonların tamamlanmasından sonraki ilk ara kolon olması nedeniyle HC-S50-0,25-100, Şekil 157'de gösterildiği gibi daha yüksek bir yerel burkulmaya sahip olmuştur. Şekil 157 'de görülebileceği

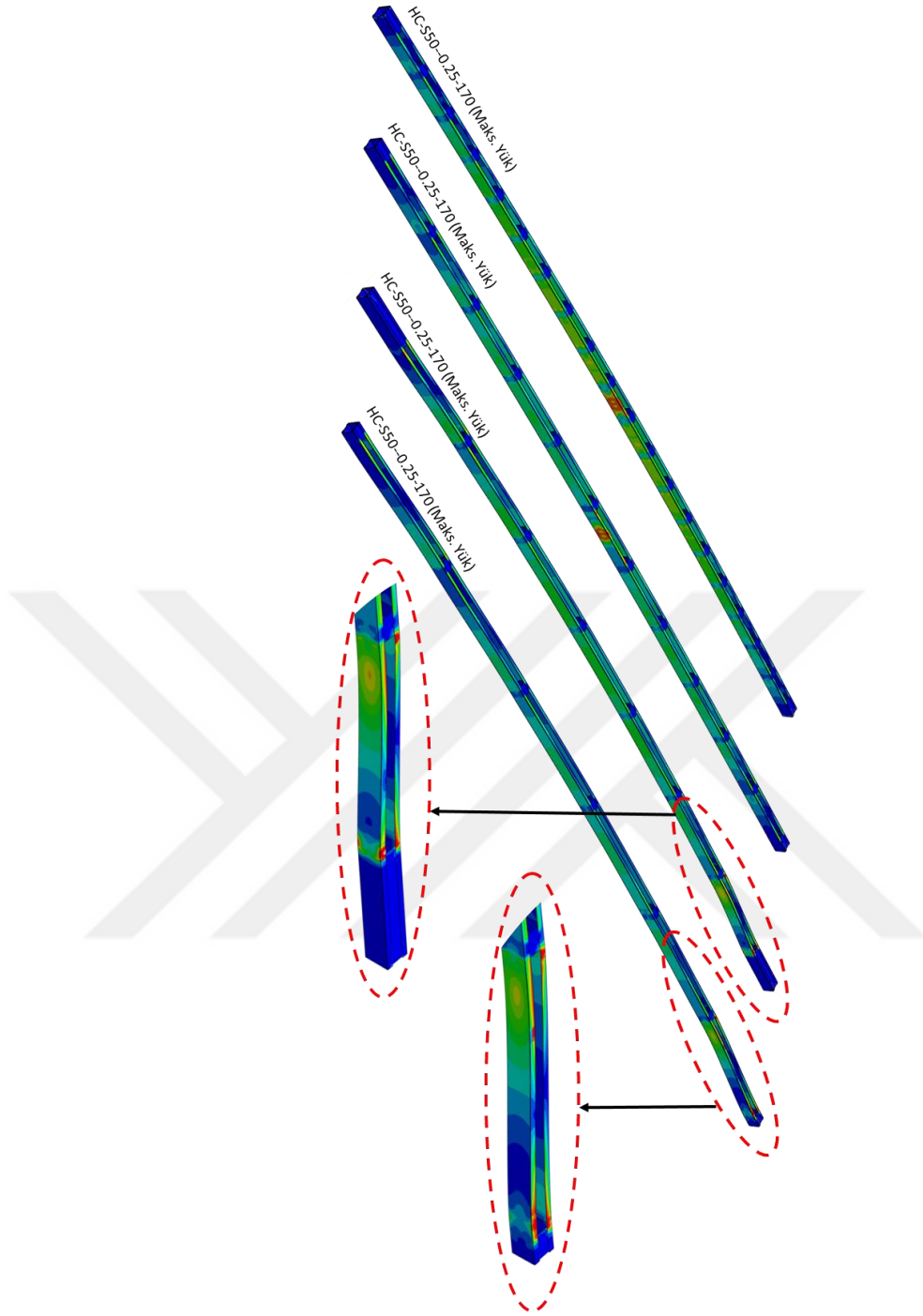
gibi HC-S50-1,00-10 numunesindeki profillerin uçlarında burkulma meydana gelmiş. Bu çoğunlukla imalat süreci boyunca profil arasındaki yapısal bütünlüğün eksikliğinden kaynaklanmıştır.



Şekil 159. Ara kolonlarda göçme modlar

Uzun kolonlar

HC - S50-0,25-170 ve HC - S50-0,50-170 için Şekil 9 'da gösterildiği gibi tüm uzun kolonlarda global burkulma meydana gelmiştir. Uzunluğu daha uzun olan HC - S50-0,75-170 ve HC - S50-1,00-170 numuneleri HC - S50-1,00 -10 ara kolonunda gözlemlenen benzer şekilde uç panel deformasyonu nedeniyle göçme oluşmuştur. Bu göçme daha önce bahsedilen aynı nedenden dolayı meydana gelmiştir.

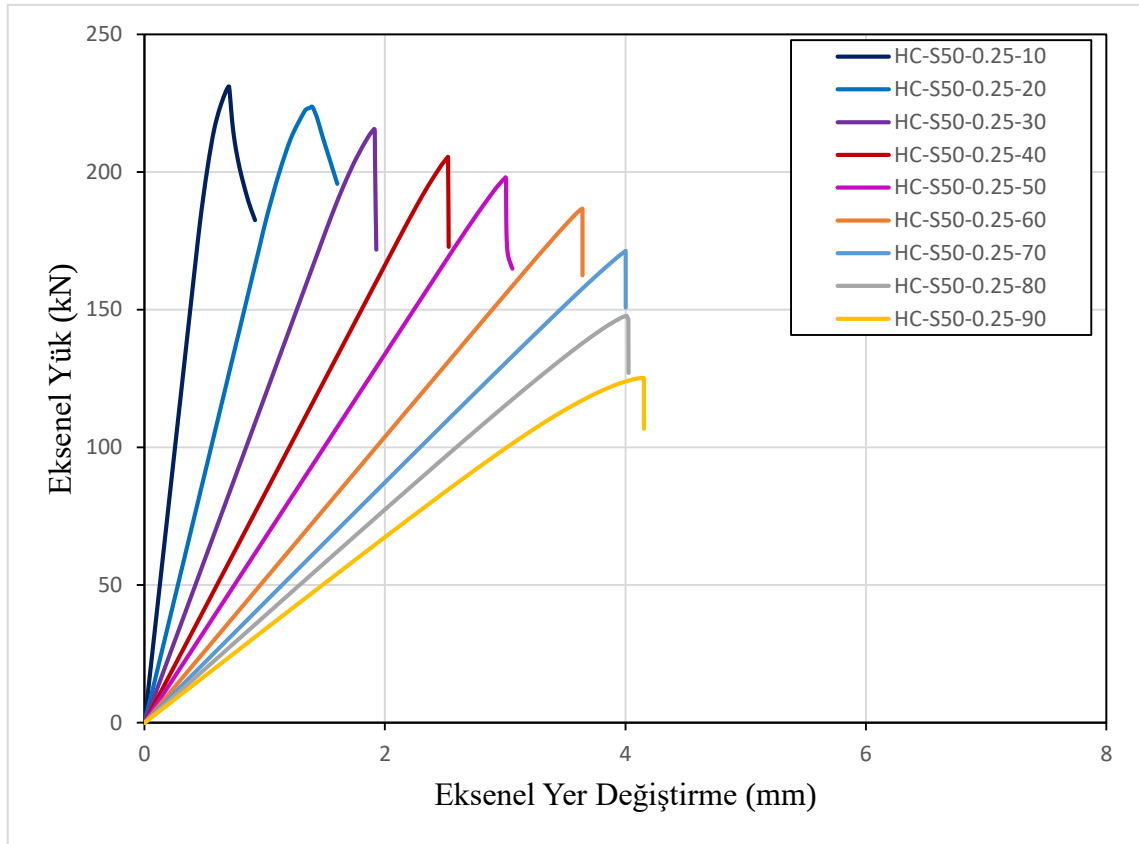


Şekil 160.Uzun kolonlarda göçme modlar

Yük - eksenel yer değiştirme

Şekil 159’da özellikle HC - S50-0,25-10 'dan HC - S50-0,25-90' a kadar kolonlar için yük-eksenel deplasman eğrilerini görülmektedir. Tüm bu kolonların yüke yer değiştirmeye verdikleri tepkide sürekli olarak bir deseni gösterdiği kabul edilmelidir. Davranış Şekil 158 'de gösterildiği gibi maksimum eksenel yükler elde edilene kadar doğrusal kalmıştır. Maksimum yüklerden önce gözlemlenen doğrusal eğilim yerel burkulma nedeniyle bir göçme olduğunu göstermektedir. Bu birleşme noktasından sonra bu numunelerdeki göçme mekanizmasına

ilişkin önceki gözlemlerimize karşılık gelen tüm dikey yapılarda uygulanan yükte önemli bir azalma görülmüştür. Bu veriler daha önce ifade edildiği gibi bu kolon numunelerinde gözlemlenen belli bir göçme modunu doğrulamaktadır.

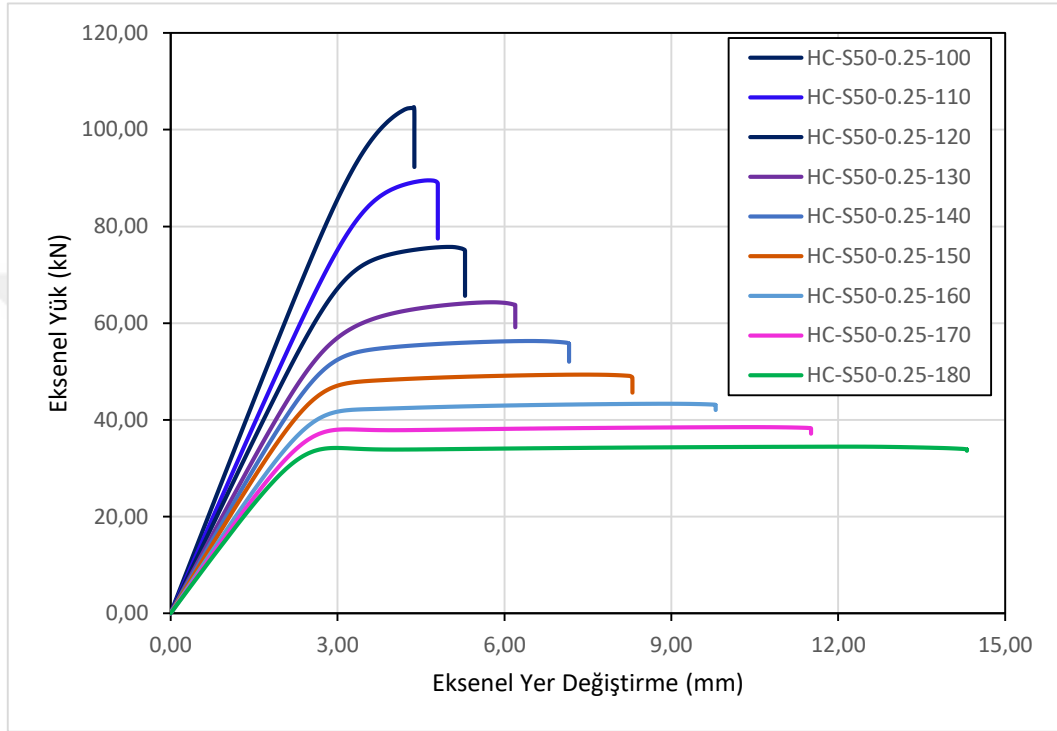


Şekil 161. Kısa kolonların yük - eksenel yer değiştirme eğrileri

İnceleme tüm profil ve kısa yapma kolonların tutarlı bir yük - yer değiştirme davranışını ortaya koymuştur. Şekil 158 'ın narinlik değerleri 20 ila 90 arasında değişen yapma kolonların performans özellikleri göz önüne alındığında kısa kolonlar olarak sınıflandırılabilceği açık olmaktadır.

Şekil 159'da 100 ila 180 arasında değişen narinliğe sahip bir grup kolona yönelik yük eksenel yer değiştirme eğrilerini görülmektedir. HC - S50-0,25-100 'deki eğrinin yükselen kolu maksimum eksenel yükünün yaklaşık % 90' ı olan 90 kN'ye ulaşana kadar elastik doğrusaldır. Eğrinin bu doğrusal kısmı daha önce detaylandırılan kısa kolonlara benzer olmuştur. 90 kN'luk bir yüke ulaştıktan sonra numune maksimum 104 kN yüküne ulaşana kadar eksenel yüklere direnme kabiliyetinde istikrarlı bir azalama göstermeye başlamıştır. Bu global bir burkulma bileşeninin varlığını göstermektedir. Maksimum kapasitesine ulaştıktan sonra kısa kolonlardaki gibi gözlemlenen benzer şekilde ani bir düşüş olmuştur. Bu global ve yerel burkulma göçmesini bir karışımını gösterir ve yerel göçme global göçmeden sonra gerçekleştiğini göstermektedir. HC - S50-0,25-110, HC - S50-0,25-120 ve HC - S50-0,25-130 numuneleri karşılaştırılabilir bir

davranış modeli sergilemiştir. Bu nedenle bu numunelerin dördü de uygun şekilde ara kolonlar olarak sınıflandırılabilir. HC-S50-0,25-100, HC-S50-0,25-130'a göre daha fazla yerel burkulma meydana geldiğini göstermiştir. HC-S50-0,25-140 'tan başlayan numuneler Şekil 160' daki gibi eğrilerin açıkça görülebilen düz yatay kesiti ile gösterilen önemli bir global burkulma oluşumu göstermektedir.



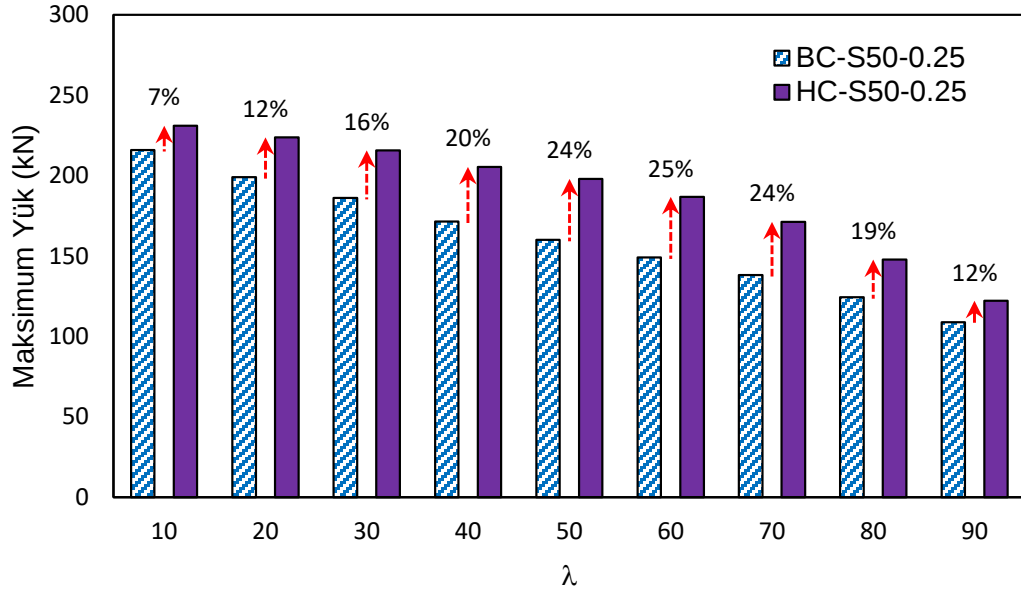
Şekil 162. Ara ve uzun kolonların yük - eksenel yer değiştirme eğrileri

Performans karşılaştırması (kutu tip bağlantılı yapma kolonları ve levha tip bağlantılı yapma kolonları)

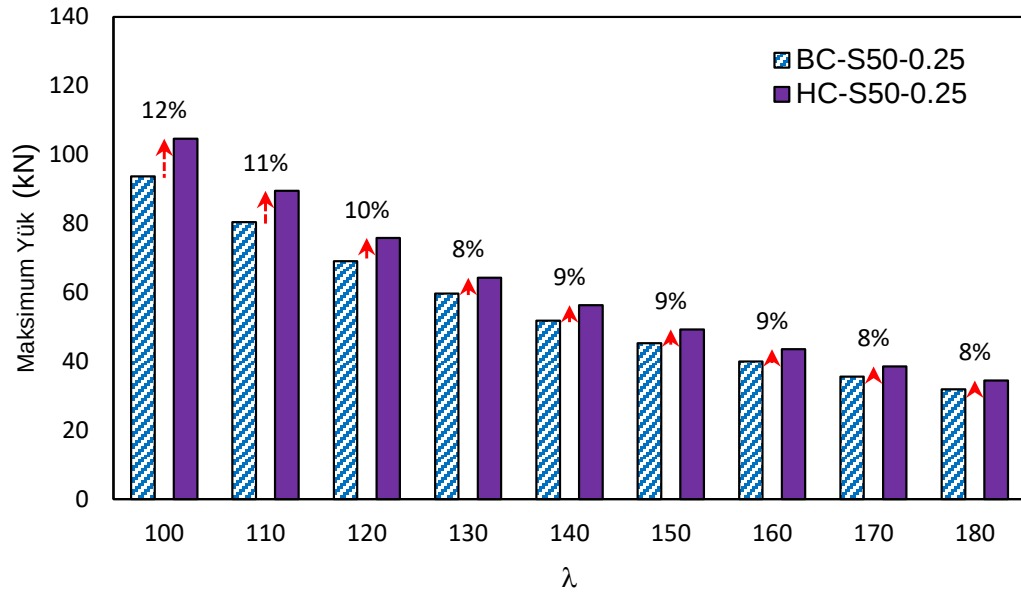
Kutu tip bağlantılı kolonları modellemenin temel amacı levha tip bağlantılı kolonlarına kıyasla daha büyük bir eksenel kapasiteye ulaşmasını sağlamaktır. Çalışmada kutu tip bağlantılı kolonlarının maksimum eksenel mukavemetlerini, levha tip bağlantılı olan ve aynı kolon narinliğe, kesit narinliğine ve profil kalınlığına sahip olan kolonlarıyla karşılaştırmıştır. Karşılaştırma Şekil 161 ve Şekil 162 'de sunulmuştur.

Narinlik değerleri 0,25 ve 0,5 olan çok kısa kolon biçiminde kutu tip bağlantılı kolonlar levha bağlantılı kolonlardan sırasıyla %7 ve %10 daha fazla yük taşımıştır. Narinlik oranı değerleri 0,75 ve 1,00 olduğunda her ikisinde de %17 daha fazla yük taşıma artışı olmuştur. Kısa kolon grubunda elde edilen maksimum ve minimum değişimler HC-S50-0,25-60 ve HC-S50-1-90'da sırasıyla %25 ve %7 olarak kaydedilmiştir. Orta kolon grubunda elde edilen maksimum artışlar HC-S50-0,25-100 ve HC-S50-0,5-120'de sırasıyla %12 ve %7 olmuştur. Uzun

kolonlarda maksimum ve minimum değerlerde çok fazla değişiklik göstermemiş her ikisi de %9 civarında bulunmuştur. Açıkça görüldüğü üzere kutu tip bağlantılı kolonlarda flanşa ek olarak ağırlık da dahil edilmesi sistem seviyesinde eksenel dayanım gelişimi sırasında profil daha büyük bir kısmının davranışa dahil olmasıyla neticelenmiştir.

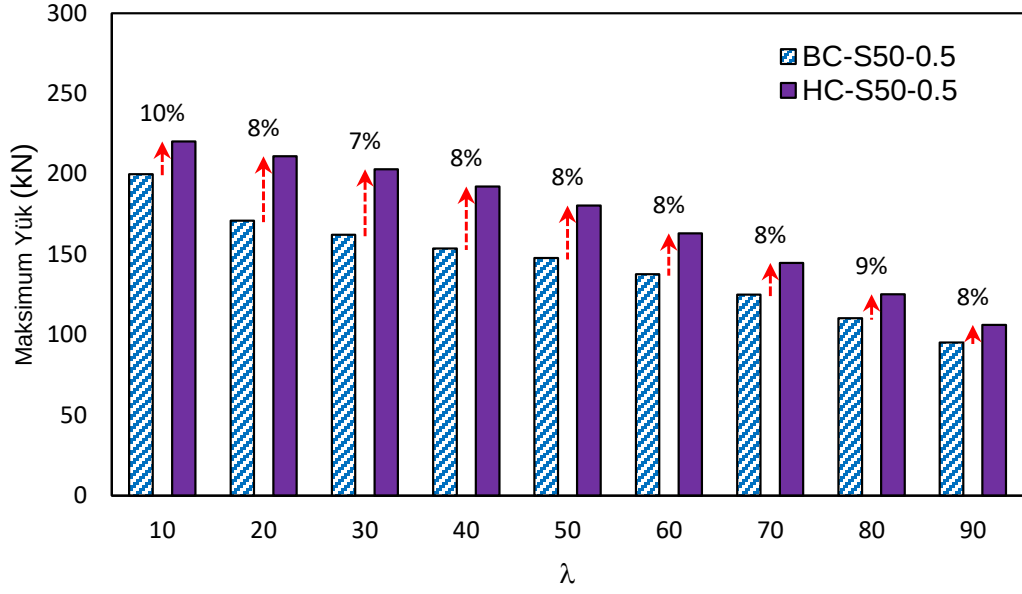


(a) Kısa kolonlar

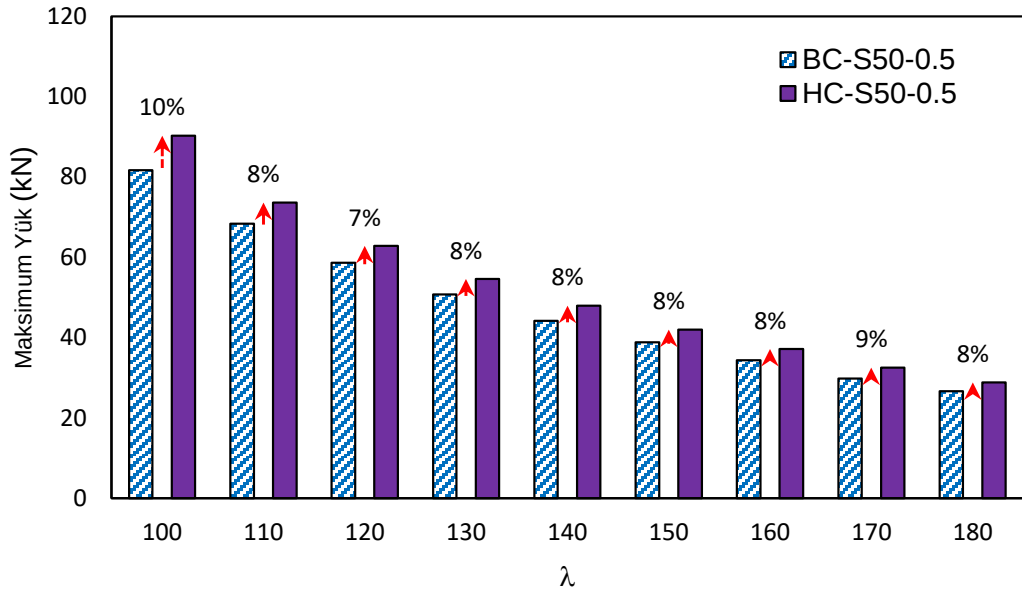


(b) Ara ve uzun kolonlar

Şekil 163. Kolonların karşılaştırması (narinlik oranı 0,25 olanlar)



(a) Kısa kolonlar

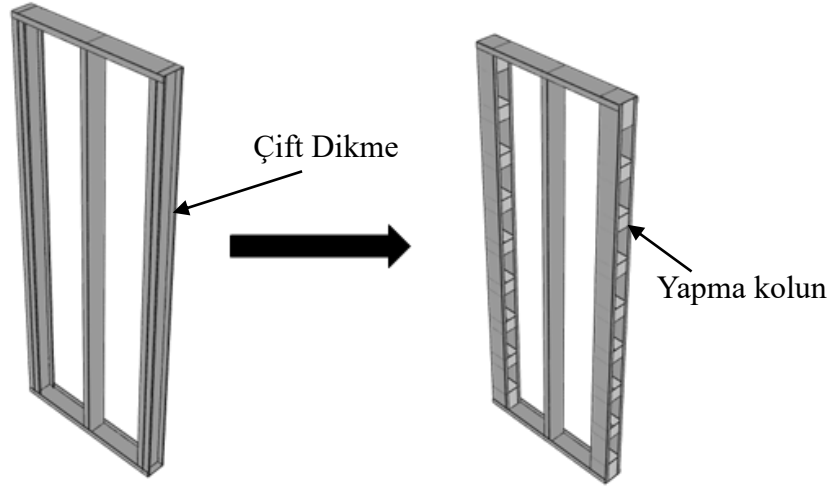


(b) Ara ve uzun kolonlar

Şekil 164. Kolonların karşılaştırması (narinlik oranı 0,5 olanlar)

Çelik Levha İle Kaplanmış Hafif Çelik Perde Duvarlarda Yapma Kolonun Uygulanması

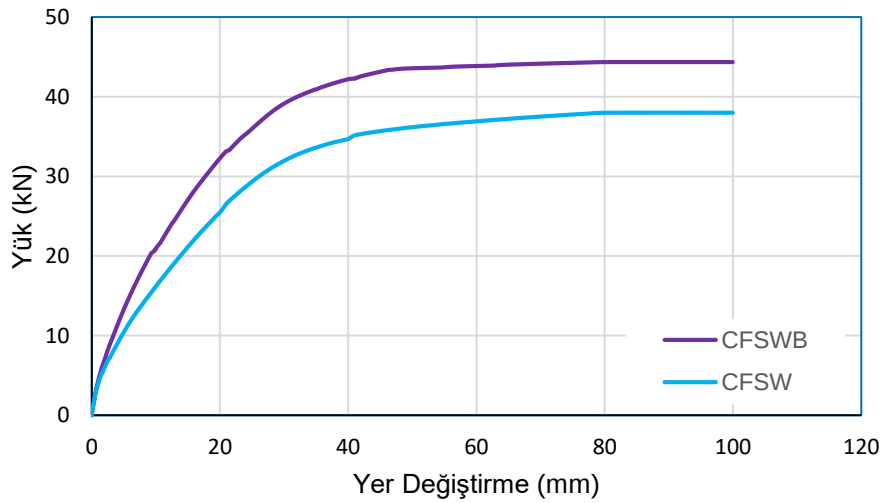
Bu çalışmanın son bölümünde, çelik levhalarla kaplanmış perde duvarların çerçeve sistemine yapma bir kolonun dahil edilmesine odaklanılmaktadır. Bu yaklaşım, perde duvarların çerçevelenmesinde kullanılan çift dikmelerin yapma kolonlarla değiştirilmesini içermektedir. Şekil 162, hafif perde duvar sistemindeki yapma kolonlara çerçeve geçişini göstermektedir.



Şekil 165. Yapma kolon çerçeveli perde duvara geçiş (CFSWB)

CFSWB numunesinin davranışı

Yeni perde duvarın tüm özellikleri daha önce tartışılmış olan CFSW'ninkilerle aynıdır. Tek fark, bu perde duvarda kolonların gömme kolon olarak değiştirilmiş olmasıdır. Bu numune kaplama - çerçeve bağlantısında çapraz vida düzenlemesine sahip hafif çelik bir perde duvar sistemidir. Duvarın yüksekliği 3000 mm ve genişliği 1200 mm'dir. Duvarın yapılması için kullanılan çelik levhanın kalınlığı 0,8 mm ve çerçeve elemanları için kullanılan çeliğin kalınlığı 1,25 mm'dir. Çelik levhanın kenarlarında 100 mm ve çelik levhanın merkezinde 300 mm vida aralığı kullanılarak çelik levhayı sınır çerçeveye bağlamak için ise 4,8 mm çapında 10 numaralı vidalar kullanılmıştır. Bu numunesinde kutu tipi bağlantıların kalınlığı 6 mm'dir. Şekil 164'te her iki perde duvarlarının yük- yer değiştirme eğrisi görülmektedir.



Şekil 166. CFSW ve CFSWB'nin karşılaştırılması

Tablo 59. CFSWB ve CFSW Numunelerin Analiz Sonuçları

Numune	P_p (kN/m)	P_y (kN / m)	Δy (mm)	K_e (kN/m/mm)	Δ_u (mm)	μ
CFSWB	34,74	34,63	17,19	2,01	100	5,82
CFSW	31,78	29,53	21,24	1,39	100	4,71

Tablo 60. CFSWO-1 ve CFSWO-9 Numunelerin Sönümlenen Enerjisi

Numune	E_u (kN.mm)	E_u (kN.mm)	E_u (kN.mm)
CFSWB	357,16	3440,74	3797,90
CFSW	376,26	2791,18	3167,44

Şekil 164 ve Tablo 59 ve 60'da görüldüğü gibi yapma kolonlu yeni tip perde duvarın kesme dayanımı, rijitliği ve enerji sönümlemesi diğer perde duvara göre artmaktadır. Ancak, perde duvarın kesme dayanımı ve burkulma performansının incelenmesi için daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çelik kaplamalı hafif perde duvarlarının kaplama-çerçeve bağlantılarındaki aralıklar ve kaplama levha kalınlığı değişimi ile hafif çelik perde duvarlarında berkitmeler yapıldığında perde duvar sistemlerinin kesme dayanımına ve burkulma davranışına etkisi sayısal olarak incelemiştir. Bununla birlikte hafif çelik perde duvarlarda boşluk geometrisi ve toplam alandaki boşluk alanı değişken bir parametre olarak çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca bu sayısal araştırmada yapma kolonların yeni tip (kutu kesitli) bağlantılarıyla birleştirilmesi durumunda hafif çelik yapma kolonların eksenel dayanımı ve burkulma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Önerilen yeni tip yapma kolonun hafif perde duvarlarda uygulanmasına yönelik kapsamlı bir araştırması yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda elde edilen bulguların özeti aşağıdaki gibidir:

- Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların kaplama - çerçeve bağlantısındaki vida aralığının duvar sisteminin kesme dayanımının yanı sıra burkulma modu üzerinde de etkili olduğu tespit edilmiştir. Perde duvar sisteminin kaplama-çerçeve bağlantılarındaki vida aralığının artırılması duvarın kesme dayanımını azaltmıştır. Kaplama-çerçeve bağlantısındaki vida aralığının artırılması durumunda ise vida sayısının azalmasına neden olmasıyla birlikte her bir vida üzerindeki gerilim de artmaktadır. Bu da çelik levhanın yırtılmasına ve vidaların çekilmesine yol açabilmektedir. Ayrıca kaplama-çerçeve vida aralığının 50 mm'den 100 mm, 150 mm ve daha sonra 200 mm'ye artırılmasıyla duvar sisteminin kesme dayanımı sırasıyla %9, %15 ve %22 oranında azalmıştır.
- Kaplama-çerçeve bağlantılarındaki vida aralıklarının artırılması hafif çelik perde duvar sisteminin elastik rijitliğini azaltmasına rağmen düktilitesini arttırmaktadır. Kaplama-çerçeve vida aralığının 50 mm'den 100 mm, 150 mm ve daha sonra 200 mm'ye artırılmasıyla perde duvar sisteminin rijitliği sırasıyla %13, %14 ve %20 oranında azalmıştır. Ancak vida aralığının artırılmasıyla perde duvarın düktilitesi sırasıyla %9, %15 ve %25 oranında artmıştır. Ayrıca vida aralığının azaltılması duvarın kesme dayanımını artırmakta iken vida aralığının azaltılmasıyla kaplama-çerçeve bağlantılarında gerilme yığılması oluşmakta ve bu da duvar çerçevesindeki profillerin burkulmasına neden olmaktadır.

- Çelik levhanın kalınlığının değiştirilmesi perde duvar sisteminin kesme dayanımını etkilemiştir ancak bu durum çerçeve elemanlarının kalınlığına bağlı olarak gerçekleşmiştir. Çelik levha kalınlığının 0,8 mm'den 1 mm'ye artırılmasıyla perde duvarın kesme dayanımının % 5 oranında arttığı buna karşılık çelik levha kalınlığının 0,6 mm'ye azaltıldığında kesme dayanımının % 20 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca çelik levha kalınlığının 0,6 mm'den 0,8 mm'ye ve daha sonra 1 mm'ye artırılmasıyla perde duvar sisteminin rijitliği sırasıyla %12 ve %24 oranında azalmıştır.
- Hafif çelik perde duvarlarda berkitme kullanılması çelik levhanın burkulmasını sınırlayarak duvar sisteminin kesme dayanımını artırmıştır. Berkitmelerin çelik levhanın farklı yerlerine yerleştirilmesi durumunda duvar sisteminde farklı burkulma davranışları ve farklı kesme dayanım artışları görülmüştür. CFSWS -4, CFSWS -3, CFSWS -1, CFSWS -5 ve CFSWS -2 'nin berkitmesiz perde duvara (CFSW) göre kesme dayanım artış yüzdesinin sırasıyla % 68, % 53, % 47, % 18 ve % 12 olduğu görülmektedir. Ayrıca berkitmenin kaplama levhanın merkezine yatay olarak yerleştirilmesi (CFSWS-1) duvarın kesme dayanımını %47 oranında artırmıştır. Ancak iki berkitmenin perde duvar sisteminin üçte birine yerleştirilmesinin (CFDWS-4) duvarın kesme dayanımında %68 oranında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte CFSWS -4 'te kullanılan berkitme desenin duvar sisteminin elastik rijitliğini maks (% 77) oranında arttırdığı görülmektedir. Öte yandan CFSWS -2 'de kullanılan desen perde duvar sisteminin elastik rijitliklerinde en az artışı (% 23) göstermiştir.
- Sönümlenen enerji açısından tüm berkitmeli numunelerinde berkitmesiz perde duvara artış gösterdiği tespit edilmiştir. Berkitmesiz (CFSW) numuneye kıyasla CFSWS -4, CFSWS -3, CFSWS -1, CFSWS -5 ve CFSWS -2 'nin sönümlenen enerji artış yüzdesinin sırasıyla % 69, % 56, % 47, % 19 ve % 15 olduğu tespit edilmiştir.
- Berkitmenin genişliği hafif çelik perde duvarların kesme dayanımını belirlemede önemli bir parametredir. Berkitme genişliğinin 332 mm'den 141 mm'ye azaltılmasıyla berkitmenin kendisinin burkulmaya başladığı ve duvar sisteminin kesme dayanımının azaldığı görülmüştür. 332 mm berkitme genişliğine sahip CFSWS-1 numunesinin maksimum ve akma yükü, 141 mm berkitme genişliğine sahip CFSWS-6 numunesi ne göre sırasıyla %23 ve %20 daha fazladır. Ayrıca CFSWS-1 'in toplam sönümlenen enerjisi CFSWS -6' ya kıyasla % 17 'lik bir artış elde edilmiştir.

- Boşluk oranının çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarların kesme dayanımını etkilediğine çalışma sonucunda ulaşılmıştır. Boşluk oranı arttıkça duvar sisteminin elastik rijitliğinin yanı sıra kesme dayanımı da olumsuz etkilemektedir. Ayrıca boşluk oranının %4.4'den %10 ve daha sonra %20 'ye artırılmasıyla duvar sisteminin kesme dayanımı sırasıyla %8, %27 ve %22 oranında azalmıştır. Ancak % 4,4 boşluk oranına sahip boşluklu perde duvar ile boşluksuz perde duvar karşılaştırıldığında kesme dayanımı ve elastik rijitlikte açısından kayda değer bir azalım görülmemiştir.
- Hafif çelik perdelerde küçük boşluklar (%4.4 oranı) oluşturmak için en ideal yerin çelik levhanın merkezine yakın alanlar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca boşluk şekli duvar sisteminin kesme dayanımı üzerinde önemli bir etki göstermemiştir ancak çelik levhanın burkulma dayanımını ihmal edilebilir seviyede azalttığı görülmüştür.
- Eksenel dayanım açısından bu çalışmada sunulan yeni tip bağlantılı kolon ile levha bağlantılı kolonlar kıyaslanmıştır. Yeni tip bağlantılı kolon sisteminde %25'e çıkan yük kapasite artışı elde edilmiştir. Bu dayanım artışı yeni tip yapma kolonların eski tip kolonlara (levha bağlantılı) kıyasla kolon sistemindeki yük dağılımına önemli bir katkısının olduğu sonucu olmuştur. Hafif çelik yapma kısa kolonlarda yerel burkulma ara kolonlarda hem yerel hem de global burkulma meydana gelirken uzun kolonlarda sadece global burkulma meydana gelmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve gözlemler temel alınarak bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Bu çalışmada çelik sacla kaplanmış hafif çelik perde duvarların çerçevesi ile kaplama arasındaki vida tipi bağlantılar incelenmiştir. Cıvata tipi ve perçin tipi bağlantılar da dahil olmak üzere alternatif bağlantı tiplerini incelenmek için daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir.
- Oluklu tip berkitmelerin çelik levha ile kaplanmış perde duvarlara montajı kolay olmakta ve berkitmesiz duvarlar imal edildikten sonra bile dahi edilmesi kolay olmaktadır. Bu nedenle çelik levha ile kaplanmış hafif perde duvarların yapıya halihazırda yerleştirilmiş olduğu durumlarda da bu tip berkitmelerin uygulanması önerilmektedir.
- Çelik levha ile kaplanmış hafif çelik perde duvarlar için kullanılan berkitmelerin kalınlığı bu çalışma kapsamında sabit tutulmuştur. Berkitme kalınlığının çelik

levhalarla kaplanmış hafif çelik duvarların kesme dayanımını nasıl etkilediğine dair daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir.

- Bu çalışma kapsamında sadece yatay ve düşey berkitmeler incelenmiştir. Çelik levhalarla kaplanmış hafif perde duvarların kesme dayanımı üzerinde çapraz berkitmelerin etkisinin araştırılması için çalışma yapılması önerilmektedir.
- Bu çalışmada küçük boşlukların çelik levhalarla kaplanmış hafif çelik perde duvarların kesme dayanımı üzerindeki etkisini ele alınmıştır. Kapı boşlukları gibi daha büyük boşlukların etkisi üzerine araştırma yapılması ayrıca önerilmektedir.
- Çalışma kapsamında hafif çelik yapma kolonlar için önerilen kutu tip bağlantı elemanın kalınlığı sabit tutulmuştur. Bağlantı elemanın kalınlığının hafif çelik yapma kolonların eksenel dayanımını ve burkulma davranışını nasıl etkilediğine dair daha fazla araştırma yapılması için bağlantı elemanının değişken değerlerinde araştırma yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AISI-S100, 2016. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. The American Iron and Steel Institute.
- AISI-S213, 2007. North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – Lateral Design, The American Iron and Steel Institute.
- AISI-S240, 2015. North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing, The American Iron and Steel Institute.
- AISI-S400, 2015. North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems, The American Iron and Steel Institute.
- Anbarasu, D. M., Kumar, P. B., & Sukumar, D. S., 2014. Study on the capacity of cold-formed steel built-up battened columns under axial compression. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 11, 2271-2283.
- Anbarasu, M., Kanagarasu, K., & Sukumar, S., 2015. Investigation on the behaviour and strength of cold-formed steel web stiffened built-up battened columns. *Materials and Structures*, 48(12), 4029-4038.
- ASCE/SEI 7. 2010. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers, USA.
- Attari, Nader KA, S. Alizadeh, and S. Hadidi, 2016. Investigation of CFS shear walls with one and two-sided steel sheeting. *Journal of Constructional Steel Research*, 122, 292-307.
- Aydın, A. C., Kılıç, M., Maali, M., & Sağiroğlu, M, 2015. Experimental assessment of the semi-rigid connections behavior with angles and stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 114, 338-348.
- Aydın, A. C., Yaman, Z., Ağcakoca, E., Kiliç, M., Maali, M., & Aghazadeh Dizaji, A, 2020. CFRP effect on the buckling behavior of dented cylindrical shells. *International Journal of Steel Structures*, 20, 425-435.
- Aydın, A. C., Bayrak, B., Maali, M., Mete, E., Cebi, K., & Kilic, M, 2021. The shear and flexural behavior of cold-formed steel composite I and U beams. *Scientia Iranica*, 28(4), 2119-2132.
- Balh, N., et al., 2014. Design of steel sheathed cold-formed steel framed shear walls. *Thin-Walled Structures*, 75, 76-86.
- Balh, Nisreen, 2010. Development of seismic design provisions for steel sheathed shear walls. American Iron and Steel Institute (AISI) Specifications, Standards, Manuals and Research Reports.
- Borzoo, S., Ghaderi, S. R. M., Mohebi, S., & Rahimzadeh, A, 2016. Nonlinear finite element modeling of steel-sheathed cold-formed steel shear walls. *Steel Compos. Struct*, 22(1), 79-89.
- Brière, V, 2018. Higher capacity cold-formed steel sheathed and framed shear walls for mid-rise buildings. Part 2. McGill University Canada.
- Craveiro, H. D., Rodrigues, J. P. C., & Laím, L., 2014. Cold-formed steel columns made with open cross-sections subjected to fire. *Thin-Walled Structures*, 85, 1-14.

- Dabaon, M., Ellobody, E., & Ramzy, K., 2015. Experimental investigation of built-up cold-formed steel section battened columns. *Thin-Walled Structures*, 92, 137-145.
- DaBreo, J., et al., 2014. Steel sheathed cold-formed steel framed shear walls subjected to lateral and gravity loading. *Thin-Walled Structures*, 74, 232-245.
- DaBreo, Jamin, I. Shamim, and C. A. Rogers, 2013. Impact of gravity loads on the lateral performance of cold-formed steel frame/steel sheathed shear walls. Diss. McGill University Libraries.
- Dar, M. A., Sahoo, D. R., Jain, A. K., & Sharma, S., 2021. Monotonic tests and numerical validation of cold-formed steel battened built-up columns. *Thin-Walled Structures*, 159, 107275.
- Dar, M. A., Sahoo, D. R., Pulikkal, S., & Jain, A. K., 2018. Behaviour of laced built-up cold-formed steel columns, Experimental investigation and numerical validation. *Thin-Walled Structures*, 132, 398-409.
- Dar, M. A., Sahoo, D. R., Pulikkal, S., & Jain, A. K., 2018. Behaviour of laced built-up cold-formed steel columns: Experimental investigation and numerical validation. *Thin-Walled Structures*, 132, 398-409.
- Dubina, D., Ungureanu, V., & Gîlia, L., 2015. Experimental investigations of cold-formed steel beams of corrugated web and built-up section for flanges. *Thin-Walled Structures*, 90, 159-170.
- El Aghoury, M. A., Salem, A. H., Hanna, M. T., & Amoush, E. A., 2010. Experimental investigation for the behaviour of battened beam-columns composed of four equal slender angles. *Thin-Walled Structures*, 48(9), 669-683.
- El Aghoury, M. A., Salem, A. H., Hanna, M. T., & Amoush, E. A., 2013. Ultimate capacity of battened columns composed of four equal slender angles. *Thin-Walled Structures*, 63, 175-185.
- Ellobody, E., 2013. A consistent nonlinear approach for analysing steel, cold-formed steel, stainless steel and composite columns at ambient and fire conditions. *Thin-Walled Structures*, 68, 1-17.
- Hikita, K. E., 2006. Impact of Gravity Loads on the Lateral Performance of Light Gauge Steel Frame / Wood Panel Shear Walls, M.Eng. Thesis. Montreal, QC, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University.
- IBC, 2006. International Building Code. Washington (DC), International Code Council.
- Javaheri-Tafti, Mohammad Reza, et al., 2014. An experimental investigation on the seismic behavior of cold-formed steel walls sheathed by thin steel plates. *Thin-Walled Structures* 80, 66-79.
- Kherbouche, S., & Megnounif, A., 2019. Numerical study and design of thin walled cold formed steel built-up open and closed section columns. *Engineering Structures*, 179, 670-682.
- Kiliç, M., Maali, M., & Aydın, A. C., 2019. The preliminary uniaxial compression behavior of corrugated cold formed steel members. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 12(2), 105-116.
- Kılıç, M., Alcan, H. G., Çelebi, O., Bayrak, B., Öz, A., Kaplan, G., & Aydın, A. C., 2023. The behavior of cold-formed steel geopolymeric composites. *Structural Concrete*, 24(6), 7355-7377.

- Kim, T. W., Wilcoski, J., Foutch, D. A., & Lee, M. S., 2006. Shaketable tests of a cold-formed steel shear panel. *Engineering Structures*, 28(10), 1462-1470.
- Lee, Yeong Huei, et al., 2014. Review on cold-formed steel connections. *The Scientific World Journal*.
- Lennon, R., R. Pedreschi, and B. P. Sinha, 1999. Comparative study of some mechanical connections in cold formed steel. *Construction and Building Materials*, 13.3, 109-116.
- Liao, F., Wu, H., Wang, R., & Zhou, T., 2017. Compression test and analysis of multi-limbs built-up cold-formed steel stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 405-415.
- Liu, P., K. D. Peterman, and B. W. Schafer, 2014. Impact of construction details on OSB-sheathed cold-formed steel framed shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*, 101, 114-123.
- Ma, J. L., Chan, T. M., & Young, B., 2016. Experimental investigation on stub-column behavior of cold-formed high-strength steel tubular sections. *Journal of Structural Engineering*, 142(5), 04015174.
- Macillo, Vincenzo, Luigi Fiorino, and Raffaele Landolfo, 2017, Seismic response of CFS shear walls sheathed with nailed gypsum panels, Experimental tests. *Thin-Walled Structures*, 120, 161-171.
- Maali, M., Aydın, A. C., Showkati, H., Sağiroğlu, M., & Kılıç, M., 2018. The effect of longitudinal imperfections on thin-walled conical shells. *Journal of Building Engineering*, 20, 424-441.
- Megnounif, A., Djafour, M., Belarbi, A., & Kerdal, D., 2008. Strength buckling predictions of cold-formed steel built-up columns. *Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal*, 28(4), 443-460.
- Mohebbi, Saeed, et al., 2015. Experimental work on single and double-sided steel sheathed cold-formed steel shear walls for seismic actions. *Thin-Walled Structures*, 91, 50-62.
- Mucha, Jacek, and Waldemar Witkowski, 2013. The experimental analysis of the double joint type change effect on the joint destruction process in uniaxial shearing test. *Thin-Walled Structures*, 66, 39-49.
- Muftah, F., Sani, M. S. H. M., Mohammad, S., & Tahir, M. M., 2014. Ultimate load of built-up cold-formed steel column. *ARPN J. of Eng. and Appl. Sciences*, 9(11), 2095-2101.
- Niari, Shirin Esmaeili, Behzad Rafezy, and Karim Abedi, 2015. Seismic behavior of steel sheathed cold-formed steel shear wall, experimental investigation and numerical modeling. *Thin-Walled Structures* 96, 337-347.
- Niari, Shirin Esmaeili, Behzad Rafezy, and Karim Abedi, 2015. Seismic behavior of steel sheathed cold-formed steel shear wall, experimental investigation and numerical modeling. *Thin-Walled Structures*, 96 , 337-347.
- Nie, Shaofeng, et al., 2020. Investigation on the design method of shear strength and lateral stiffness of the cold-formed steel shear wall. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-13.
- Ong-Tone, C., and Colin A. Rogers, 2009. Tests and evaluation of cold-formed steel frame/steel sheathed shear walls. Project Report, Dept. of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, QC, Canada.

- Peterman, K. D., N. Nakata, and B. W. Schafer, 2014. Hysteretic characterization of cold-formed steel stud-to-sheathing connections. *Journal of Constructional Steel Research* 101, 254-264.
- Piyawat, K., Ramseyer, C., & Kang, T. H., 2011. Nonlinear buckling of built-up cold-formed sections. *International Journal of Theoretical and Applied Multiscale Mechanics*, 2(2), 146-164.
- Rizk, Robert, 2018. Higher strength cold-formed steel framed/steel shear walls for mid-rise construction. Diss. McGill University (Canada).
- Roy, K., Ting, T. C. H., Lau, H. H., & Lim, J. B., 2019. Experimental and numerical investigations on the axial capacity of cold-formed steel built-up box sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 160, 411-427.
- Sadid, A.J., Aydın, A.C., 2023. Simulation of Cold-Formed Steel Shear Wall Sheathed with Steel Plate, Non-Linear Finite Element Modelling and Analysis, *Civil Engineering Beyond Limits*, 1, 1772.
- Santos, Veronica, 2018. Higher capacity cold-formed steel sheathed and framed shear walls for mid-rise buildings, Part 1. McGill University Canada.
- Santos, Veronica, 2018. Higher capacity cold-formed steel sheathed and framed shear walls for mid-rise buildings, Part 1. McGill University (Canada).
- Satpute, R. S., & Varghese, V., 2012. Building design using cold formed steel section. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 1(2), 01-16.
- Schafer, B. W., & Peköz, T., 1998. Computational modeling of cold-formed steel: characterizing geometric imperfections and residual stresses. *Journal of constructional steel research*, 47(3), 193-210.
- Schafer, B. W., 2011. Cold-formed steel structures around the world, A review of recent advances in applications, analysis and design. *Steel Construction*, 4(3), 141-149.
- Selvaraj, S., & Madhavan, M., 2019. Structural design of cold-formed steel face-to-face connected built-up beams using direct strength method. *Journal of Constructional Steel Research*, 160, 613-628.
- Serrette, R.L., 1997. Additional Shear Wall Values for Light Weight Steel Framing. Report No. LGSRG-1-97, Santa Clara University, Santa Clara, CA.
- Serrette, Reynaud, and Dean Peyton, 2009. Strength of screw connections in cold-formed steel construction. *Journal of structural engineering*, 135.8, 951-958.
- Shamim, Iman, Jamin DaBreo, and Colin A. Rogers, 2013. Dynamic testing of single-and double-story steel-sheathed cold-formed steel-framed shear walls. *Journal of Structural Engineering*, 139.5, 807-817.
- Stone, T. A., & LaBoube, R. A., 2005. Behavior of cold-formed steel built-up I-sections. *Thin-Walled Structures*, 43(12), 1805-1817.
- Wei-ming, Y. A. N., et al., 2017, Study on the mechanical property of self-piercing rivet and its constitutive model in cold-formed thin-walled steel. 34.8, 133-143.
- Whittle, J., & Ramseyer, C. (2009). Buckling capacities of axially loaded, cold-formed, built-up C-channels. *Thin-Walled Structures*, 47(2), 190-201.
- Xie, Zhiqiang, et al., 2018. Experimental investigation of cold-formed steel shear walls with self-piercing riveted connections. *Thin-Walled Structures*, 131, 1-15.

- Yan, Weiming, et al., 2017. Experimental investigation and design method for the shear strength of self-piercing rivet connections in thin-walled steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 133, 231-240.
- Yanagi, Noritsugu, and Cheng Yu, 2014, Effective strip method for the design of cold-formed steel framed shear wall with steel sheet sheathing. *Journal of Structural Engineering*, 140.4, 04013101.
- Yıldırım, S. G., 2010. Türkiye’de az katlı konutlar için yarı açık hafif çelik yapım sistemi önerisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Young, B., & Chen, J., 2008. Design of cold-formed steel built-up closed sections with intermediate stiffeners. *Journal of structural engineering*, 134(5), 727-737.
- Yu, Cheng, 2010. Distortional buckling of cold-formed steel shear wall studs under uplift force. *Journal of structural engineering*, 136.3, 317-323.
- Yu, Cheng, 2010. Shear resistance of cold-formed steel framed shear walls with 0.686 mm, 0.762 mm, and 0.838 mm steel sheet sheathing. *Engineering Structures*, 32.6, 1522-1529.
- Yu, Cheng, and Yujie Chen, 2011. Detailing recommendations for 1.83 m wide cold-formed steel shear walls with steel sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*, 67.1, 93-101.
- Yu, Cheng; Vora, Hitesh; Dainard, Tony; Tucker, Jimmy; and Veetvkuri, Pradeep, 2007. Steel Sheet Sheathing Options for CFS Framed Shear Wall Assemblies Providing Shear Resistance. American Iron and Steel Institute (AISI) Specifications, Standards, Manuals and Research Reports, 3.
- Yu, Wei-Wen, Roger A. LaBoube, and Helen Chen, 2019. Cold-formed steel design. John Wiley & Sons.
- Yuan, H. X., Wang, Y. Q., Shi, Y. J., & Gardner, L., 2014. Stub column tests on stainless steel built-up sections. *Thin-Walled Structures*, 83, 103-114.
- Zandonini, R., 1985. Stability of compact built-up struts, experimental investigation and numerical simulation. *Costruzioni metalliche*, 4, 288.
- Zeynalian, Mehran, 2017. Structural performance of cold-formed steel-sheathed shear walls under cyclic loads. *Australian Journal of Structural Engineering*, 18.2, 113-124.
- Zhang, Ailin, et al., 2019. Experimental investigation of CFS steel sheathed shear walls with openings using self-piercing rivets. *Thin-Walled Structures*, 138 2019, 313-325.
- Zhang, Wenying, et al., 2021. High-strength cold-formed steel framed shear wall with steel sheet sheathing. *Thin-Walled Structures*, 162, 107584.
- Zhang, Z., et al., 2020. Cyclic Performance of Steel Sheet Connections for CFS framed Steel Sheet Sheathed Shear Walls.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Ahmad Jamshid SADID
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Jami Lisesi
Lisans:	Herat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Yüksek lisans:	IIT Delhi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaatMühendisliği Anabilim Dalı
Doktora:	Atatürk Üniversitesi
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
American Society of Civil Engineers (ASCE)	
Yayınlar	
Afzali, Sadiq, Çağlar Özer, Baris Bayrak, Ahmad Sadid, Oğuzhan Çelebi, and Abdulkadir Aydın. "The Bending Behavior And Free Vibration Of The Concrete-Steel Composite Floors." <i>Advanced Steel Construction</i> 19, no. 3 (2023). Sadid, A.J., Aydın, A.C., Simulation of Cold-Formed Steel Shear Wall Sheathed with Steel Plate: Non-Linear Finite Element Modelling and Analysis, <i>Civil Engineering Beyond Limits</i>, 1(2023), 1772.	