

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM CEPHE KAPLAMA SİSTEMLERİNİN
EĞİLME KAPASİTESİNİN ARTIRILMASI

Ömer Faruk YELEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN: PROF. DR. FERİT ÇAKIR

EKİM 2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜST EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM CEPHE KAPLAMA SİSTEMLERİNİN
EĞİLME KAPASİTESİNİN ARTIRILMASI

Ömer Faruk YELEK

YÜKSEK LİSANS
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN: PROF. DR. FERİT ÇAKIR

II. DANIŞMAN: DR. SELÇUK DOĞRU

EKİM 2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**INCREASING BENDING CAPACITY
OF ALUMINUM CURTAIN WALL SYSTEMS**

Ömer Faruk YELEK

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING
PROGRAM**

ADVISOR: PROF. DR. FERIT CAKIR
II. ADVISOR: DR. SELCUK DOGRU

OCTOBER 2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16/10 /2023 tarih ve 2023/14 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/10/ 2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ömer Faruk YELEK'in tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Ferit ÇAKIR

ÜYE

: Doç. Dr. Onur ŞEKER

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Bora AKŞAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Günümüzde birçok farklı yapı türünde sıklıkla kullanılan cephe sistemleri arasında giydirme cephe sistemleri önemli bir yer tutmaktadır. Estetik görünüşleri ve üstün performans kriterleri sayesinde birçok modern yapıda tercih edilmektedir. Giydirme cephe sistemlerinin geçmişinde farklı malzemeler kullanılmış olsa da günümüzde en yaygın tercih edilen sistemler genellikle alüminyum ve camdan oluşan kaplama sistemleridir. Bu çalışmada, alüminyum dış cephe kaplama sistemlerinin eğilme davranışları incelenmiş ve cephe sistemlerinin eğilme kapasitelerini artırmaya yönelik araştırmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında alüminyum dış cephe kaplama sistemlerinde sıkça kullanılan ve Schüco firmasına ait olan 18 farklı profil enkesiti seçilmiş ve sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanılarak bu enkesitlerin eğilme kapasiteleri doğrusal olmayan analizler ile belirlenmiştir. Daha sonra, en düşük eğilme kapasitesine sahip profil tiplerinden iki farklı tür profil üzerinde sırasıyla alüminyum malzemenin alaşımında değişiklik yapılması, çelik malzeme ile takviye yapılması ve karbon fiber malzeme ile takviye yöntemleri ile kompozit enkesitler uygulanmış ve düşük eğilme kapasitesine sahip kesitlerin kapasitelerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda her üç yönteminde eğilme kapasitesi üzerinde katkı sağladığı belirlenmiş ve en büyük katkının karbon fiber malzeme ile güçlendirilmiş kompozit profilin analizi sonucunda elde edildiği belirlenmiştir. Bu tez çalışmasının temel amacı, giydirme cephe projelerinde genel olarak kullanılan profillerin taşıma kapasiteleri aşıldığı durumlarda, ek maliyetleri önlemek amacıyla mevcut profiller üzerinde ne tür güçlendirmeler yapılabileceğinin araştırılmasıdır. Bu sayede, piyasada yetersiz olan profillerin kullanılması ya da bir proje kapsamında kullanılan profillerin farklı kesitlere sahip türlerini kullanarak standart tasarımı karışıklığa sürüklemek yerine güçlendirilmiş profillerin kullanılması veya takviye edilmiş enkesitlere sahip profillerin üretilmesi gibi ekonomik ve verimli çözümlerin elde edilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cephe Kaplama Sistemleri, Alüminyum Giydirme Cephe, Eğilme Kapasitesi, Eğilme Dayanımı, Sonlu Elemanlar Yöntemi.

ABSTRACT

Cladding facade systems play a vital role in various structures today. With their aesthetic appeal and superior performance, they are widely preferred in modern buildings. Among the materials used in the past, aluminum and glass cladding systems are the most common choices nowadays. This study focuses on the bending behavior of aluminum cladding systems and aims to enhance their capacities. It analyzes 18 different Schüco cross-sectional profiles frequently used in aluminum cladding systems, employing the finite element method (FEM) and nonlinear analysis to determine their bending capacities. Additionally, two profiles with the lowest bending capacity are subjected to various methods, including altering the aluminum alloy, reinforcing with steel, and utilizing carbon fiber composites. The study examines the resulting changes in the bending capacities of these low-capacity sections. Nonlinear analysis reveals that all three methods contribute to increasing the bending capacity, with the most significant improvement achieved through carbon fiber composite reinforcement. The primary objective of this thesis is to explore potential reinforcements for existing profiles in cladding facade projects, aiming to prevent additional costs when the load capacities of commonly used profiles are exceeded. This research offers economic and efficient solutions, such as utilizing reinforced profiles instead of inadequate options available in the market or producing profiles with reinforced sections. By implementing these strategies, it is possible to obtain stronger and more reliable cladding systems while minimizing additional expenses.

Key Words: Cladding Facade Systems, Aluminum Curtain Wall, Flexural Capacity, Flexural Strength, Finite Element Method.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda olmak üzere, bana birçok konuda desteği olan ve yardımlarıyla yol gösteren, bu tez çalışmasının yürütülmesinde emek ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Ferit ÇAKIR'a, bilgi ve tecrübelerini paylaşarak katkılarını sunan değerli eş danışmanım Dr. Selçuk DOĞRU'ya minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bu süreçte göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili ekip liderim Mehmet BATTAL, ekip arkadaşlarım ve Erbay Alüminyum şirketine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her koşulda yanımda olan ve beni destekleyen aileme her daim minnettarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	5
1.2. Literatür Taraması	6
2. GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİ	11
2.1. Giydirme Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması	12
2.1.1. Çubuk Sistemler	14
2.1.2. Panel Sistemler	17
2.1.3. Yarı Panel Sistemler	19
2.2. Giydirme Cephe Sistemleri Performans Kriterleri	21
2.3. Giydirme Cephe Sistemleri Avantaj ve Dezavantajları	25
3. ALÜMİNYUM GİYDİRME CEPHE SİSTEMİ EĞİLME DAVRANIŞI	26
3.1. Eğilme Kapasite Eğrisi	26
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi	27
3.3. Sonlu Elemanlar Modelinin Basitleştirilmesi	29
3.4. Sonlu Elemanlar Analizleri	36
4. ALÜMİNYUM GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNDE EĞİLME KAPASİTESİNİN ARTIRILMASI	58
4.1. Alaşımın Değiştirilmesi	58
4.2. Çelik Takviye Uygulaması	64
4.3. Karbon Fiber Kompozit Takviye Uygulaması	78
5. SONUÇ	84
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	92

TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	93
EKLER	94



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Δ_i	: L/200 (EN 13830 Standart) sınır koşuluna göre yer değiştirme
Δ_u	: Maksimum yer değiştirme
A	: Kesit alanı
E_i	: Δ_i sınır koşuluna göre enerji sönümle kapasitesi
E_u	: Maksimum enerji sönümleme kapasitesi
F_i	: Δ_i sınır koşulundaki yer değiştirmeye göre taşıyabildiği kuvvet
F_u	: Taşıyabildiği maksimum kuvvet
I_x	: X eksen etrafındaki alan atalet momenti
I_y	: Y eksen etrafındaki alan atalet momenti
K_u	: Maksimum kapasitedeki rijitlik değeri
Fark-1	: Kesit-1 ile Kesit-2 arasındaki fark
Fark-2	: Kesit-1 ile Kesit-3 arasındaki fark
FEM	: Finite Element Model (Sonlu Elemanlar Modeli)
FEA	: Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)
Kesit-1	: 20x20 mm Kare Kesit
Kesit-2	: 20x19 mm Dikdörtgen Kesit
Kesit-3	: 20x21 mm Dikdörtgen Kesit

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1:	Empire State Binası, ABD. 2
Şekil 1.2:	Kızılay Emek İşhanı, Ankara. 2
Şekil 2.1:	Erbay Alüminyum I-City, Moskova/Rusya. 11
Şekil 2.2:	Erbay Alüminyum Maslak Square, İstanbul/Türkiye. 12
Şekil 2.3:	Çubuk Cephe Sistemi Montajı. 15
Şekil 2.4:	Schüco Kapaklı Çubuk Sistem Detayı. 16
Şekil 2.5:	Schüco Silikon Dolgulu Çubuk Sistem Detayı. 17
Şekil 2.6:	Panel Cephe Montajı. 18
Şekil 2.7:	Schüco Panel Giydirme Cephe Sistem Detayı. 19
Şekil 2.8:	Güneş Kontrolü Cam Filmleri. 23
Şekil 2.9:	Gün Işığı Kontrolü İçin Güneş Kırıcı. 23
Şekil 3.1:	Schüco UDC35-205 Profil Kapasite Eğrisi. 26
Şekil 3.2:	Sonlu Eleman Programında Analiz Örneği. 27
Şekil 3.3:	Erbay Alüminyum Schüco a) UDC30-125 Orijinal Profil 29 b) UDC30-125 Basitleştirilmiş Profil.
Şekil 3.4	Kesitlerde Sınır Şartları ve Sonlu Elemanlar Modeli. 30 Çalışma Kapsamında Dikkate Alınan Orijinal Kesitler, Erbay Alüminyum Schüco a) UDC35-130, b) UDC35-155, c) UDC35-205, d) UDC52-130, e) UDC52-155, f) UDC35-
Şekil 3.5:	205, g) FWS50-125, h) FWS50-150, i) FWS50-200, j) 31 FWS60-125, k) FWS60-150, l) FWS60-200, m) UDC80-129, n) UDC80-154, p) UDC80-204, r) SFC85-125, s) SFC85-150, t) SFC85-200.
Şekil 3.6:	Çalışma Kapsamında Dikkate Alınan Basitleştirilmiş Kesitler, Erbay Alüminyum Schüco a) UDC35-130, b) UDC35-155, c)UDC35-205, d)UDC52-130, e) UDC52-155, f) UDC35- 32 205, g) FWS50-125, h) FWS50-150, i) FWS50-200, j) FWS60-125, k) FWS60-150, l) FWS60-200, m) UDC80-129, n) UDC80-154, p) UDC80-204, r) SFC85-125, s) SFC85-150, t) SFC85-200.
Şekil 3.7:	Doğrusal Olmayan Malzeme Modeli. 36
Şekil 3.8:	Kesitlerde Sınır Şartları ve Sonlu Elemanlar Modeli. 37
Şekil 3.9:	ANSYS Programındaki İtmeye Karşılık Yapılan Analiz 38 Sonucu.
Şekil 3.10:	ANSYS Programındaki Uygulama Ağacı ve Sonuç Grafikleri. 38
Şekil 3.11:	Schüco, UDC35-130 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 39
Şekil 3.12:	Schüco, UDC35-155 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 40
Şekil 3.13:	Schüco, UDC35-205 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 41
Şekil 3.14:	Schüco, UDC52-130 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 42
Şekil 3.15:	Schüco, UDC52-155 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 43
Şekil 3.16:	Schüco, UDC52-205 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 44
Şekil 3.17:	Schüco, FWS50-125 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 45
Şekil 3.18:	Schüco, FWS50-150 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 46
Şekil 3.19:	Schüco, FWS50-200 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 47
Şekil 3.20:	Schüco, FWS60-125 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği. 48

Şekil 3.21:	Schüco, FWS60-150 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	49
Şekil 3.22:	Schüco, FWS60-200 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	50
Şekil 3.23:	Schüco, UDC80-129 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	51
Şekil 3.24:	Schüco, UDC80-154 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	52
Şekil 3.25:	Schüco, UDC80-204 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	53
Şekil 3.26:	Schüco, SFC85-125 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	54
Şekil 3.27:	Schüco, SFC85-150 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	55
Şekil 3.28:	Schüco, SFC85-200 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	56
Şekil 3.29:	Schüco Sistem Kesitleri Kapasite Karşılaştırması.	57
Şekil 4.1:	7075 T6 Alaşımına Ait Bilinear Isotropic Hardening Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.	59
Şekil 4.2:	UDC35-130A Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	60
Şekil 4.3:	UDC35-130 ve UDC35-130A Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	61
Şekil 4.4:	FWS50-125A Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.	62
Şekil 4.5:	FWS50-125 ve FWS50-125A Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	63
Şekil 4.6:	S235 Çelik Sınıfına Ait Bilinear Isotropic Hardening Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.	64
Şekil 4.7:	Çelik Takviyeli Kesitler a) FWS50-125 a1) FWS50-125S a2) FWS50-125S1 b) UDC35-130 b1) UDC35-130S.	65
Şekil 4.8:	UDC35-130S Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.	66
Şekil 4.9:	UDC35-130 ve UDC35-130S Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	67
Şekil 4.10:	FWS50-125S Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.	68
Şekil 4.11:	FWS50-125 ve FWS50-125S Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	69
Şekil 4.12:	FWS50-125S1 Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.	70
Şekil 4.13:	FWS50-125 ve FWS50-125S1 Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	71
Şekil 4.14:	S355 Çelik Sınıfına Ait Bilinear Isotropic Hardening Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.	72
Şekil 4.15:	Çelik Takviyeli Kesitler a) FWS50-125 a1) FWS50-125M b) UDC35-130 b1) UDC35-130M.	73
Şekil 4.16:	UDC35-130M Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.	74
Şekil 4.17:	UDC35-130 ve UDC35-130M Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	75
Şekil 4.18:	FWS50-125M Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.	76
Şekil 4.19:	FWS50-125 ve FWS50-125M Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	77
Şekil 4.20:	Karbon Fiber Malzemesine Ait Bilinear Isotropic Hardening Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.	78
Şekil 4.21:	Karbon Fiber Takviyeli Kesitler a) FWS50-125 a1) FWS50-125C b) UDC35-130 b1) UDC35-130C.	79

Şekil 4.22:	UDC35-130C Karbon Fiber Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.	80
Şekil 4.23:	UDC35-130 ve UDC35-130C Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	81
Şekil 4.24:	FWS50-125C Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.	82
Şekil 4.25:	FWS50-125 ve FWS50-125C Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.	83
Şekil 5.1:	Sistem Kesitleri Kapasite Karşılaştırması.	84
Şekil 5.2:	UDC Profil Sistemi Kapasite Eğrileri Karşılaştırması.	85
Şekil 5.3:	FWS Profil Sistemi Kapasite Eğrileri Karşılaştırması.	86



TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1: Yapı elemanlarının yaşam ömrünü etkileyen bozucu etmenler.	4
Tablo 2.1: Giydirmce cephe sistemlerinin karşılaştırılması.	20
Tablo 2.2: Binalarda Aydınlik Seviyesi Değerleri.	24
Tablo 3.1: Lineer Analiz Sonuçları ve Fark Tablosu.	30
Tablo 3.2: Schüco Ürünü UDC80 35 mm Panel Sistemi Profil Enkesit Değerleri.	33
Tablo 3.3: Schüco Ürünü UDC80 52 mm Panel Sistemi Profil Enkesit Değerleri.	33
Tablo 3.4: Schüco Ürünü FWS50 Çubuk Sistemi Profil Enkesit Değerleri.	34
Tablo 3.5: Schüco Ürünü FWS60 Çubuk Sistemi Profil Enkesit Değerleri.	34
Tablo 3.6: Schüco Ürünü UDC80 80 mm Panel Sistemi Profil Enkesit Değerleri.	35
Tablo 3.7: Schüco Ürünü SFC85 Çubuk Sistemi Profil Enkesit Değerleri.	35
Tablo 3.8: Sonlu Elemanlar Analizlerinde Kullanılan Malzeme Özellikleri.	36
Tablo 3.9: Schüco UDC35-130 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	39
Tablo 3.10: Schüco UDC35-155 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	40
Tablo 3.11: Schüco UDC35-205 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	41
Tablo 3.12: Schüco UDC52-130 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	42
Tablo 3.13: Schüco UDC52-155 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	43
Tablo 3.14: Schüco UDC52-205 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	44
Tablo 3.15: Schüco FWS50-125 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	45
Tablo 3.16: Schüco FWS50-150 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	46
Tablo 3.17: Schüco FWS50-200 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	47
Tablo 3.18: Schüco FWS60-125 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	48
Tablo 3.19: Schüco FWS60-150 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	49
Tablo 3.20: Schüco FWS60-200 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	50
Tablo 3.21: Schüco UDC80-129 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	51
Tablo 3.22: Schüco UDC80-154 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	52
Tablo 3.23: Schüco UDC80-204 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	53
Tablo 3.24: Schüco SFC85-125 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	54
Tablo 3.25: Schüco SFC85-150 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	55
Tablo 3.26: Schüco SFC85-200 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.	56
Tablo 3.27: Eğilme Kapasiteleri Düşük Profil Özellikleri.	57
Tablo 4.1: Tablo 4.1: Eğilme Analizinde Kullanılan Schüco Profili İçin Yeni Malzeme Bilgileri.	58
Tablo 4.2: Yeni Alaşımlı UDC35-130A Profili Kapasite Değerleri.	60
Tablo 4.3: UDC35-130 ve UDC35-130A Karşılaştırma Tablosu.	61
Tablo 4.4: Yeni Alaşımlı FWS50-125A Profili Kapasite Değerleri.	62
Tablo 4.5: FWS50-125 ve FWS50-125S Karşılaştırma Tablosu.	63
Tablo 4.6: Takviye Elemanı Olarak Kullanılan S235 Çelik Sınıfı Özellikleri.	64
Tablo 4.7: Çelik Takviyeli UDC35-130S Kompozit Profil Kapasite Değerleri.	66
Tablo 4.8: UDC35-130 ve UDC35-130S Karşılaştırma Tablosu.	67

Tablo 4.9:	Çelik Takviyeli FWS50-125S Kompozit Profil Kapasite Değerleri.	68
Tablo 4.10:	FWS50-125 ve FWS50-125S Karşılaştırma Tablosu.	69
Tablo 4.11:	Çelik Takviyeli FWS50-125S1 Kompozit Profil Kapasite Değerleri.	70
Tablo 4.12:	FWS50-125 ve FWS50-125S1 Karşılaştırma Tablosu.	71
Tablo 4.13:	Analizde Takviye Olarak Kullanılan S355 Çelik Sınıfı Özellikleri.	72
Tablo 4.14:	Çelik Takviyeli UDC30-135M Kompozit Profil Kapasite Değerleri.	74
Tablo 4.15:	UDC35-130 ve UDC35-130M Karşılaştırma Tablosu.	75
Tablo 4.16:	Çelik Takviyeli FWS50-125M Kompozit Profil Kapasite Değerleri.	76
Tablo 4.17:	FWS50-125 ve FWS50-125M Karşılaştırma Tablosu.	77
Tablo 4.18:	Analizde Takviye Olarak Kullanılan Karbon Fiber Özellikleri.	78
Tablo 4.19:	Karbon Fiber Takviyeli UDC30-135C Kapasite Değerleri.	80
Tablo 4.20:	UDC35-130 ve UDC35-130C Karşılaştırma Tablosu.	81
Tablo 4.21:	Karbon Fiber Takviyeli FWS50-125C Kapasite Değerleri.	82
Tablo 4.22:	FWS50-125 ve FWS50-125C Karşılaştırma Tablosu.	83
Tablo 5.1:	UDC Profil Sistemi % Kapasite Artışı Karşılaştırması.	85
Tablo 5.2:	FWS Profil Sistemi % Kapasite Artışı Karşılaştırması.	86

1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat sektöründe sıkça karşılaştığımız yapı türleri arasında, farklı cephe sistemleri önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler arasında özellikle giydirme cephe sistemleri, estetik görünüşleri ve üstün performans kriterleriyle dikkat çeken bir konuma sahiptir. Modern yapıların vazgeçilmez tercihleri arasında yer alan giydirme cephe sistemleri, yapıların dış yüzeyine estetik bir dokunuş sağlayarak, hem görsel açıdan çekici bir görüntü sunar hem de dayanıklılık ve izolasyon gibi performans özelliklerine katkıda bulunur. Bu nedenle, günümüzde birçok yapıda tercih edilen giydirme cephe sistemleri, mimari açıdan çeşitlilik ve işlevsellik sunarak, modern yapıların tasarımına büyük katkı sağlamaktadır. Günümüzde popüler bir şekilde kullanılan giydirme cephe sistemleri ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Pensilvanya eyaletinde bulunan 5. büyük şehri Philadelphia'da 1820 yılında iki katlı bir banka binasının cephesini kaplamak için kullanılmıştır [Gündüz, 2020]. Binaların inşasında çelik, bakır ve bronz gibi malzemeler yapı elemanı olarak kullanırken saflaştırılmamış alüminyumun yapı elemanı olarak kullanılması ise ilk olarak 1884 yılında Washington Anıtı üzerindeki kare piramitte kullanılmıştır [Tortu, 2006].

Giydirm cephe sistemlerinin günümüze kadar ki gelişme sürecinde yapı elemanı olarak cam, prekast beton, terra-cotta, ince porselen seramik, kompakt lamine ahşap, taş, bakır, titanyum, çinko, paslanmaz çelik ve alüminyum kaplama elemanları kullanılmıştır. Ancak, 1886 yılında Charles Martin Hall'ün alüminyumu elektroliz yöntemiyle saflaştırarak elde etmesi sonucunda alüminyumun yapı sektöründe kullanımı giderek artmış ve cephe kaplama sistemlerinde de yoğun şekilde tercih edilmiştir [Tortu, 2006]. Alüminyum malzemesinin kapsamlı olarak ilk uygulaması yüksek bir yapıda 1929 yılında New York'ta 4.000 alüminyum spandrel panelden inşa edilen ve yapımı 18 ay süren Empire State Binası olmuştur (Şekil 1.1) [Tortu, 2006]. Giydirm cephe sistemlerinin tarihi serüvende Türkiye'de ilk olarak kullanılması 1959 yılında Enver TOKAY ve İlhan TAYMAN tarafından Ankara ilinde inşa edilen Kızılay İşhanı'dır (Şekil 1.2) [Web 1, 2023].



Şekil 1.1: Empire State binası, ABD [Web 2, 2023].



Şekil 1.2: Kızılay Emek İşhanı, Ankara [Web 3, 2023].

Günümüzde giydirme cephelerin imalatında yoğun bir şekilde kullanılan alüminyum malzemesinin tercih edilme nedenleri cephe tasarımında esneklik sağlaması, kolay işlenebilir olması ve profil halinde kullanılabilmesidir. Alüminyumun giydirme cephe sistemlerinde tercih edilmesinin diğer etmenlerinden alüminyum malzemesinin $2,7 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğu ile diğer yapı elemanı olarak kullanılan çelik, bakır ve çinko gibi metal malzemelere kıyasla daha hafif olması imal edilirken işlenebilmesine ve

şantiyeye ulaştırılmasında kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca aşınmaya karşı dayanıklı, çevreci, az enerji ile kalite kaybı olmaksızın geri dönüştürülebilir, ısıya karşı iyi bir reflektör sunan ve cephesinde kaplama yapılan binanın nefes almasına engel teşkil etmeyen bir malzeme olması alüminyumun tercih edilmesinde önemli hususlar sağlamaktadır [Shams, 2019].

Giydirme cephelerden beklenen performans uygulama ve yapım maliyetince ekonomik, estetik mimari görünüş, çevre koşullarına karşı yalıtım, sağlam ve güvenilir koşullarına cevap vermelidir. Aşağıda sıralanan performans kriterleri doğrulandığında giydirme cephe sistemlerinin ömrünü uzatmaktadır [Alpur, 2009].

- Yangın Dayanımı
- Rüzgâr Dayanımı
- Deprem Dayanımı
- Yağmur, Kar Yüğü Dayanımı
- Su Geçirimsizliği
- Hava Geçirimsizliği
- Fiziksel Dayanım
- Kimyasal Dayanım
- Gürültü Kontrolü
- Güneş Kontrolü
- Havalandırma
- Isıl Konfor
- Genleşme
- Terleme ve Yoğuşma
- Temizlik ve Bakım
- Üretim ve Montaj Kolaylığı
- Sürdürebilirlik
- Estetik
- Maliyet
- Bileşen Sayısı
- Bileşen Ağırlığı ve Büyüklüğü
- Aplikasyon ve Montaj toleransı

Giydirme cephe sistemlerinin sunduğu üstün özellikler nedeniyle günümüzde yüksek yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bundan dolayı giydirme cephe sistemlerinin yapı ömrünce stabilitesini koruması ve performansında herhangi bir sorunun oluşmaması istenir. Ancak Tablo 1.1’de sıralanan bozucu etmenlere ilave olarak mimari ve mühendislik tasarım aşamalarında oluşan yanlış malzeme seçimi, statik analizinde hata yapılması, malzemeye ile uyumsuz detay çizilmesi vb. hatalar giydirme cephe sistemlerinin ömrünü belirleyen etmenler olmaktadır.

Tablo 1.1: Yapı elemanlarının ömrünü etkileyen bozucu etmenler [Yalaz vd., 2016].

Nitelik	Sınıf	Örnekler
Mekanik Etmenler	Yer Çekimi Deformasyon Kinetik enerji Titreşim ve ses	Kar, yağmur, buzlanma, kum fırtınası, darbe, trafik titreşimleri
Elektromanyetik Etmenler	Radyasyon Elektrik Manyetizma	Güneş ışınları, şimşek ve yıldırım, radyoaktif ışınım
Isıl Etmenler	Uç seviyeler ya da sıcaklıktaki hızlı değişimler	Sıcaklık, donma, ısıl şok, yangın
Kimyasal Etmenler	Su ve Çözücüler Oksidasyon İndirgeyici Maddeler Asit Bazlar Tuzlar Kimyasal Nötr	Hava nemi, zemin suyu, kireç, nitrat, fosfat, yağ, amonyak, patlama etkisi, kuş pisliği
Biyolojik Etmenler	Bitki ve mikrobiyal Hayvanlar	Mantar, küf, bakteri, bitki kökleri, kemirgenler, kuşlar, termit, kurt

İmalata malzeme tedarikçilerinin yanlış uygulamalarından oluşan standart dışı yöntem seçilmesi, yanlış malzeme kullanılması, hatalı malzeme birleştirilmesi gibi durumlar üretimsel hasar olarak nitelendirilebilir. Ayrıca, üretilen sistemin montajı sırasında oluşan yanlış sabitleme ürünleri ile sistemin binaya montajlanması, hatalı üretilmiş sistemler zorla yerine oturtulması, sistemin yanlış bölgeye monte edilmesi, yetersiz derz aralıklarının olması, montaj paftalarının yanlış okunması gibi durumlar montaj aşaması hasar olarak nitelendirilmektedir. Bunlara ilave olarak, Giydirme cephe sisteminin kullanılması sırasında açılır kanatlara aşırı kuvvet uygulanması ya da uzun

süre açık tutulması gibi durumlar kullanımsal hasar olarak nitelendirilmektedir. Giydirme cephe sisteminin ömrünü uzatmak ve performansını artırmak için aralıklı olarak bakımı sırasında oluşan deneyimsiz bir ekibin yanlış uygulamaları ve hatalı onarım sürecinin izlenmesi gibi durumlar bakım-onarımsal hasar olarak nitelendirilmektedir. Üretiminden montajına ve bakım-onarımına kadarki tüm aşamalarda uygulamanın ve malzemenin doğruluğunun denetlenmesi sırasında oluşan standartlara uygun olmayan ürünün onaylanması, hatalı montajın gözden kaçması gibi durumlar denetimsel hasar olarak nitelendirilmektedir. Şiddetli rüzgâr nedeniyle elemanlarda oluşan hasarlar, yakıcı güneş ışınlarının dolgu malzemelerinde bozulmalar, sıcaklıktan dolayı genleşme ve büzülme oluşması gibi durumlar çevresel etmenli hasarlar olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca, giydirme cephe sistemlerinin taşıyıcı bileşenlerinde, performansını sağlayan etmenlerde oluşan kusurlar sistem-bileşen hasarı olarak nitelendirilmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda yaygın olarak kullanılan alüminyum giydirme cephe sistemlerinin bina ömrü boyunca istenilen performansı sağlamasını, sistemin stabil bir şekilde statliğini korumasını, yapısal elemanlarının dış yüklere ve çevresel etmenlere karşı tasarım hesaplarında kullanılan standartlardan bazıları ülkemizde de kullanılmaktadır. Bu tasarım standartlarından yaygın olarak Aluminum Design Manual 2020 : 2020 : Design of aluminium structures, The Aluminum Association (AA), USA ve EN 1999-1-1 : 2021 : Design of aluminium structures - Part 1-1: General structural rules, The European Committee for Standardization, Belgium standartları kullanılmaktadır. Avusturalya'da da ADM standardına benzer olan AS/NZS 1664 standardı kullanılmaktadır. Bu standartlar alüminyum giydirme cephe sistemlerinin tasarım aşamasında mimar ve mühendisler tarafından kullanılarak yapılan analizler sonucunda sistemin statik durumu belirlenir ve analiz sonucuna göre uygun malzemeler seçilerek sistem imal etmeye hazır hale getirilir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu tez çalışması, alüminyum dış cephe kaplama sistemleri için önemli bir konu olan eğilme kapasitesi üzerine odaklanmaktadır. Bu tezin amacı, alüminyum giydirme cephe sistemlerinin eğilme kapasitesini artırmaya yönelik farklı yaklaşımları incelemek ve her bir yaklaşımın yapısal performans üzerindeki etkisini araştırmaktır.

Tez kapsamında, doğrusal olmayan analiz yöntemi ile tüm dünyada en çok tercih edilen 18 farklı tür alüminyum giydirme cephe sistem kesitlerinin eğilme kapasiteleri belirlenmiştir. Ardından en düşük eğilme kapasitesine sahip olan profiller üzerinde alüminyum alaşımasının değiştirilmesi, çelik malzeme ile takviye yapılması ve karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozit malzemenin kullanılması olmak üzere üç farklı yöntem ile iyileştirmeler yapılmış ve analizler tekrar edilmiş ve eğilme kapasitelerindeki artışlar incelenmiştir. Alüminyum cephe kaplama sistemlerinin eğilme kapasitesinin arttırılması adına yapılan bu çalışma, cephe sistemlerinin maruz kaldığı yükler altında davranışlarının anlaşılması, eğilme kapasitelerinin incelenmesi ve artırılması için yeni, ekonomik, etkin ve pratik çözümler elde etmeyi amaçlamaktadır.

Tezin içeriği, giriş bölümü ile başlamakta ve ardından literatür taraması, teorik temeller, araştırma yöntemleri, bulgular ve sonuçlar bölümlerini içermektedir. Literatür taraması, cephe kaplama sistemleri, giydirme cephe sistemleri ve eğilme davranışı gibi ilgili konuları kapsamaktadır. Teorik temeller bölümünde, eğilme kapasitesi ve bu kapasiteyi etkileyen faktörler detaylı olarak ele alınmaktadır. Araştırma yöntemleri bölümünde, sonlu elemanlar yöntemi ve kullanılan diğer analiz yöntemleri açıklanmaktadır. Bulgular bölümü, yapılan analizlerin sonuçlarını ve elde edilen verileri sunmaktadır. Sonuçlar bölümünde ise çalışmanın genel değerlendirmesi ve öneriler yer almaktadır.

1.2. Literatür Taraması

Kim ve Peköz, alüminyum yapısal elemanlarının gövde ve başlıklarındaki çıkıntılar dahil olmak üzere çeşitli en kesitlerde oluşturulabilir. Bu çıkıntılar yerel burkulma dayanım artışına bağlı olarak eğilme dayanımı artışına katkı sağlar. Bu çalışmada mevcut standart kuralları uygulanırken sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yedi farklı en kesitin sayısal burkulma analizi yapılır ve sonlu elemanlar analiz sonuçları ile parametrik çalışma sonuçları deney sonuçları ile doğrulanır [Kim and Peköz 2018].

Kesawan ve arkadaşları, cam ve alüminyum çerçeveli giydirme cephe sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada rüzgâr etkisine maruz kalan düşey kayıtın moment kapasitesi hakkında detaylı bilgi sunmaktadır. Eleman moment kapasitelerini tahmin etmek için çerçevedeki sabitleme noktaları dikkate alınarak

sonlu elemanlar modeli kurulmuştur. İncelemede değişen narinlik ile farklı en kesit geometrilere sahip, açık ve içi boş düşey kayıt performansları dikkate alınarak incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizi sonuçları, Aluminum Design Manual ve Eurocode 9 Part 1-1 design rules standartları ile karşılaştırılmıştır. Soğuk şekillendirilmiş çelik takviyelerle güçlendirilerek kapasite artışı incelenmiş ve gerçekte potansiyel kullanımı hakkında tartışılmıştır [Kesawan et al., 2019].

Alüminyum çerçevenin düşey yük taşıyan elemanları ince cidarlı erkek ve dişi kayıttan oluşan düşey kayıt çiftinden oluşur. Cam üzerine gelen yatay rüzgar yükünü ana taşıyıcı sisteme aktarırken erkek ve dişi düşey kayıtlar birbirine yaslanır. Bu şekilde bireysel moment kapasitelerinin toplamından daha büyük olması sağlanabilir. Klipsler bazen herhangi bir kanıt olmadan düşey kayıt çiftlerinin kapasitelerini artırmak için kullanılır. Bu nedenle, kullanılan düşey kayıt tasarım yöntemleri, güvenli veya güvensiz tasarımlarla sonuçlanabilir. Sivaprakasam ve arkadaşları, bu çalışma, klipsli ve klipssiz iki birleştirilmiş cephe panelinden oluşan gerçek bir cephe montajının hem negatif hem de pozitif rüzgâr etkileri altında tam ölçekli rüzgar simülasyon testleri yoluyla düşey kayıt çiftlerinin yapısal davranışını ve kapasitesini araştırmaktadır [Sivaprakasam et al., 2020].

Kesawan ve arkadaşları, giydirme cephelerin rüzgâr nedeniyle basma ve emme kuvvetine karşı eğilmeye maruz kalan alüminyum çerçevesinde düşey kayıt olarak kullanılan karmaşık şekilli profillerin kesit moment kapasitelerini incelemişlerdir. Çalışmada 6063-T6 alaşımlı düşey kayıtların mekanik özellikleri üzerine deneysel çalışma sonuçları gerilme-birim değiştirme grafikleri olarak sunulmuştur. Daha sonra kesitlerin sonlu elemanlar modeli kurularak mevcut deney sonuçlarını doğrulamışlardır. Sonlu elemanlar analizi sonuçları, üç tasarım yöntemi olan sınırlayıcı gerilim yönteminden, doğrudan dayanım yöntemi ve toplam moment kapasitesi yaklaşımı yöntemleri ile kıyaslanarak uygun tasarımı elde etmişlerdir [Kesawan et al., 2020].

Kaplama üzerine gelen rüzgar yükünü ana taşıyıcıya aktarmak birincil amacıdır. Ana elemandaki yanıl hareketin üç ana sebebinden ikisi olan düşey profilin iç boşluğunun basınçla üretilen kuvvet ve duvar yüzey malzemesi ya da düşey kayıttan düşey kayıta aktarılan moment, mevcut yöntemlerle dikkate alınmaz. Bu çalışmada Hemanth ve P Raj, düşey kayıttın iç başlıklarının duvara yatay ya da paralel hareket etmesine neden olan çeşitli fiziki eylemleri inceliyor ve Abaqus sonlu elemanlar modeli kullanarak

oluşturulanlarla kıyaslanıyor. Eril-dişi düşey kayıt kombinasyonu için sayısal modelleme kullanılarak elde edilen yanal yer değiştirmeler, Adam ve arkadaşlarının yaptığı geleneksel yöntem ve aritmetik ifadesinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [Hemanth and P Raj, 2022].

Alüminyum profillerin özkütlesinin azaltılması cephe sistemlerinin gelişimini yönlendirmektedir. Gövde kalınlığının azaltılması ve profil yüksekliğinin artması bina bileşenlerinin gerekli eğilme direncini sağlar. Bu tür optimizasyonlar gövdenin bozulmaya karşı savunmasız hale getirir. Burkulma sorunu çözümü, gövde deformasyon stabilize etmek, yük taşıma kapasitesi ve ince cidarlı kompozit elemanların deformasyon enerjisi emilimini artırmak için düşük modüllü dolgu malzemesi uygulamasına bağlanır. Gribniak ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada 3D baskı tekniğiyle düşük modüllü polimer destekler yapıştırılarak oluşturulan kompozit enkesitin eğilme direnci iki katına çıkarılmıştır [Gribniak et al., 2022].

Bu makale kapsamında, yüksek katlı binalarda giydirme cephe olarak yaygın olarak kullanılan panel sistemlerinin yapısal performans değerlendirmesine odaklanmıştır. Çalışmada, iki katlı bir panel sistemi üzerinde tam ölçekli kat arası kayma testi gerçekleştirilmiştir. Panel sistemin performansı hem deneysel hem de sayısal yöntemler kullanarak değerlendirilmiştir. Panel sistemi, depremlere benzer bir şekilde belirlenmiş yatay yer değiştirmelere maruz bırakılmıştır. Sistemin yapısal davranışı yer değiştirme ölçerleri ve sonlu eleman analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, panel sisteminin doğrusal davranış ve rijit diyafram davranışı sergilediğini göstermiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar benzer bulunmuş, basitleştirilmiş sayısal modelin etkinliği gösterilmiştir. Bu çalışma panel sistemin yapısal performansına ilişkin değerli bilgiler sunmakta ve bu alanda daha ileri araştırmalar için bir temel oluşturmaktadır [Dogru et al., 2022].

Bu bilimsel makale, modern yapılarında yaygın olarak kullanılan panel sistemlerde kullanılan cam panellerin kırılma dayanıklılığını araştırmaktadır. Cam paneller, bina kabuğuna şeffaflık ve esneklik sağlayan estetik mimari unsurlardır. Ancak, depremler veya patlama dalgaları gibi aşırı yüklere karşı kırılma ve hasara duyarlıdır. Çalışma kapsamında, iki katlı bir panel sistem modeli üzerinde tam ölçekli bir maket testi ve sonlu eleman yöntemleri kullanılarak sayısal bir analiz içermektedir. Sonuçlar, cam paneller üzerindeki gerilmelerin çerçevelerle bağlantı noktalarında yoğunlaştığını göstermektedir. Cam panellerin alt kısımları üst kısımlarından daha kırılma dayanıksızdır. Panel

sistemlerdeki cam panellerin kırılma davranışlarını anlamak, bu dış kaplama sistemlerinin tasarımını ve performansını iyileştirmek için önemlidir [Dogru et al., 2022].

Bu bilimsel makalede, binalarda yaygın olarak kullanılan yapısal olmayan kaplama sistemleri olan panel sistemlerinin düzlem dışı davranışına odaklanılmıştır. Çalışma, kat arası kaymaları hesaba katmak için panel sistemlerinin düzlem içi yalıtılmış bağlantı noktalarını araştırmayı amaçlamaktadır. Yazarlar, panel sistemlerin düzlem dışı davranışını analiz etmek için önceden doğrulanmış bir sonlu eleman modeli (FEM) ile deneysel sonuçları kullanmışlardır. FEA, cam plakalar, çerçeveler ve bağlantılara odaklanmış ve gerilme sonuçları gerilmelerin esas olarak cam panellerde ve bağlantılarda yoğunlaştığını göstermiştir. Cam panellerin üst kısımları alt kısımlara göre daha fazla zorluğa ve daha yüksek gerilmeye maruz kalmıştır. Çalışma, panel sistemi davranışının karmaşıklıklarını daha iyi anlama ve analiz için belirli bağlantı bölgelerini dikkate almanın önemini vurgulamıştır. Yazarlar, deneysel çalışmaların yürütülmesinde Erbay Alüminyum Şirketi'nin sağladığı yardımı kabul etmektedir. [Dogru et al., 2022].

Çerçevesiz cam korkuluk sistemleri (ÇCKS), güvenlik ve estetik faydaları nedeniyle mimari tasarımda giderek daha popüler bir seçim haline gelmektedir. Bu sistemler tipik olarak lamine veya temperli cam panellerden ve alüminyum kanallardan oluşmaktadır. Güvenliği sağlamak için, ÇCKS'lerin uluslararası standartlarda tanımlanan belirli bariyer yüklerini karşılaması gerekmektedir. Bu çalışmada, sonlu eleman analizi kullanarak yüksek yatay bariyer yükleri altında tabandan sabitlenmiş tamamen ÇCKS'nin yapısal performansını analiz etmeye odaklanılmıştır. Sonuçlar, ÇCKS'nin gerekli yükleri taşıyabilmesinin yanı sıra yapısal bütünlüğünü koruduğunu da göstermiştir. Bu çalışma, ÇCKS'lerin yapısal performansına ilişkin değerli fikirler sunmakta ve bu sistemlerin güvenliği için uluslararası standartlara uymanın önemini vurgulamaktadır. ÇCKS'ler, mimari tasarımlar için modern ve estetik bir çözüm sunmakta, hem güvenlik hem de görsel çekicilik sağlamaktadır [Dogru et al., 2023].

Bu çalışma, üçgen prizmatik cephe kaplama sistemlerinin yapısal performansını araştırmayı, bu sistemin avantaj ve dezavantajlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, bir örnek proje için üçgen prizmatik dış cephe kaplama sistemi geliştirilmiş ve sistemin performansını değerlendirmek için sayısal analizler yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, üçgen prizmatik cephe kaplama sistemlerinin bina dış cepheleri için uygun bir seçenek olduğunu göstermektedir. Sistem, benzersiz tasarım olanakları

sunmakta ve binaya farklı bir görünüm kazandırmaktadır. Ayrıca, sistem, doğal ışığın binaya girmesine ve yapay aydınlatma ihtiyacını azaltmasına olanak tanıyarak enerji verimliliği faydaları sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, çalışma aynı zamanda üçgen prizmatik cephe kaplama sistemlerinin bazı olası dezavantajlarını da belirlemiştir. Panellerin üçgen şekli, montajı daha zorlaştırabilmekte, bakım ve temizliği daha güçleştirebilmektedir. Genel olarak çalışma, üçgen prizmatik cephe kaplama sistemlerinin yapısal performansı ve tasarım hususları hakkında değerli bilgiler sunmaktadır. Bu bilgiler, projeleri için bu tür dış cephe kaplamayı düşünen mimarlar, mühendisler ve inşaatçılar için yararlı olabilir [Dogru et al., 2023].



2. GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİ

Giydirme cepheler, yapının taşıyıcı elemanı olmaksızın yapının mimari kusurlarını örten, kendini taşıyan ve uygun malzemelerle yapının taşıyıcı sistemine montajlanan bir kabuk sistemi olarak tanımlanmaktadır [Oraklıbel, 2014]. Bu tanıma benzer bir tanımlama da şu şekilde yapılmaktadır. Giydirme cephesi sistemleri, cephe sistemlerinin dış kuvvetler olarak yalnızca öz ağırlığına, rüzgâr ve deprem yüklerine karşı direnç göstereceği için giydirme cephe sistemi elemanlarının yapının taşıyıcı sistemine bağlanmasına yarayan ve dolgu veya kaplama gibi davranış sergileyen sistemlerdir [Oraklıbel, 2014]. Diğer bir tanımlama ise, sistemin taşıyıcı yapıdan bağımsız, yapı üzerinde asılarak sabitlenen, düşeyde kendi kütlesini yatayda rüzgâr ve sismik yükleri kayıt elemanlarıyla karşılayıp yükleri taşıyıcı sisteme aktaran ve mimari açıdan gerekli performansları sağlamak amacıyla iç ve dış ortam arasında engel teşkil eden yapı elemanlarıdır [Oraklıbel, 2014]. Bu yorumlara göre giydirme cepheleri özetle yapının taşıyıcı elemanından bağımsız olarak taşıyıcı sisteme montajlanan, kendi ağırlığını, rüzgâr ve sismik yükleri çerçeve elemanları ile yapıya aktaran, iç ve dış ortam arasında mimari performans gerekliliklerine göre oluşturulan bir kabuk sistemidir. Şekil 2.1’de bu tür bir kabuk sistemi örneği sunulmaktadır.



Şekil 2.1: Erbay Alüminyum I-City, Moskova/Rusya [Web 4, 2023].

Alüminyum giydirmce cephe sistemleri, Şekil 2.2'deki gibi yapıların estetik cazibesini artırmak ve zararlı çevresel etmenlere karşı bir engel oluşturmak için kullanılan meşhur kaplama sistemleridir. Gıydırmce cephe sistemleri binanın yapısal bir bileşeni olarak çalışması amaçlanmamıştır ve genelde ikincil taşıyıcı eleman olmakla birlikte düşeyde yalnızca kendi ağırlıklarını taşıyacak, rüzgâr ve deprem yükleri gibi yanal yüklerin yanı sıra sıcaklık, nem ve rutubet gibi çevresel etkilere maruz kalacak şekilde tasarlanmışlardır. Gıydırmce cephelerin yapısal olmayan davranışı gereği cam ve alüminyum gibi daha hafif ve daha ucuz malzemeler, inşaat maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olacak şekilde inşa edilme eğilimindedir [Doğru et al., 2022].



Şekil 2.2: Erbay Alüminyum Maslak Square, İstanbul/Türkiye [Web 5, 2023].

2.1. Gıydırmce Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması

Alüminyum giydirmce cephe sistemleri yapılan araştırma sonucunda kullanılan malzeme, sistem bileşenleri arasındaki ilişki, imalat ve montaj yöntemleri gibi farklı etmenler göz önünde bulundurularak yapıldığı görülmektedir.

Şenkal'a göre ağırlığı 100 kg/m^2 'den fazla olan yani beton esaslı panellerden oluşan sistemler “Ağır Asma Gıydırmce Cephe”, ağırlığı 100 kg/m^2 'den düşük olan yani giydırmce cephe bileşenlerinin binanın taşıyıcı sistemi üzerine montajlandığı saydam

ya da mat camlardan üretilen panel türü ise “Hafif Asma Giydirmce Cephe” olarak iki farklı sınıfta nitelendirilmektedir [Şenkal, 2002].

AAMA CW-DG-1-96 standardında yapılan sınıflandırmaya göre ise 5 başlıkta incelenmiştir [AAMA, 2005].

- Çubuk Sistem
- Ünite Sistem
- Ünite ve Kayıt Sistem
- Panel Sistem
- Kolon Kapak ve Spandrel sistem

Aygün tarafından yapılan bir çalışmada ise giydirmce cephele 7 başlık altında sınıflandırılmıştır [Alpur, 2009].

- Cephe modülüne göre giydirmce cephele
- Derzlerde sızdırmazlığa göre giydirmce cephele
- Taşıyıcı ızgaraya göre giydirmce cephele
- Bağlantı durumuna göre giydirmce cephele
- Yerleştirme yönüne göre giydirmce cephele
- Dolgu birimine göre giydirmce cephele
- Izgara ve dolgu birimi ilişkisine göre giydirmce cephele

Mimari gelişmeler doğrultusunda ilerleyen giydirmce cephele de artık günümüzde çeşitliliğini artırmış durumdadır. Bu çeşitlilik içerisinde sistemlerin anlaşılması ve uygulanması bakımında kolaylık sağlamak amacıyla araştırmacılar sistemleri sınıflandırma girişiminde bulunmaktadırlar. Bu sınıflandırma içerisinde de farklı değişkenlere göre en kapsamlı sınıflandırma Eekhout tarafından yapılmıştır. Eekhout’a göre bunlar:

- Doluluk, Boşluk ve Yapım Şekillerine Göre Cephele
- Yapım Malzemeleri ve Panel Dolgularına Göre Cephele
- Montaj Tekniğine Göre Cephele
- Yüzey Sayılarına Göre Cephele

Önemli İkincil Özelliklerine Göre Cepheler, şeklinde 5 başlık altında sunulmuştur [Alpur,2009].

Başka bir kaynakta ise Centre for Window and Cladding Technology (CWCT)'ye yapılan sınıflandırma içeriğinde yaygın şekilde kullanılan sistemsel terimlerden söz edilir. Bunlar:

- Çubuk Sistem
- Panel Sistem
- Spandrel Panel Şerit
- Taşıyıcı Silikonlu
- Taşıyıcı Camlı-Mekanik Tespit
- Taşıyıcı Camlı – Sıkı Bağlantılı, şeklinde sıralanmıştır [Saban, 2021].

Alüminyum giydirme cephe sistemleri bu çalışma kapsamında imalat ve montaj koşulları göz önünde bulundurularak 3 başlıkta incelenecektir.

- Çubuk sistem
- Panel Sistem
- Yarı Panel Sistem

2.1.1. Çubuk Sistemler

Günümüzde yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Şekil 2.3'te belirtilen sistemin projelendirilmesinde önceden yerinde alınan ölçümlere göre yapılırken günümüzde üç boyutlu çizim programları kullanılarak yerinde ölçüm almaya gerek kalmadan program üzerinden gerçeğe yakın ölçümler alınarak sistem kurulabilmektedir. Proje hazırlandıktan sonra şantiye ortamında öncelikli olarak bağlantı elemanı yani ankrajlar yapının taşıyıcı sistemine üç boyutlu çizim programı üzerinden verilen koordinatlara göre montajlanır. Ankrajlar montajlandıktan sonra düşey taşıyıcı olarak çubuk sistemi oluşturan düşey profiller bağlantı elemanlarına ve yatay profiller de düşey profiller üzerine monte edilir. Yatay taşıyıcı sistemlerde yatay profiller döşemeye bağlanır ve düşey profiller de yatay profiller üzerine oturtulmaktadır. Sistemin taşıyıcı

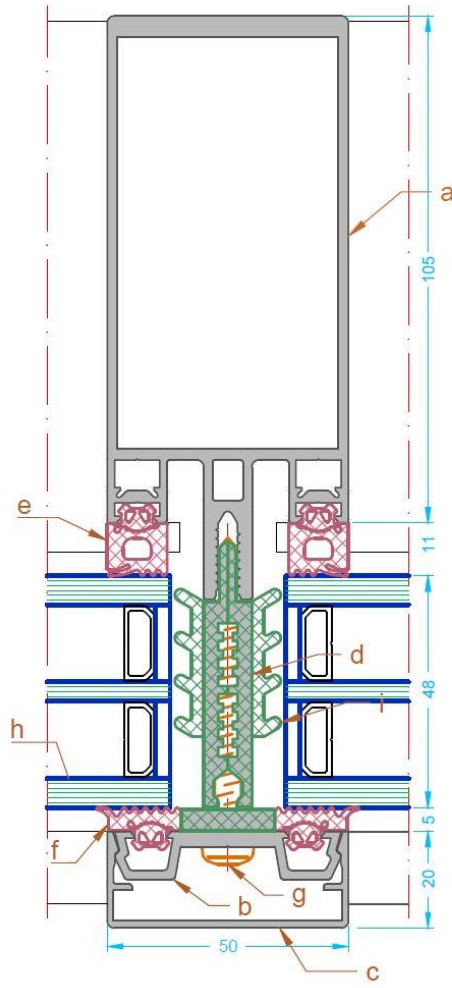
profillerinde birleşme noktalarında ısı genleşmelerden dolayı oluşacak uzama ve kısalmaları telafi edebilmek için dilatasyon boşlukları açılır. Aksesuar olarak adlandırılan fitil, cam takozu, yalıtım malzemeleri gibi bileşenler montajın her aşamasında kullanılmaktadır. Yapıyı sarmalayan ızgara görünümündeki bu oluşum sistemin karkasını oluşturmaktadır. Tamamlanan karkas üzerine vakumlu vinçler yardımıyla camlar cam takozu üzerine oturtulur ve son aşaması olan silikon ya da kapakların uygulanmasıyla sistem hazır hale gelir [Sarar, 2018].



Şekil 2.3: Çubuk Cephe Sistemi Montajı [Web 6, 2023].

Maliyeti düşük olduğu için fazlaca tercih edilen bir sistemdir. Kolay uygulanabilen bu sistemin hareket toleransı 1-2 mm aralığında olmasından dolayı binanın yatayda veya düşeyde hareketlenmesine karşı zayıf bir uyumu vardır [Şenkal, 2002]. Çubuk sistemin kurulumunda montajdan kaynaklı hatalar çok olabileceği için işi iyi bilen bir ekip tarafından yapılmalı ve detayları ayrıntılı olarak çalışılmalıdır. Büyük yüzeyler ve kat sayısı 20’yi aşan yapılarda kullanılması önerilmemektedir [Kocaman, 2019].

Çubuk sistemler Şekil 2.4’teki kapaklı ve Şekil 2.5’teki silikonlu olarak iki gruba ayrılırlar. Bu grup içerisinde de uygulaması en kolay olan kapaklı sistem olduğundan uzun süredir çubuk sistem içerisinde kapaklı olanı kullanılmaktadır [Sarar, 2018].



- a) Düşey profil
- b) Baskı kapağı
- c) Kapak Başlığı
- d) Isı Bariyeri
- e) Cam fitili
- f) Kapak fitili
- g) Sabitleme vidası
- h) Cam
- i) Köpük Şerit

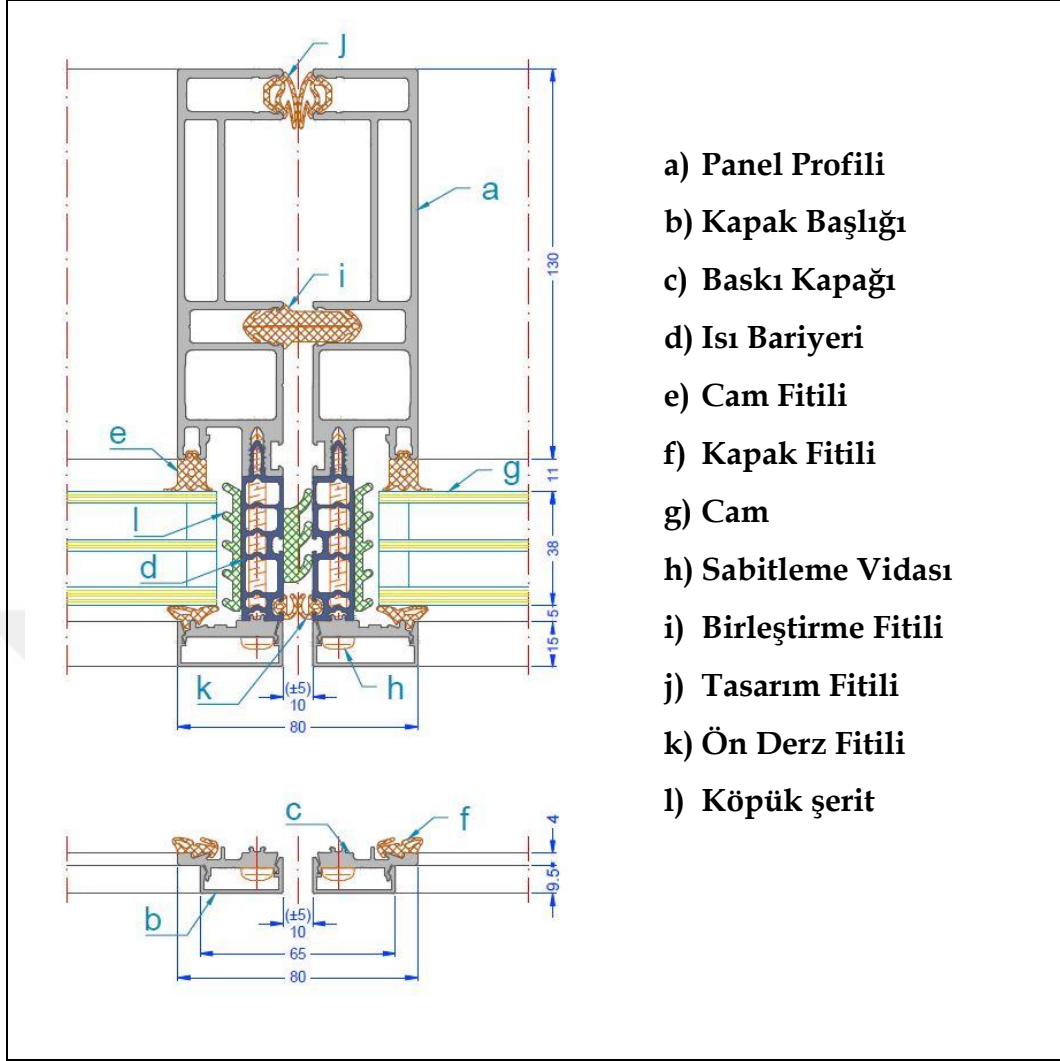
Şekil 2.4: Schüco Kapaklı Çubuk Sistem Detayı [Web 7, 2023].

Panel sistemler fabrika ortamında üretildiği için üretiminden şantiye sevkine kadar ki süreçte her türlü imalat kontrolünden geçmektedir. Bu sayede de gereken performans özelliklerini daha iyi bir şekilde karşılamaktadır [Saray, 2018].



Şekil 2.6: Panel Cephe Montajı [Web 9, 2023].

Maliyeti diğer sistemlere göre yüksek olsa da sağladığı üstün performans ve konfor özellikleri ile tercih edilen Şekil 2.7'deki bu sistem, şantiyede diğer sistemlere göre hızlı montaj edilebilmesi nedeniyle fazla maliyeti uzun süren montaj aşamaları kısaltarak telafi etmektedir. Üstelik yapının yatay ve düşeyde oluşturacağı hareketleri sönümleyebilecek kabiliyettedir [Kocaman, 2019].



Şekil 2.7: Schüco Panel Giydirmce Cephe Sistem Detayı [Web 10, 2023].

2.1.3. Yarı Panel Sistemler

Kat boyunda ve kat bazında düşey şeritler şeklinde hazırlanan sistem elemanları parçalar halinde şantiyeye sevk edilir. Sevk edilen profiller montaj paftasına göre önceden yerleştirilen ankrajlara bağlanır ve yatay profiller düşey profiller üzerine monte edilerek sistem içinde süreklilik sağlanır. Sistemde her kat içerisinde bağımsız olsa da kaplama elemanları bütünlük sağlamaktadır. Cam gibi diğer aksesuarların dıştan ya da içten takılacak şekilde iki şekilde uygulaması bulunur [Kocaman, 2019].

Yarı panel sistemleri panel sistemlere göre daha ekonomik olması ve bina hareketlerine karşı daha esnek olması panele göre avantaj sağlamaktadır [Kocaman, 2019].

Tablo 2.1: Giydirme Cephe Sistemlerinin Karşılaştırılması [Ağdemir, 2017].

Çubuk Sistem	Yarı Panel Sistem	Panel Sistem
Profiller Şantiyede Birleştirilir.	Profiller Şantiyede Birleştirilir.	Paneller fabrikada hazırlanır
Şantiyede panel haline getirilen cam paneller şantiyede taşıyıcı ızgaraya bağlanır	Fabrikada panel haline getirilen cam paneller şantiyede taşıyıcı ızgaraya bağlanır	Cam paneller fabrikada hazırlanır ve fabrikada taşıyıcı çerçeveye montajlanır
Rijit bir sistemdir	Çubuk sisteme göre esnektir	Esnek bir sistemdir
Yarı panel ve panel sistemine göre düşük maliyetlidir.	Panel sisteme göre ekonomik, çubuk sisteme göre pahalıdır	Maliyeti yüksektir
İnce işçilik gerekir	Çubuk sisteme göre daha az işçilik isterken panele göre daha çok işçilik ister	İnce işçilik gerekmez
Hatalı montaja müdahale kolaydır.	Çubuk sisteme göre zor, panel sisteme göre kolaydır	Hata ve hasar durumunda telafisi zordur
Montaj süresi uzundur	Montaj süresi çubuk sistemden az panel sistemden uzundur	Montaj süresi kısadır
Montaj sırasında iş yükü fazladır	Çubuk sistemle aynı iş yüküne sahiptir.	Daha az insan gücü, daha çok makine gücü gerekir
Malzemenin şantiyede hasar görme olasılığı yüksektir.	Şantiyede hasar görmeden depolanır	Malzeme şantiyeye modül olarak geldiği için hasar görme olasılığı düşüktür
Montaj için iskelet gerekir	Montaj için vinç gerekir	Montaj için vinç gerekir
Yatay ve düşey hareketlere karşı uyumu zayıftır.	Yatay hareketlere karşı doğru ve ekonomik bir çözümdür	Yatay ve düşey hareketlere karşı uyumu daha iyidir
İşçilik hata oranı yüksektir	İşçilik hata oranı çubuk sistemden az, panel sistemden yüksektir	Fabrikada hazırlandığı için hata oranı azdır

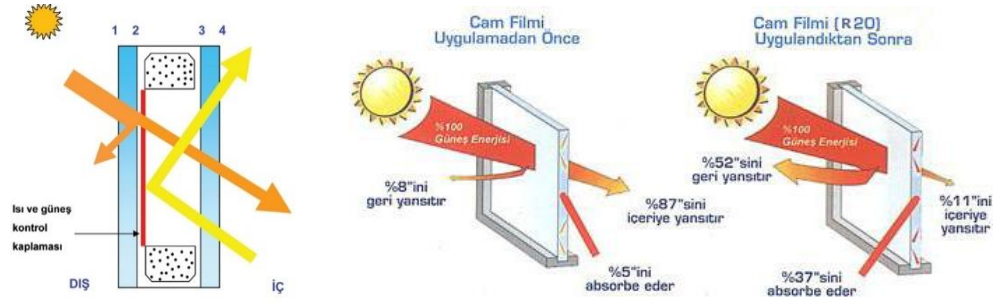
Tablo 2.1’de yapılan karşılaştırmalara nispeten sektör bazında bakıldığında montajlanmasına göre yapılan üç sınıf giydirme cephe türünden çoğunlukla panel sistem cepheler ve çubuk sistem cepheler tercih edilmektedir. Bu nedenle yarı panel konusunda yerel sektörde bilgi eksiklikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada çoğunluk olarak tercih edilen sistemlerden panel sistem ve çubuk sistem üzerinde durulacaktır.

2.2. Giydirme Cephe Sistemleri Performans Kriterleri

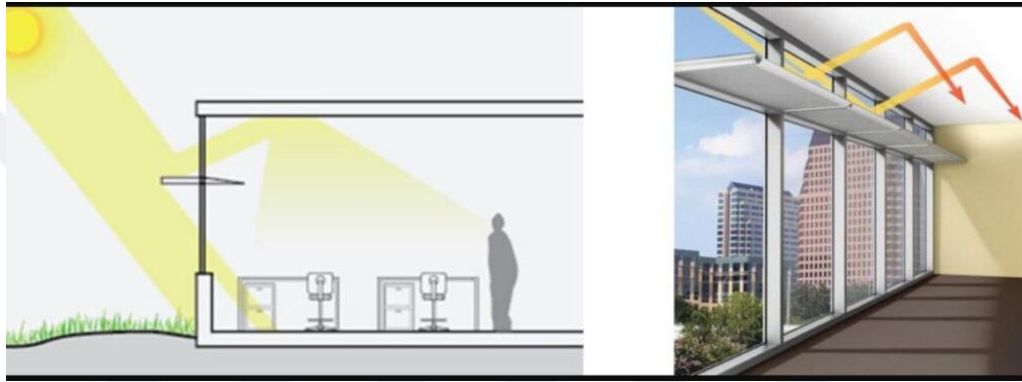
İnsanların barınma ihtiyacını karşılayan yapıların dış etkenlere karşı kabuğunun sağlam, kullanışlı ve estetik gibi hususları da sağlayabilmelidir. Yapıyı çevreleyen bu sistemler dış etkilere karşı bir duvar görevi görmektedir. Üstlendiği bu görev ile içinde barındırdığı insanların yaşam ortamını rahat ve elverişli bir duruma getirmelidir. Diğer bir deyişle bu saydam yüzeyler konfor şartlarını sağlayabilmek için aynı anda bir çok performans gereksinimini sağlayabilmelidir [Alpur, 2009].

- **Isı Korunumu:** İnsanların bulunduğu ortamda sıcaklıktan kaynaklı şikayet etmemeleri ve bu ortam içinde az enerji harcamalarının sağlanmasıdır. Isı transferi ısı korunumu sağlama konusunda giydirme cephelerde önem arz etmektedir. Isıl performans için TS 825 yönetmeliğince üç genel kriter göz önünde bulundurulur:
- **Isı İletkenlik Katsayısı (U):** Isı transfer miktarı azalırsa ısı korunum düzeyi artar.
- **Güneş Isı Kazanç Katsayısı:** Güneşten ısı kazanca ihtiyaç duyulup duyulmamasına göre değerlendirilerek sistemlerin camları seçilir. Güneş ısı kazanç katsayısı (SGHC) değeri ile ölçülür.
- **Güneş Işığı Yeterliliği (Dx):** Saydam yüzeylerin görünür alan ışıyım geçirgenliğinin gölgeleme katsayısına (SC) oranı gün ışığı yeterliliğini (Dx) verir. Normal düz camlarda bu değer 1 iken yüksek performanslı camlarda 1,25-2 aralığında olmaktadır.
- **Su Sızdırmazlık:** Giydirme cephelerinin yağmur, kar, kılcal sızıntı ve nem gibi sızıntı oluşturarak insan yaşamında konforu bozacak ve yapıya zarar verecek etmenlere karşı proje aşamasında yalıtım detaylarının çözülmesi ile sistemin bir bütün şekilde çalışmasını sağlamaktır. Bu performans kriteri TS EN 13051 ve EN 12155 standartlarına göre uygulanmaktadır.
- **Taşıyıcılık:** Giydirme cephe üzerine gelen yükleri ve kendi ağırlığını yapının taşıyıcı elemanlarından bağımsız olarak taşıyıcı yapı üzerine montajlanan ankrajlar sayesinde cephe yüklerinin taşıyıcı yapıya aktarılmasıdır.

- Gürültü Kontrolü:** İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan dış ortam gürültüsünün iç ortama ulaşmasını engellemek ve iç ortamdaki sesin yansıma, yutulma gibi durumlarını önlemek amacıyla yapılması gereken bir konfor şartıdır. Sesin ölçü birimi olan desibel, rahatsız edici seviyelere ulaştığında gürültü düzeyini belirlemektedir. Gürültü düzeyi 120-150 dB arası ağır verici ortam, 90-110 dB arası rahatsız edici ortam ve 10-50 dB arası huzurlu ortam olarak bahsedilebilir. Hastaneler için 20-25 dB, yaşam ortamları için 25-30 dB, umuma açık alanlarda 35-40 dB ve ofis çalışma ortamında 35-40 dB aralığındaki desibel seviyelerinde huzurlu bir ortamdan bahsetmek mümkün olmaktadır. Dış gürültü, giydirme cephe malzemesi akustik performansı ve iç ortamlarda istenilen gürültü düzeyini belirlemek için R_{mean} (R_m) ortalama yalıtım katsayısı, $R_{weighted}$ (R_w) ağırlıklı yalıtım katsayısı, R_{TA} ya da R_d trafik gürültüsü yalıtım katsayısı ve ASTM E 413 standardına göre sound transmission class (STC) gibi sayılan şablonlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlere göre giydirme cephelerin cam seçimi ve detayları tasarlanmaktadır.
- Genleşme ve Hareketler:** Isıl genleşmelerden kaynaklı uzamalar ve kısaltmalar, rüzgar ya da sismik etkiden dolayı yapıda oluşan hareketler nedeniyle giydirme cephe elemanlarında oluşabilecek hasarların önlenmesidir. “Genleşme derzi bırakılmadan kesintisiz 200 metre uygulanan bir alüminyum cephe paneli, kışın minimum -20°C , yazın güneş etkisi ile $+60^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ısındığında, değişen boy farkı 38 cm’yi bulmaktadır.”
- Işık Geçirgenliği, Renk ve Işık Yansıması:** İnsanların yaşamlarını rahat sürdürebilmesi için belli bir ışığa ihtiyaç duymaktadırlar. Görme konforunu sağlamak için aydınlık düzeyi, parlılık ve renk etkenlerinin belirli bir değer aralığında olmasını sağlamakla mümkün olmaktadır. The Chartered Institution of Building Services (CIBSE) tarafından konforlu aydınlık düzeyi için alınması gereken değerler belirlenmiştir. Gün ışığının %53’ünü kızılötesi ışınları, %3’ünü ultraviyole ışınlar ve %44’ünü görünür ışık oluşturmaktadır. Bu nedenle cephelerde gün ışından yararlanmak ve ısı kontrolünü sağlamak amacıyla giydirme cephelerde camlara Şekil 2.8’deki gibi kaplama, camı boyama ve cephelerde Şekil 2.9’daki güneş kırıcı gibi uygulamalar yapılmıştır.



Şekil 2.8: Güneş Kontrolü Cam Filmleri [Web 11, 2023].



Şekil 2.9: Gün Işığı Kontrolü İçin Güneş Kırıcı [Web 12, 2023].

- **Yangın Korunumu ve Güvenlik:** Ergime sıcaklığı 660°C , tutuşma sıcaklığı 760°C olan alüminyum yanıcı bir metaldir ve D sınıfı yangın oluşturur. Alüminyum yangınlarında su ile söndürme yapılmaz çünkü su ile tepkimeye girerek hidrojen gazı ortaya çıkarır. Kuru kimyevi tozlu, karbondioksitli ve halojenli maddeler ile de zararlı tepkimeler oluşturur. TS 1263, TS 4065 ve Avrupa standartlarına göre yangına dayanıklılık testlerine göre yangına dayanım süreleri belirlenir [Web, 1].

- Yangına dayanımı 30-59 dk olan F30,
- Yangına dayanımı 60-89 dk olan F60,
- Yangına dayanımı 90-119 dk olan F90,
- Yangına dayanımı 120-179 dk olan F120,
- Yangına dayanımı 180 dk ve fazlası olan F180,

EN 13501-2 standardına göre;

- **E sınıfı:** Alev ya da sıcak gazlar yangın dışı tarafta gözükmez.
- **EW sınıfı:** E sınıfına ek olarak ısı cam önüne geçmez (15 kW/m²)
- **EI sınıfı:** Isı kalkanı, elemanın yangın dışı tarafı yaklaşık 140°C sıcaklığı aşamaz.

Herhangi bir yangın olasılığına karşı yangına dayanıklı cam ve duman kontrolünün insan yaşamı için sağlanması gerekmektedir. Yangın olduğunda giydirme cephelerin de yüksek sıcaklık karşısında taşıyıcılığının tehlikeye girmesini önlemek gerekmektedir.

Tablo 2.2: Binalarda Aydınlık Seviyesi Değerleri [Alpur, 2009].

Bina Türü:		Aydınlık Düzeyi (I _x):
Oteller	Giriş holleri	100
	Resepsiyon	300
	Bagaj odası, gardırop	100
	Restoran	50-200
	Lobby	200
Bürolar	Genel bürolar	500
	Dosyalama işlemleri	300
	Konferans salonu	500
	Bilgisayarla çalışma	500
	Çizim büroları	500

- **Diğer Kriterler:** Temizlik ve Bakım, Estetik Görünüm, Yapım ve Montaj, Üretim Kolaylığı ve Güvenirliliği, Aplikasyon ve Montaj Toleransı, Bileşen Sayısı, Bileşen Büyüklüğü ve Ağırlığı gibi unsurlarda araştırmalara göre performans kriterleri içerisinde sayılmaktadır.

2.3. Giydirme Cephe Sistemleri Avantaj ve Dezavantajları

Giydirme cephe sistemleri için sistemin kurulması için kullanılan malzeme, farklı mimari yapılara göre projelendirilmesi, taşıyıcı sistemi, sistemin yerine uygulanma yöntemi ve sağladığı performans koşulları gibi nedenlerle olumlu ya da olumsuz yönleri bulunmaktadır [Matnagh, 2019], [Demirkale, 217]. Olumlu yönleri;

- Cephe ağırlığının azaltılması,
- Yapıları kinetik enerji, kılcal su etkisinden, nem ve gürültüden koruması,
- Yapıları zararlı güneş ışınlarından ve dış etkilere koruması,
- Yalıtım kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlaması,
- Çatlak oluşumunu engeller ve olası şekil hatalarını örtmesi
- Bakım ve onarım sıklığı minimuma indirilmesi,
- Binaya estetik görünüm kazandırması,
- Yapıda zamanla oluşan doku ve renk hasarlarını daha az göstermesi,

Olumsuz yönleri ise;

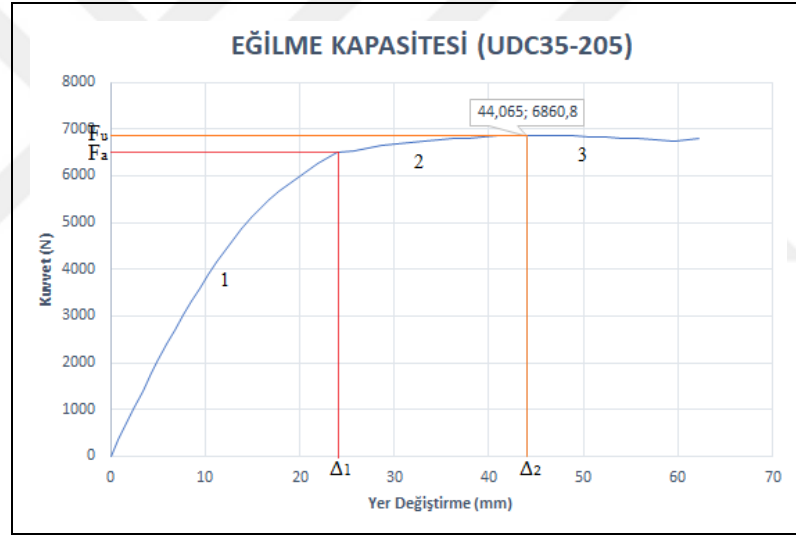
- Yüksek maliyette olması,
- Montaj sırasında çerçevelerin ısı genleşmeler, derzler, dolgular ve yerine sabitleme gibi durumlarda oluşabilecek hataları indirmek için tecrübeli ekibe ihtiyaç duyulması,
- Isı performanslarının geniş cam yüzeylerine sahip olmaları ve ısı köprüleri nedeniyle düşük olması,
- Çubuk sistemlerinin montajlanma süresinin uzun sürmesi, paneller için de stoklanacak bir depolama alanının gerekmesi,
- Metallerle yapışmaz,
- Nem ve hava taneleri kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz etkilemesi,
- Kertme, kesme ve delme işlemleri liflerde açılmalara neden olması,
- Farklı doğrultularda farklı mukavemet özellikleri sergilemesi olarak sıralanabilir.

3. ALÜMİNYUM GİYDİRME CEPHE SİSTEMİ

EĞİLME DAVRANIŞI

3.1. Eğilme Kapasite Eğrisi

Giydirme cephe sistemlerinin taşıyıcı elemanları olan profiller üzerine gelen dış yükler altında profilde sehimler gerçekleşecektir. Taşıyıcı elemana etkiyen kuvvet akma mukavemetini aşmadığı müddetçe tasarımda kullanılan elastik bölge içerisinde kalmaktadır. Şekil 3.1’de verilen kuvvet-yer değiştirme grafiğinde görüldüğü üzere taşıyıcı eleman etkiyen yükler altında oluşan yer değiştirmeye karşı taşıyabileceği kuvvet eğrisi verilmiştir.

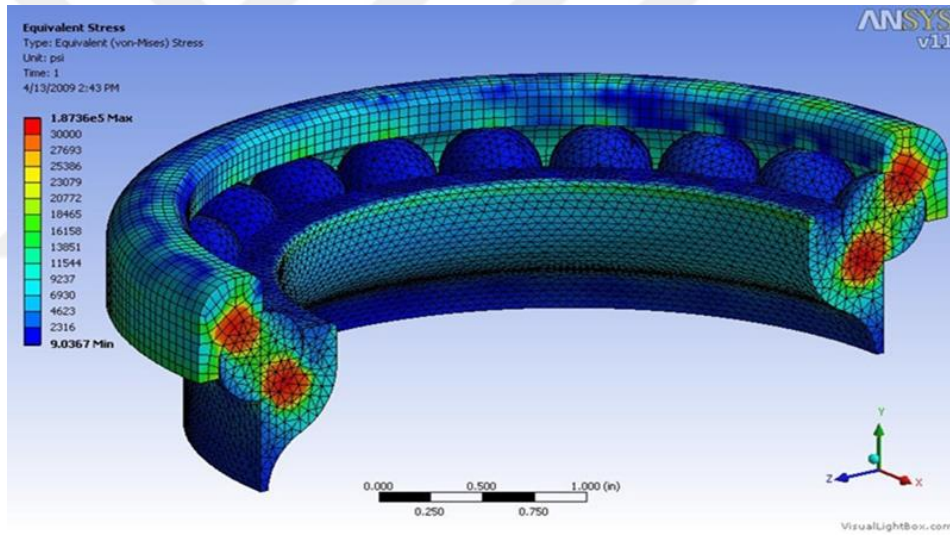


Şekil 3.1: Schüco UDC35-205 Profil Kapasite Eğrisi.

Bu grafik üzerinde 1 numaralı kısımda eleman elastik davranışlar sergilemektedir. Eleman, F_a - Δ_1 sınırında akma mukavemeti sınırına ulaşmaktadır. Taşıyıcı elemanın 2 numarada akma sınırını geçmesiyle plastik davranış sergilemektedir. Plastik bölgeye geçen eleman üzerinde kalıcı şekil bozuklukları oluşmaktadır. Eleman üzerine gelen kuvvetin artmasıyla F_u - Δ_2 seviyesinde eleman taşıyabileceği maksimum kuvvete ulaşır. Eleman üzerindeki kuvvetin F_u sınırını aşmasıyla elemanın taşıma gücü azalır ve eleman üzerinde kalıcı hasarlar meydana gelir. Bu bilgileri veren eğriye eğilme kapasite eğrisi denir.

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik ve sayısal modeller üzerinde sıkça kullanılan analiz yöntemidir. Yapı statik, termodinamik, akışkanlar mekaniği, aerodinamik ve elektrik potansiyeli gibi konularda analizler yapılmasına kolaylık sağlamaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi, geniş bir sistemi sonlu eleman adı verilen Şekil 3.2'deki gibi daha küçük parçalara ayırarak iki ya da üç boyutlu kısmi diferansiyel denklemleri ve sınır değer problemlerinin çözülmesinde çözülen denklem uzayının ayrıklaştırılarak küçük birimlere ayrılması ile oluşturur. Sınır değer probleminin formülasyonu sonucu elde edilen cebirsel denklem sistemi Rayleigh-Ritz ya da Galerkin yöntemi gibi değişkenli işlemlerle çözülür. Bu fonksiyonlar kullanılarak asıl çözümü için interpolasyonu yapılır [Web 13].



Şekil 3.2: Sonlu Eleman Programında Analiz Örneği [Web 14].

Sonlu elemanların analiz adımları;

- İlgili modelin sonlu elemanlara ayrıklaştırılması (mesh/ağ sistemi kurulması).
- Tipik sonlu eleman üzerinden diferansiyel denklemin ağırlıklı integrali ve zayıf formülasyonu.

- Ağırlıklı integral ya da zayıf form kullanılarak problemin sonlu elemanlar modelinin geliştirilmesi. Sonlu eleman modeli, elemanın bilinmeyen parametreleri (serbestlik derecesi) arasında bir dizi cebirsel denklemden oluşur.
- Bilinmeyen küresel serbestlik dereceleri için cebirsel denklemlerin genel sistemini (yani toplam problem için) elde etmek için sonlu elemanların birleştirilmesi.
- Temel sınır koşullarının uygulanması.
- Global serbestlik derecelerinde değerleri bulmak için cebirsel denklem çözümü.
- Çözüm sonrası hesaplama

Sonlu elemanlar yönteminin avantajları [Güler vd., 2015];

- Düşünce esnekliği sağlar. Mühendislik ya da matematik açıdan ele alınabilir.
- Uygulamada verimlidir ve elde edilen sonuçların hassaslığı kontrol edilebilir.
- Sonlu elemanlar yöntemi belirli şartlar için kullanılabilen bir yöntem değildir. Ortam geometrisinin düzensiz ve heterojen oluşu bu yöntem için engel değildir ve çeşitli tipteki sınır şartlarının probleme dahil edilmesine imkân verir. Bütün nümerik analiz yöntemleri gibi sonlu elemanlar yöntemi de bilgisayar kullanımı gerektirmektedir. Bilgisayarın temini ve kullanılması ekonomik dezavantajıdır.

Sonlu elemanlar yönteminin dezavantajları [Güler vd., 2015];

- Sonlu elemanlar yöntemi kullanılan esas teori kadar doğrudur. Malzemenin fiziksel verilerinin ve eleman verilerinin temininde ve bilgisayara yüklenmesinde yapılan hatalar sonuca olumsuz yönde etki edecektir.
- Daha kesin sonuçlar, daha küçük eleman boyutları ile elde edilecektir. Eleman boyutlarının küçülmesi ise daha büyük bilgisayar hafızası gerektirir. Buna göre bilgisayar hafıza sınırı çözümün hassasiyetine bir sınırlama getirecektir.

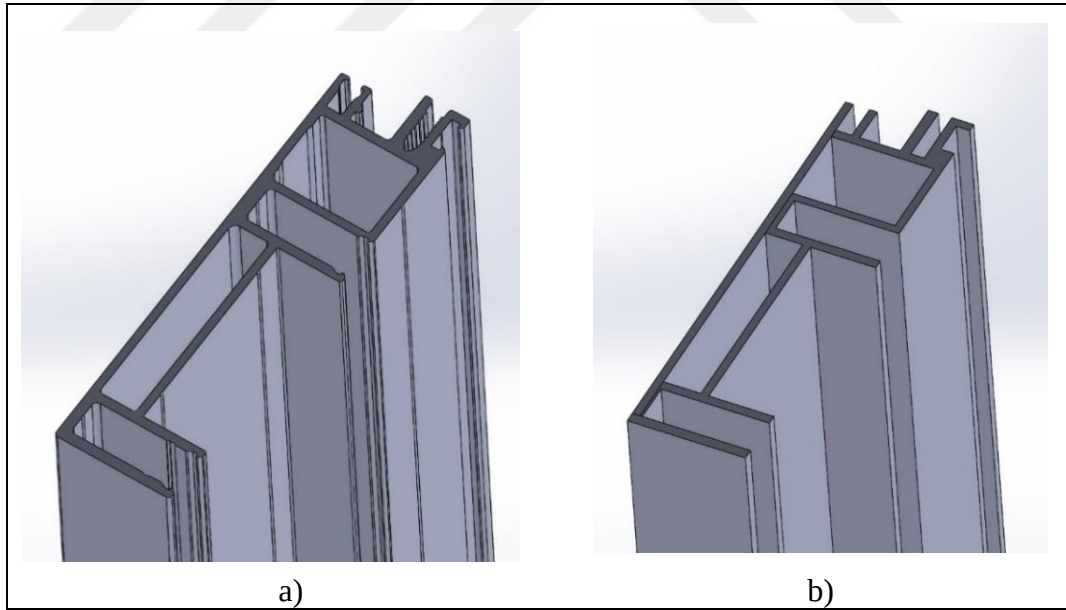
Analizi çalıştırmak için yapılan kabuller;

- Model çalışmasında Ansys kütüphanesinde bulunan her düğüm noktasında 10 düğüm noktalı Solid187 elemanı kullanılmıştır.
- Nonlinear analiz uygulanmıştır.

- Profil elemanın üst ucu x,y,z yönlerinde sabit mesnetli alt ucu z yönünde kayıcı mesnet olarak tanımlanmıştır.
- Von-mises gerilme ve deformasyon analiz sonuçları Ek-A'da gösterilmiştir.

3.3. Sonlu Elemanlar Modelinin Basitleştirilmesi

Alüminyum giydirme cephe sistemleri, binaların dış yüzeylerinde estetik bir görünüm sağlamak, koruma ve enerji verimliliği sağlamak amacıyla sıklıkla tercih edilen bir yapı teknolojisidir. Bu sistemlerin performansını analiz etmek ve optimize etmek için mühendislik hesaplamaları ve simülasyonları kullanılır. Bu çalışma kapsamında alüminyum giydirme cephe sistemi eğilme davranışını belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve giydirme cephe sistemlerinde çoğunlukla tercih edilen 9 adet çubuk cephe sistemi ve 9 adet panel cephe sistemi olmak üzere 18 adet kesit analiz edilmiştir (Şekil 3.3). Çalışma kapsamında ANSYS Workbench yazılımı kullanılmış ve doğrusal olmayan analizler yapılarak kesitlerin eğilme davranışları belirlenmiş ve kapasite eğrileri çıkarılmıştır.

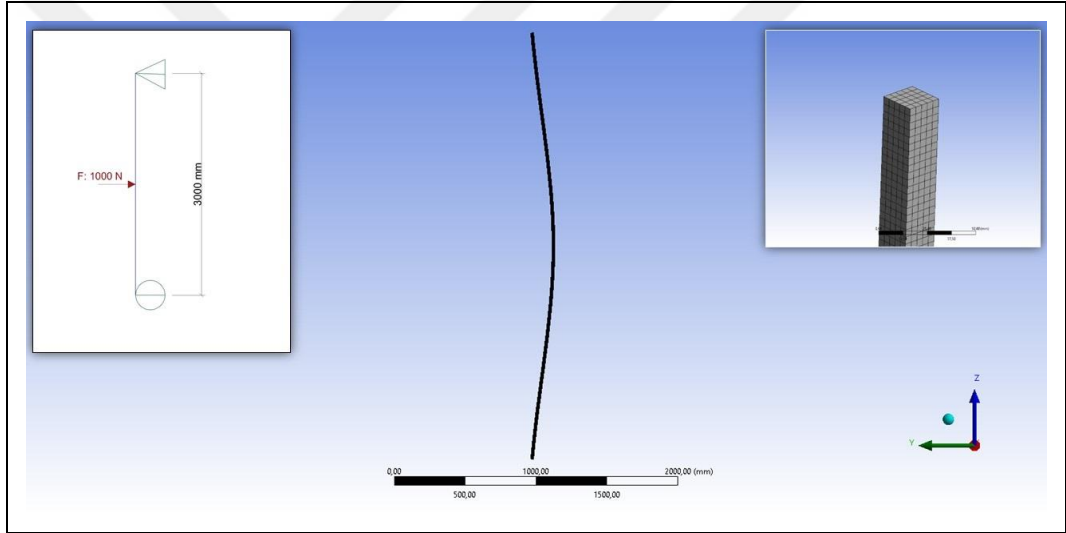


Şekil 3.3: Erbay Alüminyum Schüco
a) UDC30-125 Orijinal Profil b) UDC30-125 Basitleştirilmiş Profil.

Analizlerin ilk aşamasında kesitlerin basitleştirme çalışmaları yapılmış ve sonlu elemanlar analizinde hata verme olasılığı yüksek olan konstrüktif bölümler sadeleştirilmiştir (Şekil 3.3). Basitleştirme çalışmalarında malzeme değerleri Tablo

3.8’de tanımlanan 3 m uzunluğunda 20x20 mm içi dolu kare kesitli basit mesnetli sistemin ağırlık merkezinden 1 kN kuvvet uygulanarak lineer analiz yapılmıştır (Şekil 3.1). Analiz sonucunda oluşan maksimum gerilme ve deplasman değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu analiz sonucuna göre kesitin atalet momentinin en fazla $\pm$ %5 farklılık olacak şekilde basitleştirilmesine dikkat edilmiş ve eğilme davranışına etki edebilecek bölümlerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Basitleştirme çalışmaları sonrasında oluşturulan karşılaştırma verileri Tablo 3.2 – 3.6 arasında sunulmuştur.

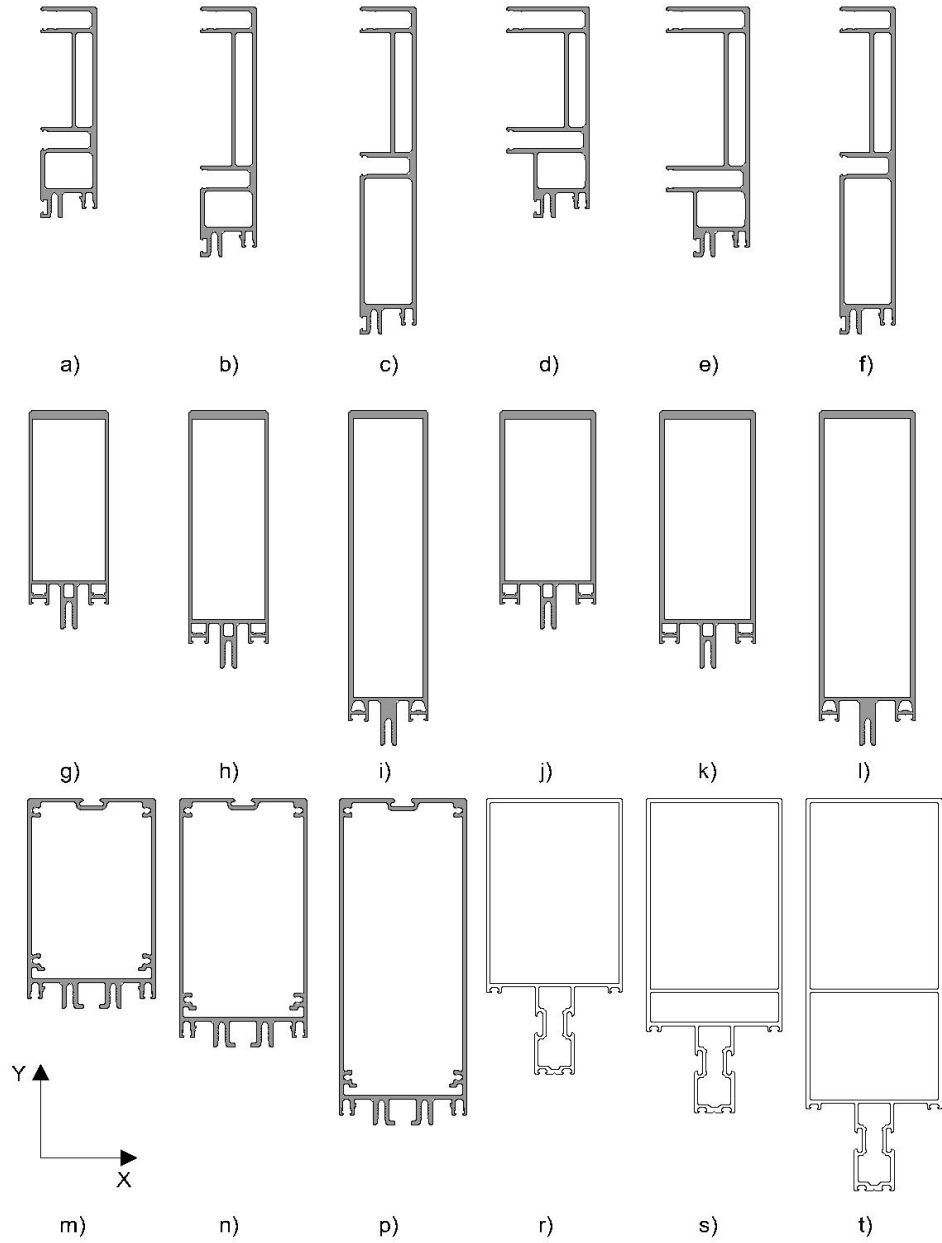
Şekil 3.5’te görülen kesitler Schüco firmasından temin edilen orijinal enkesitlerdir. Orijinal kesit üzerinde ısı bariyeri, fitil gibi aksesuarların montajlanması ve tasarım amaçlı köşe yuvarlamaları görülmektedir. Kesitteki bu detaylar statik açısından bir önem arz etmemektedir.



Şekil 3.4: Kesitlerde Sınır Şartları ve Sonlu Elemanlar Modeli.

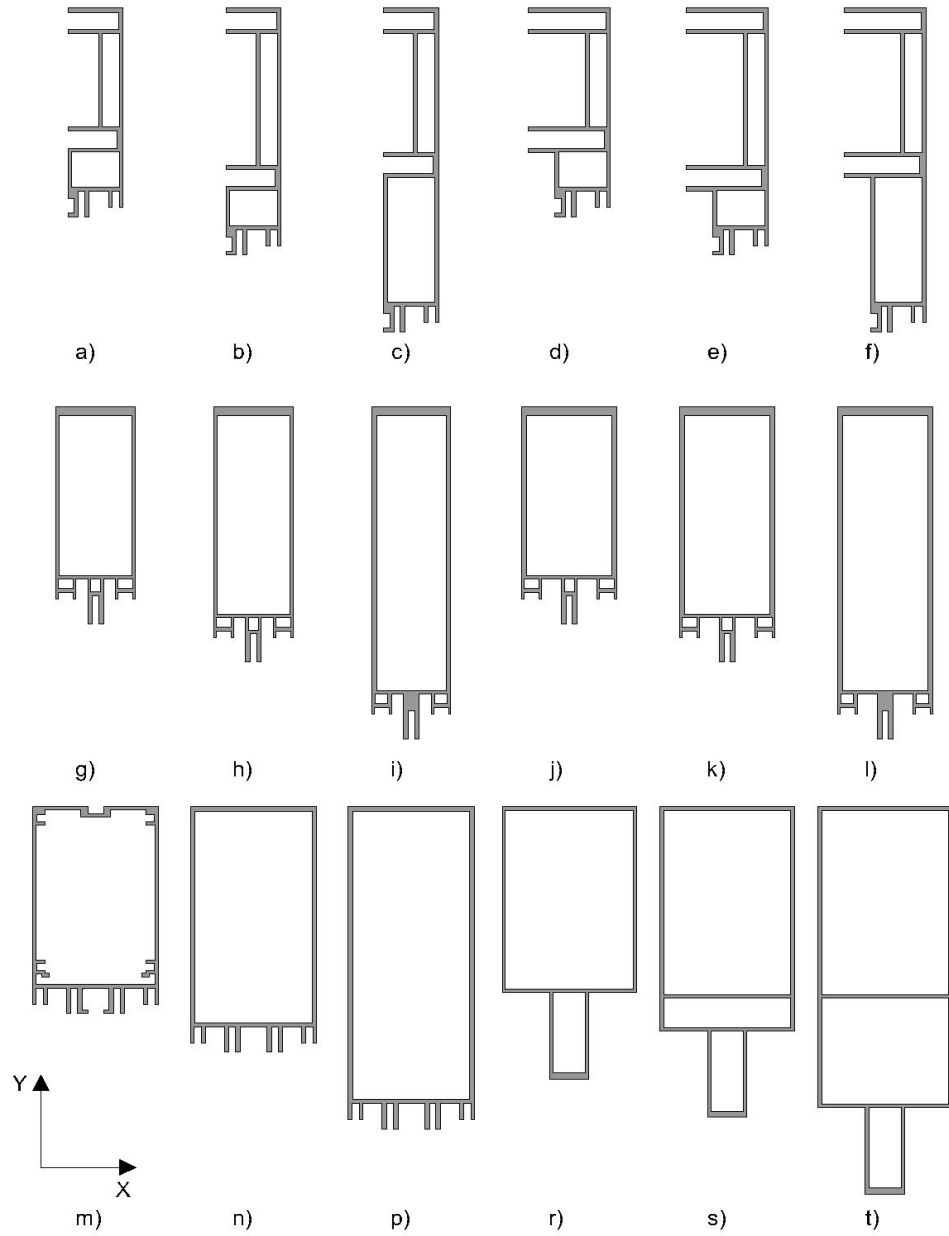
Tablo 3.1: Lineer Analiz Sonuçları ve Fark Tablosu.

Kesit Değerleri	Kesit-1 (Normal)	Kesit-2 (-%5)	Kesit-3 (+%5)	Fark-1 (%)	Fark-2 (%)
Atalet Momenti (mm ⁴)	13333.3	12666.7	14000	-% 5	+% 5
Maks. Gerilme (MPa)	19.80	20.84	19.00	+% 5.25	-% 4.04
Maks. Deplasman (mm)	0,0245	0,0254	0,0238	+% 3.67	-% 2.86



Şekil 3.5: Çalışma Kapsamında Dikkate Alınan Orijinal Kesitler, Erbay Alüminyum Schüco a) UDC35-130, b) UDC35-155, c) UDC35-205, d) UDC52-130, e) UDC52-155, f) UDC35-205, g) FWS50-125, h) FWS50-150, i) FWS50-200, j) FWS60-125, k) FWS60-150, l) FWS60-200, m) UDC80-129, n) UDC80-154, p) UDC80-204, r) SFC85-125, s) SFC85-150, t) SFC85-200.

Şekil 3.5’te verilen orijinal enkesitler sonlu elemanlar analizinde kolayca ağ sistemini oluşturabilmek ve analiz süresini kısaltabilmek için Şekil 3.6’da görüldüğü gibi yeniden tasarlanmıştır.



Şekil 3.6: Çalışma Kapsamında Dikkate Alınan Basitleştirilmiş Kesitler, Erbay Alüminyum Schüco a) UDC35-130, b) UDC35-155, c) UDC35-205, d)UDC52-130, e) UDC52-155, f) UDC35-205, g) FWS50-125, h) FWS50-150, i) FWS50-200, j) FWS60-125, k) FWS60-150, l) FWS60-200, m) UDC80-129, n) UDC80-154, p) UDC80-204, r) SFC85-125, s) SFC85-150, t) SFC85-200.

Yeniden tasarlanan kesitlerde konstrüktif yapılarında düzenlemeler yapılırken kuvvete karşı atalet sağlayan geometrik yapısı korunmuştur. Bu şekilde analiz sonuçlarında gerçeğe yakın değerler edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.2: Schüco Ürünü UDC80 35 mm Panel Sistemi Profil Enkesit Değerleri.

Poz	Kesit Özellikleri	Orijinal Kesit	Basitleştirilmiş Kesit	Fark
UDC35-130	A (mm ²) :	1095,68	1096,83	+% 0.10
	I _x (mm ⁴) :	2071691,39	2088170,05	+% 0.80
	I _y (mm ⁴) :	137171,10	139741,03	+% 1.87
UDC35-155	A (mm ²) :	1210,68	1211,83	+% 0.09
	I _x (mm ⁴) :	3290447,09	3313264,26	+% 0.69
	I _y (mm ⁴) :	146306,37	149072,62	+% 1.89
UDC35-1705	A (mm ²) :	1541,06	1546,46	+% 0.35
	I _x (mm ⁴) :	6765655,78	6811491,85	+% 0.68
	I _y (mm ⁴) :	227867,96	231771,08	+% 1.71

Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’de Schüco firmasına ait ve giydirmce cephe piyasasında en çok kullanılan panel sistem profillerinin kesit değerleri görülmektedir. Bu kesitler arasındaki basitleştirmelerde oluşan fark $\pm\%$ 2.98 oranını aşmamıştır.

Tablo 3.3: Schüco Ürünü UDC80 52 mm Panel Sistemi Profil Enkesit Değerleri.

Poz	Kesit Özellikleri	Orijinal Kesit	Basitleştirilmiş Kesit	Fark
UDC52-130	A (mm ²) :	1284,38	1285,53	+% 0.09
	I _x (mm ⁴) :	2455866,12	2469748,99	+% 0.57
	I _y (mm ⁴) :	279359,21	287377,95	+% 2.87
UDC52-155	A (mm ²) :	1399,38	1400,53	+% 0.08
	I _x (mm ⁴) :	3904055,12	3923332,07	+% 0.49
	I _y (mm ⁴) :	296012,59	304832,98	+% 2.98
UDC52-1705	A (mm ²) :	1729,76	1735,16	+% 0.31
	I _x (mm ⁴) :	7639601,78	7680020,58	+% 0.53
	I _y (mm ⁴) :	380012,35	390050,47	+% 2.64

Tablo 3.4: Schüco Ürünü FWS50 Çubuk Sistemi Profil Enkesit Değerleri.

Poz	Kesit Özellikleri	Orijinal Kesit	Basitleştirilmiş Kesit	Fark
FWS50-125	A (mm ²) :	1132,05	1131,60	-% 0.04
	I _x (mm ⁴) :	2788007,01	2793263,09	+% 0.19
	I _y (mm ⁴) :	384319,55	384568,92	+% 0.06
FWS50-150	A (mm ²) :	1232,47	1232,02	-% 0.04
	I _x (mm ⁴) :	4240492,11	4246518,25	+% 0.14
	I _y (mm ⁴) :	443785,80	444035,18	+% 0.06
FWS50-200	A (mm ²) :	1858,39	1859,76	+% 0.07
	I _x (mm ⁴) :	9736420,24	9762704,53	+% 0.27
	I _y (mm ⁴) :	748547,33	749428,11	+% 0.12

Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te Schüco firmasına ait ve giydirmeye cephe piyasasında en çok kullanılan çubuk sistem profillerinin kesit değerleri görülmektedir. Bu kesitler arasındaki basitleştirmelerde oluşan fark $\pm\%$ 0.27 oranını aşmamıştır.

Tablo 3.5: Schüco Ürünü FWS60 Çubuk Sistemi Profil Enkesit Değerleri.

Poz	Kesit Özellikleri	Orijinal Kesit	Basitleştirilmiş Kesit	Fark
FWS60-125	A (mm ²) :	1420,47	1420,1	- % 0.03
	I _x (mm ⁴) :	3252374,56	3257387	+% 0.15
	I _y (mm ⁴) :	744040,82	744413,60	+% 0.05
FWS60-150	A (mm ²) :	1570,10	1569,72	-% 0.02
	I _x (mm ⁴) :	5006187,89	5011843,85	+% 0.11
	I _y (mm ⁴) :	868324,66	868697,44	+% 0.04
FWS60-200	A (mm ²) :	1935,39	1936,76	+% 0.07
	I _x (mm ⁴) :	10460918	10487196,72	+% 0.25
	I _y (mm ⁴) :	1126118	1127441,61	+% 0.12

Tablo 3.6: Schüco Ürünü UDC80 80 mm Panel Sistemi Profil Enkesit Değerleri.

Poz	Kesit Özellikleri	Orijinal Kesit	Basitleştirilmiş Kesit	Fark
UDC80-129	A (mm ²) :	1403,90	1401,61	-% 0.16
	I _x (mm ⁴) :	3398745,67	3441831,93	+% 1.27
	I _y (mm ⁴) :	1340722,56	1318780,08	-% 1.64
UDC80-154	A (mm ²) :	1518,90	1552,04	-% 2.18
	I _x (mm ⁴) :	5206616,51	5235950,83	+% 0.56
	I _y (mm ⁴) :	1514345,34	1567495,99	-% 3.51
UDC80-204	A (mm ²) :	1913,78	1888,26	-% 1.33
	I _x (mm ⁴) :	10976734,35	10536637,88	+% 4.00
	I _y (mm ⁴) :	2063424,99	2062353,75	-% 0.05

Tablo 3.6’da Schüco firmasına ait en çok kullanılan panel sistem orta kayıt profilleri görülmektedir. Bu kesitler arasındaki basitleştirme sonucu oluşan fark $\pm\%$ 1.45 oranını aşmamıştır. Tablo 3.7’de ise Schüco firmasına ait nadir kullanılan çubuk sistem profillerinin kesit değerleri görülmektedir. Bu kesitler arasındaki basitleştirme sonucu oluşan fark $\pm\%$ 2.63 oranını aşmamıştır.

Tablo 3.7: Schüco Ürünü SFC85 Çubuk Sistemi Profil Enkesit Değerleri.

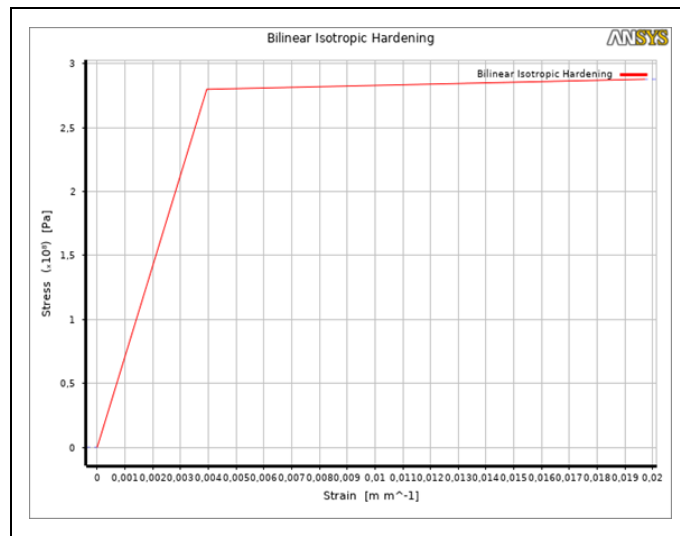
Poz	Kesit Özellikleri	Orijinal Kesit	Basitleştirilmiş Kesit	Fark
SFC85-125	A (mm ²) :	1257,35	1199,79	-% 4.58
	I _x (mm ⁴) :	4404816,42	4384855	-% 0.45
	I _y (mm ⁴) :	1128493,71	1085686,64	-% 3.79
SFC85-150	A (mm ²) :	1637,58	1591,98	-% 2.78
	I _x (mm ⁴) :	6685659,36	6657370,50	-% 0.42
	I _y (mm ⁴) :	1539122,72	1499064,99	-% 2.60
SFC85-200	A (mm ²) :	1921,44	1875,84	-% 2.37
	I _x (mm ⁴) :	12139008,31	11981710,24	-% 1.30
	I _y (mm ⁴) :	2002049,30	1961993,91	-% 2.00

3.4. Sonlu Elemanlar Analizleri

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık yapı sistemlerini daha küçük ve daha basit parçalara bölerek bu parçaları matematiksel modellerle temsil eden bir analiz yaklaşımıdır. Alüminyum giydirme cephe sistemleri için, yapısal bileşenlerin (paneller, destek elemanları, bağlantı elemanları vb.) eğilme davranışını analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Analizlerin ilk aşamasında malzeme tanımlama çalışmaları yapılmış ve bu aşamada Schüco profiline özgün malzeme tanımlaması yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 3.8’de sunulmuştur. Analizlerde doğrusal olmayan davranış gözlemlenmesi amacıyla doğrusal olmayan bilinear isotropic hardening malzeme modeli tanımlanmış ve Şekil 3.7’de verilen gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanılmıştır.

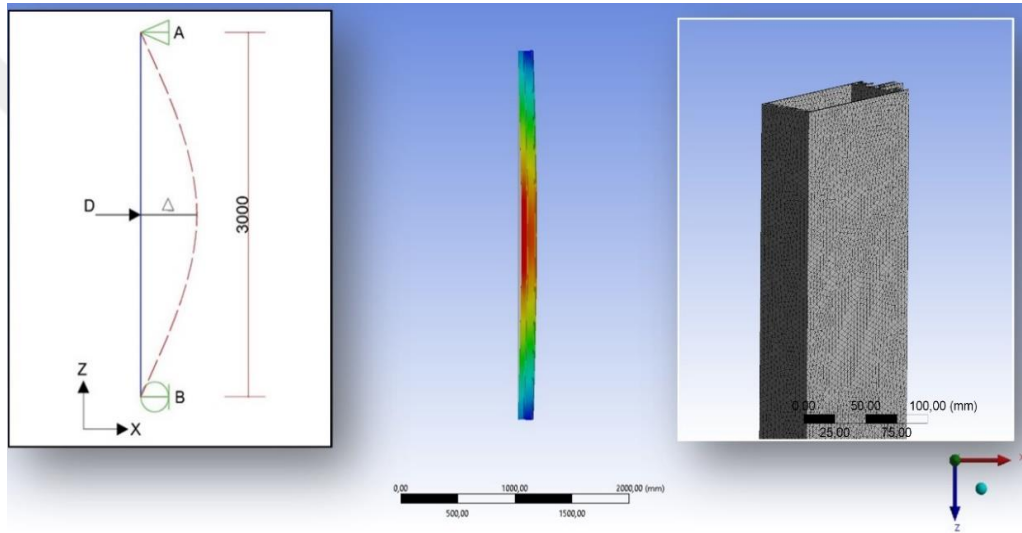
Tablo 3.8: Sonlu Elemanlar Analizlerinde Kullanılan Malzeme Özellikleri.

Malzeme Bilgileri	Özellik Değerleri	Birim
Yoğunluk, ρ	: 2770	Kg/m ³
Elastisite, E	: 71000	MPa
Poisson Oranı, ν	: 0,33	
Hacim Modülü, e	: 69600	MPa
Kesme Modülü, G	: 26690	MPa
Akma Dayanımı, σ	: 280	MPa
Tanjant Modülü	: 500	MPa



Şekil 3.7: Doğrusal Olmayan Malzeme Modeli.

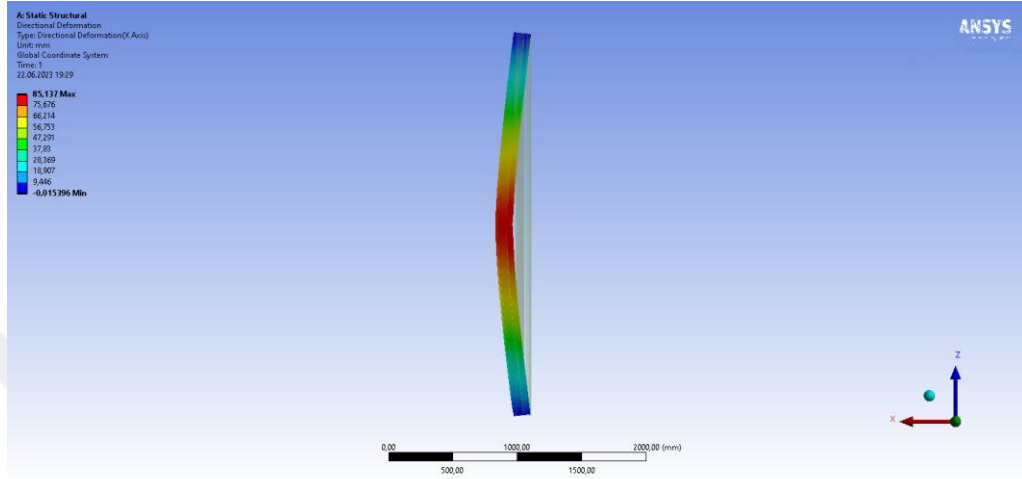
Çalışma kapsamında incelenen kesitlerin sonlu elemanlar modeli oluşturulurken tüm kesitlerin aynı sınır şartlara ve aynı yükseklik oranlarına sahip olmasına dikkat edilmiş ve sistem ağırlık merkezinden artımsal olarak itilerek itme analizi yapılmıştır. Şekil 3.8’de sistemin sınır şartları ve oluşturulan sonlu elemanlar modeli sunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan doğrusal olmayan itme analizleri sonucunda sistemlerin yük-deplasman grafikleri hazırlanarak kapasite eğrileri çıkarılmış ve bu grafikler dikkate alınarak her bir kesitin maksimum şekil değiştirme miktarı ($L_{u,max}$), yönetmeliklere göre izin verilebilir şekil değiştirme miktarı ($L/200$), taşıma yükü ve enerji sönümleme kapasiteleri hesaplanmıştır.



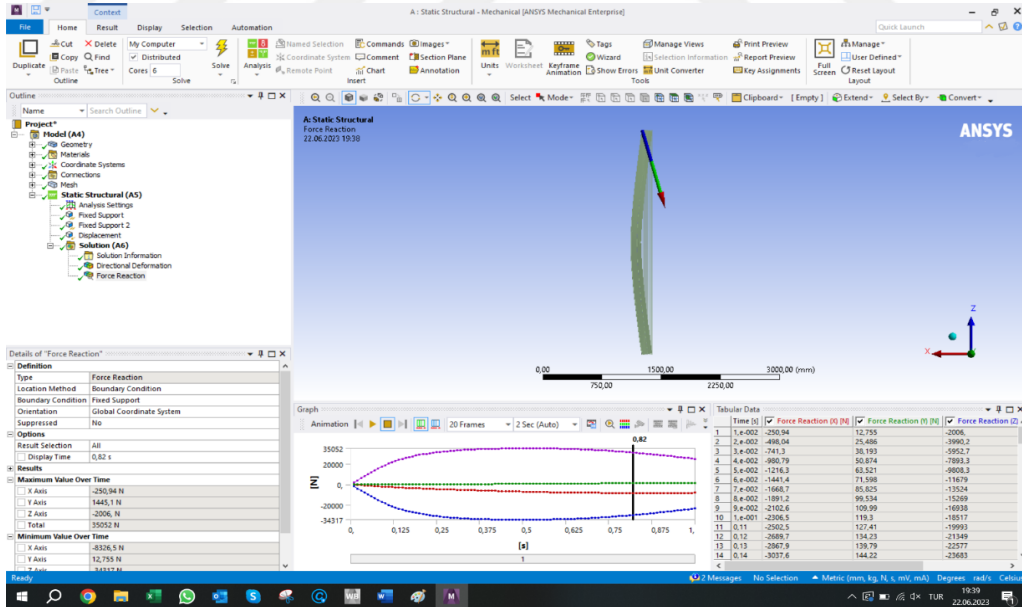
Şekil 3.8: Kesitlerde Sınır Şartları ve Sonlu Elemanlar Modeli.

Giydirme cephelerde kullanılan taşıyıcı elemanların sonlu elemanlar modelinin kurulmasında basitleştirilmiş kesitler kullanılarak 3m uzunluğunda katılaştırılmıştır. Profil modelleri cepheye montajlanma durumuna göre basit kiriş gibi bir ucu sabit mesnet diğer ucu kayar mesnet olacak şekilde Şekil 3.8’de çubuk sistem olarak gösterilmektedir. Şekil 3.8’de gösterilen yükleme ve mesnetlenme durumları sonlu elemanlar analiz programı ANSYS’te kurulmuştur ve Şekil 3.8’deki gibi profil üzerinde analiz yapılmıştır. ANSYS programına aktarılan modele 4 mm boyutunda tetrahedrons sonlu elemanlar ağı kurulmuştur. Her eleman için yaklaşık 1.000.000-2.000.000 arası kadar düğüm noktası ve 500.000-800.000 arası kadar sonlu eleman oluşturulmuştur. Bu model üzerinde 1.5m’de model üzerine yer değiştirme itmesi uygulanmıştır. Yer değiştirme itmesine karşılık gelen kapasite eğrisinde yakınsamayı

sağlaması için doğrusal olmayan analizde adım sayısı belirlenmiştir ve program üzerinden tepki kuvvetlerini Şekil 3.10'daki gibi force reaction, yer değiştirmesini directional deformation çözümleri üzerinden okunarak profillerin kuvvet-deplasman eğrileri elde edilmiştir.

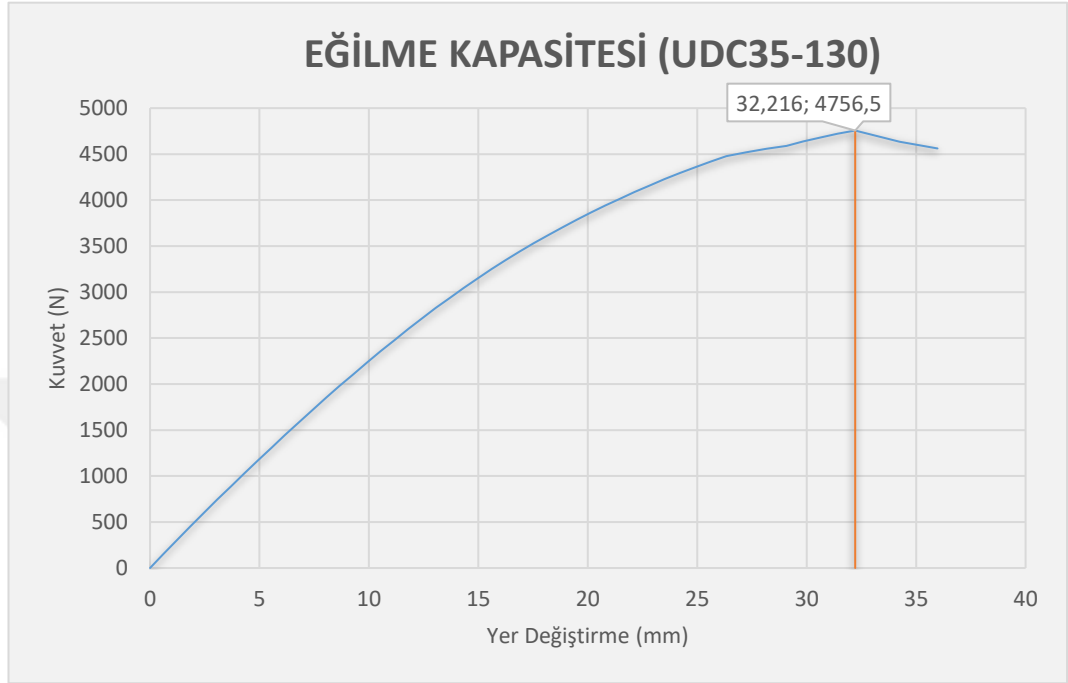


Şekil 3.9: ANSYS Programındaki İtmeye Karşılık Yapılan Analiz Sonucu.



Şekil 3.10: ANSYS Programındaki Uygulama Ağacı ve Sonuç Grafikleri.

Şekil 3.11’de Schüco UDC35-130 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.1’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.9’da verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.11: Schüco, UDC35-130 Profiline Eğilme Kapasite Grafiği.

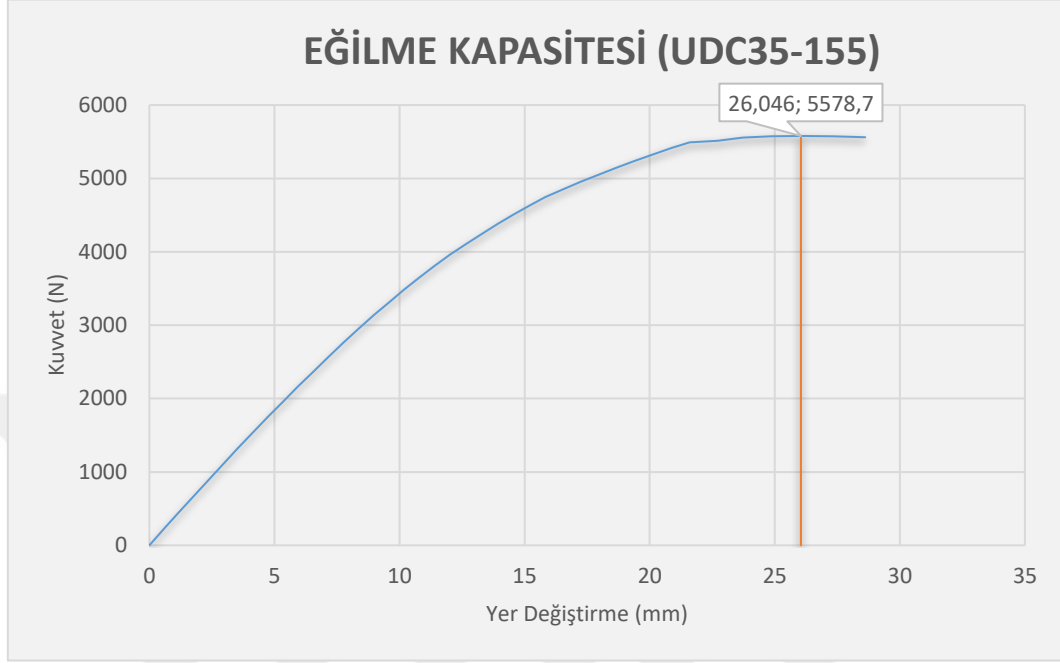
Denklem 3.1’in birinci derece integrali alınarak Şekil 3.11’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0008x^4 + 0,0243x^3 - 3,4303x^2 + 259,18x - 15,681 \quad (3.1)$$

Tablo 3.9: Schüco UDC35-130 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
32,22	4756,5	96770,97
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	3152,7	25249,49

Şekil 3.12’de Schüco UDC35-155 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.2’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.10’da verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması $R^2: 1$ ’dir.



Şekil 3.12: Schüco, UDC35-155 Profiline Eğilme Kapasite Grafiği.

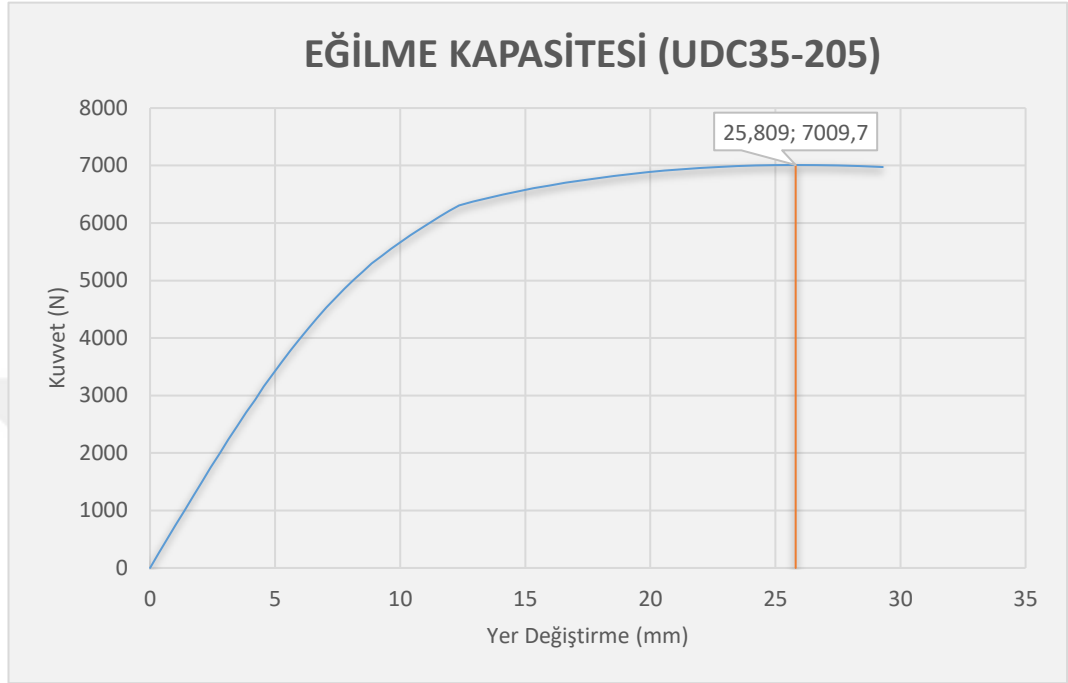
Denklem 3.2’nin birinci derece integrali alınarak Şekil 3.12’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,0048x^4 - 0,311x^3 - 1,6993x^2 + 386,19x - 4,839 \quad (3.2)$$

Tablo 3.10: Schüco UDC35-155 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
26,05	5578,7	96607,75
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	4591,6	38254,98

Şekil 3.13'te Schüco UDC35-205 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.3'te ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.11'de verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99'dur.



Şekil 3.13: Schüco, UDC35-205 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

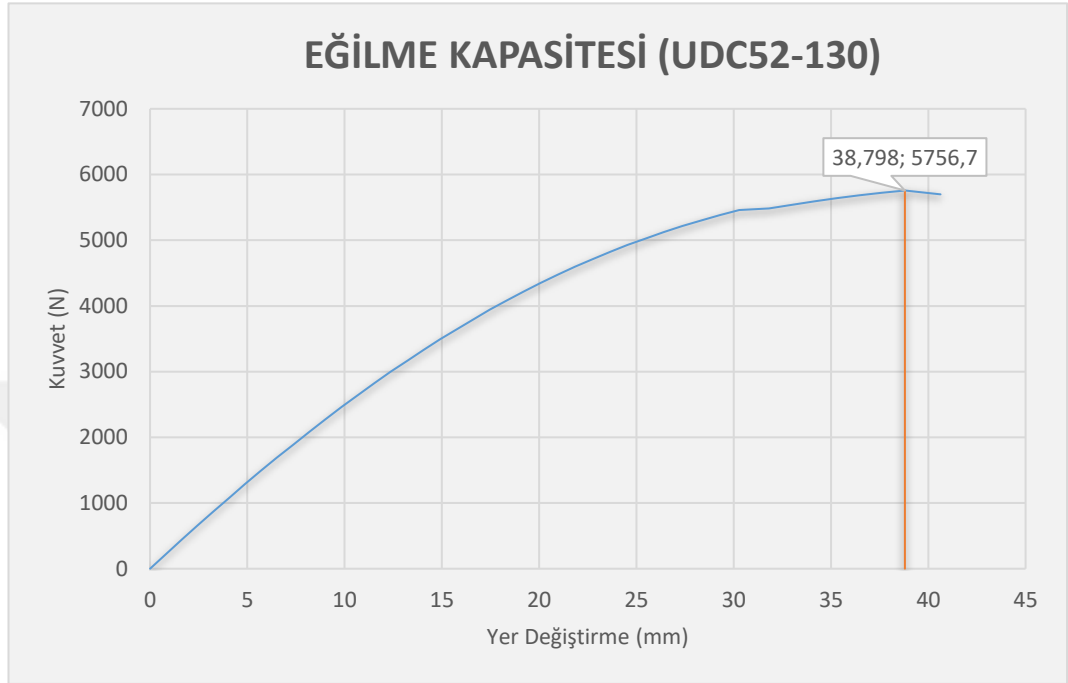
Denklem 3.3'ün birinci derece integrali alınarak Şekil 3.13'teki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,002x^5 + 0,1509x^4 - 3,4024x^3 + 4,6681x^2 + 730,96x - 4,7542 \quad (3.3)$$

Tablo 3.11: Schüco UDC35-205 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
25,81	7009,7	139761,4
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	6575,2	63472,7

Şekil 3.14'te Schüco UDC52-130 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.4'te ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.12'de verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99'dur.



Şekil 3.14: Schüco, UDC52-130 Profiline Eğilme Kapasite Grafiği.

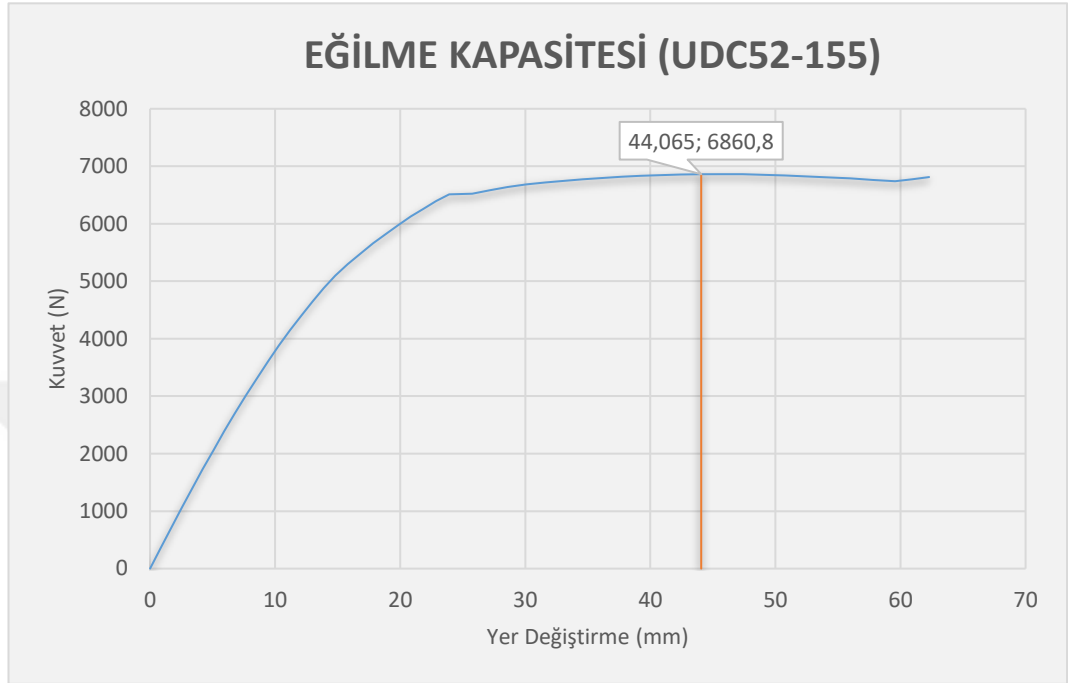
Denklem 3.4'ün birinci derece integrali alınarak Şekil 3.14'teki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0096x^3 - 3,1536x^2 + 284,32x - 17,259 \quad (3.4)$$

Tablo 3.12: Schüco UDC52-130 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
38,80	5756,7	146502,7
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	3506,8	28057,8

Şekil 3.15'te Schüco UDC52-155 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.5'te ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.13'te verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,998'dir.



Şekil 3.15: Schüco, UDC52-155 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

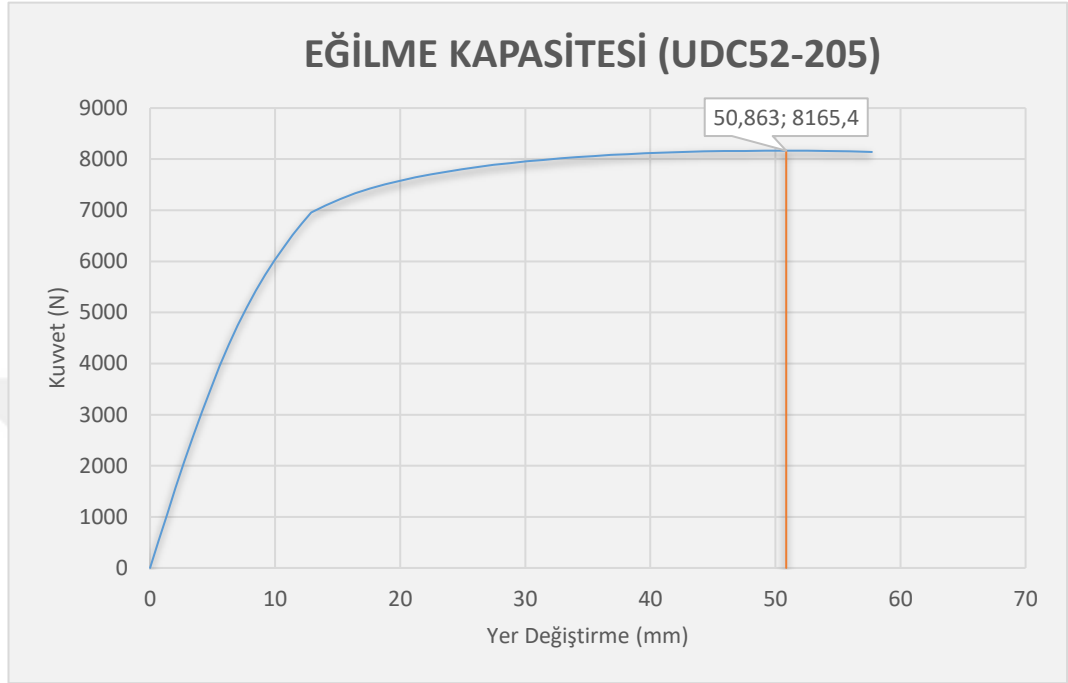
Denklem 3.5'in birinci derece integrali alınarak Şekil 3.15'teki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0004x^4 + 0,1371x^3 - 13,432x^2 + 522,04x - 169,23 \quad (3.5)$$

Tablo 3.13: Schüco UDC52-155 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
44,1	6860,8	232461,7
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	5137,2	42754,5

Şekil 3.16’da Schüco UDC52-205 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.6’da ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.14’te verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,998’dir.



Şekil 3.16: Schüco, UDC52-205 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

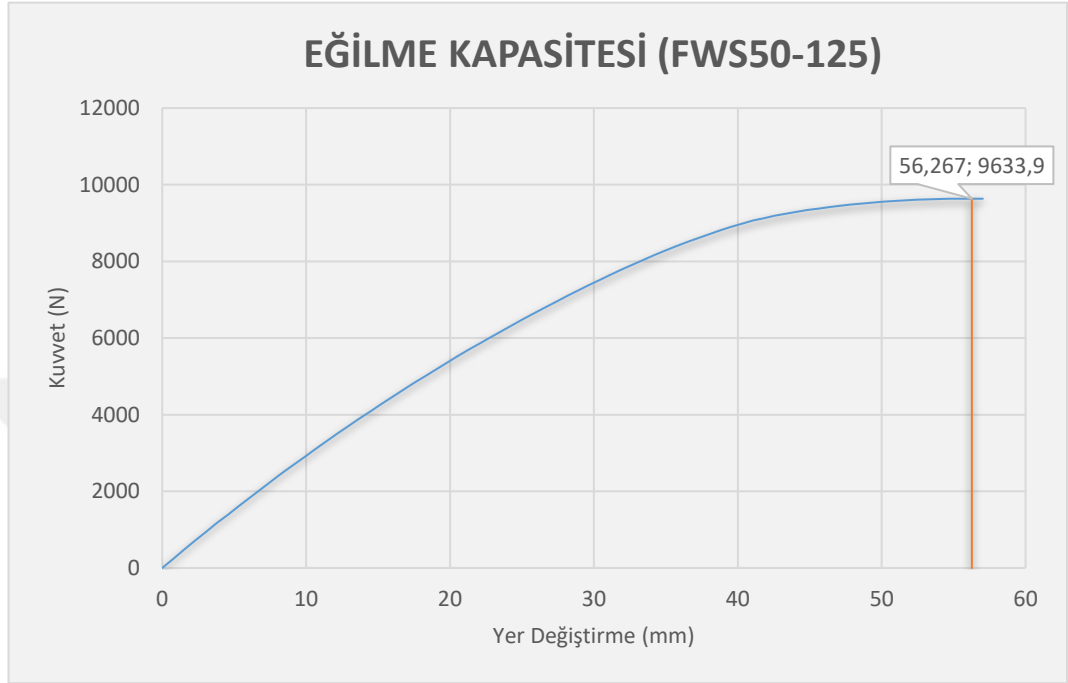
Denklem 3.6’nın birinci derece integrali alınarak Şekil 3.16’daki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,00006x^5 - 0,0134x^4 + 1,1716x^3 - 49,169x^2 + 1007,1x - 226,44 \quad (3.6)$$

Tablo 3.14: Schüco UDC52-205 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
50,86	8165,4	355683,3
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	7198,9	67493,9

Şekil 3.17’de Schüco FWS50-125 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.7’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.15’te verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.17: Schüco, FWS50-125 Profilin Eğilme Kapasite Grafiği.

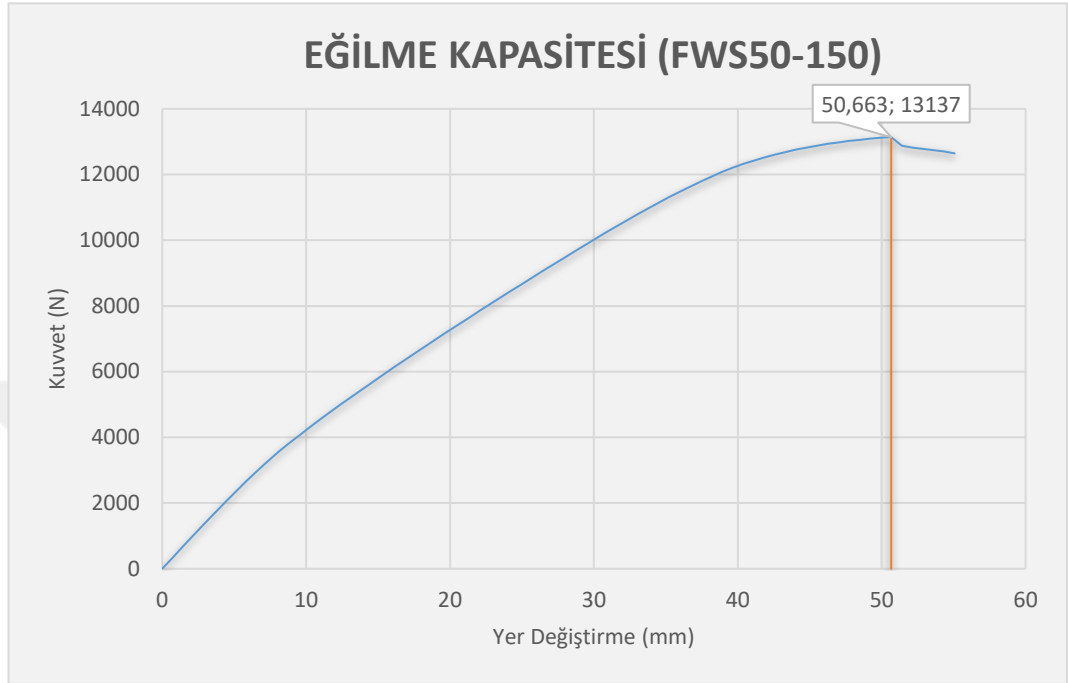
Denklem 3.6’nın birinci derece integrali alınarak Şekil 3.17’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0221x^3 - 1,0413x^2 + 298,37x + 45,876 \quad (3.7)$$

Tablo 3.15: Schüco FWS50-125 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
56,27	9633,9	357714,5
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	4221,4	32803,6

Şekil 3.18’de Schüco FWS50-150 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.8’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.16’da verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.18: Schüco, FWS50-150 Profilin Eğilme Kapasite Grafiği.

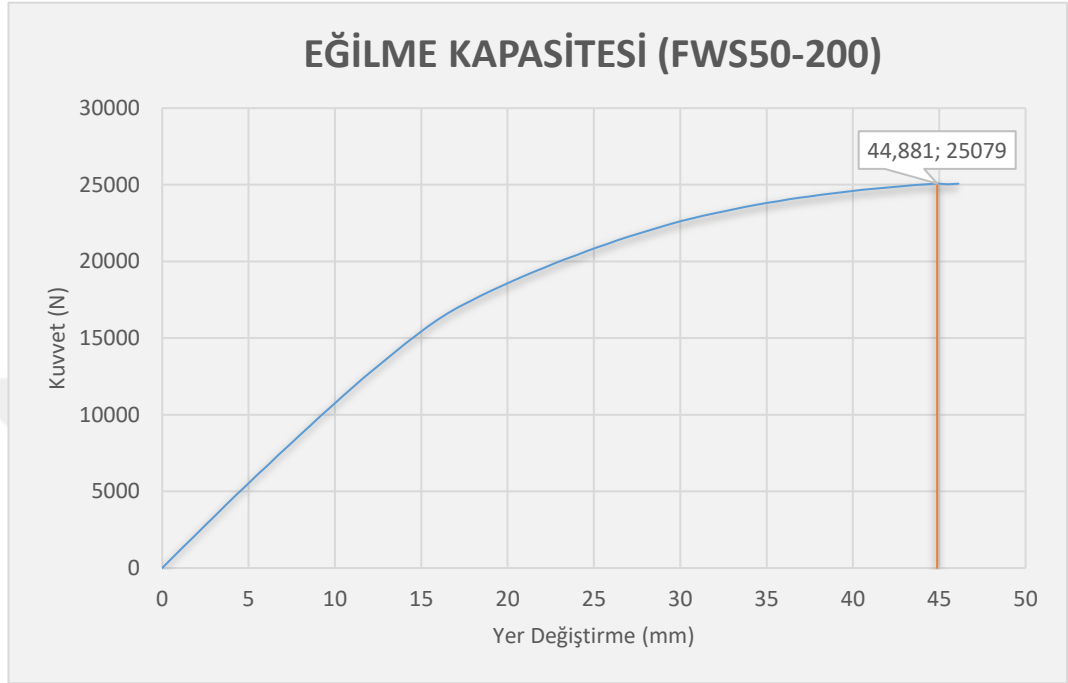
Denklem 3.8’in birinci derece integrali alınarak Şekil 3.18’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0031x^4 + 0,2983x^3 - 12,059x^2 + 512,11x - 2,2976 \quad (3.8)$$

Tablo 3.16: Schüco FWS50-150 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
50,66	13137	418728,3
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	5798,7	47316,1

Şekil 3.19’da Schüco FWS50-200 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.9’da ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.17’de verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.19: Schüco, FWS50-200 Profiline Eğilme Kapasite Grafiği.

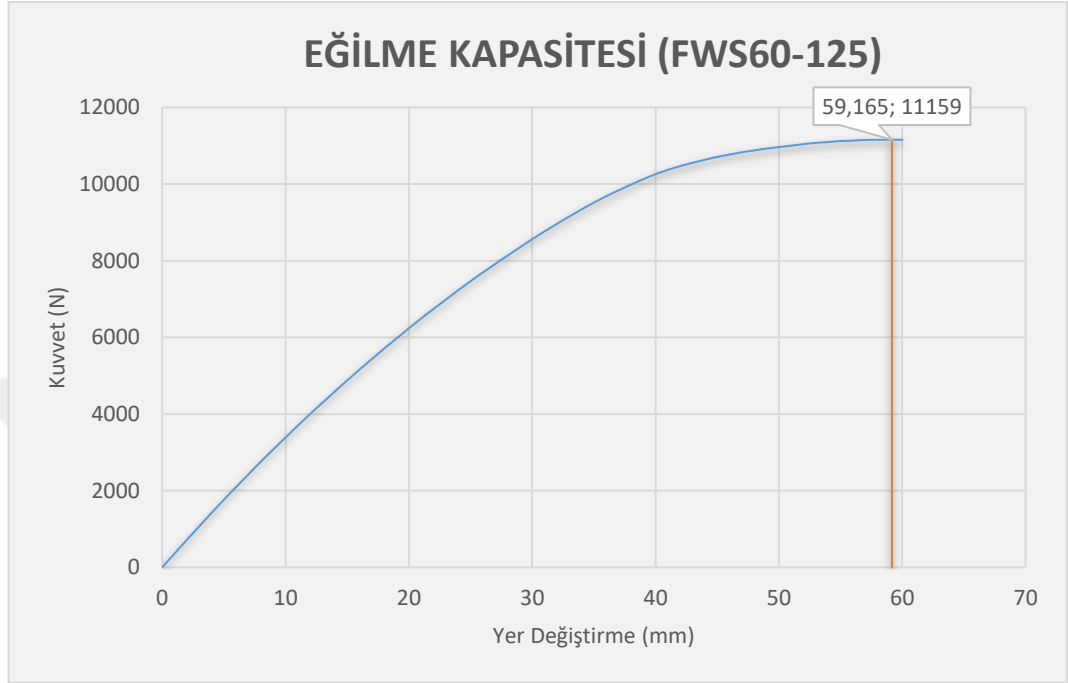
Denklem 3.9’un birinci derece integrali alınarak Şekil 3.19’daki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,0047x^4 - 0,283x^3 - 12,082x^2 + 1256,5x - 260,3 \quad (3.9)$$

Tablo 3.17: Schüco FWS50-200 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
44,88	25079	773804,3
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	15424,04	120991,6

Şekil 3.20’de Schüco FWS60-125 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.10’da ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.18’de verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.20: Schüco, FWS60-125 Profilin Eğilme Kapasite Grafiği.

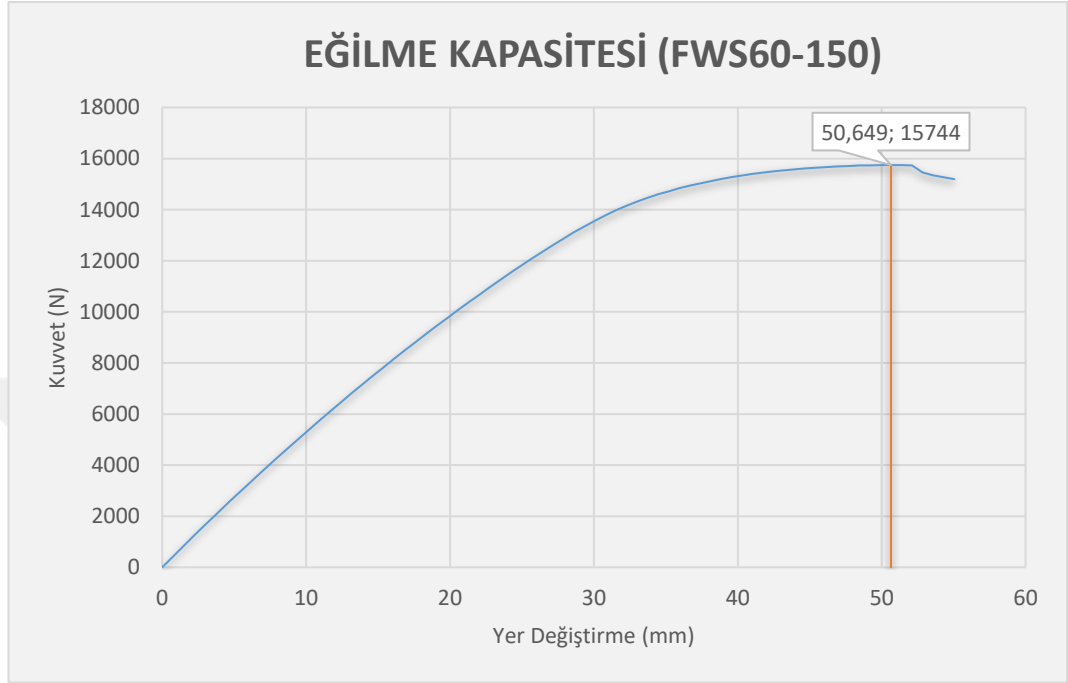
Denklem 3.10’un birinci derece integrali alınarak Şekil 3.20’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,0003x^4 - 0,0493x^3 - 0,6829x^2 + 341,33x + 60,142 \quad (3.10)$$

Tablo 3.18: Schüco FWS60-125 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
59,17	11159	446357,3
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	4879,8	37955,1

Şekil 3.21’de Schüco FWS60-150 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.11’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.19’da verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.21: Schüco, FWS60-150 Profilin Eğilme Kapasite Grafiği.

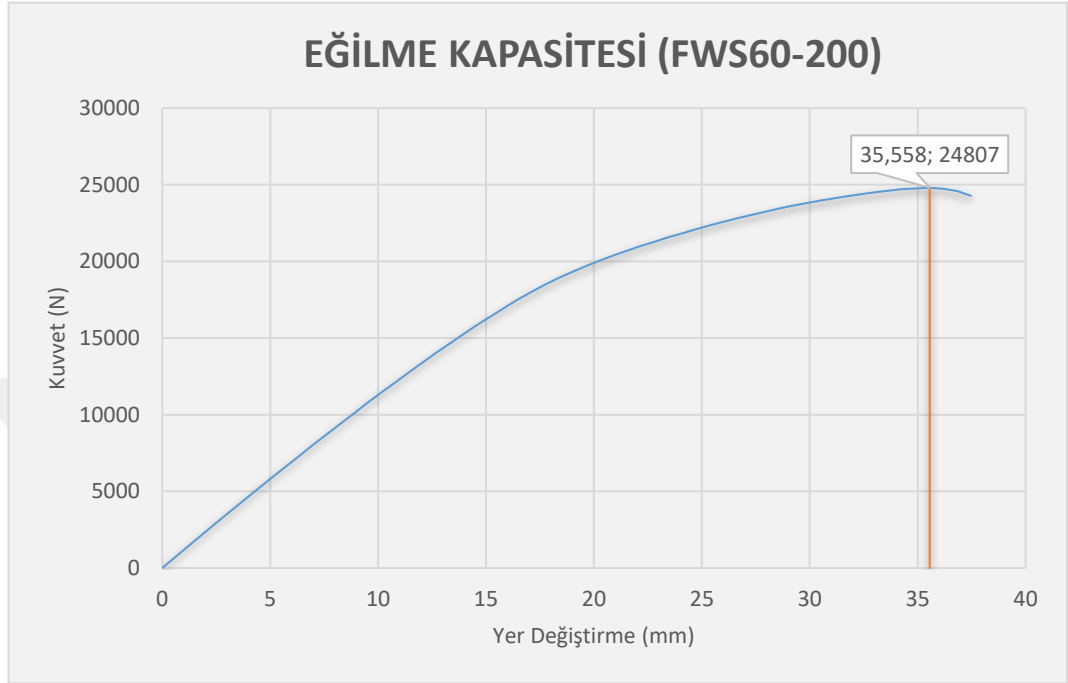
Denklem 3.11’in birinci derece integrali alınarak Şekil 3.21’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,0014x^4 - 0,2052x^3 + 2,979x^2 + 501,94x + 118,41 \quad (3.11)$$

Tablo 3.19: Schüco FWS60-150 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
50,65	15744	534582,5
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	7658,2	59211,3

Şekil 3.22’de Schüco FWS60-200 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.12’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.20’de verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.22: Schüco, FWS60-200 Profiline Eğilme Kapasite Grafiği.

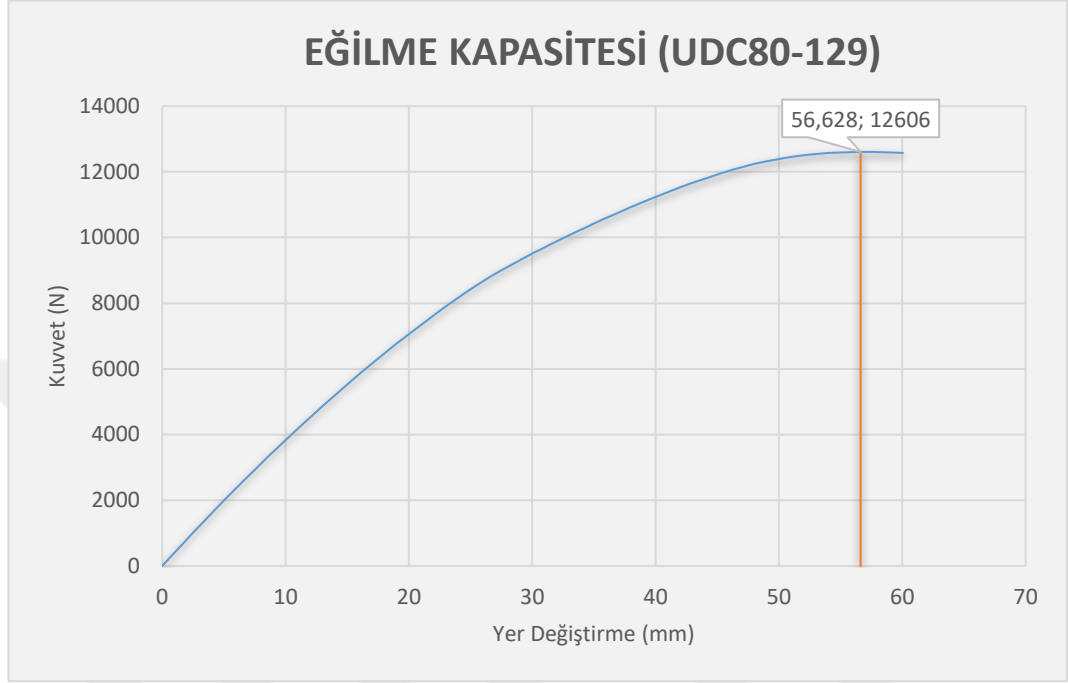
Denklem 3.12’nin birinci derece integrali alınarak Şekil 3.22’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,013x^4 - 1,0395x^3 + 7,5829x^2 + 1151,8x - 4,9751 \quad (3.12)$$

Tablo 3.20: Schüco FWS60-200 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
35,56	24807	574012,2
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	16226,2	126851,8

Şekil 3.23'te Schüco UDC80-129 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.13'te ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.21'de verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99'dur.



Şekil 3.23: Schüco, UDC80-129 Profilin Eğilme Kapasite Grafiği.

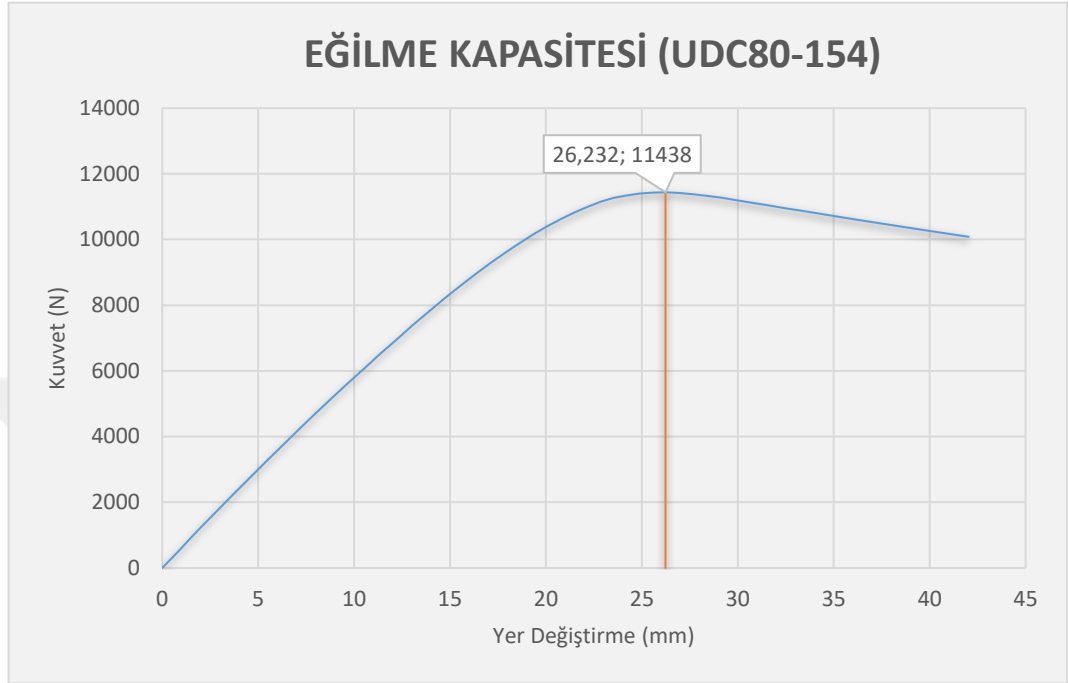
Denklem 3.13'ün birinci derece integrali alınarak Şekil 3.23'deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,002x^3 - 3,3832x^2 + 421,16x - 19,253 \quad (3.13)$$

Tablo 3.21: Schüco UDC80-129 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
56,63	12606	464280,8
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	5523,7	43260,3

Şekil 3.24'te Schüco UDC80-154 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.14'te ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99'dur.



Şekil 3.24: Schüco, UDC80-154 Profiline Eğilme Kapasite Grafiği.

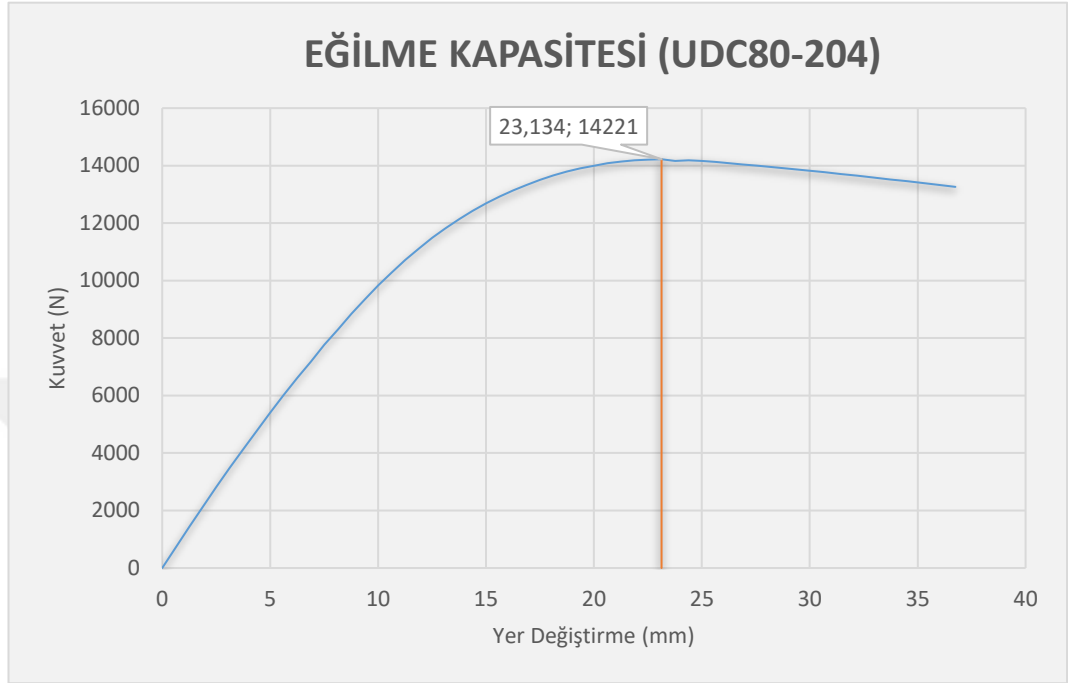
Denklem 3.14'ün birinci derece integrali alınarak Şekil 3.24'teki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,0165x^4 - 1,4025x^3 + 25,02x^2 + 434,42x + 226,7 \quad (3.14)$$

Tablo 3.22: Schüco UDC80-154 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
26,23	11438	180899
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	8336	65176

Şekil 3.25'te Schüco UDC80-204 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.15'te ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.23'te verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99'dur.



Şekil 3.25: Schüco, UDC80-204 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

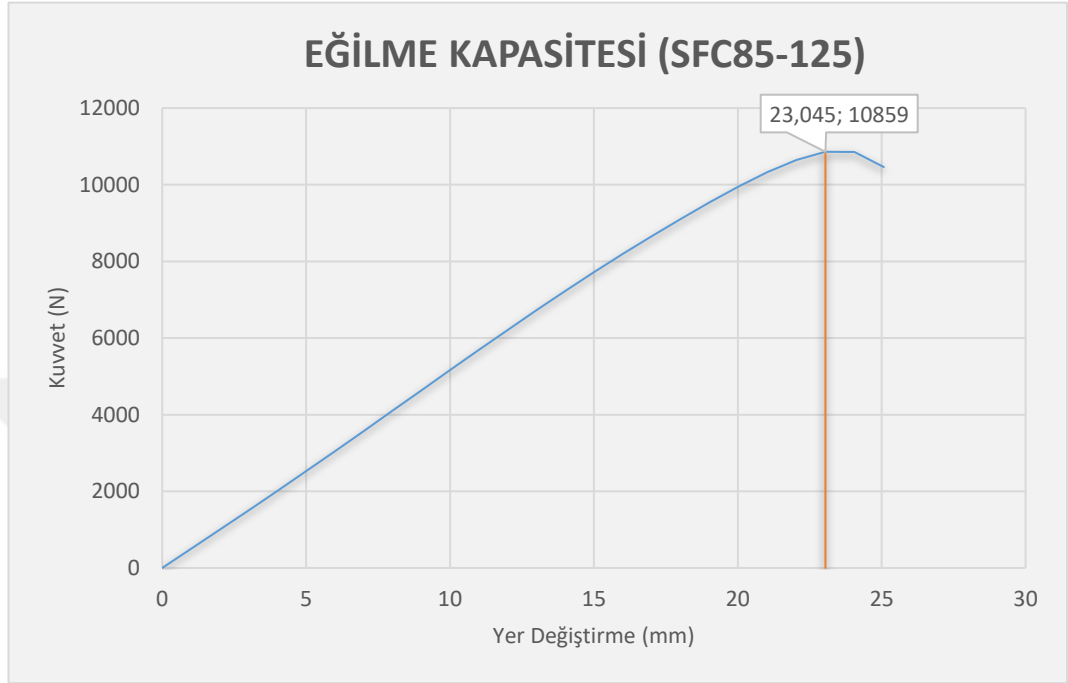
Denklem 3.15'in birinci derece integrali alınarak Şekil 3.25'teki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0007x^5 + 0,0799x^4 - 2,8429x^3 + 11,779x^2 + 1070,1x + 59,048 \quad (3.15)$$

Tablo 3.23: Schüco UDC80-204 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
23,13	14221	220705
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	12689	109349

Şekil 3.26’da Schüco SFC85-125 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.16’da ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.24’te verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.26: Schüco, SFC85-125 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

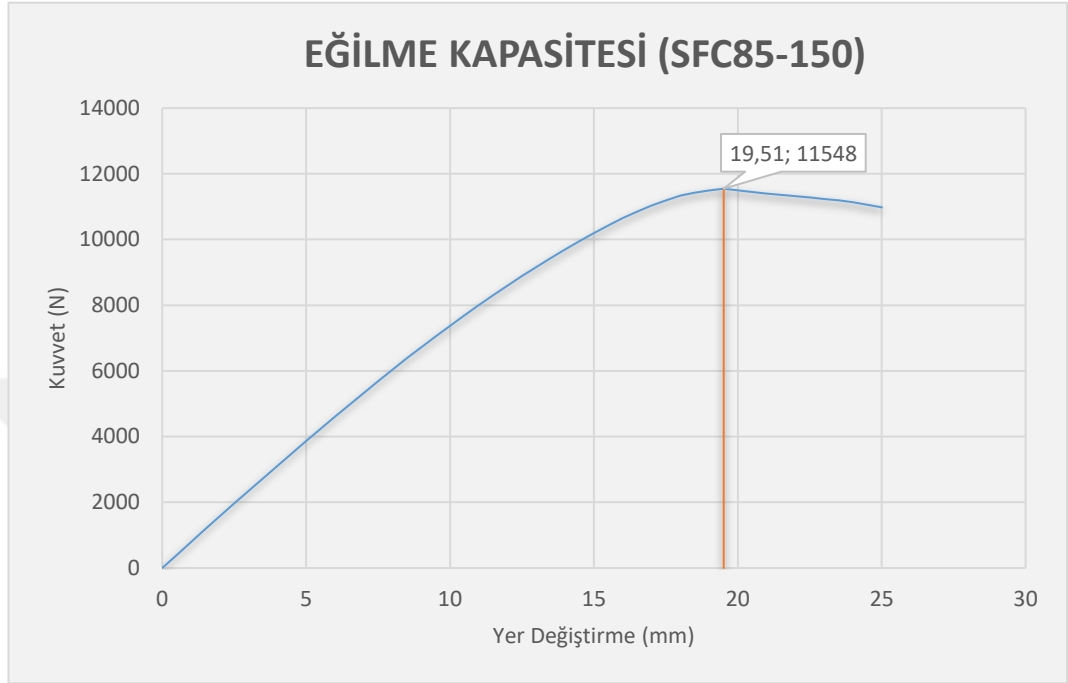
Denklem 3.16’nın birinci derece integrali alınarak Şekil 3.26’daki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0044x^5 + 0,2335x^4 - 4,5833x^3 + 38,945x^2 + 392,02x + 45,045 \quad (3.16)$$

Tablo 3.24: Schüco SFC85-125 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
23,05	10859	134588,2
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	7715,5	57693,3

Şekil 3.27’de Schüco SFC85-150 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.17’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.25’te verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.27: Schüco, SFC85-150 Profiline Eğilme Kapasite Grafiği.

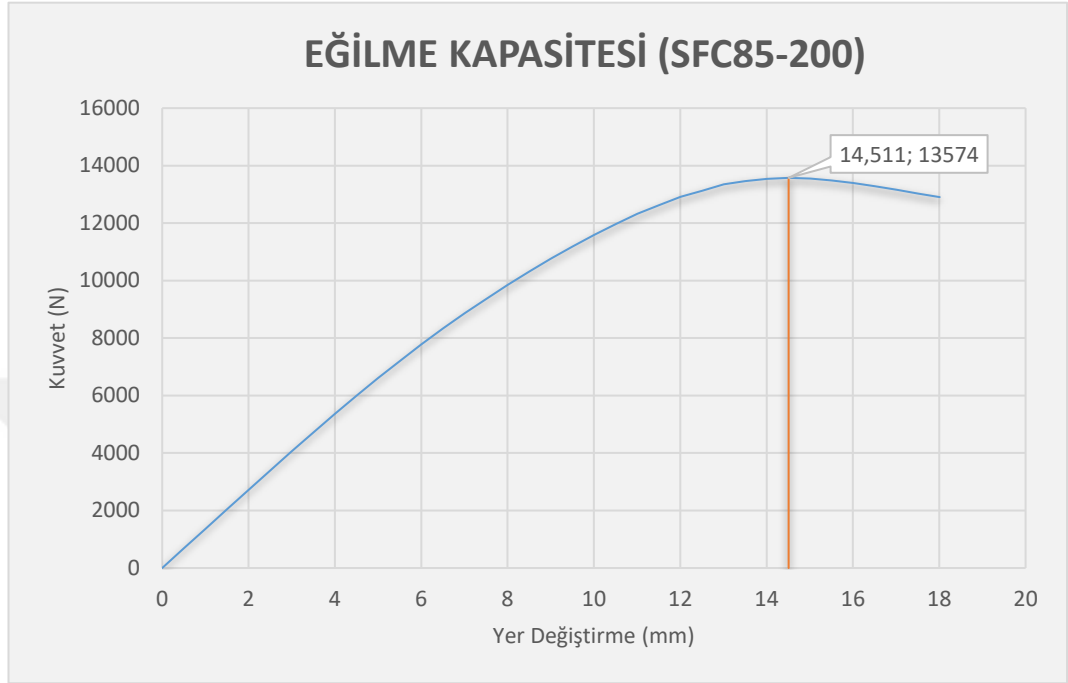
Denklem 3.17’nin birinci derece integrali alınarak Şekil 3.27’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,8279x^3 + 8,4862x^2 + 733,97x + 55,146 \quad (3.17)$$

Tablo 3.25: Schüco SFC85-150 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
19,51	11548	131784
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	10200	82468

Şekil 3.28’de Schüco SFC85-200 profiline ait eğilme kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 3.18’de ve profil için kapasite değerleri Tablo 3.26’da verilmiştir. Eğrinin matematiksel doğruluk yakınsaması R^2 : 0,99’dur.



Şekil 3.28: Schüco, SFC85-200 Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

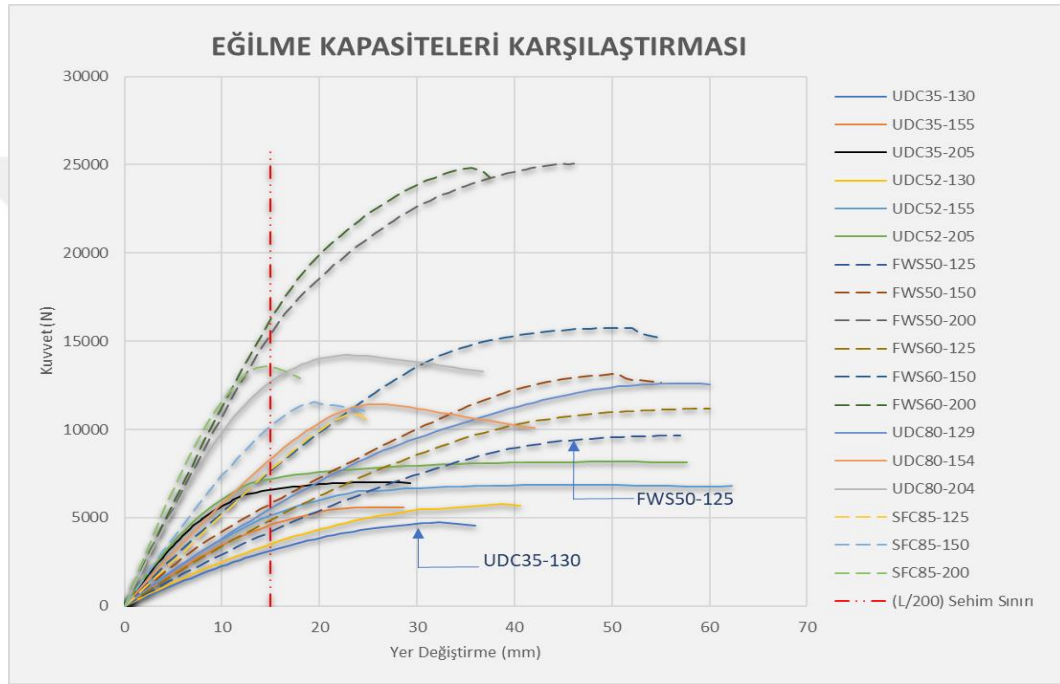
Denklem 3.18’in birinci derece integrali alınarak Şekil 3.28’deki kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-1,9132x^3 - 3,046x^2 + 1383,3x - 10,898 \quad (3.18)$$

Tablo 3.26: Schüco SFC85-200 Profili Eğilme Kapasitesi Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
14,51	13574	121158
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	13554	127817

Belirlenen 18 adet Schüco giydirme cephe profilinin eğilme kapasite karşılaştırmaları Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Bu kapasite karşılaştırmasına göre çubuk sistem profillerinden FWS50-125 ile panel sistem profillerinden UDC35-125 profillerinin eğilme kapasitelerinin diğer profil kapasitelerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu iki sistem içinde kapasitesi düşük olan profiller üzerinde eğilme kapasitesini artırmak için yöntemler belirlenecektir ve aynı sınır şartları altında profillere yeniden sonlu elemanlar analizi uygulanacaktır (Tablo 3.27).



Şekil 3.29: Schüco Sistem Kesitleri Kapasite Karşılaştırması.

Tablo 3.27: Eğilme Kapasiteleri Düşük Profil Özellikleri.

Değerler	FWS50-125	UDC35-125
I_x (mm ⁴) :	2793263,09 mm ⁴	2088170,05 mm ⁴
Δ_u (mm) :	56,27 mm	32,22 mm
F_u (N) :	9633,9 N	4756,5 N
E_u (J) :	32803,6 J	25249,49 J

4. ALÜMİNYUM GİYDİRME CEPHE SİSTEMLERİNDE EĞİLME KAPASİTESİNİN ARTIRILMASI

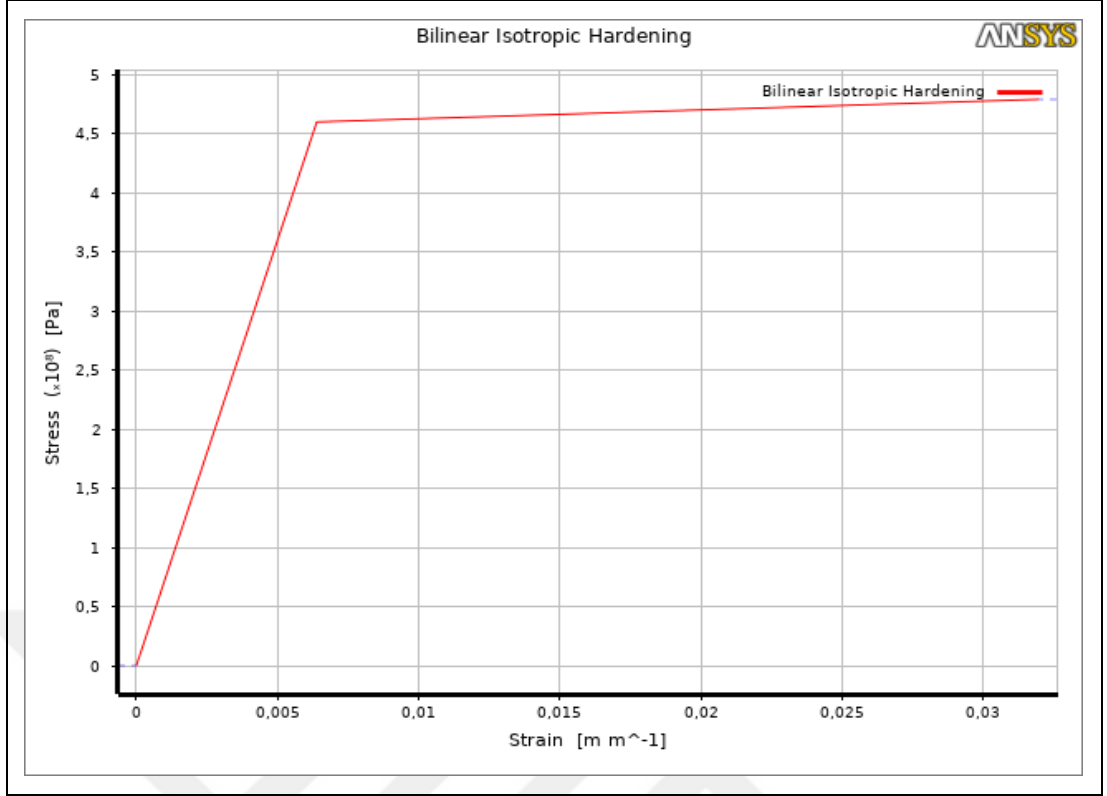
Çalışmanın ikinci bölümünde sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilen eğilme kapasiteleri incelenmiş ve en kötü davranışı sergileyen panel sistem profillerden UDC35-130 kesiti ve çubuk sistem profillerinden de FWS50-125 kesiti eğilme kapasitesinde iyileştirme yapılmasına yönelik çalışmaya geçilmiştir. Bu aşamada genellikle malzeme değişikliği ve ilave güçlendirme takviyelerinin kullanılması gibi yaklaşımlar bulunmaktadır.

4.1. Alaşımın Değiştirilmesi

Bu çalışma kapsamında malzeme değişikliği dikkate alınmış ve sistemin malzemesi değiştirilerek eğilme kapasitesinin artırılmasına çalışılmıştır. Bu aşamada alüminyum malzeme kullanımından vazgeçilmemiş ancak farklı alaşımlara yönelik araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda akma ve kopma değeri diğer alaşımlara göre yüksek olan 7075-T6 alaşımı kullanılmıştır. 7075 T6 alaşımına ait malzeme özellikleri Tablo 4.1’de ve gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Eğilme Analizinde Kullanılan Profil İçin Yeni Malzeme Bilgileri.

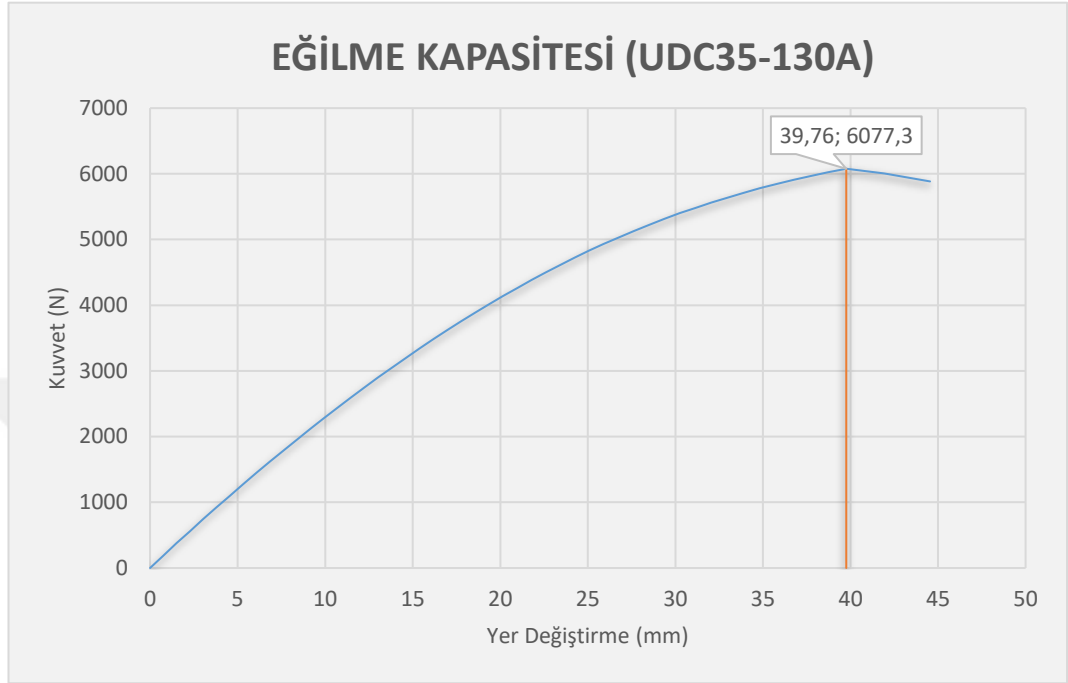
Malzeme Bilgileri	Özellik Değerleri	Birim
Yoğunluk, ρ	: 2810	Kg/m ³
Elastisite, E	: 72000	MPa
Possion Oranı, ν	: 0,33	
Hacim Modülü, e	: 70588	MPa
Kesme Modülü, G	: 27068	MPa
Akma Dayanımı, σ	: 460	MPa
Tanjant Modülü	: 748	MPa



Şekil 4.1: 7075-T6 Alaşımına Ait Bilinear Isotropic Hardening Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.

Bu bölümde tasarımda kullanılan profil kesitlerinde her hangi bir değişiklik yapılmaksızın yalnızca mevcut alaşımının akma dayanımı değerinden daha yüksek akma dayanımına sahip olan bir alaşım kullanarak profil üzerinde eğilme kapasitesinde nasıl bir değişim olacağı araştırılmaktadır. Malzeme özellikleri değiştirilmiş kesite ait sonlu elemanlar analizlerinde sistemin sınır şartları, yükleme durumu ve profil yükseklikleri çalışmanın birinci aşamasındaki kabullere göre yapılmıştır. Bu kapsamında sistem ağırlık merkezinden itilerek doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş ve yeni kesite ait eğilme kapasitesi çıkarılmıştır. Ardından bu eğri çalışmanın ilk bölümünde elde edilen kapasite eğrisi ile karşılaştırılmış ve iyileştirilmiş kesit (UDC35-130A, FWS50-125A) ile normal kesit (UDC35-130, FWS50-125) için karşılaştırma grafiği ve tablosu hazırlanmıştır (Şekil 7 ve Tablo 6). Yapılan bu değişimler sonucunda ortaya çıkan kapasitedeki artış değerleri makul bir noktaya değinmektedir.

Schüco UDC35-130 profilinin alaşımı 7075-T6 alaşımıyla değiştirilmesiyle Şekil 4.2’de yeni alaşımlı profilin (UDC35-130A) eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.2’de bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.2: UDC35-130A Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

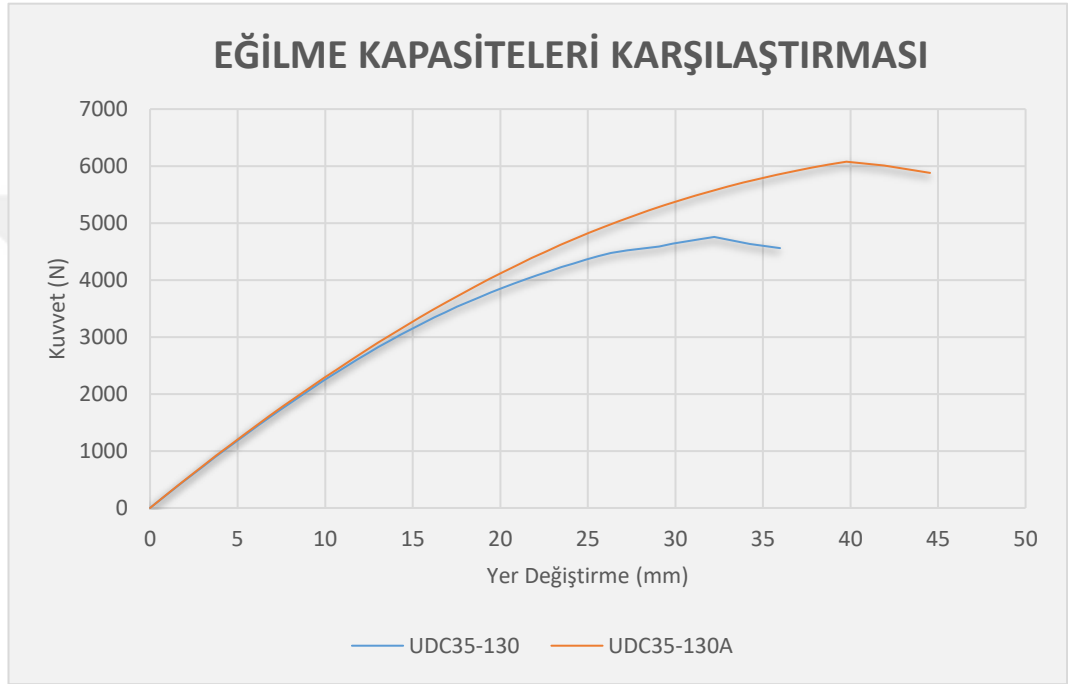
Şekil 4.2’deki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.1’de verilmiştir. Denklemin integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,00007x^5 + 0,0067x^4 - 0,2397x^3 + 1,1684x^2 + 234,71x + 17,44 \quad (4.1)$$

Tablo 4.2: Yeni Alaşımlı UDC35-130A Profili Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
39,76	6077,3	147992,3
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	3269,7	25831,9

Şekil 4.3 ve Tablo 4.3'te görüleceği gibi sistemin malzeme özelliklerinde yapılan değişiklikler eğilme kapasitesinde gözle görülür bir artış sağlamış ve özellikle sistemin enerji sönümleme kapasitesi %53.1'den daha fazla artmıştır. Sistemde meydana gelen maksimum deplasmanlara bakıldığında ise malzeme özellikleri değiştirilen kesitin başlangıç kesitine göre %23.4 daha fazla deplasman yapabildiği ve ilk durumdaki taşıma kapasitesine göre %27.8 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

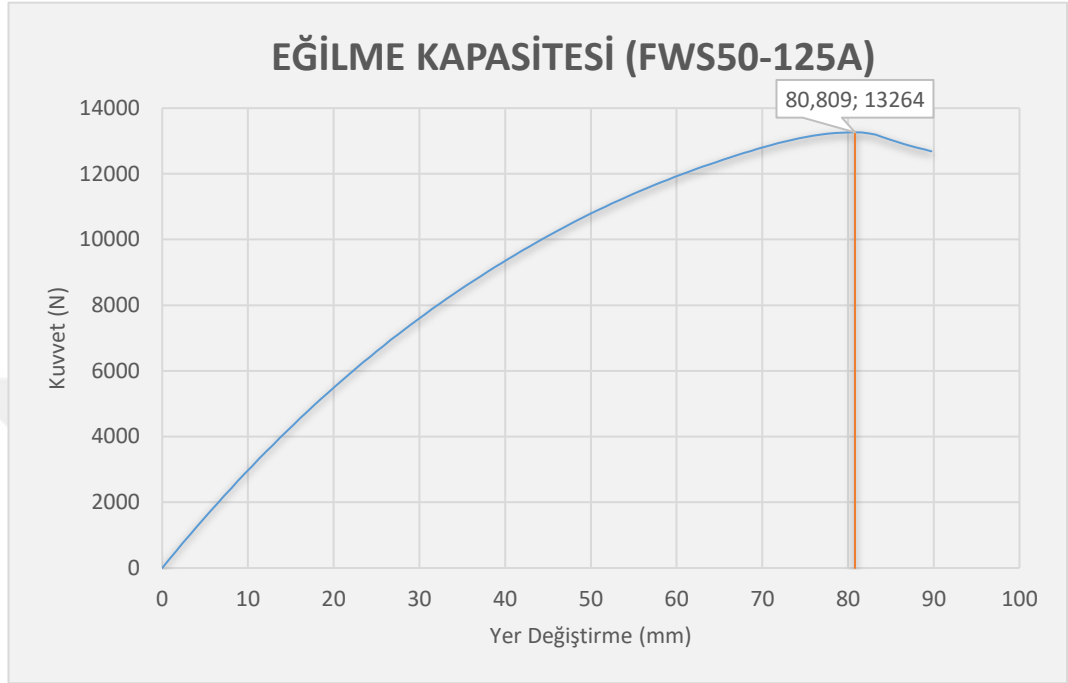


Şekil 4.3: UDC35-130 ve UDC35-130A Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.3: UDC35-130 ve UDC35-130A Karşılaştırma Tablosu.

Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		UDC35-130	UDC35-130A	
I_x	(mm ⁴)	2088170,05	2088170,05	-
Δ_u	(mm)	32,22 mm	39,76 mm	% 23.4
F_u	(N)	4756,5 N	6077,3 N	% 27.8
E_u	(J)	96676,5 J	147992,3 J	% 53.1

Schüco FWS50-125 profilinin alaşımı 7075-T6 alaşımıyla değiştirilmesiyle Şekil 4.4'te yeni alaşımlı profilin (FWS50-125A) eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.4'te bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4: FWS50-125A Profilinin Eğilme Kapasite Grafiği.

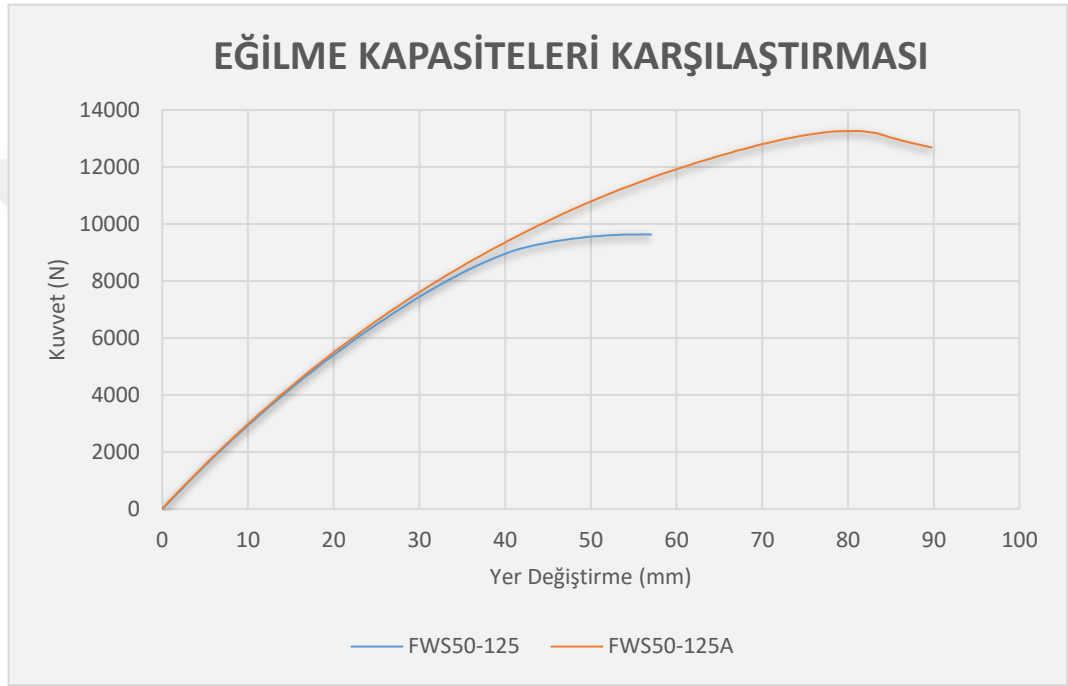
Şekil 4.4'teki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.2'de verilmiştir. Denklemin integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,000006x^5 + 0,0011x^4 - 0,0633x^3 - 0,588x^2 + 302,33x + 40,984 \quad (4.2)$$

Tablo 4.4: Yeni Alaşımlı FWS50-125A Profili Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
80,81	13264	691841,8
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	4284,2	33319,9

Şekil 4.5 ve Tablo 4.5'te görüleceği gibi sistemin malzeme özelliklerinde yapılan değişiklikler eğilme kapasitesinde gözle görülür bir artış sağlamış ve özellikle sistemin enerji sönümleme kapasitesi %93.4'den daha fazla artmıştır. Sistemde meydana gelen maksimum deplasmanlara bakıldığında ise malzeme özellikleri değiştirilen kesitin başlangıç kesitine göre %43.6 daha fazla deplasman yapabildiği ve ilk durumdaki taşıma kapasitesine göre %37.7 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5: FWS50-125 ve FWS50-125A Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.5: FWS50-125 ve FWS50-125S Karşılaştırma Tablosu.

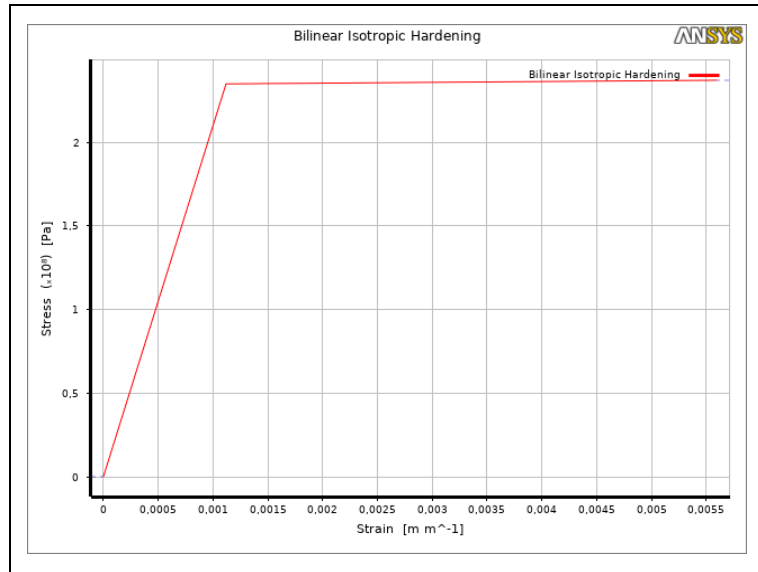
Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		FWS50-125	FWS50-125A	
I_x	(mm ⁴)	2793263,09	2793263,09	-
Δ_u	(mm)	56,27 mm	80,81 mm	% 43.6
F_u	(N)	9633,9 N	13264 N	% 37.7
E_u	(J)	357714,5 J	691841,8 J	% 93.4

4.2. Çelik Takviye Uygulaması

Çalışmanın ikinci aşamasında profilin mevcut alaşımını değiştirmeden sistem üzerinde çelik malzeme takviyeler kullanılarak eğilme kapasitesinin artırılmasına çalışılmıştır. Bu kapsam içerisinde piyasada termin süresi kısa ve maliyeti düşük olan bir çelik sınıfı araştırılması yapılmıştır. Araştırma sonucuna göre ise akma değeri mevcut profilin akma değerine kıyasla düşük ancak düşük maliyete ve kısa termin süresine sahip olan S235 yapı çeliği sınıfı tercih edilmiştir. Takviyelerde kullanılan S235 çelik sınıfına ait malzeme özellikleri Tablo 4.6’da ve gerilme – şekil değiştirme eğrisi ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

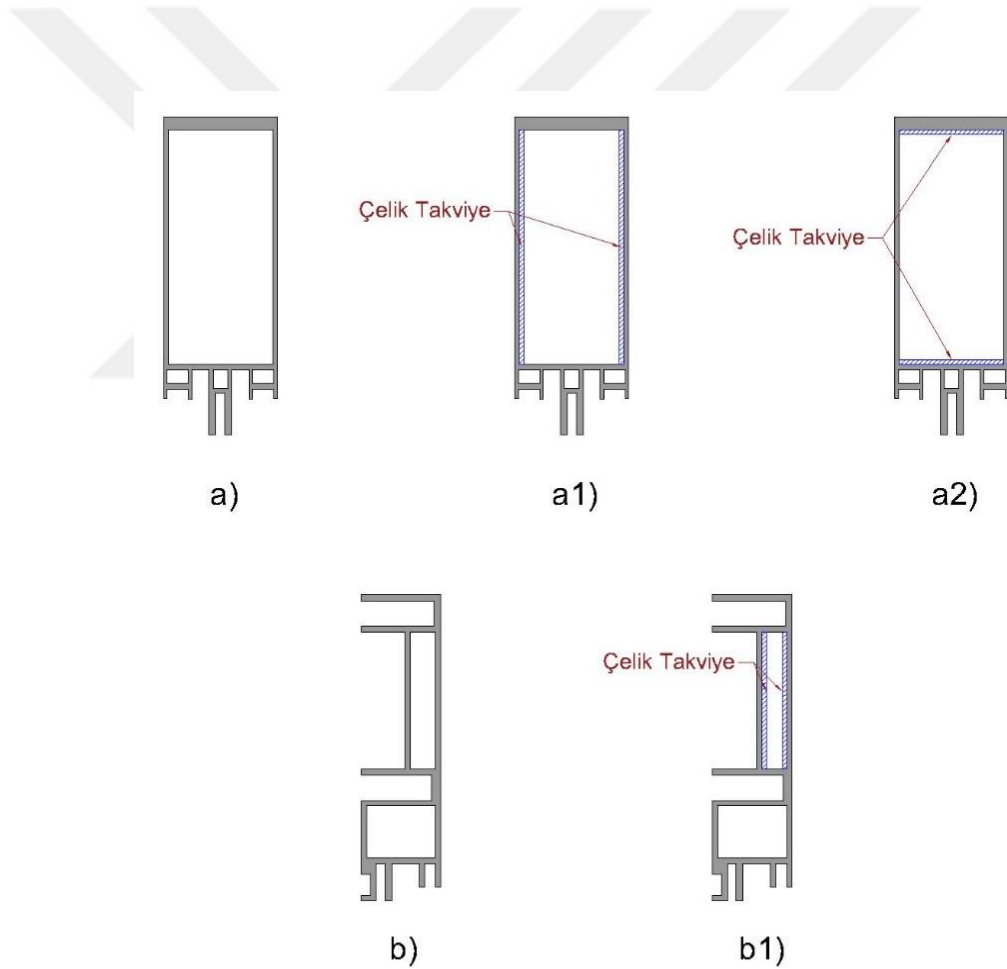
Tablo 4.6: Takviye Elemanı Olarak Kullanılan S235 Çelik Sınıfı Özellikleri.

Malzeme Bilgileri	Özellik Değerleri	Birim
Yoğunluk, ρ	: 7850	Kg/m ³
Elastisite, E	: 210000	MPa
Poisson Oranı, ν	: 0,30	
Hacim Modülü, e	: 17500	MPa
Kesme Modülü, G	: 80769	MPa
Akma Dayanımı, σ_a	: 235	MPa
Çekme Dayanımı, σ_u	: 360	MPa
Tanjant Modülü	: 483	MPa



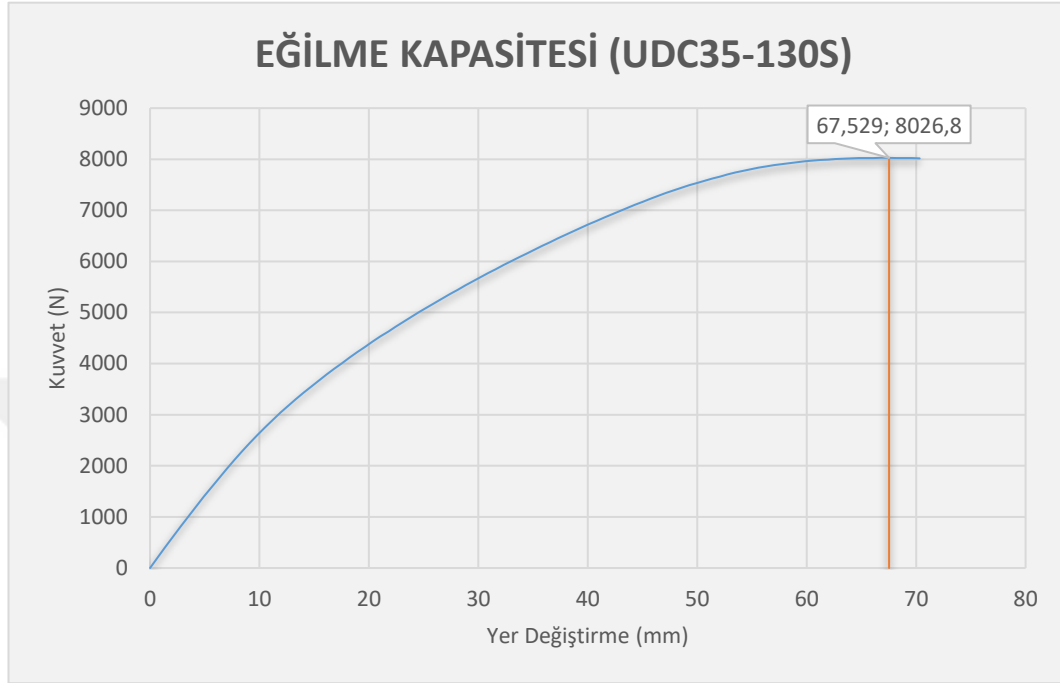
Şekil 4.6: S235 Çelik Sınıfına Ait Bilinear Isotropic Hardening Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.

Çelik takviyeler S235 yapı çeliği sınıfından 2 mm kalınlığında 3m uzunluğunda plaklardan oluşmaktadır. Bu çelik takviyeler Şekil 4.7’de görüldüğü üzere UDC35-130 profil kesitinde iç kısmındaki uygun olan boşluk içerisine yerleştirilmesi ile UDC35-130S, FWS50-125 profil kesitinde yeterli boşluk olması dolayısıyla profilin sağ ve sol yanlarına takviye uygulanmasıyla FWS50-125S1, ön ve arka kenarlarına takviye uygulanmasıyla FWS50-125S1 oluşacak şekilde kompozit profil kesitleri oluşturulmuştur. Kompozit Kesitlere ait sonlu elemanlar analizlerinde sistemin sınır şartları, yükleme durumu ve profil yükseklikleri çalışmanın birinci aşamasındaki kabullere göre yapılmıştır. Bu kapsamda sistem ağırlık merkezinden itilerek doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş ve yeni kompozit kesitlere ait eğilme kapasiteleri çıkarılmıştır.



Şekil 4.7: Çelik Takviyeli Kesitler a) FWS50-125 a1) FWS50-125S
a2) FWS50-125S1 b) UDC35-130 b1) UDC35-130S.

Schüco UDC35-130 profili üzerine S235 çelik takviye uygulanmasıyla Şekil 4.8’de kompozit profilin (UDC35-130S) eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.7’da bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.8: UDC35-130S Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.

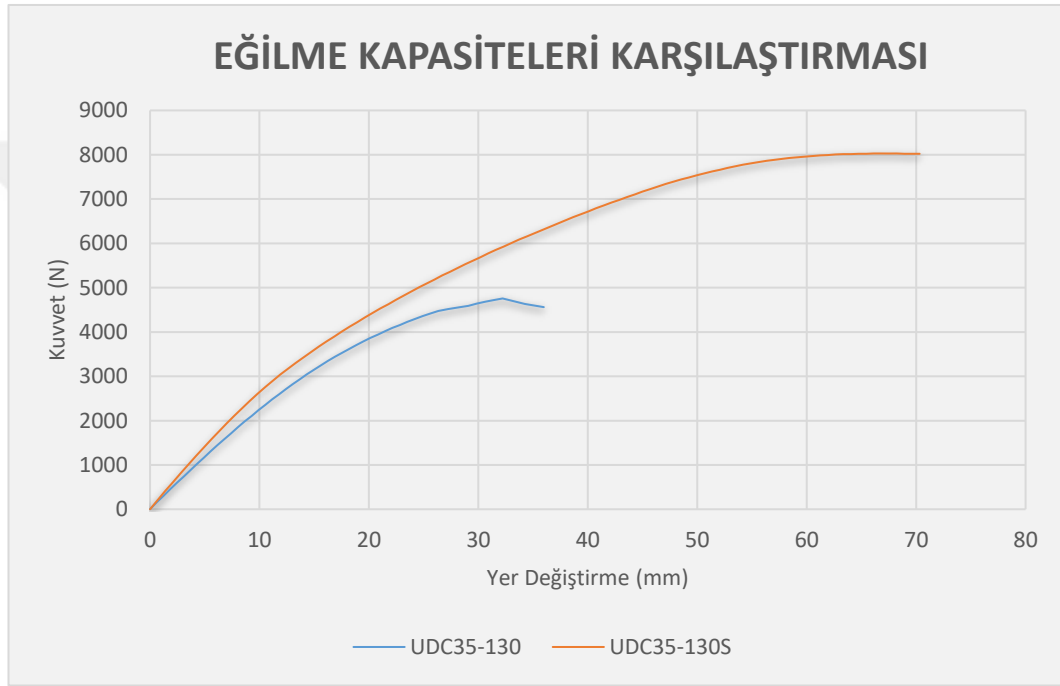
Şekil 4.8’deki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.3’te verilmiştir. Denklem integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0006x^4 + 0,0941x^3 - 6,5547x^2 + 318,04x - 3,948 \quad (4.3)$$

Tablo 4.7: Çelik Takviyeli UDC35-130S Kompozit Profil Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
67,53	8026,8	372765,7
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	3598,1	29446,1

Şekil 4.9 ve Tablo 4.8’de görüldüğü üzere profilin çelik takviye uygulanarak güçlendirilmesi eğilme kapasitesinde artış sağlamıştır. Takviye uygulanarak kompozit profil oluşturulan kesitin atalet momentinde %21.5 kadar bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin enerji sönümleme kapasitesinde ise %285.6 kadar çok yüksek bir oranda artış sağlanmıştır. Sistemde meydana gelen maksimum deplasmanlara bakıldığında ise ilk duruma göre %109.6 daha fazla deplasman yapabildiği ve ilk durumdaki taşıma kapasitesine göre % 68.8 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

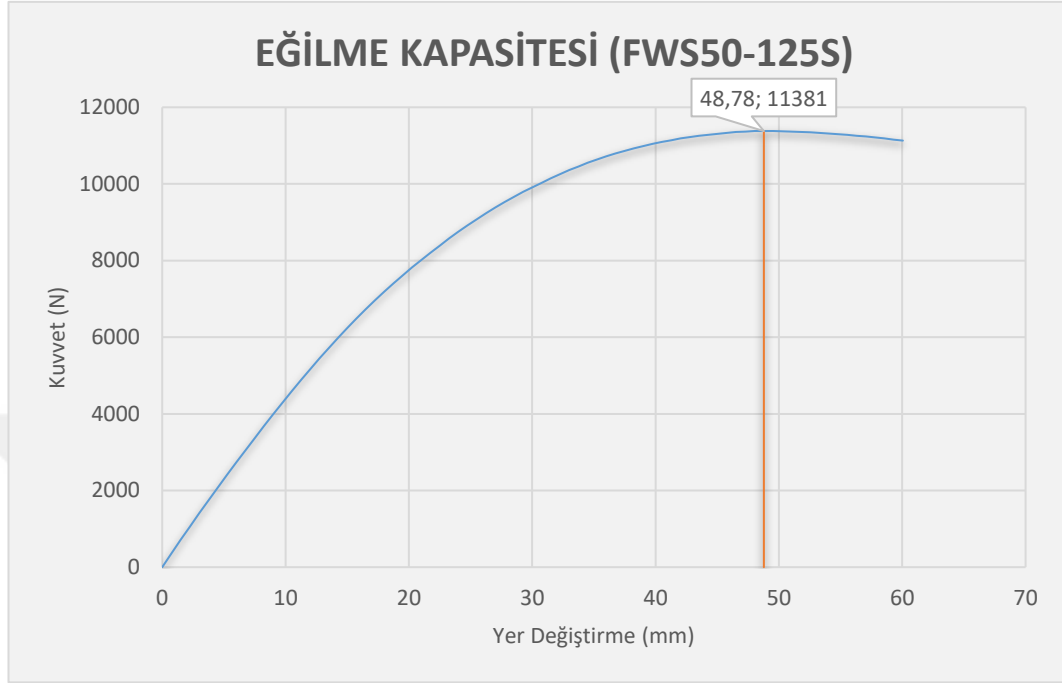


Şekil 4.9: UDC35-130 ve UDC35-130S Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.8: UDC35-130 ve UDC35-130S Karşılaştırma Tablosu.

Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		UDC35-130	UDC35-130S	
I_x	(mm ⁴)	2088170,05	2537820,1	% 21.5
Δ_u	(mm)	32,22 mm	67,53 mm	% 109.6
F_u	(N)	4756,5 N	8026,8 N	% 68.8
E_u	(J)	96676,5 J	372765,7 J	% 285.6

Schüco FWS50-125 profili üzerine S235 çelik takviye uygulanmasıyla Şekil 4.10’da kompozit profilin (FWS50-125S) eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.9’da bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10: FWS50-125S Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.

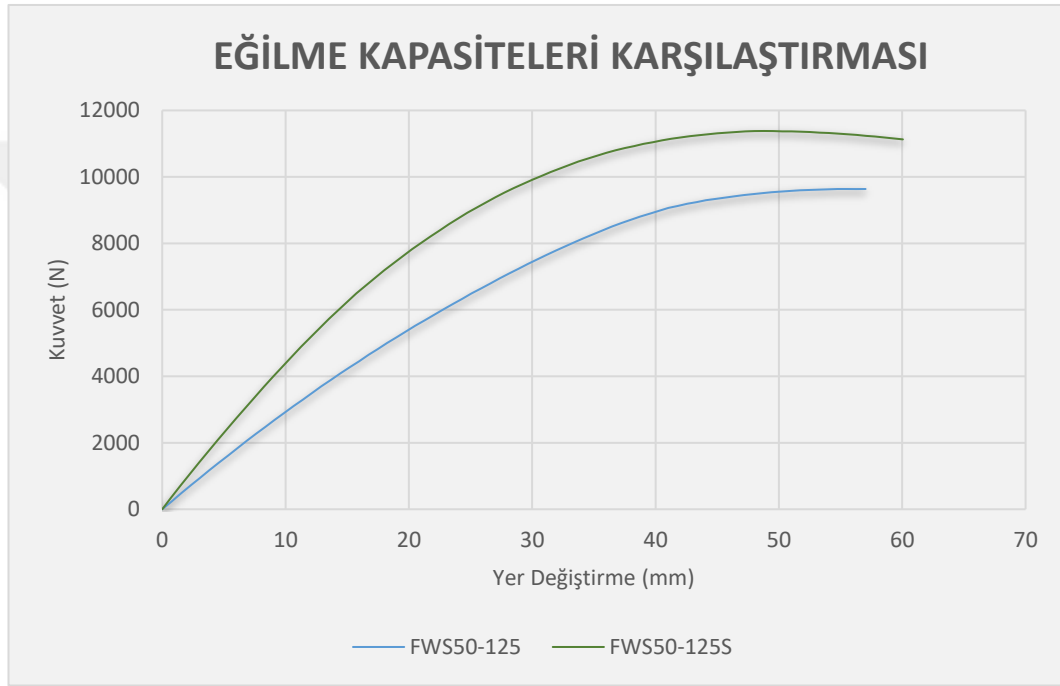
Şekil 4.10’daki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.4’te verilmiştir. Denklemin integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,0005x^4 - 0,0304x^3 - 5,0191x^2 + 497,68x - 38,321 \quad (4.4)$$

Tablo 4.9: Çelik Takviyeli FWS50-125S Kompozit Profil Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
48,78	11381	380639,3
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	6242,5	49458,9

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere profile çelik takviye uygulanarak güçlendirilmesi eğilme kapasitesinde makul artış sağlamıştır ancak beklenen bir seviyede kapasite artışı sağlamamıştır. Takviye uygulanarak kompozit profil oluşturulan kesitin atalet momentinde % 41 kadar bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin enerji sönümleme kapasitesinde ise % 6.41 oranında çok yüksek olmayan bir artış sağlanmıştır. Sistemde meydana gelen maksimum deplasmanlara bakıldığında ise ilk duruma göre %13.3 daha az deplasman yapabildiği ve ilk durumdaki taşıma kapasitesine göre % 6.41 fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.10).

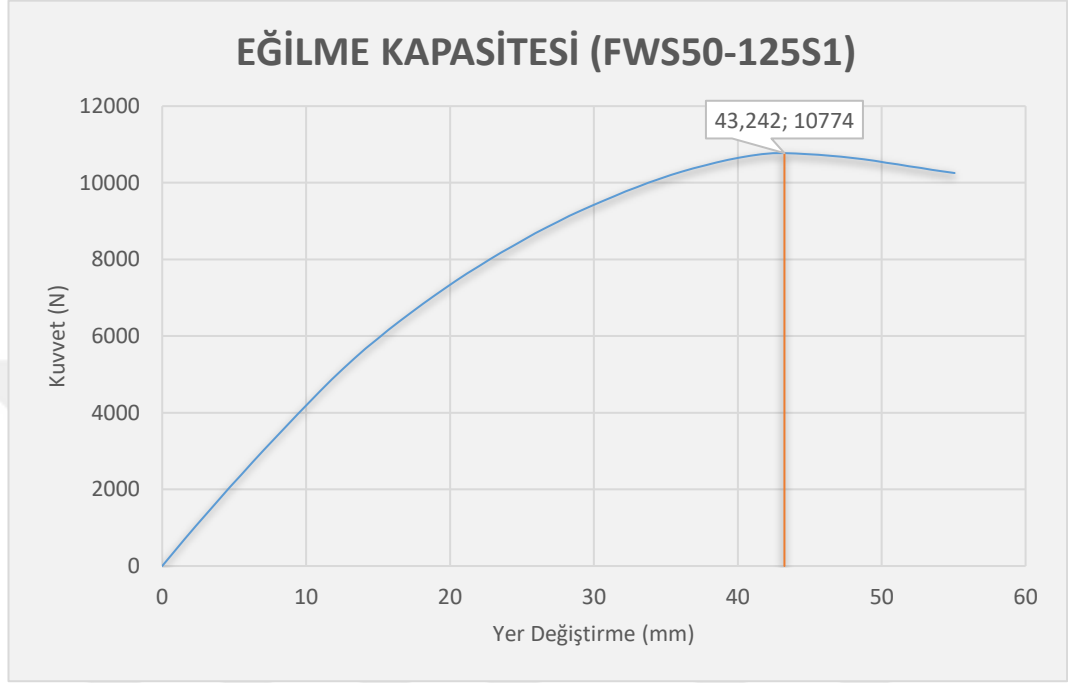


Şekil 4.11: FWS50-125 ve FWS50-125S Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.10: FWS50-125 ve FWS50-125S Karşılaştırma Tablosu.

Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		FWS50-125	FWS50-125S	
I_x	(mm ⁴)	2793263,09	3939245.6	% 41
Δ_u	(mm)	56,27 mm	48,78 mm	-% 13.3
F_u	(N)	9633,9 N	11381 N	% 18.1
E_u	(J)	357714,5 J	380639,3 J	% 6.41

Schüco FWS50-125 profili üzerinde farklı kenarlarda S235 çelik takviye uygulanması sonucunda Şekil 4.12’de kompozit profilin (FWS50-125S1) eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.11’de bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.12: FWS50-125S1 Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.

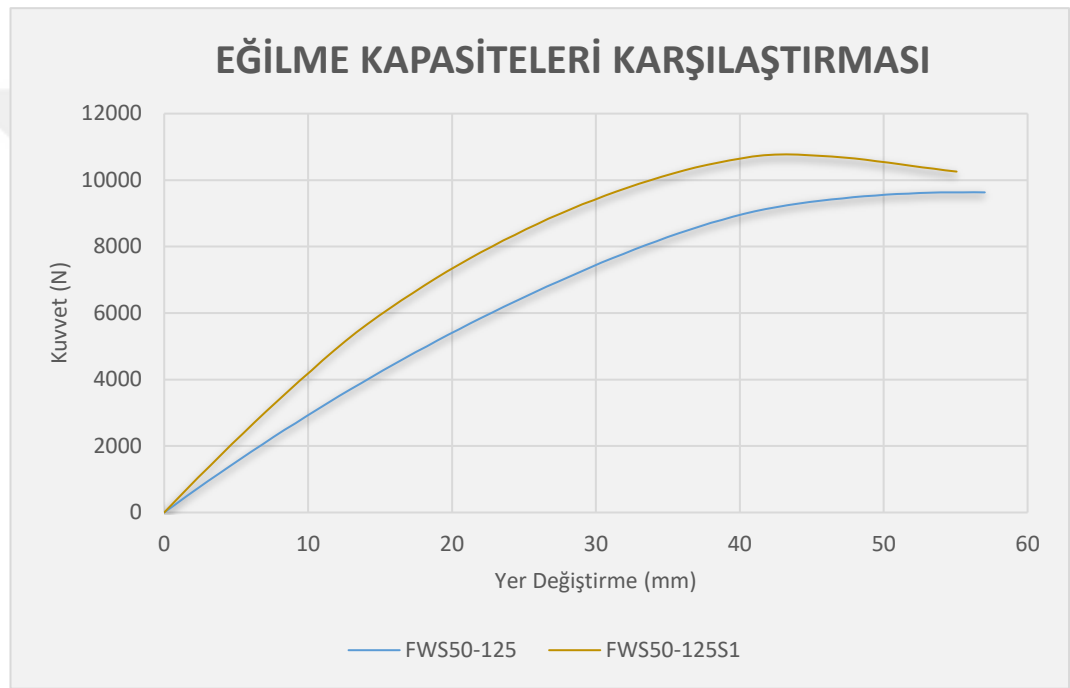
Şekil 4.12’deki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.5’te verilmiştir. Denklem integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0004x^4 + 0,0378x^3 - 6,3804x^2 + 484,75x - 52,238 \quad (4.5)$$

Tablo 4.11: Çelik Takviyeli FWS50-125S1 Kompozit Profil Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
43,24	10774	299908,9
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	5941,4	46990,5

Çelik takviyelerinin konumu değiştirilerek eğilme kapasitesindeki artış merak edilmiştir ve Şekil 4.13'te görüldüğü üzere çelik takviye uygulaması eğilme kapasitesinde bir miktar artış sağlamıştır ancak bu kapasite makul seviyede kapasite artışı sağlamamıştır. Takviye uygulanarak kompozit profil oluşturulan kesitin atalet momentinde %49.7 kadar bir artış gözlemlenmiştir. Sistemin enerji sönümleme kapasitesinde ise %16.2 oranında düşüş göstermiştir. Sistemde meydana gelen maksimum deplasmanlara bakıldığında ise ilk duruma göre % 23.2 daha az deplasman yapabildiği ve ilk durumdaki taşıma kapasitesine göre % 11.8 fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.12).



Şekil 4.13: FWS50-125 ve FWS50-125S1 Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

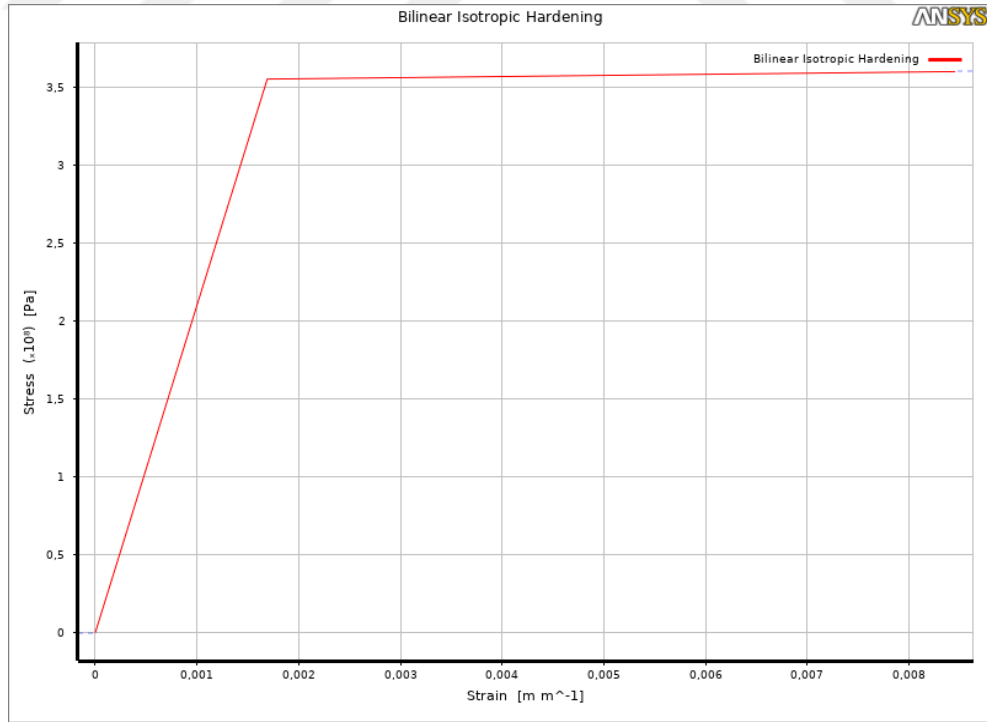
Tablo 4.12: FWS50-125 ve FWS50-125S1 Karşılaştırma Tablosu.

Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		FWS50-125	FWS50-125S1	
I_x	(mm ⁴)	2793263,09	4180996,4	% 49.7
Δ_u	(mm)	56,27 mm	43,24 mm	-% 23.2
F_u	(N)	9633,9 N	10774 N	% 11.8
E_u	(J)	357714,5 J	299908,9 J	-% 16.2

Akma mukavemeti düşük olan çelik takviyeler kullanılmasıyla profil kesitinde sağlanan kapasite artışı göz önünde bulundurularak kapasitede daha fazla artış olmasını sağlamak amacıyla çelik takviye uygulaması kapsamında bu aşamada bir önceki uygulamada kullanılan S235 çelik kalitesine kıyasla akma mukavemeti daha yüksek olan S355 kalite çelik kullanılmıştır. Bu bölümde takviyelerde kullanılan S355 çelik sınıfına ait malzeme özellikleri Tablo 4.13'te ve gerilme – şekil değiştirme eğrisi ise Şekil 4.14'te verilmiştir.

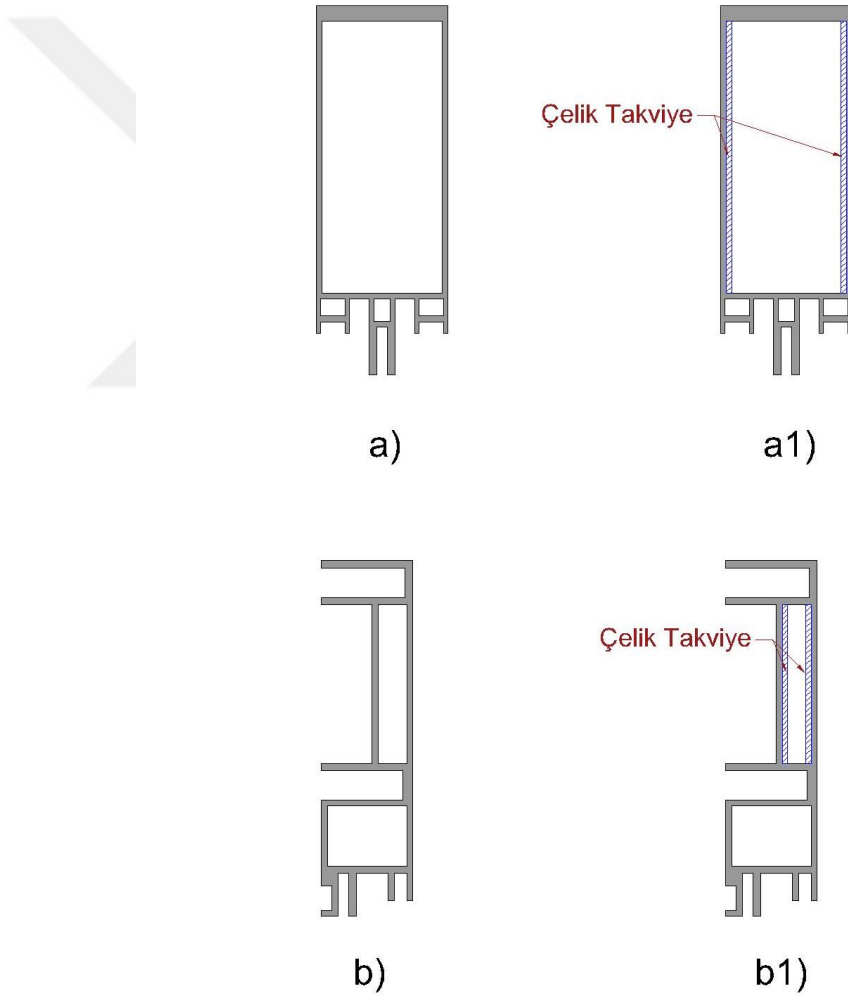
Tablo 4.13: Analizde Takviye Olarak Kullanılan S355 Çelik Sınıfı Özellikleri.

Malzeme Bilgileri	Özellik Değerleri	Birim
Yoğunluk, ρ	: 7850	Kg/m ³
Elastisite, E	: 210000	MPa
Poisson Oranı, ν	: 0,30	
Hacim Modülü, e	: 17500	MPa
Kesme Modülü, G	: 80769	MPa
Akma Dayanımı, σ_a	: 355	MPa
Çekme Dayanımı, σ_u	: 510	MPa
Tanjant Modülü	: 711	MPa



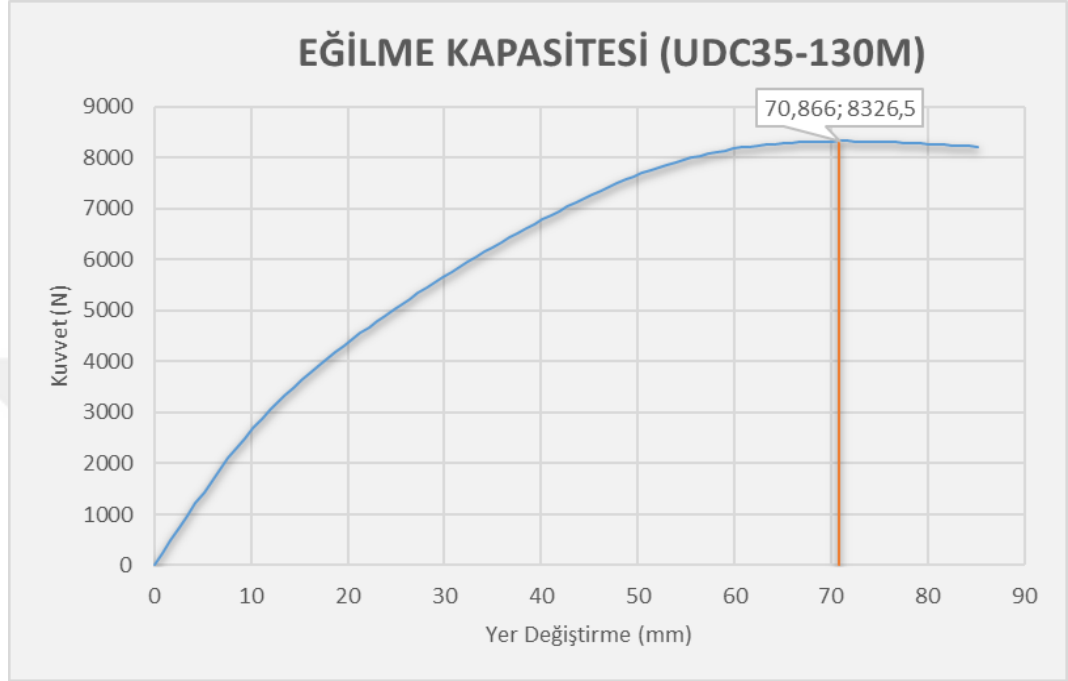
Şekil 4.14: S355 Çelik Sınıfına Ait Bilinear Isotropic Hardening Gerilme – Şekil Değiştirme Grafiği.

Bu aşamadaki çelik takviyeler de S355 yapı çeliği sınıfından 2 mm kalınlığında 3m uzunluğunda plaklardan oluşmaktadır. Bu çelik takviyeler Şekil 4.6-a2 kesiti hariç Şekil 4.15'te görüldüğü üzere bir önceki aşamada uygulanan takviye konumları değiştirilmeden aynı konumlarda takviyeler uygulanmıştır. Şekil 4.15'te oluşturulan kompozit kesitler sonlu elemanlar analizlerinde sistemin sınır şartları, yükleme durumu ve profil yükseklikleri çalışmanın birinci aşamasındaki kabullere göre yapılmıştır. Sistem aynı şekilde ağırlık merkezinden itilerek doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş ve takviye kalitesi değiştirilmiş yeni kompozit kesitlere ait eğilme kapasiteleri çıkarılmıştır.



Şekil 4.15: Çelik Takviyeli Kesitler a) FWS50-125 a1) FWS50-125M
b) UDC35-130 b1) UDC35-130M.

UDC35-130M kompozit kesiti üzerine uygulanan S355 kalite çelik takviyeli kesitin sonlu elemanlar analizi sonucu Şekil 4.16’da kompozit profilin (FWS50-125M) eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.14’te bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.16: UDC35-130M Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.

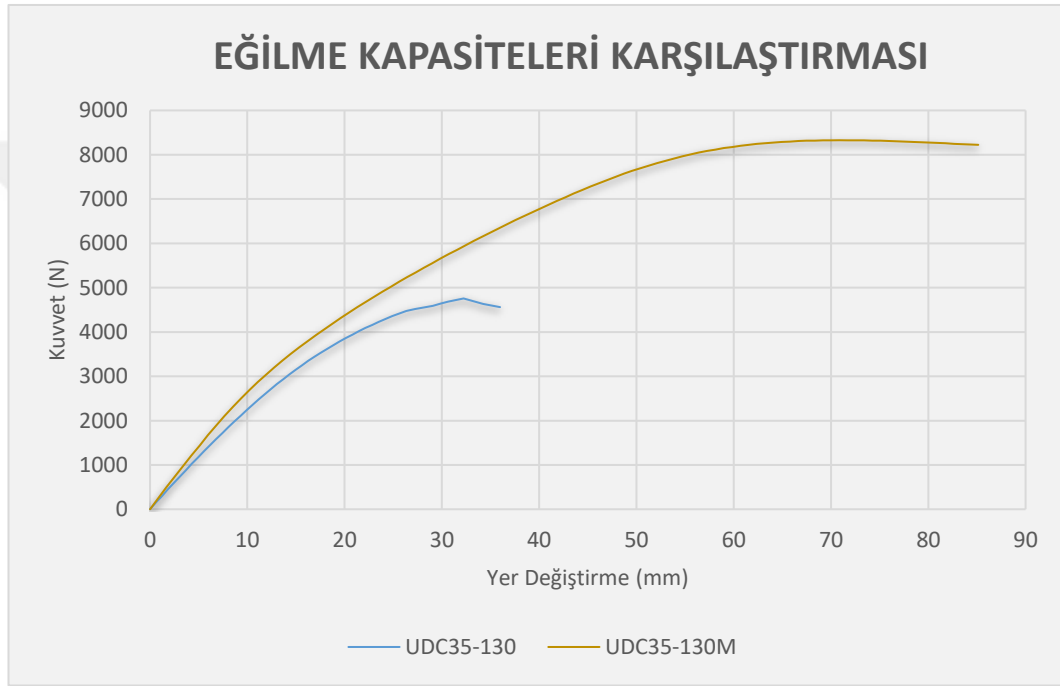
Şekil 4.16’deki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.6’da verilmiştir. Denklem integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0002x^4 + 0,0384x^3 - 4,0363x^2 + 279,78x + 114,77 \quad (4.6)$$

Tablo 4.14: Çelik Takviyeli UDC30-135M Kompozit Profil Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
70,87	8326,5	402493,6
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	3592,7	29111,6

Şekil 4.17 ve Tablo 4.15'te görüldüğü üzere profilin çelik takviye kalitesinin değiştirilmesiyle güçlendirilen kompozit kesitin eğilme kapasitesinde çok yüksek olmamasına rağmen bir önceki takviyeli aşamadaki kapasiteye kıyasla artış sağlanmıştır. Kompozit profil oluşturulan kesitin atalet momenti % 21.5 artış bir önceki aşamadaki kompozit kesit ile aynıdır. Sistemin enerji sönümleme kapasitesinde % 316 kadar ve sistemde meydana gelen maksimum deplasmanda ise ilk duruma göre % 120 daha fazla artış sağlamıştır. İlk durumdaki taşıma kapasitesine göre % 75 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.15).

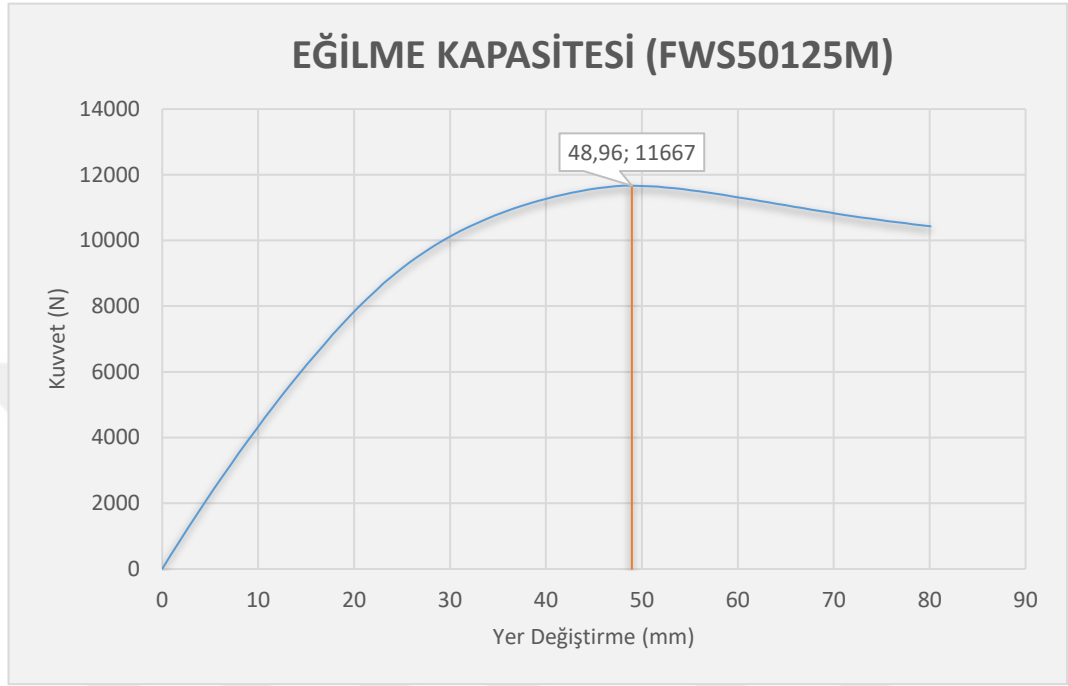


Şekil 4.17: UDC35-130 ve UDC35-130M Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.15: UDC35-130 ve UDC35-130M Karşılaştırma Tablosu.

Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		UDC35-130	UDC35-130M	
I_x	(mm ⁴)	2088170,05	2537820,1	% 21.5
Δ_u	(mm)	32,22 mm	70,87 mm	% 120
F_u	(N)	4756,5 N	8326,5 N	% 75
E_u	(J)	96676,5 J	402493,6 J	% 316

FWS50-125M kompozit kesit üzerine S355 çelik takviye uygulanmasıyla Şekil 4.18’de kompozit profilin (FWS50-125M) eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.160’da bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.18: FWS50-125M Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.

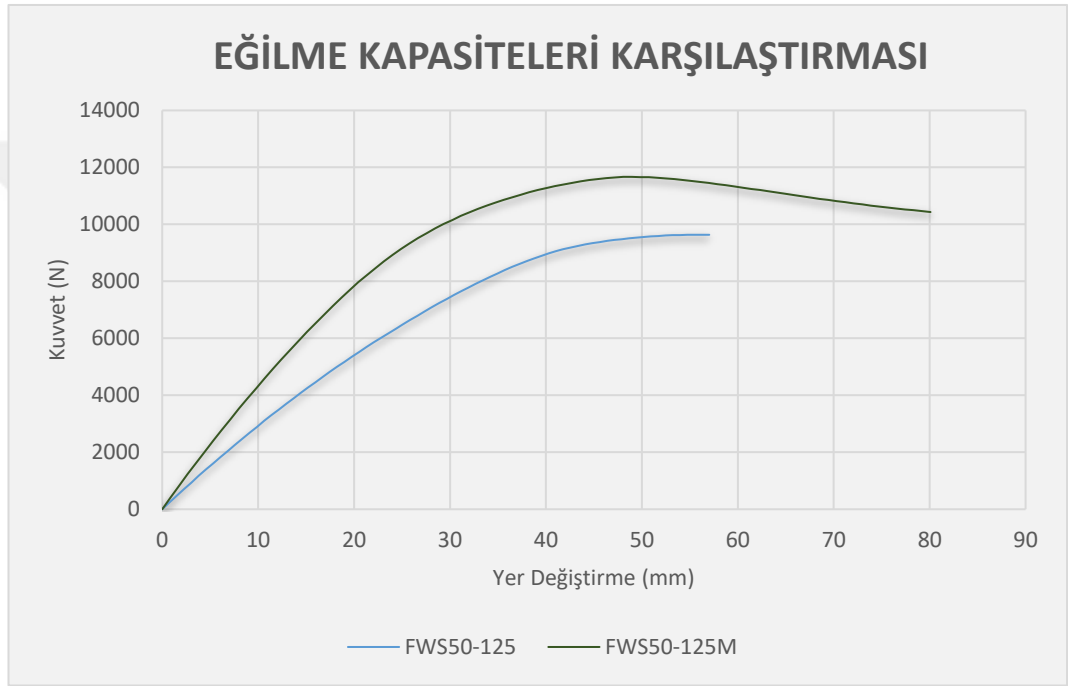
Şekil 4.18’deki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.7’de verilmiştir. Denklem integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$0,0005x^4 - 0,0385x^3 - 4,4363x^2 + 493,76x - 71,741 \quad (4.7)$$

Tablo 4.16: Çelik Takviyeli FWS50-125M Kompozit Profil Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
48,96	11667	387556,5
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	6190,2	49069,7

Şekil 4.19 ve Tablo 4.17’de görüldüğü üzere profilin çelik takviye kalitesinin değiştirilmesiyle güçlendirilen kompozit kesitin eğilme kapasitesinde bir önceki kompozit kesite kıyasla çok yüksek olmayan bir artış sağlanmıştır. Kompozit profil oluşturulan kesitin atalet momenti % 41 artış bir önceki aşamadaki kompozit kesit ile aynıdır. Sistemin enerji sönümleme kapasitesinde % 8 kadar bir artış ve sistemde meydana gelen maksimum deplasmanda ise ilk duruma göre % 13 kadar bir azalma gözlemlenmektedir. İlk durumdaki taşıma kapasitesine göre % 21 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.19: FWS50-125 ve FWS50-125M Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.17: FWS50-125 ve FWS50-125M Karşılaştırma Tablosu.

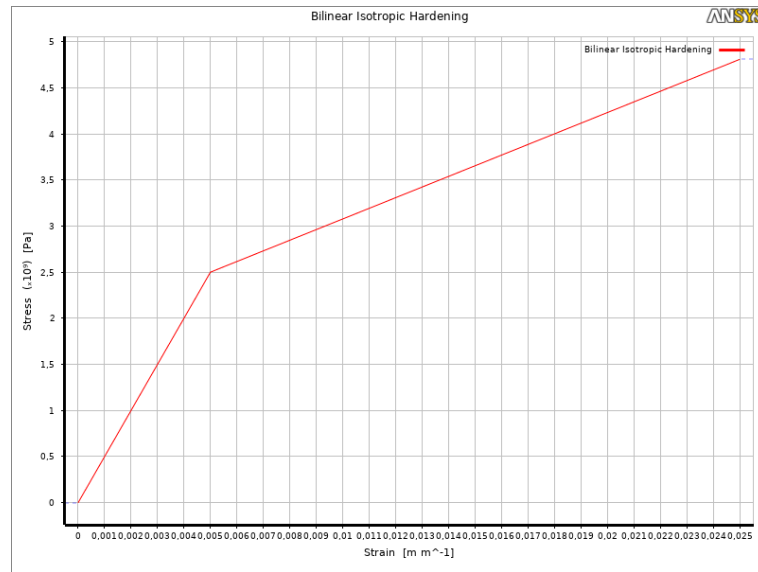
Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		FWS50-125	FWS50-125M	
I_x	(mm ⁴)	2793263,09	3939245.6	% 41
Δ_u	(mm)	56,27 mm	48,96 mm	-% 13
F_u	(N)	9633,9 N	11667 N	% 21
E_u	(J)	357714,5 J	387556,5 J	% 8

4.3. Karbon Fiber Kompozit Takviye Uygulaması

Bu çalışma bölümünde de mevcut profilin alaşım malzemesinde değişiklik yapılmadan bir önceki bölümde olduğu gibi takviyeler kullanılarak mevcut profilin eğilme kapasitesinin artırılması için uygulama yapılmıştır. Bu uygulama kapsamında takviyelerde mevcut profilin akma dayanımından daha yüksek akma mukavemetine sahip, çelikten 4,5 kat daha hafif ama çeliğe kıyasla 3 kat daha dayanıklı olan ve piyasada birçok alanda kullanılan karbon fiber malzemesi kullanılmıştır. Kompozit kesitlerde takviye olarak kullanılan karbon fiber malzemesine ait özellikleri Tablo 4.18’de ve gerilme – şekil değiştirme eğrisi ise Şekil 4.20’de verilmiştir.

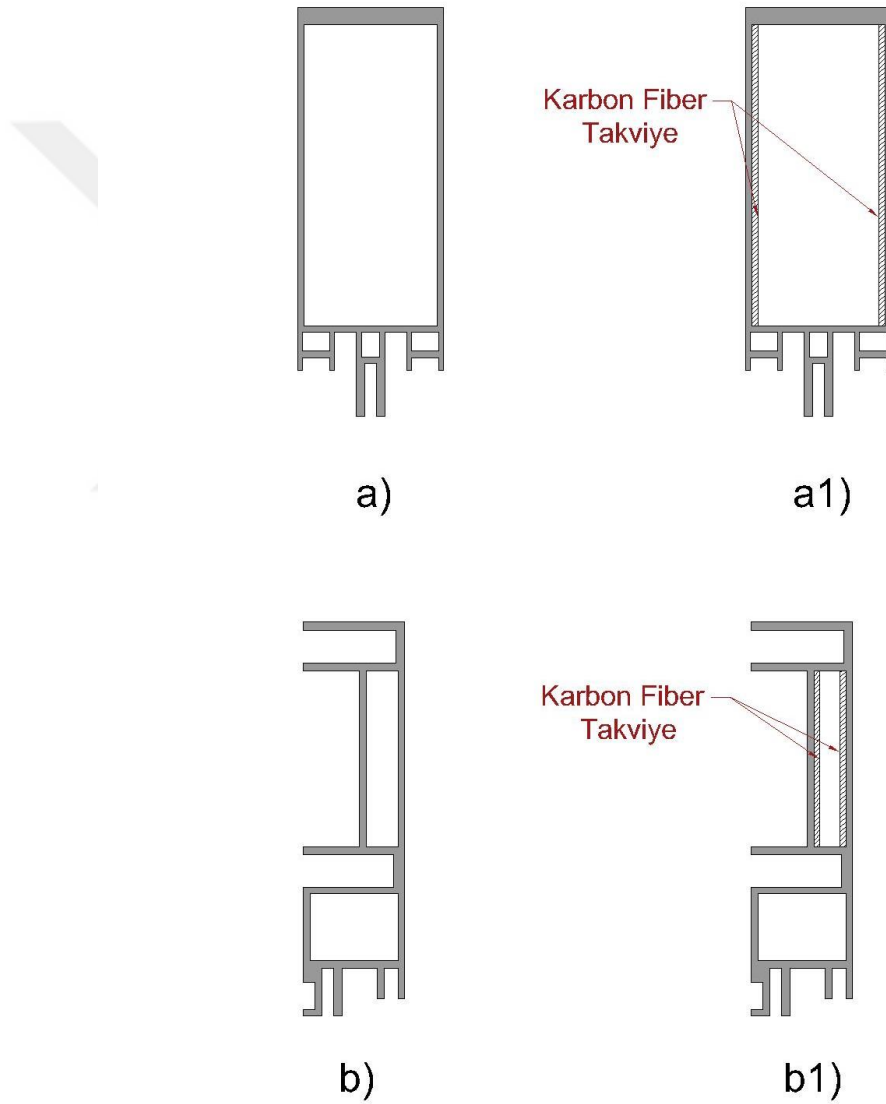
Tablo 4.18: Analizde Takviye Olarak Kullanılan Karbon Fiber Özellikleri.

Malzeme Bilgileri	Özellik Değerleri	Birim
Yoğunluk, ρ	: 2000	Kg/m ³
Elastisite, E	: 500000	MPa
Poisson Oranı, ν	: 0,44	
Hacim Modülü, e	: 1388900	MPa
Kesme Modülü, G	: 173610	MPa
Akma Dayanımı, σ_a	: 2500	MPa
Çekme Dayanımı, σ_u	: 4000	MPa
Tanjant Modülü	: 115385	MPa



Şekil 4.20: Karbon Fiber Malzemesi Bilinear Isotropic Hardening Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.

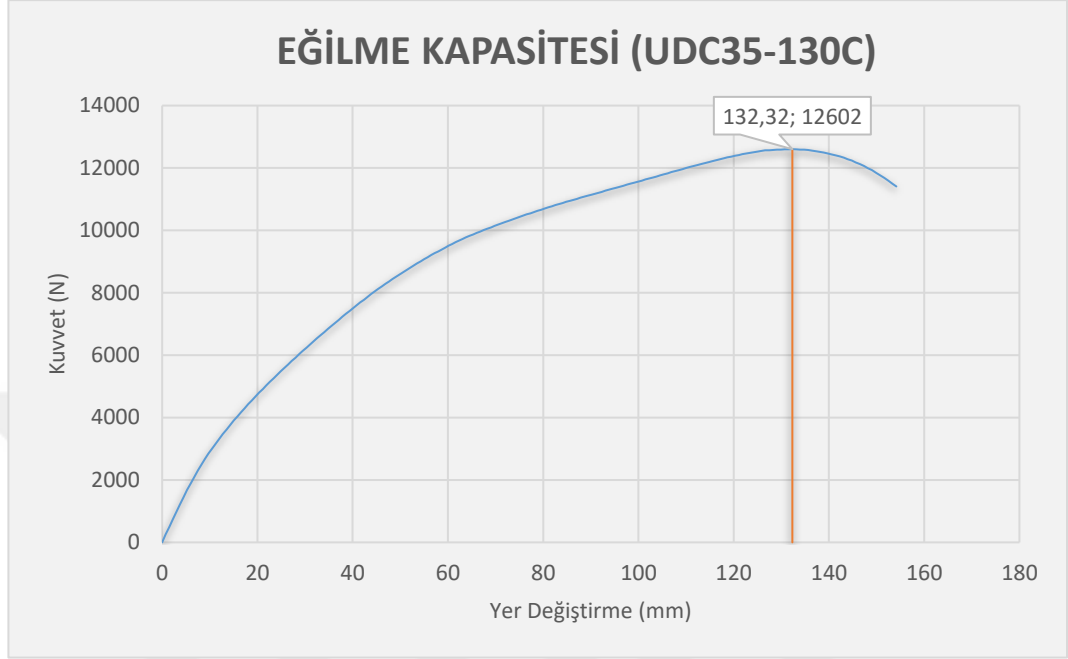
Bu çalışma kapsamında da çelik takviyelerde olduğu gibi 2 mm kalınlığında 3 m uzunluğunda plakalardan oluşan karbon fiber takviyeleri Şekil 4.21’de görüldüğü üzere takviyeler konumlandırılmıştır. Karbon fiber takviyeli kompozit kesitler sonlu elemanlar analizlerinde sistemin sınır şartları, yükleme durumu ve profil yükseklikleri çalışmanın birinci aşamasındaki kabullere göre yapılmıştır. Sistem aynı şekilde ağırlık merkezinden itilerek doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş ve takviye malzemesi değiştirilmiş yeni kompozit kesitlere ait eğilme kapasiteleri çıkarılmıştır.



Şekil 4.21: Karbon Fiber Takviyeli Kesitler

a) FWS50-125 a1) FWS50-125C b) UDC35-130 b1) UDC35-130C.

UDC35-130C kesitinde karbon fiber kullanılarak oluşturulan kompozit kesitin sonlu elemanlar analizi sonucu Şekil 4.22’de kompozit profilin eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.19’da bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.22: UDC35-130C Karbon Fiber Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.

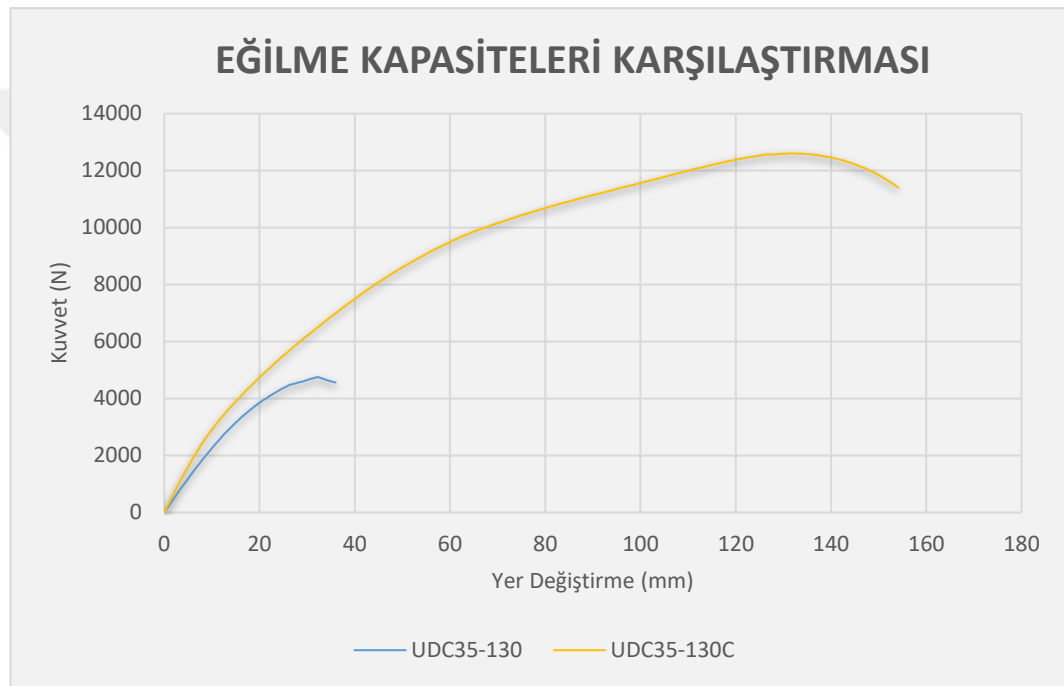
Şekil 4.22’deki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.8’de verilmiştir. Denklem integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0000005x^5 + 0,0001x^4 + 0,00005x^3 - 2,1094x^2 + 260,07x + 326,64 \quad (4.8)$$

Tablo 4.19: Karbon Fiber Takviyeli UDC30-135C Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
132,32	12602	1058790,5
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	3893	31799,3

Uygulanan takviye plakalarının malzemesi değiştirilip karbon fiber malzeme kullanıldığında Şekil 4.23'te görüldüğü üzere eğilme kapasitesi, deplasman ve enerji sönümlleme seviyeleri çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Karbon fiber takviyeli kompozit kesitin ilk durumdaki atalet momentine göre kompozit kesitin atalet momentinde % 45.2 kadar artış gözlemlenirken kompozit kesitin eğilme kapasitesinde % 165 kadar artış görülmektedir ve bu kapasite değerine ulaşmasının yanında oluşan maksimum deplasman seviyesi de % 310.7 kadar artmıştır. Bu kapasite değeri içerisinde enerji sönümlleme kapasitesinde ise çok yüksek bir değerde % 995.2 kadar artış oluşmaktadır (Tablo 4.20).

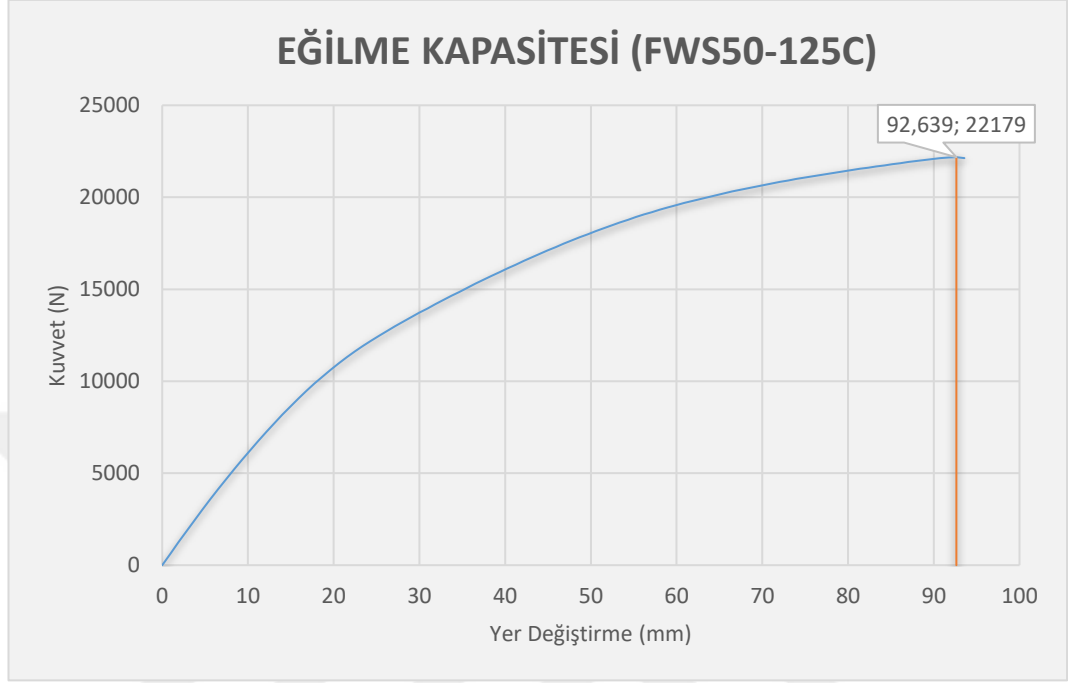


Şekil 4.23: UDC35-130 ve UDC35-130C Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.20: UDC35-130 ve UDC35-130C Karşılaştırma Tablosu.

Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		UDC35-130	UDC35-130C	
I_x	(mm ⁴)	2088170,05	3034622,698	% 45.2
Δ_u	(mm)	32,22 mm	132,32 mm	% 310.7
F_u	(N)	4756,5 N	12602 N	% 165
E_u	(J)	96676,5 J	1058790,5 J	% 995.2

FWS50-125C kesitinde karbon fiber kullanılarak oluşturulan kompozit kesitin sonlu elemanlar analizi sonucu Şekil 4.24'te kompozit profilin eğilme kapasite eğrisi ve Tablo 4.21'de bu eğriye ait kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.24: FWS50-125C Çelik Kompozit Kesitin Eğilme Kapasite Grafiği.

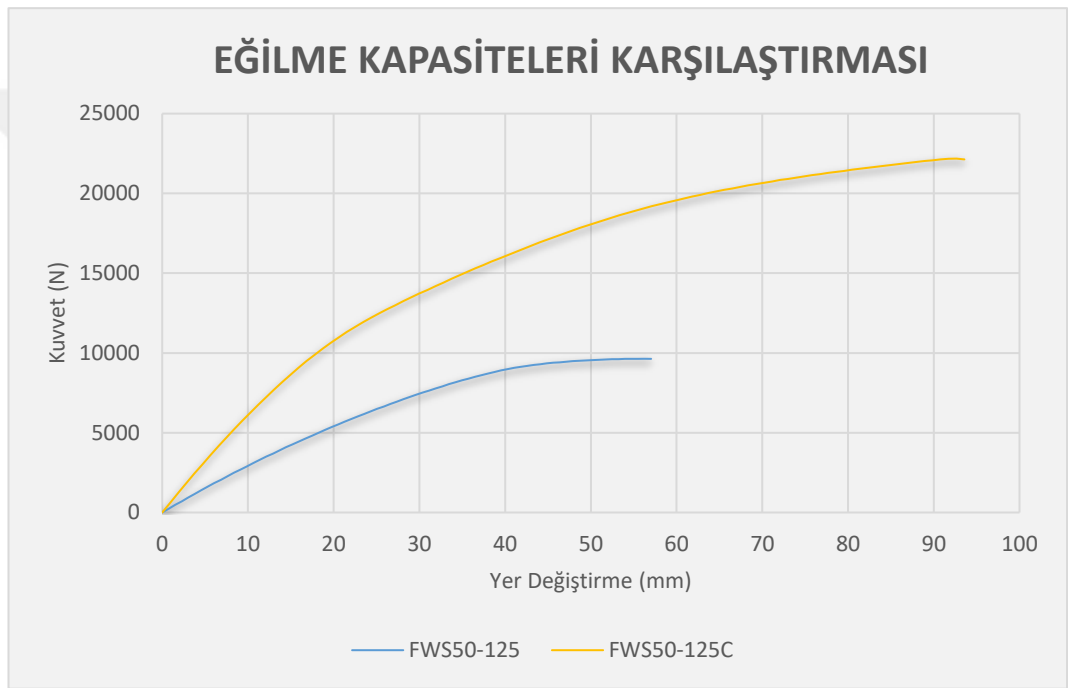
Şekil 4.24'teki kapasite eğrisinin matematiksel formülü Denklem 4.9'da verilmiştir. Denklemin integrali alınarak kapasite eğrisinin enerji sönüm kapasitesi (E) hesaplanmıştır.

$$-0,0004x^4 + 0,1088x^3 - 11,672x^2 + 726,45x - 59,336 \quad (4.9)$$

Tablo 4.21: Karbon Fiber Takviyeli FWS50-125C Kapasite Değerleri.

Maksimum Kapasite Değerleri		
Δ_u (mm)	F_u (N)	E_u (J)
92,64	22179	1475995,7
Sınır Koşulu Kapasite Değerleri		
Δ_i (mm)	F_i (N)	E_i (J)
15	8646,9	69020,8

Uygulanan takviye plakalarının malzemesi değiştirilip karbon fiber malzeme kullanıldığında Şekil 4.25'te görüldüğü gibi eğilme kapasitesi, deplasman ve enerji sönümleme seviyeleri önceki takviyeli kesite göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Karbon fiber takviyeli kompozit kesitin ilk durumdaki atalet momentine göre kompozit kesitin atalet momentinde % 98.4 kadar artış gözlemlenirken kompozit kesitin eğilme kapasitesinde % 130.2 kadar artış görülmektedir ve bu kapasite değerine ulaşmasının yanında oluşan maksimum deplasman seviyesi de % 64.6 kadar artmıştır. Bu kapasite değeri içerisinde enerji sönümleme kapasitesinde ise yüksek bir değerde % 312.6 kadar artış oluşmaktadır (Tablo 4.22).



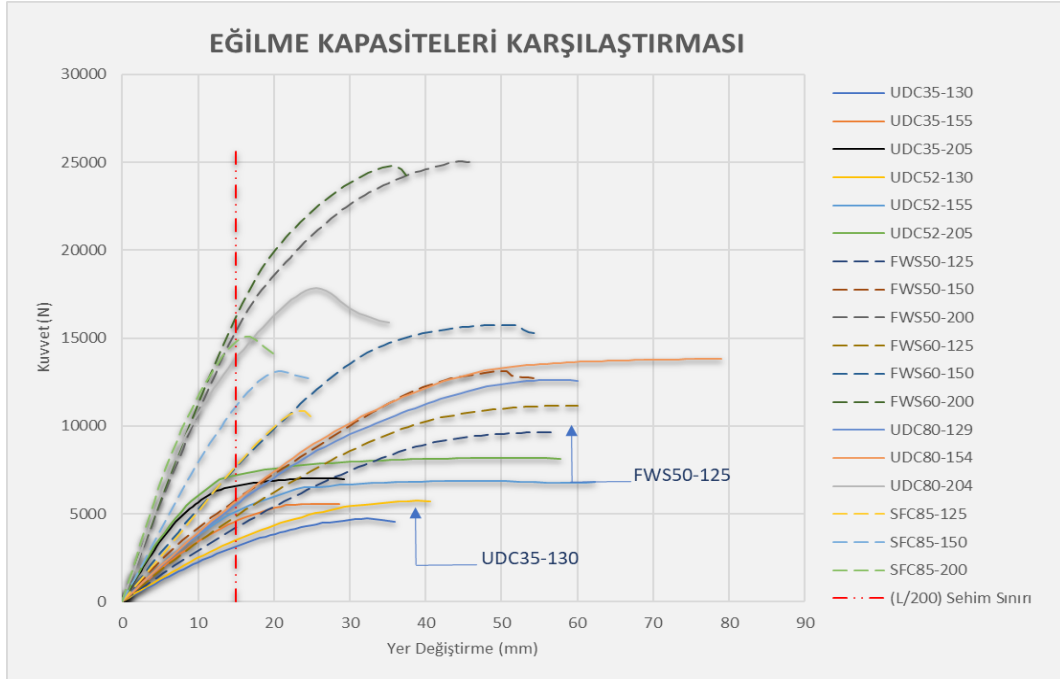
Şekil 4.25: FWS50-125 ve FWS50-125C Kesitlerine Ait Kapasite Eğrileri.

Tablo 4.22: FWS50-125 ve FWS50-125C Karşılaştırma Tablosu.

Kapasite Değerleri		İlk Durum	Son Durum	Fark
		FWS50-125	FWS50-125C	
I_x	(mm ⁴)	2793263,09	5541897,1	% 98.4
Δ_u	(mm)	56,27 mm	92,64 mm	% 64.6
F_u	(N)	9633,9 N	22179 N	% 130.2
E_u	(J)	357714,5 J	1475995,7 J	% 312.6

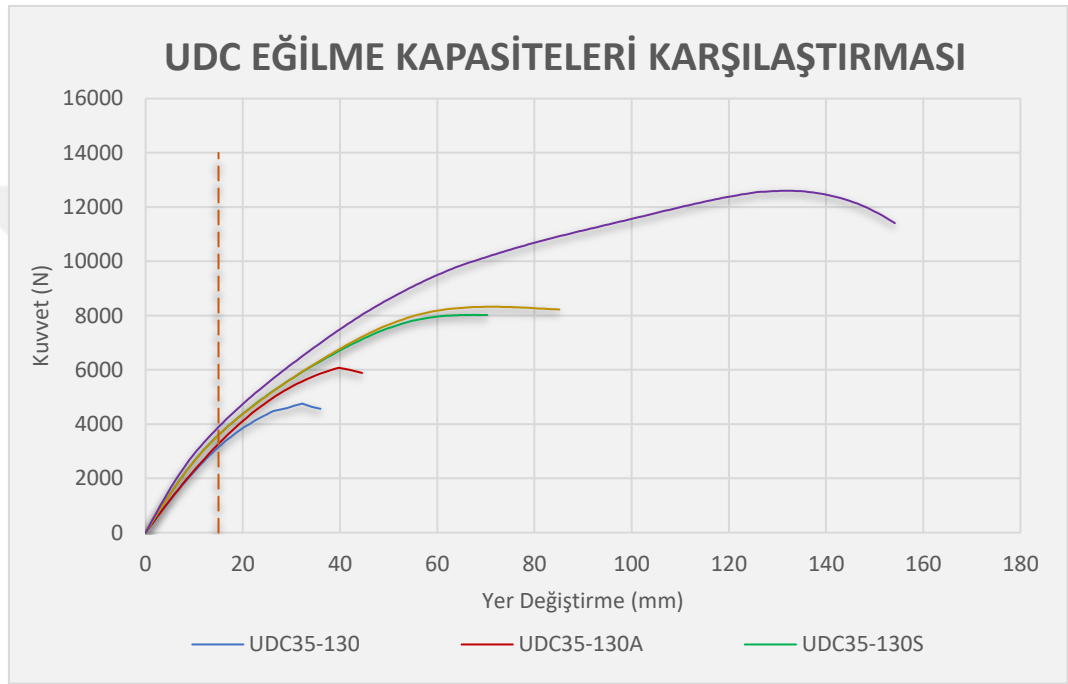
5. SONUÇ

Giydirme cephe sistemleri, yapıların dış yüzeylerini kaplayan ve yapıya hem estetik hem de performans açısından katkı sağlayan sistemlerdir. Günümüzde birçok farklı yapı türünde giydirme cephe sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, giydirme cephe sistemlerinin yapıya kazandırdığı estetik görünüş ve sağladığı üstün performans kriterleri sayesinde birçok modern yapıda tercih edilmeye başlanmıştır. Bu sistemlerin tarihi sürecinde çeşitli malzemeler kullanılsa da günümüzde alüminyum ve camdan oluşan kaplama sistemleri genel olarak en çok tercih edilen sistemler haline gelmiştir. Bu çalışma kapsamında alüminyum dış cephe kaplama sistemlerinin eğilme davranışı incelenmiş ve cephe sistemlerinin eğilme kapasitelerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında alüminyum dış cephe kaplama sistemlerinde sıklıkla kullanılan 18 adet farklı profil enkesiti belirlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi ile bu enkesitlerin eğilme kapasiteleri belirlenmiştir (Şekil 5.1). Ardından, en düşük eğilme kapasitesine sahip profiller üzerinde alaşım değiştirilmesi, çelik ve karbon fiber malzemeler ile farklı takviyeler uygulanarak sistemlerin eğilme kapasitesinin artırılması sağlanmıştır.



Şekil 5.1: Sistem Kesitleri Kapasite Karşılaştırması.

UDC profil sistemi için yapılan güçlendirme yöntemlerine bakıldığında Şekil 5.2’de verilen kapasite eğrilerine göre profilin kapasitesinde sistematik olarak artış sağlandığı gözlemlenmiştir (Tablo 5.1). Bu kapasite artışları arasında en az etkili olan % 27.8 artışla profil alaşımının değiştirilmesi ve kapasitede en fazla etkili olan % 165 kadar artışla karbon fiber takviye uygulamasının olduğu görülmektedir. Uygulanan bu yöntemler içerisinde etkiyen dış yüklerin büyüklüğüne göre orantısal bir kapasite artışı sağlamak için sıralanan yöntemler tercih edilebilmektedir.

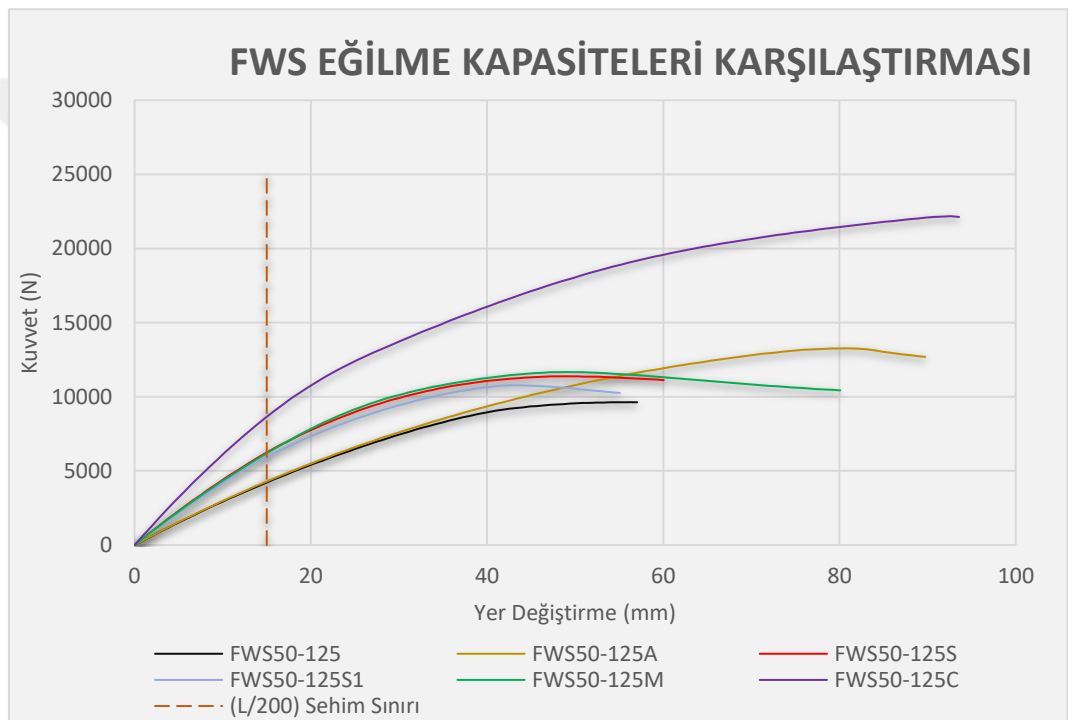


Şekil 5.2: UDC Profil Sistemi Kapasite Eğrileri Karşılaştırması.

Tablo 5.1: UDC Profil Sistemi % Kapasite Artışı Karşılaştırması.

Kesitler (%)	Kesit Kapasite % Artış Değerleri			
	I_x (%)	Δ_u (%)	F_u (%)	E_u (%)
UDC35-130	-	-	-	-
UDC35-130A	-	% 23.4	% 27.8	% 53.1
UDC35-130S	% 21.5	% 109.6	% 68.8	% 285.6
UDC35-130M	% 21.5	% 120	% 75	% 316
UDC35-130C	% 45.2	% 310.7	% 165	% 995.2

FWS profil sistemi için yapılan güçlendirme yöntemlerine bakıldığında Şekil 5.3'te verilen kapasite eğrilerine göre profilin kapasitesinde sistematik olmasa da yöntemlerin bir miktar artış sağladığı gözlemlenmiştir (Tablo 5.2). Çelik takviye yöntemine bakıldığında bu yöntemden beklenen kapasite artışının sağlanmadığı gözlemlenmektedir. Bu kapasite artışları arasında en az etkili olan % 11.8 artışla ön-arka yüze uygulanan çelik takviye yöntemi ve kapasitede en fazla etkili olan % 130.2 kadar artışla karbon fiber takviye uygulamasının olduğu gözlemlenmiştir. Uygulanan bu yöntemler içerisinde etkiyen dış yüklerin büyüklüğüne göre orantısal bir kapasite artışı sağlamak için sıralanan yöntemler tercih edilebilmektedir.



Şekil 5.3: FWS Profil Sistemi Kapasite Eğrileri Karşılaştırması.

Tablo 5.2: FWS Profil Sistemi % Kapasite Artışı Karşılaştırması.

Kesitler (%)	Kesit Kapasite % Artış Değerleri			
	I_x (%)	Δ_u (%)	F_u (%)	E_u (%)
FWS50-125	-	-	-	-
FWS50-125A	-	% 43.6	% 37.7	% 93.4
FWS50-125S	% 41	-% 13.3	% 18.1	% 6.41
FWS50-125S1	% 49.7	-% 23.2	% 11.8	-% 16.2
FWS50-125M	% 41	-% 13	% 21	% 8
FWS50-125C	% 98.4	% 64.6	% 130.2	% 312.6

Bu çalışma, panel sistem ve çubuk sistem tasarımında kullanılan 18 farklı profil kesitin eğilme davranışlarını belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, panel sistemlere ait kesitlerin eğilme kapasitesinin en düşük, çubuk sistemlere ait kesitlerin ise en yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Eğilme kapasitesi en düşük olan UDC35-130 ve FWS50-125 profilleri seçilerek, kapasitelerini artırmak için farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemler arasında panel sisteme ait profil için kapasite artışı sistematik bir şekilde elde edilirken, çubuk sisteme ait profil için ise sistematik olmayan ancak kullanılabilir bir artış sağlanmıştır. Çubuk sisteme ait profil için uygulanan çelik takviyeli kompozit kiriş yöntemi, beklenen düzeyde bir artış sağlayamamış ve alaşım değiştirilerek elde edilen kapasite artışından daha düşük kalmıştır.

Eğilme kapasitesini artırmak için uygulanan yöntemlerden en etkili olanı karbon fiber takviyeli kompozit kesit yöntemi olmuştur. Bu yöntem, panel sistemde % 165 ve çubuk sistemde % 130.2 oranında kapasite artışı sağlamanın yanı sıra, panel sistemde % 995.2 ve çubuk sistemde % 312.6 oranında yüksek enerji sönümleme kapasitesi sunmuştur.

Giydirme cephe üzerine etkiyen dış yükler altında yetersiz kapasitede olan profillerin yeterli kapasiteye ulaşmak için profil kesitinde atalet artırmakla profil kesitleri büyümektedir. Bu çalışma kapsamında yetersiz kapasitede olan zayıf profillerin kesitinde atalet artışını sağlamak için kesitte büyütülme yapılmaksızın güçlendirilmesiyle etkiyen yüklere karşı yeterli kapasiteye ulaşması sağlanmıştır. Bu sayede ek maliyetlerin önlenmesi ve yapı mimarisinde hem hafif hem de estetik giydirme cephe kurulumunda kolaylık sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

AAMA, American Architectural Manufacturers Association, (2005), Curtain Wall Design Guide Manual, Aama Curtain Wall Series, CW-DG-1-96, USA.

Ağdemir A., (2017), “Giydirme cephe sistemleri ve kaplama elemanlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alpur İ., (2009), “Cam Giydirme Cephe Sistemlerinin Bileşenler Yönünden Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

ANSYS Workbench, (2023), Finite Element Software, Ansys Inc., Can-onsburg, PA, USA.

Demirkale M., (2017), “Alüminyum Giydirme Cephe Sistemlerinin Avantaj, Dezavantajlarının İrdelenmesi Ve İstanbul’da Uygulanan Rezidans Örnekleri”, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dogru S., Cakir F., Akbas B., (2022), “Structural Evaluation of Unitized Curtain Wall Systems by Using Inter-Story Drift Test”, Challenge Journal of Structural Mechanics, (3), 17-26.

Dogru S., Cakir F., Akbas B., (2022), “Vulnerability Of Glass Panels In Unitized Curtain Wall Systems”, Aegean Summit 4th International Applied Sciences Congress, 81-91, Muğla/Türkiye, 12-13 Şubat 2022.

Dogru S., Cakir F., Akbas B., (2022), “Out-of-Plane Behavior of Unitized Curtain Wall System”, International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies, 782-789, Bandırma, Balıkesir/Türkiye, 2-5 Mart 2022.

Dogru S., Akkaya U., Alpsal F. E., Cakir F., (2023), “Structural Assessment Of Base Fixed Fully Frameless Aluminium Glass Balustrade System Under High Horizontal Barrier Loads”, EA-2022-P02, Civil Engineering, Gebze Technical University, Türkiye.

Dogru S., Akkaya U., Battal M., Cakir F., (2023), “Structural Performance and Analysis of Triangular Prismatic Facade Cladding Systems”, EA-2022-P01, Civil Engineering, Gebze Technical University, Türkiye.

EN 13830, European Committee for Standardization, (2013), Curtain Walling – Product Standard, Belgium.

Gribniak V., Rimkus A., Misiunaite I., Zakaras T., (2022), “Improving Local Stability Of Aluminium Profile With Low-Modulus Stiffeners: Experimental And Numerical Web Buckling Analysis”, Elsevier, (172), 1-10.

Güler M.S., Şen S., (2015), “Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler”, Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, (1), 56-66.

Gündüz Ş., (2020), “Türkiye’de Çubuk Sistem ile İnşa Edilmiş Giydirmce Cephe Uygulama Detaylarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hemanth H., P Raj M., (2022), “Numerical investigation on lateral movement and axial rotation of mullions in unitized curtain wall facades”, Elsevier, (65), 3764-3773.

Ighaninejad Matnagh E., (2019), “Giydirmce Cephe Kaplama Sistemlerinin Üretim ve Kullanım Süreci Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kesawan S., Mahendran M., Sivaprakasam T., (2020), “Numerical Study of Section Moment Capacity of Complex-Shaped Aluminum Mullions”, Journal of Architectural Engineering, (4), 1-15.

Kesawan S., Mahendran M., (2019), “Member Moment Capacity Of Complex-Shaped Aluminium Mullions Under Wind Suction Loading”, Elsevier, 1, 1-20.

Kim Y., Peköz T., (2018), “Numerical Slenderness Approach For Design Of Complex Aluminum Extrusions Subjected To Flexural Loading”, Elsevier, 1, 62-75.

Oraklıbel A., (2014), “Alüminyum Giydirmce Cephe Sistemlerinin Bina İle Bütünlenmesinde Kullanılabilecek Performans Ölçütlerinin ve Bağlı Önemlerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Saban M., (2021), “Alüminyum Giydirmce Cephe Sistemlerinin Tasarım ve Üretim Süreçlerinde Cephe – Taşıyıcı Sistem İlişkisi Bakımından Karşılaşılan Mimari Sorunlar”, Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sarar Y., (2018), “Alüminyum Giydirmce Cephelerde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Taşıyıcı Sistem Seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Shams K. A., (2019), “Alüminyum Giydirmce Cephe Sistemlerinde Tasarım ve Uygulama İlkeleri: Polonya Örnekleri Üzerinde Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sivaprakasam T., Kesawan S., Mahendran M., Stringfellow J., Baleshan B., (2020), “Full-scale tests of aluminium mullion couples in unitized facades under wind actions”, Elsevier, 215, 1-20.

Şenkal F., (2002), “Yapıda Giydirmce Cephe Sisteminin Kullanımında Optimal Konfor Koşullarının Sağlanması İçin Performans Kriterlerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tortu Ş. Ş., (2006), “Alüminyum Giydirmce Cephelerde Isıl Performans Durabilite İlişkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Web 1, (2023), <http://bgdcephe.com/giydirme-cephe-tarihcesi.html#:~:text=Giydirme%20cephe%20sistemini%2C%20bug%C3%BCnk%C3%BC%20anlam%C4%B1nda,ticaret%20merkezinin%20in%C5%9Fa%20edilmesiyle%20ger%C3%A7ekle%C5%9Fmi%C5%9F>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 2, (2023), https://tr.wikipedia.org/wiki/Empire_State_Binas%C4%B1, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 3, (2023), https://eski.imo.org.tr/50_yilda_50_eser/15.php, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 4, (2023), <https://twitter.com/TheUrbanist4/status/1462866392546484225>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 6, (2023), <https://twitter.com/TheUrbanist4/status/1462866392546484225>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 7, (2023), <https://docucenter.schueco.com/web/main/SinglePageApp.php? fwd=true#1549581>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 8, (2023), <https://docucenter.schueco.com/web/main/SinglePageApp.php? fwd=true#1549581>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 9, (2023), <https://www.mornglass.com/unitised-curtain-wall-introduction-installation.html>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 10, (2023), <https://docucenter.schueco.com/web/main/SinglePageApp.php? fwd=true#1523092>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 11, (2023), <https://www.batucamfilmi.com/guneskontrolfilmi.asp>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 12, (2023), <https://santiyegunlugu.xyz/gunes-kirici-ornekleri/>, (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

Web 13, (2023), https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_y%C3%B6ntemi, (Erişim Tarihi: 07.05.2023).

Web 14, (2023), <https://www.ceyrekmuhendis.com/sonlu-elemanlar-analizi-nedir/>, (Erişim Tarihi: 07.05.2023).

Yalaz E. T., Tavil A., Çelik O. C., (2016), “Giydirme Cephe Sistemlerinde Karşılaşılan Hasarların Sınıflandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Yavuz Kocaman G., (2019), “Dünya’da Ve Türkiye’de Giydirmce Cephe Sistemlerinde Kullanılan Standartlar Ve Deneyisel Kontrol Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk YELEK, 2015 yılında Ertuğrul Kurtoğlu Anadolu Lisesi'ndeki eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2019 yılında lisans eğitimini başarıyla tamamlamasının ardından 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başladı. 2021 yılından itibaren Erbay Alüminyum şirketinde imalat ve tasarım mühendisi olarak çalışmaktayım.



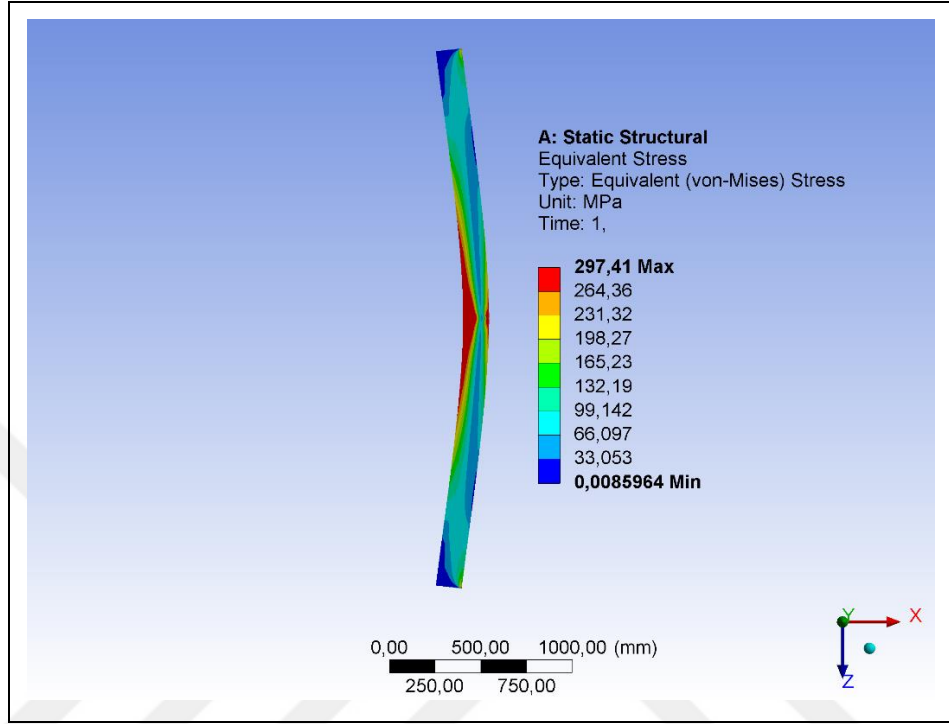
TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Çakır F., Doğru S., Yelek Ö. F., (2023), “Alüminyum Cephe Kaplama Sistemlerinin Eğilme Kapasitesinin Artırılması”, 3th International Congress of Engineering and Natural Sciences, 217-227, Çankaya, Ankara, Türkiye, 24-25 Mayıs.

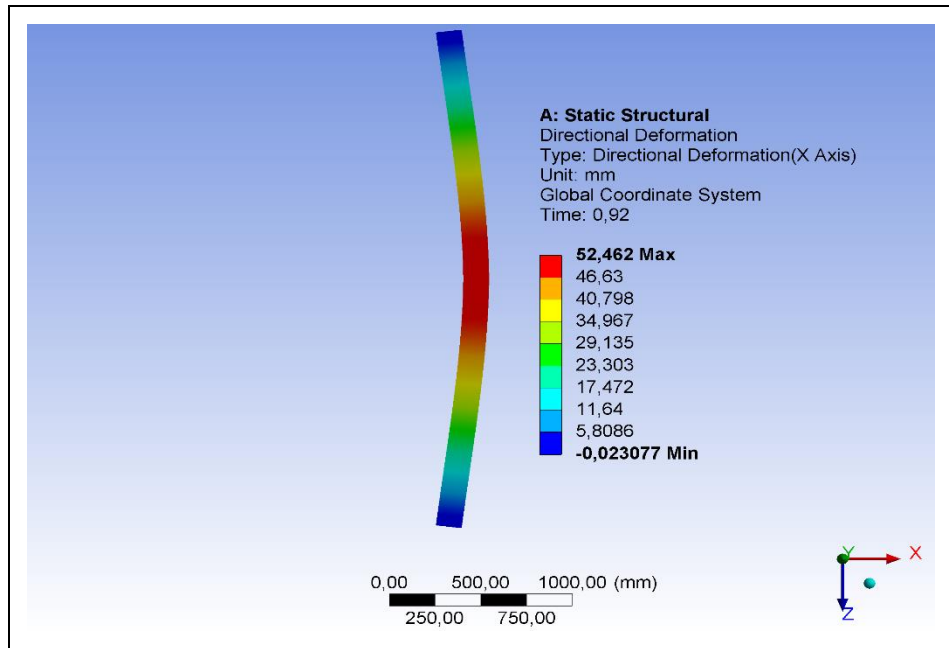


EKLER

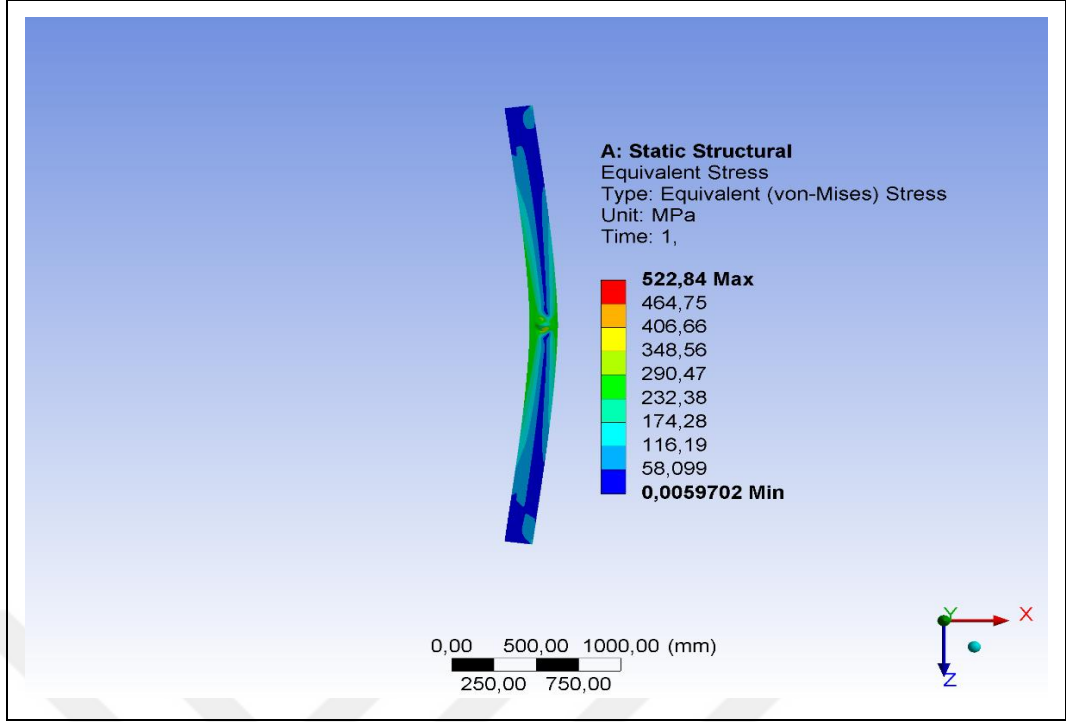
Ek-A: Von-mises Gerilme ve Deformasyon Resimleri



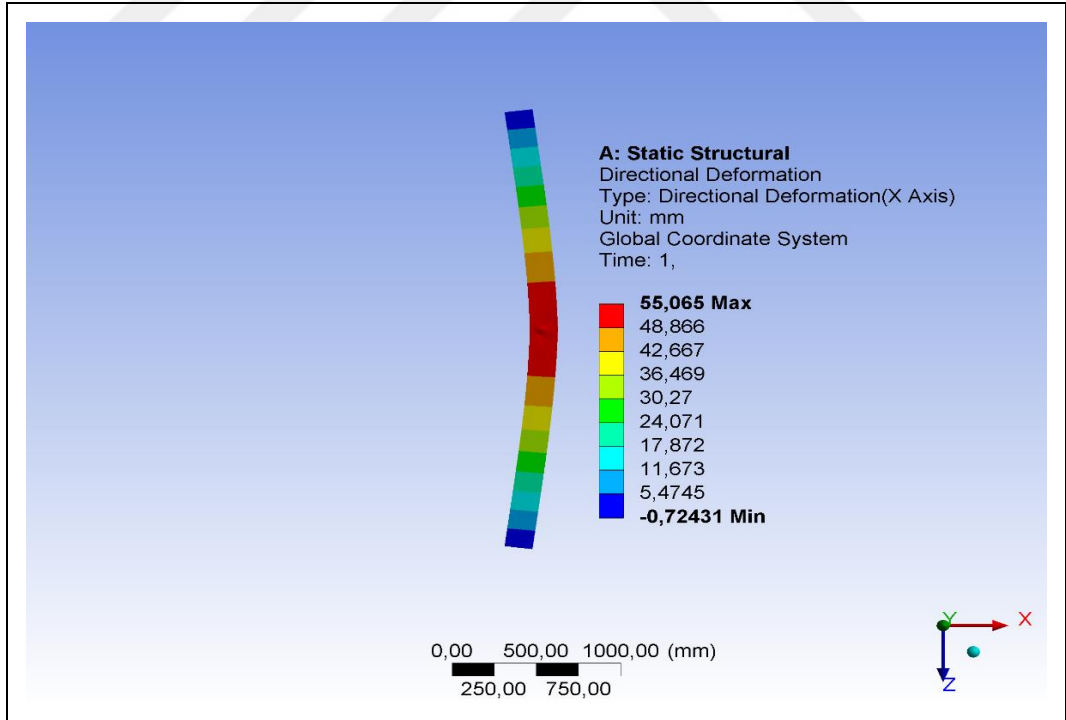
Şekil A1.1: FWS50-125 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



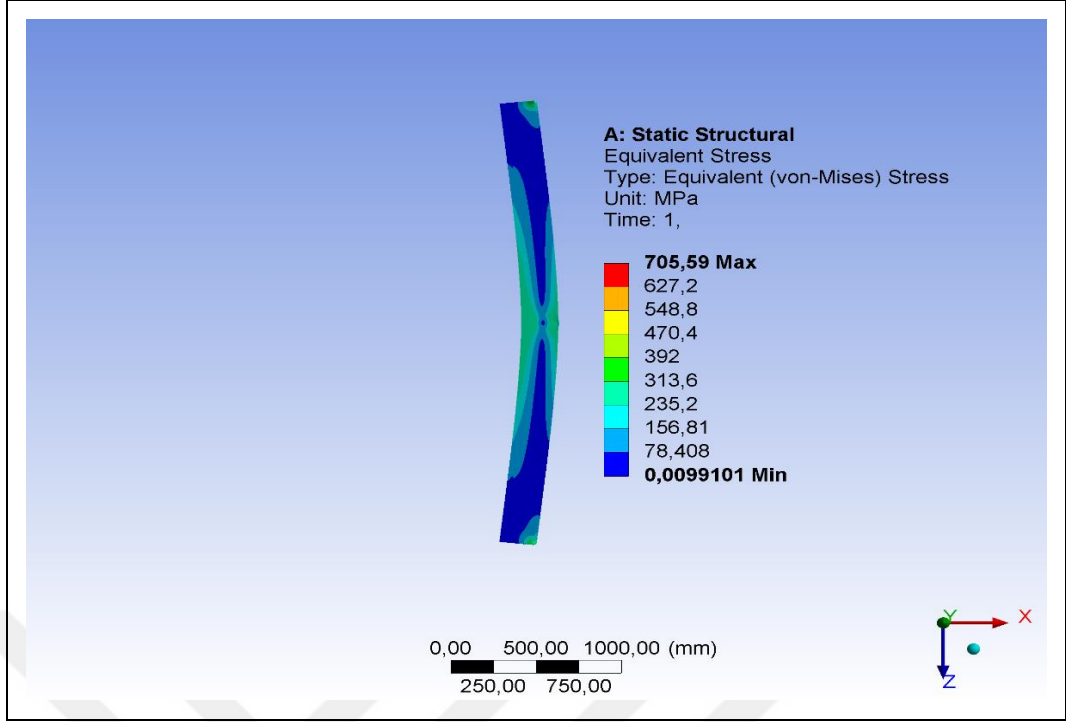
Şekil A1.2: FWS50-125 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



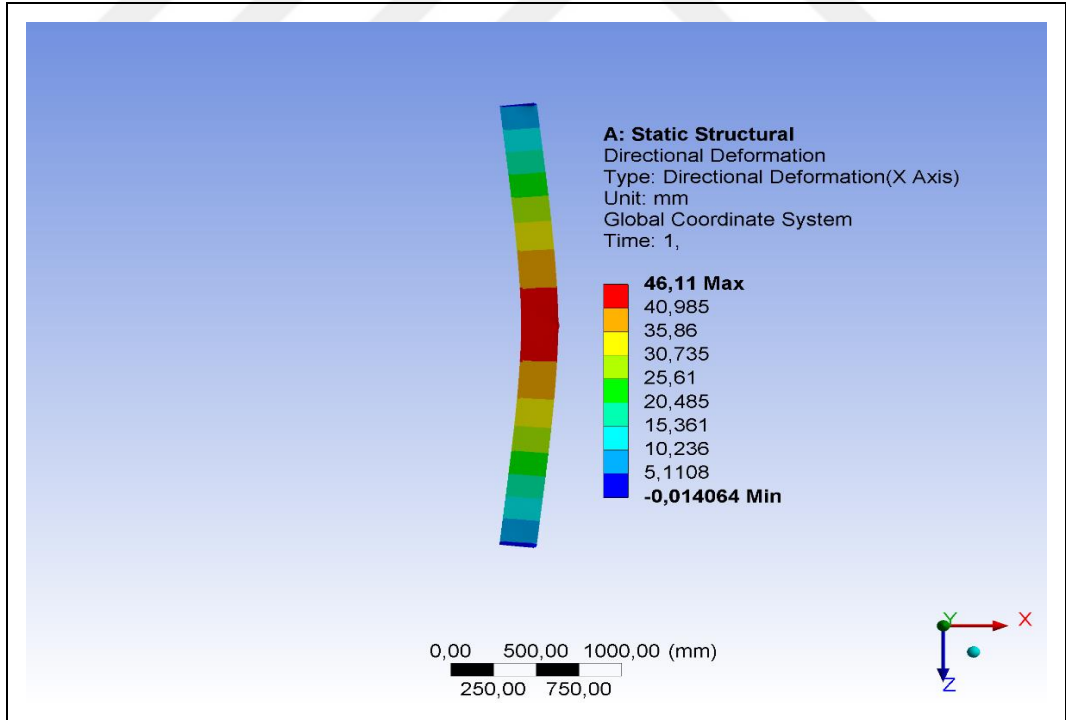
Şekil A1.3: FWS50-150 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



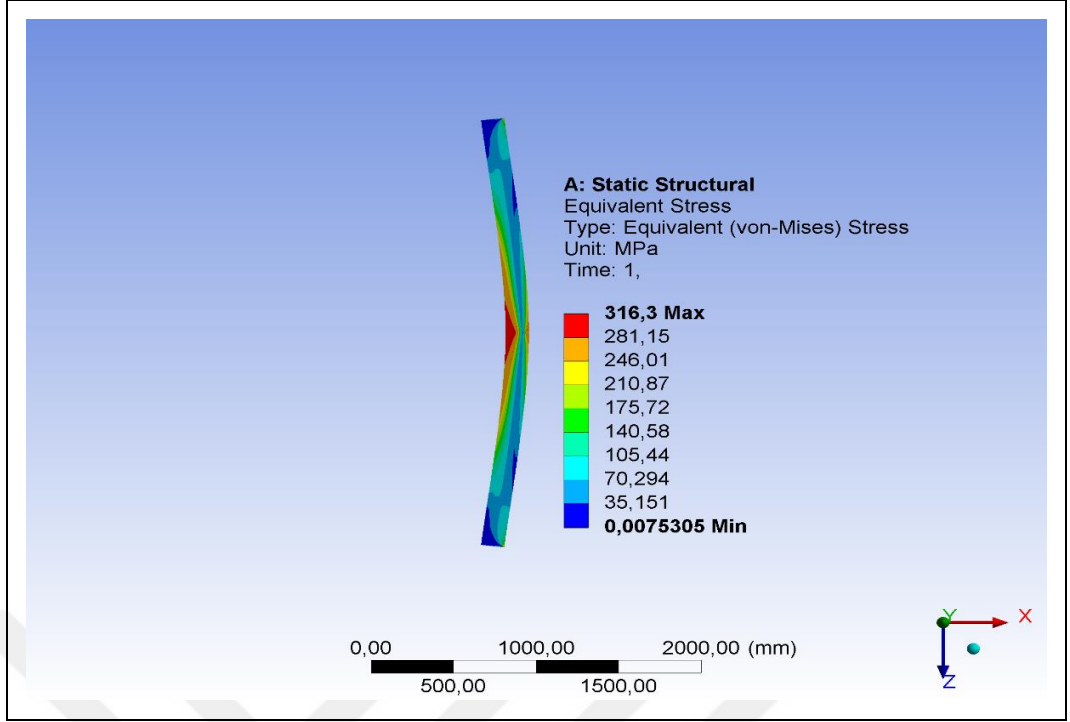
Şekil A1.4: FWS50-150 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



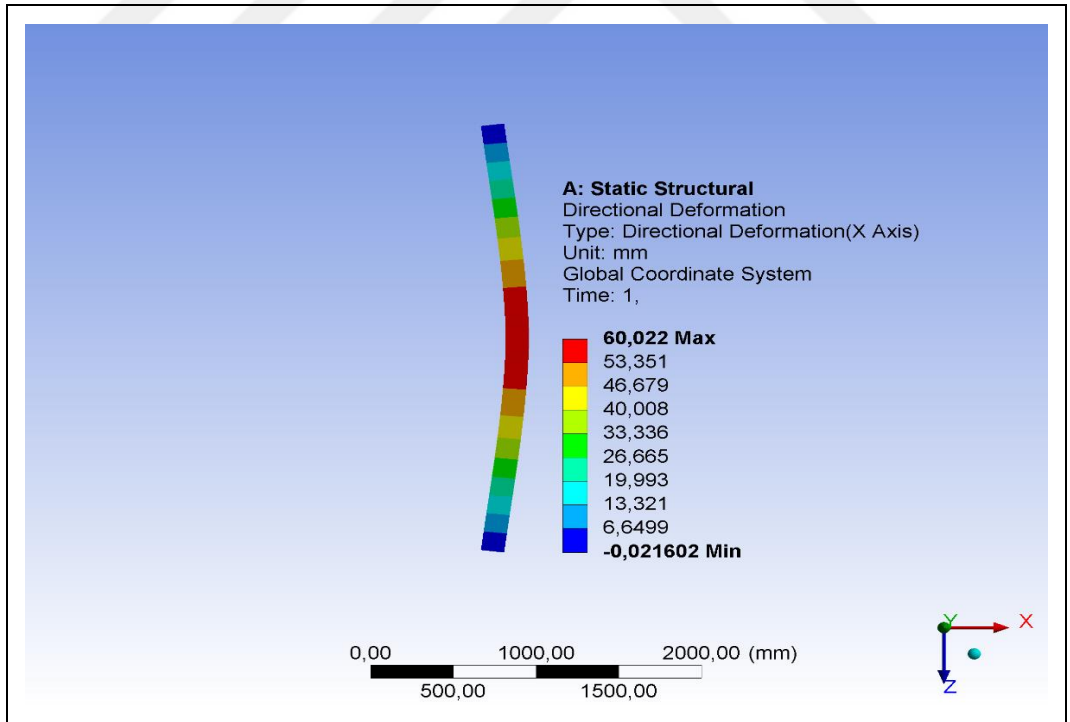
Şekil A1.5: FWS50-200 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



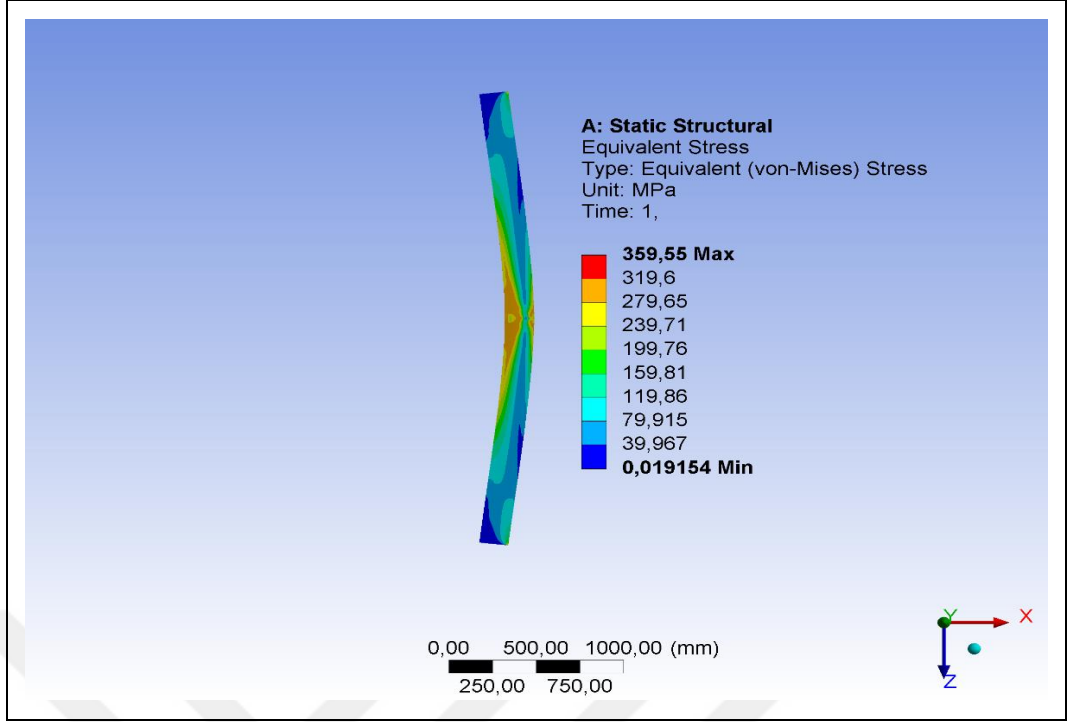
Şekil A1.6: FWS50-200 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



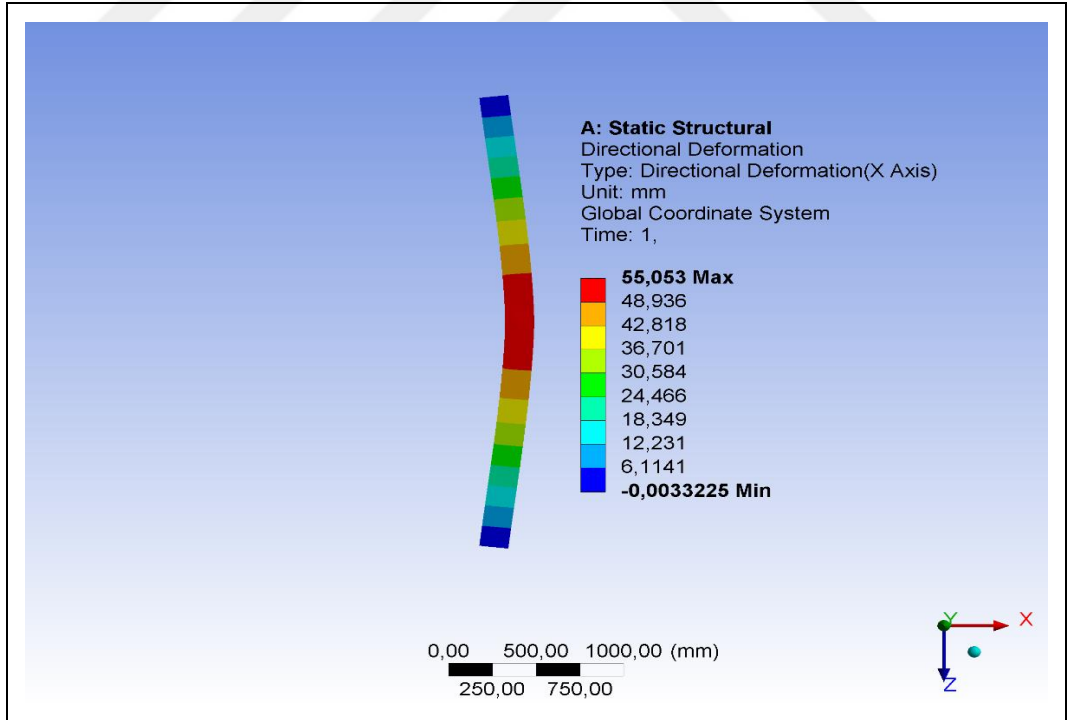
Şekil A1.7: FWS60-125 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



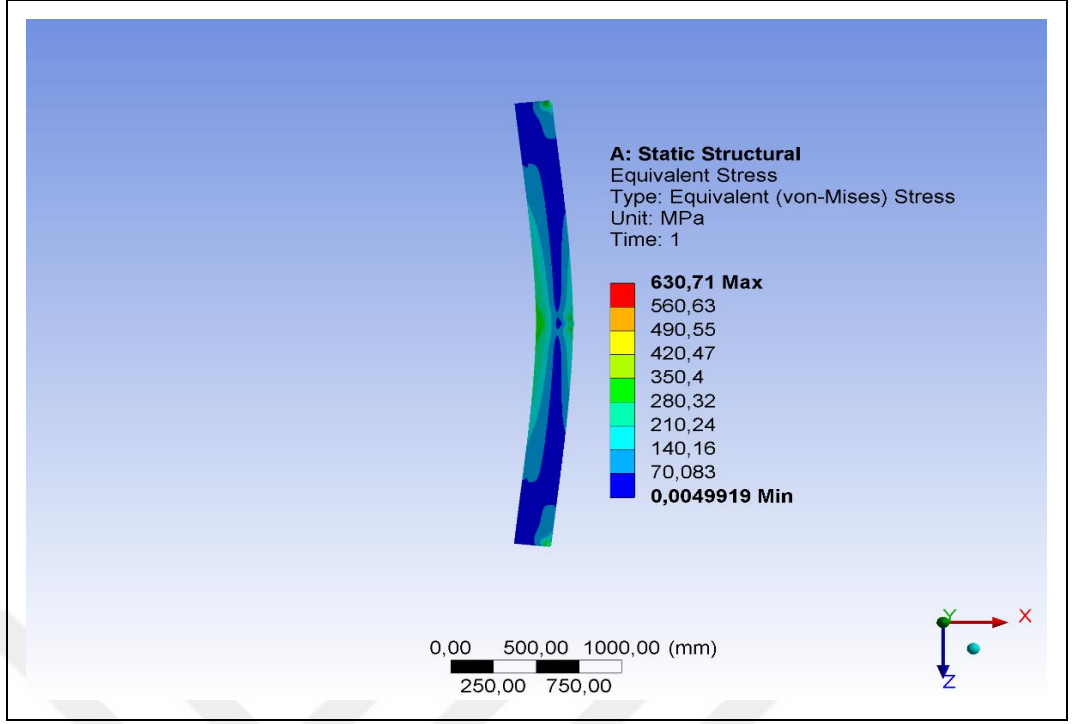
Şekil A1.8: FWS60-125 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



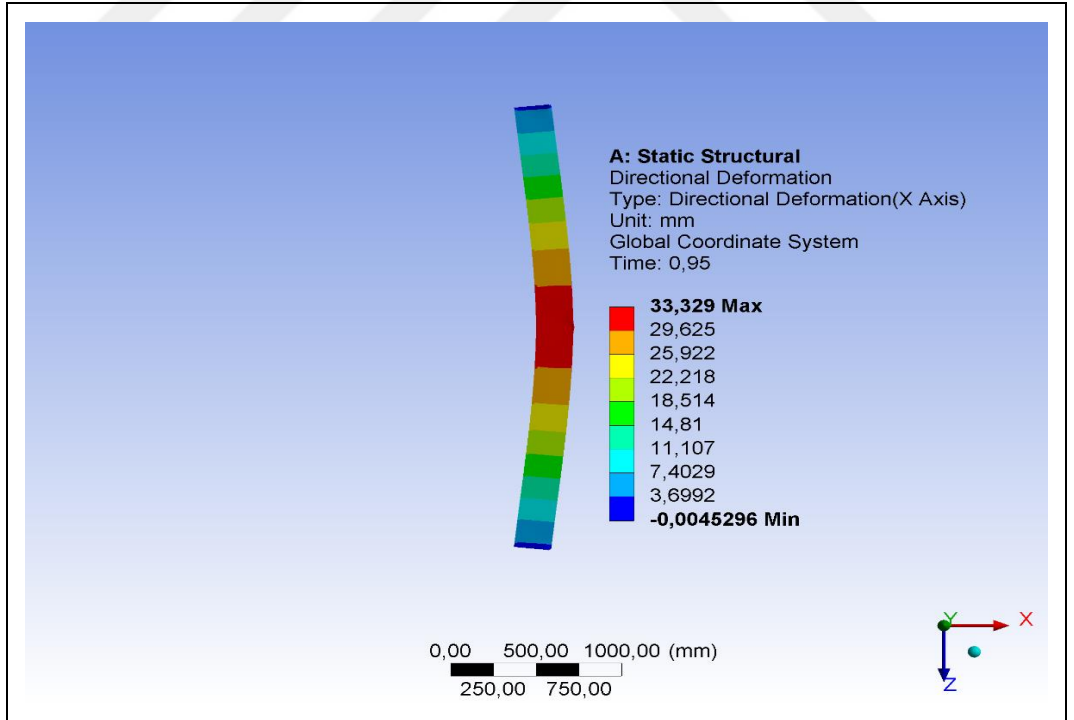
Şekil A1.9: FWS60-150 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



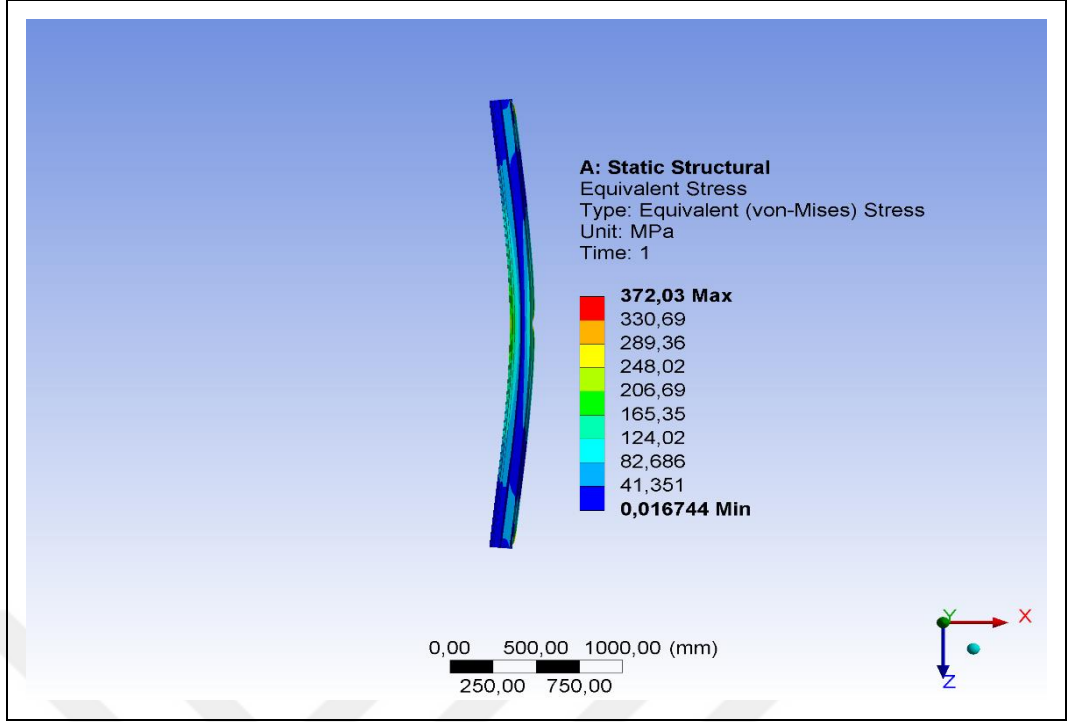
Şekil A1.10: FWS60-150 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



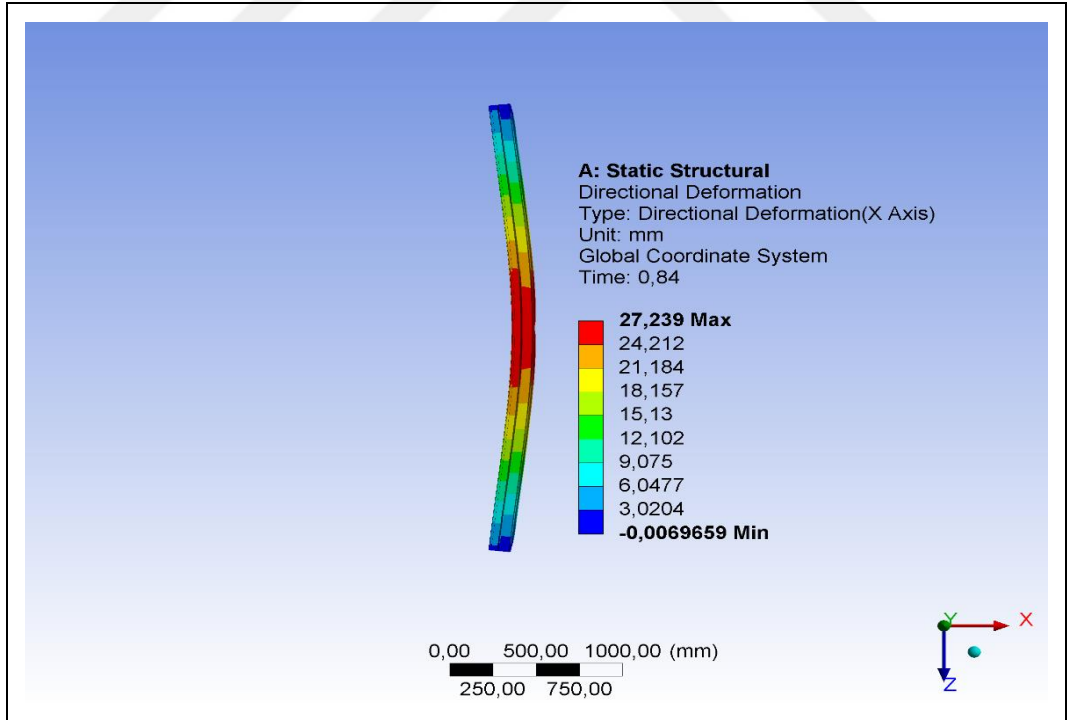
Şekil A1.11: FWS60-200 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



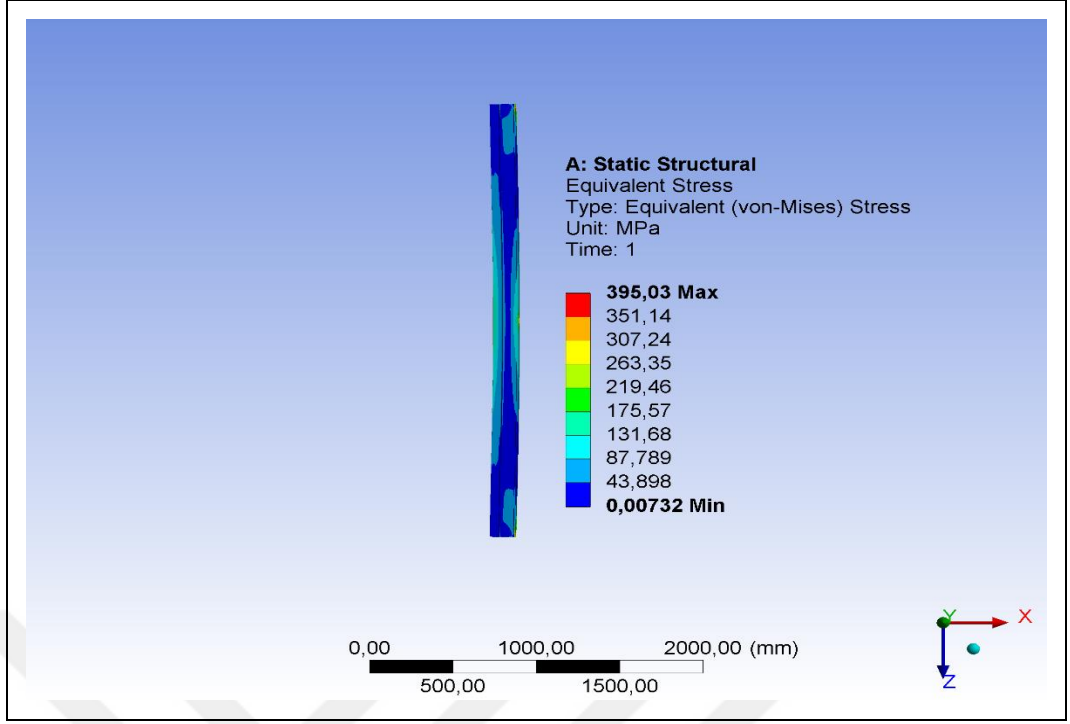
Şekil A1.12: FWS60-200 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



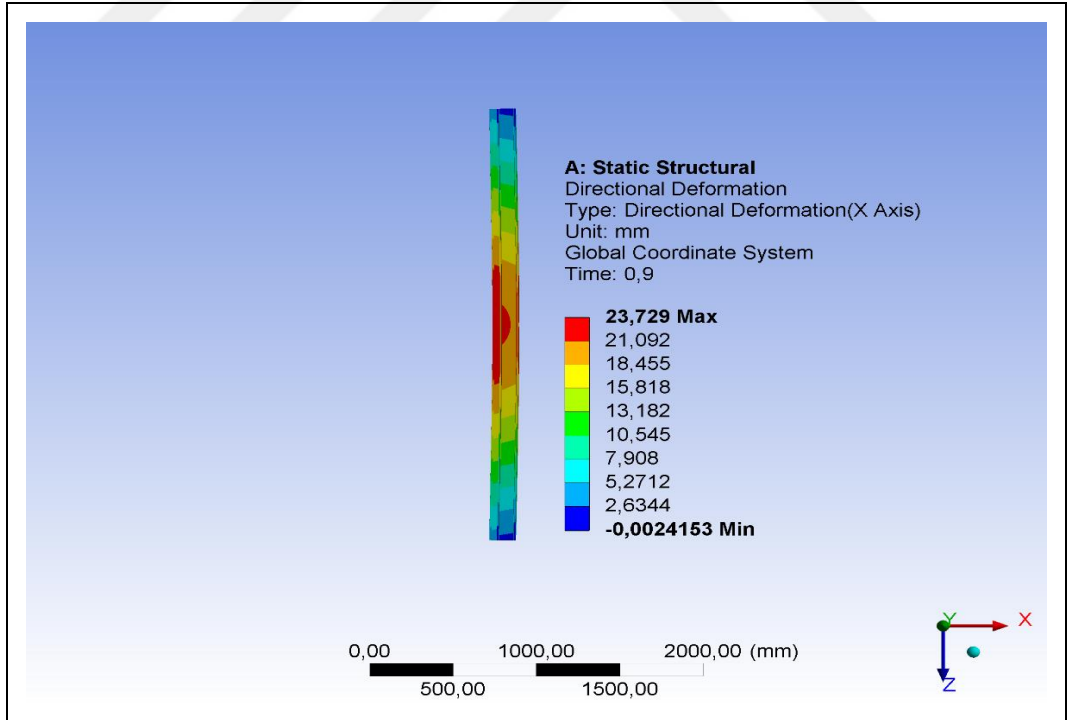
Şekil A1.13: UDC35-130 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



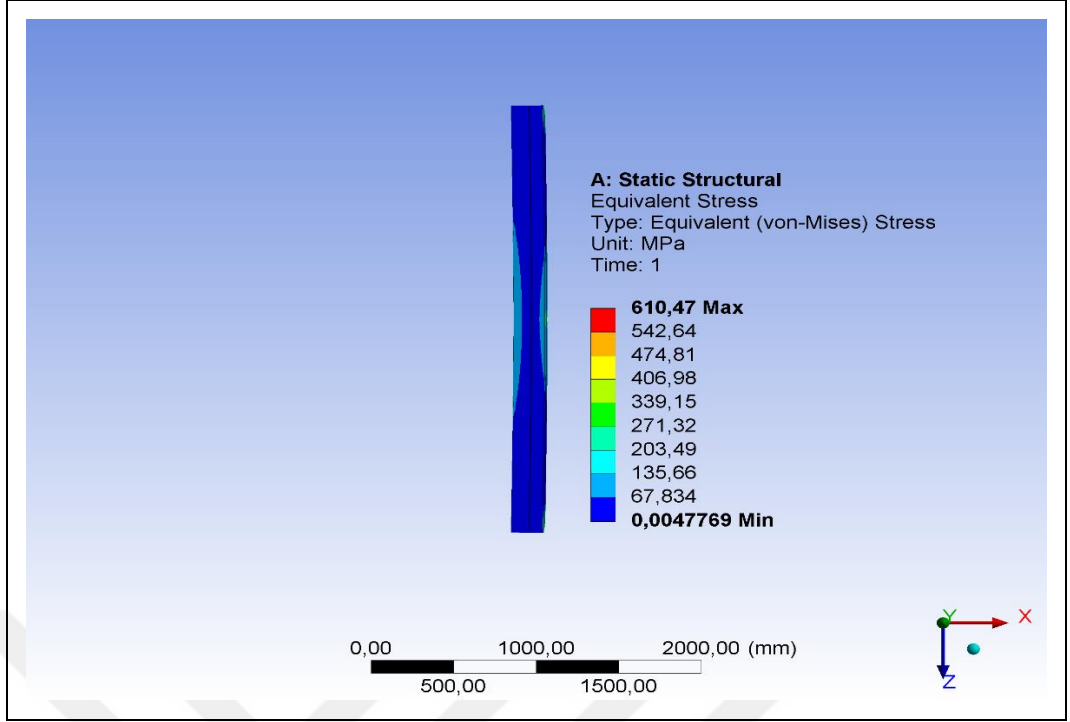
Şekil A1.14: UDC35-130 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



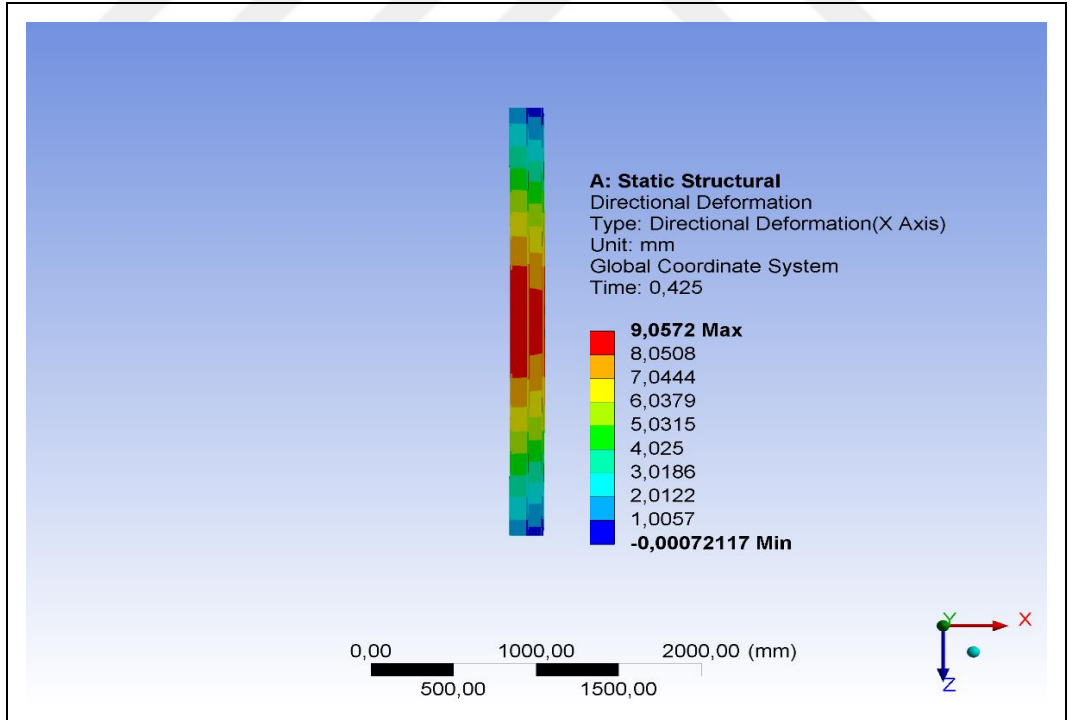
Şekil A1.15: UDC35-155 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



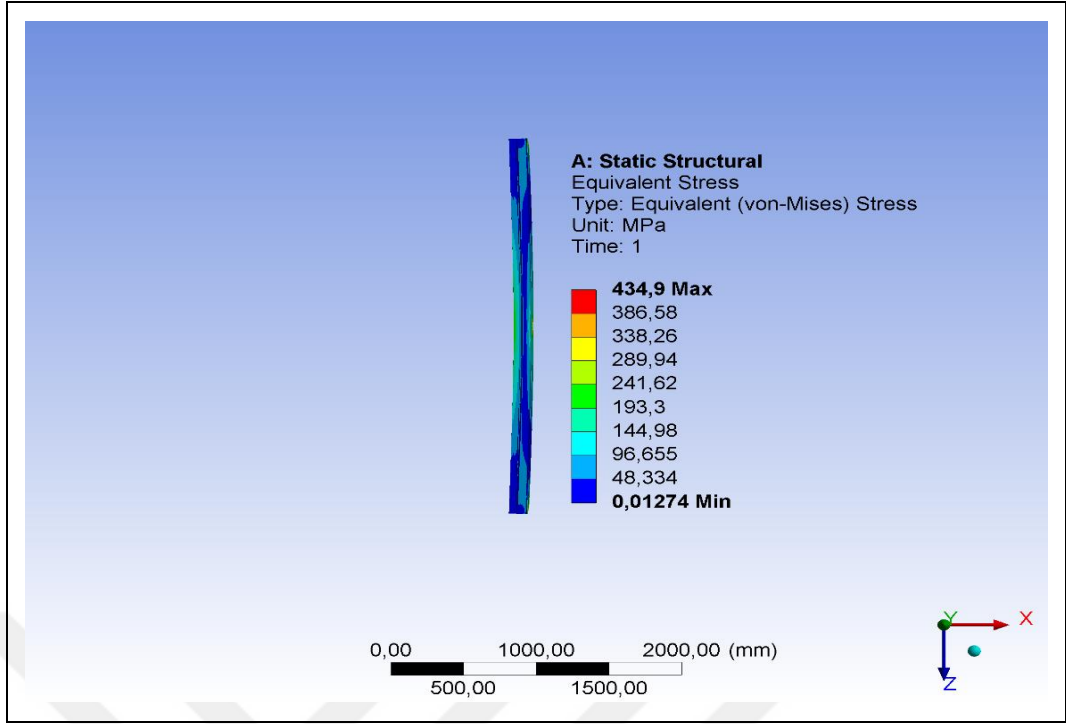
Şekil A1.16: UDC35-155 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



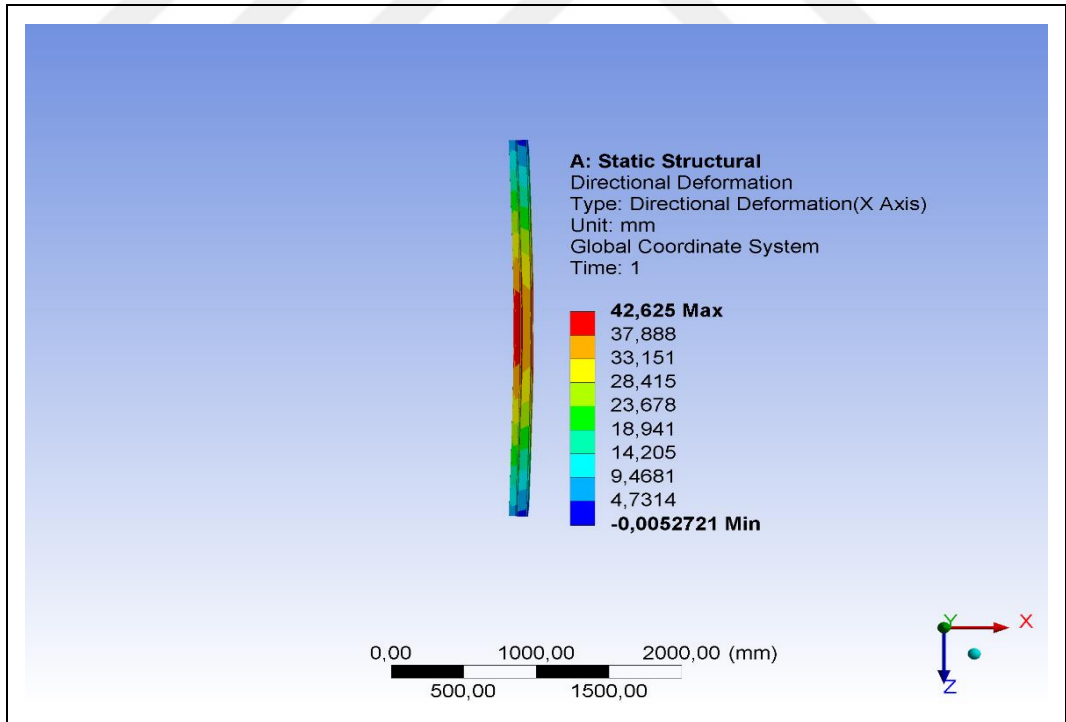
Şekil A1.17: UDC35-205 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



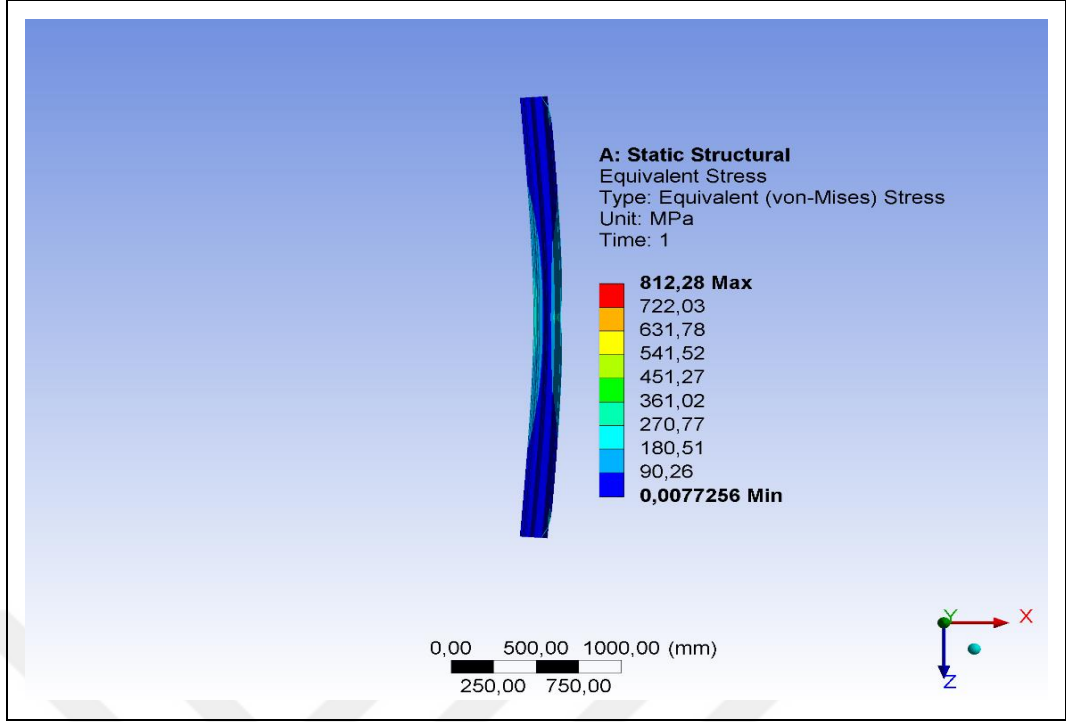
Şekil A1.18: UDC35-205 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



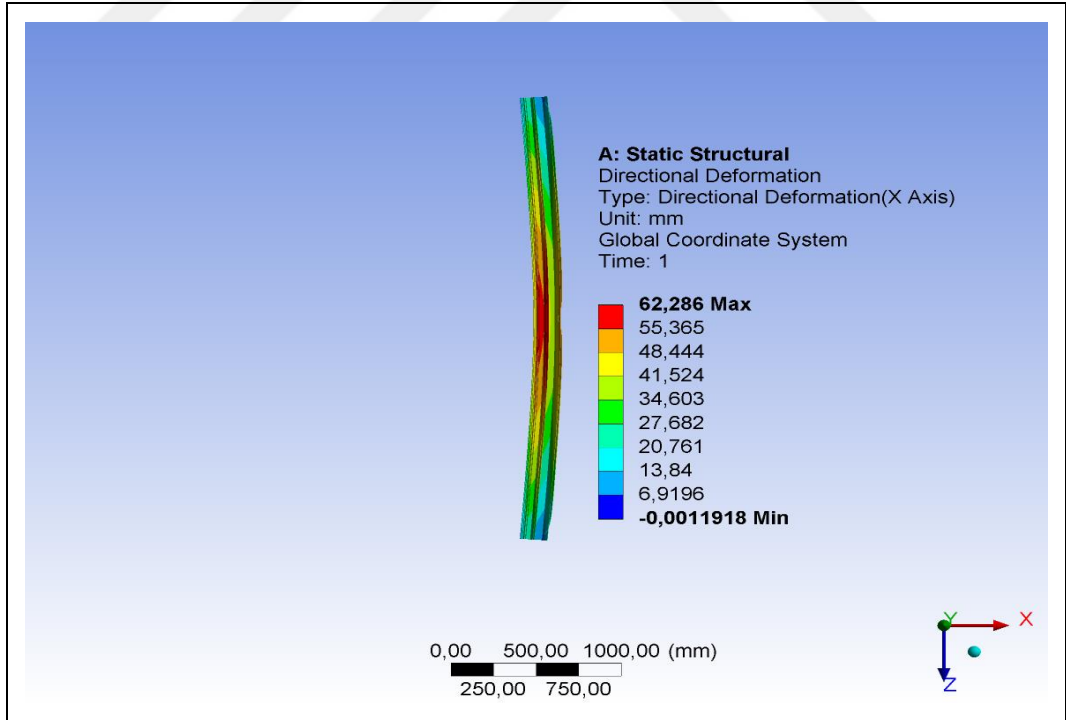
Şekil A1.19: UDC52-130 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



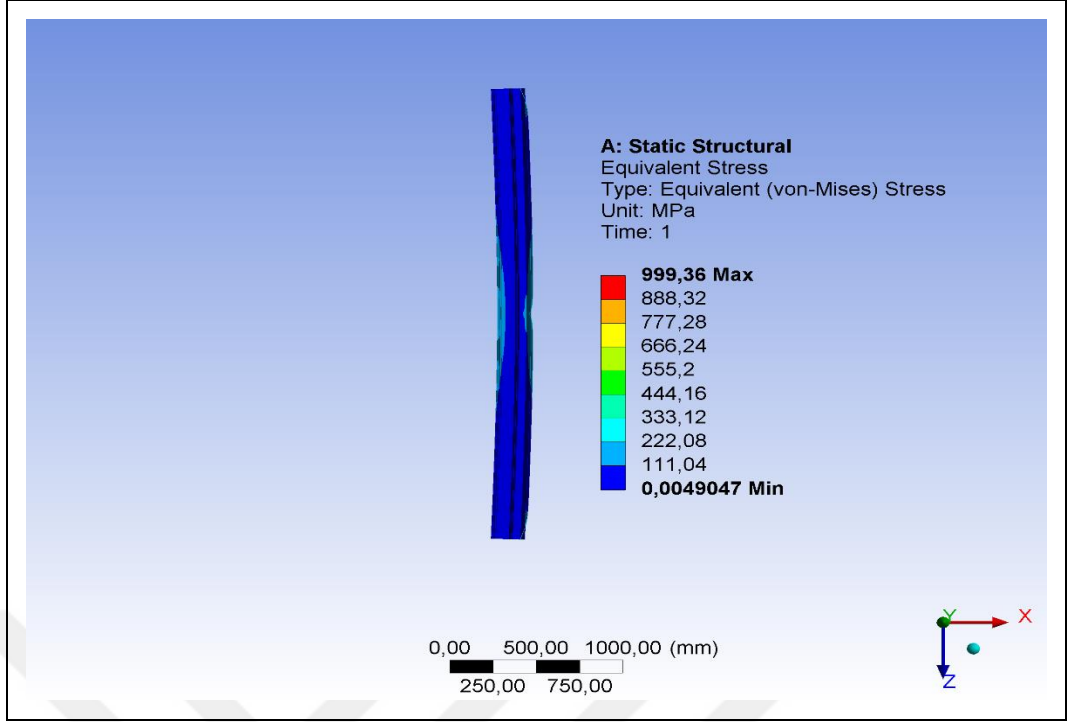
Şekil A1.20: UDC52-130 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



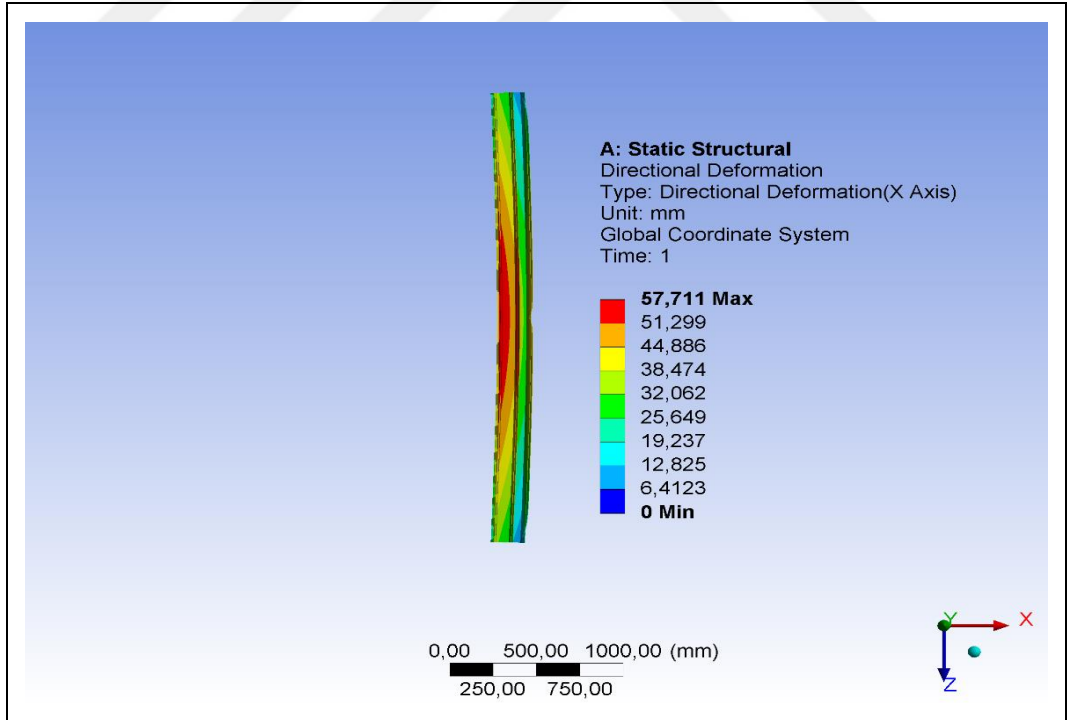
Şekil A1.21: UDC52-155 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



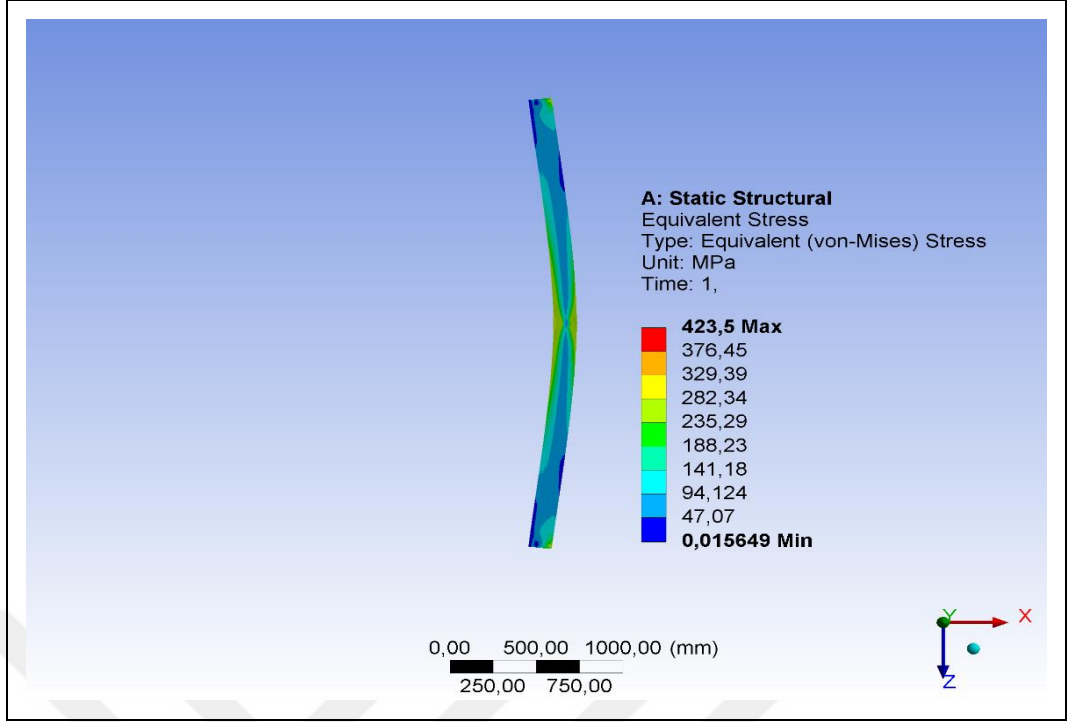
Şekil A1.22: UDC52-155 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



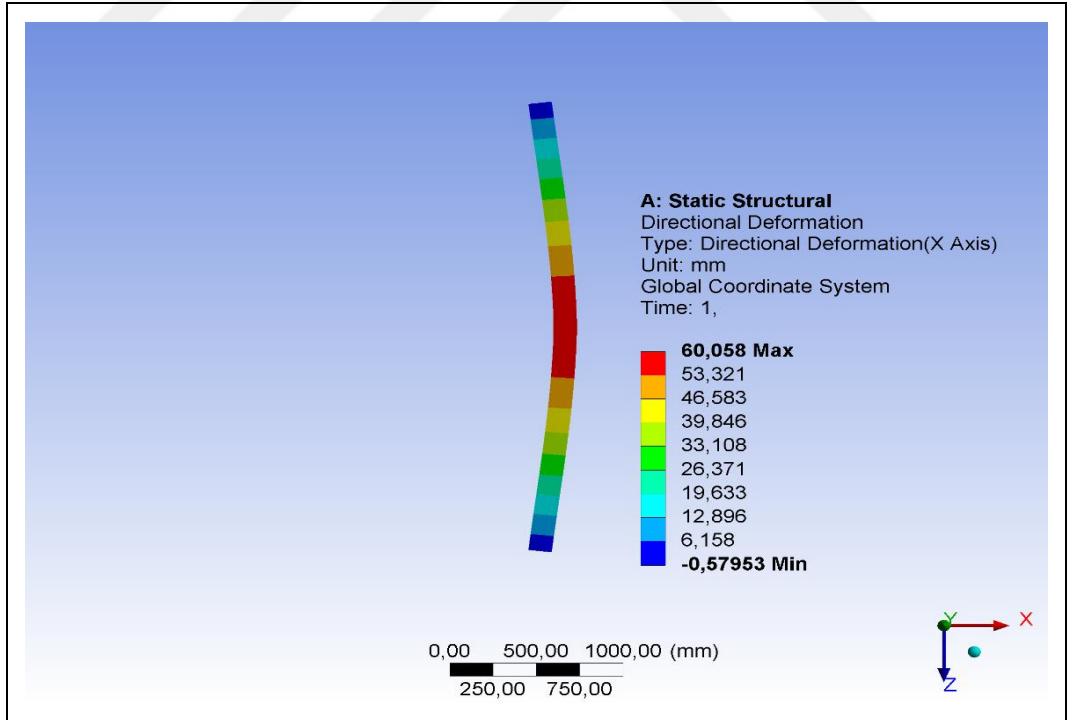
Şekil A1.23: UDC52-205 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



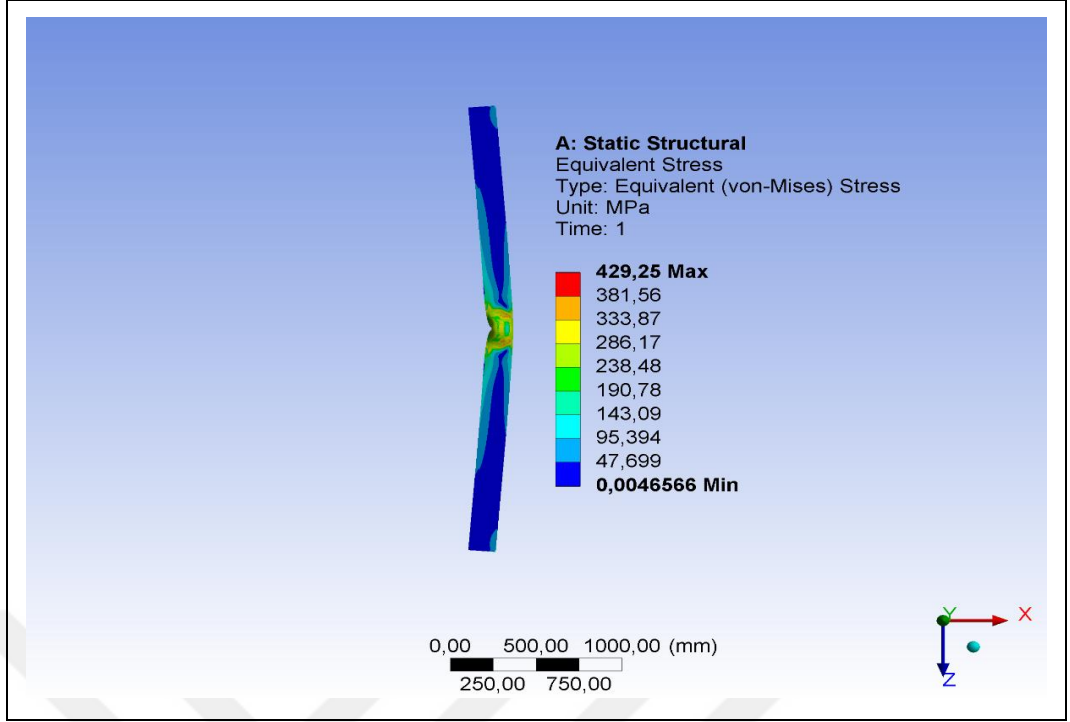
Şekil A1.24: UDC52-205 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



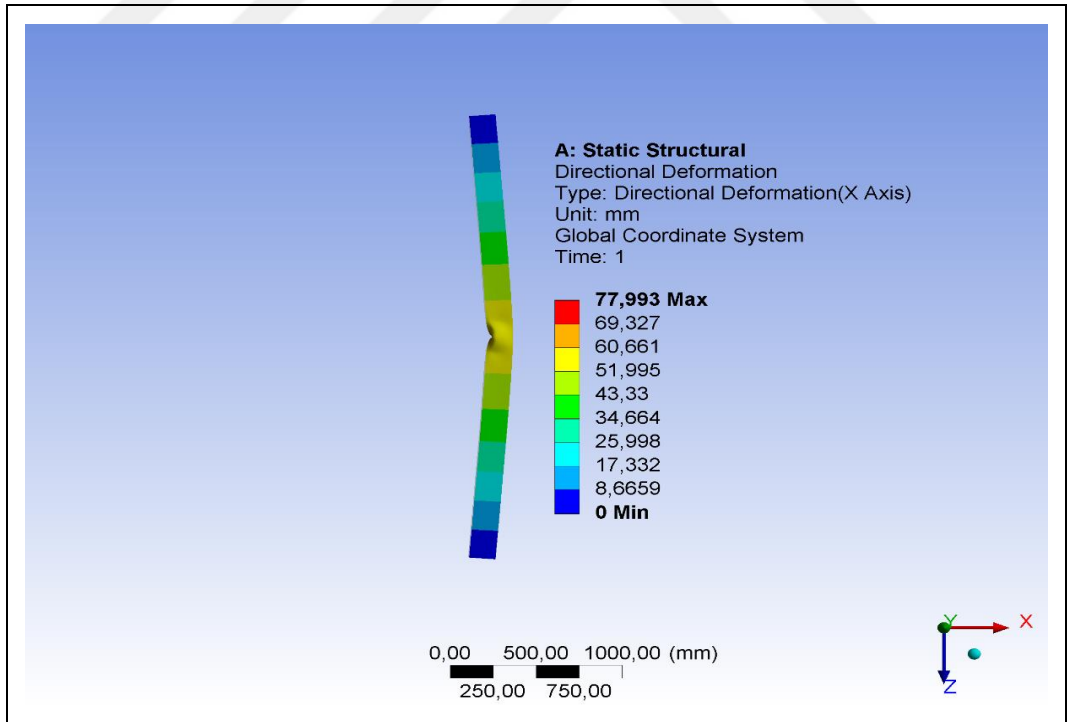
Şekil A1.25: UDC80-129 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



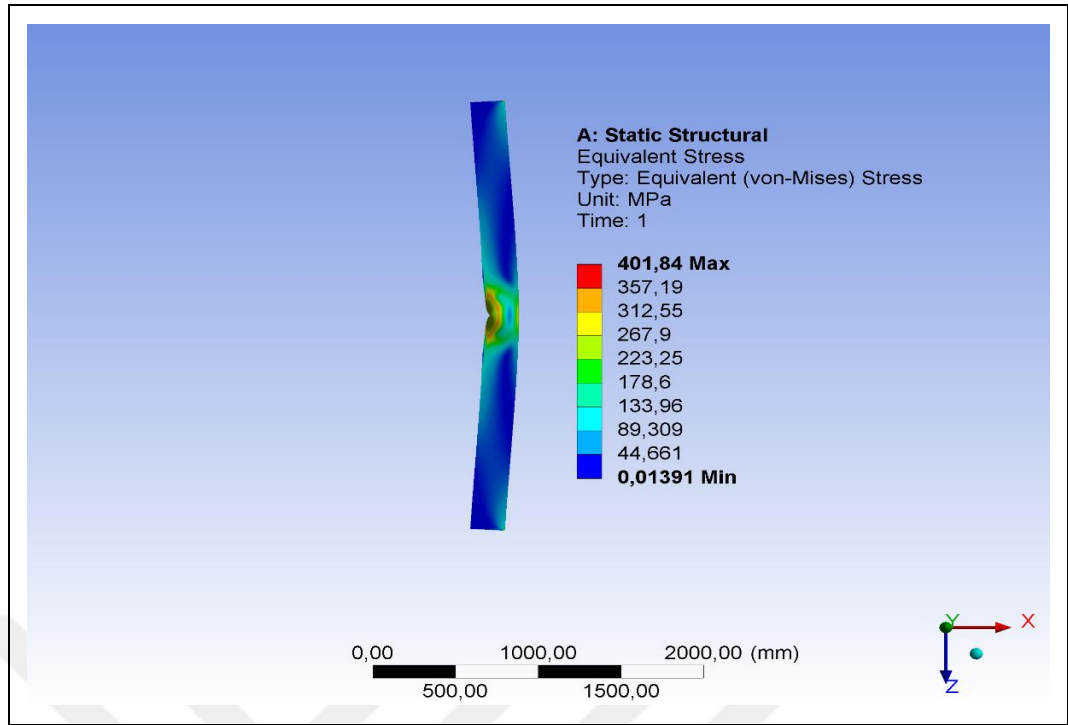
Şekil A1.26: UDC80-129 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



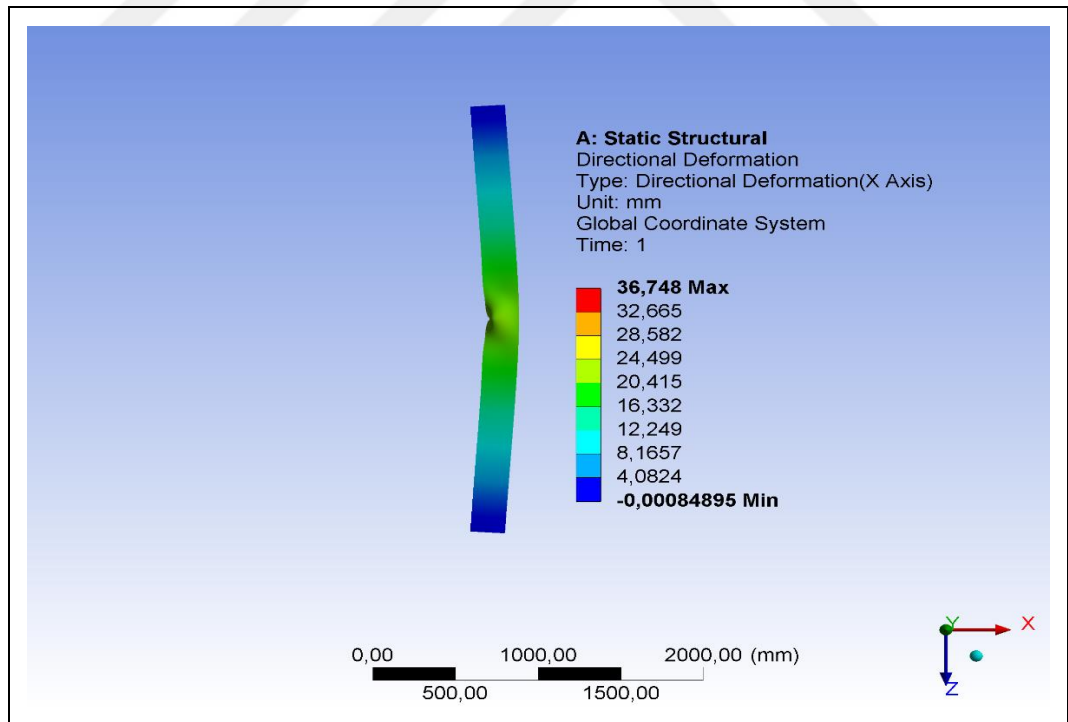
Şekil A1.27: UDC80-154 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



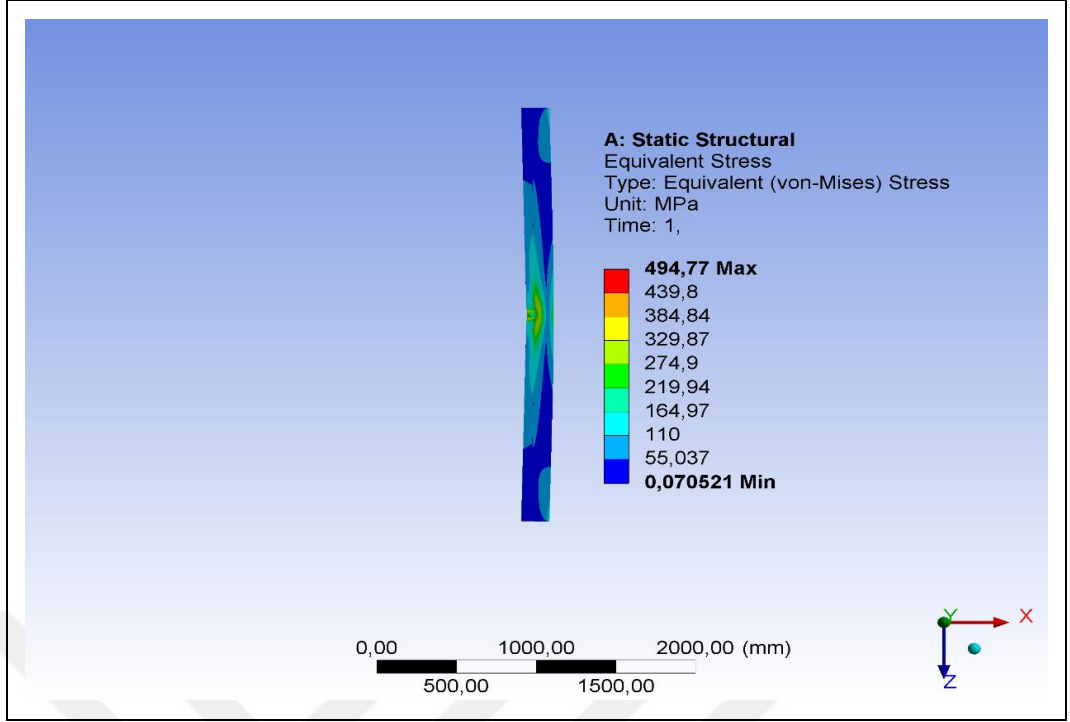
Şekil A1.28: UDC80-154 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



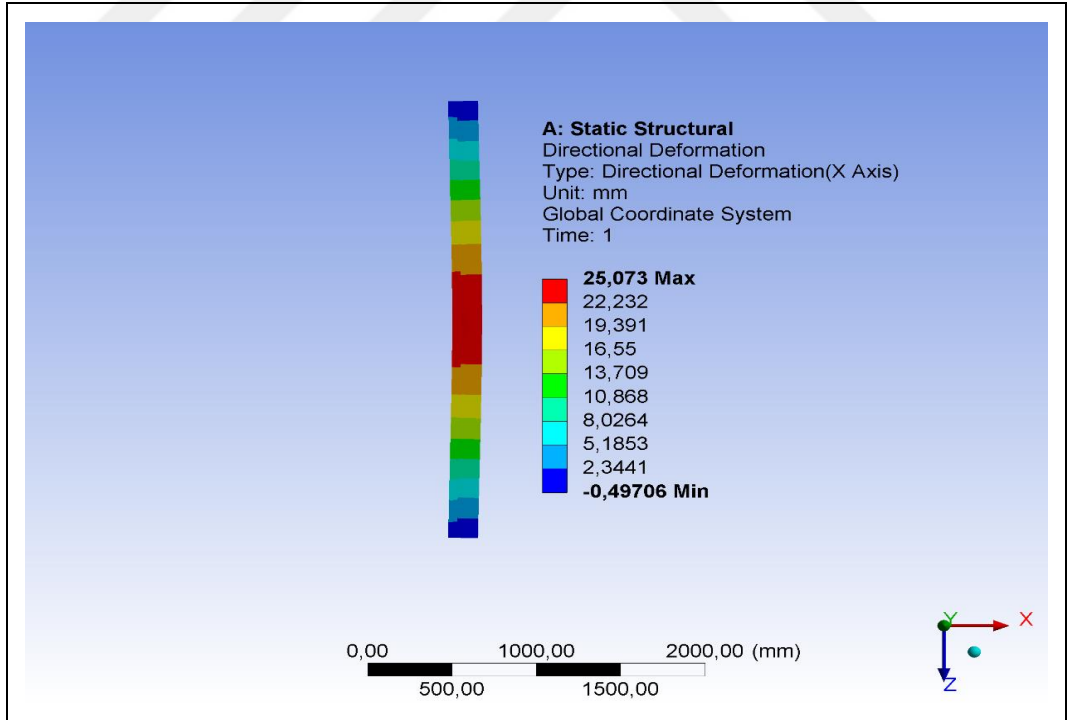
Şekil A1.29: UDC80-204 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



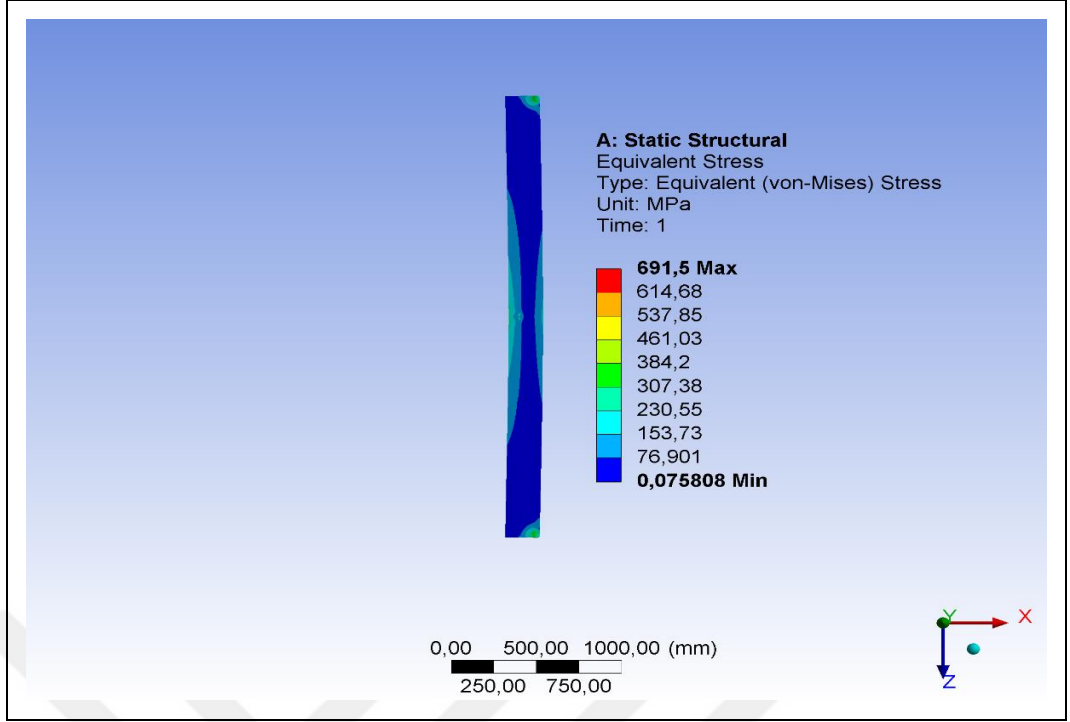
Şekil A1.30: UDC80-204 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



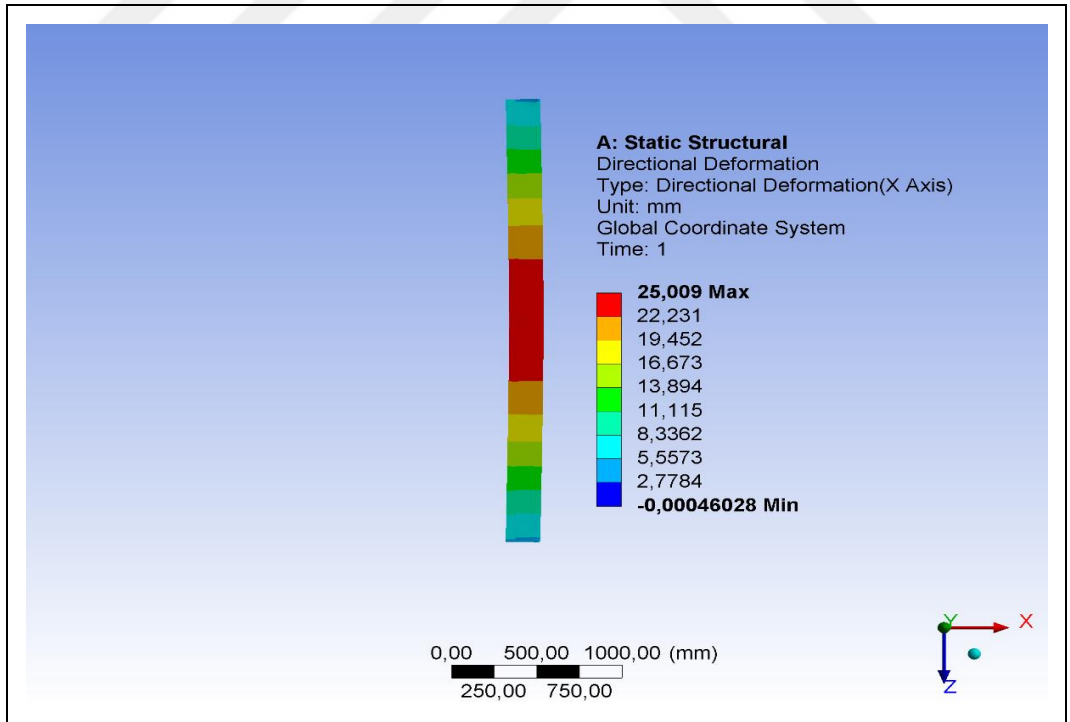
Şekil A1.31: SFC85-125 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



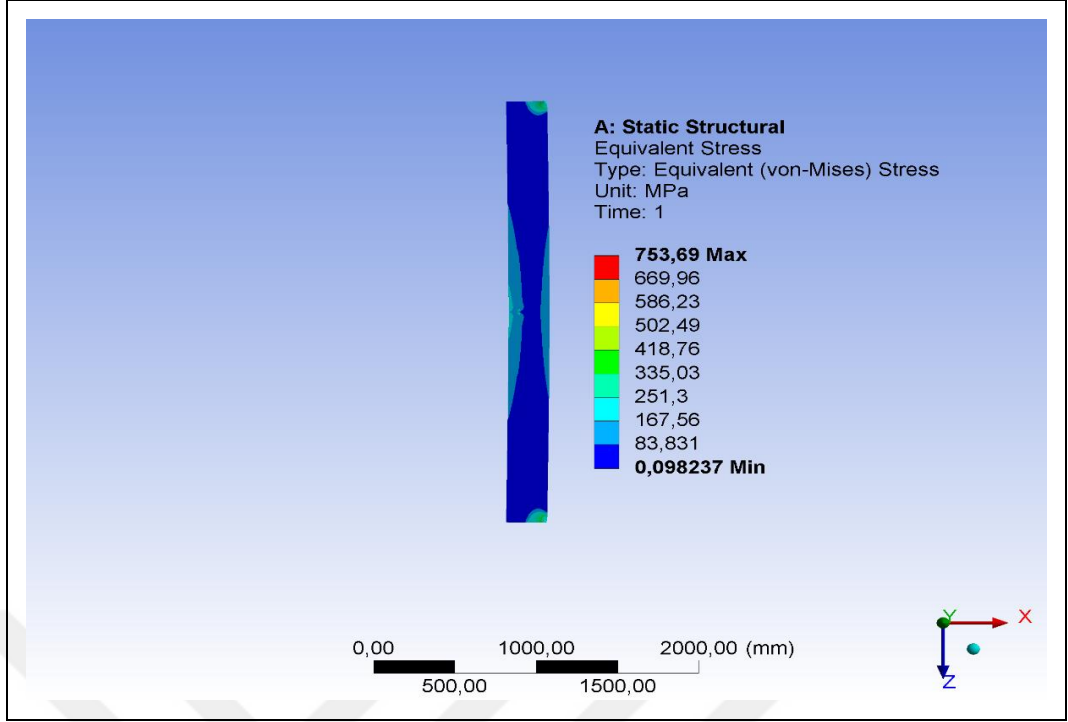
Şekil A1.32: SFC85-125 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



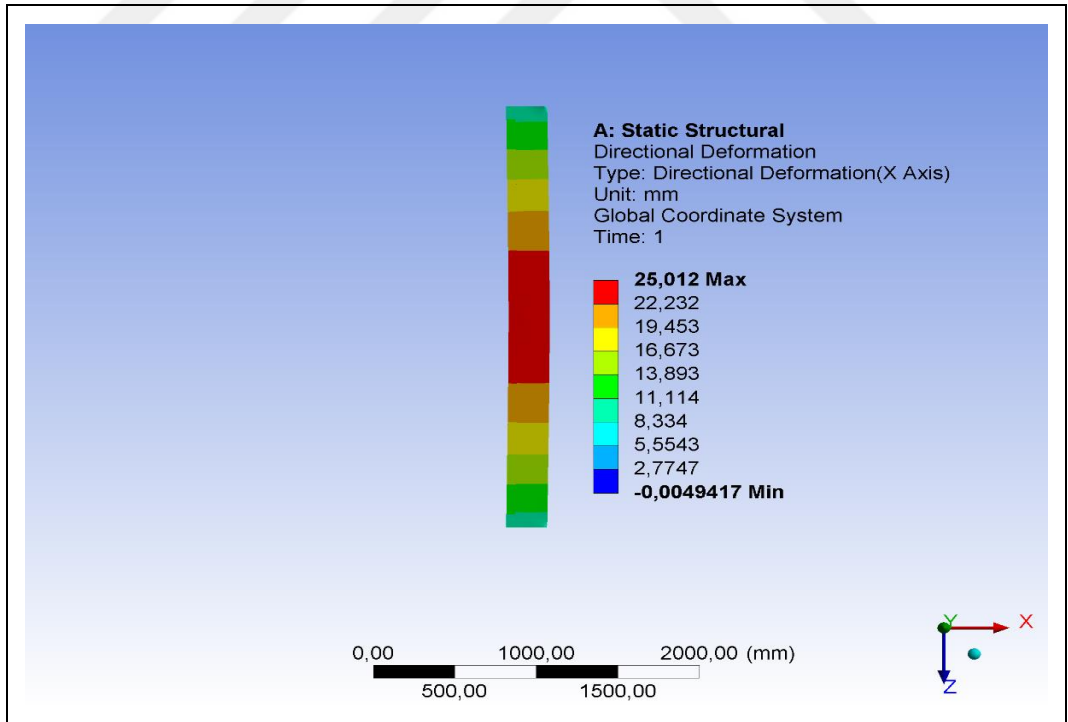
Şekil A1.33: SFC85-150 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



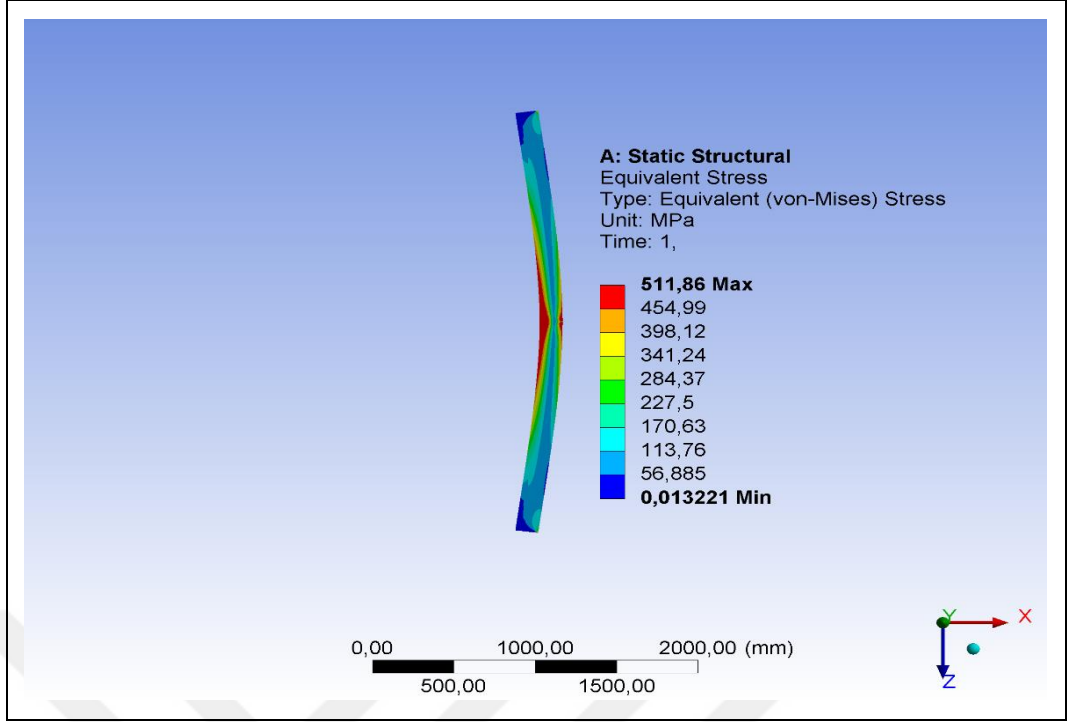
Şekil A1.34: SFC85-150 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



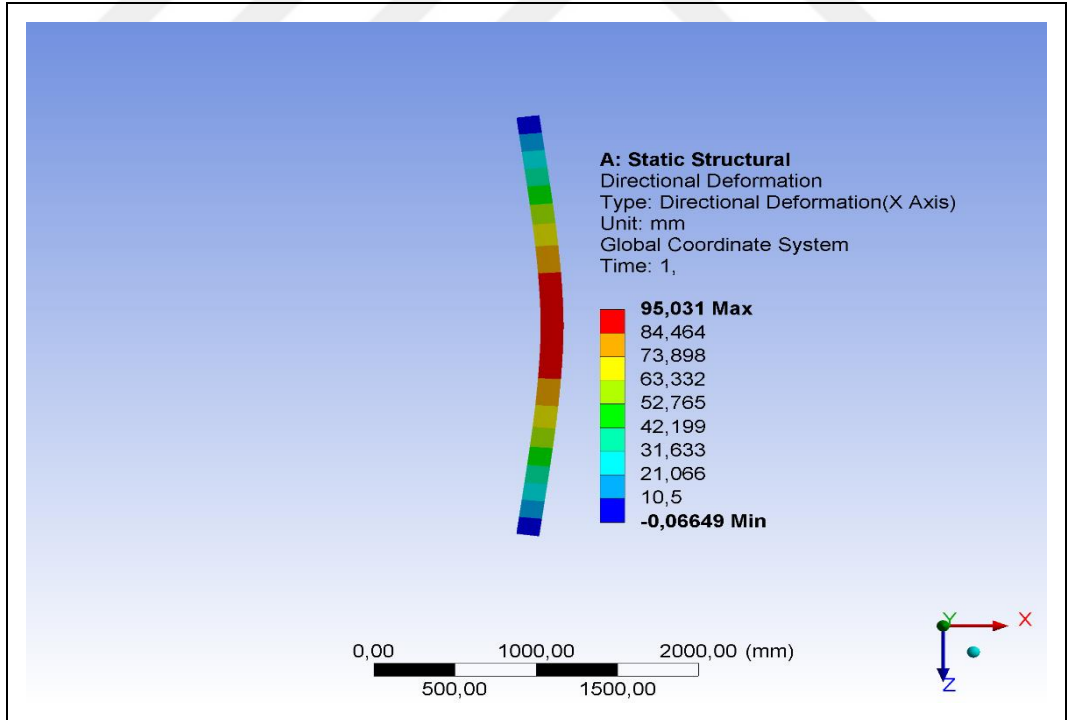
Şekil A1.35: SFC85-200 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



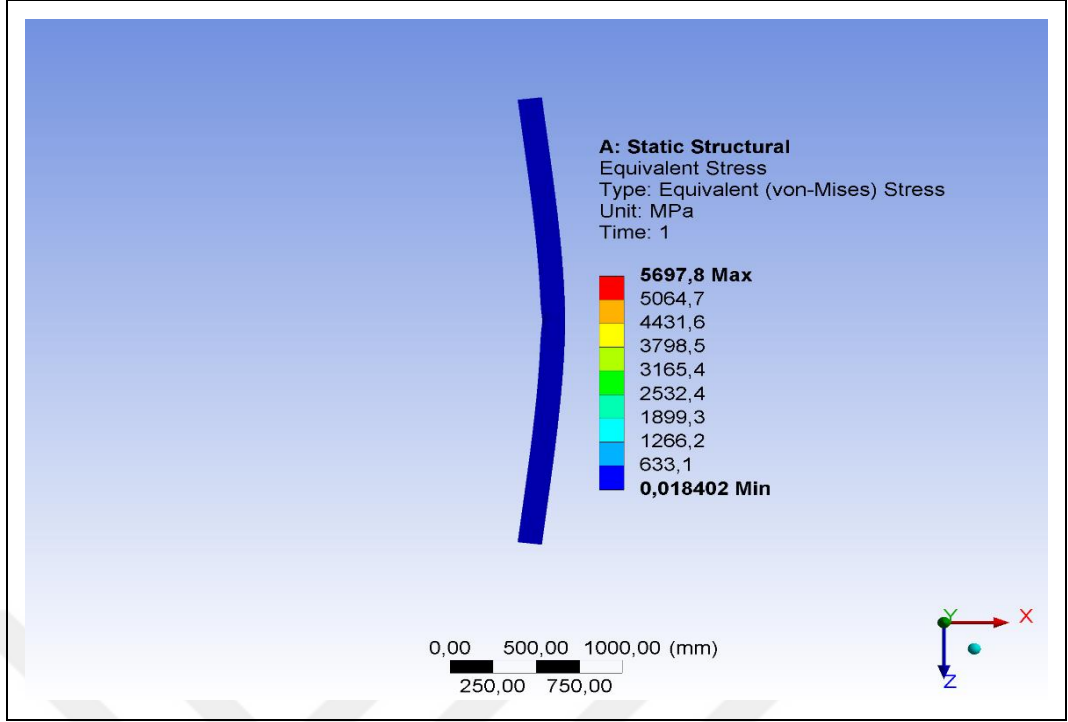
Şekil A1.36: SFC85-200 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



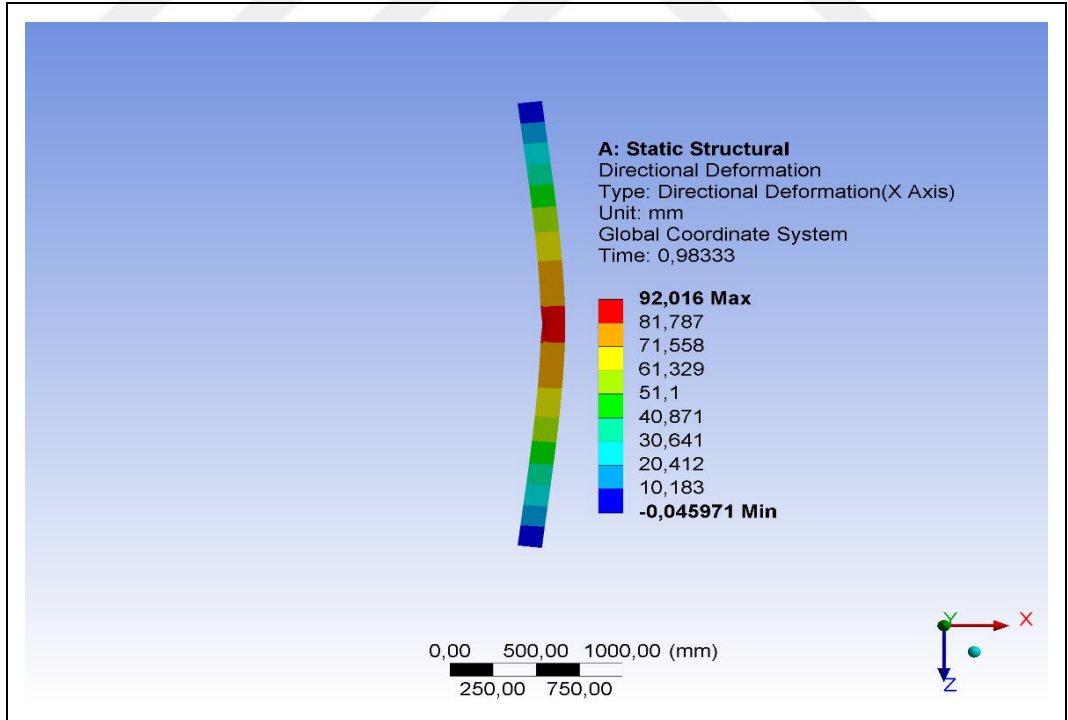
Şekil A1.37: FWS50-125A Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



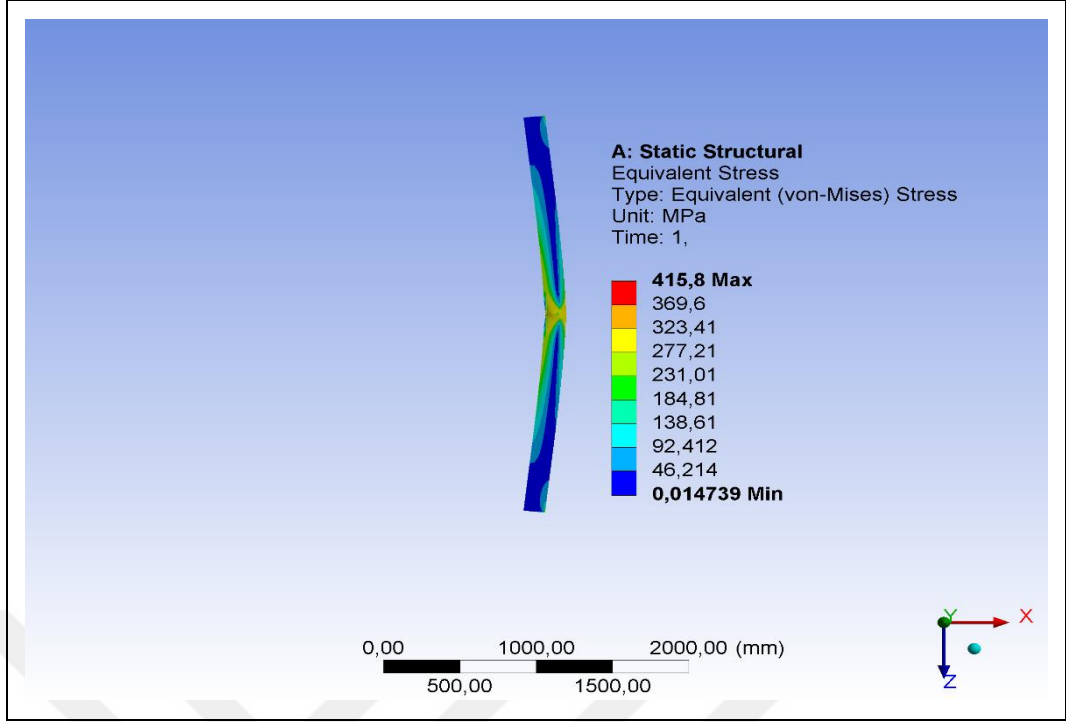
Şekil A1.38: FWS50-125A Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



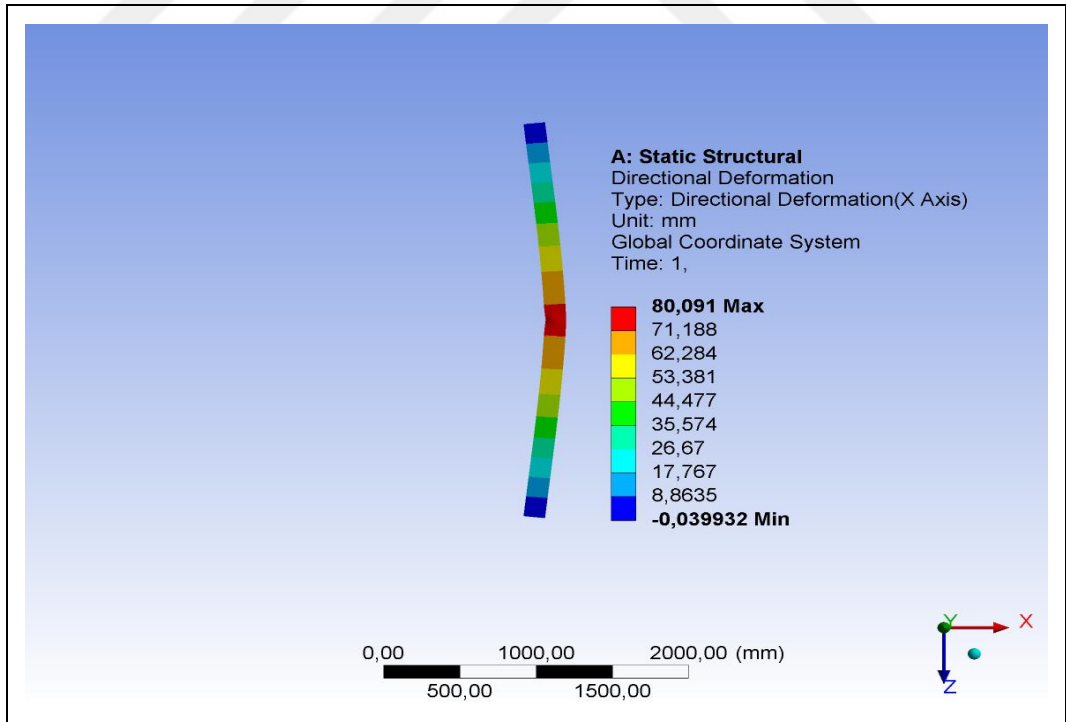
Şekil A1.39: FWS50-125C Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



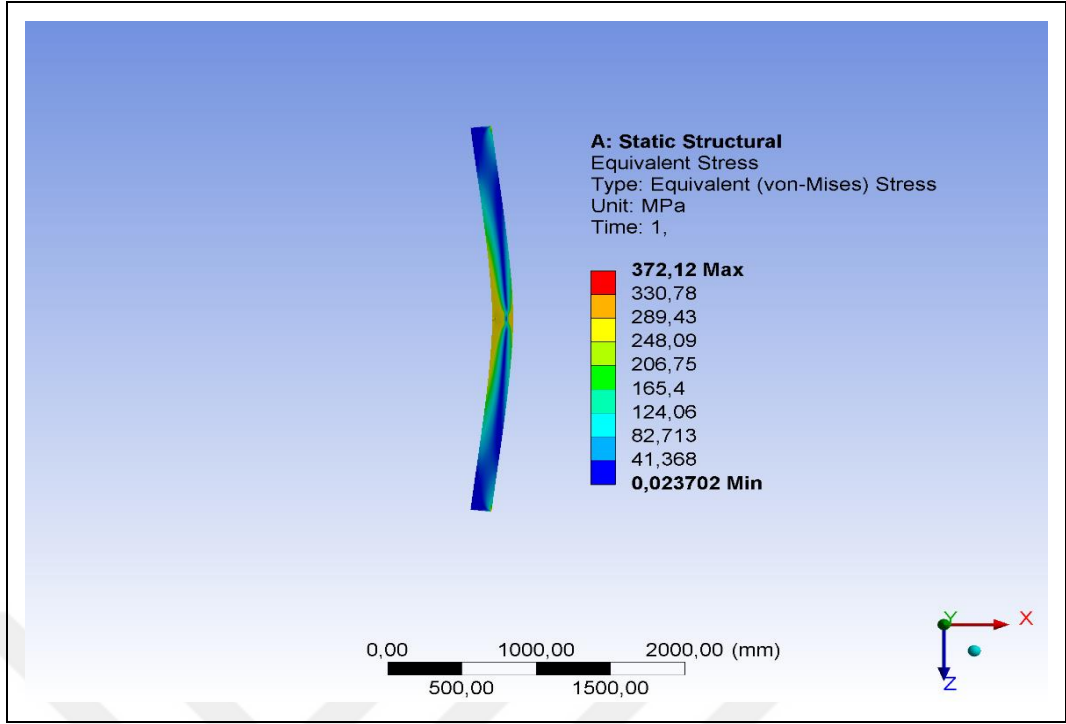
Şekil A1.40: FWS50-125C Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



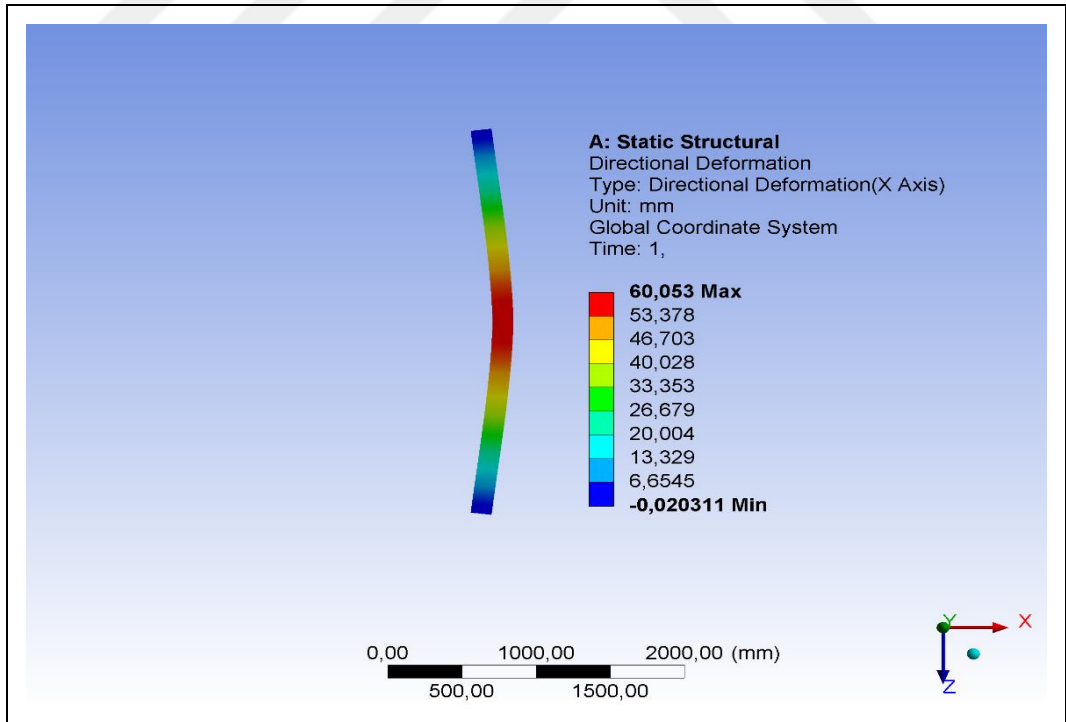
Şekil A1.41: FWS50-125M Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



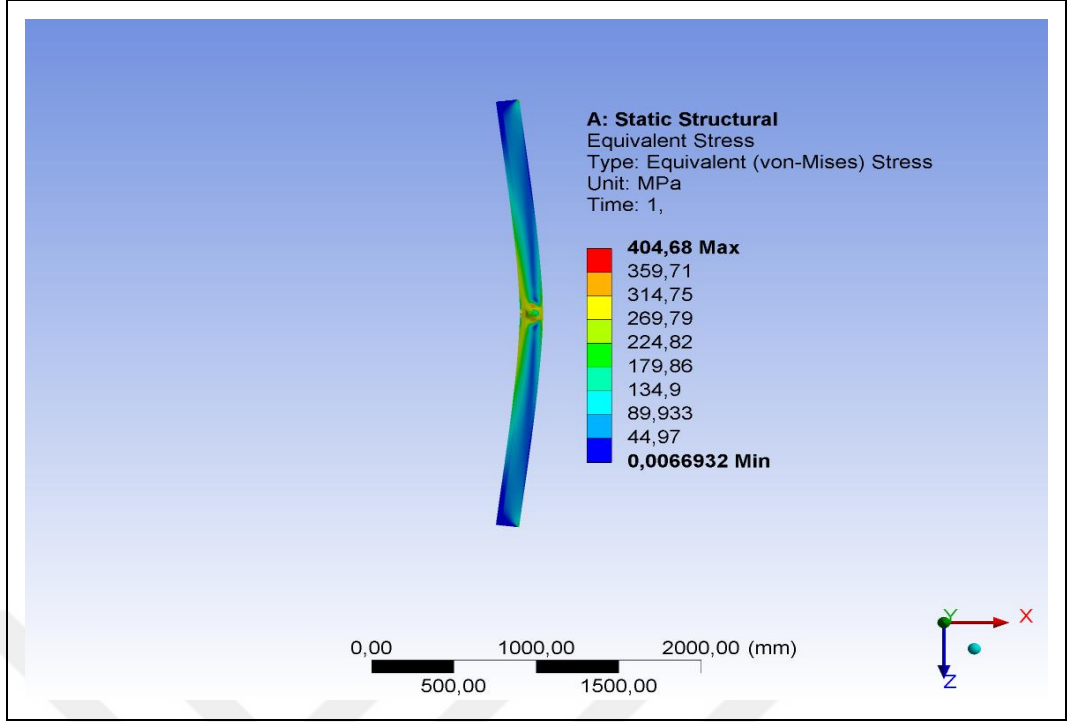
Şekil A1.42: FWS50-125M Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



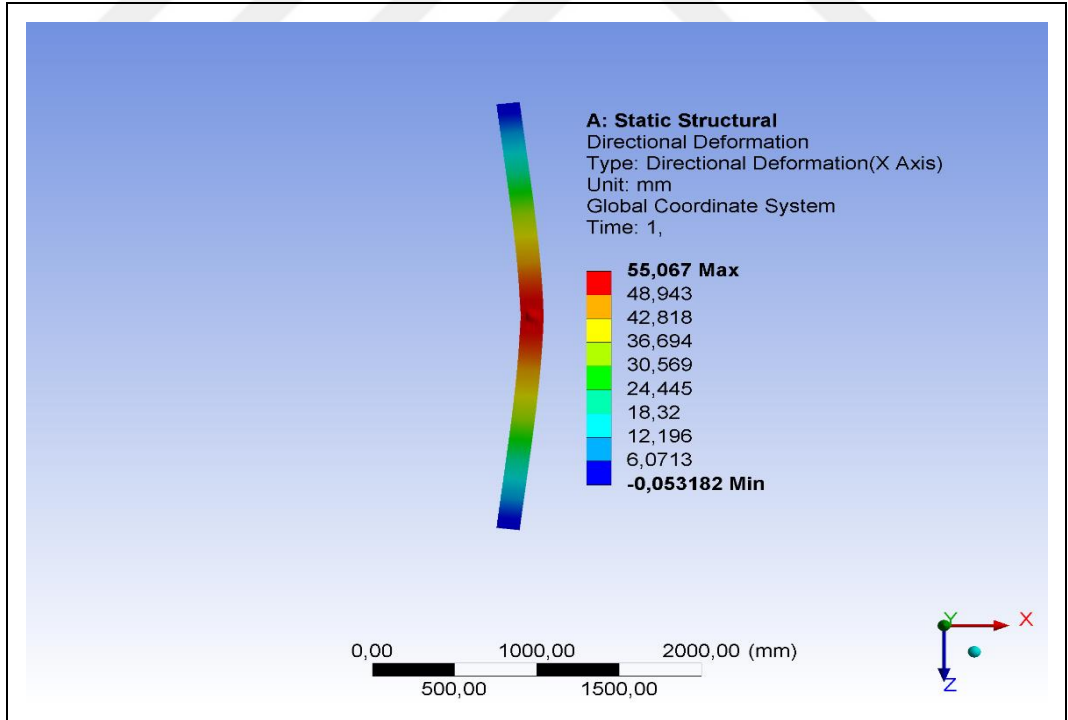
Şekil A1.43: FWS50-125S Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



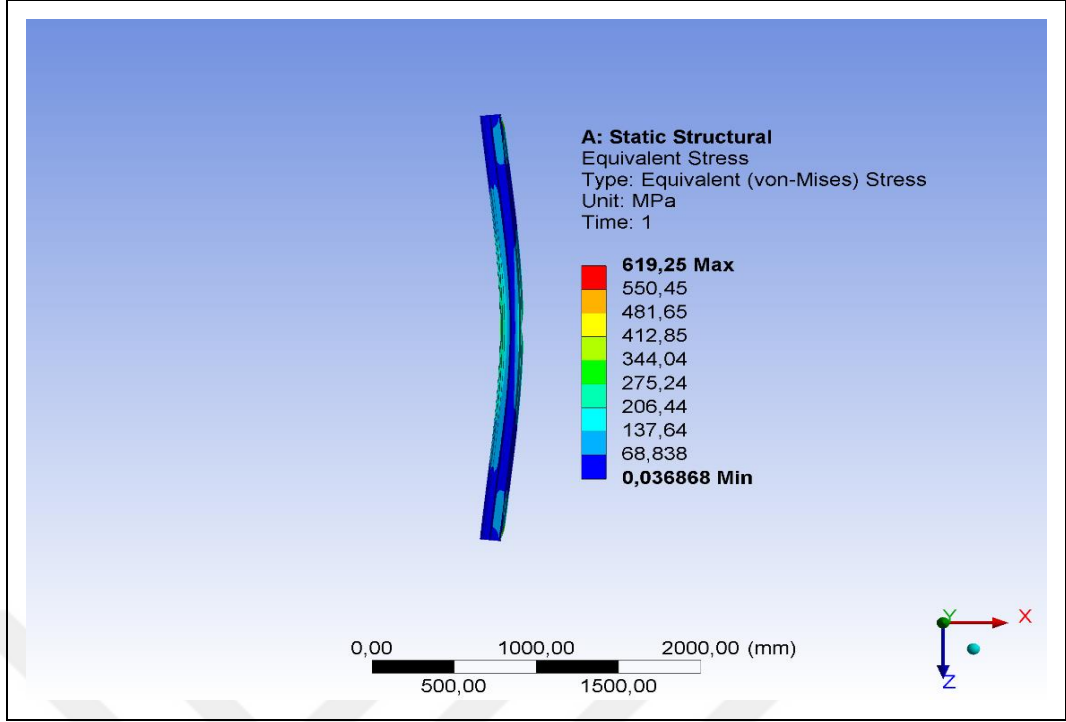
Şekil A1.44: FWS50-125S Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



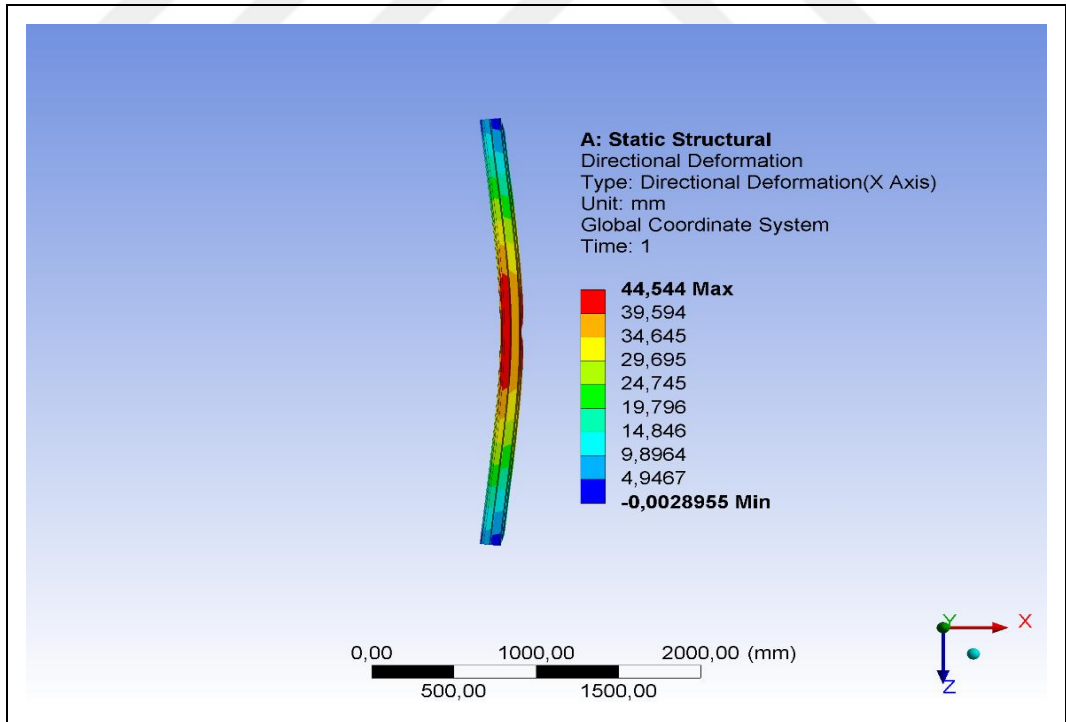
Şekil A1.45: FWS50-125S1 Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



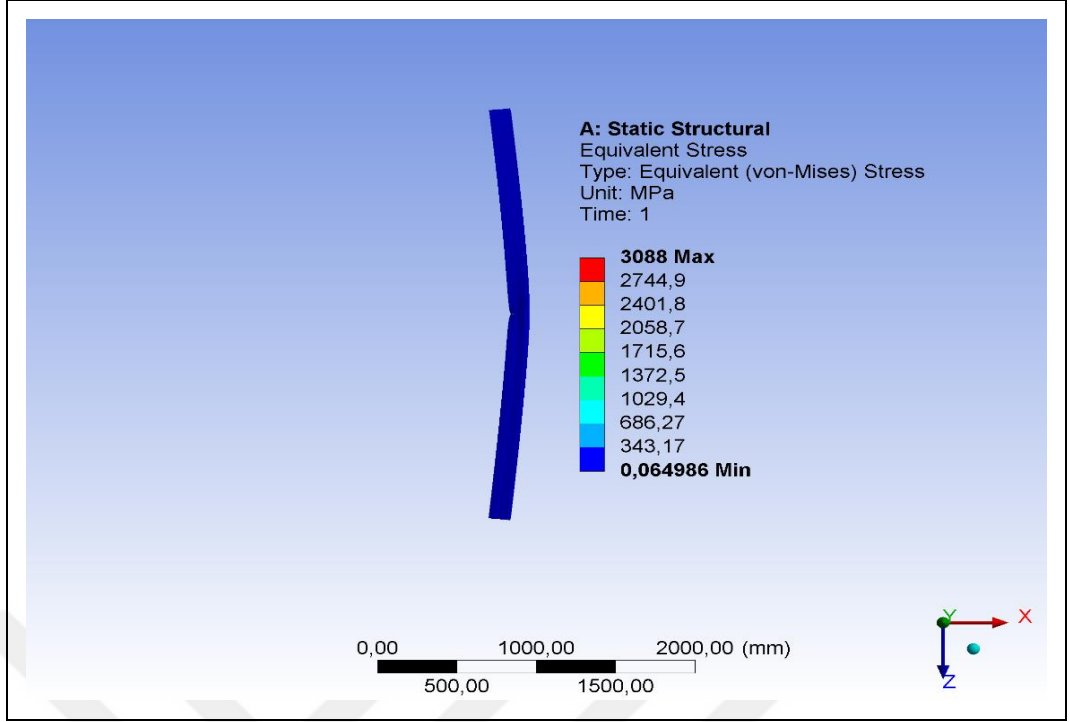
Şekil A1.46: FWS50-125S1 Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



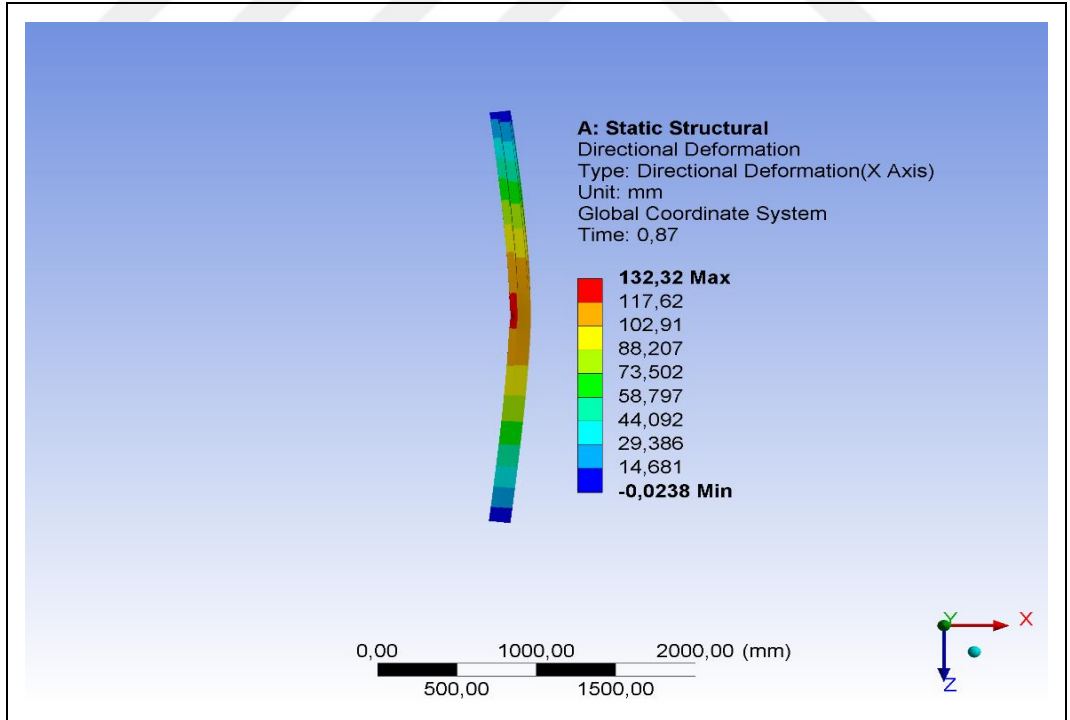
Şekil A1.47: UDC35-130A Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



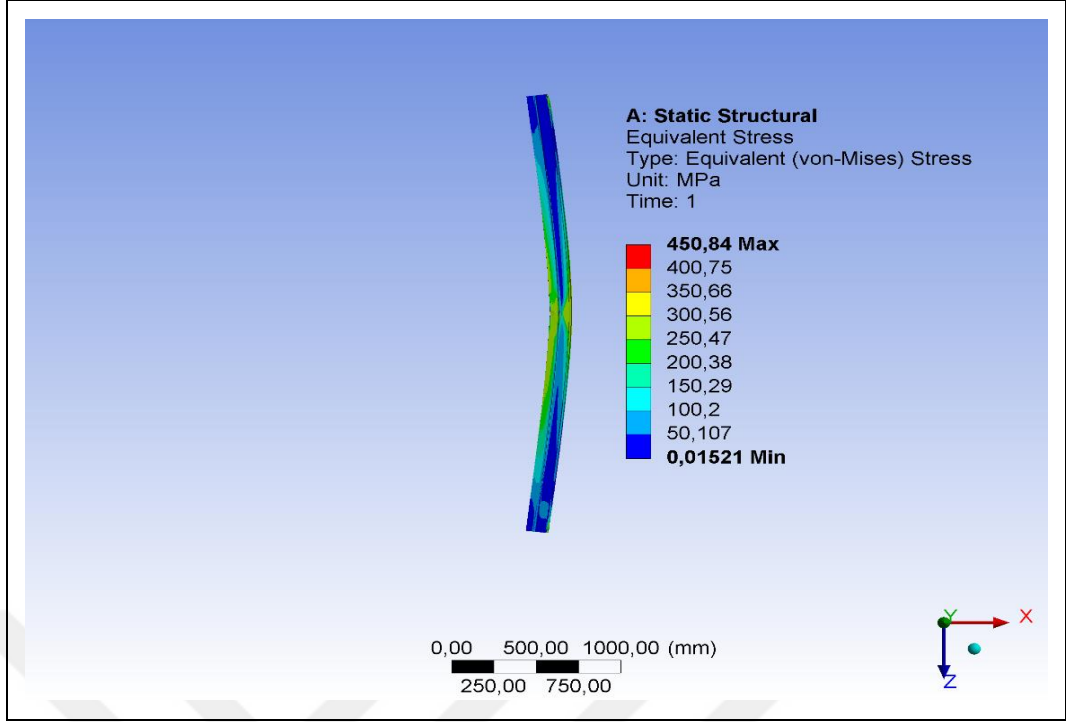
Şekil A1.48: UDC35-130A Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



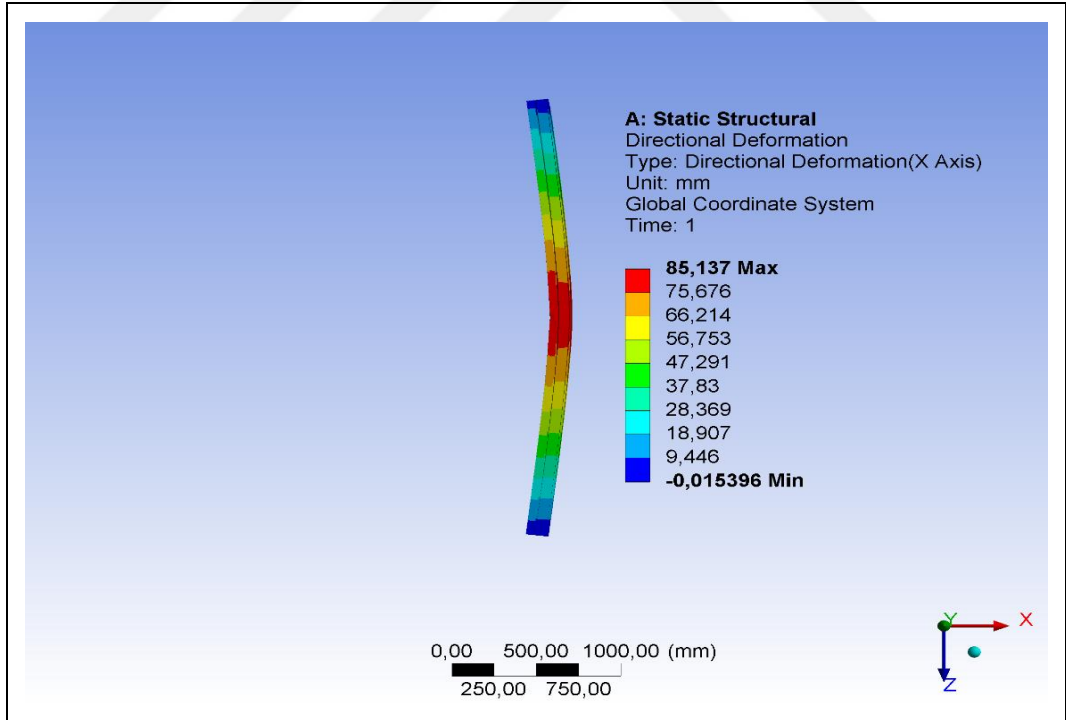
Şekil A1.49: UDC35-130C Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



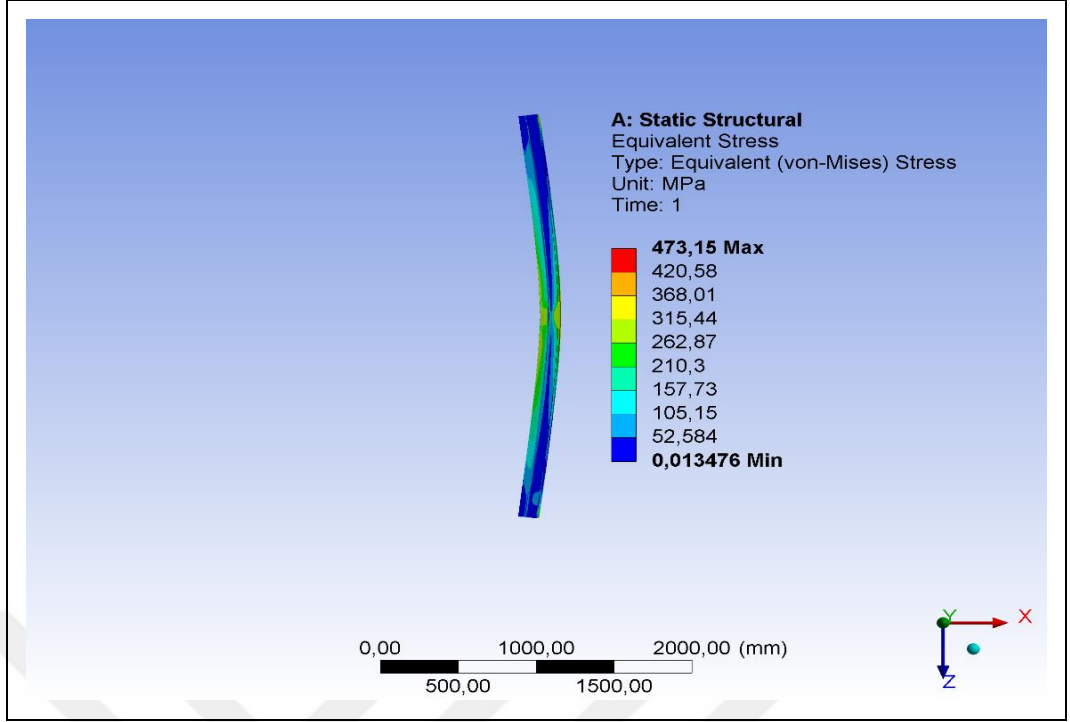
Şekil A1.50: UDC35-130C Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.



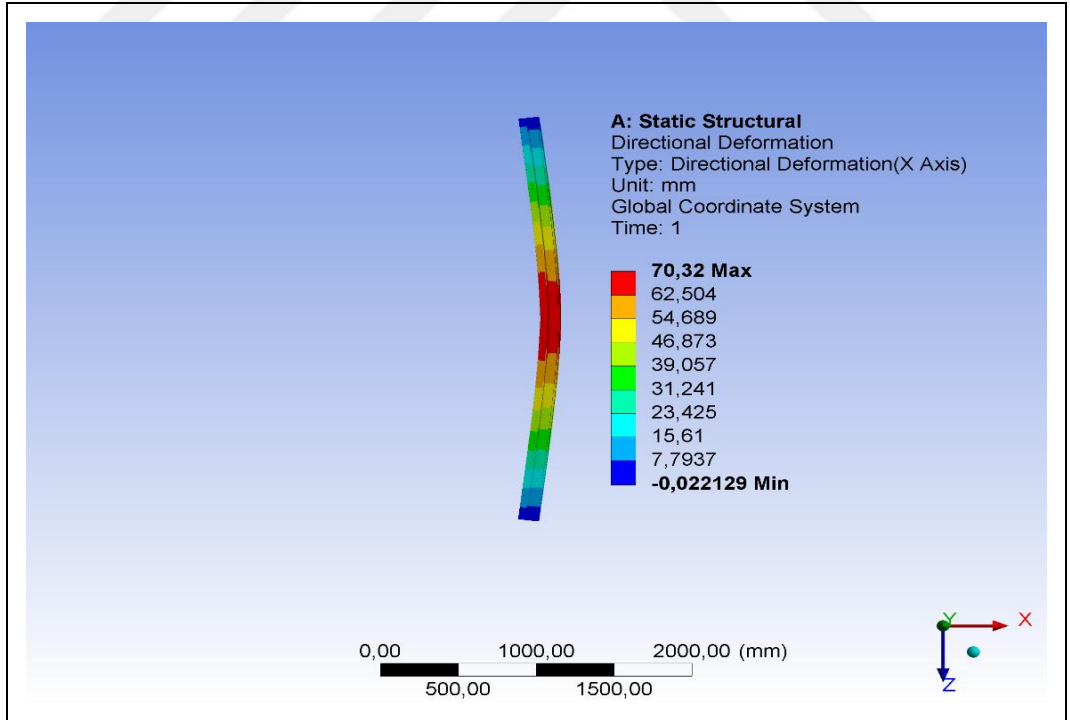
Şekil A1.51: UDC35-130M Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



Şekil A1.52: UDC35-130M Profili Şekil Değişirme Dağılımı.



Şekil A1.53: UDC35-130S Profili Von-mises Gerilme Dağılımı.



Şekil A1.54: UDC35-130S Profili Şekil Değiştirme Dağılımı.

Ek-B: Diğer Ekler (CD)

