

T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK POLİMERLERDEN ÜRETİLMİŞ İ PROFİLLERİN  
EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Kübra ÇEBİ

Danışman: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN  
2020

Her Hakkı Saklıdır.

## Kabul ve Onay Sayfası

Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN danışmanlığında, Kübra ÇEBİ tarafından hazırlanan bu çalışma 30/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği (3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mahmut KILIÇ

İmza:

Üye : Doç. Dr. Merve MAALİ

İmza:

Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunun 31. / 01. / 2020 tarih ve 5.../8..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY**

Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

### Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Atık Polimerlerden Üretilmiş I Profillerin Eğilme Davranışının İncelenmesi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 30/01/2020

(İmza)  
  
KÜBRA ÇEBİ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ATIK POLİMERLERDEN ÜRETİLMİŞ I PROFİLLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Kübra ÇEBİ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Günlük hayatımızı birçok noktada kolaylaştıran plastiklerin kullanımı da günden güne artmaktadır. Kullanıldıktan sonra atık haline gelen bu malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesi ekolojik düzen açısından değerlendirildiğinde çok büyük önem ve anlam taşımaktadır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında atık haline gelen polimerlerden üretilen hafif çelik I profillerinin içini doldurmak suretiyle bir kompozit sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışma için 10 adet I100 hafif çelik profil üretilmiştir ve elde edilen karışım proje kapsamında hafif çelikten üretilen yedi adet I100 profile eriyik halde doldurulmuştur. Üç profil ise gerekli kıyaslamaların yapılabilmesi için boş bırakılmıştır. Profillere üçerli gruplar halinde sırasıyla atık polimerden elde edilen karışım doldurulmuştur. Ayrıca karbon fiber çubuklarla güçlendirilmiş numunelerde üretilmiştir. Söz konusu numunelerde eğilme, burulma ve kesme deneyleri yapılmıştır. Üretilen I tipli hafif çelik profil ve içini doldurmada kullanılan atık polimer felsefesi, geri dönüşüm hususunda yaratıcı bir yenilik içerirken, aynı zamanda eğilme, kesme ve burulma gibi davranışlarda beklenenin ötesinde dayanım artışları izlenmiştir. Bu bağlamda literatür için standart çelik profillere benzer davranış gösteren hafif atık geri dönüşümlü profiller üretilmiştir.

**2020, 158 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Atık polimerin değerlendirilmesi, Basınç, Burulma, Eğilme, Eğilme davranışı, Eğilmeli burulma, Karbon Donatı, Karbon Fiber Çubuk, I profil, Polimer profiller



## ABSTRACT

Master Thesis

### AN INVESTIGATION ON THE BENDING BEHAVIOR OF I PROFILES MANUFACTURED WITH WASTE POLYMERS

Kübra ÇEBİ

Erzincan Binali Yıldırım University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

The use of plastics, which facilitates our daily life in many aspects is increasing day by day. Recycling and re-use of these materials which become waste after being used is of great importance in terms of ecological order. In the scope of this master thesis, a composite system has been produced by filling inside of the light steel I profiles which are produced from the waste polymers. For this experimental study, 10 I100 light steel profiles were produced and the acquired melted mixture was filled into seven I100 profiles made of light steel within the scope of the project. The three profiles are left blank so that the necessary comparisons can be made. The profiles are respectively filled with the mixture obtained from the waste polymer by the groups of three. Besides, the samples strengthened by carbon fiber rods. Bending, torsion, and shear tests were carried out on the samples in question. While the produced I type light steel profile and the waste polymer philosophy which is used to fill in the profile include a creative innovation in recycling, it was also observed that the increase of the resistance in bending, shearing, and torsion behaviours were beyond expectations. In this context, light waste recycled profiles were produced for the literature, which behave similarly compared to the standard steel profiles.

**2020, 158 Pages**

**Keywords:** Bending, Bending behavior, Bending torsion, Carbon Fiber Rod, Carbon Reinforcement, Evaluation of waste polymer, I profile, Polymer profil, Pressure, Torsion

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi süresince hiçbir noktada desteğini esirgemeyen yol gösteren, öğreten, bu zorlu sürecin en güzel ve başarılı bir şekilde geçmesini sağlayan, üzerimde çok büyük emeği olan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında ve tez sürecinde yardımlarını eksik etmeyen hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mahmut KILIÇ'a, Dr. Mahyar MAALİ'ye, Arş. Görevlisi Barış BAYRAK'a teşekkür ederim.

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi eski rektörü sayın Prof. Dr. İlyas Çapoğlu'na bu süreçte yardımlarını ve desteğini esirgemediği için teşekkür ederim.

Bu çalışmayı gerçekleştirirken desteğini, sevgisini ve dualarını hiçbir zaman eksik etmeyen canım ailemin her bir ferdine babam Eray ÇEBİ'ye, annem Serpil ÇEBİ'ye, teyzem Özlem HAMZAÇEBİYE, kardeşlerim Mehmet ÇEBİ ve Zeynep ÇEBİ'ye, aile büyüklerim Kemal ÇEBİ, Hasan HAMZAÇEBİ, Naciye ÇEBİ ve Fatma HAMZAÇEBİ'ye, sonsuz teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bilgisini, desteğini ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer meslektaşım Emre KAPICI'ya, yüksek lisans boyunca birlikte yol aldığım arkadaşım Elif METE'ye, ve benimle birlikte bu zorlu sürecin bir parçası olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans FYL-2019-7354 proje nolu tez çalışması Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Projeye sağladıkları bu değerli katkıdan ötürü Atatürk Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimine şükranlarımı sunarım.

Kübra ÇEBİ

Ocak, 2020

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
<b>1.GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2.KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>11</b>
2.1 Atık Polimerler ile İlişkin Çalışmalar .....	11
2.2 Hafif Çelik Sistemlere İlişkin Çalışmalar .....	20
<b>3.KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>33</b>
3.1 Hafif Çelik.....	33
3.1.1 Hafif çeliğin tarihsel gelişimi, üretim teknikleri ve kullanım alanları.....	33
3.1.1.1 Hafif çeliğin tarihsel gelişimi.....	33
3.1.1.2 Dünyada hafif çelik sisteminin tarihçesi.....	34
3.1.1.3 Türkiye’de hafif çelik sistemlerinin tarihçesi .....	35
3.1.1.4 Hafif çelik sisteminin avantajları .....	36
3.1.1.5 Hafif çelik sisteminin dezavantajları .....	37
3.1.1.6 Hafif çelik profillerin üretimi.....	38
3.1.1.7 Hafif çelik kullanımının tercih edildiği yerler .....	38
3.1.1.8 Mimaride çelik ve hafif çelik uygulamaları.....	39
3.2 Hafif Çeliğin Yapısal Özellikleri .....	47
3.2.1 Çelik malzemesinin sahip olduğu özellikler.....	47
3.2.2 Çelik malzemesinin mekanik özellikleri .....	48

3.2.3 Sıcak haddelenmiş ve soğuk şekillendirilmiş çelik arasındaki farklar .....	49
3.3 Hafif Çelik Sistemlerle Diğer Taşıyıcı Sistemlerin Kıyaslanması .....	51
3.4 Plastik .....	52
3.4.1 Plastik malzemesinin genel tanımı .....	52
3.4.2 Plastik malzemesinin mekanik özellikleri .....	52
3.4.3 Plastik çeşitleri.....	53
3.4.3.1 Termoplastikler .....	53
3.4.3.2 Termosetler .....	55
3.4.3.3 Elastomerler .....	56
3.4.4 Plastiklerin tanımlanmasında kullanılan kısaltmalar .....	56
3.5 Plastiklerin Kullanım Alanları.....	57
3.5.1 Plastiklerin özellikleri ve günlük yaşamda kullanım alanları.....	57
3.5.2 Plastiklerin inşaat sektöründe kullanımı .....	58
<b>4.MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>61</b>
4.1 Materyal.....	61
4.1.1 Atık plastik.....	61
4.1.2 Polipropilen.....	62
4.1.3 Karbon fiber çubuk .....	65
4.1.4 Cam fiber çubuk .....	66
4.1.5 Soğukta şekillendirilmiş I100 profiller ve profillerin gruplandırılması .....	67
4.2 Yöntem .....	72
4.2.1 İnce öğütülmüş atık ve polipropilen eritme düzeneği.....	72
4.2.2 Dört Noktalı eğilme deneyi .....	74
4.2.3 Kesme deneyi.....	81
4.2.4 Burulma deneyi.....	83

<b>5.ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>85</b>
5.1 Dört Noktalı Eğilme Deneyi Uygulaması ve Sonuçları .....	85
5.1.1 I1 profilinin dört noktalı eğilme davranışı.....	85
5.1.2 I2 profilinin dört noktalı eğilme davranışı.....	91
5.1.3 I3 profilin dört noktalı eğilme deneyi.....	96
5.1.4 I4 profiline uygulanan dört noktalı eğilme deneyi .....	101
5.1.5 Dört Noktalı eğilme deneyi uygulanan I1, I2, I3, I4 profillerinin ilk ve son halleri.....	107
5.2 Kesme Deneyi Uygulaması ve Sonuçları .....	109
5.2.1 I5 profiline uygulanan kesme deneyi.....	110
5.2.2 I6 profiline uygulanan kesme deneyi.....	115
5.2.3 I7 profiline uygulanan kesme deneyi.....	120
5.2.4 I8 profiline uygulanan kesme deneyi.....	124
5.2.5 Kesme deneyi uygulanan numunelerin ilk ve son halleri.....	130
5.3 Burulma Deneyi ve Sonuçları .....	132
5.3.1 I9 profiline uygulanan burulma deneyi.....	132
5.3.2 I10 profiline uygulanan burulma deneyi.....	137
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>143</b>
KAYNAKLAR .....	152
EKLER.....	158
EK-1 Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar .....	158
ÖZGEÇMİŞ .....	159

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. İlk hafif çelik uygulaması (Atasarl,2009).....	34
Şekil 3.2. Coalbrookdale Köprüsü .....	40
Şekil 3.3. Britannia Köprüsü.....	41
Şekil 3.4. Eades Köprüsü.....	42
Şekil 3.5. Eiffel Kulesi.....	42
Şekil 3.6. Brooklyn Köprüsü .....	43
Şekil 3.7. Home Insurance Şirket Binası.....	43
Şekil 3.8. Firth of Forth Köprüsü .....	44
Şekil 3.9. Yavuz Sultan Selim Köprüsü.....	45
Şekil 3.10. Hafif çelik sistemleriyle inşa edilen bir yapı (Ekinci, 2006).....	46
Şekil 3.11. Japonya’da hafif çelik sistem tercih edilen bir apartman. (Ekinci, 2006).....	46
Şekil3.12. Japonya’da hafif çelik sistem tercih edilerek yapılan bir okul (Ekinci,2006) .....	47
Şekil 3.13. Çelik malzemesinin Gerilme-şekil değiştirme grafiği (Atasarl, 2009).....	48
Şekil 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan polipropilen malzemesi.....	64
Şekil 4.2. Karbon fiber çubuk.....	65
Şekil 4.3. Cam fiber çubuk.....	66
Şekil 4.4. Hafif çelikten imal edilen I100 profiller.....	67
Şekil 4.5. I profil kesiti.....	68
Şekil 4.6. I100 profiller ve bu profillerin içeriklerine göre gruplandırılması.....	69
Şekil 4.7. I100 profil numunelerinin boyanması .....	70
Şekil 4.8. I100 profillerin eşit karelere bölünmesi .....	71
Şekil 4.9. I100 profillerinin son hali.....	71
Şekil 4.10. Polimer Eritme Düzeneği .....	73
Şekil 4.11 Deney düzeneğinin çalıştırılması ve numunenin sisteme yerleştirilmesi.....	74
Şekil 4.12. Hidrolik pompa, piston ve yükleme hücreleri.....	75
Şekil 4.13. Yükleme hücresi ve yükü iki nokraya dağıtan plaka.....	76
Şekil 4.14. LVDT’lerin eğilme düzeneğine yerleştirilmesi.....	77
Şekil 4.15. Strain gaugelerin deney numunesine yerleştirilmesi.....	78

Şekil 4.16. Dört Noktalı eğilme deney düzeneği .....	79
Şekil 4.17. Dört noktalı deney düzeneği LVDT yerleşimi.....	79
Şekil 4.18. Dört noktalı eğilme deney düzeneği strain gauge yerleşimi.....	80
Şekil 4.19. Dört noktalı eğilme deney düzeneği.....	80
Şekil 4.20. Kesme deney düzeneği LVDT yerleşimi.....	81
Şekil 4.21. Kesme deney düzeneği strain gauge yerleşimi.....	82
Şekil 4.22. Kesme deney düzeneği.....	82
Şekil 4.23 Burulma deney düzeneği.....	83
Şekil 4.24 Burulma deney düzeneği çizimi.....	84
Şekil 5.1. I1 profili.....	85
Şekil 5.2. I1 profilinin deney düzeneğine yerleştirilmesi.....	86
Şekil 5.3. Dört noktalı eğilme deneyi sonrasında I1 numunesinin son hali.....	87
Şekil 5.4. I1 profilinde meydana gelen deformasyon.....	88
Şekil 5.5. I1 profilinin yük-şekil değiştirme grafiği.....	89
Şekil 5.6. I1 profilinin yük- deplasman grafiği.....	90
Şekil 5.7. I2 profiline LVDT'lerin yerleştirilmesi.....	92
Şekil 5.8. I2 profilinin dört noktalı eğilme deneyi öncesi ve sonrası .....	93
Şekil 5.9. I2 profili yük-şekil değiştirme .....	94
Şekil 5.10. I2 profilinin yük- deplasman grafiği.....	95
Şekil 5.11. Karbon fiber çubukların kalıplara yerleştirilmesi.....	96
Şekil 5.12. I3 profilinin sisteme yerleştirilmesi.....	97
Şekil 5.13. I3 profiline uygulanan dört noktalı eğilme deneyi.....	97
Şekil 5.14. I3 deney profilinin deneyden önceki ve sonraki hali.....	98
Şekil 5.15. I3 profili yük-şekil değiştirme grafiği .....	99
Şekil 5.16. I3 profilinin yük- deplasman grafiği.....	100
Şekil 5.17. I4 profillerine yerleştirilen cam fiber çubuklar.....	102
Şekil 5.18. Dört noktalı eğilme deneyi uygulanan I4 profilinin ilk ve son hali.....	103
Şekil 5.19. Dört noktalı eğilme deneyi uygulanan I4 profilinin ilk hali.....	104
Şekil 5.20. Dört noktalı eğilme deneyi uygulanan I4 profilinin son hali.....	104
Şekil 5.21. I4 profilinin yük- şekil değiştirme grafiği.....	105
Şekil 5.22. I4 profilinin yük- deplasman grafiği.....	106

Şekil 5.23. Sağdan sola I1, I2, I3 ve I4 deney profillerinin kesit görüntüsü.....	108
Şekil 5.24.I1, I2, I3, I4 deney profillerinin deneyden önceki ve sonraki halleri.....	109
Şekil 5.25. I5 profilinin kesme deneyi için düzeneğe yerleştirilmesi .....	111
Şekil 5.26. I5 profilinin kesme deneyinden önceki ve sonraki hali.....	111
Şekil 5.27. I5 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali.....	112
Şekil 5.28. I5 profilinin yük- şekil değiştirme grafiği.....	113
Şekil 5.29. I5 profilinin yük- deplasman grafiği.....	114
Şekil 5.30. I6 profilinin kesme deneyi için düzeneğe yerleştirilmesi.....	116
Şekil 5.31. Kesme deneyi sonrasında I6 profili.....	116
Şekil 5.32. I6 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali .....	117
Şekil 5.33. I6 profilinin yük- şekil değiştirme grafiği.....	118
Şekil 5.34. I6 profilinin yük-deplasman grafiği .....	119
Şekil 5.35. I7 profilinin ilk ve son hali .....	121
Şekil 5.36. I7 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali.....	121
Şekil 5.37. I7 profilinin yük-şekil değiştirme grafiği.....	122
Şekil 5.38. I7 profilinin yük- deplasman grafiği.....	123
Şekil 5.39. I8 profiline yerleştirilen strain gaugeler.....	125
Şekil5.40. Kesme deneyi uygulanan I8 profilinin ilk ve son hali.....	126
Şekil 5.41. I8 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali.....	127
Şekil 5.42. I8 profilinin yük- şekil değiştirme grafiği.....	128
Şekil 5.43. I8 profilinin yük- deplasman grafiği.....	129
Şekil 5.44. Sağdan sola I5, I6, I7 ve I8 deney numunelerinin ilk hali.....	131
Şekil 5.45.I5, I6, I7, I8 profillerinin kesme deneyinden önceki ve sonraki hali.....	132
Şekil 5.46. Burulma deney düzeneğine I9 profilinin yerleştirilmesi.....	133
Şekil 5.47. Burulma deneyi sonrasında I9 profilinde meydana gelen burulma.....	134
Şekil 5.48. Burulma deneyi sonrası I9 profilinin yük-deplasman grafiği.....	135
Şekil 5.49. Burulma deneyi sonrası I9 profilinin yük-şekil değiştirme grafiği.....	136
Şekil5.50. I10 profilinin burulma deney düzeneğine yerleştirilmesi.....	138
Şekil 5.51. Burulma deneyi sonrasında I10 profilinde meydana gelen burulma.....	139
Şekil 5.52. Burulma deneyi sonrası I10 profilinin yük-deplasman grafiği.....	140
Şekil 5.53. Burulma deneyi sonrası I10 profilinin yük-şekil değiştirme grafiği.....	141
Şekil 5.54. Veri toplama cihazı.....	142



Şekil 6.1. I1, I2, I3, I4 profillerinin eğilme deneyi sonuçlarının kıyaslanması.....	147
Şekil 6.2. I5, I6, I7, I8 profillerinin kesme deneyi sonuçlarının kıyaslanması.....	150



## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1. Taşıyıcı sistemlerin ölü yük kıyaslaması .....	51
Tablo 3.2. Mevcut polimerlerin asları ve bunların kullanım alanları.....	56
Tablo 4.1. Polipropilenin genel özelliklerini ve mekanik özellikleri.....	63
Tablo 4.2. Karbon fiber çubuğa ait genel özellikler .....	65
Tablo 4.3. Cam fiber çubuğa ait genel özellikler .....	66
Tablo 4.4. Hafif çelikten üretilmiş I profillerin kesit ölçüleri.....	68



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

E	Elastisite Modülü
I	Atalet Momenti
P	Eksenel Yük
$\theta$	Dönme Açısı

### Kısaltmalar

CFRP	Karbon Lif Takviyeli Polimer
DYPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
GFRP	Cam Elyaf Takviyeli Polimer
LVDT	Lineer Değişken Diferansiyel Transformatörler (Yer Değişimi Algılayıcıları)
PET	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil Klorür
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

## 1.GİRİŞ

Bir yapıım teknolojisinin gerçekleştirilebilmesi için istenen belli kriterler vardır. Bu kriter içinde teknik performans, çevresel fayda, iyileştirilmiş sismik tepki, ekonomiklik, sağlamlık, mimarı ve fonksiyonel esneklik ve konfor fazlaca önem taşır. Özetleyecek olursak bir yapıda mühendisin temel amacı güvenli, ekonomik ve estetik yapılar tasarlamaktır. Aynı zamanda yapıların ve taşıyıcı elemanların işlevlerini yerine getirebilmeleri için yeterli dayanım ve rijitlik değerlerini sağlamaları gerekmektedir. Farklı strüktürel tasarım olanakları, konstrüksiyon teknolojileri arasında bir tercih yapılacak olursa, hafif çelik konstrüksiyon sistemler sahip oldukları avantajlı yönleri ve Türkiye koşullarındaki uygulanabilirliği düşünüldüğünde sık tercih edilen yapıım teknolojilerinden olmalıdır. Yapılan mevcut çalışmalar incelediğinde dünyada uzun yıllardan beri hafif çelik sistemleri kullanılmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Soğukta şekillendirilmiş çelik elemanlarla ilgili çalışmalar ve araştırmalar 1930'lu yıllarda başlamıştır. 1950'li yıllarda ise başta Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada olmak üzere hafif çelik sistemlerden kalıcı, fonksiyonel ve dayanıklı yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmaların temelini ise 19.yy'da Henry Bessemer'ın bulduğu Bessemer Prosesi (kullanımı kolay ve maliyeti düşük) sayesinde ucuz verimli ve hızlı bir şekilde çelik üretimine başlanmıştır. Fakat ülkemizde 1990'lı yıllarda başlayan bazı depremlerin ardından farklı yapı sistemlerine duyulan ihtiyacın sonunda kullanımı yaygınlaşan bu sistemlerin tasarım kriterleri, uygulama, işçilik, üretim gibi aşamalarında bulunan eksiklikler giderilemediğinden kullanımı istenilen oranda yaygınlaşmamıştır. Aynı zamanda olası bir problemle karşılaşıldığında başvurulacak ve sorunların giderilmesinde detaylı olarak yol gösterecek bir hafif çelik yönetmeliği bulunmaması da bu sistemlerin yaygın olarak kullanılamamasının en önemli sebepleri arasında yer almaktadır. Hafif çelik sistemlerle ilgili yapılan çalışmalar ülkemizdeki inşaat sektörü açısından çok büyük önem ve değer taşımaktadır. Kullanımıyla birlikte birçok problemi doğrudan ve dolaylı olarak ortadan kaldıracak olan bu sistemler yapı sektöründeki çok büyük bir boşluğun giderilmesine olanak sağlayacaktır.

Hafif çelik sisteminin avantajlarından kısaca bahsedecek olursak teknik performans, çevresel fayda, iyileştirilmiş sismik davranış, ekonomiklik, sağlamlık, fonksiyonel esneklik vb. sayılabilir. Aynı zamanda hafif çelik sistemlerinin tercih edilmesi ile birlikte konstrüksiyon için kullanılan malzeme miktarında ve gerekli malzeme hacminde azalma sağlanmaktadır.

Dolayısıyla yapı bütününde bir hafifleşme meydana gelmektedir. Sonuç olarak yapı toplam yükünde meydana gelen bu azalma deprem dayanımı için yapının lehine bir durum oluşturmaktadır. Bu durum yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya çıkan deprem riskinin mevcut olduğu ülkemizde depreme ve depremin yıkıcı etkilerine karşı dayanıklı yapı tasarlamaya olanak sağlayacağı için oldukça önemli bir özelliktir.

Yürütülen birçok çalışmada hafif çelik sistemlerin belli parametreler altında tek başına çalışması incelenmiştir. Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında ise bu sistemlerin atık polimerlerden elde edilen hammadde ile birlikte nasıl bir davranışta olacağı incelenmiştir.

Hafif çelik ve atık polimer başlıkları altında çok önemli çalışmalar yapılmasına rağmen bu iki malzemeyi birlikte ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca güçlendirme elemanı olarak kullanılan karbon fiber çubukların yapısal davranışta ne gibi değişiklikler oluşturacağı gözlemlenmiştir.

Son olarak numunelere eğilme, burulma ve kesme deneyleri sırasıyla uygulanmış ve bu bağlamda yenilikçi bir yaklaşım getirilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak karbon fiber çubukların tercih edilmesinin birçok sebebi vardır. Karbon fiber çubuklar yapılarda uygulama ve kullanım kolaylığı sağlar yüksek maliyetler gerektiren makine ve ekipman gerektirmez, bakım gerektirmez, yapının yük taşıma kapasitesini, eğilme dayanımını, sünekliği, durabilitayı artırır, çok hafiftir. Ölü yükü arttırmaz ve korozyon riski bulunmaz. Yapıda bu ve bunun gibi birçok avantajlı durumun oluşmasını sağladığı için bu çalışmada eğilme dayanımını arttırabilmesi için tercih edilmiştir.

Atık polimerlerle doldurulmuş hafif çelikten imal edilmiş I profillerin eğilme davranışının incelemesi kapsamında bu çalışmada; atık polimerleri kullanarak üretimini

gerçekleştireceğimiz hafif çelik I profillerin eğilme, kesme ve burulma davranışları ayrı ayrı incelenmiştir.

Her yıl giderek artan ekolojik dengeyi ve insan sağlığını bozan atıkların zararlı etkileri düşünüldüğünde bu problemlerin giderilmesi önem arz etmektedir. Atık malzemelerin yönetimi değerlendirilmesi ve hammadde olarak kullanıma kazandırılması gerekmektedir. Bu sebeple mevcut literatürde atık polimerin geri dönüşümü ve faydalı bir şekilde kullanılabilir hale getirilmesi hakkında birçok çalışma mevcuttur. Fakat bu atıkların hammadde hafif çelik kullanılmasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Yapılan bu çalışmada atık polimerlerle doldurulmuş hafif çelik I profillerinin eğilme, kesme ve burulma davranışı incelenmiş ve literatürdeki bu kapsamdaki boşluk kısmen de olsa giderilmiş olacaktır.

Günümüzde doğal kaynakların bilinçsizce tahrip edilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi ekolojik düzen ve denge açısından yaşanan sorunların başında gelmektedir. Elimizde olan doğal kaynakları yok etmek uzun vadede düşünüldüğünde geri dönüşü mümkün olmayan sorunlara sebep olmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için doğal kaynaklara zarar vermeden mevcut atıkların değerlendirilmesi, dönüştürülmesi ve hammadde olarak kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Atıkların değerlendirilmesi yenilenmeyen doğal kaynakların korunması, kullanılmayan atıkların geri dönüşümünün sağlanması, çevre kirliliğinin önlenmesi, enerjinin korunması ve enerjinin üretimde yeniden kullanılabilir hale getirilmesi gibi açılardan ele alındığında oldukça önemli bir konudur.

Günümüzdeki atıkların genel bir değerlendirilmesi yapıldığında polimer atıklar yüksek bir orana sahiptir.

Polimer atıklar çevre, doğa ve ekolojik düzen açısından birçok zararlı durumu beraberinde getirmesine rağmen günümüzde ambalaj (%40), yapı malzemeleri (%22) elektrikli cihazlar (%10), tarım (%6), giyim ve ayakkabı (%4), otomotiv (%4), diğer

(%14) gibi birbirinden bağımsız birçok alanda kullanılmaktadır. Bu sebeple plastik atıkların oranı da aynı şekilde artmaktadır.

Kullanılmayan ve atık haline gelen plastik malzemenin güvenli bir şekilde geri dönüşümünün sağlanması atıkların çevreye verdiği zararları azaltarak ekolojik düzen ve dengenin sağlanması enerji tasarrufu gibi avantajlar sağlayacaktır. Bu çalışma kapsamında standart I profil kullanılarak imal edilen hafif çelik I profillerinin içlerinin atık polipropilen eriyiği ile doldurulması neticesinde ortaya çıkan yenilikçi bir profil incelenmiştir.

Bu çalışmada hafif çelik profil aynı zamanda kalıp olarak kullanılmıştır. Hafif çelik elemanlar, öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı küçüktür, hafiftir, elektrik ve sıhhi tesisat montajı kolaydır, homojen, yüksek rijitlik ve yüksek duktilite özelliklerine sahiptir, uzun yıllar boyunca yapının çevresel faktörlerden etkilenmesini önler, yapı yağmur, don, sıcak gibi olaylardan etkilenmez, geçirimsizdir, geri dönüştürülebilir, çekme ve basınç dayanımları hemen hemen eşittir elastiklik modülü diğer yapı malzemelerine kıyasla yüksektir.

Aynı zamanda hafif çelik sünek bir malzemedir tekrarlı yükleme altında kırılma göstermeden deformasyon yapma özelliğine sahiptir. Bu beklenmeyen olağan dışı yük durumlarında çok etkili bir niteliktedir. Deprem enerjisini yutma kapasitesi daha yüksektir. Örneğin bir depremde yapıya gelen yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Yapı ne kadar hafif olursa depremde daha az yükle zorlanmaktadır. Hafif çelik sistemlerin ağırlığı diğer taşıyıcı sistemlerle kıyaslandığında oldukça küçüktür. Dolayısıyla depreme ve olası dış yüklemelere karşı daha dayanıklı yapılar tasarlanmasına olanak sağlar. Bu durumlar göz önüne alındığında tez çalışmasında hafif çelik sistemlerinin tercih edilmesine karar verilmiştir.

Atık polimerlerin geri dönüşümüyle elde edilen karışıma güçlendirme elemanı olarak karbon fiber çubuklar ve cam fiber çubuklar eklenmiştir. Karbon fiber çubuklar tek doğrultuda %100 karbon fiberin termoset reçine ile sürekli çekilmesi yöntemine dayanarak üretilmektedir. Tüm lifler 0 derece yönünde hizalanmaktadır. Karbon fiber

ubukların gclendirme elemanı olarak kullanılmasının birçok avantajı vardır. Bunlardan kısaca bahsedecek olursak karbon fiber çubuklar çok hafiftir, mukavemetleri çok yüksektir, uygulamaları kolay ve hızlıdır, korozyon riski bulunmaz.

Yapılar için birçok avantajı bulunduğundan dolayı karbon fiber çubuklar uçak, tekne, İHA projeleri, spor malzemeleri, robotik uygulamalar, mekanizasyon uygulamaları, gövde direklerde çekme-itme çubukları olarak kullanılmaktadır. Ayrıca birçok yapısal gclendirme gerektiren durumlarda da tercih edilmektedir. Sahip olduğu bu avantajlı durumlar değerlendirildiğinde bu çalışmada karbon fiber çubuklar kullanılmış ve elde edilen kompozitin davranışına etkisi incelenmiştir.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasının amacını aşağıda maddeler halinde kısaca özetleyecek olursak:

İnce ğtlmş atık ve ham polipropilenle doldurulmuş ve hafif çelikten hazırlanan I100 profiller imal edilmiştir.

Profillere elde edilen karışım doldurulmadan önce karbon fiber çubuklar ve cam fiber çubuklar yerleştirilmiştir. Son aşamada ise bu numunelere eğilme, burulma ve kesme deneyleri uygulanmıştır.

Amaca uygun bir şekilde ilerleyen projenin tamamlanmasıyla birlikte öncelikle ince öğütülmüş atık ve ham polipropilenin hafif çelikle birlikte nasıl çalıştığı hakkında deneysel verilere dayanarak bilgi sahibi olunmuştur. Çalışma kapsamındaki 2. kazanım ise gclendirme elemanı olarak alışılmışın dışında karbon fiber çubuk ve cam fiber çubuk kullanılmasının sağladığı avantaj/dezavantajlı durumların deneysel veriler dahilinde gözlemlenmiş olmasıdır.

Mevcut literatürde atık polimerler ve hafif elik profiller ile ilgili yapılan birçok araştırma vardır. Fakat bu iki malzemenin ve yapı elemanının birlikte çalışması hakkında literatürde eksiklikler mevcuttur. Yapılan bu çalışmayla birlikte literatürdeki eksikliklerin kısmen de olsa giderilmesi amaçlanmıştır.



Mevcut literatür çalışmalarında atık polimerlerin geri dönüşümü, hafif çelikler, I profiller cam ve karbon fiber başlıkları üzerinde birçok deneysel çalışma mevcuttur. Fakat bu 3 konuyu da içeren bir deneysel çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple literatür taraması ayrı ayrı konu başlıkları halinde incelenmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Mecit (1992)'de yaptığı “Atık PET'in yeniden değerlendirilmesi” adını taşıyan çalışmada atık pet malzemesinin geri dönüşümünü sağlamış ve bu malzemeyi hammadde haline dönüştürerek sünger ve verniğin özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana geldiğini araştırmıştır.

Yeşilata vd. (2005)'de yaptığı “Atık Polimerik Malzeme Katkılı Betonun Yalıtım Özelliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adını taşıyan çalışmasında kullanıldıktan sonra atık haline gelmiş malzemelerin geri dönüşümünün sağlanarak harçlara ilave edildikten sonra bu harçların yapıdaki yalıtımı nasıl etkilediğini tespit etmeye çalışılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde atık PET'lerin değerlendirilmesi sağlanmış ve harçta kullanımının yalıtım açısından yapıya olumlu özellikler kattığı gözlemlenmiştir.

Günümüzde ki yapılarda karşılaşılan en büyük problemlerden biri yalıttır. Yalıtım gerek maliyetinin fazla olması gerekse bazı yetersizlikler sebebiyle göz ardı edilmektedir. Yalıttırda yapılan ihmaller ise ısıtma noktasında oldukça büyük kayıpların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Yalıttır olmayan yapılarda ısıtmanın sağlanabilmesi için oldukça yüksek enerjiler kullanılmaktadır. Dolayısıyla hem mevcut enerjinin tüketilmemesi hem de atıkların ekolojik dengeye verdiği zararın önüne geçilebilmesi açısından bu çalışma oldukça önem taşımaktadır.

Atık hale gelen geometrileri birbirinden farklı (katkısız beton, kare-PET, kare-lastik katkılı beton, şerit-PET katkılı beton, düzensiz-PET katkılı beton) atık plastikler çeşitli fiziksel işlemlerin ardından harçlara katmak için hazır hale gelir. Harçlara eklendikten sonra oluşan bu kompozit malzeme ilgili alanlarda kullanılır.

Bu kullanımın yapıya kattığı olumlu özelliklerin yanı sıra olumsuz özelliklerindeki bulunduğu yapılan diğer çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Örneğin kompozit haldeki bu malzemenin basınç dayanımı ve çekme dayanımını olumsuz yönde etkilerken bazı özelliklerde de iyileşme sağlamıştır (Topçu ve Avcular, 1997). Yalıtım boyutunda değerlendirme yapıldığında ise atık petlerin ve atık lastiklerin kullanımının yapının yalıtımında %17.1 ile %18.5 arasında iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir.

Sevencan ve Vaizoğlu(2007)' de yaptığı “PET ve Geri Dönüşümü” adını taşıyan çalışmada sağladığı birçok avantajlı özellikten dolayı kullanımı sıklıkla tercih edilen plastiklerin kullanımının ardından atık hale gelmesi ve atık plastik oranlarının hızla artması dolayısıyla bu atıkların geri dönüşümünün sağlanmasının gerekliliği üzerine çalışılmıştır. Geri dönüşümün iyileştirilmesi üzerine öneriler sunulmuştur.

Hannawi vd. (2010)' da yapmış olduğu “PET ve PC Atık Agregaları İçeren Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri” adını taşıyan çalışmada kullanıldıktan sonra atık hale gelen ve doğada kaybolması çok uzun zaman gerektiren polikarbonat ve PET'ler agregaya yerine betona eklenmektedir.

Bu atıklar betonda hacimce dört farklı oranda kullanılmaktadır (%3, %10, %2 ve %50). Betonda kullanılan standart agregaların yerine belli oranlarda plastik agregaların kullanılması sonucunda oluşan bu kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler gözlenmek istenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde polikarbonat ve PET'in agregaya olarak kullanımının yapıda iyileştirici etkiler gösterdiği, eğilme dayanımını arttırırken özgül ağırlığının ve basınç mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu kompozit malzeme betonda tokluk değerlerinin yükselmesini sağlar.

Tokluğu artan beton enerjiiyi daha iyi muhafaza eder bu özellik yapının deprem gibi ani yüklere karşı daha iyi dayanım göstermesini sağlamaktadır.

Memiş ve Örüng (2012)'de yaptığı “Öğütülmüş Atık Plastik (PET) Katkılı Sıvaların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği” adını taşıyan bu çalışmada kullanılıp atık hale gelen PET'ler çeşitli işlemlerin ardından sıva malzemesine dönüştürülmesi sağlanmış ve tarımsal yapılarda kullanıma uygunluğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Numuneler agrega ağırlığının belirlenen oranlarınca (% 0, % 2.5, % 5, % 7.5 ve % 10) PET'ler eklenerek oluşturulmuştur. Oluşturulan bu numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımları, birim ve özgül ağırlık, donma, su emme, ısı iletkenlik özelliklerini tespit etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Atık petlerden öğütülme işleminin ardından çeşitli bağlayıcıların da eklenmesiyle üretilen sıvaların tarımsal yapılarda kullanıma uygun olduğu kanısına varılmıştır.

Öner (2013)'de yaptığı “Lif Takviyeli Çimento Esaslı Kompozit Üretiminde Polimer Atıkların Değerlendirilmesi” adını taşıyan çalışmasında günden güne kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte artan, canlı sağlığı ve doğal yaşamın devamlılığı açısından büyük tehditler içeren atık PET'lerin değerlendirilmesi için farklı bir yöntemin hayata geçirilmesi planlanmıştır. Bu çalışmanın amacı atık hale gelen PET'lerin çimento içeren kompozit malzemelerde kullanımının mümkün olup olmadığının gözlemlenmesidir. Üretilen bu malzeme ile birlikte atıkların ve yeni bir malzeme üretimi sağlanmıştır.

Oluşturulan numunelere sırasıyla çökme – yayılma, tek eksenli ve yüksek sıcaklık sonrası basınç deneyi, aşınma, yüksek sıcaklık donma- çözülme, su emme (kılcal ve toplam), ısı iletkenlik ve üç noktalı eğilme, birim hacim ağırlık (hava kurusu ve kuru) deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak ulaşılmak istenilen nokta kullanım için en uygun pet karışımının tespit edilmesidir. Yapılan bu deneylerin her biri farklı bir özelliğe olan etkisini ele almış ve bu kompozit malzemenin kullanılabilirlik durumunun araştırılmasını hedeflemiştir.

Ahmadabad (2014)'de yaptığı “Öğütülmüş atık petlerle üretilen betonun özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma” adını taşıyan Atık petleri beton içerisinde agrega olarak kullanmanın ne gibi sonuçlar oluşturacağını araştırmış ve bu kullanımı gerçekleştirdikten sonra beton karakteristik özelliklerinde ne gibi etkiler oluşturacağını

araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmada agreganın sahip olduğu hacmin %0, %1, %1.5, %2, %3 ve %5 oranlarında atık petlerden üretilen agregaya ile değiştirilmesi sağlanmış ve oluşan yeni numuneler eğilme ve basınç dayanımı, işlenebilirlik, ultrases ve birim ağırlık deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda atık pet kullanımının bazı değerlerde yükselmelere bazı değerlerde ise azalmalara sebep olduğu gözlemlenmektedir.

Örneğin atık PET miktarının artması yapılan birim hacim ağırlık deneylerinin sonucuna dayanarak betonun birim hacim ağırlığında azalmalara sebep olmuştur. Bununla birlikte taze betonda oluşan çökme oranlarında da azalmalar meydana geldiğini tespit etmiştir.

Basınç dayanımı da genel olarak PET atıkların artmasıyla birlikte azalma gösteren bir diğer değerdir. Pet atıkların betonun eğilme mukavemetine olan etkileri incelendiğinde ise dayanımı artırıcı yönde etki ettiği gözlemlenmiştir.

Birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı ise artan PET miktarlarıyla birlikte azalma göstermiştir. Aynı zamanda atık petlerin agregaya olarak kullanımının en büyük avantajlarından biri de daha hafif yapılar inşa edilmesinin sağlanmasıdır. Atık PET'lerden üretilen agregalar normal agregalardan daha hafif olduğu için dolayısıyla yapıda aynı oranda hafifler aynı zamanda eğilmeye karşı olan dayanımı ve basınç dayanımları da değerlendirildiğinde olumlu sonuçlar gözlemlenmektedir.

Ulu (2016)'da yaptığı "Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü ve metakaolinli harçlarda atık pet agregaya kullanımının araştırılması" adını taşıyan çalışmada değişik karışımli harçlara (yüksek fırın cürufu ve yüksek fırın cürufuna ilave olarak metakaolin karışımı içeren harç) atık PET şişeler belli boyutlarda kırılmıştır ve bu karışıma ilave edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda farklı harçlarla atık petlerin inşaat yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Atık pet agregalar öğütülmemiş cüruf agregalar ile hacimce değişik oranlarda tercih edilerek kullanılmıştır (%20, %40, %60, %80 ve %100). Daha sonra bu numuneler basınç ve eğilme dayanımı, su emme, boşluk oranları, ultrases geçiş hızı, birim ağırlık deneylerine tabi tutulmuştur.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında atık haline gelen polipropilen eriyiği hafif çelikten imal edilmiş I profilin içine doldurmak 13 adet hafif çelik I100 profil hazırlanmıştır. Bu profillerde ayrıca karbon ve cam fiber çubuklarda kullanılmıştır. Profillere üçerli gruplar halinde sırasıyla eğilme, kesme ve burulma testleri uygulanmıştır.

Bu çalışmada atık polimerlerin hafif çelikten imal standart profil benzeri profillerle gerekli dayanım ve geri dönüşüm sürecini tamamlayan yenilikçi bir yaklaşım izlenmiştir. Üretilen kompozit elemanların (I profillerin) eğilme, burulma ve kesme davranışlarının incelenmesi ile dayanımda beklenilebilecek davranış gözlemlenmiştir.



## 2.KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1 Atık Polimerler ile İlişkin Çalışmalar

Atık polimerlerin geri dönüşümüyle ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur.

Mecit (1992)'de yaptığı “Atık PET'in yeniden değerlendirilmesi” adını taşıyan çalışmada atık pet malzemesinin geri dönüşümünü sağlamış ve bu malzemeyi hammadde haline dönüştürerek sünger ve verniğin özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana geldiğini araştırmıştır.

Yeşilata ve Işiker (2005)'de yaptığı “Atık Polimerik Malzeme Katkılı Betonun Yalıtım Özelliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adını taşıyan çalışmasında kullanıldıktan sonra atık haline gelmiş malzemelerin geri dönüşümünün sağlanarak harçlara ilave edildikten sonra bu harçların yapıdaki yalıtımı nasıl etkilediğini tespit etmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde atık PET lerin değerlendirilmesi sağlanmış ve harçta kullanımının yalıtım açısından yapıya olumlu özellikler kattığı gözlemlenmiştir.

Günümüzde ki inşaat yapılarında karşılaşılan en büyük problemlerden biri yalıtımdır. Yalıtım gerek maliyetinin fazla olması gerekse bazı yetersizlikler sebebiyle göz ardı edilmektedir. Yalıtımda yapılan ihmaller ise ısıtma noktasında oldukça büyük kayıpların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Yalıtma olmayan yapılarda ısıtmanın sağlanabilmesi için oldukça yüksek enerjiler kullanılmaktadır. Dolayısıyla hem mevcut enerjinin tüketilmemesi hem de atıkların ekolojik dengeye verdiği zararın önüne geçilebilmesi açısından bu çalışma oldukça önem taşımaktadır.

Atık hale gelen geometrileri birbirinden farklı (katkısız beton, kare-PET, kare-lastik katkılı beton, şerit-PET katkılı beton, düzensiz-PET katkılı beton) atık plastikler çeşitli fiziksel işlemlerin ardından harçlara katmak için hazır hale gelir. Harçlara eklendikten sonra oluşan bu kompozit malzeme ilgili alanlarda kullanılır.

Bu kullanımın yapıya kattığı olumlu özelliklerin yanı sıra olumsuz özelliklerindeki bulunduğu yapılan diğer çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Örneğin kompozit haldeki bu malzemenin basınç dayanımı ve çekme dayanımını olumsuz yönde etkilerken bazı özelliklerde de iyileşme sağlamıştır (Topçu ve Avcular 1997). Yalıtım boyutunda değerlendirme yapıldığında ise atık petlerin ve atık lastiklerin kullanımının yapının yalıtımında %17.1 ile %18.5 arasında iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir.

Sevencan ve Vaizoğlu (2007)'de yaptığı “PET ve Geri Dönüşümü” adını taşıyan çalışmada sağladığı birçok avantajlı özellikten dolayı kullanımı sıklıkla tercih edilen plastiklerin kullanımının ardından atık hale gelmesi ve atık plastik oranlarının hızla artması dolayısıyla bu atıkların geri dönüşümünün sağlanmasının gerekliliği üzerine çalışılmıştır. Geri dönüşümün iyileştirilmesi üzerine öneriler sunulmuştur.

Akçaözöğlü (2008)'de yaptığı “Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği” adını taşıyan çalışmada atık pet şişe kırıklarının agrega olarak kullanılabilme durumunu araştırmış ve deneyler yapmıştır.

Deney kapsamında öncelikli olarak numuneler iki kısma bölünerek incelenmiştir.

Birinci kısımda PET agregaları içeren ikinci kısımda ise PET ve kum agregaları içeren harçların numuneleri bulunmaktadır. Ayrıca çimento yerine ağırlıkça %50 oranında değişim sağlanarak yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanılmıştır. Karışımlarda 0.50 - 0.60 oranlarında PET/bağlayıcı 0.45-0.50 oranında su/bağlayıcı kullanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar ile birim ağırlık, kıvam, basınç dayanımı, eğilme dayanımı su emme, boşluk oranı, rötire ve karbonatlaşma durumları incelenmiştir.

Bu çalışmaların ve deneysel verilerin sonucunda ise bu malzemenin depreme dayanıklı yapıların inşasında hafif harç üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca atık pet şişe kırıkları ve buna benzer atık malzemelerin (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, endüstriyel atıklar) beton üretiminde kullanılması birçok avantajlı durumu da beraberinde getirmektedir. Bu avantajların başında doğal kaynakların tüketiminin azalması, atıkların ekolojik düzeni koruma anlamında faydalı bir şekilde yok

edilmesi ve kullanılabilen hammaddeler haline dönüştürülmesi sonucu çevre kirliliğinin azalması gelmektedir.

İsmail ve Hashmı (2008)'de yaptığı ‘‘Atık Plastiklerin Beton Karışımında Agrega Yerine Kullanılması’’ adını taşıyan çalışmasında yine plastik katı atık sorunu ele alınmıştır.

Plastik atıkların her alanda yoğun bir şekilde kullanımı atık sorununu da beraberinde getirmiştir. Irak'ta artan sanayi faaliyetleri ve bu alanda da sıklıkla kullanılan plastikler kullanıldıktan sonra atık halini alır. Bu atıklar hem doğaya hem de canlı sağlığına çok büyük zararlar teşkil etmektedir.

Yapılan bu çalışmada atıkların geri dönüşümünün sağlanması ve bu atıkların kullanılabilir hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede hem atık hale gelen bu malzemeler değerlendirilmiş olunacak, ekolojik düzene verilen zarar önlenecektir. Aynı zamanda maliyet değerlendirilmeleri yapıldığında plastiklerin agregaya yerine kullanılması daha ekonomik yapılar inşa edilmesine yönelik bir çalışmadır.

Bu bağlamda 254 deney numunesi toplam 86 deneyse tabi tutulmuştur. Toplamda 800 kg olan betona agregaya yerine 4 farklı oranda (%0, %10, %15 ve %20) atık plastik kullanılmıştır.

Oda sıcaklığında bulunan numuneler 3, 7, 14 ve 28 gün kür işlemlerine tabi tutulmuş ardından basınç ve eğilme dayanımı, ıslak ve kuru yoğunluk, çökme, tokluk deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde betona eklenen atık plastiğin betonda meydana gelen çatlakları doldurarak bu çatlakların yapıda ilerlemesinin önüne geçtiğini göstermiştir. Yapıya davranış olarak kattığı bu olumlu durumların yanı sıra agregaya yerine plastik atıkların kullanılması maliyet boyutunda değerlendirildiğinden de daha ekonomik yapılar inşa edilmesine olanak sağlamaktadır.

Tayyar ve Üstün, (2009)'da yaptığı ‘‘Geri Kazanılmış PET'in Kullanımı’’ adını taşıyan çalışmada kullanılıp atık haline gelen PET şişelerin geri dönüşümünde faydalanılan



teknolojik ilerlemeler, yapılan geri dönüşüm uygulamaları ve yine bu konu kapsamında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Hannawi vd. (2010)' da yapmış olduğu ‘‘PET ve PC Atık Agregaları İçeren Harçların Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri’’ adını taşıyan çalışmasında kullanıldıktan sonra atık hale gelen ve doğada kaybolması çok uzun zaman gerektiren polikarbonat ve PET'ler agrega yerine betona eklenmektedir.

Bu atıklar betonda hacimce dört farklı oranda kullanılmaktadır (%3, %10, %2 ve %50). Betonda kullanılan standart agregaların yerine belli oranlarda plastik agregaların kullanılması sonucunda oluşan bu kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler gözlenmek istenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde polikarbonat ve PET'in agrega olarak kullanımının yapıda iyileştirici etkiler gösterdiği, eğilme dayanımını artırırken özgül ağırlığının ve basınç mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu kompozit malzeme betonda tokluk değerlerinin yükselmesini sağlar.

Tokluğu artan beton enerjisi daha iyi muhafaza eder bu özellik yapının deprem gibi ani yüklere karşı daha iyi dayanım göstermesini sağlamaktadır.

Nabajyoti ve Jorge (2012)'de yapmış olduğu ‘‘Çimento Harcı Ve Beton Hazırlarken Plastik Atıkların Agrega Olarak Kullanılması’’ adını taşıyan çalışmasında günümüzde endüstri, sanayi ve bunun gibi birçok alanda kullanımı yaygınlaşan plastiklerin kullanım ömrünü tamamladıktan sonra da değerlendirilmesi üzerinde incelemeler yapılmıştır. Bu bağlamda yapılan deneysel çalışmalarda plastik atıkların beton veya harçlar da alternatif bir malzeme olarak kullanımının mümkün olup olmadığı üzerinde incelemeler yapılmıştır.

Sonuç olarak yapılan deneysel çalışmalar göstermektedir ki doğal agrega yerine tercih edilen plastik agregaların miktarı belli oranlar dahilinde arttığında basınç dayanımında ve eğilme dayanımında azalmalara sebebiyet verir. Aynı zamanda yangına karşı olan dayanımının da doğal agrega kullanılan betona göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada günümüzde hızla artan ve ekolojik düzenin devamlılığı açısından büyük risk teşkil eden plastik atıkların değerlendirilerek yeniden kullanıma uygun hale gelmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmalara ek olarak plastik agregası kullanılan betonun ve harçların mekanik özelliklerinde ne gibi değişimler olduğu da deneysel çalışmalarla gözlemlenmiştir.

Memiş ve Özüng (2012)'de yaptığı “Öğütülmüş Atık Plastik (PET) Katkılı Sıvaların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği” adını taşıyan bu çalışmada kullanılıp atık hale gelen PET'ler çeşitli işlemlerin ardından sıva malzemesine dönüştürülmesi sağlanmış ve tarımsal yapılarda kullanıma uygunluğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Numuneler agregası ağırlığının belirlenen oranlarınca (% 0, % 2.5, % 5, % 7.5 ve % 10) PET'ler eklenerek oluşturulmuştur. Oluşturulan bu numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımları, birim ve özgül ağırlık, donma, su emme, ısı iletkenlik özelliklerini tespit etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Atık petlerden öğütülme işleminin ardından çeşitli bağlayıcıların da eklenmesiyle üretilen sıvaların tarımsal yapılarda kullanıma uygun olduğu kanısına varılmıştır.

Öner (2013)'de yaptığı “Lif Takviyeli Çimento Esaslı Kompozit Üretiminde Polimer Atıkların Değerlendirilmesi” adını taşıyan çalışmada günden güne kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte artan, canlı sağlığı ve doğal yaşamın devamlılığı açısından büyük tehditler içeren atık PET'lerin değerlendirilmesi için farklı bir yöntemin hayata geçirilmesi planlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı atık hale gelen PET'lerin çimento içeren kompozit malzemelerde kullanımının mümkün olup olmadığının gözlemlenmesidir. Üretilen bu malzeme ile birlikte hem atıkların değerlendirilmesi sağlanacak hem de yapı alanına yeni bir malzeme kazandırılmış olacaktır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında harçlara tercihen agregası değil belirlenen oranlarda PET eklenmiştir. Bazı numunelere ise buna ek olarak PET lifler karıştırılmış ve sırasıyla bir dizi deneysel işleme tabi tutulmuştur.

Oluşturulan numunelere sırasıyla çökme-yayıma, tek eksenli ve yüksek sıcaklık sonrası basınç deneyi, aşınma, yüksek sıcaklık donma-çözülme, su emme (kılcal ve toplam), ısı iletkenlik ve üç noktalı eğilme, birim hacim ağırlık (hava kurusu ve kuru) deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılmak istenilen nokta kullanım için en uygun pet karışımının tespit edilmesidir. Yapılan bu deneylerin her biri farklı bir özelliğe olan etkisini ele almış ve bu kompozit malzemenin kullanılabilirlik durumunun araştırılmasını hedeflemiştir.

Ahmadabad (2014)'de yaptığı ‘‘Öğütülmüş Atık Petlerle Üretilen Betonun Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma’’ adını taşıyan Atık petleri beton içerisinde agrega olarak kullanmanın ne gibi sonuçlar oluşturacağını araştırmış ve bu kullanımı gerçekleştirdikten sonra beton karakteristik özelliklerinde ne gibi etkiler oluşturacağını araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmada agreganın sahip olduğu hacmin %0, %1, %1.5, %2, %3 ve %5 oranlarında atık petlerden üretilen agrega ile değiştirilmesi sağlanmış ve oluşan yeni numuneler eğilme ve basınç dayanımı, işlenebilirlik, ultrases ve birim ağırlık deneylerine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneyler sonucunda atık pet kullanımının bazı değerlerde yükselmelere bazı değerlerde ise azalmalara sebep olduğu gözlemlenmektedir. Örneğin atık PET miktarının artması yapılan birim hacim ağırlık deneylerinin sonucuna dayanarak betonun birim hacim ağırlığında azalmalara sebep olmuştur. Bununla birlikte taze betonda oluşan çökme oranlarında da azalmalar meydana gelmektedir.

Basınç dayanımı da genel olarak PET atıkların artmasıyla birlikte azalma gösteren bir diğer değerdir. Pet atıkların betonun eğilme mukavemetine olan etkileri incelendiğinde ise dayanımı arttırıcı yönde etki ettiği gözlemlenmiştir.

Birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı ise artan PET miktarlarıyla birlikte azalma göstermiştir. Aynı zamanda atık petlerin agrega olarak kullanımının en büyük avantajlarından biri de daha hafif yapılar inşa edilmesinin sağlanmasıdır.

Atık PET'lerden üretilen agregalar normal agregalardan daha hafif olduğu için dolayısıyla yapıda aynı oranda hafifler aynı zamanda eğilmeye karşı olan dayanımı ve basınç dayanımları da değerlendirildiğinde olumlu sonuçlar gözlemlenmektedir.

Ulu (2016)'da yaptığı "Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü ve metakaolinli harçlarda atık pet agregalarının kullanımının araştırılması" adını taşıyan çalışmada değişik karışımli harçlara (yüksek fırın cürufu ve yüksek fırın cürufuna ilave olarak metakaolin karışımı içeren harç) atık PET şişeler belli boyutlarda kırılmıştır ve bu karışıma ilave edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda farklı harçlarla atık petlerin inşaat yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Atık pet agregaları öğütülmemiş cüruf agregaları ile hacimce değişik oranlarda tercih edilerek kullanılmıştır (%20, %40, %60, %80 ve %100). Daha sonra bu numuneler basınç ve eğilme dayanımı, su emme, boşluk oranları, ultrases geçiş hızı, birim ağırlık deneylerine tabi tutulmuştur.

Bu numunelerin sıcaklık dayanımlarının da incelenebilmesi açısından 200°C'den başlayarak 1000°C'e kadar yükselen sıcaklıklar altında deneysel çalışmalar yapılmış ve sıcaklık dayanımları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda hacimde beş farklı oranda atık PET agregalardan içeren alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü numuneler birim ağırlık deneyleri ve basınç dayanımı deneylerinin de ardından taşıyıcı hafif beton grubuna dahil edilmiştir. Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufu metakaolin karışımları ise birim ağırlık deneyleri ve basınç dayanımı deneylerinin sonuçlarına dayanarak taşıyıcı hafif beton için belirlenen sınırlara erişememiştir.

Basınç ve eğilme dayanımı, su emme, boşluk oranları, ultrases geçiş hızı, birim ağırlık deneylerinin sonucunda ise kullanılan PET atıklarının miktarına bağlı olarak numunelerin özelliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Örneğin PET atık içeren karışımlarda atık oranı arttıkça boşluk yapısı ve su emme değerleri artarken, eğilme ve basınç dayanımı, birim ağırlık değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Sıcaklığa karşı olan dayanımlarının tespit edilmesi amacıyla beş farklı sıcaklığa tabi tutulan numunelerin 800°C'e kadar

dayanımlarında düşmeler meydana gelmiştir fakat fiziksel yapılarında 800°C'ye kadar hiçbir değişiklik meydana gelmemiştir.

1000°C sıcaklıktaki alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufllu numunelerde ise basınç ve eğilme dayanım değerleri diğer sıcaklıklara göre daha yüksek çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar göstermektedir ki alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufllu harçlarda atık PET lerin agrega olarak kullanılabilmesi mümkündür.

Çınar (2016)'da yaptığı "Atık pet ve mermer tozunun kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmesi" adını taşıyan çalışmada günümüzün büyük sorunlarından olan atıklar ve atıkların değerlendirilmesi konularını esas alarak, PET (Polietilen teraftalat) şişelerden farklı bir malzeme üretmeye çalışılmıştır. PET malzemenin sahip olduğu avantajlı mekanik özelliklerinden maksimum düzeyde faydalanılması ve atıklarında bu sayede değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

Bu bağlamda PET'ler çeşitli işlemlerden geçirilir ve mermer tozuyla karıştırılarak yeni bir karışım elde edilir. Çalışmanın amacı atık PET'lerden ve mermer tozundan belli miktarlarda eklenmesiyle oluşan atıklardan elde edilen bu kompozit malzemenin temel özelliklerinin incelenmesidir. Bu bağlamda yapılan deneysel çalışmalarda oluşan bu kompozit malzemenin eğme gerilmesi, termal iletkenliği, yanma durumu, sertlik derecesi ve çekme mukavemeti gibi özellikleri incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda atık PET'ler ve mermer tozunun belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen kompozit malzemenin yanma durumu incelendiğinde içerdiği mermer miktarındaki artıştan dolayı yanmazlık seviyesinin iyi olduğu tespit edilmiştir. Mermer tozu miktarındaki artış yanma özelliğini iyileştirdiği gibi malzemenin sertleşmesine de katkıda bulunmuştur. Yine bu çalışma ile birlikte atık petlerle mermer tozunun belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen kompozit malzemenin eğme gerilmesi, termal iletkenliği, çekim kuvveti gibi özellikleri de incelenmiştir.

Elde edilen veriler ışığında atık PET'lerle mermer tozunun etkileşiminin dolayısıyla da çekim kuvvetinin iyi olduğu tespit edilmiştir. Termal iletkenlik değerleri de üretilen bu

malzemenin inşaat yapı malzemesi olarak kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Üretilen bu kompozit malzemenin maddi boyutları incelendiğinde ciddi avantajlar sağladığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda atıkların değerlendirilmesi ve yeniden kullanıma kazandırılması ekolojik denge ve düzenin devamlılığı açısından da çok büyük önem arz etmektedir.

Demirarslan (2009)'da yaptığı ‘‘Plastik Malzemenin Özellikleri ve İnşaat Sektöründeki Kullanım Yerleri’’ adını taşıyan çalışmasında günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan plastiklerin inşaat sektöründe de çok geniş bir kullanım alanına sahip olduğundan ve hangi alanlarda kullanıldığından bahsedilmiştir. Aynı zamanda plastik malzemesini genel özelliklerinden bahsedilmiş ve özellikle inşaat sektöründe hangi alanlarda sıklıkla tercih edildiği açıklanmıştır.

İnşaat alanında plastikler sağladıkları avantajlı özelliklerinden dolayı oldukça sıklıkla tercih edilmektedir. Bir yapım işleminde kaba inşaattan ince inşaat işlerine kadar birçok alanda plastiklerden faydalanılmaktadır. İnşaat işlerinde birçok plastik çeşidi (selüloz plastikler, kazein plastikler, fenollü reçineler, amino plastikler, vinil plastikler, polistiren politen, polipropilen, polimetil metakrilat, naylon, polyester ve alkid reçineleri, epoksi reçineler, poliüretanlar, sentetik kauçuklar, poliester reçinesi ve silikonlar) farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Plastik çeşitlerinin hepsi sahip oldukları yapısal özelliklerindeki farklılıklardan dolayı inşaat sektöründe birçok alanlarda kullanılır.

Örneğin polietilen ve vinil plastikler tesisat ile ilgili kısımlarda çatı ve tesisat borularında sıklıkla tercih edilirken, polistiren kimyasal reaksiyonlara karşı gösterdiği dayanımdan ötürü yapıda yalıtım amaçlı durumlarda kullanılmaktadır. Polimetil metakrilat pencerelerin cam kısımlarında, panolarda ve tesisatlarda ihtiyaç duyulan bazı malzemelerin üretiminde kullanılır.

Genel olarak plastiklerden inşaat sektöründe kalıp, döşeme kaplama, izolasyon, duvar panelleri ve kaplamaları, plastik bölmeler, tavanlar, çatı ekipmanları, tesisat elemanları,

borular, kapı, pencere, aksesuar, yalıtım, elektrik ekipmanları gibi yapı ile ilgili birçok alanda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

İpekçi vd. (2017)'de yaptığı ‘‘İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi’’ adını taşıyan çalışmada yapım işlerinde meydana gelen atıkların oldukça yüksek bir oranlara ulaştığı vurgulanırken, bu atıkların yönetilmesinin ve doğru değerlendirmesinin yapılmasının sağlayacağı olumlu durumlardan da bahsedilmiştir.

İnşaat alanında kullanılan beton, tuğla, doğal taş, mermer, metaller, kağıt, PVC, Plastik, cam, seramik, ahşap, yalıtım ve diğer alanlarda kullanılan ekipmanların geri dönüşümü yapılırken gerçekleştirilen işlemler ve bu işlemlerin ardından kullanıma hazır hammadde haline gelen bu malzemelerin hangi ürünlere dönüştürülebileceği sınıflandırılmıştır. Çeşitli işlemlerin ardından oluşan bu hammaddeler inşaat alanında tekrar kullanılabilir ürünlere dönüştürülmektedir. Yapılan bu çalışmada geri dönüşümü sağlanarak üretilen bu ürünlerin tasarımcı ve kullanıcı tarafından da nasıl değerlendirildiğinden bahsedilmektedir.

## **2.2 Hafif Çelik Sistemlere İlişkin Çalışmalar**

Hafif çelik sistemleri ile ilgili mevcut literatürde birçok yayın, makale, araştırma ve tez çalışmaları mevcuttur.

Tunca vd. (2017)'de yaptığı ‘‘Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Profillerin Yapısal Özellikleri’’ adını taşıyan çalışmada günümüzde kullanımı hızla artan hafif çelik profillerin yapı sektöründe tercih edilmesini sağlayan avantajları ve sahip olduğu özelliklerin genel bir incelemesi yapılmaktadır.

Soğukta şekillendirilmiş çelik profiller diğer profillere göre daha hafif olduğundan kullanıldıkları yapılarda birçok avantajlı durumun oluşmasını sağlamaktadır.

Aynı zamanda hafif çelik profiller yapının her kısmında eşit dağılım gösterdiğinden dolayı aynı özelliği göstermektedir.

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki soğukta şekillendirilmiş profillerin dayanım-ağırlık oranı oldukça iyidir bu özelliği sayesinde daha hafif yapılar inşa edilmesi sağlanmaktadır.

Hafif çeliklerin tasarımının ve analizinin daha detaylı yapılabilmesi için günden güne çalışmalar artmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde daha hafif, ekonomik ve sürdürülebilir yapıların inşa edilmesi sağlanmaktadır. Yapılan bu çalışmada bu profillerin özellikleri ve profil tipleri, kullanımının sağladığı avantajlar ve hangi alanlarda kullanıldığı detaylı olarak incelenmiştir.

Soğukta şekillendirilmiş çeliklerin sahip olduğu en önemli özellikler rijitlik, ekonomiklik, esneklik, estetiklik, tekrar kullanıma uygunluk, yüksek dayanımdır. Bu özellikler hafif çelik sistemlerin sıklıkla tercih edilmesinde büyük bir etkidir.

Yapılan bu çalışmada hafif çelik sistemlerin sahip olduğu avantajlı durumların yanında geliştirilmesi ve üzerinde çalışılması gereken özelliklerinden de bahsedilmiştir. Örneğin yangına karşı gösterdiği dayanım, ısıya karşı gösterdiği direnç ve ses yalıtımı gibi konular gerekli çalışmalarla desteklenmelidir.

Tartar (2002)'de yaptığı ‘‘Hafif Çelik Konstrüksiyon Sistemi ve Tasarım Olanakları’’ adını taşıyan çalışmada hafif çelik sistemlerinin ekonomik, esnek, estetik, sünek dönüştürülebilir, kolay montaj, işçilik ve zamandan tasarruf gibi sağladığı birçok avantajlı durumdan ötürü yapılarda kullanımının yaygınlaşması gerektiğinden bahsedilmektedir. Aynı zamanda hafif çelik sistemlerin kullanılmasıyla birlikte yapının ağırlığında büyük miktarlarda azalmalar meydana gelmektedir.

Ağırlığı azalan yapıların depreme karşı gösterdiği dayanım ve dayanıklılıkta o oranda artmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin kullanılması depreme daha dayanıklı yapılar inşa edilmesini sağlar ve ülkemiz gibi deprem riski taşıyan bölgeler için bu özellik çok büyük bir avantajdır.

Yapılan bu tez çalışmasında hafif çelik sistemlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar, bu sistemlerin sağladığı avantajlar ve geliştirilmesi gereken noktaları içeren detaylı bir araştırma yürütülmüştür.



İleri (2003)'de yaptığı ‘‘Konutlarda Hafif elik Elemanlardan Oluşan Strukturler’’ adını taşıyan çalışmada günümüzde ekonomiklik, yapısal özellikleri iyileştirme ve kolay montajlanabilme gibi birçok avantajı bir arada barından hafif elik sistemlerinin bu avantajlara sahip olduğu halde kullanım oranı betonarme ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Dünya lkelerinde kullanımı ülkemize oranla oldukça yüksek olan hafif elik sistemlerinin kullanımının, ülkemizde inşa edilen yapılarda da tercih edilme oranının yükselmesi oldukça önem arz eden bir konudur. Dolayısıyla yapılan yüksek lisans çalışmasında bu konu üzerinde durulmuş ve projenin ihale kısmından inşaat kısmına kadar detaylı bir inceleme yapılmıştır.

Terim (2004)'de yaptığı ‘‘Hafif elik ereve Sistem ile Afet sonrası geçici konutu’’ adını taşıyan çalışmada günümüzde yapıya sağladığı birçok avantajlı durumdan ötürü sıklıkla tercih edilen hafif elik sistemlerin kullanımına farklı bir uygulama alanı geliştirilmiştir. Özellikle işçilik ve kolay montaj özellikleri inşa edilirken zaman açısından büyük bir kazanç elde edilmesini sağlar. Bu bağlamda değerlendirildiğinde hafif elik sistemler kullanılarak üretilen çerçeveler ile geçici bir afet konutunun tasarlanması üzerinde çalışılmıştır. Herhangi bir afet durumunda yapıdan beklenen en önemli özellik hızlı inşa edilebilmesi, temel ihtiyaçları karşılayabilecek fonksiyonda ve tasarımda olmasıdır.

Bu sebeplerden ötürü hafif elik sistemlerle inşa edilen bir afet konutunun kullanıma uygunluğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan yüksek lisans çalışmasında hafif çelikler kullanılarak üretilen ereve sisteminin kullanıldığı yapılar incelenmiş ve gerekli tespitlerin yapılmasının ardından bu sistemlerin geçici afet konutlarında kullanıma uygun olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Siyahhan (2005)'de yaptığı ‘‘Hafif elik Sistem Taşıyıcı Kurgusu’’ adını taşıyan çalışmada hafif elik sistemlerin birçok yönü hakkında detaylı bir inceleme yapılmıştır. Mevcut literatür incelendiğinden hafif elik sistemlerin avantajlı yönleri üzerinde durulan birçok çalışma mevcuttur.

Bu çalışmada ise hafif çelik sistemlerin olumlu yönlerinden bahsedilmiştir bunun yanında geliştirilmesi ve üzerinde çalışılması gereken özellikleri (ısıya karşı gösterdiği reaksiyon korozyona oluşması, yangına dayanım) üzerinde de durulmuş ve iyileştirme yönünde önerilerde bulunulmuştur.

Yapılan tez çalışmasında profillerin teknik ayrıntıları, hafif çelik sistemleri meydana getiren elemanlar, profiller ve birleşimleri de tüm detaylarıyla sunulmuştur. Hafif çelik sistemlerin kullanılmasının sağladığı en büyük avantajlardan biri hafif yapıların inşa edilmesine olanak sağlaması ve dolayısıyla depreme dayanıklı yapılar tasarlanmasıdır. Yapının kütlelerinin azalmasıyla birlikte deprem gibi ani yüklemelerin olduğu durumlarda yapının gösterdiği dayanım ve dayanıklılık oldukça fazladır. Hafif çelik sistemlerle inşa edilmiş bir yapının depreme karşı nasıl davranış gösterdiğinin incelendiği bir deneysel çalışmada tez kapsamında yürütülmüş ve sonuçları paylaşılmıştır.

Ekinci (2006)'da yaptığı "Hafif Çelik Yapım Sistemleri Taşıyıcı Sistem, Yapı Fiziği Etkileri ve Mimari Tasarım İlkeleri Açısından Analizi" adını taşıyan çalışmada hafif çelik sistemlerin malzeme özellikleri, hafif çelik sistemlerin kullanım alanları ve örnek uygulamalar, sıcak haddelenmiş çelik ve soğuk şekillendirilmiş çelik arasındaki farklar, mimari uygulamalarda hafif çeliğin kullanılması detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bir hafif çelik konstrüksiyon sistemini meydana getiren elemanlar hafif çelik profiller, levhalar, trapez levhalar ve şeritler ilgili görsellerle desteklenerek anlatılmıştır.

Bu sistemlerin montajında kullanılan elemanlarda bağlantı elemanlar (vida, bulon kaynak, punto ve perçin, çivi) ve ankraj elemanları (ankraj bulonları) olarak incelenmiştir. Hafif çelik sistemleri de beş bölüme ayrılmış (temel, döşeme, duvar, çatı, tesisat) ve gerekli incelemeler yapılmıştır. Hafif çelik sistemlerin sağladığı avantajlı ve dezavantajlı durumlar değerlendirilmiş yapısal davranışa olan etkileri ile ilgili gerekli analizler yapılmıştır.

Hafif çelik sistemlerin yangın etkisi, ısı etkisi, nem-su-yoğuşma etkisi, akustik ve ses etkisi, korozyon etkisi gibi durumlarda gösterdiği reaksiyonlar incelenmiş uygulanabilirlik durumları ve sınır değerleri tablolaştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışması sonuçlandırıldığında yangına karşı iyi dayanım göstermediği ve bu yönde çalışmaların devam ettirilmesi gerektiği öngörülmüştür.

Yine tercih edilme durumu düşünüldüğünde hafif çelik sistemlerin az katlı ve düşük açıklık gerektiren yapılarda kullanıma uygun olduğu tespit edilirken, sıcak şekillendirilmiş sistemlerle ise yüksek yapılar ve büyük açıklıkları geçmek mümkün olmaktadır.

Son olarak üzerinde çalışılması gereken en önemli nokta ise hafif çelik sistemlerle ilgili ülkemizde inşa edilen yapılarda kullanılabilen bir yönetmelik oluşturulmasıdır.

Çağlar (2008)'de yaptığı “Çelik Yapılarda Birleşim Unsurlarının İrdelenmesi” adını taşıyan çalışmada çelik yapıların bileşim unsurları hakkında bir bilgilendirme yapmak ve bu unsurların Türkiye standartlarına uyum sağlayacak şekilde bilgisayar sistemine aktarılabilmesinin mümkün olup olmadığını tespit etmektir. Ek olarak tespit edilmek istenilen bir diğer nokta ise bilgisayar sisteminde yapılacak olan bu çalışmanın çelik yapılardaki birleşim noktalarıyla ilgili yapılan hesaplamalar açısından ne tür avantajlar yarattığının tespit edilmesidir. Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında bu amaçlar doğrultusunda geniş bir literatür çalışması yapılmıştır.

Çelik yapıların birleşimlerinde cıvata ve kaynak teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Bu çalışmada birleşimlerde kullanılan cıvata ve kaynak yönteminin yapının performans ve emniyet değerlerine olan etkisi de alt başlıklar halinde detaylı olarak incelenmiştir.

Yüksek lisans çalışmasında öncelikli olarak incelenen kısım çelik yapılarda kullanılan cıvataların kullanım alanları, çalışma mekanizmaları, ortam koşullarından etkilenme durumu, cıvata kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar, çeşitli sebeplerden ötürü cıvatalı birleşimlerde meydana gelen bozulmalar ve bu bozulmaları engellemek için alınması gereken önlemler, ve cıvatalı birleşimlerin tam emniyetle

çalışabilmesi için gerekli koşullardır. Çelik yapıların birleşiminde kullanılan kaynak teknolojisi içinde detaylı bir inceleme yapılmış ve veriler dahilinde çalışmaya eklenmiştir.

Son olarak bu veriler ışığında çelik yapılarda kullanılan birleşimler bilgisayar sisteminde modellenmiş ve sonuçları hakkında gerekli yorumlamalar yapılmıştır. Çelik yapı birleşimlerinin bilgisayar ortamına aktarılması birçok alanda kolaylıklar sağlayacaktır. Bu programın çalışmasının incelenmesi mevcut 10 adet birleşim unsuru üzerinde teyit edilmeye çalışılacaktır. Bilgisayar sisteminde yapılan çözümlenmelerle standart şekilde yapılan çözümlenmeler kıyaslandığında aynı değerlere ulaşıldığı gözlemlenmektedir.

Atasaral (2009)'da yaptığı “Soğuk Şekillendirilmiş Çok Parçalı Hafif Çelik Kolonların Merkezi Yükleme Altında Davranışı” adını taşıyan çalışmasında öncelikli olarak hafif çelikten üretilmiş profillerle inşa edilen yapılarla ilgili genel bilgilendirmeler yapılmaktadır. Ardından hafif çelik profiller kullanılarak yapılan düşey taşıyıcı elemanlara merkezi yükleme testleri uygulanarak bazı tespitlerde bulunulması amaçlanmaktadır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında öncelikli olarak soğukta şekillendirilmiş çelik profillerin genel malzeme özellikleri, üretim aşamaları, mekanik ve fiziksel özellikleri, kullanımının beraberinde getirdiği avantajlar ve dezavantajlar ve kullanım örnekleri detaylı olarak gösterilmektedir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ise hafif çelik sistemlerin kullanıldıkları yerler ana taşıyıcı kısımlar ve kaplamalar (çatı ve yan duvar) olmak üzere sınıflandırılmış ve gerekli tablolar ve görsellerle detaylı bir bilgilendirme yapılmıştır.

Soğukta şekillendirilmiş profillerin temeller, döşemeler, konsol, duvar ve perde duvarlarda kullanımı da çalışmada açıklanan bir diğer kısımdır.

Hafif çelik sistemlerle oluşturulan yapılar korozyona ve yangına karşı iyi bir dayanım göstermemektedir. Yapıların korozyondan ve yangından daha az etkilenmesini sağlamak için gerekli tedbirlerin alınmasının yanı sıra bu bağlamda yapılan çalışmaların

geliştirilmesi gerekmektedir. Bu eksikliklerin yanında sağladığı birçok avantajlı durum hafif çelik sistemlerinin yapılarda sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır.

Hafif çelik sistemler yapıda yüksek rijitlik ve düktilite, yüksek dayanım, hafiflik, uygulamada kolay işçilik, düşük hata oranı, çevresel faktörlerden etkilenmeme, hızlı ve düşük hata oranında montaj, atık malzeme oluşmaması dolayısıyla hem montajda hem de sonrasında ekolojik denge ve düzene zarar vermemesi gibi birçok avantajlı durumun oluşmasını sağlamaktadır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında yukarıdaki araştırmalar ve tespitler dahilinde hafif çelik profillerden meydana gelen çok parçalı kolonlara merkezi yükleme yapılmış ve bu yüklemelerden sonra nasıl davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçları göstermektedir ki az katlı konutlarda hafif çelikler kullanılarak oluşturulan kolonlar kullanıma uygundur.

Öncü (2010)'da yaptığı ‘‘Hafif Çelik Yapıların Tasarımı ve Deprem Riski Düşük Bölgelerde Orta Yükseklikteki Binalarda Uygulanabilirliği’’ adını taşıyan çalışmasında ülkemizde yaşanan depremler ve çeşitli sebeplerden ötürü sıklıkla tercih edilen hafif yapıların tasarım aşaması, sahip oldukları yapısal özellikler, hafif çelik sistemlerin tasarımında kullanılan yönetmelikler ve hafif çelik sistemlerinin iyileştirilmesi yönünde yapılan çalışmaları içermektedir.

Hafif çelik sistemlerin sahip olduğu süneklik, durabilite ve dayanım gibi temel özelliklerinin sağladığı avantajlı durumlar sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır. Hafif çelik sistemlerle birçok yapı tasarlanmaktadır. Fakat mevcut yönetmeliklerde bulunan eksikliklerin yapılacak olan çalışmalarla giderilmesi gerekmektedir.

Yönetmeliklerdeki hafif çeliklerle ilgili kısımlarda eksikliklerin giderilmesiyle birlikte çok katlı ve kalıcı yapıların inşa edilmesi öngörülmüştür.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında hafif çeliklerin yapılarda kullanılması ve bu sistemlerden en yüksek düzeyde fayda sağlanabilmesi için birtakım önerilerde bulunulmuştur.

Akay (2013)'de yaptığı ‘‘Sürdürülebilirlik Stratejilerinin Hafif Çelik Yapım Sistemlerinde Uygulanmasına Yönelik Analiz’’ adını taşıyan çalışmada günümüzde bir çok yapım teknolojisinde kullanılan hafif çelik sisteminin sahip olduğu olumlu özelliklerden dolayı yapıda meydana getirdiği avantajlı yönlerden bahsedilirken buna ek olarak geliştirilmesi ve üzerinde çalışılması gereken dezavantajlı birkaç noktada belirtilmiştir. Ekonomiklik, estetiklik, esneklik, uygulama kolaylığı, sünekliği, hafifliği ve yapısal özellikleri iyileştirme gibi sahip olduğu birçok olumlu özelliğin yanında geri dönüştürülebilir bir malzeme olması sürdürülebilirlik noktasında değerlendirildiğinde üzerinde çalışılması gereken çok önemli bir konudur.

Sürdürülebilirlik noktasında neler yapılabileceği, hafif çelik kullanımıyla bu kavrama hangi noktalarda katkı sağlanabileceği gibi birçok farklı alandan değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında genel olarak hafif çelik sistemlerin yapısal özellikleri, avantajlı yanları ve geliştirilmesi gereken yönler detaylı olarak ele alınırken bu sistemlerin kurulumuna dair tüm ayrıntılarda anlatılmıştır. Ekolojik düzenin, dengenin korunması ve devamlılığı için sürdürülebilirliğin sağlanması çok önemlidir. Sürdürülebilirliğin sağlanması ve bu bağlamda yapılabilecek öngörülerde yapılan deneysel çalışmaların sonucunda belirlenmiş ve çalışmada belirtilmiştir.

Deneysel çalışmaların ve araştırmaların sonucuna dayanarak yapısal özellikleri iyileştirme yalıtımı iyileştirme, dayanım ve dayanıklılığı artırma, kurulum ve kolay montaj, ekonomiklik, yeşil bina tasarımına uygunluk, depreme karşı gösterdiği olumlu özellikler, sürdürülebilir, dönüştürülebilir ve çevreci yapılar inşa etmeye olanak sağladığı için hafif çelik sistemlerin inşa edilen yapılarda kullanımının yaygınlaşması gerektiği önerilmiştir.

Alıca (2013)'de yaptığı ‘‘Hafif Çelik Duvar Panellerinin Yatay Yük Altında Davranışı’’ adını taşıyan çalışmasında hafif çelik sistemlerin kullanılmasıyla elde edilen duvar panelleri üzerine statik yatay yüklemeler yapılmış ve bu yüklemeler altında nasıl davranış gösterdiği incelenmeye çalışılmıştır.

Yapılan yüksek lisans çalışmasında araştırma yapmak üzere hafif çelik sistemlerden oluşturulmuş 21 numune üzerinde çalışılmıştır. Yükleme tabi tutulan bu numuneler davranışında çekme ankrajının çok önemli bir etkiye sahip olduğu bu bölgede meydana gelen hasarların panellerin yük kapasitesi ve rijitlik yönünden beklenen performansa erişmesini engellediği tespit edilmiştir.

Ayrıca hafif çelik profiller ve kaplama paneli arasındaki vida aralığının 30 cm'den 15'e düşürülmesi yük taşıma kapasitesinde büyük oranlarda artmaların oluşmasını sağlamıştır.

Kültür (2013)'de yaptığı "Tekrarlı Yükler Altında Hafif Çelik Yapıların Kaplamalı Panel Duvarlar ile Modellenmesi" adını taşıyan çalışmada günümüzde gerek ekonomik etkenler gerekse yapıya sağladığı avantajlı özelliklerden ötürü sıklıkla tercih edilen hafif çelik sistemlerin kullanımında kolaylık sağlamak amacıyla hafif çelikler kullanılarak oluşturulan bütün bir duvar panelinin tasarımı için çalışılmış gerekli yönetmelikler incelenerek ortak bir yol belirlenmeye çalışılmıştır. Bu konuyla ilgili mevcut çalışmalarda incelenmiş ve detaylarıyla belirtilmiştir.

Karabulut (2015)'de yaptığı "Hafif Çelik Kayma Panellerinin Deneysel ve Analitik Çalışması" adını taşıyan çalışmada hafif çelik sistemler kullanılarak oluşturulan kayma panelleri ve farklı yapılarıdaki paneller üzerinde deneysel çalışmalar yapılmış yanal yük taşıma kapasiteleri hakkında tespitler yapılmıştır. Aynı zamanda deneysel çalışma için üretilen numunelerin birisi SAP2000 ile modellendirilmiş ve analizi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bu modelin analizinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesinin ardından bir katlı mevcut bir yapıda modellenmiş analize tabi tutulmuştur. Bu çalışmaların ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesiyle birlikte deprem riski bulunan ülkelerde hafif çelik sistemlerinin kayma panellerinde tercihe uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Güneş (2016)'da yaptığı "Hafif Çelik Yapıların Farklı Yönetmeliklere Göre İncelenmesi, Mevcut Kontrol Şartları Ve Oluşturulabilecek Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde Vurgulanması Önerilen Konular" adını taşıyan çalışmada hafif çelik sistemlerin dünyada

ve ülkemizde geçmişten günümüze kadar gösterdiği ilerlemeler, ülkemizde kullanımının hangi alanlarda tercih edildiği, yapılarda tercih edilen tasarım şekilleri ve hangi aşamalardan geçerek üretiminin gerçekleştiğine dair detaylı bir bilgilendirme yapılmıştır. Yapılan bu araştırmaların sonrasında ise hafif çelik sistemler kullanılarak oluşturulmuş bir yapı tasarlanmış ve SAP2000 programı ile analizi sağlanmıştır.

Bu programda yapının analizi yapılırken hafif çelik sistemlerle alakalı bir yönetmelik bulunmadığından dünyada ve ülkemizde hafif çelik sistemlerle alakalı mevcut yönetmeliklerden (AISI ve EU) faydalanılarak SAP2000'e aktarılmış ve bu analizin sonuçları incelemeye tabi tutulmuştur.

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasındaki esas amaç mevcut net bir yönetmeliğin olmadığı hafif çelik sistemlerle inşa edilen yapıların analizi için dünyadaki ve ülkemizdeki yönetmelikleri incelemek analiz için ortak bir paydada buluşulabilmesini sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda SAP2000 de yapılan hesaplamalarda gerekli kontroller, çalışmalar ve araştırmalar sonucunda hesaplanması gereken noktalar uygun yönetmeliklerden faydalanılarak oluşturulmuştur.

Durmuşoğlu (2017)'de yaptığı “Acil İhtiyaç Durumunda Geçici Kullanılabilecek Hafif Çelik Yapı Sistemlerinin İncelenmesi” adını taşıyan çalışmada afetlerden sonra hızlı kurulabilen, kullanım ve işlev açısından fonksiyonel, ekonomik olan geçici konutların inşa edilebilmesinde hafif çelik sistemlerin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Hafif çelik sistemler dayanım, dayanıklılık, esneklik, kolay üretim ve montaj gibi birçok avantajı onu diğer yapı sistemlerinin önüne geçirmiş, tercih edilmesinin yapı için sağlayacağı olumlu durumlar yapılan çalışmada detaylı örnekleriyle beraber sunulmuştur.

Dizdar (2017)'de yaptığı “Hafif Çelik Döşeme Makas Kirişlerinin Düşey Yük Altındaki Davranışlarının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi” adını taşıyan çalışmada yapının döşemelerinde sıklıkla tercih edilen kiriş elemanların davranışlarındaki değişimler mevcut tasarım kabulleriyle birlikte incelenmiştir.



Güneş ve Çeribaşı (2017)'de yaptığı ‘‘Hafif Çelik Yapı Tasarımında Yaklaşımlar, Mevcut Kontrol Şartları ve Olası Bir Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde Vurgulanması Önerilen Konular’’ adını taşıyan çalışmasında ülkemizde inşa edilen yapılarda sıklıkla kullanılan hafif çelik sistemlerin hangi şekillerde kullanıldığı, tasarımında nelere dikkat edildiği gibi konular üzerinde durulmuştur.

Bir yapının tasarımı yapılırken faydalanılan en önemli kaynak ilgili yönetmeliklerdir. Fakat hafif çelik sistemlerle ilgili Türkiye’de kapsamlı bir yönetmelik bulunmamaktadır. Kapsamlı bir yönetmeliğin bulunmaması ise mevcut genel kabullerin dışındaki incelemelerin yapılmasına engel olmaktadır.

Mevcut birçok firma gerekli incelemeleri ve kontrolleri yapabilmek için dünya çapında kullanılan iki yönetmelikten faydalanmaktadır.

Hafif çelik sistemlerin genel bir sınıflandırılması yapıldığında yerinde kaplama, panel sistemler ve hafif çelik depo ve hangarlar olarak üç temel gruba ayırmak mümkündür. Panel sistemleri ise karkaslı sistem ve sandviç panel sistem olmak üzere iki alt başlık dahilinde incelemek mümkündür. Bu çalışmada bu bölümlerle ilgili detaylı bilgiler mevcuttur.

Yapılan bu çalışmada da hafif çelik sistemlerin tercih edildiği yerinde kaplama olan bir yapının tasarımı dünyada kullanılan bu genel yönetmelikler ve ülkemizdeki yönetmeliklerin dahilinde yapılmış sonucunda ise SAP2000 ile modellenmiş ve çalışmada SAP2000 den alınan görüntülere yer verilmiştir.

Güldür (2018)'de yaptığı ‘‘Hafif Çelik Profiller ve Betondan Oluşan Kompozit Kafes Kirişlerin Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi’’ adını taşıyan çalışmada kullanımıyla yapıda çok büyük avantajlar sağlayan hafif çelik sistemlerin basınç başlıklarına betondan elde edilen bir dolgu elemanı yerleştirilmiş ve bu şekilde lokal burkulmalar kontrol edilmiştir. Bu yöntemle oluşturulan kompozit kirişler üzerinde birtakım deneysel çalışmalar yapılarak eğilme davranışı gözlemlenmiştir.

Bu bağlamda sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş MNA, MGNA ve MGNA olmak üzere üç farklı analiz yapılmıştır.

Yazıcı (2018)'de yaptığı ‘‘Hafif Çelik Yapılarda Vidalı Kiriş-Kolon Birleşim (Berkitmeli Davranışının Deneysel Olarak Belirlenmesi)’’ adını taşıyan çalışmada hafif çelik-kolon birleşim noktalarında, akıllı vidaların tercih edilmesinin birleşim davranışı üzerinde nasıl bir etki meydana getireceği deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında sıcak şekillendirme ve soğuk şekillendirilme ile üretilen çelikler ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Hafif çelik yapılardaki göçme modlarında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Hafif çelik sistemlerle normal çelik sistemlerde kullanılan birleşimler farklılık göstermektedir. Normal çelik sistemlerde birleşim olarak tercih edilen bulon ve kaynağa ek olarak hafif çelik sistemlerde vida, perçin, rozette ve raf birleşim kullanılmaktadır. Mevcut deneysel çalışmalar ve araştırmalar incelendiğinde hafif çelik sistemlerin birleşim noktalarında (kiriş-kolon) başta sağladığı ekonomik avantajlar sebebiyle genellikle bulonlu birleşim tercih edildiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak birleşim noktalarında akıllı vidaların tercih edilmesinin davranışta ne gibi bir etki oluşturacağı kirişin gövde kısmına eklenen berkitmelerin de davranışı nasıl etkileyeceği üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Bu etkiyi gözlemlemek için kalınlığı birbirinden farklı üç kiriş (C profil) ve bayrak levhası berkitmeli ve berkitmesiz olacak şekilde 14 farklı deney numunesi üzerinde karakteristik özellikler ve göçme üzerinde nasıl bir etki oluşturduğuna dair inceleme yapılmıştır.

Deneysel çalışmaların ve araştırmaların sonucunda elde edilen verilere dayanarak C profillerin cidar kalınlığındaki artışların moment dayanımının, dönme kapasitesinin ve rijitliğin artmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra berkitmeli ve berkitmesiz birleşimleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları kıyaslandığında rijitlik ve dönme kapasitesi artarken moment değerlerinde ve göçme durumlarında net bir değişim

gözenmemiştir. Bayrak levhası üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonucunda ise bayrak levhasındaki kalınlık artışının moment dayanımının, dönme kapasitesinin ve rijitliğin artmasına göçme durumlarının ise değişmesine sebebiyet verdiği gözlemlenmektedir.

Mevcut literatürde atık polimerlerin değerlendirilmesi, hafif çelik sistemlerle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Fakat ince öğütülmüş atık ve ham polipropilenin hafif çelikten tasarlanan profillerle birlikte kullanılması üzerinde bir çalışma bulunmamaktadır.

Tasarlanan bu yeni yapı elemanının eğilme, burulma ve kesme davranışı gözlemlenmiş ve inşaat sektöründe kullanımını uygun hale gelebilmiştir.



### **3.KURAMSAL TEMELLER**

#### **3.1 Hafif Çelik**

##### **3.1.1 Hafif çeliğin tarihsel gelişimi, üretim teknikleri ve kullanım alanları**

###### **3.1.1.1 Hafif çeliğin tarihsel gelişimi**

Yapılan araştırmalar ve incelemelere göre demirin kullanımı M.Ö 4000 yıllarına dayanmaktadır. Bilimsel çalışmalar sonucunda Mısır piramitlerindeki devasa büyüklükteki taşların montaj işlemlerinde de demir aparatlardan faydalandığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla demirin kullanımı ve birçok avantajlı durumundan ötürü tercih edilmesi çok eski yıllara dayanmaktadır. M.Ö 2700'lü yıllarda Shen Nung'un demiri filizden elde etmesiyle birlikte birçok yeniliğin de öncüsü ve geliştiricisi olmuştur.

Zamanla birlikte demir üzerinde birçok araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle demir malzemesine alaşımlar katılmış, zamanla teknolojinin gelişmesi ve yapılan çalışmaların detaylandırılmasıyla birlikte demir-karbon alaşımı olarak da adlandırılabilen çelik bugün ki yerini almıştır. Bessemer'ın 1850'li yıllarda dökme demire sıcak hava uygulaması yapmış ve bu işlemin sonucunda 20 dakika gibi çok kısa bir sürede demirin çeliğe dönmesini başarmıştır (Atasaral, 2009). Bu işlemin böyle kısa bir sürede gerçekleşmesinin ardından çelikte seri üretime geçilmeye başlanmıştır. Bununla birlikte çeliğin dayanım, süneklik gibi bir yapım teknolojisinde olması gereken en önemli hususları sağladığı için 19.yy'da Amerika'da ve sonrasında ise Britanya, Güney Kore ve Japonya'da yapı sektöründe kullanımı yaygınlaşmaya başlanmıştır (Atasaral, 2009).

Çelik sistemler montaj işleminin öncesinde inşası gerçekleştirilecek alana hazır olarak gelmesi zamandan çok büyük bir avantaj sağlar. Bununla birlikte işlemin kolay olmasından ötürü işçilikte önemli kolaylıklar sağlar. Birçok avantajlı durum değerlendirildiğinde maliyetinde düşüklüğünü göz önünde bulundurursak konut olarak kullanılan hafif çelik yapılarının inşaat sektöründe kullanımı da yüksek bir oranda artmıştır.

Bununla birlikte yapılan çalışmalar göstermektedir ki çeliğin dayanımı kendisiyle aynı hacme sahip betonarme ve ahşap elemandan yüksektir, elektrik ve sıhhi tesisatlarının montaj işlemleri daha kolay gerçekleşir ve sistem kendisine uygun bir izolasyon malzemesiyle korunduğunda olası bir yangın durumunda da dayanım göstermektedir.

Sahip olduğu bu olumlu özelliklerden ötürü hafif çelik sistemlerin kullanımı 1950'li yıllarda ABD, Kanada, Güney Kore, İngiltere ve Japonya'da, 1990'lı yıllarda ise ülkemizde yaygınlaşmıştır. Ülkemizde yaygınlaşmasının en büyük etkenlerinden biri Kocaeli ve Düzce depremleridir.

Bu depremlerin ardından kullanıma uygun, fonksiyonel, ekonomik ve hızlı montaj edilebilecek yapı sistemleri aranmış, hafif çelik sistemlerin kullanımı bu şekilde yaygınlaşmıştır.

### 3.1.1.2 Dünyada hafif çelik sisteminin tarihçesi

İlk Hafif çelik sistemlerinin uygulanması 1950'li yıllarda Almanya'da denenmiştir



**Şekil 3.1.** İlk hafif çelik uygulaması (Atasaral, 2009)

Hafif çelik sistemlerinin yukarıda gösterilen ilk uygulamadan bugünkü hale gelmesi 1980'li yılları bulmuştur.

Bu sistem Amerika’da ‘‘Balloon Frame’’ denilen ve 1832 yılından bu yana kullanımı devam eden ahşap iskelet sistemiyle benzer yönler teşkil etmektedir. Hafif çelik sistemlerinde taşıyıcı duvarların, döşemelerin, dış kaplamaların ve çatı kurulumunun ahşap iskelet sistemiyle benzerlik göstermesi bu sistemin Amerika’daki kullanımının hızlı bir şekilde yaygınlaşmasını sağlamıştır. Amerika’da yaygınlaşan bu sistemler eş zamanlı olarak Kanada, Güney Kore, İngiltere ve Japonya’da tercih edilmeye başlanmıştır.

### **3.1.1.3 Türkiye’de hafif çelik sistemlerinin tarihçesi**

Ülkemizde inşaat sektöründe yapım sistemleri içerisinde betonarme ve ahşap yapılar büyük bir oranda tercih edilmektedir. Bu sistemlerin hepsi ayrı ayrı değerlendirildiğinde avantajlı birçok özelliğe sahiptir. Bir yapım teknolojisi teknik performans, çevresel fayda, dayanım ve dayanıklılık, fonksiyonel esneklik gibi temel kriterleri sağlamalıdır.

Çelik sistemlerin ülkemizde de yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasının temel sebepleri bir yapının sahip olması gereken temel kriterleri sağlamasıdır. Bunun yanı sıra yapılan deneysel çalışmalarda çeliğin elastik modülünün mevcut diğer yapı malzemeleriyle kıyaslandığında çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bu özellik hafif çelik sistemlerin dinamik yüklere karşı uygun davranış sergileyebileceği anlamına gelmektedir.

Hafif çelik sistemlerin tercihinde çok önemli bir etken ise betonarme elemanlara göre daha sünek olma kabiliyetidir. Çelik sünek bir malzemedir buda büyük şekil değiştirmeler yapabileceği anlamını taşır. Bu özelliğiyle birlikte olağan dışı bir yük durumunda büyük enerjileri yutabileceği anlamına gelir. Beklenmeyen bir depremde bu özellik sayesinde çok büyük enerjileri yutar ve yapının dayanımına katkı sağlar. Sağladığı birçok avantajlı durum neticesinde bu sistemler ülkemizde de tercih edilmeye başlanmıştır.

Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra ekonomik, esnek, estetik, dayanım ve dayanıklı yapıların hızlı bir sürede tasarlanmasının gerekli olması da bu süreci hızlandırmıştır. Endüstri alanında sağlanan gelişmelerde bu süreci hızlandıran bir diğer faktördür.

#### **3.1.1.4 Hafif çelik sisteminin avantajları**

Hafif çelik yüksek dayanıma sahip bir malzemedir.

Öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı oldukça küçüktür, hafif bir malzemedir.

Elektrik ve sıhhi tesisat montajı betonarme ve ahşap sistemlere kıyasla oldukça kolaydır.

Bu sistemler yapı ağırlığını oldukça azaltır hafif yapılar inşa etmemize imkan sağlar dolayısıyla üst yapı ağırlığı azalır ve yapının depreme olan dayanımı da artar.

Çelik profiller homojendir, yüksek, rijitlik, yüksek duktilite özelliklerine sahiptir.

Çelik karkas yapım alanına montaj işlemine hazır olarak gelir kolay işlenir dolayısıyla işçilik ve üretimden kaynaklı oluşan maliyetler azalır.

Malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri uzun yıllar boyunca yapının çevresel faktörlerden etkilenmesini önler.

Atmosferik koşullar yapı inşaatı için engel teşkil etmez. İnsanın çalışabildiği her türlü hava koşulunda inşaat yapılabilir ve yapı yağmur, don, sıcak gibi olaylardan etkilenmez.

Hafif Çelik Sistemlerin birleşim noktalarında çoğunlukla vidalı birleşimlerin tercih edildiği birleşim noktalarında insan faktörü taşımayan yöntemler kullanılması sayesinde yapının tasarım sonucunda bulunan hesap değerlerinin birebir sağlandığı ve uygulandığı yapılardır. Bu şekilde uygulama hatalarından bağımsız yapıların elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Mimari tasarıma uygun olabilecek şekilde istenen boyda ve profilde üretilmesi sonucunda zayıfsız ve en az ekle konstrüksiyon oluşturulmasına olanak sağlar.

Geçirimsiz bir malzemedir.

Çeliğin geri dönüşüm özelliği sayesinde ömrünü doldurup yıkılan binalardan arda kalan çelik malzeme dönüştürülerek tekrar kullanılmaktadır. Böylece yapılar yıkıldıktan sonra bile hammadde olarak kullanılmakta, ülke ekonomisi ve çevre daha az zarar görmektedir.

Uygulamada herhangi bir şekilde kalıp kullanılmadığından ölü malzeme maliyeti yoktur. Ayrıca üretim esnasında tesisat geçişlerine ait delikler açılabilirdiğinden elektrik tesisatı sıhhi ve kalorifer tesisatı geçişlerinde işgücü ve zamandan tasarruf söz konusudur.

Ekonomik ve uzun ömürlüdür.

Yüksek emniyet ve yoğunluğa sahip olmasından dolayı sıvı ve gaz ürünlerinin taşınmasında ve depolanmasında kullanılabilir.

Homojen ve izotrop bir malzeme olan hafif çelik profilleri üretim aşamasında da sıkı ve sürekli denetim altında olduğundan oldukça güvenlidir.

Çeliğin elastiklik modülü diğer yapı malzemelerine kıyasla çok yüksektir. Bu da stabilite sorunlarına dinamik yüklere titreşimlere uygun davranış anlamını taşımaktadır.

Çelik sünek bir malzemedir. Büyük bir şekil değiştirme kabiliyeti vardır. Bu beklenmeyen olağan dışı yük durumlarında çok etkili bir niteliktir. Olası bir deprem durumunda deprem enerjisini yutma kapasitesi daha yüksektir.

Çekme ve basınç dayanımları eşittir. Bu özelliği sayesinde çekme dayanımı daha düşük malzemelerle yapılamayan sistemler için iyi bir çözümdür (Atasaral, 2009).

### **3.1.1.5 Hafif çelik sisteminin dezavantajları**

Hafif çelik sistemlerin bir üst başlıkta açıklandığı gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajların yanında geliştirilmesi gereken yönler de mevcuttur. Bunlar ses yalıtımı yangın güvenliği, titreşim ve korozyondur. Bu dezavantajlı yönlerin giderilmesine ve etkisinin en aza indirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır.



Mevcut yapım işlemlerinde ise bu özelliklerin istenmeyen bir durum oluşturmasının önüne geçmek için gerekli önlemler alınmaktadır.

### **3.1.1.6 Hafif çelik profillerin üretimi**

Hafif çelik sistemlerin oluşturulmasında kullanılan profillerin ve hafif çelik malzemesinin üretim aşamaları belirlenen standartlar dahilinde fabrikalarda seri üretim şeklinde gerçekleştirilmektedir. Yüksek ısıya maruz bırakılarak hal değiştiren çeliğe presleme yöntemi veya silindir yönteminden uygun olan uygulanır. Bu işlemin ardından saf halde bulunan çelik levha ya da rulo sac halini alır. İlk evrede uygulanan bu işlemler sayesinde çeliğin içinde ki boşluklar maksimum şekilde azaldığından malzemenin dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde doğrudan bir artış sağlanmaktadır. Hafif çelik malzemenin sağladığı en önemli avantajlardan biri istenilen, ihtiyaç duyulan boy ve ebatlarda üretimin mümkün olmasıdır. Dolayısıyla presleme işleminden sonra levha ya da rulo sac halini alan hafif çelik malzemesinin talep edilen boyutlarda kesim işlemi gerçekleştirilmektedir (Ekinci, 2006). Bu kesim işleminin şantiye alanına gitmeden önce talep edilen şekilde atölyelerde gerçekleştirilmesi ise üretimde zaman ve işçilik açısından çok büyük önem taşımaktadır. Kesim işlemi de tamamlanan çelik seçilen uygun bir yöntemle profillendirilmektedir. Profillendirme ise bükme işlemi, silindir kalıp ve pres kalıp, olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilmektedir (Ekinci, 2006). Bu profillerin şekillendirilme ve prefabrikasyonda talep edilen şekilde boyutlandırılmasının ardından galvanizlenmesi (önceden yaklaşık 400 dereceye kadar ısıtılan çinkoya çelik daldırılır bu işlemle çeliğin çevresel etkilerden korunması sağlanmış olunur) halinde bu işlemler önceden yapıldığı için çinko kaplama herhangi bir deformasyona maruz kalmayacaktır (Ekinci, 2006). Hafif çelik sistemlerin üretim yöntemleri yukarıda da özetlendiği gibi bükme, pres ve soğuk hadde çekme şeklinde gerçekleştirilmektedir.

### **3.1.1.7 Hafif çelik kullanımının tercih edildiği yerler**

Hafif çelik profillerin yapının taşıyıcı sistemlerinde, yan duvarlarında, iç duvarlarında ve çatı kaplamasında kullanımını tercih edilmektedir.

Hafif çelik sistemlerin yapının ana taşıyıcı sistemlerinde genellikle  $\Sigma$ , Z, C, U, I profiller tercih edilmektedir. Bu profillerin şekilleri ve boyutları üretici firmanın talepleri doğrultusunda değişebilir dolayısıyla profil talep eden firmalar ihtiyaç duydukları boyutları kendileri belirler.

Bu profillerin yüksekliği: 50 mm-300 mm, et kalınlığı: 2 mm-6 mm arasındadır.  $\Sigma$  profiller Z profiller, C profiller, U profiller, I profiller çok katlı yapılarda ana taşıyıcı sistemin en önemli elemanıdır.

Ana yüklerin taşınmasını ve iletilmesini sağlar. Aynı zamanda profillerin kullanım yerleri de farklılıklar gösterebilmektedir C profiller kirişlerde (başlık-açıklık) ve kolonlarda tercih edilir fakat U profiller kolonlarda kullanmaya uygun değildir.

Yan duvarlarında, iç duvarlarında ve çatı kaplamasında da tercih edilmektedir buralarda üstlendiği görev yapıya dik olarak gelen yükleri (rüzgar yükü, kar yükü, ölü yük) taşıyıcı sistemlere aktarmaktır. Bu sistemlerin kalınlığı 0,3 ile 1,20 mm arasındadır.

### **3.1.1.8 Mimaride çelik ve hafif çelik uygulamaları**

Çeliğin tarihçesinin detaylı olarak anlatımının yapıldığı yukarıdaki bölümde de anlatıldığı üzere yapılan araştırmalar demirin kullanımının M.Ö 4000 yıllarına dayandığını göstermektedir. Birçok avantajlı özelliğinden dolayı eski yıllardan beri çelik sistemlerden faydalandığı tespit edilmiştir. M.Ö 2700'lü yıllarda Shen Nung'un demiri filizden elde etmesiyle birlikte birçok yeniliğin de öncüsü olmuş bununla birlikte demir üzerinde birçok araştırmalar ve çalışmalar yapılmaya devam edilmiştir (Atasaral, 2009). Öncelikle demir malzemesine alaşımlar katılmış, zamanla teknolojinin gelişmesi ve yapılan çalışmaların detaylandırılmasıyla birlikte demir-karbon alaşımı olarak da adlandırılabilen çelik bugün ki yerini almıştır. Bessemer'ın da yapmış olduğu çalışmalar ile demirden çelik üretilmesi başarılı, seri üretime geçişin ilk adımı atılmıştır.

Sonrasında ise çelik sistemlerinin bu denli hızlı ilerlemesinin sebebi ilk olarak Fransa ve Almanya'da kurulan elektrik fırınlarının kullanımının yaygınlaşmasıdır (Atasaral, 2009).

Çeliğin dayanım, süneklik gibi bir yapıım teknolojisinde olması gereken en önemli hususları sağladığı için 19. yy'da Amerika'da ve sonrasında ise Britanya, Güney Kore ve Japonya'da yapı sektöründe geniş bir kullanım alanını elde etmiştir.

Teknolojik imkanların günden güne artması ve bu alanda yapılan çalışmaların detaylandırılmasının ardından çelik sistemler mimari de ana taşıyıcı sistemlerde de çoğunlukla tercih edilmiştir.

Çelik sistemlerle inşa edilen yapılarda büyük açıklıklar kolaylıkla geçilmiş, esnek, dayanıklı ve fonksiyonel tasarımların yapılması sağlanmıştır.

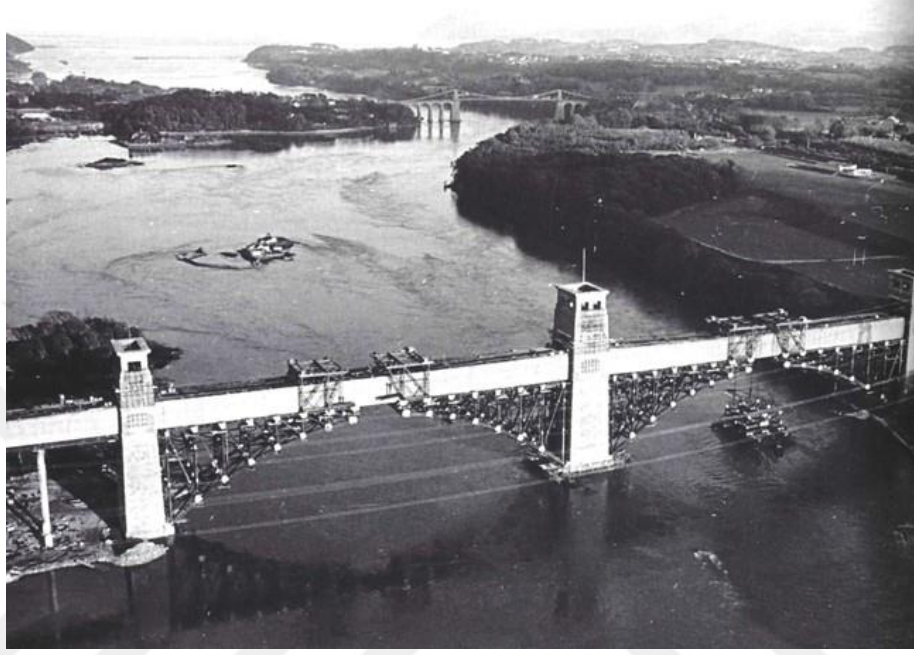
Büyük açıklıkların kolaylıkla geçilebilmesini sağlayan bu sistemlerden dolayısıyla ilk olarak köprü yapımında faydalanılmıştır.

Malzeme olarak ise basınç dayanımı yüksek çekme dayanımı ise oldukça düşük olan font tercih edilmiştir. Bu bağlamda ortaya çıkan ilk eser 1778 yılında dökme demirden inşa edilen, Sevem Nehrinde bulunan (31m açıklık) Coalbrookdale Köprüsüdür. Abraham Darby'nin kok kömürü ile demiri işlemiştir bazı eksik kalan noktaları olsa da çeliğin yapı sektöründe kullanılması anlamında bu eser önemli bir gelişmedir.



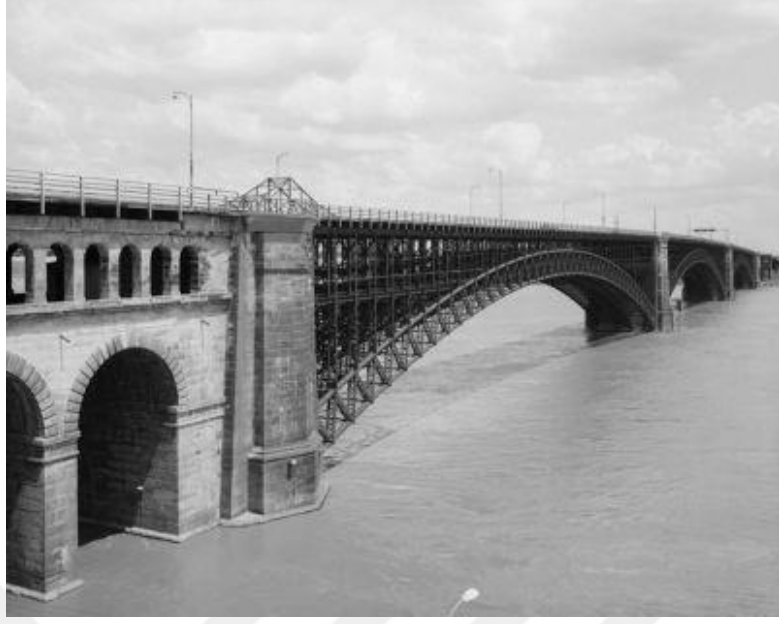
**Şekil 3.2.** Coalbrookdale Köprüsü

Yapılan çalışmalar detaylandırıldığında ise Henry Cort'un Pudralama tekniğini geliştirmesi sonucunda çeliğin kalitesini iyileştirmiş ve dövme elik üretiminin temelini oluşturmuştur. Dövme eliğin üretimiyle birlikte 1846'da Britannia Köprüsü inşa edilmiş 140 m açıklığın elik sistemlerle geçilmesi sağlanmıştır.



**şekil 3.3.** Britannia Köprüsü

Bu alışmalar çok büyük araştırmaların temellerinin oluşmasını sağlamıştır. Bu çalışmalardan bahsedecek olursak dökme çeliklerden bina kolonları (Philedelphia) inşa edilmiş, demir kafes kirişlerinin inşası yapılmış (Baltimore ve Ohio Demiryolu), ABD'de elik üretimi hızlı bir şekilde başlamış, ABD'de elik profiller kullanılarak çift katlı Eades Köprüsü inşa edilmiştir.



**Şekil 3.4.** Eades Köprüsü

Çelik sistemlerden üretilen en önemli yapılardan biri de inşası 1887 yılında inşasına başlanan yapılan Eiffel Kulesidir. Bu yapı ile çelik konstrüksiyon sistemleri kullanılarak 300 metre yüksekliğe erişilmiştir.



**Şekil 3.5.** Eiffel Kulesi



Çelikle ilgili çalışmalar durmadan ivme kazanmış montajla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Çelik profillerin birbirlerine montajının sağlanması ve elektrik akı yöntemi kullanılarak kaynak yapılması sağlanmıştır. 1883 yılında ise bu çalışmaların ardından Brooklyn Köprüsü yapılmıştır. 1825 metre uzunluğa sahip olan bu köprü ile 486.3 metrelik bir açıklık geçilmesi sağlanmıştır.



**Şekil 3.6.** Brooklyn Köprüsü

Yapılan çalışmalar birbirini desteklemiş ve çelik sistemler köprülerin ardından ilk kez yüksek yapılarda kullanılmıştır. W.Jenney'in 1884 yılında Chicago'da tasarladığı Home Insurance Şirket Binası çok katlı yapılarda çelik sistemlerin kullanılmasının en büyük örneklerindedir.



**Şekil 3.7.** Home Insurance Şirket Binası

İskoçya’da inşa edilen Firth of Forth Köprüsü ‘de çelik konstrüksiyon sistemlerinin tercih edildiği bir diğer uygulama örneğidir. Firth of Forth Köprüsü uzunluğu 2529 metredir üç bölümden oluşmaktadır ve İskoçya’da demiryolu ulaşımında kullanılmaktadır.



**Şekil 3.8.** Firth of Forth Köprüsü

Çelik yapılar ve bu sistemlerle ilgili çalışmalar günden güne artmıştır. Çelik fabrikaları kurulmuş ve kurulan bu fabrikalarda geniş başlıklı çelik profillerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Çelik yapılar enstitüsü kurulmuş bu gelişmenin ardından AISC Yönetmeliği 1923’te yayımlanmıştır. 1946 yılında ise AISI Standartları yayımlanmış bunun ardından ise yüksek mukavemetli bulonlar üzerinde yapılan araştırmaların neticesinde bir yönetmelik oluşturulmuştur. Yönetmeliklerle ve belli standartların oluşturulmasıyla çelik alanındaki çalışmalar hızlanarak günümüze kadar ulaşmıştır. Bu sistemler günümüzde en çok tercih edilen yapımlar teknolojileri arasında yerini almış ve büyük bir eksikliğin giderilmesini sağlamıştır.

Ülkemizde çelik alanında yapılan birçok büyük çalışmalar mevcuttur. Çeşitli sebeplerden ötürü çelik konstrüksiyon sistemlerindeki ilerlemelere diğer ülkelerden daha geç başlanmış olursa da çelik firmalarının çalışmaları, endüstriyel ve teknolojik gelişmeler bu aranın hızla kapanmasında çok büyük etken olmuştur.

Çelik anlamında dünyadaki ve ülkemizdeki en büyük projelerden biri olan Yavuz Sultan Selim Köprüsü bu bağlamda çok büyük bir örnek teşkil etmektedir. Büyüklük ve sahip olduğu özellikler açısından ele aldığımızda inşası 2016 yılında tamamlanan ve 2164 metre uzunluğundaki Yavuz Sultan Selim Köprüsü kule yüksekliği, ara açıklığı, çelik halatların çekme dayanımı ve sahip olduğu 59 metre genişlikle büyüklük anlamında dünyada ilk sırada yer almaktadır.



**Şekil 3.9.** Yavuz Sultan Selim Köprüsü

Hafif çeliğin tarihsel gelişim süreci de 20.yy başından günümüze kadar hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Hafif çelik sistemlerin gelişmesinde en büyük etkenlerden birisi 1. Dünya savaşının sonrasında ulaşım alanında duyulan ihtiyaçlardır.

Savaşın sonrasında otomobil, demiryolu gibi alanlarda kullanımı tercih edilen bu sistemler hızlı bir şekilde yapı endüstrisi içerisindeki yerini almıştır. Hafif çelik konstrüksiyon sistemin ilk örnekleri yine ABD ve İngiltere’de gözlenmiştir.





**Şekil 3.10.** Hafif çelik sistemleriyle inşa edilen bir yapı (Ekinci, 2006)



**Şekil 3.11.** Japonya'da hafif çelik sistem tercih edilen bir apartman. (Ekinci, 2006)



**Şekil 3.12.** Japonya’da hafif çelik sistem tercih edilerek yapılan bir okul (Ekinci, 2006)

## **3.2 Hafif Çeliğin Yapısal Özellikleri**

### **3.2.1 Çelik malzemesinin sahip olduğu özellikler**

Çelik yapısal olarak demir (Fe) ve karbon (C) elementlerini içeren bir alaşımdır. Çelik yapısal olarak sadece demir ve karbon değil farklı alaşım elementleri de içermektedir. Demir, karbon ve alaşım elementleri birleştiğinde ise çelik elementi oluşur. Çelik elementinin yapısında bu kadar fazla elementi içermesi ve bu elementlerin hepsinin farklı kimyasal özelliklere sahip olması da çeliğin zengin bir iç yapısı olmasını sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda çeliğin yapısında belli oranlarda manganez (Mn), fosfor (P), kükürt (S) ve silisyum (Si), bakır (Cu) gibi elementleri içerdiği bilinmektedir. Bu elementlerin hepsi çeliğe yapısal anlamda aynı etkiyi sağlamamaktadır. Örneğin krom (Cr) çeliğin korozyona dayanımını ve çekme dayanımını artırır. Manganez (Mn) ve silisyum (Si) çeliğin dayanımını artırır, yüzey kalitesinin olumlu yönde artmasını sağlar. Bunun yanında fosfor gevrek davranış göstermesine, sünekliğin ve dayanımının azalmasına sebep olmaktadır. Yapısal olarak çelikte az bulunması tercih edilir. Dolayısıyla çelikte kullanılan ana element demir olduğu halde tek başına çeliği oluşturmak için yeterli değildir. Çünkü demir saf haldeyken yumuşak bir elementtir. İçerisine eklenen diğer elementler ve alaşımlarla birlikte yüksek dayanımlı bir malzemeye dönüşür.

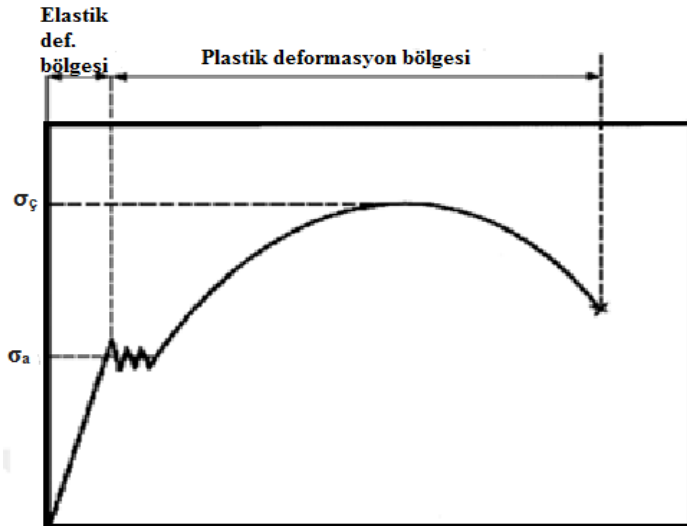
Sertlik, mukavemet, akma noktası, uzama, darbe direnci, elastisite, sıcaklığa dayanım, soğutma hızı, aşınma direnci, dövülebilirlik, işlenebilirlik, oksitlenme eğilimi, korozyon direnç gibi temel özellikler çeliğin sahip olması gereken özelliklerdir.

Yapısal çeliğin üretimi ise iki yöntem ile gerçekleşmektedir. Birinci yöntem demir (Fe), karbon (C) ve diğer alaşımların kullanılmasıyla elde edilen klasik çelik elde etme yöntemidir. Diğer yöntem ise hurdaların tekrar kullanıma kazandırılmasının sağlanmasıyla elde edilen çelik üretimidir. Bu iki yöntemle üretimi sağlanan çeliğin çeşitli yöntemler kullanılarak şekillendirilmesi sağlanmaktadır.

### 3.2.2 Çelik malzemesinin mekanik özellikleri

Çelik malzemesinin özellikleri içerisinde bulunan bileşimlerin çeşidine, oranına, maruz kaldıkları ısı durumlara göre farklılık göstermektedir. Çekme dayanımı, akma dayanımı uzama, büzülme, darbelere karşı dayanıklı olması, sertlik, elastisite modülü ve teğet modülü, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, süneklik, yorulma mukavemeti, çeliğin türlerine göre değişiklik göstermesine rağmen en önemli mekanik özellikleridir.

Çeliğin bazı mekanik özelliklerini aşağıdaki şekilde gösteren gerilme-şekil değiştirme grafiğinden de elde etmek mümkündür.



Şekil 3.13. Çelik malzemesinin Gerilme-şekil değiştirme grafiği (Atasaral,2009)

Aynı zamanda çelik haddeme, dövme ve presleme işlemleriyle gerekli sıcaklıklara eriştikten sonra kolaylıkla şekillendirilebilme özelliğine sahiptir. Yapısal olarak uygun çeliklerin ise soğukta şekillendirilmesi de mümkündür.

Çeliğe uygulanan bazı ısı işlemler sonucunda ise başta yüksek sıcaklıklara karşı dayanım kazanma ve bununla birlikte birçok özelliklere (mekanik, fiziksel, elektriksel) sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra yapılar deneysel çalışmaların sonucunda çeliğin elektrik iletkenliği, ısı iletkenlik ve ısı genleşme gibi özelliklere de sahip olduğu bilinmektedir (Bahadır, 1997).

### **3.2.3 Sıcak haddelenmiş ve soğuk şekillendirilmiş çelik arasındaki farklar**

Yapılan yüksek lisans deneysel çalışmasında soğukta şekillendirilmiş çeliklerden faydalanılmıştır. Mevcut literatürde bugüne kadar yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde bunun birçok sebebi bulunmaktadır. Sıcak haddelenme işlemine tabi tutulan çelikle soğukta şekillendirilmiş (hafif çelik) arasında yapısal özellikler anlamında farklılıklar bulunmaktadır.

Soğukta şekillendirilme yönteminden bahsedecek olursak bu yöntem malzemenin bir kalıp içerisine sıkıştırılması ve bu kalıbın şeklini almasının sağlandığı soğuk sıkıştırma ile sağlanan şekil verme yöntemidir. Metalin sahip olduğu plastik özellikleri sayesinde oda sıcaklığında şekillendirilmesi mümkün olmaktadır ve bu işlem işe metalin şeklinin, ölçüsünün ve boyutlarının değiştirilmesi sağlanmaktadır.

Çelik malzemenin soğukta şekillendirilmesiyle birlikte sağlanan avantajlı durumlar incelendiğinde başta şekillendirme işleminde malzemenin sahip olduğu plastik özellik sayesinde talaş vs. gibi atıklar olmadığı için malzemedan tasarruf sağlanır. Çelik malzemenin iç yapısında meydana gelen değişimler sayesinde malzeme sertlik ve dayanım kazanır. Aynı zamanda istenilen mukavemet hafif çelik sistemlerle de sağlanır buda az kullanıldığı için kaynaklardan büyük tasarruf edilmesini sağlarken maliyeti de düşürür. Soğukta şekillendirilen çelik malzemenin yüzey kalitesi oldukça iyidir. Bu özelliğinden ötürü yüzey düzgünlüğünün ön planda tutulduğu işlerde tercih edilmektedir.

Yine yapılan araştırmalar göstermektedir ki soğuk şekillendirilme işlemi uygulanan çeliklerin maksimum dayanım ve akma dayanımı değerlerinde de artma olmaktadır. Soğuk şekillendirme yönteminde meydana gelen tek olumsuz durum yapının dktilitesini azaltması dolayısıyla snekliliğinin de azalmasına sebep olmasındır. Fakat bu kayıpta malzeme hafif olduğundan ötürü kontrol edilebilir düzeydedir.

Süneklik kavramı hafif elik sistemler açısından önemli bir özelliktir. Yapının sünek davranış sergilemesi önemlidir çünkü bu özellik olası bir ani yükte gevrek kırılmanın önüne geçer ve yapıda kırılmadan şekil değiştirilmesini sağlar.

Yapısal davranış anlamında incelendiğinde hafif elik sistemleri sünek olarak kabul etmek mümkündür. elik sistemin sünekliliği çeliğin üretim standartlarına uygun olarak belirlenir. Süneklik lleri AISI standartlarında belirtilmiştir. Fakat sneklilikle ilgili genel bir kullanım, kabul ve standart bulunmamaktadır.

Hafif elik sistemlerde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biride korozyondan ve dış etkilerden yapının korunmasının sağlanmasıdır. Yapı itibariyle bu etkilerden uzak tutulmadığı takdirde hafif elik sistemin zarar görmesi ve istenilen performansı gösterememesi kaçınılmazdır. Bu anlamda hafif elik sistemleri dış etkilerden korumak için dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan bazı metotlar vardır. En çok tercih edilen yöntem ise çeliklerin galvanize edilmesidir. Çinko ile dışının kaplanması da tercih edilen bir diğer yöntemdir. Bu nlemler alındığı takdirde hafif elik sistemler istenilen hizmet ömrünü karşılayabilir. Olası bir yangın durumunda sıcaklık değerlerinde gözlenen ani artmalar da elik sistemlere oldukça zarar verebilecek bir durumdur. Çünkü diğer taşıyıcı sistemlerle kıyaslandığında elik sistemlerin yangın dayanımının diğer taşıyıcı sistemlere oranla daha düşük olduğu bilinmektedir. Bu sebeple alınan bu önlemler yapının yangına karşı da dayanımın artmasını sağlamaktadır (nc, 2010).

### 3.3 Hafif Çelik Sistemlerle Diğer Taşıyıcı Sistemlerin Kıyaslanması

Hafif çelik malzemesinin dayanımı yüksektir, hafiftir, diğer taşıyıcı sistemlere göre elektrik ve sıhhi tesisat montajı kolaydır, homojendir, yüksek duktiliteye sahiptir, çevresel faktörlerden gerekli önlemler alındığında etkilenmez, kolay montaj dolayısıyla işçilikten tasarruf, geçirimsizdir, ekonomiktir, sünektir, elastiklik modülü çok yüksektir bu özelliğiyle büyük açıklıkların kolaylıkla geçilmesini sağlamaktadır. Bu özellikleri ayrı başlıklar halinde incelendiğinde kullanımı diğer taşıyıcı yapı sistemlerine göre daha avantajlı durumlar oluşturmaktadır.

Deprem gibi büyük enerjilerin açığa çıktığı durumlarda yapının beklenen dayanım performansını göstermesi gerekmektedir. Yapıyı bu anlamda olumsuz etkileyen durumların başında ağırlık gelmektedir.

Yapının ölü yükü arttıkça olası kuvvetlere karşı direnmesi zorlaşacak dayanımı düşecektir. Bu açıdan değerlendirildiğinde hafif çelik sistemler yapının ölü yükünü azaltır çünkü diğer yapı sistemlerine göre cidar kalınlıkları ince olduğu için oldukça hafiftir. Dolayısıyla hafif sistemler depreme daha dayanıklı yapılar inşa edilmesini de sağlamaktadır. Aşağıdaki tabloda iki taşıyıcı sistemin ölü yükleri kıyaslanmıştır.

**Tablo 3.1** Taşıyıcı sistemlerin ölü yük kıyaslaması (Balcı,2003)

	<b>Hafif Çelik Taşıyıcı</b>	<b>Betonarme Taşıyıcı</b>
<b>Duvar Ağırlığı</b>	12kg/m <sup>2</sup>	280 kg/m <sup>2</sup>
<b>Döşeme Ağırlığı</b>	26 kg/m <sup>2</sup>	353 kg/m <sup>2</sup>
<b>200 m<sup>2</sup> İki katlı konut için taşıyıcı sistem ağırlığı</b>	19 ton	351 ton
<b>200 m<sup>2</sup> İki katlı konut için temel ağırlığı</b>	170 ton	190 ton

### **3.4 Plastik**

#### **3.4.1 Plastik malzemesinin genel tanımı**

Plastik doğada hazır halde bulunmayan, mevcut elementler belli müdahaleler ve işlemler uygulanarak elde edilen organik moleküller veya polimerlerden oluşan yapılardır. Plastiğin üretiminde genel olarak selüloz, kömür, doğal gaz gibi doğal ürünler hammadde olarak kullanıldığından dolayı plastiklerin elde edilmesi organik ürünlerin sayesinde gerçekleşmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda ise dünyada üretilen petrolün %4 gibi yüksek bir oranının plastik üretiminde tercih edildiği tespit edilmiştir (Pehlivan vd., 2004). ‘‘Plastik’’ kelimesini ise köken olarak dilimizde Yunanca’dan girmiştir. Bu kelime Yunanca’da döküm için elverişli, istenilen şekli almaya elverişli gibi anlamlara gelmektedir.

#### **3.4.2 Plastik malzemesinin mekanik özellikleri**

Plastik malzemesinin sahip olduğu mekanik ve yapısal özellikleri inceleyecek olursak öncelikle görünüş olarak sahip oldukları herhangi bir renk yoktur. Bu sebepten ötürü kullanılacak alana ve tercihe bağlı olarak gerekli katkılarla istenilen rengin elde edilmesi mümkündür. Plastik malzemenin birçok sektörde bu denli sıklıkla tercih edilmesinin en büyük sebebi ise hafif malzemeler olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe hafiflik terimi bir yapı için oldukça fazla önem arz etmektedir. Çünkü yapı ne kadar hafif olursa herhangi bir ani yüklenme de (deprem gibi) gösterebileceği dayanım ve dayanıklılık artmaktadır bunun yanında hafif olan yapıya daha az yük etki edecektir. Plastik malzemeye hafiflik özelliği katan yanı sıra ise yoğunluğunun az ( $0.8-2.5 \text{ g/cm}^3$ ) olmasıdır. Çekme dayanımı, elastiklik modülü, alevlenme, uzama değeri, hava ve onun gibi çevresel faktörlerden etkilenme, elektriksel iletkenlik, basma dayanımı, sürünme dayanımı, darbe dayanımı, eğme dayanımı, burulma dayanımı, özgül ağırlık ve sürtünme katsayısı gibi temel özellikleri ise plastik çeşitlerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Plastik türlerine göre değişkenlik gösterebilen bazı özelliklerin yanı sıra hepsi için geçerli ortak özellikleri de vardır. Bu temel özelliklerin başında elektriksel iletkenlik özelliği gelmektedir.

Plastiklerin polimerlerinin yapısının incelendiği çalışmalar göstermektedir ki zincirler birbirini kuvvetli bir şekilde etkiler bunun yanı sıra sert ve bükülmez olan bu zincirlerin elektrotları da serbest hareket edemediğinden oldukça düşük bir iletkenlik düzeyleri vardır. Bu özelliği ile inşaat sektöründe kullanım için oldukça uygundur.

Isısal açıdan ise ısı iletkenlikleri düşüktür. Yüksek sıcaklarda ısı malzemenin içinde yığılır dolayısıyla malzemenin yumuşamasına ve buna bağlı olarak deformasyona uğramasına sebep olur. Bu gibi olumsuz etkilerin görülmemesi için gerekli önlemler alınmadır aksi takdirde malzeme deformasyona uğrayacaktır. Dış etkilerden etkilenme ve yüksek ısılarda yanma gibi özellikleri de gerekli tedbirler alınmadığı takdirde olumsuz durumların oluşmasına sebebiyet verecektir. Bu özellikler tüm plastikler için ortaktır fakat bazı mekanik özellikler plastiğin türüne göre değiştirmektedir. Aşağıdaki bölümde plastik türleri incelenecektir ve bu özellikler detaylı bir şekilde anlatılacaktır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

### **3.4.3 Plastik çeşitleri**

Plastikleri çeşitleri bakımından üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlar termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir (Tayyar ve Üstün, 2009).

#### **3.4.3.1 Termoplastikler**

Termoplastikler yüksek ısı (yaklaşık 170 derece) ve belli basınç değerine ulaştıklarında eriyip akışkan bir hale gelir. Eriyip akışkan hale gelen termoplastik malzeme bu özelliğinden ötürü istediği gibi şekil alabilir. Isıtıldıklarında eriyen ve tercih edilen şekle girebilen bu malzemeler aynı şekilde soğutuldukları zaman da hızlıca soğuyup sertleşme özelliğine sahiptir. Aynı zamanda termoplastikler sünek davranış gösterirler (Soy, 2001).

Erimesi ve eridikten sonra akışkan haldeyken istenilen şekle girebilmesi plastiğin fiziksel değişimiyle ilgilidir, kimyasal yapısında ve özelliklerinde hiçbir değişiklik olmaz. Şekil vermede böyle kolaylıklar sağlaması yapı sektöründe ve diğer alanlarda sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır (Soy, 2001).



Birçok termoplastik vardır ve bu termoplastik malzemelerin özellikleri ve kullanım alanlarında farklılık göstermektedir. Örneğin;

Polietilen (PE) malzemesi yalıtkandır. Elektriği iletmez bu özelliği de onun sıklıkla elektrik kablolarında kullanılmasını sağlar. Piyasada bu ve bunun gibi sağladığı avantajlı durumlardan ötürü sıklıkla tercih edilmektedir. Kimyasallara karşı yüksek bir dayanım gösteren polietilenin nem emme özelliği de yok denilebilecek kadar azdır. İnşaat sektöründe de yaygın bir kullanım alanına sahip olan polietilenin bir kullanım şeklide plastik örtülerdir. Bu örtüler hem malzemelerin örtülerek korunmasını sağlar hem de kütleme işlemine maruz kalacak betonarme elemanların kaplanmasında kullanılır.

Polivinil klorür (PVC) malzemesi yapı sektöründe ve bununla ilişkili tüm sektörlerde yaygın olarak PVC yapımında tercih edilmektedir. Yapısal özellik bakımından sert PVC, yumuşak PVC ve hücreli PVC olmak üzere üç cins PVC vardır.

Elektrik yalıtkanlığı ve ses yalıtkanlığı oldukça iyi olan PVC'lerin bu özelliği avantajlı bir durum oluşturmasına rağmen kimyasallara karşı oldukça dayanıksız bir malzemedir. Türlerine göre kullanım alanları da değişen PVC genel olarak yapı sektöründe sıklıkla kullanılan boruların, su şişelerinin ve kablo izolasyonu sağlayan aparatların üretiminde kullanılmaktadır.

Polivinil asetat malzemesi genel olarak yapı sektöründe sıklıkla kullanılan sıvada hem hammadde olarak hem de astar işleminin sağlanmasında tercih edilir.

Politetraflor etilen (PTFE) malzemesi sıcaklığa sıcaklığa karşı oldukça dayanıklıdır bu özelliğinden ötürü kaplama işlemlerinde genellikle de mutfak ile ilgili ekipmanların kaplanmasında sıklıkla tercih edilmektedir.

Polistrin malzemesi de yapı sektöründe sıklıkla tercih edilen bir izolasyon malzemesidir. Bu malzemenin hafif olması ısı izolasyon işlemlerinde de rahatlıkla kullanılmasını sağlar.

Çünkü polistrin malzemesinin hafifliğinin yanı sıra ısı iletkenlik katsayısının düşük olması sebebiyle izolasyon işlemleri için oldukça uygun bir hal alır.

Yapının her kısmında izolasyon sağlamak için kullanıma uygundur. Bununla birlikte günlük yaşamı kolaylaştıran birçok alanda da polistrinden faydalanılmaktadır (Soy, 2001).

### **3.4.3.2 Termosetler**

Termoset malzemeler ısı altında fiziksel değişim gösterip talep ve tercih edilen şekle girebilirler. Fakat daha sonra sıcaklık altında yumuşayıp eski haline dönmezler. Termoplastik malzemeler sahip oldukları kovalent bağların sebebiyle eğilme, dönme gibi hareketleri kolay gerçekleştiremezler dolayısıyla genel olarak gevrek davranış gösterir. Termoset plastikleri termoplastik malzemelerden ayıran en önemli özellik şekil aldıktan sonra tekrar eritme işlemine tabi tutulamamasıdır (Soy, 2001). Yapılan araştırmalar sonucunda termoset malzemelerin gevrek ve kırılğan yapıda olmalarına rağmen termoplastik malzemelere göre daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Bilinen ve tercih edilen başlıca termoset plastik malzemeler; melamin formaldehid, poliester reçinesi, epoksi reçinesi (EP), poliüretan, alkidler, amino, fenolikler, polyesterdir. Bu termoset malzemelerin özellikleri ve kullanım alanları da farklılık göstermektedir. Örneğin;

Alkidler'in elektrik iletkenliği oldukça iyidir bu sebepten ötürü elektrik malzemelerinin üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Melamin ve ürenin kullanılmasıyla üretilen amino malzemesinin yanmaya karşı dayanımı oldukça iyidir, yükler altında dayanımı oldukça yüksek olan bu malzemeler hem yapı malzemelerinin üretiminde hem de diğer sektörlerde tercih edilmektedir. Fenolikler ise darbelere ve dıştan gelen yüklere karşı yüksek dayanım gösterirler. Bunun yanı sıra ısıya karşı gösterdikleri dayanım ve elektrik iletkenlikleri de oldukça iyidir. Elektrik parçaları ve bunun gibi işlemlerin geçerli olduğu sektörlerde tercih edilmektedir (Soy, 2001).

### 3.4.3.3 Elastomerler

Elastomerler oldukça esnek malzemelerdir. Elastik özellik gösteren bu malzemeler istenilen boylara kadar uzatılabilir ardından eski uzunluklarına geri dönebilme özelliklerine sahiptirler. Elastomerlerin sahip olduğu bu özellik yapılarında sahip oldukları çarpaz bağlar ve bu bağlardan ötürü oluşan çekim kuvvetidir.

Bu çekim kuvveti herhangi bir sebepten ötürü kaldırıldığında elastomer malzeme ilk uzunluğuna geri döner. Bu durum elastomerleri termoset ve termoplastik malzemelerden ayırır ve ayrıcalıklı bir değer katar.

### 3.4.4 Plastiklerin tanımlanmasında kullanılan kısaltmalar

Plastik malzemeleri yapılan deneysel çalışmalar sonucunda türlerine göre altı gruba ayırmak mümkündür. Bunlar düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), polistyrene (PS), polypropylene (PP), polyethylene tetrapythalate (PET veya PETE) ve polivinilklorür (PVC)'dür. Aşağıdaki tabloda bu polimerlerin kısaltmaları ve kullanım alanları gösterilmektedir.

**Tablo 3.2.** Mevcut polimerlerin adları ve bunların kullanım alanları (Sevencan,2007)

Kısaltma	Polimer ismi	Kullanımı
<b>PET, PETE</b>	Polietilen Tereftalat	Poliester fiberler, film, elyaf, köpük
<b>YYPE</b>	Yüksek yoğunluklu polietilen	Taşınabilir kaplar, şişeler
<b>PVC, V</b>	Polivinil klorür	Çit ve parmaklık malzemeleri
<b>DYPE</b>	Düşük yoğunluklu polietilen	Ambalaj, film, elektrik sanayi
<b>PP</b>	Polipropilen	Plastik şişe, elektrik sanayi
<b>PS</b>	Polistiren	Oyuncak, yalıtım malzemeleri
<b>DİĞER</b>	Akrilik, polikarbonat, naylon dahil diğer plastikler	

### 3.5 Plastiklerin Kullanım Alanları

#### 3.5.1 Plastiklerin özellikleri ve günlük yaşamda kullanım alanları

Plastik malzemelerin sahip olduğu birçok avantajlı özellik birçok sektörde sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır. Plastiklerin sağladığı en büyük kolaylık yoğunluklarının düşük olması sebebiyle hafif olmalarıdır. Elektriği iletmezler çok iyi birer yalıtkan olarak plastikler bu özellikleriyle elektrik yalıtımının sağlandığı birçok malzeme ve ekipmanın üretiminde kullanılmaktadır. Elektriği hiç iletmemelerinin yanı sıra ısı iletkenlikleri de oldukça düşüktür.

Sıcaklık uygulandığında esneyebilen ve yumuşama gösteren plastikler bu özellikleri sayesinde kolaylıkla şekillendirilebilirler. İstek ve talepler doğrultusunda kalıplandırılıp, şekillendirilebilen plastiklerin türlerine göre eriyip eski hallerine dönmeleri de mümkündür (termoplastik).

Kolaylıkla şekil verilebilme özelliği olan plastikler bu özelliğiyle tüm sektörlerde geniş bir kullanım potansiyeli yakalamıştır. Kimyasal maddeler karşısında (asit, baz, tuz) oldukça iyi dayanım gösterir.

Plastik malzemeler ekonomik açıdan da avantajlı durumlar oluşturur. Aynı zamanda nemden etkilenmezler dolayısıyla korozyona karşı da oldukça dirençlidirler. Uygun fiyatlarla kolaylıkla temin edilebilirler.

Çeşitli alanlarda kullanılıp daha sonradan kullanılamaz hale gelen atık plastikler geliştirilen yöntemler sayesinde değerlendirilip tekrar kullanıma olanak sağlamaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar günümüzde oldukça önem kazanmış dolayısıyla dönüşüm teknolojileri de aynı hızda gelişme göstermiştir.

Plastiklerin birçok alanda tercih edilmesi ve kullanımının oranının günden güne artması beraberinde plastik atık sorununu da getirmektedir. Gündelik yaşamımızı kolaylaştıran ve hemen hemen her sektörde yoğun bir şekilde kullanılan plastiklerin atık hale geldikten sonra da doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Gerekli önlemler alınmaz ve atık yönetimi yapılamazsa sektörel gelişmeler de fayda sağlayan bu malzemenin daha sonra doğa, ekolojik düzen ve çevre sağlığı açısından zarar verici boyutlara ulaşması kaçınılmazdır.

Plastik sektörünün hızla gelişen ve kullanımı günden güne yaygınlaşan bir sektör halini alması bu alanda birçok araştırmayı ve çalışmayı da beraberinde getirmiştir.

Yapılan bir araştırmanın sonucunda 1950'li yıllarda yaklaşık iki ton olarak başlayan plastik üretimi günümüzde yaklaşık 335 milyona ulaşmıştır.

Plastik kullanım ve üretim oranını ülkenin gelişmişlik düzeyi, sektörel faaliyetleri, ekonomik ve kültürel durumuna göre değişkenlik göstermektedir (PAGEV, 2016).

### **3.5.2 Plastiklerin inşaat sektöründe kullanımı**

Plastiklerin kullanım alanlarına göre dağılımı yapıldığında inşaat ve yapı sektöründe yaklaşık %22 gibi bir orana sahiptir. İnşaat sektörü açısından değerlendirildiğinde plastiklerin hafif olması, kolay montajlanabilmesi, işçilikte sağladığı kolaylıklar korozyondan etkilenmemesi, yapı elemanlarının birçoğunun hammaddesini oluşturması estetik, ekonomik ve emniyetli olması, dayanımının iyi olması gibi sebepler kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Yapı sektöründe plastiklerin kullanımına birçok örnek vermek mümkündür. Bunlardan başlıcaları plastik duvar panelleri, kaplamaları, kalıplar, korkuluk, elektrik ile ilgili ekipmanlar (fiş, priz, kablolar), plastik pencere, kapı ve diğer elemanlar, tesisat ve çatıda kullanılan ekipmanlardır.

İnşa edilen bir yapının hemen her aşamasında plastik bir malzemeye rastlamak mümkündür. Elektrik ile ilgili ekipmanlardan, tesisat ekipmanlarına kadar her alanda plastiklerden faydalanılmıştır.

Yapılacak olan yüksek lisans çalışmasında ise atık plastiklerin değerlendirilmesiyle birlikte inşaat sektöründe taşıyıcı elemanlarda kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmektedir.

Yüksek lisans kapsamında böyle bir çalışmanın yürütülmesindeki temel amaç ise dünyada ve ülkemizde kullanımı ve üretimi hızla artan plastiklerin atıklarının doğru değerlendirilmesi, kullanıma kazandırılmasıdır. Atık yönetimi doğru yapıldığında tüm sektörler büyük kazanımlar sağlayacaktır. Aynı zamanda ekolojik düzeni ve dengeyi koruma anlamında atık plastiklerin değerlendirilmesi büyük bir sorumluluktur. Bu bağlamda yapılacak olan yüksek lisans çalışmasında plastiklerin dönüşümü sağlanarak bu malzemenin yapının ana taşıyıcı elemanlarında kullanıma uygun olup olmadığı tespit edilmeye çalışılacaktır.

Atık oranının her geçen gün hızla artması geri dönüşüm çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Kavram olarak geri dönüşüm cam, kağıt, elektriksel atıklar, alüminyum, plastik ve türevleri atıklar, evsel atıklar, sanayi atıkları, inşaat atıkları, ve bunun gibi birçok atığın fiziksel yada kimyasal işlemlere maruz bırakılarak yeni bir hammaddeye dönüştürülmesi için uygulanan işlemlerin hepsine “geri dönüşüm” denilmektedir (Büyüksaatçi vd., 2008). Bu süreçte atıklar bir dizi işlemde geçirilerek yeniden kullanıma hazır hale getirilir.

Geri dönüşümü sağlanan atıklar ekolojik düzenin korunmasını sağlar enerji israfının önüne geçilmiş olur.

Bunun yanında tekrar kullanılabilen atıklar başka kaynaklara olan ihtiyaç durumunu giderdiği için doğal kaynaklarımızın kullanım oranı azalır. Bu anlamda büyük bir ekolojik problem giderilmiş olur çünkü bu kaynakların bilinçsizce kullanılması ve tüketilmesi göze alınması mümkün olmayan bir sorundur.

Örnek verecek olursak katık atıklardan biri olan kağıtların geri dönüşümü sağlandığında kağıt üretmek için yeniden ağaç kesilmesine gerek kalmayacak ve ormanlık alanların korunması sağlanacaktır.

Dolayısıyla doğal kaynakların ve doğanın tahribatının önüne geçilmiş olunacaktır. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki atık haline gelen bir ton kağıdın geri dönüşümü sağlandığında 17 ağaç kesilmeyecektir. Bunun yanı sıra karbondioksit ve oksijen dengesinin bozulmasının önüne geçilmiş olunacaktır (Yurtman ve Aydın, 2001).

Atıklar içerisinde büyük bir yer kaplayan ve gerekli tedbirler alınmadığı takdirde önemli sorunların oluşmasına sebebiyet verecek plastiklerinde geri dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. Çünkü plastikler doğada yok olmazlar sadece fiziksel yapılarında bir takım değişimler meydana gelir. Hem plastiklerin doğada yok olması bitki örtüsü ve canlı yaşamı için birçok olumsuz durumu da beraberinde getirecektir.

Plastiklerden günlük hayatta birçok alanda faydalanılmaktadır. Bu sebeple oluşan atıklarında büyük bir çoğunluğunda plastik ve plastik türevleri maddelere rastlanmaktadır. Oran olarak incelendiğinde ise PS, PP, PVC, PE ve PET'ler plastik atıkların %60'ını oluşturmaktadır (Çiçek, 2018).

Sürdürülebilir bir çevre ve doğal kaynakların tüketilmemesi için geri dönüşüm işlemleri gerekli ve çok önemli bir evredir. Geri dönüşüm çevresel faydaları, canlılara olan faydaları ve ekonomik faydaları ayrı ayrı değerlendirildiğinde çok büyük bir önem taşımaktadır.

Yapılacak olan yüksek lisans çalışmasında yukarıda anlatılan kazanımlar doğrultusunda atık petler kullanılacak bu malzemelerin geri dönüşümü sağlanarak inşaat yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenecektir. Plastik olarak atıkların içerisinde PET'lerin seçilmesinin en önemli sebebi günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmasıdır.

Kullanılan bu PET'lerin geri dönüşümünün sağlanması ile birlikte yukarıda bahsedilen birçok kazanım mümkün olabilecektir.

## 4.MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1 Materyal

#### 4.1.1 Atık plastik

Plastik doğada hazır halde bulunmayan, mevcut elementler belli müdahaleler ve işlemler uygulanarak elde edilen organik moleküller veya polimerlerden oluşan yapılardır. Plastiğin üretiminde genel olarak selüloz, kömür, doğal gaz gibi doğal ürünler hammadde olarak kullanıldığından dolayı plastiklerin elde edilmesi organik ürünlerin sayesinde gerçekleşmektedir.

Plastik malzemesinin sahip olduğu mekanik ve yapısal özellikleri inceleyecek olursak öncelikle görünüş olarak sahip oldukları herhangi bir renk yoktur. Bu sebepten ötürü kullanılacak alana ve tercihe bağlı olarak gerekli katkılarla istenilen rengin elde edilmesi mümkündür. Plastik malzemenin birçok sektörde bu denli sıklıkla tercih edilmesinin en büyük sebebi ise hafif malzemeler olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe hafiflik terimi bir yapı için oldukça fazla önem arz etmektedir. Çünkü yapı ne kadar hafif olursa herhangi bir ani yüklenme de (deprem gibi) gösterebileceği dayanım ve dayanıklılık artmaktadır. Bunun yanında hafif olan yapıya daha az yük etki edecektir. Plastik malzemeye hafiflik özelliği katan yanı sıra yoğunluğunun az olmasıdır. Çekme dayanımı, elastiklik modülü, alevlenme, uzama değeri, hava ve onun gibi çevresel faktörlerden etkilenme, elektriksel iletkenlik, basma dayanımı, sürünme dayanımı, darbe dayanımı, eğme dayanımı, burulma dayanımı, özgül ağırlık ve sürtünme katsayısı gibi temel özellikleri ise plastik çeşitlerine göre değişkenlik gösterebilmektedir.

Plastikleri çeşitleri bakımından üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlar termosetler termoplastikler ve elastomerlerdir.

Birbirine bağımlı veya bağımsız birçok sektörde plastiklerden faydalanılmaktadır. Plastiklerin kullanım alanlarına göre dağılımı yapıldığında inşaat ve yapı sektöründe yaklaşık %22 gibi bir orana sahiptir. Yapı sektöründe plastiklerin kullanımına birçok örnek vermek mümkündür.



Bunlardan başlıcaları plastik duvar panelleri, kaplamaları, kalıplar, korkuluk, elektrik ile ilgili ekipmanlar (fiş, priz, kablolar) plastik pencere, kapı ve diğer elemanlar, tesisat ve çatıda kullanılan ekipmanlardır.

İnşa edilen bir yapının hemen her aşamasında plastik bir malzemeye rastlamak mümkündür. Elektrik ile ilgili ekipmanlardan, tesisat ekipmanlarına kadar her alanda plastiklerden faydalanılmıştır.

Yapılmış olan yüksek lisans çalışmasında ise atık plastiklerin değerlendirilmesiyle birlikte inşaat sektöründe taşıyıcı elemanlarda kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmektedir.

Kullanıldıktan sonra sahip olduğu özellikleri kaybeden ve kullanım dışı kalan maddeler atık olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde endüstri, sanayi, teknoloji, sağlık, otomotiv, ulaşım, gıda gibi birçok alanda sağlanan gelişmeler beraberinde tüketim anlamında birçok malzemeyi de getirmektedir. Tüketilen ve daha sonra kullanım dışı kalan bu atık malzemelerin değerlendirilip olumlu özelliklerinden faydalanılması gerekmektedir. Bu ise ancak iyi bir atık yönetimi yapılmasının ardından geri dönüşüm işlemiyle mümkündür.

Geri dönüşüm ile atık olan ürünlerden fayda sağlanırken, ekolojik denge ve düzenin devamı açısından da büyük bir sorumluluk üstlenilmektedir. Yapılacak olan yüksek lisans çalışması bu hedeflerin doğrultusunda ilerlemiş ve atıkların değerlendirilmesinin yanı sıra bu malzemenin yapının taşıyıcı sistemlerinde kullanılabilirlik derecesinin incelenmesi hedeflenmektedir.

#### **4.1.2 Polipropilen**

Termoset plastikleri sınıflandırdığımızda polipropilen malzemesi sıklıkla kullanılan bir termoset plastik olarak karşımıza çıkmaktadır. Propilen dayanımı yüksek, yumuşak olmayan bir malzemedir. Yapılacak olan yüksek lisans çalışmasında polipropilen kullanılmıştır bunun temel amacı bu malzemenin sahip olduğu birçok avantajlı özelliğın olmasıdır.

Bu avantajlı özelliklerin başında yoğunluğunun az olması, kimyasal mukavemetinin, çekme mukavemetinin oldukça fazla olması, çevresel koşullara ve kimyasallara karşı gösterdiği mukavemet gibi birçok özellik gelmektedir. Bu malzemenin sahip olduğu avantajlı yönler yapıda olumlu özelliklerin oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Aşağıdaki tabloda yüksek lisans tez çalışmasında hafif çelikten üretilmiş I profillerin içerisine doldurulan ve sonrasında erime işlemine tabi tutulan polipropilen malzemesinin genel özelliklerini ve mekanik özelliklerini görmek mümkündür.

**Tablo 4.1** Polipropilenin genel özelliklerini ve mekanik özellikleri

<b>Genel Özellikleri</b>	<b>Birim</b>	<b>Test Metodu ISO</b>	<b>Değer</b>
<b>Özgül Ağırlık</b>	gr/cm <sup>3</sup>	1183	0,92
<b>Su Emme(Doymuş)</b>	%	62	0,1
<b>Mekanik özellikler</b>	<b>Birim</b>	<b>Test Metodu ISO</b>	<b>Değer</b>
<b>Çekme Dayanımı</b>	kg/cm <sup>2</sup>	527	300
<b>Elastik modül</b>	Mpa	527	1250
<b>Kopma uzaması</b>	%	527	>50
<b>Darbe dayanımı</b>	kJ/m <sup>2</sup>	180	7
<b>Sertlik</b>	Shore D	868	70
<b>Erime sıcaklığı</b>	°C		Min:130 Max:170



**Şekil 4.1.** Deneysel çalışmada kullanılan polipropilen malzemesi

### 4.1.3 Karbon fiber çubuk

Hafif çelik profil olarak imal edilen I profil içine gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgelerde eğilme davranışına faydalı olacağı yaklaşımı ile sürekli fiberler yerleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Karbon fiber çubuk

Aşağıdaki tabloda deneysel çalışmada bir nevi güçlendirme elemanı görevinde kullanılacak olan karbon fiber çubuğun teknik özellikleri verilmektedir.

**Tablo 4.2.** Karbon fiber çubuğa ait genel özellikler

<b>Karbon fiber çubuk genel özellikler</b>	
<b>Yoğunluk</b>	1,5 kg/lt
<b>Alevlenme Noktası</b>	180 °C
<b>Çekme mukavemeti</b>	>2800 mpa
<b>Elastiklik Modülü</b>	>165,000 mpa
<b>Kopmadaki Uzama</b>	%1,7

Söz konusu fiberlerin çapları hafif I profilin iç boşluğunun kesitteki değerinin altında kalacak şekilde seçilmiştir. Böylece profilin içi polimer eriyiği doldurulurken fiberin etrafı da eriyikle sarılabilmektedir.

Karbon fiber çubuklar sahip olduğu yüksek mukavemet değerleri, hafiflik, uygulama kolaylığı, korozyona karşı gösterdiği direnç ve bu riski en aza indirmesi gibi sahip olduğu birçok avantajlı yapısal özellik sebebiyle inşaat sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir.

#### 4.1.4 Cam fiber çubuk

Yapılmış olan yüksek lisans çalışmasında numunelerin iki tanesine de cam fiber çubuk güçlendirme elemanı olarak yerleştirilecektir. Yerleştirilen bu fiber çubuk numunelerde donatı olarak kullanılacaktır. Çubuğun boyu numunenin et kalınlığına uygun olması şartından ötürü karbon fiber çubuk gibi iki mm seçilmiştir. Her bir I profile başta ortada ve sonda olmak üzere üç adet cam fiber çubuk koyulmuştur. Aşağıdaki tabloda deneysel çalışmada donatı görevinde kullanılacak olan cam fiber çubuğun teknik özellikleri verilmektedir.

**Tablo 4.3.** Cam fiber çubuğa ait genel özellikler

<b>Cam fiber çubuk genel özellikler</b>	
<b>Yoğunluk</b>	2,1 kg/lt
<b>Alevlenme Noktası</b>	180 °C
<b>Çekme mukavemeti</b>	>1600 mpa



**Şekil 4.3.** Cam fiber çubuk

#### 4.1.5 Soğukta şekillendirilmiş I100 profiller ve profillerin gruplandırılması

Bu çalışma kapsamında tasarlanan hafif çelikten üretilmiş uzunluğu 1,5 m kalınlığı 1,2 mm hafif çelikten imal I profiller kullanılmıştır. Standart I100 profiller bu çalışma için üretilen hafif çelik I profiller için kalıp olarak kullanılmıştır. Böylece üretilen hafif çelik I profiller içi boş olarak tanzim edilmiş ve standart profillere yakın ölçülerde imal edilmiştir. Bu çalışmada bundan sonra bahsi geçen I100 profiller, bu çalışma için özel olarak tasarlanmış ve üretilmiş hafif çelik I profilleri ifade etmektedir.

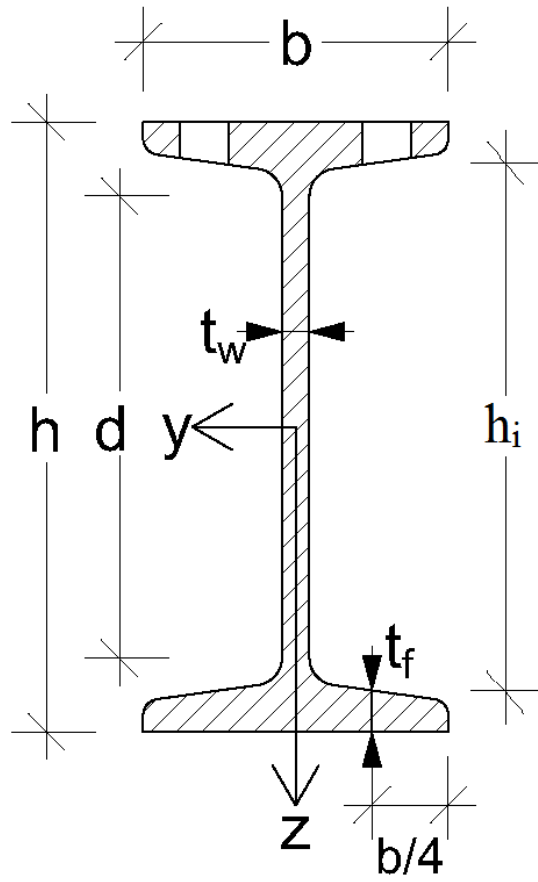


**Şekil 4.4.** Hafif çelikten imal edilen I100 profiller

Aşağıdaki tabloda deney için özel olarak imal edilen hafif çelik I profillerin kesit ölçüleri verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Hafif çelikten üretilmiş I profillerin kesit ölçüleri

Profil kesit özellikleri	W (kg/m)	h (mm)	h <sub>i</sub> (mm)	b (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)	d (mm)	l(cm)
I1 profili	3,432	100	80	50	7	10	78	150
I2 profili	4,362	100	80	50	7	10	78	150



**Şekil 4.5.** I profil kesiti



**Şekil 4.6.** I100 profiller ve bu profillerin içeriklerine göre gruplandırılması

I profillerden eş zamanlı ve eş boyutlu olarak toplamda 12 adet üretilmiştir. Bu profiller üç ana gruba ayrılmıştır. Birinci grupta içi boş (I1), sadece pp dolu (I2), pp ve karbon fiber dolu (I3) ve pp ve cam fiber dolu (I4) numune olmak üzere toplamda dört adet profil yer almaktadır. Bu numunelere eğilme deneyleri uygulanmıştır.



Aşağıda deneysel çalışmada kullanılan hafif çelikten üretilen I100 profiller kalıpları görülmektedir.

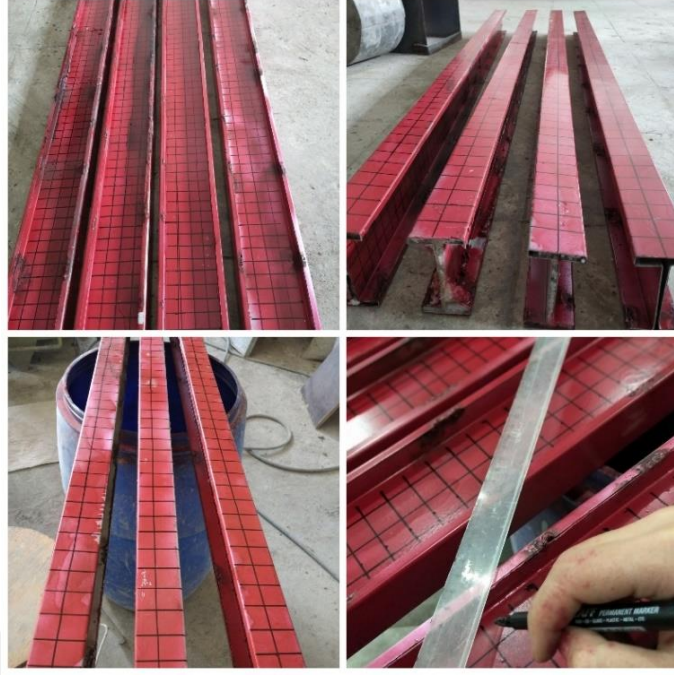
İkinci grupta ise içi boş (I5), sadece pp dolu (I6), pp ve karbon (I7), cam fiber dolu (I8) numune olmak üzere toplamda dört adet profil vardır ve bu profillere kesme deneyi uygulanmıştır.

Üçüncü grupta ise boş (I9) ve sadece pp (I10) içeren iki adet numune bulunmaktadır. Bu numunelere ise burulma deneyi uygulanmış ve sonuçlar veri toplama sistemi aracılığıyla kaydedilmiştir.

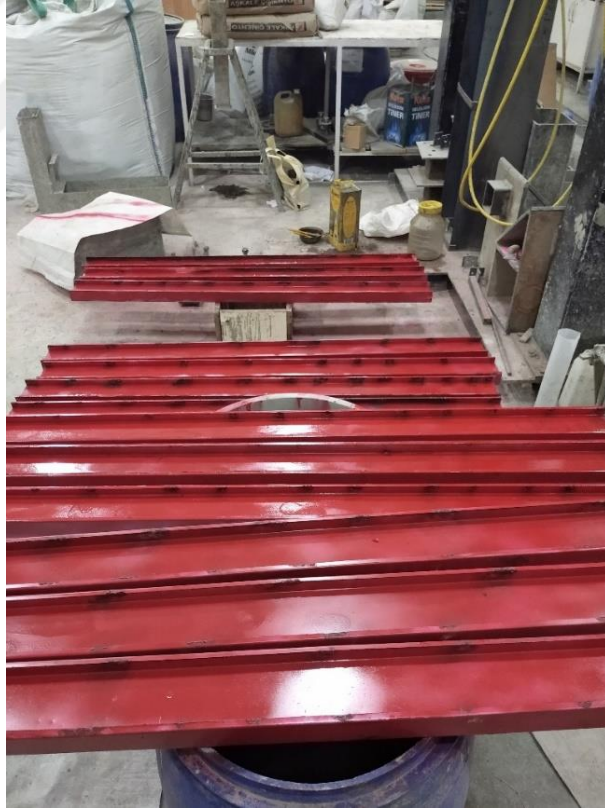
İçerisi gerekli malzemelerle doldurulan numuneler daha sonra eritme düzeneğine alınmaktadır. Eritme düzeneğinde içerisindeki pp eridikten sonra işlem sona ermektedir. Sırasıyla 10 numune içinde bu işlem aynı şekilde uygulanmaktadır. Kalıplar eritme işleminin ardından deney düzeneğine alınmadan önce boyanmış ve profillerin üzeri deney sonrasında deformasyon olan bölgeleri daha doğru tespit edebilmek için iki cm'lik karelere bölünmüştür.



**Şekil 4.7.** I100 profil numunelerinin boyanması



**Şekil 4.8.** I100 profillerin eşit karelere bölünmesi



**Şekil 4.9.** I100 profillerinin son hali

## 4.2 Yöntem

### 4.2.1 İnce öğütülmüş atık ve polipropilen eritme düzeneği

Yapılan deneysel çalışma kapsamında hafif çelikten üretilmiş I profiller eritme düzeneği olarak adlandırılan cihazına alınmıştır. Eritme cihazının ısı etrafında bulunan rezistanslı sistemle sağlanmaktadır. Rezistanslı bu sistem kalıbın her noktadan ısınmasını ve içindeki malzemenin kolaylıkla erimesini sağlamaktadır. Erime işlemi gerçekleşen kalıplar sisteme yerleştirilir ve sistem çalıştırılır. İnce öğütülmüş atık ve polipropilen kısa süre sonra ısı etkisi altında (yaklaşık 200 derece) erimeye başlar. Bu cihaz kalıpların yerleştirilmesi ve malzeme aktarımının kolay olması için kalıpların boyuna uygun olarak tasarlanmıştır.

Eritme düzeneği deneysel çalışma için özel olarak tasarlanmış olup özgün bir deney düzeneğidir. Aşağıdaki şekilde deneysel çalışma için tasarlanan bu cihaz gösterilmektedir.



**Şekil 4.10.** Polimer Eritme Düzeneği

İlk aşamada sistem kontrol edilir hafif çelik profiller sisteme yerleştirilir ardından deney düzeneği çalıştırılır. Sistem kısa bir süre içerisinde ısınmaya başlar ve kalıp içerisindeki malzeme erir. Malzeme eridikçe aşağıya doğru kayar üstten bir aparat yardımıyla sıkıştırılır ve boş kalan noktalara tekrar malzeme ilave edilir. Ardından sistem kapatılır ve soğuması beklenir. Erime işlemi tamamlanan ve dolan hafif çelik profiller dışarı çıkarılır.



**Şekil 4.11.** Deney düzeneğinin çalıştırılması ve I100 profillerin sisteme yerleştirilmesi

Sistemde ilave olarak ısı kaybını en minimum seviyede tutmak ve tüm ısıyı iç kısımda rezistansla kalıp arasında muhafaza etmek için sistemin etrafı taş yünü ile kaplanmıştır.

#### **4.2.2 Dört Noktalı eğilme deneyi**

Bu çalışmada deney numunelerine dört noktalı eğilme deneyi, kesme için çıkmalı kiriş ve burulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Dört noktalı eğilme deneyinde iki mesnetin üzerinde duran I100 numunelerine düşeyde profilin üçte birlik mesafelerinden iki eş kuvvet hidrolik pompa yardımıyla uygulanmıştır. Aşağıdaki şekilde yük uygulayacak olan hidrolik pompa, piston ve yükleme hücreleri gösterilmiştir.





Şekil 4.12 Hidrolik pompa, piston ve yükleme hücreleri

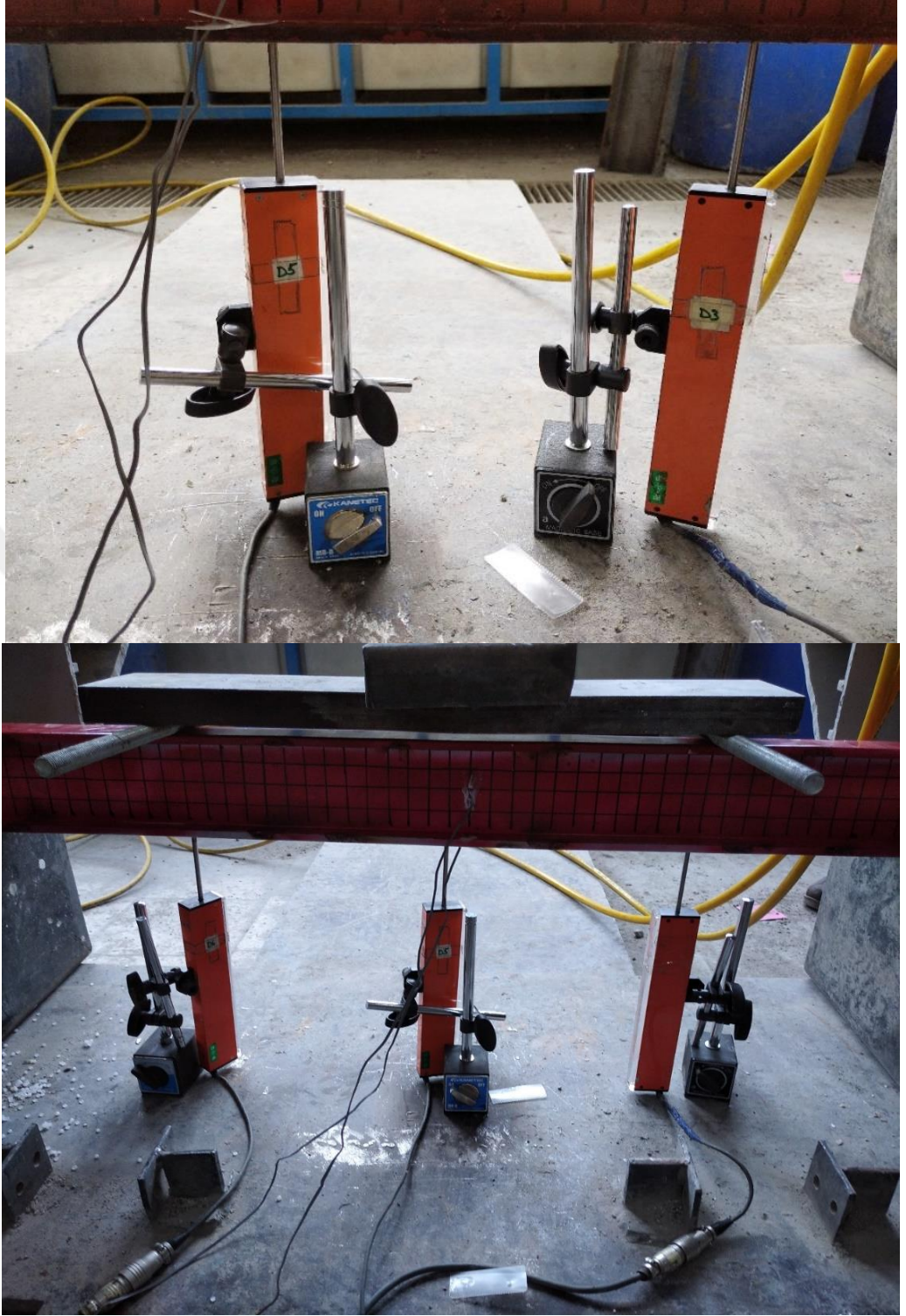
Aşağıdaki şekilde etkiyen yük ve bu yükü iki noktaya dağıtan plakalar görülmektedir.



**Şekil 4.13.** Yükleme hücresi ve yükü iki noktaya dağıtan plaka

Daha sonra numunenin üç noktasına da LVDT yerleştirilmektedir ve bu noktalardaki yer değiştirmeler ölçülmektedir. LVDT'lerin yerleştirildiği noktalar yükün uygulandığı noktalara göre (50 cm ve 100 cm) ve orta nokta (75 cm) belirlenmiştir.





Şekil 4.14. LVDT'lerin eğilme düzeneğine yerleştirilmesi



Numunelere orta noktadan bağlanan strain gaugeler de uygulanan yük sonrası şekil değiştirmelerin ölçülmesi hedeflenmiştir. Strain gaugeler orta noktadan bağlanmıştır. Böylece maksimum şekil değiştirme orta noktada kaydedilmiştir.



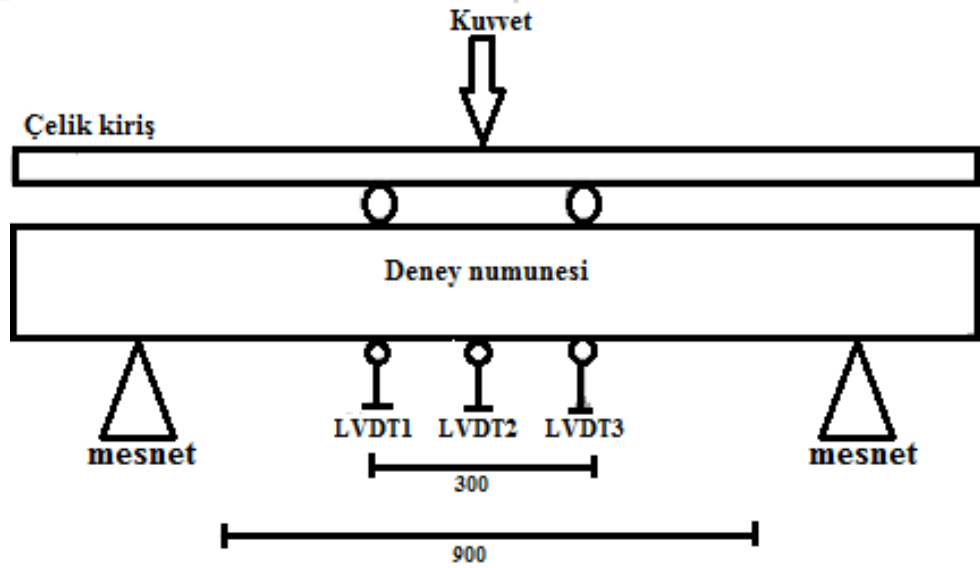
Şekil 4.15. Strain gaugelerin deney numunesine yerleştirilmesi

Toplanan veriler dahilinde de üç nokta içinde yük deplasman grafikleri çizilmiş ve sonuçlar gözlemlenmiştir.

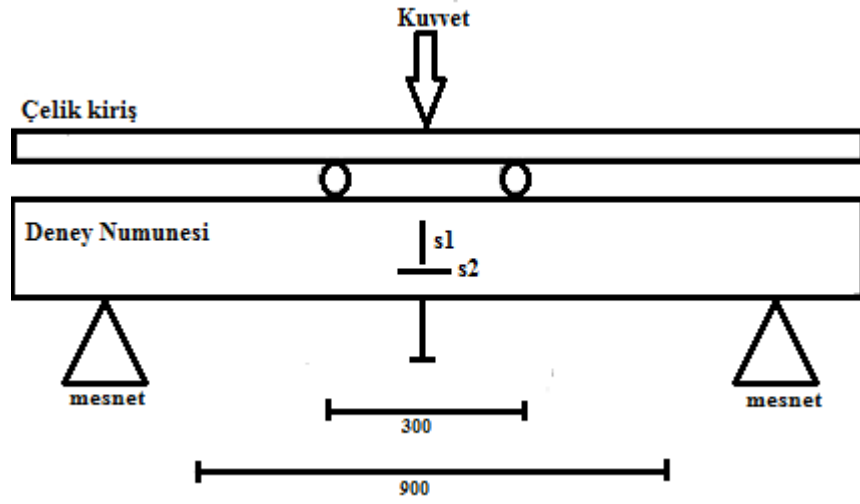
Bu deneyin sonucunda malzemenin eğilme davranışı incelenecektir. Aşağıdaki şekillerde dört noktalı eğilme düzeneği görülmektedir.



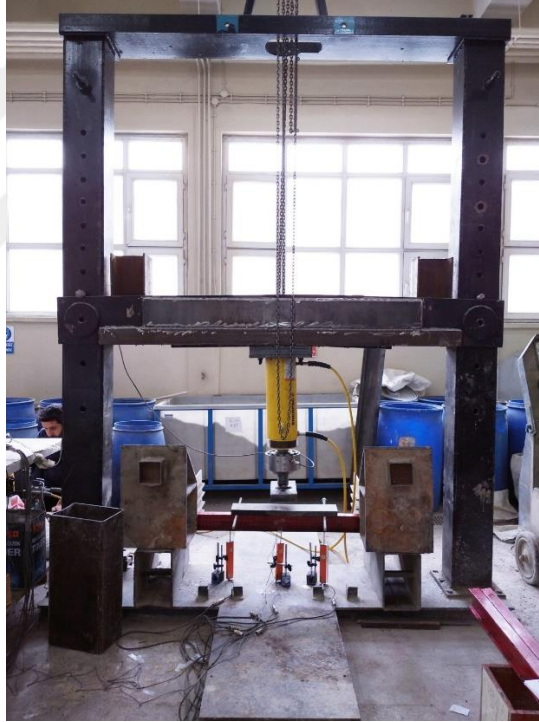
Şekil 4.16. Dört Noktalı eğilme deney düzeneği



Şekil 4.17. Dört noktalı eğilme deney düzeneği LVDT yerleşimi



Şekil 4.18. Dört noktalı eğilme deney düzeneği strain gauge yerleşimi



Şekil 4.19. Dört noktalı eğilme deney düzeneği

Dört noktalı eğilme deneyi sırasıyla boş I100 (I1), sadece pp (I2), pp ve karbon fiber çubuk (I3) ve pp ve cam fiber çubuk (I4) içeren numunelere uygulanmış, deney sonuçları kaydedilmiştir.

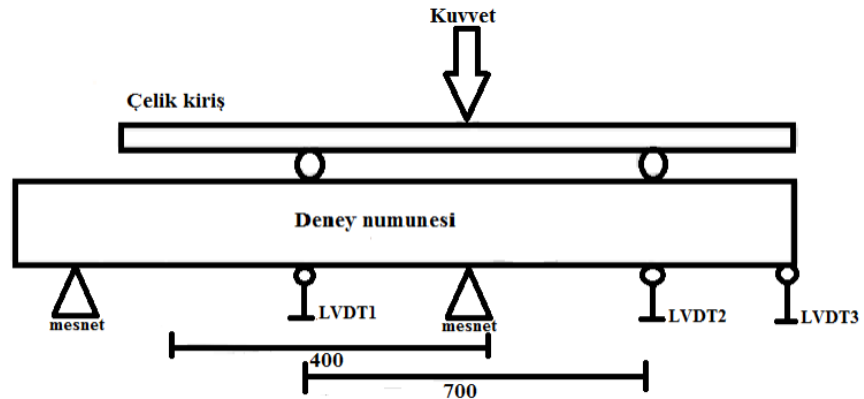
### 4.2.3 Kesme deneyi

Yapılan çalışmada sırasıyla boş I100 deney numunesi, sadece pp içeren I100 deney numunesi, pp ve karbon fiber çubuk içeren I100 deney numunesi, pp ve cam fiber çubuk içeren I100 deney numunesi olmak üzere toplamda dört adet numuneye kesme deneyi uygulanmıştır. Kesme deneyinde eğilme deneyinden farklı olarak bir köşedeki hareketli mesnet kaldırılmıştır. Sadece bir ucunda sabit mesnet bulunmaktadır.

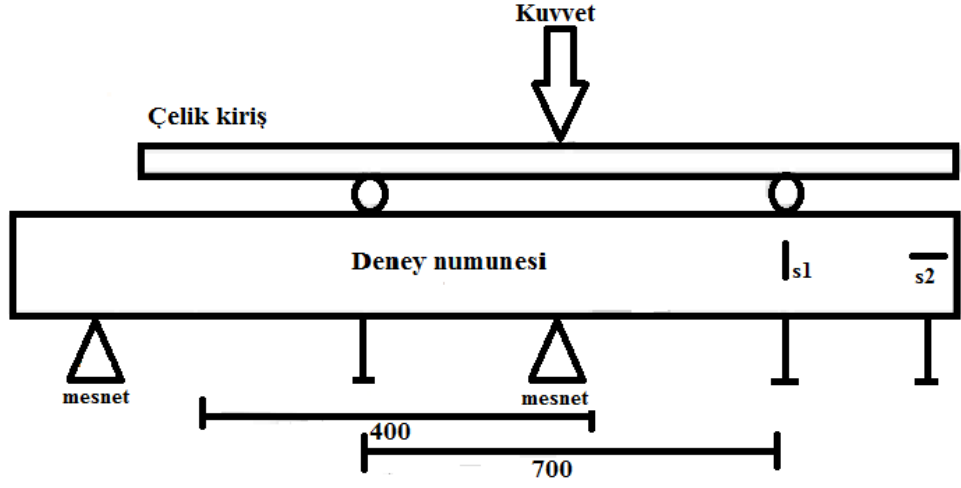
Kalıplar standart biçimde düzeneğin üzerinde yerleştirildikten sonra L/3 noktalarına LVDT'ler konumlandırılmıştır. Sırasıyla LVDT'ler 50cm (L/3), 100 cm (l/3) ve mesnet olmayan noktanın en köşesine yerleştirilmiştir. LVDT'lerden alınan veriler, veri toplama cihazı sayesinde kaydedilmiş ve sonucunda yer değiştirme değerleri tespit edilmiştir. Bu veriler yük-deplasman grafiği çizilirken kullanılmıştır.

Daha sonra deney numunesine yerleştirilen strain gaugeler de şekil değiştirme değerleri hakkında gerekli verilerin toplanmasını sağlamıştır.

Numunelere gelen P yükü ise yine eğilme deneyinde olduğu gibi 50 cm ve 100 cm noktalarına yerleştirilen iki adet aparat ve üstüne yerleştirilen bir plaka sayesinde P/2 P/2 olacak şekilde iki taraftan etki ettirilmesi sağlanmıştır. Burada temel fark mesnetlendirme çıkmalı kiriş olacak şekilde tanzim edilmesi ile sağlanmıştır.



Şekil 4.20. Kesme deney düzeneği LVDT yerleşimi



Şekil 4.21. Kesme deney düzeneği strain gauge yerleşimi



Şekil 4.22. Kesme deney düzeneği

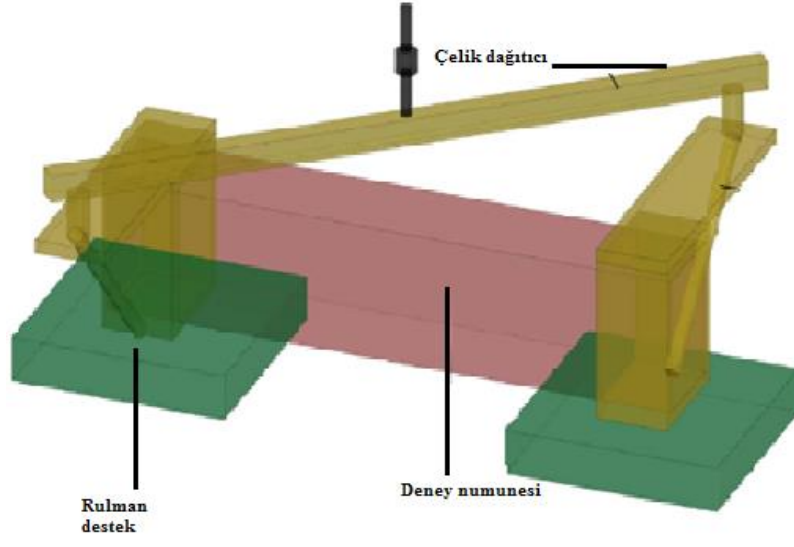


#### 4.2.4 Burulma deneyi

Bu çalışmada içi boş I100 profil ve içinde sadece polipropilen olan numuneler üzerinde burulma deneyi uygulanmıştır. Deney numuneleri şekildeki burulma düzeneğine yerleştirilmiş ve numunenin üzerindeki rijit kiriş yardımı ile numunenin iki ucundan burulması sağlanmıştır. Burulma sonrasında ki yer değiştirme değerini ölçmek için deney numunesinin belirlenen üç noktasına (50 cm, 75 cm, 100 cm) LVDT'ler yerleştirilmiştir. Şekil değiştirmeleri ölçmek için ise strain gaugeler numunelerin belli noktalarına yerleştirilmiştir.



Şekil 4.23. Burulma deney düzeneği



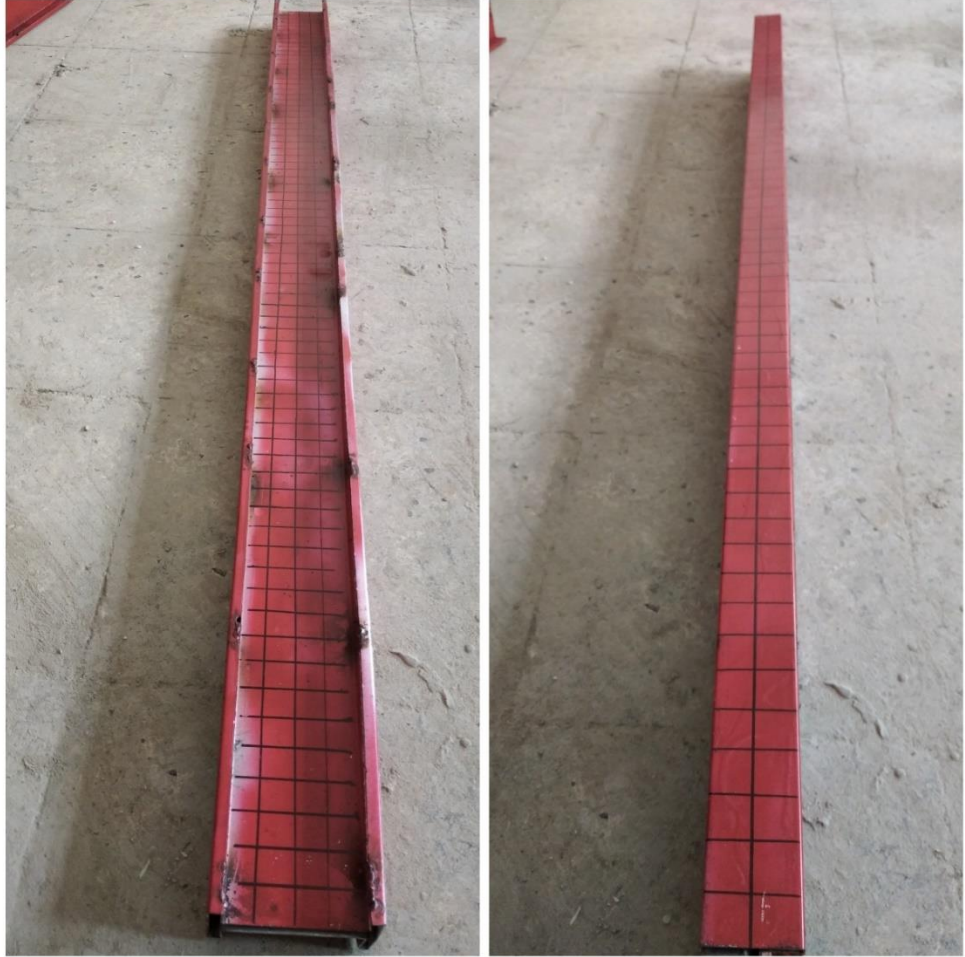
Şekil 4.24. Burulma deney düzeneği çizimi

## 5.ARAŞTIRMA BULGULARI

### 5.1 Dört Noktalı Eğilme Deneyi Uygulaması ve Sonuçları

#### 5.1.1 I1 profilinin dört noktalı eğilme davranışı

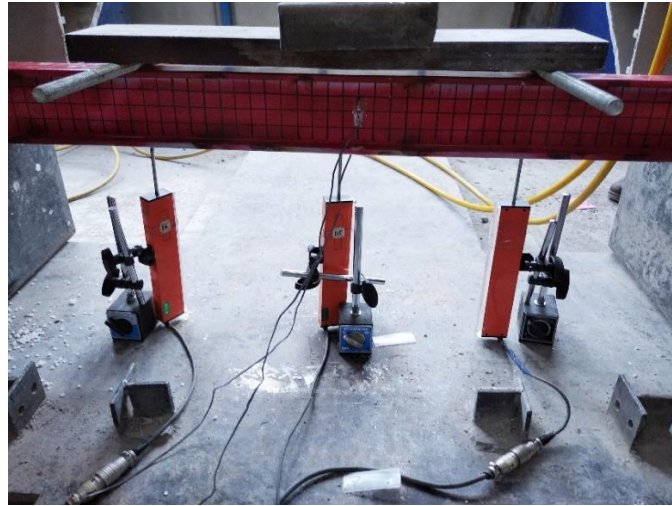
Dört noktalı eğilme deneyi ilk olarak içi boş (I1) malzemesiz olan I100 profillere uygulanmıştır. Bunun temel sebebi numunenin tek başına davranışını gözlemlemek ve diğer numunelerle deney sonuçlarını kıyaslamak için bir model oluşturmaktır. Aşağıdaki şekilde içi boş numunelerin deneyden önceki hali görülmektedir.



Şekil 5.1. I1 profili



I100 numuneler dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmak üzere deney düzeneğine yerleştirilmiştir. LFRD ve strain gaugeler de düzende belirlenen kısımlara yerleştirilmiştir.



Şekil 5.2. I1 profilinin deney düzeneğine yerleştirilmesi

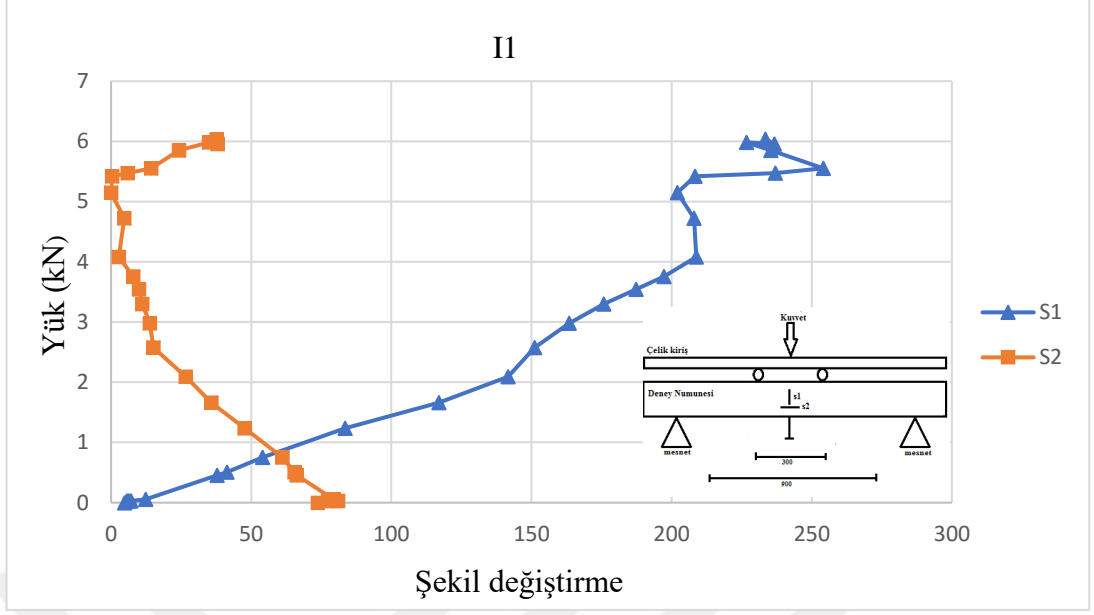
Deney numunesine uygulanan bir tonluk kuvvet alt kısmındaki plaka aracılığıyla iki yana iletilmiş ve iletilen noktalardan numuneye etki ettirilmiştir. Yaklaşık iki dakika süren yükleme işleminin sonrasında numunelerde gözle görülür deformasyonlar oluşmuştur. Aşağıdaki şekilde numunelerin yükleme sonrasında ki halleri görülmüştür.



**Şekil 5.3.** Dört noktalı eğilme deneyi sonrasında I1 profilinin son hali



**Şekil 5.4.** I1 profilinde meydana gelen deformasyon

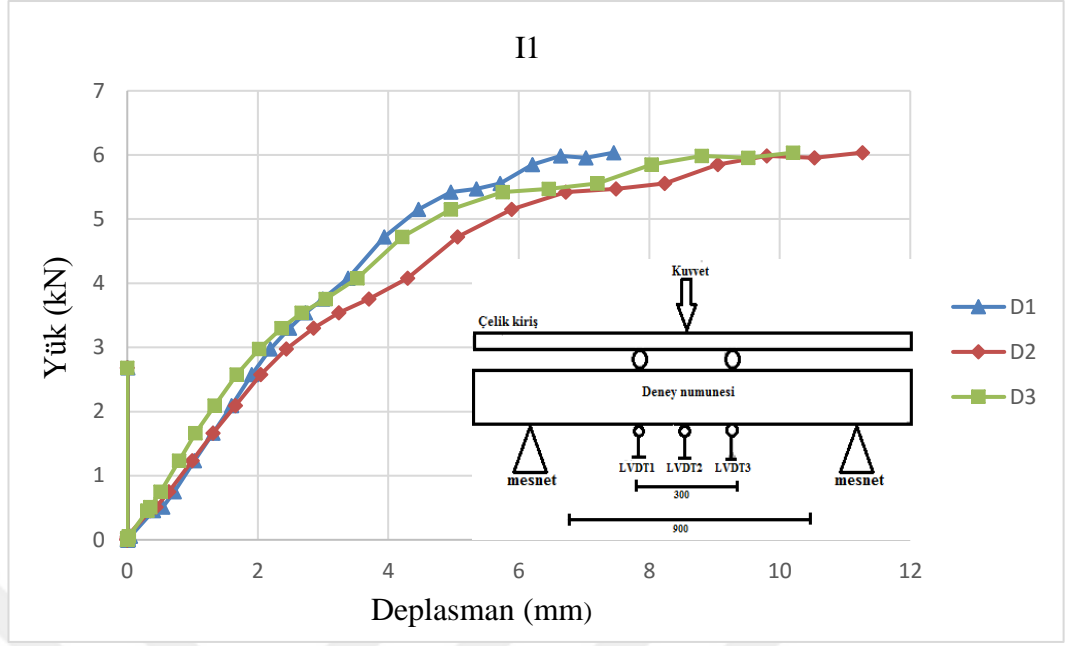


Şekil 5.5. II profilinin yük-şekil değişirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S1(düşey) şekil değişirme 4 kN'a kadar doğrusal bir artış göstermiş 4 kN'dan sonra ise doğrusal olmayan bir davranış sergilemiştir. Dikey şekil değişirme artan yüklemeye birlikte artma göstermiştir. 4 kN ile 6 kN'luk yüklemeye arasında yüklemeye artmasına rağmen dikey şekil değişirme sabit kalmıştır. Yüklemeye başladıktan sonra yaklaşık 1 kN noktasında şekil değişirme dikeyde de yatayda da aynıdır. Fakat sonrasında yüklemenin artmasıyla birlikte şekil değişirme de her noktada farklılık göstermektedir.

Strain gaugeler yatay ve düşey olmak üzere orta noktaya ( $x=75\text{cm}$ ) yerleştirilmiştir.





Şekil 5.6. I1 profilinin yük- deplasman grafiği

Yukarıdaki şekilde gösterilen LVDT-1 (D1) profilin 50cm noktasına, LVDT-2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT-3 (D3) profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir.

D1, D2 ve D3 noktalarında maksimum yükleme noktasına (6 kN) kadar artan bir hızla deplasman artışı görülmektedir. D1 noktasında maksimum değerinde yaklaşık 7 mm, D2 noktasında maksimum yüklemeye yaklaşık 11 mm, D3 noktasında maksimum yüklemeye yaklaşık 10 mm yer değiştirme meydana gelmiştir. Maksimum yer değiştirme beklendiği gibi orta noktada (75cm) yerleştirilen LVDT'de 11 cm olarak meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.6'ya göre hesaplandığında enerji yutma kapasitesi değerlerinin bölgelere göre ( $x=50$ ,  $x=75$ ,  $x=100$ ) nasıl değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Numuneler arasında kıyaslama yapılırken referans olarak alınan numune boş I profilidir. Referans numunede yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanların ortalaması 177,66 olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji yutma kapasitesi 216 kN.mm olarak elde edilmiştir.

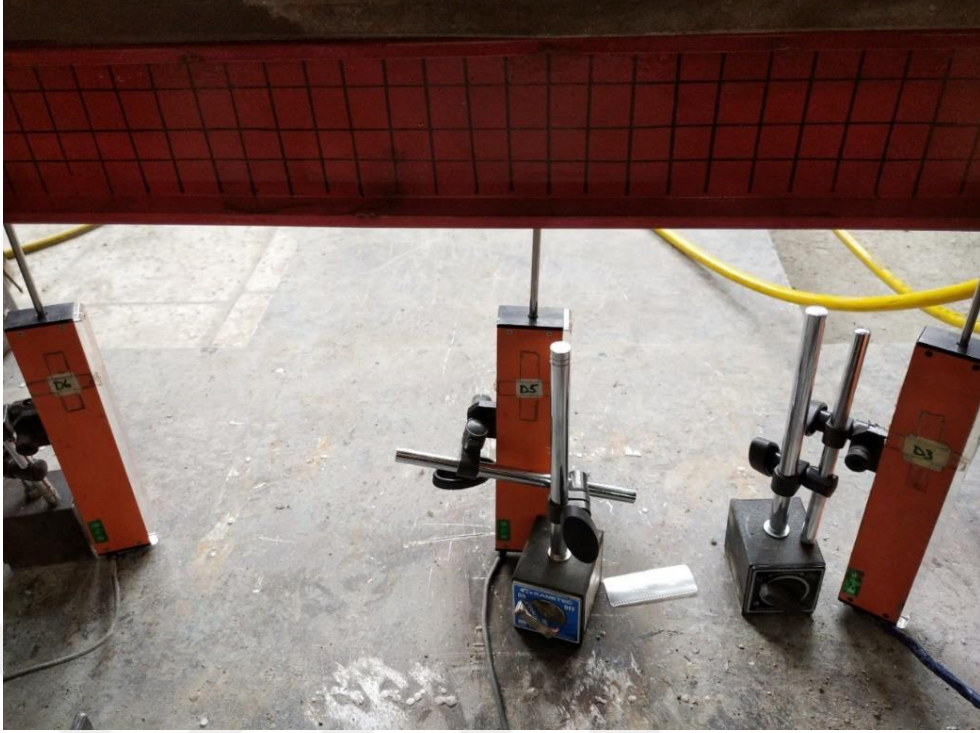
Maksimum enerji yutma kapasitesinin maksimum momentin olduğu orta noktada meydana geleceği öngöröldüğünden D1 (x=50) ve D3 (x=100) noktasındaki LVTD'ler bir nevi kontrol amaçlı yerleştirilmiştir. Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. şekil 5.6'ya göre maksimum yük 6 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değerisi 7 mm'dir.

Yük deplasman grafiğinde maksimum yükün (6 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. şekil 5.6'ya göre göçme noktası 5.1 kN'dur.

### **5.1.2 I2 profilinin dört noktalı eğilme davranışı**

Dört noktalı eğilme deneyindeki işlemler dört numune için de aynı şekilde uygulanmıştır. Öncelikle numune sisteme yerleştirilmektedir. 50 cm ve 100 cm noktalarından yükleme yapılacak şekilde gerekli aparatların yerleştirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu aparatların üzerine yükü iki eşit noktada dağıtacak olan rijit kiriş konumlandırılmıştır. Sırasıyla önce belli ölçümler dahilinde sisteme yerleştirilen numunelerin yük uygulanacak noktalarına LVDT'ler bağlanmıştır (şekil 5.7). Strain gauglerde numunenin üzerine yapıştırıldıktan sonra sistem çalıştırılmaktadır ve gerekli veriler veri ölçüm cihazı sayesinde toplanmıştır.

Aşağıdaki şekilde sadece polipropilen içeren I100 profili (I2) deneyden önceki hali ve üzerine yük yüklendikten sonraki deformasyona uğramış hali görölmektedir.

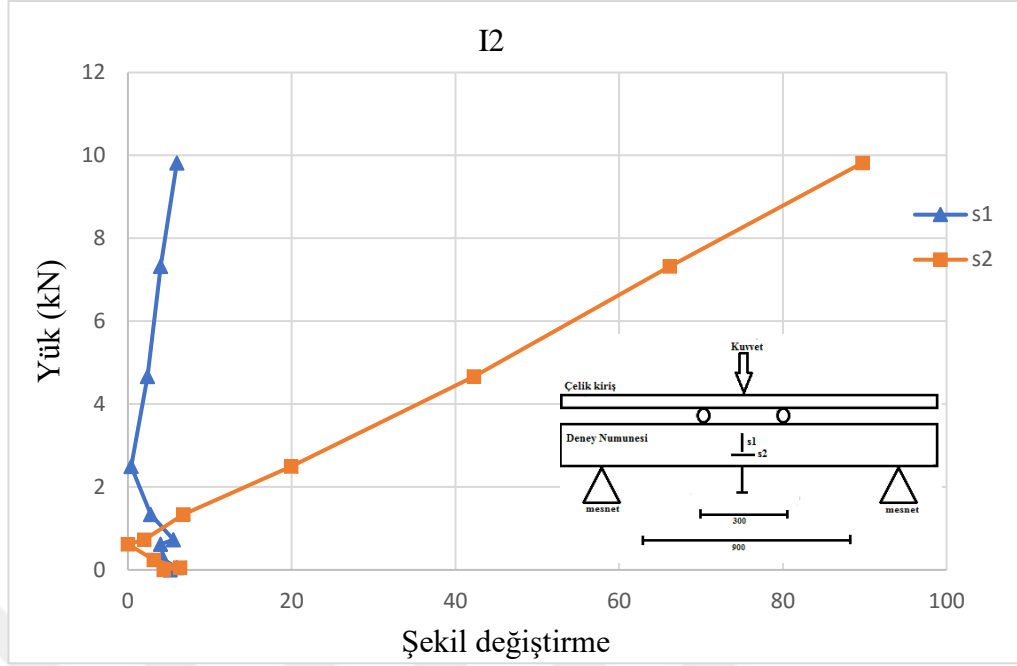


**Şekil 5.7.** I2 profiline LVDT'lerin yerleştirilmesi.



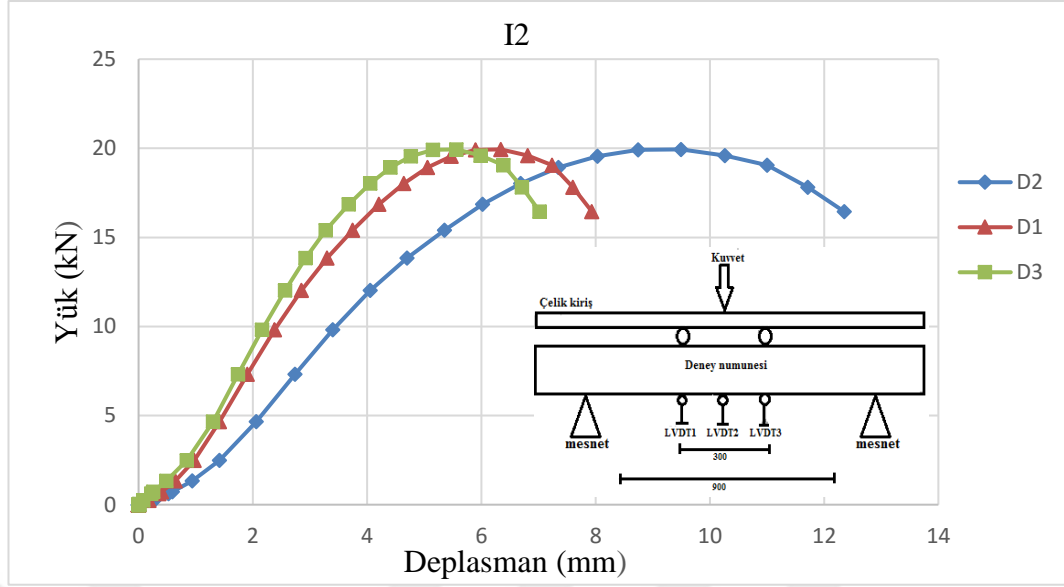
Şekil 5.8. I2 profilinin dört noktalı eğilme deneyi öncesi ve sonrası





**Şekil 5.9.** I2 profili yük-şekil değişime

Yüklemeye başladıktan sonra S1(düşey) şekil değişime 2 kN'a kadar azalmış sonrasında ise artan yükle birlikte şekil değişime de artan bir davranış sergilemiştir. S2 yatay şekil değişime artan yüklemeye maksimum yüklemeye kadar doğrusal artış göstermiştir. Düşey şekil değişime de maksimum şekil değişime düşey ve yatayda da 12 kN'da meydana gelmiştir. Yüklemeye başladıktan sonra yaklaşık 1 kN noktasında şekil değişime düşeyde de yatayda da birbirine çok yakındır. Fakat sonrasında yüklemenin artmasıyla birlikte şekil değişime de her noktada farklılık göstermektedir. Maksimum yük değerine kadar düşey ve yatay şekil değişime kıyaslandığında yatay şekil değiştirmenin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler yatay ve düşey olmak üzere orta noktaya (x=75cm) yerleştirilmiştir.



Şekil 5.10. I2 profilinin yük- deplasman grafiği

Yukarıdaki tabloda gösterilen LVDT 1 profilin 50 cm noktasına, LVDT 2 profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT 3 profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir dolayısıyla yük aktarımının P/3 noktalarından gerçekleştiği için yerleşim bu şekilde yapılmıştır.

D1, D2 ve D3 noktalarında maksimum yükleme noktasına (20 kN) kadar doğrusal bir şekilde artmıştır. D1 ( $x=50\text{cm}$ ) noktasında maksimum yüklemede yaklaşık 6 mm, D2 ( $x=75\text{cm}$ ) noktasında maksimum yüklemede yaklaşık 9 mm, D3 ( $x=100\text{cm}$ ) noktasında maksimum yüklemede yaklaşık 6 mm yer değiştirme meydana gelmiştir. Maksimum yer değiştirme orta noktaya (75cm) yerleştirilen LVDT'lerde 9 cm olarak meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.10'ya göre hesaplandığında enerji yutma kapasitesi değerlerinin bölgelere göre ( $x=50$ ,  $x=75$ ,  $x=100$ ) nasıl değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Sadece polipropilen eriyiği ile doldurulan numunede yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanların ortalaması 373,6 olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji yutma kapasitesi 430,90 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Maksimum enerji yutma kapasitesinin maksimum momentin olduğu orta noktada meydana geleceği öngörüldüğünden D1 ( $x=50$ ) ve D3 ( $x=100$ ) noktasındaki LVDT'ler

bir nevi kontrol amaçlı yerleştirilmiştir. Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Şekil 5.10'ya göre maksimum yük 20 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 9 mm'dir.

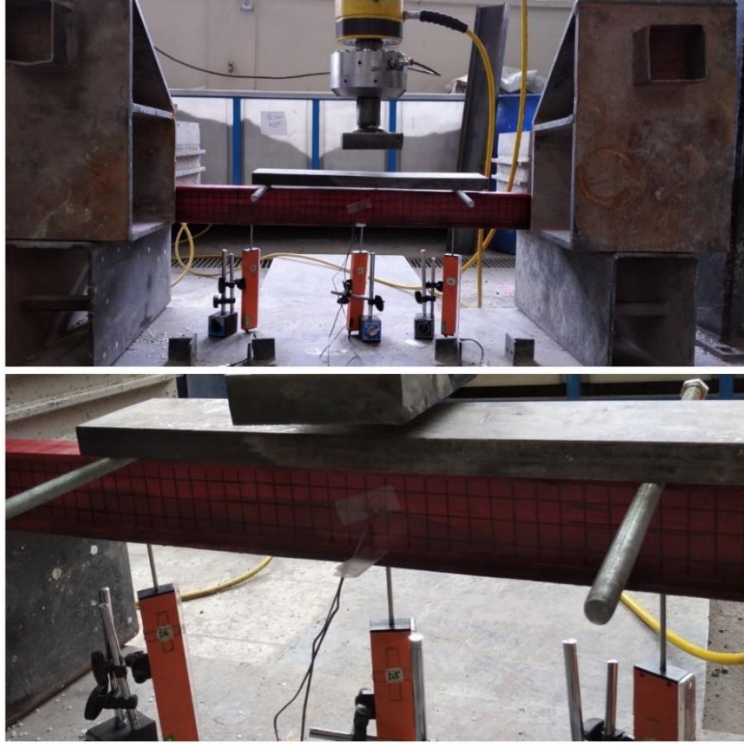
Yük deplasman grafiğinin de maksimum yükün (20 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. Şekil 5.10'a göre göçme noktası 17 kN'dur.

### 5.1.3 I3 profilin dört noktalı eğilme deneyi

İçerisinde hiçbir katkı bulunmayan boş profillerde ve sadece polipropilen içeren profillerde uygulanan yükleme işlemleri, yer değiştirme ve şekil değiştirme ölçüm işlemleri içerisinde pp ve karbon fiber çubuk olan numunede de aynı sırayla gerçekleştirilmiştir. I profillere başta sonda ve ortada olmak üzere üç adet çubuk yerleştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde numunelere karbon fiber çubukların yerleştirilmesi gösterilmektedir. Fiber çubuklar gövde ve başlıkların birleşim bölgesi ile gövdenin ortasına yerleştirilmiştir.



Şekil 5.11. I3 profiline karbon fiber çubukların yerleştirilmesi



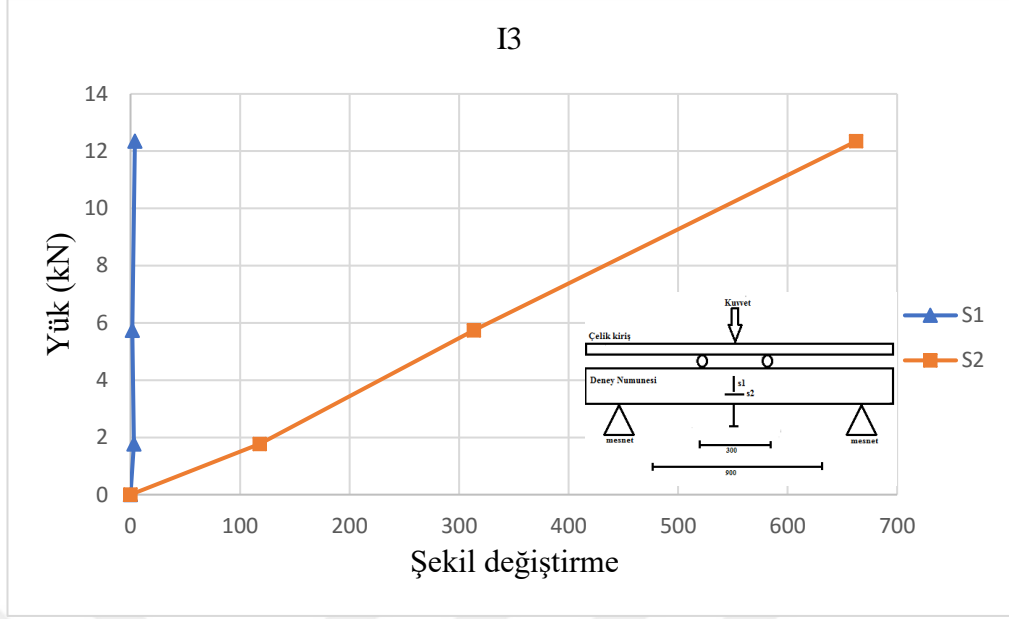
Şekil 5.12. I3 profilinin sisteme yerleştirilmesi



Şekil 5.13. I3 profiline uygulanan dört noktalı eğilme deneyi



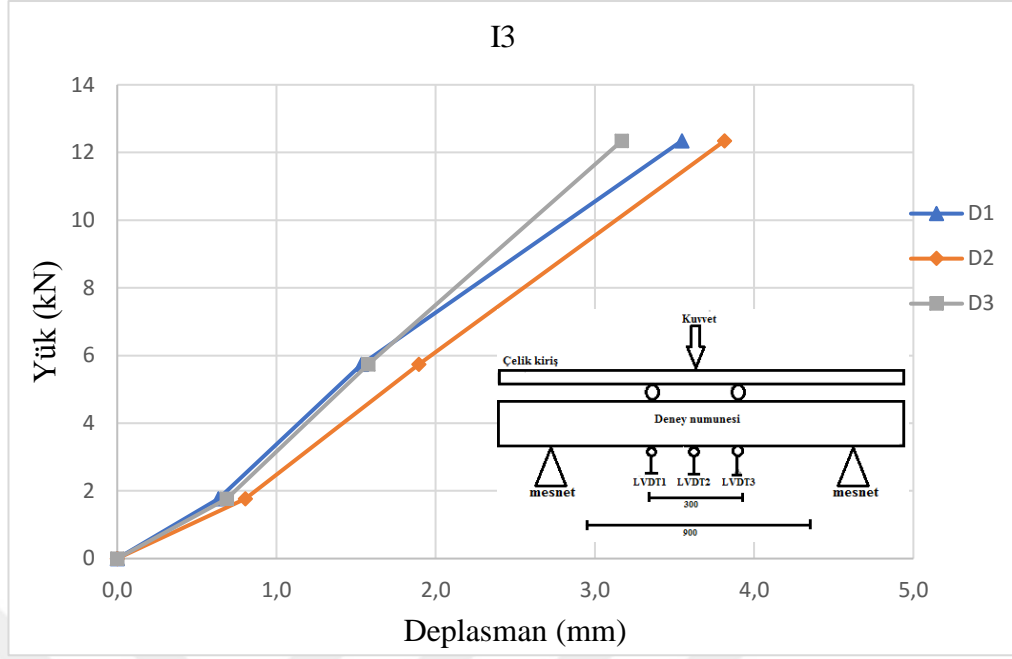
Şekil 5.14. I3 profilinin deneyden önceki ve sonraki hali



**Şekil 5.15.** I3 profili yük-şekil değişime grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S1(düşey) şekil değişime maksimum yükleme noktasına kadar doğrusal bir artış göstermiştir. S2 (yatay) şekil değişime ise artan yüklemeyle birlikte 12 kN'a kadar doğrusal bir artış göstermiştir. Maksimum değerine kadar düşey ve yatay şekil değişime kıyaslandığında yatay şekil değişime kapasitesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler yatay ve düşey olmak üzere orta noktaya ( $x=75\text{cm}$ ) yerleştirilmiştir.





Şekil 5.16. I3 profilinin yük- deplasman grafiği

Yukarıdaki tabloda gösterilen LVDT 1 profilin 50 cm noktasına, LVDT 2 profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT 3 profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir dolayısıyla yük aktarımının P/3 noktalarından gerçekleştiği için yerleşim bu şekilde yapılmıştır.

D1, D2 ve D3 noktalarında maksimum yük değerine (12 kN) kadar doğrusal bir şekilde artmıştır. D1 (x=50cm noktasına yerleştirilen LVDT) noktasında maksimum yüklemeye yaklaşık 3,5 mm, D2 (x=75cm noktasına yerleştirilen LVDT) noktasında maksimum yüklemeye yaklaşık 3,6 mm D3 (x=100cm noktasına yerleştirilen LVDT) noktasında maksimum yüklemeye yaklaşık 3,1 mm yer değiştirme meydana gelmiştir. Maksimum yer değiştirme beklendiği gibi orta noktaya (x=75cm noktasına yerleştirilen LVDT) yerleştirilen LVDT'de 3,6 mm olarak meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.16'ya göre hesaplandığında enerji yutma kapasitesi değerlerinin bölgelere göre (x=50, x=75, x=100) nasıl değişim gösterdiği kaydedilmiştir. İçi öncelikle polipropilen eriyiği ile doldurulan I profillere daha

sonra güçlendirme elemanı olarak gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgelerinde eğilme davranışına katkı sağlayabileceği öngörüsüyle karbon fiberler yerleştirilmiştir.

Eriyik polipropilen ve karbon fiber çubuk içeren hafif çelik profilin yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanların ortalaması 1201,52 olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji yutma kapasitesi 1901,54 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Şekil 5.16'ya göre maksimum yük 12 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri yaklaşık 4 mm'dir.

Yük deplasman grafiğinde maksimum yükün (12 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. Şekil 5.16'ya göre göçme noktası 10,2 kN'dur.

#### **5.1.4 I4 profiline uygulanan dört noktalı eğilme deneyi**

Polipropilen ve cam fiber çubuk (I4) içeren I100 profili içinde yukarıdaki numunelerde uygulanan işlemler aynı şekilde gerçekleşmiştir.





**Şekil 5.17.** I4 profiline yerleştirilen cam fiber çubuklar



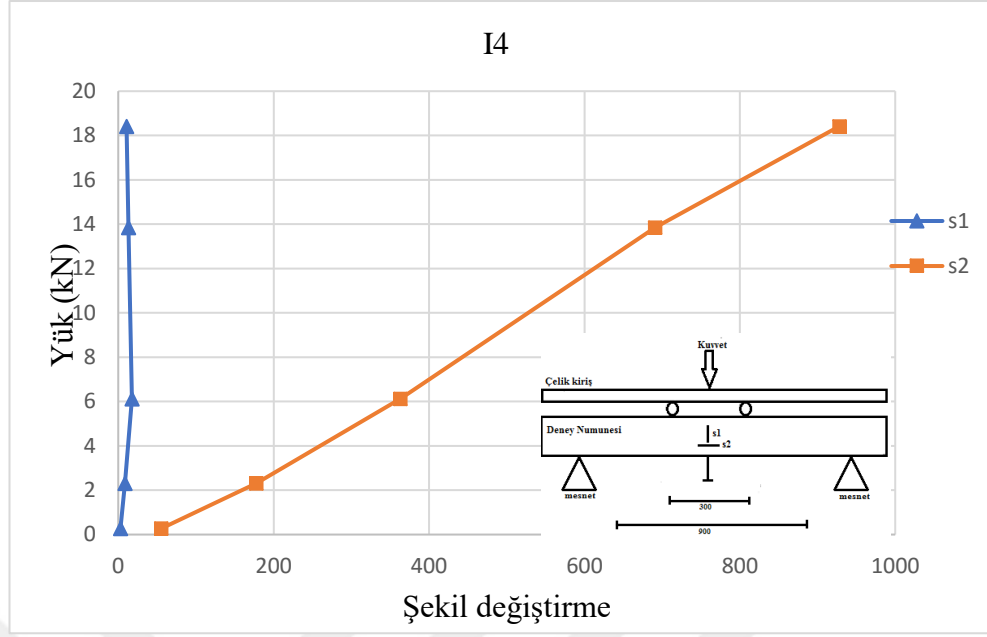
Şekil 5.18. Dört noktalı eğilme deneyi uygulanan I4 profilinin ilk ve son hali



Şekil 5.19. Dört noktalı eğilme deneyi uygulanan I4 profilinin ilk hali

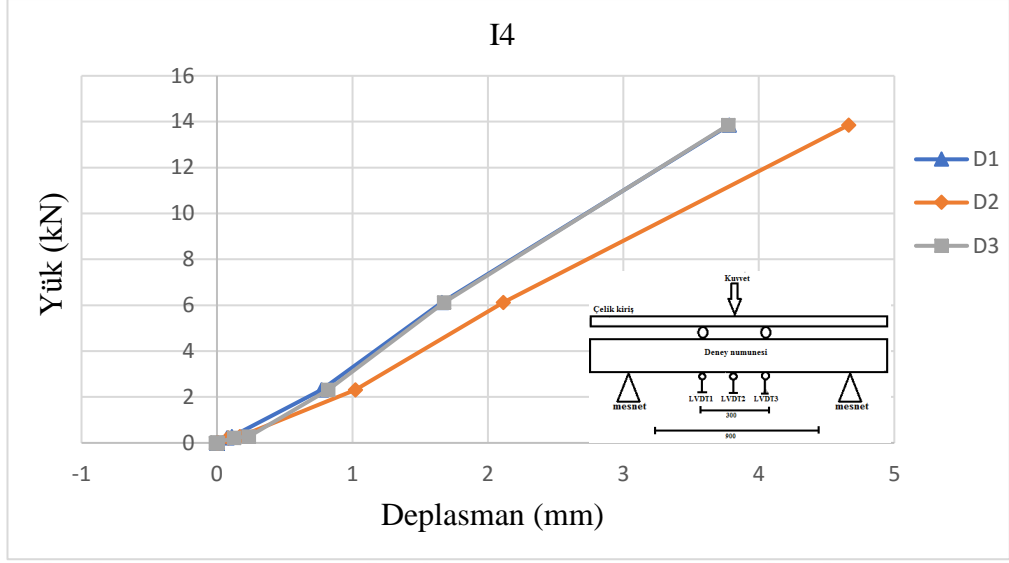


Şekil 5.20. Dört noktalı eğilme deneyi uygulanan I4 profilinin son hali



**Şekil 5.21.** I4 profilinin yük- şekil değiştirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S1 (düşey) şekil değiştirme 6 kN'luk yüklemeye kadar doğrusal bir artış göstermiş yüklemeye arttıkça şekil değiştirme kapasitesi azalmaya başlamıştır. S2 (yatay) şekil değiştirme ise artan yüklemeye birlikte maksimum yüklemeye kadar doğrusal bir artış göstermiştir. Yüklemeye başladıktan sonra hiçbir noktada yatay ve düşey şekil değiştirme aynı olmamış her noktada farklılık göstermiştir. Maksimum yük değerine kadar düşey ve yatay şekil değiştirme kıyaslandığında yatay şekil değiştirmenin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler yatay ve düşey olmak üzere orta noktaya ( $x=75\text{cm}$ ) yerleştirilmiştir.



**Şekil 5.22.** I4 profilinin yük- deplasman grafiği

Yukarıdaki şekilde gösterilen LVDT 1 (D1) profilin 50 cm noktasına, LVDT 2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT 3 (D3) profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir. Dolayısıyla yük aktarımının P/3 noktalarından gerçekleştiği için yerleşim bu şekilde yapılmıştır.

D1, D2 ve D3 noktalarında maksimum yükleme noktasına (14 kN) kadar doğrusal bir şekilde artmıştır. D1 ve D3 noktalarındaki davranış ise neredeyse aynı şekilde ilerlemiştir. D1 (x=50cm noktasına yerleştirilen LVDT1) noktasında maksimum yüklemede yaklaşık 3,9 mm, D2 (x=75cm noktasına yerleştirilen LVDT2) noktasında maksimum yüklemede yaklaşık 4,6 mm , D3(x=100cm noktasına yerleştirilen LVDT3) noktasında maksimum yüklemede yaklaşık 3,1 mm yer değiştirme meydana gelmiştir. Maksimum yer değiştirme orta noktaya (x=75cm noktasına yerleştirilen LVDT) yerleştirilen LVDT'lerde 3,6 mm olarak meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.22'ye göre hesaplandığında enerji yutma kapasitesi değerlerinin bölgelere göre (x=50, x=75, x=100) nasıl değişim gösterdiği kaydedilmiştir.



Eriyik polipropilen ve cam fiber çubuk (I4) içeren hafif çelik profilin yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanların ortalaması 643,72 olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji yutma kapasitesi 777,59 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Şekil 5.22'ye göre maksimum yük 14 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 7 mm'dir.

Yük deplasman grafiğinde maksimum yükün (14 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. Şekil 5.22'ye göre göçme noktası 11,9 kN'dur.

#### **5.1.5 Dört Noktalı eğilme deneyi uygulanan I1, I2, I3, I4 profillerinin ilk ve son halleri**

Dört noktalı eğilme deneyi uygulanan numuneler sırasıyla boş, sadece pp, pp ve karbon fiber çubuk, pp ve cam fiber çubuk içermektedir. Birinci grup deney numuneleri sadece 4 noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur ve gerekli ölçümler yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Bu deneylerin sonucunda elde edilen verilerle ise iki farklı grafik (yük-deformasyon ve yük-şekil değiştirme) çizilerek sonuçlar yorumlanmıştır.



**Şekil 5.23.** Sağdan sola I1, I2, I3 ve I4 deney profillerinin kesit görüntüsü



Şekil 5.24. I1, I2, I3, I4 deney profillerinin deneyden önceki ve sonraki halleri

## 5.2 Kesme Deneyi Uygulaması ve Sonuçları

Kesme deneyi sırasıyla boş I100 (I5) deney numunesi, sadece pp (I6) içeren I100 deney numunesi, pp ve karbon fiber çubuk (I7) içeren I100 deney numunesi, pp ve cam fiber (I8) çubuk içeren I100 deney numunesi üzerinde kesme deneyleri uygulanmıştır. İlk olarak boş numuneye kesme deneyi uygulanmıştır bunun sebebi boş numunenin davranışını gözlemlemek ve dolu olan diğer numunelerle kıyaslamaktır.

İlk önce deney düzeneğinde kalıpların bir ucundaki sabit mesnet kaldırıldı. Sonrasında kalıp bu düzeneğin üzerine yerleştirildi.

L:150 cm olan deney numunesini  $L/3$ ,  $L/3$  ve  $L/3$  olarak bölünmüş düşünülürse 50 cm, 100 cm ve en köşedeki mesnetsiz noktaya LVDT yerleştirildi ve bu noktadaki yer değiştirmelerin kaydedilmesi sağlandı.

Sonrasında ise en köşe noktaya ve 50 cm'lik noktaya strain gauge yerleştirildi ve bu noktalardaki şekil değiştirmelerin kaydedilmesi sağlandı.



Deney düzeneği tarafından numuneye orta noktadan gelen yükleme ise alt tarafa yerleştirilen plaka sayesinde ikiye bölünerek yanlara iletilmesi sağlandı. Yaklaşık bir dakika devam eden bu yükleme işlemin sonrasında deney numunelerinde meydana gelen yer değiştirme ve şekil değiştirme değerleri veri toplama araçları sayesinde kaydedildi.

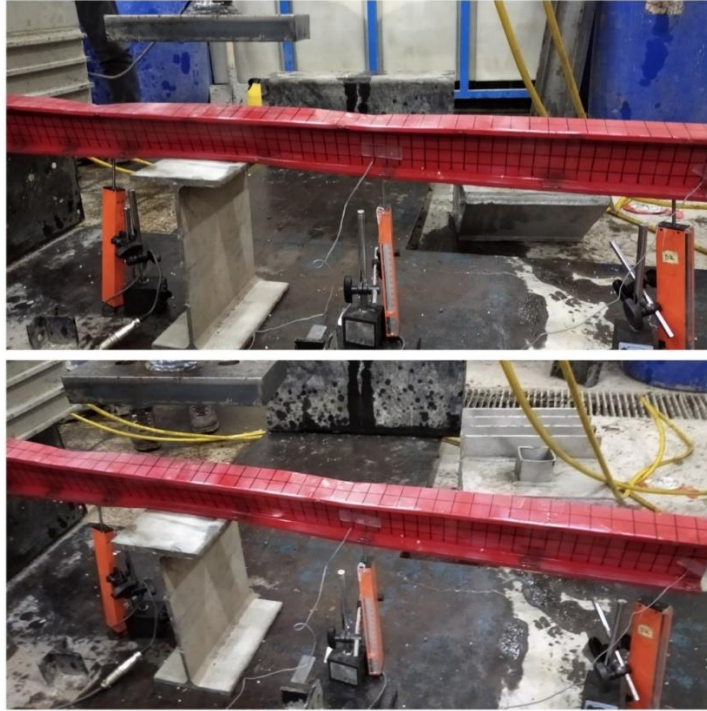
Sırasıyla dört numune içinde yukarıdaki işlemler aynı sırayla uygulanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde bu işlemlerin deney numunelerine uygulanması fotoğraflarla gösterilmiştir.

### **5.2.1 I5 profiline uygulanan kesme deneyi**

Kesme deneyi yapılmış olan boş numune sisteme yerleştirilmiştir. 50 cm ve 100 cm noktalarından yükleme yapılacak şekilde gerekli aparatların yerleştirilmiştir. Daha sonra bu aparatların üzerine yükü iki eşit noktada dağıtacak olan rijit kiriş konumlandırılmıştır. Sırasıyla önce belli ölçümler dahilinde sisteme yerleştirilen numunelerin yük uygulanacak noktalarına LVDT'ler bağlanmıştır ( $x=50$  cm,  $x=100$  cm ve en köşedeki mesnetsiz nokta). Strain gauglerde numunenin üzerine yatay ve düşey olarak konumlandırılmış ardından sistem çalıştırılmıştır. Gerekli veriler veri ölçüm cihazı sayesinde toplanmıştır.



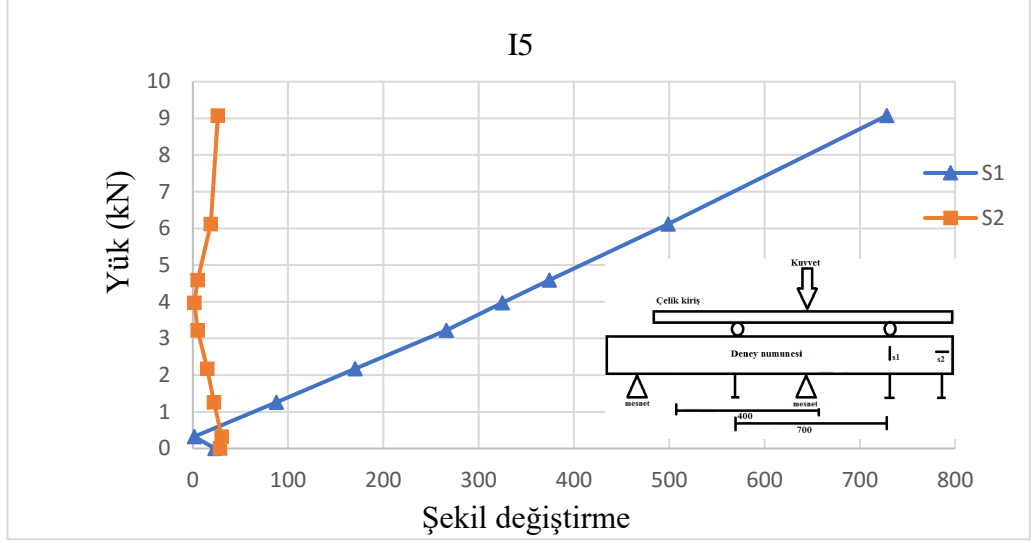
Şekil 5.25. I5 profilinin kesme deneyi için düzeneğe yerleştirilmesi



Şekil 5.26. I5 profilinin kesme deneyinden önceki ve sonraki hali

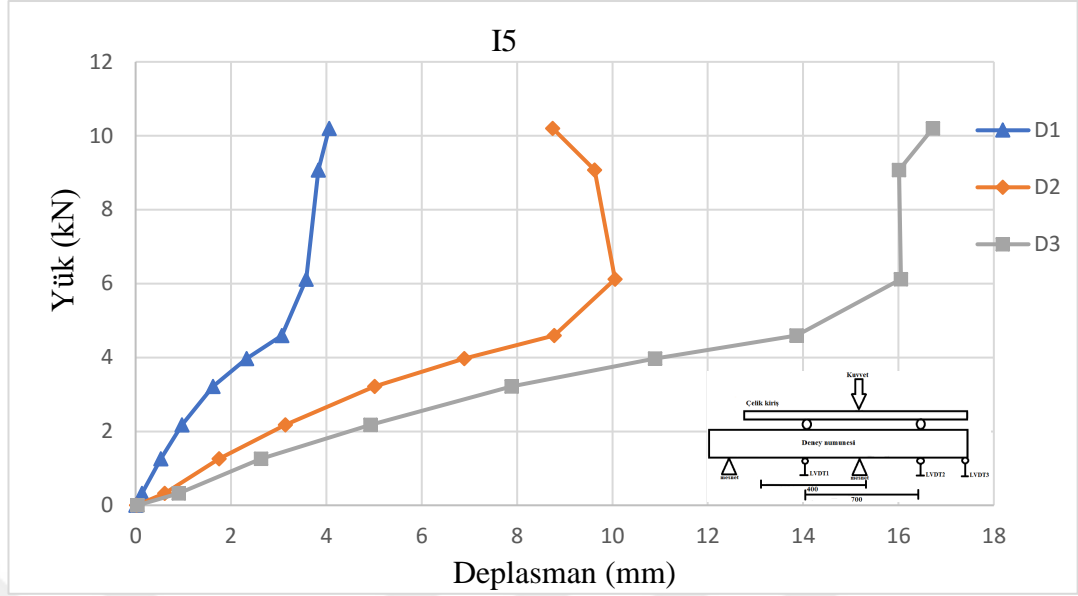


Şekil 5.27. I5 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali



**Şekil 5.28.** I5 profilinin yük- şekil değiştirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S2 (yatay) şekil değiştirme 3 kN'a kadar azalma göstermiştir. 4 KN dan sonra ise 6 kN'a kadar artan şekil değiştirme son olarak maksimum yüklemeye noktasına eriştiğinde azalmaya başlamıştır. S1 (düşey) şekil değiştirme ise artan yüklemeye birlikte 9 kN'a kadar lineer bir artış göstermiştir. Yüklemeye başladıktan sonra hiçbir noktada yatay ve dikey şekil değiştirme aynı olmamış her noktada farklılık göstermiştir. Maksimum değerine kadar düşey ve yatay şekil değiştirme kıyaslandığında düşey şekil değiştirmenin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler  $x=50$  cm ve en köşe nokta olmak üzere iki noktaya yerleştirilmiştir.



Şekil 5.29. I5 profilinin yük- deplasman grafiği

Yukarıdaki tabloda gösterilen LVDT 1 (D1) profilin 50 cm noktasına, LVDT 2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT 3 (D3) profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir. Dolayısıyla yük aktarımının P/3 noktalarından gerçekleştiği için yerleşim bu şekilde yapılmıştır.

D1 ( $x=50$ -LVDT1) noktasında yer değiştirme 4,2 kN'luk yüklemeye kadar parabolik bir şekilde artma göstermiş ve 3 mm olarak kaydedilmiştir. 4 ile 6 kN'luk yüklemelerde ise doğrusal bir şekilde artma gerçekleşmiştir. D2 ( $x=75$ -LVDT2) noktasında yer değiştirme 4,2 kN'luk yüklemeye kadar parabolik bir şekilde artma göstermiş ve 8,3 mm olarak kaydedilmiştir. 4 ile 6 kN'luk yüklemelerde ise doğrusal bir şekilde artma gerçekleşmiştir. D3 ( $x=100$ -LVDT3) noktasında yer değiştirme 4,2 kN'luk yüklemeye kadar parabolik bir şekilde artma göstermiş ve 14 mm olarak kaydedilmiştir. 4 ile 6 kN'luk yüklemelerde ise doğrusal bir şekilde artma gerçekleşmiştir. 6 kN ile 9 kN arasında yer değiştirme sabit kalmış ve son olarak ufak bir artışla maksimum noktaya erişmiştir.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.29'a göre hesaplanmıştır. Numuneler arasında kıyaslama yapılırken referans olarak alınan numune boş I profilidir.

Referans numunede yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanların ortalaması 93,67 olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji yutma kapasitesi 179,00 kN.mm olarak elde edilmiştir.

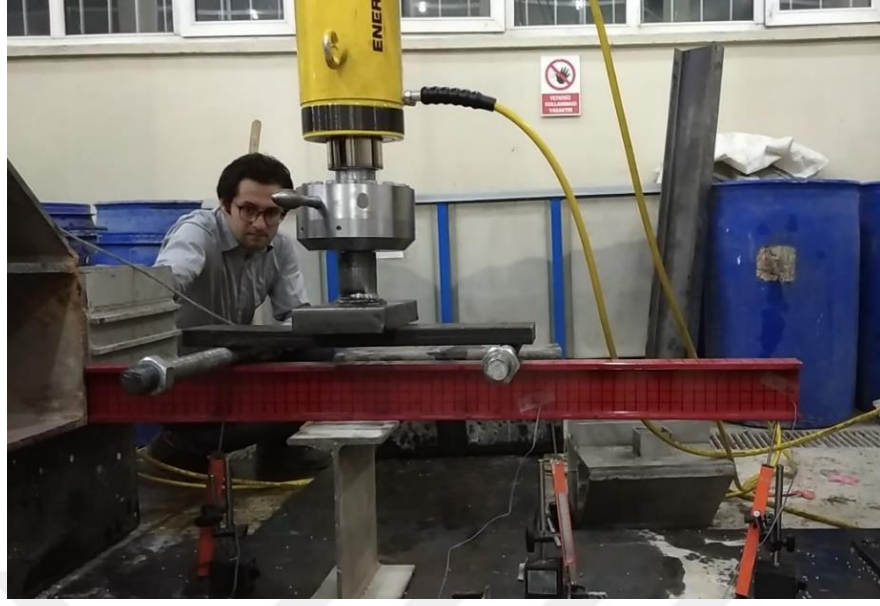
Maksimum enerji yutma kapasitesinin maksimum momentin olduğu uç noktada meydana geleceği öngörüldüğünden D1 ( $x=50$ ) ve D2 ( $x=100$ ) noktasındaki LVTD'ler bir nevi kontrol amaçlı yerleştirilmiştir. Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Şekil 5.29'a göre maksimum yük 10 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 16 mm'dir.

Yük deplasman grafiğinde maksimum yükün (10 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. Şekil 5.29'a göre hesaplanan göçme noktası 8,5 kN'dur.

### **5.2.2 I6 profiline uygulanan kesme deneyi**

Kesme deneyi yapılacak olan sadece polipropilen (I6) eriyiği doldurulan numune sisteme yerleştirilmiştir. 50 cm ve 100 cm noktalarından yükleme yapılacak şekilde gerekli aparatlar yerleştirilmiştir. Daha sonra bu aparatların üzerine yükü iki eşit noktada dağıtacak olan rijit kiriş konumlandırılmıştır. Sırasıyla önce belli ölçümler dahilinde sisteme yerleştirilen numunelerin yük uygulanacak noktalarına LVDT'ler bağlanmıştır ( $x=50$  cm,  $x=100$  cm ve en köşedeki mesnetsiz nokta). Strain gauglerde numunenin üzerine yatay ve düşey olarak konumlandırılmış ardından sistem çalıştırılmıştır. Gerekli veriler veri ölçüm cihazı sayesinde toplanmıştır.





Şekil 5.30. I6 profilinin kesme deneyi için düzeneğe yerleştirilmesi

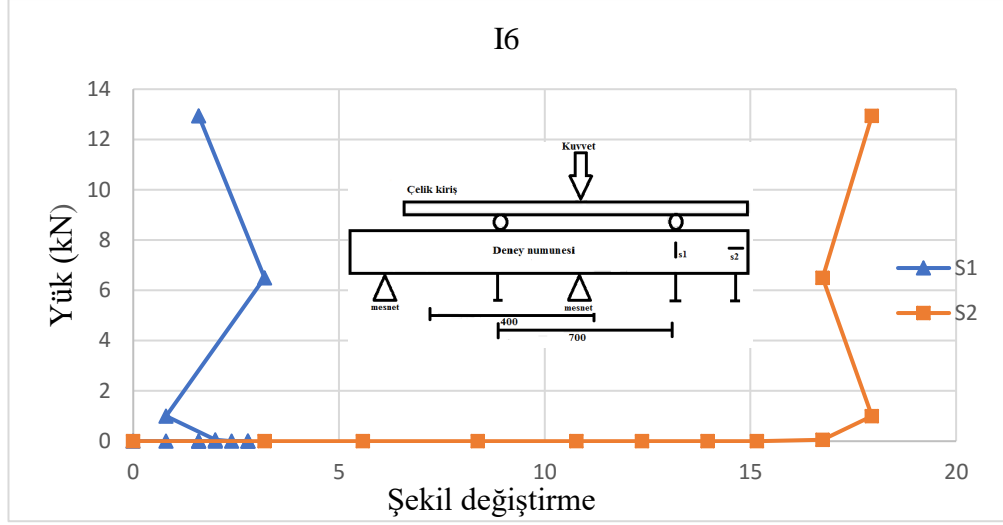


Şekil 5.31. Kesme deneyi sonrasında I6 profili



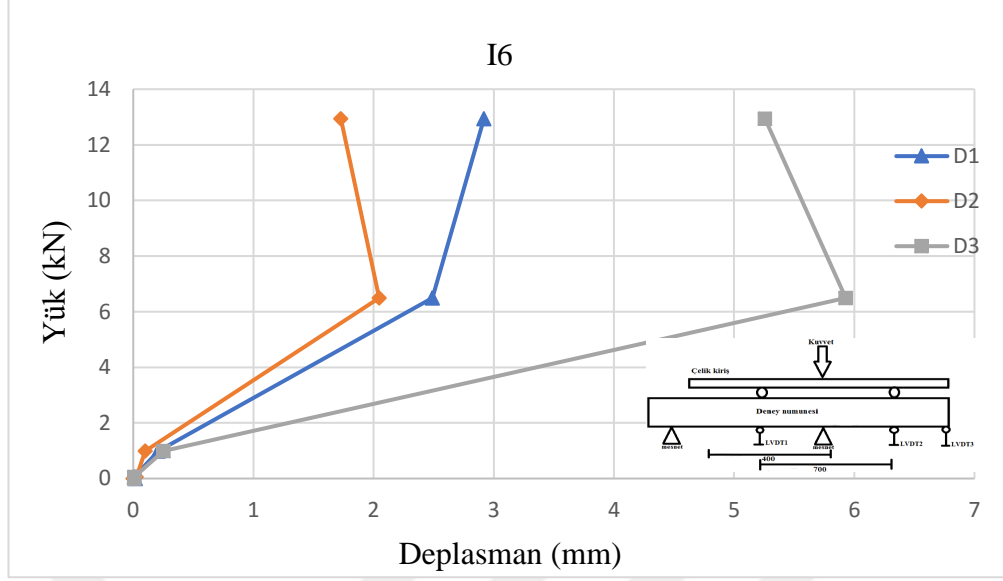
Şekil 5.32. I6 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali





**Şekil 5.33.** I6 profilinin yük- şekil değıştirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S2 (yatay) şekil değıştirme yaklaşık 2 kN'a kadar artmış sonrasında 6 kN'a kadar lineer bir şekilde azalma göstermiştir. Sonrasında ise maksimum yüke kadar lineer bir şekilde artmıştır. S1 (düşey) şekil değıştirme ise artan yüklemeye birlikte yaklaşık 2 kN'a kadar doğrusal azalmış sonrasında 6 kN'a kadar lineer bir şekilde artmıştır. Sonrasında ise maksimum yüke kadar lineer bir şekilde azalmıştır. Yüklemeye başladıktan sonra hiçbir noktada yatay ve düşey şekil değıştirme aynı olmamış her noktada farklılık göstermiştir. Strain gaugeler  $x=50$  cm ve en köşe nokta olmak üzere iki noktaya yerleştirilmiştir.



**Şekil 5.34.** I6 profilinin yük-deplasman grafiği

Yukarıdaki tabloda gösterilen LVDT-1 (D1) profilin 50cm noktasına, LVDT-2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT-3 (D3) profilin (x=100 cm) noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir. Dolayısıyla yük aktarımının P/3 noktalarından gerçekleştiği için yerleşim bu şekilde yapılmıştır.

D1 (x=50-LVDT1) noktasında yer değiştirme 6,1 kN'luk yüklemeye kadar doğrusal bir şekilde artma göstermiş sonrasında doğrusal şekilde azalarak maksimum noktaya ulaşmıştır.D2 (x=75-LVDT2) noktasında yer değiştirme 6,1 kN'luk yüklemeye kadar doğrusal bir şekilde artma göstermiş ve 2 mm olarak kaydedilmiştir. 6 kN'luk yüklemenin devamında ise doğrusal bir şekilde azalma gözlenmiştir. D3 (x=100-LVDT3) noktasında yer değiştirme 6 kN'luk yüklemeye kadar lineer bir şekilde artma göstermiş ve 6 mm olarak kaydedilmiştir. Sonrasında ise doğrusal şekilde azalarak maksimum noktaya ulaşmıştır. Maksimum yer değiştirme ise 6mm ile D3 noktasında gözlemlenmiştir.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.34'e göre hesaplandığında enerji yutma kapasitesi değerlerinin bölgelere göre (x=50, =75, x=100) nasıl değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Numuneler arasında kıyaslama yapılırken referans olarak alınan numune boş I profilidir.

İçi sadece eriyik polipropilen ile doldurulan numunede yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanlar kalan alanların ortalaması 551,74 olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji yutma kapasitesi 1105,90 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Şekil 5.34'e göre maksimum yük 13 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 5,2 mm'dir.

Yük deplasman grafiğinde maksimum yükün (13 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. Şekil 5.34'e göre hesaplanan göçme noktası 11,05 kN'dur.

### **5.2.3 I7 profiline uygulanan kesme deneyi**

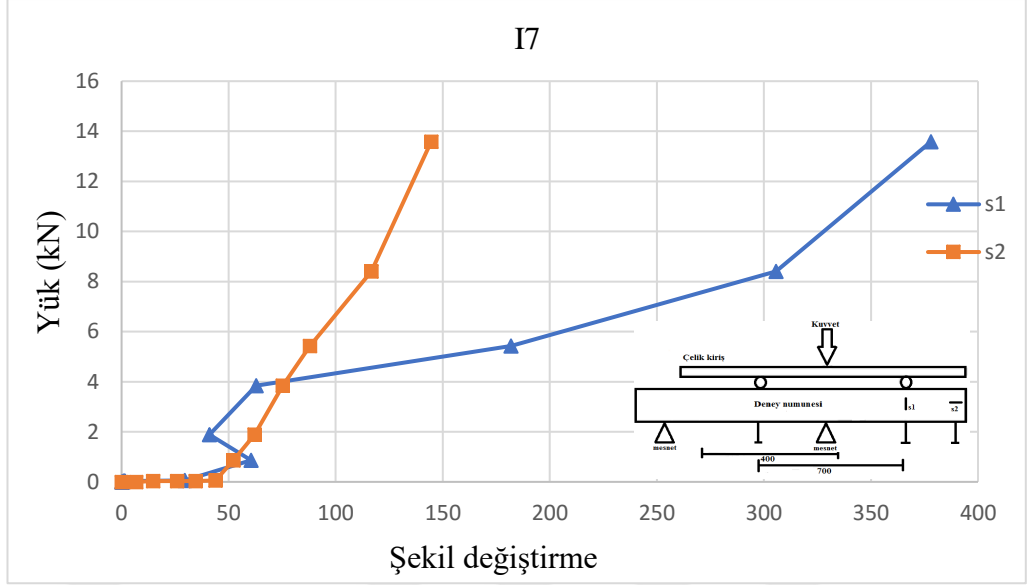
Polipropilen eriyiği ile doldurulan ve gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgede kesme davranışına faydalı olacağı yaklaşımı ile karbon fiber çubuk eklenen numune sisteme yerleştirilmiştir. 50 cm ve 100 cm noktalarından yükleme yapılacak şekilde gerekli aparatların yerleştirilmiştir. Daha sonra bu aparatların üzerine yükü iki eşit noktada dağıtacak olan rijit kiriş konumlandırılmıştır. Sırasıyla önce belli ölçümler dahilinde sisteme yerleştirilen numunelerin yük uygulanacak noktalarına LVDT'ler bağlanmıştır ( $x=50$  cm,  $x=100$  cm ve en köşedeki mesnetsiz nokta). Strain gauglerde numunenin üzerine yatay ve düşey olarak konumlandırılmış ardından sistem çalıştırılmıştır. Gerekli veriler veri ölçüm cihazı sayesinde toplanmıştır.



Şekil 5.35. I7 profilinin ilk ve son hali



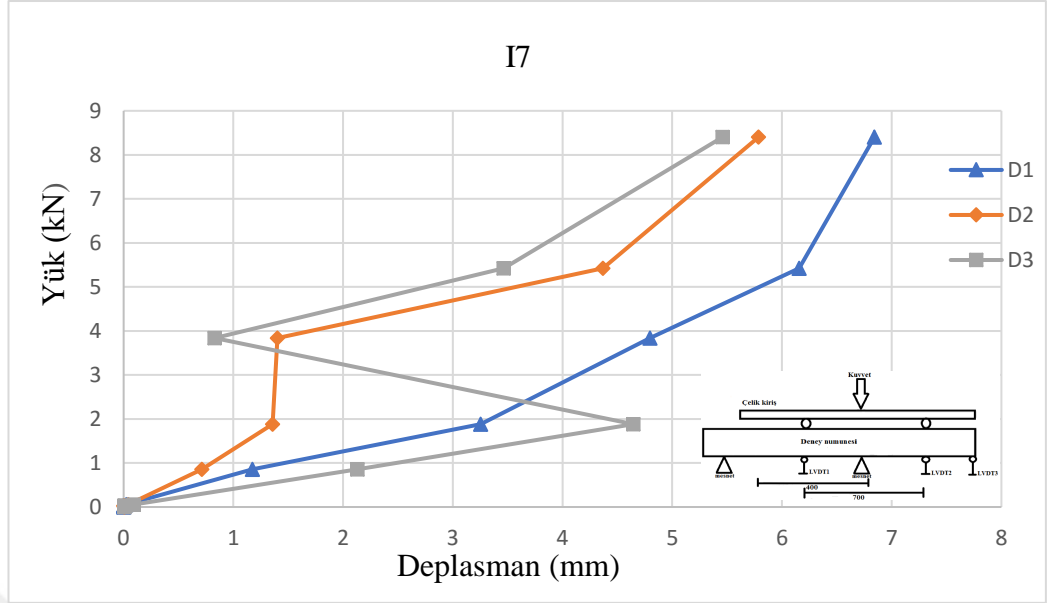
Şekil 5.36. I7 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali



**Şekil 5.37.** I7 profilinin yük-şekil değişirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S1 (düşey) şekil değişirme 1 kN'a kadar artmış sonrasında 2 kN'a azalma göstermiştir. 2 kN'dan sonra ise doğrusal bir şekilde maksimum yükleme noktasına kadar artmıştır (8 kN). S2 (yatay) şekil değişirme ise artan yüklemeyle birlikte maksimum değerine kadar artış göstermiştir. Yüklemeye başladıktan sonra 1 kN ve 4 kN'da yatay ve dikey şekil değişirmeler denk gelmiş fakat sonrasında her noktada farklılık göstermiştir.

Maksimum yükleme noktasına gelene kadar dikey ve yatay şekil değişirme kıyaslandığında dikey şekil değişirme kapasitesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler  $x=50$  cm ve en köşe nokta olmak üzere iki noktaya yerleştirilmiştir.



**Şekil 5.38.** I7 profilinin yük- deplasman grafiği

Yukarıdaki tabloda gösterilen LVDT-1 (D1) profilin  $x=50$  cm noktasına, LVDT-2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT-3 (D3) profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir dolayısıyla yük aktarımının P/3 noktalarından gerçekleştiği için yerleşim bu şekilde yapılmıştır.

D1 noktasında yer değiştirme 8 kN'luk maksimum yükleme noktasına ulaşınca kadar doğrusal bir şekilde artma göstermiş yaklaşık 7 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir.

D2 noktasında yer değiştirme 2 kN'luk yüklemeye kadar doğrusal bir şekilde artma göstermiş ve 1,3 mm olarak kaydedilmiştir. 2 kN ile 4 kN arasında ise sabit ilerleyen yer değiştirme sonrasında maksimum yükleme noktasına erişinceye kadar artarak devam etmiştir.

D3 noktasında yer değiştirme 2 kN'luk yüklemeye kadar lineer bir şekilde artma göstermiş ve 4,7 mm olarak kaydedilmiştir. Sonrasında ise 2 kN ile 4 kN arasında doğrusal şekilde azalmıştır. 4 kN'dan sonra doğrusal bir şekilde artmaya devam etmiş ve maksimum yüke ulaştığında ise 5,3 mm ye gelmiştir. En fazla yer değiştirme yaklaşık 7 cm ile D1 noktasında görülmüştür.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.38'e göre hesaplandığında enerji yutma kapasitesi değerlerinin bölgelere göre ( $x=50$ ,  $x=75$ ,  $x=100$ ) nasıl değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Grafiğin altında kalan alanların ortalaması 317,29 olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji yutma kapasitesi 537,89 kN.mm olarak elde edilmiştir.

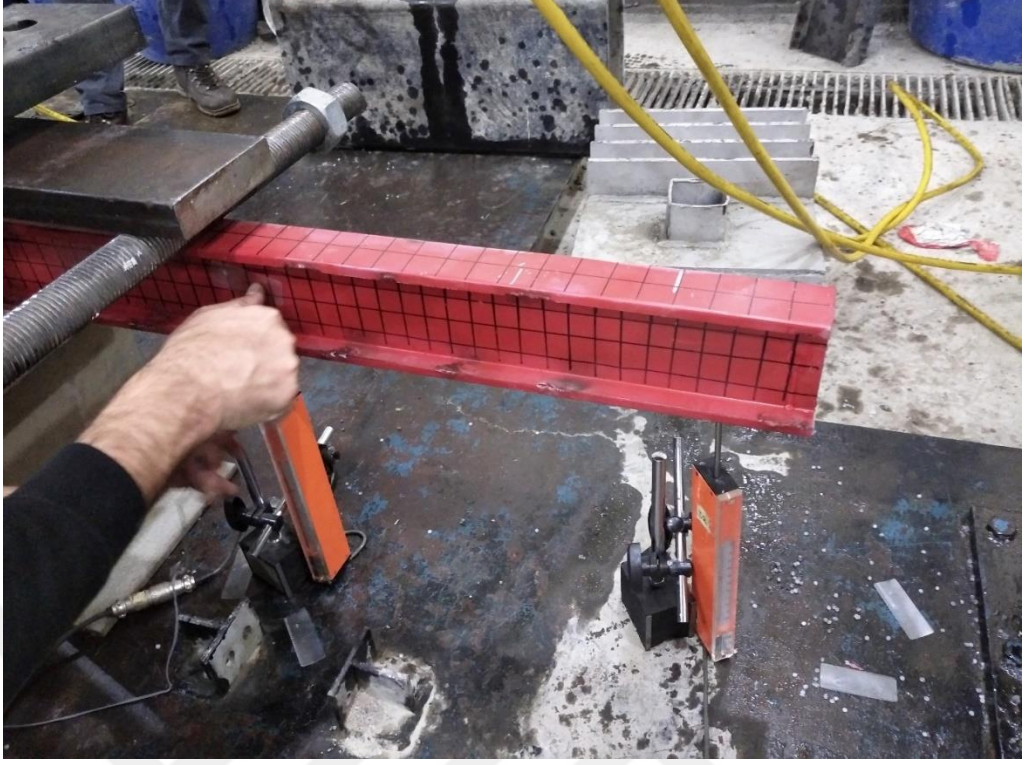
Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Şekil 5.29'a göre maksimum yük 10 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 16 mm'dir.

Yük deplasman grafiğinde maksimum yükün (10 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. Şekil 5.29'a göre hesaplanan göçme noktası 8,5 kN'dur.

#### **5.2.4 I8 profiline uygulanan kesme deneyi**

Polipropilen eriyiği ile doldurulan ve gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgede kesme davranışına faydalı olacağı yaklaşımı ile cam fiber çubuk eklenen numune sisteme yerleştirilmiştir. 50 cm ve 100 cm noktalarından yükleme yapılacak şekilde gerekli aparatların yerleştirilmiştir. Daha sonra bu aparatların üzerine yükü iki eşit noktada dağıtacak olan rijit kiriş konumlandırılmıştır. Sırasıyla önce belli ölçümler dahilinde sisteme yerleştirilen numunelerin yük uygulanacak noktalarına LVDT'ler bağlanmıştır ( $x=50$  cm,  $x=100$  cm ve en köşedeki mesnetsiz nokta). Strain gauglerde numunenin üzerine yatay ve düşey olarak konumlandırılmış ardından sistem çalıştırılmıştır. Gerekli veriler veri ölçüm cihazı sayesinde toplanmıştır.





Şekil 5.39. I8 profiline yerleştirilen strain gaugeler

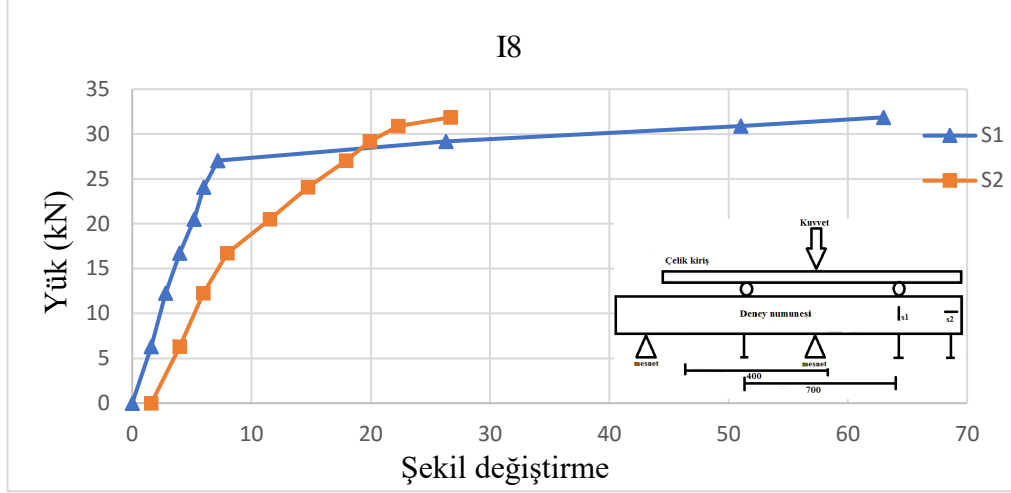




**Şekil 5.40.** Kesme deneyi uygulanan I8 profilinin ilk ve son hali

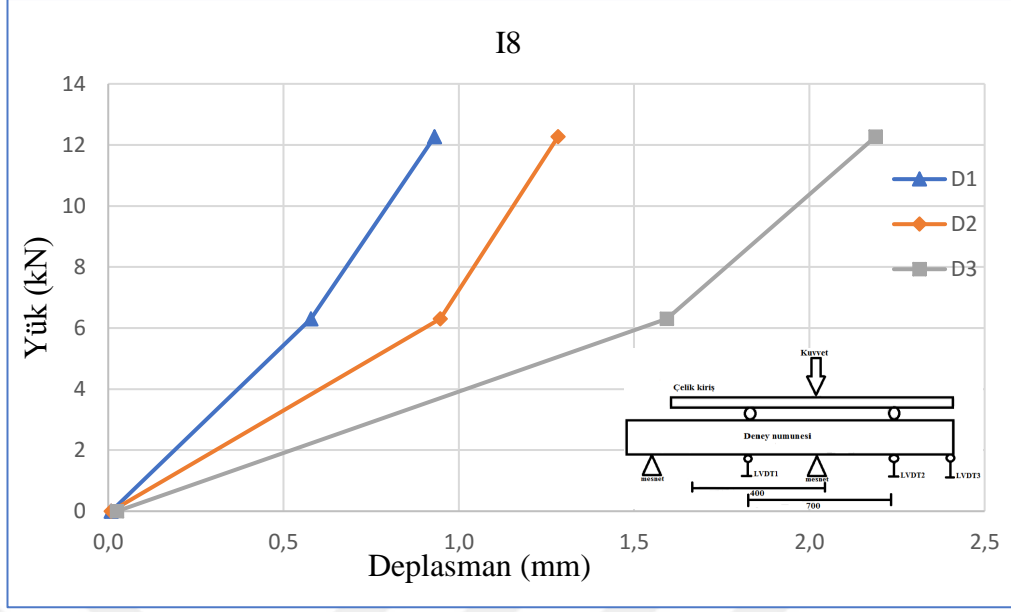


**Şekil 5.41.** I8 profilinin kesme deneyi sonrasındaki hali



**Şekil 5.42.** I8 profilinin yük- şekil değiştirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S1 (düşey) şekil değiştirme 25 kN'a kadar doğrusal bir artış göstermiş sonrasında maksimum yükleme noktasına kadar (32 kN) lineer bir artış göstermiştir. S2 (yatay) şekil değiştirme ise artan yüklemeyle birlikte 31 kN'a kadar doğrusal bir artış göstermiştir. Yükleme başladıktan sonra 27 kN haricinde yatay ve düşey şekil değiştirme aynı olmamış her noktada farklılık göstermiştir. Maksimum yükleme noktasına gelene kadar düşey ve yatay şekil değiştirme kıyaslandığında düşey şekil değiştirme kapasitesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler  $x=50$  cm ve en köşe nokta olmak üzere iki noktaya yerleştirilmiştir.



**Şekil 5.43.** I8 profilinin yük- deplasman grafiği

Yukarıdaki tabloda gösterilen LVDT-1 (D1) profilin 50 cm noktasına, LVDT-2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT-3 (D3) profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir. Numunenin boyu 150 cm'dir dolayısıyla yük aktarımının P/3 noktalarından gerçekleştiği için yerleşim bu şekilde yapılmıştır.

D1 noktasında yer değiştirme 12 kN'luk maksimum yükleme noktasına ulaşınca kadar doğrusal bir şekilde artma göstermiş yaklaşık 1 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir.

D2 noktasında yer değiştirme 12 kN'luk yüklemeye kadar doğrusal bir şekilde artma göstermiş ve 1,3 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir.

D3 noktasında yer değiştirme 12 kN'luk yüklemeye kadar lineer bir şekilde artma göstermiş ve 2,2 mm olarak kaydedilmiştir. En fazla yer değiştirme yaklaşık 2,2 cm ile D3 noktasında kaydedilmiştir.

Yük deplasman grafiğinin altında kalan alan Şekil 5.43'e göre hesaplandığında enerji yutma kapasitesi değerlerinin bölgelere göre ( $x=50$ ,  $x=75$ ,  $x=100$ ) nasıl değişim gösterdiği kaydedilmiştir. İçinde polipropilen ve cam fiber bulunan numunede yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanların ortalaması 397,27 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Enerji yutma kapasitesi maksimum değeri 653,18 olarak hesaplanmıştır.

Yük deplasman grafiğine göre tespit edilen bir diğer parametre ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeridir. Şekil 5.43'e göre maksimum yük 12 kN'dur ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 2,2 mm'dir.

Yük deplasman grafiğinde maksimum yükün (12 kN) dayanımının %15'ini kaybettiği nokta göçme noktasıdır. Şekil 5.29'a göre hesaplanan göçme noktası 10,2 kN'dur.

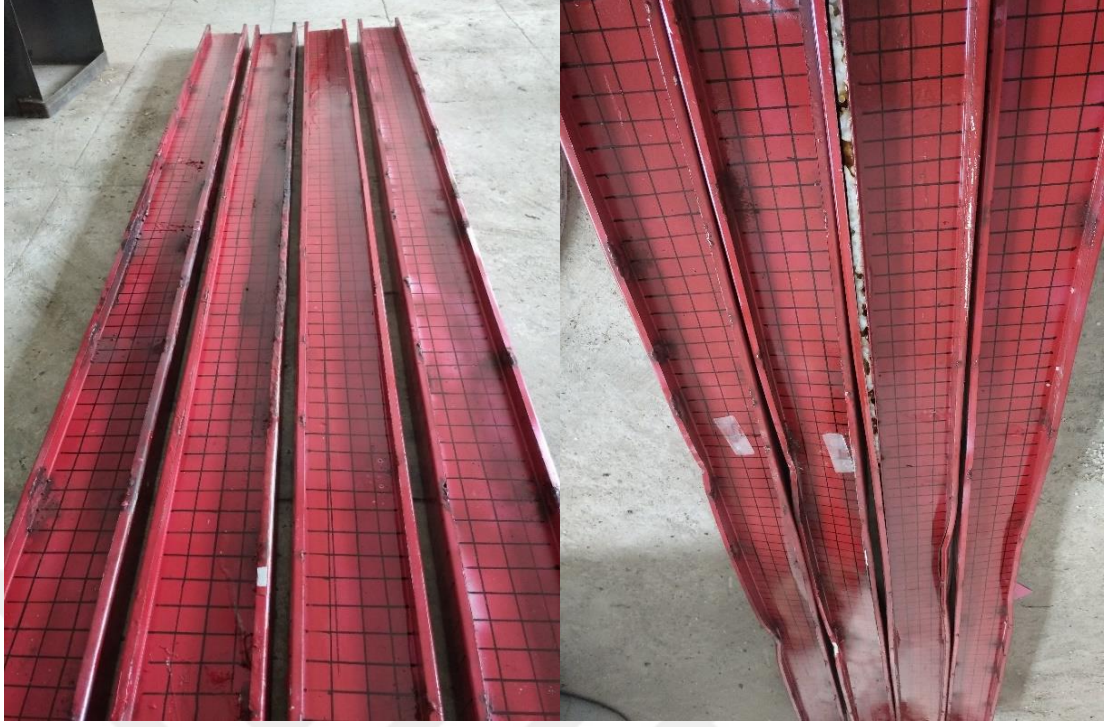
#### **5.2.5 Kesme deneyi uygulanan numunelerin ilk ve son halleri**

4 noktalı eğilme deneyi uygulanan numuneler sırasıyla I5, I6, I7 ve I8 profilleridir. İkinci grup deney numuneleri kesme deneyine tabi tutulmuştur ve gerekli ölçümler yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Bu deneylerin sonucunda elde edilen verilerle ise iki farklı grafik (yük-deformasyon ve yük-şekil değiştirme) çizilerek sonuçlar yorumlanmıştır.



**Şekil 5.44.** Sağdan sola I5, I6, I7 ve I8 deney numunelerinin ilk hali





Şekil 5.45. I5, I6, I7, I8 profillerinin kesme deneyinden önceki ve sonraki hali

### 5.3 Burulma Deneyi ve Sonuçları

Bu çalışmada içi boş I100 profil (I9) ve içinde sadece polipropilen olan numuneler üzerinde burulma deneyi uygulanmıştır. Deney numuneleri düzeneğe belli bir açı dahilinde yerleştirilmiş, numunenin üzerindeki deney plakası ile numunenin iki ucundan burulması sağlanmıştır. Burulma sonrasında ki yer değiştirme değerini ölçmek için deney numunesinin belirlenen üç noktasına (50 cm 75 cm ve 100 cm) yerleştirilmiştir. Şekil değiştirmeleri ölçmek için ise strain gaugeler numunelerin  $x=50$  cm ve  $x=75$  cm noktalarına (düşey ve yatay) yerleştirilmiştir. İki profil içinde aynı işlem tekrarlanmıştır.

#### 5.3.1 I9 profiline uygulanan burulma deneyi

Bu çalışmada burulma deneyi yapılmadan önce boş profil (I9) deney düzeneğine belli bir açı dahilinde yerleştirilmiştir. Burulma deneyinin gerçekleştirilebilmesi için numunenin iki ucuna konumlandırılmış burulma aparatından faydalanılmıştır. Yer değiştirme değerlerinin ölçümünü yapacak olan LVDT'ler  $x=50$  cm  $x=75$  cm ve  $x=100$  cm

noktalarına yerleştirilmiştir. Şekil değiştirmelerin ölçümünü sağlayacak olan strain gaugeler  $x=50$  ve  $x=75$  cm noktalarına (düşey ve yatay) yerleştirilmiştir.

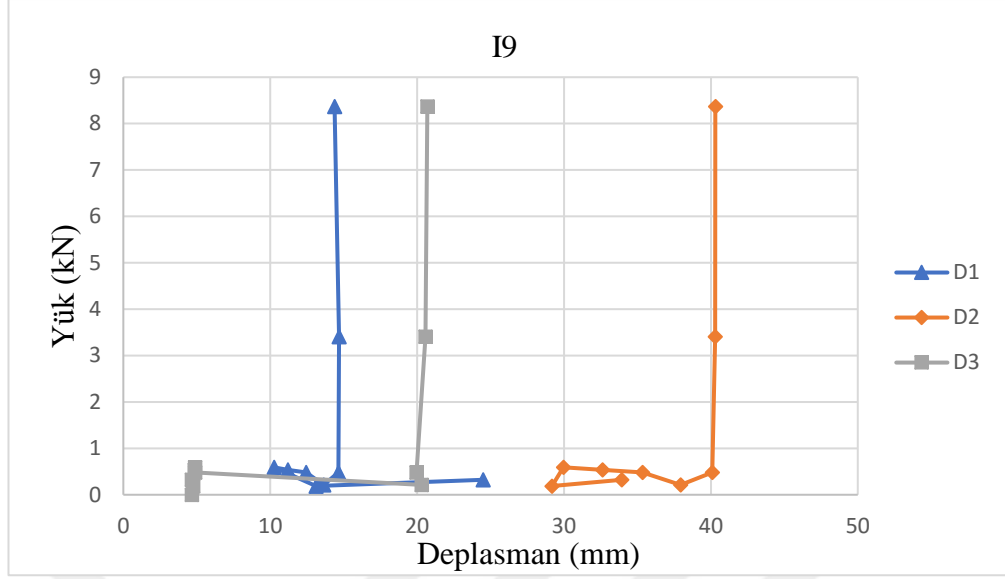


Şekil 5.46. Burulma deney düzeneğine I9 profilinin yerleştirilmesi





Şekil 5.47. Burulma deneyi sonrasında I9 profilinde meydana gelen burulma



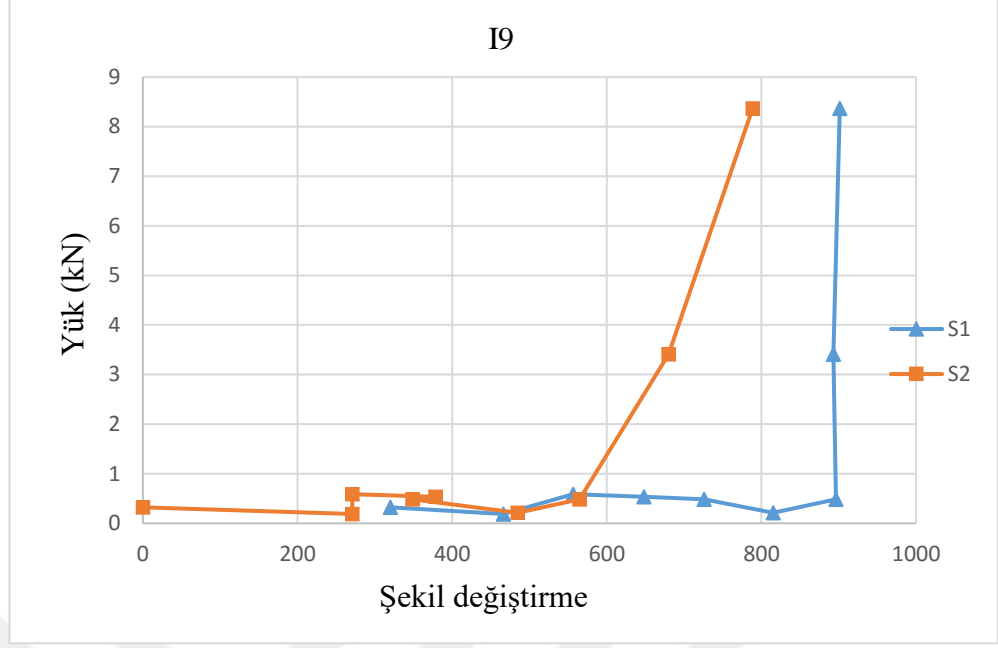
**Şekil 5.48.** Burulma deneyi sonrası I9 profilinin yük-deplasman grafiği

Yukarıdaki grafikte gösterilen LVDT 1 (D1) profilin 50cm noktasına, LVDT 2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT 3 (D3) profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir.

D1 (x=50'deki LVDT1) noktasında yer değiştirme 8 kN'luk maksimum yükleme noktasına ulaşmaya kadar sabit bir şekilde artma göstermiş yaklaşık 15 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir.

D2 (x=75'deki LVDT2) noktasında yer değiştirme 12 kN'luk yüklemeye kadar sabit bir şekilde artma göstermiş ve 40 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir.

D3 (x=100'deki LVDT3) noktasında yer değiştirme 8 kN'luk yüklemeye kadar sabit bir şekilde artma göstermiş ve 20 mm olarak kaydedilmiştir. En fazla yer değiştirme yaklaşık 40 mm ile D2 noktasında kaydedilmiştir.



**Şekil 5.49.** Burulma deneyi sonrası I9 profilinin yük-şekil değiştirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S1(düşey) şekil değiştirme 1 kN'luk yüklemeye kadar hep değişken davranış göstermiştir. Yüklemeye arttıkça 1KN dan maksimum yük yaklaşık 9 kN a kadar şekil değiştirme sabit kalmıştır. S2 (yatay) şekil değiştirme ise yine 1 kN'luk yüklemeye kadar hep değişken davranış göstermiştir. Yüklemeye arttıkça 1 kN'dan maksimum yük yaklaşık 9 KN a kadar şekil değiştirme doğrusal bir artış göstermiştir. 1 kN'luk yüklemeye başladıktan sonra hiçbir noktada yatay ve düşey şekil değiştirme aynı olmamış her noktada farklılık göstermiştir. Maksimum değerine kadar düşey ve yatay şekil değiştirme kıyaslandığında dikey şekil değiştirme kapasitesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler  $x=50$  cm ve  $x=75$ cm olmak üzere iki noktaya yerleştirilmiştir.

Aynı zamanda aşağıdaki formüller aracılığıyla hafif çelikten üretilmiş içi boş I profilin burulma açısı hesaplanmıştır.

$$X=(P*L^3)/192EI$$

$$P=\text{Kuvvet } L=\text{Uzunluk (LVDT}_2\text{-LVDT}_3\text{)}$$

$$\theta = \arctan (LVDT_2-LVDT_3-X)/L$$

$\theta$ =Burulma Açısı

$$L=LVDT_2-LVDT_3$$

$$E=2,1*10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$I_x=171*10^{-4} \text{ m}^4$$

Birinci numune için ortalama burulma açısı 0,159 olarak hesaplanmıştır.

### **5.3.2 I10 profiline uygulanan burulma deneyi**

Bu çalışmada burulma deneyi yapılmadan önce içi sadece eriyik polipropilen (I10) ile doldurulan profil deney düzeneğine belli bir açı dahilinde yerleştirilmiştir. Burulma deneyinin gerçekleştirilebilmesi için numunenin iki ucuna konumlandırılmış burulma aparatından faydalanılmıştır. Yer değiştirme değerlerinin ölçümünü yapacak olan LVDT'ler  $x=50$  cm  $x=75$  cm ve  $x=100$  cm noktalarına yerleştirilmiştir. Şekil değiştirmelerin ölçümünü sağlayacak olan strain gaugeler  $x=50$  ve  $x=75$  cm noktalarına (düşey ve yatay) yerleştirilmiştir.

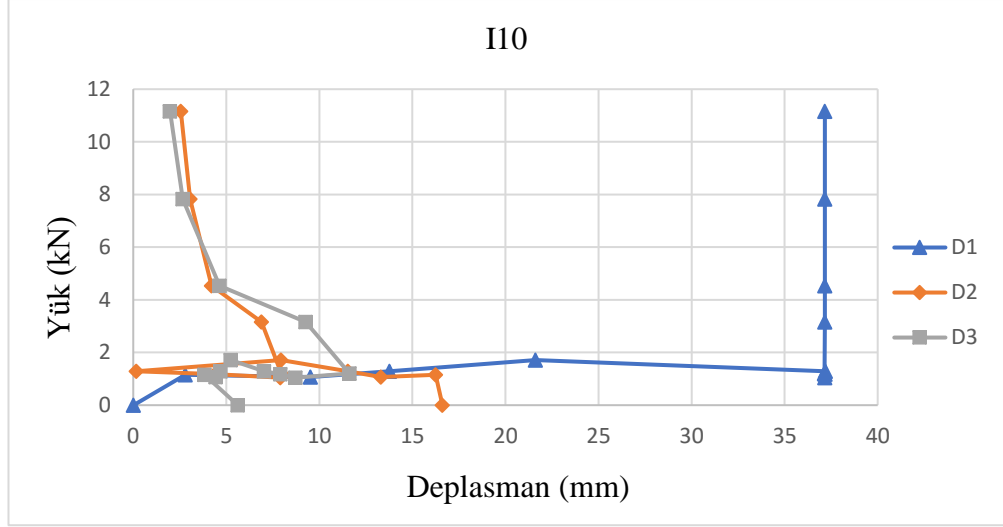


Şekil 5.50. I10 profilinin burulma deney düzeneğine yerleştirilmesi



**Şekil 5.51.** Burulma deneyi sonrasında I10 profilinde meydana gelen burulma

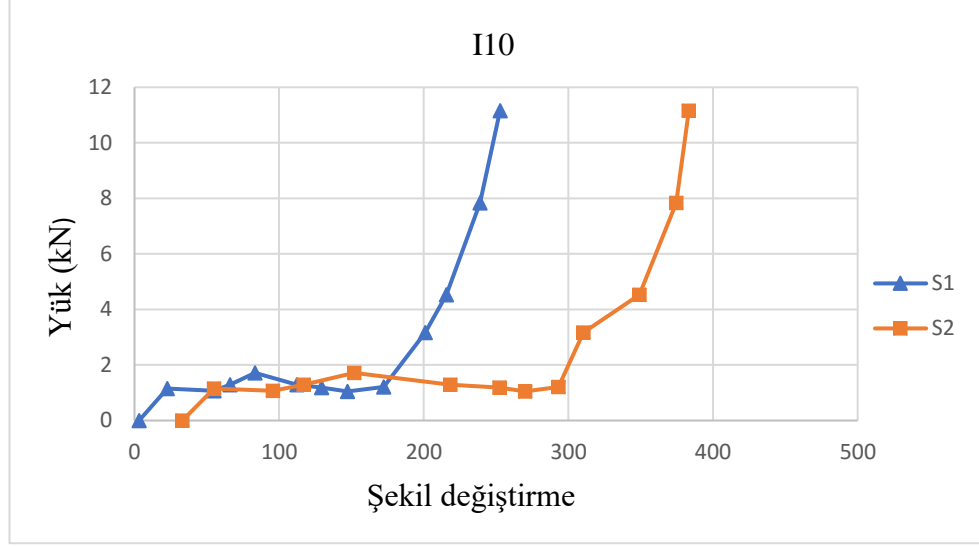




**Şekil 5.52.** Burulma deneyi sonrası I10 profilinin yük-deplasman grafiği

Yukarıdaki tabloda gösterilen LVDT-1 (D1) profilin 50 cm noktasına, LVDT-2 (D2) profilin orta noktasına (75 cm) ve LVDT-3 (D3) profilin 100 cm noktasına yerleştirilmiştir.

D1 (x=50-LVDT1) noktasında yer değiştirme 2 kN'luk yükleme kadar değişken davranış göstermiştir. 2 kN'dan sonra ise 11 kN'luk maksimum yükleme noktasına ulaşmaya kadar sabit bir şekilde artma göstermiş yaklaşık 37 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir. D2 (x=75-LVDT2) noktasında yer değiştirme 2 kN'dan maksimum yükleme olan 11 kN'luk yükleme kadar doğrusal bir şekilde azalma göstermiş ve 4 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir. D3 (x=100-LVDT3) noktasında yer değiştirme 2 kN'dan maksimum yükleme olan 11 kN'luk yükleme kadar doğrusal bir şekilde azalma göstermiş ve 3 mm'lik bir yer değiştirme meydana gelmiştir. Maksimum yer değiştirme ise 37 mm ile D1 de meydana gelmiştir.



**Şekil 5.53.** Burulma deneyi sonrası I10 profilinin yük-şekil değiştirme grafiği

Yüklemeye başladıktan sonra S1(düşey) şekil değiştirme 2 kN'luk yüklemeye kadar hep değişken davranış göstermiştir. Yüklemeye arttıkça 2 kN'dan maksimum yük yaklaşık 12 kN a kadar düşey şekil değiştirme artarak maksimum yük noktasına ulaşmıştır.

S2 (yatay) şekil değiştirme ise yine 2 kN'luk yüklemeye kadar hep değişken davranış göstermiştir. Yüklemeye arttıkça 2 kN dan maksimum yük yaklaşık 12 kN'a kadar şekil değiştirme doğrusal bir artış göstermiştir. 2kN'luk yüklemeye başladıktan sonra hiçbir noktada yatay ve düşey şekil değiştirme aynı olmamış her noktada farklılık göstermiştir. Maksimum yük değerine kadar düşey ve yatay şekil değiştirme kıyaslandığında yatay şekil değiştirme kapasitesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Strain gaugeler  $x=50$  cm ve  $x=75$ cm olmak üzere iki noktaya yerleştirilmiştir.

LVDT ve strain gaugelerle ölçülen değerler veri toplama cihazı sayesinde kaydedilmiştir.

Aynı zamanda aşağıdaki formüller aracılığıyla hafif çelikten üretilmiş içi sadece eriyik polipropilen ile doldurulan I profilin burulma açısı hesaplanmıştır.

$$X=(P*L^3)/192EI$$

$$P=\text{Kuvvet } L=\text{Uzunluk (LVDT}_2\text{-LVDT}_3\text{)}$$



$$\theta = \arctan (LVDT_2-LVDT_3-X)/L$$

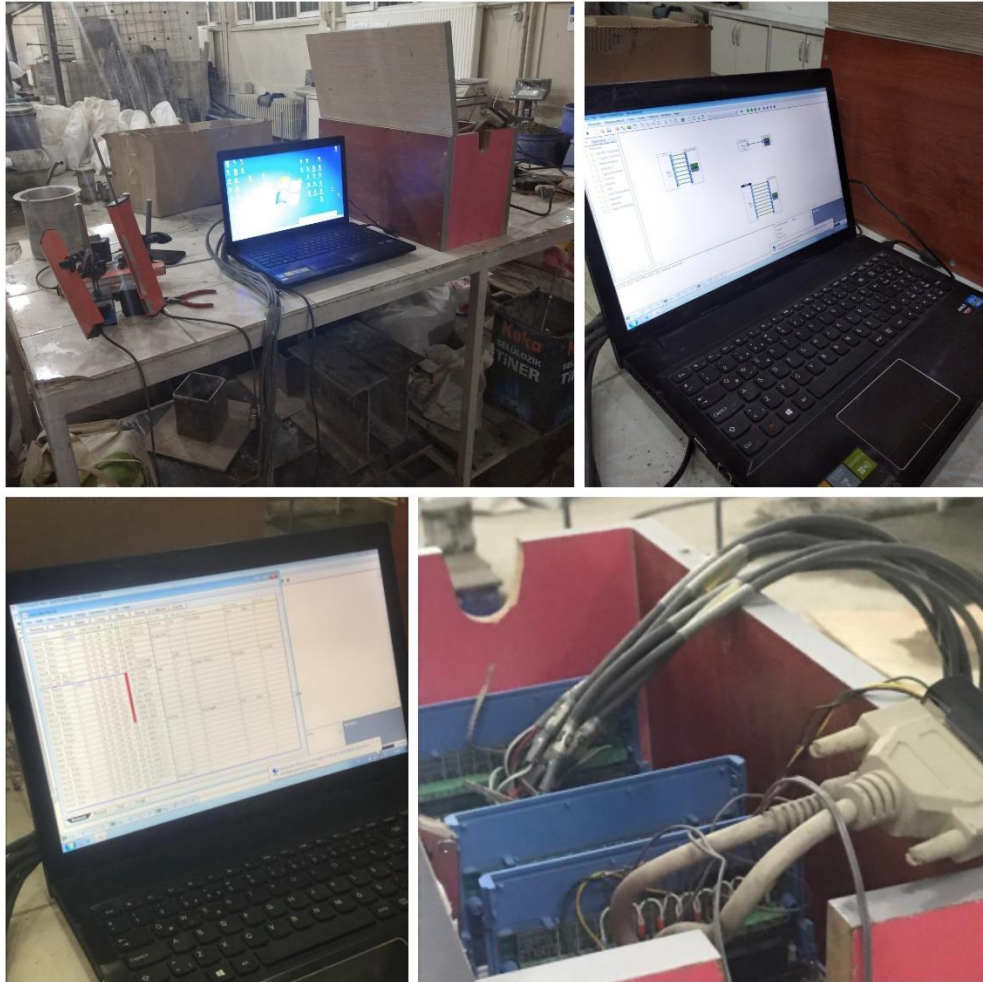
$\theta$ =Burulma Açısı

$$L=LVDT_2-LVDT_3$$

$$E=2,1*10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$I_x=171*10^{-4} \text{ m}^4$$

İkinci numune için ortalama burulma açısı 0,275 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.54. Veri toplama cihazı

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında deney numunelerine ilk olarak 4 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Boş I100 (I1) profil, içi polipropilen (pp) dolu I100 (I2) profil, polipropilen (pp) ve karbon fiber (I3) güçlendirme elemanı içeren profil ve polipropilen (pp) ve cam fiber (I4) güçlendirme elemanı içeren I100 profil üzerinde uygulanan dört noktalı eğilme deneyi sonucunda profillerin yük-deplasman ve yük-şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir.

1-Dört noktalı eğilme deneyinde yer değiştirme değerleri 150 cm'lik numunelerin  $X=50$   $x=75$   $X=100$  olmak üzere 3 noktasına yerleştirilen LVDT'ler sayesinde kaydedildi. Dört numune içinde yük deplasman grafiği çizildiğinde sonuçlar dört numunede de maksimum yer değiştirme D2 noktasında yani  $X=75$  noktasında (profilin orta noktası) meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda tüm numunelerin karşılayabildiği maksimum yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirme incelendiğinde içinde sadece polipropilen bulunan numunenin iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Maksimum yükleme olarak boş numune 10 kN, polipropilen ve karbon 12 kN, polipropilen ve cam 14 kN'a kadar çıkarken sadece polipropilen içeren numune 20 kN'a kadar dayanım göstermektedir.

2- Yapılan dört noktalı eğilme deneyi sonucunda dört numune içinde yük deplasman grafiği çizilmiştir. Çizilen bu grafiğin altında kalan alandan numunelerin enerji yutma kapasitesi hakkında çıkarımlar yapılmıştır. İlk etapta I1 profili ile I2 profili karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken referans alınan numune I1 profildir.

I1 profili ve I2 profili enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Enerji yutma kapasitesi referans numune olan boş numunede 177,66 iken, içi polipropilen eriyiği ile doldurulmuş numunede 373,6 olarak ölçülmüştür. Boş ve dolu numune arasında kıyaslama yapıldığında enerji yutma kapasitesinde %110'lik bir artış meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinden elde edilen bir diğler sonuç ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri ve bu değerlerin yük taşıma kapasitesini ne kadar arttırdığıdır.

I1 profili ve I2 profilinin yük taşıma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Boş I profilde maksimum yük 6 kN, polipropilen dolu profilde 20 kN'dur. Referans profil ile dolu profil karşılaştırıldığında polipropilenin yük taşıma kapasitesini %233,33 arttırdığı gözlemlenmiştir.

Maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri incelendiğinde ise boş profilin deplasman değeri 11 mm, dolu profilin deplasman değeri ise 9 mm'dir. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında polipropilen eriyiğı içeren numunenin deplasman değeri %18,18'lik bir azalma meydana gelmiştir.

3-Sadece eriyik polipropilen içeren profillerin içerisine gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgelerde eğilme davranışına faydalı olacağı yaklaşımı ile sürekli fiberler yerleştirilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak karbon fiber çubuk eklenen profildeki enerji yutma kapasitesi ve yük taşıma kapasitesindeki değışim sadece polipropilen içeren numune ile kıyaslanmıştır.

I2 ve I3 profillerinin enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Enerji yutma kapasitesi referans numune olan içi polipropilen eriyiğı dolu numunede 373,6 iken, güçlendirme elemanı olarak karbon fiber çubuk eklenen numunede 1201,5 olarak ölçülmüştür. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında enerji yutma kapasitesinde %221,60'lik bir artma meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinden elde edilen bir diğler sonuç ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri ve bu değerlerin yük taşıma kapasitesini ne kadar arttırdığıdır.

I2 ve I3 profillerinin yük taşıma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Sadece pp dolu I profilde maksimum yük 20 kN, polipropilen ve karbon fiber içeren profilde 12 kN'dur. Bu iki profil karşılaştırıldığında polipropilenin yük taşıma kapasitesini %40 azalttığı gözlemlenmiştir.

Maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerleri incelendiğinde ise sadece polipropilen dolu profilin deplasman değeri 9 mm, pp ve karbon fiber dolu profilin deplasman değeri ise 4 mm'dir. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında polipropilen eriyiği içeren numuneye karbon fiber çubuk eklenmesinin deplasman değerinde %55,5'lik bir azalma meydana gelmiştir.

4-Sadece eriyik polipropilen içeren profillerin içerisine gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgelerde eğilme davranışına faydalı olacağı yaklaşımı ile sürekli fiberler yerleştirilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak cam fiber çubuk eklenen profildeki enerji yutma kapasitesi ve yük taşıma kapasitesindeki değişim sadece polipropilen içeren numune ile kıyaslanmıştır.

I2 ve I4 profillerinin enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Enerji yutma kapasitesi referans numune olan içi polipropilen eriyiği dolu numunede 373,6 iken, güçlendirme elemanı olarak cam fiber çubuk eklenen numunede 643,72 olarak ölçülmüştür. Boş ve dolu numune arasında kıyaslama yapıldığında enerji yutma kapasitesinde %72,30'lik bir artma meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinden elde edilen bir diğer sonuç ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri ve bu değerlerin yük taşıma kapasitesini ne kadar arttırdığıdır.

I2 ve I4 profillerinin yük taşıma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Sadece pp dolu I profilde maksimum yük 20 kN, polipropilen ve cam fiber içeren profilde 14 kN'dur. Bu iki profil karşılaştırıldığında polipropilenin yük taşıma kapasitesini %30 azalttığı gözlemlenmiştir.

Maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerleri incelendiğinde ise sadece polipropilen dolu profilin deplasman değeri 9 mm, pp ve cam fiber dolu profilin

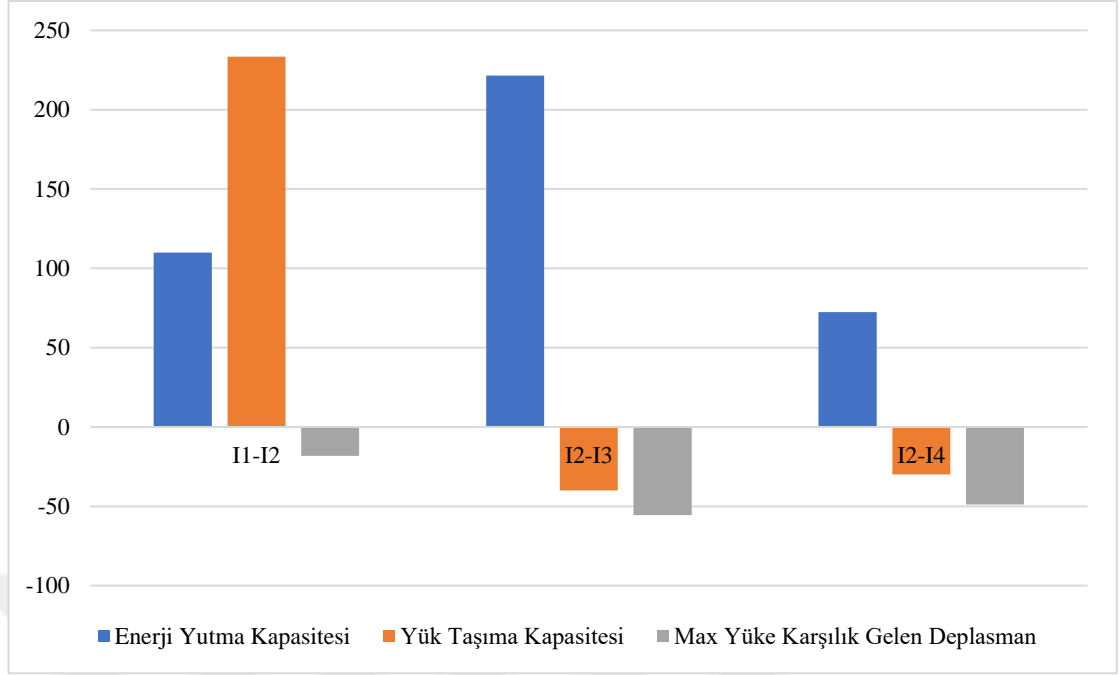
deplasman değeri ise 4,6 mm'dir. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında polipropilen eriyiği içeren numuneye cam fiber çubuk eklenmesinin deplasman değerinde %48,8'lik bir azalma meydana gelmiştir.

5- Dört noktalı eğilme deneyinin sonucunda numunenin orta noktasına ( $x=75$ ) biri yatay biri dikey olmak üzere iki adet strain gauge yapıştırılmıştır. Strain gaugeler sayesinde o noktada meydana gelen yatay ve dikey şekil değiştirmeler tespit edilmiş ardından yük-şekil değiştirme grafiği çizilmiştir. Dört numune içinde şekil değiştirmeler incelendiğinde boş I100 profilde dikey şekil değiştirme kapasitesi fazlayken, diğer üç numune de bu durum farklılık göstermiş ve yatay şekil değiştirme kapasitesinin daha fazla oldu gözlemlenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında deney numunelerine ikinci aşamada ise olarak kesme deneyi uygulanmıştır. Boş I100 profil (I5), içi pp dolu I100 (I6) profil, pp ve karbon fiber (I7) çubuk içeren profil ve pp ve cam fiber (I8) çubuk içeren I100 profil üzerinde uygulanan kesme deneyi sonucunda profillerin yük-deplasman ve yük-şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir.

Kesme deneyinde yer değiştirme değerleri 150 cm'lik numunelerin  $x=50$   $x=75$  en köşe nokta olmak üzere üç noktaya yerleştirilen LVDT'ler sayesinde kaydedildi.

Dört numune içinde yük deplasman grafiği çizildiğinde maksimum yer değiştirme boş numune, polipropilen dolu numune ve cam ve polipropilen dolu numune için D3 noktasında yani  $x=100$  noktasında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Polipropilen ve karbon dolu numunede ise maksimum yer değiştirme D1 noktasında meydana gelmiştir. Aynı zamanda tüm numunelerin karşılayabildiği maksimum yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirme incelendiğinde içinde sadece polipropilen bulunan numunenin en iyi performansı sergilediği görülmektedir. Aşağıdaki tablolarda dört noktalı eğilme deneyi sonucunda enerji yutma kapasitesi, yük taşıma kapasitesi ve maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerlerindeki yüzde artış veya azalış değerleri verilmiştir.



**Şekil 6.1.** I1, I2, I3, I4 profillerinin eğilme deneyi sonuçlarının kıyaslanması

6-Yapılan kesme deneyi sonucunda dört numune içinde yük deplasman grafiği çizilmiştir. Çizilen bu grafiğin altında kalan alandan numunelerin enerji yutma kapasitesi hakkında çıkarımlar yapılmıştır. İlk etapta I5 ile I6 profilleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken referans alınan numune I5 profilidir.

I5 ve I6 profillerinin enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Enerji yutma kapasitesi referans numune olan boş numunede (I5) 93,67 iken, içi polipropilen eriyiği ile doldurulmuş numunede 551,74 olarak ölçülmüştür. Boş ve dolu numune arasında kıyaslama yapıldığında enerji yutma kapasitesinde %489,02'lik bir artış meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinden elde edilen bir diğer sonuç ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri ve bu değerlerin yük taşıma kapasitesini ne kadar arttırdığıdır.

I5 ve I6 profillerinin enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Boş I profilde maksimum yük 10 kN, polipropilen dolu profilde 13 kN'dur. Referans profil ile dolu profil karşılaştırıldığında polipropilenin yük taşıma kapasitesini %30 arttırdığı gözlemlenmiştir.

Maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerleri incelendiğinde ise boş profilin deplasman değeri 16 mm, dolu profilin deplasman değeri ise 5,2 mm'dir. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında polipropilen eriyiği içeren numunenin deplasman değerinde %67,5'lik bir azalma meydana gelmiştir.

7-Sadece eriyik polipropilen içeren profillerin içerisine gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgelerde eğilme davranışına faydalı olacağı yaklaşımı ile sürekli fiberler yerleştirilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak karbon fiber çubuk eklenen profildeki enerji yutma kapasitesi ve yük taşıma kapasitesindeki değişim sadece polipropilen içeren numune ile kıyaslanmıştır.

I6 ve I7 profillerinin enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Enerji yutma kapasitesi referans numune olan içi polipropilen eriyiği dolu numunede (I6) 551,74 iken, güçlendirme elemanı olarak karbon fiber çubuk eklenen numunede (I7) 317,29 olarak ölçülmüştür. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında enerji yutma kapasitesinde %42,49'lik bir artış meydana gelmiştir.

Yük deplasman grafiğinden elde edilen bir diğer sonuç ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri ve bu değerlerin yük taşıma kapasitesini ne kadar arttırdığıdır.

I6 ve I7 profillerinin yük taşıma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Sadece pp dolu I profilde maksimum yük 13 kN, polipropilen ve karbon fiber içeren profilde 8 kN'dur. Bu iki profil karşılaştırıldığında polipropilenin yük taşıma kapasitesini % 23,07 azalttığı gözlemlenmiştir.

Maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerleri incelendiğinde ise sadece polipropilen dolu profilin deplasman değeri 5,2 mm, pp ve karbon fiber dolu profilin deplasman değeri ise 7 mm'dir. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında polipropilen



eriyiği içeren numuneye karbon fiber çubuk eklenmesinin deplasman değerinde %34,61'luk bir artma meydana gelmiştir.

8-Sadece eriyik polipropilen içeren profillerin içerisine gerilme yığılmalarının en çok olduğu köşe bölgelerde eğilme davranışına faydalı olacağı yaklaşımı ile sürekli fiberler yerleştirilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak cam fiber çubuk eklenen profildeki enerji yutma kapasitesi ve yük taşıma kapasitesindeki değişim sadece polipropilen içeren numune ile kıyaslanmıştır.

I6 ve I8 profillerinin enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında;

Enerji yutma kapasitesi referans numune olan içi polipropilen eriyiği dolu numunede 551,74 iken, güçlendirme elemanı olarak cam fiber çubuk eklenen numunede 397,27 olarak ölçülmüştür. İki numune arasında kıyaslama yapıldığında enerji yutma kapasitesinde %27,99'lik bir azalma meydana gelmiştir.

I6 ve I8 profillerinin yük taşıma kapasitesi karşılaştırıldığında;

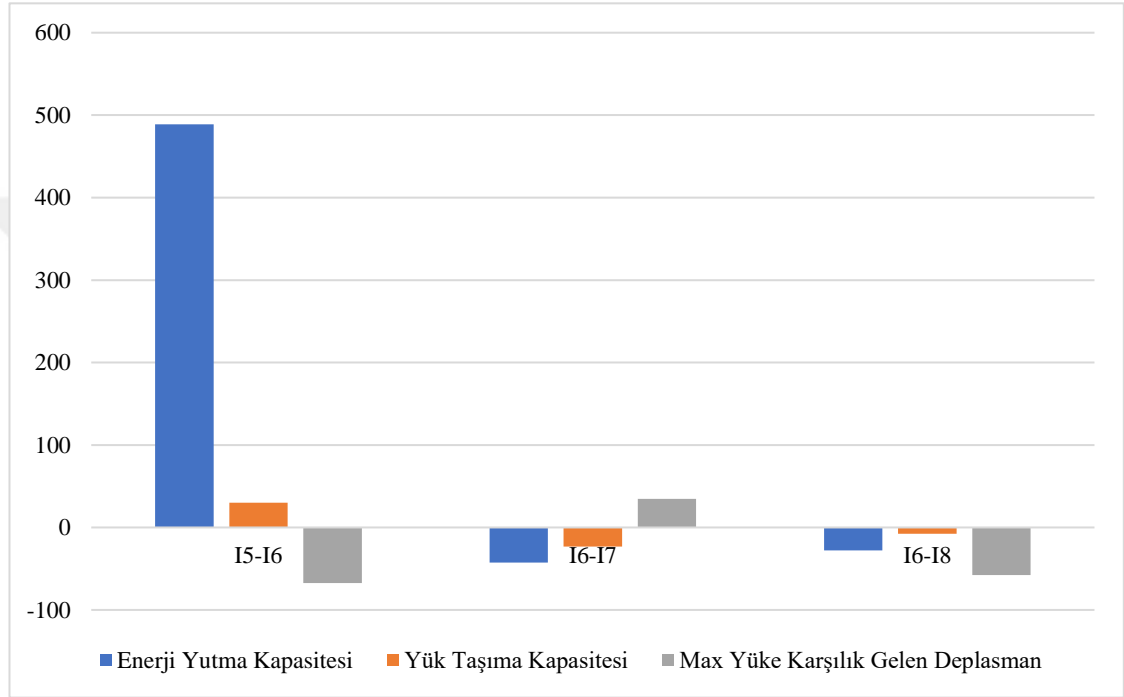
Yük deplasman grafiğinden elde edilen bir diğer sonuç ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değeri ve bu değerlerin yük taşıma kapasitesini ne kadar arttırdığıdır. Sadece pp dolu I profilde maksimum yük 13 kN, polipropilen ve cam fiber içeren profilde 12 kN'dur. Bu iki profil karşılaştırıldığında polipropilenin yük taşıma kapasitesini %7,69 azalma gözlemlenmiştir.

Maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerleri incelendiğinde ise sadece polipropilen dolu profilin deplasman değeri 5,2 mm, pp ve cam fiber dolu profilin deplasman değeri ise 2,2 mm'dir.

İki numune arasında kıyaslama yapıldığında polipropilen eriyiği içeren numuneye cam fiber çubuk eklenmesinin deplasman değerinde %57,69'luk bir azalma meydana gelmiştir.

Kesme deneyinin sonucunda numunenin  $x=50$  ve en köşe noktasına biri yatay biri düşey olmak üzere iki adet strain gauge yapıştırılmıştır. Strain gaugeler sayesinde o noktada

meydana gelen yatay ve dikey şekil değiştirmeler tespit edilmiş ardından yük-şekil değiştirme grafiği çizilmiştir. Dört numune içinde şekil değiştirmeler incelendiğinde tüm I100 deney numunelerinde dikey şekil değiştirme kapasitesinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıdaki tablolarda kesme deneyi sonucunda enerji yutma kapasitesi, yük taşıma kapasitesi ve maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerlerindeki yüzde artış veya azalış değerleri verilmiştir.



**Şekil 6.2.** I5, I6, I7, I8 profillerinin kesme deneyi sonuçlarının kıyaslanması

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında deney numunelerine üçüncü aşamada ise son olarak burulma deneyi uygulanmıştır. Boş I100 profil (I9) ve içi pp dolu I100 profil (I10) burulma deneyi sonucunda profillerin yük-deplasman ve yük-şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir.

Burulma deneyinde yer değiştirme değerleri 150 cm'lik numunelerin  $x=50$   $x=75$   $x=100$  olmak üzere üç noktaya yerleştirilen LVDT'ler sayesinde kaydedildi. İki numune içinde yük deplasman grafiği çizildiğinde sonuçlar iki numunede de farklılık gösterdi. Boş I100 (I9) profilde en fazla yer değiştirme D2 noktasında 40 mm olarak ölçülürken, pp ile dolu

(I10) profilde 37 mm ile D1 de ölçüldü. Aynı zamanda tüm numunelerin karşılayabildiği maksimum yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirme incelendiğinde içinde sadece polipropilen bulunan numunenin iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Maksimum yükleme olarak boş numune 8 kN, sadece polipropilen içeren numune ise 11 kN a kadar dayanım göstermektedir.

Aynı zamanda ilgili formüller yardımıyla boş I profil için burulma açıları 0,159 ve sadece pp dolu profil için 0,275 derece olarak hesaplanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen verilere dayanılarak polipropilen malzemesinin enerji yutma kapasitesinde ciddi artış sağladığı dolayısıyla sünekliği arttırdığı bu sebeple de kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

Hafif çelik kompozitler gittikçe yaygınlaşan bu kullanım alanıyla inşaat sektöründe yer almaya başlamıştır. Yenilikçi bir yaklaşım olarak bu çalışmada ortaya konan atık polimer değerlendirme sürecinin hafif çelik boşluklu kesitlerin birlikte değerlendirilmesi ile yenilikçi bir fikir hayat bulmuştur. Ancak bu sürecin tamamlanması için benzer profillerin yapı mühendisliği çerçevesinde daha detaylı ve geniş profil, birleşim vb. yaklaşımlarla araştırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ahmadabad, Y. (2014) “Öğütülmüş Atık Petlerle Üretilen Betonun Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 33-53.
- Akay, M. (2013) “Sürdürülebilirlik Stratejilerinin Hafif Çelik Yapım Sistemlerinde Uygulanmasına Yönelik Analiz”, Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-95.
- Akçaözoğlu, S. (2008) “Atık Pet Şişe Kırıklarının Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği”, Yayınlanmış Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 50-120.
- Alıca, H. (2013) “Hafif Çelik Duvar Panellerinin Yatay Yük Altında Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23-46.
- Anonim, “Britannia Bridge & Development of the Box Girder”  
<https://expeditionworkshed.org/workshed/britannia-bridge-development-of-the-box-girder/>  
Son Erişim Tarihi : 25.12.2019
- Anonim, “Çeliğin Yapılara Uygulanmasındaki Tarihsel Gelişim”  
<https://insapedia.com/celigin-yapilara-uygulanmasindaki-tarihsel-gelisim/>  
Son Erişim Tarihi : 25.12.2019
- Atasaral, H. (2009) “Soğuk Şekillendirilmiş Çok Parçalı Hafif Çelik Kolonların Merkezi Yükleme Altında Davranışı”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 5-18.
- Aydın, A.C. and Bayrak, B. (2019) “The torsional behavior of reinforced self-compacting concrete beams”, *Advances in Concrete Construction*, 8(3), 187-198.
- Bahadır, Ş.S. (1997) “Büyük Açıklıklı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1997.
- Balcı, E. (2003) “Betonarme ve Çelik Hafif Taşıyıcılı Yapı Sistemlerinin Kaba Yapı Aşamasında Maliyetlerinin İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (30-62).

- Bayrak, B. (2015) ‘‘Betonarmer Kirişlerin Burulma Davranışı’’,Yüksek Lisans Tez, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (129-140)
- Büyüksaatçi, S., Küçükdeniz, T. ve Esnaf, ř. (2008), ‘‘Geri Dönüşüm Tesislerinin Yerinin Gustafson-kessel Algoritması-konveks Programlama Melez Modeli Tabanlı Simülasyon ile Belirlenmesi’’,*İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7,1-20
- Çağlar, S. (2008) ‘‘Çelik Yapılarda Birleşim Unsurlarının İrdelenmesi’’, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 25-46.
- Çınar, M. (2016) ‘‘Atık Pet ve Mermer Tozunun Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi’’, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 42-53.
- Çiçek, A. (2018) ‘‘Pet Atık Polimerlerin Geri Kazanımı, Polyester Elyaf Üretim Safhaları, Kimyasalları Ve Zincir Uzaticılar’’, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep,(1-18).
- Demirarslan, S. (2009) ‘‘Plastik Malzemenin Özellikleri ve İnşaat Sektöründeki Kullanım Yerleri’’, *Kocaeli Üniversitesi Kocaeli Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programı*, Kocaeli, 2-12.
- Dizdar, Ç. (2017) ‘‘Hafif Çelik Döşeme Makas Kirişlerinin Düşey Yük Altındaki Davranışlarının Deneysel Ve Analitik Olarak İncelenmesi’’, *Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Gebze,56-100.
- Durmuşoğlu, T. (2017) ‘‘Acil İhtiyaç Durumunda Geçici Kullanılabilecek Hafif Çelik Yapı Sistemlerinin İncelenmesi’’, *Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Gebze,23-50.
- Ekinci, S. (2006) ‘‘Hafif Çelik Yapım Sistemleri Taşıyıcı Sistem, Yapı Fiziği Etkileri Ve Mimari Tasarım İlkeleri Açısından Analizi’’,Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 30-82.
- Eyyubov, C., 2011. Çelik Yapılar. *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 300-511
- Gureı, C., Akbulut, H. ve Kurklu, G. (2004) ‘‘İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi’’, *5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, Afyon,28-32.
- Güldür, H. (2018) ‘‘Hafif Çelik Profiller Ve Betondan Oluşan Kompozit Kafes Kirişlerin Deneysel Ve Analitik Olarak İncelenmesi’’,*Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Ankara,33-76

- Güneş, S. (2016) ‘‘Hafif Çelik Yapıların Farklı Yönetmeliklere Göre İncelenmesi, Mevcut Kontrol Şartları Ve Oluşturulabilecek Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde Vurgulanması Önerilen Konular’’,Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,İstanbul,4-19.
- Güneş, S. ve Çeribaşı, S. (2018) ‘‘Hafif Çelik Yapı Tasarımında Yaklaşımlar, Mevcut Kontrol Şartları ve Olası Bir Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde Vurgulanması Önerilen Konular’’, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3),362-375.
- Görkem, S.E. (2006) ‘‘Bileşik Eğilme Etkisindeki Yüksek Performanslı Betonarme Kolonların Davranışlarının Araştırılması’’,Araştırma Projesi Sonuç Raporu, *K.T.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi*, Trabzon, 2006.
- Hannawi, K., Kamali, S., and Prince, W. (2010) ‘‘Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates’’, *Waste Management*, 30(11),2-9.
- İleri,S. (2003) ‘‘Hafif Çelik Çerçeve Sistem İle Afet sonrası Geçici Konutu’’, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,İstanbul,100-168.
- İpekçi, C., Coşkun, N. ve Karadayı, T. (2017) ‘‘İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi’’, *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 10(2),43-50.
- İsmail, Z.Z and Hashmi, E.A. (2008) ‘‘Use of Waste Plastic in Concrete Mixture as Aggregate Replacement. Waste Management’’, *Department of Environmental Engineering, Baghdad*, Baghdad,29(2),655-659.
- Karabulut, B. (2015) ‘‘Hafif Çelik Kayma Panellerinin Deneysel ve Analitik Çalışması’’, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,İstanbul,56-79.
- Karaduman, M. (2010) Çelik Yapılar. *Nobel Yayınları*, Ankara, 211s.
- Korucuk, F., Maali, M., Kılıç, M. and Aydın, A.,C.(2019) ‘‘Experimental analysis of the effect of dent variation on the buckling capacity of thin-walled cylindrical shells’’, *Thin-Walled Structures*, 143.
- KüçükkayaE. ‘‘PolipropilenNedir?NelerlerdeKullanılır?’’  
<https://www.enerjiportali.com/polipropilen-nedir-nelerlerde-kullanilir/>  
Son Erişim Tarihi: 26.12.2019
- Kültür, S. (2013) ‘‘Tekrarlı Yükler Altında Hafif Çelik Yapıların Kaplamalı Panel Duvarlar İle Modellenmesi’’, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,İstanbul,38-92.

Louis St, “Eades Bridge Photo”<https://bridgehunter.com/mo/st-louis-city/eads/>

Son Erişim Tarihi: 26.12.2019

Maali, M., Aydın, A.,C. and Sağıroğlu, M.(2015) “Investigation of innovative steel runway beam in industrial building” *Sadhana*,40(7), 2239-2251.

Maali, M., Aydın, A.,C. and Kılıç, M. (2016) “Experimental model of the behaviour of bolted angles connections with stiffeners.” *International Journal of Steel Structures* 16(3),719-733.

Maali, M., Sağıroğlu, M. and Kılıç, M. (2017) “Experimental model for predicting the semi-rigid connections behaviour with angles and stiffeners.” *Advances in Structural Engineering* 20(6),884-895.

Maali, M., Sağıroğlu, M. and Solak, M., S. (2018) “Experimental behavior of screwed beam-to-column connections in cold-formed steel frames.” *Arabian Journal of Geosciences* 11(9),205.

Mecit, O. (1992) “Atık PET’in Yeniden Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 26-42.

Memiş, S. ve Örüng, İ. (2012) “Öğütülmüş Atık Plastik (PET) Katkılı Sıvaların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2),19-27.

Nabajyoti, S. and Jorge, B. (2012) “Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review, *International Conference on Durable Structures* ,Lisbon,1-8.

Öktem, B. (2016) “Geri Dönüşümün Üretim Maliyetlerine Etkisi ve Kağıt Karton Sektöründe Bir Uygulama”, *Fakülte Dergisi*,6,359-381

Öncü, S. (2010) “Hafif Çelik Yapıların Tasarımı Ve Deprem Riski Düşük Bölgelerde Orta Yükseklikteki Binalarda Uygulanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul ,20-44.

Öner, B. (2013) “Lif Takviyeli Çimento Esaslı Kompozit Üretiminde Polimer Atıkların Değerlendirilmesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,İzmir,26-50.

Serdar, E. “Coalbrookdale Köprüsü hakkında bilgi”,  
<https://muhendisbey.wordpress.com/tag/coalbrookdale-koprusu-hakkinda-bilgi/>

Son Erişim Tarihi : 25.12.2019

- Sevencan, F. ve Vaizoğlu, S. (2007) “PET ve Geri Dönüşümü”, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, Ankara, 6 (4),307-312.
- Siyahhan, R. (2005) “Hafif Çelik Sistem Taşıyıcı Kurgusu”,Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,İstanbul
- Soy, U. (2001) “Geri Dönüşümün PA’nın Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi,*Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Sakarya (10-25)
- Tama, S. (2002)“Soğuk Şekillendirilmiş Açık Kesitli Çelik Kirişlerin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 26-32.
- Tartar, A. (2002) “Hafif Çelik Konstrüksiyon Sistemi ve Tasarım Olanakları”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi,*İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 46-89.
- Tayyar, E. ve Üstün, S. (2009), “Geri Kazanılmış Pet’in Kullanımı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*,16,53-62
- Teknoyapı. “Karbon Fiber Çubuk Özellikleri”  
<https://www.teknoyapi.com.tr/tr/urunler/yapisal-guclendirme-urunleri/teknobarg-cam-elyaf-cubuk>  
Son Erişim Tarihi: 26.12.2019
- Teknoyapı. “Cam Fiber Çubuk Özellikleri”  
<https://www.teknoyapi.com.tr/tr/urunler/yapisal-guclendirme-urunleri/teknobarc-karbon-fiber-cubuk>  
Son Erişim Tarihi: 26.12.2019
- Terim, B. ( 2006) “Hafif Çelik Çerçeve Sistem”, *Ege Mimarlık Dergisi*, 1-56
- TS-11372, Çelik Yapılar-Hafif- Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1994.
- TS 648, 1980, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*,Ankara.
- TS 11372, 1994, Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Sekil Verilmiş Profillerle Olusturulan Hesap Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tunca, O., Erdal, F.,Carbaş, S. ve Sağsöz, A,E (2017) “Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Profillerin Yapısal Özellikleri”, *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Erzurum, 234-241.



- Ulu, C. (2016) “Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflu ve Metakametakaolinli Harçlarda Atık Pet Agreganın Kullanımının Araştırılması”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, **Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, 19-28.
- Üçüncü Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu, “3. Köprü”  
<https://www.3kopru.com/anasayfa>  
Son Erişim Tarihi:25.12.2019
- Yazıcı, C. (2018), “Hafif Çelik Yapılarda Vidalı Kiriş-Kolon Birleşim (Berkitmeli Davranışının Deneysel Olarak Belirlenmesi)”, Yüksek Lisans Tezi, **Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**,Erzurum,21-42.
- Yeşilata, B. ve Işıker, Y. (2017) “Atık Polimerik Malzeme Katkılı Betonun Yalıtım Özelliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, **Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi**,Şanlıurfa,1,14-21.
- Yıldırım, S.G., “Hafif Çelik Taşıyıcı Endüstrileşmiş Konutlarda Tasarım Verileri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2003.
- Yüce, E. ve Kılıç, M. (2014). “PVC ve PET Atıkların Seçimli Flotasyonu Bölüm 1: Plastikler, Çevresel Etkileri, Geri Dönüşümü”, **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 29,79-94

## EKLER

### **EK-1 Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar**

Maali vd. (2020) “Behavior of Polypropylene Filled Cold Formed Steel Profiles – Part A: Bending & Shear”, *Civil Engineering Beyond Limits*, 2,1-6.

Kılıç vd. (2020) “Behavior of Polypropylene Filled Cold Formed Steel Profiles – Part B: Torsion”, *Civil Engineering Beyond Limits*, 2,7-11.



## ÖZGEÇMİŞ

1995 yılında Trabzon'un Araklı ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Araklı'da tamamladı. Lise öğrenimini Of Anadolu Lisesinde tamamladı. 2013 yılında girdiği Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans çalışmasıyla ilgili uluslararası bir dergide basılmış iki adet makalesi bulunmaktadır.

Yüksek lisans süresince kendi projesinde araştırmacı oldu. FYL-2019-7354 proje nolu tez çalışması Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.