

**T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK POLİMERLERDEN ÜRETİLMİŞ U PROFİLLERİN
EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Elif METE

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, Elif METE 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 / 9 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 U 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



ELİF METE



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK POLİMERLERDEN ÜRETİLMİŞ U PROFİLLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Elif Mete

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Hafif çelik yapı profilleri günümüzde uygulamada kolaylık ve ekonomik açıdan bizlere avantajlar sağlaması sebebiyle ülkemizde sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında 1,5 m uzunluğunda 1,20 mm kalınlığında ince cidarlı 13 adet U100 hafif çelik profil kullanılmıştır. Çalışmanın amacı atık polimer malzemenin homojen bir hamur haline getirildikten sonra hafif çelik U profil kalıpların içerisine eriyik halde doldurularak oluşturulan kompozit malzemenin eğilme, kesme ve burulma davranışlarını incelemektir. Çalışma kapsamında toplamda dört grup numune elde edilmiştir: Boş profil, atık polimer, atık polimer + cam fiber çubuk, atık polimer+ karbon fiber çubuk içeren hafif çelik U profiller üretilmiştir. Çalışmada 13 adet profil üç adet boş profil, üç atık polimerli profil, iki adet atık polimer + cam fiber çubuk içeren profil, iki adet atık polimer + karbon fiber çubuk içeren profil, üç adet yedek profil olmak üzere gruplandırılmıştır. Bu şekilde oluşturulmuş kompozit kirişlerin eğilme, burulma, kesme davranışlarının incelenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada atık polimer olarak ince öğütülmüş atık ve ham PP (Polipropilen) kullanılmıştır. Kompozit kirişlerin eğilme davranışları moment kapasitesi, rijitlik, kesit şekil değiştirmeleri ve ara yüz kayması bakımından incelenmiştir. Üretilen hafif çelik U100 profil ve eriyik halde doldurulan atık polimer düşüncesi, geri dönüşümde yenilikçi bir yaklaşım ve eğilme, kesme, burulma davranışlarında tahmin edilenin ötesinde dayanımda artış gözlemlenmiştir. Çalışmada standart çelik profillere benzer davranış gösteren hafif atık geri dönüşümlü profiller üretilmiştir.

2020, 110 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Burulma, cam fiber çubuk, eğilme, karbon fiber çubuk, kesme, PP, U profil

ABSTRACT

Master Thesis

AN INVESTIGATION ON THE BENDING BEHAVIOR OF U PROFILES MANUFACTURED WITH WASTE POLYMERS.

Elif METE

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

Supervisor: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Nowadays, light steel construction profiles are frequently used in our country due to their ease of application and economic advantages. In the scope of this study, 13 U100 thin-walled light steel profiles with 1.5 m length and 1.20 mm thickness were used. This study aims to investigate the bending, shear and torsional behaviors of the composite material formed by being filled into the light steel U profile molds following the waste polymer material is homogeneously pulped. In the scope of this study, four groups of samples were obtained in total: light steel U profiles containing a hollow profile, waste polymer, waste polymer + glass fiber rod, waste polymer + carbon fiber rod. In the study, 13 profiles were grouped as three hollow profiles, three waste polymer profiles, two waste polymer + glass fiber rod profiles, two waste polymer + carbon fiber rod profiles and three spare profiles. Experimental studies were carried out in order to investigate the bending, torsional and shear behavior of the composite beams formed in the way stated above. In this study, finely ground waste and raw PP (Polypropylene) were used as the waste polymer. Bending behaviors of the composite beams were examined in terms of their moment capacity, stiffness, cross-section deformations and interface shift. The idea of light steel U100 profile and melt-filled waste polymer produced, an innovative approach to recycling and an increase in bending, shear, torsional behavior beyond predictability have been observed. In this study, light waste recycled profiles were produced which behave similarly compared to the standard steel profiles.

2020,110 pages

Keywords: Bending, Carbon fiber rod, Glass fiber rod, Polymer profile, Slip center, U profile, Torsion.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübelerinden ve ilminden faydalandığım, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN' a,

Gerek laboratuvar çalışmalarında gerekse bu tezin ortaya çıkmasında çok büyük emekleri olan ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mahmut KILIÇ 'a, Sayın Dr. Mahyar MAALİ' ne, Sayın Arş. Gör. Barış BAYRAK 'a,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, eğitim hayatım boyunca her türlü desteğini esirgemeyen ve üzerimde çok büyük emeği olan Sayın Prof. Dr. İlyas ÇAPOĞLU ve eşine,

Bu süreçte bana sabır ve anlayış gösteren, hayatımın her aşamasında beni destekleyen, tecrübelerinden ve çok değerli fikirlerinden yararlandığım babam Murat METE, annem Songül METE' ye, Şeyma Şişik OĞRAŞ ve Tekin OĞRAŞ'a, Ahsen METE' ye,

Çalışmalarım esnasında her türlü desteği ve ilgiyi esirgemeyen, laboratuvar çalışmalarında ve her konuda bana yardımcı ve destek olan ve Maksut METE' ye, Ömür Şişik' e, ve tüm aileme,

Yüksek lisans boyunca tüm zorlukları beraber aştığımız çok değerli arkadaşım Kübra ÇEBİ' ye ve diğer arkadaşlarıma, aynı zamanda bu süreçte desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer meslektaşım Emre Hazar'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Tarafından FLY-2019-7353 proje numarası ile desteklenmiştir. Bu projenin gerçekleşmesine büyük katkı sunan Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Elif METE

01/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
3.KURAMSAL TEMELLER.....	14
3.1.Hafif Çelik Profiller.....	14
3.1.1.Hafif çelik yapıların inşaat mühendisliğindeki önemi.....	15
3.2.Hafif Çelik Profillerin Avantajları	16
3.3.Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Profillerin Yapısal Özellikleri	17
3.4.Soğuk Şekillendirme İşleminin Neden Olduğu Artık Gerilmeler	18
3.5.Hafif Çelik Profillerin Geometrik Kusurları	18
4.MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
4.1.Malzeme Özellikleri	20
4.1.1.Soğuk Şekillendirilmiş U profil.....	20
4.1.2.Cam fiber Çubuk.....	20
4.1.3.Karbon Fiber Çubuk	22
4.1.4.Atık Polimer.....	23
4.2.Kesit Özellikleri	25
4.2.1. Soğuk Şekillendirilmiş U Profil Kesit Özellikleri	25
4.2.2. Cam fiber Çubuk Kesit Özellikleri	28
4.2.3.Karbon Fiber Çubuk Kesit Özellikleri.....	30
4.2.4. Atık Polimer Kesit Özellikleri	28
4.3.U Profillerin Deneysel Hazırlık Aşamaları	29
4.3.1.Atık Polimerlerden Üretilmiş U Profil Numunelerinin Hazırlanması	32
4.3.2.Eritme Düzenegi	34

4.3.3. Atık Polimerlerden Üretilmiş U Profiller	36
4.3.4.U Profillerin Deneylere Hazırlanması	36
4.4.Deney Düzenegi	37
4.4.1.LVDT	38
4.4.2. Şekil Değiştirme Ölçer (Strain Gauge).....	38
4.4.3.Hidrolik Pompa.....	38
4.4.4. Yükleme Hücreleri ve Bilgisayar	36
4.4.5. Veri Toplama Sistemi	37
4.5. Dört Noktalı Eğilme Deneyi Deney Düzenegi	38
4.6. Kesme Deneyi Deney Düzenegi.....	44
4.7.Burulma Deneyi Deney Düzenegi.....	47
5.ARAŞTIRMA BULGULARI.....	48
5.1. 4 Noktalı Eğilme Deneyi	50
5.1.1. U1 (Boş U Profil) Dört Noktalı Eğilme Deneyi	50
5.1.2.U2 (PP içeren U Profil) Dört Noktalı Eğilme Deneyi	50
5.1.3. U3 (PP + cam fiber çubuk içeren U profil) Dört Noktalı Eğilme Deneyi.....	57
5.1.4. U4 (PP+ karbon fiber çubuk içeren U profil)Dört Noktalı Eğilme Deneyi.....	60
5.2.Kesme Deneyi	69
5.2.1. U5 (Boş U Profil) Kesme Deneyi	70
5.2.2.U6 (PP içeren U Profil)Kesme Deneyi.....	70
5.2.3. U7 Kesme Deneyi (PP + cam fiber çubuk içeren U profil).....	75
5.2.4. U8 Kesme Deneyi (PP+ karbon fiber çubuk içeren U profil)	80
5.3. Burulma Deneyi	85
5.3.1. U9 (Boş U Profil) Burulma Deneyi	85
5.3.2. U10 (PP içeren U Profil) Burulma Deneyi	89
6.SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR.....	97
EKLER.....	110
EK-1 Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar.....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	111

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Atık Hiyerarşisi.....	2
Şekil 2.1. Atık PET kırıklarının yeniden kullanılması(Akçaözoğlu,2008).....	8
Şekil 2.2. Deney düzeneği(Beale vd., 2001).....	8
Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan öğütülmüş atık pet(Ahmadabad,2014).....	9
Şekil 2.4. Çalışmada kullanılan atık pet (Ulu,2016).....	9
Şekil 2.5. Deney düzeneği(Baran ve Topkaya,2012).....	11
Şekil 2.6. Deney düzeneği(Baran ve Topkaya,2014).....	12
Şekil 4.1. Çalışma kapsamında üretilen hafif çelik U100 profil.....	20
Şekil 4.2. Cam fiber çubuk.....	21
Şekil 4.3. Karbon fiber çubuk.....	22
Şekil 4.4. Polipropilen (PP).....	23
Şekil 4.5. U100 profil.....	26
Şekil 4.6. U100 profil kesiti.....	27
Şekil 4.7. Cam fiber çubuk kesiti.....	29
Şekil 4.8. Cam fiber çubukların profillere yerleştirilmesi.....	29
Şekil 4.9. Karbon fiber çubuk kesiti.....	30
Şekil 4.10. PP (Polipropilen).....	31
Şekil 4.11. U profil numunelerinin hazırlanması.....	33
Şekil 4.12. Cam fiber çubukların yerleştirilmesi.....	33
Şekil 4.13. Karbon fiber çubukların yerleştirilmesi.....	34
Şekil 4.14. Eritme düzeneği.....	35
Şekil 4.15. Dijital prob.....	35
Şekil 4.16. Polipropilen malzemenin erimesi.....	36
Şekil 4.17. U100 profiller.....	37
Şekil 4.18. Boyanmış ve ağ yapısı oluşturulmuş U profiller.....	37
Şekil 4.19. LVDT.....	38
Şekil 4.20. Strain Gauge.....	38
Şekil 4.21. Hidrolik Pompa.....	39
Şekil 4.22. Veri toplama programı.....	39
Şekil 4.23. Veri toplama sistemi.....	40

Şekil 4.24. Dört Noktalı eğilme deneyi.....	41
Şekil 4.25. Dört noktalı eğilme deneyi deney düzeneği.....	42
Şekil 4.26. Dört noktalı eğilme deneyi LVDT yerleşimi.....	42
Şekil 4.27. Dört noktalı eğilme deneyi strain gauge yerleşimi.....	43
Şekil 4.28. Kesme deneyi	44
Şekil 4.29. Kesme deneyi deney düzeneği.....	45
Şekil 4.30. Kesme deneyi LVDT yerleşimi.....	45
Şekil 4.31. Kesme deneyi strain gauge yerleşimi.....	46
Şekil 4.32. Burulma deneyi deney düzeneği	46
Şekil 4.33. Burulma deneyi ve LVDT yerleşimi	47
Şekil 4.34. Burulma deneyinden bir görünüm	48
Şekil 4.35. Burulma deneyinden bir görünüm.....	49
Şekil 5.1. U1 profili dört noktalı eğilme deneyi.....	50
Şekil 5.2. U1 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası.....	51
Şekil 5.3. U1 profili yük-deplasman grafiği.....	52
Şekil 5.4. U1 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	54
Şekil 5.5. U2 profili dört noktalı eğilme deneyi.....	55
Şekil 5.6. U2 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası.....	56
Şekil 5.7. U2 profili yük-deplasman grafiği.....	57
Şekil 5.8. U2 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	59
Şekil 5.9. U3 profili dört noktalı eğilme deneyi.....	60
Şekil 5.10. U3 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası.....	61
Şekil 5.11. U3 profili yük-deplasman grafiği.....	62
Şekil 5.12. U3 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	64
Şekil 5.13. U4 profili dört noktalı eğilme deneyi.....	65
Şekil 5.14. U4 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası.....	66
Şekil 5.15. U4 profili yük-deplasman grafiği.....	67
Şekil 5.16. U4 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	69
Şekil 5.17. U5 profili kesme deneyi.....	70
Şekil 5.18. U5 profili kesme deneyi sonrası.....	71
Şekil 5.19. U5 profili yük-deplasman grafiği.....	72
Şekil 5.20. U5 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	74
Şekil 5.21. U6 profili kesme deneyi.....	75

Şekil 5.22. U6 profili kesme deneyi sonrası.....	76
Şekil 5.23. U6 profili yük-deplasman grafiği.....	77
Şekil 5.24. U6 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	79
Şekil 5.25. U7 profili kesme deneyi.....	80
Şekil 5.26. U7 profili kesme deneyi sonrası.....	81
Şekil 5.27. U7 profili yük-deplasman grafiği.....	82
Şekil 5.28. U7 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	84
Şekil 5.29. U8 profili kesme deneyi	85
Şekil 5.30. U8 profili kesme deneyi sonrası	86
Şekil 5.31. U8 profili yük-deplasman grafiği.....	87
Şekil 5.32. U8 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	89
Şekil 5.33. U9 profili burulma deneyi.....	90
Şekil 5.34. U9 profili burulma deneyi sonrası.....	91
Şekil 5.35. U9 profili yük-deplasman grafiği.....	92
Şekil 5.36. U9 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	93
Şekil 5.37. U10 profili burulma deneyi.....	94
Şekil 5.38. U10 profili burulma deneyi sonrası.....	95
Şekil 5.39. U10 profili yük-deplasman grafiği.....	96
Şekil 5.40. U10 profili yük-şekil değiştirme grafiği.....	97
Şekil 5.41. U1- U2- U3- U4 profillerin karşılaştırılması.....	101
Şekil 5.42. U5-U6-U7-U8 profillerin karşılaştırılması.....	103

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Polipropilen (PP) Genel Özellikleri	24
Tablo 4.2. Polipropilen (PP) Mekanik Özellikleri	24
Tablo 4.3. Polipropilen (PP) Termal Özellikleri.....	25
Tablo 4.4. Polipropilen (PP) Elektriksel Özellikleri.....	25
Tablo 4.5. Özel Olarak Üretilmiş U Profilinin Ağırlık ve Boyut Ölçüleri	27
Tablo 4.6. Deneye tabi tutulan U profillerin deney planlaması	32



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E	Elastisite Modülü
P	Eksenel Yük
θ	Dönme Açısı
I	Atalet Momenti

Kısaltmalar

CFRP	Karbon Lif Takviyeli Polimer
GFRP	Cam Elyaf Takviyeli Polimer
LVDT	Lineer Değişken Diferansiyel Transformatörler
PET	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen

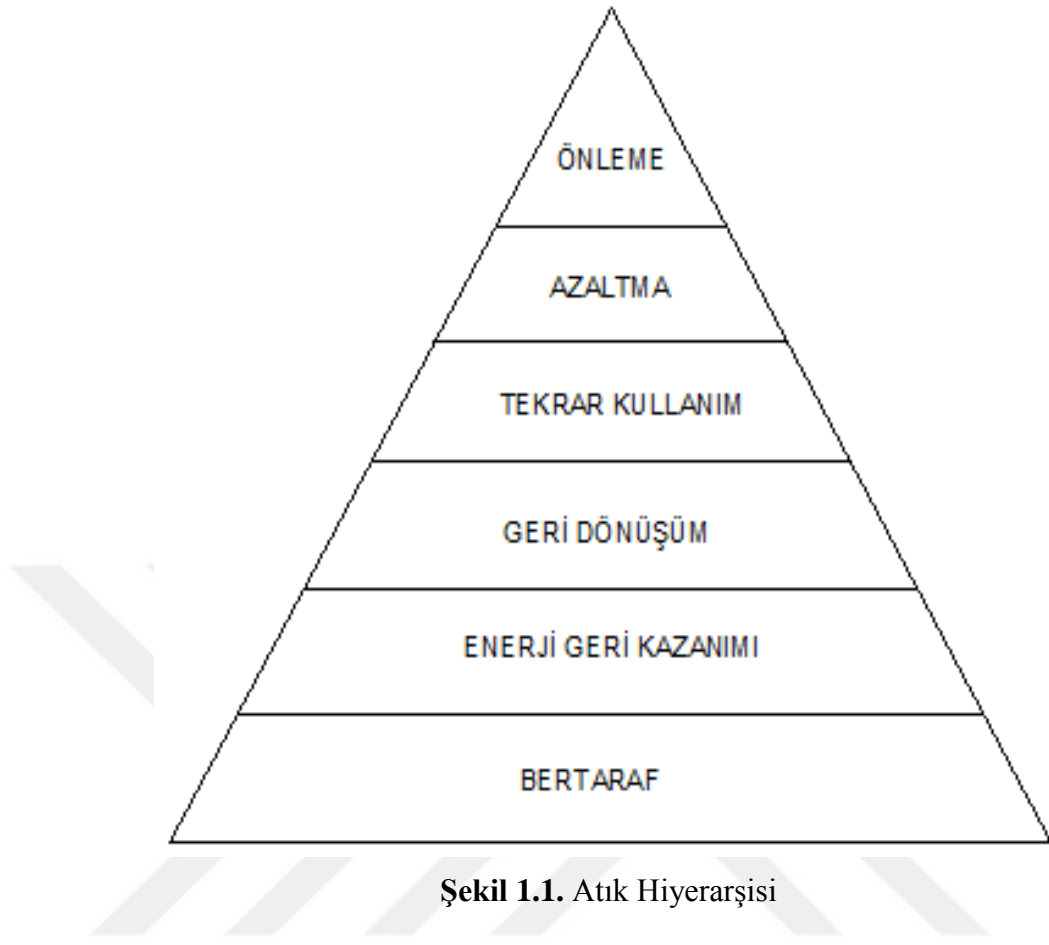
1.GİRİŞ

Günümüzde doğal kaynak kullanımını azaltmak amacıyla atık malzemelerin değerlendirilmesi konusu ülkemizde ve dünyada önemini arttırmıştır. Artan sanayileşme ve teknolojinin her geçen gün daha da artmasıyla birlikte çevre kirliliği sorunu artmaktadır. Artan çevre kirliliğinin ortadan kaldırılması için oluşan kirliliğinin minimum miktarda tutulması hem insanların sağlığı açısından hem de dünyamızın geleceği açısından kritik bir konudur.

Son yıllarda katı atıklar çevre kirliliğinin en büyük nedenlerinden birisi olmaktadır. Özellikle sanayileşmiş ülke ve şehirlerde katı atık problemi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla birçok ülke ve şehir geri dönüşüm hizmetini uygulamaktadır. Geri dönüşüm ile yeniden kullanılabilirlik sağlanmakta ve çevre kirliliğinin önüne geçilmektedir.

Atık malzemeler katı atık olarak depolanmakta ve geri dönüşümü sağlamadığı sürece çevre kirliliği olarak olumsuz bir etki göstermektedir. Depolanan katı atıklar geri dönüştürülmeli ve geri dönüştürme yoluyla malzemenin farklı amaçlarla yeniden kullanım sürecine girmesi gereklidir.

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Dünya Çevre Günü Haziran 2018'de çevre gününün temel konusu "plastik kirlilik ile mücadele" olarak tayin edilmiştir. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Dünya Çevre Günü Haziran 2018 Türkiye Raporu'na göre üretilen 1.800.000 ton plastiğin sadece 384.000 tonu geri toplanabilmektedir. Bu oran çevre kirliliğinin ciddiyetini gözler önüne sermektedir. Bu oranı düzeltmek için katı atıklar toplanmalı Ve geri dönüşüm ile tekrar kullanılabilir hale getirilmelidir.



Şekil 1.1.'de görülen atık hiyerarşisinde en çok istenenden en az istenene doğru sıralanmıştır. İlk aşamada atıkları önleme, azaltma gelmektedir. Önleme aşamasında atıkların kullanımının minimum düzeye indirgenmesi sağlanmaktadır. Daha sonraki aşamalarda ise oluşan atıkların tekrar kullanımı, geri dönüşümü, enerji geri kazanılması ve en son aşamada ise atıkların bertaraf edilmesi gelmektedir. Atıkların tekrar tekrar kullanılması açığa çıkan kirliliğinin minimum düzeyde olmasını sağlamaktadır. Kullanılan atıkların geri dönüşümü ile farklı sektörlerde tekrar tekrar kullanılması kullanılan atık miktarını azaltmaktadır.

Atık malzemeler birçok alanda geri dönüştürülerek tekrar tekrar kullanıma sunulmaktadır. Malzemenin tekrar tekrar kullanılması birçok sektörde kullanılan malzemenin seçme nedeni olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kullanabilir atıkların depolanması ve ayrıştırılması ile atıkların sektörlere göre kullanılabilir oluşunu sağlamakta ve ayrıştırma işlemi ile malzemenin yeniden kullanılmasında maksimum fayda sağlaması istenmektedir.

İnşaat sektöründe değerlendirilmesi ile doğal kaynak kullanımının azaltılması, atık malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması ve çevre kirliliğinin azaltılması amaçlanmaktadır. Atık malzemelerin geri dönüşüm ile azaltılarak yeni bir malzeme olarak kullanılması birçok çalışmada konu olmuştur.

Literatürde atıkların yeniden kullanılması ve inşaat sektöründe yeniden kullanılabilirliği hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Mecit (1992) Atık Pet'in yeniden değerlendirilmesi konulu çalışmasında polimer madde kullanımının çevre kirliliğini arttırdığı sorununu gündeme getirmiştir. Çevre kirliliğinin Mecit yaptığı deneysel çalışmada atık pet'i depolimerleşme yöntemi ile geri kazandırmıştır.

Ahmadabad (2014) öğütülmüş atık petlerde üretilen betonun özelliklerinin incelenmesi üzerine bir araştırma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada atık pet 'in beton içerisinde kullanım miktarı arttıkça birim ağırlık ve ultra ses hızı ölçüm değerlerinde azalma gözlenmiştir. Aynı zamanda basınç dayanımı ve eğilme dayanımında da azalma görülmektedir.

Ulu (2016) Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu ve metakaolinli harçlarda atık pet agrega kullanımının araştırılması üzerinde yaptığı çalışmada birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı, su emme ve boşluk oranları deneyleri yapılmıştır. Ve aynı zamanda yüksek sıcaklık dayanımları incelenmektedir. Deneyler sonucunda atık pet agrega kullanımının uygun olduğu görüşüne varılmıştır.

Sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşıyan bu deneysel çalışma kapsamında atık polimerlerle doldurulmuş soğukta şekil verilmiş U100 profiller hem kalıp hem de profil olarak kullanılmıştır. Hafif çelik yapısal sistemler, sağladıkları ekonomi ve uygulama kolaylığı gibi avantajlar nedeniyle son zamanlarda yoğun bir şekilde çalışılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda dünyanın her tarafında yapı elemanı olarak kullanılmaktadır.

Soğuk şekillendirilmiş çelik profiller kalınlığı dört mm'den küçüktür ve soğuk şekillendirme ile istenilen şekle dönüştürülür. Soğuk şekillendirilmiş çelik profil ile sıcak şekillendirilmiş profil arasında farklar bulunmaktadır. En önemli farklardan biri dayanım-ağırlık oranının soğuk şekillendirilmiş profillerde sıcak şekillendirilmiş profillere oranla daha yüksek olmasıdır. Dayanım-ağırlık oranının büyük olması profilin ağırlığını azaltmakta ve ekonomik olmasını sağlamaktadır. Soğukta şekillendirilmiş profillerin üretimi silindir makinede şekillendirme ve pres bükme olarak iki şekildedir.

Bu çalışmada kullanılan U profillerin içerisine atık polimer homojen bir hamur haline getirildikten sonra kompozit kiriş olarak eğilme, kesme ve burulma davranışları incelenmiştir.

Aynı zamanda atık polimerlerin içerisine cam fiber çubuk ve karbon fiber çubuk eklenerek kompozit malzemenin davranışındaki değişim de araştırılmıştır. Kompozit malzemede cam fiber çubuk ve karbon fiber çubuk kullanılmasının sebebi Elastisite modülünün yüksek bir değere sahip olmamasıdır.

Ayrıca uygulama bakımından zamandan tasarruf sağlayarak yüksek korozyon direnci nedeniyle kompozit yapılarda kullanılması araştırılmıştır.

Kompozit malzemenin farklı kombinasyonlarında eğilme, kesme ve eğilme davranışını incelemek amacıyla atık polimerler toplamda 4 grup numune deneye tabi tutulmuştur.

1.grup numune: Boş U profil

2.grup numune: Atık polimer

3.grup numune: Atık polimer + cam fiber çubuk

4. grup numune: Atık polimer+ karbon fiber çubuk

Belirlenen 4 grup numuneye eğilme, burulma ve kesme deneyleri uygulanmıştır.

Çalışma kapsamında atık polimerlerin inşaat sahasında kullanılarak çevre kirliliğinin azaltılmasında katkıda bulunması hedeflenmektedir.

Atık polimerlerin inşaat sahasında kullanılmasıyla çevre kirliliğinin azaltılması, inşaat yapı malzemelerine yeni bir bakış kazandırılması ve aynı zamanda inşaat sektörüne polimerlerin geri dönüşümü ve inşaat mühendisliğinde kullanımı kapsamında katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Atık polimerin cinsine göre U profillerin eğilme davranışı farklılık gösterecektir. Bu farklılıkların incelenmesi ve ortaya çıkacak problemlere çözüm üretilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan tez çalışmasında standart U100 profilleri kullanılarak içi boş olarak üretilen hafif çelik U100 profillerinin içleri polipropilen eriği ile doldurularak yenilikçi bir yaklaşım gözlenmiştir.

Bu çalışmalar kapsamında çevre kirliliğinin önüne geçilmiş ve inşaat sektöründe atık maddelerin kullanımının önü açılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda atık polimer kullanımı beton dayanımı üzerine olup hafif çelik profiller üzerinde bir araştırma yapılmamıştır. Yapılan bu çalışma ile literatürdeki önemli bir eksiklik kapatılmış ve atık polimerlerden üretilmiş U profillerin çeşitli davranışları incelenerek inşaat sahalarında kullanımının yaygınlaşmasının önü açılmıştır.

Gün geçtikçe daha çok yaygınlaşan hafif çelik kompozitler artan kullanım alanlarıyla inşaat sektöründe yer almaya başlamıştır. Yapılan tez çalışmasında yenilikçi bir yaklaşım olarak atık polimerler ile içi boşluklu hafif çelik U profillerin birlikte değerlendirilmesi ile yenilikçi bir yaklaşım sergilenmiştir. Fakat atık polimerler ile içi boşluklu U profillerin birlikte değerlendirilmesi yaklaşımı sürecinin tamamlanması için benzer profillerin daha ayrıntılı yaklaşımlarla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürdürülebilirlik açısından malzemenin kullanılmasının önemi de gün geçtikçe artmaktadır. Gelişen teknoloji ile beklenen talep artmakta ve bu talebi karşılamak için yeni malzeme kullanımı ihtiyacı doğmaktadır.

Yeni malzeme kullanımı ile malzemelerde ortaya çıkan problemleri minimum seviyeye indirilerek sürdürülebilirlik açısından yapı sektörüne yeni bir malzeme kazandırılması hedeflenmiştir.

Aynı zamanda bu çalışmanın diğer bir hedefi de sanayileşme ile birlikte artan katı atıkların oluşturduğu çevre kirliliğini azaltmaktır.

Çalışma kapsamında atık polimer olarak ince öğütülmüş atık ve ham polipropilen (PP) kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada ince öğütülmüş atık ve ham polipropilen kullanılarak yapı alanında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı'nın verilerine göre Türkiye'de yaklaşık 150-200 bin ton atık plastik geri dönüştürülmektedir. Geri dönüştürülme oranı %32 olan atık plastiğin yapı alanında kullanımı arttırılarak bu oranın arttırılması düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada hafif çelik U profiller üretilerek kullanılmıştır. Hafif çelik profiller hafif, maliyeti düşük ve bakımı kolay olduğundan birçok deneysel çalışmada konu olmuştur. Hafif profiller atık polimerlerden elde edilecek hamur ile oluşturularak ve kompozit malzeme içerisine cam fiber çubuk ve karbon fiber çubuk donatı eklenerek deneyler yapılmıştır.

Cam fiber çubuklar ve karbon fiber çubuklar son yıllarda yüksek dayanım, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon sağlaması nedenleriyle yapı sektöründe tercih edilme sebeplerindedir. Cam fiber çubuklar aynı zamanda hafiflik gibi fiziksel özelliklere de sahiptir.

Yapılan deneysel çalışma ile atık polimerden oluşan hafif çelik U profillerin eğilme davranışı incelenmiştir. Hem sürdürülebilirlik hem de çevre kirliliği azaltılması hedeflenen hafif profiller yapı sektörüne yeni bir bakış açısı kazandıracaktır.

Yapılan bu çalışma ile standart profillerin içi boş olarak üretilen hafif çelik U profillerin içi polipropilen ile doldurulmuştur ve oluşturulan kompozit profilin eğilme, kesme ve burulma davranışları incelenmiştir.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi de inşaat sektörüdür. İnşaat sektörü, imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, hammaddelerin kullanılmasını, enerji tüketimini, emisyonları ve mekan kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır. Atık malzemelerin yapı sektörünün farklı alanlarında kullanılması ile öncelikle doğal kaynakların hızlı tüketiminin önlenmesi, büyük miktarda atık malzemenin geri dönüşümünün sağlanması ve atıkların sebep olduğu çevre problemlerine çözüm getirilmesi amaçlanmaktadır.

Mecit (1992) Atık PET' in yeniden değerlendirilmesi konulu çalışmasında polimer madde kullanımının çevre kirliliğini arttırdığı sorununu gündeme getirmiştir. Mecit yaptığı bu çalışmada Atık PET' i depolimerleşme yöntemi ile geri kazandırmıştır.

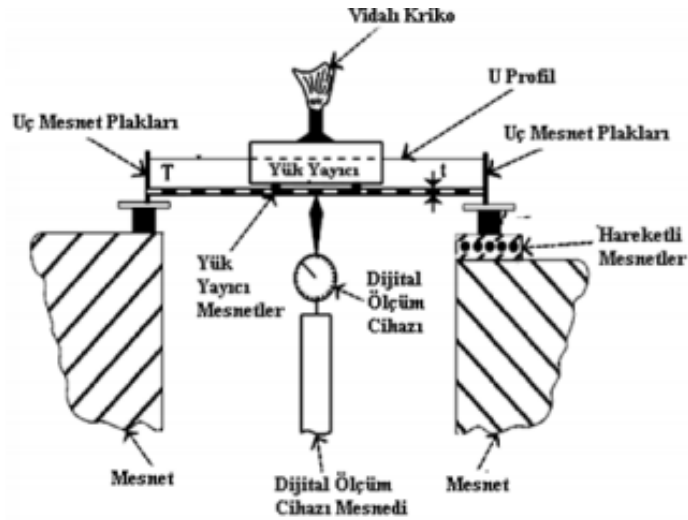
Literatürde atık maddelerin inşaat mühendisliğinde kullanımı ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Akçaözoğlu (2008) bu çalışmada bor üretimi sırasında açığa çıkan kil pestili olarak adlandırılan katı atıklar ve öğütülmemiş curüf agregalar ve atık pet şişe kırıkları ağırlıkça %20, 40, 60 ve 80 oranlarında yer değiştirilerek toplamda 13 farklı karışım hazırlamıştır. Çalışmalarında, mevcut çalışmalardan farklı olarak, atık kil pestilinin atık PET'lerle karıştırılıp eritilmesiyle elde edilen kompozit bir yapı malzemesi üretimi amaçlanmıştır. Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır ve Yapılan deneyler sonucunda atık PET şişe kırıklarının depreme dayanıklı yapı üretiminde taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilme potansiyelinin olduğu kanısına varmıştır.

Akçaözoğlu (2008) Atık PET şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği konulu çalışmasında PET, PET + kum agrega olmak üzere iki grup numuneyi incelemiştir. Yapılan çalışmada atık PET şişe kırıklarının depreme dayanıklı yapı tasarımı taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilir olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.1. Atık PET kırıklarının yeniden kullanılması (Akçaözoğlu,2008)

Beale vd.(2001) yapılan bu çalışmada bükülme altında ince duvarlı, soğuk şekillendirilmiş kanal kesitlerinin davranışına yönelik teorik ve deneysel bir araştırmanın sonuçlarını sunmuştur. Soğuk şekillendirilmiş 26 kanal kesitin nihai moment kapasitesini ve sonuçta ortaya çıkan orta nokta sapmalarını tahmin etmek için hem deneysel hem de teorik olarak çalışmalar yapmıştır. Deney numuneleri dört noktadan yüklenerek eğilme deneyine tabi tutmuşlardır.



Şekil 2.2. Deney düzeneği (Beale vd.,2001)

Ahmadabad (2014) öğütülmüş atık petlerde üretilen betonun özelliklerinin incelenmesi üzerine bir araştırma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada Atık PET' in beton içerisinde kullanım miktarı arttıkça birim ağırlık ve ultrases hızı ölçüm değerlerinde azalma gözlenmiştir. Aynı zamanda basınç dayanımı ve eğilme dayanımında da azalma görülmektedir.



Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan öğütülmüş atık pet (Ahmadabad,2014)

Ulu (2016) alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu ve metakaolinli harçlarda atık PET agrega kullanımının araştırılması üzerinde yaptığı çalışmada birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı, su emme ve boşluk oranları deneyleri yapılmıştır. Ve aynı zamanda yüksek sıcaklık dayanımları incelemiştir. Deneyler sonucunda atık pet agrega kullanımının uygun olduğu görüşüne varılmıştır.



Şekil 2.4. Çalışmada kullanılan atık PET (Ulu,2016)

Bu çalışmalar kapsamında atık polimerlerin inşaat mühendisliğinde kullanımı artmıştır. Atık malzemelerin inşaat mühendisliğinde yeniden kullanılabilirliği ile atık malzemelerin oluşturduğu çevre kirliliğinin önüne geçilmiş ve inşaat sektöründe atık malzemelerinin deneysel olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve alınan verimler ile atık malzemelerin yeniden kullanımının önü açılmıştır. Fakat yapılan bu çalışmalar beton dayanımı üzerine olup hafif çelik U100 profiller üzerinde detaylı bir araştırma yapılmamıştır. Çalışma kapsamında literatürdeki önemli bir eksiklik kapatılmış ve atık polimerlerle doldurulmuş hafif çelikten imal edilen U profillerin davranışları incelenen bu çalışma ile kompozit profillerin yapı sektöründe daha yaygın olarak yer alması beklenmektedir.

Tama (2002), ince cidarlı çelik levha elemanlardan soğuk şekillendirme yöntemi ile üretilen 4 farklı en kesitli kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı incelemiştir.

Model 1: Uç rijitleştirilmemiş kanal kesitli kiriş eleman

Model 2: Uç rijitleştirilmiş kanal kesitli kiriş eleman

Model 3:Uç rijitleştirilmemiş sigma kesitli kiriş eleman

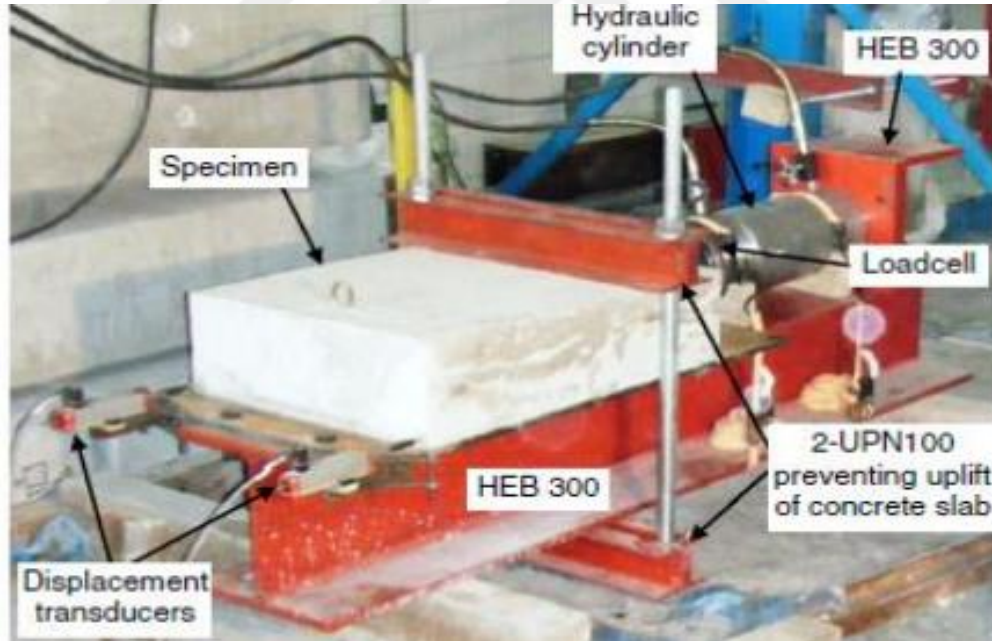
Model 4:Uç rijitleştirilmiş sigma kesitli kiriş eleman

Aydın ve Sarıbyık (2009) beton ile CTP kutu profillerin hibrit kullanımında kesit özelliklerinin basınç ve eğilme davranışına etkilerini araştırmışlardır. Yalın haldeki beton numuneleri, içi boş kutu profiller ve içi betonla doldurulmuş aynı kesitteki deney numuneleri basınç ve eğilme testlerine tabi tutularak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı kesit özellikleri ve lif oranlarına sahip kutu profillerin basınç ve eğilme özelliklerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre: hem basınç hem eğilme testlerinde lif miktarının artmasıyla mukavemet değerleri artmıştır. Eğilme deneylerinden oluşturulan grafikler incelendiğinde boş profile göre beton doldurulmuş numunelerin eğilme dayanımları artmıştır.

Dan vd. (2010) bu çalışmada çelik kaplı profillerle (CSRCW) kompozit çelik-beton perde duvarlar üzerinde teorik ve deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Yavuz (2011) lif takviyeli polimerlerin betonarme kirişlerde donatı olarak kullanımını teorik olarak araştırmıştır. Dört farklı tipte donatı için (çelik, GFRP, CFRP ve AFRP) aynı kesit boyutlarına ve beton basınç dayanımına sahip bir kiriş elemanında moment taşıma kapasitesi ve moment-eğrilik diyagramı kiriş tasarımı yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. En yüksek moment taşıma kapasitesi CFRP donatılı kesitte, en düşük moment taşıma kapasitesi ise çelik donatılı kesitte bulunmuştur. Moment-eğrilik grafikleri incelendiğinde en sünek davranışın geleneksel çelik donatılı kiriş için elde edildiği, kompozit donatılı kirişlerde ise lineere yakın bir grafik oluştuğu gözlenmiştir.

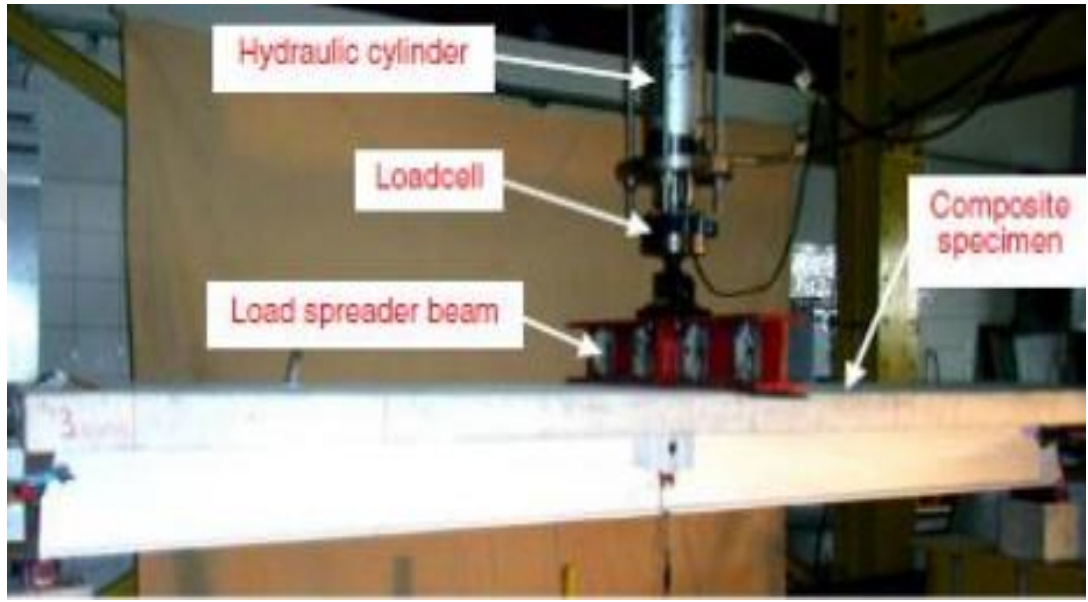
Baran ve Topkaya (2012) U- profil mekanik kayma bağlantısı elemanlarının yük-kayma davranışlarını itme testleri ile incelemişlerdir. Eğilme deneylerinde, kirişler açıklık ortasından uygulanan ve monotonik olarak artan yük altında test edilmiştir.



Şekil 2.5. Deney düzeneği (Baran ve Topkaya,2012)

Paulo vd. (2013) Soğuk şekillendirilmiş çelik kirişlerin, ortam sıcaklığındaki C-, I-, R-2R-şekilli enine kesitlere sahip yapısal davranışları üzerine geniş bir deneysel test programı ve sayısal simülasyon programı temel alınarak hazırlanmıştır. Temel olarak kirişlerin göçme yükleri ve kırılma modları dört noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır.

Baran ve Topkaya (2014) kayma elemanlarının kullanıldığı kompozit kirişlerin eğilme davranışlarını üç noktalı kiriş eğilme testleri ile incelemişlerdir.



Şekil 2.6. Deney düzeneği (Baran ve Topkaya,2014)

Öztürk vd. (2017) bu çalışmada, U-profil mekanik kayma bağlantısı elemanları kullanılan kısmi kompozit kirişlerin eğilme davranışı doğrusal olmayan lif-kesit analizleri ile incelenmiştir. Arayüz elemanlarının malzeme davranışı için literatürde bulunan U-profil mekanik kayma bağlantıları üzerinde yapılmış itme deneyleri yapılmıştır. Analiz sonuçları ile U-profil mekanik kayma bağlantısı elemanlarının kullanıldığı kısmi kompozit kiriş deneylerinin sonuçları karşılaştırılarak sayısal modellerin doğrulaması yapılmıştır.

Liu vd.(2018) kayma güvenliği açısından gerilme donatı oranı ve kiriş derinliği parametreleri göz önünde bulundurularak 10 numuneye eğilme testi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı RCUCB' nin statik davranışını değerlendirmek ve eğilme kapasitesini belirlemek için uygun bir yöntem önermektir.

Eğilme etkisi altında çelik kirişlerde açıklık, gövde yüksekliği, gövde kalınlığı, berkitme aralığı ve kalınlığına bağlı olarak gövde buruşması, üst başlık ezilmesi veya zayıf eksen etrafında eğilmesi gibi göçme şekilleri oluşmaktadır. Sura ve Sivri çalışma kapsamında farklı cidar kalınlıklarına sahip berkitme levhalarının üç farklı aralık da yerleştirildiği kirişler sonlu elemanlar metodu kullanılarak nonlineer bölgede analiz edilmiştir. Kiriş gövdesinde meydana gelen deformasyonların önüne geçmek ve sehim etkisi altındaki rijitliği belirli bir düzeye taşıyabilmek için berkitme levhaları kullanılmıştır. Berkitme levhali modellerde, gövde de meydana gelen deformasyonun ve buna bağlı gerilme dağılımının berkitme levhaları aralığında sınırlandırıldığı ve kapasitenin belirgin bir düzeyde artış sağladığı tespit edilmiştir.

Zhou vd. (2019) yapılan bu deneysel çalışmada soğuk şekillendirilmiş U-şekilli çelik-beton kompozit kirişin (RCUCB) eğilme davranışını araştırmak için on örnek test edilmiştir. On numunenin tümü bir eğilme kırılması modu sergilemiş ve tüm malzemeler maksimum yükten önce akma dayanımlarına ulaşmıştır.

Proje kapsamında yürütülen deneysel çalışmada, yukarıda belirtilen eksikliklerin kapatılması ve/veya alternatiflerinin oluşturulması amacıyla; atık polimerler kullanılarak içi doldurulmuş hafif çelik 13 adet U profilin eğilme, kesme ve burulma davranışını deneysel olarak incelenmiştir.

3.KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde hafif çelik profiller inşaat mühendisliğindeki önemi, avantajları, yapısal özellikleri, geometrik kusurları, tasarım yöntemleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Devamında atık polimerlerin inşaat mühendisliğinde kullanımı ve sürdürülebilirlik açısından atık polimerlerin değerlendirilmesi hakkında bilgi verilmiştir. Son kısımda ise atık polimerlerden üretilmiş U profillerin eğilme, kesme, burulma davranışı ele alınmıştır.

3.1.Hafif Çelik Profiller

Düşük üretim maliyeti ve hızlı, kaliteli üretilme olanağı sunan soğukta üretilmiş çelik profiller profil çeşitliliği avantajıyla inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanımını arttırmaktadır.

Sıcak haddelenmiş çelik profillerin üretim esnasında boyun kısmında kükürt fosfor yığılma bölgeleri oluşmaktadır. Oluşan bu yığılma bölgeleri profilin mukavemetinde azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin üretiminde kullanılan çelik malzemenin mekanik özelliklerinin profilin her noktasına eşit olarak dağılmasıdır. Bu da sıcak haddelenmiş çelik ile soğuk haddelenmiş çelik arasındaki en önemli farklardan birisidir. Soğuk şekillendirilmiş profillerin mekanik davranışı oldukça karışık olmasına rağmen gelişen teknoloji ve yapı mühendislerinin çalışmalarının sonucunda genel kiriş teoremi ile soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin tasarım ve analiz yöntemleri gün geçtikçe daha anlaşılır hale gelmektedir. Soğuk haddelenmiş çelik profillerin yüksek mukavemet, malzeme ve maliyet açısından ekonomik ve sürdürülebilir olması avantajlarına rağmen ülkemizde kullanımı oldukça azdır.

Günümüzde soğuk haddelenmiş çelik profiller dünyada çokça kullanılmaktadır. Soğuk haddelenmiş çelik profillerden yapılan yapılar genellikle kat sayısı az olan yapılardır. Soğuk haddelenmiş çelik profillerle yapılan az katlı yapılar betonarme ile karma sistem şeklinde oluşturabilir. (Azizian, 2015).

Soğuk haddelenmiş profiller ince bir plakanın soğuk şekillendirmesi ile oluşturulmaktadır. Plakanın kalınlığı minimum 1 mm olmaktadır ve genellikle şekillendikten sonraki kalınlığı en fazla 4 mm olmaktadır.

Soğuk haddelenmiş çelik profillerin üretimi şekillendirme ve pres bükme olarak 2 aşamadan ibarettir. Bu işlemlerin yapılması için standart olarak en fazla 0,5-7 mm kalınlığa ve 250-550 MPa akma gerilmesine sahip olması gerekmektedir. (Hancock, 1997).

3.1.1.Hafif çelik yapıların inşaat mühendisliğindeki önemi

Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlardan oluşan yapılar hafif çelik yapı olarak adlandırılmaktadır. Soğukta haddelenmiş çelik profiller en çok Kuzey Amerika'da C , Z ve çeşitli profiller olarak kullanılmaktadır.

Geçtiğimiz yıllarda soğuk şekillendirilmiş profillerin üretim kolaylığı ve üretim maliyetinin azalması nedeniyle yeni nesil kesitler ortaya çıkmaktadır. Soğuk çelik profiller ince gövdeli, geniş başlıklı ve berkitmeli kesitler olarak üretilmeye başlanmıştır. En çok rağbet gören gövde boşluklu yapısıyla tasarım ve statik açıdan kolaylık sağlayan C kesitli güçlendirilmiş soğuk şekillendirilmiş profillerdir.

Soğuk haddelenmiş çelik yapılar çerçevelerde, metal binalarda, raf yapı sistemlerinde yük taşıyıcı eleman olarak kullanılmaktadır. (Gherzi ve diğ., 2005; Schafer, 2011)

Soğuk şekillendirilmiş çelik profilleri genellikle az katlı ve az açıklıktaki yapı elemanı olarak kullanılmasının sebebi soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin burkulma durumunun göz önüne alınmasından kaynaklanmaktadır. Bu özelliğiyle ahşap yapılarına benzerlik göstermektedir. Soğuk haddelenmiş çelik profillerin yapı elemanı olarak kullanıldığı orta yükseklikteki yapıların inşasında tasarım ve mühendislik aşamalarında bir yönetmeliğine ihtiyaç vardır. Bazı ülkelerde (Kuzey Amerika vb.) çerçeve yapılar için yönetmeliğine göre yapılar tasarlanmakta ve uygulanmakta olmasına rağmen ülkemizde soğuk şekillendirilmiş çelik yapıların tasarımı hakkında yönetmeliğe ihtiyaç vardır.

Soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden oluşan çerçevelerde iç açıklık alanı yapılırken ile soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden oluşan metal binalar arasında iç açıklık alanı yapılmayabilir. Ve Diğer bir fark da bütün bir sistem olarak tasarlanan soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden yapılan metal binalarda kaplama için kontraplak, alçıpan yerine kaplama için çelik saç kullanılmaktadır.

Soğuk haddelenmiş çelik profiller kullanılarak tasarlanan raf yapı sistemleri depolama alanlarında kullanılmaktadır. Soğuk haddelenmiş çelik profillerden yapılan raf yapı sistemleri için şartnameler yeterli durumdadır.

3.2.Hafif Çelik Profillerin Avantajları

Soğukta haddelenmenin (şekillendirme) işleminin pekleşme aralığına dahil edilmesiyle çeliklerin akma dayanımını arttırmaktadır. Çeliklerin akma dayanımının artması ortalama %15-%30 mertebesindedir. Tasarım için akma gerilmesinin en az %15 oranında artırıldığı kabul edilmektedir. (Yu ve LaBoube, 2010).

Soğuk haddelenmiş profillerin sıcak haddelenmiş profillere göre avantajları vardır. Soğuk haddelenmiş profillerin dayanım-ağırlık oranı, sıcak haddelenmiş profillerin dayanım-ağırlık oranından daha yüksektir. Dayanım-ağırlık oranının yüksek olması yapıların toplam ağırlığını azaltmaktadır. Bu durum ekonomik olarak fayda sağlamaktadır.

Soğuk haddelenmiş çelik profiller sürdürülebilirlik açısından da birçok avantaja sahiptir. Tamamen geri dönüştürülebilir olan soğuk haddelenmiş çelik profiller tamamen geri dönüştürülebilir yapıya sahiptir. Soğuk haddelenmiş çelik profil kullanılan binalar genellikle yeşil bina olarak kabul edilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle soğuk haddelenmiş çelik profil kullanılan binalar malzeme ve ekonomik açıdan birçok avantaja sahiptir. (Hancock ve diğ., 2001).

Soğukta haddelenmiş çelik profillerin kesit tipleri profilde oluşturulan toleransları azaltmak için oluşturulmuştur. Soğuk haddeleme kullanılarak yapılmak istenen şekil istenilen uzunlukla imal edilebilir. Aynı zamanda soğukta haddelenmiş çelik profillerin perçinleme, vidalama, kaynaklama gibi birleştirme yöntemleri kullanılabilir.

Soğuk haddelenmiş çelik profillerde mukavemet oranı yüksek olmaktadır. Soğuk haddelenmiş çelik profiller yüzey kaplaması ile korozyon direnci artırılabilir.

Soğuk haddelenmiş çelik profiller ağırlığı çok azdır ve ağırlığının azlığından dolayı hafif çelik olarak adlandırılmaktadır. Hafif profil olmalarından dolayı ekonomik olmasının yanı sıra profillerin nakliyesi ve montajı oldukça kolaydır. Bu avantajlardan dolayı soğuk haddelenmiş çelik profillerin gün geçtikçe kullanımı artmaktadır.

Soğuk haddelenmiş çelik profillerin ısı işlem olmaksızın şekil verildiği bu profillerde termal çekme gerilmesi kalıcı değildir. Soğuk haddelenmiş çelik profillerin avantajları şu şekilde özetlenebilir; hafif, ekonomik, çevreci, istenilen kesite ulaşma kolaylığı, montaj kolaylığı. Soğuk haddelenmiş ile sıcak haddelenmiş çelik profillerin ağırlığı karşılaştırıldığında yaklaşık olarak %59 hafif olduğu söylenebilir.

3.3. Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Profillerin Yapısal Özellikleri

Soğuk haddeleme işlemi sırasında çelik profilin mekanik özelliklerinde bazı değişiklikler meydana gelmektedir. Soğuk haddeleme sonucunda eleman ekseninin enine ve boyuna her iki doğrultuda da plastik şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Soğuk haddeleme çelik profillerin akma ve çekme dayanımını arttırmaktadır. Dayanımı artan çelik malzeme sünekliliği azalarak gevrek bir malzeme haline gelmektedir. (Yu vd., 1974)

Aynı zamanda soğuk haddeleme işleminden dolayı malzemenin özkütlesinde ve elektrik geçirgenliğinde azalma, iç enerjisinde artma meydana gelir. Meydana gelen bu artış kimyasal tepkimeye girme yeteneğini artırır ve bu artış sayesinde korozyon dayanımını düşmektedir. (Dieter, 1988)

Soğuk şekillendirme esnasında köşe bölgelerde daha çok mekanik özelliklerinde değişiklik meydana gelir.

Soğuk şekillendirme işlemi sırasında profillerin yatay ve düşey düzleminde deformasyonlar oluşmaktadır. Şekil verme yöntemine göre profil kesitlerinin mekanik özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Yapılan tez çalışmasında profillere presle bükme işlemiyle şekil verilmiştir.

3.4.Soğuk Şekillendirme İşleminin Neden Olduğu Artık Gerilmeler

Soğuk şekillendirme işlemi sonucunda oluşan artık gerilmelere üretim ve fabrikasyon işlemleri neden olmaktadır. Soğuk şekillendirme homojen bir şekilde yapılmadığı durumlarda iç gerilmeler çelik profilde farklılık göstermektedir. (Abdel-Rahman and Sivakumaran, 1977)

Sayısal hesaplamalarda işlem kolaylığı olması için artık gerilmeler eleman boyunca homojen dağıldığı kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalarda iç gerilmeler ihmal edildiğinde çelik elemanda akma davranışının normal akma davranışına göre daha erken akma davranışında bulunduğu tespit edilmiştir. (Galambos,1968)

Soğukta işlem görmüş elemanların gerilme-şekil değiştirme üzerinde etkisi ile sıcak şekillendirilmiş elemanların gerilme-şekil değiştirme etkisi arasında çok farklılık bulunmamaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalarda soğuk şekillendirilmiş kesitin iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasında işaret farkı bulunmaktadır. Kesitin iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasındaki gerilmeler ters işaretlidir. Kesitin dış yüzeyinde iç gerilme çekme gerilmesi olarak, iç yüzeyinde ise kesit kalınlığı boyunca basınç gerilmesi olarak oluşmaktadır. (Abdel-Rahman ve Sivakumaran, 1977)

3.5.Hafif Çelik Profillerin Geometrik Kusurları

Deformasyon sırasında elastik-plastik özellikte olan sac malzemenin şekillendirilmesinde yük boşaltma esnasında elastik geri dönüşler sonucunda ortaya çıkan sapsmalar geri esneme olarak tanımlanır. Hafif çelik profillerde şekillendirme esnasında oluşan geri esneme, profil parçalarının kalitesini düşürmekte ve montaj esnasında problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Elastik geri dönüşte profildeki iç gerilmelerin dağılımı geri esnemeyi ifade etmektedir. Geri esneme sonucundaki geometri ve profillerin şekillendirmedeki geometrisi kıyaslandığında ortaya çıkan sapma derecesi geri esnemenin seviyesini belirtmektedir.

Geri esneme sıcaklık, sürtünme, soğuk haddeleme hızı, profilin geometrisine göre değişiklik göstermektedir. Profilin şekillendirilmesinde kullanılan sac malzemenin elastisite modülünün (E) geri esnemeyi etkileyen diğer faktörlerdendir.



4.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde atık polimerlerle doldurulmuş hafif çelik U profillerin, donatı olarak kullanılacak olan cam fiber çubuk ve atık polimerlerin malzeme özellikleri, kesit özellikleri, deney numunelerinin hazırlanma safhaları ve deney düzenekleri anlatılmaktadır.

4.1.Malzeme Özellikleri

4.1.1.Soğuk şekillendirilmiş U profil

Soğuk şekillendirilmiş U profiller inşaat, hafif çelik yapı, depo, hangar, endüstriyel yapılarda, çelik binalarda taşıyıcı ve ya yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır. U profiller kullanım yerine göre çeşitlilik göstermektedir. U profiller yüksek taşıma kapasitesine sahiptir ve bu özelliği ile hafif çelik olmayan yapılara kıyasla daha ekonomiktir. Montaj kolaylığı, üretim kolaylığı, güvenilir olması, parça ekleme çıkarma rahatlığı, geri dönüşümlü olması avantajlarından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 4.1. Çalışma kapsamında üretilen hafif çelik U profil

4.1.2. Cam fiber çubuk

Cam fiber çubuklar, tek yönde %100 cam fiberin termoset reçine ile ısı ve basınç ile şekil verilmiş çubuklardır. Yüksek mukavemete sahip olması, korozyon direnci, hafif olması, uygulama kolaylığı gibi avantajlarından dolayı bu çalışmada cam fiber çubuk donatı olarak öngörülmüştür. Tekne, uçak, gibi yapılarda cam fiber çubuk kullanılmaktadır.



Şekil 4.2. Cam fiber çubuk

4.1.3.Karbon Fiber Çubuk

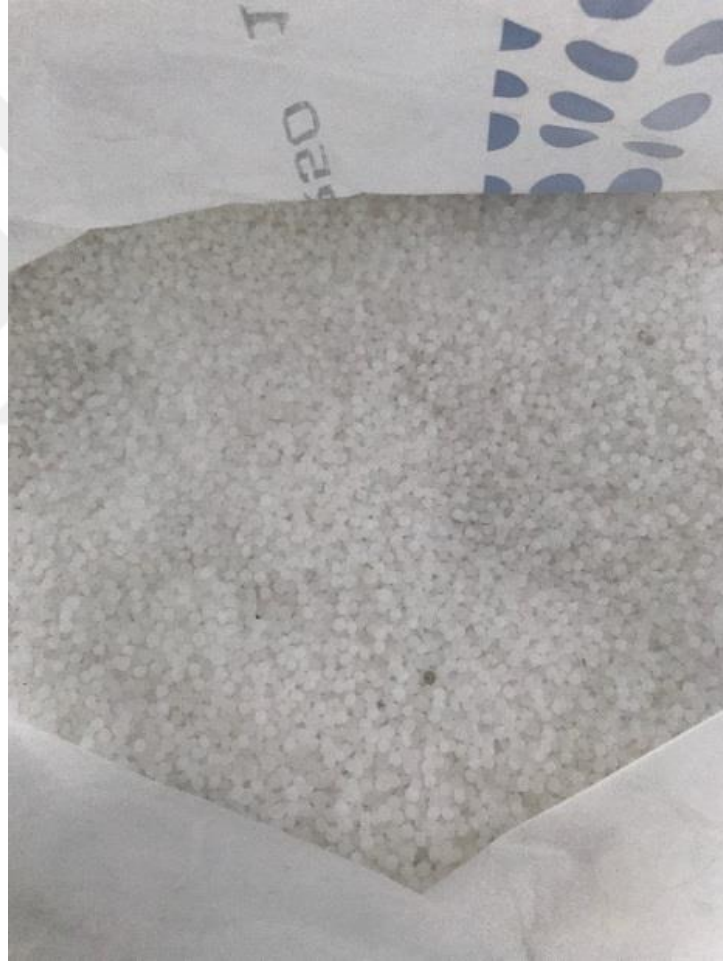
Karbon fiber çubuklar, tek doğrultuda %100 karbon fiberin termoset reçine ile ısı ve basınç ile şekil verilmiş çubuklardır. Yüksek mukavemet değerine sahip olması, korozyona dayanıklı olması, hafif olması, uygulama kolaylığı gibi sebeplerden dolayı bu deneysel çalışmada karbon fiber çubuk donatı öngörülmüştür. Tekne, uçak, gibi yapılarda karbon fiber çubuk kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. Karbon fiber çubuk

4.1.4. Atık Polimer

Bu tez çalışmasında atık polimer olarak teorik olarak eritilebilen ve yeniden kullanılabilen termoplastiklerden biri olan ince öğütülmüş atık ve polypropylene (PP) kullanılmıştır. Termoplastikler ısıtıldığında eriyerek istenen kalıp şeklini kolaylıkla almaktadır. Geri dönüştürülebilir bir malzemedir. Termoplastiklerden olan Polipropilen: sağlam olması, eritilerek kalıba kolayca girmesi, yüksek mukavemete sahip olması, korozyona karşı dirençli olması avantajlarından dolayı günlük hayatta tekstil sektöründe, inşaat sektöründe sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.4. Polipropilen(PP)

Tablo 4.1. Polipropilen (PP) Genel Özellikleri

Genel Özellikleri	Birim	Test Metodu(ISO)	Değer
Özgül Ağırlık	gr / cm ³	1183	0,92
Doymuş Su Emme	%	62	0,1

Tablo 4.2. Polipropilen (PP) Mekanik Özellikleri

Mekanik Özellikleri	Birim	Test Metodu(ISO)	Değer
Çekme Dayanımı	Kg / cm ²	527	300
Elastik Modül	MP ₃	527	1250
Kopma Uzaması	%	527	>50
Darbe Dayanımı	Kj /m ²	180	7
Sertlik	Shore D	868	70

Tablo 4.3. Polipropilen (PP) Termal Özellikleri

Termal Özellikleri	Birim	Test Metodu(ISO)	Değer
Maksimum Sürekli Çalışma Sıcaklığı	°C	-	100
Minimum Sürekli Çalışma Sıcaklığı	°C	-	5
Isı Genleşme Katsayısı	°C-1	11359	$1,6 \times 10^{-4}$

Tablo 4.4. Polipropilen (PP) Elektriksel Özellikleri

Elektriksel Özellikler	Birim	Test Metodu(ISO)	Değer
Dielektriksel Dayanımı	Kv/mm	60243	55

4.2. Kesit Özellikleri

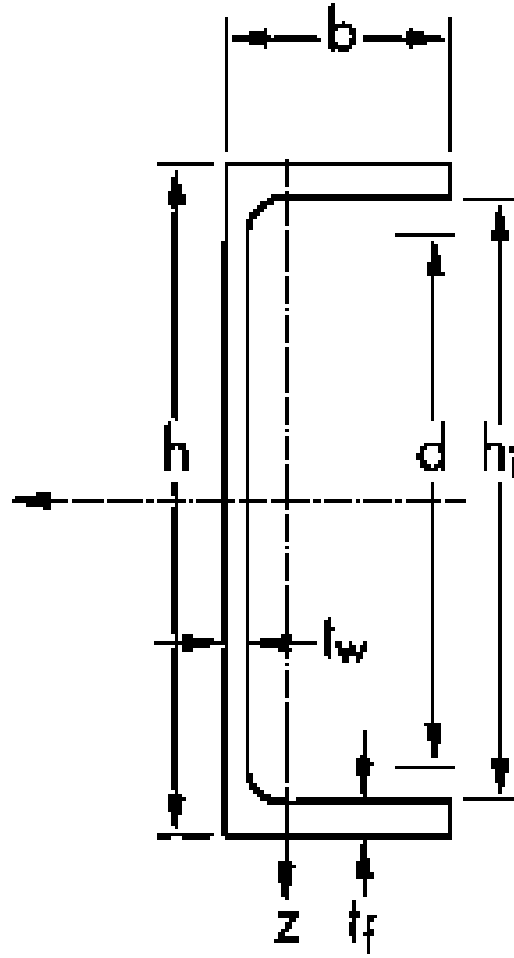
Çalışma kapsamında soğuk şekillendirilmiş U100 profil, cam fiber çubuk, karbon fiber ve atık polimerler kesit özellikleri belirtilmiştir.

4.2.1. Soğuk şekillendirilmiş U profil kesit özellikleri

Yapılan bu deneysel çalışmada soğuk şekillendirilmiş U100 profil kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan U100 profili tabiri üretilen içi boş hafif çelik U profilini ifade etmektedir.



Şekil 4.5. U100 profil



Şekil 4.6. U100 profil kesiti

Tablo 4.5. Özel Olarak Üretilmiş U Profil Ağırlık ve Boyut Ölçüleri

Profil Adı	$W_{boş}$ (kg/m)	W_{dolu} (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t_w (mm)	l (mm)	d (mm)	t (mm)
Özel Olarak Üretilmiş U Profil	3,514	4,273	100	50	80	150	80	80

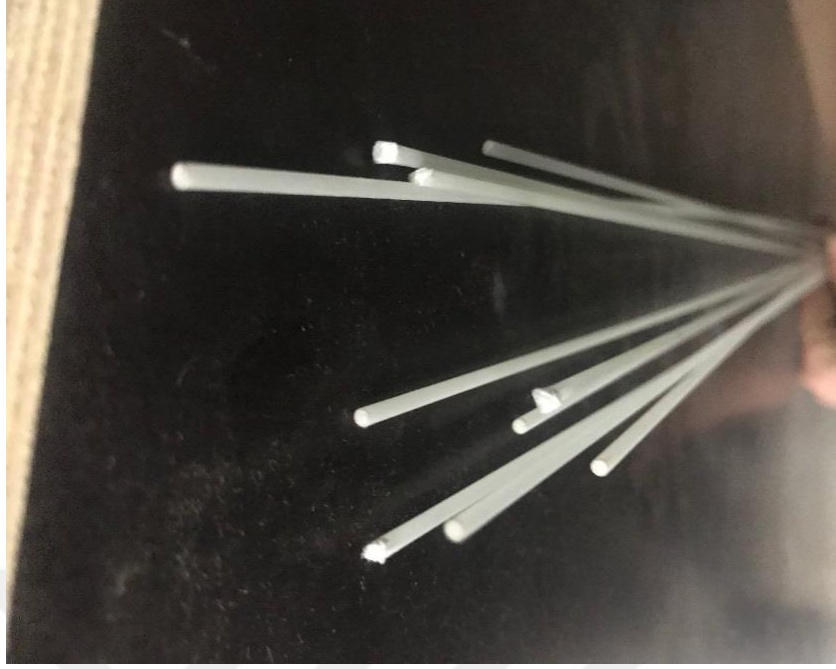
Çalışma kapsamında kalıp olarak 1,5 m uzunluğunda, 1,20 mm kalınlığında 13 adet U100 hafif çelik profiller kullanılmıştır. U100 profillerin kesit özellikleri şekilde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Üretilen 13 adet U profil farklılıkları önlemek için aynı firmadan aynı gün içerisinde ürettirilmiştir. Deneysel çalışmada ek eğilme elemanı olarak 2 mm çapındaki içi dolu cam fiber çubuk ve karbon fiber çubuk da kullanılmıştır. Cam fiber çubukların çapı içi boş U profilin boşluk kalınlığından az olacak şekilde seçilmiştir. Cam fiber çubuk ve karbon fiber çubuklar kompozit malzeme üreten firmadan tedarik edilmiştir.

Çalışma kapsamında kompozit kirişlerin eğilme, kesme ve burulma davranışlarını incelemek üzere dört grup oluşturulmuştur. Birinci grupta boş U profil tek başına değerlendirilmiştir. İkinci grupta atık polimer, üçüncü grup numunelere atık polimer + cam fiber çubuk, dördüncü grup numunelere atık polimer + karbon fiber çubuklardan oluşan numunelere eğilme, burulma ve kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

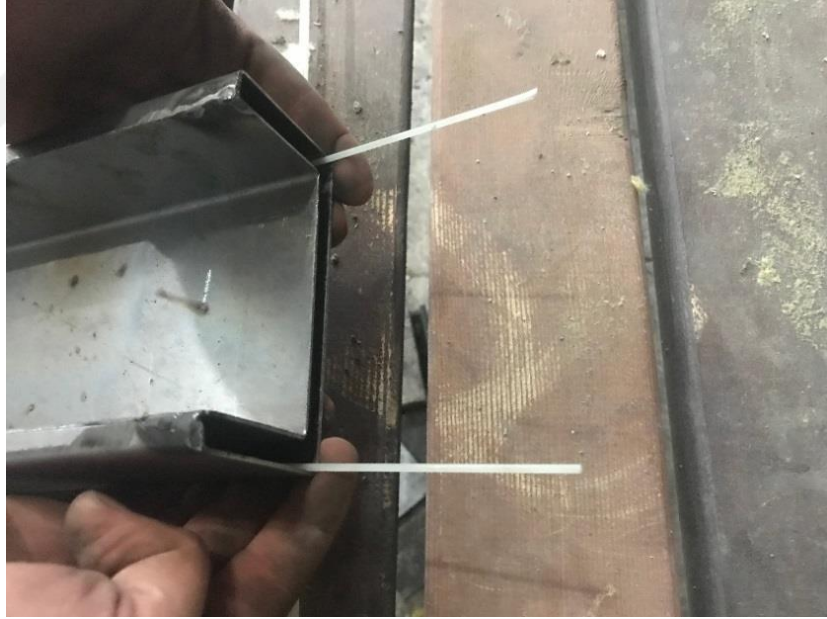
4.2.2. Cam fiber çubuk kesit özellikleri

Atık polimerlerle doldurulmuş hafif çelik U100 profillerde kullanılan olan cam fiber çubuklar 2 mm çap 11 m uzunluğunda temin edilmiştir. Temin edilen cam fiber çubuklar U100 profillere gerilme yığılmalarının en çok olduğu bölgelere başta ve sonda olmak üzere köşe bölgelere iki bölgeye yerleştirilmiştir.

Hafif çelik U profillere yerleştirilen cam fiber çubukların çapları U profil kesitinin iç boşluk değerinden az olacak şekilde seçilmiştir. Bu şekilde hafif çelik U profile yerleştirilen cam fiber çubukların etrafı da polipropilen ile kaplanmış olacaktır.



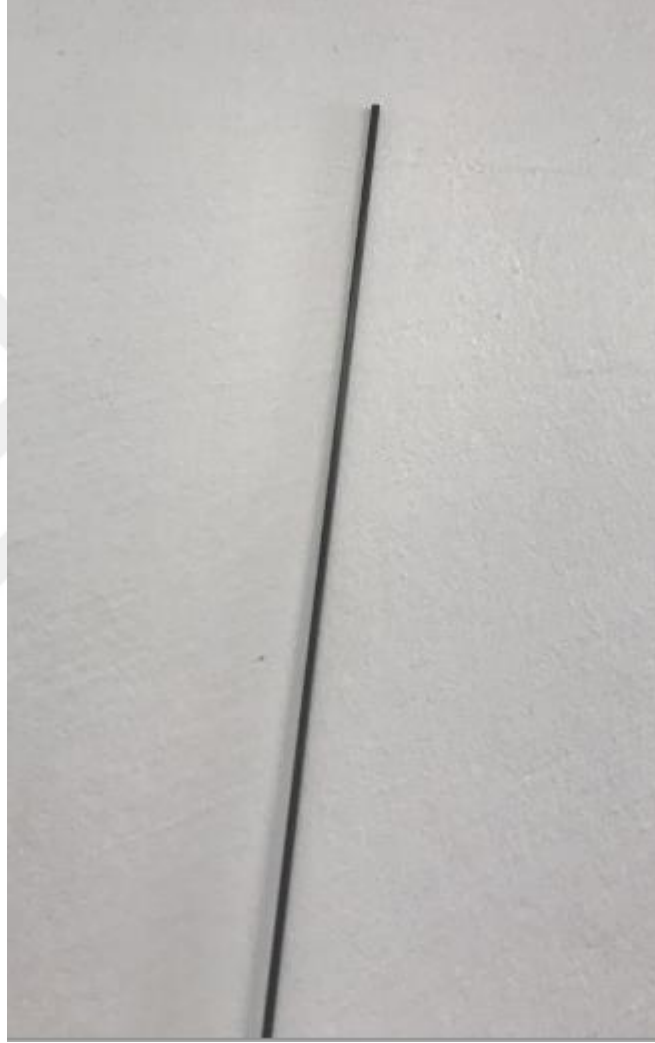
Şekil 4.7. Cam fiber çubuk kesiti



Şekil 4.8. Cam fiber çubukların yerleşimi

4.2.3. Karbon fiber çubuk kesit zellikleri

Atık polimerlerden oluşturulmuş U100 profillerde donatı olarak kullanılacak olan karbon fiber çubuklar 2mm çap 11 m uzunluğunda temin edilmiştir. Temin edilen karbon fiber çubuklar gerilme yığınlarının fazla olduğu bölgelere hafif elik U100 profillere başta ve sonda olmak üzere iki bölgeye yerleştirilmiştir.



şekil 4.9. Karbon fiber çubuk kesiti

4.2.4. Atık polimer kesit özellikleri

Polipropilen monomer propilenin polimer hale getirilerek oluşturulan termoplastik bir malzemedir. Polipropilen düşük yoğunluğa sahiptir. Kimyasal dayanım, elektriksel dayanım ve çekme dayanımı yüksek olmaktadır. Diğer bir teknik avantajı ise kaynakla birleştirilebilir özellikte olmasıdır.



Şekil 4.10. PP(Polipropilen)

4.3. U Profillerin Deneysel Hazırlık Aşamaları

Polipropilenden (PP) üretilmiş olan U profiller dört grupta incelenmiştir.

Birinci Grup: üç adet boş U profil

İkinci Grup: üç adet PP içeren U profil

Üçüncü Grup: üç adet PP + cam fiber çubuk

Dördüncü Grup: üç adet PP + karbon fiber çubuk

Tablo 4.6. Deneye tabi tutulan U profillerin deney planlaması

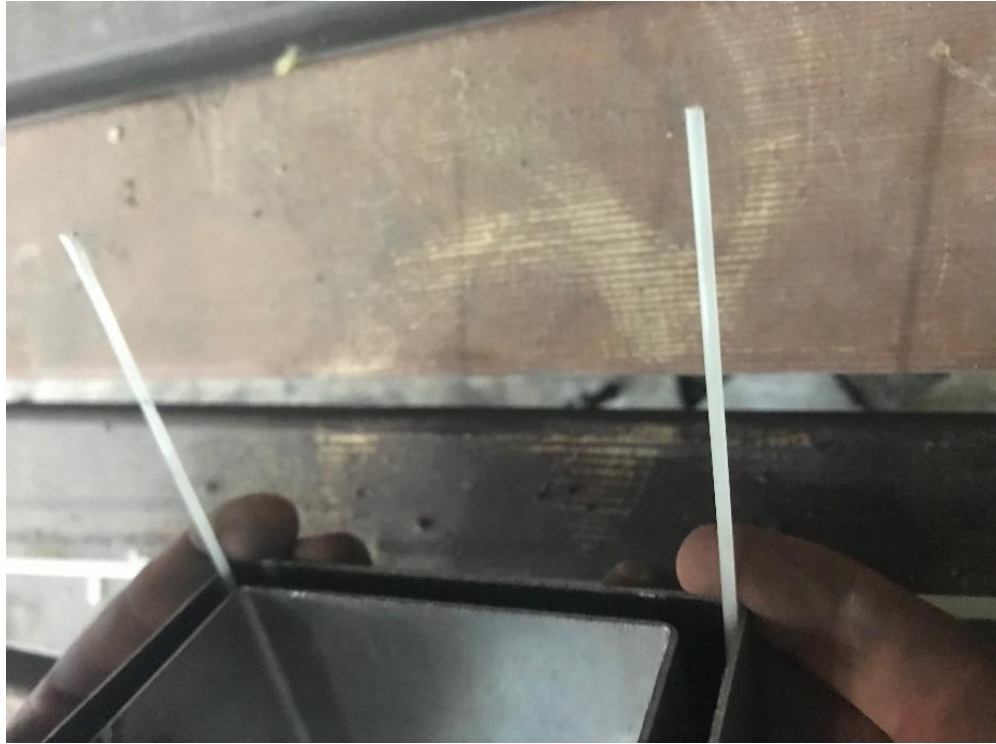
4 noktalı eğilme deneyi	Kesme Deneyi	Burulma Deneyi
1 adet boş U profil	1 adet boş U profil	1 adet boş U profil
1 adet PP içeren profil	1 adet PP içeren profil	1 adet PP içeren profil
1 adet PP + cam fiber çubuk içeren profil	1 adet PP + cam fiber çubuk içeren profil	
1 adet PP+ karbon fiber çubuk içeren profil	1 adet PP+ karbon fiber çubuk içeren profil	

4.3.1. Atık polimerlerle doldurulmuş U profil numunelerinin hazırlanması

İnce Öğütülmüş atık ve polipropilenden üretilmiş olan U profiller dolun işlemi tamamlanarak eritmeye hazır hale getirildi. Cam fiber çubuk + PP ve karbon fiber çubuk + PP ‘den oluşan U profillere ilk etapta iki profil cam fiber çubuk iki profil karbon fiber çubuk olmak üzere profillere başta ve sonda olmak üzere yerleştirildi. İkinci aşamada polipropilen doldurularak eritme işlemine hazırlandı.



Şekil 4.11. U profil numunelerinin hazırlanması



Şekil 4.12. Cam fiber çubukların yerleştirilmesi



Şekil 4.13. Karbon fiber çubukların yerleştirilmesi

4.3.2. Eritme düzeneği

Atık polimerleri eritmek için kullanılan eritme düzeneği DT 48 E dijital tek problu, kontak, rezistans, elektrik panosu, on of kontaklı anahtar ve silikon kablodan oluşmaktadır. Eritme düzeneğinin derecesi 300 dereceye kadar çıkmaktadır. Isı derecesi dijital tek problu üzerinden takip edilerek atık polimerin erime sıcaklığına kadar çıkarılmıştır. Homojen erime gerçekleşene kadar sistem çalışmaya devam ettirildi.

Bu çalışma kapsamında atık polimer olarak ince öğütülmüş atık Polipropilen (PP) kullanılmıştır. İlk aşamada ince öğütülmüş atık Polipropilen (PP) U100 kalıplara dolduruldu. Isıtma düzeneğinde erime sıcaklığında eritilerek homojen bir hamur haline getirildi. Bu işlem bütün gruplar için tekrarlandı. Cam fiber çubuk ve karbon fiber çubuktan oluşan gruplar çubuk yerleşimi yapıldıktan sonra aynı işleme tabi tutulmuştur. 3 adet numune karşılaştırma yapmak için kontrol numunesi olarak seçilmiştir.



Şekil 4.14. Eritme düzeneği



Şekil 4.15. Dijital tek problu

4.3.3. Atık polimerlerden üretilmiş u profiller



Şekil 4.16. Polipropilen malzemenin erimesi

4.3.4. U Profillerin Deneylere Hazırlanması

U100 profillere eğilme, kesme ve burulma deneyleri yapılmadan önce spreyl boya ile boyanarak deneylere hazırlandı. Erime işlemi tamamlanan profiller soğuduktan sonra deney esnasında deformasyonların hangi noktada oluştuğunu belirlemek amacıyla 2 cm'lik eş karelere bölünmüştür.



Şekil 4.17. U100 profiller



Şekil 4.18. Boyanmış ve ağ yapısı oluşturulmuş U100 profiller

4.4. Deney Düzenegi Elemanlari

4.4.1. LVDT

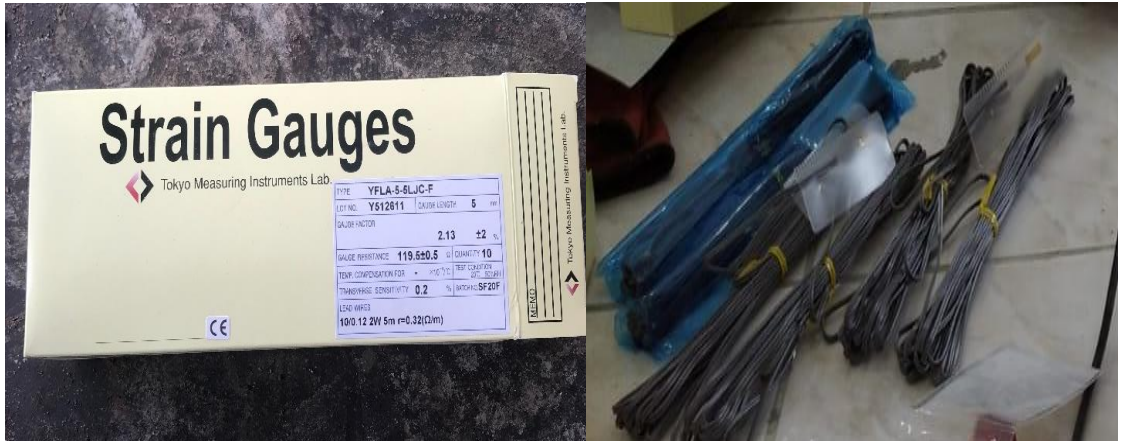
Yer değiştirmeyi ölçen LVDT'ler profillere yerleştirilerek ölçüm sağlandı. Alınan veriler ile yük- deplasman grafikleri çizildi.



şekil 4.19. LVDT

4.4.2. Strain gauge

şekil değiştirme strain gauge'ler aracılığıyla ölçülerek veriler yardımıyla yük-şekil değiştirme grafikleri çizildi.



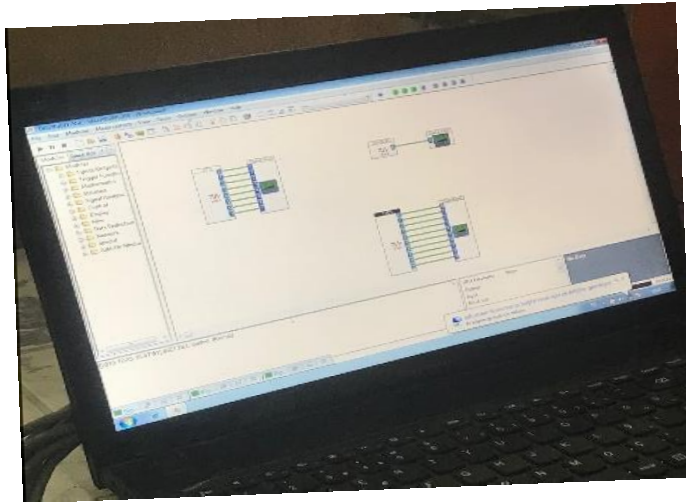
şekil 4.20. Strain Gauge

4.4.3. Hidrolik pompa



Şekil 4.21. Hidrolik Pompa

4.4.4. Yükleme hücreleri ve bilgisayar



Şekil 4.22. Veri toplama programı

4.4.5. Veri toplama sistemi



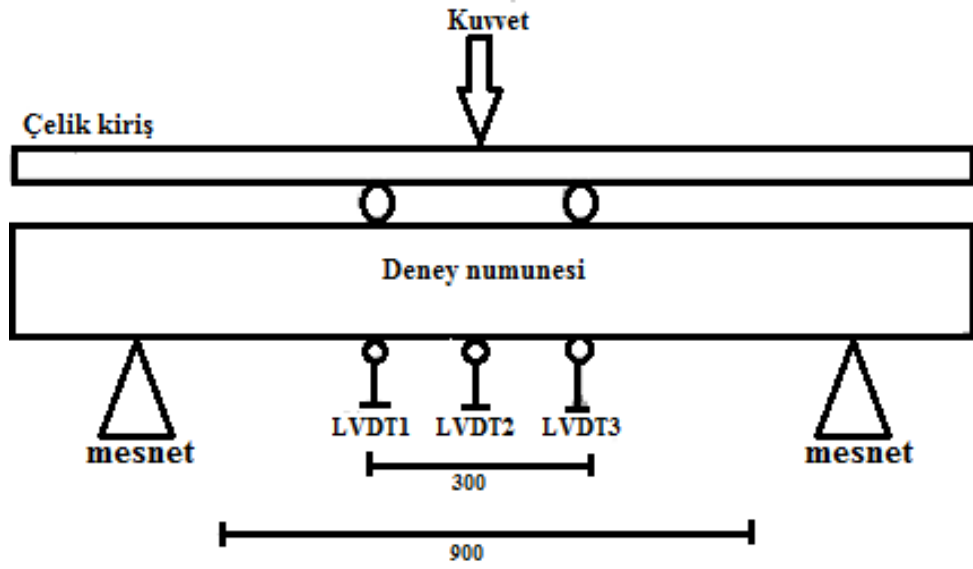
Şekil 4.23. Veri toplama sistemi

4.5. Dört noktali eğilme deneyi deney düzeneği

Atık polimerlerle doldurulan U100 profillere 4 noktali eğilme deneyi ve kesme deneyi yapılmıştır. Deney düzeneği hidrolik pompa, yükleme hücresi ve pistondan oluşmaktadır. Dört noktali eğilme deneyi ile yük mesnetler aracılığıyla iki eşit parçaya bölünerek dağıtılmıştır.



şekil 4.24. Dört noktali eğilme deneyi

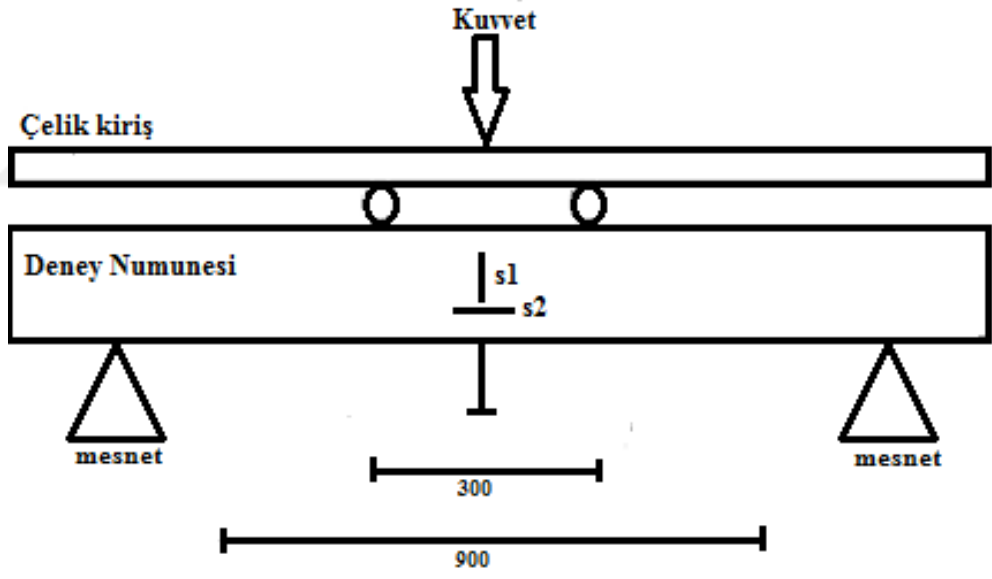


Şekil 4.25. Dört noktalı eğilme deneyi deney düzeneği

Profilde meydana gelen yer değiştirmeleri ölçmek için LVDT'ler profilin sağ ve sol tarafından $L/3$ uzunluğunda ve orta noktaya yerleştirilmiştir. Soldan $D1=50$ cm, $D2=75$ cm ve $D3=100$ cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Strain Gauge U profilin orta noktasında yatay ve düşey olarak (S1-S2) yerleştirilmiştir.



Şekil 4.26. Dört noktalı eğilme deneyi LVDT yerleşimi



Şekil 4.27. Dört noktalı eğilme deneyi strain gauge yerleşimi

4 noktalı eğilme deneyinde U profiller

Boş U profil= U1

PP içeren U profil= U2

PP+ cam fiber çubuk içeren profil=U3

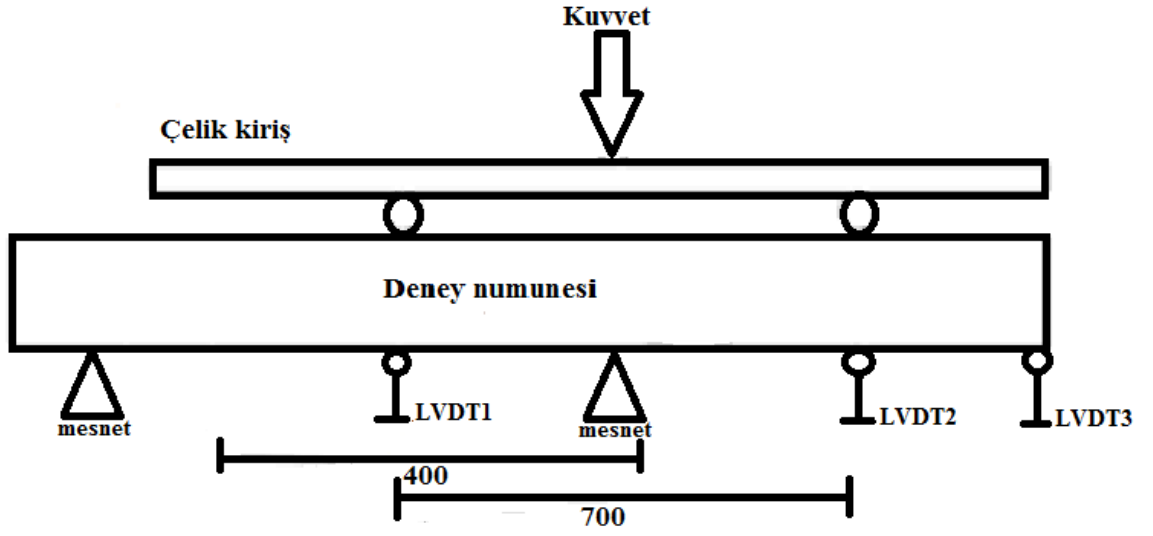
PP+ karbon fiber çubuk içeren profil=U4 olacak şekilde adlandırılmıştır.

4.6. Kesme Deneyi Deney Düzeneği

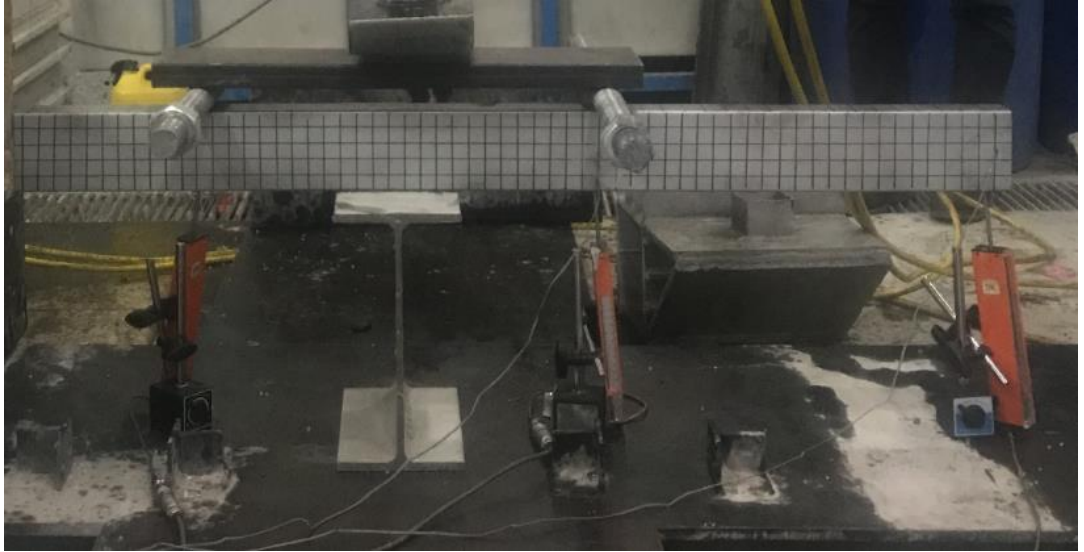
Kesme deneyinde mevcut sistemde düzenleme yapılarak yükleme gerçekleştirildi. Deplasmanı ölçen LVDT'ler profilin $X=50$ $X=100$ ve profilin köşe noktasına yerleştirilmiştir.



Şekil 4.28. Kesme deneyi



Şekil 4.29. Kesme deneyi deney düzeneği

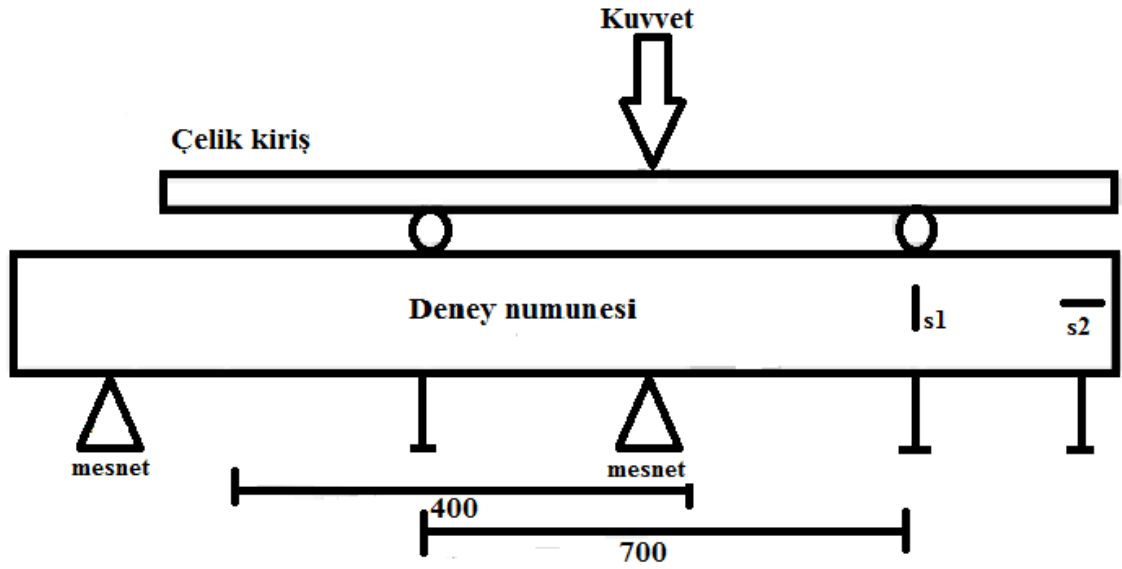


Şekil 4.30. Kesme deneyi LVDT yerleşimi



Şekil 4.31. Kesme deneyi strain gauge yerleşimi

Kesme deneyinde şekil değişimini ölçen strain gauge'ler $X=50$ ve profilin uç noktasına yerleştirilmiştir.



Şekil 4.32. Kesme deneyi strain gauge yerleşimi

Kesme deneyinde U profiller

Boş U profil= U5

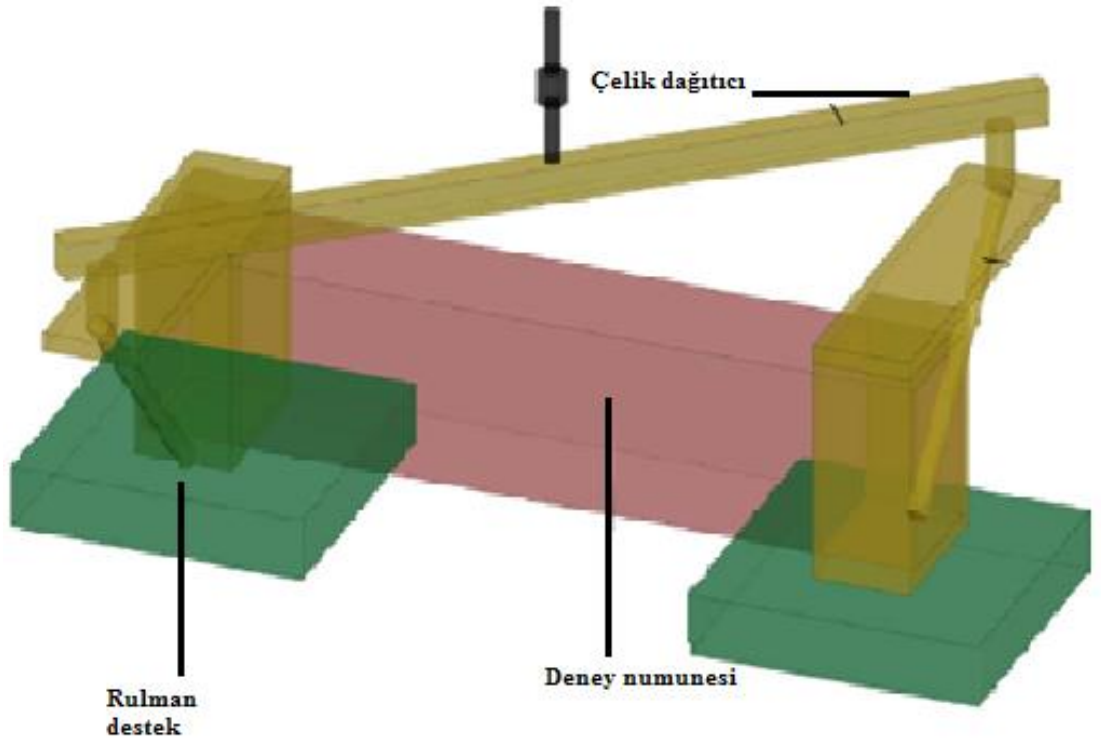
PP içeren U profil= U6

PP+ cam fiber çubuk içeren profil=U7

PP+ karbon fiber çubuk içeren profil=U8 olacak şekilde adlandırılmıştır.

4.7. Burulma Deneyi Deney Düzeneği

Burulma deneyinde LVDT'ler sağdan L=50 cm L=75 cm ve L=100 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Strain Gaugeler S1 ve S2 (düşey ve yatay) (X=50 ve X=75 noktalarında) profile yerleştirildi.



Şekil 4.33. Burulma deneyi deney düzeneği

Burulma deneyinde U profiller

Boş U profil= U9

PP içeren U profil= U10 olacak şekilde adlandırılmıştır.



Şekil 4.34. Burulma deneyi LVDT yerleşimi

Burulma açısı aşağıdaki formüllerden yararlanılarak U9 ve U10 profiller için hesaplanmıştır.

$$X = \frac{P \cdot L^3}{192EI}$$

P=Kuvvet L=Uzunluk (LVDT₂-LVDT₃)

$$\theta = \arctan \frac{(LVDT_2 - LVDT_3 - X)}{L}$$

θ =Burulma Açısı

$$L=LVDT_2-LVDT_3$$

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

$$U_x=206*10^{-4} \text{ m}^4$$



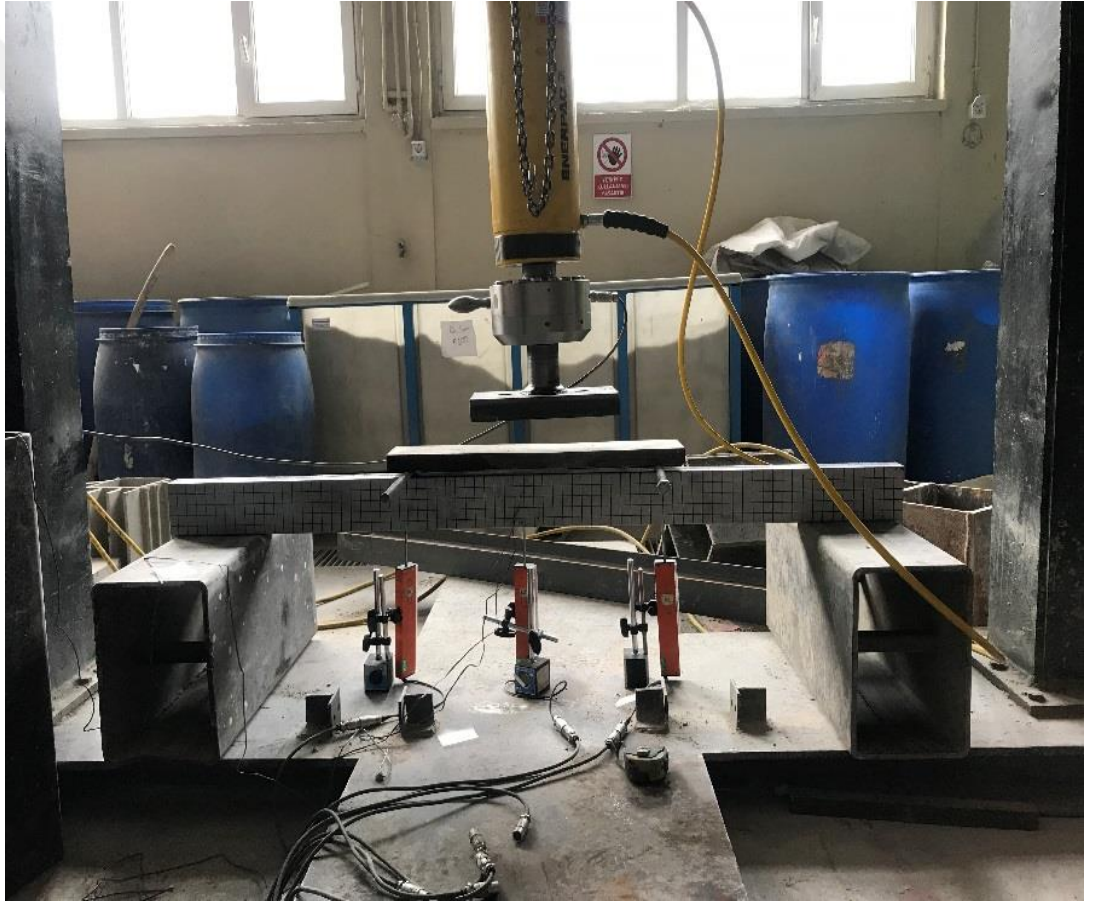
Şekil 4.35. Burulma deneyinden bir görünüm

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Dört Noktalı Eğilme Deneyi

5.1.1. U1 (Boş U Profil) Dört Noktalı Eğilme Deneyi

İlk olarak U1 Boş profil dört noktalı eğilme deneyine tabi tutuldu. LVDT'ler U1 profilin $X=50$ $x=75$ ve $x=100$ noktalarına yerleştirilerek yer değiştirme miktarları gözlemlendi. Strain Gauge'ler profilin orta noktasına sırasıyla S1-S2 diőey ve yatay olmak üzere yerleştirildi.U1 Profilinde dört noktalı eğilme sonrası oluşan deformasyonlar gözlemlendi.

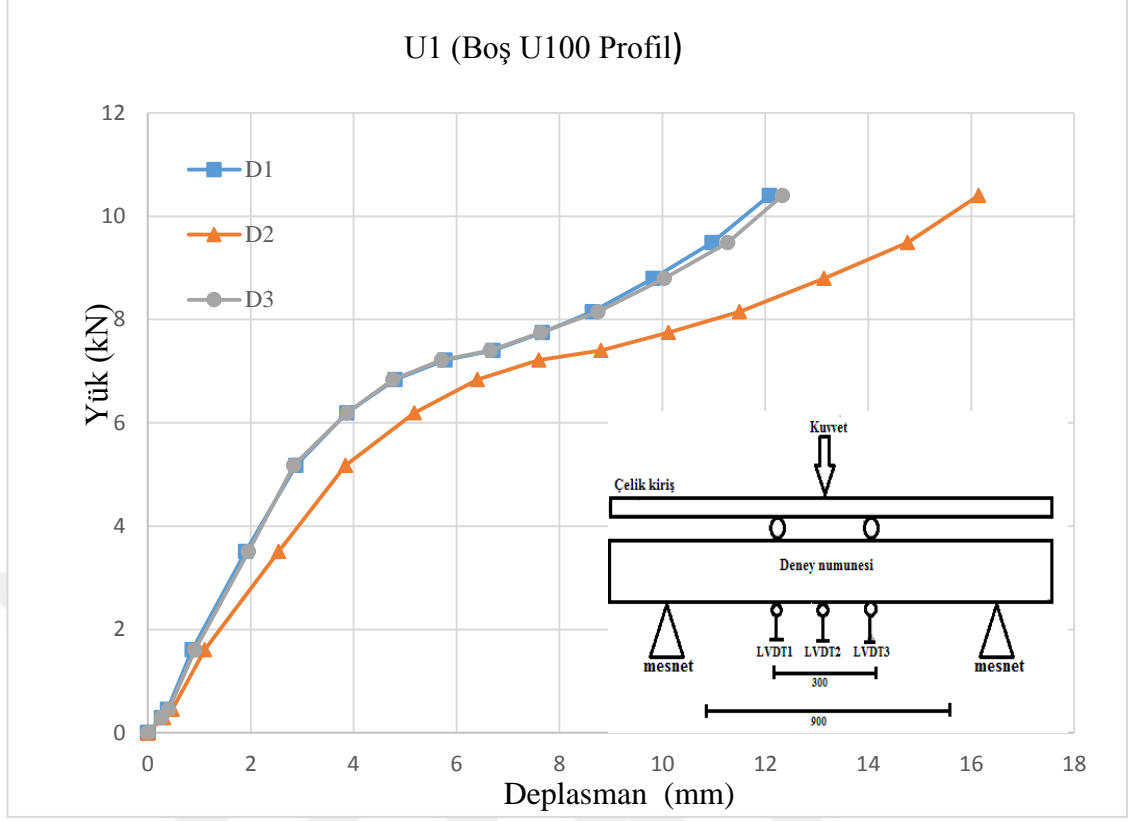


Şekil 5.1. U1 profili dört noktalı eğilme deneyi



Şekil 5.2. U1 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası

U1 boş profilde dört noktalı eğilme deneyi sonrası profilin orta noktasında deformasyonlar oluştu. Profilin uç bölgelerinde eğilmeden kaynaklanan deformasyonlar oluşmuştur.



Şekil 5.3. U1 profili yük-deplasman grafiği

Dört noktalı eğilme deneyinde U boş profilinin Şekil 5.3. yük-deplasman grafiğine göre 10 kN yükleme kadar D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte yer değiştirme artmıştır. 10 kN yükleme kadar D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi doğrusal bir artış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 10 kN doğrusal bir artış göstermiştir.

Max yük değerine (10 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=12 mm, D2=16 mm, D3=12 mm şeklindedir. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D2 (X=100 cm'deki LVDT2) de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde (yaklaşık 10 kN) en fazla yer değiştirme (16 mm) profilin orta noktasında gerçekleşmiştir.

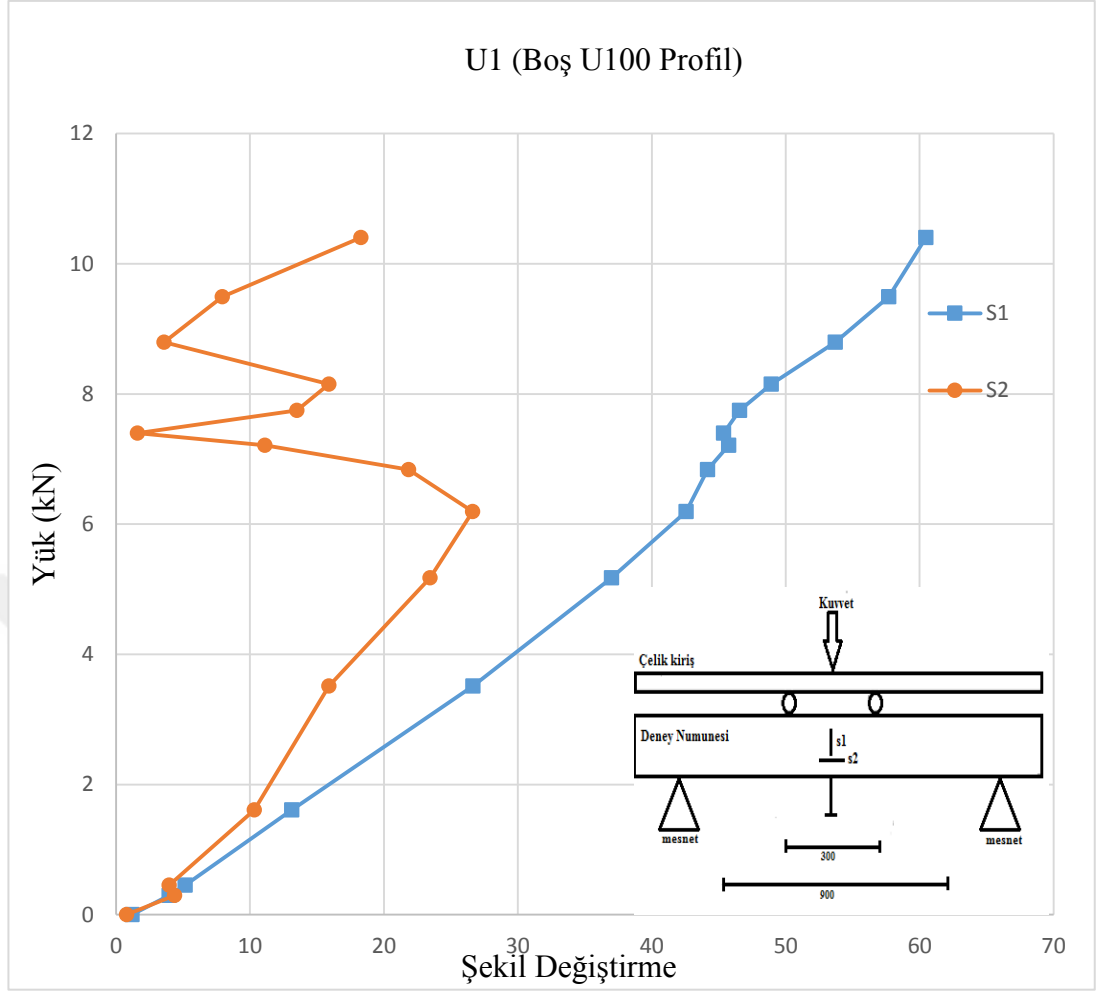
Boş U profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.3'e göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 318 kNmm , 361 kNmm ve 585 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre boş U profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 318 kNmm, 361 kNmm ve 585 kNmm değerlerindedir.

Boş U profilde maksimum yüke (10kN) karşılık gelen deplasman değeri 16 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.3'e göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 10 kN yüklemde göçme yükü 8,5 olarak belirlenmiştir.

Numunelerin sonuçlarını karşılaştırmak için boş U profil referans numune olarak belirlenmiştir ve karşılaştırmalar boş U profile göre yapılmıştır.



Şekil 5.4. U1 profili yük-şekil değişirme grafiği

10 kN yüklemeye kadar S1 düşey şekil değişirme doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte şekil değişirme atmıştır. 6 kN yüklemeye kadar S2 yatay şekil değişirme doğrusal olarak artarken 6 kN' dan yüklemeden sonra doğrusal olmayan bir davranış göstermiştir. Düşey yer değiştirmede (S1) max şekil değiştirmeye karşılık gelen yük 10 kN iken yatay şekil değiştirmede (S2) max şekil değiştirmeye karşılık gelen yük 10 kN' nu biraz geçmektedir. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değişirme aynı yük değerinde birbirinden farklıdır. Aynı yük değerinde düşey şekil değişirme (S1) yatay şekil değişirme (S2) karşılaştırıldığında düşey şekil değişirme (S1) kapasitesi daha büyüktür.

5.1.2.U2 (PP içeren u profil) Dört noktalı eğilme deneyi

Profilin içerisi PP (polipropilen) ile doldurulan numune dört noktalı eğilme deneyine tabi tutuldu. . LVDT'ler U2(PP içeren u profil) profilin $X=50$ $x=75$ ve $x=100$ noktalarına yerleştirildi ve yer değiştirme miktarları gözlemlendi. Strain Gauge'ler profilin orta noktasına düşey ve yatay (S1-S2) olmak üzere iki adet yerleştirildi.U2(PP içeren U profil) Profilinde dört noktalı eğilme sonrası oluşan deformasyonlar gözlendi.

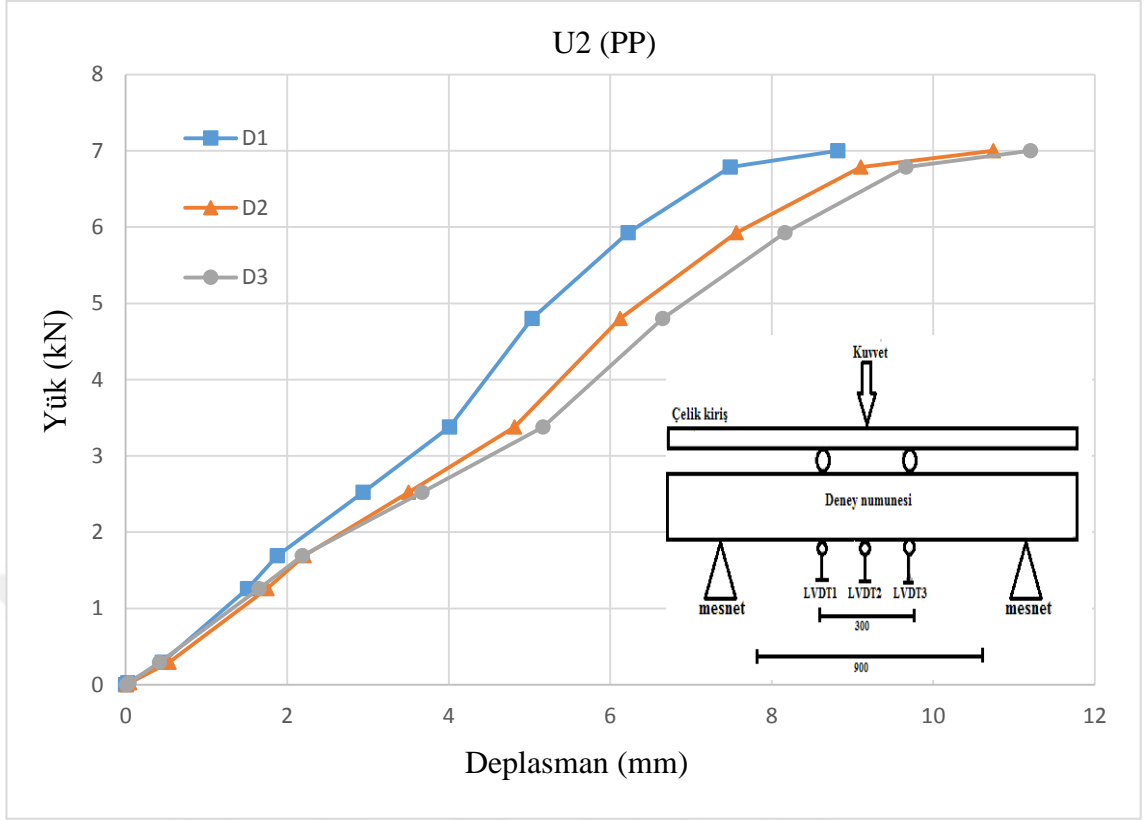


şekil 5.5. U2 profili dört noktalı eğilme deneyi



Şekil 5.6. U2 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası

U2 (PP içeren U profil) profilde dört noktalı eğilme deneyi sonrası profilin uç kısmına yakın bölgelerde deformasyonlar oluşmamıştır. Profilin orta bölgesinde eğilmeden kaynaklanan deformasyonlar oluşmuştur.



Şekil 5.7. U2 profili yük-deplasman grafiği

7 kN yüklemeye kadar D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi 0-3 kN yüklemeye kadar doğrusal bir şekilde artmıştır ve 3-7 kN yük aralığında parabolik şekilde artış göstermiştir. Artan yük ile birlikte yer değiştirme artmıştır. D2 (X=75 cm'deki LVDT2) 0-3 kN yükleme aralığında doğrusal bir şekilde artmıştır ve 3-7 kN yük aralığında parabolik şekilde artış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 0-3 kN yüklemeye kadar doğrusal bir şekilde artmıştır ve 3-7 kN yük aralığında parabolik bir artış göstermiştir.

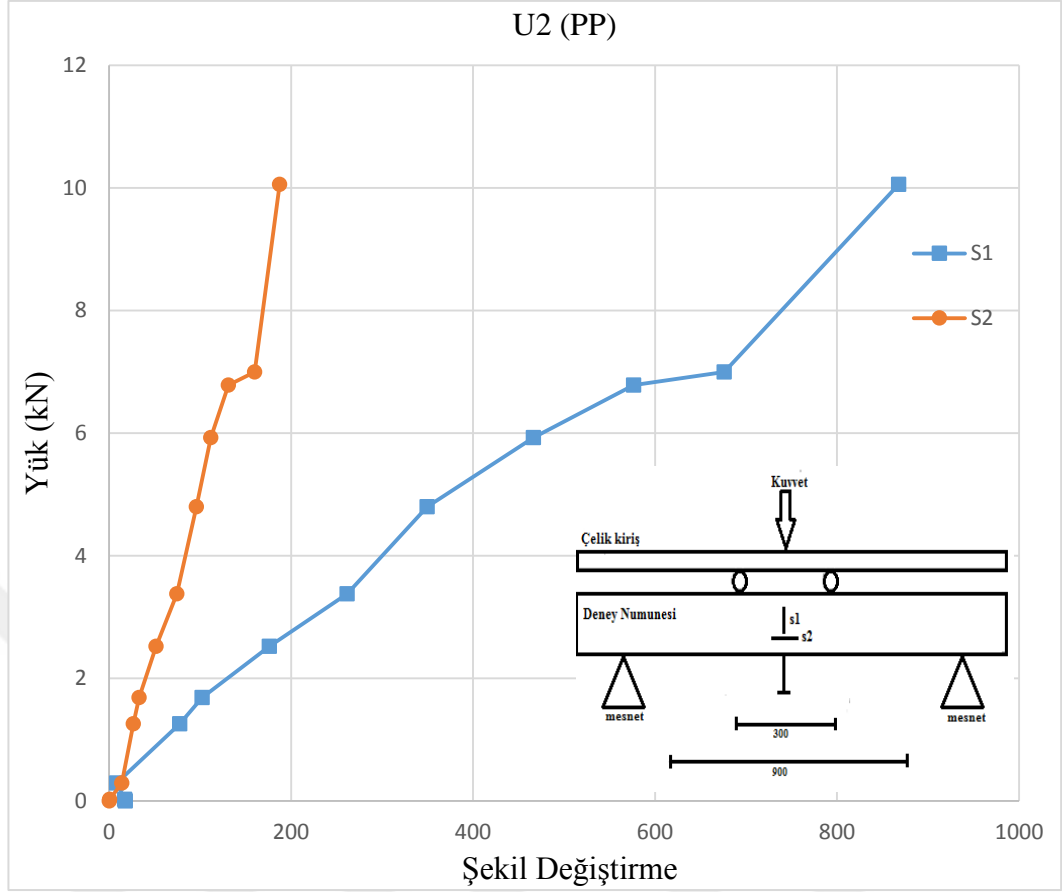
Max yük değerine (7 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=8-10 mm aralığında, D2=10-12 mm aralığında, D3=10-12 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D3(X=100 cm'deki LVDT3) de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin köşe noktasında X=100 santimetrede gerçekleşmiştir.

PP içeren profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.7'ye göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 291 kNmm, 394 kNmm ve 235 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre PP içeren profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 291 kNmm, 394 kNmm ve 235 kNmm değerlerindedir

PP içeren profilde maksimum yüke (7 kN) karşılık gelen deplasman değeri 11 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.7'ye göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 7 kN yüklemde göçme yükü 5,95 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.8. U2 profili yük-şekil değişirme grafiği

6-8 kN yükleme değerinde S1 düşey şekil değişirme doğrusal bir şekilde ve 8-10 kN yükleme arasında lineer bir artış göstermektedir. Yük artışı ile birlikte şekil değişirme değerleri artmıştır. 7-8 kN yükleme aralığında S2 yatay şekil değişirme doğrusal olarak artarken 7 kN' dan yüklemeden sonra lineer bir artış davranışı göstermiştir. Düşey şekil değiştirmede (S1) max şekil değiştirmeye karşılık gelen yük ile yatay şekil değiştirmede (S2) max şekil değiştirmeye karşılık gelen yük 10 kN' dur. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değiştirmede aynı yük değerinde birbirinden farklı değerler almaktadır. Aynı yük değerinde düşey şekil değişirme (S1) yatay şekil değişirme (S2) karşılaştırıldığında düşey şekil değişirme (S1) kapasitesi daha büyüktür.

5.1.3. U3 (PP + cam fiber çubuk içeren u profil) dört noktalı eğilme deneyi

Profilin içerişi PP + cam fiber çubuk (polipropilen+ cam fiber çubuk) ile doldurulan U3 profili dört noktalı eğilme deneyine tabi tutuldu. . LVDT'ler U3(PP+ cam fiber çubuk içeren u profil) profilin $X=50$ $x=75$ ve $x=100$ noktalarına yerleştirilerek gözlem yapıldı. Strain Gauge'ler profilin orta noktasına dikey ve yatay olmak(S1-S2) üzere iki adet yerleştirildi. U3(PP +cam fiber çubuk içeren U profil) profilinde dört noktalı eğilme sonrası oluşan deformasyonlar gözlemlendi.

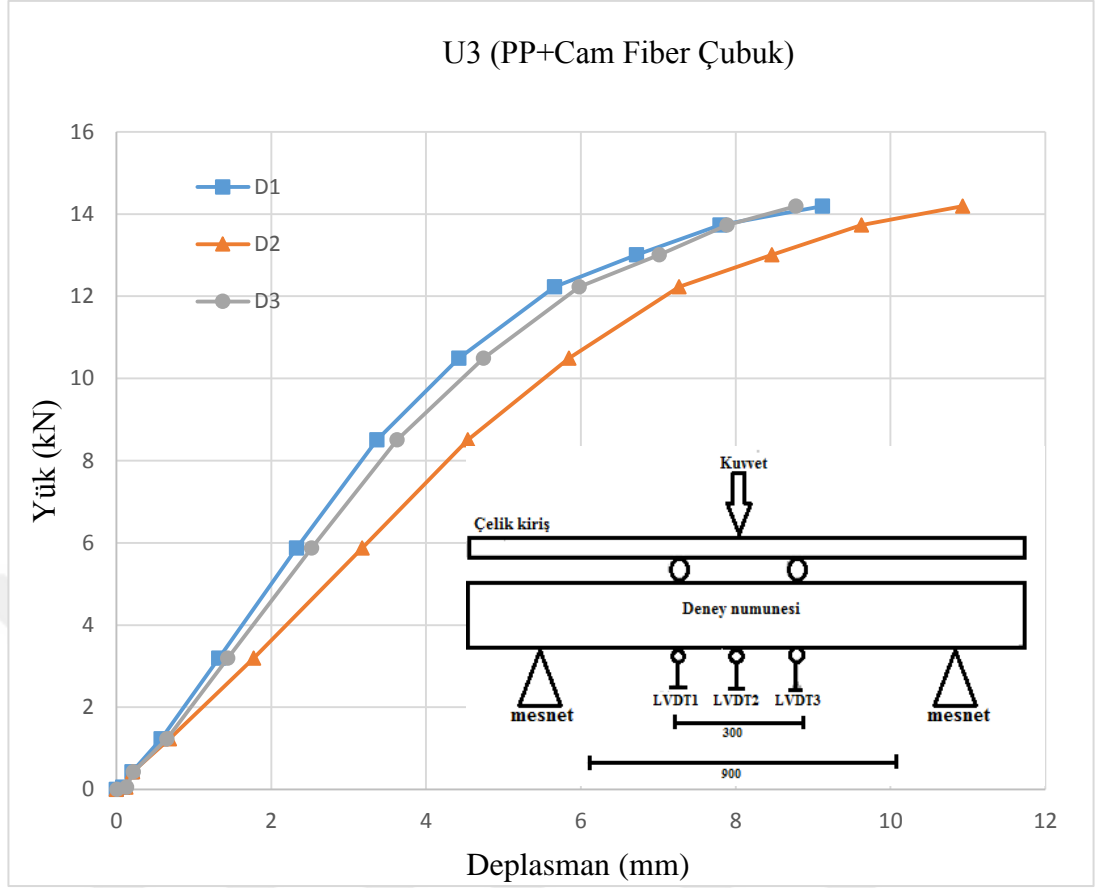


Şekil 5.9. U3 profili dört noktalı eğilme deneyi



Şekil 5.10. U3 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası

U3 (PP+ cam fiber çubuk içeren U profil) profilde dört noktalı eğilme deneyi sonrası profilin orta kısmında deformasyonlar oluşmuştur. Profilin uç kısımlarında eğilmeden kaynaklanan deformasyonlar oluşmamıştır.



Şekil 5.11. U3 profili yük-deplasman grafiği

14 kN yüklemeye D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte yer değiştirme artmıştır. 14 kN yüklemeye kadar D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi doğrusal bir artış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 14 kN yüklemeye doğrusal bir artış göstermiştir.

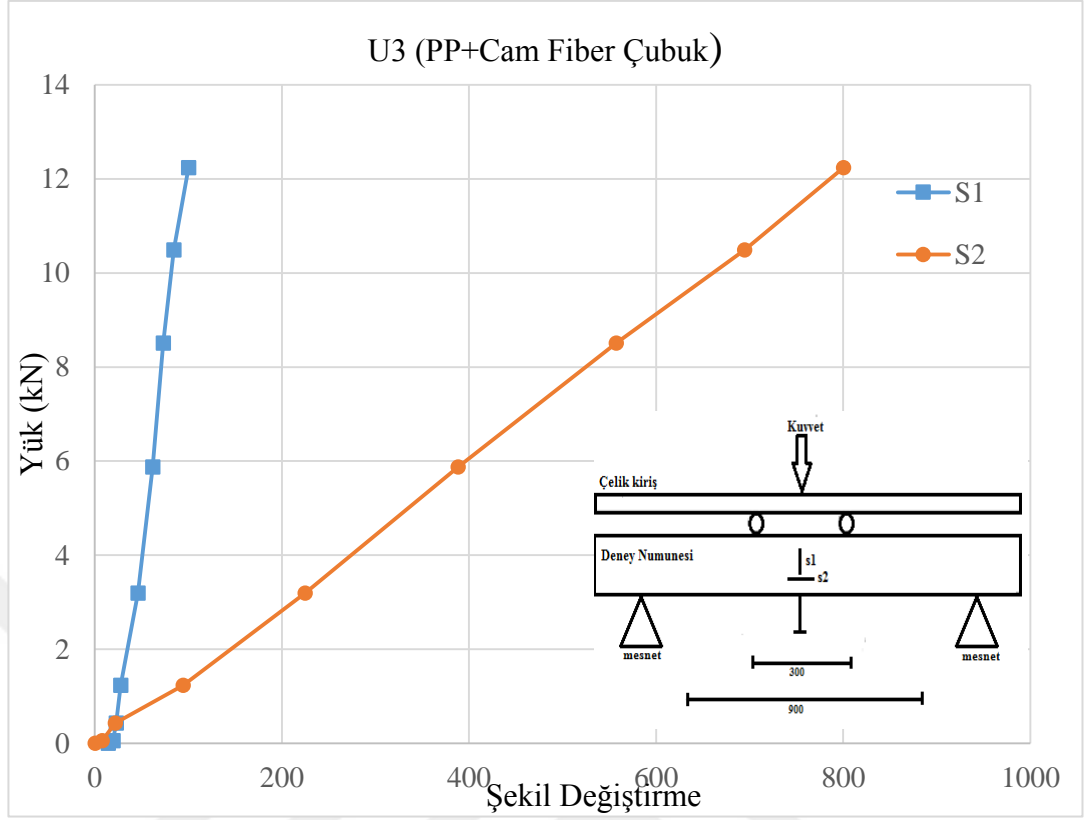
Max yük değerine (10 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=8-10 mm aralığında, D2=10-12 mm aralığında, D3=8-10 mm şeklindedir. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D2 (X=75 cm'deki LVDT) de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin orta noktasında gerçekleşmiştir.

PP + cam fiber çubuk içeren U profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.11'e göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 515 kNmm, 562 kNmm ve 359 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre PP + cam fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 515 kNmm, 562 kNmm ve 359 kNmm değerlerindedir

PP + cam fiber çubuk içeren profilde maksimum yüke (14 kN) karşılık gelen deplasman değeri 11 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.11'e göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 14 kN yüklemede göçme yükü 11,9 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.12. U3 profili yük-şekil değişirme grafiği

12 kN yükleme durumunda S1 düşey şekil değişirme lineer bir şekilde artış göstermiştir. Artan yük ile birlikte şekil değişirme artmıştır. S2 yatay şekil değişirme 12 kN' a kadar lineer bir şekilde artış göstermektedir. Max yüke karşılık gelen (12 kN) S1 düşey şekil değişirme değeri 100 olmaktadır. Max yüke karşılık gelen (12 kN) S2 yatay şekil değişirme değeri 800 olmaktadır. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değişirme aynı yük değerinde birbirinden farklıdır. Aynı yük değerinde düşey şekil değişirme (S1) yatay şekil değişirme (S2) kıyaslandığında düşey şekil değişirme (S1) kapasitesi daha büyüktür.

5.1.4. U4 (PP+ karbon fiber çubuk içeren u profil) dört noktalı eğilme deneyi

PP + karbon fiber çubuk (polipropilen+ karbon fiber çubuk) ile doldurulan U4 profili dört noktalı eğilme deneyine tabi tutularak eğilme davranışı gözlemlendi. LVDT'ler U4(PP+ karbon fiber çubuk içeren u profil) profilin $X=50$ $x=75$ ve $x=100$ noktalarına yerleştirildi. Strain Gauge'ler profilin orta noktasına dikey ve yatay olmak üzere iki adet yerleştirildi. U4(PP +karbon fiber çubuk içeren U profil) Profilinde dört noktalı eğilme sonrası oluşan deformasyonlar gözlemlendi.

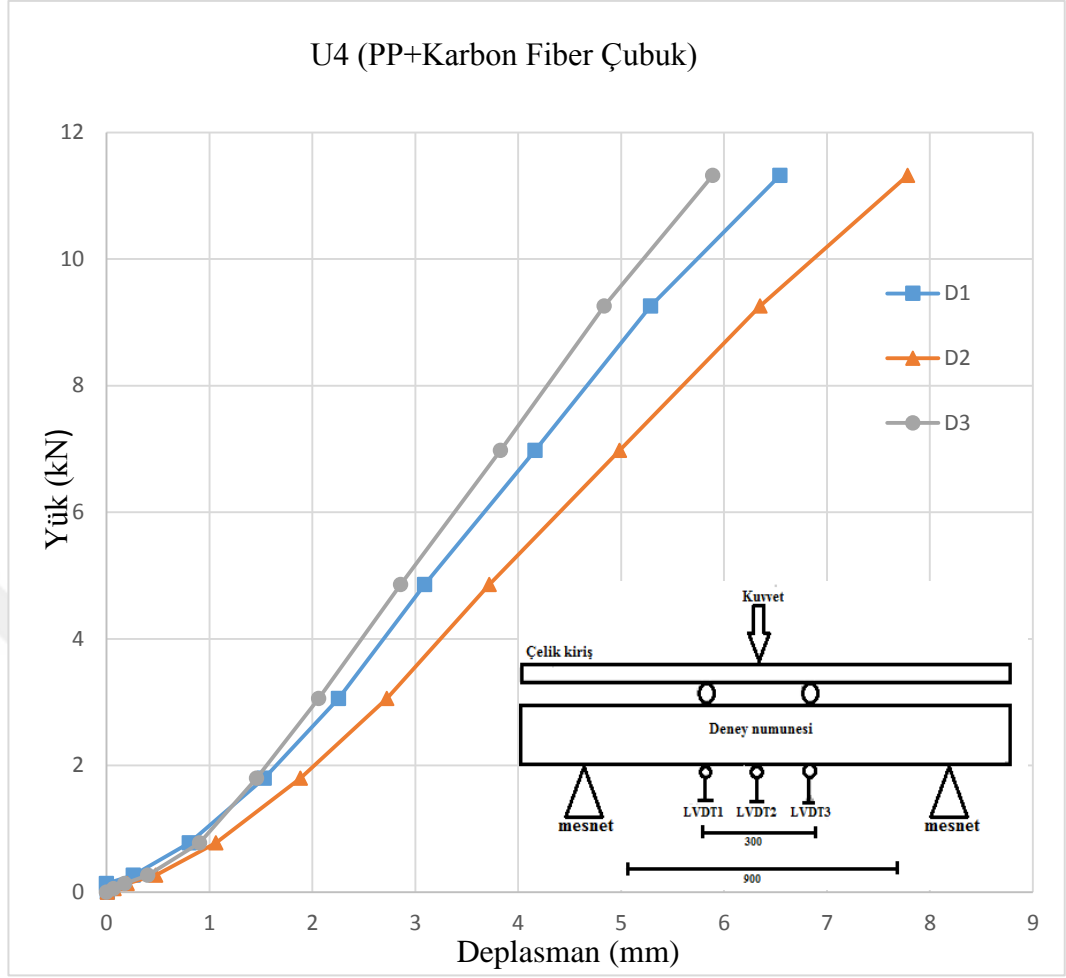


Şekil 5.13. U4 profili dört noktalı eğilme deneyi



Şekil 5.14. U4 profili dört noktalı eğilme deneyi sonrası

U4 (PP+ karbon fiber çubuk içeren U profil) profilde dört noktalı eğilme deneyi sonrası profilin orta kısmında ve uç noktalarında deformasyonlar gözlemlendi. Profilin uç kısımlarında deformasyon oluşmamıştır.



Şekil 5.15. U4 profili yük-deplasman grafiği

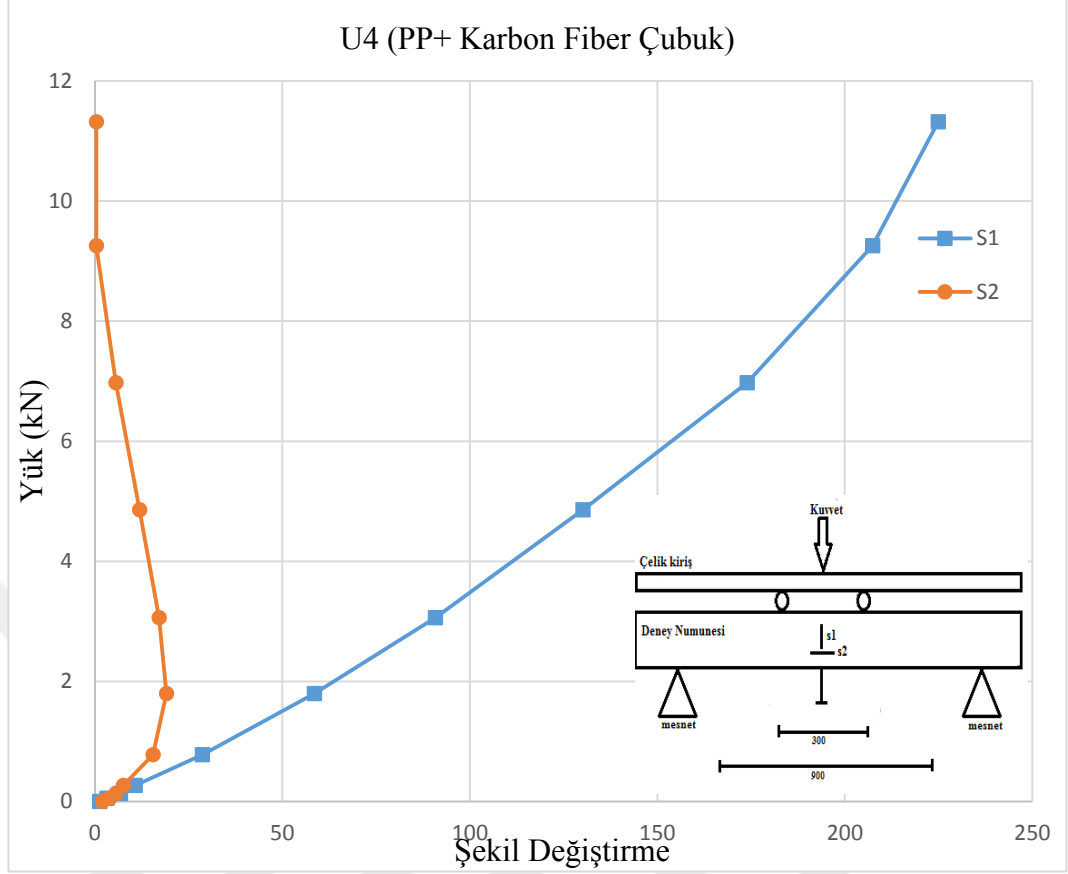
10-12 kN yükleme aralığında D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte yer değiştirme artmıştır. 10-12 kN yüklemeye kadar D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi doğrusal bir artış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT) yer değiştirmesi 10-12 kN yükleme aralığında doğrusal bir artış göstermiştir. Max yük değerine (10-12 KN aralığı) karşılık gelen deplasman değerleri D1=6-7 mm aralığında, D2=7-8 mm aralığında, D3=5-6 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D2 (X=75 cm'deki LVDT2) de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin orta noktasında (X=75) gerçekleşmiştir.

PP + karbon fiber çubuk içeren U profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.15'e göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 267 kNmm, 547 kNmm ve 398 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre PP + karbon fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 267 kNmm, 547 kNmm ve 398 kNmm değerlerindedir

PP + karbon fiber çubuk içeren profilde maksimum yüke (11 kN) karşılık gelen deplasman değeri 7 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.15'e göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 11 kN yüklemede göçme yükü 9,35 olarak belirlenmiştir.



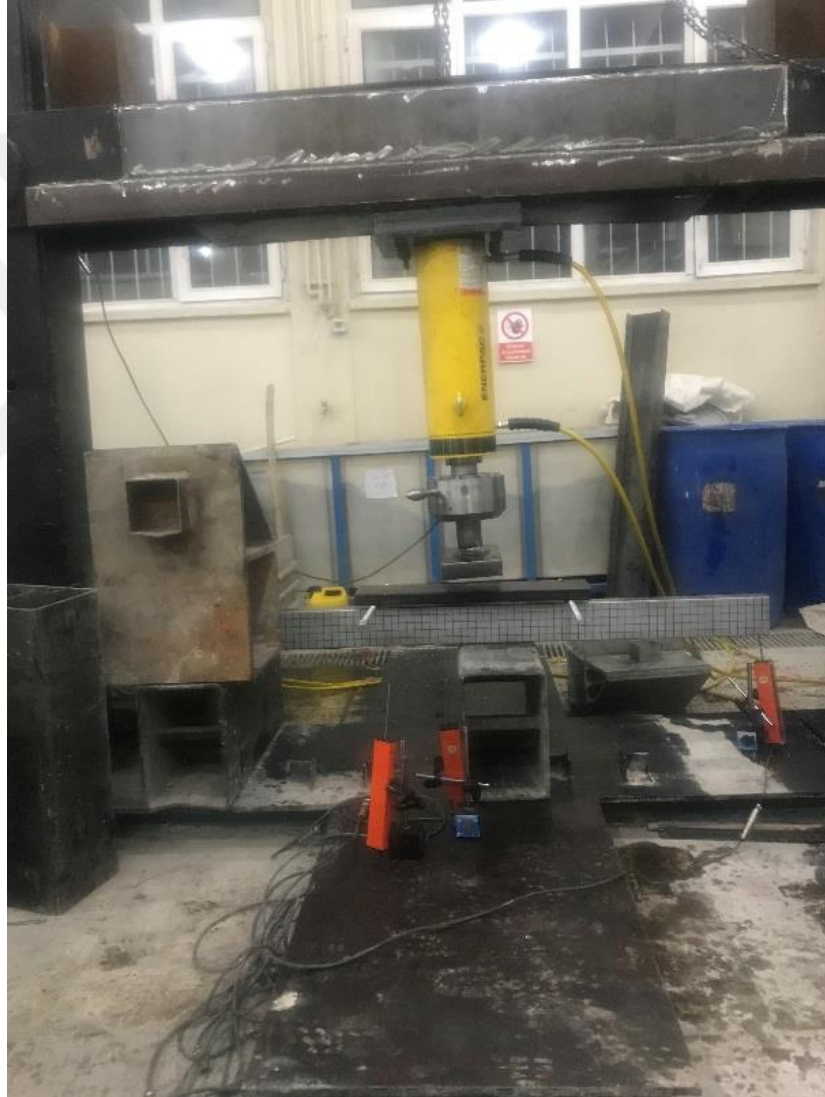
Şekil 5.16. U4 profili yük-şekil değiştirme grafiği

Yaklaşık 9 kN yüklemeye kadar S2 yatay şekil değiştirme parabolik bir şekilde azalmıştır ve 9-11 kN yükleme arasında yatay şekil değiştirme sıfırdır. S1 düşey şekil yer değiştirme 11 kN yüklemeye kadar doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte şekil değiştirme artmıştır. Max yüke değiştirmeye karşılık gelen düşey şekil değiştirme (S1) ve yatay (S2) şekil değiştirme birbirinden farklıdır. Max yüke karşılık gelen (11 kN) S1 dikey şekil değiştirme değeri 200-250 arasında olmaktadır. Max yüke karşılık gelen (11 kN) S2 yatay şekil değiştirme değeri 0'dır. Aynı yük değerinde düşey şekil değiştirme (S1) yatay şekil değiştirme (S2) karşılaştırıldığında düşey şekil değiştirme (S1) kapasitesi daha büyüktür.

5.2.Kesme Deneyi

5.2.1. U5 (boş u profil) kesme deneyi

Kesme deneyinde U5 (boş u profil) deney düzeneğinde değişiklik yapılarak sisteme yerleştirildi. U5 (boş u profil) LVDT'ler profilin $X=50$ $X=100$ ve profilin bir ucu açıkta kalan köşesine yerleştirilmiştir. Strain Gauge profilin orta noktasına ve uç noktasına yerleştirilmiştir.

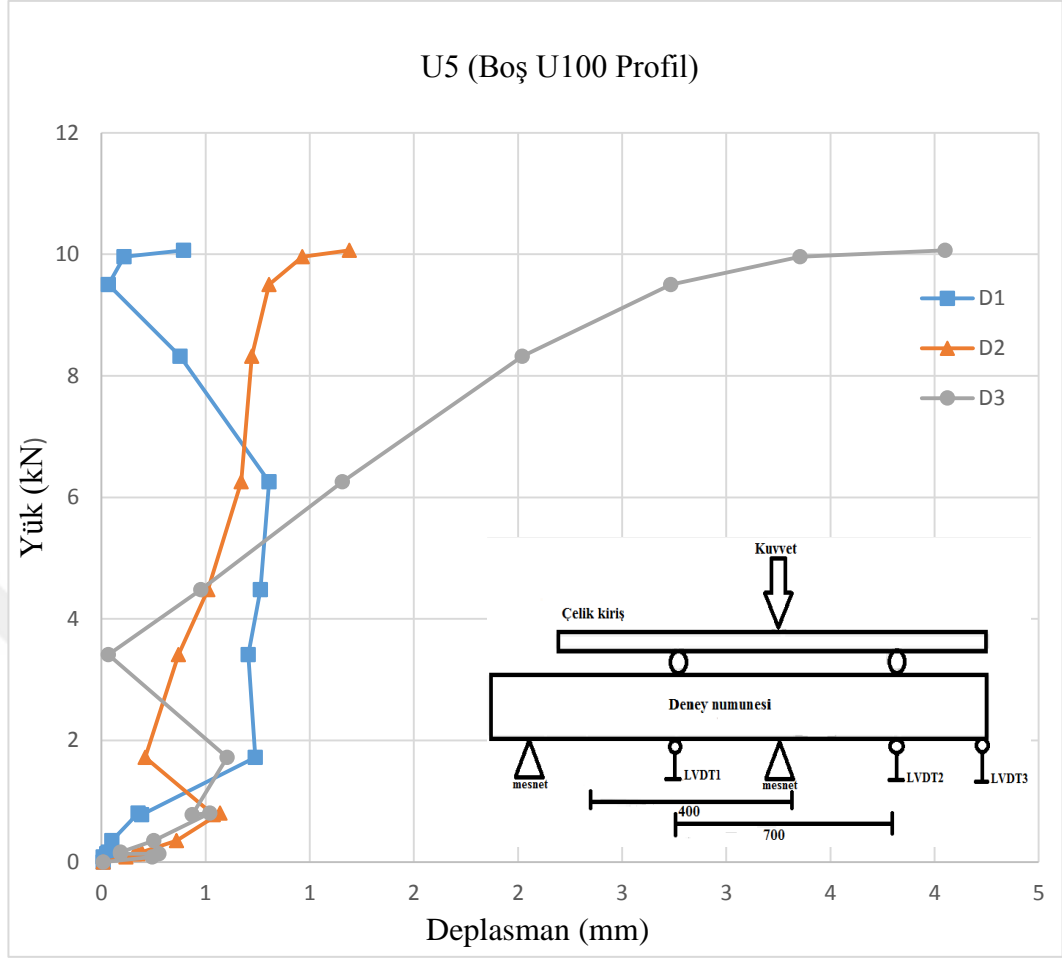


Şekil 5.17. U5 profili kesme deneyi



Şekil 5.18. U5 profili kesme deneyi sonrası

U5 (boş U profil) profilde kesme deneyi sonrası profilin orta kısmında deformasyonlar gözlemlendi. Profilin uç kısımlarında deformasyon çok az oluşmuştur.



Şekil 5.19. U5 profili yük-deplasman grafiğı

0-10 kN yükleme aralığında D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değıştirmesi doğrusal bir şekilde artış ve azalış göstermiştir. 2 kN yüklemeye kadar D2 (X=75cm'deki LVDT2) yer değıştirmesi doğrusal bir şekilde artış ve azalış göstermiştir. 2-9 kN aralığında doğrusal bir artış olmuştur ve 9-10 kN aralığında parabolik bir artış olmuştur. Artan yük ile birlikte yer değıştirme artmıştır. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değıştirmesi 0-3 kN aralığında doğrusal bir şekilde artış ve azalış göstermiştir. 3-8 kN aralığında lineer bir artış ve 8-10 kN aralığında parabolik bir şekilde artış gözlemlenmiştir.

Max yük değerine (10 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1= 0-1 mm aralığında, D2=1-2 mm aralığında, D3= 4-5 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değıştirme D3 (X=100 cm'deki LVDT3) de olmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değıştirme profilin köşe noktasında (X=100 cm) gerçekleşmiştir.

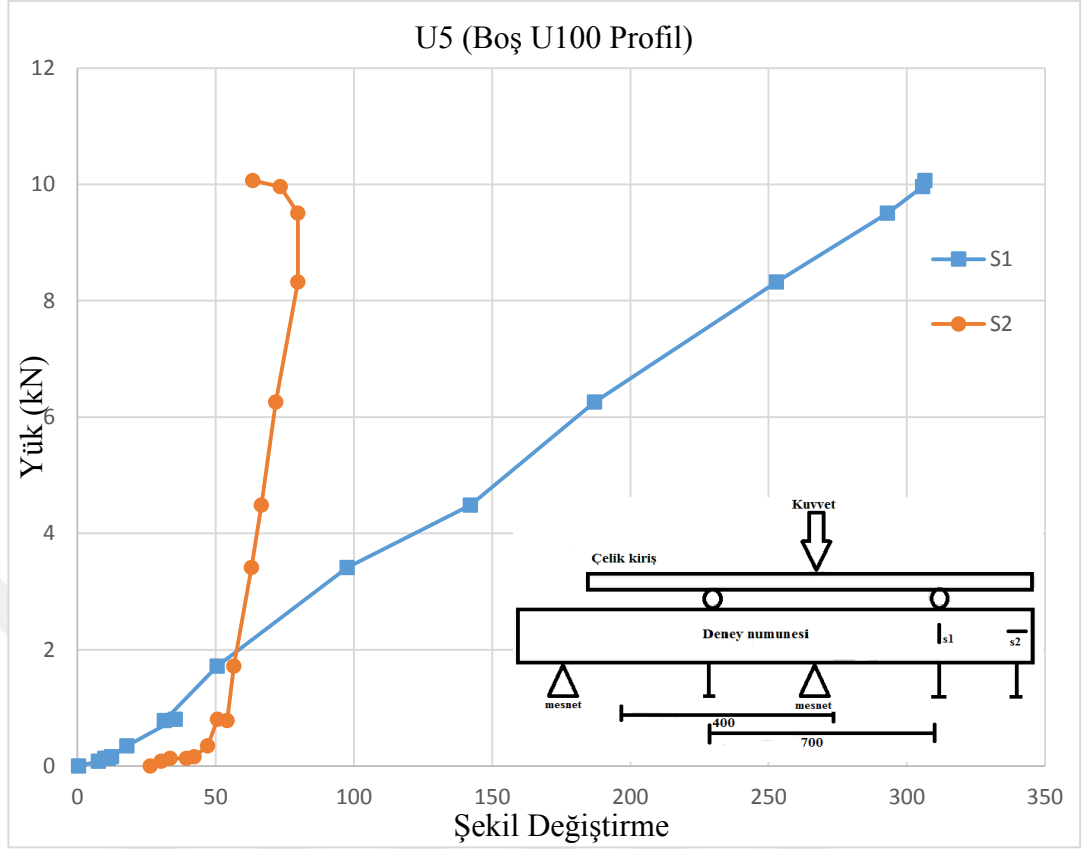
Boş U profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.19'a göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 11 kNmm, 11 kNmm ve 394 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre boş U profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 11 kNmm, 11 kNmm ve 394 kNmm değerlerindedir

Boş U profilde maksimum yüke (10kN) karşılık gelen deplasman değeri 4 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.19'a göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 10 kN yüklemde göçme yükü 8,5 olarak belirlenmiştir.

Numunelerin sonuçlarını karşılaştırmak için boş U profil referans numune olarak belirlenmiştir ve karşılaştırmalar boş U profile göre yapılmıştır.



Şekil 5.20. U5 profili yük-şekil değişirme grafiği

10 kN yükleme kadar S1 düşey şekil değişirme doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte şekil değişirme artmıştır. 10 kN yükleme kadar S2 yatay şekil değişirme doğrusal olarak artarken 9-10 kN' dan yüklemeden sonra doğrusal bir şekilde azalmıştır. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değişirme aynı yük değerindeki şekil değişirmeler birbirinden farklıdır. Max yüke karşılık gelen (10 kN) S1 düşey şekil değişirme değeri 300-350 arasında olmaktadır. Max yüke karşılık gelen (10 kN) S2 yatay şekil değişirme değeri 50-100 arasındadır.

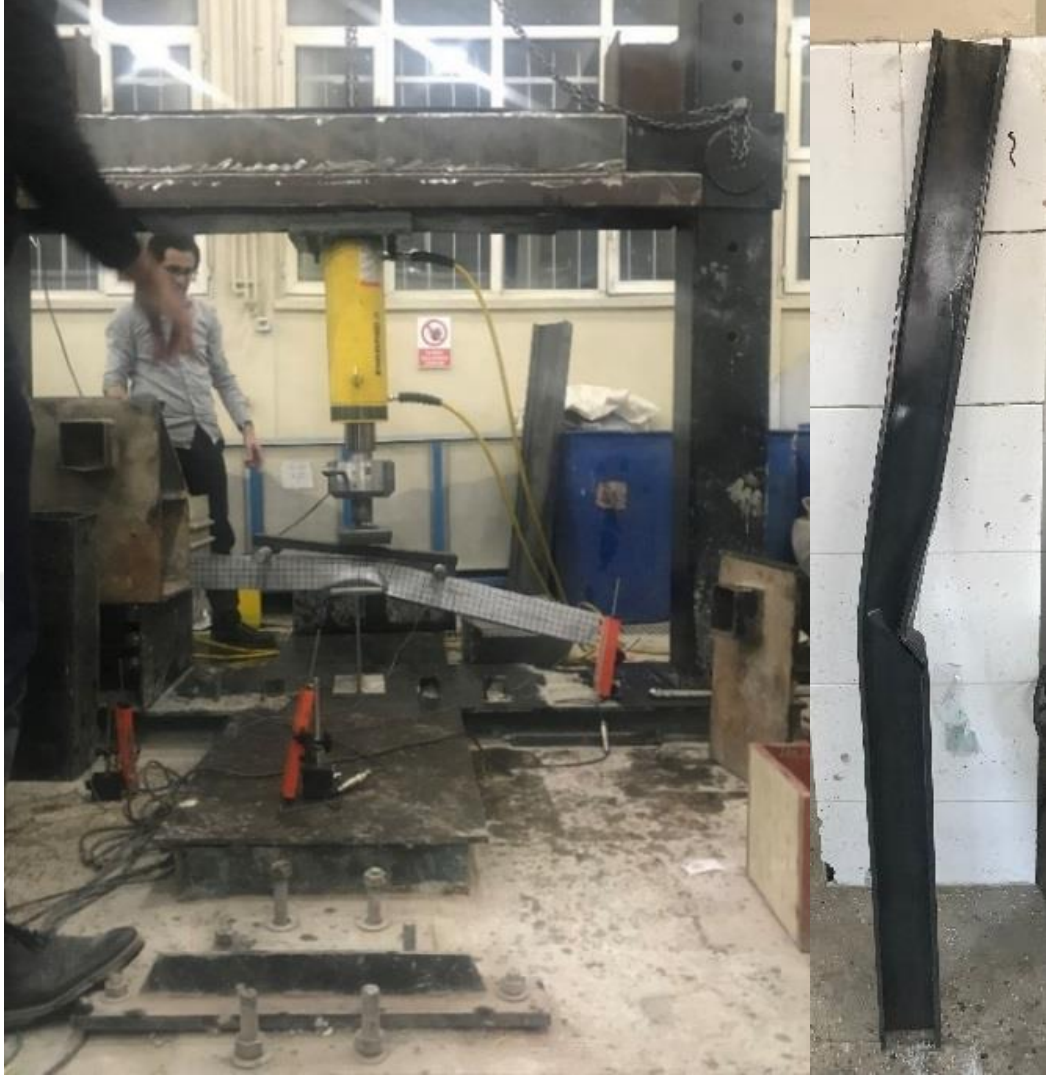
Aynı yük değerinde düşey şekil değişirme (S1) yatay şekil değişirme (S2) karşılaştırıldığında düşey şekil değişirme (S1) kapasitesi daha büyüktür.

5.2.2.U6 (PP içeren u profil)kesme deneyi

Kesme deneyinde U6(PP içeren profil) profilinde LVDT'ler profilin $X=50$ $X=100$ ve profilin ke noktasına yerleştirilmiştir. Strain Gauge profilin orta noktasına ve uç noktasına yerleştirilmiştir.

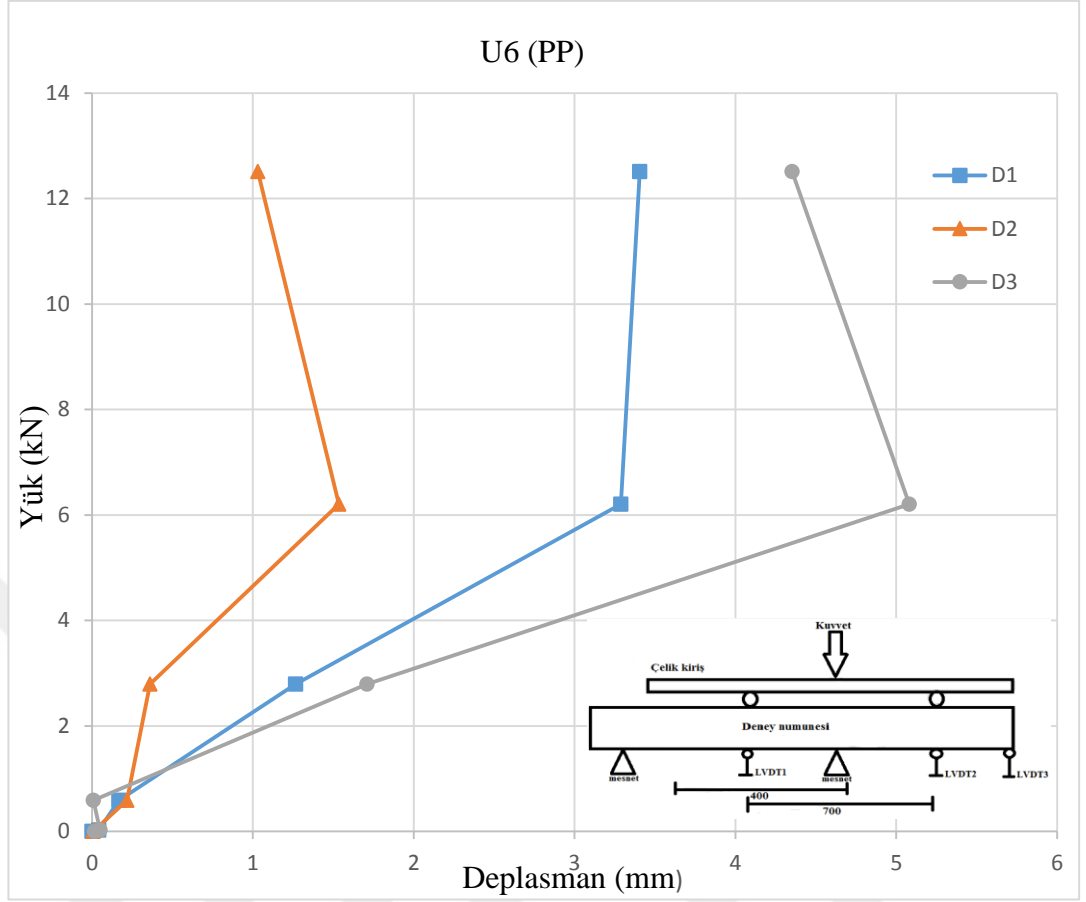


şekil 5.21. U6 profili kesme deneyi



Şekil 5.22. U6 profili kesme deneyi sonrası

U6(PP içeren profil) profilde kesme deneyi sonrası profilin orta kısmında deformasyonlar gözlemlendi. Profilin uç kısımlarında deformasyon oluşmamıştır.



Şekil 5.23. U6 profili yük-deplasman grafiği

0-3 kN yükleme aralığında D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi lineer bir şekilde artış gözlemlenmiştir. Artan yük ile birlikte yer değiştirme artmıştır. 3-6 kN yükleme aralığında lineer bir artış ve 6-12 kN aralığında lineer bir şekilde azalış gözlemlenmiştir.

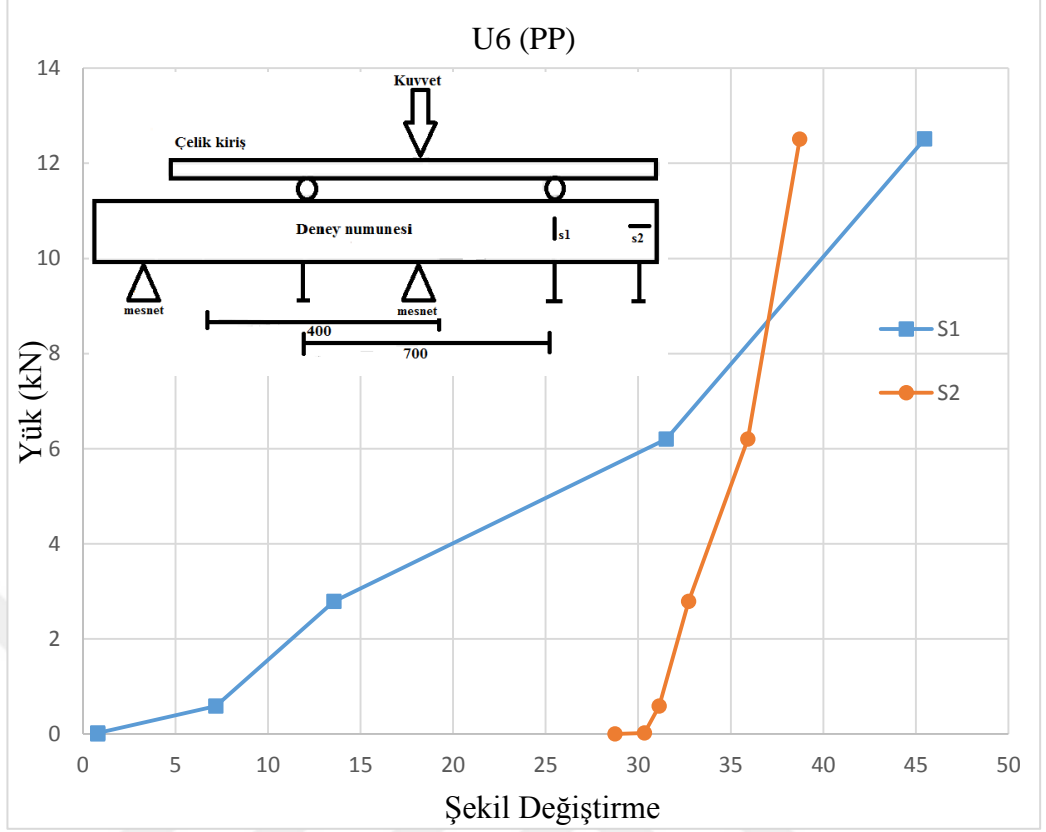
D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi 0-6 kN ve 6-12 kN aralığında lineer bir artış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 0-1 kN yükleme aralığında lineer azalış göstermiştir. Ve 1-12 kN aralığında sırasıyla lineer artış ve azalış gözlemlenmiştir. Max yük değerine (12 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=3-4 mm aralığında, D2=1-2 mm aralığında, D3=4-5 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D3 (X=100 cm'deki LVDT3) de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin köşe noktasında (X=100) gerçekleşmiştir.

PP içeren profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.23'e göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre ($X=50$, $X=75$ ve $X=100$) sırasıyla 170 kNmm, 962 kNmm ve 2146 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre ($X=50$, $X=75$ ve $X=100$) sırasıyla 170 kNmm, 962 kNmm ve 2146 kNmm değerlerindedir.

PP içeren profilde maksimum yüke (13kN) karşılık gelen deplasman değeri 4,2 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.23'e göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 13 kN yüklemede göçme yükü 11,95 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.24. U6 profili yük-şekil değişirme grafiği

12 kN yüklemeye kadar S1 düşey şekil değişirme doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte şekil değişirme artmıştır. 10 kN yüklemeye kadar S2 yatay şekil değişirme doğrusal olarak artış göstermektedir. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değişirme aynı yük değerindeki şekil değişirmeler birbirinden farklı olmaktadır. Sadece 8-10 kN yükleme arasında bir noktada şekil değişirme aynıdır. Max yüke karşılık gelen (12 kN) S1 düşey şekil değişirme değeri 40-50 arasında olmaktadır. Max yüke karşılık gelen (12 kN) S2 yatay şekil değişirme değeri 30-40 arasındadır. Aynı yük değerinde düşey şekil değişirme (S1) yatay şekil değişirme (S2) karşılaştırıldığında dikey şekil değişirme (S1) kapasitesi daha büyüktür.

5.2.3. U7 kesme deneyi (PP + cam fiber çubuk içeren u profil)

Kesme deneyinde U7(PP+ cam fiber çubuk içeren profil) profilinde LVDT'ler profilin $X=50$ $X=100$ ve profilin köşe noktasına yer değişimi ölçümü için yerleştirilmiştir.. Strain Gauge profilin orta noktasına ve uç noktasına yerleştirilmiştir.

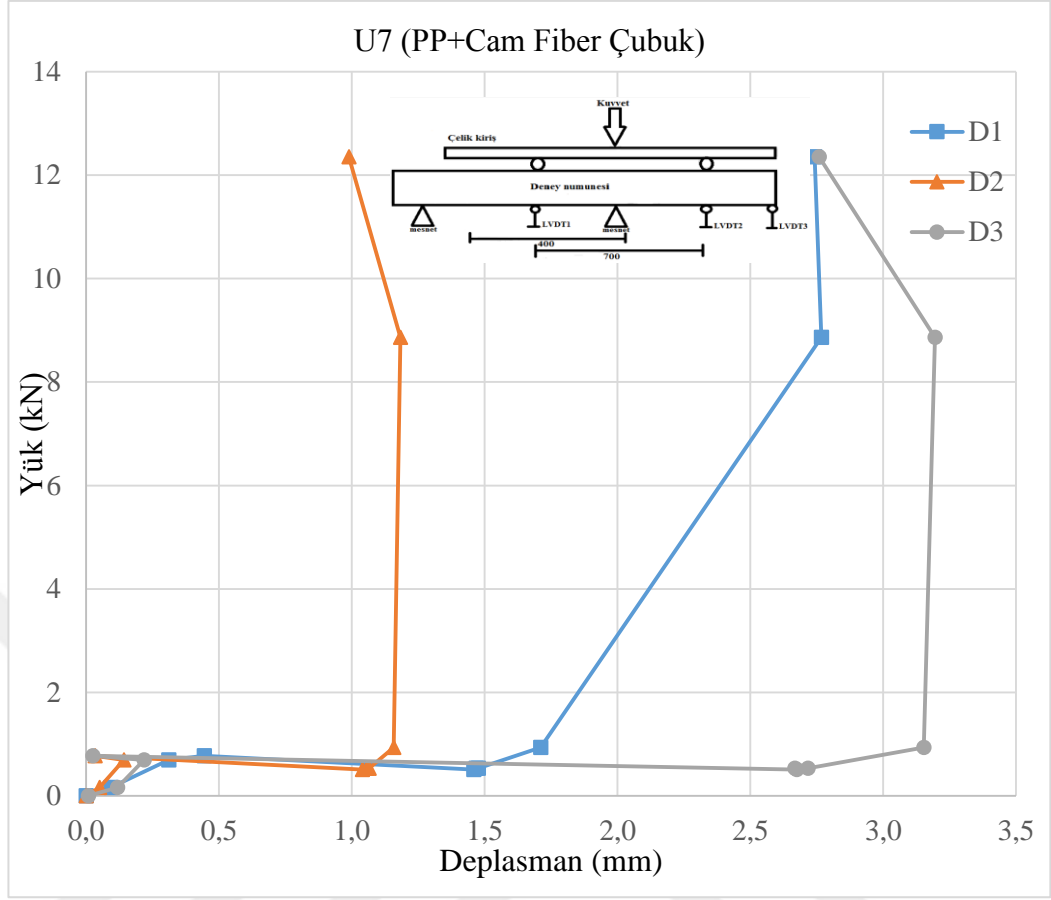


Şekil 5.25. U7 profili kesme deneyi



Şekil 5.26. U7 profili kesme deneyi sonrası

U7(PP+ cam fiber çubuk içeren profil) profilde kesme deneyi sonrası profilin orta bölgesinde deformasyonlar gözlemlendi. U7(PP+ cam fiber çubuk içeren profil) Profilin uç kısımlarında deformasyon oluşmamıştır.



Şekil 5.27. U7 profili yük-deplasman grafiği

0-1 kN yükleme aralığında D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi doğrusal bir şekilde çok az miktarda artmıştır.1-9 kN aralığında lineer bir artış göstermiştir ve 9-12 kN aralığında yer değiştirme sabittir. 0-1 kN yükleme aralığında D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi doğrusal bir şekilde çok az miktarda artış göstermiştir. 1-9 kN aralığında yer değiştirme sabittir ve 9-12 kN aralığında lineer bir azalış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 0-1 kN yükleme aralığında doğrusal bir şekilde minimum miktarda artış göstermiştir. 1-9 kN lineer bir artış ve 9-12 kN lineer bir azalış aralığındadır.

Max yük değerine (12 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=2,5-3 mm aralığında, D2=1 mm aralığında, D3=2,5-3 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D1 (X=50cm'deki LVDT1) ve D3 (X=100 cm'deki LVDT3) de oluşmuştur.

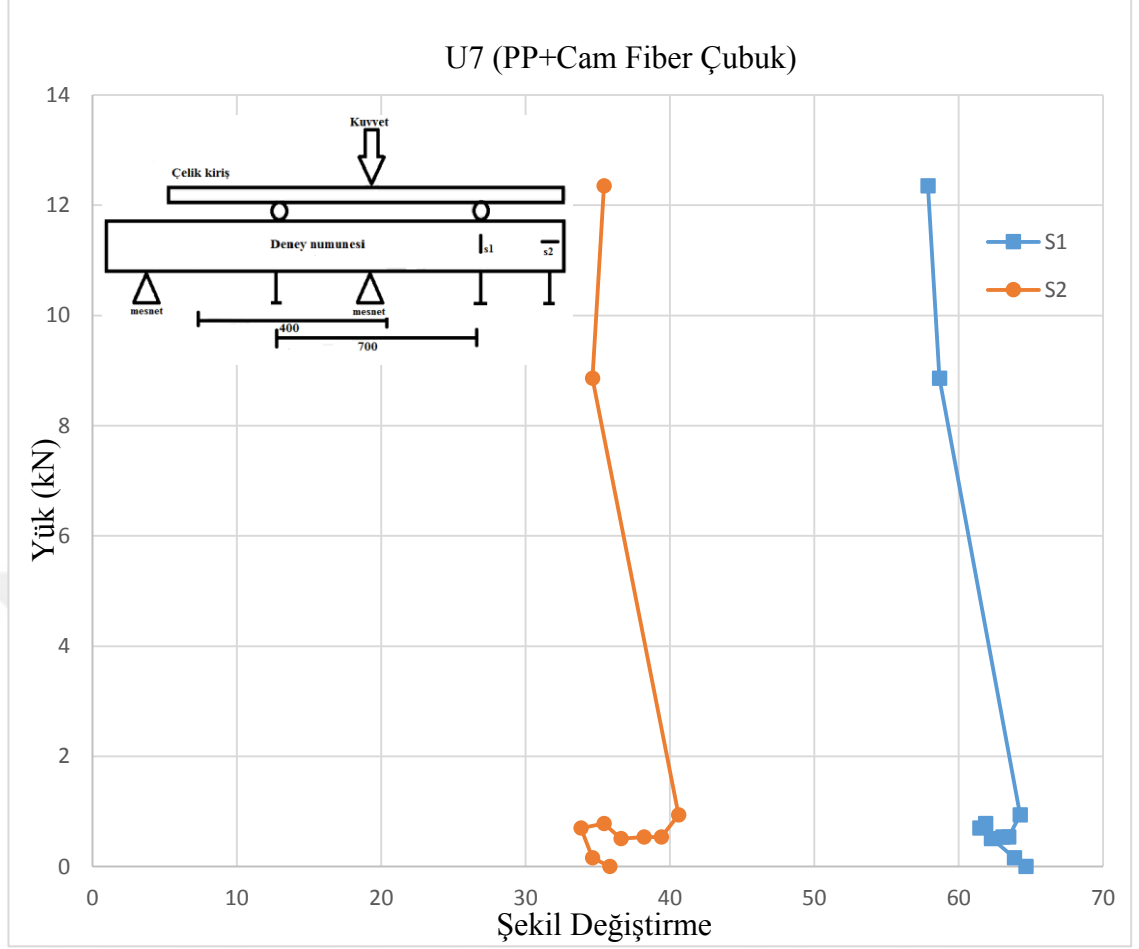
Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin köşe noktalarında (X=50, X=100) gerçekleşmiştir.

PP + cam fiber çubuk içeren profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.27'ye göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 313 kNmm, 61 kNmm ve 150 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 313 kNmm, 61 kNmm ve 150 kNmm değerlerindedir

PP + cam fiber çubuk içeren profilde maksimum yüke (12kN) karşılık gelen deplasman değeri 2,5 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.27'ye göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 12 kN yüklemde göçme yükü 10,2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.28. U7 profili yük-şekil değişirme grafiği

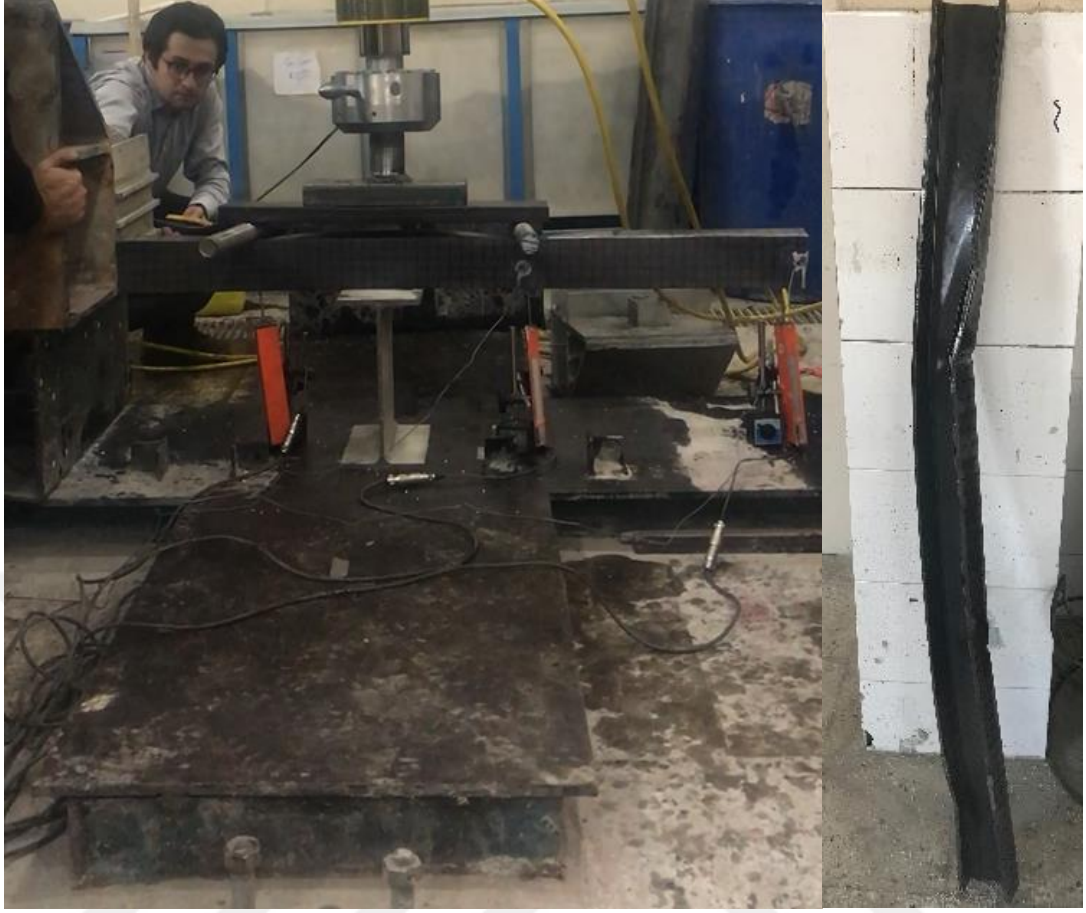
0-1 kN yük değerinde S1 düşey şekil değişirme doğrusal bir şekilde artış ve azalış göstermektedir. S1 düşey şekil değişirme 1-12 kN arasında lineer bir şekilde azalmıştır. 0-1 kN yük değerinde S2 yatay şekil değişirme doğrusal bir şekilde artış ve azalış göstermektedir. 1-7 kN yükleme arasında azalış ve 7- 12kN arasında artış göstermektedir. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değişirme aynı yük değerindeki şekil değişirmeler birbirinden farklıdır. Max yüke karşılık gelen (11 kN) S1 düşey şekil değişirme değeri 50-60 arasında olmaktadır. Max yüke karşılık gelen (11 kN) S2 yatay şekil değişirme değeri 30-40 arasındadır.

5.2.4. U8 kesme deneyi (PP+ karbon fiber çubuk içeren u profil)

Kesme deneyinde U8(PP+ karbon fiber çubuk içeren profil) profilinde LVDT'ler profilin $X=50$ $X=100$ ve profilin köşe noktasına yerleştirilmiştir. U8(PP+ karbon fiber çubuk içeren profil) Strain Gauge profilin orta noktasına ve uç noktasına yerleştirilmiştir.

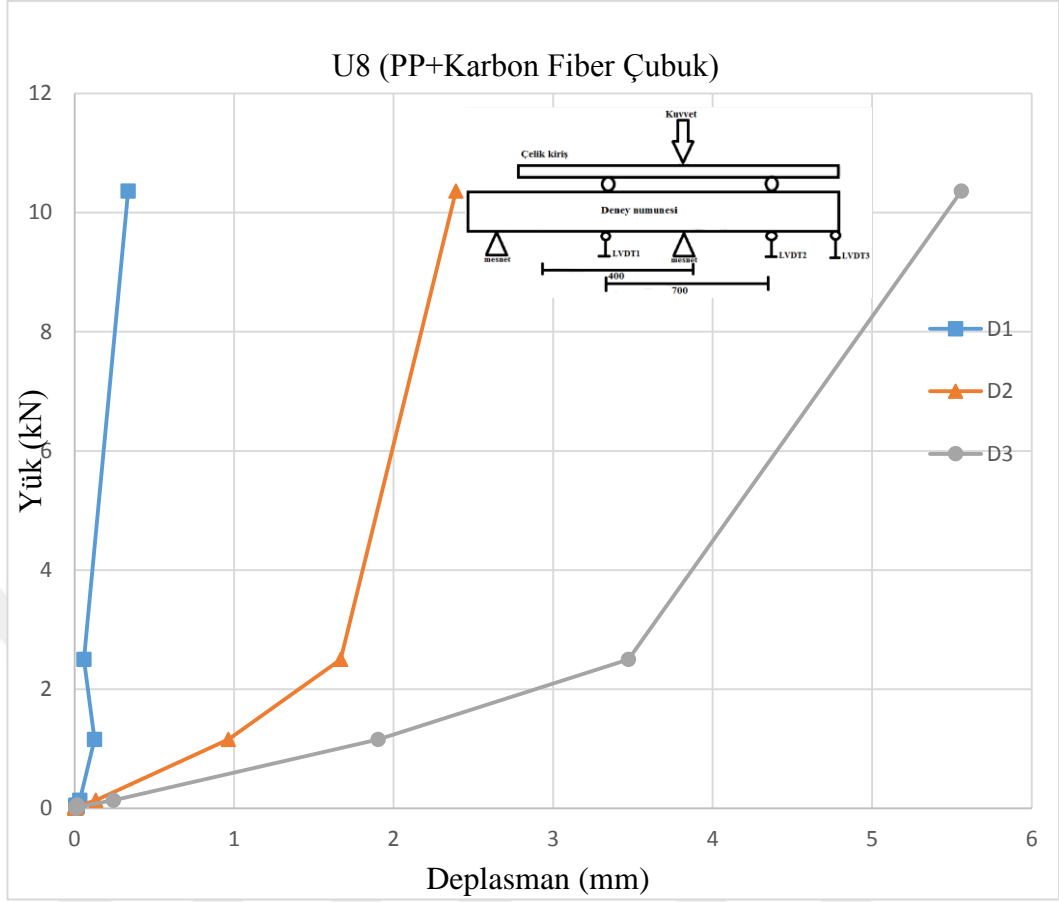


Şekil 5.29. U8 profili kesme deneyi



Şekil 5.30. U8 profili kesme deneyi sonrası

U8 (PP+ karbon fiber çubuk içeren profil) profilde kesme deneyi sonrası profilin orta bölgesinde deformasyonlar gözlemlendi.



Şekil 5.31. U8 profili yük-deplasman grafiği

0-2 kN yükleme aralığında D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi doğrusal bir şekilde artış ve azalış göstermektedir. 2-10 kN aralığında lineer bir şekilde artmıştır. 0-2 kN ve 2-10 kN aralığında D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi lineer bir artış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 0-2 kN ve 2-10kN yükleme aralığında lineer bir şekilde artış göstermiştir.

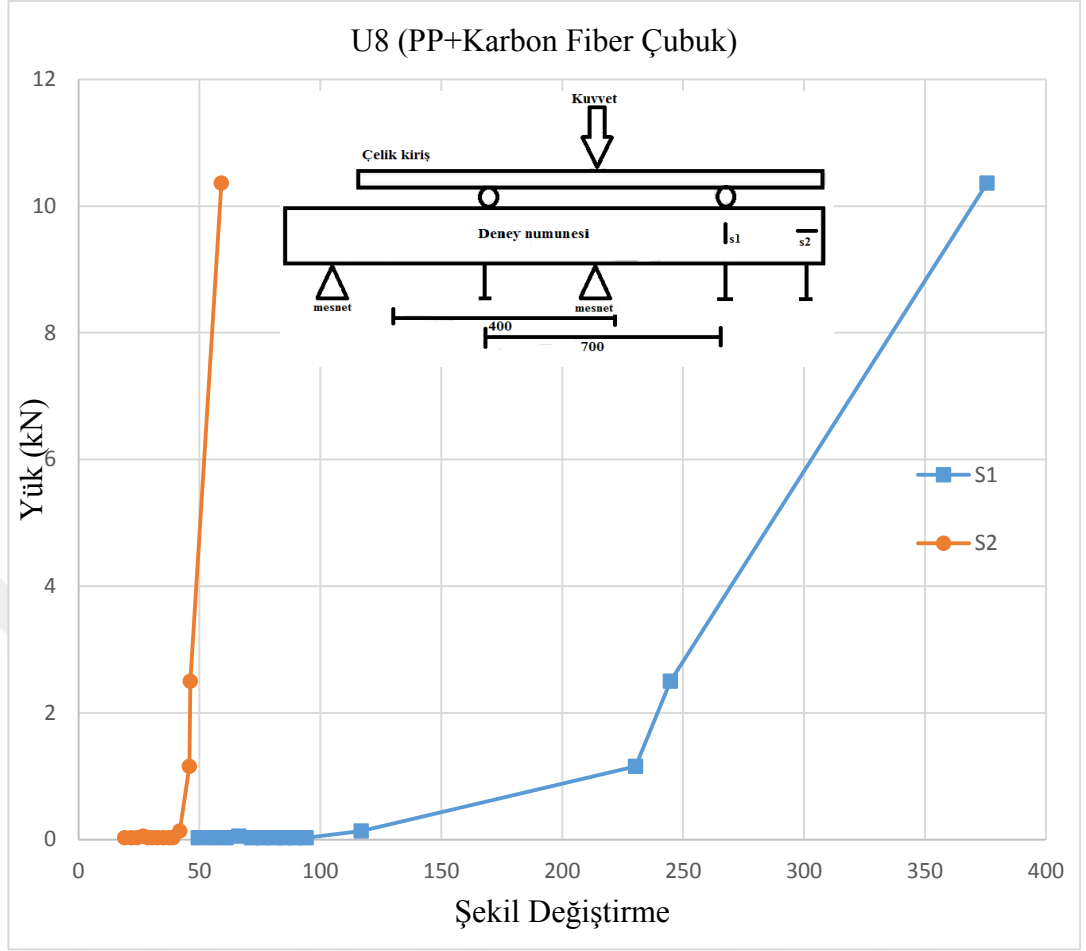
Max yük değerine (10 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=0-1 mm aralığında, D2=2-3 mm aralığında, D3=5-6 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D3 (X=100 cm'deki LVDT3) de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin köşe noktasında (X=100) gerçekleşmiştir.

PP +karbon içeren profilin yük - deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.31'e göre hesaplanan alan değerleri LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 32 kNmm, 61 kNmm ve 150 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi LVDT yerleşim bölgelerine göre (X=50, X=75 ve X=100) sırasıyla 32 kNmm, 61 kNmm ve 150 kNmm değerlerindedir.

PP + karbon içeren profilde maksimum yüke (10kN) karşılık gelen deplasman değeri 5,5 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.31'e göre yük - deplasman grafiğinde max yükün %15 dayanım kaybettiği nokta göçme yükü olarak belirlenmiştir. 10 kN yüklemde göçme yükü 8,5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.32. U8 profili yük-şekil değişirme grafiği

11 kN yüklemeye kadar S1 düşey şekil değişirme doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte şekil değişirme artmıştır. 11 kN yüklemeye kadar S2 yatay şekil değişirme doğrusal olarak çok az bir miktarda artış göstermektedir. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değişirme aynı yük değerindeki şekil değiştirmeler birbirinden farklıdır. Max yüke karşılık gelen (11 kN) S1 düşey şekil değişirme değeri 350-400 arasındadır. Max yüke karşılık gelen (11kN) S2 yatay şekil değişirme değeri 50-100 arasındadır. Aynı yük değerinde düşey şekil değişirme (S1) yatay şekil değişirme (S2) karşılaştırıldığında düşey şekil değişirme (S1) kapasitesi daha büyüktür.

5.3. Burulma Deneyi

5.3.1. U9 (boş u profil) burulma deneyi

Burulma deneyinde deney düzeneği sistemi düzenlenerek profil yerleştirildi ve burulma davranışı gözlemlendi. LVDT'ler $L=50$ cm $L=75$ cm ve $L=100$ cm olacak üç bölgeye yerleştirilmiştir. Strain Gauge orta bölgeye iki adet yerleştirilmiştir.

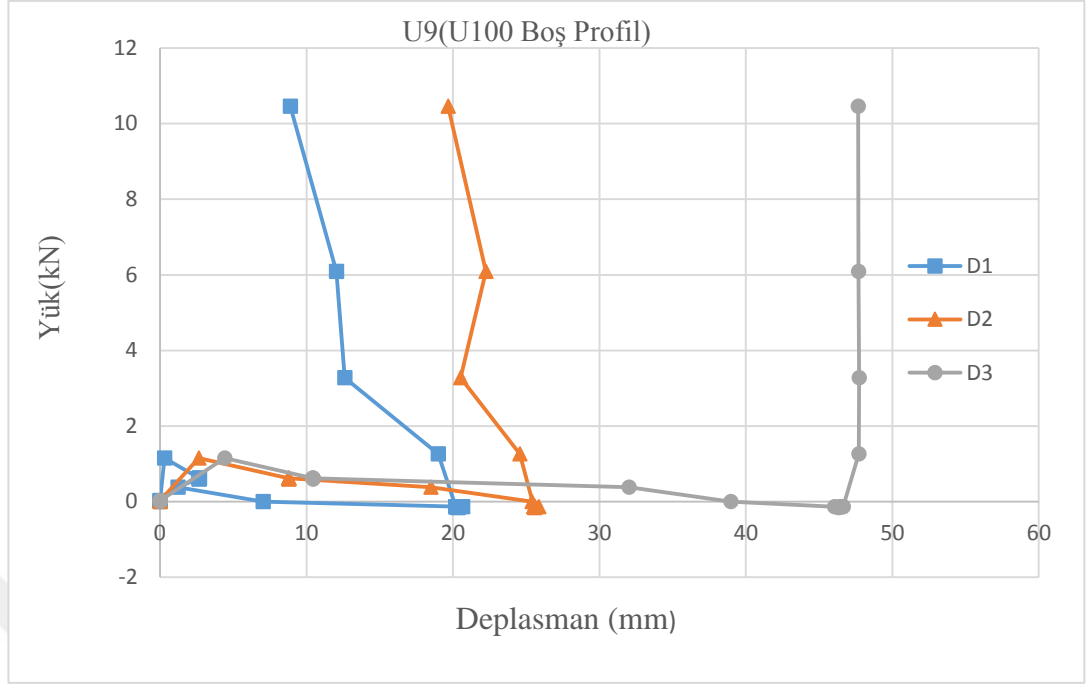


Şekil 5.33. U9 profili burulma deneyi

U9(boş profil) profilde burulma deneyi sonrası profilin uç kısımlarında deformasyonlar gözlemlendi.



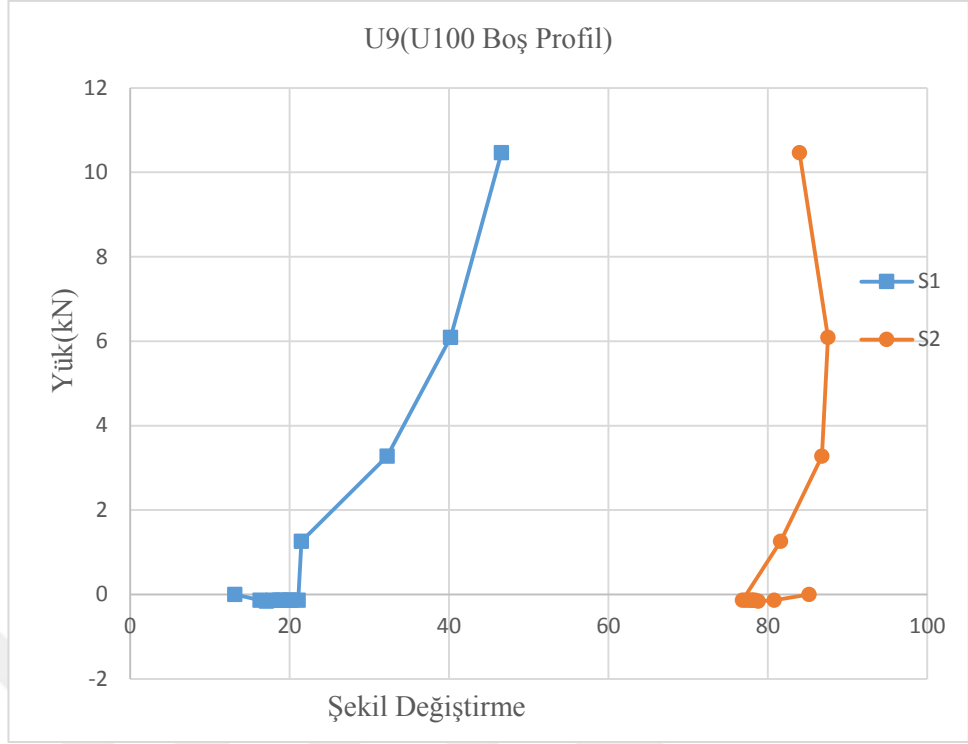
Şekil 5.34. U9 profili burulma deneyi sonrası



Şekil 5.35. U9 profili yük-deplasman grafiği

0-10 kN yükleme aralığında D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi lineer bir şekilde azalış göstermektedir. 0-10 kN aralığında D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi lineer bir artış ve azalış göstermiştir. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 0-2 kN yükleme aralığında artmıştır. 1-10 kN yükleme aralığında lineer bir şekilde yük artışı olurken yer değiştirme sabit kalmıştır.

Max yük değerine (10 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=0-10 mm aralığında, D2=10-20 mm aralığında, D3=40-50 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D3 (X=100 cm'deki LVDT3) de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin köşe noktasında (X=100) gerçekleşmiştir.



Şekil 5.36. U9 profili yük-şekil değiştirme grafiği

0-1 kN yükleme aralığında S1 düşey şekil değiştirme lineer bir şekilde artmıştır. 1-10 kN yükleme aralığında lineer bir şekilde artış göstermiştir. Artan yük değeri ile birlikte şekil değiştirme artmıştır. S2 yatay şekil değiştirme 0-10 kN aralığında önce artış sonra azalış göstermektedir. Düşey (S1) ve yatay (S2) şekil değiştirme aynı yük değerindeki şekil değiştirmeler birbirinden farklıdır. Max yüke karşılık gelen (10 kN) S1 düşey şekil değiştirme değeri 40-60 arasındadır. Max yüke karşılık gelen (10 kN) S2 yatay şekil değiştirme değeri 80-100 arasındadır. Aynı yük değerinde düşey şekil değiştirme (S1) yatay şekil değiştirme (S2) karşılaştırıldığında yatay şekil değiştirme (S2) kapasitesi daha büyüktür.

U9 boş U profilinin dönme açısı aşağıdaki formüllerden faydalanılarak hesaplanmıştır.

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

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

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

θ =Burulma Açısı

$L=LVDT_2-LVDT_3$

$E=2,1*10^8$ kN/m²

$U_x=206*10^{-4}$ m⁴

U9 boş U profili için burulma açısı 0,7423° olarak hesaplanmıştır.

5.3.2. U10 (PP içeren u profil) burulma deneyi

Burulmaya tabi tutulan U10 (PP içeren u profil) profilinde LVDT'ler L=50 cm L=75 cm ve L=100 cm olacak üç bölgeye yerleştirildi ve yer değişimi gözlemlendi. U10 (PP içeren u profil) profilinde Strain Gauge orta bölgeye iki adet yerleştirilmiştir.

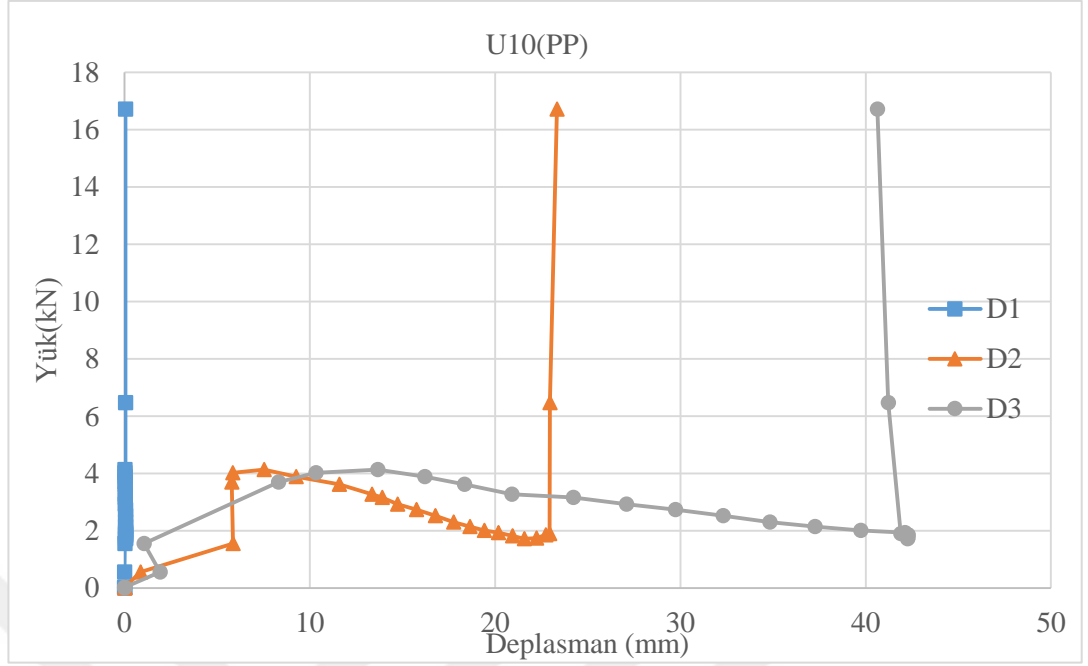


Şekil 5.37. U10 profili burulma deneyi

U10(PP içeren profil) profilde burulma deneyi sonrası profilin uç bölgelerinde deformasyonlar gözlemlendi.



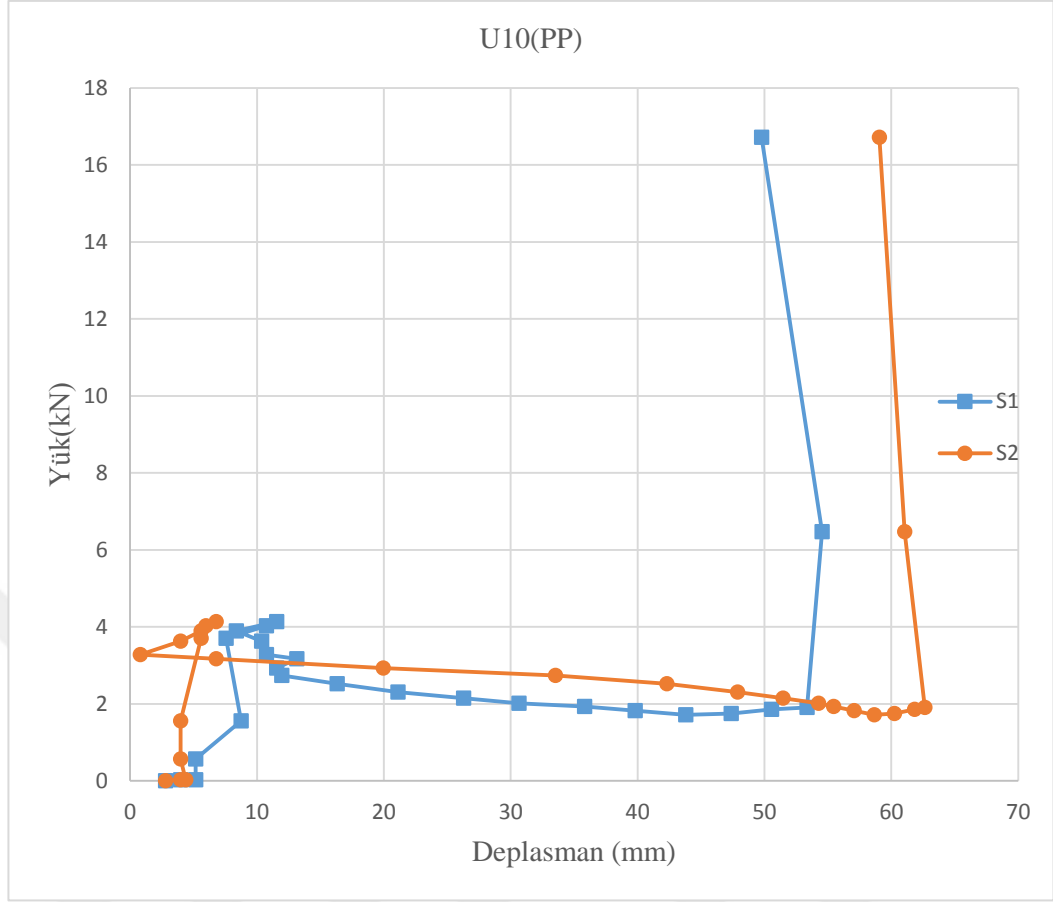
Şekil 5.38. U10 profili burulma deneyi sonrası



Şekil 5.39. U10 profili yük-deplasman grafiği

0-16 kN yükleme aralığında D1 (X=50cm'deki LVDT1) yer değiştirmesi lineer bir şekilde yük artışına rağmen sabit sıfırdır. 0-2 kN aralığında D2 (X=75 cm'deki LVDT2) yer değiştirmesi lineer bir artış göstermiştir. 2-4 kN yer değiştirme yük artışına rağmen sabit kalmıştır. 2-4 kN aralığında parabolik bir şekilde yer değişimi artmıştır. D3 (X=100 cm'deki LVDT3) yer değiştirmesi 0-2 kN yükleme aralığında lineer bir şekilde artış ve azalış göstermektedir. 2-4 kN yükleme aralığında parabolik bir şekilde artmıştır. 2-16 kN yük değerinde yer değiştirme sabit kalmıştır.

Max yük değerine (16 kN) karşılık gelen deplasman değerleri D1=0 mm aralığında, D2=20-30 mm aralığında, D3=40-50 mm aralığındadır. Aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme D3 (X=100 cm'deki LVDT3) 'de oluşmuştur. Yani aynı yük değerinde en fazla yer değiştirme profilin köşe noktasında (X=100) gerçekleşmiştir.



Şekil 5.40. U10 profili yük-şekil değiştirme grafiği

2-3 kN yüklemeye kadar S1 düşey şekil değiştirme doğrusal bir şekilde artmıştır. Artan yük ile birlikte şekil değiştirme artmıştır. 2-16 kN yük değerinde lineer bir azalış göstermektedir. 2-3 kN yüklemeye kadar S2 yatay şekil değiştirme doğrusal olarak artış göstermektedir. 2-16 kN yük değerinde lineer bir azalış göstermektedir.

Düşey(S1) ve yatay (S2) şekil değiştirme aynı yük değerindeki şekil değiştirmeler birbirinden farklıdır. Max yüke karşılık gelen (16 kN) S1 düşey şekil değiştirme değeri 50-60 arasındadır. Max yüke karşılık gelen (16 kN) S2 yatay şekil değiştirme değeri 50-60 arasındadır. Aynı yük değerinde düşey şekil değiştirme (S1) yatay şekil değiştirme (S2) karşılaştırıldığında yatay şekil değiştirme (S2) kapasitesi daha büyüktür.

U10 PP içeren U profilinin dönme açısı aşağıdaki formüllerden faydalanılarak hesaplanmıştır.

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

P=Kuvvet L=Uzunluk (LVDT₂-LVDT₃)

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

θ =Burulma Açısı

$$L=LVDT_2-LVDT_3$$

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

$$U_X=206*10^{-4} \text{ m}^4$$

U10 PP içeren U profili için burulma açısı 0,725° olarak hesaplanmıştır.

6.SONUÇLAR

Dört noktalı eğilme deneyinde 4 profilin (U1-U2-U3-U4) yük-deplasman ve yük-şekil değiştirme grafikleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-Dört noktalı eğilme deneyinde en büyük yer değiştirme U1(Boş U profil), U3(PP + cam fiber çubuk),U4(PP + karbon fiber çubuk) profillerde orta noktada ($X=75$ cm) olurken, U2(PP) profilde en büyük yer değiştirme köşe noktalarında ($X=100$ cm)gerçekleşmiştir.

2-Dört noktalı eğilme deneyinde en büyük şekil değiştirme kapasitesi U1(Boş U profil), U2(PP), U3(PP + cam fiber), U4(PP + karbon fiber çubuk) profillerde S1 düşey şekil değişmede meydana gelmiştir.

3- Dört noktalı eğilme deneyinde referans alınan boş U profil ile PP içeren U profil enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında boş U profilin enerji yutma kapasitesi 361 kNmm iken PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 394 kNmm olarak hesaplanmıştır. Boş U profil ile PP içeren dolu profil enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesinde %9.14 artış gözlemlenmiştir.

4- Dört noktalı eğilme deneyinde boş U profil ile PP içeren U profil max yüke karşılık gelen deplasman değerleri karşılaştırıldığında PP içeren U profillerin yük taşıma kapasitesini %50 arttırdığı, max yüke karşılık gelen deplasman değerlerinde ise %14 azalttığı tespit edilmiştir. Yük taşıma kapasitesi artarken deplasman değerinde azalma ile profil gevrek davranış göstermiştir. Profile eklenen PP profilin davranışını olumlu yönde etkilemiştir ve yük taşıma kapasitesini %50 oranda iyileştirmiştir.

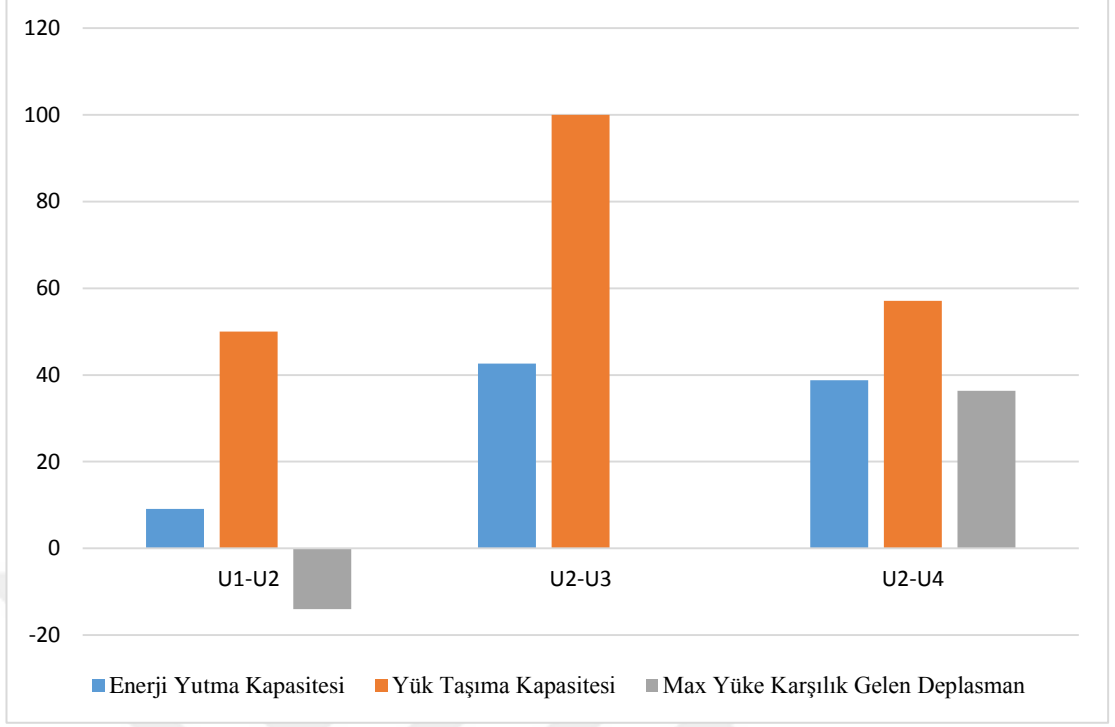
5-Dört noktalı eğilme deneyinde PP içeren U profil ile PP + cam fiber çubuk içeren U profil enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında PP içeren profilin enerji yutma kapasitesi 394 kNmm iken PP + cam fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 562 kNmm olarak hesaplanmıştır. PP içeren profil ile PP + cam fiber çubuk içeren profil enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında PP +cam fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesinde %42,63 artış gözlemlenmiştir.

6-Dört noktalı eğilme deneyinde PP içeren profil ile PP + cam fiber çubuk içeren U profil max yüke karşılık gelen deplasman değerleri karşılaştırıldığında PP+ cam fiber çubuk içeren U profillerin yük taşıma kapasitesini %100 arttırdığı, deplasman değerlerinin ise sabit kaldığı tespit edilmiştir. PP içeren profile cam fiber çubuğun eklenmesiyle yük taşıma kapasitesini %100 oranda iyileştirmiştir.

7- Dört noktalı eğilme deneyinde PP içeren U profil ile PP + karbon fiber çubuk içeren U profil enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında PP içeren profilin enerji yutma kapasitesi 394 kNmm iken PP + karbon fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 547 kNmm olarak hesaplanmıştır. PP içeren profil ile PP + karbon fiber çubuk içeren profil enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında PP +karbon fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesinde %38,83 artış gözlemlenmiştir.

8-Dört noktalı eğilme deneyinde PP içeren profil ile PP + karbon fiber çubuk içeren U profil max yüke karşılık gelen deplasman değerleri karşılaştırıldığında PP+ karbon fiber çubuk içeren U profillerin yük taşıma kapasitesini %57,14 arttırdığı, deplasman değerlerinin ise %36,36 azalttığı tespit edilmiştir. Yük taşıma kapasitesi artarken deplasman değerinde meydana gelen azalma profili gevrekletmiştir. PP içeren profile karbon fiber katılması U profillerin yük taşıma kapasitesini %36,36 arttırmıştır.

9- Dört noktalı eğilme deneyinde PP içeren profile cam fiber eklenmesiyle profilin yük taşıma kapasitesi %100 artarken, PP içeren profile karbon fiber çubuk eklenmesi profilin yük taşıma kapasitesi %57,14 artmıştır.



Şekil 5.41. U1- U2- U3- U4 profillerin karşılaştırılması

Kesme deneyinde 4 profilin (U5-U6-U7-U8) yük-deplasman ve yük-şekil değiştirme grafikleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-Kesme deneyinde en büyük yer değiştirme U5(Boş U profil),U6 (PP), U8(PP + karbon fiber çubuk) profillerde köşe noktada (X=100 cm)de gerçekleşirken, U7 profilde (PP + cam fiber çubuk) X=50 cm ve X=100 cm de yani orta ve köşe noktada gerçekleşmiştir.

2- Kesme deneyinde en büyük şekil değiştirme kapasitesi U5(Boş U profil), U6 (PP), U8(PP + karbon fiber çubuk) profillerde S1 düşey şekil değiştirmede olmaktadır. U7(PP + cam fiber çubuk) profilde en büyük şekil değiştirme kapasitesi S2 yatay şekil değiştirmede oluşmaktadır.

3-Kesme deneyinde referans alınan boş U profil ile PP içeren U profil enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında boş U profilin enerji yutma kapasitesi 394 kNmm iken PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 2146 kNmm olarak hesaplanmıştır. Boş U profil ile PP içeren dolu profil enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesinde %82,05 artış gözlemlenmiştir.

4- Kesme deneyinde boş U profil ile PP içeren profil karşılaştırıldığında max yüke karşılık gelen deplasman değerleri karşılaştırıldığında PP içeren U profillerin yük taşıma kapasitesini %30 arttırdığı, max yüke karşılık gelen deplasman değerlerinde ise %5 artış olduğu tespit edilmiştir. Yük taşıma kapasitesi artarken deplasman değerinde de artma ile profil sünek davranış göstermiştir. Profile eklenen PP ile profilin davranışını olumlu yönde etkilemiştir ve yük taşıma kapasitesini %30 oranda iyileştirmiştir.

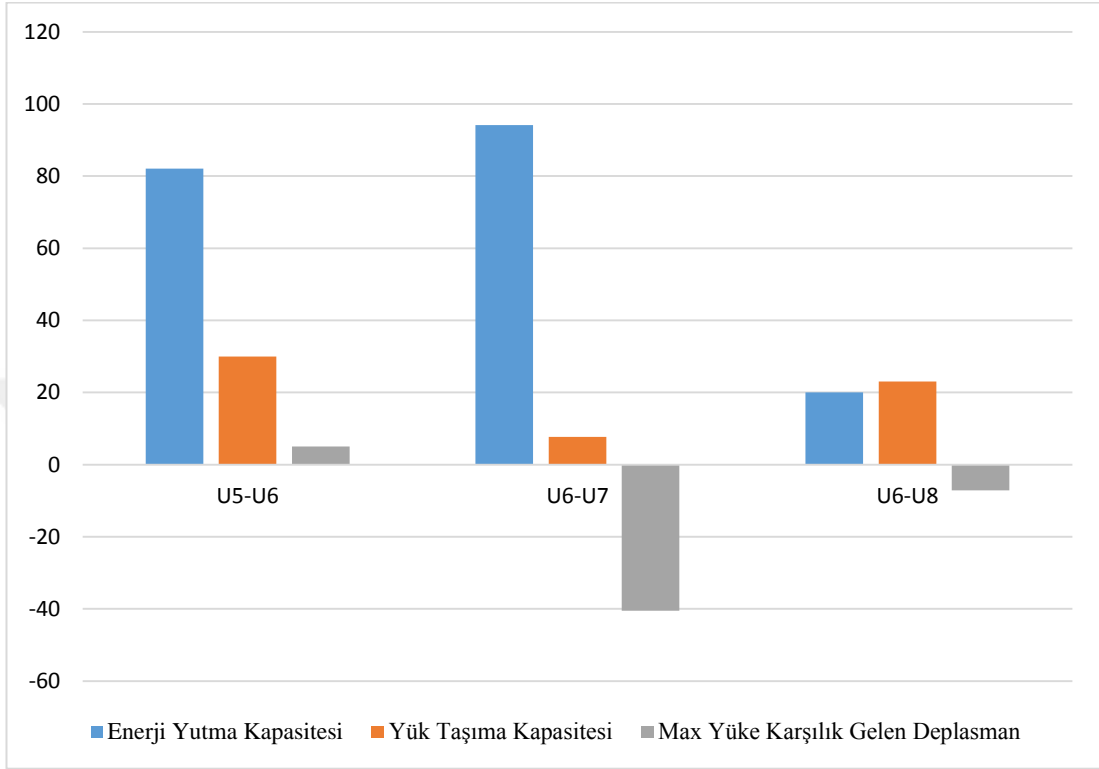
5- Kesme deneyinde PP içeren U profil ile PP + cam fiber çubuk içeren U profil enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 2146 kNmm iken PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 125 kNmm olarak hesaplanmıştır. PP içeren profil ile PP + cam fiber çubuk içeren dolu profil enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesinde %94,17 azalış gözlemlenmiştir.

6- Kesme deneyinde PP içeren U profil ile PP+ cam fiber çubuk içeren profil karşılaştırıldığında max yüke karşılık gelen deplasman değerleri karşılaştırıldığında PP +cam fiber çubuk içeren U profillerin yük taşıma kapasitesini %7,69 azalttığı, max yüke karşılık gelen deplasman değerlerinde ise %40,47 azalış olduğu tespit edilmiştir. Yük taşıma kapasitesi azalırken deplasman değerinde de azalma ile profil sünek davranış göstermiştir. Profile eklenen PP + cam fiber çubuk içeren profilin davranışını olumsuz yönde etkilemiştir ve yük taşıma kapasitesinde %7,69 azalış olduğu tespit edilmiştir.

7- Kesme deneyinde PP içeren U profil ile PP + karbon fiber çubuk içeren U profil enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında PP içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 2146 kNmm iken PP+ karbon fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesi 150 kNmm olarak hesaplanmıştır. PP içeren profil ile PP + karbon fiber çubuk içeren dolu profil enerji yutma kapasitesi karşılaştırıldığında PP + karbon fiber çubuk içeren U profilin enerji yutma kapasitesinde %20 artış gözlemlenmiştir.

8- Kesme deneyinde PP içeren U profil ile PP+ karbon fiber çubuk içeren profil karşılaştırıldığında max yüke karşılık gelen deplasman değerleri karşılaştırıldığında PP +karbon fiber çubuk içeren U profillerin yük taşıma kapasitesini %23,07 azalttığı, max yüke karşılık gelen deplasman değerlerinde ise %7,14 artış olduğu tespit edilmiştir. Yük

taşıma kapasitesi azalırken deplasman değerinde artma ile profil gevrek davranış göstermiştir. Profile eklenen PP + karbon fiber çubuk içeren profilin davranışını olumsuz yönde etkilemiştir ve yük taşıma kapasitesinde %23,07 azalış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.42. U5-U6-U7-U8 profillerin karşılaştırılması

Burulma deneyinde 2 profilin (U9-U10) yük-deplasman ve yük-şekil değiştirme grafikleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ve aynı zamanda her 2 profil için burulma açısı hesaplanmıştır.

1-Burulma deneyinde en büyük yer değiştirme U9(Boş U profil) ve U10(PP) profillerde köşe noktada X=100 cm de gerçekleşmiştir.

2- Burulma deneyinde en büyük şekil değiştirme kapasitesi U9(Boş U profil) ve U10(PP) profillerde S2 dikey şekil değiştirmede daha büyüktür. Düşeydeki şekil değiştirme yatay şekil değiştirmeye göre daha büyük olmaktadır.

3- U9 boş U profili için burulma açısı $0,7423^\circ$ olarak hesaplanmıştır. U10 PP içeren U profili için burulma açısı $0,725^\circ$ olarak hesaplanmıştır.

Dört noktalı eğilme deneyi, kesme deneyi, burulma deneyi yük-deplasman ve yük-şekil değiştirme grafikleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Dört noktalı eğilme deneyi, kesme deneyi ve burulma deneyi yük-deplasman grafikleri karşılaştırıldığında en büyük yer değiştirme kesme ve burulma deneyinde köşe noktada $X=100$ cm de gerçekleşirken dört noktalı eğilme deneyinde orta noktada $X=75$ cm de gerçekleşmiştir.

2-Dört noktalı eğilme deneyi, kesme deneyi ve burulma deneyi yük-şekil değiştirme grafikleri karşılaştırıldığında en büyük şekil değiştirme kapasitesi dört noktalı eğilme deneyi ve kesme deneyinde S1 düşey şekil değiştirmede, burulma deneyinde ise S2 yatay şekil değiştirmede meydana gelmiştir.

Sonuç olarak; gün geçtikçe daha çok yaygınlaşan hafif çelik kompozitler artan kullanım alanlarıyla inşaat sektöründe yer almaya başlamıştır. Yapılan tez çalışmasında yenilikçi bir yaklaşım olarak atık polimerler ile içi boşluklu hafif çelik U profillerin birlikte değerlendirilmesi ile yenilikçi bir yaklaşım sergilenmiştir. Fakat atık polimerler ile içi boşluklu U profillerin birlikte değerlendirilmesi yaklaşımı sürecinin tamamlanması için benzer profillerin daha ayrıntılı yaklaşımlarla değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Rahman,N. and Sivakumaran,K.,S.(1997)“Material Properties Models For Analysis is of Cold-Formed Steel Members”, *Journal of the Structural Engineering*,123
- Akçaözoğlu, S.(2008)” Atık PET Şişe Kırıklarının Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana,5-15.
- 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,(12).
- Aydoğmuş, C.(2013) “SIMULATION OF CHANNEL CONNECTOR BEHAVIOR USING FINITE ELEMENTS METHODS” ,Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,17-20.
- Azizian, H.(2015)“Constructional System of Cold Formed Light Steel Framing”, Faculty of Science, *Science Journal (CSJ)*, Cumhuriyet University, Sivas,2135- 2142 2142
- Bahadır, Ş.,S. Büyük Açıklıklı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1997
- Bahar, Ş., S. (1997) ‘ Büyük Açıklıklı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler’’, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,(30,62).
- Balcı, E. (2003) ‘ Betonarme ve Çelik Hafif Taşıyıcı Yapı Sistemlerinin Kaba Yapı Aşamasında Maliyetlerinin İrdelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (30-62).
- Baran, E. and Topkaya,C. (2012)”An experimental study on channel type shear connector ,“*Journal Construction Steel Research* ,74:108–17.
- Baran, E. and Topkaya, C. (2014) Behavior of steel-concrete partially composite beams with channel type connectors. ,“*Journal Construction Steel Research*; 97:69 78.
- Aydın, A., C. and Bayrak, B. The torsional behavior of reinforced self-compacting concrete beams, *Advances in Concrete Construction*, November, 2019, Vol.8 Iss.3, 187-198.
- Aydın, F. and Sarıbiyık, M.(2013)” Investigation of flexural behaviors of hybrid beams formed with GFRP box section and concrete”, *Construction and Building Materials*,563-565.

- Bayrak, B. (2015)'' Betonarme Kirişlerin Burulma Davranışı'' ,Yüksek Lisans Tez, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, (129-140)
- Beale, R., G. Godley M.H.R. and Enjily V.(2001)'' A theoretical and experimental investigation into cold-formed channel sections in bending with the unstiffened flanges in compression'', *Computers & Structures*,2403-2404.
- Çarbaş, S.(2015)''Soğukta Şekil Verilerek Üretilen İnce Cidarlı Elemanlardan Oluşturulan Düzlem Portal Çelik Çerçevelerin Ayırık Tasarım Optimizasyonu'',*6. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Karaman,419-420.
- Çiçek , A (2018) ''Pet Atık Polimerlerin Geri Kazanımı, Polyester Elyaf ÜretimSafhaları, Kimyasalları Ve Zincir Uzaticılar'',Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep,(1-18).
- Çınar, M.,E. (2016)''Atık Pet ve Mermer Tozunun Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi'', Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ,5-39.
- Dan, D., Fabian, A. and Stoian, V. (2011)'' Theoretical and experimental study on composite steel–concrete shear walls with vertical steel encased profiles'',*Journal of Constructional Steel Research-elsevier*, 800-802.
- Dieter, G.,E.(1988) Mechanical Metallurgy, *SI Metric Edition*, Adapted by Bacan,D.,Mc Graw - Hill Book company,London,751.
- Galambos, T., V. *Structural Members and Frames*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs,NJ, 1968
- Gherzi, A., Landolfo, R. and Mazzolani, F.M. (2005)'' *Design of Metallic Cold-Formed Thin-Walled Members*'', Spon Press.
- Gurel, 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.
- Güneş, S.,A. (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, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,1-26.
- Hancock, G.,J. (1997)'' Light gauge construction.'' *Progress in Structural Engineering and Materials* ,25–30.
- Hancock, G.J., Murray, T.,M. and Ellifritt, D.,D. (2001),'' *Cold-Formed Steel Structures to the AISI Specification*'', Marcel Dekker

- İpekçi, C.,A. Coşkun,N. ve Karadayı, T.(2017)“İnşaat sektöründe geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi”, *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, Kocaeli,46-49.
- İpekçi, C.,A. Coşkun, N. ve Esin, T. (2015) “İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi”,*2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Kocaeli, 679-684.
- Laim, L., Paulo, J. and Silva, L.(2013)“Flexural Behavior of Cold-Formed Steel Beams”, *International Conference on Design Fabrication and Economy of Metal Structures*,1-4.
- Liu, J., Zhao, Y. Chen Y,F. Xu and S. Yang, Y.(2018) “Flexural behavior of rebar truss stiffened cold-formed U-shaped steel-concrete composite beams”, Science Direct, *Latin America Journal of Solids and Structures*, China, 176-180.
- Maali, M., Kılıç, M. Yaman, Z. Ağrakoca, E. and Aydın, A.,C.“Buckling and post-buckling behavior of various dented cylindrical shells experimental data”, *Thin-Walled Structures*, 2019. 137: p. 29-39.
- 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., Kılıç, M. and Aydın, A.,C. (2016). "Experimental model of the behaviour of bolted angles connections with stiffeners." *International Journal of Steel Structures* 16(3): 719-733.
- Maali, M., Kılıç. M. Sağıroğlu, M. and Aydın, A.,C. (2017). "Experimental model for predicting the semi-rigid connections' behaviour with angles and stiffeners." *Advances in Structural Engineering* 20(6): 884-895.
- Maali, M., Sagiroglu, 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.
- Memiş, S. and Örüng, İ.(2012) ‘Öğütülmüş Atık Plastik (PET) Katkılı Sıvaların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği’, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29 (2), (19-27).
- MohammadiAhmadabad, Y.(2014) “ Öğütülmüş Atık Petlerle Üretilen Betonun Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma” ,Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 28-31.

- Öztürk, A.(2017)” U Profil Kayma Bağlantısı Elemanları İçeren Çelik-Beton Kısmi Kompozit Kirişlerin Doğrusal Olmayan Fiber Metoduyla Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,13-18.
- Schafer, B.,W. (2011)” Cold-formed steel structures around the World”, *Steel Construction*, 1-9.
- Sura, M. and Sivri, M.(2017)”Eğilme Etkisi Altındaki Çelik I Kirişlerinde Gövde ve Berkitme Kalınlığının Davranışa Etkisi” ,*Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*,38-44
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası.(2018)**“2018 DÜNYA ÇEVRE GÜNÜ TÜRKİYE RAPORU”**,http://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/706bcdeaf887efa_ek.pdf?tipi=72&туру=X&sube=0
Son erişim tarihi:25.12.19
- Tama, Y.,S.(2002)”Soğuk Şekillendirilmiş Açık Kesitli Çelik Kirişlerin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 26-32.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.(2014)**“Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi Ve İşletme Kılavuzu”**,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editorosya/Duzenli_Depolama_Tesis_Saha_Yon_ve_isletme_kilavuzu.pdf
- Tunca, O. Erdal, F. and Carbas, S.(2017)”Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Profillerin Yapısal Özellikleri“, *Uluslararası 7.Çelik Yapılar Sempozyumu*, Gaziantep, 235-237.
- Ulu, C. (2016)” Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufu ve Metakaolinli Harçlarda Atık Pet Agrega Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde,17-20.
- Yaman, Z. and Aktaş, M.(January 2011)” Investigation of mesh size effect in finite element analysis of minor axis bending U-section beams”,*e - Journal of New World Sciences Academy*, 1308-7231,226-229.
- Yaman, Z.(2009)”Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Analizinde Çelik Eğilme Elemanlarının Analizinde Çelik Eğilme Elemanlarının Geometrik Kusurlarının Tanımlanması”, *Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu*, Sakarya,566-574.
- Yavuz, G.(2011)” Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı”, *e-Journal of New World Sciences Academy*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 1306-3111, 1001-1003.

Yu, W-W. and LaBoube, R.,A. (2010)” *Cold-Formed Steel Design, 4th Edition*”, John Wiley.

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.

Zhou, X., Zhao, Yi. Liu, J. Chen, Y. and Yang, Y.(2019) “Bending experiment on a novel configuration of cold-formed U-shaped steel-concrete composite beams”, Elsevier, *School of Science Engineering& Technology*, Harrisburg, 125-128.



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 Of ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Of'ta tamamladı. Lise öğrenimini Of Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında başladığı Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı ve ortak lisansüstü program çerçevesinde Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği bölümünde öğrenimine devam etti. Yüksek lisans sürecinde tez konusuyla ilgili uluslararası 2 adet makalesi bulunmaktadır. Yüksek lisans tez çalışması Atatürk Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir. Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Koordinasyon Birimi Projeleri (BAP) tarafından desteklenen yüksek lisans projesinde araştırmacı olarak görev almıştır.