

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KOMPOZİT LEVHAYA NANO PARTİKÜL KATKISININ
MEKANİK VE BURKULMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ BALBAY

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2018

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK ANABİLİM DALI**



**KOMPOZİT LEVHAYA NANO PARTİKÜL KATKISININ
MEKANİK VE BURKULMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ BALBAY

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

ALİ BALBAY tarafından hazırlanan “Kompozit Levhaya Nano Partikül Katkısının Mekanik ve Burkulma Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.08.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Yasin YILMAZ



Üye
Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ



Üye
Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
12/09/2018 tarih ve ...37/22... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



ALİ BALBAY

ÖZET

KOMPOZİT LEVHAYA NANO PARTİKÜL KATKISININ MEKANİK VE BURKULMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK

ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ BALBAY

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR.YASİN YILMAZ)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2018

Bu tez çalışmasında katkısız, % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında karbon nanotüp (CNT) katkılı ve % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında atık lastiğin kimyasal bozundurmasıyla elde edilmiş olan karbon esaslı katkı maddesi(KEKM) eklenerek güçlendirilmiş cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve burkulma davranışları araştırılmıştır. Çalışma kompozit malzemelerin üretilmesi ve üretilen malzemelerin mekanik, morfolojik ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi olmak üzere iki aşamadan oluşmuştur. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için çekme ve burkulma deneyleri gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Belirlenen en uygun katkı oranlı numunelere ve katkısız numuneye fonksiyonel yapısını belirlemek için FT-IR ve morfolojik yapısını belirlemek için SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri sonucunda çekme yükü, çekme gerilmesi ve elastisite modülü verileri incelendiğinde kompozit numune için %0,5 KNT oranının en uygun olduğu görülmüştür. Ancak KEKM'nin kullanıldığı kompozit numunelerde ise analiz değerlerinin katkısız numuneye göre arttığı belirlenmiştir, fakat belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir.

Burkulma deneyleri sonunda kritik burkulma kuvveti ve kritik burkulma gerilmesi sonuçları incelendiğinde kompozit numune için % 0,3 KNT oranının en uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak KEKM içeren kompozit malzemelerin analiz sonuçlarının düzensiz olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak, her iki katkı maddesinin kompozit malzemenin mukavemetini artırdığı belirlenmiştir. Atık lastiğin kimyasal bozundurmasıyla elde edilmiş olan KEKM'in kompozit malzeme hazırlanma aşamasında epoksi içersinde topaklanarak homojen dağılmamasından dolayı epoksi ile bağ kuramamaktadır ve bu sonuç FT-IR analizleri ile desteklenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Kompozit malzeme, Karbon nanotüp, Atık lastik çarı, Mekanik özellikler, Karakterizasyon

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF COMPOSITE PLASTIC NANO PARTICLEINE COMPOSITION ON MECHANICAL AND VARIOUS CHARACTERISTICS

MSC THESIS

ALİ BALBAY

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:DOÇ. DR.YASİN YILMAZ

DENİZLİ, AUGUST 2018

In this thesis the mechanical properties and buckling behavior of glass fiber reinforced composite materials was studied as add different ratios (0.1;0.2;0.3;0.5;1;2) of carbon based additive (CBA) obtained from chemical degradation of waste tyre and different ratios (0.1;0.2;0.3;0.5;1;2) carbon nanotube (CNT), additive-free. The study consisted of two stage; 1) production of composite materials and 2) determination of mechanical, morphological and functional properties of produced materials. Tension and buckling tests were carried out to determine the mechanical properties and the obtained results were compared. SEM and FT-IR analyses were characterized to determined morphological and functional of additive-free sample and the most appropriate additive ratio samples. It was determined to be the most appropriate ratio of 0.5 % CNT for composite sample when analyzed tensile load, tensile stress and elastic modulus datas according to tension test. However, it was determined increase of results in composite samples used of CBA to compared with the additive-free sample, but no significant change was observed.

It was determined to be the most appropriate ratio of 0.3 % CNT for composite sample when analyzed critical buckling force and critical buckling stress according to buckling tests. Yet, it was observed be irregular of results of composite materials containing CBA.

As a result, the both additives were found to increase the strength of the composite material. CBA obtained from chemical degradation of waste tyre couldn't chemical bond by epoxy because it is not homogenously dispersed within epoxy during the preparation of composite materials and this result was supported by FT-IR analyzes.

KEYWORDS: Composite material, Carbon nanotube, Waste tyre char, Mechanical properties, Characterization

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Araştırması	2
2. KOMPOZİT MALZEMELER	8
2.1 Kompozit Maddelerin Önemi ve Kullanım Alanları.....	8
2.2 Matris Malzemeler	9
2.2.1 Termoplastikler	10
2.2.2 Termosetler	10
2.3 Takviye Malzemeleri.....	11
2.3.1 Cam Elyaf	11
2.3.2 Karbon Elyaf.....	12
2.3.3 Aramid Elyaf.....	13
2.4 Katkı maddeleri	13
2.4.1 Karbon Nanotüp.....	14
2.4.2 Atık Lastikten Elde Edilmiş Karbon Esaslı Madde	14
2.5 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	15
2.5.1 Elle Yatırma Yöntemi	15
2.5.2 Püskürtme Yöntemi	16
2.5.3 Sürekli Kalıplama	17
Devamlı Levha Üretim Yöntemi.....	17
Profil Çekme Yöntemi	17
2.5.4 Elyaf Sarma Yöntemi.....	18
2.5.5 Santrifüj Kalıplama.....	19
2.5.6 Vakum yardımcı reçine transfer metodu (RTM).....	19
3. YÖNTEM.....	21
3.1 MATERYAL.....	21
3.1.1 Kullanılan Malzemeler	21
3.1.2 Kullanılan Alet ve Cihazlar	22
3.2 Katkılı Kompozit Malzemelerin Üretimi	23
3.2.1 Cam Elyaf kumaşların hazırlanması	24
3.2.2 Epoksinin Hazırlanması	24
3.2.3 Kompozit Tabakaların Hazırlanması	25
3.2.4 Hazırlanmış Kompozit Tabakaların Preslenmesi	25
3.2.5 Kompozit Plakaların Su jeti İle Kesilmesi.....	28
3.3 Mekanik Testler.....	29
3.3.1 Çekme Deneyi.....	29
3.3.2 Burkulma Deneyi.....	30
3.4 Karakterizasyon.....	31
3.4.1 Fonksiyonel grupların analizi (FT-IR).....	31

3.4.2	Mikroyapı ve morfoloji analizi (SEM)	32
4.	BULGULAR	34
4.1	Çekme Deney Verileri	34
4.1.1	1 Yönündeki Deney Verileri	35
4.1.1.1	Maksimum Yük Altında Kopma Yüğü Verileri.....	35
4.1.1.2	Maksimum Yük Altında Çekme Gerilmesi Verileri	35
4.1.1.3	Elastisite Modülü Verileri	36
4.1.2	1-2 (45 ⁰) Yönündeki Deney Verileri	36
4.1.2.1	Maksimum Yük Altında Kopma Yüğü Verileri.....	36
4.1.2.2	Maksimum Yük Altında Çekme Gerilmesi Verileri	37
4.1.2.3	Elastisite Modülü Verileri	37
4.2	1 Yönüne Ait Burkulma Deney Verileri	38
4.3	Fonksiyonel Grupların Analiz (FT-IR) Verileri	41
4.4	Mikroyapı ve Morfoloji Analizi (SEM) Verileri.....	43
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	45
5.1	Çekme Deney Sonuçları	45
5.1.1	1 Yönlü Çekme Deney Sonuçları	45
5.1.2	12 (45 ⁰) Yönlü Çekme Deney Sonuçları	46
5.2	Burkulma Deney Sonuçları	48
5.3	Fonksiyonel Grupları Analiz (FT-IR) Sonuçları	48
5.4	Öneriler.....	49
6.	KAYNAKLAR.....	50
7.	EKLER.....	56
8.	ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Elle Yatırma Yöntemi.....	16
Şekil 2.2: Püskürtme Yöntemi.....	16
Şekil 2.3: Profil Çekme.....	17
Şekil 2.4: Elyaf Sarma.....	18
Şekil 2.5: Santrüfüz Kalıplama.....	19
Şekil 2.6: Vakum torbalama prosesi.....	20
Şekil 3.1: Tek yönlü E-cam elyaf.....	22
Şekil 3.2: Deneysel akış diğramı.....	23
Şekil 3.3: Ultrasonik Karıştırıcı.....	24
Şekil 3.4: Epoksi emdirilmiş kumaşların sıcak preslemeye hazırlanması.....	25
Şekil 3.5: Kürlendirme işlemi(8 bar, 140 0C).....	26
Şekil 3.6: Kürlendirme sonrası kompozit plakalar.....	26
Şekil 3.7: Kompozit plakaların çapaklarının alınması.....	27
Şekil 3.8: Üretilen 30X30 cm kompozit plakalar.....	27
Şekil 3.9: Su jeti ile plakaların kesilmesi.....	28
Şekil 3.10: Deney numunesinin teknik resim çizimi.....	28
Şekil 3.11: Instron çekme-basma test cihazı.....	30
Şekil 3.12: Burkulma deneyi düzeneği.....	31
Şekil 3.13: Perkin Elmer spectrum 100 model fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR).....	32
Şekil 3.14: SEM-ZEISS Supra 40VP taramalı elektron mikroskobu(SEM).....	33
Şekil 4.1: 0,5 Karbon nanotüp katkılı numune Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.	34
Şekil 4.2: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında kopma yükü grafiği.....	35
Şekil 4.3: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında çekme gerilmesi grafiği.....	35
Şekil 4.4: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre elastisite modülü grafiği.....	36
Şekil 4.5: 1-2 (45 ⁰) Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında kopma yükü grafiği.....	36
Şekil 4.6: 1-2 (45 ⁰) Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında çekme gerilmesi grafiği.....	37
Şekil 4.7: 1-2 (45 ⁰) Yönünde katkı maddesi oranlarına göre elastisite modülü grafiği.....	37
Şekil 4.8: % 0,5 Karbon nanotüp katkılı numunenin burkulma kuvveti-deplasman grafiği.....	38
Şekil 4.9: % 0,5 Karbon nanotüp katkılı numunenin burkulma gerilmesi deplasman grafiği.....	39
Şekil 4.10: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre kritik burkulma kuvveti (P _{cr}) grafiği.....	39
Şekil 4.11: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre kritik burkulma gerilmesi grafiği.....	40
Şekil 4.12: Katkısız, % 0,3 Karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların fonksiyonel gruplarının analiz (FT-IR) grafiği.....	42
Şekil 4.13: Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp katkılı ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların 500 X SEM görüntüleri.....	43

Şekil 4.14: Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp katkı ve % 0,2 atık lastik çarı katkıli kompozit plakaların 2.00 K X SEM görüntüleri	44
Şekil 7.1 Katkısız numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	57
Şekil 1.2: % 0,1 karbon nanotüp katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	58
Şekil 1.3: % 0,2 karbon nanotüp katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	59
Şekil 1.4: % 0,3 karbon nanotüp katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	60
Şekil 1.5: % 0,5 karbon nanotüp katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	61
Şekil 1.6: % 1 karbon nanotüp katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	62
Şekil 1.7: % 2 karbon nanotüp katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	63
Şekil 1.8: % 0,1 atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	64
Şekil 1.9: % 0,2 atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	65
Şekil 1.10: % 0,3 atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	66
Şekil 1.11: % 0,5 atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	67
Şekil 1.12: % 1 atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	68
Şekil 1.13: % 2 atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	69
Şekil 7.14 Katkısız numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	70
Şekil 1.15: % 0,1 karbon nanotüp katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	71
Şekil 1.16: % 0,2 karbon nanotüp katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	72
Şekil 1.17: % 0,3 karbon nanotüp katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	73
Şekil 1.18: % 0,5 karbon nanotüp katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	74
Şekil 1.19: % 1 karbon nanotüp katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	75
Şekil 1.20: % 2 karbon nanotüp katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	76
Şekil 1.21: % 0,1 atık lastik katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	77
Şekil 1.22: % 0,2 atık lastik katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	78
Şekil 1.23: % 0,3 atık lastik katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	79
Şekil 1.24: % 0,5 atık lastik katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	80

Şekil 1.25:% 1 atık lastik katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	81
Şekil 1.26:% 2 atık lastik katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	82

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Cam elyaf ve epoksinin mekanik özellikleri.	21
Tablo 3.2: Karbon nanotüpün mekanik özellikleri	22

SEMBOL LİSTESİ

ρ	:	Yoğunluk
V_f	:	Fiber hacimsel oranı
E_1	:	Fiber yönündeki elastisite modülü
E_2	:	Fiber yönüne dik doğrultudaki elastisite modülü
E_{12}	:	Fiber yönüne 45^0 doğrultusundaki elastisite modülü
X_t	:	Fiber yönündeki kopma mukavemeti
Y_t	:	Fiber yönüne dik doğrultudaki kopma mukavemeti
X_c	:	Fiber yönündeki burkulma mukavemeti
Y_c	:	Fiber yönüne dik doğrultudaki burkulma mukavemeti
P_{Kr}	:	Kritik Burkulma Yüğü
w	:	Numune eni
l	:	Numune boyu
t	:	Numune kalınlığı
RTM	:	Reçine transfer metodu
C	:	Karbon
KNT	:	Karbon nanotüp
KEKM (LK)	:	Atık lastikten üretilmiş katkı maddesi(Çar)

ÖNSÖZ

Gelişen ve değişen dünya şartlarında nano teknoloji alanında yeni ürünler üretilmesi ve geliştirilmesi hız kazanarak artmaktadır. Bu çalışmada atık lastiğin kimyasal bozundurulmasıyla elde edilen karbon esaslı malzeme ve KNT'ün kompozit malzemeler içerisindeki etkisini incelememde bana destek olan ve yol gösteren değerli ve kıymetli danışman hocam Doç. Dr Yasin YILMAZ' a ve Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmamda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çalışmaları sonucu elde ettiği atık lastik çarını kullanmama izin veren Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Öğretim Görevlisi Doktor Şenay BALBAY'a teşekkür ederim. Tez konumu belirlememde ve deneysel çalışmalarda bilgisini ve desteğini esirgemeyen Berkant DİNDAR'a teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

İki veya daha fazla bileşenin makroskobik seviyede birbirleri içinde çözünmeden birleşmesiyle oluşan yapısal malzemelere kompozit malzeme denilmektedir (Balasubramanian 2013; Kaw 2005). Bileşenlerden biri takviye elemanıyken diğeri de matristir. Takviye elemanı genel olarak matrisin içine katılan malzemelerdir. Örnek olarak beton içerisindeki çelik çubuklar ve epoksi içerisindeki lifler gösterilebilir.

Matris, kompozit içerisinde sürekli olarak bulunan malzemedir. Örneğin; çelikle güçlendirilmiş beton ve cam fiberle güçlendirilmiş epoksidir.

Matrisli yapılara kompozitleri güçlendirmek için çeşitli katkıları katılmaktadır. Nano boyuttaki katkı maddeleri olan karbon nanotüp, kil gibi katkı ve dolgu malzemeleri örnek olarak gösterilebilir.

Günümüz teknolojisinde geleneksel malzemelerin yetersiz kalması, kompozit malzemelerin üstün özelliklerine olan ihtiyacı daha da artmıştır. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda özgül ağırlık, spesifik mukavemet, su ve kimyasal maddelere karşı dayanıklılık, üstün akustik özellikleri, imalat kolaylığı ve estetik görünüm gibi avantajlarından dolayı yeni bulunan nano maddelerle yeni kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu ürünler havacılık, otomotiv, inşaat, denizcilik ve bunlar gibi daha bir çok sektörde kullanılmaktadır (Taya 1988).

Bu tez çalışmasında katkısız, % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında karbon nanotüp katkılı ve % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında atık lastiğin kimyasal bozundurmasıyla elde edilmiş olan karbon esaslı katkı maddesi(atık lastik çarı) eklenerek güçlendirilmiş cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve burkulma davranışları araştırılmıştır.

1.1 Literatür Araştırması

Allaoui ve arkadaşlarının (2002) çok duvarlı karbon nanotüp / epoksi reçine kompozitler üretmişlerdir. Bu nanotüp ilavesinin tüm gerilim-gerinim eğrisi üzerindeki etkisinin, yüksek gerinim seviyesine kadar değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Farklı ağırlık yüzdeleri nanotüpler ile kompozitin mekanik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Young modülü ve akma dayanımının, saf reçine matris numunelerine kıyasla, sırasıyla ağırlıkça % 1 ve %4 oranında nanotüplere sahip olan kompozitler için iki katına ve dört katına çıktığı görülmüştür. Kompozit numuneler üzerindeki iletkenlik ölçümleri, izolator-iletken geçişinin nanotüp konsantrasyonu için % 0,5 ve % 1 arasında gerçekleştiğini göstermişlerdir.

Mamatis ve diğ. (2004) karbon fiber ile güçlendirilmiş plastik (CFRP) tüpün statik bası gerilmesi yükleme durumundaki davranışlarını incelemişlerdir. CFRP tüpler kare şeklinde, örgü karbon fiber kumaş ve ısı ile sertleşen epoksi reçine kullanılarak imal edilmiştir. Tüpün aksel uzunluğunun, duvar kalınlığının, en boy oranının ve fiber hacim oranının çökme davranışına ve enerji emilimine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak fiber hacim oranı ve tüp kalınlığı arttıkça, tüpün kaldırabileceği bası yükünün arttığı sonucuna varılmıştır.

Savage ve diğ. (2004) Formüle 1 arabalarının arkasında bulunan darbe emici kısmı karbon fiberden üretmişlerdir. Bu çalışmayla hem hafiflik hem de dayanım sağlanmıştır. Ayrıca Formüle 1 arabalarının çarpışmalara maruz kalan kısımlarını karbon fiberden üretilmesiyle, bu araçları kullanan sporcuların güvenliklerine büyük katkı sağladığı ifade edilmiştir.

Karagizova ve diğ. (2005) alüminyum alaşımlı dairesel ve kare tüplerin aksel yük altında enerji emilimlerini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Farklı aksel şekil değiştirme hızları ve ortam sıcaklıkları altında enerji emilimleri incelenmiştir. Sonuç olarak tüpe uygulanan ilk basıncın tüpte meydana gelen deformasyon ve enerji emilimi değerlerinde önemli rol oynadığını görmüşlerdir. Ayrıca sıcaklık etkisinin tüpün enerji emilim karakteristiğinde gözle

görülür bir etki oluşturmadığını ancak sıcaklıktan dolayı plastik gerilmelerin artması ile tüpte daha büyük buruşukluklar gözlemlemişlerdir.

Mamatis ve diğ. (2005) kare şeklindeki karbon fiber/epoksi den üretilmiş tüpün statik ve bunun yanında önceki çalışmalarından farklı olarak (Mamatis ve diğ. 2004) dinamik yük altında enerji emilimi davranışlarını araştırmışlardır. Fiberlerin katman sayısı, fiber hacim oranı ve tüpün kalınlığı arttıkça kaldırabileceği bası kuvvetinin de arttığı görülmüştür.

Mamatis ve diğ. (2006) CFRP tüpü statik ve dinamik yük altında çökme davranışlarını nümerik olarak çalışmışlar ve önceki çalışmalarına (Mamatis ve diğ. 2005) paralel olarak devam etmişler, çıkan sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çıkan sonuçların bir birleriyle büyük oranda benzer olduğunu ifade etmişlerdir.

Moniruzzaman ve Winey (2006) tek ve çok duvarlı karbon nanotüpler ile polimer nano kompozitlerin durumlarını göz önüne alarak araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmada, tek ve çok duvarlı karbon nano tüp ile polimer kompozitlerin imalat yöntemlerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Üretilen kompozit malzemelerin ayrı ayrı mekanik, termal, elektrik ve tutuşma özelliklerini araştırarak fiziksel özelliklerin boyutu, en boy oranı, yükleme, yıllara göre dağılımı ve polimer nano kompozitlerin içinde nanotüplerin uyumunun nelere bağlı olduğunu araştırılmıştır.

Thostenson ve Chou (2006) kompozit malzemeler içerisindeki nano partiküllerin farklı bir özelliğini incelemişlerdir. Epoksi polimer matris içerisinde oluşturulan iletken karbon nanotüp ağların doğrudan akım ölçümleri kullanarak, doğal hasarların tespiti için sensör kullanabileceklerini göstermişlerdir. Bu yöntem ile malzemelerin ömürlerini tespit edebileceklerini ve yöntemin geliştirilmesinin gerektiğini ifade etmişlerdir.

Mafhuz ve diğ. (2006) takviye eleman olarak karbon nanotüp malzemeler ile ekstrüzyon yöntemi ile naylon filament üretmişlerdir. Çalışmada, altı adet naylon, takviyesiz ve çok duvarlı karbon nanotüp ile takviye edilerek üretilmiş ve birbirleri ile karıştırılmıştır. Yapılan takviye ile mekanik özelliklerin % 160 oranında arttığı ifade edilmiştir.

Melo ve diğ. (2008) kompozit tüpün enerji emilim kapasitesini üretim koşullarına bağlı olarak vakumlu ve vakumsuz olarak imal ederek karşılaştırmışlardır. alışmalarında kompozit tüpleri dairesel ve silindirik formda üretmişlerdir. Üretim malzemeleri olarak 0/90 derece yönlendirilmiş cam fiber/polyester reçine kullanmışlardır. Enerji emilim değerlerini tespit edebilmek için yarı statik bası yükü uygulanmıştır. Çalışma sonucu olarak vakumla üretilen dairesel kesitli tüpün özgül enerji emilimi (SEA) değerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Seyhan ve diğ. (2008) nano partiküllerin farklı bir uygulama alanında çalışmasını yapmışlardır. alışmalarında, kompozit malzemelerde Mode I ve Mode II yükleme şartlarında, tabakalar arası kırılma tokluğu ve akma mukavemeti değişimlerini incelemişlerdir. İşlevselleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüpleri farklı oranlarda matris reçinesine ilave edilerek mekanik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Baz tabakalar ile karşılaştırıldığında modifiye edilmiş karbon nanotüp takviyeli kompozit plakaların kırılma tokluğunu % 8-11 arasında değiştirdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca kırılma yüzeylerini SEM ile incelemişlerdir.

Cho ve Daniel (2008) kompozit plakaları güçlendirmek için karbon nanotüplerin kompozit plaka üretiminde matris vazifesi gören reçine içerisine eşit ve düzgün dağılması gerektiğini görmüşlerdir. Polimer ile matris arasındaki uygun yüzey yapışması kompozit malzemenin dayanımını doğrudan etkilemiştir. Bu durum yapılan araştırmalar ile bulunmuştur. Bunun için farklı yöntemler geliştirilmiş ve uygulamaya başlanmıştır.

Feraboli ve diğ. (2009) enine kesit geometrisinin ezilmeye olan etkisini incelemek için, aynı kare tüpten kesilmiş enine kesiti farklı 5 numunenin ezilme davranışını incelemişlerdir. Bu numuneler, küçük ve büyük c tipi oluk, küçük ve büyük köşe elemanı ve kare tüptür ve numuneler prepreg yöntemi ile imal edilmiş karbon fiber/epoksi kompozit malzemelerdir. Bu çalışmanın amacı, tüpün toplam SEA değerinden köşe detaylarının SEA etkisini ayırmak olarak belirtilmiştir. Sonuç olarak, özellikle kare tüplerde, küçük köşeli elemanların birim kütle başına enerji emilimi en yüksek olduğunu görmüşlerdir.

Bisagni (2009) farklı kompozit malzemelerden yapılmış tüplerin çökme durumu ve enerji emilimi özelliklerini incelemiştir. Tüpün üretiminde karbon fiber, cam fiber, hibrit lamine karbon ve cam fiber, hibrit kumaş karbon ve cam fiber kompozit malzeme ve alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Çarpma testi için çarpma hızı 9 m/s, kütlesi 200 kg olan test aparatı kullanılmıştır. Sonuç olarak alüminyum alaşımlı tüpün SEA değeri 40 kJ/kg, karbon fiber tüp 75 kJ/kg olarak bulunmuştur. Cam fiberden üretilmiş tüpün enerji emilimi alüminyum alaşımdan yapılmış tüpten % 12 fazla olduğu belirlenmiştir.

Kim ve diğ. (2009) karbon nanotüpleri takviye elemanı olarak kullanarak karbon fiber takviyeli epoksi kompozit plakalar üretmişlerdir. Bu plakalara farklı oranlarda nano partüküller katarak kompozit plakaların eğilme ve mukavemet analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda sayısal yöntemler ile yapılan deneysel çalışmaları doğrulamaya çalışmışlardır.

Bambach (2010) metal fiber kare tüpün aksenal bası durumundaki dayanımını ve ezilme davranışlarını incelemiştir. Numuneler metal tüp üzerine reçine yardımıyla karbon fiber ile güçlendirilmiş plastik (CFRP) kaplanarak imal edilmiştir. Metal tüpler ise çelik, paslanmaz çelik ve alüminyumdan imal edilmiştir. Bası deneyleri yarı statik yük altında yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, en yüksek SEA değerinin yaklaşık 40 kJ/kg ile çelik/CFRP 2T2L numunesine (2 kat enine 2 kat boyuna CFRP kaplanmış numune) ait olduğunu gözlemlemiştir.

Böger ve diğ.(2010) % 3 kil nano partikül (SiO₂) ve % 3 karbon nanotüp katkılı cam fiber takviyeli kompozit malzeme üretmişler ve numuneler çekme testleri ve dinamik yorulma testleri yapmışlardır. Kompozit malzemelerin üretimi, katkı malzemeleri epoksi içerisinde elle karıştırılmış ve modifiye edilmiş matris vakum destekli reçine transfer kalıplama ile üretilmişlerdir. Testler sonucunda katkı malzemesi katılan numunelerin kırılma mukavemetlerinin % 16 arttığı görülmüştür. Yorulma çevrim ömürlerinin ise birkaç kat arttığını gözlemlemişlerdir.

Grimmer ve Dharan (2010) cam elyaf kompozitler matrisine çok duvarlı karbon nanotüplerinin (KNT'ler) küçük hacimli fraksiyonlarının eklenmesinin,

sıklık delaminasyon çatlama yayılım oranlarını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Ayrıca yapılan çalışmada hem kritik hem de kritik olmayan laminalar arası kırılma tokluğu değerlerini arttırdığı görülmüştür.

Godara ve diğ.(2010) cam elyaf ve epoksi arasındaki bağ oluşumunu incelemişlerdir. Üç ayrı üretim yöntemiyle epoksi içerisine çok duvarlı karbon nanotüp katarak uygun olan üretim yöntemini bulmuşlardır.

Warrier ve diğ.(2010) cam fiber/ epoksi kompozit matris içerisine % 0,5 oranında çok duvarlı karbon nanotüp katmışlardır. Üretilen kompozit malzemede camsı geçiş sıcaklığı ve çatlak ilerlemesinin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda çok duvarlı karbon nanotübün camsı geçiş sıcaklığını ve çatlak ilerlemesini % 10 arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Bortz ve diğ.(2011) kesikli karbon fiber takviyeli polimer matrisli kompozit malzeme üretilmiş ve kesikli karbon fiberler matris içerisinde yüksek kayma laboratuvar karıştırıcısıyla karıştırılmıştır. Üretilen kompozit malzemeler, % 0,5 karbon fiber takviyeli ve % 1 karbon fiber takviyelidir. Bu üretilen iki malzemenin kırılmaya karşı direncin % 0,5 karbon fiber takviyeli numunede % 66 ve % 1 karbon fiber takviyeli numunede ise % 78 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Yorulma ömürlerinin ise % 0,5 karbon fiber takviyeli numunede % 130, % 1 karbon fiber takviyeli numunede ise % 365 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışma sonunda kompozit malzeme içerisine katılan karbon fiberlerin monoton kırılma davranışını ve uzun dönem yorulma ömrünü arttırdığı gözlemlenmiştir.

Montazeri ve Montazeri (2011) farklı miktarlarda % (0,1-0,5-1-2) çok duvarlı karbon nanotüp içeren çok duvarlı karbon nanotüp /epoksi kompozitlerde, viskoelastik ve mekanik özelliklerini çekme testi ve dinamik mekanik termal analiz uygulayarak belirlemişlerdir. Çok duvarlı karbon nanotüp /epoksi kompozitleri sonikasyonla karıştırılmış ve döküm kalıplama uygulanmıştır. % 0,5'lik karbon nano tüp miktarı ile viskoelastik özelliklerin olumlu geliştiği gözlemlenmiştir.

Kurunoma ve diğ.(2011) karbon nanotüp katkılı polimer kompozitlerin yorulma yüklemesi altında oluşan çatlak oluşumlarını gözlemlemişlerdir. Karbon

nanotüp miktarı ağırlıkça % 25 olan kompozit malzemede yorulma çatlak testleri yapılmıştır. Bu testler tek uç çatlak levha numunelerde oda sıcaklığı ve sıvı azot sıcaklığında 77 K de yapılmıştır. Oda sıcaklığında yapılan testlerde yorulma çatlak büyüme direncinin arttığını gözlemlemişlerdir. 77 K'de yapılan deneylerde de yorulma çatlak büyüme direnci artmıştır ancak oda sıcaklığında gerçekleşen sonuçlara göre kırılmanın artmasından dolayı yorulma çatlak büyüme direncinin daha az arttığını belirlemişlerdir.

Gkikas ve diğ.(2012) nano kompozitlerin termo-mekanik ve tokluk özelliklerini arttırmak için bir polimer matrisine dağılmış çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWKNT) kullanmışlardır. Doldurulmamış, ağırlıkça % 0.5 ve 1 karbon nanotüp (KNT) doldurulmuş epoksi üzerinde, yüklemenin bahsedilen özelliklere etkisini belirlemek için dinamik mekanik analiz (DMA), çekme testleri ve tek uçlu çentikli 3 noktalı büküm testleri yapılmıştır. Dağılım koşullarının etkisi, KNT içeriği, sonikasyon süresi ve toplam sonikasyon enerjisi girişi açısından araştırılmıştır. KNT dağılım koşulları, modifiye sistemlerin hem termo-mekanik hem de tokluk özellikleri açısından kilit öneme sahiptir. Hem 0.5 hem de 1 ağırlık yüzdeli KNT yüklemelerinde depolama modülü ve cam geçiş sıcaklığı (T_g) artırımını için 1 saat sonikasyon süresi en etkili olmuştur. Belirli sonikasyon koşullarında depolama modülünün ve T_g değerinin önemli ölçüde artması, KNT'ler ile epoksi matris arasındaki gelişmiş dağılım ve ara yüzeylere yapışma ile ilişkilendirilmiştir. Sonikasyon enerjisi, tokluk özellikleri için etkileyen parametredir. En iyi sonuçlar 2 saat sonikasyon ve % 50 sonikasyon genliği için elde edilmiştir. Bu sonikasyon seviyesinin, KNT'lerin yapısını bozmadan epoksi matrislerine uygun dağılımına izin verdiği ileri sürülmüştür.

Helmy ve Hoa (2014) konik cam / epoksi laminatların çekme yorulma davranışını incelenmişlerdir. Nanokil ilavesinin epoksi reçineye etkisi araştırılmıştır. Bitişik kemer tabaka ve kesme tabakası arasındaki nispi yönelimin yorulma ömrü üzerinde önemli etkisinin olduğu gösterilmiştir. Yorulma çatlama reçine cebinde başlar ve laminatın daha kalın bölümünde kemer tabakası ve çekirdek tabakası arasındaki ara yüzey boyunca yayılır. Çatlak yayılımı esas olarak mod II çatlak ilerlemesinden kaynaklanmaktadır. Killerin ilavesi, bu mod II çatlak yayılımına karşı direnci artırır ve böylece laminatın yorulma ömrünü uzattığı görülmüştür.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Kompozit Maddelerin Önemi ve Kullanım Alanları

Kompozit malzeme, temel de birbiri içerisinde karışmayan ve farklı en az iki malzemenin kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşiminden oluşan bir malzeme sistemidir. Kompozit malzemeler, doğrudan doğruya istenilen maksatta kullanılmayan en az iki ayrı malzemeden belli olan bir özelliği elde etmek için, bu malzemeleri belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle elde edilebilirler.

Kompozit malzemeler kendilerini oluşturan malzemelerin sahip olduğu özellikleri sunmasının yanı sıra yüksek mukavemet, hafiflik, tasarım esnekliği, boyutsal stabilite, yüksek dielektrik direnimi, korozyon dayanımı, kalıplama kolaylığı, yüzey uygulamaları, yüksek ısı dayanımı, şeffaflık, yüksek kimyasal direnç, titreşim sönümlenme, akustik iletkenlik, ses tutuculuğu ve yutuculuğu gibi avantajlar sağlar. Ayrıca, kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler arttırılabilir. Karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlar. Kompozit malzemenin özellikleri, üretim yöntemlerine, fiberlerin yönüne, fiber hacim oranına, fiber ve matrisin türüne göre istenen yönde değiştirilir(Şahin 2006). Avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunlar hammaddenin pahalı olması, üretim güçlüğü, işlenmesinin güç olması, diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün kolay olmayışı, tamir edilebilmesinin yeni problemler çıkarması, malzemenin kalitesinin üretim yönteminin kalitesine bağlı olmasıdır (Şahin 2006).

Kompozit malzemeler matris malzemeler, takviye malzemeleri, katkı maddeleri ve dolgu malzemelerinden oluşur. Matris malzemelerin genel özelliği elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara eşit olarak yaymak, elyafları çevresel etkilerden korumaktır. Takviye malzemelerinin görevi kompozit malzemeye gelen yüklerin büyük çoğunluğunu taşımaktır. Takviye elemanı genel olarak cam elyaf,

karbon elyaf (Grafid) ve aramid elyaf (Kevler) gibi elyafly malzemeler tercih edilir.

Kompozit malzemeler bir çok üstün özelliğinden dolayı hava taşıtlarından spor malzemelerine (golf sopası, tenis raketi gibi), elektronik ambalajdan medikal ekipmanlara kadar geniş kullanım alanı bulunmaktadır.

2.2 Matris Malzemeler

Kompozit malzemelerde matrisin üç temel görevi vardır;

- Elyafı bir arada tutmak
- Yükü elyaflara eşit olarak dağıtmak
- Elyafı çevresel etkilerden korumaktır.

İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli iken daha sonra elyafı çevreleyebilmek ve sağlam tutabilmek için katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kesme yükü altındaki gerilme dayanımı, elyafarla matris arasındaki yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti göstermesine bağlıdır. Yine yükü elyaflar ve matrise eşit dağıtması, yük altında matrisle elyaflar arasındaki kırılma ya da kopma olmaması yapışkanlık özelliğine bağlıdır (Işık 2008).

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlak yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse, elyaflar boşluktaki bir bağ demeti gibi dağılır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise, elyaf veya matristen başlayan enlemesine çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

2.1.1 Termoplastikler

Isıtıldıkları zaman yumuşar ve akar, soğutulunca sertleşirler, katılaşırlar. Bu olay termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir. Bu şekillendirme esnasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Genel de polimerizasyon adı verilen kimyasal işlemle elde edilirler. Yüksek sıcaklıkta zincirler arası bağlar zayıflar. Pek çok termoplastik yapıdaki polimerler lineer polimer şeklindedir.

Kompozit malzemelerde termoplastikler;

- Naylon (PA)
- Polifinilen Sülfür (PPS)
- Sıvı Kristal Polimerler (LCP)
- Polyetheretherketone (PEEK)
- Polipropilen (PP)
- Polietilen (PE)
- Polyetherimid (PEI)
- Fluoropolimerlerdir.

2.1.2 Termosetler

Isıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelir. Bir daha tekrar tekrar ısıtılıp sertleştirilemezler. Genelde polikondenzasyon yöntemi ile üretilir. Isıtma esnasından kovalent çapraz bağlanma olur. Bu tip bağlanma eğme ve dönme hareketlerini engeller. Daha sert ve aynı zamanda gevrektiler.

Kompozit malzemelerde termosetler;

- Doymamış Polyesterler
- Epoksiler
- Vinilesterler
- Poliüretanlar
- Fenolikler
- Melamin ve Üreformaldehid
- Poliimidler

- Silikon Reçineler
- Friedel-Crafts Reçinelerdir.

En yaygın kullanılan matris malzemeler Polyeesterler, Vinilesterler ve Epoksilerdir.

2.3 Takviye Malzemeleri

Matris malzeme içerisinde yer alan takviye elemanı kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit malzemelerde kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar.

Bu elyaflar; aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür, alümina, cam ve polietilen malzemelerin uzun veya kısa sürekli elyaf formunda kullanıldığı ve yaklaşık matris içerisinde %60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir. Bu elyaflardan en yaygın kullanılanları;

- Cam Elyaf
- Karbon Elyaf
- Aramid Elyaflardır.

2.1.3 Cam Elyaf

Cam lifinin ana malzemesi SiO_2 'dir. 9-23 mikron kalınlığında olan cam lifi elektrikle ısıtılan platin rodyum alaşımında üzerinde delikler bulunan kovanlardan yüksek hızlarda çekilerek üretilirler. Serbest bir halde akan cam lifleri, su ve hava ile soğutulmuş bir araya getirilerek demetler oluşturulur. Ürünlerin korunması ve kompozit tabakaların özelliklerinin artırılması amacıyla kimyasal bir bağlayıcıyla kaplanırlar.

Cam liflerinin tipik örnekleri A, C, D, E ve S tipi cam lifleridir. C tipi cam lifleri kimyasal direnci yüksek olduğu için kimyasal korozyona dayanıklı olması istenen yerlerde kullanılır. S tip cam lifi yüksek modüle ve mukavemete sahip olmasına karşın yüksek maliyetinden dolayı ancak özel kullanım alanlarına uygundur. En çok kullanılan E tipi camdır. Esas olarak elektrik amaçlı düşünülmesine rağmen iyi mekanik özelliklere ve ısı dirence sahip olduğu için bugün birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır (Ersoy 2005).

2.1.4 Karbon Elyaf

1965 ten sonra geliştirilen özellikle uzay ve havacılık sanayinde bir çok uygulama alanı bulan karbon elyafi zift veya poliakrilonitril (PAN) den üretilir. Zift tabanlı karbon elyaflar daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. PAN tabanlı karbon elyaflar daha hafif, daha sağlamdır ve geliştirilmeleri devam etmektedir.

Poliakrilonitril (PAN) den üretilen karbon elyaf üretim aşamaları öyledir;

- Oksidasyon: Elyaflar hava ortamında 300°C ye kadar ısıtılır. Böylece, elyaftan H ayrılır daha uçucu olan O eklenir. Ardından elyaflar kesilerek grafit teknelerine konur ve kararlı yapıya dönüşürler. Bu işlem sırasında elyafın rengi kahverengiye ardından da siyaha dönüşür.
- Karbonizasyon: Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000⁰ C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşması sağlanır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafın sınıfını belirler.
- Yüzey İyileştirme: Karbon, yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya yatırılır.
- Kaplama: Elyafi sonraki işlemlerden (prepreg gibi) korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır (Arıcasoy 2016).

2.1.5 Aramid Elyaf

Polimerler matris olarak kullanılmalarının yanı sıra elyaf olarak da kullanılmaktadırlar. Örnek olarak Kevlar (aramid) bir polimer elyafı olup kompozit malzemeye yüksek mukavemet ve sertlik kazandıran, hafif bir maddedir. Aramid, bir çeşit naylon olan aromatik poliamiddir. Bu polimerleri elyafa dönüştürmek için kuvvetli mineral asit, oleum yağı ve klor sülfonik gibi konsantr olmuş ergiyik ile hazırlanırlar. Bunlar süzgeçten geçirilirler ve nötralize edilmiş banyo içinden iplik olarak çıkarlar. Hem meme şekli hem de uygulanan çekme derecesi başarılı elyaf üretimi için çok önemlidir. Çekildikten sonra elyaflar yıkanır, durulanır ve çekme altında 550 °C sıcaklıkta azot içinde ısıtılırlar.

Aramid elyafı piyasada daha çok ticari isimleri kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) ile bilinmektedir. En çok kullanılan Kevlar (aramid) elyafları Kevlar 29 ve Kevlar 49 dur.

Aramid elyafları yüksek çekme dayanımı, yüksek darbe dayanımı, yüksek aşınma dayanımı, yüksek yorulma dayanımı özelliklerine sahiptir. Kevlar elyafı kompozitler cam elyafı kompozitlere göre daha hafiftir. Ancak bazı kevlar malzemeler ışıktan etkilenmektedir. Bu yüzden karanlık ortamda saklanmaları gerekir. Bunun yanında bazı kevlar lifleri yapıştırıcıyı iyi emmeyebilirler. Bu yüzden hava boşlukları kalabilir.

2.4 Katkı maddeleri

Kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı ve matris seçiminin yanında içerisine katılan katkı maddelerinin de önemi son yıllarda artmıştır. Kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerini arttırmak için çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada karbon nanotüp ve atık lastiklerin kimyasal bozundurulmasıyla elde edilen karbon kökenli bir madde katkı maddesi olarak kullanılmıştır.

2.4.1 Karbon Nanotüp

Bir Karbon Nanotüp, karbondan yapılmış nanometre ölçeğinde bir çapa sahip olan boru şekilli bir malzemedir. Karbon Nanotüpler uzunluk, kalınlık, sarmallık türü ve kat sayısı bakımından farklı birçok yapıya sahiptir. Esasen aynı grafit tabakadan oluşturulmuş olsalar da elektriksel özellikleri, metaller veya yarı iletkenler gibi davranan bu çeşitlemelere bağlı olarak farklılık gösterirler.

Sp^2 hibridizasyonundaki elementel karbon, çeşitli inanılmaz yapılar oluşturabilir. Bilinen grafit dışında karbon, bal peteği atom düzenine sahip kapalı ve açık kafesler kurulabilir. Bir grup olarak karbon Nanotüpler tipik olarak <1 nm'den 50 nm'ye kadar değişen çaplara sahiptir. Uzunlukları tipik olarak birkaç mikrometredir. Ancak son yıllarda Nanotüpler çok daha uzun üretilmiş ve santimetre cinsinden ölçülmüştür. Bir grafit levha, farklı şekillerde karbon nanotüpleri üreterek kategorize edilebilir; tek katmanlı karbon nanotüp (SWNT), çift katmanlı karbon nanotüp (DWNT), çok katmanlı karbon nanotüp (MWNT), Nanotoru, Nano-bud, Nanohorn (Varshney 2014).

2.4.2 Atık Lastikten Elde Edilmiş Karbon Esaslı Madde

Atık lastiklere kimyasal bozundurma, aktivasyon ve karbonizasyon yöntemleri uygulanarak karbon esaslı katı ürün elde edilmiştir. Bu üretim üç aşamadan meydana gelmiştir.

Birinci aşamada; atık lastikler, Sülfürik asit (H_2SO_4), Sodyum hidroksit (NaOH) ve metil alkol (CH_3OH) atmosferik ortamda $140\ ^\circ C$ sıcaklıkta 20 dakika jelleşme ve oda koşullarında 15 dakika bozunma süresinde bozundurulmuş ve daha sonra katı ve sıvı faz filtre edilmiştir.

İkinci aşamada; ayrılan katı faza 1 M HCl, 1 M NaOH ve %20 NaCl kimyasal maddeleri kullanılarak aktivasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve katı ürün elde edilmiştir (Balbay 2017).

2.5 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

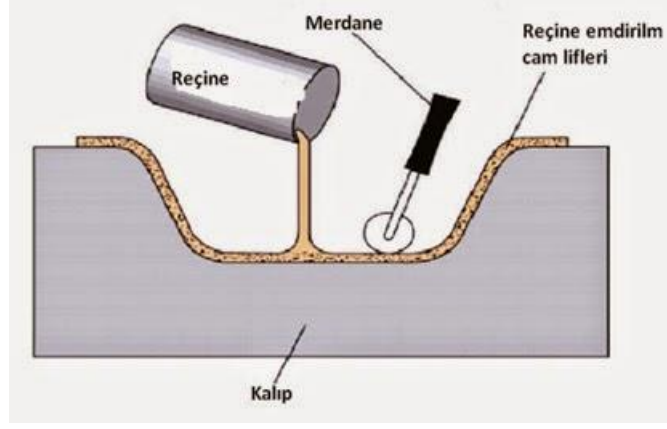
2.5.1 Elle Yatırma Yöntemi

Hazırlanmış kalıp içerisine dokuma, örme, dikişli veya bağlı elyaf kumaşların Şekil 2.1 de görüldüğü gibi matrisi oluşturan reçinenin fırça gibi basit el aletleriyle elyafın üzerine sürülerek yapılan bir üretim yöntemidir. Bu işlem istenilen kalınlık ve tabaka sayısı elde edilinceye kadar yapılır. Böylece tabakalı kompozit malzeme üretilmiş olur. Bu yöntemde genellikle epoksi ve polyester reçineler kullanılır. Reçinelerin kalıba yapışmaması için kalıp yüzeyine polivinil alkol (PVA), silikon, madeni yağlar ve vaks gibi kalıp ayırıcıları sürülür. Ayrıca reçine içerisine tutuşmayı engellemek, hafiflik elde etmek, görünümü güzelleştirmek gibi değişik amaçlarla dolgu malzemeleri katılmaktadır.

Elyaf reçine oranı %30'lara yaklaşan kompozit malzeme üretimi yapılabilir, daha fazla elyaf reçine oranı için prepregler kullanılır. Prepregler polimer reçine ile doyurulmuş sürekli elyefan oluşan ve kısmen kurutulmuş kompozitlerdir.

Elle yatırma yönteminin imalat aşamaları aşağıdaki gibidir;

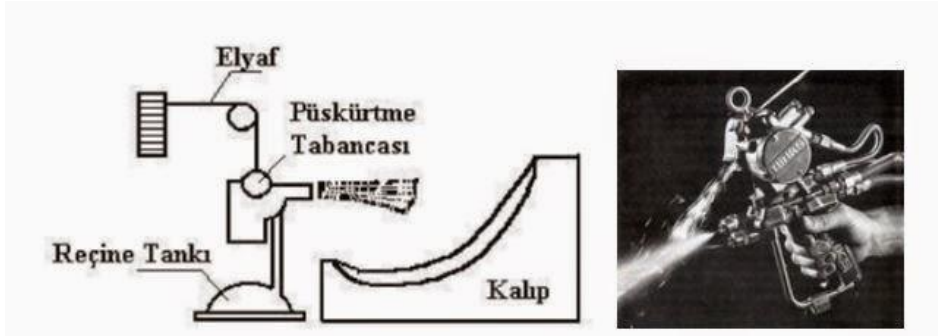
- Kalıp silindikten sonra birinci kalıp ayırıcı olarak vaks sürülür.
- Süngerle ikinci kalıp ayırıcı olan PVA sürülür.
- Fırçayla viskozitesi yüksek olan jelkot sürülür.
- Takviye elemanı olarak kullanılacak olan elyaf hazırlanır.
- Reçine hazırlanılarak dolgu maddeleri katılır.
- Rulolanarak hava kabarcıkları çıkarılır.
- İstenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar önce reçine sürülerek elyaf yatırma işlemi tekrarlanır.
- İstenilen kalınlığa ulaşıldıktan sonra kurumaya bırakılır ve mamül kalıptan çıkarılır.



Şekil 2.1: Elle Yatırma Yöntemi (<http://tekstilteknik.blogspot.com.tr>)

2.5.2 Püskürtme Yöntemi

Daha fazla ürün ve daha kolay üretim yapmak amacıyla Şekil 2.2 de görüldüğü gibi üretimin makineleşmiş halidir. Püskürtme tabancasının içerisine reçine ve kırılmış elyaf karışımının kalıba püskürtülmesiyle kalıbın şeklinin alması sağlanır. Püskürtme işlemi yüzeye dik olarak yapılmalı malzeme israfi önlenmelidir. Püskürtme işleminden sonra hava kabarcıklarının kalmaması için rulolama işlemi yapılmalıdır. Oto kaportaları, kayık, küvet, yüzme havuzlarının iç yüzeyi bu yöntemle kaplanır.



Şekil 2.2: Püskürtme Yöntemi(<http://tekstilteknik.blogspot.com.tr>).

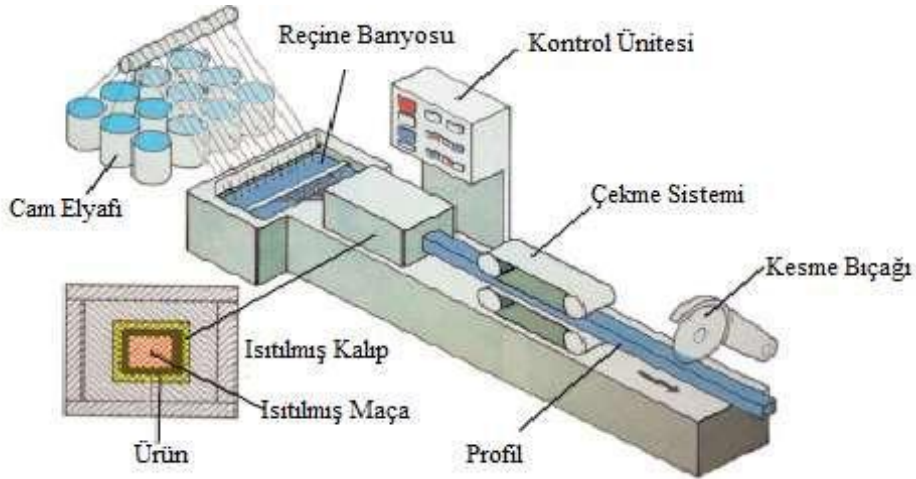
2.5.3 Sürekli Kalıplama

Devamlı Levha Üretim Yöntemi

Takviye elemanı reçine banyosundan geçirilerek üzerine polyester püskürtülür ve iki ince selefona arasında sandaviç haline getirilir. Hava kabarcıklarının çıkartılması için iki rulo arasından geçirilir. Şekil verilmek amacıyla donma başladığı anda fırına verilir. Böylece imal edilecek olan levha son şeklini alır. Bu metotta dikkat edilmesi gerekli olan nokta sertleştirici miktarının fırın sıcaklık ve boyuna göre ayarlanmasıdır.

Profil Çekme Yöntemi

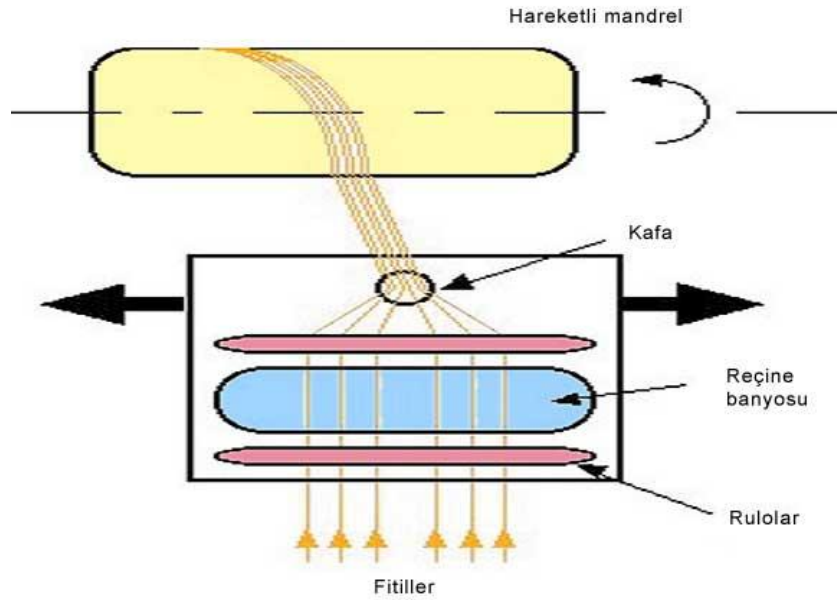
Reçine tankından geçirilen elyaflar daha sonra uygun kalıplardan geçirilerek profil ve boru şekilleri kazandırılırlar. Bu yöntemle Şekil 2.3 de görüldüğü gibi çubuk, profil veya boru üretimi yapılır. Şekillerin kalıcı olması için çekme kafalarının ısıtılabilmesi gibi fırından da geçirilebilir. Bu yöntemle kapı, pencere profilleri, kara yolu profilleri üretilmektedir.



Şekil 2.3: Profil Çekme (Bulut 2014).

2.5.4 Elyaf Sarma Yöntemi

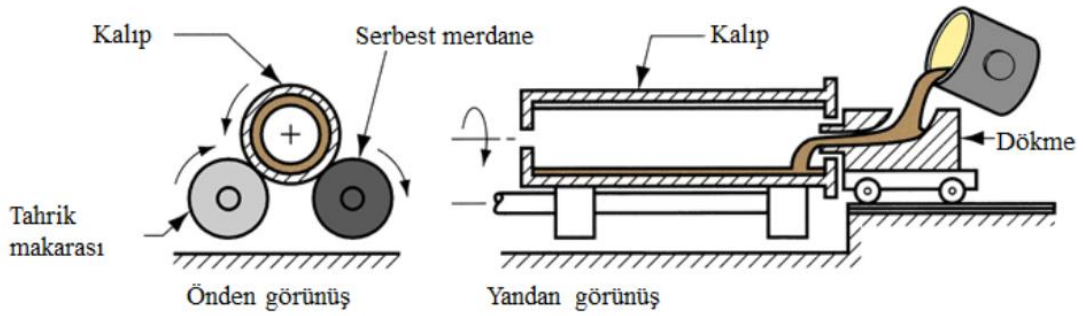
Elyaf lar önce reçine içerisinden geçirilir. Daha sonra iki punta arasında dönmekte olan ve üzerine ayırıcı sürülmüş kalıba sarılarak yapılır. Bu yöntemle genellikle silolar, silindirik kaplar, basınçlı kaplar, güç iletim şaftları ve roket motor kasaları üretilir. Bu metotla yüksek kalite ve mukavemette ürün elde etmek mümkündür. Üretim Şekil 2.4 de görüldüğü gibi bir mandrel üzerine elyaf sarılma şeklinde olduğu için iç yüzeyi pürüzsüz parçalar imal edilebilir. Polyester, epoksi ve silikon gibi reçineler kullanılır. Kuru sarma ve yaş sarma gibi iki çeşit imalat yöntemi kullanılır. Ayrıca sürekli lifler kalıp üzerine düzlemsel veya helisel sarılabilirler.



Şekil 2.4: Elyaf Sarma (Bulut 2014).

2.5.5 Santrifüj Kalıplama

Kırpılmış elyaf ve sertleştirici katılmış reçine karışımı silindirik kalıba Şekil 2.5 de görüldüğü gibi katılır. Dönen kalıp içerisindeki malzeme merkez kaç kuvvetinin etkisiyle kalıp içerisinde eşit olarak dağılır ve karışıma sıcak hava üfleterek malzeme sertleştirilir. Bu yöntemle silindirik kaplar, borular ve silolar imal edilir. Dış yüzeyi pürüzsüz parça imali mümkündür.



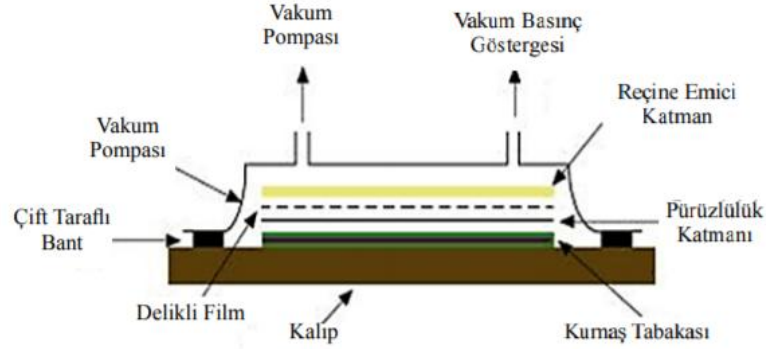
Şekil 2.5: Santrifüj Kalıplama (FNAİR 2017).

2.5.6 Vakum yardımcı reçine transfer metodu (RTM)

1980'lerin ortalarından itibaren kompozit üretim yöntemi olarak kabul edilen RTM yüksek elyaf oranı elde edilebilen sürekli elyaf takviyeli kompozit üretim yöntemidir. Düşük veya yüksek hacimli büyük veya küçük boyutlu malzemelerin imalat uygulamaları için kullanılan verimli bir işlemdir. İşlemin sonucunda karmaşık yapıları bitmiş parçaların üretilebilir olması otomotiv ve havacılık, spor malzemeleri, denizcilik uygulamalarında kullanımını arttırmıştır. Hazır kalıplama (SMC, BMC) uygulamalarında da benzer geometride parçalar üretilebilmesine rağmen bu işlemlerde kısa elyaf kullanılması istenen dayanıma ulaşılmasını engellemektedir(Sozer ve diğ. 2012).

Kalıp, imal edilecek parçanın şeklindeki bir boşluğa sahiptir. Genellikle kumaş katlarının üst üste serilmesiyle oluşturulan elyaf preform kalıba yerleştirilir. Karmaşık kalıp geometrilerinin üretiminde enjeksiyon işlemi

sırasında hareketi önlemek için kumaş katları fırça veya püskürterek kısmen yapışkanla ıslanabilir ve/veya katlar birlikte dikilebilir. Kumaş katları kalıba konduktan ve kenarları kesildikten sonra, Şekil 2.6 da görüldüğü gibi kalıp kapatılır ve sıkıştırılır. Reçine daha sonra pozitif basınç altındaki bir veya daha fazla tanktan kalıp boşluğuna enjekte edilir. Reçine havalandırma ağızlarından çıkana kadar enjeksiyon devam eder. Bu noktada reçine enjeksiyonu durdurulur, havalandırma ağızları kapanır ve reçinenin sertleşmesine izin verilir. Kürlenme olarak tanımlanan bu aşama kalıbın ısıtılması ve/veya başlangıçta reçine sistemine inhibitörlerin eklenmesiyle başlatılabilir. Parça yeterince sertleştirildikten sonra kalıp açılır ve parça kalıptan çıkarılır (Kaplan 2017).



Şekil 2.6: Vakum torbalama prosesi (Durgun ve diğ. 2014).

3. YÖNTEM

3.1 MATERYAL

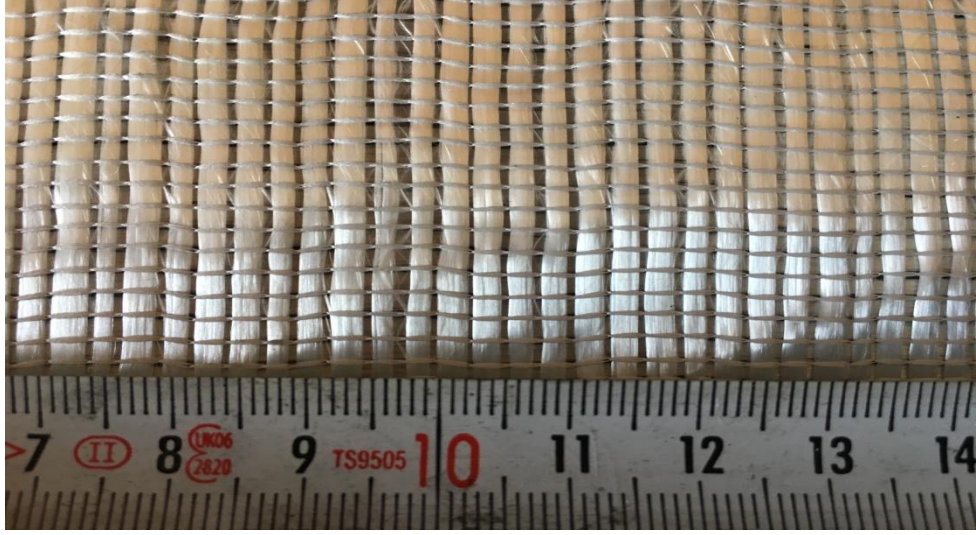
Bu çalışma kapsamında katkısız, ağırlıkça % 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2 oranlarında karbon nanotüp ve ağırlıkça % 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2 oranlarında atık lastiğin kimyasal bozundurma ile üretilmiş olan karbon esaslı madde (atık lastik çarı) katılarak 13 kompozit plaka üretilmiştir.

3.1.1 Kullanılan Malzemeler

Üretimde kullanılan fiber kumaş Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu kumaş Metyx Composites firmasının ürettiği L300 E10C-0 Unidirectional Cam Elyaf adlı üründür. Bu üründe 330 gr/m² ağırlığındaki cam elyaf kumaş kullanılmıştır. Kullanılan matris EP828 EPIKOTE(TM) RESIN 828 adlı ürün ve kürleştirici EK875 EPIKURE(TM) Curing Agent 875 DRUM adlı üründür. Cam elyaf ve epoksinin mekanik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Plakaların üretiminde ağırlıkça % 60 cam elyaf fiber, % 40 matris kullanılmıştır. Kompozit plakaların üretimi İzmir’de kompozit malzeme üretimi yapan İzoreel firmasında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1: Cam elyaf ve epoksinin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikler	Cam Elyaf	Epoksi
Elastisite Modülü (GPa)	70	3.300
Çekme Mukavemeti (MPa)	2410	80
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	2,54	4



Şekil 3.1: Tek yönlü E-cam elyaf.

Çalışmalarda katkı maddesi olarak karbon nanotüp ve atık lastik çarı kullanılmıştır. Karbon nano tüp Ege Nanotek Kimya firmasından temin edilmiştir. Atık lastik çarı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde tamamlanan bir doktora tez çalışması kapsamında atık lastiğin kimyasal bozundurulması sonucu elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan çok katmanlı karbon nanotüpün özellikleri Tablo 3.2 verilmiştir.

Tablo 3.2: Karbon nanotüpün mekanik özellikleri (www.egenanotek.com.tr).

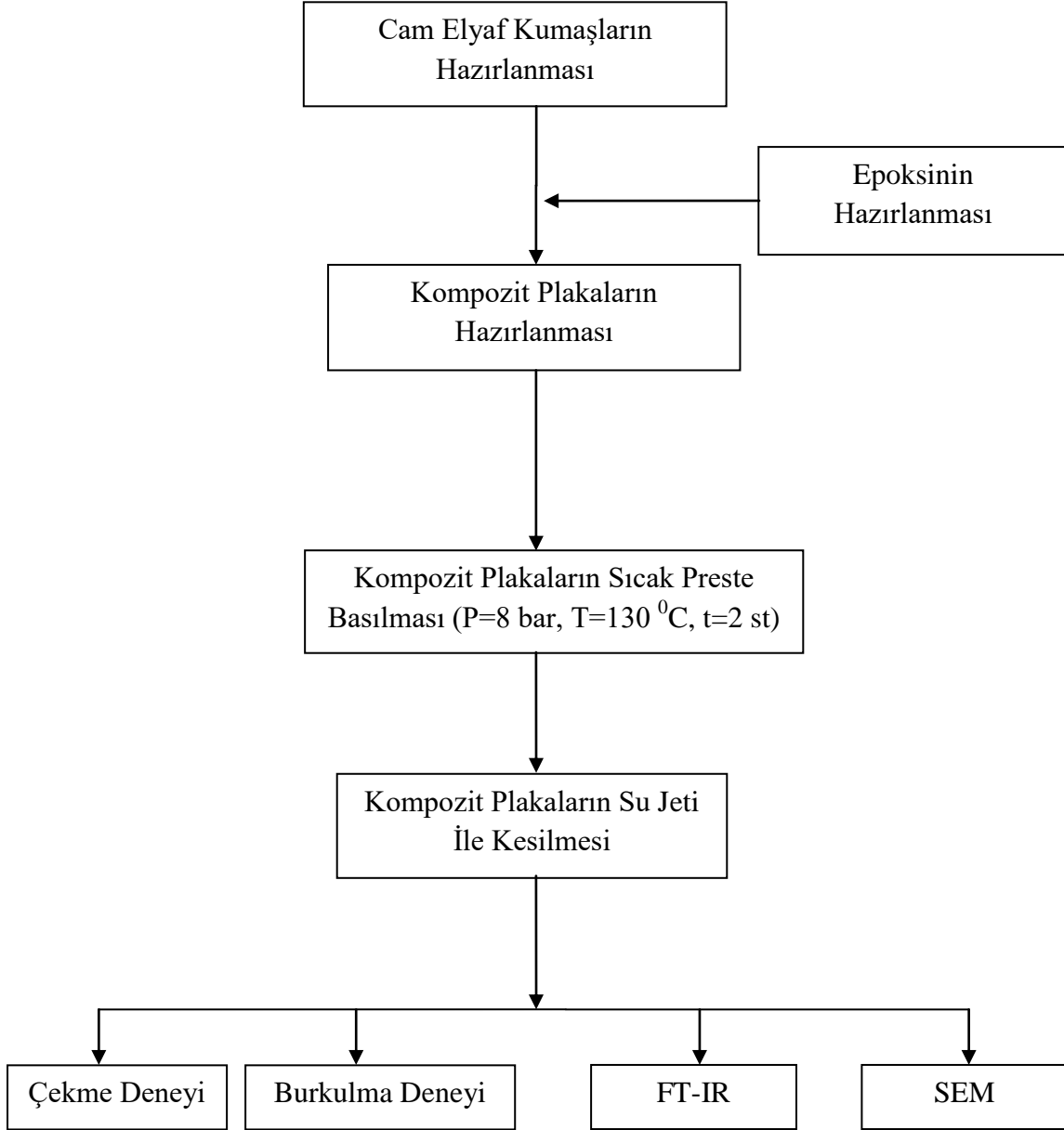
Safılık	OH İçeriği Ağırlıkça	Dış Çap	İç Çap	Uzunluk	Yoğunluk	Elektrik İletkenliği
98%	% 1,76	10-20 nm	5-10 nm	0,5-2,0 μm	0,22 g/cm ³	>100 S/cm

3.1.2 Kullanılan Alet ve Cihazlar

DeneySEL çalışmalar boyunca kullanılan cihazlar Hielscher marka UP400S model ultrasonik karıştırıcı, Laba marka soğutma cihazı, İzoreel'de tasarlanıp üretilmiş olan sıcak pres, Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim dalında bulunan 50 kN kapasiteli Instron 8081 çekme basma cihazı, casio marka hassas terazi ve su jetidir.

3.2 Katkılı Kompozit Malzemelerin Üretimi

Üretim aşamaları; cam elyaf kumaşların hazırlanması, epoksinin hazırlanması, kompozit tabakaların hazırlanması, kompozit plakaların sıcak preste basılması, su jeti ile kesme çalışmalarından oluşmaktadır. Daha sonra üretilen plakalara mekanik testler ve karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Şekil 3.2’de deneysel akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2: Deneysel akış diyagramı.

3.2.1 Cam Elyaf kumaşların hazırlanması

Kompozit plakalarda kullanılan cam elyaf kumaşlar 31x 31 cm ebatlarında hazırlanmıştır. Bunun nedeni presin basma alanı ve çıkan plakaların testereyle kesilmesidir. Plakaların testereyle 30x30 cm ebatlarına getirilmesi amaçlanmıştır. Her bir plaka için 9 adet 31x31 cm cam elyaf kumaş kesilmiştir. 13 adet plaka üretilmesi amaçlanmış olup 117 adet cam elyaf kumaş kesilerek hazırlanmıştır. Daha sonra üzerine cam elyaf yatırılacak olan şeffaf naylon hazırlanmıştır.

3.2.2 Epoksinin Hazırlanması

Ultrasonik karıştırıcıda önce katkısız üretilecek olan kompozit malzemenin reçinesi ve katalizörü soğutucu hazne içerisinde Şekil 3.3’de görüldüğü gibi 30 dk boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra aynı işlem katkı maddeleri eklenerek gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında karbon nanotüp ve atık lastik çarının ayrı ayrı epoksi reçine içinde homojen dağılacak şekilde aynı işlemler yapılmıştır.



Şekil 3.3: Ultrasonik karıştırıcı.

3.2.3 Kompozit Tabakaların Hazırlanması

Hazırlanmış olan şeffaf naylon üzerine 31x31 cm ebatlarında kesilmiş olan cam elyaf 90⁰ olacak şekilde yerleştirilmiş ve hazırlanmış olan epoksi emdirilmiştir. Daha sonra 0⁰ olacak biçimde ikinci kumaş yerleştirilerek kumaşa epoksi emdirilmiştir. Bu işlem 9 kez tekrarlanmıştır. Epoksi emdirilmiş olan kumaşlar Şekil 3.4 de görüldüğü gibi hava almayacak şekilde şeffaf naylon ile kapatılmıştır.



Şekil 3.4: Epoksi emdirilmiş kumaşların sıcak preslemeye hazırlanması.

3.2.4 Hazırlanmış Kompozit Tabakaların Preslenmesi

Reçine emdirilmiş [90/0]₉ cam elyaf kumaşlar 130 °C sıcaklıktaki pres kalıbına (Şekil 3.5) yerleştirilerek 8 bar basınç altında 2 saat süre ile kürlendirilmiştir ve daha sonra kalıptan (Şekil 3.6) çıkartılmıştır.

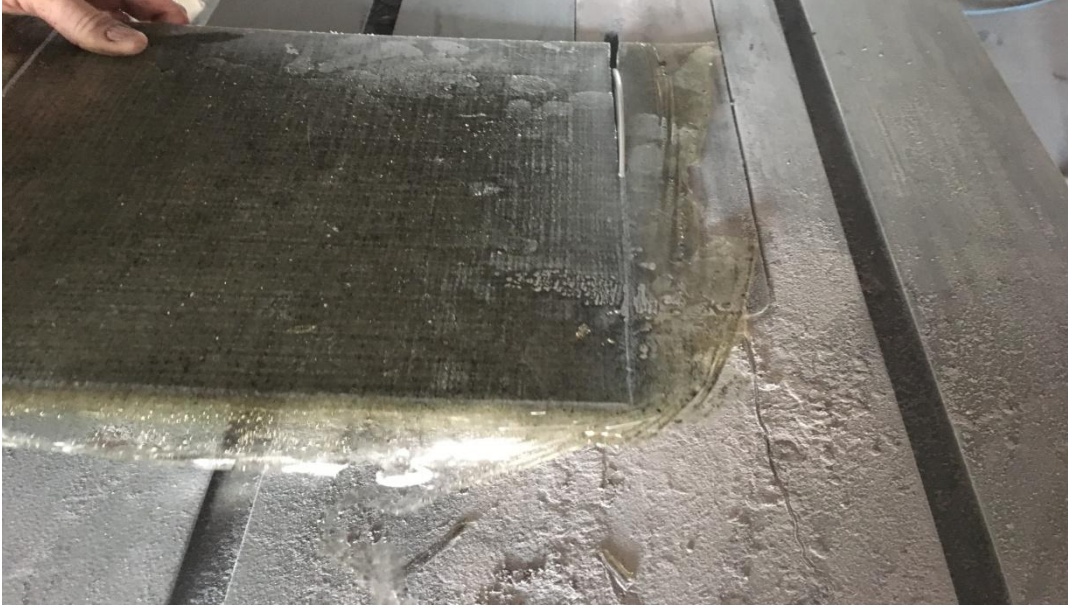


Şekil 3.5: Kürlendirme işlemi(8 bar, 140  C).



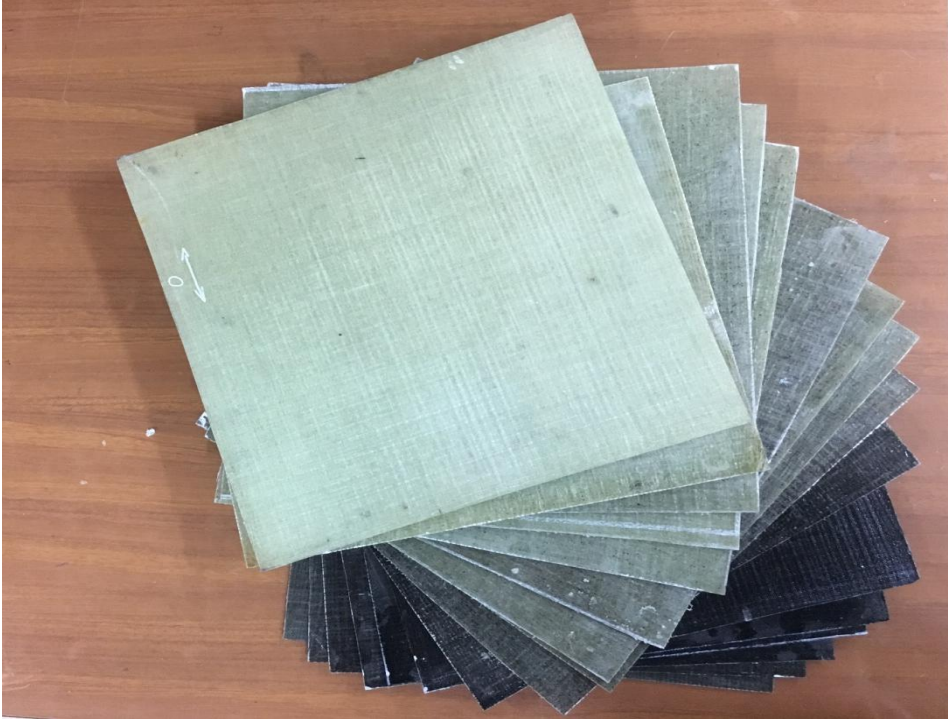
Şekil 3.6: Kürlendirme işlemi sonrası kompozit plakalar.

K rlenen kompozit plakalar Şekil 3.7 da görüldüğü gibi kompozit  apak alma makinası ile çapakları alınarak 30x30 cm ebatlarına getirilmiştir.



Şekil 3.7: Kompozit plakaların çapaklarının alınması.

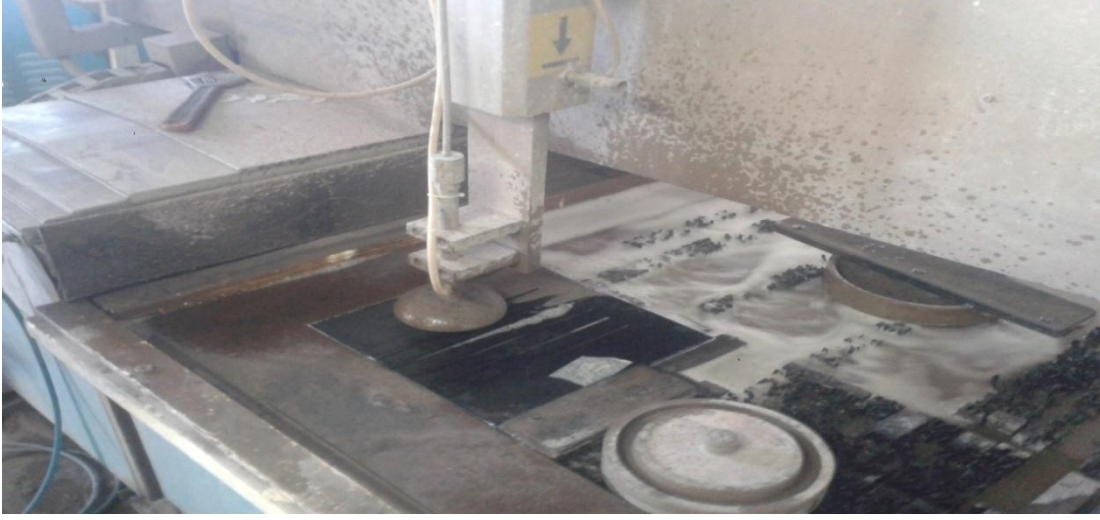
30x30 cm ebatlarında ~ 2,5 mm kalınlığında 13 plaka üretilmiştir(Şekil 3.8).



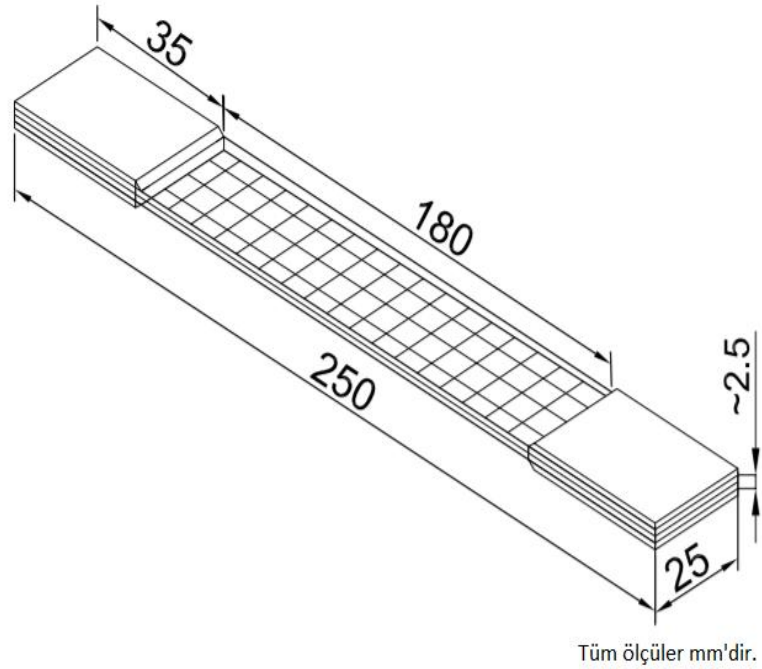
Şekil 3.8: Üretilen 30X30 cm kompozit plakalar

3.2.5 Kompozit Plakaların Su jeti İle Kesilmesi

Hazırlanan plakalar Denizli'de faaliyet gösteren Kardeş Cam firmasında Şekil 3.9 da görüldüğü gibi su jeti ile ASTM D3039 standardına (Şekil 3.10) göre 250x25 mm ebatlarında kesilerek mekanik ve karakterizasyon testleri için deney numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 3.9: Su jeti ile plakaların kesilmesi.



Şekil 3.10: Deney numunesinin teknik resim çizimi.

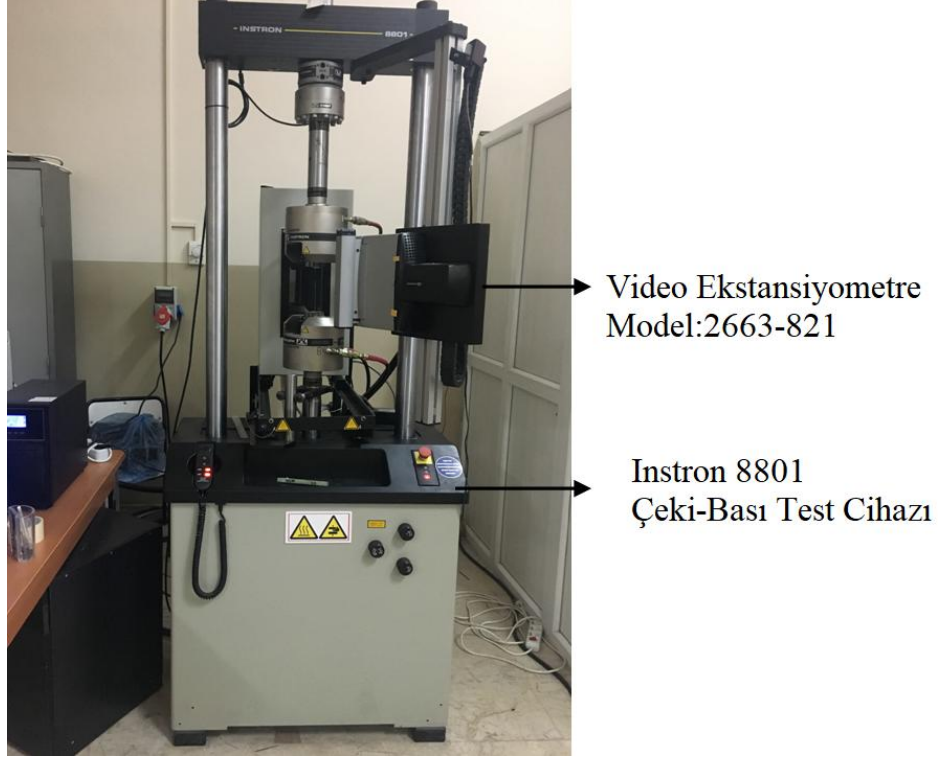
3.3 Mekanik Testler

Atık lastik çarı ve karbon nanotüp katkılarıyla hazırlanan plakalar ve katkısız plakanın mekanik özelliklerin tespiti için çekme ve burkulma deneyleri yapılmıştır.

3.3.1 Çekme Deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin statik yük altındaki mekanik özelliklerini belirlemek ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla uygulanan bir mekanik deneydir. Bu deney, mekanik özellikleri belirlemek amacıyla bir deney numunesinin, genellikle kopuncaya kadar, gerilmesini kapsar. Çekme deneyi yardımıyla elastisite modülü (E), elastiklik sınırı, akma gerilmesi, çekme dayanımı (maksimum gerilme), uzama (%) ve kesit daralması (%) gibi özellikler belirlenebilir (Genç 2006).

Çalışmada üretilen katkısız, % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında karbon nanotüp katkılı ve % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında atık lastikten kimyasal bozundurmaya üretilmiş atık lastik çarı katkılı kompozit numunelerin tek ekseninde çekme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde katkısız ve katkı oranları belirlenmiş her bir malzeme için 3 deney yapılmış ve bunların ortalamaları alınmıştır. Deneyler Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik A.B.D da bulunan Şekil 3.11 de görülen 50 kN kapasiteli Instron 8081 çekme-basma cihazında gerçekleştirilmiştir ve numunelerin uzaması video ekstansiyometre ile ölçülmüştür. Çekme hızı 1 mm/sn olarak alınmıştır. Bu ölçümler sonucunda boyuna elastisite modülü (E_1) ve boyuna çekme mukavemeti (X_t) parametreleri otomatik olarak bilgisayar tarafından kaydedilmiş ve grafikleri çizdirilmiştir.



Şekil 3.11:Instron çekme-basma test cihazı.

3.3.2 Burkulma Deneyi

Burkulma deneyleri Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü Mekaniğin A.B.D da bulunan 50 kN kapasiteli Instron 8801 çekme basma cihazında gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri 180 mm boyutlarında kalacak şekilde deney cihazına yerleştirilmiştir. Deneyler de aynı katkı oranlarına sahip numuneler için 3'er defa tekrarlanmıştır. Katkısız ve 12 katkılı numune olmak üzere 39 deney yapılmıştır ve kuvvet-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Burkulma deney düzeneği Şekil 3.12 de gösterilmiştir.



Şekil 3.12:Burkulma deney düzeneği

3.4 Karakterizasyon

Karakterizasyon çalışmalarında atık lastik çarı, karbon nanotüp katkılı hazırlanan plakalar ve katkısız plakanın fonksiyonel grupları ve mikroyapısı belirlenmiştir.

3.4.1 Fonksiyonel grupların analizi (FT-IR)

Molekölü oluşturan atomların titreşim hareketinin frekansı, kırmızıaltı bölgesine karşı geldiği bilinmektedir. Bu hareket veya titreşimler bir elektromanyetik dalgayla etkileşimi sonucu yani kırmızıaltı ışınımı ile rezonansa girerler. FT-IR tekniği ise bu ışınımın etkileşmeden önceki şiddetini ve etkileştikten sonraki şiddetini ışınımın frekansı cinsinden hesaplayarak verir. Bu amaçla kırmızıaltı spektrumu, şiddet oranının frekansa olan bağımlılığı ile karşımıza çıkmaktadır. Bu sayede örnek içindeki kimyasal bantların analizi gerçekleştirilerek şiddetin frekansa bağımlılığındaki değişim hassas olarak belirlenebilmektedir. Dahası diğer tekniklerle algılanamayan veya zayıf bir şekilde algılanan sinyalleri FT-IR ile yüksek hassasiyetle ölçmek mümkündür (Tural 2008). Atık lastik çarı, karbon nanotüp katkılı hazırlanan plakalar ve

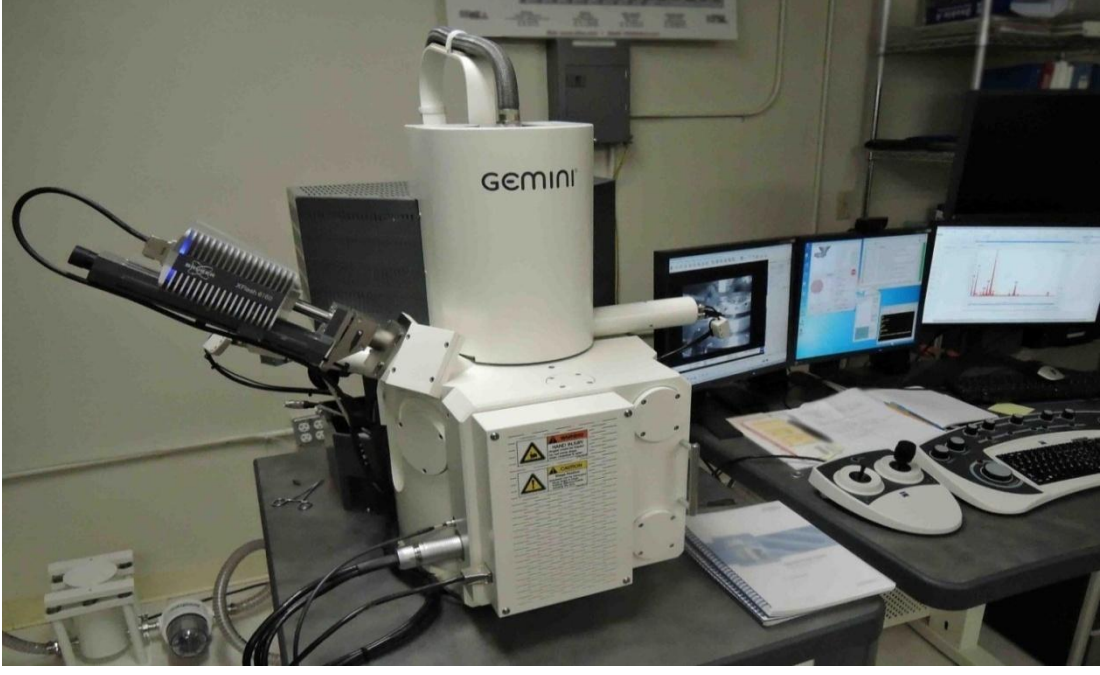
katkısız plakanın fonksiyonel gruplarının analizi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Şekil 3.13 de görülen Perkin Elmer Spectrum 100 model fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FT-IR) ile yapılmıştır. Analizler, $400-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu tarama aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13: Perkin Elmer spectrum 100 model fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre (FT-IR).

3.4.2 Mikroyapı ve morfoloji analizi (SEM)

Atık lastik çarı, karbon nanotüp katkılı hazırlanan plakalar ve katkısız plakanın morfolojik yapısı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Şekil 3.14 de gösterilen SEM-ZEISS Supra 40VP taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir.



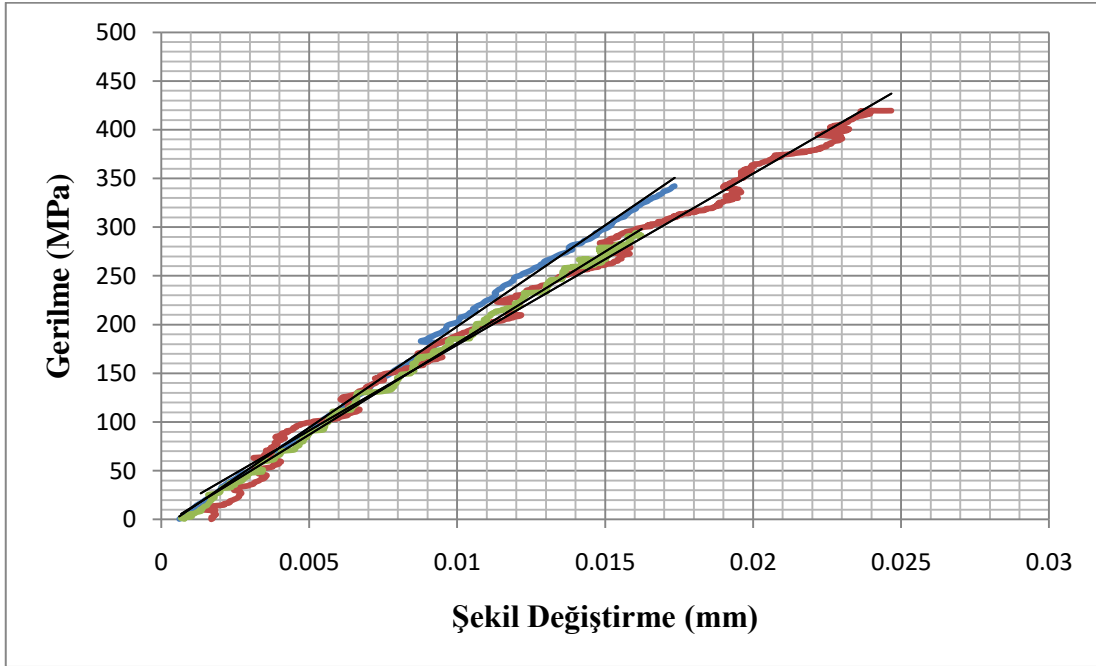
Şekil 3.14: SEM-ZEISS Supra 40VP taramalı elektron mikroskobu(SEM).

4. BULGULAR

Hazırlanan plakaların ebatları boyu (l) 250 mm ve eni (w) 25 mm'dir. Kullanılan tek yönlü fiberler 0 yönünden başlayarak 0-90 olarak 9 kat dizilmiştir. Bu dizilim yönüne göre 1 yönüne ait tüm numuneler için burkulma ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ancak 12 (45⁰) yönüne ait numuneler için sadece çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre belirlenen en uygun katkı oranlı numunelere ve katkısız numuneye FT-IR ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.1 Çekme Deney Verileri

Çekme deneyleri sonunda cihazdan elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafikleri (EK A) yardımıyla maksimum yük altında kopma yük ve çekme gerilme değerleri belirlenmiştir. % 0,5 karbon nanotüp katkılı numune için çekme cihazından elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği örnek olarak Şekil 4.1'de verilmiştir.

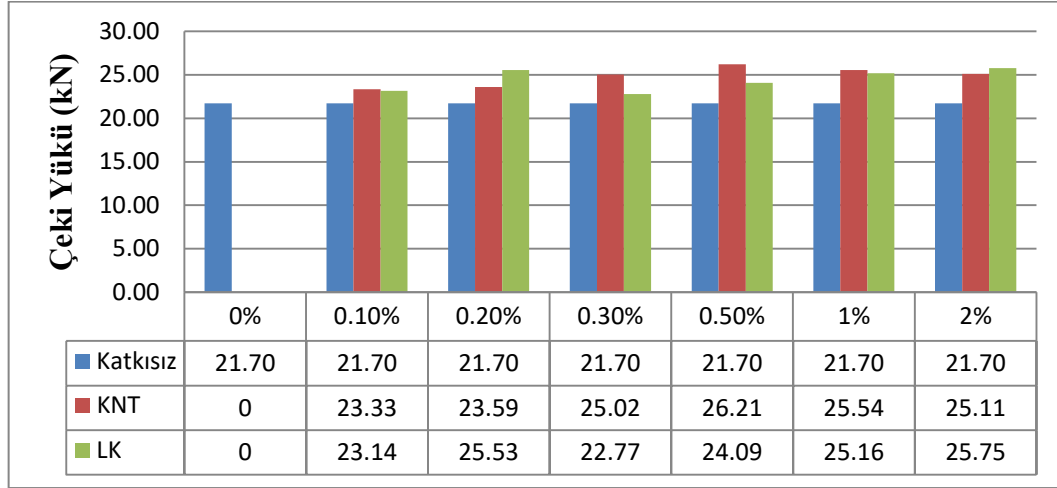


Şekil 4.1: %0,5 Karbon nanotüp katkılı numuneye ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.

4.1.1 1 Yönündeki Deney Verileri

4.1.1.1 Maksimum Yük Altında Kopma Yüğü Verileri

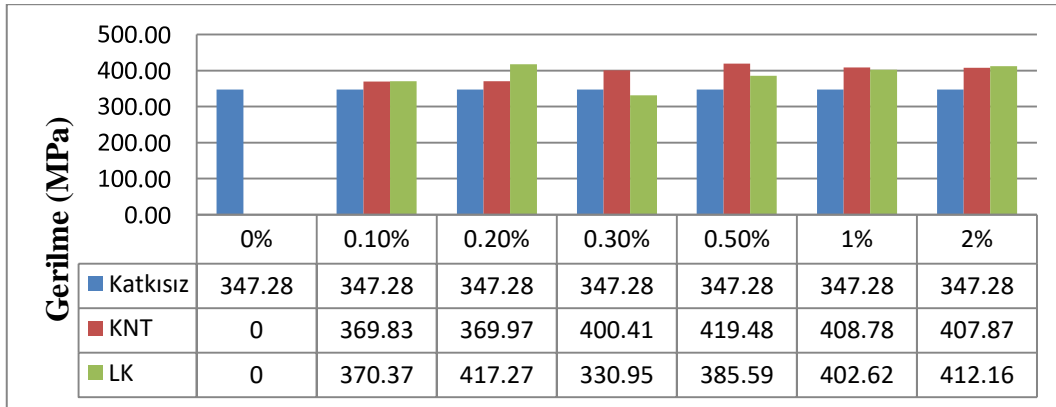
Katkı maddesi oranlarına göre 1 yönünde maksimum yük altında kopma yük verileri Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında kopma yükü grafiği.

4.1.1.2 Maksimum Yük Altında Çekme Gerilmesi Verileri

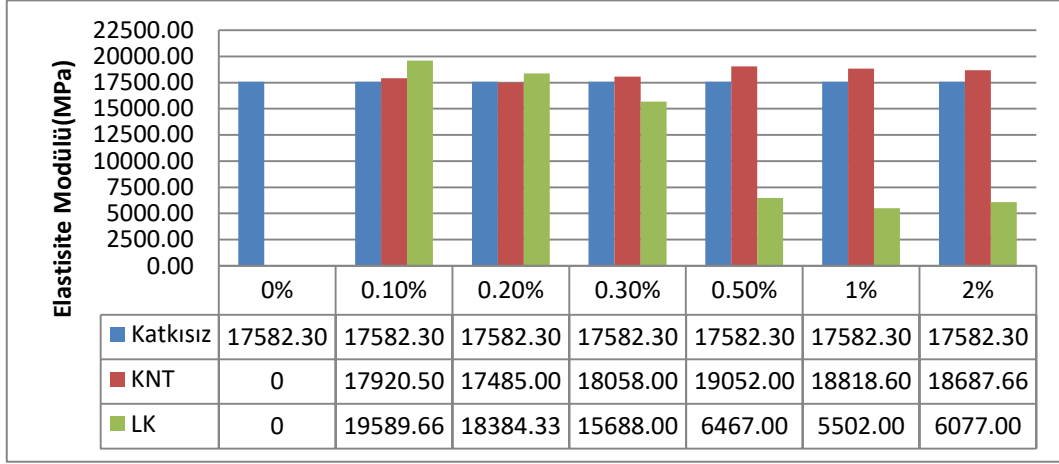
Katkı maddesi oranlarına göre 1 yönünde maksimum yük altında çekme gerilme değerleri Şekil 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.3: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında çekme gerilmesi grafiği

4.1.1.3 Elastisite Modülü Verileri

Katkı maddesi oranlarına göre 1 yönünde elastisite modülleri (E_1) değerleri Şekil 4.4 de verilmiştir.

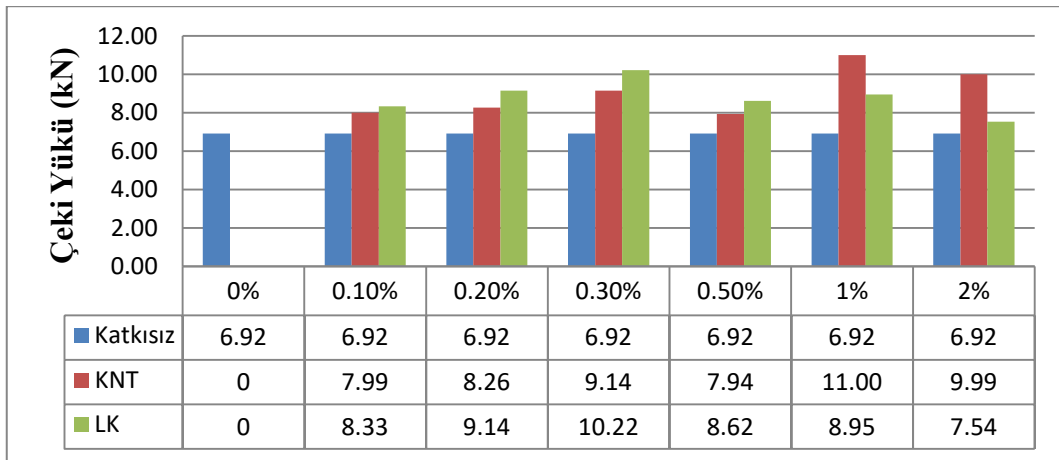


Şekil 4.4: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre elastisite modülü grafiği

4.1.2 1-2 (45^0) Yönündeki Deney Verileri

4.1.2.1 Maksimum Yük Altında Kopma Yükü Verileri

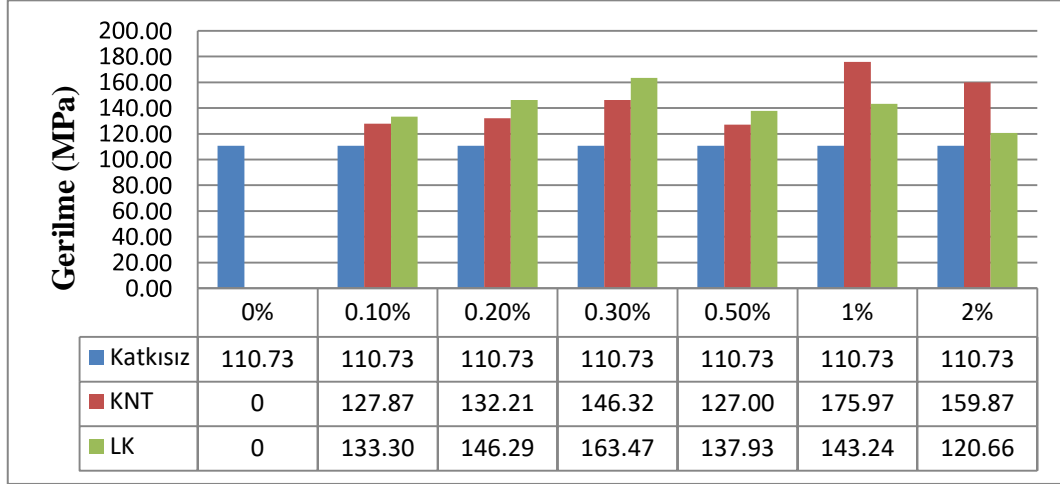
Katkı maddesi oranlarına göre 1-2 (45^0) yönünde maksimum yük altında kopma yük değerleri Şekil 4.5 de verilmiştir.



Şekil 4.5: 1-2 (45^0) Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında kopma yükü grafiği.

4.1.2.2 Maksimum Yük Altında Çekme Gerilmesi Verileri

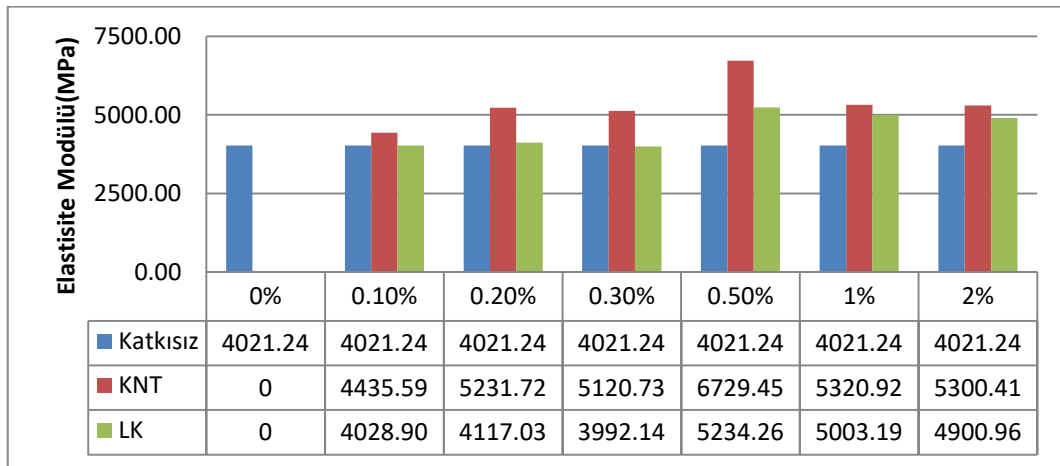
Katkı maddesi oranlarına göre 1-2 (45^0) yönünde maksimum yük altında çekme gerilme değerleri Şekil 4.6 de verilmiştir.



Şekil 4.6: 1-2 (45^0) Yönünde katkı maddesi oranlarına göre maksimum yük altında çekme gerilmesi grafiği.

4.1.2.3 Elastisite Modülü Verileri

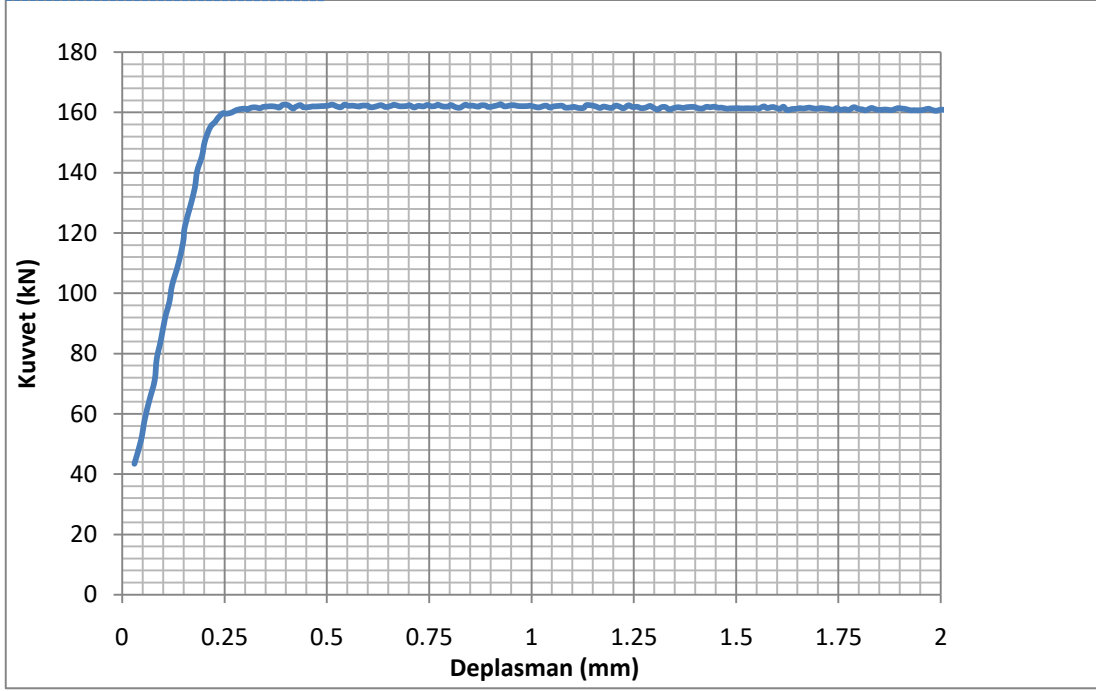
Katkı maddesi oranlarına göre 1-2 (45^0) yönünde elastisite modül (E_{12}) değerleri Şekil 4.7 de verilmiştir.



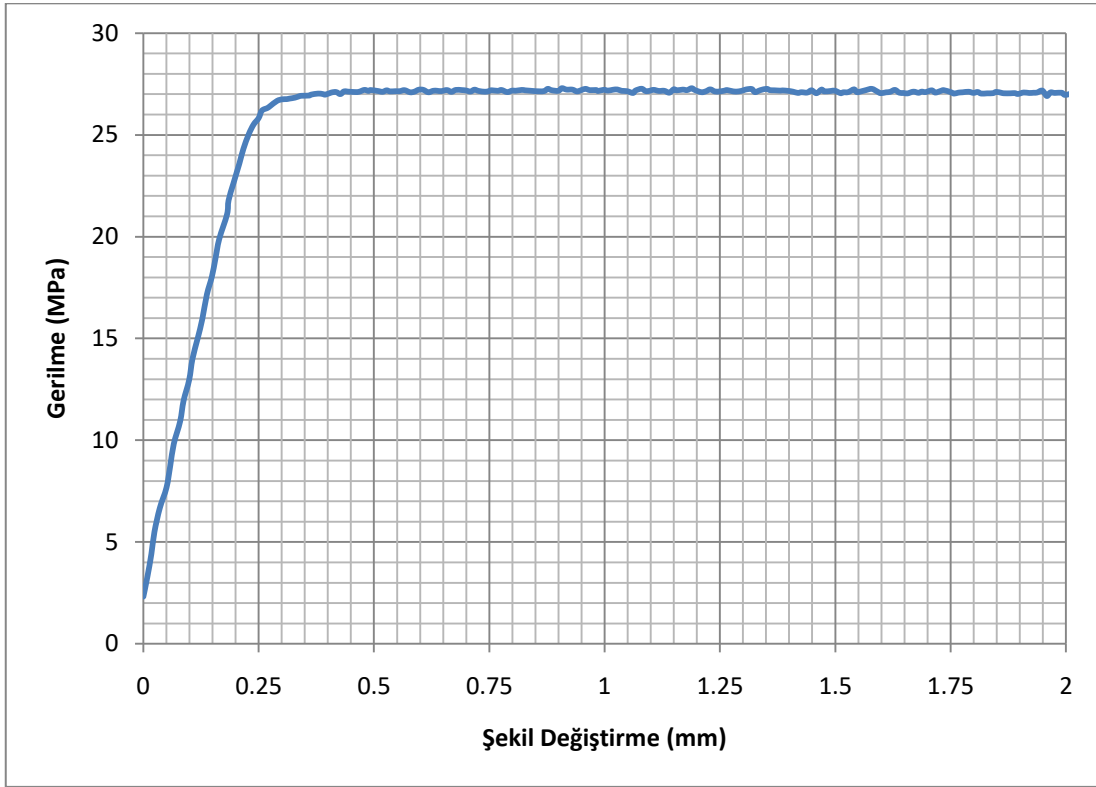
Şekil 4.7: 1-2 (45^0) Yönünde katkı maddesi oranlarına göre elastisite modülü grafiği

4.2 1 Yönüne Ait Burkulma Deney Verileri

Burkulma deneyleri sonunda cihazdan elde edilen kuvvet-deplasman ve gerilme-deplasman grafikleri (EK B) yardımıyla kritik burkulma yükleri ve kritik burkulma gerilmesi değerleri belirlenmiştir. % 0,5 karbon nanotüp katkılı numune için burkulma cihazından elde edilen kuvvet-deplasman grafiği (Şekil 4.8) ve gerilme-deplasman grafiği (Şekil 4.9) örnek olarak verilmiştir.

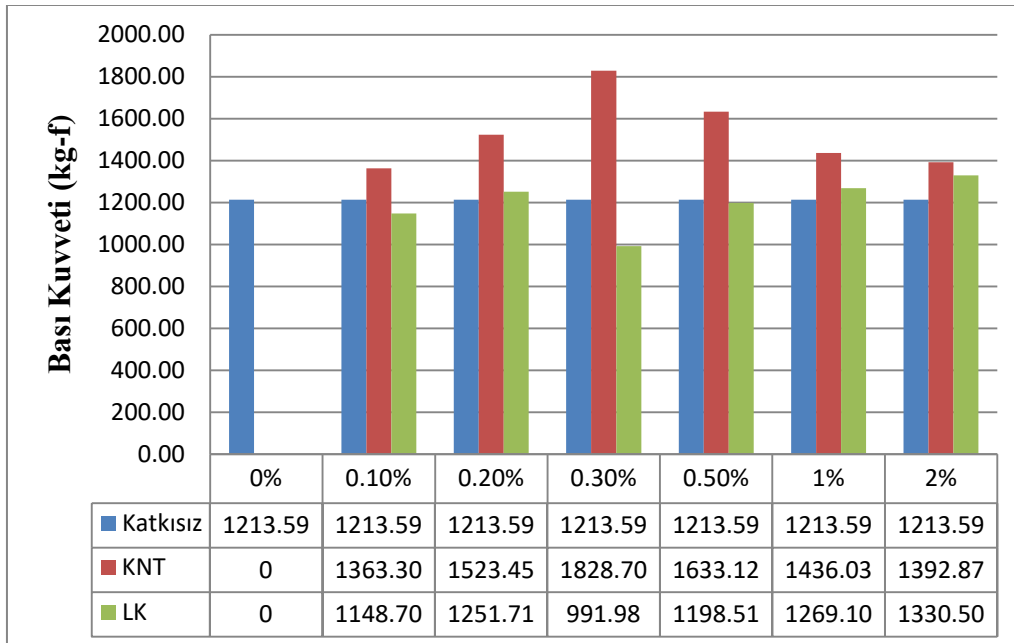


Şekil 4.8: % 0,5 Karbon nanotüp katkılı numuneye ait kuvvet-deplasman grafiği.



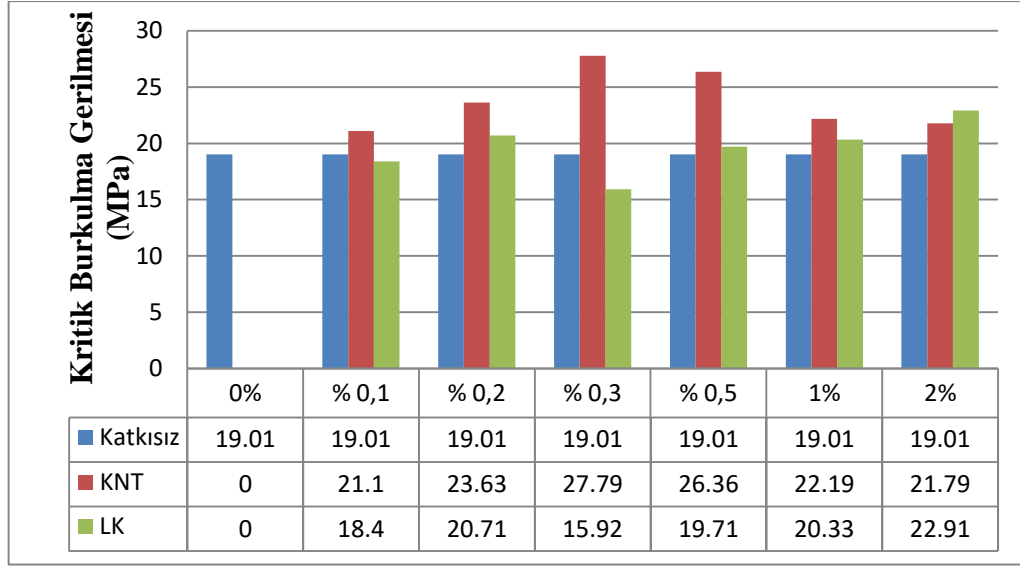
Şekil 4.9: % 0,5 Karbon nanotüp katkılı numuneye ait gerilme-deplasman grafiği.

Katkı maddesi oranlarına göre 1 yönünde kritik burkulma kuvveti değerleri Şekil 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.10: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre kritik burkulma kuvveti (P_{cr}) grafiği.

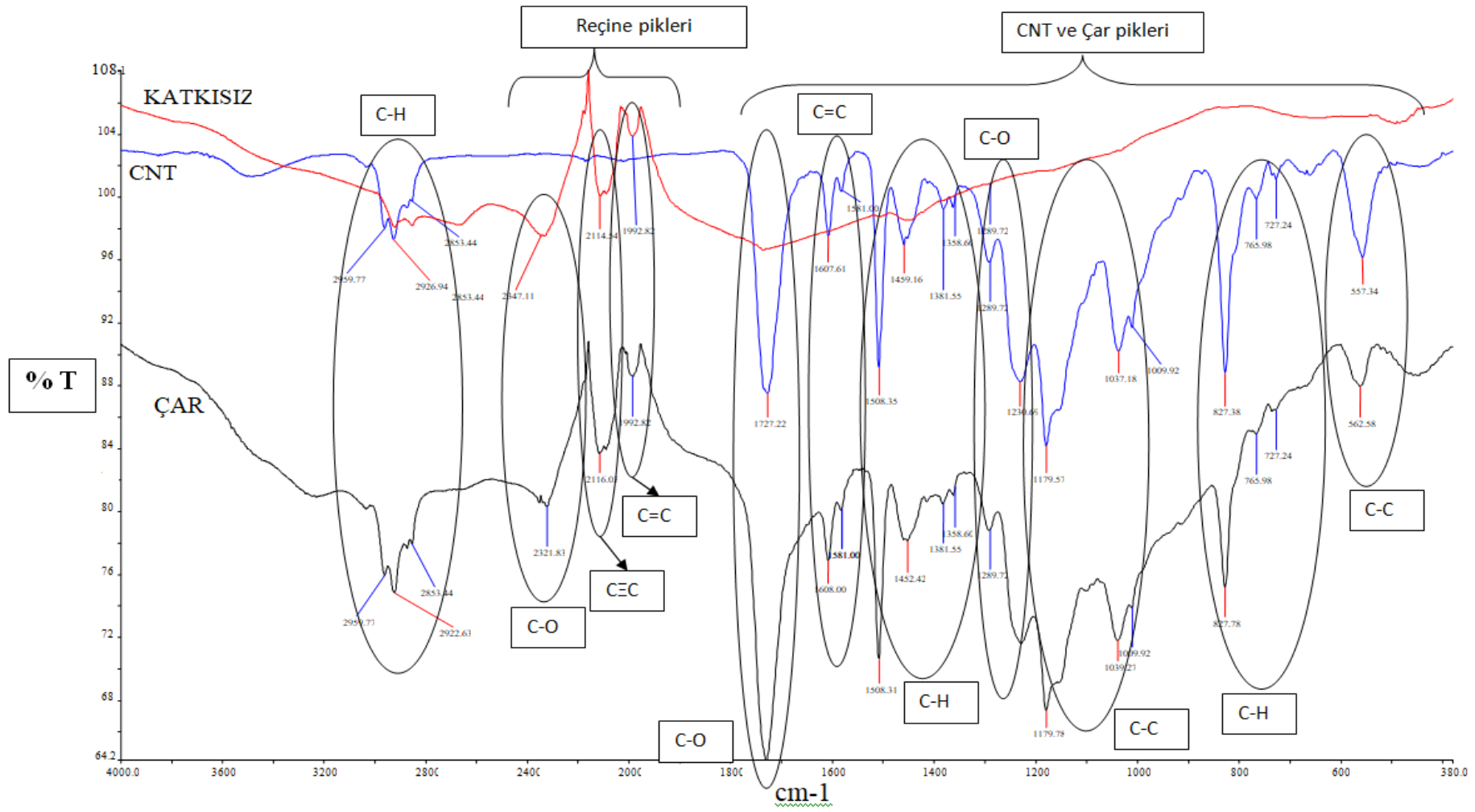
Katkı maddesi oranlarına göre 1 yönünde kritik burkulma gerilme değerleri Şekil 4.11 de verilmiştir.



Şekil 4.11: 1 Yönünde katkı maddesi oranlarına göre kritik burkulma gerilmesi grafiği.

4.3 Fonksiyonel Grupların Analiz (FT-IR) Verileri

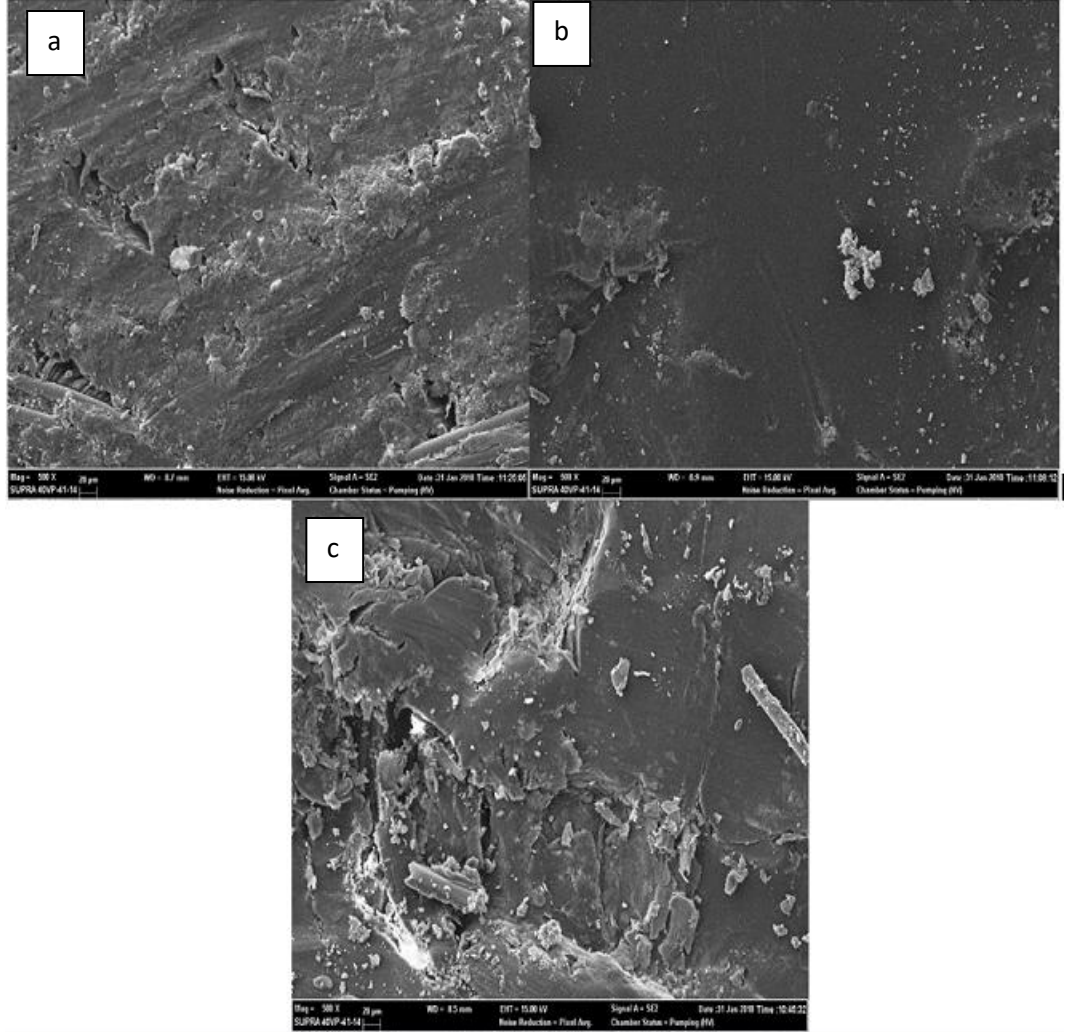
Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların FT-IR spektrumları Şekil 4.12 de verilmiştir.



Şekil 4.12: Katkısız, % 0,3 Karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların fonksiyonel gruplarının analiz (FT-IR) grafiği

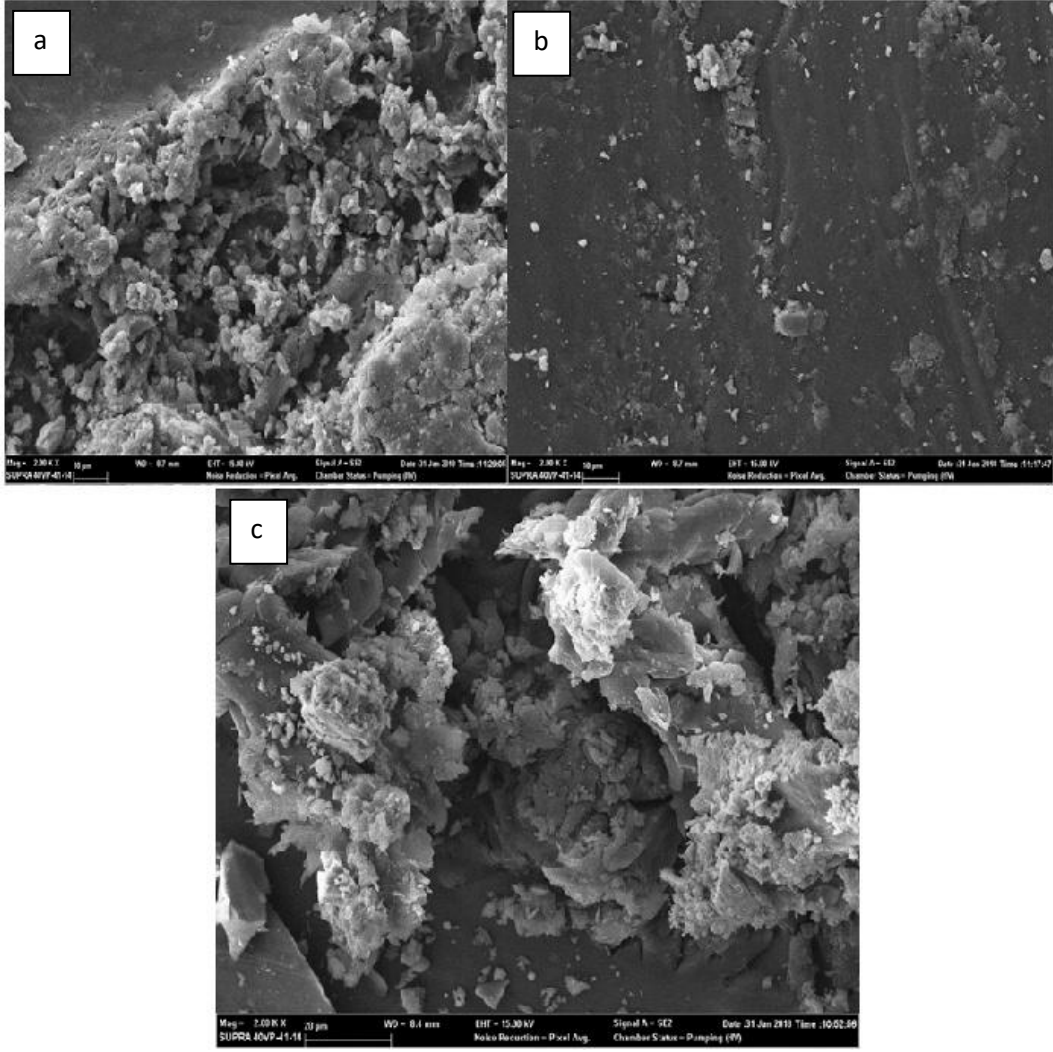
4.4 Mikroyapı ve Morfoloji Analizi (SEM)

Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların 500X SEM görüntüleri Şekil 4.13 de verilmiştir.



Şekil 4.13: Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların 500X SEM görüntüleri (a: katkısız 500X, 20µm; b: % 0,3 karbon nanotüp katkılı 500X, 20µm; c: atık lastik çarı 500X, 20µm)

Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların 2.00 KX SEM görüntüleri Şekil 4.14 de verilmiştir.



Şekil 4.14: Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkılı kompozit plakaların 2.00 KX SEM görüntüleri (a: katkısız 2.00 KX, 10 µm; b: % 0,3 karbon nanotüp katkılı 2.00 KX, 20 µm; c: atık lastik çarı 2.00 K X, 20 µm)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kompozit malzemelerin kullanım alanlarının artması kompozit malzeme alanındaki çalışmalarını son yıllarda artırmıştır. Ancak kompozitler içerisinde kullanılan malzemelerin yüksek maliyetli oluşu sebebiyle bu malzemelere yakın veya daha iyi mekanik özellikler kazandırabilecek yeni malzeme arayışları başlamıştır. Bu arayışlar doğrultusunda bu tez kapsamında yüksek maliyetli olan karbon nanotüp alternatif olması amacıyla daha düşük maliyetli atık lastikten kimyasal bozundurmaya üretilmiş olan atık lastik çarın kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu mekanik özellikleri karşılaştırmak amacıyla çekme ve burkulma deneyleri yapılmıştır.

Çekme ve burkulma deneyleri için gerekli olan numunelerin plakaları İzoreel firmasında kontrollü olarak yapılmıştır. Plakalar katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı olarak üretilmiştir. Ayrıca karbon nanotüp katkılı plakalar ağırlıkça % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında olmak üzere 6 adet ve atık lastik çarı katkılı plakalardan ise ağırlıkça % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 oranlarında olmak üzere 6 adet üretilmiştir. Her bir plakadan 10'ar adet numune elde edilmiştir.

5.1 Çekme Deney Sonuçları

5.1.1 1 Yönlü Çekme Deney Sonuçları

1 yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların çekme deneyleri sonucunda maksimum yük altında kopma yük değerleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Katkısız numunenin kopma yük ortalaması 21,7 kN'dur. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek kopma yük ortalamaları sırasıyla 25,53kN ve 25,75 kN değerleri ile ağırlıkça % 0,2 ve %2 oranlara ait numunelerde görülmüştür. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek kopma yük ortalama değeri %0,5 katkı oranı için 26,21 kN'dur. Ayrıca ağırlıkça %0,3;%1;%2 karbon nanotüp katkı oranları için sırasıyla 25,2 kN, 25,54 kN ve 25,11 kN verileri ile bu oranlar için yaklaşık kopma yük ortalama değerleri belirlenmiştir.

1 yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların çekme deneyleri sonunda maksimum yük altında çekme gerilme değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir. Katkısız numunenin çekme gerilme ortalaması 347,28 MPa'dır. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek çekme gerilme ortalamaları sırasıyla 417,27 MPa ve 412,16 MPa değerleri ile ağırlıkça % 0,2 ve %2 oranlara ait numunelerde tespit edilmiştir. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek çekme gerilme ortalama değeri ağırlıkça %0,5 katkı oranı için 419,48 MPa'dır.

1 yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların çekme deneyleri sonunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.4'de görülmektedir. Katkısız numunenin elastisite modül ortalaması 17582,3 MPa'dır. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek elastisite modül ortalamaları sırasıyla 19589,66 MPa ve 18384,33 MPa değerleri ile % 0,1 ve %0,2 oranlara ait numunelerde olduğu görülmüştür. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek elastisite modül ortalama değeri %0,5 katkı oranı için 19052,0 MPa'dır.

5.1.2 12 (45⁰) Yönlü Çekme Deney Sonuçları

12 (45⁰) yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların çekme deneyleri sonunda maksimum yük altında kopma yük değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Katkısız numunenin kopma yük ortalaması 6,92 kN'dur. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek kopma yük ortalamaları sırasıyla 10,22 kN ve 9,14 kN değerleri ile ağırlıkça % 0,3 ve %0,2 oranlara ait numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek kopma yük ortalama değeri ağırlıkça %1 katkı oranı için 10,99 kN'dur. Ayrıca ağırlıkça %0,3;%2 karbon nanotüp katkı oranları için sırasıyla 9,14 kN ve 9,99 kN verileri ile bu oranlar için yaklaşık kopma yük ortalama değerleri belirlenmiştir.

12 (45⁰) yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların çekme deneyleri sonunda maksimum yük altında çekme gerilme değerleri Şekil 4.6'da görülmektedir. Katkısız numunenin çekme gerilme ortalaması 110,73 MPa'dır. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek çekme gerilme ortalama değeri ağırlıkça %0,3 katkı oranı için 163,47 MPa'dır. Ayrıca ağırlıkça %0,2 ve %1 atık lastik çarı katkı oranları için sırasıyla 146,29 kN ve 143,24 kN verileri ile bu oranlar

için yaklaşık çekme gerilme ortalama değerleri belirlenmiştir. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek çekme gerilme ortalama değeri ağırlıkça %1 katkı oranı için 175,97 MPa'dır.

12 (45⁰) yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların çekme deneyleri sonunda elastisite modülü değerleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Katkısız numunenin elastisite modül ortalaması 4521,24 MPa'dır. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek elastisite modül ortalama değeri %0,5 katkı oranı için 5234,26 MPa'dır. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek elastisite modül ortalama değeri %0,5 katkı oranı için 6729,45 MPa'dır. Dahası %1 ve %2 karbon nanotüp katkı oranları için sırasıyla 5320,92 MPa ve 5300,41 MPa verileri ile bu oranların yaklaşık elastisite modül ortalama değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.

Çekme deneyi sonuçlarında 1 yönlü numunelerin epoksi içerisindeki karbon nanotüpün ağırlıkça % 0,5 oranında doyuma ulaştığı ve % 0,5 den sonra bağ kuramamasından dolayı negatif etki oluşturduğu düşünülmektedir. Dahası literatürde karbon nanotüp katkılı epoksi kompozit malzemelerde doygunluk noktasına kadar epoksi reçinesi ile bağ kurabildiği ve doygunluk noktasından sonra bağ kuramadığı belirtilmiştir (Alloui ve diğ. 2002; Motozari ve diğ. 2010; Lau ve Shi 2002). Bu sonuçlar literatürde verilen bilgiyi desteklemektedir.

Sonuç olarak, statik elektrik yüklü atık lastik çarı tanelerinin birbirlerini itmelerinden dolayı epoksi reçinesi içinde homojen dağılmamaları nedeniyle 1 ve 12 (45⁰) yönlü numunelerin çekme deneyi sonuçlarında atık lastik çarı verileri düzensizdir. Dahası epoksi içerisindeki karbon nanotüp partikülleri matris içerisinde homojen olarak dağılmıştır. Ayrıca atık lastiğin kimyasal bozundurulması sırasında karbonun farklı fiziksel özelliklerde oluştuğu düşünülmektedir. Bunun sonucunda da çekme deneyi sırasında çentik etkisi gösterdiği öngörülmektedir.

5.2 Burkulma Deney Sonuçları

1 yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların burkulma deneyleri sonunda kritik burkulma kuvveti değerleri Şekil 4.10'da

görülmektedir. Katkısız numunenin kritik burkulma kuvveti 1213,59 N'dur. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek kritik burkulma kuvveti değeri %2 katkı oranı için 1330,5 N'dur. Dahası %1 ve %0,2 atık lastik çarı katkı oranları için sırasıyla 1269,1 N ve 1251,71 N verileri ile bu oranlar için yaklaşık kritik burkulma kuvveti değerleri belirlenmiştir. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek kritik burkulma kuvveti değeri %0,3 katkı oranı için 1828,7 N'dur.

1 yönüne ait katkısız, karbon nanotüp ve atık lastik çarı katkılı plakaların burkulma deneyleri sonunda kritik burkulma gerilme değerleri Şekil 4.11'de verilmiştir. Katkısız numunenin kritik burkulma gerilme değeri 19,01 MPa'dır. Atık lastik çarı katkısına ait en yüksek kritik burkulma gerilme değeri %2 katkı oranı için 22,91 MPa'dır. Dahası %0,2 ve %1 atık lastik çarı katkı oranları için sırasıyla 20,71 MPa ve 20,33 MPa verileri ile bu oranlar için yaklaşık kritik burkulma gerilme değerleri belirlenmiştir. Karbon nanotüp katkısına ait en yüksek kritik burkulma gerilme değeri %0,3 katkı oranı için 27,79 MPa'dır.

Burkulma deneyi sonuçlarına göre çekme deneyleri sonuçlarında olduğu gibi atık lastik çarı epoksi reçine içerisinde homojen dağılamadığı ve bundan dolayı epoksi reçinesi ve atık lastik çarı arasında bağ kurulamadığı düşünülmektedir.

5.3 Fonksiyonel Grupları Analiz (FT-IR) Sonuçları

Çekme ve burkulma deney sonuçlarına göre atık lastik çarı için en uygun oran olarak belirlenen %0,2 katkı oranı ve burkulma deneyi sonuçlarına göre katkısız, karbon nanotüp için % 0,3 katkı oranına sahip numunelerin FT-IR spektrumu Şekil 4.12 de verilmiştir. Katkısız numunede $\sim 2300 \text{ cm}^{-1}$ C-O (Liu diğ. 2012), $\sim 2100 \text{ cm}^{-1}$ $\text{C}\equiv\text{C}$ (OChemOnline 2011), $2000\text{-}1900 \text{ cm}^{-1}$ C=C (Çetinkaya 2015) pikleri tespit edilmiştir. Lastik çarı katkılı numunede katkısız numunede gözelenen piklerin yanında $3000\text{-}2800 \text{ cm}^{-1}$ C-H (Tiryaki 2013), $\sim 1700 \text{ cm}^{-1}$ C-O titreşim piki (Çetinkaya 2015), $\sim 1600 \text{ cm}^{-1}$ C=C (Sarıcı Özdemir 2008), $1500\text{-}1300 \text{ cm}^{-1}$ C-H (Tiryaki 2013; Çetişli 2013), $1300\text{-}1000 \text{ cm}^{-1}$ C-O (Tiryaki 2013), $1200\text{-}1000 \text{ cm}^{-1}$ C-C (Sarıcı Özdemir 2008; Merey 2015), $900\text{-}700 \text{ cm}^{-1}$ C-H (OChemOnline 2011), $\sim 500 \text{ cm}^{-1}$ C-C (Tiryaki 2013) pikleri belirlenmiştir. CNT katkılı numunede katkısız numunede gözelenen pikler gözlenmemiştir, ancak lastik çarı katkılı numunede

gözlenen karbon kaynaklı pikler CNT katkılı numunede 3000-2800 cm^{-1} C-H (Tiryaki 2013), ~1700 cm^{-1} C-O titreşim piki (Çetinkaya 2015), ~1600 cm^{-1} C=C (Sarıcı Özdemir 2008), 1500-1300 cm^{-1} C-H (Tiryaki 2013; Çetişli 2013), 1300-1000 cm^{-1} C-O (Tiryaki 2013), 1200-1000 cm^{-1} C-C (Sarıcı Özdemir 2008; Merey, 2015), 900-700 cm^{-1} C-H (OChemOnline 2011), ~500 cm^{-1} C-C (Tiryaki 2013) pikleri gözlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında CNT katkılı plakada CNT'ün epoksi reçinesi ile bağ oluşturduğu, fakat lastik çarı ve epoksi reçinesi arasında herhangi bir bağ gerçekleştirmediği düşünülmektedir.

Katkısız, % 0,3 karbon nanotüp ve % 0,2 atık lastik çarı katkı oranlı kompozit plakaların SEM görüntüleri incelendiğinde CNT'ün epoksi reçinesi ile bağ kurması nedeniyle % 0,3 karbon nanotüp katkı oranlı plakanın homojen bir yüzeye sahip olduğu, ancak atık lastik çarının epoksi reçinesi ile bağ kuramaması nedeniyle % 0,2 atık lastik çarı katkı oranlı plakanın heterojen bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.13-14).

5.4 Öneriler

Yapılan deneyler sonucunda kompozit malzemelerde katkısız, karbon nanotüp katkılı ve atık lastik çarı katkılı numuneler karşılaştırılmıştır. Katkılı plakaların katkısız plakalara göre genel olarak mukavemetlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca karbon nanotüp katkılı numuneler ile atık lastik çarı katkılı numunelerin karbon esaslı olmalarına rağmen deneysel çalışmalar sonunda farklı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bundan dolayı atık lastik çarının şuan ki koşullarda katkı maddesi olarak kullanılmasının uygun olmadığı gözlenmiştir. Ancak atık lastik çarının bir dizi kimyasal ve fiziksel işlemlerden geçirilerek iç yapısında yapılacak değişikliklerle karbon nanotüpe alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Karbon nanotüp katkılı çalışmalarda ise % 0,1;0,2;0,3;0,5;1;2 karbon nanotüp katkı oranlarına ait burkulma deneyi sonuçlarına göre % 0,3 katkı oranının burkulma elemanı olarak kullanılacak en uygun katkı oranı olduğu belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

ASTM D 3039/D 3039M-00, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia (1990).

Allaoui, A., Bai, S., Cheng, H.M. and Bai, J.B., 2002, Mechanical and electrical properties of a MWNT / epoxy composite, *Composite Science and Technology*, 62, 1993-1998.

Taya, M. and Arsenault, R.J., "Metal matrix composites-thermal and mechanical behaviour", *Pergamon Pres*,(1988).

Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş." Seçkin Yayıncılık, Ankara, 424. (2006).

Kaw, K. A., "Mechanics of Composite Materials" CRC Taylor and Francis Group, London New York (2005).

Balasubramanian, M., "Composite Materials and Processing" CRC Press Taylor and Francis Group, London New York (2013).

Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Ioannidis, M. B., and Papapostolou, D. P. "Crashworthy characteristics of axially statically compressed thin-walled square CFRP composite tubes: experimental." *Composite Structures* 63 (3), 347-360, (2004).

Savage, G., I. Bomphray, and M. Oxley. "Exploiting the fracture properties of carbon fibre composites to design lightweight energy absorbing structures." *Engineering Failure Analysis* 11 (5), 677-694,(2004).

Ersoy, M. S.,Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kahramanmaraş(2005).

Karagizova, D., Nurick, G. N., and Yuen, S. C. K. "Energy absorption of aluminium alloy circular and square tubes under an axial explosive load." *Thin-Walled Structures* 43.(6), 956-982, (2005).

Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Ioannidis, M. B., and Papapostolou, D. P. "On the response of thin-walled CFRP composite tubular components subjected to

static and dynamic axial compressive loading: experimental." *Composite Structures* 69 (4), 407-420, (2005).

Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Ioannidis, M. B., and Papapostolou, D. P. "The static and dynamic axial collapse of CFRP square tubes: finite element modelling." *Composite Structures* 74 (2), 213-225, (2006).

Moniruzzaman, M. and Winey, K.I., "Polymer nanocomposites containing carbon nanotubes", *Macromolecules*, 39, 5194-5205, (2006).

Mafhuz, H., Adnan, A., Rangari, V. and Jeelani, S., " Enhancement of strength and stiffness of nylon 6 filaments through carbon nanotube reinforcement", *Appl Phys Lett*, 88, 83-119, (2006).

Arıcasoy, O., Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul (2006).

Genç, Ç. "Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Üretim Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırması," Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kocaeli (2006).

Sarıcı Özdemir, Ç., "Çeşitli polimerik temelli atıklardan yüksek yüzey alanlı aktif karbon eldesi, karakterizasyonu ve uygulama alanları", Doktora tezi, İnönü Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Malatya (2008).

Işık, A. "Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanın Eğilme ve Burulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul (2008).

Melo, J. D. D., Silva, A. L. S., and Villena, J. E. N. " The effect of processing conditions on the energy absorption capability of composite" *Composite Structures* 82, 622-628, (2008).

Seyhan, T., Tanoglu, M. and Schulte, K., " Mode I and mode II fracture toughness of E-glass non-crimp fabric/carbon nanotube (CNT) modified polymer based composites". *Eng Fract Mech*, 75, 5151-5162, (2008).

TURAL, M., "Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerlerinin Temel ve Uygulamalı Araştırmalarda Kullanımı" Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara (2008)

Cho, J. and Daniel, I. M., "Reinforcement of carbon/epoxy composites with multi-wall carbon nanotubes and dispersion enhancing block copolymers". *Scripta Materialia*, 58 (7), 533-536, (2008).

Feraboli, P., Wade, B., Deleo, F., and Rassaian, M. "Crush energy absorption of composite channel section specimens." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40 (8), 1248-1256, (2009).

Bisagni, C. "Experimental investigation of the collapse modes and energy absorption characteristics of composite tubes." *International Journal of Crashworthiness*, 14 (4), 365-378, (2009).

Kim, M., Park, Y. B., Okoli, O. I. and Zhang, C., "Processing, characterization, and modeling of carbon nanotube-reinforced multiscale composites", *Composites Science and Technology*, 69 (3), 335-342, (2009).

Bambach, M. R. "Axial capacity and crushing behavior of metal±fiber square tubes±Steel, stainless steel and aluminum with CFRP." *Composites Part B: Engineering*, 41 (7), 550-559, (2010).

Böger, L., Sumfleth J., Hedemann, H. and Schulte, K., "Improvement of fatigue life by incorporation of nanoparticles in glass fibre reinforced epoxy", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41,1419–1424, (2010).

Grimmer, C.S. and Dharan, C.K.H., "Enhancement of delamination fatigue resistance in carbon nanotube reinforced glass fiber/polymer composites", *Composites Science and Technology*, 70, 901–908, (2010).

Godara, A., Gorbatikh, L., Kalinka, G., Warriar, A., Rochez, O., Mezzo, L., Luizi, F., Van Vuure, A.W., Lomov, S.V. and Verpoest, I., "Interfacial shear strength of a glass fiber/epoxy bonding in composites modified with carbon nanotubes", *Composites Science and Technology*, 70, 1346–1352, (2010).

Warriar, A., Godara, A., Rochez, O., Mezzo, L., Luizi, F., Gorbatikh, L., Lomov, S.V., VanVuure, A.W. and Verpoest, I., "The effect of adding carbon nanotubes to glass/epoxy composites in the fibre sizing and/or the matrix", *Composites: Part A*, 41, 532-538, (2010).

Bortz, D.B., Merino, C. and Gullon, I.M., "Carbon nanofibers enhance the fracture toughness and fatigue performance of a structural epoxy system", *Composites Science and Technology*, 71, 31–38, (2011).

Montazeri, A. and Montazeri, N., “Viscoelastic and mechanical properties of multi walled carbon nanotube/epoxy composites with different nanotube content”, *Materials and Design*, 32, 2301-2307, (2011).

Kuronuma, Y., Shindo, Y., Takeda, T. and Narita, F., “Crack growth characteristics of carbon nanotube-based polymer composites subjected to cyclic loading”, *Engineering Fracture Mechanics*, 78, 3102-3110, (2011).

Gkikas, G., Barkoula, N.M. and Paipetis, A.S., “Effect of dispersion conditions on the thermo-mechanical and toughness properties of multi walled carbon nanotubes-reinforced epoxy”, *Composites Part B: Engineering*, 43, 2697–2705, (2012).

Sozer, E., P. Simacek, and S. Advani. “Resin transfer molding (RTM) in polymer matrix composites. “ Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites, 245-309”, (2012)

Bulut, M.,” Türkiyede Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi”,Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara (2014).

Liu, Z., Li, X., Xu, X., Wang, X., Dong, C., Liu, F. and Wei, W., “Devulcanization of waste tread rubber in super critical carbon dioxide: Operating parameters and product characterization”, *Polymer Degradation and Stability*, 119: 198-207 (2015).

Tiryaki, B., “Selüloz, hemiselüloz ve ligninden aktif karbon üretimi”, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara (2013).

Çetişli, F., “Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Pirolyzisi”, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara (2013).

Durgun, İ., Vatansever, O., Ertan, R., Yavuz, N. “Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kompozit Parça İmalat Yöntemlerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması,” *Mühendis ve Makina*, 55, 649, 58-63 (2014).

Çetinkaya, M.Ş., “Badem kabuğu ve çam fıstığı kabuğundan kimyasal yöntem ile aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kahramanmaraş (2015).

Merey, G. 2015. Aletli Analiz Yöntemleri – “Infrared ve Raman Spektroskopisi” http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/gokcemerey_13.10.2015_6S3D.pdf, (02.06.2017).

OChemOnline. 2011. Infrared spectroscopy absorption table http://www.ochemonline.com/Infrared_spectroscopy_absorption_table, (02.06.2007).

Kaplan, M. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5,1, 47-53 (2017).

Balbay, Ş. “Atık Lastiklerin Kimyasal Yöntemle Bozundurulması ve Elde Edilen Ürünlerin Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bilecik (2017).

Ege nanotek. “<http://egenanotek.com/products/kisa-uzunluklu-cogul-duvarli-karbon-nanotupler-10-20nm-95/>”, (18.04. 2018).

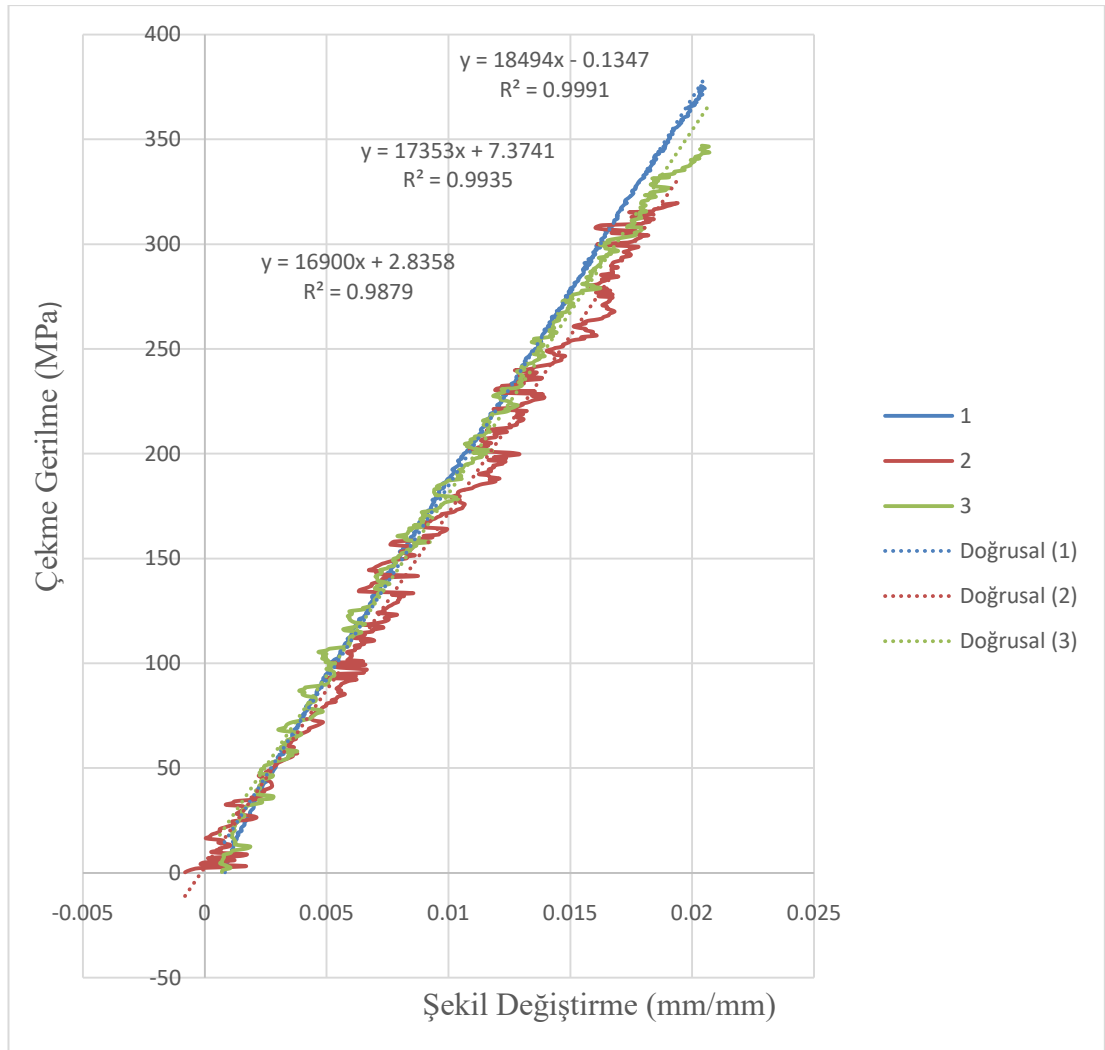
Teknik Tekstil. “<http://tekstilteknik.blogspot.com.tr>”, (16.04.2018).

EKLER

7. EKLER

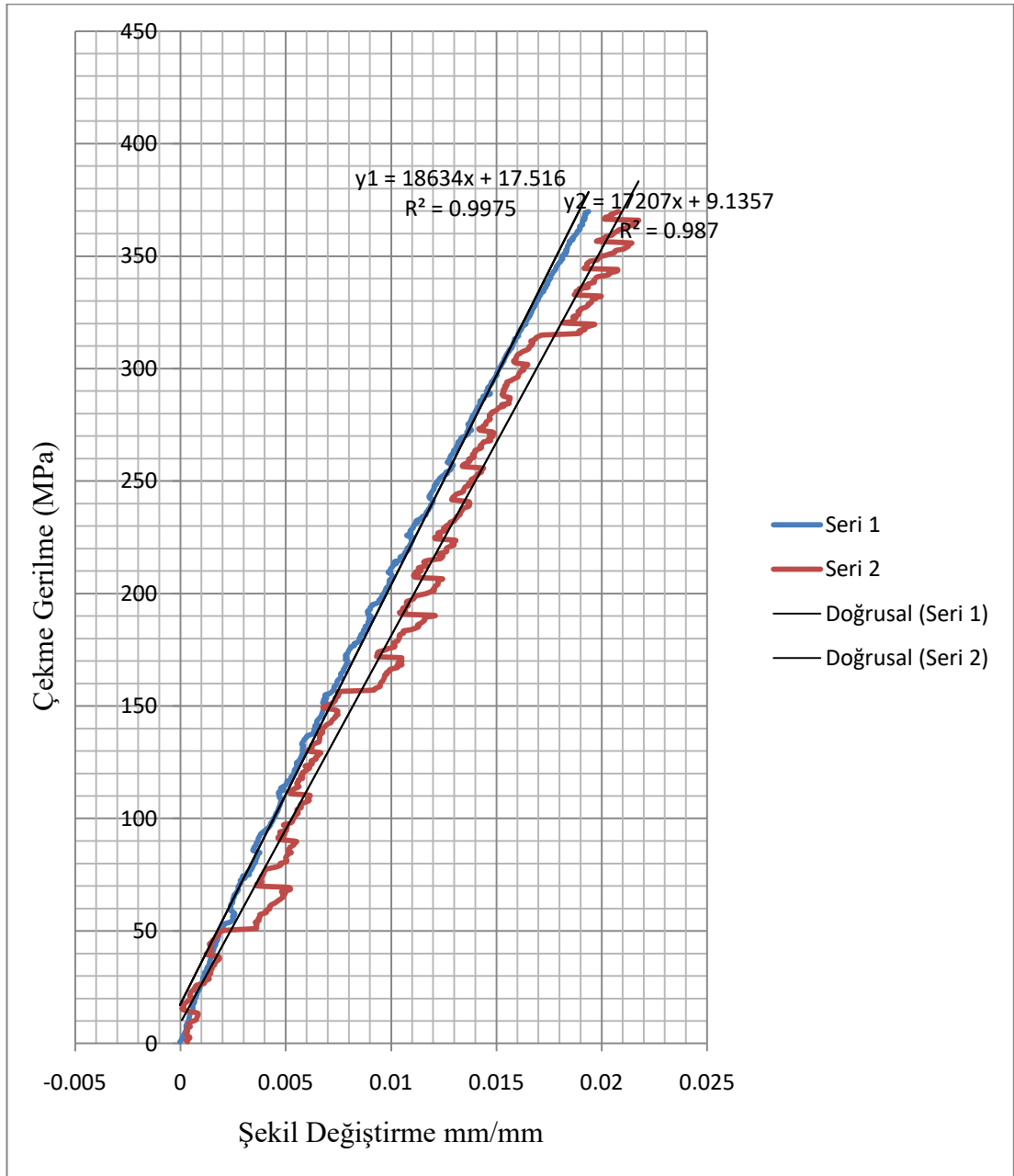
EK A Çekme Deney Grafikleri

A1 Katkısız numunelerin çekme deney grafiği

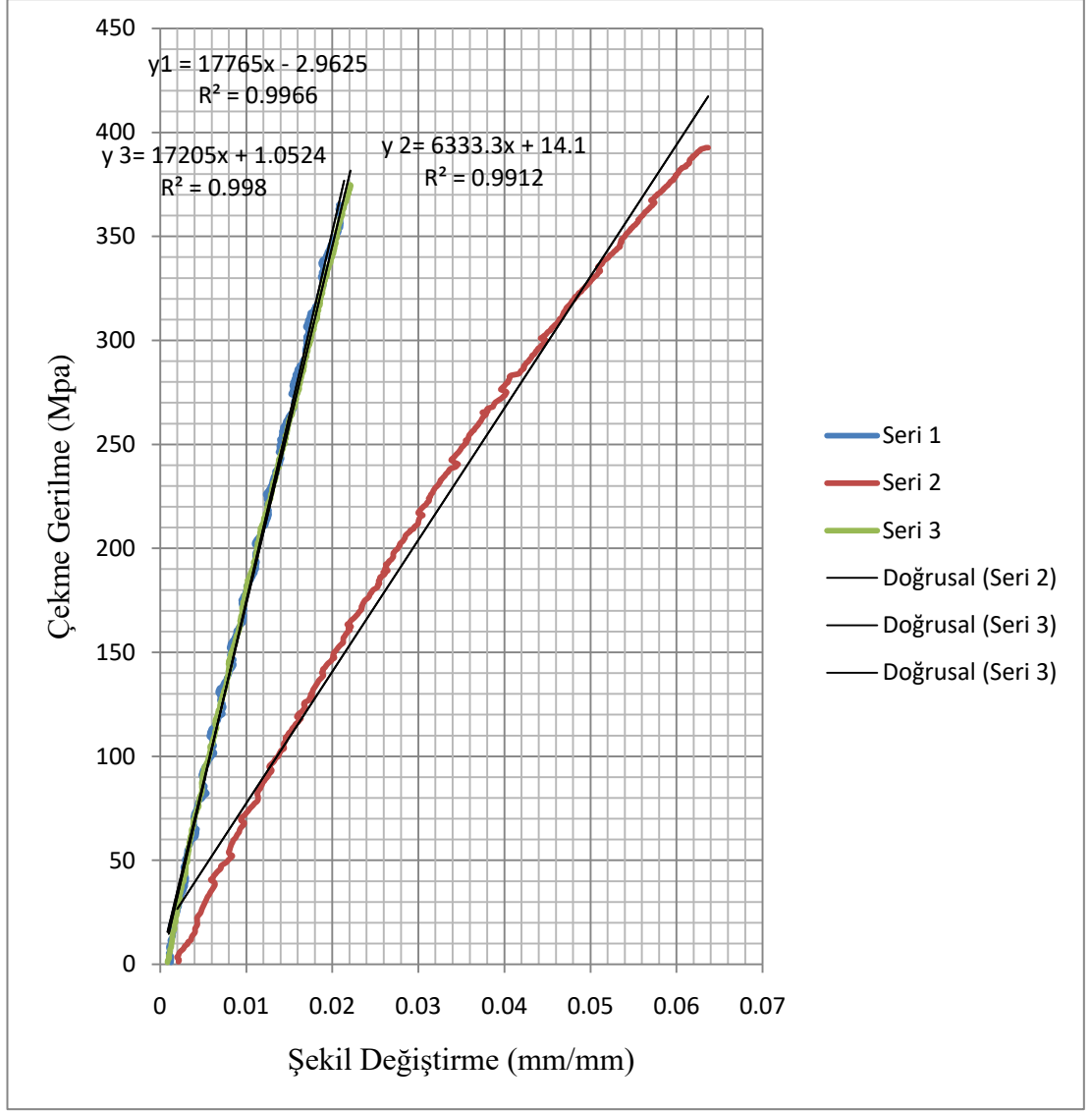


Şekil 7.1: Katkısız numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.

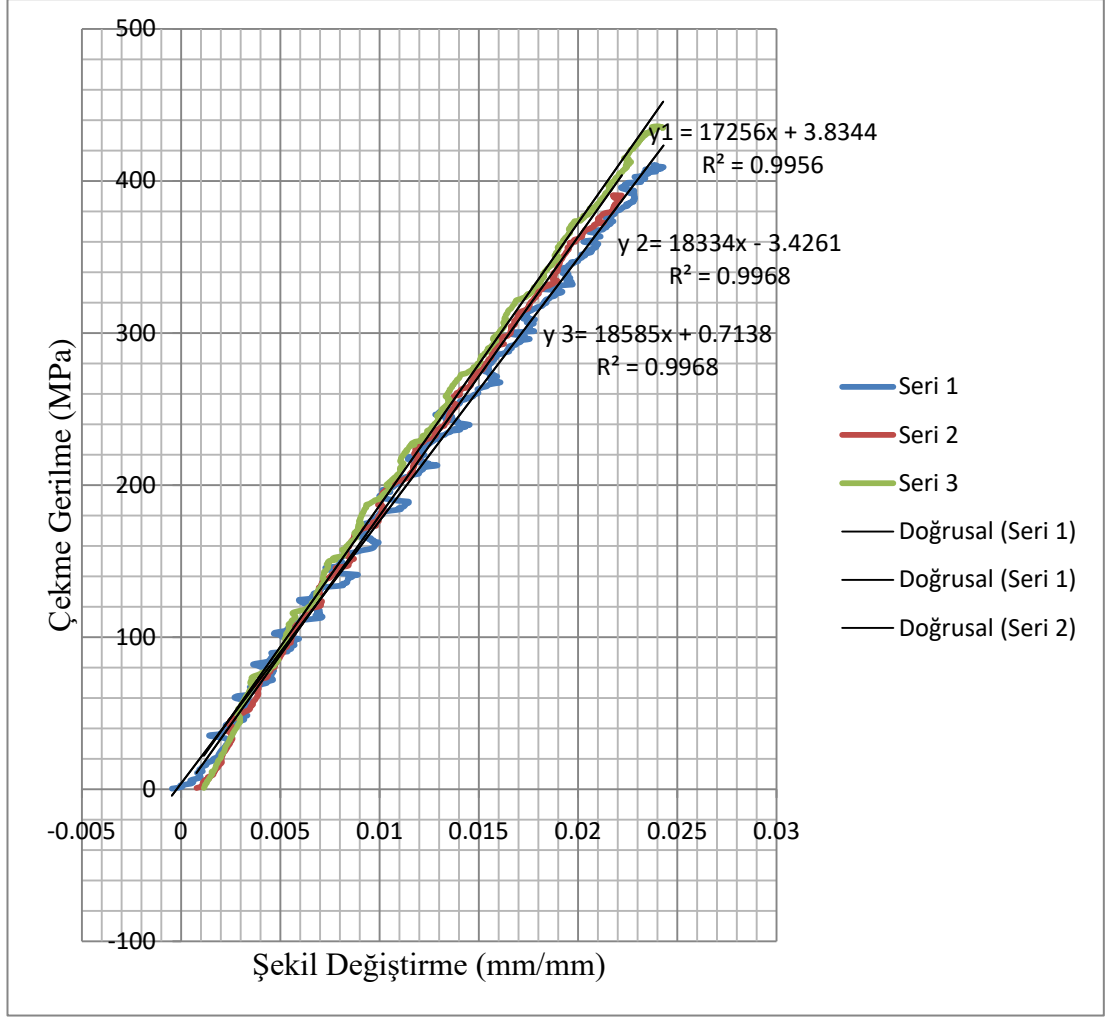
A.2 Karbon nanotüp katkılı numunelerin çekme deney grafikleri



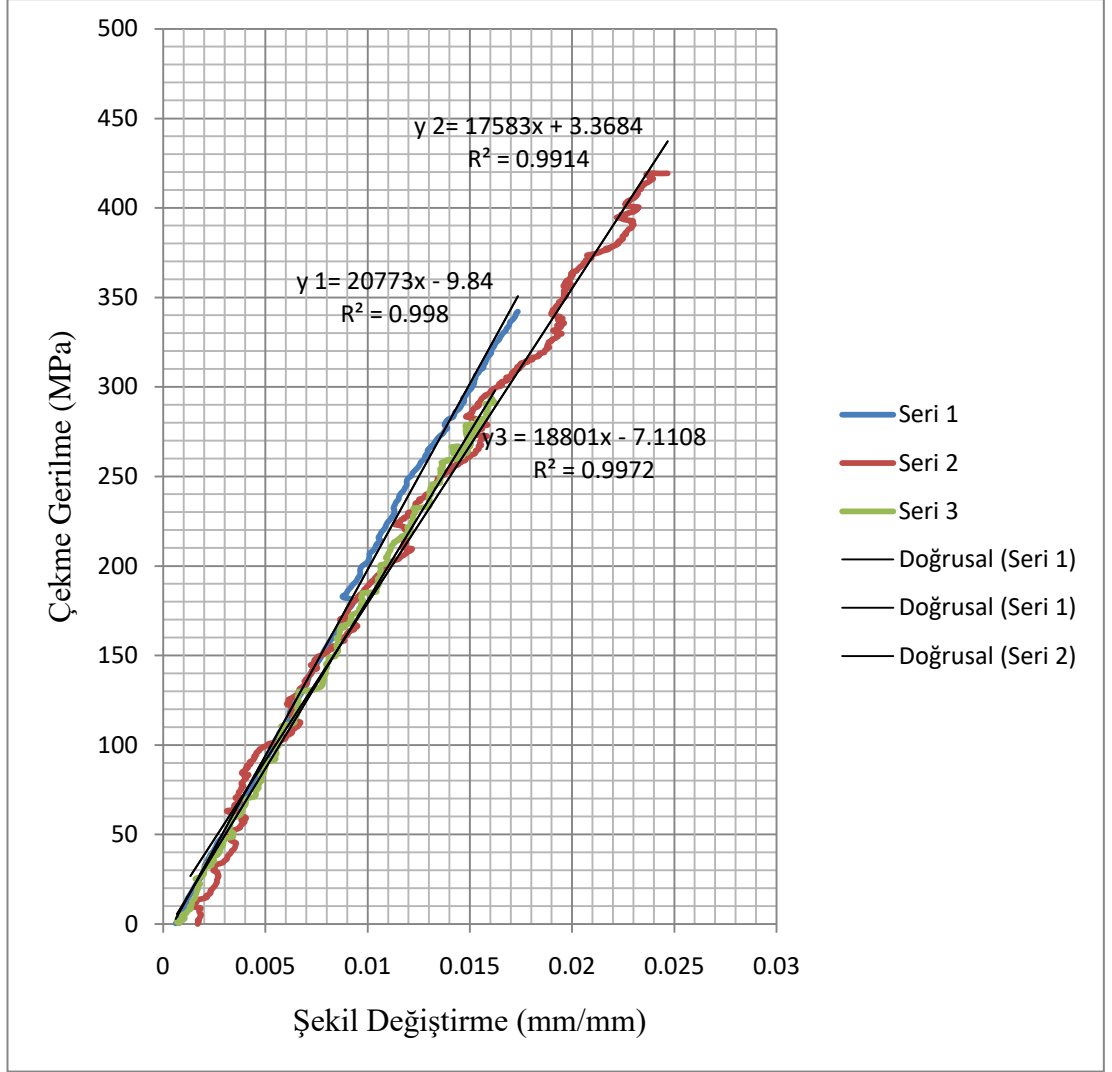
Şekil 7.2: % 0,1 karbon nanotüp katkılı numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.



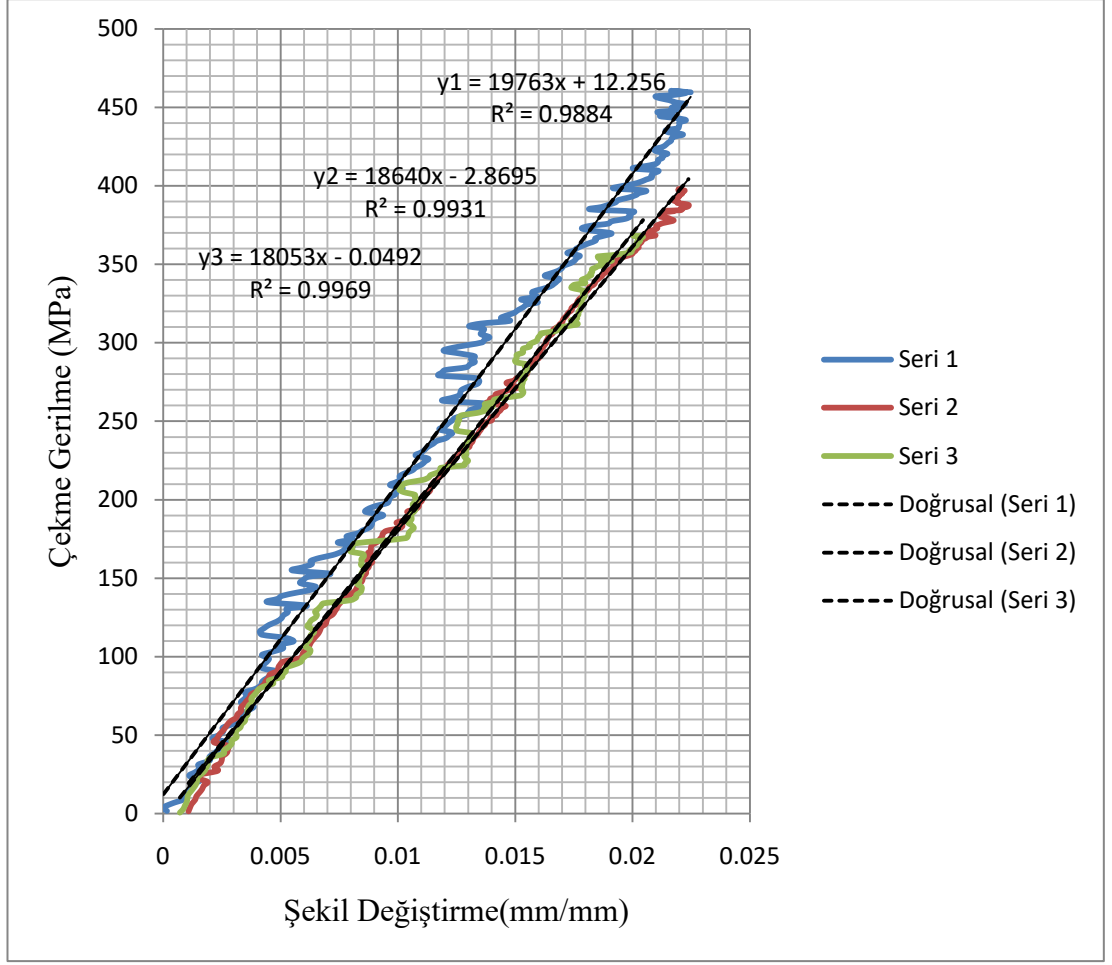
Şekil 7.3: % 0,2 karbon nanotüp katkılı numunelerin Çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.



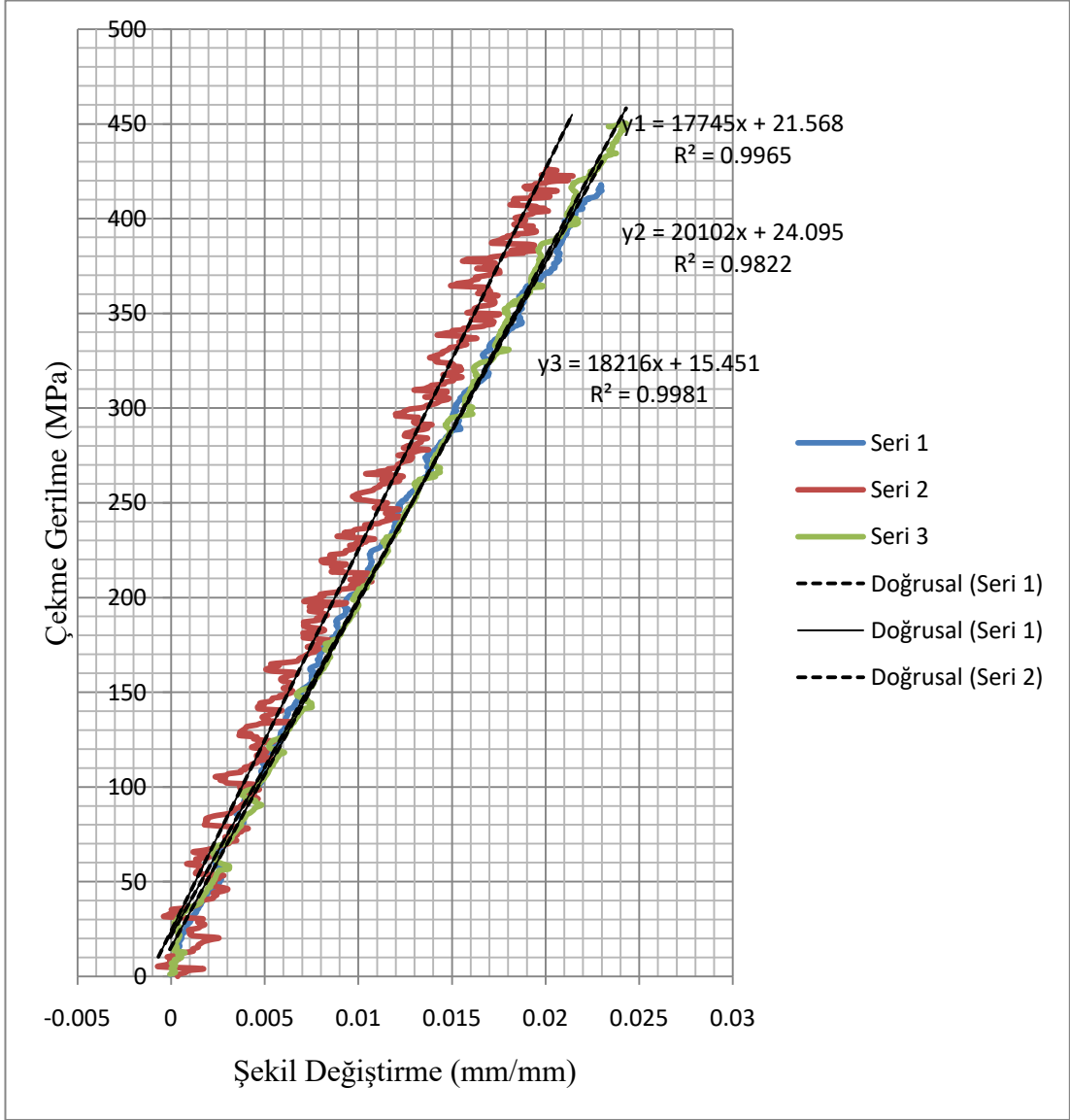
Şekil 7.4: % 0,3 karbon nanotüp katkılı numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.



Şekil 7.5: % 0,5 karbon nanotüp katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.

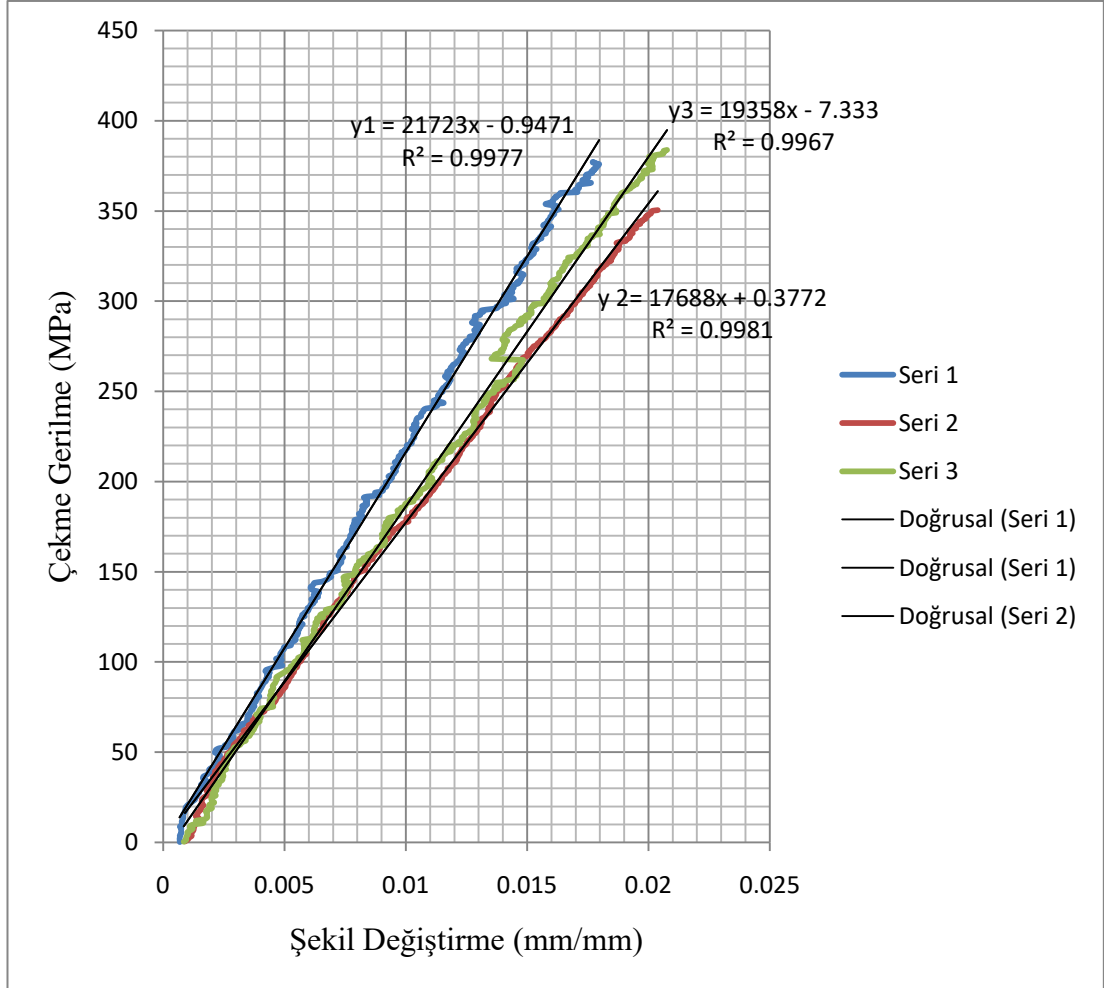


Şekil 7.6: % 1 karbon nanotüp katkılı numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.

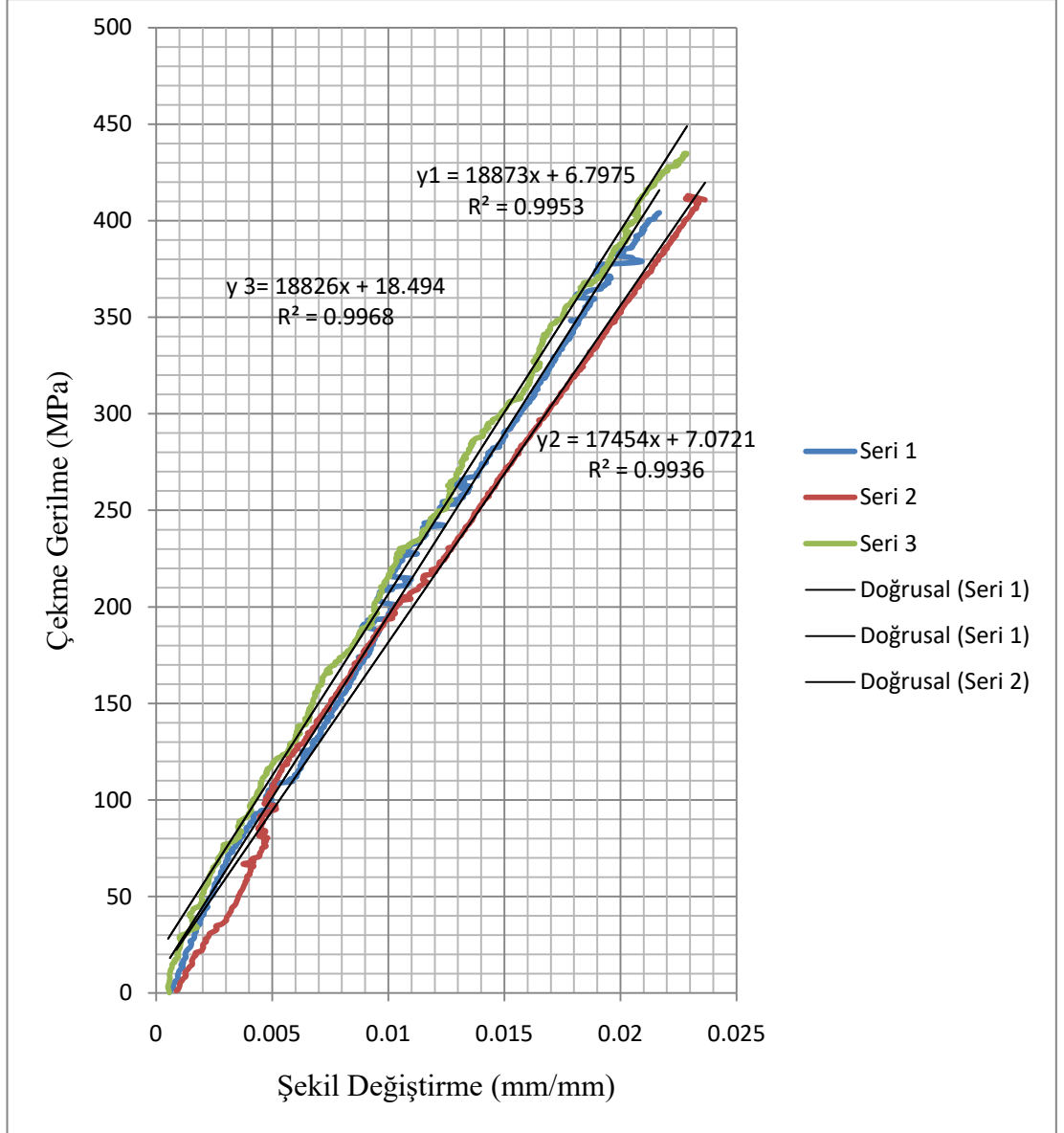


Şekil 7.7: % 2 karbon nanotüp katkılı numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.

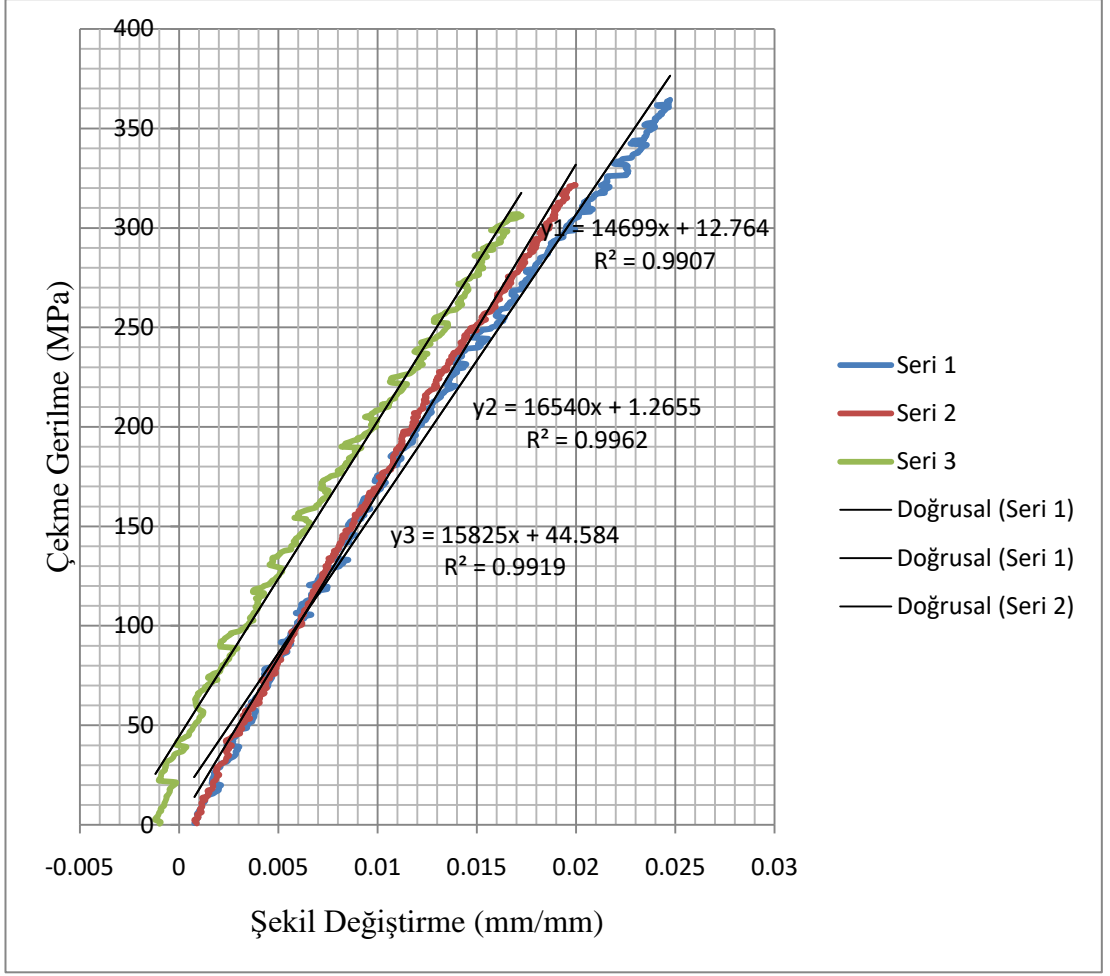
A.3 Atık lastik katkıli numunelerin çekme deney grafikleri



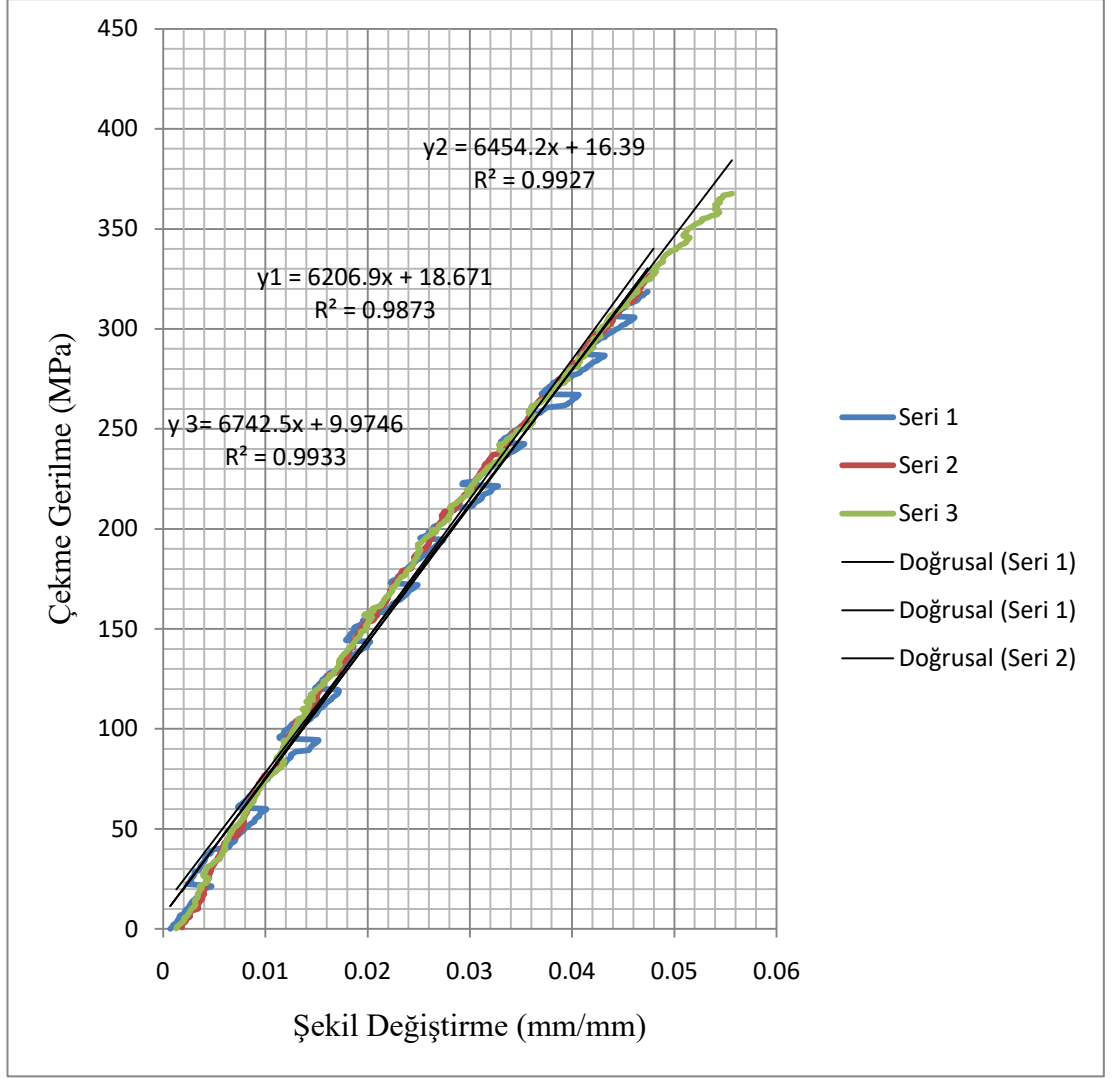
Şekil 7.8: % 0,1 Atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.



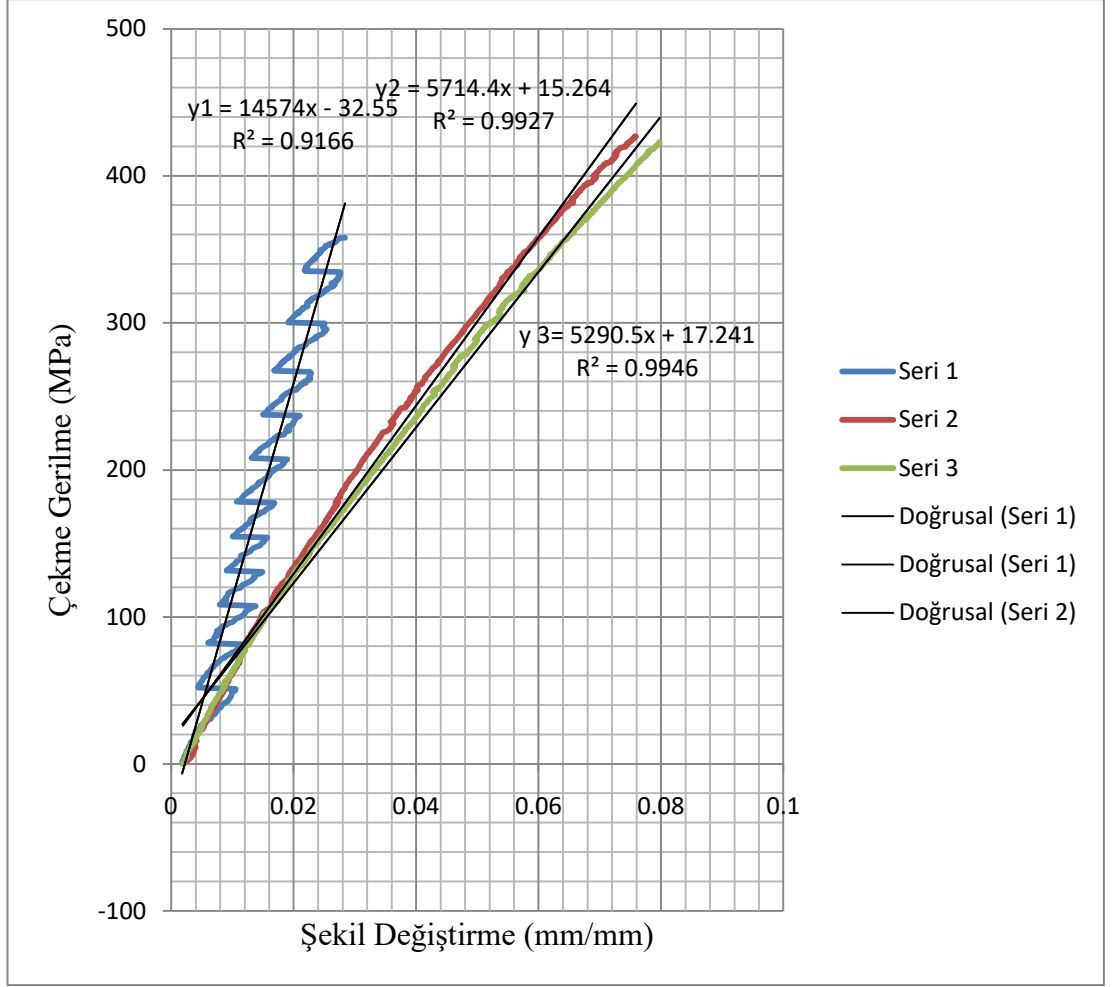
Şekil 7.9: % 0,2 Atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.



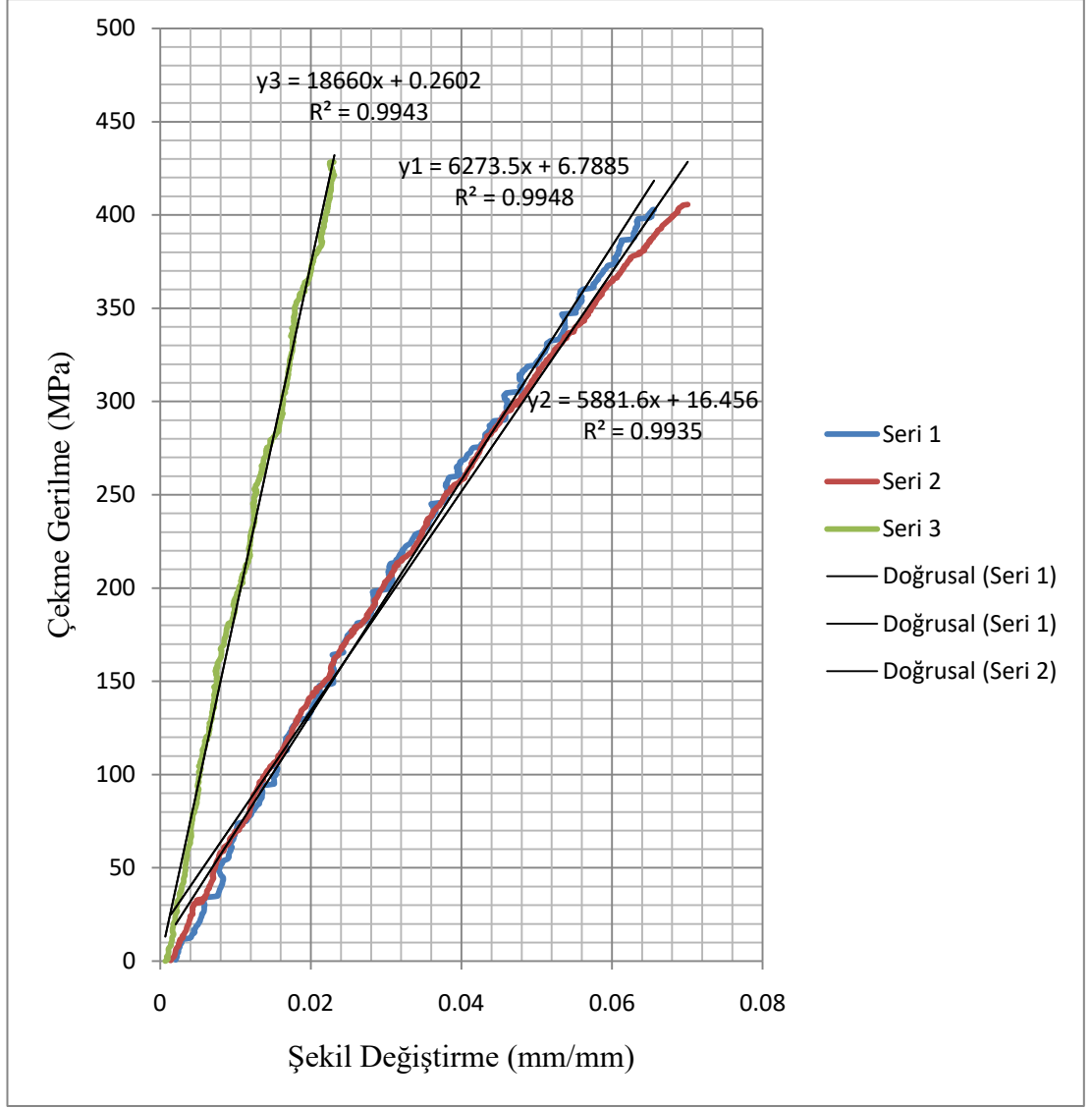
Şekil 7.10: % 0,3 Atık lastik katkıli numunelerin çekme gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 7.11: % 0,5 Atık lastik katkılı numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.



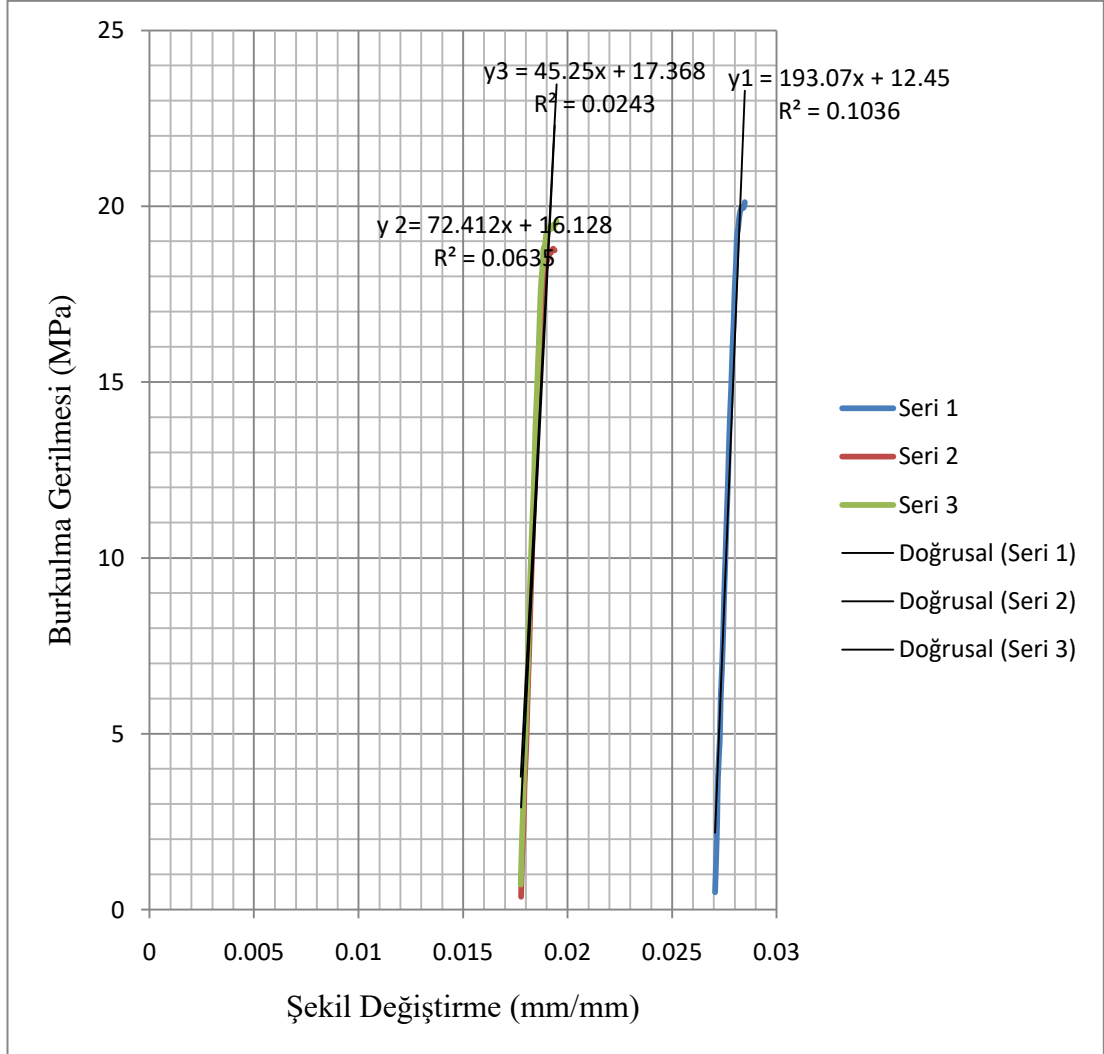
Şekil 7.12: % 1 Atık lastik katkılı numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.



Şekil 7.13: % 2 Atık lastik katkılı numunelerin çekme gerilme-şekil değişirme grafiği.

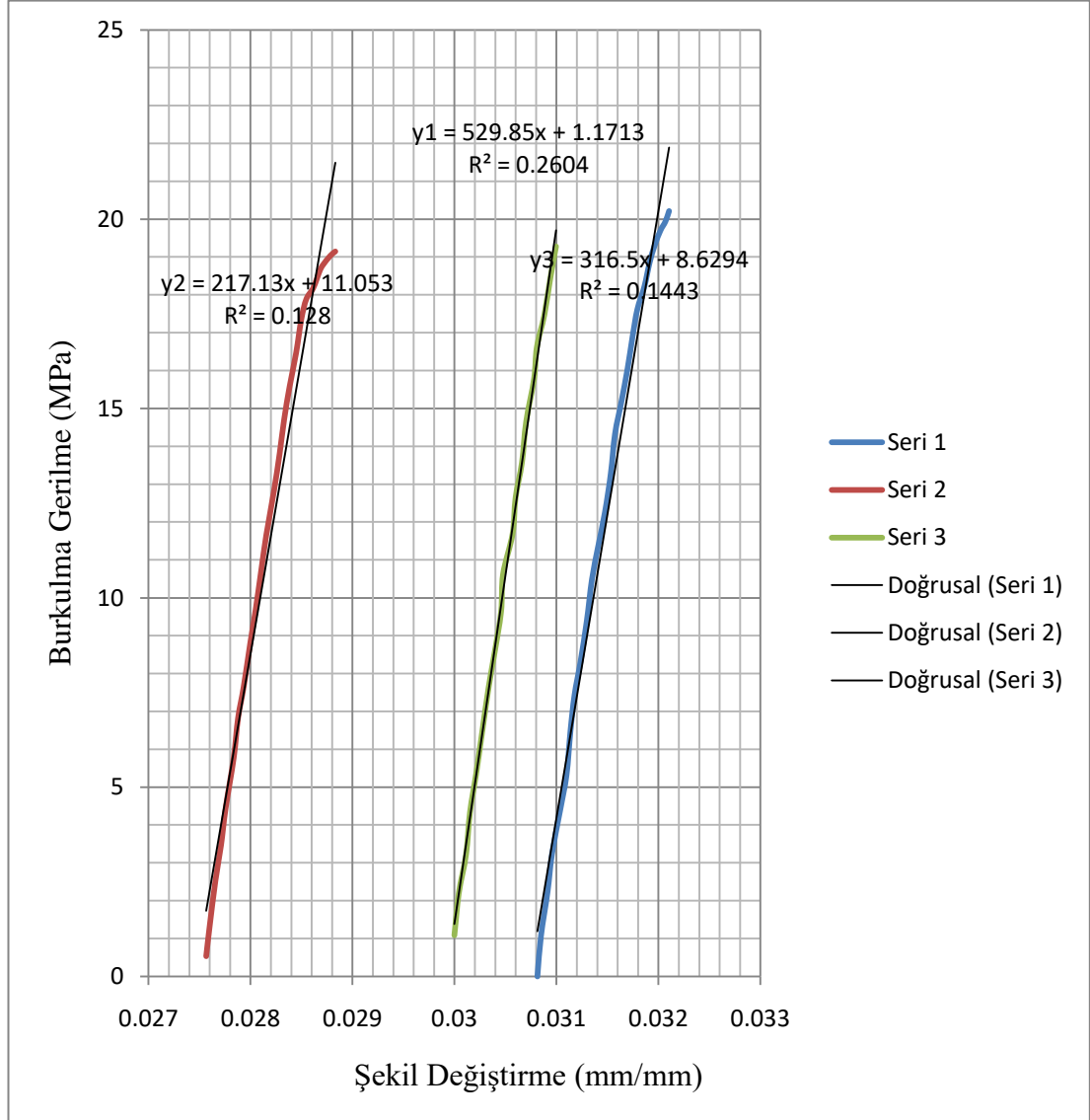
EK B Burkulma Deney Grafikleri

B.1 Katkısız numunelerin burkulma deney grafikleri

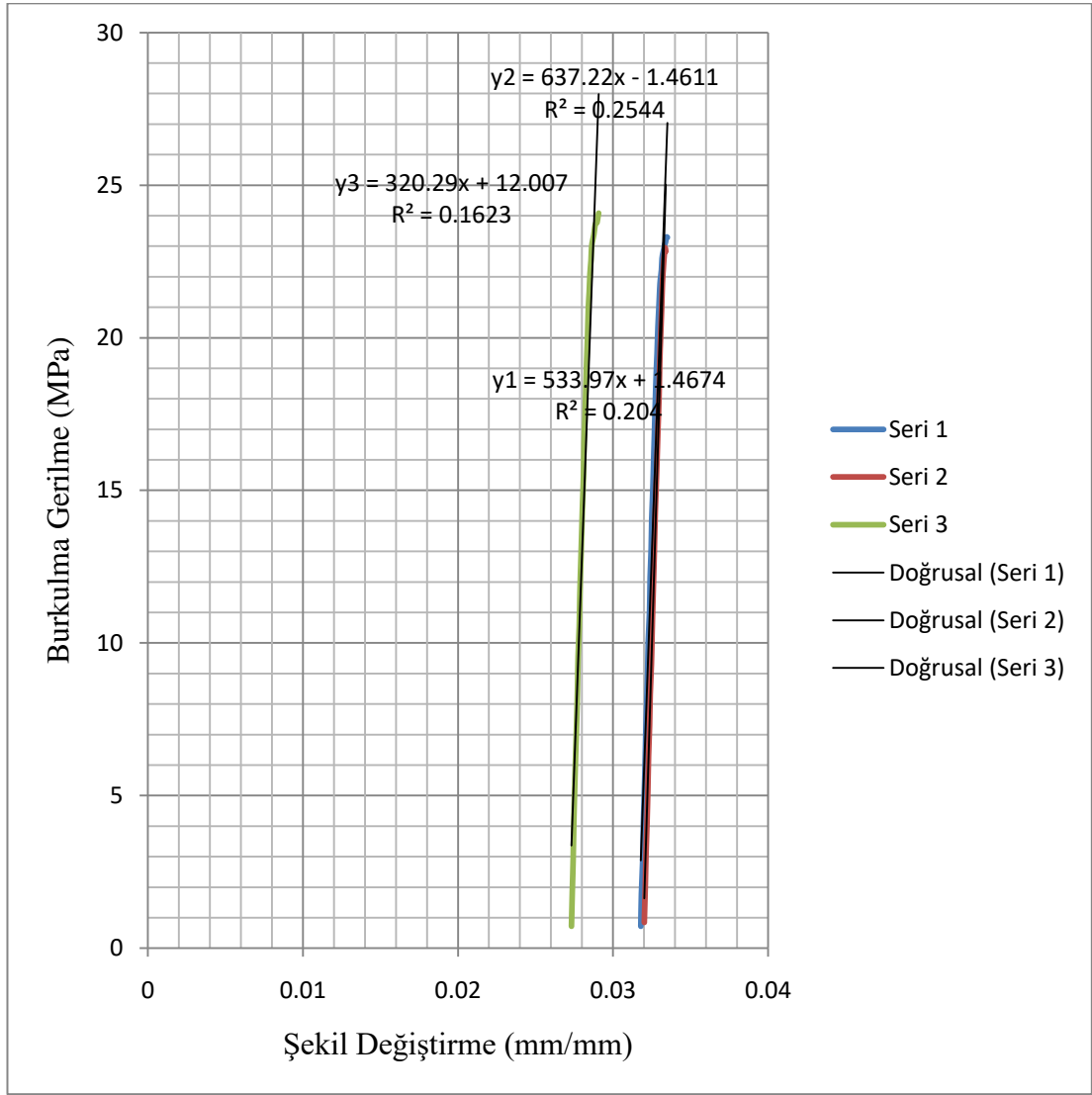


Şekil 7.14: Katkısız numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.

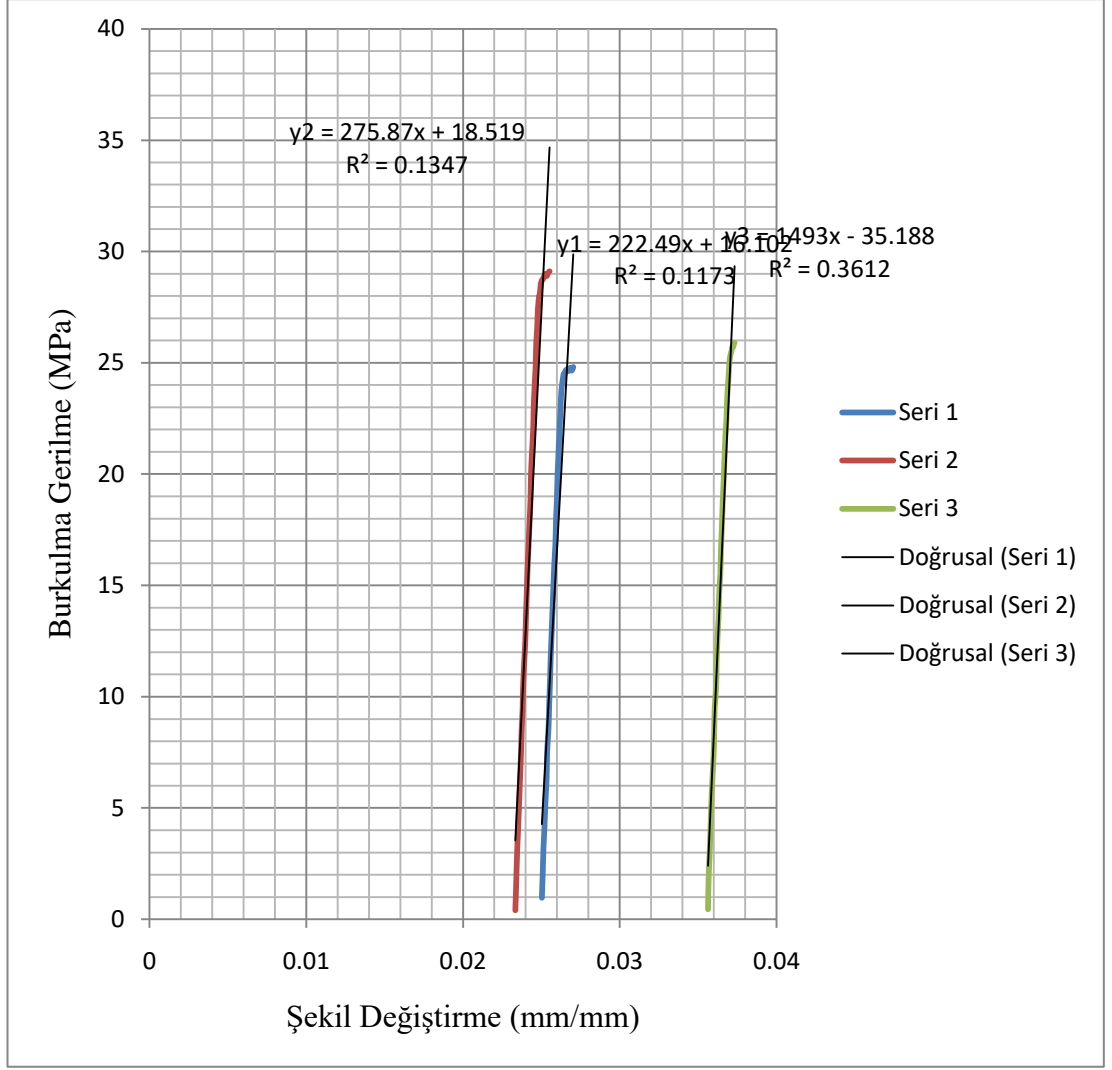
B.2 Karbon nanotüp katkılı numunelerin burkulma deney grafikleri



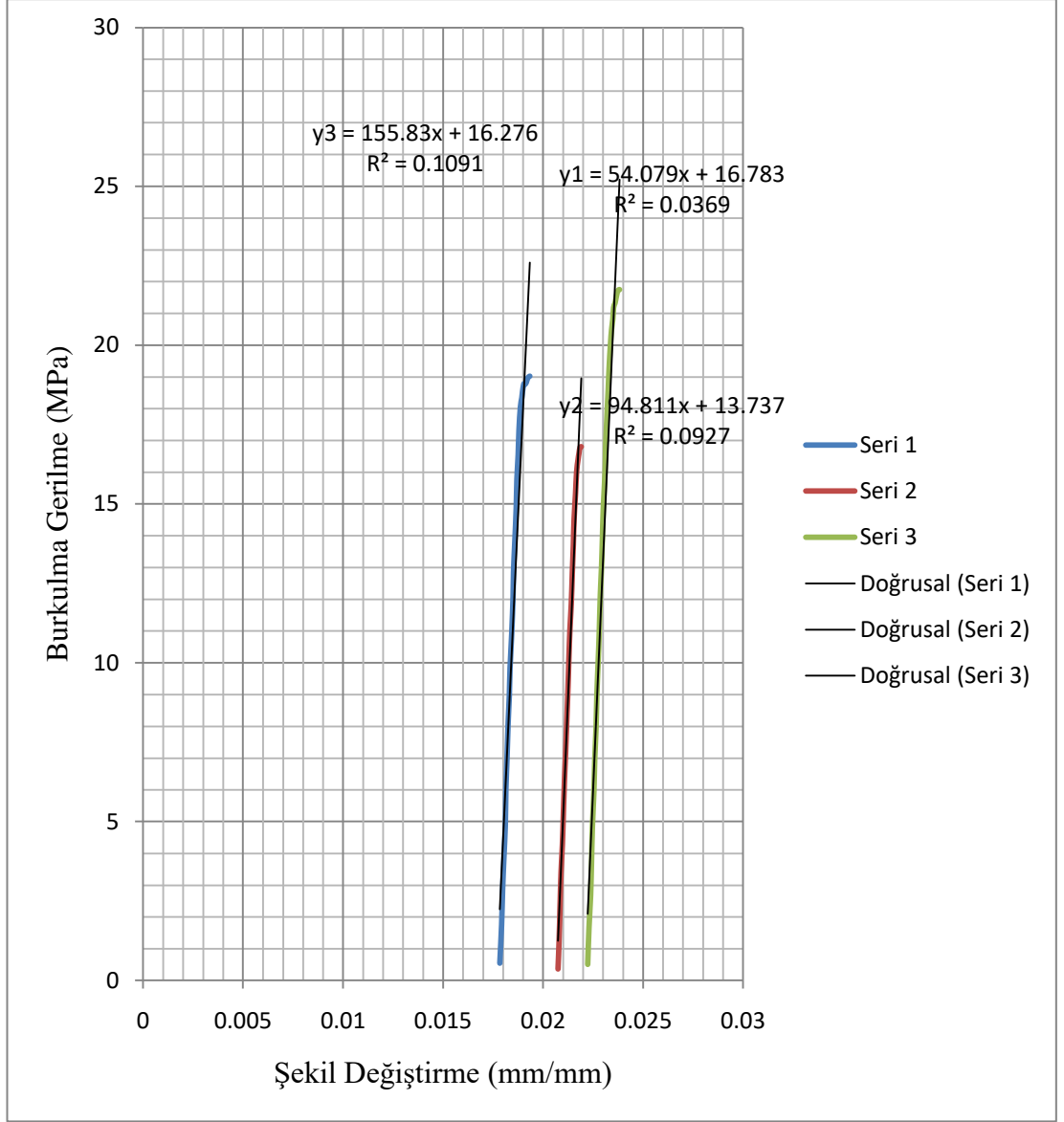
Şekil 7.15: % 0,1 Karbon nanotüp katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.



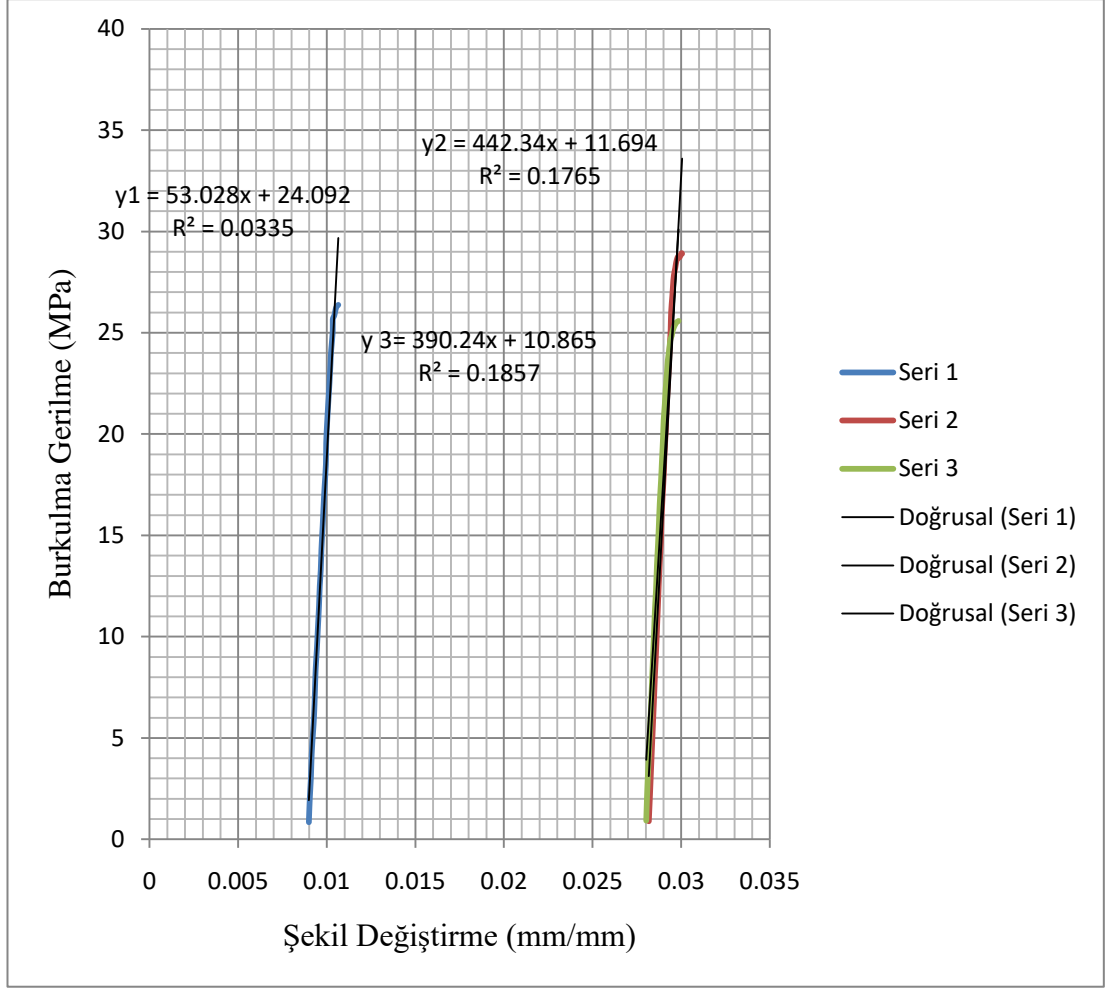
Şekil 7.16: % 0,2 Karbon nanotüp katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.



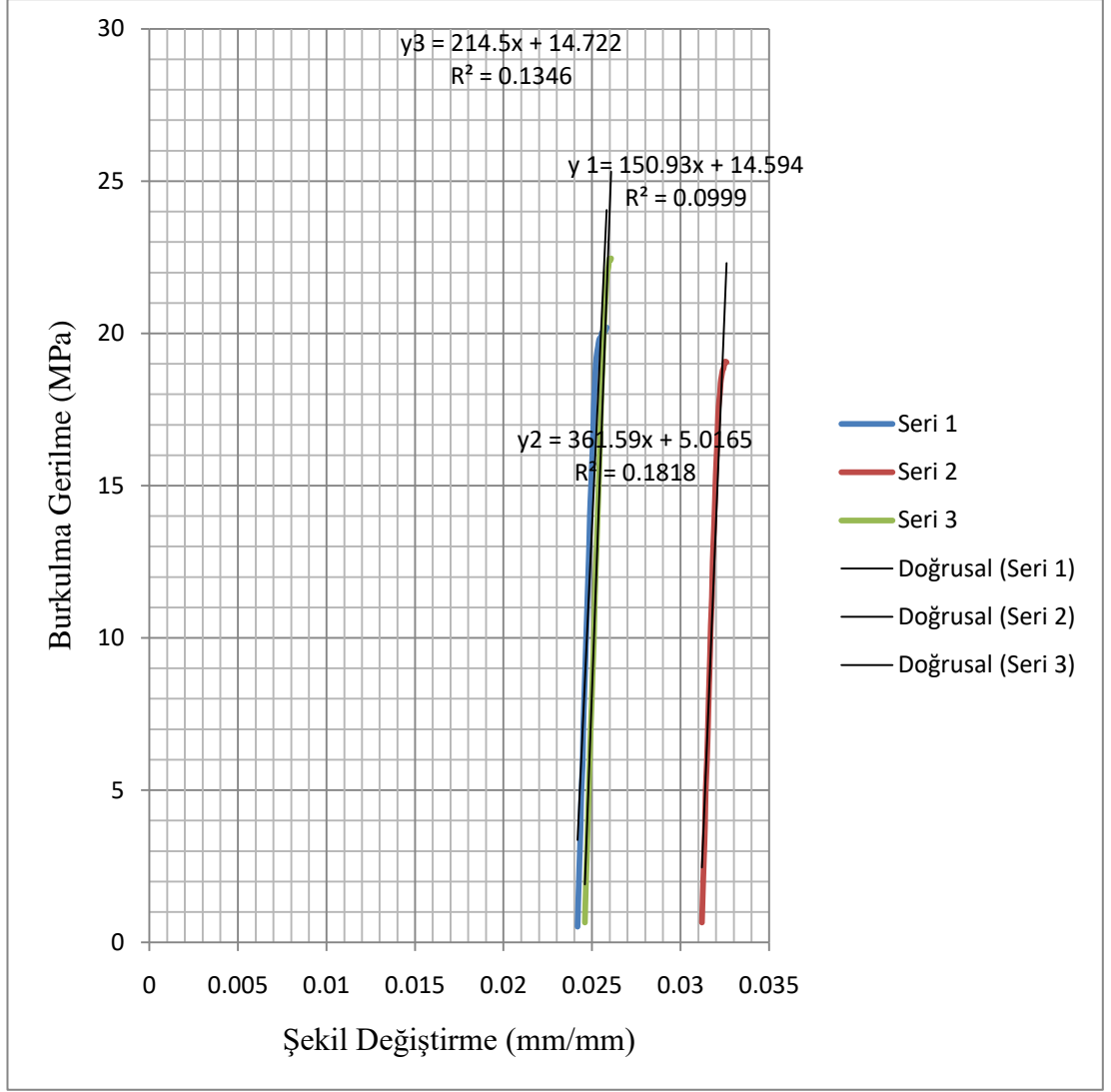
Şekil 7.17: % 0,3 Karbon nanotüp katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.



Şekil 7.18: % 0,5 Karbon nanotüp katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.

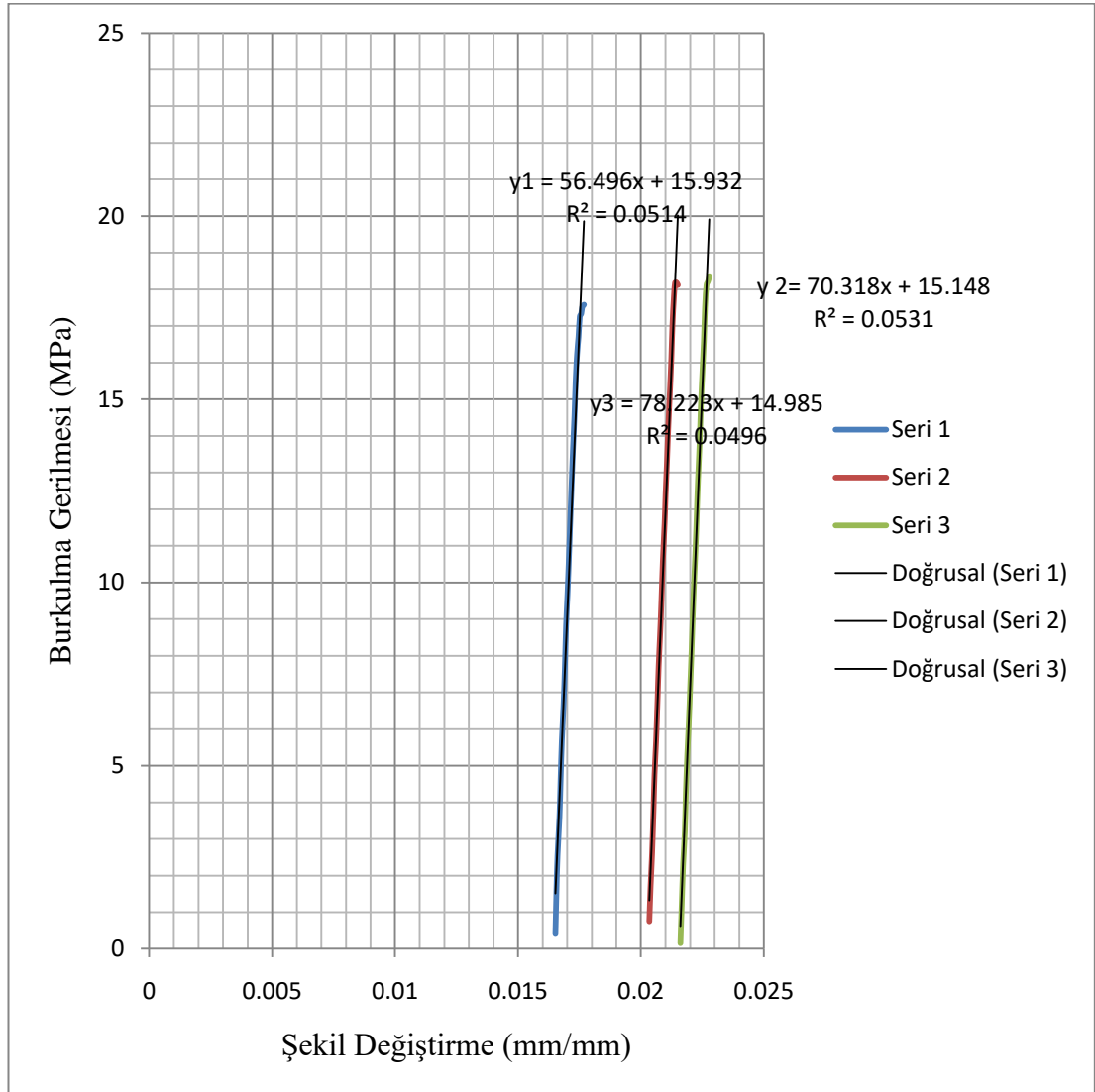


Şekil 7.19: % 1 Karbon nanotüp katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.

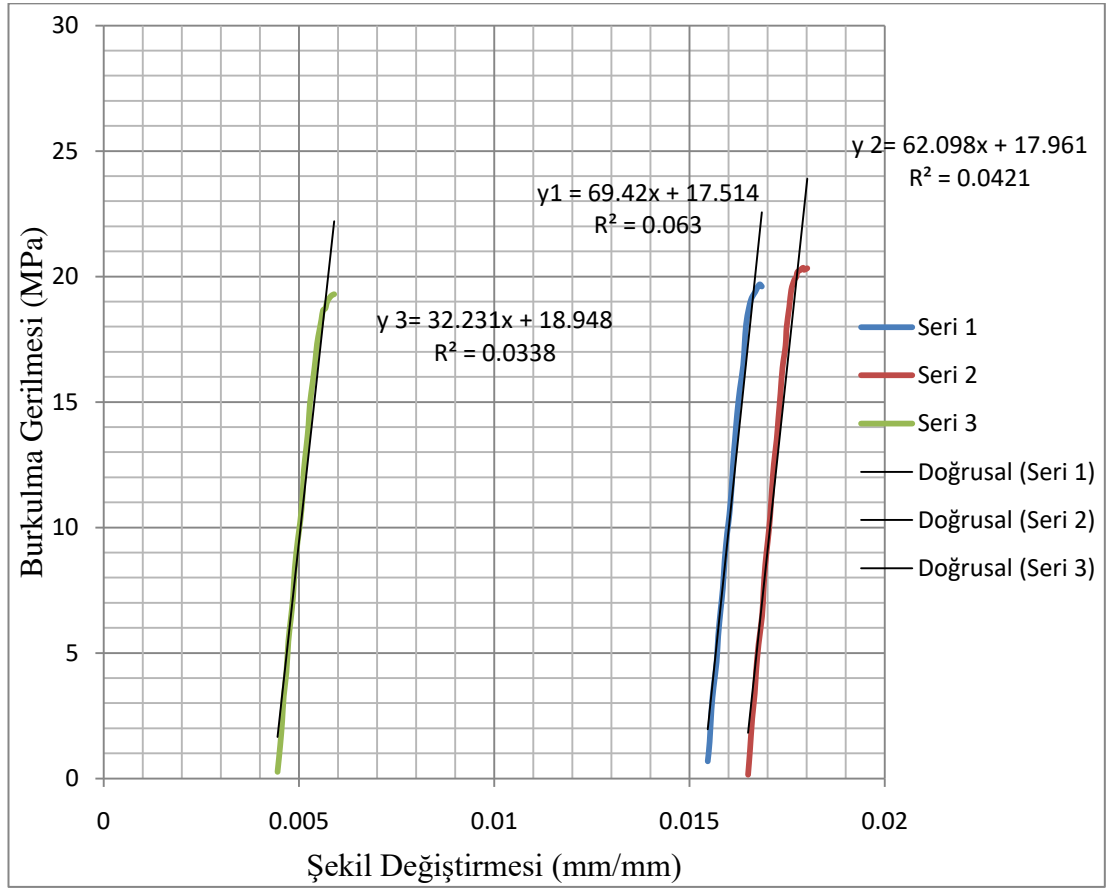


Şekil 7.20: % 2 Karbon nanotüp katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.

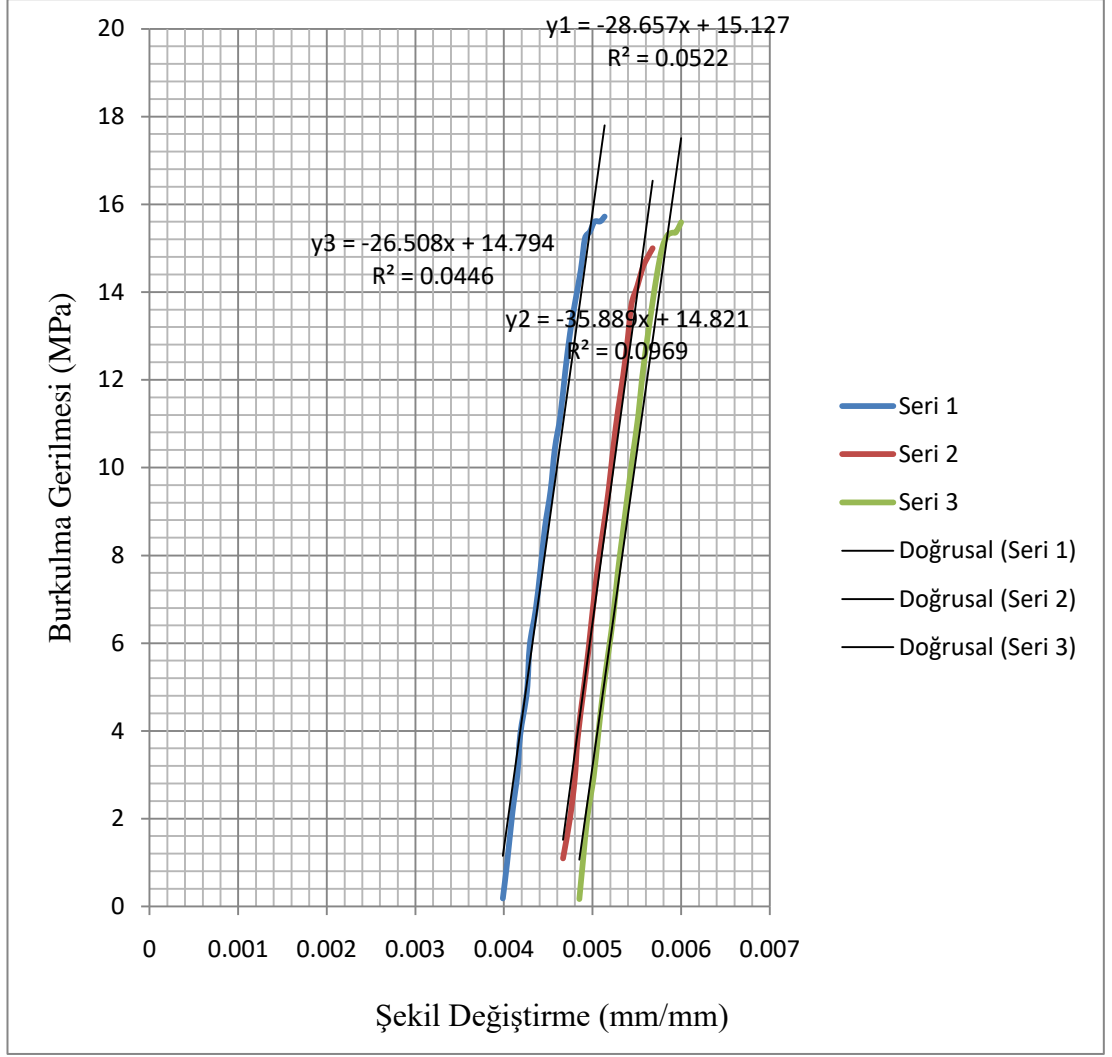
B.3 Atık lastik katkıli numunelerin burkulma deney grafikleri



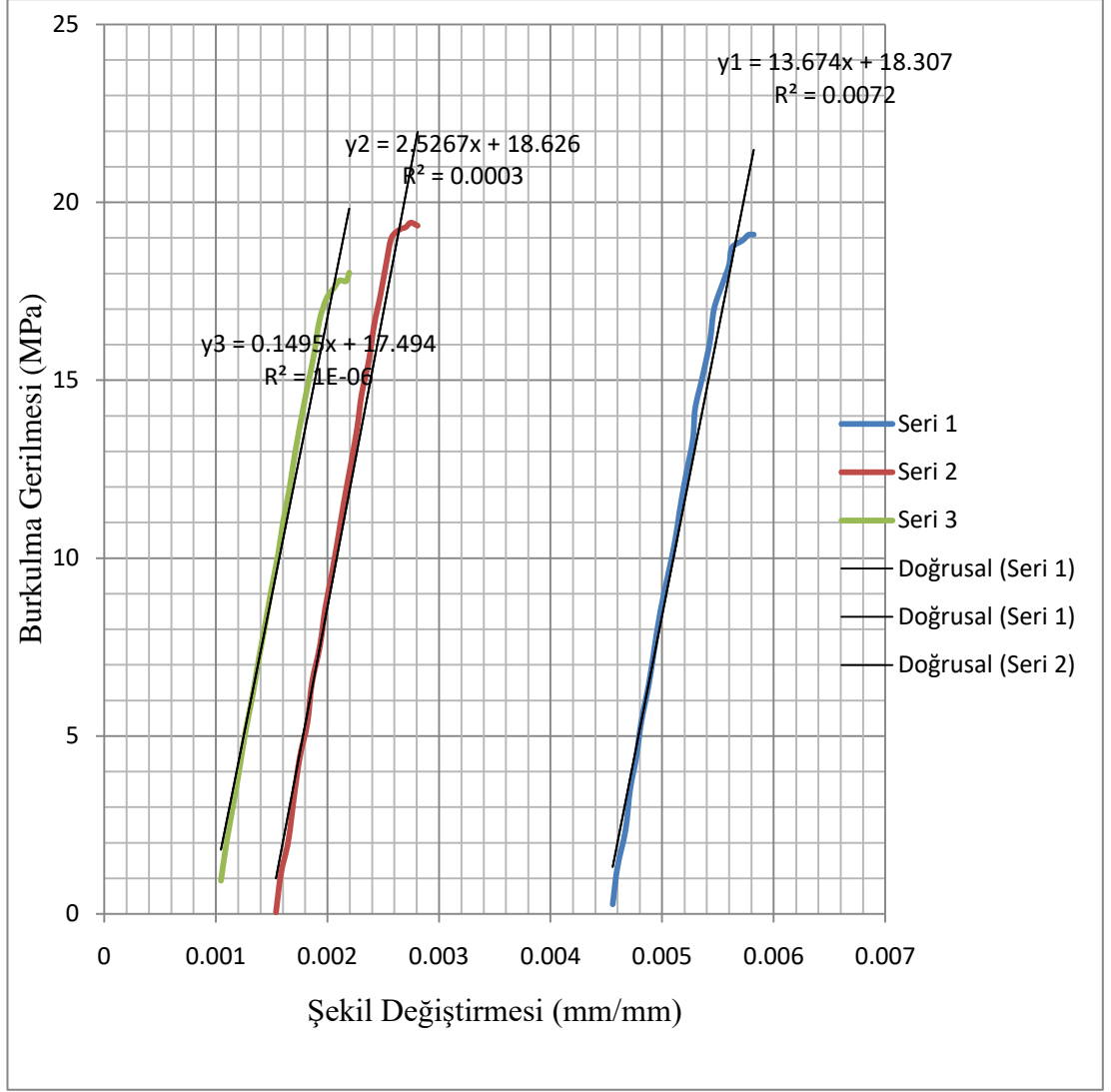
Şekil 7.21: % 0,1 Atık lastik katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.



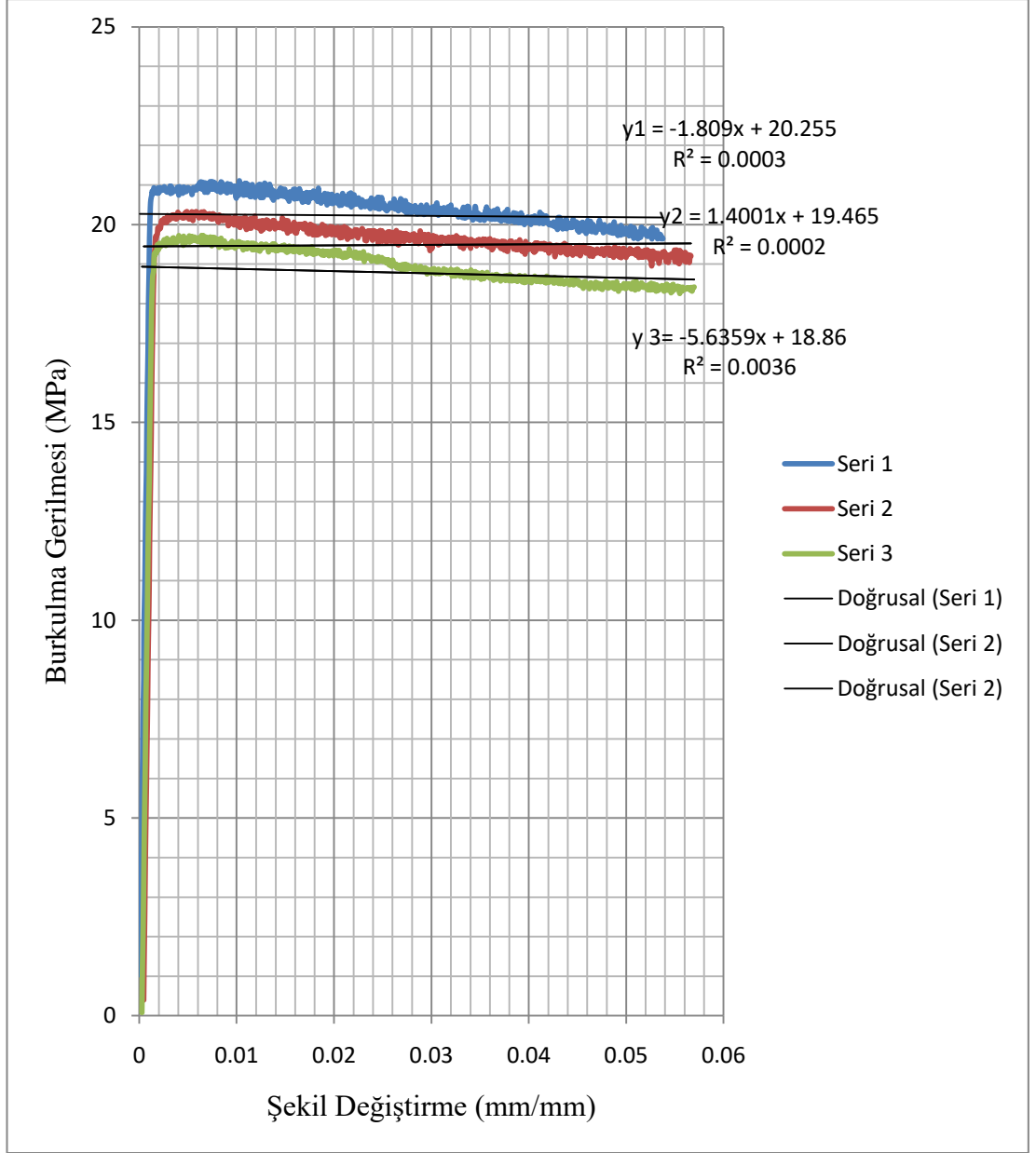
Şekil 7.22: % 0,2 Atık lastik katkıli numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.



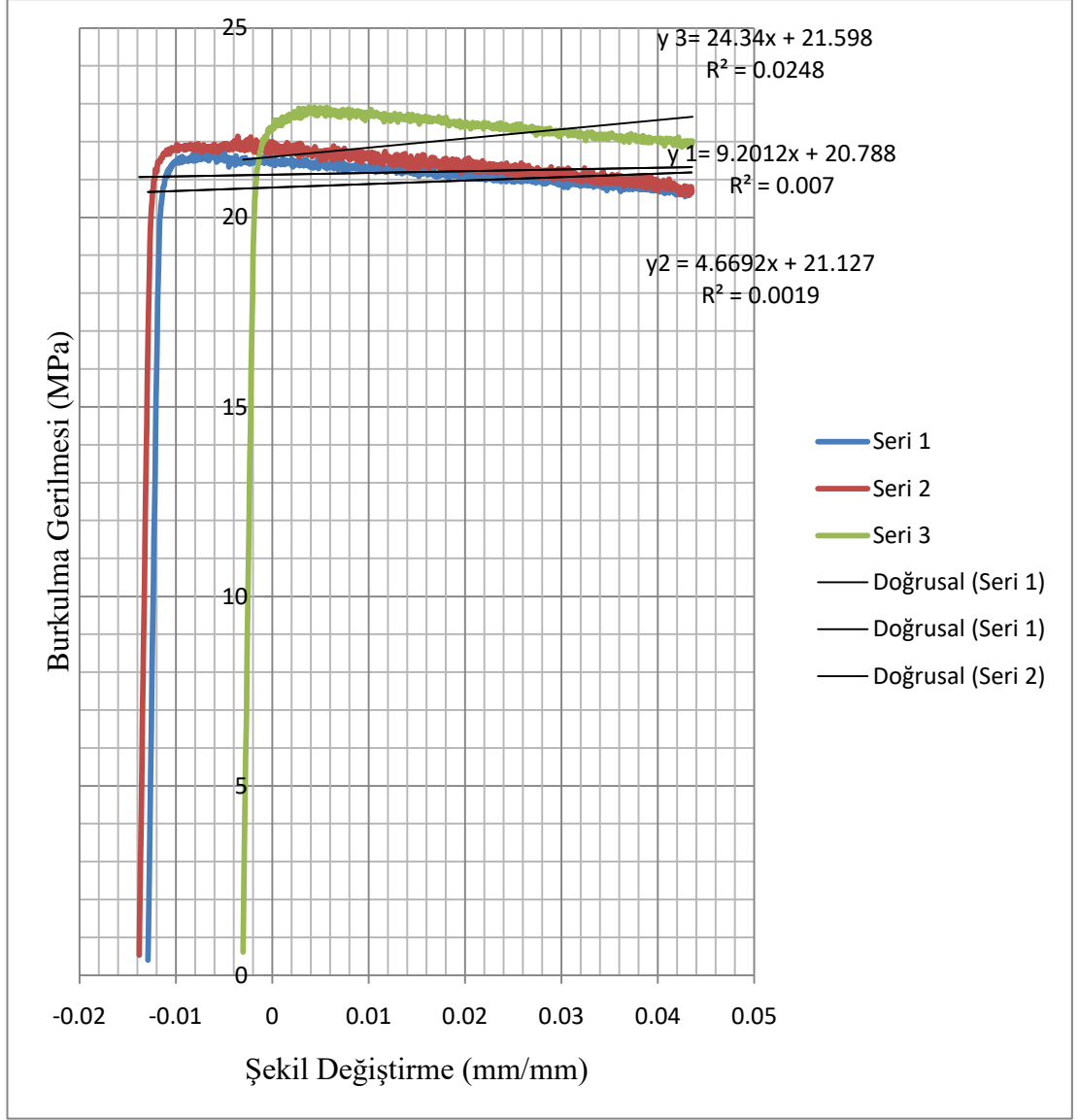
Şekil 7.23: % 0,3 Atık lastik katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.



Şekil 7.24: % 0,5 Atık lastik katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 7.25: % 1 Atık lastik katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 7.26: % 2 Atık lastik katkılı numunelerin burkulma gerilme-şekil değişirme grafiği.

8. ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : ALİ BALBAY

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ-10.04.1989

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : alibalbay2089@gmail.com

İletişim Adresi :Çakmak Mah. 139 Sok. No:19
Merkezefendi/DENİZLİ