

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ BİYO-POLİMER KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ, FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike Nur YENİGÜN

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL

Şubat 2025

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ BİYO-POLİMER KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ, FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike Nur YENİGÜN

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 07/02/2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Fehim FINDIK	Başarılı
Üye: Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL	Başarılı
Üye: Prof. Dr. Ahmet ÖZEL	Başarılı

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Melike Nur YENİGÜN

07/02/2025

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her aşamada desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin Ünal'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin rehberliği, sabrı ve özverili yaklaşımları, bu çalışmayı gerçekleştirmemde büyük bir katkı sağlamıştır.

Ayrıca, tez çalışmam boyunca yanımda olan, sabrı ve desteğiyle her zaman motivasyon kaynağım olan sevgili eşime ve hayatımın her döneminde bana güç veren değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu süreçte bilgi paylaşımı, maddi ve manevi desteğiyle yanımda olan sevgili arkadaşım Rumeysa Yıldırım'a da özel olarak teşekkür etmek isterim. Kendisinin yardımları ve pozitif enerjisi, bu çalışmayı daha anlamlı hale getirmiştir.

Bu tez, hayatımda yer alan bu kıymetli insanların varlığı ve katkıları sayesinde şekillenmiştir. Hepsine minnettarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi

BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1

BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kompozit Malzemeler	3
2.1.1. Polimer kompozitler	4
2.2. Polietilen.....	4
2.2.1. Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE).....	5
2.2.2. Doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (DDYPE)	5
2.2.3. Çapraz bağlı polietilen (PEX)	6
2.2.4. Biyobazlı polietilen (Bio-PE).....	6
2.2.5. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	6
2.3. Doğal Lif Takviyeli Polimer Kompozitler	7
2.3.1. Doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin özellikleri	7

BÖLÜM 3.	
LİTERATÜR TARAMASI	9

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	14
4.3. Mekanik Testler.....	17
4.3.1. Çekme Test Deneyi.....	17
4.3.2. Üç nokta eğme deneyi.....	18
4.3.3. Taramalı elektron mikroskop analizi	20

BÖLÜM 5.

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	21
5.1. Bambu Lifi Katkılı Kompozitlerin Sonuçları.....	21
5.1.1. Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin çekme deney sonuçları.....	21
5.1.2. Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin eğme deney sonuçları	27
5.1.2. Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin SEM sonuçları	34
5.2. Buğday Lifi Katkılı Kompozitlerin Sonuçları.....	38
5.2.1. Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin çekme deney sonuçları.....	38
5.2.2. Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin eğme deney sonuçları.....	44
5.2.3. Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin SEM sonuçları.....	51

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR	55
-----------------------	-----------

KAYNAKÇA	56
-----------------------	-----------

KISALTMALAR

Bio-PE	: Biyobazlı Polietilen
DDYPE	: Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen
DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
MAPE	: Maleik Anhidrit Aşıl原因mış Polietilen
PETKİM	: Petkim Petrokimya Holding A.Ş.
PEX	: Çapraz Bağlı Polietilen
PP	: Polipropilen
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$: Derece

MPa : Megapascal

F_n : Maksimum yük

N : Newton

ε : Elastik bölgedeki şekil değiştirme

σ : Gerilme

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 : Deneylerde kullanılan malzemeler ve YYPE kompozit üretimi formülasyonu.....	23
---	----



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Etilenin polietilene dönüşümü.	5
Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan katkı malzemelerinin optik mikroskop (a) YYPE polimer ana matris (b) YYPE-g-MA uyumlaştırıcı. (c) Bambu elyaf (d) Buğday elyafı görüntüleri	15
Şekil 4.2: Deneylerde kullanılan a) Mikro harmanlama cihazı, b) Mikro kalıplama cihazı ve c) Mikro harmanlayıcının kafa bölümü	16
Şekil 4.2 (devam) : Deneylerde kullanılan a) Mikro harmanlama cihazı, b) Mikro kalıplama cihazı ve c) Mikro harmanlayıcının kafa bölümü.....	17
Şekil 4.3: Saf ve %4,%8 ve %16 Bambu elyaf takviyeli YYPE kompozit çekme test numuneleri.....	18
Şekil 4.4: Saf ve %4,%8 ve %16 Buğday elyaf takviyeli YYPE kompozit çekme test numuneleri.....	18
Şekil 4.5: Üç nokta eğme deneyi şematik test düzeneği (ASTM D790).	19
Şekil 4.6: Eğme testinde kullanılan test numunelerinin görüntüsü.....	20
Şekil 4.7: Deneylerde kullanılan SEM cihazı	20
Şekil 5.1: a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.	21
Şekil 5.1 (devam) : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.	22
Şekil 5.2: Saf YYPE polimeri ile Bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi.	23
Şekil 5.3: Saf YYPE polimeri ile Bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin bambu elyaf katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkısına göre kopma mukavemet değerlerinin değişimi.	24
Şekil 5.4: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi.....	25
Şekil 5.5: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi.....	26
Şekil 5.6: a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.	28
Şekil 5.6 (devam) : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.	29
Şekil 5.7: a)YYPE Bambu-%5PE-g-MA b) %4 Bambu-%5PE-g-MA, c) %8 Bambu- %5PE-g-MA ve d) YYPE/%16 Bambu-%5PE-g-MA lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.	29

Şekil 5.7 (devam) : a)YYPE Bambu-%5PE-g-MA b) %4 Bambu-%5PE-g-MA, c) %8 Bambu-%5PE-g-MA ve d) YYPE/%16 Bambu-%5PE-g-MA lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.	30
Şekil 5.8: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğme mukavemetinin değişimi.	30
Şekil 5.9: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki elastiklik modülünün değişimi.	32
Şekil 5.10: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki şekil değişimi..	33
Şekil 5.11. YYPE ve YYPE/%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi kırık yüzey SEM grafikleri.....	34
Şekil 5.12. a,b) YYPE-%4 Bambu lifi ve c,d) YYPE-%4 Bambu lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri .	35
Şekil 5.13. a,b) YYPE-%8 Bambu lifi ve c,d) YYPE-%8 Bambu lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri .	36
Şekil 5.14. a,b) YYPE-%16 Bambu lifi ve c,d) YYPE-%16 Bambu lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri .	37
Şekil 5.15: a) %5, b) %10 ve c) %15 buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.	38
Şekil 5.15: a) %5, b) %10 ve c) %15 buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.	39
Şekil 5.16: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi.....	39
Şekil 5.17: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi.....	41
Şekil 5.18: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi.....	42
Şekil 5.19: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi.....	43
Şekil 5.20: a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 5.20 (devam) : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.	45
Şekil 5.21: a)YYPE Buğday -%5PE-g-MA b) %4 Buğday-%5PE-g-MA, c) %8 Buğday -%5PE-g-MA ve d) YYPE/%16 Buğday -%5PE-g-MA lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.	47
Şekil 5.22: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğme mukavemet değerlerinin değişimi.....	47

Şekil 5.23: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki Elastiklik Modülü değerlerinin değişimi.	48
Şekil 5.24: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki şekil değişimi değerlerinin değişimi.	50
Şekil 5.25: a,b) YYPE-%4 Buğday lifi ve c,d) YYPE-%4 Buğday lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri .	51
Şekil 5.26: a,b) YYPE-%8 Buğday lifi ve c,d) YYPE-%8 Buğday lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri .	52
Şekil 27: a,b) YYPE-%16 Buğday lifi ve c,d) YYPE-%16 Buğday lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri .	53



DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ BİYO-POLİMER KOMPOZİTLERİNİN ÜRETİMİ, FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, çevre dostu ve sürdürülebilir malzemelerin önemi vurgulanarak, bambu elyaf ve buğday elyaf gibi doğal elyaf katkılı yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) esaslı biyo-kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Doğal elyaf katkıları, çevresel etkileri azaltmaya yönelik bir alternatif olarak ele alınmış ve farklı oranlarda (%4, %8 ve %16) katkılarla biyo-kompozitler üretilmiştir. Ek olarak, bu kompozitlere %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı eklenerek, bu malzemenin mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretim sürecinde, çift vidalı laboratuvar tipi bir mikro-kompounder ile karışımlar hazırlanmış ve ardından mikro-enjeksiyon makinasında mekanik test numuneleri oluşturulmuştur. Mekanik testler sonucunda, doğal elyaf katkılarının mekanik özelliklere etkisi çeşitli parametrelerle analiz edilmiştir. Çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, elastiklik modülü, kopma sırasındaki uzama yüzdesi, eğme mukavemeti, eğmedeki elastiklik modülü, darbe mukavemeti ve eğilme sırasında oluşan şekil değişimi gibi özellikler incelenmiştir. Sonuçlar, doğal elyaf katkı oranlarının artışının mekanik performanslarda belirgin iyileşmeler sağladığını göstermiştir. Örneğin, %16 oranında bambu elyaf takviyesi, çekme özelliklerinde önemli bir artış sağlamazken, eğme mukavemeti %26.5, eğmedeki elastiklik modülü %89.7 oranında artış göstermiştir. Buğday elyaf katkısında ise eğme mukavemeti %30.2, eğmedeki elastiklik modülü %91.5 oranında artmıştır. Mikroyapı analizlerinde taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanılarak yapılan incelemeler, bambu ve buğday elyaf katkılarının polimer ana matris içinde homojen bir şekilde dağıldığını ancak matris ile katkılar arasında kısmi bağlanma olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlanma, mekanik özelliklerdeki iyileşmeyi sınırlayabilmektedir. Bununla birlikte, YYPE-g-MA uyumlaştırıcısının katkı malzemeleriyle polimer matrisi arasında daha güçlü bir bağlanma sağlayarak, biyo-kompozitlerin genel mekanik performansını artırdığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bambu ve buğday elyaf katkılarıyla YYPE esaslı biyo-kompozitlerin çevre dostu ve sürdürülebilir mühendislik malzemeleri olarak kullanılabileceği görülmüştür. Bu doğal elyafların eğme dayanımı ve elastikiyet gibi özelliklere önemli katkılar sağladığı anlaşılmıştır. Ayrıca, uyumlaştırıcı kullanımıyla bu malzemelerin endüstriyel uygulamalardaki potansiyelinin artırılabilceği belirlenmiştir. Çalışma, doğal elyaf katkılı biyo-kompozitlerin hem mekanik performansını hem de sürdürülebilirliğini optimize etmeye yönelik önemli bulgular sunmaktadır. Bu bulgular, malzeme geliştirme alanında yeni fırsatlara da ışık tutmaktadır.

Anahtar Kelimeler: biyo-kompozit, kompozit, YYPE, bambu elyaf, buğday elyaf, mekanik özellikler

PRODUCTION AND INVESTIGATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL FIBER REINFORCED BIO-POLYMER COMPOSITES

ABSTRACT

The study investigates the mechanical and microstructural properties of bio-composites based on high-density polyethylene (HDPE) reinforced with natural fibres such as bamboo fibre and wheat fibre. Bio-composites were produced with different proportions of bamboo fibre and wheat fibre, namely 4%, 8%, and 16% by weight. Additionally, 5% of HDPE-g-MA compatibilizer was added to examine its effect on mechanical properties. The composite mixtures were prepared using a twin-screw laboratory micro-compounder, and then mechanical test samples were produced using a micro-injection machine. The mechanical properties of the produced composites, such as tensile strength, breaking strength, tensile modulus, and elongation at break, flexural strength, flexural modulus, deformation ratio, hardness, and impact strength were examined. The results indicated significant changes in the mechanical performance of the composites depending on the addition ratios of bamboo and wheat fibers. For the composite reinforced with 16% bamboo fibre, no significant increase was observed in tensile properties, while increases of 26.5% and 89.7% were observed in flexural strength and flexural modulus, respectively. In the case of wheat fibre reinforcement, flexural strength and flexural modulus increased by approximately 30.2% and 91.5%, respectively. Scanning electron microscopy images showed that the bamboo and wheat fibre bio-additives were homogeneously distributed in the polymer matrix, but the bonding between the matrix and the fibres was only partial. The HDPE-g-MA compatibilizer positively affected the mechanical properties of the bio-composites.

Keywords: bio-composite, composite, HDPE, bamboo fibre, wheat fibre, mechanical properties

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Polimerler, 20. yüzyılın başlarından itibaren bilim dünyasında yerini alarak, modern yaşamın ve endüstrinin vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. 1907 yılında Leo Baekeland tarafından üretilen Bakalit, ilk sentetik polimer olarak polimer kimyasındaki devrimin öncüsü olmuştur. Polimerlerin kimyasal yapılarındaki esneklik, onları farklı özellikler gösterebilen yenilikçi malzemeler haline getirmiştir. Günümüzde tekstil, otomotiv, inşaat, elektronik ve tıp gibi birçok sektörde polimerler vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Doğal polimerlerden (örneğin, DNA, kauçuk) sentetik polimerlere (örneğin, polipropilen, polietilen) kadar geniş bir çeşitlilik sunan bu malzemeler, hem ekonomik hem de teknik gereksinimleri karşılayabilme potansiyeline sahiptir.

Polimerler, tekrarlayan molekül birimlerinin (monomerler) kimyasal bağlarla birbirine bağlanmasıyla oluşan uzun zincirli makromoleküllerdir. Bu moleküler yapı, polimerlere hafiflik, dayanıklılık, esneklik ve düşük yoğunluk gibi eşsiz özellikler kazandırır. Bu özellikler, polimerlerin geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmasını sağlar. Özellikle polipropilen (PP) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) gibi termoplastik polimerler, mekanik dayanım ve ekonomik avantajlar sunarak endüstriyel üretimde öne çıkan malzemeler arasında yer almaktadır. YYSPE, yüksek sertlik değerine sahip olup suya ve kimyasallara karşı üstün direnç göstermektedir. Mekanik özellikleri iyi olan YYSPE'nin, darbe ve çekme dayanımı da oldukça yüksektir. Bu özellikleri, YYSPE'yi geniş bir uygulama yelpazesinde ön plana çıkarmaktadır.

Polimerlerin özelliklerini iyileştirmek için ise bazı katkılarla kompozit üretimleri gerçekleştirilebilmektedir. Polimer kompozitlerin üretimi, hem mekanik özelliklerin hem de kimyasal dayanımın geliştirilmesi amacıyla önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Polimer kompozitlerin üretim yöntemleri, matris malzemesi ve takviye elemanlarının homojen bir şekilde birleştirilmesi için ekstrüzyon, enjeksiyonla kalıplama, presleme gibi farklı tekniklere dayanır. Ekstrüzyon, kompozit üretiminde sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, polimer ve takviye elemanları eriyik halde karıştırılarak sürekli bir profil elde edilir. Enjeksiyon kalıplama, yüksek hassasiyet gerektiren ürünlerde tercih

edilen bir başka yöntemdir. Bu teknikte, eriyik haline getirilmiş polimer karışımı bir kalıba enjekte edilerek istenen forma getirilir. Ayrıca, presleme (kompresyon kalıplama) yöntemi, takviye elemanlarının matrisle yüksek sıcaklık ve basınç altında birleştirilmesini sağlar. Bu yöntemler, malzemenin nihai özelliklerini belirleyen kritik süreçlerdir.

Artan plastik tüketimi ve bu durumun çevresel etkileri, bilim insanlarını daha sürdürülebilir alternatifler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu çerçevede doğal elyaf esaslı kompozit malzemeler, çevreyle uyumlu ve yenilikçi bir yaklaşım olarak dikkat çekmiştir. Doğal elyaflar, bambu, keten, pamuk, sisal, kenevir ve buğday gibi bitkilerden elde edilen, biyobozunur ve düşük yoğunluklu malzemelerdir. Polimer matrisler içinde kullanıldıklarında, malzemenin mekanik özelliklerini artırırken, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine uygun çözümler sunarlar.

Doğal elyaf esaslı kompozitlerin performansı, büyük ölçüde polimer matrisi ile elyaf arasındaki ara yüzey bağlanmasının etkinliğine bağlıdır. Ara yüzey bağlanmasının kuvvetli olması, yük aktarımını ve kompozitin mekanik dayanımını artırır. Bu nedenle, uygun bağlayıcıların veya yüzey modifikasyonu tekniklerinin kullanılması, bu malzemelerin performansını optimize etmek açısından kritik bir öneme sahiptir.

Sonuç olarak, polimerler ve doğal elyaf esaslı kompozitler, modern mühendislik ve malzeme biliminde yenilikçi çözümler sunarak hem teknik hem de çevresel gereksinimleri karşılayan önemli malzeme sınıflarıdır. Polimerlerin tarihsel gelişimi ve üretim yöntemleri, bu malzemelerin çeşitliliğini artırırken, doğal elyaf esaslı kompozitler sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır. Teknolojik gelişmelerin entegrasyonu ve doğal elyaf katkılarının sağladığı çevresel avantajlar, bu malzemelerin hem mühendislik hem de çevresel sürdürülebilirlik boyutunda geleceğin yapı taşı olmaya devam edeceğini göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, doğal elyaf takviyelerinin(bambu lifi ve buğday lifi) uyumlaştırıcı varlığında YYPE matrisli kompozitin mekanik değerlerine katkısını incelemek ve sürdürülebilir bir alternatif sunmaktır.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, birden fazla farklı malzemenin birleştirilmesiyle meydana getirilen yenilikçi mühendislik ürünleridir. Bu malzemeler, her bir bileşenin kendi özelliklerini korumasına rağmen birlikte kullanıldığında daha üstün performans özellikleri sergiler. Kompozit malzemeler bir matris ve bir takviye malzemesi olmak üzere iki ana bileşenden oluşurlar. Matris malzemesi, kompozitin ana yapısını oluşturur ve takviyeleri bir arada tutarak dış yükleri iletir. Takviye malzemesi ise kompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirir (Kaya, 2016).

Kompozit malzemeler, özellikle yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve korozyon direnci gibi özellikleriyle dikkat çeker. Bu özellikler sayesinde havacılık, otomotiv, inşaat ve spor ekipmanları gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozitler, çeliğin sunduğu dayanıklılığı daha hafif bir yapıyla sağlayarak yakıt verimliliğini artırmakta ve enerji tasarrufu sağlamaktadır (Ataş, 2018).

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması, genellikle matrisin ve takviye malzemesinin türüne göre yapılır. Polimer Matrisli Kompozitler, düşük yoğunluk ve yüksek korozyon direnci gibi avantajlarıyla yaygın kullanım alanına sahiptir. Metal Matrisli Kompozitler, yüksek sıcaklık dayanımı ve sertliği ile dikkat çekerken, Seramik Matrisli Kompozitler termal şok direnci nedeniyle özel uygulamalarda tercih edilmektedir (Ataş, 2018). Takviye malzemesinin şekline göre ise lif takviyeli, parçacık takviyeli ve tabakalı kompozitler gibi sınıflandırmalar mevcuttur. Kompozit malzemeler, üstün mekanik performans ve tasarım esnekliği ile mühendislik uygulamalarında büyük bir öneme sahiptir. Gelişen teknolojilerle birlikte, nanokompozitler ve doğal lif takviyeli kompozitler gibi yenilikçi çözümler, bu alandaki potansiyeli daha da artırmaktadır.

2.1.1. Polimer kompozitler

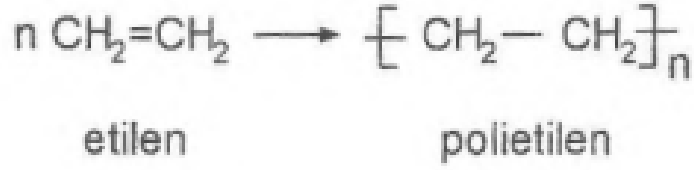
Polimer matrisli kompozitler, polimer esaslı matris malzemenin içine mekanik ve fiziksel özellikleri artırmak amacıyla takviye malzemelerinin eklenmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu malzemeler, polimerin esneklik ve hafiflik gibi özelliklerini, takviye elemanlarının mukavemet ve rijitlik gibi avantajlarıyla birleştirir. Polimer matrisli kompozitler, modern mühendislik uygulamalarında enerji tasarrufu, performans ve dayanıklılık gibi ihtiyaçların karşılanmasında kritik bir görev üstlenmektedir.

Polimer matris malzemeleri genellikle termoplastik veya termoset sınıfında yer alır. Termoplastik polimerler, oda sıcaklığında katı formda bulunan, tekrar ısıtıldığında yumuşayıp yeniden şekillendirilebilen malzemelerdir. Termoset polimerler kimyasal reaksiyonlarla sertleşir ve bir kez şekillendirildikten sonra geri dönüştürülemez. Polipropilen, yüksek yoğunluklu polietilen gibi termoplastikler kolay işlenebilirlik ve geri dönüştürülebilirlik sunarken, epoksi ve fenolik reçineler gibi termosetler, yüksek sıcaklık ve kimyasal direnç gerektiren uygulamalar için tercih edilir (Ivanov, 2001).

Polimer kompozitlerin performans özellikleri, takviye elemanlarının ve matris ile ara yüzey bağlanmasının etkinliği ile doğrudan ilişkilidir. Takviye malzemeleri, genellikle lif (cam elyafı, karbon fiber veya doğal lifler) veya partikül (seramik veya metal partiküller) formunda bulunur. Ara yüzeyde meydana gelen bağlanma, kompozitin mekanik dayanımını ve yorulma direncini belirleyen kritik bir faktördür. Bu bağlanmayı iyileştirmek için genellikle kimyasal bağlayıcılar veya yüzey modifikasyon yöntemleri kullanılır (Strong, 2008).

2.2. Polietilen

Çok sayıda küçük moleküllerin kovalent bağ ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan makromoleküller polimer olarak adlandırılır. Bu küçük moleküllere monomer adı verilir ve uygun koşullar altında polimerizasyon tepkimesi sonucu polimere dönüşürler. Etilenin polimerizasyon tepkimesi sonucu polietilene dönüşümü Şekil 2.1. 'de gösterilmiştir. (Saçak, 1998)



Şekil 2.1: Etilenin polietilene dönüşümü.

Polietilen (PE), dünyada en yaygın kullanılan termoplastiklerden biridir ve basit kimyasal yapısı sayesinde çok sayıda alanda kullanılır. PE, yapısı gereği esneklik, dayanıklılık ve işlenme kolaylığı gibi özellikler sunar, bu sayede gıda ambalajlarından boru sistemlerine, inşaat malzemelerinden otomotiv endüstrisine kadar birçok alanda tercih edilen bir malzemedir. Birçok çeşidi bulunan polietilen, farklı fiziksel ve kimyasal özellikleriyle oldukça fazla alternatif sunar. Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Düşük Yoğunluklu Polietilen, Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen, Çapraz Bağlı Polietilen ve biyobazlı polietilen gibi türleri, PE'nin temel çeşitlerini oluşturur (Siracusa ve Blanco, 2020).

2.2.1. Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE)

Düşük kristalinliği, esnek ve hafif yapıda olmasıyla bilinen düşük yoğunluklu polietilen, yüksek dallanma oranına sahip olup düşük yoğunlukta olan bir malzemedir. Yoğunluğu sebebiyle düşük erime oranına sahiptir. Esnekliği, dayanıklılığı ve işlenme kolaylığı sayesinde, özellikle günlük kullanımda yaygın olan uygulamalarda tercih edilir. Gıda ambalajları, streç filmler, plastik torbalar gibi ürünlerde tercih edilen bir polimer çeşididir. (Montazer ve Levin, 2020).

2.2.2. Doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (DDYPE)

Düşük yoğunluklu polietilene göre daha yüksek çekme ve darbe dayanımına sahip olan doğrusal düşük yoğunluklu polietilen, moleküler yapısındaki kısa zincirli dallanmalar sebebiyle yüksek mukavemet sunar. DDYPE'nin doğrusal yapısı, yüksek sıcaklıklar altında daha dayanıklı olmasını sağlarken endüstriyel boru sistemleri gibi ağır iş yükü gerektiren alanlarda da tercih edilmesine olanak sunar. (Ahmad ve Rodrigue, 2022).

DDYPE'nin esnekliği ve dayanıklılığı sayesinde tarım endüstrisinde de kullanımı yaygındır. Özellikle sera örtüleri ve tarımsal ambalajlarda dayanıklılık ve esneklik sağladığından bu tür uygulamalarda tercih edilir (Siracusa ve Blanco, 2020).

2.2.3. Çapraz bağlı polietilen (PEX)

Yapısındaki apraz bağları sayesinde yüksek termal dirence sahip bir polietilen çeşidi olan PEX, özellikle sıcak su boruları, ısıtma sistemleri ve su tesisatlarında yaygın olarak tercih edilir. Yapısı sayesinde yüksek basınca dayanıklı olmasının yanında molekülleri arasındaki kimyasal bağlar esnekliğinin ve dayanıklılığının yüksek olmasını sağlar. (Montazer ve Levin, 2020).

Aynı zamanda esnek yapısı sayesinde döşeme ve sıhhi tesisat uygulamalarında kolaylık sağlar, işçilik gereksinimlerini azaltır. Bu özellikleri sebebiyle ekonomik açıdan avantajlı olarak görülebilir. (Ahmad ve Rodrigue, 2022).

2.2.4. Biyobazlı polietilen (Bio-PE)

Biyobazlı PE, Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilir ve bu nedenle sürdürülebilirlik açısından değerli bir seçenek olarak değerlendirilir. Geleneksel polietilenin Tüm özelliklerini korumasının yanında karbon ayak izini azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Biyobazlı yapısı, tek kullanımlık plastiklerin yerini alabilecek bir alternatif olarak dikkat çekmektedir (Soo ve Yeo, 2024).

2.2.5. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)

Birçok alanda yaygın olarak kullanılan polietilen, yan gruplarında hidrojenlerin bağlanmış olduğu güçlü bir karbon temelli doğrusal zincir yapısına sahiptir. Bu yapı sayesinde farklı polietilen polimer tiplerinin oluşturulmasına olanak sağlanır. Yüksek yoğunluklu polietilen bunlardan biridir. Daha yoğun bir moleküler yapıya sahip olan YYPE, sertlik ve çevresel faktörlere karşı daha yüksek direnç sağlamasıyla bilinir. Bu sebeple nispeten dayanıklılık ve sağlamlık gerektiren durumlarda tercih edilen bir polimer çeşitidir.

Düşük dallanma oranına sahip bir yapıda olan YYPE, yüksek kristalinlik oranı sağlayarak daha dayanıklı ve sert bir malzemeye dönüşür. Düşük dallanma oranı sayesinde moleküller daha sıkı bir hale gelir, bu yapı sayesinde de YYPE'nin mukavemeti artmış olur (Soo ve Yeo, 2024).

YYPE, 0.942 g/cm³ ile 0.965 g/cm³ arasında değişen bir yoğunluğa sahiptir. Mevcut en iyi darbe dayanımına sahip termoplastiklerden biridir, çok düşük sıcaklıklarda bile

özelliklerini korur. Gerilme çatlaması ve aşındırıcılara karşı yüksek kimyasal dirence sahip olması, nemli ve su ortamlarından etkilenmemesi, düşük ağırlığı, leke tutmaması gibi avantajları sayesinde oldukça tercih edilen bir polimerdir. Aynı zamanda toksik olmaması sebebiyle gıda ile temasında sakınca yoktur ve gıda sektöründe bu sayede geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Enjeksiyonla kalıplama, basınçla kalıplama, ekstrüzyon, şişirme yöntemiyle kalıplama gibi yöntemlerle üretimi yapılabilmektedir (Vasile, 2005).

YYPE, plastik şişeler, kimyasal saklama kapları, boru sistemleri gibi ürünlerde yaygın olarak kullanılır. Özellikle kimyasal direncinin yüksek olması sebebiyle deterjan kapları ve endüstriyel kimyasal kaplamalar için ideal bir PE türüdür. Aynı zamanda geri dönüştürülebilir olması YYPE'nin çevresel sürdürülebilirliği yönünden değerini artırır. (Soo ve Yeo, 2024).

2.3. Doğal Lif Takviyeli Polimer Kompozitler

Doğal Lif Takviyeli Polimer Kompozitler, doğal liflerin polimerlerle birleştirilmesiyle elde edilen çevre dostu malzemelerdir. Bu kompozitler, düşük maliyetli, hafif ve sürdürülebilir olmaları nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir. Temel bileşenleri, doğal lifler (örneğin, keten, jüt, kenevir, bambu) ve polimer matristir (Nurazzi ve ark., 2021). Doğal liflerin kullanımı, kompozitin hafifliğini artırırken çevresel etkilerini azaltır. Bu kompozitlerin üretiminde yaygın olarak enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve sıkıştırma kalıplama yöntemleri kullanılmaktadır (Kamarudin ve ark., 2022). Bu yöntemler, kompozitlerin farklı mekanik ve termal özellikler kazanmasını sağlar.

Liflerin polimer matrisle iyi bir şekilde birleşmesi, kompozitin performansını artırır. Ancak, doğal liflerin hidrofobik doğası nedeniyle su emme eğiliminde olmaları, malzemenin dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir (Keya ve Maraz, 2019). Bu nedenle, liflerin yüzey modifikasyonu ve kimyasal işlemler gibi iyileştirme teknikleri kullanılmaktadır.

2.3.1. Doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin özellikleri

Doğal Lif Takviyeli Polimer Kompozitler yüksek çekme ve eğilme dayanımı gibi mekanik avantajlar sunar. Doğal liflerin polimer matrisle etkili bir şekilde birleşmesi, malzemenin genel mukavemetini artırır ve aynı zamanda hafif kalmasını sağlar (Khan ve

ark., 2021). Bu kompozitler, düşük ısı genleşme katsayısı ve iyi termal yalıtım özellikleriyle bilinir (Vigneshwaran ve ark., 2020). Özellikle endüstriyel uygulamalarda, Doğal Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin elektriksel ve termal performansları geliştirilmiş polimerlerle artırılabilir (Verma ve Senal, 2019).

Özellikle otomotiv, inşaat ve ambalaj sektörleri başta olmak üzere pek çok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde iç ve dış panellerde, koltuklarda ve kapı kaplamalarında yaygın olarak tercih edilir (Patnaik ve Kumar, 2020). İnşaat sektöründe ise hafif ve dayanıklı olmaları nedeniyle, zemin kaplamaları ve yalıtım panelleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar (Verma ve Senal, 2019).

Bu kompozitler aynı zamanda sürdürülebilir ambalaj malzemeleri olarak da popülerlik kazanmıştır. Özellikle biyobozunur polimerlerle birleştirilen bu katkılar, çevre dostu ve yeniden dönüştürülebilir özellikleriyle dikkat çeker (Venkatarajan ve Athijayamani, 2021)

BÖLÜM 3. LİTERATÜR TARAMASI

Mohanty ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları çalışmada bambu elyaf takviyeli HDPE kompozitini eriyik karıştırma tekniği ve ardından enjeksiyon kalıplama kullanarak hazırlamışlardır. Çekme ve eğilme özelliklerinin, elyaf yüklemesinin %10'dan %30'a artmasıyla arttığı, bunun ötesinde kompozitlerin mekanik mukavemetinde bir düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, maleik anhidrit aşılanmış polietilen (MAPE) ile hazırlanan kompozitlerin gelişmiş mekanik özellikler sergilediğini görmüşlerdir. Dinamik mekanik analiz, depolama modülünün, işlenmemiş ve işlenmiş kompozitlerde, saf HDPE ile karşılaştırıldığında arttığını göstermiş ve bu da takviyeli matris polimerinin sertliğinde bir artış olduğunu göstermiştir.

Liu ve arkadaşları (2008) maleik anhidrit aşılanmış etilen/propilen (EPR-g-MA) ve maleik anhidrit aşılanmış polietilen (PE-g-MA) ile modifiye edilmiş YYPE/ bambu unu (BF) kompozitinin mekanik ve morfolojik özellikleri araştırmışlardır. Her bir modifiye edicinin konsantrasyonu, toplam kompozit ağırlığına göre %0 ile %8,3 ağırlık arasında değişmektedir. Mukavemet ve modül açısından en yüksek değerler, PE-gMA içeren kompozitler için elde edilirken, yarı kristalin EPR-g-MA kullanımı maksimum darbe mukavemetine yol açmıştır. HDPE ve BF arasındaki arayüz adhezyonuyla tatmin edici bir darbe mukavemetine ulaşılabildiğini belirtmişlerdir.

Rohmat ve diğerleri (2021) doğal lifler ile kompozit oluşturarak geri dönüştürülmüş malzemelerin mekanik özelliklerini arttırmayı hedeflemişlerdir. Araştırmada ekstrüzyon yöntemini kullanarak bambu elyaf ve geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen (rYYPE) kompoziti oluşturmuşlardır. Bambu lifi bazlı kompozitleri saf YYPE ve geridönüştürülmüş YYPE ile üreterek iki kompozitin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır.

Bu çalışma sonucunda geridönüştürülmüş YYPE kompozitlerinin çekme mukavemetinin ve Young modülünün sırasıyla 8,764 MPa ve 52,0152 MPa, saf YYPE kullanılarak üretilmiş olan kompozitlerin çekme dayanımı 9,3312 MPa ve Young Modülü değeri 94,8468 MPa olarak bulunmuştur. Bu nedenle, saf YYPE matrisli bambu elyaf takviyeli

kompozitler, geri dönüştürülmüş YYPE matrisli bambu kompozitlerden daha üstün mekanik özellikler gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Mohanta ve diğ. (2023) Bambu elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitinde işlenmiş bambu elyafın varlığını araştırmışlardır. Bu araştırmada saf YYPE ve geri dönüştürülmüş HDPE kullanmışlardır. Bambu elyafa alkali ve stearik asit işlemi uygulayarak yüzey pürüzlüğü oluşturarak kompozit içerisinde YYPE ve rYYPE matrisleri arasındaki arayüz etileşimini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucu Stearik asitle işlenmiş olan bambu elyafların YYPE ve rYYPE ile olan kompozitlerinde çekme dayanımlarının artmış olduğu gözlemlenmiştir. BF/HDPE kompozitlerinde çekme dayanımı %9.26 oranında artarken BF/r-YYPE kompozitlerinde %16.5'lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile işlenmiş bambu elyaf katkısının işlenmemiş bambu elyafa göre kompozitlerde matris içinde gelişmiş arayüz bağlanması geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada Ren ve diğ. (2014) çift vidalı bir ekstrüder yardımıyla bambu unu (BF) ile bambu hamuru lifi (BPF) ve yüksek yoğunluklu polietilen kompoziti üreterek, bu kompozitin mekanik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırma sonucu %30 ağırlıkça BPF içeren kompozitin mekanik değerleri %50 ağırlıkça BF içeren kompozitlere göre optimum değer gözlenmiştir. %30 ağırlıkça BPF içeren kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti sırasıyla %61,46 ve %22,94 artarken, çekme ve eğilme modülü sırasıyla %84,52 ve %27,30 artmıştır.

Moe ve diğ. (2002), polipropilen matris içerisine farklı oranlarda bambu lifi ve cam lifi eklenerek hibrit biyokompozit malzeme, basınçla kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Matris ve takviye arasındaki bağlanmayı iyileştirmek amacıyla maleik anhidrit kullanılmıştır. %20 cam elyaf içeren hibrit kompozit malzemenin çekme ve eğilme modüllerinin, bambu lifi takviyeli polimer kompozit malzemeye kıyasla sırasıyla %12 ve %10 oranında arttığı, çekme ve eğilme dayanımlarının ise sırasıyla %7 ve %25 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Soleimani ve arkadaşları (2008), Polipropilen matrisine alkali işleminden geçirilmiş ve maleik anhidrit ile modifiye edilmiş keten lifleri ekstrüzyon yöntemiyle karıştırılmış, ardından sıcak kalıplama tekniği kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Araştırmada, maleik anhidritin ve alkali işlemin biyokompozitin darbe dayanımı, çekme dayanımı ve su geçirmezlik dayanımını artırdığı, ancak eriyik akış indeksini olumsuz yönde etkilediği

belirlenmiştir. Yazarlar, eriyik akış indeksinin iyileştirilmesi için yağlayıcı kullanımını önermiştir.

Rana ve arkadaşları (2017), doğal lif takviyeli polimer kompozit ile cam lifi birleştirerek, doğal takviyeli polimer kompozite kıyasla daha yüksek mekanik dayanım sunan bir kompozit malzeme üretmeyi amaçlamışlardır. Doğal lif takviyesi olarak 5, 10, 15 ve 20 mm boyutlarında sisal lifleri kullanılmıştır. Yapılan çekme, darbe ve eğilme testleri sonucunda, hibrit kompozitin nem tutma oranının doğal lif takviyeli polimer kompozite göre azaldığı ve mekanik dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Engin ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada, beş farklı doğal lif ve iki sentetik lifi yüksek yoğunluklu polietilen matris içinde presle kalıplama yöntemiyle birleştirerek kompozit lamine levhalar üretmişlerdir. Bu levhalardan elde edilen numunelerin çekme mukavemeti ile sıcaklığa bağlı deformasyonları incelenmiştir. Çalışmada, üretim işleminin hızlı ve ekonomik olması adına kimyasal bir ön işlem uygulanmaması, özellikle çekme mukavemeti üzerinde bir düşüşe yol açmıştır. Ancak, genel olarak çekme mukavemeti azalmış olsa da, mısır sapı, ayçiçeği sapı ve su kamışı ile güçlendirilmiş kompozit numunelerin, cam yünü ve karbon lifi ile güçlendirilmiş kompozit numunelere oldukça yakın çekme mukavemeti değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde kompozitler katkısız YYPE'ne göre daha düşük mukavemet gösterirken, lif takviyeli kompozitler kendi aralarında karşılaştırıldığında mısır sapı takviyeli kompozitin 24 MPa ile en yüksek çekme mukavemetine sahip olduğunu bulmuşlardır. Kompozit içinde takviye miktarı azaldıkça çekme mukavemetinin de arttığı görülmüştür.

Narlıoğlu ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada polipropilen matris içerisinde odun lifi takviyesi yaparak biyokompozit malzemeyi ekstrüzyon yöntemi ile üretmişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek için eğilme, çekme ve darbe direnci testleri yapılmıştır. %50 takviyeli kompozitin eğilme direnci değeri saf PP polimerine göre %12 artarken, çekme direnci değeri %51 azalmıştır.

PP-g-MA ve PP-g-AA bağlayıcı olarak kullanarak, keten lifi-polipropilen kompozitinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelemiştir. Tüm kompozitler, saf PP'den önemli ölçüde daha yüksek çekme modülü değerleri göstermiştir. Yaptıkları çalışmalara Ağırlıkça %10 Epolene (PP-g-MA) ile uyumlu hale getirilen kompozitin E modülü ve maksimum gerilme mukavemeti, katkısız PP'ye kıyasla sırasıyla %200 ve %30 artmıştır.

Yapılan çalışmalara göre maksimum değerlerin %0.1 Epolene ile ulaşıldığı görülmektedir. En yüksek MA içeriğine (Epolene) sahip olan PP-g-MA'nın, PP matrisi ile keten lifleri arasındaki arayüzü geliştirmede en etkili olduğunu bulmuşlardır.

Zhang ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada buğday samanı ve geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietileni ekstrüzyon ve sıcak presleme yöntemini kullanarak kompozit malzeme oluşturmuşlardır. Araştırmada lif boyutu ve lif oranının (%20, %30, %40, %50 ve %60) mekanik, termal ve nem emme özelliklerine etkileri incelenmiştir. Lif içeriğinin ve uzunluğunun artmasıyla beraber kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak lif oranının %50 üzerine çıkmasıyla mukavemet değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.

Mu ve Tang, (2021) ekstrüzyon yöntemiyle üretmiş oldukları doğal lif/polimer kompozitlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada takviye olarak buğday sapı, pirinç sapı, pirinç kabuğu, şeker kamışı posası, pamuk sapı ve bambu lifi ve hepsinin dahil olduğu tarımsal kalıntı lifleri seçilmiştir. Liflerin kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlendikten sonra elde edilen kompozitlerin mekanik özellikleri, nem alma, reolojik özellikler ve boyutsal kararlılıkları incelenmiştir. YYPE'ye tarımsal kalıntı liflerinin eklenmesi, çekme ve eğilme dayanımını iyileştirmiş, kompozitin mekanik modülü YYPE'den 3 kat daha yüksek çıkmıştır. En iyi mekanik özellikler, boyutsal kararlılık ve termal dayanıklılık bambu lifi kompozitinden elde edilmiştir. Pirinç kabuğu ile doldurulmuş kompozit en düşük mekanik özelliklere sahipken, en iyi işlenebilirliği göstermiştir.

Panthapulakkal ve diğ. (2007) buğday sapı, mısır sapı ve mısır koçanı gibi tarımsal atıklar kullanarak YYPE ile kompozitlerinin mekanik ve fiziksel performansını incelemişlerdir. Lif oranını sabit(%65) tutarak katkıların uyumlaştırıcı varlığında (%2.5) değerlerini analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre buğday sapının yüzey kimyası, yüksek karbon içeriği ve düşük oksijen/karbon oranı nedeniyle mısır sapı ve mısır koçanına kıyasla YYPE matris içinde daha yüksek uyum göstermiştir. Aynı zamanda lifler 200 C üstünde bozunmaya başlamaktadır. Bu sebeple YYPE kullanımı da bu kompozit çeşidi için oldukça uygundur. Mekanik özelliklere bakıldığında buğday sapı katkılı kompozitlerin eğme ve çekme dayanımları sırasıyla 40 MPa ve 25 MPa değerlerine ulaşılmıştır. Mekanik özellikler açısından buğday sapı, mısır sapı ve mısır koçanı dolgulu kompozitlere kıyasla oldukça yüksek çekme dayanımı göstermiştir.

Yapılan çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen ve buğday lifi kullanılarak üretilen kompozitlerde nanokil ve magnezyum hidroksit etkisini PE-g-MA varlığında incelemişlerdir. Matris içinde %40 oranında buğday sapı kullanılırken, farklı oranlarda(%0, %10, %20, %30) $MG(OH)_2$ ve %3 nanaokil kullanılmıştır. Örnekler enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle hazırlanarak ASTM standartlarına uygun olarak mekanik ve yanma testleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu çekme dayanımı belli bir orana kadar (%10) artmakta olup, üstündeki oranlarda azalmıştır. Nanokil eklenmesiyle çekme dayanımının %37 oranında arttığı görülmüştür. Darbe dayanımı YYPE/Buğday sapı kompozitlerinde dolgu maddesinin eklenmesiyle düşmüştür. Aynı zamanda buğday lifi polimer matrisine bağlanarak yapısal sertlik katmıştır ve bu sayede çekme mukavemeti de artmaktadır. (Liany 2013)

Babaei ve diğ (2014) çalışmasında YYPE ve buğday sapı unu içeren kompozitlerin Azodikarbonamid (AZD) ve nanokil (NC) katkıları varlığında mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Kompozit içerisinde buğday sapı oranı sabit tutularak(%40) katkı oranlarının kompozitin mekanik ve fiziksel performansına etkisi üzerinde durulmuştur. Katkısız YYPE ve buğday lifi kompoziti, liflerin hidrofilik doğası, su emme ve boyutsal stabilite gibi fiziksel özellikleri olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Bu sebeple kompozitin performansının artırılması için bağlayıcılar ve modifikasyonlar önerilmektedir.

Mu ve Wang (2018), yapmış oldukları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen matrisi içerisinde buğday samanı ve bambu liflerinin uyumlaştırıcı varlığında mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında %35 oranında biyokütle, %60 oranında YYPE ve %3 oranında maleik anhidrit graflanmış polietilen (MAPE) kullanmışlardır. Kompozitlerin mekanik testleri incelendiğinde buğday samanına kıyasla bambu lifi kompozitlerinin hem çekme hem de eğilme dayanımı açısından daha iyi bir performans (2.7 kat) göstermiş olduğu görülmüştür. Bu fark, bambunun daha yüksek selüloz içeriği sebebiyle matrisle daha iyi bağlanma kapasitesi ve daha düşük boşluk oluşumu ile açıklanabilir. Bu sonuçlar, biyokütle seçiminin kompozitlerin özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Malzemeler:

Deneylerde ana matris malzeme olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılmıştır. YYPE polimeri $0,965 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklu 5,5 g/10 dak. (190 °C/ 2.16 kg) ergime akış indeksine ve 134 °C ergime sıcaklığına sahip I668 kodlu enjeksiyonluk PETKİM Petrokimya Holding/İzmir/TÜRKİYE firmasından temin edilen enjeksiyonla kalıplamaya uygun bir polimerdir.

Bambu elyaf, bambu bitkisinin lif bakımından zengin parçalarından elde edilen doğal çözünmez bambu lifidir. Unicell BF200 kodlu (fiber boyu:200 μm) olarak Ataman Kimya/İstanbul/Türkiye firmasından temin edilmiştir.

Buğday elyaf ise Unicell WF200 kodlu (fiber boyu:200 μm) olarak Ataman Kimya/İstanbul/Türkiye firmasından temin edilmiştir.

YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ise YYPE ile bambu ve buğday elyaflar arasındaki bağ yapısını kuvvetlendirebilmek için kullanılmıştır. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı SCONA TSPE 2102 GAHD kodlu olup maleik anhidrik asit ile aşılanmış (>%1.5) YYPE BYK-Chemie GmbH/Almanya firmasından temin edilmiştir. Bu uyumlaştırıcı cam elyaf, ahşap ve diğer doğal elyaflar ile kullanılabilir özelliktedir. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı, kompozite rijitlik, eğilme mukavemeti ve darbe mukavemetini artırma özelliği sağlarken su emme oranını ise azaltıcı etki sağlar. Firma tarafından %1-4 oranında kullanılması önerilmiştir.

Yukarıda isimleri sayılan polimer ana matris malzeme ile bambu elyaf ile buğday elyaf katkıların kullanılarak üretilen kompozitlerin formülasyonu aşağıda Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1 : Deneylerde kullanılan malzemeler ve YYPE kompozit üretim formülasyonu.

Kod no	YYPE, %	Bambu lifi, %	Buğday lifi, %	YYPE-g-MA
1	100	-	-	-
2	95	-	-	5
3	95	5	-	-
4	90	5	-	5
5	90	10	-	-
6	85	10	-	5
7	85	15	-	-
8	80	15	-	5
9	95	-	5	-
10	90	-	5	5
11	90	-	10	-
12	85	-	10	5
13	85	-	15	-
14	80	-	15	5



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan katkı malzemelerinin optik mikroskop (a) YYPE polimer ana matris (b) YYPE-g-MA uyumlaştırıcı. (c) Bambu elyaf (d) Buğday elyafı görüntüleri

Kompozit Üretim Yöntemi:

YYPE polimer esaslı buğday elyafı ve bambu elyaf katkılı kompozit karışımları, Xplore marka 15cm³ kapasiteli dikey pozisyonda çalışan çift vidalı bir mikro-harmanlayıcı kullanılarak hazırlanmıştır. Harmanlama işlemi tamamlandıktan sonra kompozit karışımları, transfer silindiri ile mikro-harmanlayıcının kafa kısmından alınarak ISO 527-5A ve ISO 180 standartlarına uygun çekme ve darbe testi numuneleri oluşturmak için Xplore marka 12 cm³ hacimli bir mikro-kalıplama cihazında kalıplanmıştır. Kompozit karışımları, 100 dev/dk vida hızı, 3 dakika alıkonma süresi ve 160°C kovan sıcaklığında çift vidalı bir mikro-harmanlayıcı kullanılarak harmanlanmıştır. Saf YYPE ise benzer koşullarda ancak 2 dakika alıkonma süresiyle işlenmiştir. Mikro-kalıplama ile YYPE esaslı kompozit test numunelerinin üretiminde eriyik sıcaklığı 160°C, kalıp sıcaklığı 25°C, enjeksiyon basıncı ise 1. Aşamada 10 bar (3 saniye), 2.ci aşamada 8 bar (3 saniye) ve 3. aşamada ise 8 bar (3 saniye) olarak ayarlanmıştır. Aşağıda Şekil 4.2 (a)'da deneylerde kullanılan çift vidalı bir mikro-harmanlayıcı (b)'de mikro-kalıplama cihazı ve (c)'de mikro-harmanlayıcının kafa kısmı verilmiştir.



a) Mikro harmanlama cihazı

Şekil 4.2: Deneylerde kullanılan a) Mikro harmanlama cihazı, b) Mikro kalıplama cihazı ve c) Mikro harmanlayıcının kafa bölümü



b) Mikro kalıplama cihazı



c) Mikro harmanlayıcının kafa bölümü

Şekil 4.2 (devam) : Deneylerde kullanılan a) Mikro harmanlama cihazı, b) Mikro kalıplama cihazı ve c) Mikro harmanlayıcının kafa bölümü

4.3. Mekanik Testler

4.3.1. Çekme Test Deneyi

Bambu elyafı ile buğday elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme testleri Zwick Roell marka Z250 model çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme test numuneleri ISO 527-5A standardına uygun olarak üretilmiştir. Herbir numunenin çekme testi 5 mm/dak. Çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Testlerde en az 5 test numunesi kullanılmıştır. Elde edilen veriler bilgisayara kaydedilmiştir ve 5 test numunesi verilerinin ortalaması alınmış vegrifik çizimlerinde kullanılmıştır.

Bambu elyafı ile buğday elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme mukavemet değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F_n}{A}$$

Denklemde verilen F_n maksimum yükü (N), A ise numunenin başlangıçtaki kesit alanını (mm^2) ifade etmektedir.

Buna ilaveten kopmadaki % uzama ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Formülde verilen ϵ kopmadaki uzamayı, L_0 : numunenin başlangıçtaki boyunu (mm), L ise numunenin koptuğu andaki boyunu (mm) ifade eder.

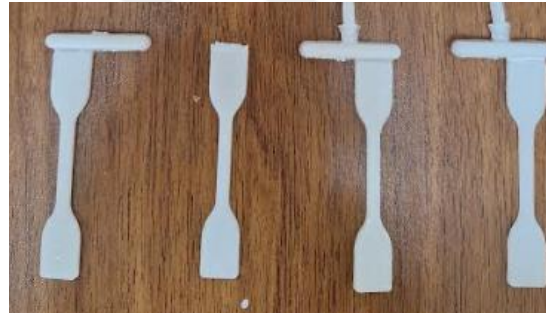
Bilindiği gibi Elastiklik modülü bir malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür. Young's modülü olarak da ifade edilir. Bambu elyafı ile buğday elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin elastiklik modülü aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Denklemde E , numunenin elastiklik modülünü (MPa), σ ise numunenin elastic bölgedeki gerilmeyi (N/mm^2), ϵ ise elastic bölgedeki şekil değiştirmeyi ifade eder.



Şekil 4.3: Saf ve %4,%8 ve %16 Bambu elyaf takviyeli YYPE kompozit çekme test numuneleri.



Şekil 4.4: Saf ve %4,%8 ve %16 Buğday elyaf takviyeli YYPE kompozit çekme test numuneleri.

4.3.2. Üç nokta eğme deneyi

Bambu elyafı ile buğday elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğilme testleri Zwick Roell Z250 marka ve model bir çekme test makinasında gerçekleştirilmiştir. Çekme test numune alt ve üst çeneleri eğilme testi için değiştirilerek eğilme testine uygun hale getirilmiştir. Test numunelerinin testlerinde kullanılan eğilme test cihazının şematik görüntüsü Şekil 4.5’de verilmiştir. Eğme test numuneleri ise ISO 180 standardına uygun

olarak hazırlanmış olup testler 5 mm/dakika eğme hızında gerçekleştirilmiştir. Eğmede kullanılan test numunelerinin görüntüsü ise Şekil 4.6’da verilmiştir. Eğme testlerinde en az beş test numunesi kullanılmış olup elde edilen veriler bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Daha sonra elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Bambu elyafı ile buğday elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğilme dayanımı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

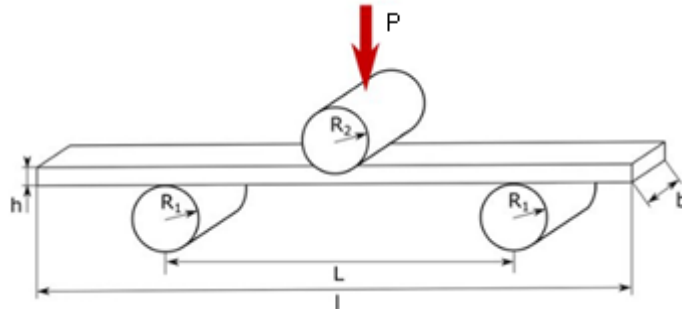
Denklemden;

P uygulanan yük (N), L destekler arası açıklık (mm), b; genişlik (mm), h; ise kalınlık (mm) tır.

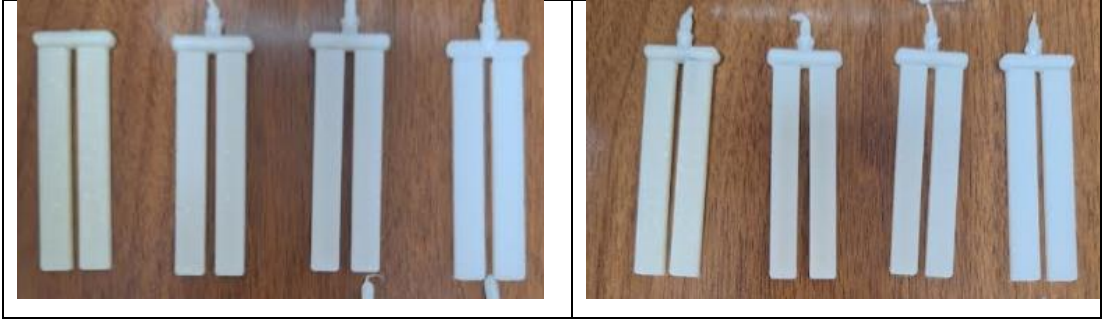
Ayrıca eğilme testi esnasındaki şekil değiştirme oranı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{6Dh}{L^2}$$

Burada ε eğmedeki şekil değişimi (deformasyon oranı), D numunenin merkezinin maksimum eğilme miktarı (mm), h; numune kalınlığı (mm) ve L ise iki destek arasındaki açıklıktır.



Şekil 4.5: Üç nokta eğme deneyi şematik test düzeneği (ASTM D790).



a) Saf ve %4,%8 ve %16 Bambu elyaf takviyeli YYPE kompozit eğme test numuneleri.
b) Saf ve %4,%8 ve %16 Buğday elyaf takviyeli YYPE kompozit eğme test numuneleri.

Şekil 4.6: Eğme testinde kullanılan test numunelerinin görüntüsü

4.3.3. Taramalı elektron mikroskop analizi

Bambu elyaf ve buğday elyaf katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer esaslı kompozitlerin mikroyapı incelemeleri Şekil 4.7’de verilen JEOL marka (JSM 6060LV model) bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İyi bir yüzey görüntüsü alabilmek için çekme test numunelerinin kırık yüzeyleri bir kaplama cihazı kullanılarak püskürtme yöntemiyle ince bir film tabakası formunda altınla kaplanmıştır.



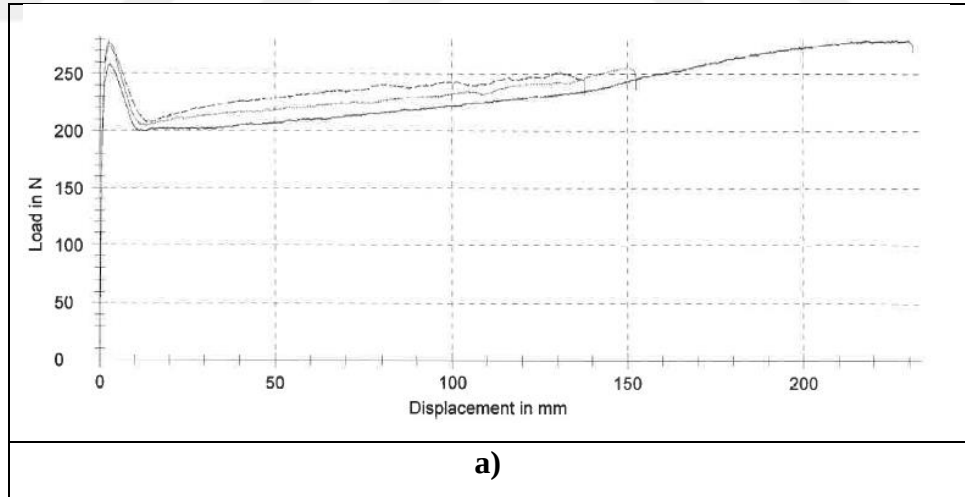
Şekil 4.7: Deneylerde kullanılan SEM cihazı

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

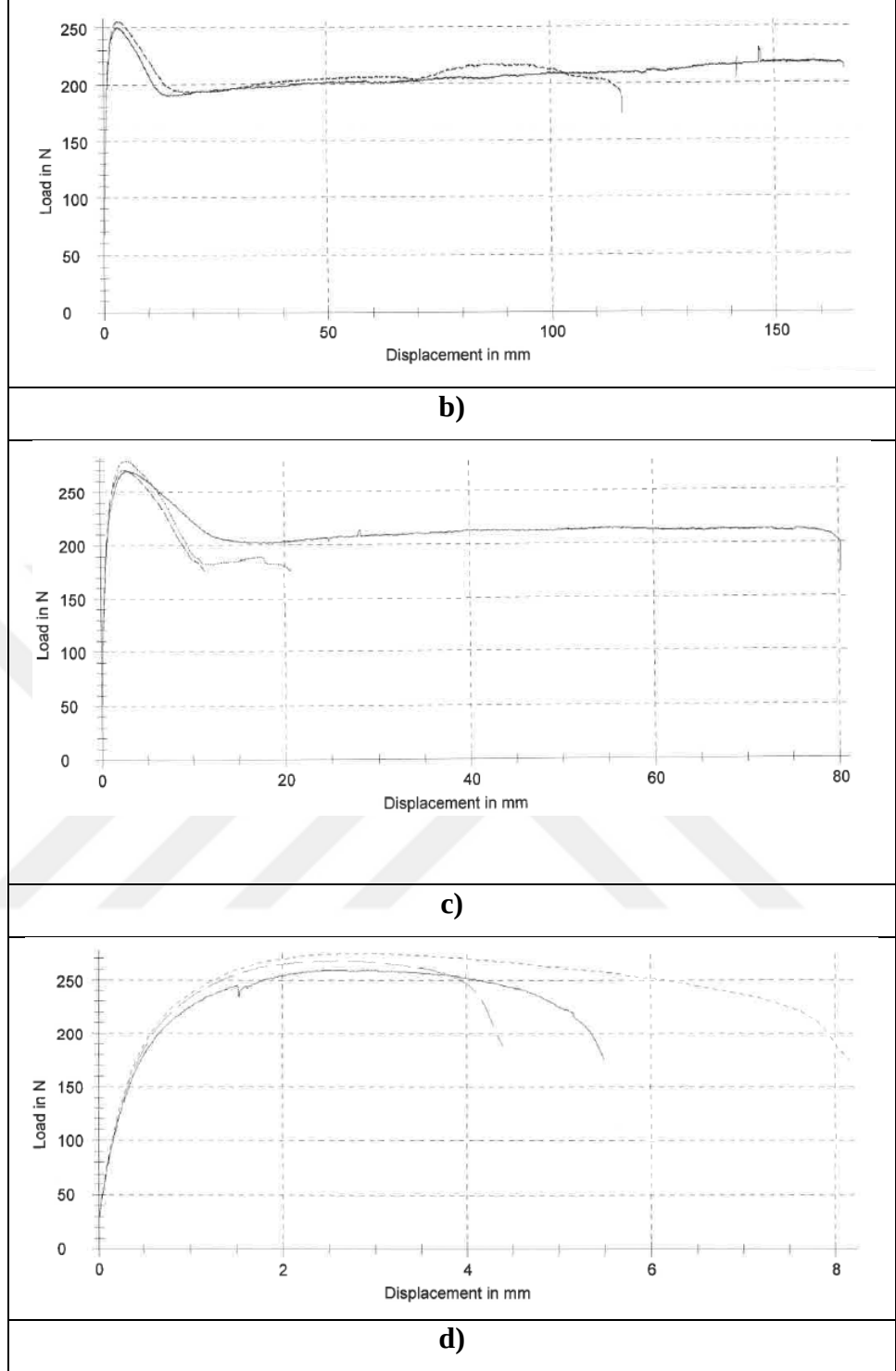
5.1. Bambu Lifi Katkılı Kompozitlerin Sonuçları

5.1.1. Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin çekme deney sonuçları

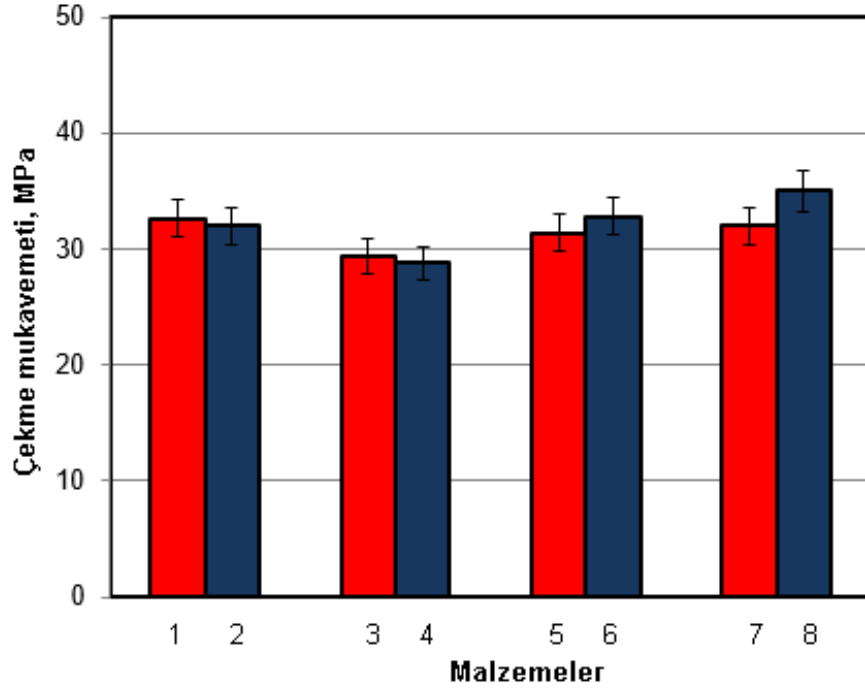
YYPE polimeri ile bambu lifi katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama değişirme grafikleri aşağıda Şekil 5.1 a,b,c ve d' de verilmiştir. Çekme testlerinde en az 5 test numunesi kullanılmıştır. Beş test numunesinin çekme testinde elde edilen verilerin ortalaması alınmış ve çekme mukavemeti, çekmedeki elastiklik modülü ve kopmadaki % şekil değişimini gösteren grafikler düzenlenmiştir. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde bambu elyaf katkılı YYPE kompozitlerin gevrek davranış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.1: a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.



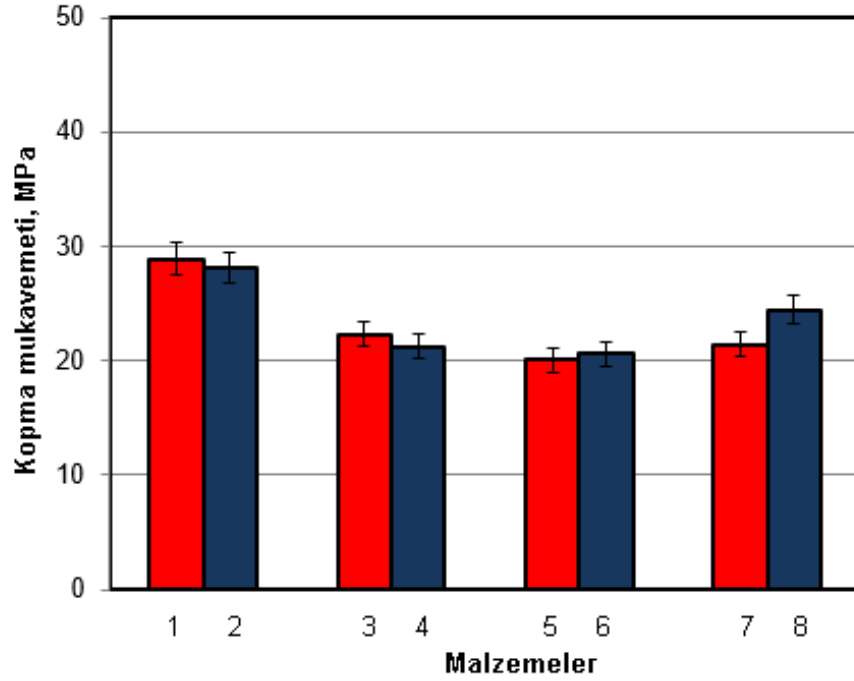
Şekil 5.1 (devam) : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifi katkı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.



Şekil 5.2: Saf YYPE polimeri ile Bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi.

Şekil 5.2’de bambu elyaf katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin çekme mukavemeti 32.6MPa olarak bulunurken %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin çekme mukavemetleri sırasıyla 28,4MPa, 31,4MPa ve 32MPa olarak elde edilmiştir. YYPE polimerinin çekme mukavemeti ile kıyaslandığında %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı kompozitlerin çekme mukavemetleri sırasıyla %12.8, %3.6 ve %1,8 oranında azalmıştır. YYPE polimerine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise karışımın çekme mukavemeti 32MPa olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin çekme mukavemetleri ise sırasıyla 28,8MPa, 32,8MPa ve 35MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/bambu elyafı kompozitlerin çekme mukavemetlerinin hafif artmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin çekme mukavemeti ile karşılaştırıldığında YYPE-4bambu elyafı katkılı kompozitin çekme mukavemeti %11.6 oranında azalırken YYPE-8bambu ve YYPE-16bambu elyafı katkılı kompozitlerin çekme mukavemetleri ise sırasıyla %0.6 ve %7,36 oranında artış göstermiştir. Çekme mukavemetinde görülen bu artış literatür ile de uyumludur. Uyumlaştırıcı etkisiyle matris ile lif arasındaki kimyasal bağın artması ve

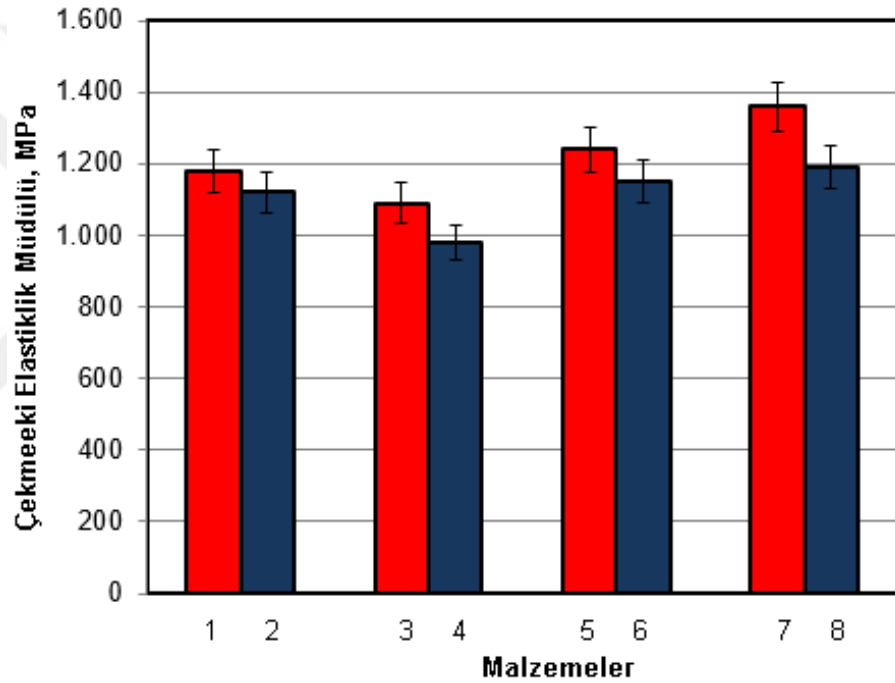
lif içeriğinin artması ve liflerin homojen dağılması sebebiyle çekme mukavemeti değerleri artmıştır. (Liu ve ark., 2008, Moe ve ark., 2002, Mohanty ve Nayak, 2010, Ren, 2014)



Şekil 5.3: Saf YYPE polimeri ile Bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin bambu elyaf katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkısına göre kopma mukavemet değerlerinin değişimi.

Farklı oranlarda bambu elyafı içeren YYPE polimer esaslı kompozitlerin uyumlaştırıcı ve bambu lifi katkı oranına göre kopma mukavemet değerlerinin değişimi Şekil 5.3’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi katkısız YYPE polimerinin kopma mukavemeti 28,87 MPa olarak belirlenirken %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin kopma mukavemetleri sırasıyla 22,33 MPa, 20,04 MPa ve 21,41 MPa olarak belirlenmiştir. YYPE polimerinin kopma mukavemeti ile karşılaştırıldığında %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı içeren kompozitlerin kopma mukavemetleri sırasıyla %22,6, %30,5 ve %25,8 oranında azalmıştır. YYPE-PE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer karışımın kopma mukavemeti 28,12 MPa olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ve farklı oranlarda (%4, %8 ve %16) bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin kopma mukavemetleri ise sırasıyla 21,2 MPa, 20,58 MPa ve 24,44 MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/bambu elyafı kompozitlerin kopma mukavemetlerinin azalmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin kopma mukavemeti ile

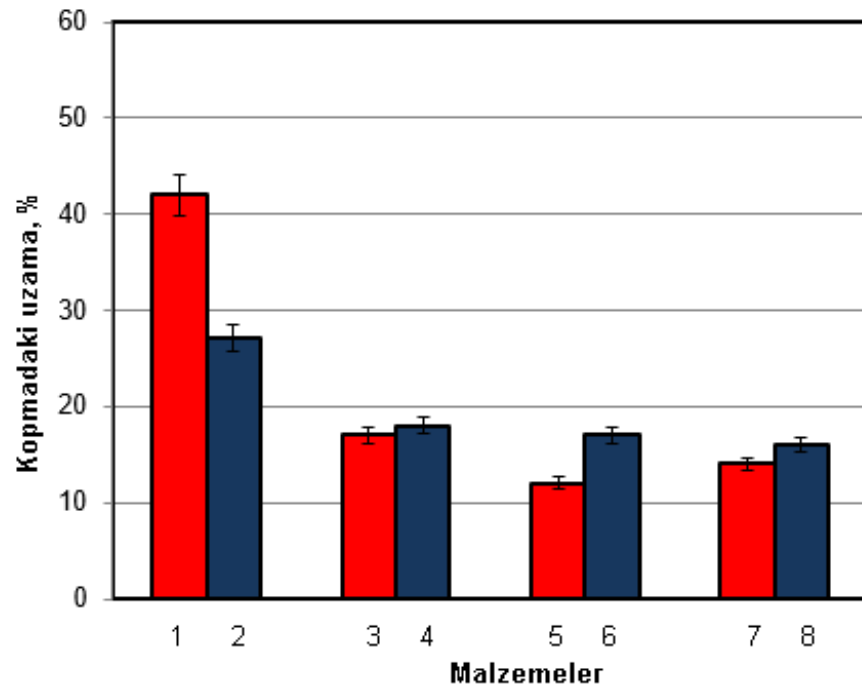
karşılaştırıldığında YYPE-4bambu elyafı, YYPE-8bambu ve YYPE-16bambu elyafı katkılı kompozitlerin kopma mukavemetleri sırasıyla %24.6, %26.8 ve %13.0 oranında azalmıştır. Literatür çalışmalarında katkı ve uyumlaştırıcı altında kopma mukavemetlerinin artmış olduğu görülmüştür. (Soleimani ve ark., 2008, Mohanty ve ark., 2010, Mohanta ve ark., 2023 ve Zhang ve Wang, 2020) Tez çalışmamda ortaya çıkan düşüşün sebeplerinde elyafların numuneler içerisinde homojen dağılmamış olması ve bu sebeple daha gevrek hale gelmesi sebep olarak gösterilebilir. Ek olarak yüksek lif oranlarının, lifler arasındaki bağlanmayı zayıflattığını ve polimer matris içinde homojen bir dağılım sağlanamadığı da düşünülebilir.



Şekil 5.4: Saf YYPE polimeri ile Bambu lif katkılı YYPE kompozitlerin bambu lif katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi.

Şekil 5.4’de YYPE/bambu elyaf kompozitlerin bambu lif katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekmedeki Elastiklik Modülü değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin çekmedeki elastiklik modülü 1180MPa olarak tespit edilmiştir. YYPE-4bambu elyaf, YYPE-8bambu elyaf ve YYPE-16bambu elyafı kompozitlerin çekmedeki elastiklik modülleri sırasıyla 1090MPa, 1240MPa ve 1360MPa olarak tespit edilmiştir. YYPE polimerinin elastiklik modülü ile kıyaslandığında %4 oranında bambu elyafı içeren kompozitin elastiklik modülü %7,6 oranında azalırken %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı kompozitlerin elastiklik modülü değerleri sırasıyla

%5.0 ve %15,2 oranında artmıştır. Bu artış, liflerin polimer matrise rijitlik kazandırmasıyla ilişkilidir. Mu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada da bambu lifinin yüksek selüloz içeriği sayesinde daha sert bir yapıya ulaşıldığını vurgulamışlardır. (Mu ve ark., 2018) YYPE polimerine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise karışımın elastiklik modülü 1120MPa olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin elastiklik modül değerleri ise sırasıyla 981MPa, 1150MPa ve 1190MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi %4 bambu elyafı hariç YYPE/bambu elyafı kompozitlerin elastiklik modül değerlerinin hafif artmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin çekme mukavemeti ile karşılaştırıldığında YYPE-4bambu elyafı ve YYPE-8bambu elyafı katkılı kompozitlerin elastiklik modülü değerleri %16,8 ve %2,5 oranında azalırken YYPE-16bambu elyafı katkılı kompozitin elastiklik modül değeri ise %0,8 oranında artış göstermiştir.



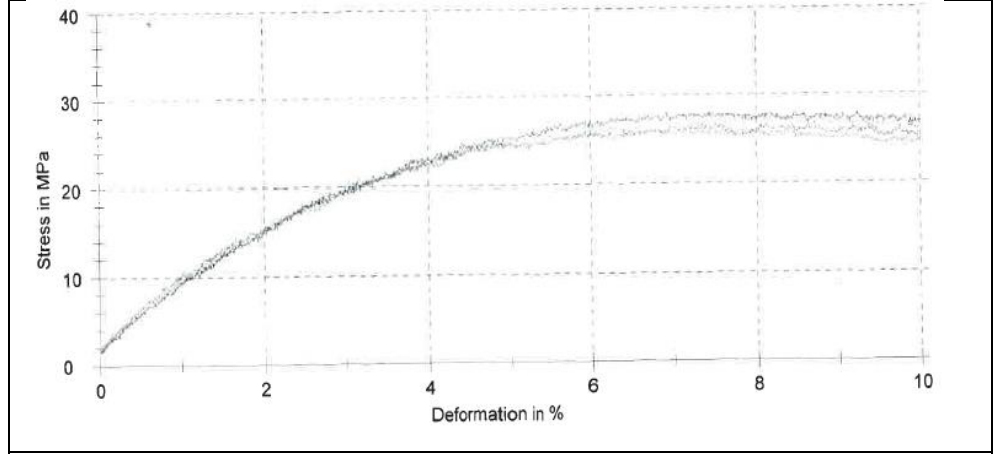
Şekil 5.5: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi

Farklı oranlarda bambu elyafı ve uyumlaştırıcı içeren YYPE polimer kompozitlerin bambu lifi katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkısına göre kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi Şekil 5.5’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin kopmadaki % uzama değeri %42 olarak tespit edilmiştir. YYPE-4bambu elyaf, YYPE-8bambu elyaf ve YYPE-16bambu elyafı kompozitlerin kopmadaki % uzama değerleri

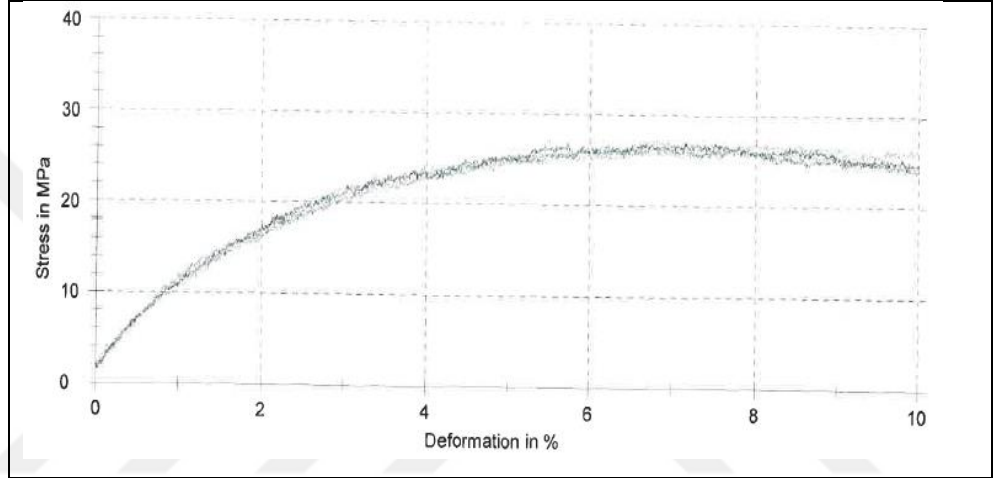
sırasıyla %17, %12 ve %14 olarak tespit edilmiştir. YYPE polimerine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise karışımın kopmadaki % uzama değeri %16 olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin kopmadaki % uzama değerleri ise sırasıyla %18, %17 ve %16 olarak elde edilmiştir. Kısaca YYPE polimer ana matrisine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/bambu elyafı kompozitlerin kopmadaki % uzama değerlerinin hafif azalmasına sebep olmuştur. PE-g-MA uyumlaştırıcı içermeyen YYPE-4bambu elyaf, YYPE-8bambu elyaf ve YYPE-16bambu elyafı kompozitlerin kopmadaki % uzama değerleri ile kıyaslandığında PE-g-MA uyumlaştırıcı içeren YYPE-4bambu elyaf, YYPE-8bambu elyaf ve YYPE-16bambu elyafı kompozitlerin kopmadaki % uzama değerlerinin hafif arttığı gözlenmiştir.

5.1.2. Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin eğme deney sonuçları

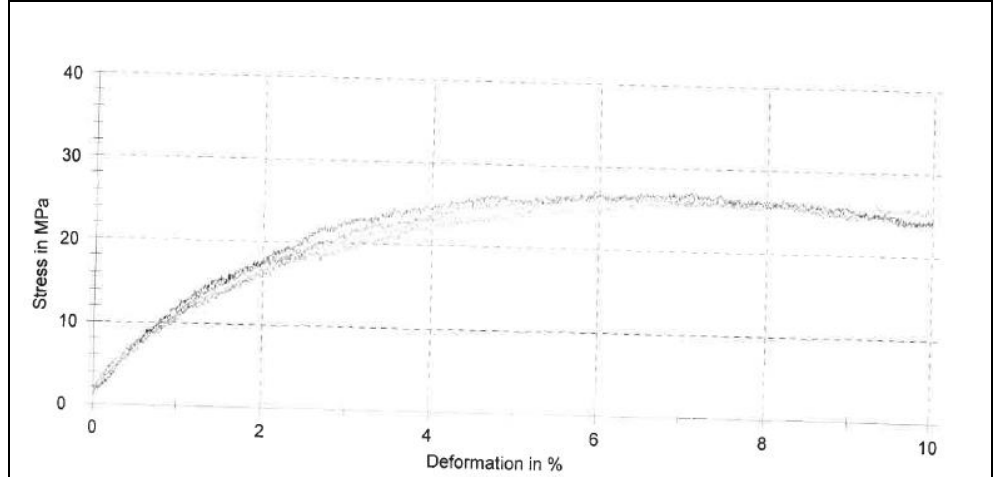
Şekil 5.6 a,b,c' de Bambu elyaf katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerin eğme deneyinde elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafikleri aşağıda verilmiştir. Eğilme testlerinde en az 5 test numunesi kullanılmıştır. Beş test numunesinin eğilme testinde elde edilen verilerin ortalaması alınmış ve eğilme mukavemeti, eğmedeki elastiklik modülü ve eğmedeki şekil değişimini gösteren grafikler düzenlenmiştir. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde bambu elyaf katkılı YYPE kompozitlerin gevrek davranış gösterdiği görülmektedir.



a)

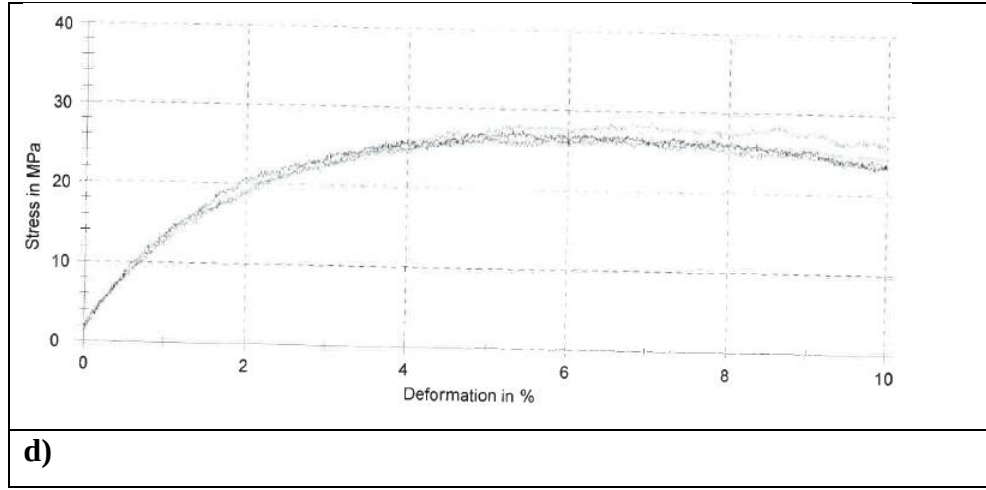


b)

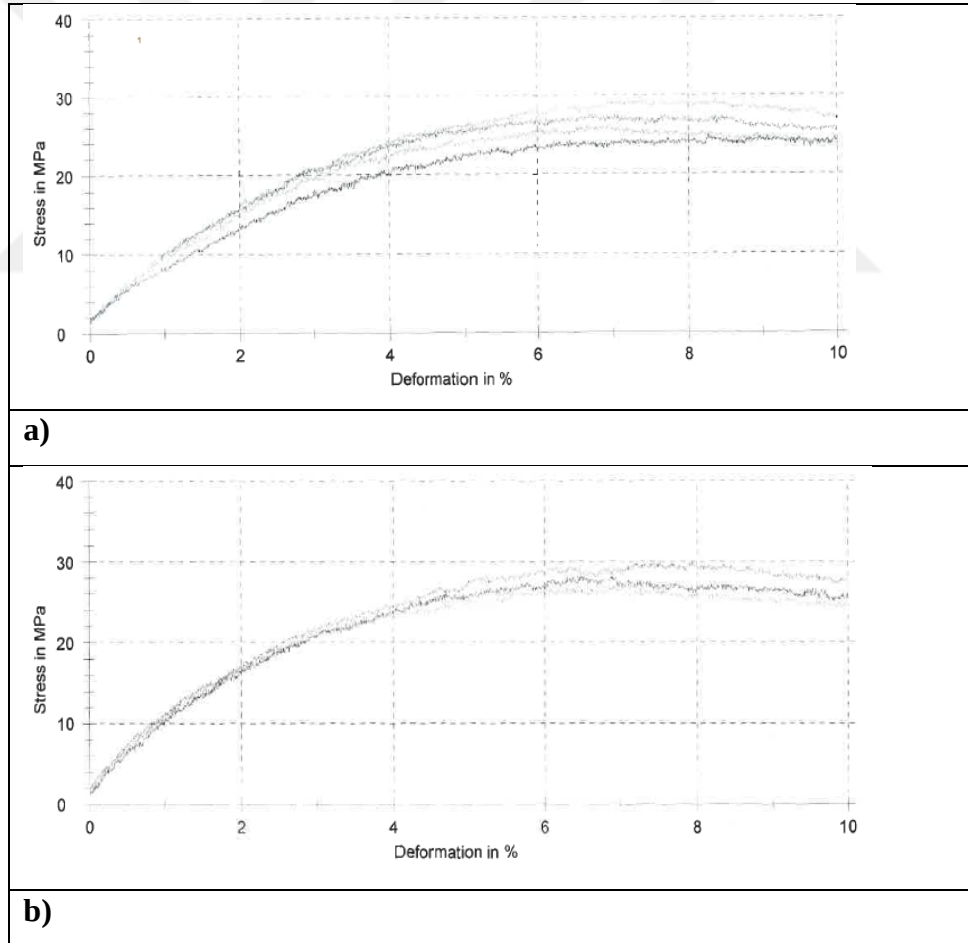


c)

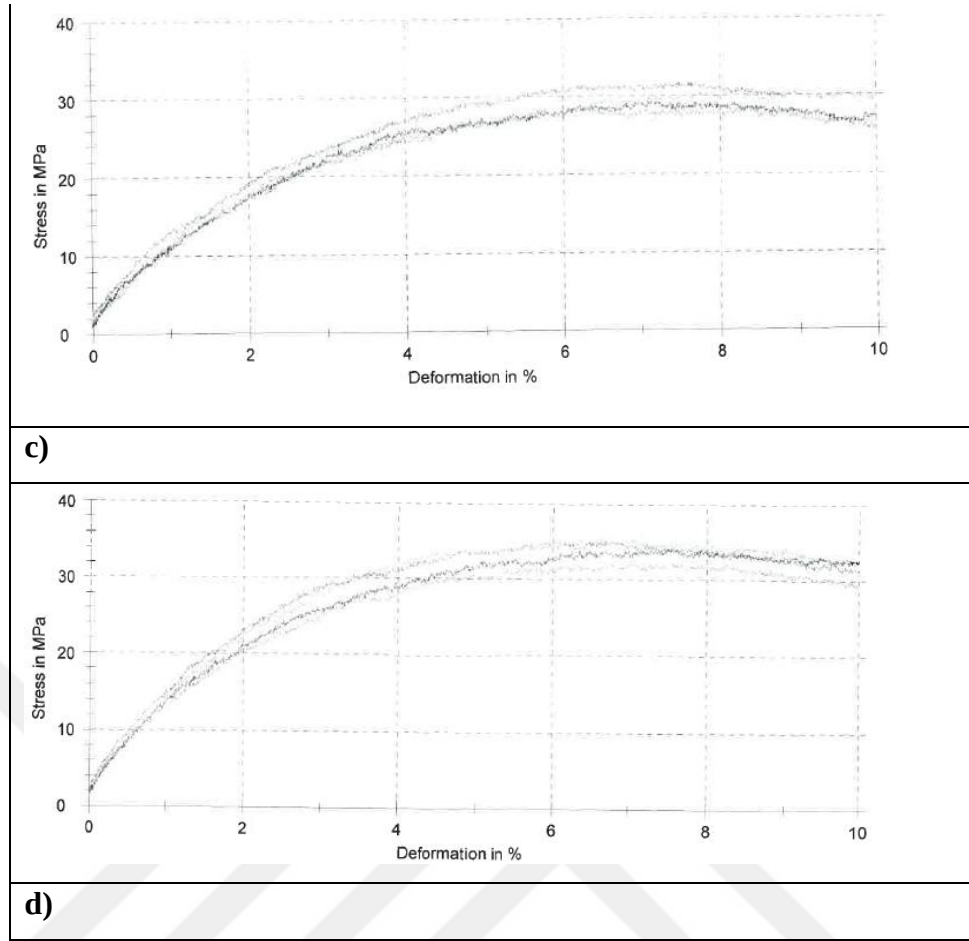
Şekil 5.6 : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



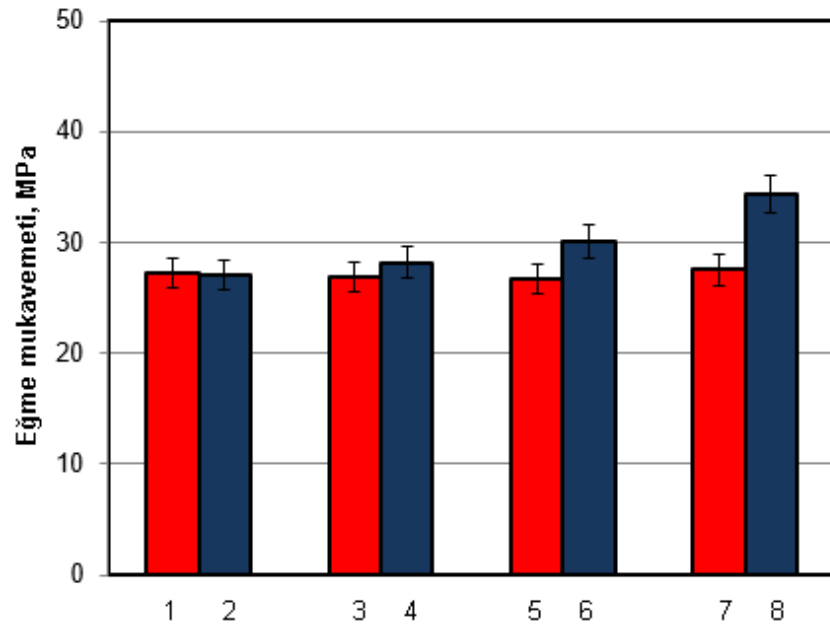
Şekil 5.6 (devam) : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Bambu lifli katkı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 5.7: a)YYPE Bambu-%5PE-g-MA b) %4 Bambu-%5PE-g-MA, c) %8 Bambu-%5PE-g-MA ve d) YYPE/%16 Bambu-%5PE-g-MA lifli katkı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.

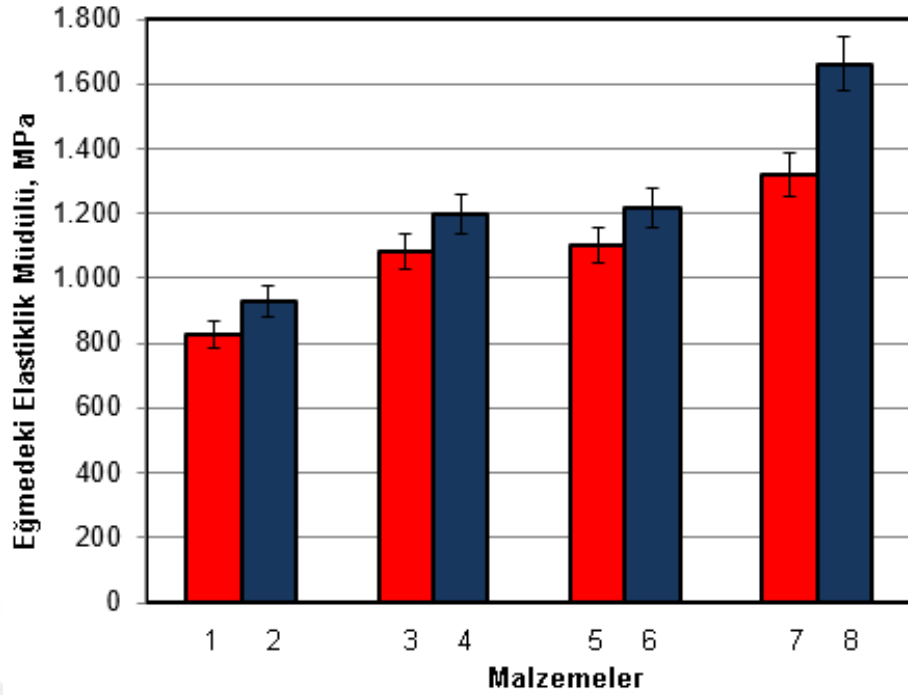


Şekil 5.7 (devam) : a)YYPE Bambu-%5PE-g-MA b) %4 Bambu-%5PE-g-MA, c) %8 Bambu-%5PE-g-MA ve d) YYPE/%16 Bambu-%5PE-g-MA lifli katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 5.8: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifli katkılı YYPE kompozitlerin bambu lifli katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğme mukavemetinin değişimi.

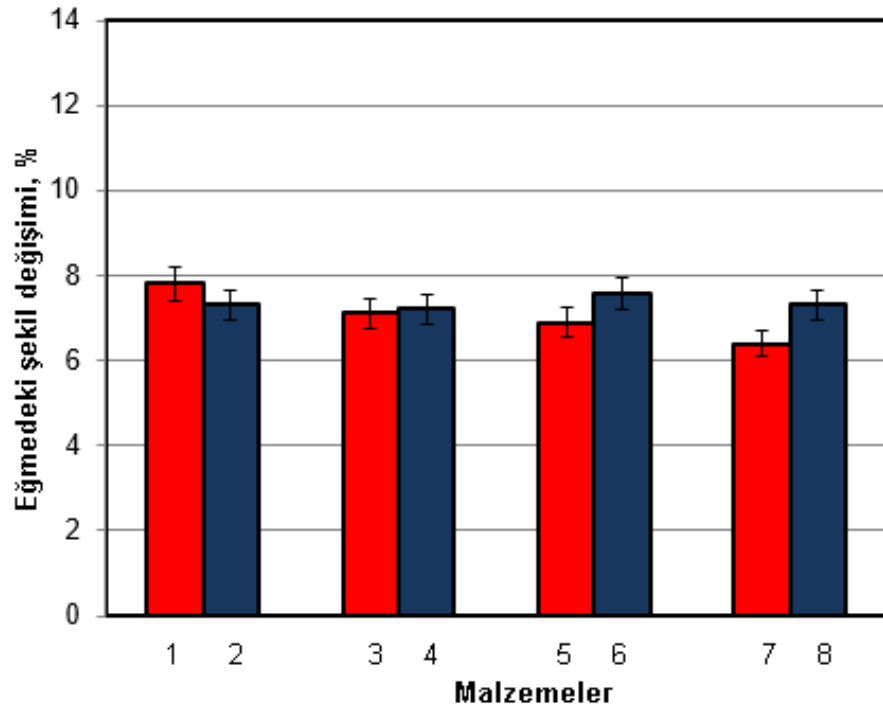
Bambu lifi katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkıya göre bambu elyaf katkılı YYPE polimer esaslı kompozitlerin eğme mukavemet değerlerinin değişimi Şekil 5.8’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin eğme mukavemeti 27,2 MPa olarak tespit edilirken farklı oranlarda %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme mukavemetleri sırasıyla 26,8 MPa, 26,7 MPa ve 27,5 MPa olarak elde edilmiştir. YYPE polimerinin eğme mukavemeti ile kıyaslandığında %4 ve %8 oranında bambu elyafı katkılı kompozitlerin eğme mukavemetleri sırasıyla %1.4 ve %1.8 oranlarında azalırken ve %16 oranında bambu elyafı katkılı kompozitin eğme mukavemeti ise %1,1 oranında artmıştır. YYPE polimerine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise YYPE/bambu elyaf karışımının eğme mukavemeti 27.1 MPa olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin eğme mukavemetleri ise sırasıyla 28,2 MPa, 30,1 MPa ve 34.3 MPa olarak elde edilmiştir. Yüksek lif- matris bağlanması sayesinde, lif oranının artmasıyla eğme mukavemeti de artış göstermiştir. Mu ve arkadaşlarının doğal lif kompozitleri oluşturarak yaptıkları çalışmalarda da bu sonuca vardıkları görülmüştür. Bunun sebebinin liflerin malzemeye rijitlik sağlaması ve bu sayede malzemenin dayanımını artması durumudur (Rohmat, 2021 ve Mu, 2018). Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı kompozitlerin eğme mukavemetlerinin hafif artmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin eğme mukavemeti ile kıyaslandığında YYPE-4bambu elyafı, YYPE-8bambu elyafı ve YYPE-16bambu elyafı katkılı kompozitlerin eğme mukavemetlerindeki artış sırasıyla %4.0 ve %11.0 ve %26.5 oranında tespit edilmiştir. (Mohanty, 2010)



Şekil 5.9: Saf YYPE polimeri ile Bambu lifli katkı YYPE kompozitlerin bambu lifli katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki elastiklik modülünün değişimi.

Şekil 5.9’de buğday elyafı katkı oranı ve YYPE-g-MA uyumlaştırıcıya göre YYPE/bambu elyaf kompozitlerin eğmedeki Elastiklik Modülü değerlerinin değişimi verilmiştir. Saf YYPE polimerinin eğmedeki elastiklik modülü 825 MPa olarak tespit edilmiştir. YYPE-4bambu elyaf, YYPE-8bambu elyaf ve YYPE-16bambu elyafı kompozitlerin eğmedeki elastiklik modül değerleri sırasıyla 1080 MPa, 1100 MPa ve 1320MPa olarak belirlenmiştir. YYPE polimerin eğmedeki elastiklik modülü ile kıyaslandığında tüm bambu elyaf katkılı YYPE kompozit malzemelerin eğmedeki elastiklik modülü bambu elyaf katkı ilavesi ile artış göstermiştir. Eğmedeki elastiklik modülündeki artış oranı sırasıyla %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı içeren YYPE polimer kompozitler için sırasıyla %23.4, %25.7 ve %50.8 oranında olmuştur. Ayrıca ana matris malzeme olan YYPE polimerine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise polimer karışımının eğmedeki elastiklik modülü 928 MPa olarak tespit edilmiştir. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı ilave edildiğinde YYPE esaslı polimer kompozitlerin eğmedeki elastiklik modül değerleri sırasıyla 1200 MPa, 1220MPa ve 1660 MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde YYPE/buğday elyafı polimer esaslı kompozitlerin eğmedeki elastiklik modül değerlerinin belirgin oranda artmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin eğmedeki elastiklik modülü ile

kıyaslandığında YYPE-4bambu elyafı, YYPE-8bambu elyafı ve YYPE-16bambu elyafı katkılı kompozitlerin eğmedeki elastiklik modülündeki artış oranları sırasıyla %37.1, %39.4 ve %89.7 oranında artış göstermiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da lif oranının artışıyla mekanik özelliklerde iyileşme gözlemlendiğini, ancak lif oranının %50'nin üzerine çıkması durumunda mekanik mukavemetin azaldığını belirtmiştir. Bu da çıkan sonuçlarla paralellik göstermektedir (Zhang ve Wang, 2020).

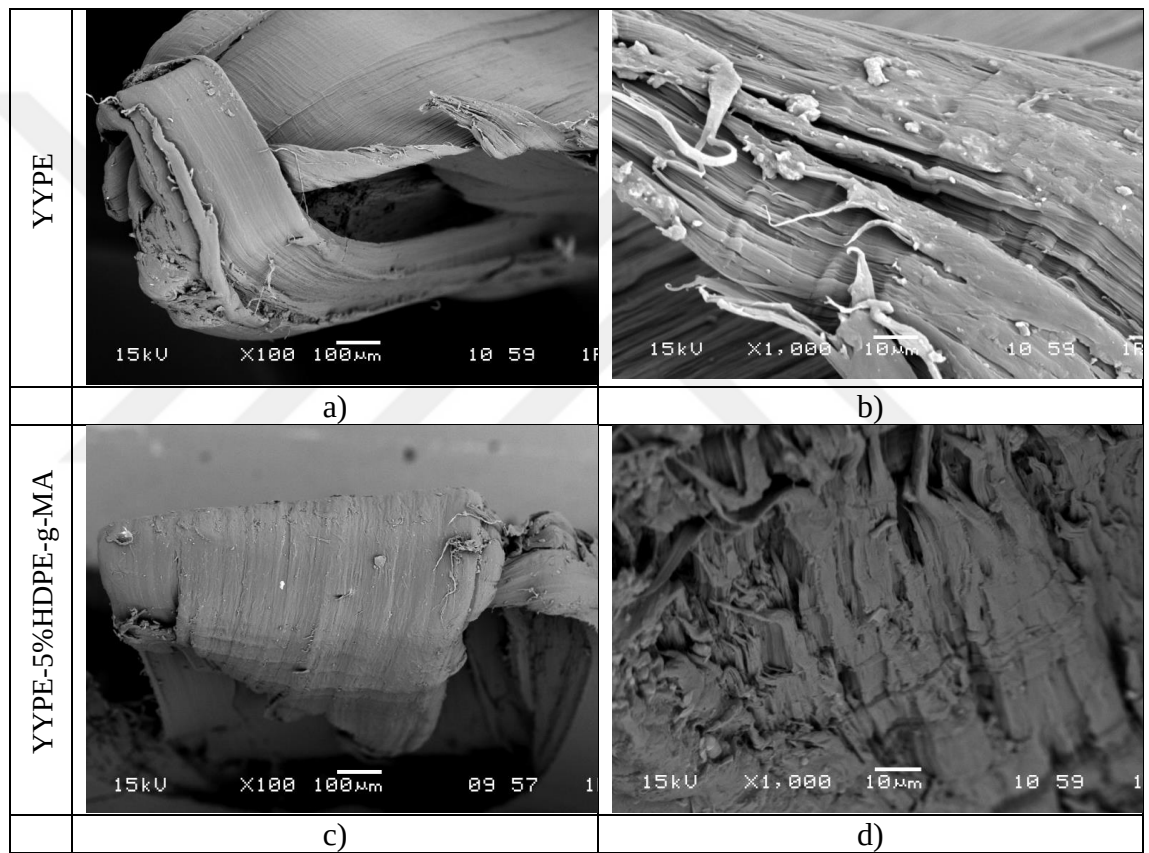


Şekil 5.10: Saf YYPE polimeri ile Bambu lif katkılı YYPE kompozitlerin bambu lif katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki şekil değişimi.

Şekil 5.10'da %4 ile %16 arasında farklı oranlarda bambu elyafı ve YYPE-g-MA uyumlaştırıcı içeren YYPE esaslı polimer kompozitlerin eğmedeki şekil değişimine hem uyumlaştırıcı hem de bambu elyafı katkı oranının etkisi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin eğmedeki şekil değişimi %7,8 olarak belirlenmiştir. YYPE-4 bambu elyaf, YYPE-8 bambu elyaf ve YYPE-16 bambu elyaf kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerleri sırasıyla %7.1, %6.9 ve %6.4 olarak belirlenmiştir. YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde karışımın eğmedeki şekil değişimi %7.3 olarak belirlenmiştir. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında bambu elyafı katkılı YYPE kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerleri ise sırasıyla %7.2, %7.5 ve %7.3 olarak elde edilmiştir. Yani YYPE

polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/bambu elyafı kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerlerinin artmasına neden olmuştur. Uyumlaştırıcı içermeyen ve %4, %8 ve %16 oranında bambu elyaf içeren polimer kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerleri ile kıyaslandığında, uyumlaştırıcı içeren ve %4, %8 ve %16 oranında bambu elyaf içeren polimer kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerlerinin hem hafif arttığı hem de hafif azaldığı tespit edilmiştir.

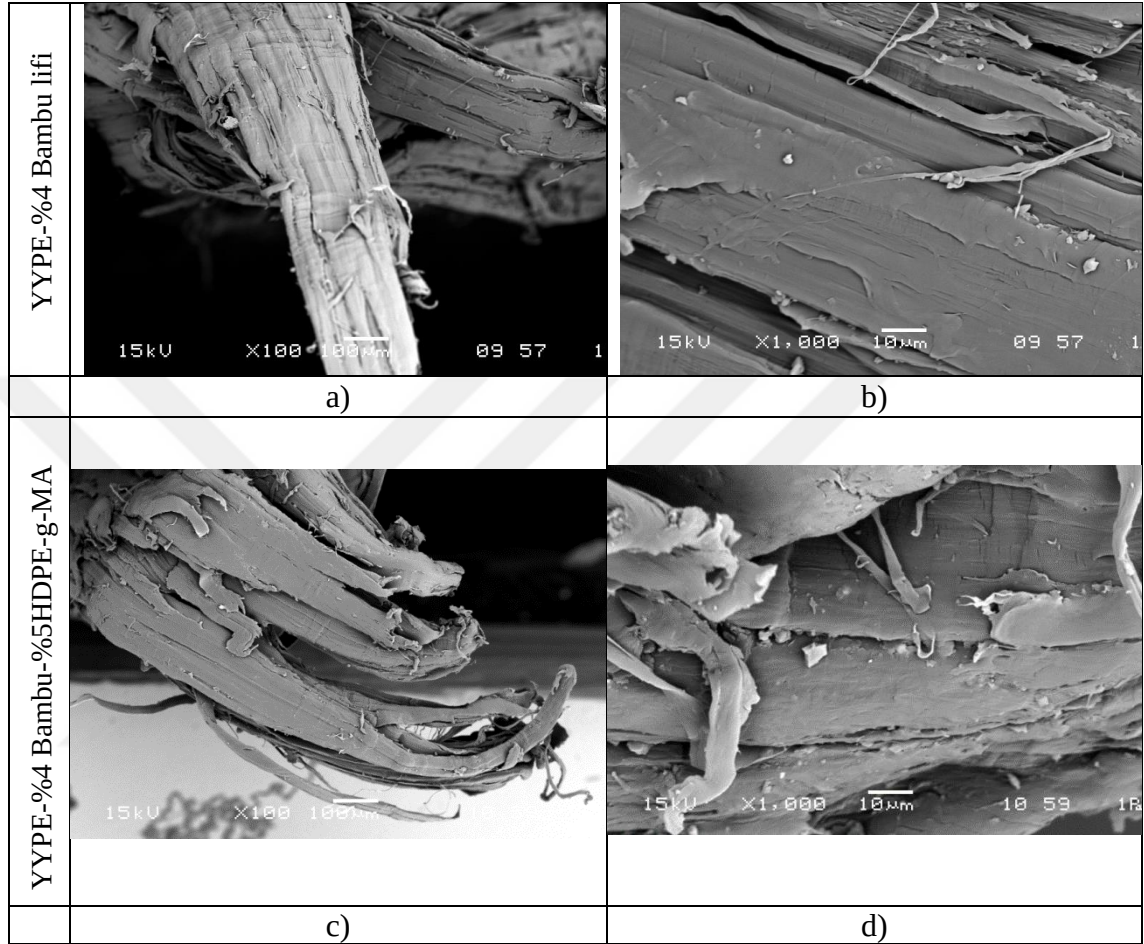
5.1.2. Bambu lifi katkılı YYPE kompozitlerin SEM sonuçları



Şekil 5.11. YYPE ve YYPE/%5HDPE-g-MA malzemelerin çekme testi kırık yüzey SEM grafikleri.

Şekil 5.11’de saf YYPE ve YYPE/%5HDPE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.11-a saf YYPE polimerinin, Şekil 5.11-b ise yine saf YYPE polimerinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.11-a,b de saf YYPE polimerinin plastik deformasyon gösterdiği ve uzayarak koptuğu görülmektedir. Şekil 5.11-c’de %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli YYPE polimerinin, Şekil 5.11-d ise yine %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli YYPE

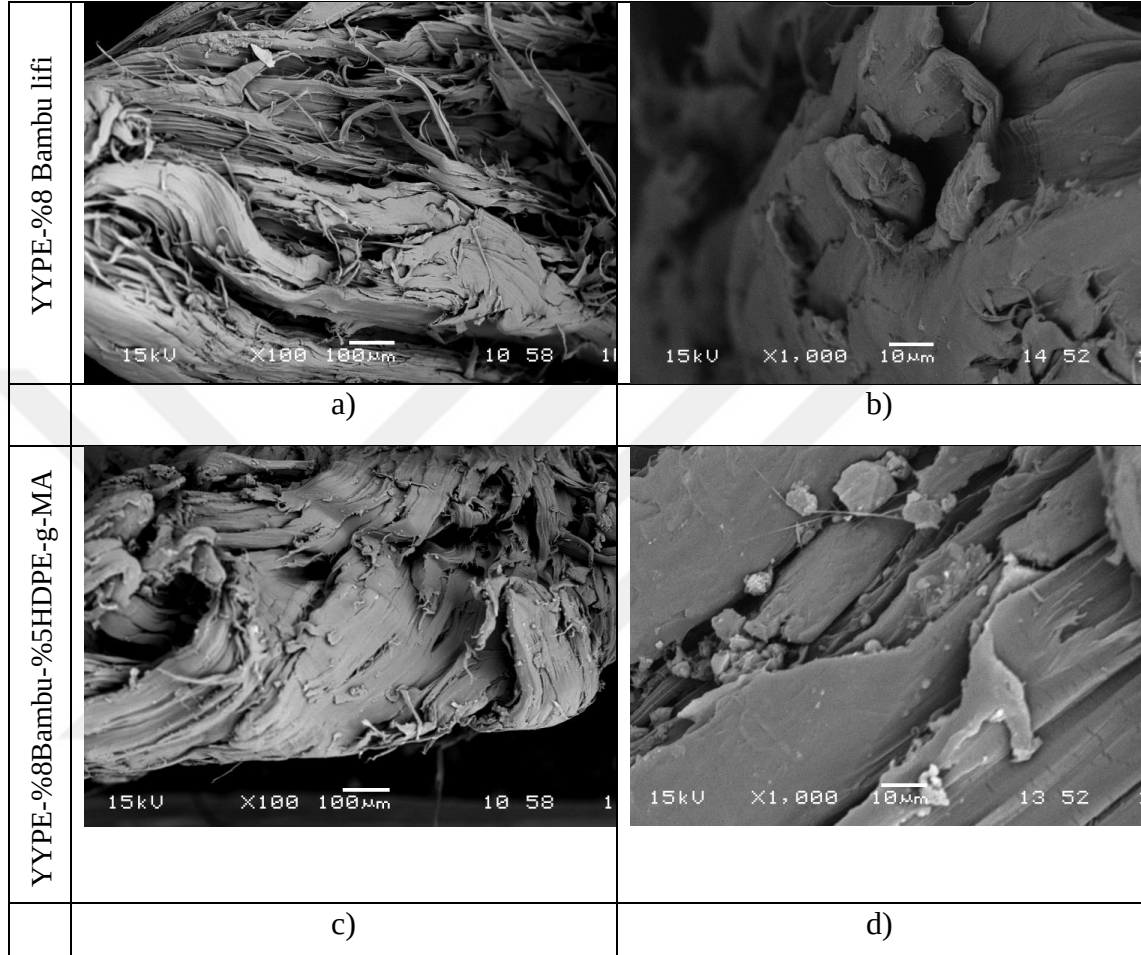
polimerinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.11-c,d’de yine uyumlaştırıcı ilaveli YYPE polimerinin plastik deformasyona uğradığı ve uzayarak koptuğu görülmektedir.



Şekil 5.12. a,b) YYPE-%4 Bambu lifi ve c,d) YYPE-%4 Bambu lifi-%5HDPE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri.

Şekil 5.12’de %4 bambu lifi katkılı YYPE polimer kompoziti ile yine %4 bambu lifi katkılı ve %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer kompozit malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.12-a’da YYPE-%4Bambu lifi polimer kompozitinin, Şekil 5.12-b ise yine YYPE-%4Bambu lifi polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.12-a,b de YYPE-%4Bambu lifi polimer kompozitinin saf polimerin kırık yüzeyinde olduğu gibi plastik deformasyona uğradığı ve uzayarak koptuğu görülmektedir. Şekil 5.12-c’de %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %4 bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin, Şekil 5.12-d ise yine %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %4 bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri

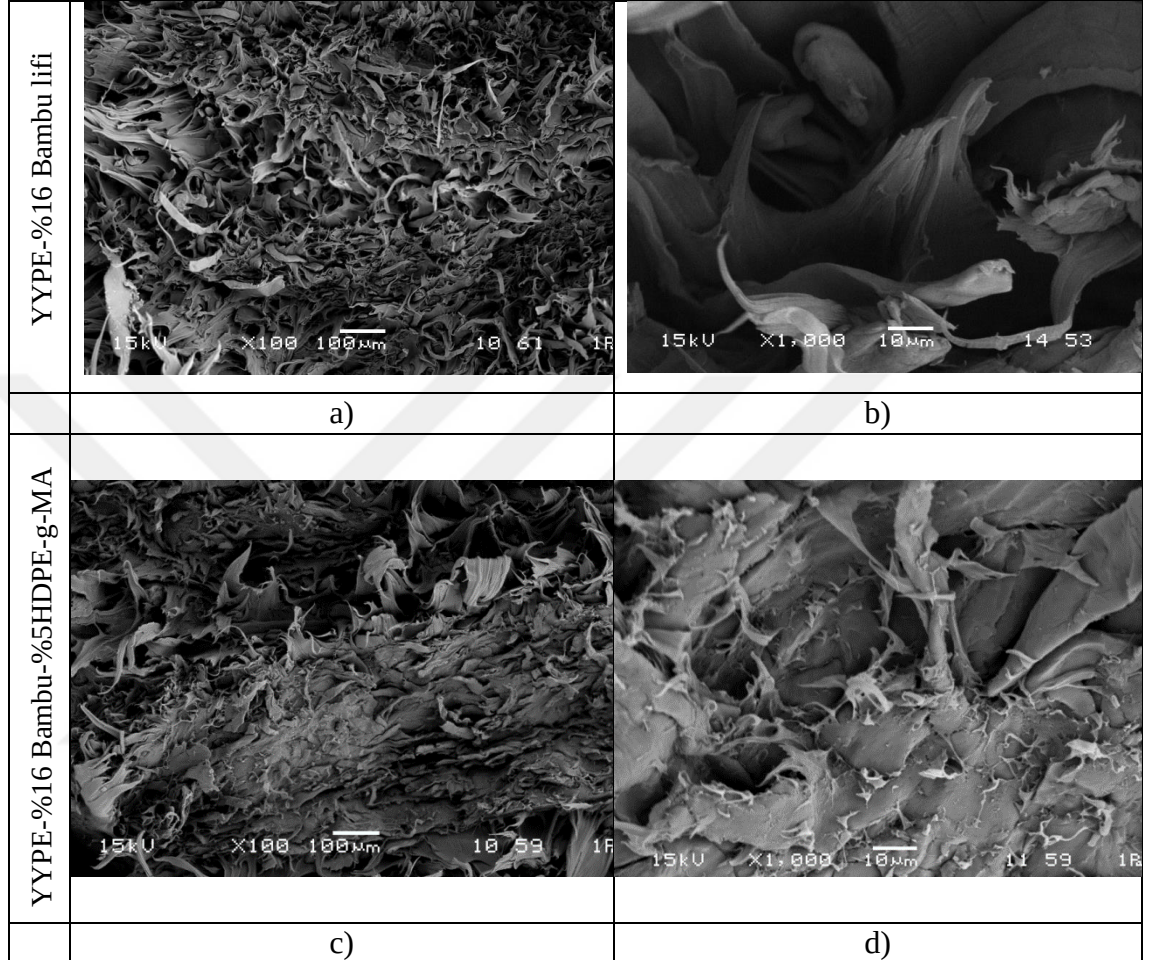
verilmiştir. Şekil 5.12-c,d'de yine uyumlaştırıcı ilaveli ve %4 bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitinde plastik deformasyon oluştuğu ve saf YYPE kırık yüzeyine benzer görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 5.13. a,b) YYPE-%8 Bambu lifi ve c,d) YYPE-%8 Bambu lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri.

Şekil 13'de %8 oranında bambu lifi ilaveli YYPE polimer kompoziti ile yine %8 oranında bambu lifi ilaveli ve %5PE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer kompozitlerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.13-a'da YYPE-%8 Bambu lifi polimer kompozitinin, Şekil 5.13-b ise yine YYPE-%8Bambu lifi katkılı polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.13-c'de %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %8 bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin, Şekil 5.13-d ise yine %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %8 bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Hem Şekil 5.13-a,b de yani YYPE-%8 Bambu lifi polimer kompozitinde hem

de Şekil 5.13-c,d'de yine uyumlaştırıcı ilaveli ve %8 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin kırık yüzey görüntülerinde plastik deformasyon mekanizmasının hakim olduğu ifade edilebilir. Şekil 5.13-b,d 'de yakın büyütmelelerde görüldüğü gibi bambu liflerinin YYPE polimer ana matrisine kısmen iyi bağlandığı ifade edilebilir.



Şekil 5.14. a,b) YYPE-%16 Bambu lifi ve c,d) YYPE-%16 Bambu lifi-%5HDPE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri.

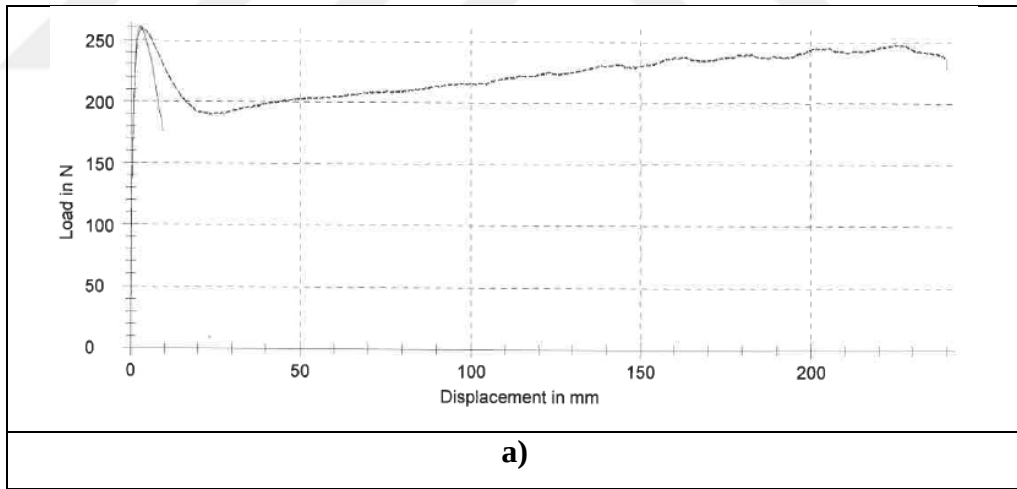
%16 oranında bambu lifi ilaveli YYPE polimer kompoziti ile yine %16 oranında bambu lifi ilaveli ve %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer kompozitlerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 5.14-a-d' de verilmiştir. Şekil 5.14-a'da YYPE-%16 Bambu lifi kompozitinin, Şekil 5.14-b ise yine YYPE-%16Bambu lifi katkılı polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.14-c'de ve %16 bambu lifi katkılı ve %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli YYPE polimer kompozitinin, Şekil 5.14-d ise yine %16 bambu lifi katkılı ve %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli YYPE polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Hem Şekil 5.14-a,b de yani YYPE-%16 Bambu lifi polimer

kompozitinde hem de Şekil 5.14-c,d’de yine uyumlaştırıcı ilaveli ve %16 Bambu lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin kırık yüzey görüntülerinde plastik deformasyon mekanizmasının hakim olduğu ifade edilebilir. Şekil 5.14-b,d ‘de yakın büyütmelelerde görüldüğü gibi bambu liflerinin YYPE polimer ana matrisine kısmen iyi bağlandığı söylenebilir.

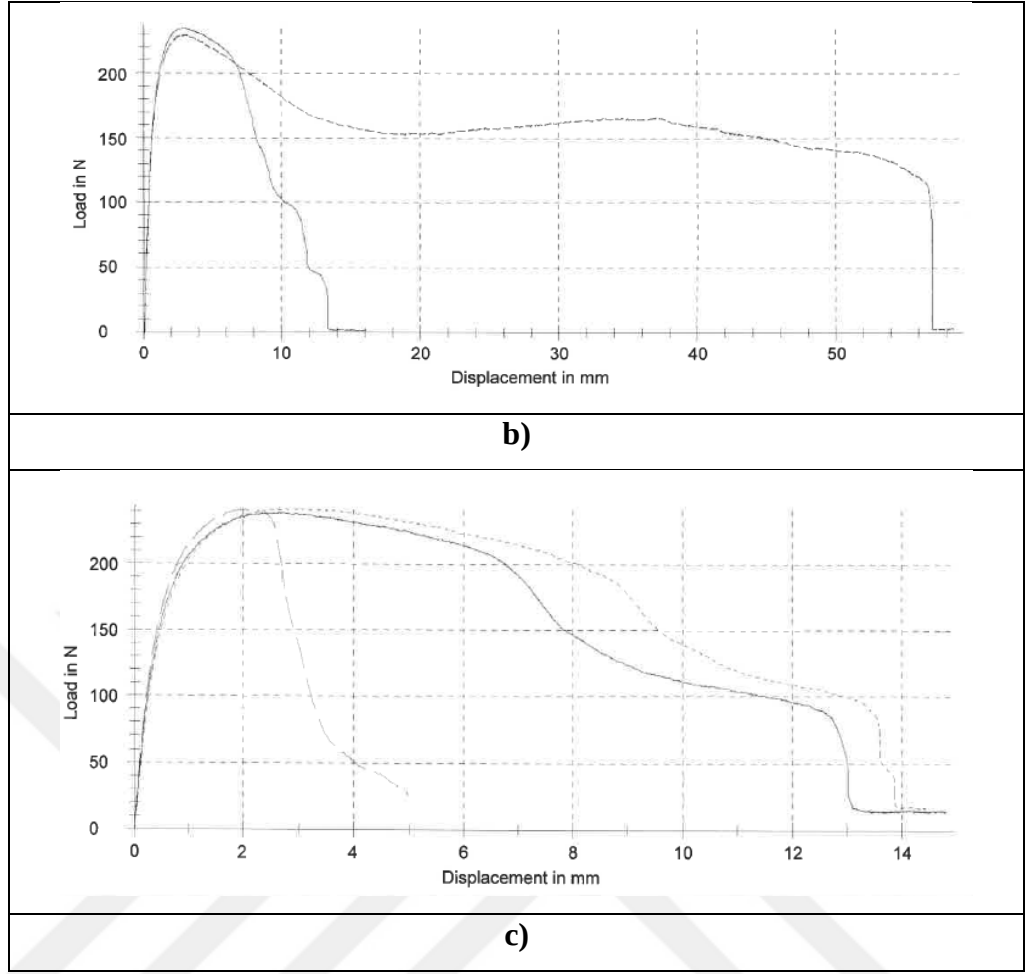
5.2. Buğday Lifi Katkılı Kompozitlerin Sonuçları

5.2.1. Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin çekme deney sonuçları

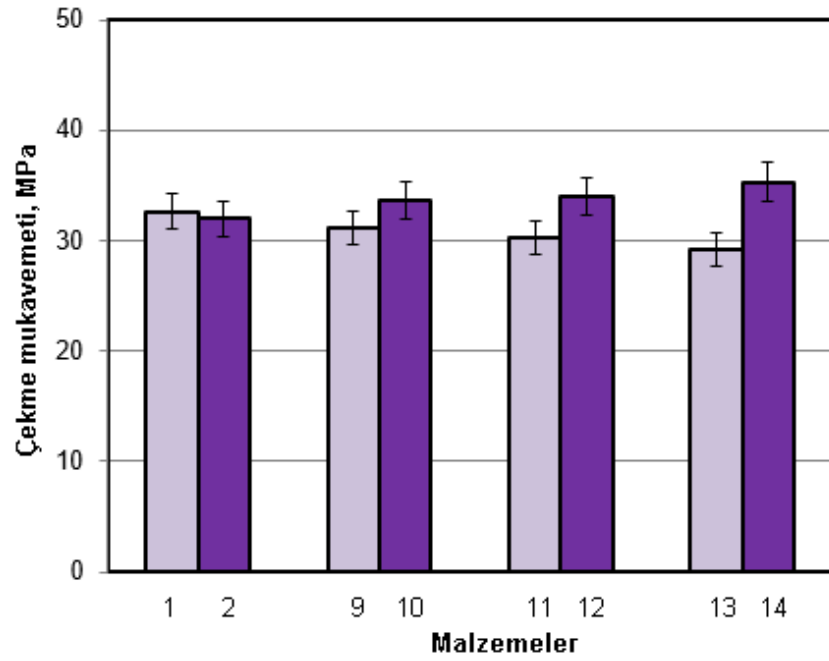
Buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafikleri aşağıda Şekil 5.15 a,b,c’ de verilmiştir. Çekme testlerinde en az 5 test numunesi kullanılmıştır. Beş test numunesinin çekme testinde elde edilen verilerin ortalaması alınmış ve çekme mukavemeti, çekmedeki elastiklik modülü ve kopmadaki % şekil değişimini gösteren grafikler düzenlenmiştir. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin gevrek davranış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.15 : a) %5, b) %10 ve c) %15 buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.

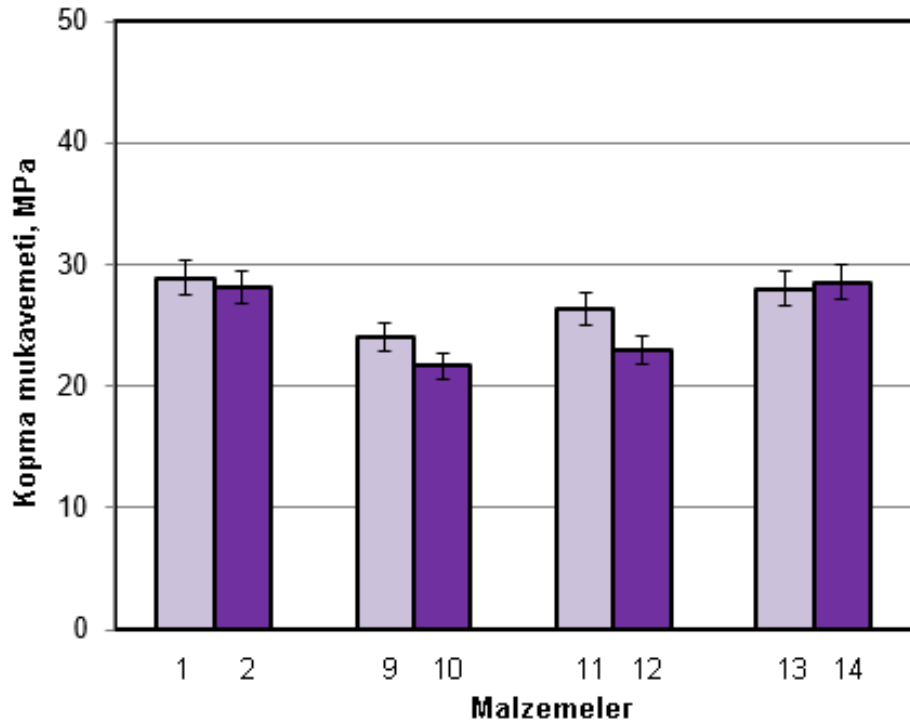


Şekil 5.15 (devam): a) %5, b) %10 ve c) %15 buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin çekme deneyinde elde edilen yük-uzama grafikleri.



Şekil 5.16: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi.

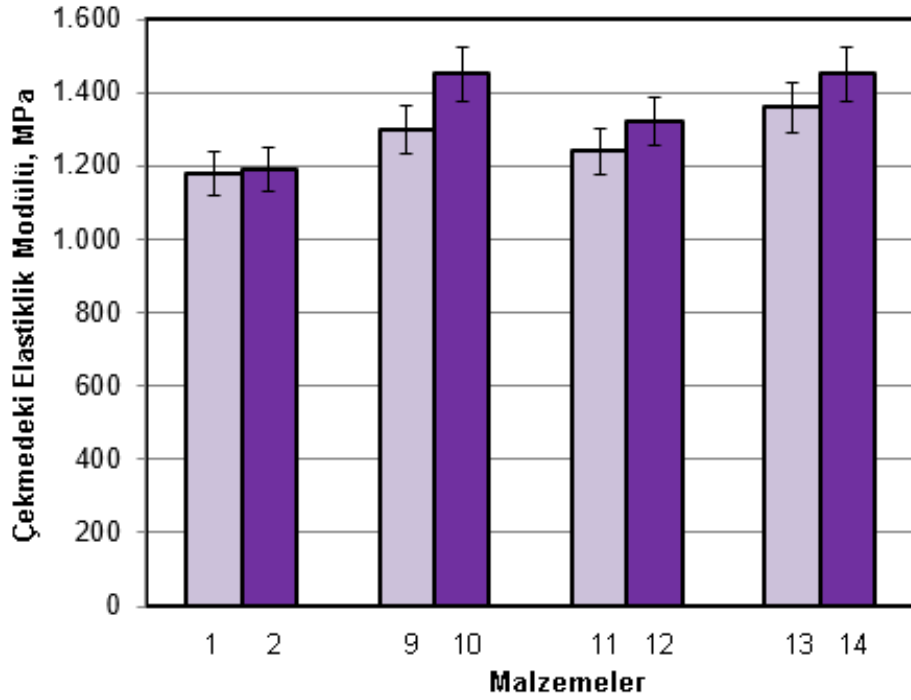
Buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin buğday elyafı katkı oranı ve PE-g-MA uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi Şekil 16'de verilmiştir. Şekil 5.16'de görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin çekme mukavemeti 32.6MPa olarak bulunurken %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin çekme mukavemetleri sırasıyla 31,1 MPa, 27,8 MPa ve 29,2 MPa olarak elde edilmiştir. YYPE polimerinin çekme mukavemeti ile kıyaslandığında %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı kompozitlerin çekme mukavemetleri sırasıyla %4.6, %14.7 ve %10,4 oranında azalmıştır. Buğday lifinin rijit yapısı, polimer matrisinde çatlak başlatıcı noktalara neden olabilir. Ancak buğday lifi oranı düşük miktarda olduğu için darbe dayanımı ciddi şekilde olumsuz etkilenmemiştir (Babaei, 2014). Bu değerleri iyileştirmek için uyumlaştırıcı etkisi de incelenmiştir. YYPE polimerine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise karışımın çekme mukavemeti 32 MPa olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin çekme mukavemetleri ise sırasıyla 33,6 MPa, 28,2 MPa ve 35,3 MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/buğday elyafı kompozitlerin çekme mukavemetlerinin hafif artmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin çekme mukavemeti ile karşılaştırıldığında YYPE-8buğday elyafı katkılı kompozit hariç YYPE-4buğday elyafı ve YYPE-16buğday elyafı katkılı kompozitlerin çekme mukavemetleri sırasıyla %3.0 ve %8.2 oranında artmıştır. Buğday lifleri, uyumlaştırıcı varlığında polimer matrisine bağlanarak yapısal sertlik katmıştır, YYPE matrisinde çekme ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikleri geliştirmiştir. Bu sonuçlardan YYPE-g-MA, lif-matris bağlanmasının güçlendirerek, yük taşıma kapasitesini arttırdığı görülmektedir. (Liany ve ark., 2013, Zhang, 2017, Liu ve ark., 2018 ve Ren, 2021)



Şekil 5.17: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekme mukavemet değerlerinin değişimi.

Şekil 5.17 farklı oranlarda buğday elyafı katkılı YYPE polimer esaslı kompozitlerin buğday elyafı katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkıya göre kopma mukavemet değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin kopma mukavemeti 28,87 MPa olarak belirlenmiştir. Farklı oranlarda (%4, %8 ve %16) buğday elyafı içeren YYPE polimer kompozitlerin kopma mukavemetleri sırasıyla 24,04 MPa, 19,82 MPa ve 22,11 MPa olarak belirlenmiştir. YYPE polimerinin kopma mukavemeti ile karşılaştırıldığında %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı içeren kompozitlerin kopma mukavemetleri sırasıyla %16,7, %31,3 ve %23,4 oranında azalmıştır. YYPE-5PE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer karışımın kopma mukavemeti 28,12 MPa olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ve farklı oranlarda (%4, %8 ve %16) buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin kopma mukavemetleri ise sırasıyla 21,62 MPa, 21,5 MPa ve 28,48 MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/buğday elyafı kompozitlerin kopma mukavemetlerinin genel olarak hafif azalmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin kopma mukavemeti ile karşılaştırıldığında YYPE-4bambu elyafı, YYPE-8bambu ve YYPE-16bambu elyafı katkılı kompozitlerin kopma mukavemetleri sırasıyla %25,1, %25,5 ve %1,3 oranında azalmıştır. Yapılan literatür çalışmalarında (Liany, 2013, Panthapulakkal ve ark., 2007, Zhang ve ark., 2020, Mu ve Tang, 2021) buğday lifi varlığında mukavemet değerlerinin

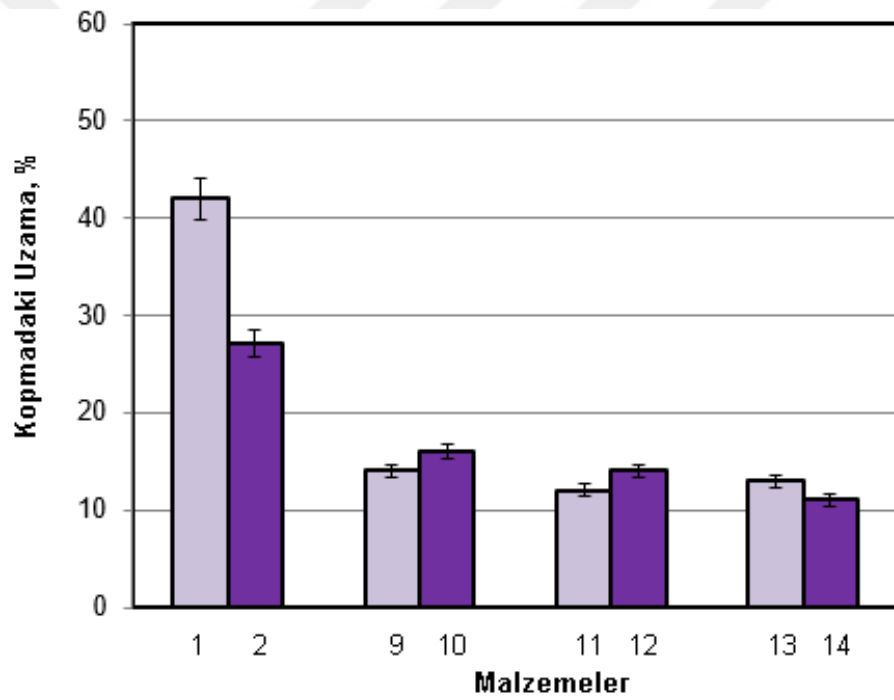
arttığı görülmüştür. Fakat Şekil 5.17’de görüldüğü üzere buğday lifi bu çalışmada kopma mukavemeti değerlerini düşürmüştür. Bunun sebepleri arasında test numunelerindeki liflerin HDPE matrisle düzgün bağlanamamış olması veya lif dağılımının düzensiz olması gibi sebepler olabilir. Bunların önüne geçebilmek için lif yüzeyine NAOH veya stearik asit gibi kimyasallar uygulanarak yüzey enerjisi artırılarak bağlanma kolaylaştırılabilir. Liany ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada da bu işlemlerin yapıldığı görülmüştür.



Şekil 5.18: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi.

YYPE/buğday elyaf kompozitlerin buğday elyafı katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkısına göre çekmedeki Elastiklik Modülü değerlerinin değişimi Şekil 5.18’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin çekmedeki elastiklik modülü 1180MPa olarak tespit edilmiştir. YYPE-4buğday elyaf, YYPE-8buğday elyaf ve YYPE-16buğday elyafı kompozitlerin çekmedeki elastiklik modül değerleri sırasıyla 1300 MPa, 1240MPa ve 1360MPa olarak belirlenmiştir. YYPE polimerinin elastiklik modülü ile kıyaslandığında %4 oranında buğday elyafı içeren YYPE polimer kompozitin elastiklik modülü %10.1 oranında artarken %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı kompozitlerin elastiklik modülü değerleri sırasıyla %5.0 ve %15,2 oranında artmıştır. YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise polimer karışımının çekmedeki elastiklik modülü 1120 MPa olarak tespit edilmiştir. Saf YYPE ‘ye kıyasla buğday lifinin katkısıyla çekmedeki elastiklik modülünde artış

görülmüştür, çünkü buğday lifi polimere rijitlik kazandırır. Ancak buğday liflerinin polimere tam uyum sağlayamaması bu değeri sınırlar. Oranın artmasıyla değerlerin orantılı değişmemesine sebep olarak da bu gösterilebilir. (Babaei ve ark., 2014) YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin elastiklik modül değerleri ise sırasıyla 1450 MPa, 1290MPa ve 1450 MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/buğday elyafı kompozitlerin elastiklik modül değerlerinin artmasına sebep olmuştur. YYPE polimerinin elastiklik modülü ile karşılaştırıldığında YYPE-4buğday elyafı, YYPE-8buğday elyafı ve YYPE-16buğday elyafı katkılı kompozitlerin çekmedeki elastiklik modülü değerleri sırasıyla %22,8, %9,3 ve %22,8 oranında artış göstermiştir.



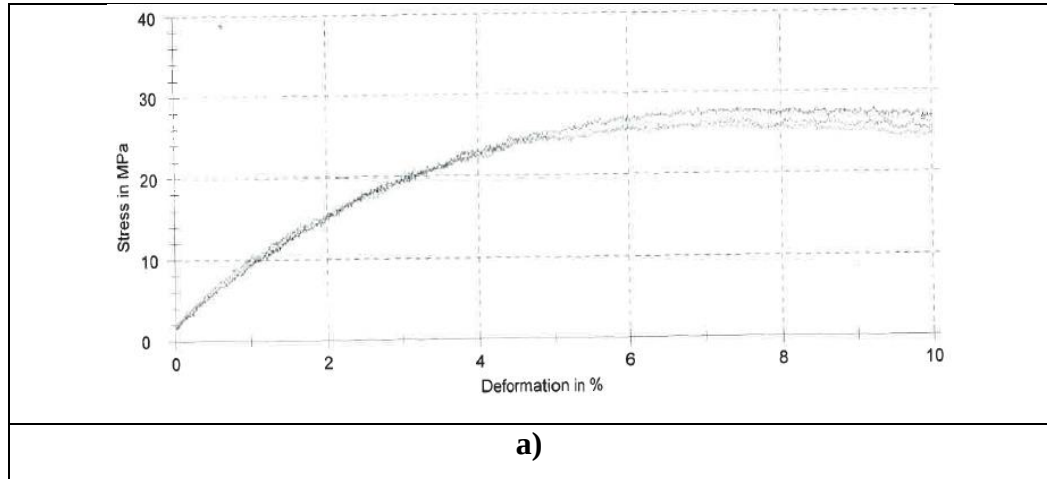
Şekil 5.19: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi.

Şekil 5.19’de farklı oranlarda buğday elyafı ile uyumlaştırıcı içeren YYPE esaslı polimer kompozitlerin buğday elyafı katkı oranı ve uyumlaştırıcı katkısına göre kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilde 5.19’de görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin kopmadaki % uzama değeri %420 olarak belirlenmiştir. YYPE-4buğday elyaf, YYPE-8buğday elyaf ve YYPE-16buğday elyaf kompozitlerin kopmadaki % uzama değerleri sırasıyla %14, %12 ve %13 olarak tespit edilmiştir. YYPE polimerine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise karışımın kopmadaki %

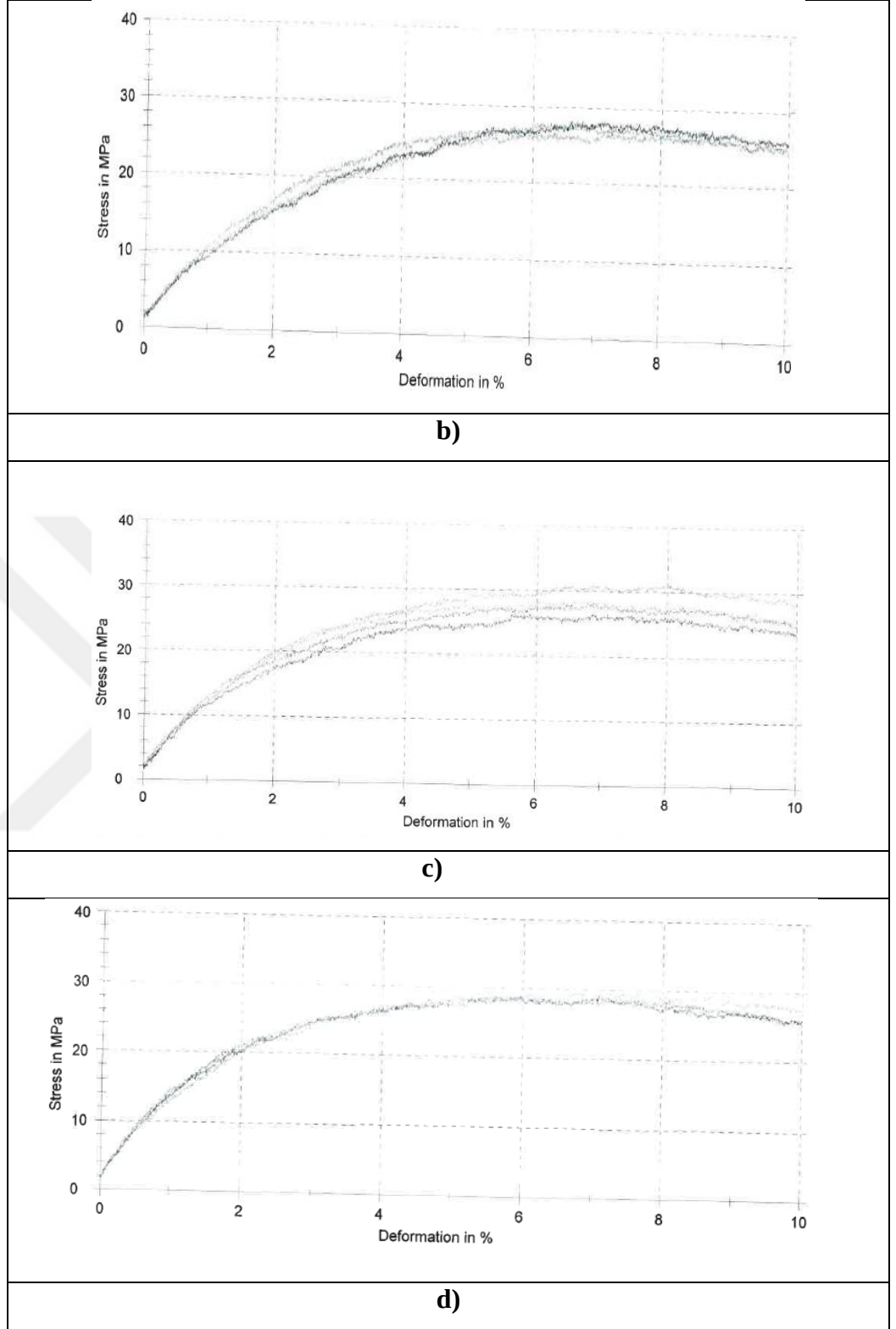
uzama değeri %16 olarak belirlenmiştir. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin kopmadaki % uzama değerleri ise sırasıyla %16, %12,5 ve %11 olarak elde edilmiştir. Kısaca YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/buğday elyafı kompozitlerin kopmadaki % uzama değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı içermeyen YYPE-4buğday elyaf, YYPE-8 buğday elyaf ve YYPE-16 buğday elyafı kompozitlerin kopmadaki % uzama değerleri ile kıyaslandığında PE-g-MA uyumlaştırıcı içeren YYPE-4buğday elyaf, YYPE-8buğday elyaf ve YYPE-16buğday elyafı kompozitlerin kopmadaki % uzama değerlerinin hafif arttığı gözlenmiştir.

5.2.2. Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin eğme deney sonuçları

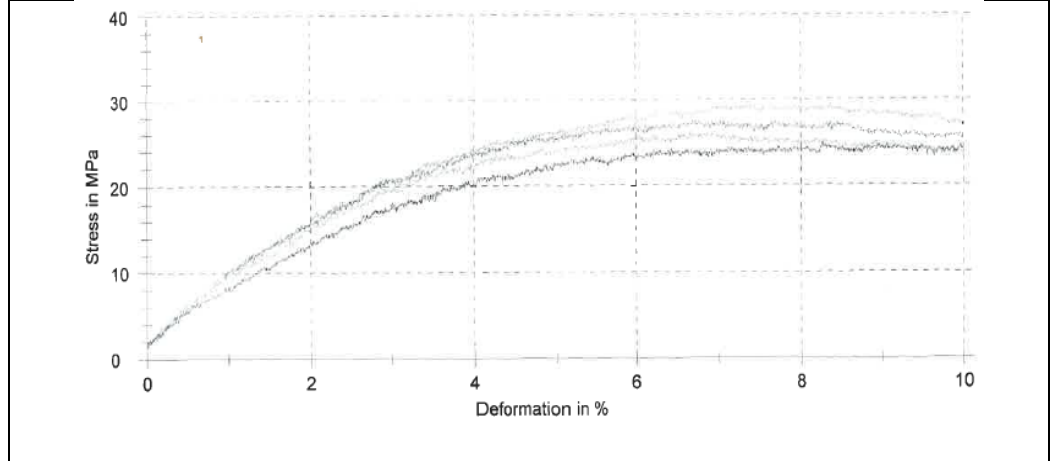
Şekil 5.20 a,b,c' de Buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyinde elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafikleri aşağıda verilmiştir. Eğilme testlerinde en az 5 test numunesi kullanılmıştır. Beş test numunesinin eğilme testinde elde edilen verilerin ortalaması alınmış ve eğilme mukavemeti, eğmedeki elastiklik modülü ve eğmedeki şekil değişimini gösteren grafikler düzenlenmiştir. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde bambu elyaf katkılı YYPE kompozitlerin gevrek davranış gösterdiği görülmektedir.



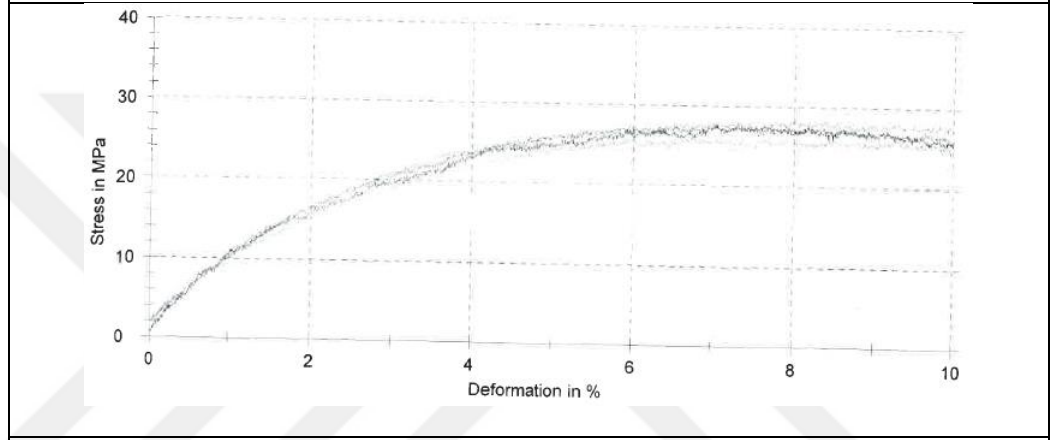
Şekil 5.20 : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



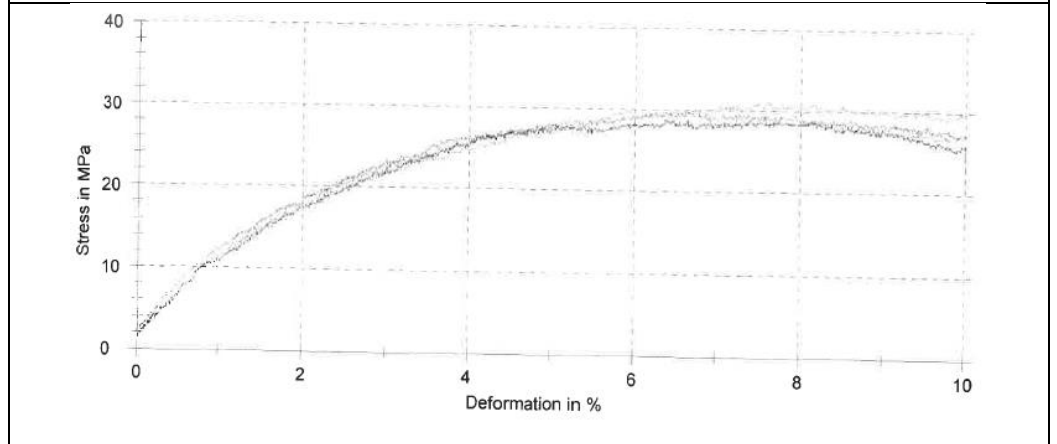
Şekil 5.20 (devam) : a)YYPE ile b) %4, c) %8 ve d) %16 Buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



a)

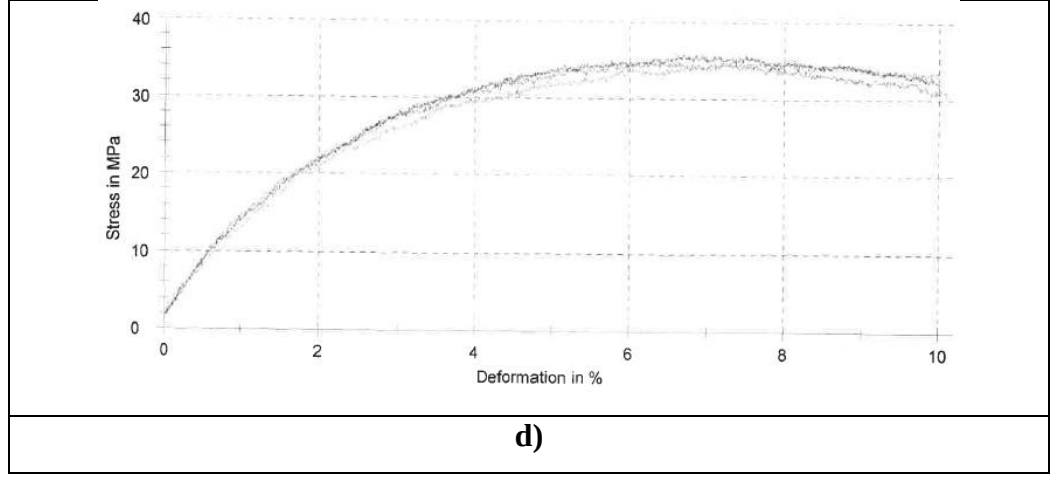


b)

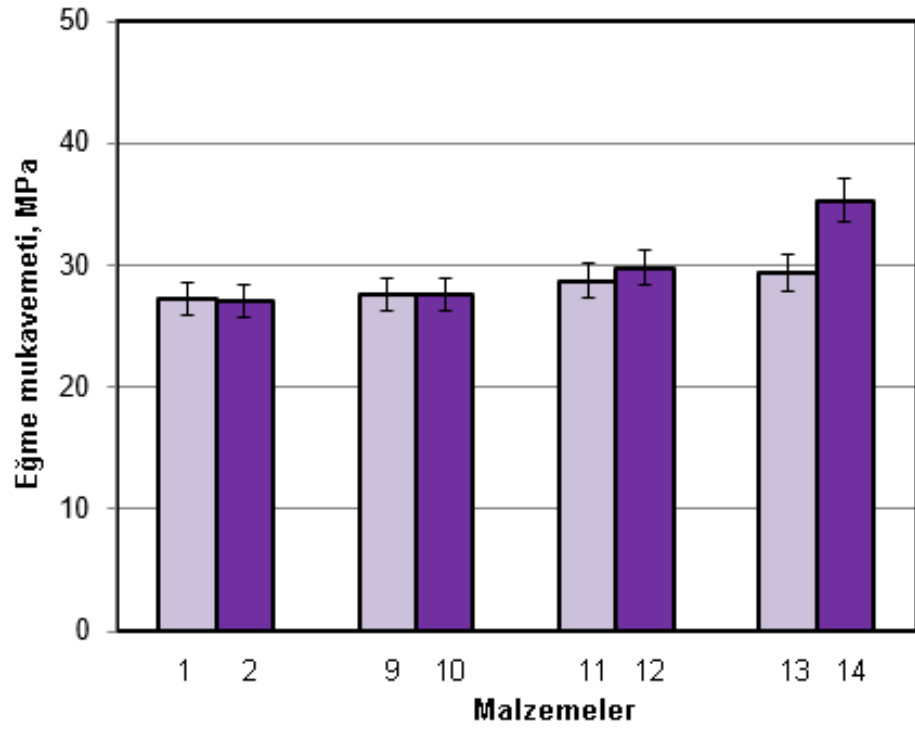


c)

Şekil 5.21: a)YYPE Buğday -%5PE-g-MA b) %4 Buğday-%5PE-g-MA, c) %8 Buğday -%5PE-g-MA ve d) YYPE/%16 Buğday -%5PE-g-MA lifli katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



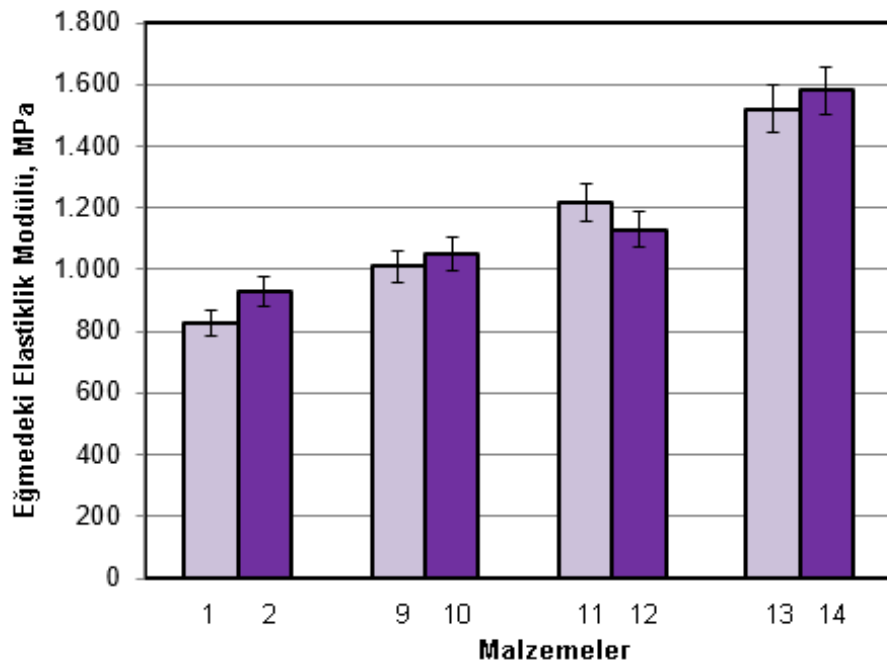
Şekil 5.21 (devam): a)YYPE Buğday -%5PE-g-MA b) %4 Buğday-%5PE-g-MA, c) %8 Buğday -%5PE-g-MA ve d) YYPE/%16 Buğday -%5PE-g-MA lifli katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 5.22: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğme mukavemet değerlerinin değişimi.

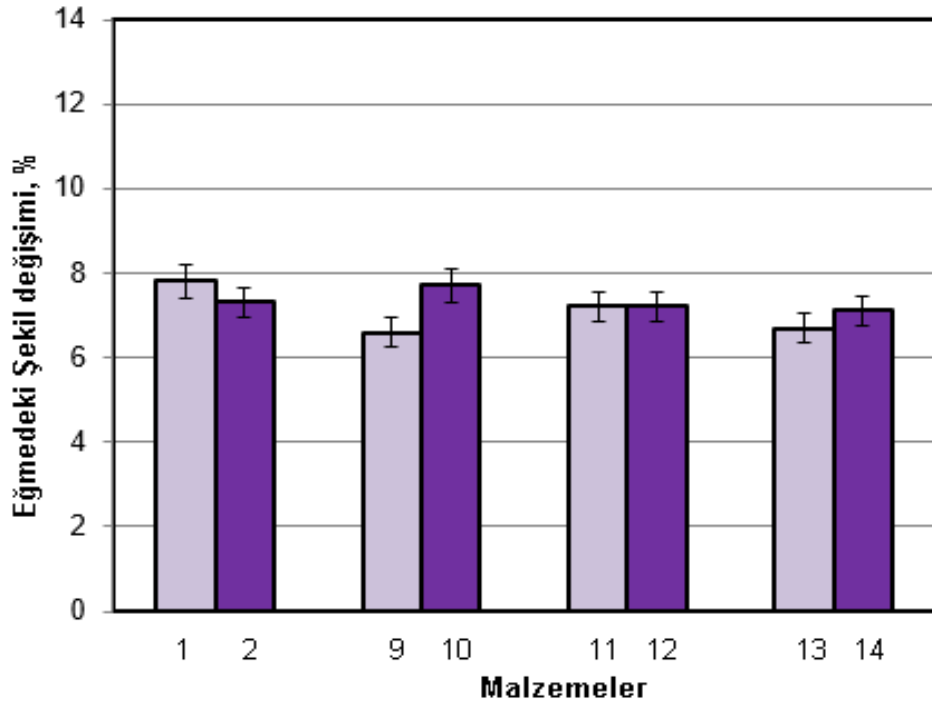
Şekil 5.22’de buğday elyafı katkı oranı ile uyumlaştırıcı katkıya göre buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme mukavemet değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin eğme mukavemeti 27,2 MPa olarak tespit edilirken farklı oranlarda %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme mukavemetleri sırasıyla 27,6 MPa, 28,7 MPa ve 29,4 MPa olarak

elde edilmiştir. Ana matris malzeme olan YYPE polimerinin eğme mukavemeti ile kıyaslandığında %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı içeren kompozitlerin eğme mukavemetleri sırasıyla %1.4, %5.14 ve %8.0 oranlarında artış göstermiştir. (Panthapulakkal, 2007) YYPE polimerine %5 oranında PE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise YYPE/buğday elyaf karışımının eğme mukavemeti 27.1 MPa olarak belirlenmiştir. PE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında buğday elyaf katkılı YYPE polimer kompozitlerin eğme mukavemetleri ise sırasıyla 27,6 MPa, 29,8 MPa ve 35.3 MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı kompozitlerin eğme mukavemetlerinde artışa sebep olmuştur. YYPE polimerinin eğme mukavemeti ile kıyaslandığında YYPE-4buğday elyafı, YYPE-8buğday elyafı ve YYPE-16buğday elyafı katkılı kompozitlerin eğme mukavemetlerindeki artış sırasıyla %1.8 ve %9.9 ve %30.2 oranında olmuştur. Literatür araştırmaları doğrultusunda YYPE-g-MA liflerin yüzey enerjisini artırarak polimer matrisle daha güçlü bağlanmasını sağladığını göstermiştir. Uyumlaştırıcı ilavesiyle elde edilen eğme dayanımındaki artış, bu bulguyla örtüşmektedir. Liflerin YYPE matrisiyle kimyasal olarak daha iyi bağlanması, eğilme sırasında gerilmenin daha geniş bir alana yayılmasını sağlaması sonucu lif-matris bağlanmasını da güçlendirmektedir (Liu ve arkadaşları, 2008, Mohanty, 2010 ve Zhang, 2020).



Şekil 5.23: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki Elastiklik Modülü değerlerinin değişimi.

Buğday elyafı katkı oranı ve YYPE-g-MA uyumlaştırıcı katkıya göre YYPE/buğday elyaf kompozitlerin eğmedeki Elastiklik Modülü değerlerinin değişimi Şekil 5.23’de verilmiştir. Saf YYPE polimerinin eğmedeki elastiklik modülü 825 MPa olarak tespit edilirken YYPE-4buğday elyaf, YYPE-8buğday elyaf ve YYPE-16buğday elyafı kompozitlerin eğmedeki elastiklik modül değerleri sırasıyla 1010 MPa, 1220 MPa ve 1520MPa olarak belirlenmiştir. YYPE polimer ana matris malzemenin eğmedeki elastiklik modülü ile kıyaslandığında tüm buğday elyaf katkılı YYPE kompozit malzemelerin eğmedeki elastiklik modülü buğday elyaf ilavesi ile artış göstermiştir. Eğmedeki elastiklik modülündeki artış oranı sırasıyla %4 oranında buğday elyafı içeren YYPE polimer kompozitin eğmedeki elastiklik modülü %18.3 oranında artarken %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı kompozitlerin eğmedeki elastiklik modülü değerleri sırasıyla %47.8 ve %84,2 oranında artmıştır. Buna ilaveten YYPE polimeri bünyesine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise polimer karışımının eğmedeki elastiklik modülü 928 MPa olarak tespit edilmiştir. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin eğmedeki elastiklik modül değerleri sırasıyla 1050 MPa, 1130MPa ve 1580 MPa olarak elde edilmiştir. Yani YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE/buğday elyafı kompozitlerin elastiklik modül değerlerinin belirgin oranda artmasına sebep olmuştur. Çıkan sonuçlar literatür ile de uyumludur. Panthapulakkal ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada buğday lifinin nispeten daha az polar yüzeyiyle HDPE arasında daha iyi bir uyum sağladığı sonucuna varılmıştır (Panthapulakkal, 2007).YYPE polimerinin eğmedeki elastiklik modülü ile kıyaslandığında YYPE-4buğday elyafı, YYPE-8buğday elyafı ve YYPE-16buğday elyafı katkılı kompozitlerin eğmedeki elastiklik modülündeki artış oranları sırasıyla %27.2, %36,9 ve %91,5 oranında artış göstermiştir.

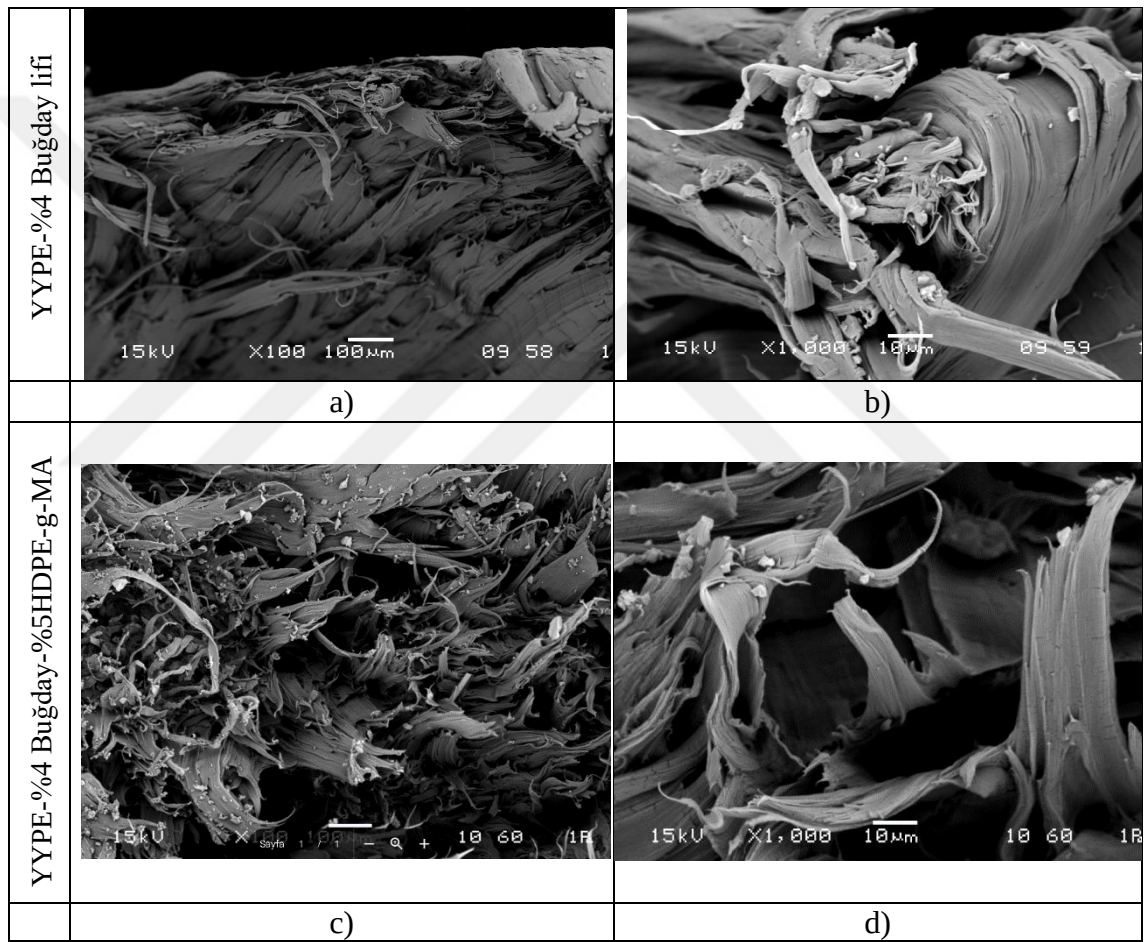


Şekil 5.24: Saf YYPE polimeri ile Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin buğday lifi katkı oranına ve uyumlaştırıcı katkısına göre eğmedeki şekil değişimi değerlerinin değişimi.

Şekil 5.24’de farklı oranlarda (%4-%16) buğday elyafı ve uyumlaştırıcı içeren YYPE esaslı polimer kompozitlerin hem uyumlaştırıcı hem de buğday elyafı katkı oranına göre eğmedeki şekil değişimi değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi saf YYPE polimerinin eğmedeki şekil değişimi %7,8 olarak belirlenmiştir. YYPE-4buğday elyaf, YYPE-8buğday elyaf ve YYPE-16buğday elyaf kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerleri sırasıyla %6,6, %7,2 ve %6,7 olarak belirlenmiştir. YYPE polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde karışımın eğmedeki şekil değişimi değeri %7,3 olarak belirlenmiştir. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ile %4, %8 ve %16 oranında buğday elyafı katkılı YYPE kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerleri ise sırasıyla %7,7, %7,2 ve %7,1 olarak tespit edilmiştir. Yani polimer ana matrisine %5 oranında YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi YYPE-8 buğday elyaf ve YYPE-16 buğday elyafı katkılı kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. Ancak YYPE-4 buğday elyafı katkılı kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerinin artmasına sebep olmuştur. Uyumlaştırıcı içermeyen kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerleri ile kıyaslandığında, uyumlaştırıcı içeren YYPE-buğday elyaf kompozitlerin eğmedeki şekil değişimi değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, YYPE malzeme içerisine bambu elyaf ve buğday elyaf takviyesiyle elde edilen kompozitlerde belli bir orana kadar mekanik değerlerde iyileşme görülmüştür. (Mohanty, 2010, Ren, 2014, Soleimani, 2008, Zhang, 2020, Mu ve Tang, 2021, Panthapulakkal, 2007 ve Liany, 2013) Aynı zamanda literatürde malzemeye eklenen uyumlaştırıcı varlığında yapılan çalışmalarda (Liu, 2008, Moe, 2002, Soleimani, 2008 ve Narlıoğlu, 2018), uyumlaştırıcının katkısının yadsınamaz olduğu sonucuna varılmıştır.

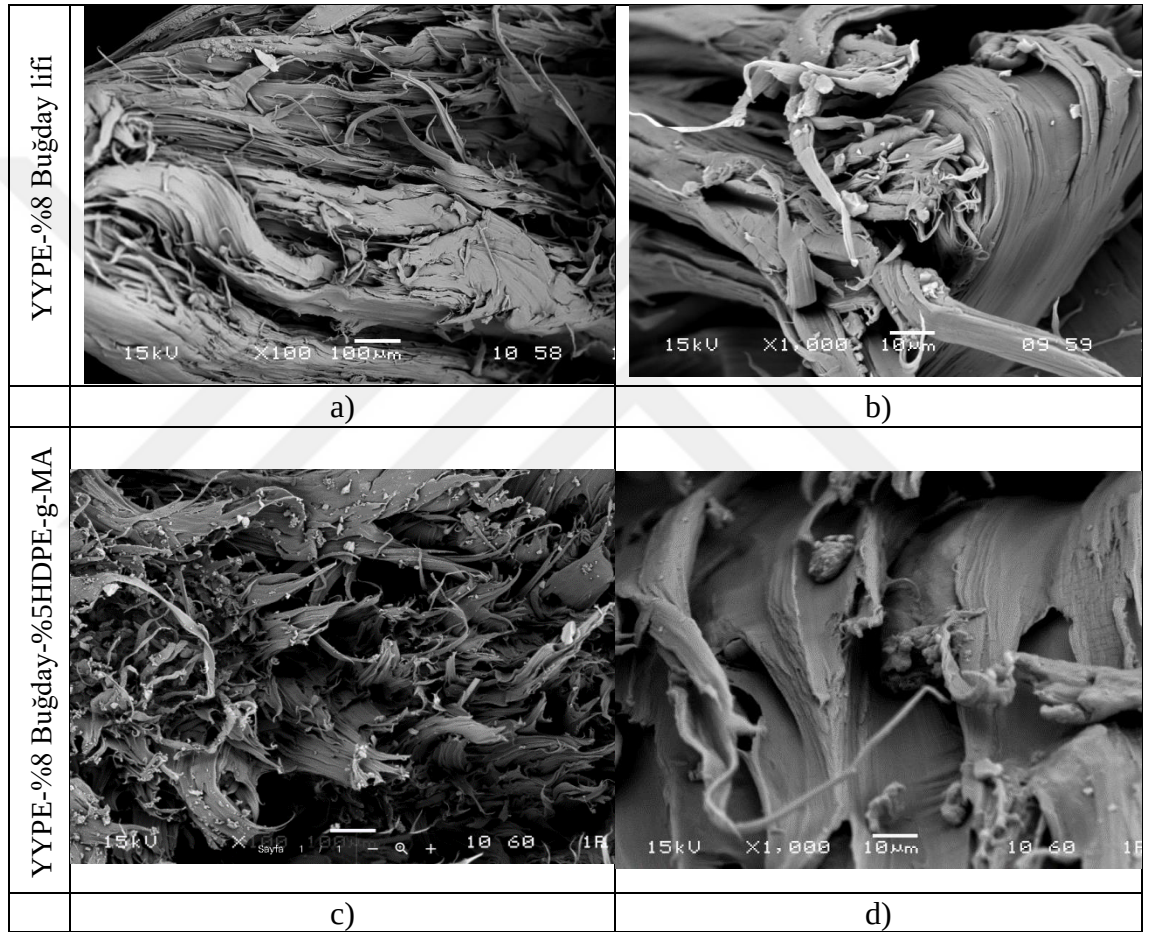
5.2.3. Buğday lifi katkılı YYPE kompozitlerin SEM sonuçları



Şekil 5.25: a,b) YYPE-%4 Buğday lifi ve c,d) YYPE-%4 Buğday lifi-%5PE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri

Şekil 5.25’de %4 buğday lifi katkılı YYPE polimer kompoziti ile yine %4 buğday lifi katkılı ve %5PE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer kompozit malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.25-a’da YYPE-%4 buğday lifi polimer kompozitinin, Şekil 5.25-b ise yine YYPE-%4 buğday lifi polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.25-a,b de

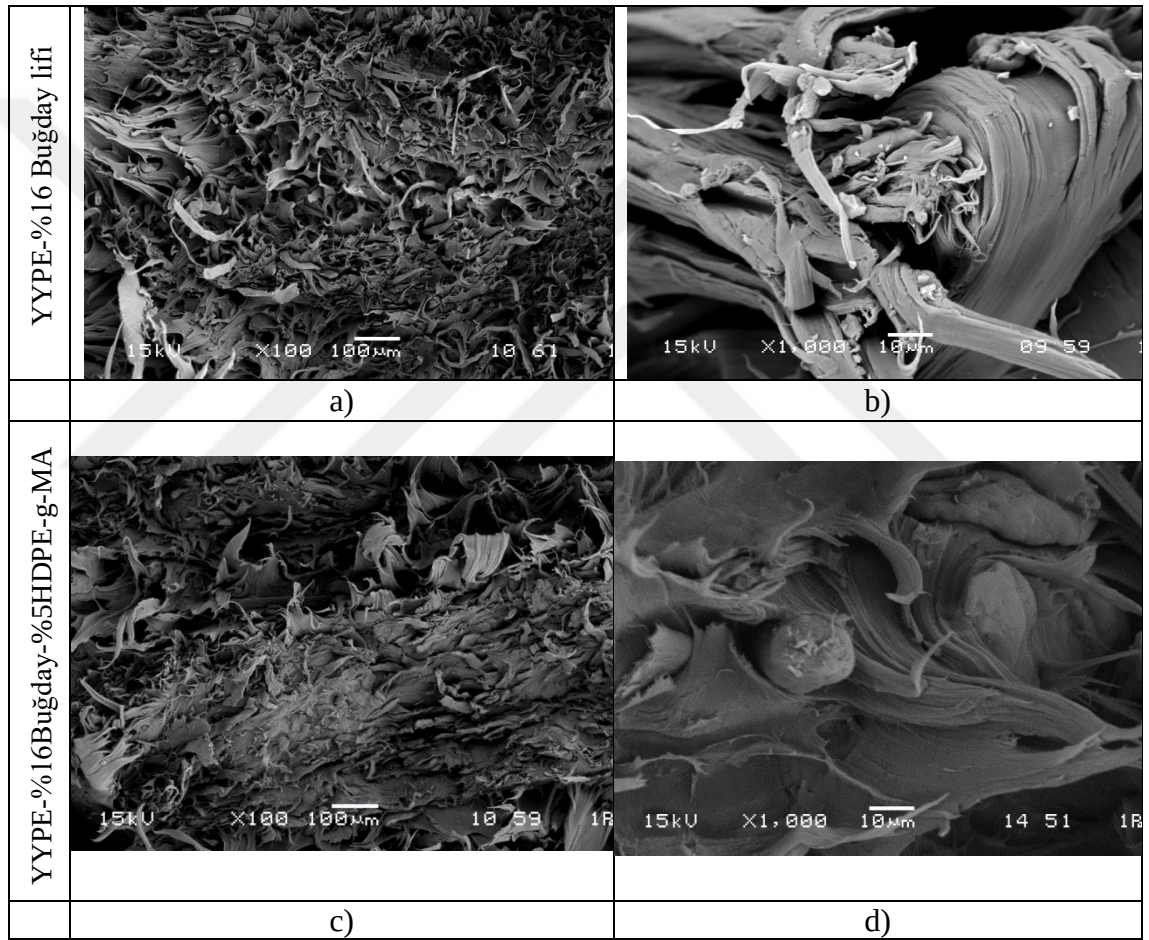
YYPE-%4 buğday lifi polimer kompozitinin saf polimerin kırık yüzeyinde olduğu gibi plastik deformasyona uğradığı ve uzayarak koptuğu görülmektedir. Şekil 5.25-c’de %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %4 buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin, Şekil 5.25-d ise yine %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %4 buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.25-c,d’de yine uyumlaştırıcı ilaveli ve %4 buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitinde liflerin polimer matrisine bağlanması belirli seviyede gerçekleşmiş ve saf YYPE kırık yüzeyine benzer görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 5.26: a,b) YYPE-%8 Buğday lifi ve c,d) YYPE-%8 Buğday lifi-%5HDPE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri

Şekil 5.26’da %8 oranında buğday lifi ilaveli YYPE polimer kompoziti ile yine %8 oranında buğday lifi ilaveli ve %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer kompozitlerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.26-a’da YYPE-%8 buğday lifi polimer kompozitinin, Şekil 5.26-b ise yine YYPE-%8 buğday lifi katkılı polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.26-c’de %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %8 buğday lifi katkılı

YYPE polimer kompozitinin, Şekil 5.26-d ise yine %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli ve %8 buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Hem Şekil 5.26-a,b'de, yani %8 buğday lifi içeren YYPE polimer kompozitinde, hem de Şekil 5.26-c,d'de, uyumlaştırıcı katkılı %8 buğday lifi içeren YYPE polimer kompozitinde, kırık yüzeylerde plastik deformasyon mekanizmasının baskın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Şekil 5.26-b,d'deki yüksek büyütme görüntülerde, buğday liflerinin YYPE polimer matrisine kısmen iyi entegre olduğu görülmektedir.



Şekil 27: a,b) YYPE-%16 Buğday lifi ve c,d) YYPE-%16 Buğday lifi-%5HDPE-g-MA malzemelerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri

%16 oranında buğday lifi ilaveli YYPE polimer kompoziti ile yine %16 oranında buğday lifi ilaveli ve %5HDPE-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polimer kompozitlerin çekme testi sonrası oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 5.26-a-d' de verilmiştir. Şekil 5.26-a'da YYPE-%16 buğday lifi kompozitinin, Şekil 5.26-b ise yine YYPE-%16 buğday lifi katkılı polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 5.26-c’de ve %16 buğday lifi katkılı ve %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli YYPE polimer kompozitinin, Şekil 5.26-d ise yine %16 buğday lifi katkılı ve %5PE-g-MA uyumlaştırıcı ilaveli YYPE polimer kompozitinin yüksek büyütme kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Hem Şekil 5.26-a,b de yani YYPE-%16 buğday lifi polimer kompozitinde hem de Şekil 5.14-c,d’de yine uyumlaştırıcı ilaveli ve %16 buğday lifi katkılı YYPE polimer kompozitinin kırık yüzey görüntülerinde plastik deformasyon mekanizmasının hakim olduğu ifade edilebilir. Şekil 5.26-b,d ‘de yakın büyütmelerde görüldüğü gibi buğday liflerinin YYPE polimer ana matrisine kısmen iyi bağlandığı söylenebilir.



BÖLÜM 6. SONUÇLAR

1. YYPE polimerine ilave edilen bambu elyafı ve buğday elyafı YYPE/bambu elyafı ve YYPE/buğday elyafı kompozitlerin çekme mukavemetlerinin azalmasına sebep olmuştur. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi ile sadece %8 ve %16 bambu ilavesinde çekme mukavemetinde artış gözlenirken %4, %8 ve %16 buğday elyaf ilaveli tüm kompozitlerin çekme mukavemetlerinde artış tespit edilmiştir.
2. YYPE ana matrise ilave edilen hem bambu elyafı hem de buğday elyafı takviyesi kompozitlerin kopma mukavemetlerinin azalmasına sebep olmuştur.
3. Polimer ana matrise ilave edilen hem bambu elyafı hem de buğday elyafı kompozitlerin kopmadaki şekil değişimi ve eğmedeki şekil değişimlerinin azalmasına sebep olmuştur.
4. YYPE ana matrise ilave edilen %8 ve %16 oranındaki bambu elyafı ile buğday elyaflar kompozitlerin çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin artmasına sebep olmuştur.
5. YYPE polimerine ilave edilen bambu elyafı YYPE/bambu elyafı ve buğday elyafı YYPE/buğday elyafı kompozitlerin eğme mukavemetleri ve eğmedeki Elastiklik modülünü artırırken eğmedeki deformasyon oranının azalmasına sebep olmuştur. YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi kompozitlerin eğme mukavemeti ve eğmedeki Elastiklik modüllerinin artmasına sebep olmuştur.
6. Buğday elyaf ve bambu elyaf ilaveli kompozitlere YYPE-g-MA uyumlaştırıcı ilavesi genel olarak YYPE ana matrisi ile elyaflar arasında bağlayıcı görevi yaparak kompozitlerin özelliklerinin hafif artmasına sebep olmuştur.

KAYNAKÇA

- Ahmad, H., & Rodrigue, D., (2022), Crosslinked polyethylene: A review on the crosslinking techniques, manufacturing methods, applications, and recycling, *Polymer Engineering & Science*, 8, 62
- Ataş, A., (2018), Kompozit Malzemeler ve Mekaniği, Erişim adresi file:///C:/Users/pc/Downloads/AlihsanKAYA-PutechComposites%20(1).pdf
- Babaei, I., & Madanipour, M., (2014), Physical and mechanical properties of foamed HDPE/wheat straw flour/nanoclay hybrid composite, *Composites Part B*, 56, 163-170
- Bartın Üniversitesi. (2023). Kompozit Malzemeler Sunumu: Giriş ve Özellikler. Erişim adresi <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/kompozitmalzemellersunu1giris.pdf>
- Engin, K. E., Koyuncu, T., & Lüle, F., (2015), Farklı kompozit malzemelerin üretilmesi ve bazı teknik özelliklerinin belirlenmesi, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30, 43-50
- Ivanov, Y., (2001), *Polymer Composite Materials — Interface Phenomena & Processes*, Kluwer Academic Publishers
- Kamarudin, S. H., Mohd Basri, M. S., & Rayung., (2022), A review on natural fiber reinforced polymer composites (NFRPC) for sustainable industrial applications, *Polymers*, 14, 17, 3698
- Kaya, A. İ., (2016), Kompozit Malzemeler ve Özellikleri, *Putech & Composites*, 38, 45
- Keya, K. N., Kona, N. A., & Koly, F., A., (2019), Natural fiber reinforced polymer composites: History, types, advantages, and applications, *Materials Engineering Research*, 1, 2
- Khan, A., Vijay, R., Singaravelu, D., L., & Sanjay, M., R., (2021), Extraction and characterization of natural fiber from Eleusine indica grass as reinforcement of sustainable fiber reinforced polymer composites, *Journal of Natural Fibers*, 18, 1742-1750
- Liany, Y., Tabei, A., & Farsi, M., (2013), Effect of Nanoclay and Magnesium Hydroxide on Some Properties of HDPE/Wheat Straw Composites, *Fibers and Polymers*, 14(2), 304-310
- Liu, H., & Wu, Q., (2008), Compatibilizing and toughening bamboo flour-filled HDPE composites: Mechanical properties and morphologies, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39,12, 1891-1900
- Mohanta, S., & Mahalik, P., (2023), Influence of surface-treatment of bamboo fiber on the physico-mechanical properties of bamboo fiber composites with virgin and recycled high-density polyethylene, *Polymer Composites*, 45, 914-923
- Mohanty, S., & Nayak, S., (2010), Short Bamboo Fiber-reinforced HDPE Composites: Influence of Fiber Content and Modification on Strength of the Composite., *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 14, 2199-2210
- Montazer, Z., & Levin, D., B., (2020), Challenges with verifying microbial degradation of polyethylene, *Polymers*, 12, 1, 123

- Mu, B., Tang, W., & Liu, T., (2021), Comparative study of high-density polyethylene-based biocomposites reinforced with various agricultural residue fibers, *Industrial Crops & Products*, 172
- Mu, B., & Wang, H., (2018), Morphology, Mechanical Properties and Dimensional Stability of Biomass Particles/High Density Polyethylene Composites: Effect of Species and Composition, *Polymers*, 10, 3, 308
- Narlıoğlu, N., Çetin, N. S., & Alma, M. H., (2018), Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1, 38-45
- Nurazzi, N. M., Asyraf, M. R. M., Fatimah Athiyah, S., & Khalina, A., (2021), A review on mechanical performance of hybrid natural fiber polymer composites for structural applications, *Polymers*, 13, 13
- Panthapulakkal, S., & Sain, M., (2007), Agro-residue reinforced high-density polyethylene composites: Fiber characterization and analysis of composite properties, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38, 1445-1454.
- Patnaik, A., & Kumar, N., (2020), A review on natural fiber reinforced composites. *Materials Today: Proceedings*, 28, 1616-1621
- Rana, R. S., Kumre, A., Rana, S., & Purohit, R., (2017), Characterization of properties of epoxy sisal/glass fiber reinforced hybrid composite. *Materials Today: Proceedings*, 4, 4, 5445-5451
- Ren, W., Zhang, D., & Wang, G., (2014), Mechanical and Thermal Properties of Bamboo Pulp Fiber Reinforced Polyethylene Composites. *Bio Resources*, 9, 3, 4117-4127
- Rohmat, R., & Widiastuti, I., (2021), Characteristics of recycled HDPE/bamboo fibre composite, *Journal of Physics: Conference Series*, 1088
- Saçak, M., (1998), *Polimer Kimyasına Giriş*, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları
- Siracusa, V., & Blanco, I., (2020), Bio-polyethylene (Bio-PE), Bio-polypropylene (Bio-PP) and Bio-poly(ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent developments in bio-based polymers, *Polymers*, 12, 8, 1641
- Soleimani, M., Tabil, L., & Panigrahi, S., (2008), The effect of fiber pretreatment and compatibilizer on mechanical and physical properties of flax fiber-polypropylene composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 16, 1, 74–82
- Soo, X. Y. D., Muiruri, J. K., & Wu, W. Y., (2024), Bio-Polyethylene and Polyethylene Biocomposites: An Alternative toward a Sustainable Future, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 45, 14
- Strong, A. B., (2008), *Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods, and Applications*, Society of Manufacturing Engineers
- Thwe, M. M., & Liao, K., (2002), Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33, 1, 43–52
- Verma, D., & Senal, I., (2019), Natural fiber-reinforced polymer composites: Feasibility study for sustainable automotive industries, In *Biomass, biopolymer-based materials, and bioenergy*, 103-122
- Venkataraman, S., & Athijayamani, A., (2021), An overview on natural cellulose fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 37, 3620-3624
- Vasile, C., & Pascu, M., (2005), *Practical guide to polyethylene*. Shrewsbury: RAPRA Technology
- Zhang, X., & Wang, Z., (2020), Effects of Fiber Content and Size on the Mechanical Properties of Wheat Straw/Recycled Polyethylene Composites, *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 1833-1840