T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PP/PLA/CF/ELVALOY KOMPOZİTLERİN YAPISAL, MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hazırlayan
Hamit ÜVEZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Mayıs 2018
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PP/PLA/CF/ELVALOY KOMPOZİTLERİN YAPISAL, MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Hamit ÜVEZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2017-7535 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Mayıs 2018
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hamit Üvez

YÖNERGEYE UYGUNLUK

"PP/PLA/CF/ELVALOY Kompozitlerin Yapısal, Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Hamit ÜVEZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği A.B.D. Başkanı

Doç. Dr. Mustafa Serdar ÖNSES

Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ danışmanlığında **Hamit ÜVEZ** tarafından hazırlanan **"PP/PLA/CF/ELVALOY KOMPOZİTLERİN YAPISAL, MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

03 / 05 / 2018

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ .....

Üye : Doç. Dr. M. Serdar Önses .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İlker ERDEM .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 08/05/2018 tarih ve 2018/20-42 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

08 / 05 / 2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ' a ve çalışmalarım boyunca yanımda olan ve beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hamit ÜVEZ

Mayıs 2018, KAYSERİ

PP/PLA/CF/ELVALOY KOMPOZİTLERİN YAPISAL, MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hamit ÜVEZ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2018
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, karbon fiber (CF) takviyesi ve etilen bütil-akrilat (EBA) ile uyumlulaştırılmış, polipropilen / poli (laktik asit) (PP / PLA) karışımlarının mekanik ve aşınma performanslarının sinerjik etkisini ortaya koymaktır ve çeşitli uygulamalar için kullanılabilirlikleri hakkında bir bilgi vermektir. Farklı ağırlık oranlı (75/25 ve 25/75) karışımlar, birleştirme ajanı olarak EBA kopolimeri (Elvaloy® AC) kullanılarak eriyik karışımlanmasıyla işlenmiştir. Farklı CF konsantrasyonlarına (5, 10, 20 ve 30 phr) sahip kompozitler hazırlanmış ve daha sonra temel olarak çekme ve eğme testleri, dinamik mekanik analiz (DMA), X ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobisi (SEM) ve döner disk üzerinde aşınma testleri yapılmıştır. Kristalin morfolojileri CF konsantrasyonlarından büyük ölçüde etkilenmiştir. Sonuçlar, kompozitlerin olumlu özelliklerinin farklı konsantrasyonlarda CF etkisi ile arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Karbon fiber, polipropilen, poli (laktik asit), mekanik ve aşınma özellikleri

INVESTIGATION OF STRUCTURAL, MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF PP / PLA / CF / ELVALOY COMPOSITES

Hamit ÜVEZ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, May 2018
Supervisor: Dr. Soner SAVAŞ

ABSTRACT

The aim of this study is to put forth the synergistic effect of carbon fiber (CF) reinforcement and ethylene butyl-acrylate (EBA) compatibilization on the mechanical and wear performance of polypropylene/poly(lactic acid) (PP/PLA) blends,and find an inspiration about their availability for diverse applications. The blends of different weight ratios (75/25 and 25/75) were processed by melt blending using EBA copolymer (Elvaloy® AC) as coupling agent. Composites with different CF concentrations (5, 10, 20 and 30 phr) were prepared and then characterized primarily by tensile and flexural tests, dynamic mechanic analysis (DMA), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy(SEM) and pin-on-disc wear test. Crystalline morphologies are greatly affected by the CF concentrations. The results show that the favorable properties of the composites are enhanced under the influence of CF with different concentrations.

Keywords: Carbon fiber, polypropylen, poly(lactic asid), mechanical and wear properties

İÇİNDEKİLER

PP/PLA/CF/ELVALOY KOMPOZİTLERİNİN YAPISAL, MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ii
ONAY iii
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
GİRİŞ 1

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tezin Konusu 2
1.2. Konunun Önemi 2
1.3. Tezin Amacı 4
1.4. Literatür Araştırması 4

BÖLÜM 2

KAPSAM VE YÖNTEM

2.1 Polimerlerin Tanıtılması 8
2.1.1. Termoplastik Polimerler 9
2.1.2. Termoset Polimerler 9
2.1.3 Elastromerler 10
2.2. Polipropilenin Genel Özellikleri 11
2.2.1. Polipropilen Üretimi 12
2.3. Polilaktik Asidin Genel Özellikleri 13
2.3.1. Polilaktik Asit Üretimi 14
2.4. Polimer Karışımları 15
2.4.1. Polimerlerin Karışma Kabiliyeti 17

2.4.2 Polimer Karışım Türleri 18
2.4.2.1. Tamamen Karışabilen Karışımlar 18
2.4.2.2. Kısmen Karışabilen Karışımlar 18
2.4.2.3. Karışmayan Karışımlar 19
2.5. Polimer Karıştırma Yöntemleri 19
2.5.1. Mekanik Karıştırma 19
2.5.2. Bilinen Bir Çözücüde Çözme 19
2.5.3. Polimerizasyon Sırasında Karışım Hazırlama 20
2.6. PP ve PLA Karışımları 20
2.7. Uyumlulaştırıcı Etkisi 21
2.7.1. Uyumlulaştırma Yöntemleri 22
2.7.1.1. Reaktif Yöntem 22
2.7.1.2. Kopolimer İlavesi İle Uyumlulaştırma 22
2.7.1.3. Transesterifikasyon İle Uyumlulaştırma 23
2.8. Kompozit Malzemeler 24
2.8.1. Matrislerine Göre Kompozit Malzemeler 26
2.8.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler 27
2.8.2. Takviyelerine Göre Kompozit Malzemeler 28
2.8.2.1. Fiber Takviyeli Kompozitler 29
2.8.2.2. Karbon Fiberler 30
2.8.3 Kompozit Malzeme Kullanımı 32

BÖLÜM 3

DENYESEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

3.1.Malzemeler ve Yöntemler 34
3.1.1. Malzemeler 34
3.1.2. PP / PLA / CF / Elvaloy AC Kompozitlerin Sentezi 34
3.1.3. Yapısal Karekterizasyon 36
3.1.4. Mekanik Karakterizasyon 36
3.1.5. Sürtünme ve Aşınma Testleri 37
3.2. Test Sonuçları 38
3.2.1. X-ışını Kırınımı (XRD) Ve Morfoloji Özellikleri 38
3.2.2. Çekme Özellikleri 41
3.2.3. Eğme özellikleri 43

3.2.4. Dinamik Mekanik Analiz Sonuçları 45
3.2.5. Aşınma Özelikleri 499

4. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar 53
4.2. Öneriler 54
KAYNAKÇA 55
ÖZGEÇMİŞ 66

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril bütadien sitiren
$AlCl_3$	: Alüminyum klorür
CF	: Karbon fiber
DMA	: Dinamik mekanik analiz
DYPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
EPDM	: Kauçuk
H_a	: Düzlemine karşılık gelen pikin şiddeti
iPP	: İzotaktik polipropilen
K_β	: β kristal yüzdesi
PA	: Poliamid
PAN	: Poliakrilonitril
phr	: Yüzde başına düşen parça
PLA	: Polilaktik asit
PP	: Polipropilen
PP-g-MA	: Melaik anhidrad aşılanmış polipropilen
PPO	: Polifenilenoksit
PTW	: Etilen terpolimer
RCF	: Takviyeli karbon fiber
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
Tan δ	: Bir sıcaklık fonksiyonu
T_g	: Camsı geçiş sıcaklığı
$TiCl_3$	: Titanyum klorür
WM	: Molekül ağırlığı
XRD	: X ışınları difraksiyonu
β	: Geçiş piki
γ	: Gevşeme bölgesi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları 9
Tablo 2.2. Sık kullanılan termoset malzemeler ve kullanım alanları 10
Tablo 2.3. Termoplastik elastromer örnekleri 10
Tablo 2.4. PLA'nın sentez metotlarının karşılaştırılması 14
Tablo 2.5. Karbon fiberlerin özellikleri ve diğer fiberlerin karşılaştırılması. 31
Tablo 2.6. Dünya'da kompozit üretimi ve değer olarak sektörel dağılımı 33
Tablo 3.1. Karışım ve kompozitlerin β kristal yüzdeleri 35
Tablo 3.2. Bu çalışmada kullanılan karışım ve kompozitlerin β kiristal yüzdeleri... 392
Tablo 3.3. Karışımların ve kompozitlerin mekanik özellikleri 444

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Fiberler ve çeliğin gerilme-deformasyon diyagramı grafiği 3
Şekil 2.1. Düz, dallanmış, çapraz bağlanmış polimer yapıları 8
Şekil 2.2. Termoplastik ve termoset polimerin molekül zincirleri arasındaki farklar 9
Şekil 2.3. Polipropilen polimerizasyonu 11
Şekil 2.4. İzotaktik yapı 11
Şekil 2.5. Ataktik yapı 11
Şekil 2.6. Sindiyotaktik yapı 12
Şekil 2.7. Laktid izomerlerinin kimyasal yapıları 13
Şekil 2.8. Halka açılma polimerizasyonu 15
Şekil 2.9. Reaktif kopolimerler ile uyumlulaştırma 22
Şekil 2.10. Blok kopolimerler ile uyumlulaştırma. 23
Şekil 2.11. Transesterifikasyon reaksiyon mekanizması 24
Şekil 2.12. Asit ile katalizlenmiş ester üretimi ve hidroliz reaksiyonları 24
Şekil 2.13. Kompozitlerde martis ve takviye elemenı arasındaki ilişki 26
Şekil 2.14. Kompozit sistemleri; (a) uzun/devamlı fiberli, (b) kısa fiberli, (c) partikül takviyeli, (d) tek yönlü lamina, (e) iki yönlü dokuma kumaş, (f) üç yönlü dokuma kumaş. 29
Şekil 2.15. Kompozit malzemenin mikro yapısı 30
Şekil 2.16. PAN ve zift proseslerinin şematik gösterimi 32
Şekil 3.1. (a) Pin-on-disk sisteminin şematik diyagram (b) sistemin bir fotoğrafı. 38
Şekil 3.2. Saf polimerlerin, karışımların ve kompozitlerin XRD modelleri 39
Şekil 3.3. (a) PP_{75} / PLA_{25} / CF_{30}, (b) PP_{25} / PLA_{75} / CF_{30}, (c) PP_{75} / PLA_{25} / Elvaloy AC, (d) PP_{25} / PLA_{75} / Elvaloy AC, (e) PP_{75} / PLA_{25}, (f) PP_{25} / PLA^{75} numune yüzeylerinin kırık kesit SEM görüntüleri 41
Şekil 3.4. (a) kompozitlerin ve (b) saf polimerlerin ve karışımların çekme gerilimi-gerilme eğrileri. 434
Şekil 3.5. (a) kompozitlerin ve (b) saf polimerlerin ve karışımların eğme gerilimi-gerinim eğrileri. 455

Şekil 3.6. Saf polimerler, karışımlar ve farklı (CF) Konsantrasyonuna sahip kompozitlerin sıcaklık karşısında kayıp modül grafikleri 477
Şekil 3.7. Saf polimerler, karışımlar ve farklı CF konsantrasyonuna sahip kompozitlerin tan δ-sıcaklık değişim grafikleri. 488
Şekil 3.8. Saf polimerler, karışımlar ve farklı CF konsantrasyonları ile kompozitlerin sıcaklık-elastik modül grafikleri 499
Şekil 3.9. Saf polimerlerin, karışımların ve kompozitlerin aşınım kaybı değerleri ... 511
Şekil 3.10. Saf polimerlerin, karışımların ve kompozitlerin Shore D sertlik değerleri..... 511
Şekil 3.11. (a) PP_{75} / PLA_{25} / CF_{10}, (b) PP_{75} / PLA_{25} / CF_{30}, (c) PP_{25} / PLA_{75} / CF_{10}, (d) PP_{25} / PLA_{75} / CF_{30}, (e) PP_{75} / PLA_{25} / Elvaloy AC, (f) PP_{25} / PLA_{75} / Elvaloy AC, (g) saf PP (h) saf PLA aşınmış yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri (beyaz oklar aşındırıcı kâğıdın kayma yönünü gösterir). 522

GİRİŞ

Bu tez kapsamında, farklı polimerlerin karışır\karışmaz olan türlerinin uyumlulaştırıcılı ve uyumlulaştırıcı olmadan karıştırılarak yapılan çalışmada uyumlulaştırıcı etkileri ve buna ilave olarak elde edilen polimer karışılmalarına karbon fiber takviyesi ile ortaya çıkan polimer kompozitin mekanik ve tribolojik olarak araştırılması hedeflenmiştir.

Kompozit malzemeler son yarım yüzyılda gelişmeye başlamış ve gelişen teknolojiyle birlikte önemi giderek artmaya başlamıştır. Aslında kompozit malzeme örnekleri sanıldığı kadar yeni olmamakla birlikte, kendine ilk olarak yapı malzemesi olarak yer bulmuştur. Farklı matris içerisine katılan takviye elemanları yapıyı çoğu yönden etkilemiş ve belirgin özelliklerin ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. Kompozit malzemeler de temel olarak farklı iki malzemenin karıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Kompozit oluşturmadaki en önemli amaç malzemenin yetersiz olan özelliğini iyileştirmek, bu özelliği pozitif olarak arttırmaktır.

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tezin Konusu

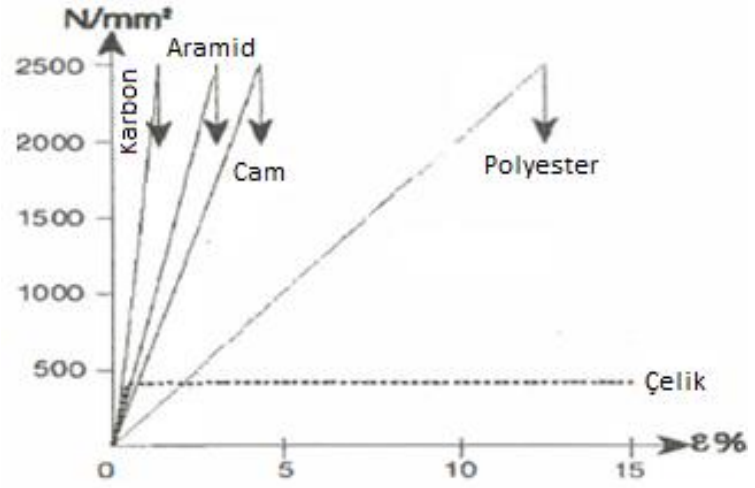
Polimer malzemeler diğer malzemeler ile kıyaslandığında farklı birçok özelliği barındırmaktadırlar. Bu çalışma kapsamında PP ve PLA gibi iki farklı polimerin uyumlulaştırıcılı ve uyumlulaştırıcı olmadan karıştırılarak ortaya çıkan polimer karışımına ilave olarak farklı oranlarda CF takviye edilmiş ve farklı test metotları için numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler bir dizi teste tabii tutulmuş ve sonuçlar birbirleriyle kıyaslanarak en ideal seçim yapılmaya çalışılmıştır.

1.2. Konunun Önemi

Polimerler, en basit tanımıyla çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polimer, birden fazla mer'in (molekülün) ısı ve basınç altında birleşerek uzun zincirlerin meydana gelmesiyle oluşur. Plastik malzeme olarak da bilinen suni polimerler, son 40-50 yıl içinde büyük gelişme göstererek günümüzde hacim olarak metallerle hemen hemen eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun başlıca nedenleri; bu malzemelerin nispeten ucuz, kolay işlenebilir, hafif, yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Ayrıca yüksek ısıl ve elektriksel özelliklere ve yeterli mekanik özelliklere sahiptirler.

Alaşımlar iki veya daha fazla malzemenin karışımı ile elde edilir. Saf malzemenin özelliklerini arzu edilen yönde geliştirmek için alaşım yapılır. Metallerde bu çok eski ve yaygın iken polimer karışımları teknolojisi ve mühendisliği ise henüz çok yenidir. Polimerik malzemelerden üretilen malzemeler, pek çok özellikleriyle giderek daha çok ilgi çekmektedir. Ancak, bir malzemenin bazı özelliklerinin bir polimere, diğer özelliklerinin ise başka bir polimere benzemesini isteyebiliriz. Böyle durumlarda yeni

monomerlerden polimerizasyon veya kopolimerizasyon tekniği ile yeni bir malzemenin üretilmesi gerekmektedir. Bu yöntemler için başka bir seçenek de mevcuttur farklı iki polimerin belli oranlarda karıştırılması ile istenilen özelliklerde yeni bir malzeme üretilmesidir. Bu şekilde üretilen yeni polimer esaslı malzemeler, polimer karışımları (polymer blends) olarak adlandırılmaktadır. Polimer karışımları, amaca uygun özelliklerde polimer esaslı malzemeler hazırlamak, var olan ürün özelliklerini geliştirmek ve maliyeti düşürmek amacıyla üretilirler. Polimer karışımlarının performansı sadece bileşen polimerlerinin özellikleriyle değil aynı zamanda oluşturulan morfoloji ile de belirlenir. Genellikle, bir polimer başka bir polimerde dağılır veya karıştırılır. Minör bileşen içeriği kritik bir değere yükseldiğinde, polimer karışımlarının morfolojisi ile birlikte sürekli bir yapıya dönüşür. Son yıllarda elastik modül, ısı direnci ve elektriksel ve termal iletkenlik gibi önemli ölçüde geliştirilmiş özelliklerinden ötürü birlikte sürekli bir yapıya sahip polimer karışımlarının oluşturulması için bir çok çalışma yapılmıştır. Polimer karışımlarına, fazladan mukavemet sağlamak ve polimer matrisli kompozit oluşturulmak için genellikle içerisine takviye elmanı olarak fiberler katılmaktadır. Takviye elemanı olarak katılan bu fiberler yapıyı birçok yönden etkilemektedir. Örneğin, çelikle karşılaştırıldığında oldukça yüksek bir çekme dayanımına sahip oldukları görülmektedir. Ancak, fiberlerin deformasyon yapma yetenekleri düşük olduğundan gevrek davranış gösterirler. Fiberler genelde bazı termoplastiklerin günlük hayattaki kullanımları açısından önemli bir problem oluşturan düşük darbe dayanımı özelliklerini iyileştirmekte ve kullanım ömrünü uzatmaktadır.



Şekil 1.1. Fiberler ve çeliğin gerilme-deformasyon diyagramı grafiği

1.3. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, farklı oranlardaki uyumlulaştırıcılı ve uyumlulaştırıcısız PP ve PLA karışımlarındaki yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerin incelenmesi buna ilave olarak yine farklı oranlarda yapı içerine katılan CF takviyesinin etkisi ile meydana gelen yapının, mekanik ve tribolojik değişimlerin incelenip karşılaştırılarak en uygun yapının çıkartılması amaçlanmıştır.

1.4. Literatür Araştırması

Karıştırma işlemi saf polimerin özelliklerini geliştirmek için uygulanan en önemli tekniklerden biridir. Bununla birlikte karıştırmanın faydaları şu şekilde özetlenebilir; üretim maliyetini düşürerek uygun özellikte malzeme sentezlenmesi, hızlı ve kolay konfigürasyon ve formülasyon değişiklikleri, yüksek kalite ve üretkenlik kabiliyeti ve bununla birlikte depolanması gereken parametrelerin sayısının azaltılması sayılabilir [1]. Bu durumun avantajları, polimer karışımlarının, ambalaj, gıda, tekstil, ve mühendislik gibi polimer tüketiminin fazla olduğu uygulamalarda ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, polimer karışımlarının özellikleri, polimerin birbiri ile karışma kabiliyetiyle sınırlıdır. Bu sorunu çözmek için, uyumlulaştırıcı denilen maddeler kullanılır. Genellikle karışmayan, karışımların uyumluluğunu artırmak için ilave katkı maddeleri tercih edilir. uyumluluk, ara yüzey geriliminin optimizasyonunu sağlar, morfolojiyi stabilize eder ve katı haldeki fazlar arasında uyumu sağlayarak termodinamik olarak karışmayan polimerleri uyumlu bir karışım haline getirmektedir. Reaktif işlevsel bileşiklerle graft kopolimerleri, örneğin polipropilen-aşılanmış-maleik anhidrid (PP-g-MA) uyumlulaştırıcı olarak kullanılır. PP-g-MA polipropilen (PP) ile polar polimerlerin karıştırılması için etkili bir bağdaştırıcı olarak kullanılmıştır. [2,3]. PP'nin PP-g-MA'nın bir kısmı PP ile uyumludur ve anhidrid kısmı kutup bileşeni ile reaksiyona girer.

Poli (laktik asit) (PLA) bilinen biyolojik olarak çözünebilen bir malzemedir. Laktik asit, çeşitli nişastalar, şekerler ve diğer biokütle materyalleri gibi biyolojik fermantasyon yoluyla elde edilir ve daha sonra kimyasal olarak poli (laktik asit) 'e çevrilir. [4,5]. PLA yüksek şeffaflık ve elastik modülüne sahiptir, termoplastik olarak davranır geleneksel plastik gibi işlenmiş ve yaygın olarak tek kullanımlık çatal, bardak, film gibi ürünlerin üretilmesinde kullanılır [6,7]. Bununla birlikte, PLA oldukça gevrek olduğu için

(kırılmada düşük gerilme ve yüksek modül) oda sıcaklığında kolayca hidroliz edilebildiği için uygulanabilirliği sınırlıdır [8].

Bundan dolayı, PLA'nın yumuşak ve sert polimerlerle karıştırılması ile mekanik ve biyolojik özellikleri artırılabilir [9,10]. Polipropilen (PP) bu bahsedilen olumsuz özelliklerin iyileştirilesi için kullanılabilmektedir. Düşük yoğunluklu, sterilize edilebilir, çok iyi yüzey sertliği gibi üstün özelliklere sahip emtia polimerleri iyi aşınma direncine, mükemmel elektriksel özelliklere, ayrıca suya karşı mekanik ve bariyer özelliklerine sahiptir. Aynı zamanda düşük maliyetli olup işleme kolaylığı sunmaktadır. Bununla birlikte toksik olmayan yanma özelliği, çalışma güvenliği ve geri dönüşüm kolaylığı gibi avantajlar sunmaktadır. Bu şekilde ortaya çıkan karışımlar, kompozit uygulamalarda, daha sağlam hafif ve kolay üretilebilen otomotiv parçalarında, haddelenmiş profiller, ambalaj endüstrisinde, inşaat sektörü gibi daha birçok alanda güvenle kullanılmaktadır [11,12]. Karışabilir polimerler, karışmaz polimer karışımları ile karşılaştırıldığında geliştirilmiş bir mekanik özellik sergilemektedir. Polimerlerin karıştırılması beklenilen iyileşmelerden daha azına yol açabilir. Böylece, uyumlulaştırıcılar genellikle karışmayan polimerin karışabilirliğini arttırmaktadır [13]. PLA diğer polimerlerle karıştırılarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu şekilde polimerin fiziksel özelliklerini geliştirmek için pratik ve avantajlı bir yol olarak PP ile karışımlanması tercih edilmektedir. PP mükemmel bir polimer olup olağanüstü bir bileşimdir. Fiziksel, kimyasal, mekanik, termik ve elektriksel özellikleri PLA'nın temel sorunlarına ,(düşük darbe dayanımı ve kopma uzaması) çözüm sunabilmektedir. PLA’nın diğer polimerlerle karışımlanması, özellikle de PE gibi poliolefinlerle veya PP ile bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için uygun çözümlerden birkaçıdır. [14,15,16].

Polipropilen (PP) ve polilaktik asit (PLA) ile uyumlu ve uyumlu hale getirilmemiş karışımlarına nanokil parçacıkları ilave edilmiş ve bu karışımlar çift vidalı ekstruder ile çekilmiştir. Farklı matrislere sahip iki nanokompozit sistemleri elde edilmiştir. Bunlar PP olarak zengin olan (75\25) ve PLA olarak zengin olan (25\75) sistemleri seçilmiştir. Nanokillerin ve n-butilakrilat glisidil metakrilat etilen terpolimerin etkilerini araştırmak için uyumlulaştırıcı olarak PTW (PTW) kullanılmıştır. Çekme ve darbe mukavemeti özellikleri incelenmiştir. Nanokompozit sistemleri araştırılmış ve mikro yapılarıylakıyaslanmıştır.PLA oranının fazla olduğu karışımlarda gerilme modülü ve mukavemet artarken kopma uzamasının azaldığı gözlenmiştir. Polimer karışımlarının ve

nanokompozitlerin gerilme sonuçları incelenerek saf PLA'ya kıyasla kopma uzamasında ve modülün azalmasında belirgin bir artış gözlenmiştir [17]. Polimerlerin yardımı ile gazların, sıvıların bir eşyaya, gıdaya veya bir ürüne nüfuz etmesini kontrol altında tutmak çok önemlidir. Bu durum çeşitli paketleme ve endüstri uygulamalarında büyük önem arz etmektedir [18-19]. PP uygun mekanik özelliklere sahip bir polimerdir ve suya karşı oldukça iyi bir bariyer özelliği gösterir ayrıca oksijen geçirgenliğini de sınırlamaktadır [20]. Fakat biyolojik olarak bozunabilen PLA su ve oksijene karşı daha düşük bariyer özeliği göstermektedir [21,22]. Etkileşim bölgeleri ara yüzeyde temel etkilere sahiptir. Kütle taşınması ve polimer difüzyonu gibi bu bağlamda iki polimerin karıştırılması uygun bir çözüm olmakla birlikte içerisine katılan nanokil partikülleri karışımı geliştirmeye yardımcı olmaktadır. Ortaya çıkan bu hibrit biyolojik olarak bozunabilen ve iyi bir bariyer olan bu yapı önemli bir konu haline gelmektedir [23,24]. Partikül dolgu/takviye malzemeleri, genellikle maliyeti ucuzlatmak için polimer esaslı malzemelerde kullanılsa da, üstün özellikli partiküllerin kullanımıyla, üretilen kompozit malzemelerin mekanik, termal, elektriksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmektedir. Örneğin, grafit, karbon ve metalik partiküllerin ilavesiyle iletken, partikül bor ve genişletilmiş grafit ilavesiyle yanmaya dirençli, cam küre, cam bilye gibi partiküllerin ilavesiyle de aşınmaya dirençli polimerik kompozitler üretilebilmektedir [25]. Farklı polimerlerin karıştırılması ile yapısal olarak işlevselliklerini arttırmayı amaçlayan polimer kombinasyonları ve matris polimerlerine, şekil verilebilirlik ile beraber yeni fonksiyonlarının geliştirilmesinde karışıma karbon ilave edilmesi önemli bir yer arz etmektedir. Kontrollü yapı ve dokuları olan malzemeler birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları lifler, süperkapasitörler, gaz ayırıcıları, membranlar gibi birçok alanda kendine yer bulmaktadırlar [26,27]. Karbon fiber, polimer kompozitlerin mekanik güçlendirmesi için önemli bir kaynaktır [28,29].

Nan Feng ve arkadaşları, geri dönüştürülmüş karbon fiber (RCF), naylon 6 bazlı termoplastik kompozitlerde RCF'nin yüzeyini nitrik asit ve daha sonra bir epoksi makromoleküler bağlama maddesi ile temizlemek yüzey değişikliği için etkin bir teknik olduğunu, RCF ve naylon 6 matrisi arasındaki ara yüzey yapışmasının, böyle bir yüzey değişikliği sonucunda önemli ölçüde geliştiğini ortaya çıkarmışlardır. Sonuç olarak, RCF'nin takviye potansiyeli önemli ölçüde arttırılmış ve böylece, naylon 6 kompozitlerinin mekanik özellikleri ve ısıl kararlılıkları kayda değer bir şekilde

geliştirilmiştir. Kırılma yüzeylerinin morfolojileri, RCF'nin naylon 6'da homojen bir dağılım sağladığını göstermektedir RCF'nin naylon 6'nın kristalleşmesi için çekirdeklendirici bir madde olarak hareket ettiğini göstermiştir; Bu nedenle, kristalleşme hızı ve çekirdeklenme yoğunluğu, RCF'nin matristeki heterojen çekirdeklenme etkisinden dolayı önemli ölçüde artmıştır. Bu kristalleştirme özellikleri naylon 6 bazlı kompozitlerin mekanik performansının ve işlenebilirliğinin arttırılması için bir avantaj sağlamaktadır [30]. Metallerle karşılaştırıldığında dolgusuz polimerler düşük aşınma davranışı göstermektedir [31]. Polimerler ve kompozitler, yağlama olmaksızın aşınma dirençli malzemeler sınıfını oluşturan önemli malzemelerdendir. Rajesh ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada uygulanan yükün artmasıyla, buna bağlı olarak malzemedeki spesifik aşınma oranlarının lineer olarak azaldığını belirtmişlerdir [32].

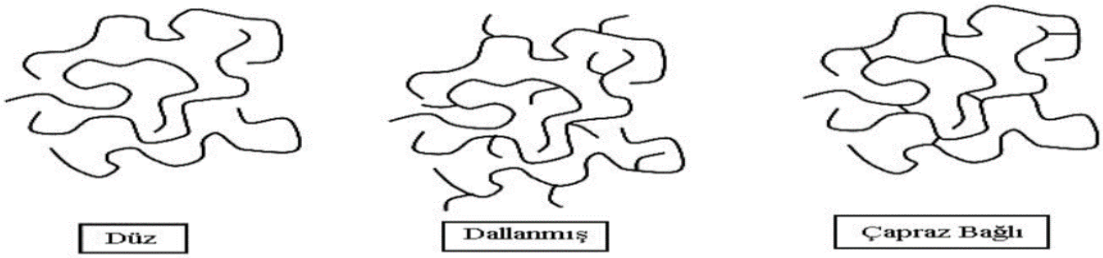
Saf polimerlerin aşınma direnci yeterli olmadığından, modifiye edilmelerine gereksinim duyulmaktadır [33]. Evans ve arkadaşları orta karbonlu pürüzlü çelik yüzey üzerinde test ettikleri 18 adet polimerik malzeme içinde düşük yoğunluklu polietilen DYPE' in en az aşınma hızına sahip olduğunu tespit etmişlerdir [34]. Bijwe ve arkadaşları, polieterimid esaslı kompozit malzemeler ile yaptıkları çalışmada uygulanan yükün artmasıyla spesifik aşınma oranının azaldığını tespit etmiştir [35].

BÖLÜM 2

KAPSAM VE YÖNTEM

2.1. Polimerlerin Tanıtılması

'Poli' Latince bir sözcük olup çoklu anlamına gelmektedir. Birden fazla monomerlerin yani polimer yapı taşı olarak nitelendirilen parçaların bir araya gelmesi ile oluşan bu yapıya polimer denmektedir.



Şekil 2.1. Düz, dallanmış, çapraz bağlanmış polimer yapıları [36]

Polimerler, monomerlerin birbirleri ile kovalent bağ yardımı ile oluşturdukları molekül yapısıdır. Polimerler doğal olarak bulunduğu gibi yapay yani sentez yoluyla da elde edilmektedir. Polimerler kendi içinde termoplastikler, termoset ve elastromer (kauçuk) olarak ayrılmaktadır. Termoplastikler de kristal ve amorf termoplastikler olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. PE, PP, sık kullanılan polimerlere örnektir. Polimerlerde kristal yapı ve morfoloji, bu malzemeden üretilen ürünün fiziksel özelliklerini belirlediğinden kristal yapının doğası ve kristallenme mekanizmasının bilinmesi, istenilen özelliklerde ürün elde edilmesi için oldukça önemlidir. Polimerlerin kristallenme kinetiği üzerine yapılan çalışmalarda sabit sıcaklıkta (izotermal) veya sabit hızda soğutma (nonizotermal) şartları için birçok matematiksel model geliştirilmiştir.

2.1.1. Termoplastik Polimerler

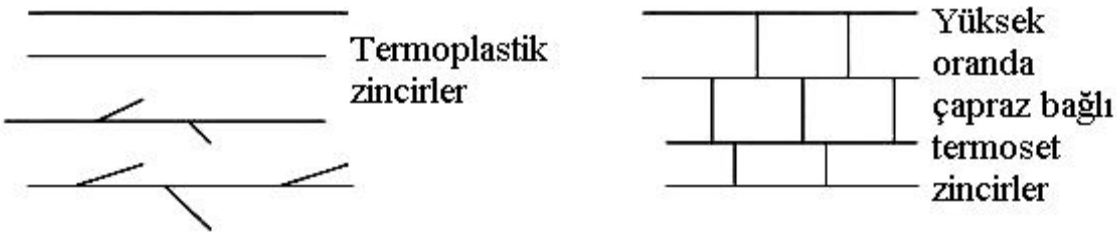
Bu polimer ısı ile tekrar şekillenebilme kabiliyetine sahiptirler. Şekillenme sırasında kimyasal bir değişime uğramazlar ve bu özelliği sayesinde bu tip polimerlerin tekrar tekrar kullanılmasının sağlar. Polimerizasyon teknikleriyle elde edilirler.

Tablo 2.1. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları [37].

Termoplastik Polimer	**Uygulamalar**
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	Paketleme, borular, tanklar, şişeler, kasalar
Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)	Paketleme, sebze çantaları, oyuncaklar, kapaklar
Polipropilen (PP)	Şapkalar, yoğurt kapları, bavullar, borular, kovalar, halılar, batarya kılıfı
Polistiren (PS)	Çoğunlukla saydam parçalar, yoğurt kapları, fast food köpük paketleri, kasetler
Polyamid (PA)	Yataklar, dişliler, cıvatalar, paten tekerleri, misina
Polietilen Terafitalat (PET)	Saydam karbonlu içecek şişeleri
Polivinil Klorür (PVC)	Gıda paketleri, ayakkabılar, zemin

2.1.2. Termoset Polimerler

Termoset polimerler, termoplastiklerden farklı olarak ısıtıldıkları zaman tekrar tekrar şekillenemezler bunun sebebi kimyasal yapılarının bozulmasıdır. Bundan dolayı termoset polimerlerin geri dönüşümü çok zordur.



Şekil 2.2. Termoplastik ve termoset polimerin molekül zincirleri arasındaki farklar [37].

Tablo 2.2. Sık kullanılan termoset malzemeler ve kullanım alanları [37].

Termoset Polimerler	Uygulamalar
Epoksi	Yapıştırıcılar, elektrik yalıtımı
Melamin	Isı dayanımlı tabakalı yüzeyler,vb., mutfak tezgahları
Fenoliks	Tava/tencere kulpu, ütüler, ütüler, ekmek kızartma makineleri
Poliüretan (PU)	Yalıtım ve döşemecilik için esnek veya rijit köpük
Doymamış polyester	Duvarlar, ekmek kızartma makinelerinin kenarları, uydu çanakları

2.1.3 Elastromerler

Çekme kuvvetinde yüksek miktarda uzama gösteren ve bu kuvvet kaldırıldığında ise tekrar eski haline dönen malzemelerdir.

Tablo 2.3. Termoplastik elastromer örnekleri [37]

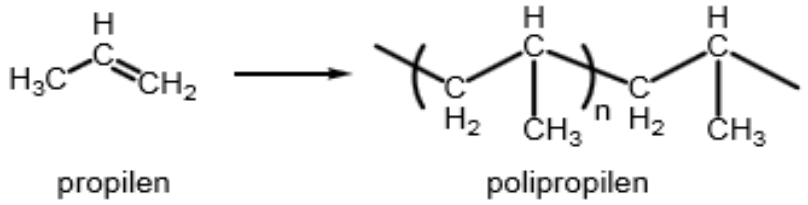
Tip	Elastomer Açıklama	Alt Grup
TPE-O	Polyolefin karışımları	PP/EPDM, PP/EPDM çapraz bağlı
TPE-V	Polyolefin alaşımları	çeşitli
TPE-S	Stiren	SEBS, SBS, SEBS/PPE
TPE-A	Polyamid	PA 12 tabanlı, PA 6 tabanlı
TPE-E	Polyester	Polyesterester, Polieterester
TPE-U	Poliüretan	Polyester üretan, Polieterester üretan, Polieter
SEBS = stiren-etilen/butiren-stiren terblok kopolimer		

Plastiklerin üretilmesinde şu yöntemler sırasıyla izlenebilir; reçine, toz, granül şeklinde ısıtılırlar. Isıtılan bu polimer kalıp içerisine dökülür ve şekillenmesi sağlanır. Son olarak kalıptaki nihai son ürün soğutulur ve böylece istenilen ürün elde edilir. Plastik üretiminde ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemlerinden de bahsetmek gerekmektedir. Bu iki üretim yöntemi plastik şekillendirmek için oldukça sık kullanılmaktadır. Ekstrüzyon yönteminde kovan içerisindeki dönen vida yardımı ile belirli bir sıcaklıkta beslenen polimer ergitilerek kalıba doğru hareket etmektedir besleme yapıldığı sürece devamlı bir

üretim gerçekleşmektedir. Örneği; profiller, filmler bu şekilde üretilmektedir. Enjeksiyon yönteminde ise sıcak haznede eriyen polimer belirli basınç ile kalıba doğru itilmekte ve kalıpta soğuyup sertleşerek son halini almaktadır. Daha karmaşık ürünler bu şekilde üretilirler. Bu yöntemler birçok polimere uygulanmaktadır.

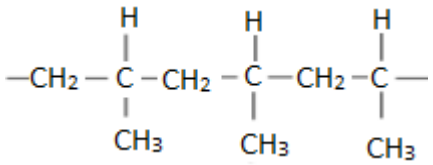
2.2. Polipropilenin Genel Özellikleri

Polipropilen (PP), ilk olarak 1950 yılında Karl Ziegler ve Giulio Natta isimli araştırmacılar tarafından bulunmuştur. Kendi isimlerini verdikleri katalizör sayesinde polimerizasyonu gerçekleştirmiş ve yüksek mukavemetli, ısıya dayanımlı bir polimer elde etmişlerdir.



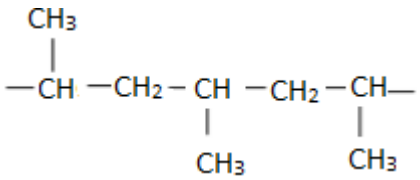
Şekil 2.3. Polipropilen polimerizasyonu [38].

Propilenin yapısında bulunan metil grubu(CH_3) sayesinde molekülün asimetrik olması sağlanır. Bu özellik sayesinde farklı özelliklere sahip termoplastik PP'ler elde edilir. PP, yapısal ve üretimine göre 3 farklı şekilde olmaktadır [38]. Gösterilen izotaktik yapıda olduğu gibi metil grubu aynı karbona bağlanarak yapı oluşturmuştur [39].

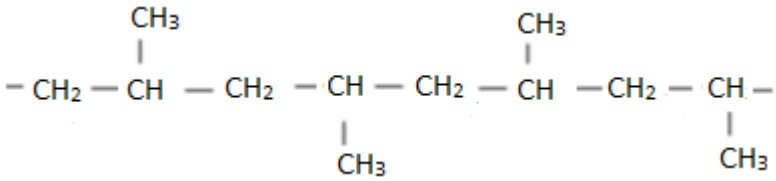


Şekil 2.4. İzotaktik yapı [38].

Ataktikte ise metil grupları düzensiz olarak karbonlara bağlanmıştır [38].



Şekil 2.5.Ataktik yapı [38].



Şekil 2.6. Sindiyotaktik yapı [38].

Sindiyotaktik yapıda metil grupları sıralı bir şekilde yukarı ve aşağı olarak bağ yapması mümkün olan karbon atomlarına bağlanırlar [39].

PP yüksek sıcaklıklarda yumuşar ergime sıcaklığı 160-170 °C'lerdedir. Yumuşama sıcaklığında mukavemetini korur. PP'nin dezavantajlarından biri düşük sıcaklıklarda özelliklerinin zayıflamasıdır. Camsı geçiş sıcaklığı -10°C civarlarındadır [38].

Polipropilen'in özellikleri kısaca şunlardır;

• Yüksek molekül ağırlığı ve esneklik,

• Isıya karşı dayanıklılık,

• Artan sıcaklıkta yapısını koruyabilmesi,

• İyi bir kimyasal direnç,

• İyi yüzey kalitesi, düşük sürtünme katsayısı,

• - 5°C ile + 95°C çalışama sıcaklığı [40, 41].

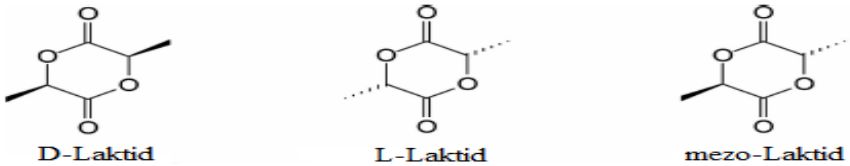
2.2.1. Polipropilen Üretimi

PP, poliolefin grubundan bir polimerdir. PP, yüksek saflıktaki (% 99.9) propilen gazını basınç altında, Ziegler-Natta katalizörleri yardımıyla radikal olarak polimerleşmesiyle elde edilir [42]. Polimerizasyonda kullanılan polimer çok saf olmalıdır. Çünkü yapıda bulunan su katalizörü yok eder ve sentez ilerlemesini engeller. Bu yüzden uzun zincirli yapı elde edilemez. Bundan dolayı sentez gaz fazında gerçekleştirilir [43]. Reaktör den çıkan karışım, toz halindedir. Polipropilen, $AlCl_3$, $TiCl_3$ ve katalizör artıkları toplu halde bulunur. Toz ürün reaktöre verilerek nitrojen, propilen oksit ve su ile reaksiyona girer ve katalizör artıkları suyla reaksiyona girerek hidroksitlere ve hidroklorik aside çevrilir. Hidroksitler oksitler ve su ile parçalanır, oksitler bu toz polimer içinde dağınık halde

kalırlar. Hidroklorik asit propilenoksitle reaksiyona girer ve propilen klorhidrin oluşmasını sağlar. Daha sonra bir sıyırıcıdan geçirilerek klorhidrin tekrar propilenoksite dönüşmesi sağlanır ve sisteme geri besleme yapılır. Çıkan toz gerekli parçacıklarla karıştırılır ve ekstruderden geçirilerek granül haline dönüştürülür [44].Polimerizasyon işlemi gerçekleşirken Ziegler-Natta katalizörlerinin aktifliğine göre izotaktik, ataktik ve sindiotaktik polipropilenler ortaya çıkmaktadır. Yaklaşık olarak elde edilen oranlar % 93 izotaktik polimer, % 5.5 sindiyotaktik polimer ve % 1.5 ataktik polimerdir [45]. Uygulanmakta olan yöntemler, süspansiyon polipropilen üretimi (süspansiyon ortamı olarak heptan kullanılır), polipropilen kütle prosesi (likit propilen ile polimerizasyon) ve polipropilen gaz faz prosesi (gaz faz ortamında polimerizasyon) yöntemleridir[46].

2.3. Polilaktik Asidin Genel Özellikleri

PLA katı bir termoplastiktir.Yarı kristal, tam kristal veya amorf yapıda bulunabilir. PLA'nın doğal formu L(-)-laktik asit (2-hidroksi propinik asit) ve D formunun bu asit mikroorganizmaları veya rasemizasyon yoluyla oluşmaktadır [47].



Şekil 2.7. Laktid izomerlerinin kimyasal yapıları [48]

PLA aslında yeni bir polimer değildir. 1930 'lu yıllarda Carother laktik asit dimerinden PLA üretini ğerçekleştirmiştir. PLA'yı polimer dünyasında benzersiz ve popüler hale getiren bazı özellikleri vardır. Başlangıç malzemesi olarak kullanılan laktik asitin yenilenebilir kaynakların fermantasyonu ile üretilmesi, çevrede hızla bozunabilen yapıda olması ve düşük toksisiteye sahip biyolojik olarak bozunabilen bir polimer olmasıdır [49]. PLA, çok popüler emtia plastikleri olan PET ve PP ile karşılaştırılabilecek makul mekanik özelliklere sahiptir [50]. PLA, doğal yollardan elde edilen laktik asitten üretilir. Elde edilen kaynakların doğal olması büyük bir avantaj sağlamaktadır. PLA iyi bir polimer olmasına rağman kullanımı sınırlıdır [51]. PLA'nın doğal kaynaklardan elde edilmesi enerji tasrrufu sağlamaktadır.Hidroliz ve alkoliz ile laktik asite ayrılması gübre olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. PLA 'nın kolay

modifiye edilmesi ve fiziksel özelliklerinin değiştirlebilir olması gibi avantajları vardır [52].

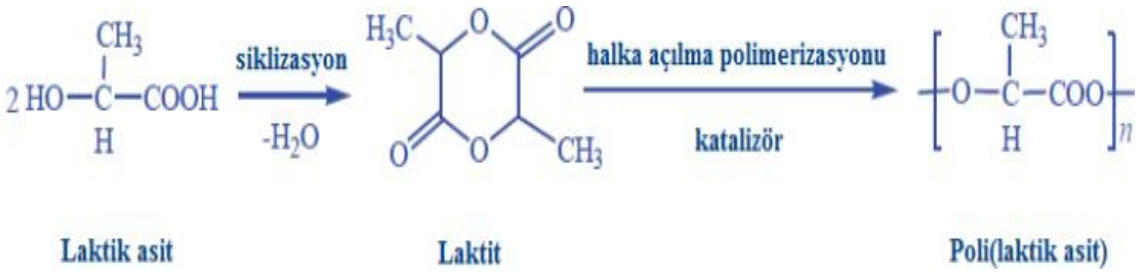
2.3.1. Polilaktik Asit Üretimi

Laktik asidin polikondenzasyon olarak sentezi düşük maliyet açısından önemlidir. Fakat karşılarşılan en büyük sorun sistemdeki suyun uzaklaştırılmasıdır. Bundan dolayı yüksek molekül ağırlıklı polimer olarak elde edilmesi zordur. Bu sorunun çözümü için sentez sırasında izosiyanatlar ile zincir uzatma mekanizması kullanılmıştır [49].

Tablo 2.4. PLA'nın sentez metotlarının karşılaştırılması [53].

Sentez metotları	Avantajları	Dezavantajları
Çözelti polikondenzasyon	Tek basamaklı, ekonomik, kontrolü kolay	Safsızlıklar, yan reaksiyonlar, kirlilik, düşük molekül ağırlığı.
Eriyik polikondenzasyon		Yüksek reaksiyon sıcaklığı, hassas reaksiyon koşulları, düşük molekül ağırlığı.
Halka açılma polimerizasyonu	Yüksek molekül ağırlığı	Yüksek saflıkta laktit monomeri, yüksek maliyet.
Yeni çözeltiler (yeni katalizörler)	Verimli, toksik değil, kirlilik yok, yüksek molekül ağırlığı	Geliştiriliyor.
Biyosentez	Tek basamaklı, verimli, toksik değil, kirlilik yok, ekonomik	Geliştiriliyor.

Direkt sentezin getirdiği olumsuzlukları göz önünde bulundurulduğunda yüksek molekül ağırlıklı yapıda PLA sentezi için halka açma yöntemi kullanışlı bir yöntemdir.Reaksiyon sırasısında laktik asit dimerizasyonu ile ortaya çıkarılan yüksek saflıktaki laktit kullanılır.Polimer inört atmosferde veya vakum altında monomeri halka açılmasıyla elde edilir. Reaksiyon süresi ve sıcaklık, katalizör tipi ve konsantrasyon oranı kontrol altında tutulması ile D- ve L-laktik asit (LA) oranı kontrol altında tutulmaktadır [54]. Polimerizasyon işleyişi sırasında kullanılan katalizör türüne göre iyonik,koordinasyon ve serbest radikal olarak gerçekleşebilmektedir [55].Halka açılma işlemi; çözelti, yığın, eriyik ve süspansiyon yöntemleriyle gerçekleşir [48].



Şekil 2.8. Halka açılma polimerizasyonu [53].

Çözelti tekniğinde sisteme PLA'yı çözen bir çözücü eklenmektedir. Proses sırasında meydana gelen suyun karışıma karışmadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Geri akım yöntemi ile yapılan bu işlem Carothers tarafından geliştirilmiş olup halen kullanılmaktadır. Yüksek molekül ağırlıklı yapı için izosiyanat, epoksi, peroksit gibi düzenliyiciler kullanılmaktadır [54].

Eriyik yönteminde sıcaklığın polimer erğime sıcaklığının üzerinde tutulması ile eriyik hade bulunan monemer yapısı her hangi bir çözüçüye ihtiyaç duymaz [56]. Bu teknik çözelti yöntemine göre çok daha kısa surede (≤15sa) gerçekleşmektedir. Yüksek molekül ağırlıklı (W M ≥ 100000 g/mol) PLA üretilebilmektedir [57]. Fakat endüstriyel boyutta uygulamalar için uyğun değildir. PLA' nın işlenmesinde kullanılan yöntemlerde polimerin ergime sıcaklığına ısıtılarak eriyik hale gelmesi sağlanır ve bu şekilde kalıplama işlemi gerçekleştirilir. Yaygın polimerlerde kullanılan yöntemler gibi PLA da ekstrüzyon, enjeksiyon, şişirme gibi yöntemlerle şekillendirilir. PLA sıklıkla kullanıldığı alanların başında medikal ve kozmetik sektörü gelmektedir.

2.4. Polimer Karışımları

Polimer karışımları önemli ölçüde ticari büyüme sağlamıştır. Mevcut polimerlerin büyüme oranını en az% 2 ila% 5 oranında büyümüştür son yirmi yılda polimerler vekarışımlar dünya pazar hacminin (700.000 metrik ton / dolar) den fazla olduğu tahmin edilmektedir ve ortalama büyüme oranı% 6 ile% 7 arasındadır. 90'lı yıllarda büyümenin yavaşlamasına rağmen, maliyet-performans dengesini ayarlama imkânı ve teknolojiyi son kullanım uygulamaları için özel hale getirme olasılığı nedeniyle polimer karışımlarına olan talep çok yoğun bir şekilde devam etmektedir [58].

Polimer karışımları temel olarak çok bileşenli anlamına gelmektedir. İki veya daha fazla polimerin karıştırılması ile oluşur. Bu karışımlar, kimyasal olarak birbirine bağlı

olmayan ve karıştırılarak yapılan çalışmalardır. Bu uygulamlarda daha etkin daha ucuz bir malzeme oluşturulması hedeflenmektedir. Ayrıca çalışmalarda yeni özelliklerin ve yeni kombinasyonların ortaya çıkması polimer endüstrisinde yeni ürün keşfedilmesini sağlamaktadır. [59,60]

Polimer karışımlarınailginin yogun olmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

- Polimerlerin karıştırılması ile yeni bir polimer geliştirmek için teknolojik çalışmalardan ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır. İstenilen özelliklerde ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlar.

- Polimer karışımları performans boşluklarını doldurabilir ve tek bir polimerin sağlayamadığı özellikleri farklı polimerin birleştirlmesi sağlayarak mukavemet, tokluk, yanma direnci gibi özelliklerinin gelişmesini sağlar.

- Polimer karıştırma bir ekstruder yardımı ile kolaylıkla yapılabilir bu da maliyeti önemli ölçüde düşürmektedir. Öte yandan yeni polimer sentezlemek için gerekli olan çalışma ve yatırım maliyetini oratadan kaldırır.

- Karıştırma işlememinin ekstruder ile yapılması büyük ölçekli üretim yapılmasına olanak sağlar. Yeni polimer sentezi için yapılan polimerizasyon için çok daha küçük ölçekte ürün çıktısı sorununu ortadan kaldırır.

- Karıştırma önemli bir yatırım riski olmaksızın üretici ve tadarikçilerin ihtiyaçlarının giderebilir.

- Karışımlarda uyumluluk gelişimi önemli bir sorun olmadığı sürece yeni polimer sentezlerine kıyasla daha hızlı bir şekilde formüle edilip üretimi yapılabilir.

- Karışımlar geri dönüşümlü ürünlerin oluşumu, gelişimi ve ticarileştirilmesi açısında ekonomik yollar sunmaktadır.

Birçok ticari polimer karışımı sıklıkla bir elastomer içerir,stres koşulları altında karışımın darbe mukavemetini arttırmak (çentikli İzod darbe mukavemeti) ve süneklik durumunu azaltmak için karışımın geçiş sıcaklığı elastomerik dispersiyonlar, matris fazında dağınık halde, bulunabilir. Polimer fazında veya her iki fazda da bulunup,

karışımın kırılma davranışı sergilemesine sebep olabilir. Genel bir kural olarak, daha kırılgan belirli bir polimer karışımında bileşen daha fazla kauçuk gereksinimine sahiptir. Bununla birlikte, karışmaz ya da kısmen karışabilir bir karışımın darbe mukavemetinin belirlenmesinde önemli bir faktör, ara yüz uyumlulaştırılmasının derecesi ve verimliliğidir [61,62,63].

Polimer karışımlarının avantajları;

• Daha az maliyet

• Geliştirilmiş ısı direnci

• Geliştirilmiş tokluk

• Geliştirilmiş çözücü direnci

• Geliştirilmiş neme dayanıklılık

• Geliştirilmiş boyutsal kararlılık

• Geliştirilmiş işlenebilme kolaylığı

• Geliştirilmiş hava koşullarına dayanıklılık

• Geliştirilmiş alev direnci

• Gelişmiş estetik ve görünüm, vb.

2.4.1. Polimerlerin Karışma Kabiliyeti

Polimer karışımlarında homojen karışabilirlik, negatif bir serbest enerji karışımı gerektirir. Bu Gibbs serbet enerji formülü ile bulunur:

ΔG karışımı = ΔH karışımı -T.ΔS karışımı(2.1)

Bununla birlikte, eğer iki yüksek molekül ağırlıklı polimer karıştırılmış ise, karışım entropisinin (ΔS) kazancı önemsizdir ve karışımın entalpisi (ΔH) negatifse, karıştırma serbest enerjisi yalnızca negatif olabilir. Başka bir deyişle, karıştırma, karışım bileşenleri arasında özel etkileşimler gerektiren ekzotermik olarak olmalıdır. Bu

etkileşimler, hidrojen bağlanması, iyon-dipol, dipol-dipol ve verici alıcı etkileşimleri gibi kuvvetli iyonik ile zayıf bağ oluşturmayan etkileşimler arasında değişebilir.Genellikle sadece Van der Walls etkileşimleri oluşur. Karışabilirlik iki polimerin davranış sıcaklığına kuvvetle bağlıdır. Herpolimer çifti, genellikle bir etkileşim parametresi ile karakterize edilirdüşük sıcaklıklarda muhtemel karışabilirliğin yüksek sıcaklıklarda kaybolduğu,işleme sırasında böyle bir sıcaklık bağımlılığı sergilemektedir [59,64,65].

2.4.2 Polimer Karışım Türleri

Temel olarak üç farklı karışma şekli vardır. Bunlar sırasıyla tamamıyla karışabilen karışımlar, kısmen karışabilen karışımlar ve karışmaz olan karışımlardır.

2.4.2.1. Tamamen Karışabilen Karışımlar

Tamamıyla karışabilir polimer karışımlarında, $\Delta Hmix < 0$ nedeniylespesifik etkileşimler, en azından bir nanometre üzerinde homojenlik gözlemlenir. Eğer moleküler düzeyde değilse bu değişim bilinen bir karışım örneği olarak,çok geniş bir sıcaklık aralığında ve tümüyle karışabilirPS / PPO karışımları verilebilir. Bu karışımda ısı direnci,yanıcılık ve PPO'nun tokluğunun yanı sıra iyi işlenebilirlik ve PS'nin düşük maliyetli olması verilebilir. Bu tür karışımlar sadece bir camsı geçiş sıcaklığı sergilemektedir. Her iki karışımın T_gs 'si arasındaki geçiş sıcaklığı $T_g$bileşenler karışım bileşimi ile yakından ilişkilidir [59].

2.4.2.2. Kısmen Karışabilen Karışımlar

Kısmen karışabilir polimer karışımlarında, bir karışım bileşeninin küçük bir kısmı diğerinde çözülür. İnce bir faz morfolojisi ve tatmin edici özellikler sergileyen bu tür karışım, uyumlu olarak adlandırılır. Her iki karışım fazı da homojendir ve kendi T_g 'sine sahiptir. Her iki T_gs, saf karışım bileşenleri için olağan değerlerden diğer karışım bileşen sıcaklığı olan T'ye kaydırılır. Buna örnek olarak, PC'nin ısı direncini ve tokluğunu, düşük sıcaklık etkisi, işlenebilirlik, gerilme çatlama direnci ve ABS'nin düşük maliyetiyle birleştiren PC / ABS karışımlarıdır. Bu karışımlarda, PC'nin ve ABS'nin SAN fazı kısmen birbiri ile çözülür. Bu durumda, ara faz geniş ve ara yüz yapışması iyi olur [65,66,67].

2.4.2.3. Karışmayan Karışımlar

Polimer karışımlarının karışmaması durumunda; bugüne kadar çoğu polimer karışımı karışmaz özellik göstermektedir. Kaba bir faz morfolojisine sahiptirler, arayüz ayrımı belirgindir. Her iki karışım fazı (her biri saf karışım bileşenlerinin T_g'sini gösterir) arasındaki yapışma zayıftır, böylece bu karışımlar uyumlaştırılmadan işe yaramazlar. Karışmayan karışım örnekleri PA / ABS, PA / EPDM, PA / PPO ve PP / PA'dır [64,68,69].

2.5. Polimer Karıştırma Yöntemleri

2.5.1.Mekanik Karıştırma

Basit ve hızlı bir yöntemdir sıklıkla tercih edilir. Kapalı sistem içerisinde geçiş sıcaklığının üzerine ısıtılmasıyla gerçekleşir. Eriyik karıştırılarak ileri doğru itilir ve kalıptan çıkması sağlanır ekstruder, karıştırıcı kullanılarak yapılan oldukça ekonomik bir yöntemdir [70].

2.5.2. Bilinen Bir Çözücüde Çözme

Çözücüyü uçurarak, Bilimsel olarak en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Bir çözücü içerisinde çözünen iki polimerde daha sonra sistemden çözücü maddenin uçurulmasıyla ortamda kalan iki faz termodinamik olarak karışabilir. Çözücü olmayan bir sıvıda çöktürülerek yapılan bu işlemde polimer bir çözücüde çözülerek çözelti oluşturulur daha sonra bu çözelti, çözücü olmayan başka bir sıvı içerisine ilave edilerek çöktürülmesiyle karışım hazırlanabilir. Bu yöntem aynı çözücüde çözünebilen ve yüksek kaynama noktasına sahip polimerlere uygulanabilir. Fakat ince toz halindeki durumlarda preslenmesi gerekmektedir. Çünkü bu durum faz ayrımına yol açar. Son olarak çözücüyü dondurarak, polimer karışımı çözücü içinde düşük sıcaklıklarda dondurulur. Çözücü sublimasyonu ile uzaklaştırılır burada dikkat edilmesi gerek bir diğer özellik bu karışımlarda termodinamik olarak karışabilen polimerlerse her hangi bir faz ayrımı meydana gelmez [70].

2.5.3.Polimerizasyon Sırasında Karışım Hazırlama

Bu yöntemde polimerin biri diğerinin monomerinde çözülür ve daha sonra polimerleştirilir. İki fazlı karışımlarda kullanıldığı gibi homojen olanlarda da kullanılır. Termal kararlılığı düşük ve geçiş sıcaklığı yüksek polimer için tercih edilir [70].

2.6. PP ve PLA Karışımları

PLA karışımları ile yapılan çalışmalarda karışımların çoğunun karışmaz (uyumsuz) veya kısmen karışabilir olduğu tesbit edilmiştir bu durum, oluşturulan yapıda faz ayrışmaları meydana getireceği için mekaniksel özelliklerin zayıfladığı ortaya çıkmıştır bunun için ara yüzey ayrışmasını gidermek ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için uyumlulaştırcı kullanılması büyük önem taşımaktadır. [71,72].

Uyumlulaştırıcılı PLA ve PP karışımlarının morfolojik olarak incelemesinde, polipropilen ile poli (laktik asit) arasında iki fazlı bir sistemin oluştuğugörülmüştür. PLA içeriğinin ağırlıkça% 40 ila% 60 aralığında artması, sırasıyla 158 ° C'den 154 ° C'ye ve %38 ila %31'e düşen ergime sıcaklığına ve kristalliğine neden olmuştur. Çekme özellikleri, modül ve gerilme mukavemeti ilegerilme özellikleri modül ve gerilme mukavemeti PLA içeriği arttıkça artarken kopma uzaması % 500 (polipropilen) iken % 50'den (karışımlar) daha fazla düşmüştür. Bariyer özellikleri polipropilen içerisine poli (laktik asit) ilavesinin su buharı geçirgenliğinin artmasına ve oksijen geçirgenliğinin azalmasına neden olduğunu tesbit edilmiştir [73].

PP / PLA karışım filmleri, eriyik karıştırma tekniği ile dökme film ekstrüzyonu ile hazırlanan PP-g-MA ile uyumlu hale getirilmiştir. PLA içeriğini artırmak, karışım filmlerinin Tm ve kristalliğini azaltmaya yol açar. Gerilme özellikleri için modulus ve çekme mukavemeti PLA içeriği arttıkça artmış, ancak kopma uzaması son derece azalmıştır. Morfoloji, termal, mekanik ve bariyer sonuçlarından PP / PLA karışımları, hareketsiz polimer karışımlarının tipik bir davranışını göstermiştir. Tıbbi ambalaj uygulaması için en iyi karışım oranı, çevresel mikroorganizmaların kontaminasyonunu azaltabilecek diğer karışımlara kıyasla en yüksek bariyer özelliklerinden dolayı (%50/%50) PP / PLA karışımı olduğu tespit edilmiştir. Bu PP / PLA karışımı, tıbbi endüstrinin dışındakibakteriyel önlemeler için de idealdir. Karışım film, hastane ve tıbbi kanal işlerinde küf ve bakteri üremesini engelleyen bir bariyer gibi davrandırmaktadır

[73]. Uyumlulaştırıcı ve kil takviyeli PLA ve PP ile yapılan çalışmalarda (%75/%25) ve (%25/%75) PLA olarak zengin ve PP olarak zengin sistemlerin oksijen bariyer özellikleri incelenmiştir. PLA açısından zengin sistem PP açısından zengin sistemle kıyaslandığında PP'nin yoğun olduğu sistemin oksijeni daha fazla engellediği ortaya çıkmıştır. Morfolojik çalışmalarda PP olarak zegin sistemin daha yüksek kristallik derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumun bariyer özelliklerine etki ettiği ortaya çımıştır. Varolan sistemlerde PLA olarak zengin sistemin yetersizliği ve uyumluluk sorunlarına mikro boşlukların, kristallik derecesine ve kristal kusurlarına bağlı olabileceği belirtilmiştir [74].

Enjeksiyon yöntemiyle üretim için poli (laktik asit) ve polipropilen polimer karşımları hazırlanmış ve bunların morfolojik, mekaniksel özellikleri incelenmiştir. PLA ve PP'nin faz ayrımı nedeniyle, bir uyumlulaştırıcı olarak polipropilen graft-maleik anhidrit (PP-g-MAH) kullanılımıştır. Polimer karışımları ağırlıkça% 1, 3 ve 5 PP-g-MAH ilave edilmiş (%80/%20) ve (%20/%80) PLA ve PP oranlarından oluşmaktadır. PP-g-MAH ilavesinin, polimer bileşenlerinin kristal erime sıcaklığı üzerinde hiçbir etkisini olmadığı gibi mekanik özelliklerede herhangi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Polimer karışımlarının morfolojik olarak incelenmesinde, PP-g-MAH yardımıyla PLA ve PP'nin yapışmasının gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Fakat daha fazla miktarda kullanılan PP-g-MAH, yüksek polaritesiyle PLA ile uyumluluğu azaltmıştır. Gerilme mukavemeti artan PLA ile artmıştır [75].

2.7. Uyumlulaştırıcı Etkisi

Kimyasal veya fiziksel olarak karışamayan sistemlerin karışabilir hale getirmek için uyumlulaştırıcı denilen maddeler kullanılır. Temel olarak uyumlulaştırıcı, karışımı oluşturan bileşenlerin morfolojisini değiştirmek veya fazlar arası modifikasyonu iyileştirme yöntemidir. Polimer kompozitlerin üretiminde takviye elemanıyla matris arasındaki uyumsuzluğu gidermek için ve ara yüzeyde uyumluluk oranını arttıcak maddelerin kullanılması gerekmektedir. Özellikle poliolefinler gibi apolar yapılı ve ana zincir üzerinde herhangi bir reaktif grup içermeyen polimerlerin kompozitlerin oluşturulmasında ana matrisin yapısına benzer ve uyumlulaştırıcı diyebileceğimiz bu polar/reaktif polimer yada bileşiklerin kullanılması gerekmektedir. Uyumlulaştırcıların polimer modifikasyonu büyük önem taşımaktadır [76]. Uyumlulaştırıcılar ara yüzey

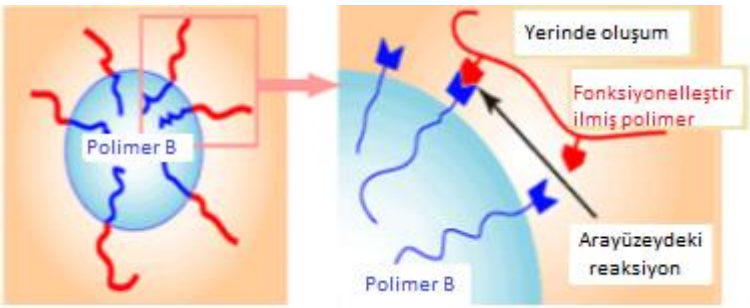
etkileşimini arttırarak polimer içerisindeki düzensizlikleri gidermektedir. Bundan dolayı uyumlulaştırıcı kullanımı farklı yapıdaki polimerler için büyük önem taşımaktadır.

2.7.1. Uyumlulaştırma Yöntemleri

Uyumlulaştırma yöntemlerini temel olarak reaktif uyumlulaştırma, kopolimer ile uyumlulaştırma ve transesterifikasyon ile uyumlulaştırma olarak üç başlıkta inceleyebiliriz.

2.7.1.1. Reaktif Yöntem

Fonksiyonel olarak hidroksil, karboksilik asit, anhidrit, amin, epoksi içeren polimerler reaktif yöntem ile uyumlu hale getirilmektedir. Bunlar kondenzasyon kimyası yardımı ile eriyik karıştırma esnasında polimer zincirlerinin ester, amid, imid yapılarına dâhil olmasıyla blok ya da graft kopolimerler meydana gelmektedir. Örnek olarak maleik anhidrit modifiye edilmiş kauçuk verilebilir. Bu reaksiyonun temeli, farklı polimerlerin fonksiyonel grupları arasında gerçekleşen reaksiyonlar sayesinde arayüzeyde oluşturulan yerinde aşılanmış veya blok kopolimerlere dayanmaktadır [77].



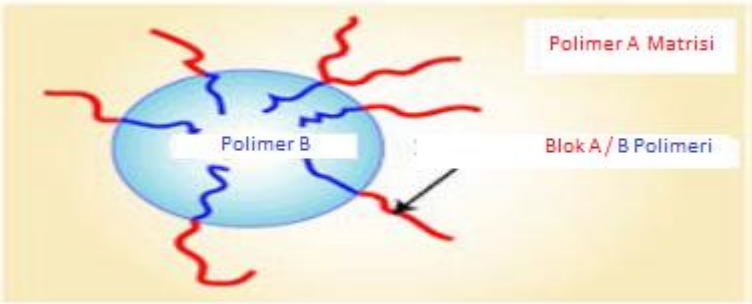
Şekil 2.9. Reaktif kopolimerler ile uyumlulaştırma [77].

Reaktif uyumlulaştırma tekniğinde reaktif kopolimerin dışında zincir uzatıcılarıda kullanılmaktadır. Böylece polimer zincirlerinin sonlarına reaksiyon için uygun fakat polimer olmayan moleküller kullanılabilir. Bu şekilde uzatma tekniği kopolimer ilavesi şeklinde uzatmaya göre daha ekonomiktir. Bu maddeler eriyik olarak karışım sırasında ilave edilmektedir ve sonrasında herhangi bir temizlik işlemine ihtiyaç duyulmaz [78].

2.7.1.2. Kopolimer İlavesi İle Uyumlulaştırma

Kopolimer ilavesi ve reaktif uyumlulaştırma yönteminde polimer karışımlarının arayüzeylerinde blok ya da graft kopolimer bulundurulması hedeflenmektedir. Bunun

sonucu olarak ara yüzey gerilimi düşmekte ve eriyik halde iken fazların kümeleşmesini geciktirmektedir. Fazlar arası yapışmayı geliştirmekle beraber kümeleşme boyutunu küçülterek faz dağılımını azaltmaktadır. Kümelenmenin geciktirilmesiyle kararlı bir morfolojik yapı oluşması sağlanır. [71,77,79].



Şekil 2.10. Blok kopolimerler ile uyumlulaştırma [77].

Kopolimerin yapısında bulunan graft ve blok segmentleri polimerin karışabilir veya kısmen karışabilir olmasını etkilemektedir [72]. Uyumlulaştırıcı olarak kullanılan madde yüzey aktif madde olarak davranır. Görevi yüzey gerilimini düşürmektir. Bu madde ara yüzeye yerleşir ve sonuç olarak daha iyi bir yapışma oluşmasını sağlar. Kullanılan uyumlulaştırıcı miktarı bazen %5 ten daha fazla olabilir. Farklı polimerlerin farklı uyumlulaştırıcıya ihtiyaç duyması bu uyumlulaştırıcıların teğmin edilmesi gibi bazı dezavantajlar ortaya çıkarmaktadır [77].

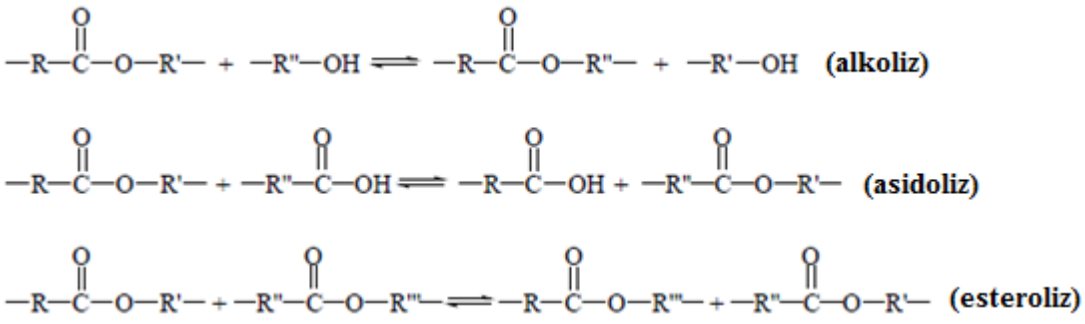
Oysaki %0.5-2 aralığında bir diblok ilavesi ile istenilen ara yüzey sağlanabilir [80]. Genel olarak dibloklar ajan olarak kullanılsada triblok ve graft olarak kopolimerler daha fazla kullanılabilirlik gösterir [72].

2.7.1.3. Transesterifikasyon İle Uyumlulaştırma

Transesterifikasyon, bazik ya da asidik bir katalizör ile birlikte (NaOH, KOH vb.)alkol, karboksil veya ester grupları ile esterleşmesidir [81].

Transesterifikasyon mekanizması üç kategoride incelenebilir [82].

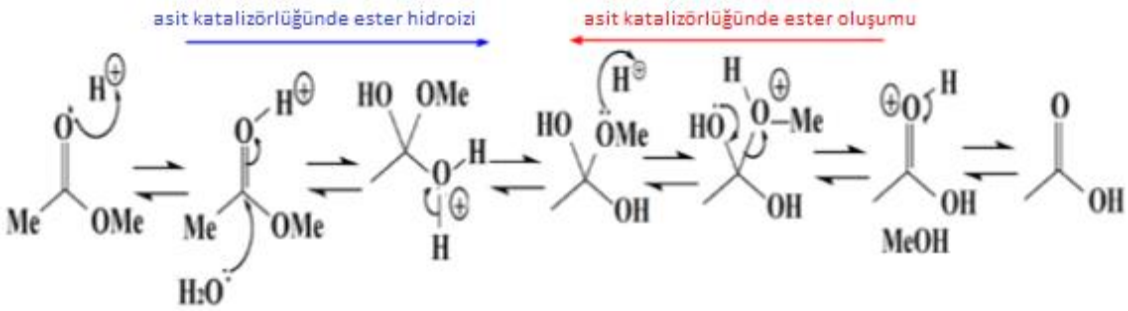
- alkoliz (ester ve hidroksil grupları arasındaki trans-reaksiyon)
- asidoliz (ester ve karboksil grupları arasındaki trans-reaksiyon)
- esteroliz (iki ester grubu arasındaki trans-reaksiyon)



Şekil 2.11. Transesterifikasyon reaksiyon mekanizması [82].

Transesterifikasyon 200-300 ˚C aralığında meydana gelir. Bu aralıkta transesterifikasyon çok yavaş bir şekilde gerçekleşir. Sıcaklığın yükselmesi ester prolizini ve diğer reaksiyonları hızlandırır. Transesterifikasyon genellikle kopolimerler oluşumu için kullanılır [83,84,85].

Asit ile katalize edilmiş ester üretimi ve işlemi zıttır. Reaksiyonu yönlendirmenin tek yolu reaktanların konsantrasyonlarının değiştirilmesidir. Ortamda çokça su bulunması ester hidrolizini hızlandırırken, fazla miktarda ester bulunması yada suyun sistemden uzaklaştırılması tersinir olarak reaksiyonun hızlanmasını sağlar [86].



Şekil 2.12. Asit ile katalizlenmiş ester üretimi ve hidroliz reaksiyonları [87].

2.8. Kompozit Malzemeler

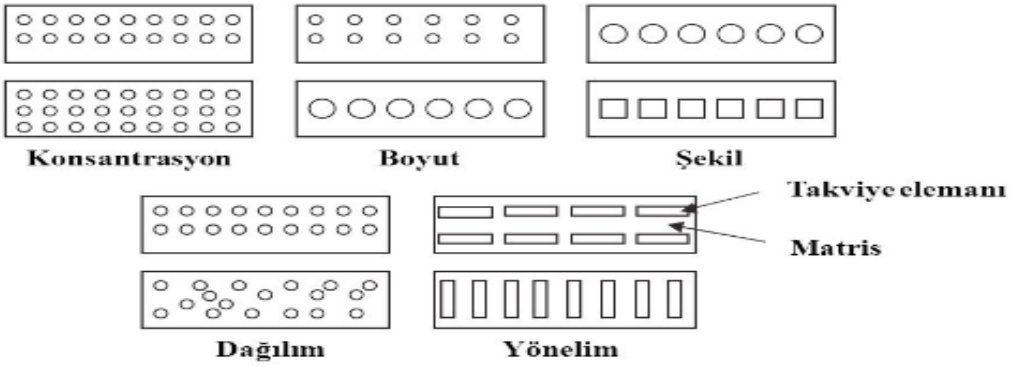
Kompozit iki veya daha fazla bileşeni olan, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı bu malzemelerin, bir biri içinde çözünmeyecek şekilde bir araya gelmesiyle kompozit malzemeler oluşur. Temal hedef kompoziti oluşturan bileşenlerin üstün özelliklerini bir araya toplamaktır.

Modern kompozitler 1903'lerin sonlarında kullanılmaya başlanmasına rağmen, takviyeli reçinelerin icadından sonra, 1970'lerde karbon, bor ve aramid elyaflar

popülerleşti metal ve seramik matrisli yeni kompozit sistemleri gelişmeye başladı. Kompozit malzemeler, geliştirilmiş mukavemet, sertlik, yorulma ve darbe direnci, ısıl iletkenlik, korozyon direnci gibi birçok avantaj sunmaktadır [88]. Son yıllarda, yeni ve geliştirilmiş kompozit üretim süreçlerinin geliştirilmesi ile sınırsız düşük maliyetli ürünler otomotiv, deniz, askeriye, havacılık gibi pek çok endüstride kullanılmak üzere geliştirildi ve bununla birlikte karma kompozit malzemelerinde beraberinde gelişmesini sağladı. Metalik, seramik veya polimerik olabilen yeni tasarlanmış malzemenin mekanik özellikleri, "takviye" fazı, matrisin mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Takviye maddesinin etkinliğini belirlerken takviye fazının şekli ve boyutu önemli bir parametredir. Ayrıca, kompozitlerin mekanik özellikleri takviye malzemesinin geometrisinin bir fonksiyonudur [89,90].

Kompozitler iki şekilde ayrılmaktadır. Matris ve takviye elamanı olarak ana matrise takviye olarak tanecik, lifler ve partiküller kullanılabilir [88].Parçacık takviyeli kompozitlerin, parçacıkları kürecik, trombosit, kübik veya herhangi bir düzenli veya düzensiz geometriye sahip olabilir bu parçaçıklar matriste batırılır ve yük çoğunlukla matris fazıyla taşınır [88,89]. Lif takviyeli tipte, yük çoğunlukla yüksek bir en-boy oranına, yani yüksek partikül uzunluğuna kesitsel orana sahip olan fiber faz tarafından taşınmaktadır [89]. Faz sınırlarında matris ve takviyenin etkileşimi, arayüz veya ara faz olarak adlandırılır, matris ve takviye özelliklerinin yanı sıra kompozitin davranışını etkileyen parametrelerden biridir. Sıklıkla ayrı bir faz olarak kabul edilen ve iki bileşeni birbirine bağlayan bu kalın ara yüzey boyunca yoğunluk, konsantrasyon, elastik modül vb. gibi malzeme parametreleri değişebilir. Yük, arabirim vasıtasıyla bir bileşenden diğerine etkin bir şekilde iletilirse, bileşimin performansı iyileştirilecektir. Optimum arayüz etkileşimi ile etkili yük iletimi mümkündür. Islanabilirlik, yapışma ve yüzey pürüzlülüğü, arayüzey etkileşimini etkileyen parametrelerdir. Bu parametreler iyi kontrol edildiğinde kompozit malzemenin performansı daha iyi ortaya çıkmaktadır [90]. Bir kompozit malzemenin özellikleri; bileşenleri, geometrisi ve fazların dağılımına bağlıdır. En önemli parametrelerden biri, takviyenin hacim (veya ağırlık) fraksiyonu veya lif hacim oranıdır. Takviye dağılımı malzeme sisteminin homojenliğini veya tekdüzeliğini belirler [91]. Düşük performanslı kompozitlerde,takviyeler, genellikle kısa veya doğranmış elyaf (veya parçacıklar) şeklindedir bazı sağlamlaştırmalar sağlayabilir ancak çok az güçlendirme sağlamaktadır. Yük esas olarak matris tarafından taşınır.

Yüksek performanslı kompozitlerde, kesintisiz elyaflar arzu edilen sağlamlık ve mukavemet sağlarken matris, elyaflar için koruma ve destek sağlar ve en önemlisi, yükün bozulmamış elyaflara yeniden dağıtılmasına yardımcı olur [92].



Şekil 2.13. Kompozitlerde martis ve takviye elemenı arasındaki ilişki [93].

2.8.1. Matrislerine Göre Kompozit Malzemeler

Matris tiplerine göre kompozitler; metal matrisli kompozitler (MMK), seramik matrisli kompozitler (SMK), karbon-karbon matrisli kompozitler (KKK) ve polimer matrisli kompozitler (PMK) olmak üzere ayrılmaktadır. Metal matrisli kompozitler, takviye ile matris malzemelerinden daha yüksek servis sıcaklıklarında kullanılabilir. Takviye, belirli sertlik ve mukavemet, aşınma direnci, sürünme direnci, boyutsal stabiliteve termal iletkenliği geliştirir. Metal matrisli kompozitlerin, yüksek çalışma sıcaklıkları ve yanmazlık gibi diğer kompozitlere göre bazı avantajları olmasına rağmen, yüksek maliyetleri kullanımlarını kısıtlamaktadır [94]. Seramik malzemeler, yüksek mukavemet ve sertlikten dolayı yüksek sıcaklık uygulamalarında yaygın olarak kullanıldığından, seramik matrisli kompozitler yüksek sıcaklık ve şiddetli gerilmeler için de uygundur. Hasar zorlamasını artırmak için lifler seramik matrisli kompozitlerle birleştirilir [88]. Hem takviye hem de matris karbon olduğunda, bu kompozitler karbon-karbon kompozitleri olarak adlandırılır. Bu tür kompozitlerde, karbon elyaf takviyesi bir karbon matrisi içine gömülüdür. Yüksek gerilme modülü, yüksek gerilme mukavemeti ve 3315ºC'ye kadar çok yüksek sıcaklıklarda düşük sürünme özelliklerine sahiptirler karbon yapılı grafitten 20 kat daha güçlü ve% 30 daha hafiftirler. Ancak, bu kompozitlerin oksidasyona duyarlı olması ve yüksek maliyeti büyük dezavantajlarıdır [88]. Polimerik malzemeler, düşük sıcaklık ve basınçlarda kolayca işlenebildiği için en çok kullanılan matris malzemesidir. Bununla birlikte, mekanik özelliklerinin endüstriyel

uygulamalar için geliştirilmesi gerekmektedir [89]. Matris malzemesi, sıcaklığa tepkilerine göre termoplastik, termoset veya kauçuk olabilir [95].

2.8.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, matris olarak bir termoset veya termoplastik bir polimerin kullanıldığı takviyeli polimerlerdir. Termoplastikler, ikincil (Van der Waalls) bağlarla ve mekanik dolaşmalarla bir arada tutulan uzun hidrokarbon moleküllerinden oluşur. İkincil bağlar, birincil kovalent bağlardan çok daha zayıftır ve dolayısıyla bir termoplastik, sıcaklığını arttırarak kolayca eritilebilir. Büyük sıcaklık artışları, polimerlerin mekanik dolaşımını da serbest bırakır, böylece hareketliliğini arttırır. Termoplastikler, yumuşamanın meydana geldiği yüksek bir sıcaklığa ısıtılarak tekrar tekrar oluşturulabilir.

Termoset polimerleri ayrıca molekül içindeki atomları bir arada tutan birincil bağlarla uzun hidrokarbon moleküllerinden oluşur. Bununla birlikte, polimer molekülleri de termoplastiklerde bulunan sekonder bağlar yerine kovalent bağlar ile birlikte çapraz bağlanır. Bu, devasa üç boyutlu katı yapılara neden olur. Termoplastiklere göre daha az hareket kabiliyeti vardır. Bundan dolayı daha sert yapıdadır [96]. Takviye olarak cam elyafları, aramid elyafları ve karbon elyafları genellikle termoset ve termoplastik kompozitler için kullanılır [97,98]. Termosetler, kompozit imalatında en sık kullanılan matris malzemeleridir. Matris ve takviye elemanları birleştirildikten sonra kompozitin katı hal alması için ısı veya katalizör kullanılır böylelikle kompozit sisteminin oluşması gerçekleştirilir. Oluşum sırasında akıcı olarak sistemde bulunan termoplastik sertleşmeye başlar. Polimerizasyon ile birbirine kovalent bağlarla bağlanan moleküller sağlam bir yapıdadır. Termoset yapılı olduklarından dolayı sıcaklıkla tekrar eritilemezler ve şekillendirilemezler bu tür yapılar iyi derecede termal, elektriksel ve kimyasal dirence sahiptirler [99]. Termoplastikler, düz veya dallı zincirli yapılardır. Yapısı termosetlere göre daha zayıf olup, ikinci dereceden Van der Walls kuvvetleriyle bağlıdır. Yan zayıf kuvvetlerin etkisiyle ısı karşısında yumuşamaktadır. Bu ısınma işlemi sayesinde tekrar şekil kazandırılma avantajı vardır[100].

Termoplastik matrisler, termoset matrislere göre kıyaslandığında ortaya şu şekilde avantajlar çıkmaktadır;

•Termoplastik matrisin bekleme süresi oldukça fazladır.

•Şekillendirilmeleri basittir. Termosetlerde bu çok daha uzun sürer.

•Termoplastik kompozitlerin daha yüksek kırılma tokluğu ve sünekliliği vardır.

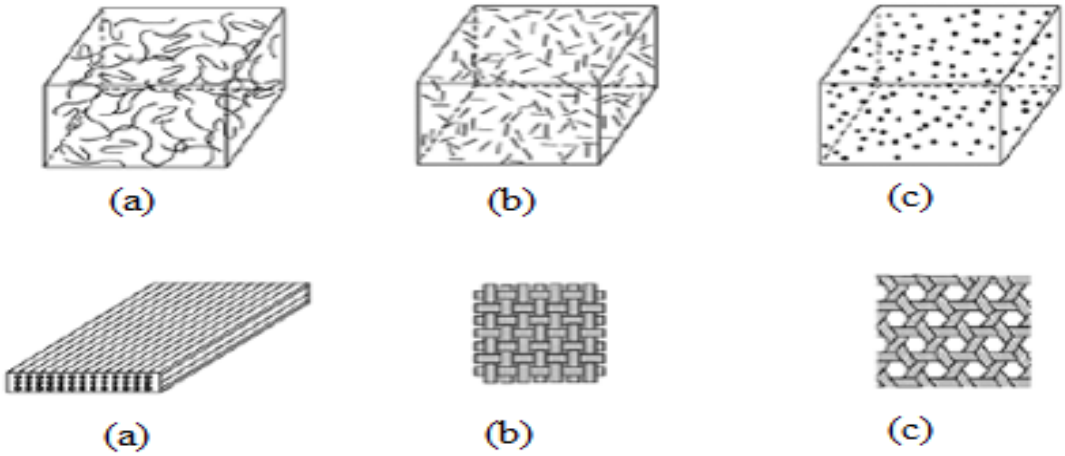
•Termoplastik yapılı malzemeler tekrar ısıtılıp şekillendirme kabiliyetine sahiptir.

•Kompozitin hasarlı bölgesi ısıtılarak onarılabilir [101].

Polimer matrisli kompozitlerin öne çıkan özellikleri yüksek mukavemeti, hafiflik ve düşük elastiklik modülüdür. Bu özelliklerin gelişmiş olması diğer kompozit türlerine göre polimer matrisli kompozitleri daha ön plana çıkarmaktadır. Bu avantajlar sayesinde uzay, havacılık, otomotiv gibi birçok endüstride kullanılmaktadır. Polimerlerin ucuz olması ve düşük sıcaklıklarda kolaylıkla şekillenebilir olması yoğun olarak tercih edilmesine sebep olmaktadır.

2.8.2. Takviyelerine Göre Kompozit Malzemeler

Bir kompozit malzemede, takviye elyaf biçimindeyse bir elyaf kompozittir. Kullanılan elyaflar kesintisiz ya da kesintili, doğranmış elyaflar, kısa elyaflar gibi olup elyafların düzenlenmesi ve yönelimleri, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [102]. Kompozit malzeme, takviye parçacıklardan yapıldığında bir parçacık bileşimidir. Liflerden farklı olarak bir parçacık ayrıcalıklı yönlere sahip değildir. Parçacıklar, genellikle, malzemelerin veya matrislerin belirli özelliklerini geliştirmek için kullanılır, sertlik, sıcaklık ile davranış, aşınmaya direnci gibi birçok faktöre bağlıdır. Çoğu durumda partiküller maliyeti düşürmek için dolgu maddesi olarak kullanılırlar [103]. Tabakalı yapı en eski kompozit türlerinden biridir farklı yönlenmelere sahip elyafların üst üste getirilerek oluşturdukları bu tabakalı yapı hafif ve oldukça dayanaklıdır. Dayanım hafiflik oranının yüksek olması nedeniyle Birçok teknolojik uygulamada kullanılmaktadır. Kompozitlerin farklı takviye ve matris malzemelerine sahip olmaları havacılık, savunma, otomotiv, inşaat gibi birçok farklı sektör tarafından tercih edilmektedir.

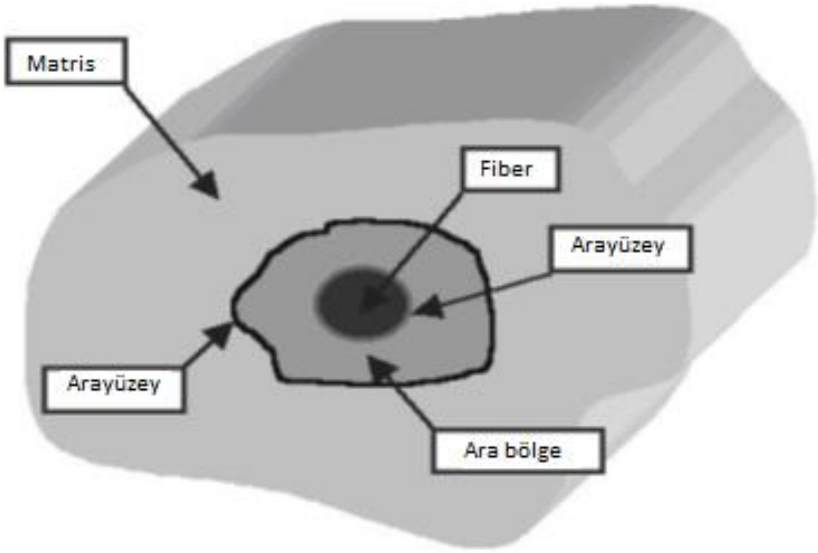


Şekil 2.14 . Kompozit sistemleri; (a) uzun/devamlı fiberli, (b) kısa fiberli, (c) partikül takviyeli, (d) tek yönlü lamina, (e) iki yönlü dokuma kumaş, (f) üç yönlü dokuma kumaş [104].

2.8.2.1. Fiber Takviyeli Kompozitler

Fiber takviyesi kompozit yapı içerisinde dolgu olarak matris ise bu fiberleri bir arada tutan bağlayıcı olarak görev yapar. Bu takviye matris birleşimi kompozit malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkileyen ara bölgeden meydana gelir. Kompozitin özelliklerinin iyileştirilmesi bu ara bölgedeki tutunmanın iyi olması ile orantılıdır. Elde edilen iyi bir ara yüzey sonucu istenilen özelliklerde kompozit elde edilmektedir. Bu ara yüzeyin iyileştirilmesi mekanik etkileşim, ıslanma, elektrostatik çekim, kimyasal bağlar gibi birçok mekanizmaya bağlıdır. Bunların yanı sıra çekim kuvvetlerinde (hidrojen bağı, Van der Waalls bağı) ara yüzey etkileşimlerinde büyük önem taşımaktadır [105]. Matris ile ara yüzeyin etkileşimi kimyasal, morfolojik, fiziksel ve termodinamik olarak uyumu fiber/matris sistemli kompozitlerinperformanslarında önemli derecede etki göstermektedir.Fiber takviyeli kompozitler, yüksek mukavemet, ağırlık oranı, yüksek modül ağırlık oranı, yüksek yorulma mukavemeti ağırlık oranı, yüksek yorulma hasar toleransı, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek iç sönümleme özellikleri sunar [107].Takviye elemanı olarak kullanılan fiberin kalınlığı dikkat edilmesi gereken bir durumdur. İnce olan fiberler ile takviye edilen polimerlerin kalınlara göre daha dayanaklıdır. Bunun sebebi olarak ıslattığı alanın büklüğü sayesinde değme yüzeyleri büyüktür. Matris içerindeki elyafların doğrultusu önemlidir çünkü kompozitin mukavemetini etkiler. Paralel olarak yerleştirilen lifler birbirine dik olarak yerleştirilen liflere göre lif yönünde daha fazla dayanım göstermektedir. Kısa liflerin matris içerisine dağılması ile kısa liflerle izotropik yapı oluşturulur. Aynı zamanda liflerin matris

içerisine belirli geometrilerle yerleştirilmesi ile farklı yönler için farklı sonuçlar vermesi sağlanır. Bu şekilde anizotropik olarak yerleştirilen kompozitlerde meydana gelir. Kompozitlerdeki liflerin yerleşim doğrultusu ısıl genleşme ısıl iletkenlik gibi özellikleri de etkilemektedir [108]. Fiber olarak genellikle cam, aramid, karbon, bor gibi fiberler kullanılmaktadır.



Şekil 2.15. Kompozit malzemenin mikro yapısı [106].

2.8.2.2. Karbon Fiberler

Karbon fiberler elektrik iletimleri iyi olduğu için üretilmişlerdir. Ayrıca karbon fiberin polimer matrisle birleşmesi sonucu ortaya çıkan üstün özellikleri ve sertliği büyük bir avantaj sağlamaktadır. Karbon fiberlerin dezavantajlarından biri pahalı olmasıdır. Bu yüzden karbon fiberler yüksek teknoloji uygulamaları için tercih edilmiştir [109]. Grafit karbonun kristalografik düzlemlere paralel olarak yerleştiği hegzagonal yapıdadır. Komşu düzlemdeki karbon atomları arasında zayıf bağ bulunması elektrik ve termal iletkenliği sağlamaktadır. Aynı düzlemde olan atomlar arası bağların kuvvetli olması ise dayanım ve mukavemet sağlamaktadır [110].

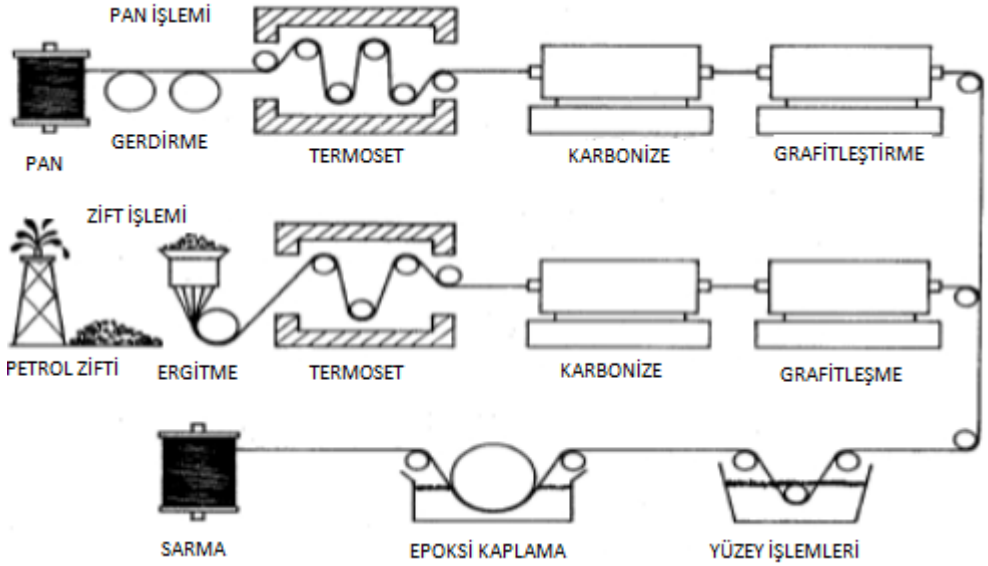
Karbon fiberler kullanımına göre sürekli lif ve kırpılmış lif şeklinde olabilmektedir. Sürekli lifler dokuma, örgü gibi işlemler için kullanılır ve reçineler bu liflere emdirilir. Birçok reçine bunun için kullanılabilir. Diğer bir şekilde olan kırpılmış lifler genellikle enjeksiyon kalıplama yönteminde kullanılır. Elde edilen ürünlerdeki korozyon direnci, yorulma dayanımı gibi üstün özellikleri tercih edilmelerini yoğunlaştırmıştır [111].

Karbon lifleri ile yapılan bazı çalışmalarda, 1020 çeliklerinden 5 kat daha sağlam ve hafifliği beşte biri oranındadır. Karbon lifinin dikkat çeken diğer bir özelliği yorulma davranışının metallerden daha üstün olmasıdır. Elektrik iletkenliği bakırdan 3 kat daha iyi olan katran temelli karbon fiberler bulunmaktadır.[112].

Tablo 2.5. Karbon fiberlerin özellikleri ve diğer fiberlerin karşılaştırılması.

Özellik	Bor/ Epoksi	Bor/ Poliamid	S-Camı/ Epoksi	Grafit/ Epoksi	Aramid/ Epoksi
Takviye içeriği (% h)	50	49	72	70	54
Yoğunluk (g/cm³)	2,02	1,99	2,13	1,61	1,36
Çekme Dayanımı (MPa)					
Boyuna	1370	1040	1290	1500	1190
Enine	56	11	46	40	11
Elastiklik Modülü (GPa)					
Boyuna	201	221	61	145	84
Enine	22	14	25	10	4,8
Basma Dayanımı (MPa)					
Boyuna	1600	1090	850	1700	290
Enine	123	63	162	246	65
Tabakalar arası Kesme Gerilmesi (MPa)	63	26	45	68	28
Termal Genleşme Katsayısı (10^{-6} / °C)					
Boyuna	6,1	4,9	3,8	0,02	-2,88
Enine	30,4	28,4	16,7	22,5	56,3

Karbon fiberlerin üretim süreçlerinden bahsetmek gerekirse PAN ve zift(katran) bazlı üretimi olmak üzere ele alınabilir. Fiberlerin dayanımı üretim tekniklerine bağlı olarak değişmektedir. Katran temelli üretimde fiberlerin mukavemeti daha düşüktür. Bu yüzden uygulamalarda çok tercih edilmemektedir. PAN esaslı fiberler ise daha sağlam, daha hafif olması için araştırılmaktadır. Başlangıç aşamasında gerdirilen fiberler 400°C'nin üzerine ısıtılır. Daha sonra organik malzemelerin oksidasyonu gerçekleşir. Oksidasyonu gerçekleşen malzeme 800°C' de vakum ile karbonizasyona maruz bırakılır bunun sonucu olarak karbon dışındaki maddelerden temizlenir. Bu işlemden sonra fiberler boyutlarının %50 veya %100 oranında gerdirilerek 1100 °C-3000°C aralığında ısıtılır ve grafitleşmesi sağlanır. En son aşama olarak dayanımının artması için fiberlere epoksi reçine ile kaplanır [110].



Şekil 2.16. PAN ve zift proseslerinin şematik gösterimi [113].

Karbon esaslı dolgu maddeleri, polimerin mekanik ve elektriksel özelliklerini geliştirir. Genel karbon yapılı takviyeler, grafen, fulleren, tek veya çok duvarlı karbon nanotüpleri, grafit, karbon karası ve karbon nanofiberler gibi takviye elemanları ile yapılmaktadır [114]. Karbonun sağladığı dayanım, elektrik iletkenliği, ısı direnci, korozyon direnci gibi özellikleri polimer reçine ile birleşince kompozit malzemeler için tercih edilen hafiflik, sağlamlık gibi her sektörde aranılan özelliklerde malzemelerin üretilmesine ortamh azırlamaktadır. Karbon takviyeli polimerler ile birçok çalışmalar yapılmaktadır. Alev geciktirme, elektrik iletkenlik özellikleri, aşınma direnci gibi akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte sağlık, havacılık, otomotiv gibi birçok sektörün üstün performanslı malzemelere duyduğu ihtiyaç gün geçtikçe daha da artmaktadır.

2.8.3 Kompozit Malzeme Kullanımı

Ülkelerdeki kompozit üretimi o ülkenin ekonomisinin gelişme oranıyla orantılı olarak yükselmektedir. Kompozitler yüksek teknoloji ürünü olmalarından dolayı ileri üretim teknikleri gerekmektedirler. Kompozit malzemedeki hafiflik, mukavemet, korozyon dayanımı geleneksel olarak kullanılan (metal, plastik) malzemelerin yerini almasını sağlamaktadır. Son yıllarda ulaşım, inşaat, otomotiv sektöründe hızlı bir artış gözlenmektedir hafiflik enerji ve zamandan kazanım sağlamaktadır. Kompozit

malzemeler dayanım/hafiflik oranlarının üstün olmasından dolayı tercih edilmekte ve geliştirilmektedir [115].

Tablo 2.6. Dünya'da kompozit üretimi ve değer olarak sektörel dağılımı [116].

Kompozitin Yoğun olarak kullanıldığı Sektörler	Oranlar(%)
Uzay ve Havacılık	% 23
Taşımacılık ve Otomotiv	% 22
Yapı ve İnşaat	% 14
Rüzgâr Enerjisi	% 12
Elektrik ve Elektronik	% 12
Tüketici Malları	% 9
Denizcilik	% 5
Boru ve Tank	% 2

BÖLÜM 3

DENYESEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

3.1.Malzemeler ve Yöntemler

3.1.1. Malzemeler

Polipropilen (PP) Petoplen® MH 418 peletlerin yoğunluğu 0.905 g / cm^3 (ASTM D1505) ve erime akış hızı (MFR) 4,5 g / 10 dk (230 ° C / 2.16 kg, ASTM D1238), erime noktası (DSC) 163 °C (ASTM D3417) ve (ASTM D638) kopma gerilme mukavemeti 42 MPa'dır. Petkim A.Ş.'den (İzmir, Türkiye) temin edilmiştir. 1.24 g / cm^3 (ASTM D792) yoğunluğa sahip Polilaktik asit (PLA) Ingeo ™ 6202D, 15-30 g / 10 dak erime indeksli (210 ° C / 2.16 kg, ASTM D1238) ve 55-60 °C camsı geçiş sıcaklığına (ASTM D3417) sahiptir. Nature Works LLC'den (ABD) temin edilmiştir. CF, AC0101 ticari markası ile Dowaksa'dan (Yalova, Türkiye) satın alınmıştır. Karbon fiberler, 6 mm boyutunda doğranmış formdadır ve ağırlıkça % 1.5-3 poliüretan esaslı reçine ile kaplanmıştır. Çekme mukavemeti, çekme modülü ve CF yoğunluğu sırasıyla 4200 MPa, 240 GPa ve 1.76 g / cm^3'tür. 0.926 g / cm^3 yoğunluğa sahip olan etilen bütil-akrilat kopolimeri, %27'lik bütil-akrilat muhtevası ve 4 g / 10 dak'lık (190 °C / 2.16 kg, ASTM D1238) eriyik akış indeksine sahiptir ve uyumlulaştırıcı ajan olarak kullanılmıştır. Bundan sonra Elvaloy AC olarak tanımlanan Elvaloy® 3427AC ticari adıyla DuPont Company'den (ABD) temin edilmiştir.

3.1.2. PP / PLA / CF / Elvaloy AC Kompozitlerin Sentezi

PP / PLA / CF / Elvaloy AC kompozitleri çift vidalı (birlikte dönen) ekstruder (Gülnar, Türkiye) kullanılarak, D=16 mm vida çapı ve vida uzunluğu / çap (L / D) oranı 40 olan sistemde ergiyik harmanlama yöntemi ile üretilmiştir. PP/PLA ağırlık oranları %75/25 ve %25/75 olan iki bileşim hazırlanmıştır. Tablo 3.1 ile görüldüğü üzere karışım

içerisindeki CF oranı (5 ve 30 phr) arasında değişmektedir. Uyumlulaştırıcı (Elvaloy AC) her 100 g PP / PLA bileşimi için 5 phr olarak kullanılmıştır. PP, PLA, CF ve uyumlulaştırıcı maddeleri karıştırmadan önce 80 °C'de 24 saat kurutularak nemi uzaklaştırılmıştır. Ekstruder cihazında bulunan altı sıcaklık bölgesinin (besleme ısıtma bölgeleri arası) sıcaklıkları sırası ile 50, 180, 185, 190, 200, 210 °C olarak ayarlanmıştır. Eriyik olarak ekstruderden çubuk formunda çıkan karışım oda sıcaklığında bir su banyosundan geçirilerek soğutulmuş ve sertleşmesi sağlanmıştır. Boyutlarının küçültülmesi için bir peletleyici kullanılarak kırpılmış ve granül haline dönüştürülmüştür. Kalıplanmadan önce 80 °C'de bir gece boyunca kurutulmuş ve karışım içerisindeki peletlerin homojen dağılması için karıştırılmıştır. Çekme, eğme, dinamik mekanik analiz ve aşınma testleri için numuneler, 12 ml mikroenjeksiyon kalıplama cihazı (Xplore IM 12, Hollanda) kullanılarak enjeksiyon kalıplama ile üretilmiştir. Kovan ve kalıp sıcaklığı sırası ile 210 °C ve 25 °C, ve enjeksiyon basıncı ise 7 bar olarak ayarlanmıştır. Ayrıca saf PP ve PLA da kontrol numuneleri olarak enjeksiyonda basılarak kalıplanmıştır.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan karışımların ve kompozitlerin bileşimleri.

Bileşenler	Bileşim Oranları
Uyumlulaştırılmamış karışımlar	
Pure PP	100/0
PP/PLA	25/75
PP/PLA	50/50
PP/PLA	75/25
Pure PLA	100/0
Uyumlulaştırılmış karışımlar	
PP/PLA/Elvaloy AC	25/75/5
PP/PLA/Elvaloy AC	50/50/5
PP/PLA/Elvaloy AC	75/25/5
Polipropilence zengin karışımlar	
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/5/5
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/10/5
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/20/5
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/30/5
Polilaktik asitce zengin karışımlar	
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/5/5
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/10/5
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/20/5
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/30/5

3.1.3. Yapısal Karekterizasyon

Kompozitlerin ve karışımların kristal yapısı, X-ışını kırınımı (XRD) ile CuKa radyasyonu kullanılarak bir X-ışını difraktometresi (Bruker AXS-D8 Advanced, Almanya) ile incelenmiştir. Numuneler 0.02º'lik bir adımda ve kırılma açısı 2θ = 5–35º olacak şekilde 1 saniyelik aralıklarla taranmış ve kompozit yapının içindeki β-kristalinin nispi miktarının hesaplanması için, aşağıdaki Turner-Jones formülü [117] kullanılmıştır:

$$K_{\beta}(\%) = \frac{H_{\beta(300)}}{H_{\alpha(110)}+H_{\alpha(040)}+H_{\alpha(130)}+H_{\beta(300)}} x100 \quad (3.1)$$

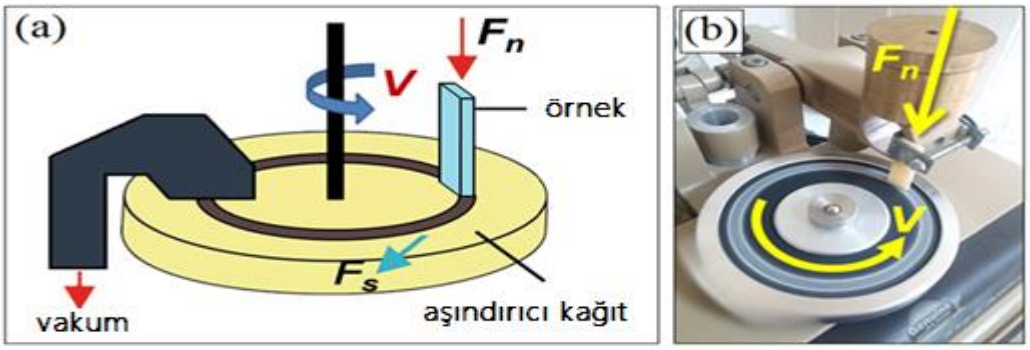
K_{β}, β-kristal yüzdesidir, $H_{\alpha(110)}$, $H_{\alpha(040)}$ve $H_{\alpha(130)}$ sırası ile (110), (040) ve (130) düzlemlerine karşılık gelen üç güçlü α-formu pikinin şiddetidir. $H_{\beta(300)}$ ise (300) düzlemine karşılık gelen β-kristalin pikinin şiddetidir.

3.1.4. Mekanik Karakterizasyon

Kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme, eğme (üç nokta eğme) ve dinamik mekanik analiz (DMA) testleri yapılmıştır. ASTM D638 ve ASTM D790 standartlarına uygun olarak yapılan çekme ve eğme testlerinde ortam sıcaklığı 22 ± 2 °C ve yük hücresi 50 kN olan Shimadzu AG-XD (Shimadzu Corporation, Japonya) test makinası kullanılmıştır. Çekme testleri, köpek kemiği (dog-bone) (tip-V) şeklinde olup örnekler 5 mm / dk'lık bir hızda çekilmiştir. Eğme testleri ise 12.7 x 125 x 3.2 mm^3 boyutundaki numuneler üzerinde, 80 mm açıklık ve 5 mm / dk'lık bir hızla gerçekleştirilmiştir. Her bir test için ortalama bir değer elde etmek için üç örnek kullanılmış ve standart sapmalar bulunmuştur. DMA deneyleri, tek mesnetli eğme modunda (1 Hz frekans), PerkinElmer DMA 8000 (PerkinElmer, Inc. ABD) cihazı ile gerçekleştirilmiş ve testlerde 4 x 29 x 3.2 mm^3 boyutundaki numuneler kullanılmıştır. Sıcaklık modu, 10 °C / dak'lık bir ısıtma hızında -52 ila 180°C arasında değiştirilerek kullanılmıştır. Ek olarak, kompozitlerin sertlik değerleri ve numunelerin sertlik ile aşınma özellikleri arasındaki ilişkiyi görmek için ASTM D2240 standartına uygun bir Shore D sertlik test cihazı (Bareiss HPE II, Almanya) ile sertlikleri ölçülmüş ve her örnek üzerinden altı sertlik ölçümü alınarak ortalamaları bulunmuştur.

3.1.5. Sürtünme ve Aşınma Testleri

Aşınma testleri, Taber aşınma test cihazı (Taber 5135, ABD) kullanılarak kuru kayma koşulları altında, pin-on-disk aşınma tipi kullanılarak yapılmıştır. Aşınma testi için kullanılan teçhizat şematik olarak Şekil 3.1 (a) ile gösterilmiştir ve sistemin bir fotoğrafı da Şekil 3.1 (b) ile gösterilmektedir. Döner disk yatay pozisyonda yerleştirilmiş ve disk üzerine aşınma numunesi yerleştirilmiştir. Numunenin aşınma kalıntılarını (yani, üçüncü eleman etkisi) azaltmak için dikey olarak dönen diske karşı kuvvet bir manivela mekanizması yardımı ile dikey olarak yüklenebilir. Bu durumda aşınma mekanizması ve aşınma oranı daha az etkilenmektedir [118]. Literatürde de bu tür bir test teçhizatı ile farklı malzemelerin aşınma davranışlarının incelendiği de yer almaktadır [119,120]. Bu çalışmada, yatay olarak dönen diske karşı bir manivela mekanizması yardımı ile numune, dikey olarak yüklenerek teste tabi tutulmuş fakat teçhizata bir vakum sistemi de eklenmiştir. Bu sistemin temel özelliği belirtilen aşınma özelliklerini değiştiren, aşınma izinde sıkışan kalıntıların ortadan kaldırılması veya etkisinin en aza indirilmesidir. 3 x 12 x 50 mm^3 boyutundaki numenler için silisyum karbür zımpara kâğıtları kullanılarak numuneler parlatılmış (3 x 12 mm^2 yüzeyleri üzerinde) ve numune bir tutucu ile cihaza bağlanmıştır. Aşınma testinde kullanılan aşındırıcı zımpara kâğıdı, 150 grit sayısına ve 102 mm'lik çapa sahiptir. Uygulanan normal yük 4 N olarak ayarlanmıştır. Aşınma izinin ortasındaki kayma hızı 0.320 m / s'dir (72 rpm disk hızına karşılık gelmektedir). Sürtünme mesafeleri 153.8 m'de tutulmuştur (Bu mesafe 8 dakikalık test süresine karşılık gelmektedir). Tüm testlerde aşınma çapı 85 mm'de sabitlenmiştir. Aşınma testleri, (22 ± 2 °C) oda sıcaklığında ve uygun atmosferde (bağıl nem: % 30 ± 2) yapılmıştır. Testlerden önce örnekler etil alkol ile temizlenmiş ve temiz basınçlı bir hava ile kurutulmuştur. Aşınma testi sonrasında meydana gelen ağırlık kaybını tespit etmek için 10^{-4} g hassasiyetli (Ohaus Pioneer, ABD) bir terazi kullanılarak ağırlıkları ölçülmüştür. Test edilen kompozitler ve karışımların aşınmış yüzey morfolojilerinin analizi için 25.0 kV'da bir Zeiss Gemini 500 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Almanya) cihazı kullanılarak taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) incelemeleri yapılmıştır. Örnekler iletken hale getirebilmeleri için küçük bir PVD sisteminde ince altın film ile kaplanmıştır.



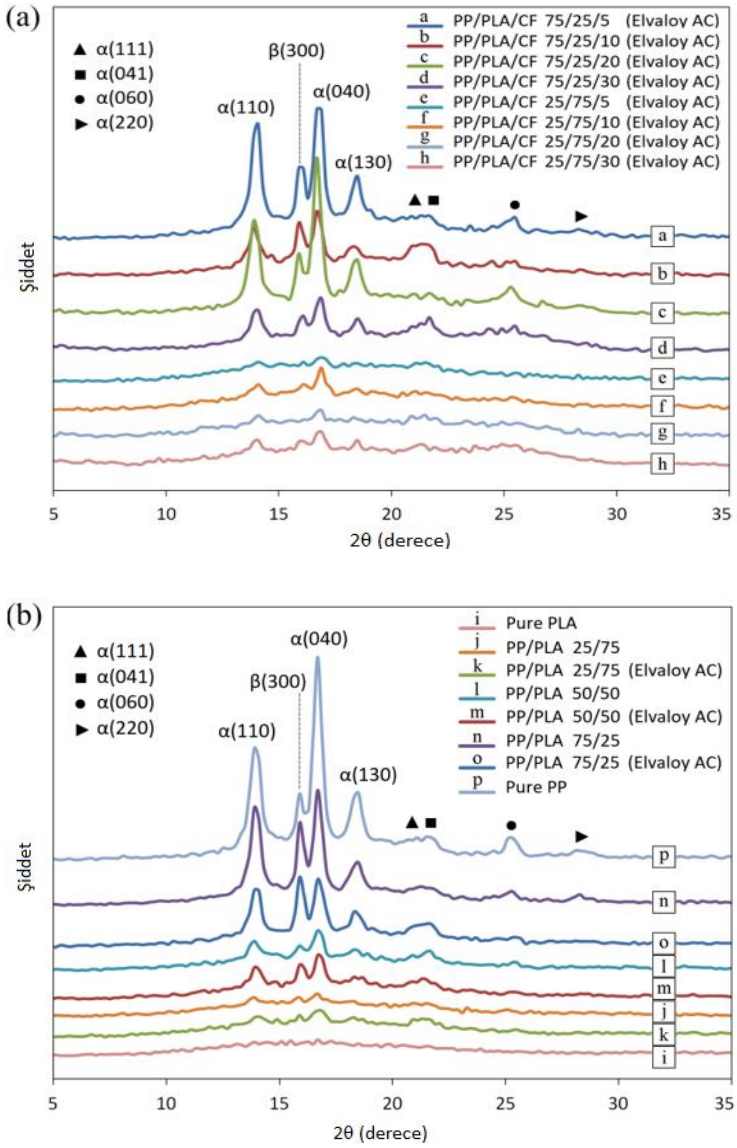
Şekil 3.1. (a) Pin-on-disk sisteminin şematik diyagram (b) sistemin bir fotoğrafı.

3.2. Test Sonuçları

3.2.1. X-ışını Kırınımı (XRD) Ve Morfoji Özellikleri

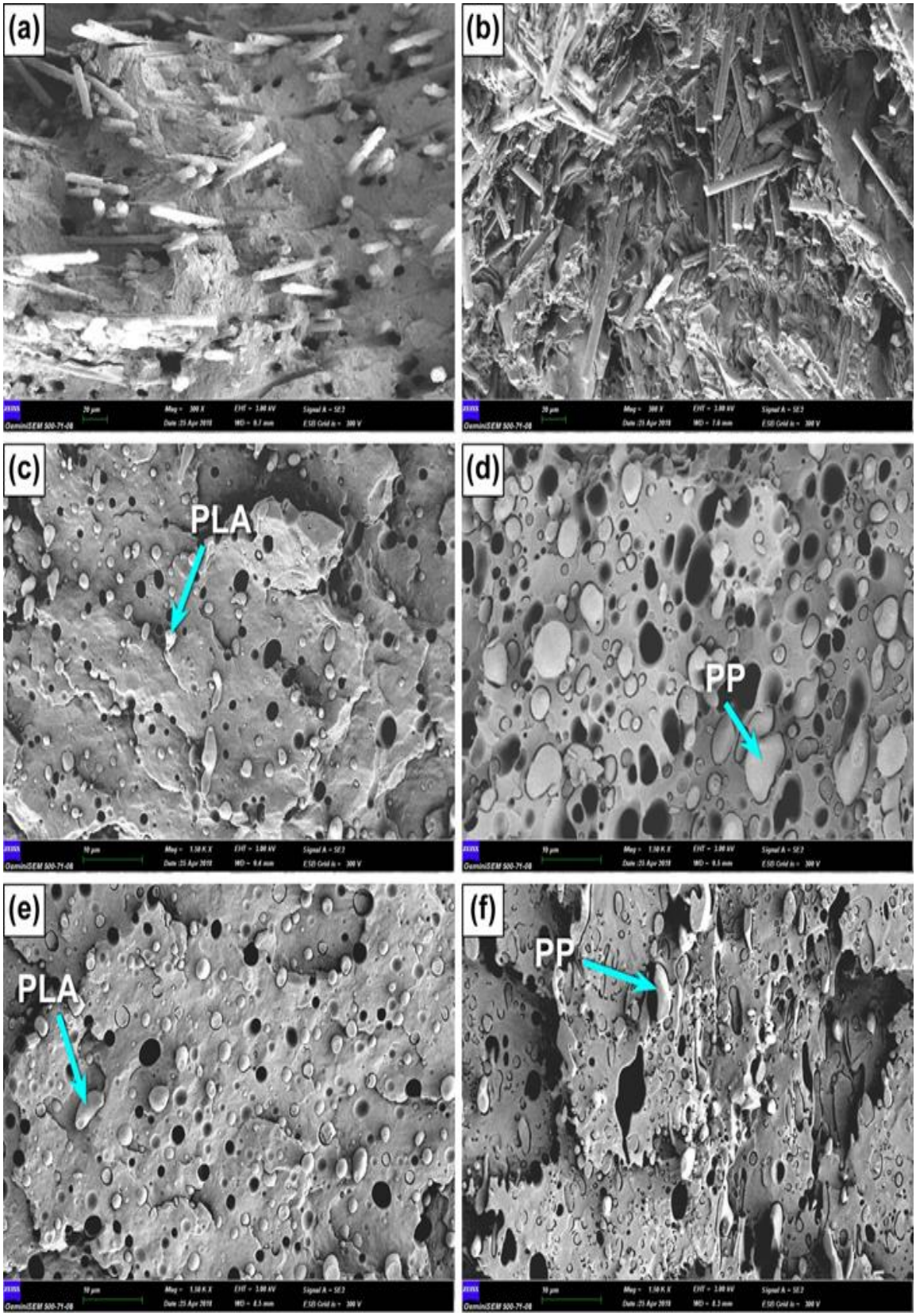
Saf polimerlerin, karışımların ve kompozitlerin XRD pikleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir. 13.9°, 16.7° ve 18.3° yani (2θ) 'da bulunan ortalama pikler, sırası ile PP kristallerinin α-formunun monoklinik paketleme düzlemlerinin (110), (040) ve (130) yansıma piklerine karşılık gelmektedir [121]. Ayrıca, 21.2 °, 21.6 °, 25.4 ° ve 28.4 ° 'de nispeten zayıf pikler, PP kristallerinin $\alpha_{(111)}$, $\alpha_{(041)}$, $\alpha_{(060)}$ ve $\alpha_{(220)}$ düzlemlerinde ki yansımalarını vermektedir [122]. PP_{75} / PLA_{25} karışımları, PP_{25} / PLA_{75} karışımlarından daha belirgin pikler göstermektedir. Şekil 3.2 (a) ile CF takviyesinin PP'nin belirgin kristal yapısını bozduğu ve PP_{75} / PLA_{25} matrisli numunelerde kristallik derecesini azalttığı görülmektedir. PP_{25} / PLA_{75} karışımlarında ise numunelerin kristalliği üzerinde CF'in belirgin bir etkisi yoktur. Özellikle PP_{75} / PLA_{25} karışımlarında, (300) düzlemindeki yansımasına karşılık gelen β-kristallerinin eşsiz bir kırılma noktası olan 15.9° 'de ek bir yansıma ortaya çıkarmaktadır [122,123]. β-form kristallerinin yüzdesini arttırmak için, yapısına bir β-form oluşturucu ajanın eklenmesi ile birlikte kesmeden kaynaklı veya sıcaklık etkisiyle birlikte kristalleştirme oluşturabilecek işlemler örnek olarak verilebilir [124]. PP'nin β-form kristallerinin, lamellerin morfolojisine bağlı olarak yüksek tokluk ve darbe mukavemet özellikleri sundukları bilinmektedir [122,125]. Denklemler kullanılarak hesaplanan numuneler içindeki β-kristallerin yüzdesi Tablo 3.2 ile verilmiştir. PLA'nın karışımlara dâhil edilmesi, β-kristalinin yüzdesini, saf PP'ye göre daha fazla arttırmaktadır. Ancak, PLA konsantrasyonunun arttırılması β-kristalin yoğunluğunu azaltacaktır. Ek olarak, karışımlarda Elvaloy AC kullanılmasıyla β-kristalin yüzdesinin arttığı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre,

CF konsantrasyonunun β-kristal oluşumu üzerinde belirgin bir etkisi yoktur, buna rağmen kristal oluşumu için en uygun konsantrasyon olarak 10 phr CF ile PP / PLA / CF / Elvaloy AC kompozitleri olduğu bulunmuştur. PP matrisine hem PLA hem de Elvaloy AC'nin sinerjik olarak dâhil edilmesi, ikincil güçlendirme mekanizması olarak β-kristallerinin çekirdeklenmesini etkili bir şekilde artırabileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 3.2. Saf polimerlerin, karışımların ve kompozitlerin XRD grafikleri.

Şekil 3.3 kompozitlerin ve karışımların kırık yüzeylerinin SEM görüntülerini göstermektedir. Sıvı azota daldırılmış olmasına rağmen, PP bakımından zengin kompozitler, Şekil 3.3 (a)'da görüldüğü gibi, liflerin dışarı çekilmesiyle plastik deformasyona neden olan kırılmış bir yüzey sergilemiştir. Tersine, PLA açısından zengin sistemin kırık yüzeyine paralel olarak hizalanmış lifler, Şekil 3.3(b)'de görülebilir, bu daha kırılgan bir şekilde kırılmanın sonucudur. Ayrıca, zıt kırılmış yüzeylerde kalan damlacıklar, resimde krater delikleri gibi görünen bölgeler oluşturmaktadır. Damlacık ve krater deliği, büyüklüğü ve kırık yüzeylerin düzgünlüğü, karışımların karışabilirlik seviyesini belirlemek için önemli parametrelerdir. PP_{75} / PLA_{25} karışımlarının PLA damlacık boyutunun (Şekil 3.3(c)) PP_{25} / PLA_{75} karışımlarının PP damlacık boyutundan daha küçük olduğu (Şekil 3.3(d)) ile gösterilmiştir. Bu, PP'nin daha zengin viskozitesine ve PLA ile kıyaslandığında, PP bakımından zengin karışımların PLA damlacıklarının boyutunda daha büyük bir azalmaya neden olmaktadır. Dikkate alınması gereken bir diğer önemli nokta, PP / PLA karışımının ağırlık / oranının 25/75 olmasına rağmen, karışım hacim oranındaki yoğunluk (PP: ~ 0.91 g/cm^3 ve PLA: ~ 1.24 g/cm^3) farkı göz önüne alınarak karışımın hacim oranı %31/69 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, ayrıca PP miktarının karışım içinde çok fazla olmasına neden olmaktadır. Uyumlulaştırıcı kullanılmadığında, damlacıkların sayısının arttığı görülmüştür ve damlacık büyüklüğünün sırasıyla PP (Şekil 3.3(e)) ve PLA bakımından zengin karışımlar (Şekil 3.3(f)) için fark edilir derecede azaldığı bulunmuştur. Bu, uyumlulaştırıcının bu tezde kullanılan iki faz arasındaki karışabilirliği iyileştirmede etkili olmadığını kanıtlamaktadır.



Şekil 3.3. (a) PP_{75} / PLA_{25} / CF_{30}, (b) PP_{25} / PLA_{75} / CF_{30}, (c) PP_{75} / PLA_{25} / Elvaloy AC, (d) PP_{25} / PLA_{75} / Elvaloy AC, (e) PP_{75} / PLA_{25}, (f) PP_{25} / PLA_{75} numune yüzeylerinin kırık kesit SEM görüntüleri.

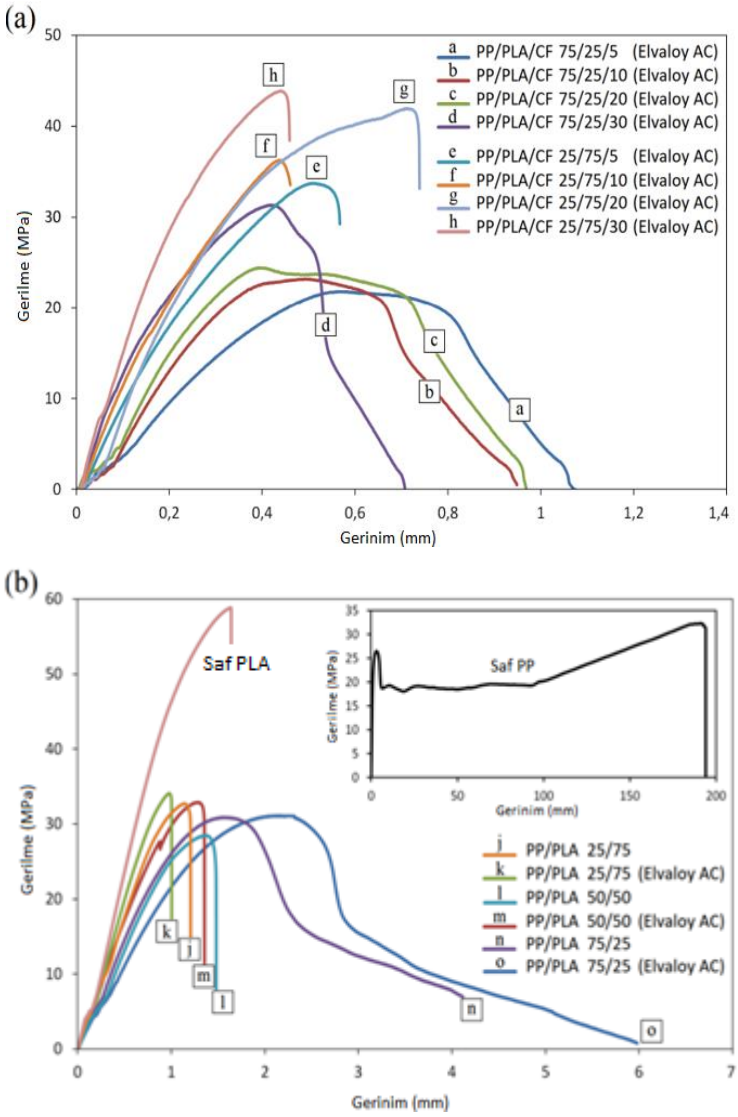
Tablo 3.2. Karışım ve kompozitlerin β kristal yüzdeleri.

Bileşenler	Bileşim Oranları	K_β (%)
Pure PP	100	14.2
PP/PLA	25/75	21.6
PP/PLA	50/50	22.2
PP/PLA	75/25	25.5
PP/PLA/Elvaloy AC	25/75/5	25
PP/PLA/Elvaloy AC	50/50/5	27.2
PP/PLA/Elvaloy AC	75/25/5	28.9
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/5/5	20.5
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/10/5	29.3
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/20/5	16.7
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/30/5	24.4

3.2.2. Çekme Özellikleri

Saf polimerlerin, karışımların ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin çekme gerilmesi-gerinim eğrileri Şekil 3.4 ile gösterilmektedir ve ilgili çekme testi verileri Tablo 3.3 ile listelenmiştir. Karışımların gerilme eğrileri saf PP ile PLA arasındadır. PP, nispeten sünek bir polimerdir ve PLA sert bir polimerdir. Aynı zamanda, PP (26.6 MPa), saf PLA'ya (58.8 MPa) kıyasla daha düşük gerilme direncine sahiptir. Nispeten sünek bir polimer içerisindeki sert polimer miktarındaki bir artışın, gerilme özelliklerinde de bir artışa yol açması beklenir [126,127]. PP fazı PLA'yı toklaştırabilir. PLA ise modüle ve dayanıma katkıda bulunur. Karışımlar iyi bir şekilde harmanlanırsa kopma gerilmesi ile kopma uzaması arasında iyi bir sinerji elde edilebilir [128]. Şekil 3.5 ile görüldüğü gibi, numunenin enine kesitinde boyun oluşumu ile ilgili olarak saf PP ve PP_{75} / PLA_{25} karışımları için önemli miktarda bir yük düşüşü görülebilir. Bunu, numunelerde boyun ilerlemesi ile ilişkili olan bir iyileşme takip eder. Boyun ilerlemesi tamamlandığında saf PP için nihai bir yük artışı görülebilir, bu da kırılmaya neden olur [129]. Bu durum örneklerin kırılma değerlerinde daha yüksek uzamaya neden olur. Öte yandan, saf PLA ve PP_{25} / PLA_{75} karışımları, boyun oluşumu olmadan kırılır. Saf PP'ye göre, kırılmadaki uzamalar da azalır. Bu durum, PP ve PLA arasındaki molekül zincirleri arasındaki kısıtlı deformasyon derecesi ve daha düşük PP konsantrasyonu veya uyumlulaştırıcının olmayışı ile ilgilidir. Dağılmış faz ve matris malzemesi arasındaki homojen olmayan ve zayıf ara yüzler bu aralıkta kırılgan davranışına neden olur. PP_{25} / PLA_{75} karışımları, PP_{75} / PLA_{25} karışımlarından daha yüksek mekanik özellik sergiler. Ayrıca, CF konsantrasyonunun arttırılmasıyla örneklerin gerilme

mukavemetlerinin arttığı bulunmuştur. 25/75/30/5 konsantrasyonlu PP/PLA/CF/Elvaloy AC kompoziti 43.9 MPa'lık maksimum çekme dayanımı ve 5.6 GPa'a kadar yüksek modül değerleri göstermiştir. Uyumlulaştırıcı içermeyen karışımların, uyumlulaştırılmış karışımlardan nispeten daha düşük çekme mukavemeti göstermesinin nedeni polar PLA ve polar olmayan PP'nin kristal fazları arasındaki yapışma zayıflığı ve ara yüzey etkileşiminin olmayışıdır.



Şekil 3.4. (a) Kompozitlerin ve (b) saf polimerlerin ve karışımların çekme gerilimi-gerilme eğrileri.

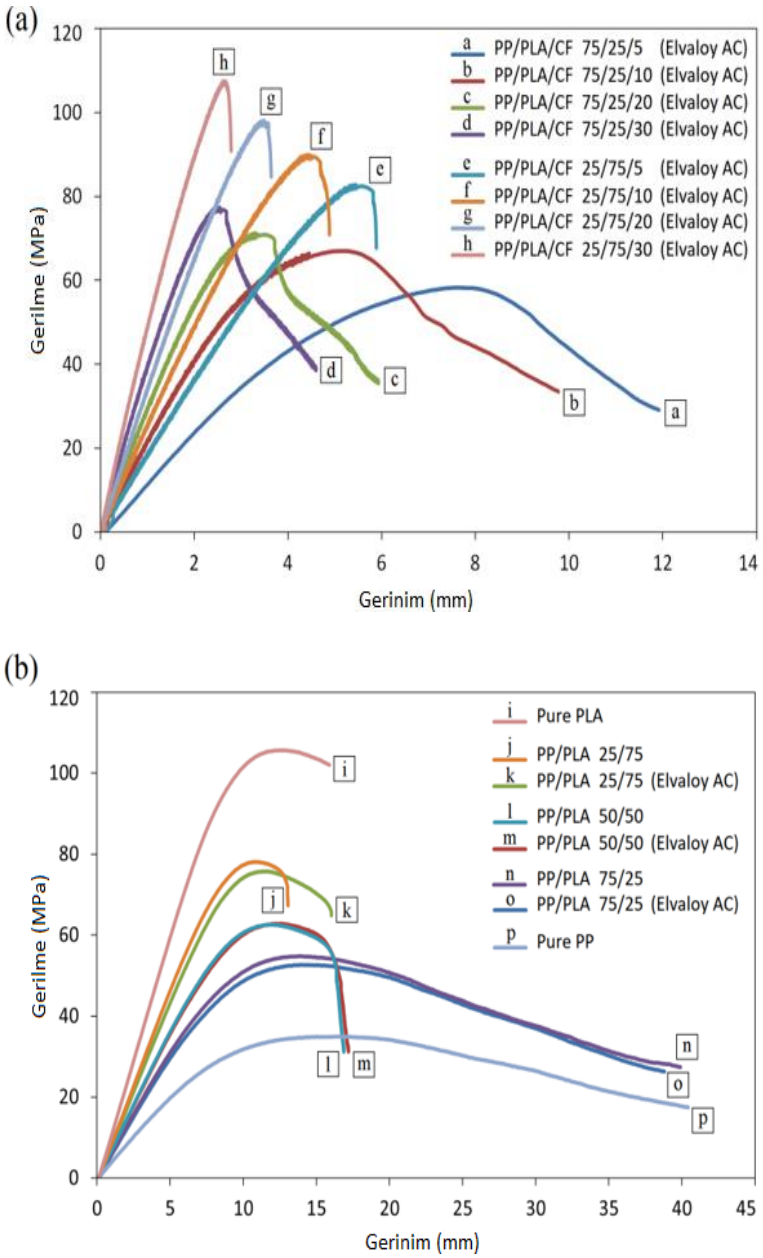
3.2.3. Eğme Özellikleri

Saf polimerler, karışımlar ve farklı CF konsantrasyonlu kompozitlerin eğme gerilmesi-gerinim eğrileri Şekil 3.5 ile gösterilmektedir ve ilgili çekme testi verileri Tablo 3.3 ile listelenmiştir. Şekil 3.5 ile gösterildiği gibi tüm numuneler belirli bir deformasyon ve

gerilmeden sonra son bir gerilim taşıma kapasitesine ulaşmaktadır bu seviyeden sonra gerilim taşıma kapasitesi düşmektedir. Karışımların gerilim eğrileri, saf PP ve PLA gerilme değerleri arasındadır. PP / PLA ağırlık oranlarının, eğme dayanımı üzerindeki etkisi, çekme testi sonuçlarıyla aynıdır. Karışım morfolojisinin özelliklerinin, değerlerdeki değişimlerde önemli bir etkisi vardır. Uygun olmayan dağılıma sahip karışımların, yararlı özelliklerinde daha fazla bir düşüş görülmektedir [130]. Ayrıca, PLA'nın dominant faz olmasından dolayı oluşan sert yapı, PP / PLA karışımlarını oluşturan makromoleküler polimer zincirlerinin hareketliliğini en aza indirir. Bu nedenle, PP_{25} / PLA_{75} karışımları, PP_{75} / PLA_{25} karışımlarından daha yüksek eğme özelliği (eğme mukavemeti ve modülü) sergilemektedir. Çekme mukavemetinin aksine, eğme dayanımları karışımlardaki uyumlulaştırıcı (Elvaloy AC) konsantrasyonunun artırılmasıyla farklı değerler göstermektedir. Uyumlulaştırıcı içermeyen karışımlar, daha yüksek eğme mukavemeti sergilemektedir. Aynı zamanda uyumlulaştırılmış karışımlarınkinden daha fazla modül sergilemiştir. Bu farkın teste uygulanan yükün tipi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Üç nokta eğmede, numunelerin alt ve üst yüzeyleri sırasıyla çekme ve basmaya maruz kalmaktadır [131]. Ek olarak, CF konsantrasyonu arttırılarak örneklerin eğme dayanımları ve modüllerinin arttığı bulunmuştur. Çekme testi sonuçlarına benzer şekilde, 75/25/30/5 konsantrasyonlu PP / PLA / CF / Elvaloy AC kompoziti, 108.9 MPa'lık yüksek eğme mukavemeti ve 17.4 GPa'lık modül değerleri göstermiştir.

Tablo 3.3. Karışımların ve kompozitlerin mekanik özellikleri

Bileşim	Bileşim Oranları	Çekme Direnci (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Eğme Direnci (MPa)	Eğme Modülü (GPa)
Pure PP	100	26.57 ± 1.29	0.81 ± 0.26	35.24 ± 0.53	1.30 ± 0.02
PP/PLA	25/75	30.57 ± 3.06	1.00 ± 0.14	78.01 ± 1.17	3.13 ± 0.02
PP/PLA	50/50	28.08 ± 0.60	0.85 ± 0.09	63.11 ± 2.21	2.54 ± 0.02
PP/PLA	75/25	30.89 ± 0.06	1.10 ± 0.14	54.49 ± 0.90	2.15 ± 0.02
Pure PLA	100	58.79 ± 2.22	1.42 ± 0.05	105.60 ± 0.05	4.08 ± 0.03
PP/PLA/Elvaloy AC	25/75/5	32.95 ± 1.61	1.15 ± 0.18	75.70 ± 0.13	2.94 ± 0.04
PP/PLA/Elvaloy AC	50/50/5	32.65 ± 0.34	1.20 ± 0.08	62.74 ± 0.51	2.46 ± 0.03
PP/PLA/Elvaloy AC	75/25/5	30.73 ± 0.58	0.77 ± 0.16	52.64 ± 0.43	2.09 ± 0.02
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/5/5	23.86 ± 2.90	1.50 ± 0.39	59.55 ± 2.44	4.32 ± 0.12
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/10/5	23.21 ± 4.06	1.48 ± 1.10	66.58 ± 1.66	7.05 ± 0.09
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/20/5	23.07 ± 1.93	1.29 ± 1.08	70.63 ± 2.16	9.73 ± 0.34
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	75/25/30/5	28.05 ± 4.63	2.71 ± 0.50	75.98 ± 3.28	13.64 ± 0.96
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/5/5	32.44 ± 4.94	2.22 ± 0.63	82.86 ± 0.88	6.03 ± 0.13
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/10/5	36.29 ± 0.05	3.29 ± 0.01	89.51 ± 3.45	8.52 ± 0.30
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/20/5	38.74 ± 4.53	2.28 ± 1.89	97.12 ± 7.27	11.74 ± 1.20
PP/PLA/CF/Elvaloy AC	25/75/30/5	43.90 ± 0.00	5.56 ± 0.00	108.87 ± 2.97	17.43 ± 0.86

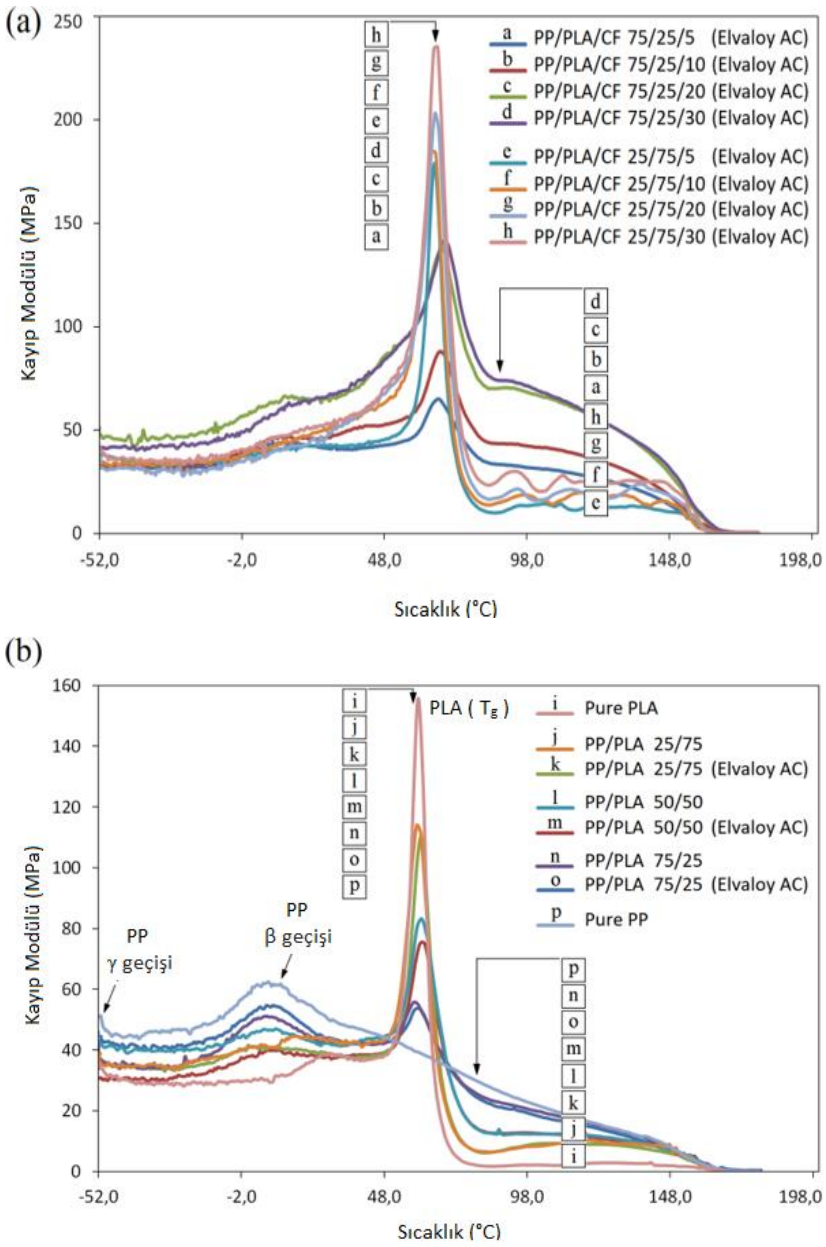


Şekil 3.5. (a) Kompozitlerin ve (b) saf polimerlerin ve karışımların eğme gerilimi-gerinim eğrileri.

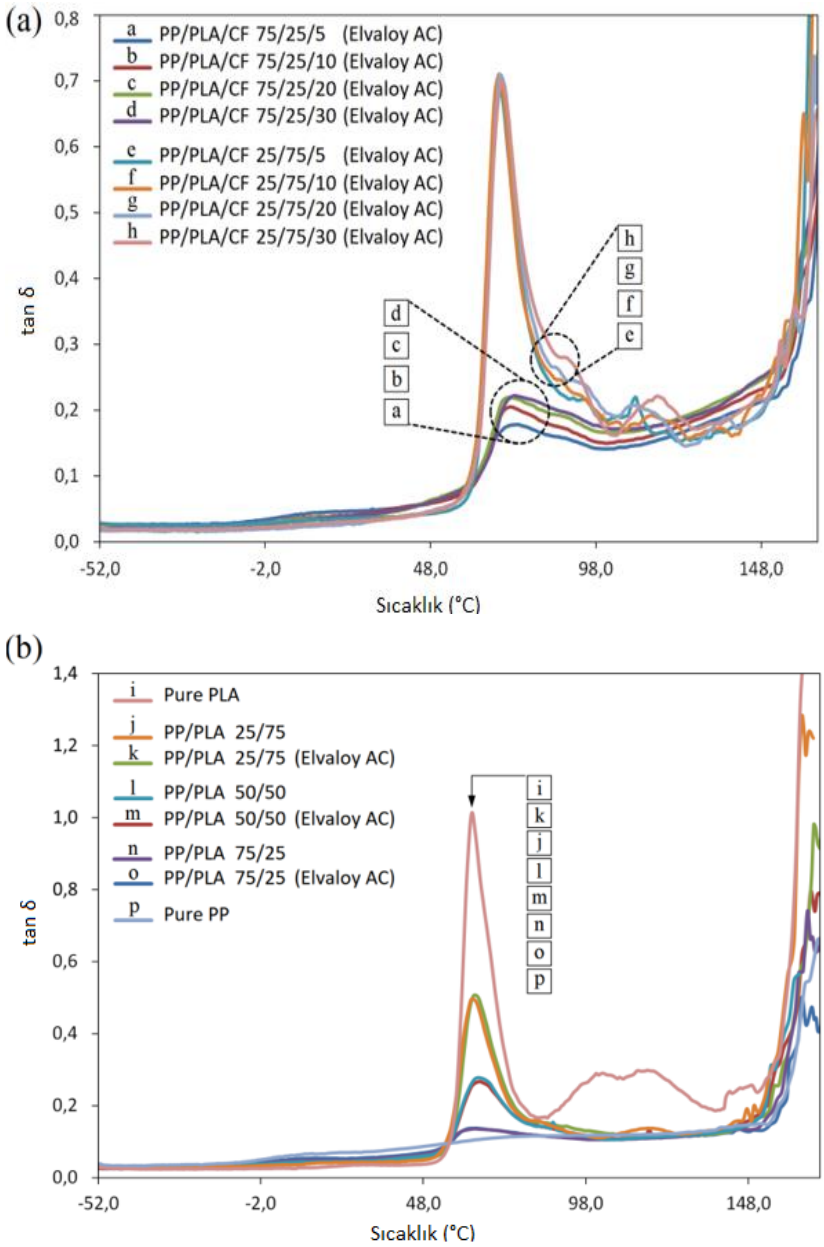
3.2.4. Dinamik Mekanik Analiz Sonuçları

Saf polimerlerin, karışımların ve farklı CF konsantrasyonlu kompozitlerin kayıp modül, tan δ-sıcaklık grafikleri ve elastik modülü eğrileri sırasıyla Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 ile gösterilmektedir. Saf PP, literatürde de yer aldığı gibi kayıp modül sıcaklık grafiğinde iki geçiş piki göstermektedir [126,132]. Geniş gevşeme bölgesi, yaklaşık 10 °C'de maksimumdur. Bu yarı kristalli izotaktik PP (iPP) içinde amorf fazının (T_g)

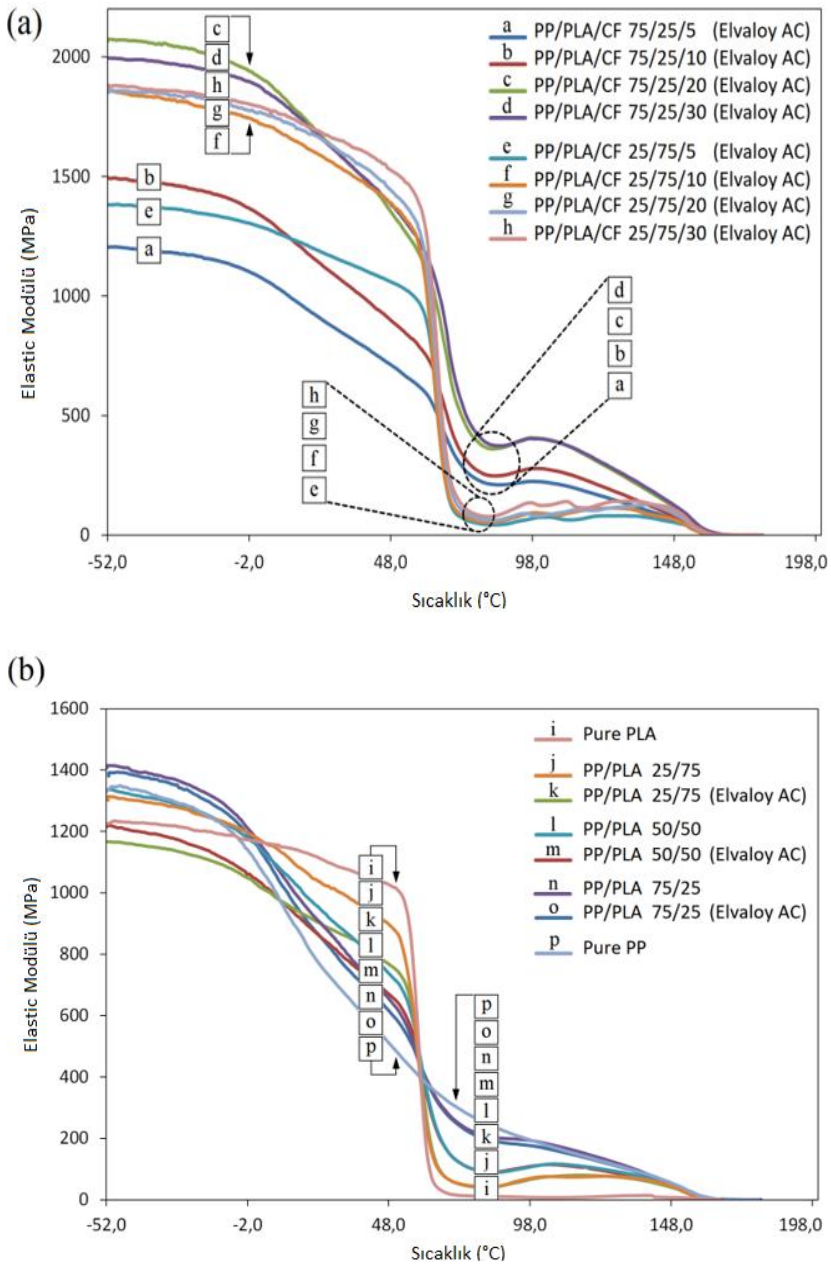
camsı geçişi (β) 'dır. PP'nin γ gevşemesi, metil ve metilen gibi küçük zincirlerin hareketlerinden dolayı yaklaşık -50 °C'de görülür. Saf PLA'nın kayıp modül / sıcaklık eğrisi, PLA'nın camsı geçişi olan 59.8 °C'de bir keskin pik gösterir. Şekil 3.6 ile görüldüğü gibi, her bir karışım için iki camsı geçiş piki elde edilir. Bu PLA bileşenine karşılık gelen daha yüksek sıcaklık değerini verir, diğeri ise PP bileşenine karşılık gelen daha düşük sıcaklık değerini göstermektedir. Karışımlardaki kayıp modüllerinin, PLA konsantrasyonunun arttırılmasıyla arttığı bulunmuştur. Ayrıca, uyumlulaştırıcılı (Elvaloy AC) karışımlar, uyumlaştırılmamış karışımlardan daha düşük kayıp modül değerleri göstermiştir. Aynı zamanda, karışımlardaki PLA bileşeninin T_g değerleri, daha yüksek değerlere ulaştığında küçük değişimler göstermiştir. Kompozitlerde, CF'in yapıya dâhil edilmesiyle, PP ve PLA'nın T_g değerlerini, yaklaşık olarak 13 °C ve 66 °C'den daha yüksek değerlere doğru kaymıştır. Bu pikler, aynı zamanda, sıcaklığın fonksiyonu olarak Şekil 3.7'de tan δ grafikleri üzerinde de görülebilir. Kompozitlerdeki kayıp modüllerinin, PLA ve CF'in konsantrasyonlarının artırılmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, 80 °C'nin üzerinde, PP açısından zengin karışımlar ve kompozitler, PLA açısından zengin karışım ve kompozitlere göre daha yüksek kayıp modülü göstermiştir. PP / PLA karışımlarının modül değerleri PP ve PLA arasındaki ara yüzey kalitesine ve miktarına bağlıdır. Şekil 3.8'de saf polimerin, karışımların ve farklı CF konsantrasyonuna sahip kompozitlerin elastik modülü/sıcaklık eğrilerinden görüldüğü gibi elastik modülleri sıcaklıkla birlikte sürekli olarak azalmaktadır. 0 °C'ye kadar olan düşük sıcaklıklarda, karışımların elastik modülleri belirgin şekilde değişmemiştir, fakat 45 °C ile 50 °C aralığında, karışımların elastik modülleri PP konsantrasyonuna ve uyumlulaştırıcı (Elvaloy AC) varlığına bağlı olarak azalmıştır. Karışımların elastik modülü, karışımlarda artan sert PLA içeriği ile artmaktadır. Başka bir deyişle, sünek yapı içerisindeki sert polimer konsantrasyonundaki bir artış genellikle karışımı sertleştirir. Ancak, 50 °C'nin üzerindeki karışımların elastik modülleri artan PLA içeriği ile kademeli olarak azalmakta ve uyumlulaştırıcının, karışımların elastik modülleri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir. Kompozitler söz konusu olduğunda, kompozitlerin elastiklik modüllerinin, PP konsantrasyonuna ve ayrıca 70 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kompozitlerdeki CF konsantrasyonlarının arttırılması ile elastiklik modülünün de arttığı bulunmuştur.



Şekil 3.6. Saf polimerler, karışımlar ve farklı (CF) konsantrasyonuna sahip kompozitlerin sıcaklık karşısındaki kayıp modül grafikleri.



Şekil 3.7. Saf polimerler, karışımlar ve farklı CF konsantrasyonuna sahip kompozitlerinin tan δ-sıcaklık değişim grafikleri.



Şekil 3.8. Saf polimerler, karışımlar ve farklı CF konsantrasyonuna sahip kompozitlerin sıcaklık-elastik modül grafikleri.

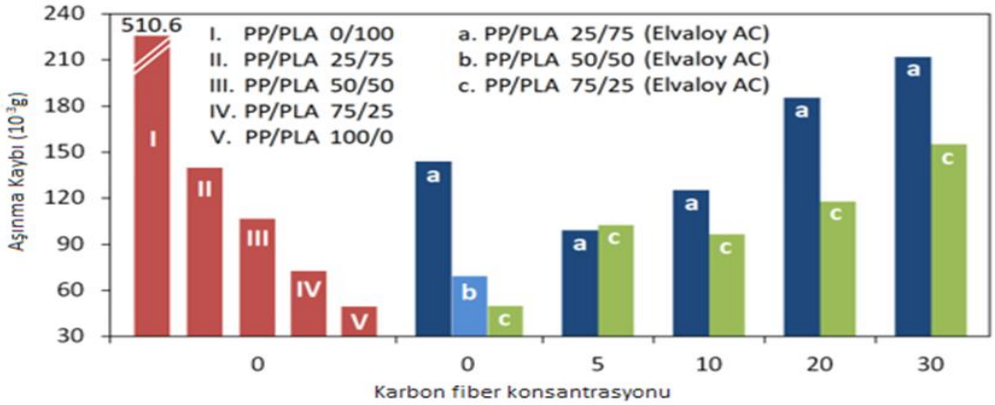
3.2.5. Aşınma Özelikleri

Polimer kompozitlerde doğru bileşim konsantrasyonlarının seçilmesi, aşınma direnci için en uygun koşullara ulaşılmasına yardımcı olur. Şekil 3.9 ile farklı CF konsantrasyonlarına sahip olan kompozitlerin, saf polimerlerin ve karışımlarının aşınma kaybı değerlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 3.9 ile görülebileceği gibi, karışımlarda artan PLA konsantrasyonu ve kompozitlerde artan CF konsantrasyonu ile

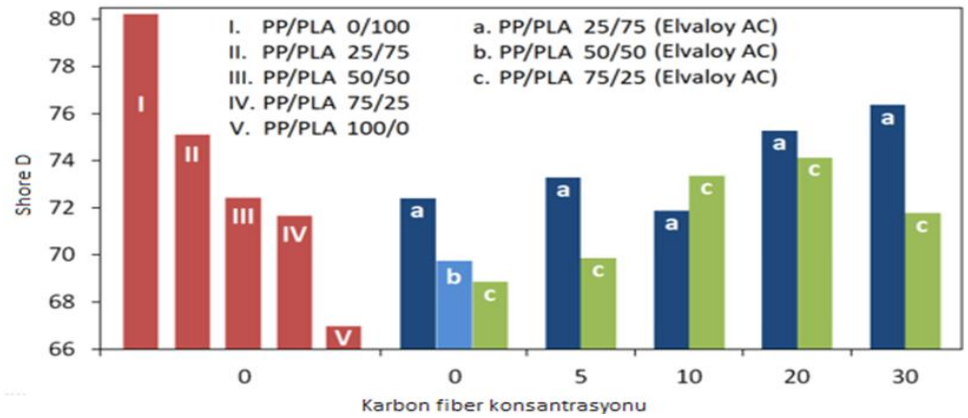
aşınma kaybı değerinin de arttığı görülmektedir. Bu, örnekler arasında aşınmanın artması yapının sert olması ile alakalıdır. Ayrıca, karışımların uyumlu hale getirilmesi örneklerin aşınma direncinde bir artış meydana getirmiştir. Elvaloy AC katkılı PP_{75} / PLA_{25} karışımlarında minimum aşınma olduğu gözlenmiştir. Sadece 5 ve 10 phr CF konsantrasyonuna sahip Elvaloy AC ile uyumlulaştırılmış kompozitler, 0 phr CF PP_{25} / PLA_{75} karışımlarından daha düşük aşınma oranları göstermiştir. Aşınma testlerinden sonra karışımların ve saf polimerlerin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, Şekil 3.11 ile gösterilmiştir. Numunelerin aşınmış yüzeyi, örneklerin yan yüzeylerine kıyasla nispeten daha pürüzlüdür. Polimerlerdeki en yaygın aşınma sistemlerinin abrazif, adezif aşınma ve yorulma aşınması olduğu genel olarak kabul edilmektedir [133]. Ayrıca, polimerlerin aşınma oranının çekme gerilmesi ve gerinim ile ters orantılı olabildiği iyi bilinmektedir [134]. Yoğun bir aşındırma işleminde meydana gelen aşınma ve kırılmada, Şekil 3.11 (d) ile görülmekte olan işaretlenmiş kesikli dairelerde görüldüğü gibi CF'ler dışarı çekilebilir ve temas yüzeyleri zayıflatılır, bu da kompozitin yüksek hasar görmesine neden olur. Karışımların ve kompozitlerin yıpranmış yüzeylerinde, aşınma mekanizmasının bir sonucu olarak makroskobik ölçekte benzer uzunlamasına çizikler görülmesi ile birlikte özellikle PP bakımından zengin sistemler için aşınma izlerinde plastik deformasyon ve adezyon aşınmasının da olduğu görülmüştür (Şekil 3.11. (e) ve Şekil 3.11. (g)). Ancak, PLA'nın sert yapısı nedeniyle abrazif aşınmaya daha duyarlı olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.11 (f) ve Şekil 3.11 (h)). Numunelerin aşınmış yüzeylerinde, örnek parçanın yüzeyindeki devirli geçiş döngüsünden kaynaklanan, kusurlar ve belirli bir miktar stres konsantrasyonu ile de desteklenen yorulma mekanizması ve yorulma dalgaları görülebilir [133,135]. Bu durumun zımpara kâğıdının aşındırıcı etkisiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Sıkışmış aşınma parçacıkları numunelerin aşınmış yüzeylerinde ve test donanımında vakum sistemi olmasına rağmen, zımpara kâğıtlarında da gözlemlenmiştir.

Numunelerin Shore D sertlik değerleri de Şekil 3.10 ile gösterilmektedir. Nispeten yumuşak bir yapı içerisindeki sert polimer konsantrasyonundaki artışın, polimerin sertleşmesine yol açması beklenir. Bu nedenden dolayı, PP_{25} / PLA_{75} karışımları PP_{75} / PLA_{25} karışımlarından daha yüksek bir sertlik değerleri sergilemektedir. Aşınma testi sonuçlarına benzer olarak, karışımların Elvaloy AC ile uyumlu hale getirilmesi Shore D sertlik değerlerinde bir düşüş ve numunelerin aşınma direncinde bir artış göstermiştir.

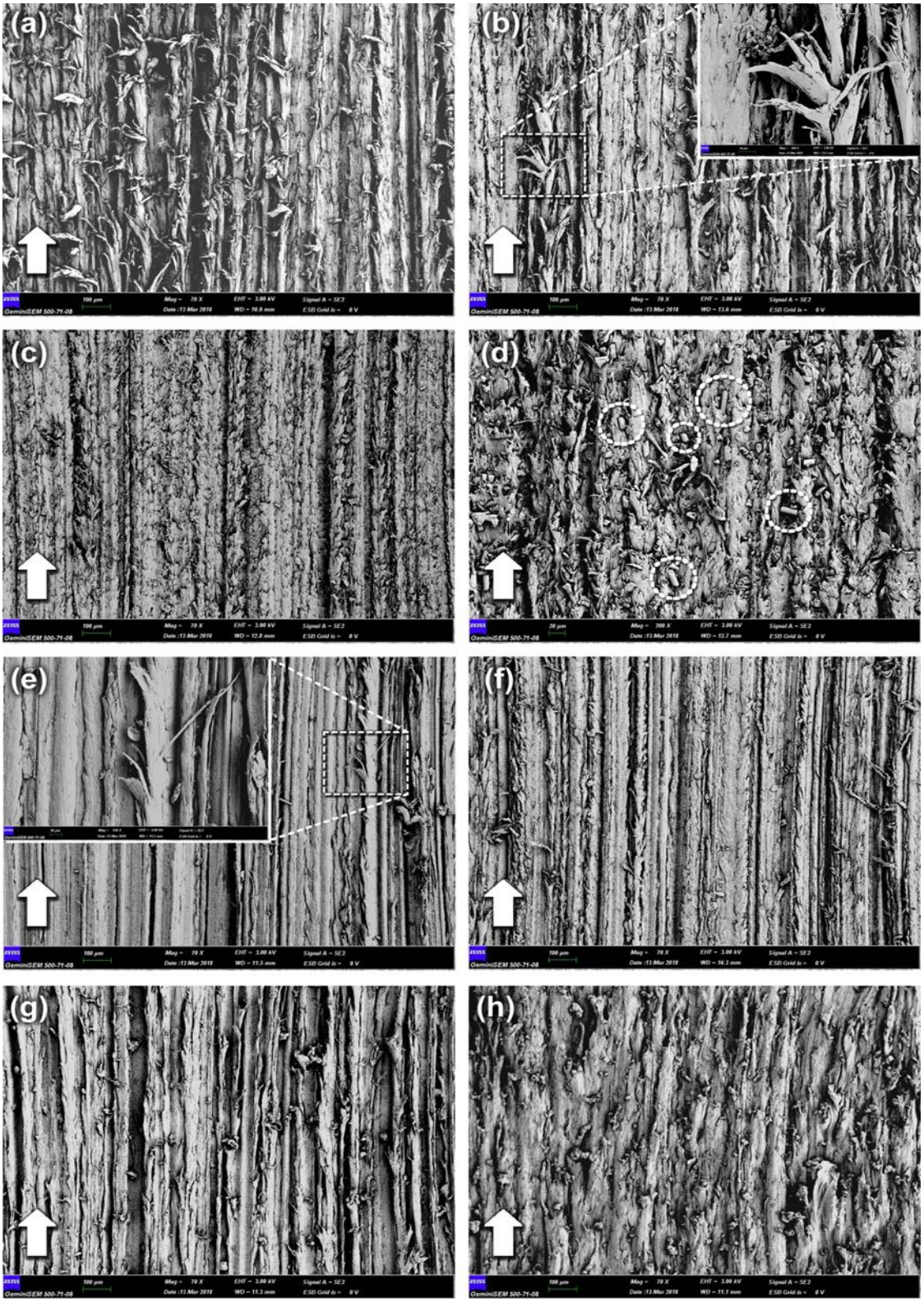
Buradan yola çıkılarak, uyumlulaştırıcı maddelerin, karışımlardaki kümelenmiş alanların dağılımı üzerindeki etkisini görülmesi için farklı uyumlulaştırıcılı karışımlar ile testlerin gerçekleştirilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, literatürde mekanik ve aşınma özelliklerinin her zaman uyumlu olmadığı da belirtilmektedir. Sonuç olarak, Elvaloy AC ile saf PP ve PP_{75} / PLA_{25} karışımları diğer örneklere göre daha az aşınma hasarı göstermiştir. Bununla birlikte, test parametreleri (yük, hız, kayma mesafesi, vb.) ve sürtünme ısısı gibi etkilerin araştırılması uygun olacaktır [136]. Bu nedenle, PP / PLA kompozitlerinin tribolojik özelliklerini değerlendirmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.9. Saf polimerlerin, karışımların ve kompozitlerin aşınma kaybı değerleri.



Şekil 3.10. Saf polimerlerin, karışımların ve kompozitlerin Shore D sertlik değerleri.



Şekil 3.11. (a) PP_{75} / PLA_{25} / CF_{10}, (b) PP_{75} / PLA_{25} / CF_{30}, (c) PP_{25} / PLA_{75} / CF_{10}, (d) PP_{25} / PLA_{75} / CF_{30}, (e) PP_{75} / PLA_{25} / Elvaloy AC, (f) PP_{25} / PLA_{75} / Elvaloy AC, (g) saf PP (h) saf PLA aşınmış yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri (beyaz oklar aşındırıcı kâğıdın kayma yönünü gösterir).

4. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar

Farklı CF konsantrasyonlarına (5,10, 20 ve 30 phr) sahip PP / PLA / CF / Elvaloy AC kompozitleri ergiyik karıştırma yöntemi ile başarılı bir şekilde hazırlanmıştır ve bileşenlerin konsantrasyonlarının mekanik ve tribolojik özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. PP matrisi ile karşılıklı etkileşim içerisinde olan PLA ve Elvaloy AC'nin dâhil edilmesi takviye ikincil mekanizmayı sağlayan β-kristallerinin çekirdeklenmesini etkili bir şekilde arttırmıştır.

Beklendiği gibi, karışımlardaki yüksek, sert segment içeriği nedeniyle mekanik test sonuçlarından PP_{25} / PLA_{75} karışımlarının PP_{75} / PLA_{25} karışımları üzerindeki belirgin üstünlüğü gözlenmiştir. CF konsantrasyonunun arttırılmasıyla numunelerin gerilme mukavemeti de artmıştır. PP / PLA / CF / Elvaloy AC kompoziti 25/75/30/5 konsantrasyonunda 43.9 MPa'lık maksimum çekme dayanımı ve 5.6 GPa'a kadar yüksek modül değerleri göstermiştir. Uyumlulaştırıcı içermeyen karışımlar, uyumlulaştırıcı içeren karışımlara göre nispeten daha düşük çekme mukavemeti göstermiştir. Çekme mukavemetinden farklı olarak, karışımlarda uyumlulaştırıcı (Elvaloy AC) kullanılması ile eğme dayanımları farklı değerler göstermektedir. Uyumlulaştırıcı içermeyen karışımların daha yüksek eğme mukavemeti ve aynı zamanda daha fazla modül sergilemektedir. Oluşan bu farklılığın testte uygulanan yükün tipi ile ilgili olduğu ve uyumlulaştırıcının SEM sonuçlarından elde edilen uyumlulaştırma etkisinin olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ek olarak, CF konsantrasyonunun artması ile, eğme dayanımlarının ve modüllerinin de arttığı bulunmuştur. Çekme testi sonuçlarına benzer şekilde, PP / PLA / CF / Elvaloy AC kompozitleri 25/75/30/5 konsantrasyonunda 108.9 MPa'lık yüksek eğme mukavemeti

ve 17.4 GPa'lık modül değerleri göstermektedir. Dinamik mekanik analiz sonuçlarına göre, karışımların kayıp modüllerinin, karışımdaki PLA konsantrasyonunun artması ile birlikte arttığı bulunmuştur. Aynı zamanda, karışımlardaki PLA bileşeninin T_g değerleri, daha yüksek değerlerde küçük değişimler göstermiş ve uyumlulaştırıcı (Elvaloy AC) kullanılması ile pik yoğunlukları azalmıştır. Kompozitlerin kayıp modülleri, PLA oranının ve CF konsantrasyonlarının artmasına paralel olarak artmıştır. 45 °C - 50 °C aralığında, karışımların elastik modülleri, PP konsantrasyonun ve Elvaloy AC'nin varlığı ile azalmıştır. Ancak, 50 °C'nin üzerinde, karışımların elastik modülleri, artan PLA içeriği ile kademeli olarak azalmış ve uyumlulaştırıcının karışımların elastik modülleri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak, kompozitlerde 70 °C'nin üzerinde, PP ve CF konsantrasyonunun artması ile elastik modüllerinin de arttığı bulunmuştur.

Aşınma testi sonuçlarına göre, karışımlarda artan PLA ve CF konsantrasyonu ile kompozitlerde aşınma kaybı değerleri artmaktadır. Literatürde, daha önce bahsedildiği gibi mekanik ve aşınma özelliklerinin her zaman uyumlu olmadığına yer verilmiştir. Ek olarak karışımların Elvaloy AC ile uyumlulaştırılması Shore D sertlik değerlerinde bir düşüşe ve örneklerin aşınma direncinde bir artışa sebep olmuştur. Uyumlulaştırıcı (Elvaloy AC) kullanılması PP/PLA karışımlarının karışabilme kabiliyeti üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı, sertliği negatif, mekanik özellikleri ise farklı şekilde etkilediği, fakat toklaştırıcı ve darbe mukavemetini artırıcı potansiyelinin olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2. Öneriler

Çalışmadaki sonuçlar ve değerler göz önüne alındığında polimerlerin matris olarak neden bu kadar çok tercih edildiği bir kez daha kanıtlanmaktadır. Gelişen teknolojilerin ihtiyaçlarına cevap verebilecek malzemelerin bu tür karma yapılı sistemlerle karşılanacağı ön görülmektedir. PP/PLA yapısının CF ile güçlendirilmesi yüksek, dayanıklılık/hafiflik orana sahip yapıların ortaya çıkmasını sağlayabilir. Tez kapsamında kıyaslanan karbon fiber ve bileşim oranları, ihtiyaç duyulan en uygun yapının oluşturulması için yapılan çalışmalara örnek olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Utracki LA. 2002, Chapter 1 introduction to polymer blends. In: Utracki LA, editor. Polymer blends handbook, Netherlands: Kluwer Academic Publishers; p.1-122.
2. Yoo TW, Yoon HG, Choi SJ, Kim MS, Kim YH, Kim WN. 2010. Effects o compatibilizers on the mechanical properties and interfacial tension of polypropylene and poly(lactic acid) blends. **Macromolecular Research,18**:583-8.
3. Lee HS, Kim JD. 2012, Effect of hybrid compatibilizers on mechanical property of ternary blend with polypropylene, poly (lactic acid) and toughening modifier. **Polymer Composites,33**:1154-61.
4. Kamm B, Gruber PR, Kamm M, 2010, Biorefineries – Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions, John Wiley & Sons.
5. Nampoothiri KM, Nair NR, John RP, 2010, An overview of the recent developments polylactide (PLA) research. **Bioresource Technology; 101**:8493–8501.
6. Tsuji H, "Polylactic Acid -Shokubutsu Yurai Plastic no Kiso to Ouyou", Yoneda Shuppan Co., (2008), in Japanese.
7. Auras RA, Singh SP, Singh JJ. 2005, Evaluation of oriented poly(lactide) polymers with existing PET and oriented PS for fresh food service containers. **Packaging Technology and Science,18**:207–216.
8. Vainionpaa S, Rokkanen P, Tormal P., 1989, Surgical Application of Biodegradable Polymers in Human Tissues. **Progress in Polymer Science,14**: 679-716.
9. Engelberg I, Kohn J., 1991, Physico-mechanical properties of degradable polymers used in medical applications: a comparative study. **Biomaterial 12:**292–304.
10. Dollinger HM, Sawan SP.,1990, **Polymer Preprints, 31**:429–430.

11. Rohlmann CO, Failla MD, Quinzani LM., 2006, Linear viscoelasticity and structure of polypropylene–montmorillonite nanocomposites**. Polymer 47**:7795–804.

12. Zhang QX, Yu ZZ, Xie XL, Mai YW., 2004, Crystallization and impact energy of polypropylene/CaCO3 nanocomposites with nonionic modifier. **Polymer,45**:5985–94.

13. Pilla S, Kim SG, Auer GK, Gong S, Park CB.,2010, Microcellular extrusion foaming of poly(lactide)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends. **Materials Science and Engineering 30**:255–262.

14. Utracki LA. Polymer blends handbook. Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 1999.

15. Zhao H, Cui Z, Wang X, Turng L-S, Peng X., 2013, Processing and characterization of solid and microcellular poly(lactic acid)/polyhydroxybutyrate-valerate (PLA/ PHBV) blends and PLA/PHBV/Clay nanocomposites. **Composite Part B – Engineering, 51**:79–91.

16. As'habi L, Jafari SH, Khonakdar HA, Kretzschmar B, Wagenknecht U, Heinrich G., 2013, Effect of clay type and polymer matrix on microstructure and tensile properties of PLA/LLDPE/Clay nanocomposites. **Journal of Applied Polymer Science,130**:749–58.

17. Hassan Ebadi-D., Hossein Ali K., Mehdi B., Seyed Hassan J., 2015, Experimental and theoretical analyses of mechanical properties of PP/PLA/clay nanocomposites **Composites: Part B, 69** :133–144

18. D.R. Paul, C.B. Bucknall, 2000, Polymer Blends, John Wiley & Sons Inc., New York.

19. T. Ogasawara, Y. Ishida, T. Ishikawa, T. Aoki, T. Ogura, 2006, Helium gas permeability of montmorillonite/epoxy nanocomposites, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 37**:2236-2240.

20. R.T. Parry, 1993, Principle and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food, Chapman & Hall, New York.

21. Y.C. Ke, P. Stroeve, , 2005, Polymer-layered silicate and silica sanocomposites, first ed., Elsevier Science.

22. Żenkiewicz, M.; Richert, J., and Różański, A., 2010, Effect of blow moulding ratio on barrier properties of polylactide nanocomposite films. **Polymer Testing, 29**:(2):251-257

23. S. Takahashi, H.A. Goldberg, C.A. Feeney, D.P. Karim, M. Farrell, K. O'Leary,

D.R. Paul, ,2006, Gas barrier properties of butyl rubber/vermiculite nanocomposite coatings, **Polymer ,47** 3083-3093.

24. G.D. Moggridge, N.K. Lape, C. Yang, E.L. Cussler,2003. Barrier films using flakes and reactive additives**, Progress. Organic. Coatings,46**: 231-240.

25. Weidenfeller B., 2006, "Internal Friction Studies of Particulate Filled Polypropylene", **Materials Science and Engineering A 442**: 371-374.

26. A.F. Ismail, L.I.B. David, 2001.A review on the latest development of carbon membranes for gas separation. **Journal of Membrane Science 193**: 1-18.

27. W.N.W. Salleh, A.F. Ismail, T. Matsuura, M.S. Abdullah, 2011. Precursor selection and process conditions in the preparation of carbon membrane for gas separation: A review, **Separation & Purification Reviews 40 (4**): 261-311.

28. Antunes RA, de Oliveira MCL, Ett G, Ett V., 2011. Carbon materials in composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells: a review of the main challenges to improve electrical performance. **Journal of Power Sources,196**: 2945-2961

29. Zhao Y.H, Zhang Y.F, Bai S.L and Yuan X.W., 2016. Carbon fibre/graphene foam/polymer composites with enhanced mechanical and thermal properties. **Composites Part B 94**: 102-8.

30. Nan Feng, Xiaodong Wang*, Dezhen Wu., 2013. Surface modification of recycled carbon fiber and its reinforcement effect on nylon 6 composites: Mechanical properties, morphology and crystallization behaviors. **Current Applied Physics 13**:2038-2050

31. Unal H., Sen U., Mimaroglu A., 2005." **Abrasive Wear Behavior of Polymeric Materials", Materials and Design,26**: 705–710.

32. Bijwe J., Indumathi1 J., Rajesh J.J., Fahim M., 2001. "Friction and Wear Behavior ofPolyetherimide Composites in Various Wear Modes", **Wear 249**, 715–726.

33. Indumathi, J. , Bijwe, J., Ghosh , A.K., Fahim, M. and Krishnaraj, N. (1999). Wear of Cryo-treated Engineering Polymers and Composites, **Wear**,**225-229 (1):** 343-353

34. Evans D.C., Lancester J.K., 1979."The Wear of Polymers, in: D. Scott (Ed**.)",** **Treatise on Materials Science and Technology,13**: 85–139.

35. Rajesh J.J., Bijwe J., Tewari U.S.,2002. **"**Abrasive Wear Performance of Various Polyamides", **Wear,252**: 769–776.

36. Rees, H. 1995. Mold Engineering. Hanser Publisers, 3-26.

37. Goodship, V. 2004. Arburg Practical Guide to Injection Moulding. Smithers Rapra, 1-65.

38. Gümüş, E., Temmuz, 2014, Poli(etilen-tereftalat) Polipropilen Karışımları ve Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s. 3-6 38.

39. Ötleş, S, 2003, Gıda endüstrisinde polipropilen kullanımı ve Polipropilenin kimyasal yapısı, Plastik & Ambalaj Teknolojisi, 70-73.

40. **https:// www.polimernedir.com.tr**. Polipropilen,(Eylül 2011.)

41. **https:// www.teknolojishow.com.tr,** Termoplastik Teknolojisi,(Eylül 2011.)

42. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Plastik ürünleri sanayii özel ihtisas komisyonu raporu, **http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/plastik/oik563.pdf,** (Mayıs 2014)

43. Öksüz, M., 1995 Polipropilenin enjeksiyonla Kalıplanmasında Kalıp Deformasyonun Giderilmesi, İstanbul.

44. Beşergil, B., Endüstri Polimerleri, **http://www.bayar.edu.tr/beşergil/endüstri pomerleri.pdf,** (Mayıs 2014)

45. Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkıran İ., Yağcı, M.A., Bilğiç, T., 1997. Pagev Yayınları **Polimerler, 2**:57-71

46. Birlik, M., 1994, Petrokimya özel ihtisas komisyonu raporu, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2367-ÖİK: 433, DPT Yayınları, Ankara,591-595

47. Mohanty A K, Misra M, Drzal L T, 'Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites' Taylor&Francis Group, 2005.

48. Auras R., Lim L. T., Selke S. E. M., Tsuji H., 2010. Poly(lactic acid) synthesis, structures, properties, processing, and applications, 1st ed., John Wiley & Sons Inc., USA.

49. Woo S. I., 1995. Polymerization of aqueous lactic acid to prepare high molecular weight poly(lactic acid) by chain-extending with hexamethylene diisocyanate. **Polymer Bulletin, 35**: 415-421.

50. Bajpai P K, Singh I, Madaan J, 2012. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 1-30.

51. Lipinsky E. S., R. G. Sinclair, 1986. Is Lactic Acid a Commodity Chemical. **Chemical. Engineering Progress, 82(8)**: 26-32.

52. Dorgan J.R., Lehermeier H., Mang M., 2000. Thermal And Rheological Properties of Commercial-Grade Poly(Lactic Acids)s. **The Journal of Polymers and the Environment, 8:** 1–9.

53. Xiao L., Wang B., Yang G., Gauthier M., , 2012. Biomedical science, engineering and technology, 1st ed., Intech, Manhattan.

54. Lunt J., 1998. Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers, **Polymer Degradation and Stability, 59, 1**: 145–152.

55. Penczek S., Duda A., Szymanski R., Biela T., 2000. What we have learned in general from cyclic esters polymerization, **Macromolecular Symposia, 153**, 1022-1360.

56. Gao Q. W., 2002. Direct synthesis with melt polycondensation and microstructure analysis of poly(L-lactic acid-co-glycolic acid), **Polymer Journal., 34:** 786-793.

57. Moon S. I., Lee C. W., 2000. Miyamoto M., Kimura Y., Melt polycondensation of L-lactic acid with Sn(II) catalysts activated by various proton acids: a direct manufacturing route to high molecular weight poly(L-lactic acid), **Journal of Polymer Science Polymer Chemical, 38**: 1673–1679.

58. Utracki, L. A., 1998, Commercial Polymer Blends, Chapman and Hall, London.1-50.

59. Paul, D.R., Newman, S., 1978a, Polymer Blends, **Volume1, Academic Press New York, 1-33**; 244-287.

60. Paul, D.R., Newman, S., 1978b, Polymer Blends, **Volume2, Academic Press New York, 129-144**; 319-336.

61. **Billmeyer, F.W.,**1984, "Textbook of Polymer Science", John Wiley and Sons. 76- 90.

62. Rajasekaran, J.J., Honeycutt, J. D., Curro, J.G., 1996, Theory for the Phase Behavior of Polyolefin Blends: Application to the Polyethylene Isotactic Polypropylene Blend, **Macromolecules 28**, 6843-6853.

63. Faravelli, T., Bozzano, G., Colombo, M., Ranzi, E., Dente, M. 2003, Kinetic modeling of the thermal degradation of polyethylene and polystyrene mixtures, **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,70**: 761- 777.

64. Koning, C., Duin, M.V., Pagnoulle, C., Jerome R., 1998, **Strategies for Compatibilization of Polymer Blends Progressive Polymer Science 23**: 707-757.

65. Bertin, S., Robin, J.J., 2002, Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends, **European Polymer Journal, 38**: 2255–2264.

66. Vasile, C., 2000, Handbook of Polyolefins second edition, Marcel Dekker New York 267-305.

67. Sharma, J., Clarke, N., 2004, Miscibility determination of a lower critical solution temperature polymer blend by Rheology, **Journal Physical Chemical B, 108 (35)**: 13220-13230.

68. Olabisi, O., Robeson, L. M. and Shaw, M. T., 1979, "Polymer-Polymer Miscibility", Academic Press, New York, 120-150.

69. Dumoulin, M. M., Farha, C., Utracki, L. A, 1984, Rheological and Mechanical Properties of Ternary Blends of Linear-Low-Density Polyethylene/ Polypropylene/Ethylene-propylene Block Polymers, **Polymer Engineering Science, 24**: 1319-1326.

70. ÇAKAR, F., , 2011, Çeşitli Polimer- Polimer Karışımlarının Ters Gaz Kromotografi, Viskozite ve İletkenlik Metotlarıyla Karakterizasyonu,Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s.16-17.

71. Oyama H. T.,2009. Super-tough poly(lactic acid) materials: reactive blending with ethylene copolymer**, Polymer, 50**: 747–751.

72. Keskkula H., Paul D. R., 1996.Polymer blends in kirk othmer encyclopedia of chemical technology, John Willey & Sons Inc.,

73. Nalin P.,Panuwat S., Duangduen A., Chiravoot P. 2014. Blend of polypropylene/poly(lactic acid) for medical packaging application: physicochemical, thermal, mechanical, and barrier properties. **Energy Procedia, 56**:201 – 210

74. Hassan Ebadi-D., Hossein Ali K., Mehdi B., Seyed Hassan J., 2015. On O2 gas permeability of PP/PLA/clay nanocomposites: A molecular dynamic simulation approach **Polymer Testing 45**: 139-151.

75. Sommai P.-A., Jutamas K.-S.-A., Weraporn P. -A., Rutchaneekorn W., Narongchai O-C., Sorapong P., and Hiroyuki H., 2016. Effect of compatibilizer on PLA/PP blend for injection molding, **Energy Procedia, 89**: 353 – 360

76. Durmuş, A., 2006, Poliolefin Nanokompozitlerin Hazırlanması, Doktora Tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimyasal Teknolojiler Programı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, s 14.

77. Ozkoc G., Bayram G., Bayramli E., 2007. Effects of olefin-based compatibilizers on the morphology, thermal and mechanical properties of ABS/Polyamide-6 blends, **Journal of Applied Polymer Science, 104**, 926–935.

78. Garlotta D., ., 2001. A literature review of poly(lactic acid), **Journal of. Polymer Environmet, 9**: 63 -84.

79. Ma P., Hristova-Bogaerds D. G., Goossens J. G. P., Spoelstra A. B., Zhang Y.,Lemstra P.J., 2012. Toughening of poly(lactic acid) by ethylene-co-vinyl acetatecopolymer with different vinyl acetate contents, **Europan Polymer Journal., 48**: 146–154.

80. Majumdar B., Keskkula H., Paul D. R.,1994. Morphology development in toughenedaliphatic polyamides, **Polymer, 35**: 1386.

81. Bero M., Czapla B., Dobrzynski P., Janeczek H., Kasperczyk J., 1999. Copolymerization of glycolide and ε-caprolactone, 2. random copolymerization in the presence of tin octoate, **Macromoleculer Chemistry Physic, 200**, 911-916.

82. Wu C., 2006 Transesterification, phase transition, rheology, and mechanical properties of blends of thermoplastic polyester and thermotropic polyester, PHD Thesis, The Graduate Faculty of The University of Akron,

83. Guo Q., Huang J., Chen T., Feng Z., 1990. Miscibility of poly(hydroxyether of phenolphthalein) with aromatic polyesters and polycarbonate, **Polymer Communications., 31**: 240-242.

84. Legros A., Carreau P. J., Favis B. D., Michel, A., 1994. Reactive Compatibilization of polyester/vinyl acetate copolymer blends: rheological, morphological and mechanical properties, **Polymer, 35**: 758-764.

85. Gravalos K. G., Kallitsis J. K., Kalfoglou N. K., 1995.In situ compatibilization of poly(ethylene terephthalate)/poly(ethylene-*co*-ethyl acrylate) blends**,** **Polymer,36**: 1393-1399.

86. Clayden J., Greeves N., Wothers P., Warren S., Organic chemistry, 2nd. ed., Oxford University Press, USA, 2012.

87. **http://ww.chemtube3d.com/Nucleophilic%20substitution%20at%20 the%20 carbonyl%20group%2020Acidcatalysed%20ester%20hydrolysis%20a nd%20transesterification.html**, (Aralık 2013).

88. Kaw A.K., ., 2006. "Mechanics of Composite Materials", 2nd Edition, CRS Press, Boca Raton, Fla.

89. Matthews F.L., Rowlings R.D., , 1994 "Composite Materials, Engineering &Science", Chapman & Hall, London, New York.

90. Chawla K., 1998. "Composite Materials Science and Engineering", 2nd Ed., Springer -Verlag, New York.

91. Daniel, I.M.,& Ishai,O.,1994. Engineering mechanics of composite materials(1sted.). Newyork: Oxford University Press.

92. Kollár, L. P.,& Springer,G. S., 2003. Mechanics of composite structures(1 st ed.).USA: Cambridge University Press.

93. **https://www.google.com.tr/search?q=kompozit+ve+takviye+eleman%C4 %B1&oq=kompozit+ve+takviye+eleman%C4%B1&aqs=chrome.. 69i57.1368j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8** (Şubat 2018)

94. Callister W., 1997. "Materials Science and Engineering: An Introduction", 4th Edition, John-Wiley & Sons, USA.

95. Fischer H., 2003.**Materials Science and Engineering, C 23**: 763–772

96. Sheikh-Ahmad, J. Y., 2009. Machining of polymer composites. Newyork : Springer Science, Business Media.

97. Campbell, F. C., 2003. Manufacturing processes for advanced composites. Oxford: Elsevier Science
98. Campbell, F.C. (2006). Manufacturing technology for aerospace structural materials (1 st ed.). The Netherlands: Elsevier Ltd.
99. Bal, H. (2009). Thermal and Mechanical Properties Of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 8-25.
100. Ersoy, H. Y. (2001). Kompozit Malzeme. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
101. Hoa, S. V. (2009). Principles of the Manufacturing of Composite Materials. DEStech Publications, Inc, 50-144.
102. Berthelot, J. M. 1999. Composite materials-Mechanical behavior and structuralanalysis. Newyork: Springer-Verlag.
103. SEVER, K.,2009. The Role of Interfaces on The Mechanical Performance of Fıber Reınforced Polymer Composites. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
104. **http://www.metaluzmani.com/kompozitler/** (Şubat 2018)
105. Erden S. and Yıldız H., 2007, Enhancement of interfacial strength in “carbon fiber/thermoplastic matrix” composites, 3rd International Technical Textiles Congress, Istanbul, 426-45.
106. Erden S. and Yıldız H., 2008, Karbon fiber hidrofilisitesinin plazma oksidasyonu ile arttırılması, 12th International Materials Symposium, Denizli, 693-701.
107. Mallick, P. K., 1988 ‘Fiber Reinforced Composites’, New York, Marcel Dekker, Inc.
108. Saçak, M.,2002. “Polimer Kimyası”, Gazi Kitabevi, Ankara, 85-89, 221-224, 275-297, 393-397.
109. Bauccio, M., (1987), ASM Engineered Materials Reference Book Second Edition, 67 -98.
110. Schwartz, M., (1996), Composite Materials. Prentic Hall, PTR New Jersey. 15-49
111. Havacılık Sanayında Kullanılan Plastık Matrıslı Kompozit Malzemeler. **.http://www.hho.edu.tr/huten/2003_2004%20SEMINER%20INTERNET/UGUR%20ER/UGUR%20ER%5BWORD%5D.pdf.** (2006)
112. Walsh P.J., 2001.**Carbon Fibers, ASM Handbook, 21**: 35-40

113. Hong S, Huong, Chun-Ta, Carvajal,D., (2001), Carbon Fiber Composites in TennisRackets. MSE 102 Research Cent.

114. H. Zou, S. Wu, and J. Shen, 2008. "Polymer-Grpahene Nanocomposites: Preparation, Characterization, Properties, and Applications", **Chemistry Revaluatio, vol. 108:**3893–957.

115. İNKAYA,S.,2011."Dünya'da ve Türkiye'de Kompozit Sektörü", **Mühendis ve Makina, Cilt:52**: 31-34

116. Hacıalioğlu,İ.H., 2013, Ekim. "Türkiye 10. Kalkınma Planı Projeksiyonunda Kompozit Sektörü Genel Değerlendirmesi", Türk Kompozit 2013-KompozitZirvesinde sunuldu, İstanbul, 2-14.

117. A. Turner-Jones, J.M. Aizlewood and D.R. Beckett, 1964, **Die Makromolekulare Chemie, 75**, 134.

118. Devaraju, A., Perumal, A.E., Alphonsa, J., Kailas, S.V. and Venugopal, S., 2012. "Sliding Wear Behavior of Plasma Nitrided Austenitic Stainless Steel Type AISI 316LN in the Temperature Range from 25 to 400 ◦C at 10^{-4} Bar". **Wear, 288**:17–26.

119. Liu, T., Wood, W., Li, B., Lively, B. and Zhong, W.-H., 2012. "Effect of Reinforcement on Wear Debris of Carbon Nanofiber/High Density Polyethylene Composites: Morphological Study and Quantitative Analysis". **Wear, 294–295**: 326–335.

120. Zhang, L.C., Zarudi, I. and Xiao, K.Q. (2006), "Novel Behaviour of Friction and Wear of Epoxy Composites Reinforced by Carbon Nanotubes". **Wear, 261**: 806–811.

121. G. Luo, W. Li, W. Liang, G. Liu, Y. Ma, Y. Niu, and G. Li, 2017. **Composite Part B – Engineering, 111**:190

122. J.P. Abdou, K.J. Reynolds, M.R. Pfau, J. van Staden, G.A. Braggin, N. Tajaddod, M. Minus, V. Reguero, J.J. Vilatela, and S. Zhang, 2016. **Polymer, 91**: 136

123. R. Han, M. Nie, and Q. Wang, J., Taiwan Institute, 2015. **Chemical Engineers, 52**: 158

124. J. Huang, C. Xu, D. Wu, and Q. Lv, 2017.**Carbohydrate Polymers, 167**: 105

125. C.I. Idumah, and A. Hassan, 2016.**Synthetic. Metals, 212**: 91

126. Bajsić, E.G., Šmit, I. and Leskovac, M., 2007. “Blends of Thermoplastic Polyurethane and Polypropylene.I. Mechanical and Phase Behavior”.**Journal of Applied Polymer Science, 104**: 3980–3985.

127. Jia, S., Zhu, Y., Wang, Z., Chen, L. and Fu, L. (2015), “Influences of PP-G-MA on the Surface Free Energy, Morphologies and Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane / Polypropylene Blends”. **Journal of Polymer Research, 22**: 1–10.

128. Lu, Q.-W. and Macosko, CW., 2004. “Comparing the Compatibility of Various Functionalized Polypropylenes with Thermoplastic Polyurethane (TPU)”.**Polymer 45**:1981–1991.

129. G'sell, C. and Jonas, J.J. (1979), “Determination of the Plastic Behaviour of Solid Polymers at Constant True Strain Rate”. **Jornual of. Material Science 14**: 583–591

130. Ajili, S.H., Ebrahimi, N.G. and Khorasani, M.T. (2003), “Study on Thermoplastic Polyurethane/Polypropylene (TPU/PP) Blend as a Blood Bag Material”. **Journal of.Applied Polymer. Science 89**:2496–2501.

131. Savas, L.A., Tayfun, U. and Dogan, M. (2016), “The Use of Polyethylene Copolymers as Compatibilizers in Carbon Fiber Reinforced High Density Polyethylene Composites”. **Composite Part B-Engineering, 99** : 188–195.

132. Bajsić, E.G. and Rek, V., 2004, “Dynamic Mechanical Study of Thermoplastic Polyurethane/Polypropylene Blends”. In: Agarwal S, Greiner A, editors. e-Polymers, Germany, p. 837–846, ISSN 1618-7229.

133. Myshkin, N.K., Petrokovets, M.I. and Kovalev, A.V. (2005), “Tribology of Polymers: Adhesion, Friction, Wear, and Mass-transfer”. **Tribology International, 38**: 910–921.

134. Mathew, M.T., Novo, J., Rocha, L.A., Covas, J.A. and Gomes, J.R. (2010), “Tribological, Rheological and Mechanical Characterization of Polymer Blends for Ropes and Nets”. **Tribology International, 43**: 1400–1409.

135. Da Silva, R.C.L., da Silva, C.H. and Medeiros, J.T.N. (2007), “Is There Delamination Wear in Polyurethane”. **Wear, 263**: 974–983.

136. A. Shalwan, and B.F. Yousif, 2013. **Material &Design, 48**:14

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hamit ÜVEZ
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 23.02.1992- Nevşehir
Medeni Durum: Bekar
e-mail: hamituvez@gmail.com
Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversite, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	2018
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016-2018	Payza Döküm	Üretim Mühendisi
2015-2016	Temapol Polimer Plastik A.Ş	Ar-Ge Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce