



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ELYAF TAKVİYELİ POLİKETON VE POLİKETON/POLİAMİD 6 KOMPOZİT
ÜRETİMİ**

DOKTORA TEZİ

İREM NEHİR UYSAL

DANIŞMAN: PROF. DR. MEHMET ATILLA TAŞDELEN

**YALOVA
MAYIS 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM/ANASANAT DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

ELYAF TAKVİYELİ POLİKETON VE POLİKETON/POLİAMİD 6 KOMPOZİT
ÜRETİMİ

DOKTORA TEZİ

İREM NEHİR UYSAL
185301002

DANIŞMAN: PROF. DR. MEHMET ATILLA TAŞDELEN

YALOVA
MAYIS 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “ELYAF TAKVİYELİ POLİKETON VE POLİKETON/POLİAMİD 6 KOMPOZİT ÜRETİMİ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İrem Nehir UYSAL



ÖNSÖZ

Doktora eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik ve meslek hayatım boyunca bana her zaman destek olan ve vizyonuyl doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Prof. Dr. MEHMET ATİLLA TAŞDELEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için sevgili babam ÖZCAN YILMAZ ve annem MÜKERREM YILMAZ'a teşekkür ederim.

Birlikte çalışma fırsatı bulduğum, İSMAİL AKKUŞ, HÜSEYİN BİRCAN, SERTCAN URCAN ve MELİH YAZICI'ya doktora çalışmalarım konusunda sonsuz destekleri için teşekkür ederim.

Tüm bu uzun süreçte manevi desteği için hayat arkadaşım NACİ UYSAL'a teşekkür ederim.

Son olarak doktora eğitimim sırasında dünyaya gelen sevgili oğlum CAN URAS UYSAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (Proje No: 2022/DR/0003) teşekkür ederim.

Mayıs – 2024

İrem Nehir UYSAL



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK BİLGİ.....	5
2.1. Alifatik Poliketon	5
2.1.1. Karbon monoksit ile etilenin kopolimerizasyonu	6
2.1.2. Kopolimerizasyon mekanizması.....	7
2.2. Alifatik Poliketonun Özellikleri ve Uygulamaları.....	11
2.2.1. Poliketondan elde edilen lifler	12
2.2.2. Alev geciktirici katkıları içeren alifatik poliketonlar.....	13
2.2.3. Alifatik poliketon ile elde edilen karışımlar ve kompozitler	13
2.2.4. Dolgulu ve takviyeli alifatik poliketonlar	14
2.2.5. Alifatik poliketonun endüstriyel üretimi.....	15
2.3. Poliketon / Poliamid 6 Karışımlar	16
2.4. Polimer Karışımlarında Kullanılan Katkı Malzemeleri.....	20
2.4.1. Kaydırıcılar	21
2.4.2. Cam elyaf.....	21
2.4.3. Antioksidanlar.....	22
2.4.4. Mineral dolguları	23
2.4.5. Alev geciktirici katkıları	24
2.5. Polimer İçin Kullanılan Test Metodları.....	24
2.5.1. Mekanik testler	24
2.5.2. Termal testler	29
2.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	34
2.5.4. Triboloji testi.....	34
3. DENEYSEL KISIM.....	41
3.1. Kullanılan Malzemeler	41
3.2. Karışımların Hazırlanması.....	42

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
3.1. Mekanik Sonuçlar.....	47
3.2. Görüntüleme Sonuçları.....	50
3.3. Termal Analiz Sonuçları.....	53
3.4. Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT) ve Vıcat Yumuşama Sıcaklığı Ölçümü.....	55
3.5. Triboloji Test Sonuçları.....	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	67





SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

A	: Numunenin çentik bölgesinin kesit alanı
C _p	: Isı Kapasitesi
D	: Kayma mesafesi
d	: Denatüre
F	: Uygulanan kuvvet
F _n	: Normal kuvvet
F _r	: Sürtünme kuvveti
T (K)	: Sıcaklık (Kelvin)
T _c	: Kristalizasyon zirvesi
T _g	: Camsı geçiş sıcaklığı
T _m	: Erime noktası
q	: Isı akışı
q _r	: Referans hücre
W	: Spesifik aşınma oranı
ΔV	: Malzemenin hacim kaybı
ΔT	: Sıcaklık farkı
ΔH _d	: Entalpideki değişim
ΔC _{p,d}	: C _p 'deki değişim
μ	: Sürtünme katsayısı
α	: Düşme açısı
β	: Yükselme açısı

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
ASTM	: Amerikan Malzeme ve Testler Derneği
CE	: Karbon elyaf
C1	: Etilen terpolimeri
C2	: Maleik anhidrit aşıllı polietilen
CO	: Karbon monoksit
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
ECO	: Epiklorohidrin kauçuk
GO	: Grafen oksit
GF	: Cam elyaf
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MAPP	: Maleik anhidrit-propilen kopolimer
MFI	: Eriyik akış indeksi
PA-6	: Poliamid 6
PA-12	: Poliamid 12
PET	: Poli(etilen teraftalat)
PK	: Poliketon
PK-E	: CO-etilen
PK-EP	: CO-etilen-propilen
PK-PA-6	: Poliamid-Poliamid 6 karışım
POKE	: Poli (etilen keton)

POM	: Polioksimetilen
PPDA	: Polioksipropilendiamin
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVC	: Polivinil Klorür
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TFA	: Trifloroasetat anyon
UV	: Ultraviyole



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Ticari polimerlerin eğilme dayanımı ve eğilme modülü.....	27
Tablo 2.2. Ticari polimerlerin darbe dayanımı testi (Izod) [76]	28
Tablo 2.3. Ticari polimerlerin yük altında eğilme sıcaklıkları (HDT).....	33
Tablo 3.1. Alifatik PK ve PA-6'nun fiziksel özellikleri	41
Tablo 3.2. Elyaf takviyeli PK kompozitlerin kodları ve formülasyon detayları ^a	42
Tablo 3.3. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA 6 blend kompozitlerin kodları ve formülasyon detayları ^a	43
Tablo 3.4. Ekstrüzyon sıcaklıkları.....	43
Tablo 3.5. Ekstrüzyon proses parametreleri	44
Tablo 3.6. Enjeksiyon proses parametreleri	44
Tablo 4.1. Ağırlıkça %30 elyaf takviyeli PK kompozitlerin mekanik özellikleri.....	48
Tablo 4.2. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 kompozitlerin mekanik özellikleri.....	49
Tablo 4.3. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 kompozitlerin termal ve triboloji özellikleri.....	55
Tablo 4.4. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 kompozitlerin HDT ve Vicat yumuşama sıcaklıkları	55



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Karbon monoksit ve α -olefinlerin kopolimerizasyonu	1
Şekil 2.1. CO-olefin kopolimerizasyonu (CO-etilen, PK-E ve CO-etilen-propilen, PK-EP) ile elde edilen poliketonların gösterimi	6
Şekil 2.2. Paladyum-karbometoksi türlerinin oluşumu için olası metodlar	7
Şekil 2.3. Keton uç gruplarının oluşumu.....	7
Şekil 2.4. Mükemmel dönüşümlü CO ve etilen birimleri dizisindeki olası hatalar	8
Şekil 2.5. CO-etilen kopolimerizasyonunda kuyruk ısıırma etkisi	10
Şekil 2.6. Alkoliz, protonoliz ve β -hidrojen eliminasyonu.....	11
Şekil 2.7. PK üretimi için toplu prosesin şematik gösterimi[17]	15
Şekil 2.8. Polimerlerde gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi[73].....	25
Şekil 3.1. Çekme testi için hazırlanan numune ebatları	45
Şekil 4.1. PK/GF30-C1 numunesinin 100 μ m (a) ve 40 μ m (b) SEM görüntüleri, PK/GF30-C2 numunesinin 100 μ m (c) ve 40 μ m (d) SEM görüntüleri	51
Şekil 4.2. PK-15/PA6-50/GF30-C1 numunesinin 100 μ m (a) ve 40 μ m (b) SEM görüntüleri, PK-25/PA6-40/GF30-C1 numunesinin 100 μ m (c) ve 40 μ m (d) SEM görüntüleri	52
Şekil 4.3. PK-15/PA6-50/GF30-C2 numunesinin 100 μ m (a) ve 40 μ m (b) SEM görüntüleri, PK-25/PA6-40/GF30-C2 numunesinin 100 μ m (c) ve 40 μ m (d) SEM görüntüleri	53
Şekil 4.4. PA-6/GF30, PK-15/PA6-50/ GF30-C1, PK-25/PA6-40/ GF30-C1, PK-15/PA6-50/ GF30-C2, ve PK-25/PA6-40/ GF30-C2 örneklerinin DSC termogramları	54
Şekil 4.5. PA-6/GF30, PK/GF30-C1, PK/GF30-C2, PK-15/PA6-50/ GF30-C1, PK-25/PA6-40/ GF30- C1, PK-15/PA6-50/ GF30-C2 ve PK-25/PA6-40/ GF30-C2 için kayma mesafesinin bir fonksiyonu olarak sürtünme katsayısı karşılaştırmaları	57



ELYAF TAKVİYELİ POLİKETON VE POLİKETON/POLİAMİD 6 KOMPOZİT ÜRETİMİ

ÖZET

Bu tezde, %30 cam elyaf takviyeli poliketon (PK) ve poliketon/poliamid 6 (PK-PA6) karışımları, çift vidalı ekstrüder kullanılarak homojen bir şekilde hazırlanmıştır. Karışımların oluşturulmasında iki farklı MFI (Eriyik akış indeksi) değerine sahip PK terpolimeri ve bir PA-6 kullanılmıştır. PK ve PK/PA-6 kompozitlerinin hazırlanmasında, PK ve PA-6 oranına göre iki farklı cam elyaf %30 oranında kullanılmıştır. 534A tipi elyaf, polietilen tereftalat ve polibütilen tereftalat ile uyumlu olan silan bazlı boyutlandırıcı ile işlenmiştir. 568H tipi cam elyaf ise, PA-6 ve PA-66 ile uyumlu olan silan bazlı boyutlandırıcı ile işlenmiştir. Bu işlem, elyaf-matris arayüzünde uyumluluğu artırmak ve kompozit malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, uyumlaştırıcı olarak etilen terpolimeri (C1) ve maleik anhidrit aşıllı polietilen (C2) kullanılmıştır. Kompozitlerin işlenebilirliğini artırmak ve sürtünme özelliklerini iyileştirmek için kaydırıcı olarak çinko stearat kullanılmıştır. Bu katkı maddenin, kompozit malzemelerin üretim sürecindeki performansını arttırdığı gözlemlenmiştir.

İki uyumlaştırıcının, etilen terpolimer (C1) ve maleik anhidrit aşıllı polietilenin (C2), %30 cam elyafı ile takviye edilmiş poliketon (PK) ve poliketon/poliamid 6 (PK/PA-6) karışım kompozitlerinin mekanik, termal ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. %30 cam elyaf ile takviye edilmiş PK kompozitlerinde, mekanik test sonuçları, C2'nin cam elyaflar ile PK matrisi arasındaki uyumluluğu artırarak darbe dayanımını (%48,8'den fazla) ve kopma uzamasını (%13,3'ten fazla) önemli ölçüde artırdığını göstermiş, bu da maleik anhidrit fonksiyonelliğine atfedilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 karışım kompozitlerinin çekme ve eğilme özellikleri, onun bileşenleri olan saf PK/GF30 ve PA-6/GF30 kompozitlerinin değerleri arasında belirlenmiştir. Özellikle, bu karışım kompozitlerinin saf PK/GF30 ve PA-6/GF30 kompozitlerinden daha yüksek darbe dayanımı (19,6 kJ/m²) ve kopma uzaması (4,86%) değerleri sergilediği görülmüştür. SEM görüntüleri, C2'nin cam elyafları ile matris arasında daha iyi bir arayüz oluşturduğunu ve daha uyumlu bir yapıya neden olduğunu öne sürmektedir. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi, iki farklı cam geçiş sıcaklığı vermektedir, bu da iki fazın varlığını ve iki polimerin uyumsuzluğunu yansıtmaktadır. Tribolojik çalışmalar, PK/PA-6/GF30 kompozitlerinin sürtünme katsayılarının ve özel aşınma hızlarının PK segmentinin artmasıyla iyileştirdiğini göstermektedir. PK-25/PA6-50/GF30-C2 örneği, 0,341 μ sürtünme katsayısı ve 1,15 10⁻⁶ mm³/Nm aşınma oranı sergilemiştir. Genel olarak, C2, C1'den daha uygun bir uyumlaştırıcı olduğunu kanıtlamış ve gelişmiş özelliklere sahip yüksek performanslı malzemeleri şekillendirmek için uygun sonuçlar sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Uyumlaştırıcı, Kompozit, Cam elyaf, Poliamid 6, Poliketon



FIBER REINFORCED POLYKETONE AND POLYKETONE/POLYAMIDE 6 COMPOSITE PRODUCTION

ABSTRACT

In this thesis, 30% glass fiber reinforced polyketone (PK) and polyketone/polyamide 6 (PK-PA6) blends were prepared homogeneously using a twin screw extruder. PK terpolymer with two different MFI (Melt flow index) values and a PA-6 were used in the blends. The PK and PK/PA-6 composites were prepared with two types of E-glass fibers added at an amount of 30 wt %. The 534A-type fibers were treated with a silane-based sizing, compatible with poly(ethylene terephthalate) and poly(butylene terephthalate) and the 568H-type fibers (were treated with a silane-based sizing, compatible with PA-6 and PA-66. This process was preferred to increase compatibility at the fiber-matrix interface and improve the mechanical properties of the composite material.

The ethylene terpolymer (C1) and maleic anhydride grafted polyethylene (C2) were used as compatibilizers, while zinc stearate was used as a lubricant.

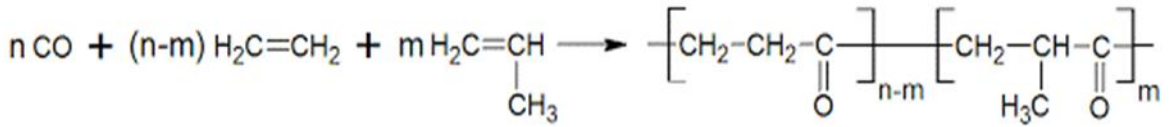
The impact of two compatibilizers, ethylene terpolymer (C1) and maleic anhydride grafted polyethylene (C2), on the mechanical, thermal, and tribological properties of 30% glass-fiber-reinforced polyketone (PK) and polyketone/polyamide 6 (PK/PA-6) blend composites was investigated. In the case of 30% glass-fiber reinforced PK composites, the mechanical test results showed that C2 significantly improves the impact resistance (over 48.8%) and elongation at break (over 13.3%) values due to the enhanced compatibility between glass fibers and the PK matrix, attributed to the maleic anhydride functionality. The tensile and flexural properties of the 30% glass-fiber reinforced PK/PA-6 blend composites were determined to be between the values of pure PK/GF30 and PA-6/GF30 composites, which were its constituent components. Notably, these blend composites displayed higher impact resistance (19.6 kJ/m²) and elongation at break (4.86%) values than the pure PK/GF30 and PA-6/GF30 composites. The SEM images suggested that C2 creates a better interface between glass fibers and the matrix, resulting in a more cohesive structure. Differential scanning calorimeter analysis revealed two distinct glass transition temperatures, indicating the existence of two phases, and reflecting the immiscibility of the two polymers. Tribological studies showed that the friction coefficients and specific wear rates of PK/PA-6/GF30 composites were improved by increasing PK segment. The PK-25/PA6-50/GF30-C2 sample exhibited a friction coefficient of 0.341 μ and a specific wear rate of 1.15×10^{-6} mm³/Nm. Overall, the C2 proved to be a more suitable compatibilizer than C1, offering valuable insights for tailoring high-performance materials with enhanced properties.

Keywords: Compatibilizer, Composite, Glass fiber, Polyamide 6, Polyketone



1. GİRİŞ

Karbon monoksitten (CO) üretilen yeni bir çevre dostu mühendislik plastiği olan Poliketon (PK), paketlenme, elyaflar ve teknik ürünler dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Olağanüstü mekanik özellikler dengesi ve yüksek kimyasal direnç nedeniyle, PK, yüksek performanslı ve çok işlevli polimer malzemeler için en umut verici adaylardan biri olma potansiyeline sahiptir. Diğer polimer malzemelerin, güçlendirici liflerin veya mikro ve / veya nano dolguların PK matrisine eklenmesi, belirli özelliklere ve özelliklerde tatmin edici iyileştirmelere sahip yeni PK tabanlı malzemeler elde etmek için güçlü bir yöntemdir [1]. Alifatik Poliketon (PK), olağanüstü yapısı sayesinde yüksek performanslı ve çok işlevli polimer malzemeler için yeni, çevre dostu ve gelecek vaat eden bir mühendislik plastiğidir [2]. İyi kimyasal direnç, mükemmel aşınma ve sürtünme özellikleri, mekanik özellikler ve yüksek bariyer özelliği dahil birçok mühendislik polimeri özelliğine sahip PK, çekiciliği nedeniyle şu anda endüstriyel alanlardaki tekstil elyafları, ambalaj filmleri ve çeşitli kalıplama malzemeleri gibi uygulamalarda büyük ilgi görmektedir.



Şekil 1.1. Karbon monoksit ve α -olefinlerin kopolimerizasyonu

PK, Şekil 1.1’de gösterilen bir polimerizasyon reaksiyonu yoluyla basit ve oldukça ucuz başlangıç malzemelerinden α -olefinlerden (özellikle etilen) ve havayı kirleten karbon monoksitten (CO) elde edilir [3]. Termonomerin uzunluğunun arttırılmasıyla, PK’un çentikli darbe mukavemeti, şekilsiz fazın fazla esnekliği sayesinde, modül ve akma mukavemetini önemli ölçüde iyileştirilir [4]. Poli (etilen keton) (POKE) olarak da bilinen rastgele PK üretmek için serbest radikal kopolimerizasyonu yoluyla CO’nun etilen ile ilk kopolimerizasyonu, 1940’larda Ballauf’un öncü olduğu çalışmada bildirildi [5]. PK’lar için katalizör gelişiminin tarihi, Sommazzi ve diğerleri tarafından yapılan incelemede iyi bir şekilde belgelenmiştir [6]. Olefinlerin CO ile kopolimerizasyonu esas olarak γ -ışını ve geçiş metali kompleksleri tarafından indüklenen serbest radikaller tarafından başlatılır ve karbon monoksit ve olefinlerin rastgele veya mükemmel şekilde değişen kopolimerlerini ortaya çıkarır. Reaksiyon mekanizmalarının detayları, daha önce Bianchini ve ark. tarafından yapılan incelemede iyi tartışılmıştır [7]. PK’un ticari üretimi ilk olarak 1980’lerde Shell tarafından gerçekleştirildi ve bu da yeni bir kimyasal termoplastik polimer ailesinin gelişimini beraberinde getirdi [8].

Polimer karışım yoluyla iyileştirilmiş performansa sahip yeni malzemelerin geliştirilmesinde, uygun karışım bileşen seçimleri, ara yüzey etkileşimlerinin ve işlem sırasında geliştirilen morfolojilerin uygun şekilde kontrol edilmesi, birlikte karıştırılan fazlar arasındaki sinerjik etkileşimlerden ve son performansından sorumludur. Yarı kristalin polimerlerin çentiksiz numuneleri genellikle sünek bir şekilde kırılır. Bununla birlikte, çentikler veya kusurlarla, yarı kristalin polimerler genellikle gevrek kırılma gösterir. PK'un harmanlama modifikasyonu üzerine yapılan en büyük araştırma, PK'un sertleştirilmesine odaklanmıştır [9]. Alifatik poliketonlar, inorganik dolgu maddeleri, takviye edici maddeler ve yağlayıcılar ile birleştirilebilir [10]. Bileşikler genellikle, 260 ° C tipik erime sıcaklığı ile birlikte dönen çift vidalı bir ekstrüder kullanılarak üretilir. Shell Chemicals bünyesinde bir dizi dolgu maddesi değerlendirilmiştir. Bunlar arasında kırılmış cam elyaflar, mika, volastonit (bir kalsiyum silikat minerali) ve kalsiyum karbonat (takviye edici olmayan mineral dolgu) bulunur. Her durumda, dolgunun takviye etme kabiliyetine karşılık gelen seviyeler, bükülme modülü, bükülme mukavemeti ve ısıyla bozulma sıcaklığındaki gelişmeler bulunur. Bu minerallerin arasında en iyi gelişmeyi cam elyafı vermiş, sonrasında mika, volastonit ve kalsiyum karbonat gelişim göstermiştir. Çentikli Izod değerleri, mika dolgulu PK'un en düşük darbe değerlerini sergilemesi dışında, bu aynı sıralama sırasını takip etmektedir. Alifatik poliketonların mükemmel aşınma direnci göstermesi ilginç bir özelliktir. Endüstriyel deneyimlerde, dişli takımlar gibi tribolojik düzenlemelerin, bileşenlerden en az birinin alifatik poliketonlardan yapılması durumunda daha çekici hale gelebileceğini göstermiştir [11].

Yağlamanın istenmediği plastik düzenlemelerde, alifatik poliketonlarla yapılan düzenlemeler düşük aşınma ve düşük gürültü oluşturur. Benzer polimer çiftlerindeki alifatik poliketonların aşınma özellikleri, poliamid- poliamid veya poliasetal-poliasetal düzenlemelerle elde edilenden çok daha düşüktür ve bu, özel olarak yağlanmış PTFE ile modifiye edilmiş malzemelerle karşılaştırmalar yapıldığında bile geçerlidir. Alifatik poliketonlar ayrıca anizotropik bir malzeme olarak yüksek potansiyel sunar [12]. Elde edilen maksimum streç oranı alifatik poliketonlar için 26: 1'dir. Bu, en büyük çözülme derecesine izin veren eğirme tekniği olan çözelti eğirme yoluyla üretilen lifler için belirlenmiştir. Alifatik poliketonların maksimum gerilme oranı poliamidler ve polyesterlerinkinden daha yüksek olmasına rağmen (sırasıyla 6: 1 ve 10: 1) polipropilen ve polietilenden daha düşüktür (sırasıyla 48: 1 ve 300: 1) [13]. Bu, germe kolaylığını ve poliketonların poliamidler ve polyesterlerden daha yönlendirilmiş bir moleküler yapı elde etmedeki yeteneğini gösterir. Karbonil gruplarının varlığından ötürü, ikincil moleküler etkileşimlerin seviyesi, poliolefinlerden daha güçlüdür ve yönlendirilmiş bir

moleküler yapıya sahiptir. Kullanım da muhafaza edilecek yapı, poliolefinlerin zayıf sünme direncinin gösterdiği gibi, poliolefinler için bir zayıflıktır [14].

Poliketonların çevre dostu ve mükemmel fiziksel özelliklerine rağmen, düşük elastik modüle ve düşük termal iletkenliğe sahip olması önemli dezavajları arasındadır. Bu sorunların üstesinden gelmek ve mevcut özelliklerini geliştirmek için, organokil gibi nanofiller ile gömülü Poliketon nanokompozitler, tarafından eriyik birleştirme yöntemi ile hazırlanan çalışmalar mevcuttur. İki tür organokil düşünülmüştür ve ısı stabilizatörlü organokiller PK matriksine dahil edildiğinde oldukça interkalasyonlu bir morfoloji gözlenmiştir. Daha yüksek interkalant moleküllerin PK içinde tekdüze bir organokil dağılımına yol açtığı ve kompozitlerin mekanik özelliklerinde kayda değer bir iyileşmeye yol açtığı doğrulanmıştır [15].





2. TEORİK BİLGİ

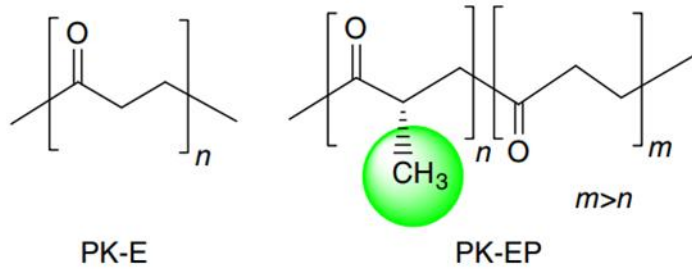
2.1. Alifatik Poliketon

Alifatik poliketonlar için geçmiş çalışmalar incelendiğinde, etilenin karbon monoksit ile ilk serbest radikal kopolimerizasyonu ile elde edilmiş bu da rastgele polimerlere yol açmıştır. 1941'de Farben fabriken Bayer ve 1950'de DuPont[16] tarafından patenti alınan bu reaksiyon, zorlayıcı reaksiyon koşullarında, 400 bar ve 250 °C'de gerçekleştirilmiştir [17]. 1951'de BASF şirketi tarafından patenti alınan ilk mükemmel dönüşüm sağlayan CO-etilen poliketon, katalizör olarak $K_2Ni(CN)_4$ kullanılması ile gerçekleşmiştir [18]. Polimer, 100–450 bar'da ve 100–250 °C'de elde edilen düşük erime noktalı oligomerlerin bir karışımından oluşmaktadır.

Shell, BP, BASF, Eastman Kodak, Akzo Nobel, General Electric, Fuji-Xerox, EniChem gibi şirketler ve birkaç akademik araştırma grubu, o tarihten bu yana poliketon (PK) üretimi için sentetik prosedürlerde sürekli iyileştirmeler gerçekleştirmiştir. Bu önemli çalışmalardan biri, basit reaksiyon koşullarında dikatyonik paladyum(II) komplekslerinin (Şekil 1.2'de PK-E) aktivitesi üzerinde mükemmel bir şekilde değişen alifatik PK'nin (Şekil 1.2'deki PK-EP) sentezini mümkün kılan bir çalışmadır (20–60 bar ve 25–135°C aralığında).

Zayıf koordinasyonlu anyonları içeren Pd(II)-bidentat fosfin komplekslerinin kullanımı, metanol gibi çözücülerde etilen-karbon monoksit kopolimerizasyonunu ticari olarak uygulanabilir hale getirerek yüksek kopolimerizasyon hızlarına yol açmıştır. Ancak, bu süreçte elde edilen PK-E polimerlerinin işlenebilirliği, yüksek sıcaklıklarda kararsızlık göstermesi nedeniyle sınırlı kalmış ve bu durum, erime sıcaklıklarının (yaklaşık 268°C) biraz üzerinde hızlı bir bozulmaya neden olmuştur [2]. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla, polimer zincirlerine propilen dahil edilerek işleme sıcaklığının sınırı düşürülmüştür (Şekil 1'de PK-EP) [2, 3, 7, 19-21].

1996'da Shell Chemicals, İngiltere'de Carrington'da 7000 ton/yıl kapasiteli dünyanın ilk ticari alternatif poliketon PK-EP (ticari adı Carilon™) tesisini inşa etti [22]. Aynı yıl PK-EP de BP (British Petroleum) şirketi tarafından pilot tesis ölçeğinde üretildi ve Ketonex™ markasıyla ticarileştirildi.



Şekil 2.1. CO-olefin kopolimerizasyonu (CO-etilen, PK-E ve CO-etilen-propilen, PK-EP) ile elde edilen poliketonların gösterimi

CarilonTM ve KetonexTM, otomobillerden elektrik/elektronik uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede kullanılarak ticari pazarda büyük ilgi görmüştür. 2000'li yılların başında, Shell Oil Company, Carilite Resin ticari adı altında poliketon bazlı bir ahşap yapıştırıcıyı tanıtarak dikkat çekmiştir [23]. Bu poliketonların, şimdiye kadar geliştirilen diğer tüm yeni malzemelerden daha üstün özelliklere sahip olduğu düşünülse de, ticari başarıları değişen iş stratejileri nedeniyle, her iki şirket olan BP ve Shell tarafından 2000–2001 yıllarında bu mühendislik termoplastiğine yönelik pazar geliştirme çabalarından vazgeçilmiştir. Ancak, sera gazlarını (bir komonomer olarak CO) azaltma amacı güden endüstrilerin sürekli ilerlemelerle desteklediği sentezlerindeki artan ilgi, poliketonlara karşı yeni bir ticari ilgiyi son zamanlarda ortaya çıkarmıştır [22, 23].

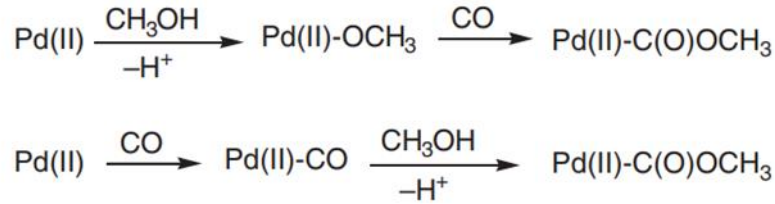
2011 yılında, Hyosung Corporation ilk pilot tesisini ve ardından 2015 yılının ortalarında Ulsan, Kore'de 50 kt/yıl kapasiteli düzenli bir üretim hattını kurdu [16]. Ticari isimler arasında Carilon, Karilon, Akrotek, Schulaketon ve Kostrate Ketone olarak belirlendi.

2.1.1. Karbon monoksit ile etilenin kopolimerizasyonu

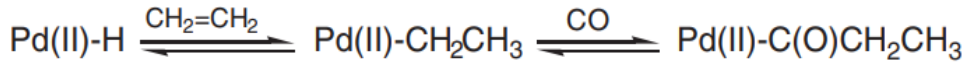
Karbonmonoksit ve etilenden elde edilen PK-E (alt-poli-1-oksotrimetilen), açık ara en çok çalışılan poliketon bileşimidir. Karşılık gelen poliolefinlerle karşılaştırıldığında, PK-E aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- i. Hammadde malzemeleri düşük maliyetlidir ve kolaylıkla temin edilebilir [1, 2, 6, 18, 24].
- ii. PK-E'nin yüksek kimyasal, fiziksel ve mühendislik özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir [2].
- iii. Karbonili işlevselleştirerek PK-E'den yeni malzemeler türetilebilir.
- iv. Yapıdaki reaktif karbonil grupları, foto ve biyobozunur özellik sağlar [2].

Poliketon üretiminde reaksiyon hızı ve ortalama moleküler ağırlık, reaksiyon koşullarına, katalizör tipine, şelatör ligandlara, karşı anyonlara ve çözücüye bağlıdır. Bu nedenle, elde edilen polimerler, düşük moleküler ağırlığa sahip amorf sıvılardan yüksek moleküler ağırlığa sahip kristal katılara kadar değişkenlik gösterebilir (Şekil 2.2. ve 2.3.).



Şekil 2.2. Paladyum-karbometoksi türlerinin oluşumu için olası metodlar



Şekil 2.3. Keton uç gruplarının oluşumu

$\text{Pd(L)}\text{X}_2$ tipi paladyum(II) kompleksleri (L iki dişli bir liganddır ve X zayıf, koordine olmayan veya koordine edici bir anyondur), etilenin karbon monoksit ile kopolimerizasyonu için kullanılan en yaygın ve aktif katalizörlerdir.

2.1.2. Kopolimerizasyon mekanizması

Etilen ve karbon monoksitin değişen kopolimerizasyonu için reaksiyon mekanizması (i) başlama, (ii) çoğalma ve (iii) sonlanma üç önemli adımda incelenebilir;

(i) Başlama

Metanolde elde edilen oligomerlerin son grup analizi, ester ($-\text{COOCH}_3$) ve keton ($-\text{COCH}_2\text{CH}_3$) fonksiyonlarının varlığını açıkça göstermektedir. Reaksiyonun başlangıcında, diester ve diketon bileşikleri ile keto-ester oluşumu sağlanmaktadır [8, 25].

Son grup analizine göre, metanoldeki kopolimerizasyon mekanizması, başlama ve zincir sonlandırma adımlarında küçük farklılıklar içeren iki büyüme döngüsünün bir kombinasyonu ile en iyi şekilde açıklanabilir [2, 3, 7, 19, 20, 25, 26].

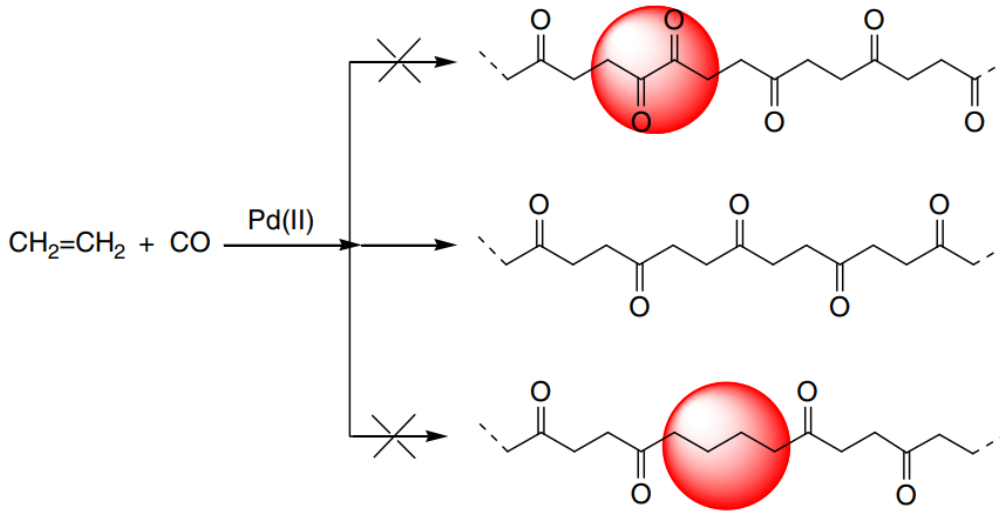
İlk başlatma yolu, ester uç gruplarını oluşturan bir paladyum karbometoksi türü (1,2,8–10,19) tarafından başlatılır. Paladyum karbometoksi türleri, metanolün koordineli CO'ya doğrudan

saldırısıyla veya CO'nun bir paladyum metoksit bağına eklenmesiyle oluşturulabilir (Şema 1) [2, 3, 7, 23].

İkinci başlatma yolu, keton uç grubunun[7, 8] (Şekil 2.4.) paladyum(II) hidrit türüne etilenin eklenmesiyle başlar. Paladyum hidrit bağına etilen eklenmesi ve elde edilen etil kompleksine CO eklenmesi hem hızlı hem de geri dönüşüme olanak sağlar.

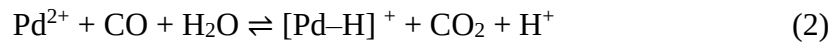
Paladyum hidrit başlatıcılar altı farklı şekilde üretilabilir [3].

1. Formaldehit oluşumu ve Pd(II)-OCH₃'ten eliminasyonu ile β-hidrojen oluşumu

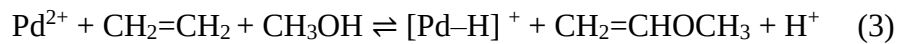


Şekil 2.4. Mükemmel dönüşümlü CO ve etilen birimleri dizisindeki olası hatalar

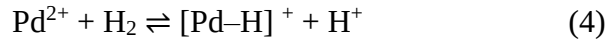
2. Karbondioksit oluşturan su gaz değişim (water–gas shift) reaksiyonu yoluyla,



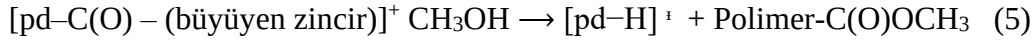
3. Etilen oluşturan metoksietilenin Wacker tipi oksidasyonu ile,



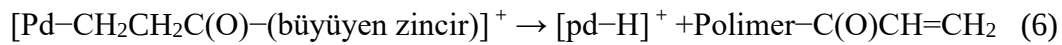
4.Hidrojen aktivasyonu ile (yalnızca reaksiyon ortamında eklenmiş veya oluşturulmuşsa)



5.Alkoliz yoluyla



6. Büyüyen bir polimer zincirinden β -hidrojen eliminasyonu ile (genellikle etilen ile değil, daha yüksek olefinlerle gözlenir)



(ii) Çoğalma

Poliketon yapısı, büyüyen polimer zincirlerine değişen karbon monoksit ve etilen katılımı yoluyla gerçekleşir. Dizinin, termodinamik ve kinetik nedenlerin bir kombinasyonu ile oluşur.

Kopolimerizasyonda rol oynayan paladyum katalizörlerinin, etileni bütana[7] dimerleme ve hatta yüksek oranda polimerleme yeteneği olduğu belirlenmiştir [3, 19, 20]. Ancak, CO varlığında, düşük karbon monoksit konsantrasyonlarında bile çift olefin eklenmesi gözlenmemiştir.

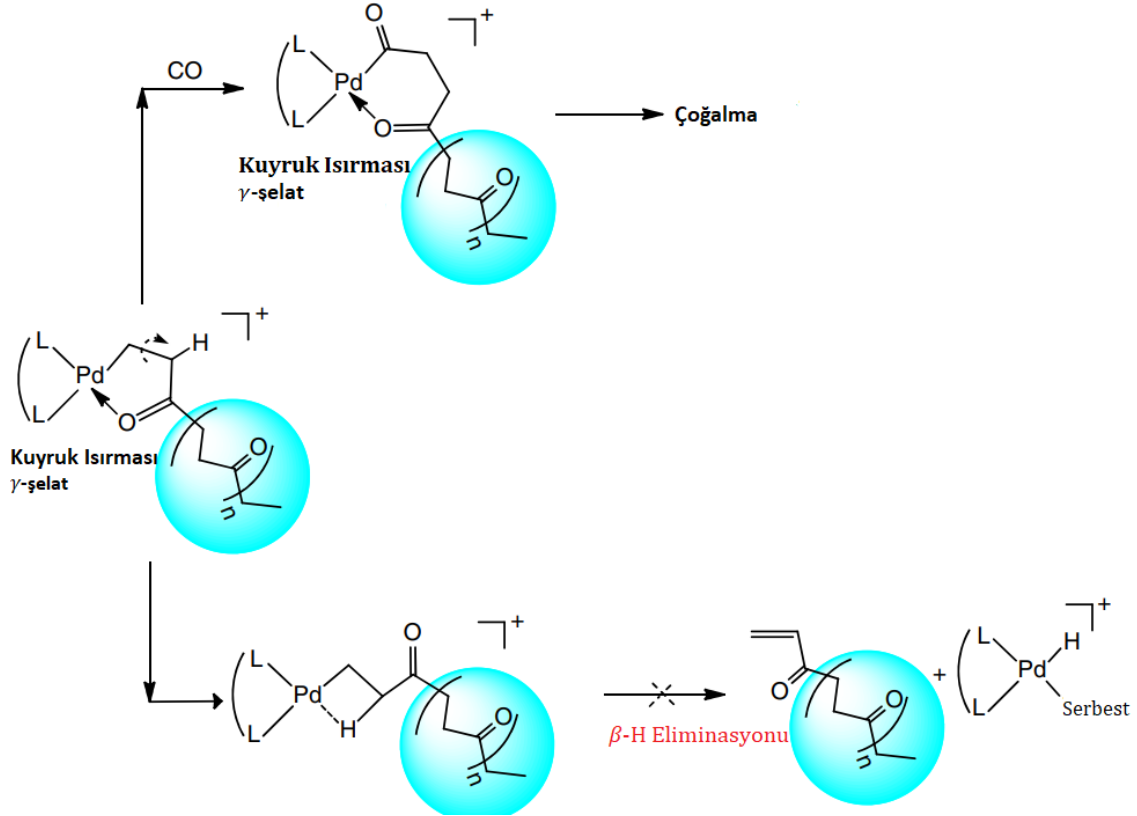
Bu bulguları açıklamak için öncelikle iki monomer arasındaki reaksiyon engelleri ve koordinasyon ilgilerindeki farklılıkları göz önüne almak önemlidir. Etilenin Pd-alkil ve Pd-asil bağlarına eklenmesi ekzotermik reaksiyonlardır (yaklaşık $-20 \text{ kcal mol}^{-1}$), ancak termodinamik nedenlerle çift CO eklenmesi mümkün değildir [21, 22].

Karbon monoksit, paladyum merkezine karşı daha yüksek bir afiniteye sahiptir ve etilenden daha güçlü bir şekilde bağlanır. Bu nedenle, olefin eklenmesinden sonra boş alan için, CO'nun, olefinden sonraki monomerin eklenmesini güçlü bir şekilde domine ederek bir sonraki monomer olmasını sağlar. Kinetik çalışmalar, tipik koşullar altında, bir çift etilen girişinin yalnızca Pd-alkil bağına her $\sim 10^5$ CO girişinden sonra gerçekleştiğini göstermektedir [21, 23, 25-27].

Kompleks, serbest koordinasyon bölgesini doyurarak ikinci bir şelat (γ -şelat) oluşturur. Ancak, ikinci C_2H_4 eklenmesi, etilenin bir β -şelat (78 kJ mol^{-1}) içine yerleştirilmesi için CO eklenmesinden (49 kJ mol^{-1}) daha yüksek bir aktivasyon bariyerine sahiptir. Bu nedenle, C_2H_4 katalizörünün eklenmesi kinetik nedenlerden dolayı uygun değildir. Termodinamik olarak,

etilen eklenmesi karbon monoksit'e kıyasla 5 kJ mol^{-1} daha üstündür; ancak Pd-oksijen bağıyla rekabet edemeyecek kadar zayıftır. Şelatlama bağının β -şelatının yalnızca yarısı kadar güçlü olduğu göz önüne alındığında, elde edilen γ -metal döngüsü, bir kez daha yalnızca karbon monoksit tarafından parçalanabilir ve γ -şelatına ikinci bir etilen eklenmez [21, 28].

Bu durum, koordineli karbon monoksit termodinamik dışında olduğu ve paladyum asil bağına eklenemediği için hız belirleyici bir aşamada etilen tarafından birleşik olarak ayrıldığını ve daha sonra polimer zincirine eklenmesi şeklinde açıklanır. Ancak, CO/C₂H₄ değişiminin dengesi tamamen CO asil kompleksi tarafından sağlanır. Sonuç olarak, polimerin değişen yapılarıyla birlikte, "kuyruk ısırması", β -hidrit eliminasyonunu etkili bir şekilde bastırarak β -hidrojen atomlarını kare düzlemsel paladyum kompleksindeki önemli eş düzeyli cis konumunu almak üzere devre dışı bırakır (Şekil 2.5.).

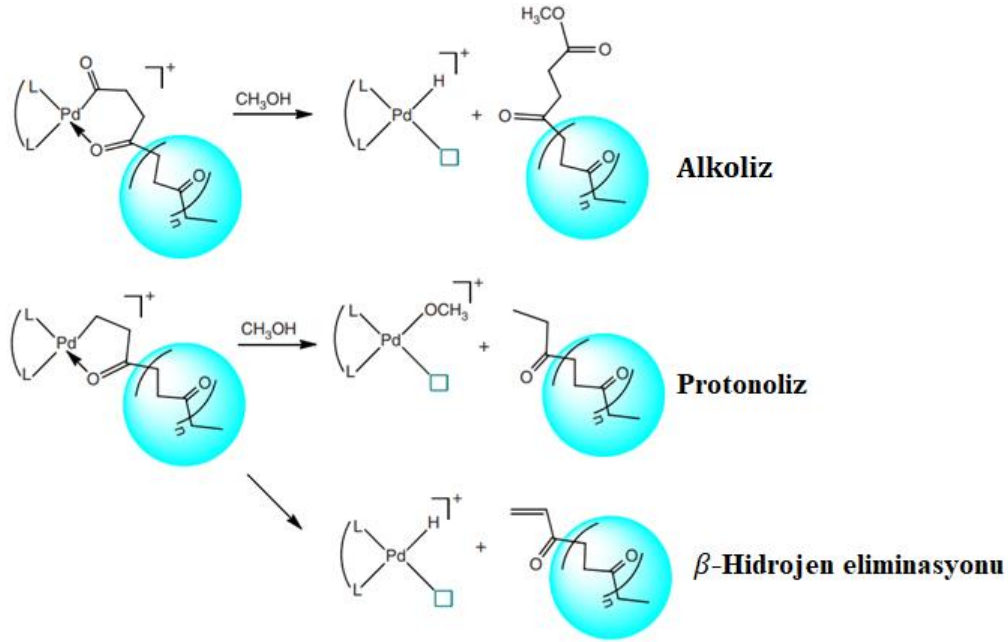


(iii) Sonlanma

Poliketon için üç sonlandırma mekanizması geniş çapta kabul görmüştür (bkz. Şekil 2.6.):

1. Doymuş bir bileşik üreten paladyum alkil bağının protonolizi keton uç grupları;
2. Bir ester ucu oluşturan paladyum-asil bağının alkolizi gruplar;

3. Büyüyen bir polimer zincirinden β -hidrojen eliminasyonu; bu genellikle etilenle değil, yalnızca yüksek terminalli olefinlerle gözlemlenir.



Şekil 2.6. Alkoliz, protonoliz ve β -hidrojen eliminasyonu

2.2. Alifatik Poliketonun Özellikleri ve Uygulamaları

Alifatik poliketon (PK), mükemmel mühendislik termoplastik özelliklere sahip bir polimerdir, özellikle yüksek çekme kopma dayanımı ve olağanüstü darbe dayanım performansı ile öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, yüksek düzeyde kimyasal direnç ve üstün bariyer özellikleri, bu polimeri mühendislik uygulamaları için çekici kılan yeni bir termoplastik malzeme olarak kullanılmasını sağlamaktadır [2].

Bu polimerin kristal fazı, ortorombik birim hücrelerden oluşur; her biri köşelerde bir polimer zinciri ve merkezde bir polimer zinciri içerir. Polimer zincirleri, alfa ve beta modifikasyonları olarak adlandırılan iki farklı modifikasyon halinde kristalleşir. Alfa modifikasyonu, yaklaşık $120\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda beta formuna dönüşür. Bu termal dönüşüm süreci, polimerin fiziksel özelliklerinde belirgin değişikliklere neden olur. Her iki birim hücrenin boyutları daha önceden hesaplanmıştır [12].

α -formu için $a = 6,91\text{ Å}$, $b = 5,12\text{ Å}$, $c = 7,60\text{ Å}$ ve kristal yoğunluğu $\rho = 1,382\text{ g cm}^{-3}$

β - form için $a = 7,97\text{ Å}$, $b = 4,76\text{ Å}$, $c = 7,57\text{ Å}$ şeklindedir ve kristal yoğunluğu $\rho = 1,297\text{ g cm}^{-3}$ 'tür.

PK (yönlendirilmemiş) için baskın birim hücre olan beta formu kopolimer, yaklaşık 257 °C'de erime gösterir [19,47]. Yüksek kristalli polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g) değerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile belirlenmesi çoğu sistem için oldukça zordur. Bazı yazarlar PK için T_g değerini yaklaşık 15 °C [12, 29] olarak bildirse bile, DSC kullanılarak PK için bildirilen T_g (başlangıç) değeri 4 ± 3°C'dir [30].

Uygun reaksiyon koşullarının seçimi ve metal katalizör tasarımı, PK terpolimer yapısının uygun hale getirilmesine olanak tanır ve bunun sonucunda malzemenin kütsel özellikleri, yüksek kristalli termoplastiklerden yüksek düzeyde amorf bölgeler sahip elastomere kadar değişir. Gerçekte, polimerizasyon sırasında etilen/propilen molar oranı 0,5'ten az olan malzemeler, amorf yapıda olup, düşük moleköl ağırlıklı polimerlerin tipik özelliklerini sergiler. Öte yandan, 0,5 oranının üzerinde terpolimerler kristal termoplastikler grubuna girer. Propilen içeriğinin artmasıyla iki kristal yapının α/β oranı azalır. Örneğin, %2,9 mol'ün üzerinde propilen alımı, PK polimerleri yalnızca β fazının varlığını gösterir. Propilen seviyesi arttıkça füzyon ısısı (kristallik derecesi) ve erime noktası düşer. Buna göre kristal yoğunluğunun (geniş açılı X-ışını saçılımı ile belirlendiği üzere) ve zincirler arası kafes etkileşiminin (Raman spektroskopisi ile belirlendiği üzere) propilen alımıyla azaldığı da gözlemlenmiştir.

Kristallik, karşılıklı geçirgenlik gaz difüzyonunu etkiler ve bu nedenle alifatik poliketonların oksijen veya su buharı gibi gazlara karşı ilgili bariyer özelliklerine[2, 3] sahip olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak bu tür malzemeler gıda ambalajlama uygulamaları için önerilmiştir. Bunlar, CO ve çeşitli dienler tarafından üretilen alifatik poliketonlar için olumlu olarak değerlendirilen biyouyumluluk gerektirir [3]. Ayrıca hidrokarbonlara karşı kimyasal direnci diğer ticari polimerlerden (örneğin polistiren, PVC) daha yüksektir. Dolayısıyla bu durum, bu malzemelerin yakıt tankı üretiminde veya yangın geciktirici malzemeler, elyaflar, yapıştırıcılar, membranlar (mikro gözenekli malzemeler) gibi uygulanmalarda kullanımına teşvik eder [29]. Poliketonun özellikleri, uygun olefin monomerlerinin ve katalizörlerinin[31-33] seçilmesi yoluyla hassas bir şekilde uyarlanabilir ve bu alanda sürekli yapılan araştırmalar, özellikle optoelektronik ve elektronik cihazlar[3] alanında yeni potansiyel uygulamaların beklendiğini göstermektedir.

2.2.1. Poliketondan elde edilen lifler

Mükemmel bir şekilde şekil değiştiren PK'den, yüksek çekme kopma mukavemetine ve çekme esneklik modülüne sahip lifler, uygun bir eğirme işlemiyle elde edilebilir [12, 34]. Poliketon liflerinin suni ipek ve naylonla[35] karşılaştırıldığında mükemmel yapışma ve iyi yorulma

direncinin yanı sıra mükemmel mukavemet, uzama, su direnci, ısı direnci ve termal iletkenliğe sahip olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, bu tür polimer elyaflar deniz halatları, hortumlar, koruyucu ürünler, kompozit malzemeler, kablolu balık ağları, hava yastıkları, ısı yalıtıcıları, emniyet kemerleri, güvenlik ağları vb. için kullanıma uygundur [12, 34-36].

Ayrıca PK lifleri, etilen ve karbon monoksit gibi düşük maliyetli monomerlerden üretildikleri için fiyat açısından nispeten rekabetçidir. Her ne kadar PK mükemmel sonuçlar verecek şekilde çözeltiyle eğrilebiliyor olsa da, lif üretmenin en uygun ve ekonomik yöntemi eriyik eğirme yoluyladır [37]. Eğrilmiş alifatik poliketon fiberler yüksek oranlarda gerilebilir, böylece yüksek seviyede moleküler yönelim sayesinde güçlü ve sert fiberler elde edilebilir.

2.2.2. Alev geciktirici katkıları içeren alifatik poliketonlar

Alev geciktiriciliğe sahip malzemeler, piyasada özellikle de elektrik ve elektronik endüstrilerinde yüksek talep görmektedir. Toksisite, aşındırıcılık ve duman oluşumu endişelerini önlemek için halojen ve kırmızı fosfor içermeyen alev geciktiricilerin kullanımı özellikle ilgi çekicidir [38]. Bu bağlamda poliketonla alev geciktiriciler için mükemmel temel malzemeler olduğu bilinmektedir. Alev geciktirici bir poliketon, spesifik magnezyum hidroksit parçacıklarının polimere karıştırılmasıyla elde edilebilir. Magnezyum hidroksit, poliketonlar için alev geciktirici olarak seçilebilir çünkü bu polimerlerin çoğu, alüminyum hidroksitin ayrışma sıcaklığının üzerinde, ancak magnezyum hidroksitin ayrışma sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda eritilerek işlenir [39]. Ayrıca, poliketonlara, diğer termoplastiklere göre çok daha düşük miktarda dolgu maddesi katılımı ile alev geciktirici özellik kazandırılabilir. Örneğin, yanmaz geciktirici özellik kazandırması için poliolefinler ve poliamidler için %50-60 dolgu oranı kullanılması gerekirken, poliketonlar için %20-30 dolgu oranı yeterlidir. Bu da mekanik özelliklerin, özellikle de sünekliğin korunmasına yardımcı olur.

2.2.3. Alifatik poliketon ile elde edilen karışımlar ve kompozitler

Yeni bir polimerin ticarileştirilmesinin yüksek maliyeti ve uzun süren geliştirme süresi nedeniyle bugünkü eğilim, kârlı işlenebilirlik konusunda kanıtlanmış bir geçmişe sahip olan mevcut homo-, ko- ve terpolimerlere dayalı bir polimerik karışımın piyasaya sürülmesi yönündedir [40]. Her yıl, eriyik veya çözelti harmanlama tekniklerine dayanan birçok yeni karışım sistemi tanıtılmaktadır. Pek çok karışım, poliketonların poliamidler (poliamid 6[41-47] ve poliamid 12 [48]), polikarbonatlar [49, 50], polilaktik asit [51], etilen vinil alkol kopolimer [52] ve polipropilen[53, 54] gibi ticari polimerlerle karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Özellikle, muhtemelen karbonil ve amid grupları arasındaki hidrojen bağının bir sonucu olarak, poliketon ve poliamid karışımları için nispeten yüksek bir darbe direnci ve dayanıklılık gösterdiği bulunmuştur. Gıda paketlenme uygulamaları için polistiren ve PVC ile karışımlar tavsiye edilmiştir; çok katmanlı polimerik filmler olarak kullanıldığında belirgin oksijen bariyeri özellikleri vardır. Ayrıca poliketonlar, dayanıklılığı arttırmak ve toplam malzeme maliyetini azaltmak için hidroksiapatit ve alümina gibi dolgu maddeleri ile kombinasyon halinde de kullanılır.

2.2.4. Dolgulu ve takviyeli alifatik poliketonlar

Alifatik poliketonlar inorganik dolgu maddeleri, takviye maddeleri ve yağlayıcılarla kolaylıkla birleştirilebilir [55]. Eriyik sıcaklığı 260 °C olarak ayarlanmış, birlikte dönen çift vidalı bir ekstrüder karışımı üretmek için kullanılır. Mika, vollasitonit (bir kalsiyum silikat minerali), cam elyaf ve kalsiyum karbonat (güçlendirici olmayan bir mineral dolgu maddesi) dahil olmak üzere birçok dolgu maddesi poliketonlar için değerlendirilmiştir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda, dolgu maddesinin takviye etme kabiliyetine karşılık gelen seviyelerde basma bükme modülü, basma bükme mukavemeti ve ısıl bozulma sıcaklığındaki iyileşmeler bulunmuştur. En iyi gelişme, cam elyafının eklenmesiyle elde edilmiştir.

Ekstrüzyon prosesi sırasında poliketonlar moleküller arası ve molekül içi aldol kondenzasyon reaksiyonlarına girer [56]. Kullanılan tuz (iyonlar) ve katalizör kalıntıları gibi yabancı maddeler tarafından katalize edilen moleküller arası bozunma reaksiyonları, eriyik viskozitesinde bir artışa yol açar ve eriyik işlemeyi sınırlandırır [29]. Terpolimerin daha düşük erime noktası ($T_m \approx 220$ °C), yüksek devirli paladyum katalizörleri ve kalsiyum hidroksi apatit gibi etkili erime stabilizatörlerinin keşfi ile birlikte erime sırasında çapraz bağlanmada önemli bir azalma gözlemlenmiştir [17]. Sonuç olarak poliketon termoplastikler, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, şişirme kalıplama, sıcak plaka kalıplama ve fiber gibi geleneksel teknikler kullanılarak kolayca işlenebilir hale gelmiştir.

Poliketon bileşiklerinde aerobik ısıyla yaşlanma, karmaşık oksidasyon reaksiyonlarından dolayı moleküler ağırlık kaybına yol açar. Bu tür moleküler ağırlık kaybını azaltmak için (örneğin, mekanik özelliklerin daha uzun süre korunmasını sağlamak için), bileşiklere spesifik engellenmiş fenolik tip antioksidanlar eklenebilir [57, 58].

Ayrıca fotostabiliteyi geliştirmek için poliketona UV stabilizatörlerin eklenmesi gerekir. Alifatik poliketonlar, literatürde Norrish tip I ve Norrish tip II reaksiyonları[33] olarak tanımlanan zincir kopma reaksiyonlarını verebilen, polimer zincirindeki karbonil gruplarının

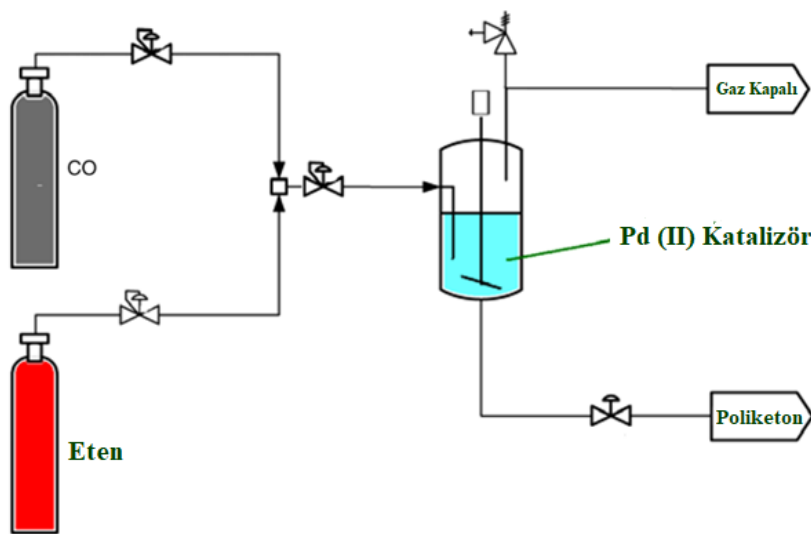
varlığı nedeniyle UV ışığına maruz kaldıklarında bozunmaya eğilimlidir. Alifatik poliketonlarda fotodegradasyonu önemli ölçüde geciktirmek için karbon siyahı gibi ultraviyole emici pigmentler de kullanılabilir.

2.2.5. Alifatik poliketonun endüstriyel üretimi

Poliketonun endüstriyel üretimi esas olarak terpolimer CO etilen-propilen sentezine (%6 propilen) dayanmaktadır. Endüstriyel proses genellikle çözücü olarak metanol içeren bir kesikli reaktörde veya hareketsizleştirilmiş katalizörlerle sürekli bir bulamaç prosesinde gerçekleştirilir. Toplu bulamaç işlemi, Şekil 2.7’de gösterildiği gibi gaz/sıvı iki fazlı reaktörlerde gerçekleştirilir. Gaz halindeki reaktanlar (CO ve etilen) ve katalizör, sıvı fazda (çözücü) çözülür.

Reaksiyon sırasında polimerin çökmesi, reaksiyon ortamını dönüştürür (heterojen bir fazın eklendiğine dikkat edin) ve bir bulamaç oluşturur.

Shell üretim süreci incelendiğinde, metanol içerisinde, 70–90°C ve 40–60 bar' da (Pd(o-OCH₃-dppp)(TFA)] (TFA = trifloroasetat anyon) katalizör öncüsü kullanılarak bir kesikli bulamaç reaktöründe gerçekleştirildiği bilinmektedir [59]. Tipik olarak, reaksiyon karışımına destekleyici olarak fazla asit ve az miktarda su (%2 hacim) eklenir. Çözücüdeki Pd konsantrasyonu yaklaşık 5 ppm'dir. 8 saatlik bir parti çalışması boyunca 8-10 kg terpolimer/ (g Pd·h) elde edilir. Temel ticari sınıf poliketonlar, PK-EP-6, yaklaşık %6 mol propilen içerir ve yaklaşık 220 °C erime noktasına sahiptir (ortalama molekül ağırlığı, $M_n = 37.000\text{--}52.000 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$).



Şekil 2.7. PK üretimi için toplu prosesin şematik gösterimi[17]

Genellikle karşılaşılan sorunlar, reaktörün aşırı kirlenmesi ve ürünün düşük kütle yoğunluğudur. Polimerizasyonun başlamasından önce reaktöre bir tohum tozunun (tipik olarak ağırlıkça %4-10 PK-EP-6) eklenmesi, katalizör çözeltisinde fazla miktarda asit kullanılmasıyla birlikte kirlenmeyi önler ve hacmi arttırır. Hem tohum tozu hem de asit fazlalığı (istenen molekül ağırlığına bağlı olarak) yeni oluşan terpolimer parçacıklarının topaklaşmasına yardımcı olur.

Literatürde bildirildiği gibi, Flory-Schulz dağılımı üreten alanlar poliketon parçacıklarının dış yüzeyinde konumlanmış olabilir ve bu nedenle hepsi benzer bir çevreyle karşı karşıya olabilirken Wesslau dağılımı üreten alanlar sterik veya fiziksel olarak sıkışmıştır; çünkü polimer parçacıklarının matrisi veya mikro gözenekleri tarafından tutulurlar.

2.3. Poliketon / Poliamid 6 Karışımlar

Alifatik poliketon (PK), birçok mükemmel özelliğe sahip olması sebebiyle mühendislik plastiği sınıfına dahil olan yeni nesil polimerlerdendir. Çekici özellikleri sebebiyle, alifatik poliamidler, polibütilentereftalat ve polioksimetilen (POM) ile rekabet edebilecek yüksek performanslara sahiptir. Yüksek darbe dayanımına sahip olan poliketonlar, otomotiv sıvılarına, hidrokarbon solventlere ve tuzlara karşı mükemmel kimyasal direnç sahiptirler. Aşınma ve sürtünme özellikleri POM'dan üstündür. Ayrıca benzin ve dizel'e karşı bariyer özellikleri PA 12'e kıyasla daha yüksektir. Bu çekici özellikleri nedeniyle PK, otomotiv, elektrik/elektronik, ev aletleri, endüstriyel ve tıbbi pazardaki çeşitli uygulamalar için kullanılabilir [60].

Polimer karışım işlemleri, farklı polimer türlerinin bir araya getirilerek, işleme özelliklerini geliştirmek ve her bir polimerin güçlü özelliklerini birleştirerek özelleştirilmiş malzemeler elde etmek amacıyla kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu bağlamda, poliüretan kaplamaların terpolimerleri, özellikle poli (stiren-r-akrilonitril), poli (metil metakrilat), ve poliamid (PA) ile yapılan karışımların incelenmesi, bu yöntemin potansiyelini anlamak açısından önemlidir.

Literatürde, poliketon terpolimerlerinin poli (stiren-r-akrilonitril) ile uyumluluğuna dair yapılan çalışmalarda belirli bir dereceye kadar uyumluluk gösterdiği belirtilmiştir [61, 62]. Aynı şekilde, poli(metil metakrilat) ve poli(stiren-r-akrilonitril) ile yapılan karışımlarda tam karışabilirlik elde edilebilmektedir [63, 64]. Bu durum, polimer karışımının çeşitli bileşenler arasında homojen bir dağılım sağlayarak, istenilen özelliklerin elde edilmesine katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Ayrıca , özellikle poliamid (PA) ile yapılan PK/poliamid karışımlarının yüksek uyumluluk gösterdiği gözlemlenmiştir. Poliamid, poliüretan kaplamalarla uyumlu bir yapı sergileyerek,

karişımının mekanik dayanıklılığını ve diğer özelliklerini artırabilir. Bu nedenle, poliamid içeren polimer karişımları, özellikle endüstriyel uygulamalarda çeşitli avantajlar sunabilir.

Sonuç olarak, polimer karişım işlemleri, farklı polimer türlerinin özelliklerini bir araya getirerek daha güçlü ve işlevsel malzemeler elde etmek için kullanılan bir stratejidir.

Semeril ve ekibinin çalışması, ECO kopolimeri/PA karişımlarının termal özelliklerini ayrıntılı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır [65]. Yapılan araştırmada, karişımların erime sıcaklığı (T_m) ve kristalleşme tepe sıcaklığı (T_c) üzerinde önemli değişikliklerin gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu önemli gözlemler, karişımların saf bileşenlerin sıcaklıklarından belirgin bir şekilde daha yüksek sıcaklıklara kaydılığını ortaya koymaktadır.

Semeril ve ekibi, bu termal değişiklikleri, amid ve karbonil grupları arasındaki hidrojen bağları yoluyla interpolimer uyumluluğa bağlamıştır. Yaptıkları bu bağlamada, polimer karişımlarındaki bileşenler arasındaki kimyasal etkileşimlerin, karişımın termal özelliklerini etkileyerek daha yüksek sıcaklıklara doğru bir kayma gösterdiğini öne sürmüşlerdir. Bu bağlamda, polimer karişımındaki bileşenler arasındaki güçlü uyumun, karişımın termal davranışını etkileyen önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

Semeril ve arkadaşlarının bu bulguları, polimer bilimindeki anlayışımızı genişletmekle kalmayıp, polimer karişımlarının özelliklerini anlamak ve kontrol etmek açısından da önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu tür araştırmalar, polimer malzemelerin çeşitli uygulamalarda kullanılabilirliğini ve performansını geliştirmek için tasarlanmış özel karişımların tasarımında rehberlik edebilir.

Asano ve ekibinin yaptığı araştırma, PK terpolimer/PA6 karişımlarının beklenenden daha yüksek darbe dayanımına sahip olduğunu ortaya koymaktadır [41]. Özellikle, nemli koşullar altında ağırlıkça %30'un üzerinde PA6 içeren PK/PA6 karişımlarının, darbe özelliklerinde belirgin bir gelişme sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, karişımların darbe dayanımının sıradanın ötesinde olduğunu ve bu özel koşullar altında üstün bir performans sergilediğini göstermektedir.

Araştırmacılar, bu olgunun temel nedenini suyu emen amorf yapıdaki PA6'nın yüksek darbe dayanımındaki etkisi olarak değerlendirmektedir. Su emiliminin, malzemenin darbe enerjisini daha etkili bir şekilde absorbe etmesine yardımcı olduğu ve bu nedenle darbe dayanımında belirgin bir iyileşmeye katkı sağladığı düşünölmektedir.

Moleküler düzeydeki etkileşimleri anlamak adına yapılan morfolojik ve termal analizler, karişımların kısmi karişabilirlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, PK terpolimeri ve

PA6'nın belirli koşullar altında birbirleriyle uyumlu bir şekilde entegre olduğunu ve bu uyumun karışımın darbe dayanımını artırdığını göstermektedir.

Asano ve arkadaşlarının bulguları, özellikle özel koşullar altında polimer karışımlarının tasarımı ve performansı konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Bu tür karışımların pratik uygulamalarda daha dayanıklı ve etkili olmasını sağlamak için potansiyel stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Kim ve ekibinin yürüttüğü araştırma, maleik anhidrit ile modifiye edilmiş etilen-oktan kauçuğu (mEOR) ile bir PK terpolimerinin uyumluluğunu keşfetmeyi amaçlamıştır [66]. Yapılan çalışmada, PK/mEOR karışımının dayanıklılığının, özellikle PA6 ile birleştirildiğinde belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu, karışımdaki bileşenler arasındaki uyumluluğun, özellikle mEOR'daki maleik anhidrit ile PA6'daki amin uç grupları arasındaki reaksiyonun ve PA6 ile PK arasındaki genel uyumluluğun kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Araştırmacılar, uyumluluğun temelini mEOR'un maleik anhidrit içeriği ile PA6'daki amin uç grupları arasındaki kimyasal reaksiyona dayandırmışlardır. Bu kimyasal reaksiyon, karışımda homojen bir yapı oluşturarak, mEOR ve PA6'nın daha etkili bir şekilde entegre olmasını sağlamış olabilir. Bu entegrasyon, malzemenin dayanıklılığını artırarak istenen mekanik özellikleri elde etmeye yardımcı olmuştur.

Ayrıca, PA6 ile PK arasındaki yüksek uyumluluğun, karışımın genel performansını iyileştirdiği öne sürülmüştür. Bu uyumluluk, farklı polimer bileşenlerinin bir arada daha etkili bir şekilde çalışmasına olanak tanıyabilir ve böylece malzemenin dayanıklılığını ve mukavemetini artırabilir.

Lim ve ekibinin yaptığı araştırma, PK terpolimeri/GO (grafen oksit) nanokompozitlerini incelemeyi amaçlamıştır [67]. Bu çalışmada, GO'nun PK matrisindeki dağılımını artırmak için PA6 aşılı GO sentezlenmiştir. Yapılan çalışmada, ağırlıkça %0,01 PA6-g-GO'nun mekanik özellikleri büyük ölçüde iyileştirdiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, GO'nun artan dağılımını, PK'daki karbonil ile PA6'daki amid arasındaki hidrojen bağına ve PK'deki karbonil ile GO'daki birçok oksijen içeren fonksiyonel grup arasındaki güçlü etkileşime bağlamışlardır. Bu etkileşimler, GO'nun PK matrisine daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlamış olabilir, bu da nanokompozit malzemenin mekanik özelliklerini artırabilir.

Ek olarak, Li ve ekibi, PA12/PK karışımının yüksek uyumluluğunu gözlemlemiştir [48]. Bu durum, PA12 ve PK'nın belirli koşullar altında birbirleriyle uyumlu bir şekilde birleşebildiğini ve bu uyumun karışımın genel performansını artırdığını göstermektedir. Bu uyum, karışımdaki

farklı polimer bileşenlerinin bir arada daha etkili bir şekilde çalışmasına olanak tanır ve bu da malzemenin dayanıklılığını ve mukavemetini arttırabilir.

Zhou ve ekibinin son çalışması, PK terpolimeri/PA6 karışımlarının morfolojisini, karışabilirliğini ve mekanik özelliklerini incelemeyi amaçlamıştır [68]. Yürütülen araştırmada, mikron altı boyutta fazlar ve birleşmeye karşı son derece kararlı bir morfoloji gözlemlenmiştir. PK/PA6 karışımları, saf bileşenlere kıyasla yüksek darbe dayanımı sergilemektedir. Darbe dayanımındaki artış, özellikle PK'lerin sürekli bir faz oluşturduğu karışımlarda dikkat çekicidir, ancak PA6 bakımından fazla olan karışımlarda orta düzeyde bir artış gözlenmiştir.

Araştırmacılar, artan uyumluluğu PK ve PA6 arasındaki hidrojen bağına bağlamışlardır. Bu hidrojen bağlarının varlığını desteklemek için, karışımlardaki karbonil tepe noktalarında bir kayma gözlemlenmiştir. Bu kayma, hidrojen bağlarının etkileşimlerini ve karışımdaki polimer bileşenlerinin birbirleriyle uyumlu bir şekilde entegre olduğunu göstermektedir.

Zhou ve meslektaşlarının bu bulguları, PK terpolimeri/PA6 karışımlarının özellikle darbe dayanımı açısından ilginç ve etkileyici bir malzeme seçeneği olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, polimer karışımlarının tasarımında hidrojen bağlarının rolünün anlaşılmasına yönelik etkin bir çalışma olmuştur.

Literatürden alifatik PK ve PA'nın oldukça uyumlu olduğu açıktır. Çoğu çalışma, iki polimerin hidrojen bağı nedeniyle kısmen karışabildiğini iddia etmektedir.

PK terpolimerinin diamin bileşiği ile karışımları üzerine yapılan çalışmalardan[53, 69] amin ve PK güçlü etkileşim (veya reaksiyon) sergilemektedir. Marklund ve ekibinin araştırması, PK terpolimer/polipropilen karışımlarının maleik anhidrit-propilen kopolimer (MAPP) ve poli(oksipropilen diamin) (PPDA) ile uyumluluğunu incelemeyi amaçlamıştır.[53] Yapılan çalışmada, PP/PK/MAPP karışımlarının çok kaba bir morfoloji ve zayıf arayüzey yapışması sergilediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, PP/PK/MAPP/PPDA karışımları ince bir morfoloji, gelişmiş arayüzey yapışması ve gelişmiş darbe dayanımı göstermiştir.

Araştırmacılar, PPDA'daki bir aminin maleatlı PP ile birleştirildiği ve diğer aminin kovalent bağlanma yoluyla poliketon ile birleştirildiği için uyumluluğun elde edildiğini savunmuşlardır. Bu uyumlu etkileşimler, karışımın morfolojisini ve mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiş olabilir. Özellikle, PPDA'nın içerdiği amin grupları, PP ve PK arasında güçlü bir bağ kurarak malzemenin genel performansını arttırmış olabilir.

Bu bulgular, polimer karışımlarında uyumlu katkı maddelerinin kullanımının, malzemenin özelliklerini iyileştirme ve dayanımı artırma açısından önemli bir strateji olabileceğini

göstermektedir. Uyumlu katkı maddeleri, farklı polimer bileşenleri arasında daha etkili bir etkileşim sağlayarak karışımların istenen özelliklere sahip olmasına katkıda bulunabilir.

2.4. Polimer Karışımlarında Kullanılan Katkı Malzemeleri

Polimer karışımlarındaki katkı malzemeleri, polimer materyalinin üretim sürecinde, kalıplandığında veya kullanıma sunulduğunda istenen özellikleri elde etmek üzere bilinçli bir şekilde eklenen materyallerdir. Bu katkılar, genellikle polimerin kendine özgü özelliklerini iyileştirme, işlenebilirliğini artırma, dayanıklılığını güçlendirme veya belirli bir endüstriyel uygulamaya özgü gereksinimlere uyum sağlama amacını taşır. Bu bağlamda, katkı malzemeleri, polimer karışımlarının mükemmel performans ve özelliklerle donatılmasını hedefler.

Bu katkı malzemelerinin doğru seçimi ve kullanımı, polimerlerin ömrünü uzatma kapasitesine sahiptir. Uygun katkılar eklenerek malzeme, çevresel etkenlere daha dayanıklı hale getirilebilir ve uzun ömürlü olabilir. Ayrıca, işlenebilirlik özellikleri üzerinde olumlu etkiler sağlanarak üretim süreci daha verimli hale getirilebilir. Bu durum, işleme süreçlerinde daha az enerji tüketimi ve daha az atık üretimi gibi sürdürülebilir üretim avantajlarına yol açabilir.

Katkı kullanımı, plastik malzemenin temizliğini artırabilir ve son ürünün yüksek kalitede olmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca, doğru katkı maddeleri seçilerek üretim sürecinde oluşabilecek sorunlar önlenerek, hatalar minimize edilebilir. Ayrıca, dolgu ve katkı malzemelerinin polimerlerde kullanımı genel maliyet etkinliğini artırabilir ve endüstriyel uygulamalarda rekabet avantajı sağlayabilir.

Farklı formlarda bulunan katkı malzemeleri, çeşitli uygulama gereksinimlerini karşılamak üzere seçilebilir. Sıvı katkı malzemeleri genellikle homojen bir karışım elde etmek için kullanılırken, toz veya granül formundakiler spesifik özellikler eklemek veya güçlendirmek için tercih edilebilir. Bu esneklik, çeşitli endüstriyel sektörlerde ve uygulamalarda geniş bir kullanım alanı sağlar.

Sonuç olarak, polimer karışımlarındaki katkı malzemeleri, plastik endüstrisinde önemli bir rol oynar ve malzemenin genel performansını, işlenebilirliğini ve ekonomik verimliliğini artırmak için stratejik bir araçtır. Bu nedenle, doğru katkı malzemesinin seçimi ve etkili kullanımı, malzemenin istenilen özelliklere en iyi şekilde uyum sağlamasını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

2.3.1. Kaydırıcılar

Kaydırıcılar, polimer karışımlarında kullanılan bileşenlerdir ve temel amaçları, bir yüzeyin diğer yüzey üzerindeki hareket kolaylığını arttırmak ve bu yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır [70-72]. Bu malzemelerin uygulanması, çeşitli avantajlar sağlayarak birçok önemli fonksiyonu yerine getirir. Genişletilmiş bir akademik perspektifle, kaydırıcıların temel işlevlerine odaklanmak, polimer karışımlarındaki bu bileşenlerin çeşitli endüstriyel uygulamalarda nasıl etkili olduğunu anlamak önemlidir.

Sürtünmeyi azaltma, kaydırıcıların en temel görevlerinden biridir. Kaydırıcılar, malzemelerin birbirine temas ettiği noktalarda oluşan sürtünmeyi minimize ederek, hareketin daha düzenli ve sorunsuz olmasını sağlar. Bu özellik, makinelerdeki parçalar arasındaki sürtünme kayıplarını azaltarak enerji verimliliğini artırabilir ve makine ömrünü uzatabilir.

Aşınmayı önleme, kaydırıcıların bir diğer önemli işlevidir. Yüzeyler arasındaki sürtünme ve temas, zamanla malzemelerin aşınmasına neden olabilir. Kaydırıcılar, bu aşınma sürecini kontrol altına alarak, malzeme dayanıklılığını artırabilir ve bakım maliyetlerini düşürebilir.

Isıyı absorbe etme, kaydırıcıların performansını etkileyen bir diğer faktördür. Kaydırıcılar, sürtünmeden kaynaklanan ısıyı absorbe edebilir ve bu sayede malzemeler arasındaki sıcaklık artışını kontrol altına alabilir. Bu özellik, özellikle yüksek sürtünmeli ve hızlı hareket eden sistemlerde, malzeme dayanıklılığını artırabilir.

Korozyonu önleme ve kirlenmeyi giderme, kaydırıcıların yüzey koruma özellikleridir. Kimyasal etkileşimlere karşı direnç göstererek malzeme ömrünü uzatabilirler. Ayrıca, yüzeyler arasındaki kir ve partikülleri uzaklaştırarak sürtünmeyi azaltabilir ve malzemenin performansını artırabilirler.

Sonuç olarak, kaydırıcılar, polimer karışımlarında çok yönlü ve kritik öneme sahip bileşenlerdir. Bu malzemelerin sürtünmeyi azaltma, aşınmayı önleme, ısıyı absorbe etme, korozyonu önleme ve kirlenmeyi giderme gibi temel işlevleri, endüstriyel uygulamalarda malzeme performansının artırılmasına katkıda bulunur. Bu nedenle, kaydırıcılar, makinelerden otomotiv sektörüne, tıbbi cihazlardan endüstriyel ekipmanlara kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılan önemli bir malzeme sınıfını temsil eder.

2.4.2. Cam elyaf

Polimer karışım işlemlerinde kullanılan cam elyaflar, polimer matris içerisine eklenerek malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştiren önemli bir takviye malzemesidir.

Bu takviye, polimerin sertliğini arttırarak, özellikle yük altında deformasyona karşı direncini artırır. Cam elyafların polimer matrise entegrasyonu, malzemenin genel dayanıklılığını artırır ve özellikle mekanik stres altındayken mükemmel performans sergilemesine katkıda bulunur.

Cam elyafların polimer karışımlarına eklenmesinin bir diğer avantajı, boyutsal kararlılık sağlamalarıdır. Bu özellik, özellikle sıcaklık veya nem değişikliklerine maruz kaldığında polimerin boyutlarında oluşabilecek değişiklikleri kontrol altına alır. Cam elyafların katkısıyla, polimer malzemenin genleşme veya büzülme eğilimi azalır, bu da özellikle endüstriyel uygulamalarda ve hassas mühendislik alanlarında istenmeyen deformasyonlara karşı direncini artırır.

Ayrıca, cam elyafların polimer matrise eklenmesi, termal özellikleri üzerinde olumlu bir etki yaratır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan polimer malzemenin mekanik dayanıklılığını artırarak, sıcaklık değişikliklerine karşı direncini güçlendirir. Bu durum, özellikle otomotiv endüstrisinde, elektrik/elektronik uygulamalarda ve dayanıklılık gerektiren diğer sektörlerde önemlidir.

Sonuç olarak, cam elyafların polimer karışımlarına ilavesi, malzemenin mekanik performansını artırmanın yanı sıra, termal ve boyutsal kararlılığı da sağlayarak geniş bir uygulama alanında kullanılabilirliğini artırır. Bu özellikleriyle cam elyaflar, dayanıklılığı artırma ve mükemmel mekanik özellikler kazandırma konusunda polimerlerin üstün performans göstermesi noktasında önemli bir rol oynamaktadır.

2.4.3. Antioksidanlar

Antioksidanlar, polimer malzemelerin oksidasyona maruz kaldığında ortaya çıkabilecek fiziksel, mekanik ve optik özelliklerdeki kayıpları kontrol ederek, malzemelerin dayanıklılığını artırmak ve ömrünü uzatmak amacıyla kullanılan önemli katkı maddeleridir. Bu bileşenler, polimer zincirlerinde meydana gelebilecek moleküler ağırlık değişikliklerini minimize ederek, oksidatif bozunma süreçlerine karşı koruma sağlarlar.

Antioksidanlar, genel olarak iki ana kategoriye ayrılır ve yapılarına bağlı olarak farklı bozunma süreçlerini engelleme yeteneklerine sahiptirler. İlk kategori, zinciri sonlandıran birincil antioksidanlar olarak adlandırılır. Bu tür antioksidanlar, serbest radikallerin oluşmasını engelleyerek polimer zincirlerinin kesilmesini önler. Bu, malzemenin dayanıklılığını artırır ve özellikle UV ışınlarına maruz kaldığında polimerin yıpranmasını önler.

İkinci kategori ise hidroperoksit ayrıştırıcı olarak bilinen ikincil antioksidanlardır. Bu antioksidanlar, polimerin yapısında oluşan hidroperoksit gruplarını etkili bir şekilde parçalayarak oksidatif bozunma reaksiyonlarını durdurur. Böylece, malzeme oksidasyona karşı korunur ve daha uzun bir kullanım ömrüne sahip olabilir.

Antioksidanların polimerlere eklenmesi, özellikle plastik malzemelerin, kauçuklarının ve diğer polimer bazlı ürünlerin endüstriyel uygulamalarda karşılaştığı oksidasyon sorunlarına etkili bir çözüm sunar. Bu antioksidanlar, malzemelerin performansını korurken aynı zamanda çevresel etkilere karşı direncini artırır ve malzeme ömrünü uzatır.

2.4.4. Mineral dolguları

Mineral dolgular, polimer matrislerinde hacim kazandırma ve maliyet düşürme amacıyla yaygın bir şekilde tercih edilen katkı maddeleridir. Bu dolgular, genellikle talk, kalsiyum karbonat, silika, kil, kaolin ve karbon gibi çeşitli minerallerden tedarik edilir ve polimer karışımlarında çeşitli uygulamalarda kullanılırlar. Bu mineral dolguların polimer materyallerle birleştirilmesi hem ekonomik avantajlar sağlar hem de malzemenin mekanik, termal ve diğer özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir.

Özellikle talk, kalsiyum karbonat, silika, kil, kaolin ve karbon gibi mineraller, polimer matrislerine eklenerek materyal maliyetini düşürmeye yönelik etkili bir yöntem sunar. Bu mineral dolgular, polimerin bir kısmını oluşturarak hacim kazandırma işlevi görmektedir ve bu sayede daha düşük maliyetli malzemelerin elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Ayrıca, mineral dolguların kullanımı, polimer karışımlarının işlenmesini ve şekillendirilmesini kolaylaştırır. Bu dolguların eklenmesi, polimerin reolojik özelliklerini iyileştirir ve işleme sırasında daha düşük viskozitelerle çalışılabilirlik sağlar. Bu da üretim süreçlerinde verimliliği artırır.

Mineral dolguların bir diğer avantajı, bileşiklerin stabilitesini artırma yetenekleridir. Bu, polimer matris içinde homojen bir dağılımın korunmasına yardımcı olarak, son ürünün mekanik dayanıklılığını ve performansını artırabilir.

Sonuç olarak, mineral dolguların polimer karışımlarına eklenmesi hem maliyet düşürme hem de malzemenin işlenmesini kolaylaştırma gibi avantajlar sunar. Bu mineral dolgular, endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

2.4.5. Alev geciktirici katkılar

Alev geciktiriciler, üretilen bileşen veya ürüne potansiyel alevlerin yayılmasını engellemek ve yangın güvenliği sağlamak amacıyla üretim süreci sırasında ham polimerlere eklenen özel bir katkı maddesidir. Bu alev geciktirici katkı maddeleri, yangın durumunda ürünlerin daha güvenli ve dayanıklı olmasını sağlamak için polimerlere karıştırılarak kullanılırlar.

Alev geciktirici katkı maddelerinin polimer matrislere dahil edilmesinin temel amaçlarından biri, belirli ürünlerin yangın durumunda daha güvenli bir şekilde davranmasını sağlamaktır. Bu, ürünün bir kıvılcıma veya aleve maruz kaldığında alevin hızlı yayılmasını önlemeyi amaçlar. Alev geciktirici özelliklere sahip katkı maddeleri, alevin süratle ilerlemesini durdurarak, yangının daha fazla yayılmasına engel olur. Bu sayede, yangın tehlikesi ve yangın sonrası olası zararlar azaltılmış olur.

Ticari olarak geliştirilmiş alev geciktirici katkı maddeleri arasında bromlu ve klorlu bileşikler, fosfor bazlılar, melaminler, alüminyum trihidroksitler, magnezyum dihidroksitler, silikon bazlılar gibi çeşitli kimyasal bileşenler tercih edilmektedir. Bu bileşenler, polimer matris içinde alev geciktirici özellikleri sağlamak ve yangın güvenliğini artırmak için özel olarak seçilir ve kullanılır. Bu alev geciktirici maddeler, endüstriyel uygulamalardan, elektrik aksamalarına ve elektronik cihazlara kadar çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve ürünlerin yangına dayanıklılığını artırmak için kritik bir rol oynamaktadır.

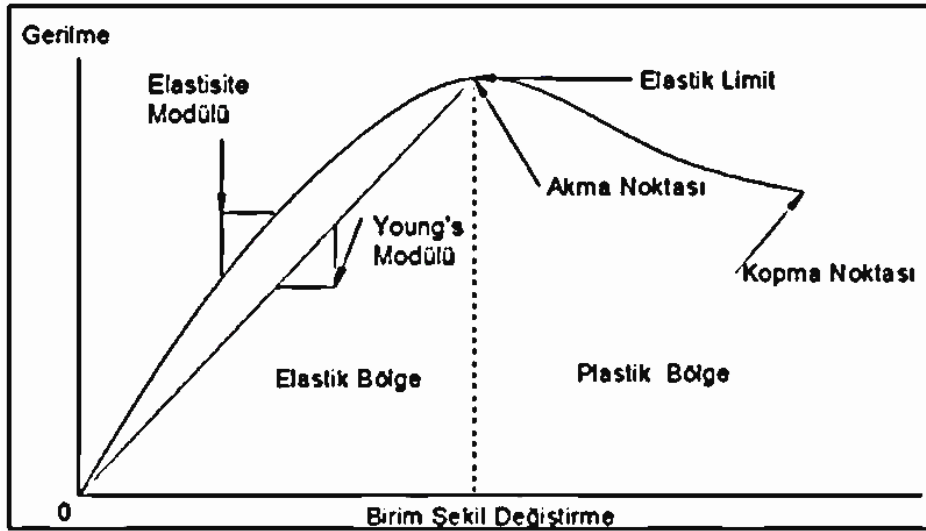
2.5. Polimer İçin Kullanılan Test Metodları

2.5.1. Mekanik testler

(i) Çekme testi

Çekme testi, bir malzemenin dayanıklılığını, esnekliğini ve çeşitli diğer mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Test numuneleri, genellikle standartlara uygun belirli bir geometriye sahip olarak hazırlanır.

Bu test sırasında numune, bir test makinesine bağlanır ve belirli bir hızda çekilir. Bu çekme işlemi sırasında uygulanan yük ve numunenin uzunluğundaki değişiklik (eğilme) kaydedilir. Elde edilen veriler, bir gerilme-uzama eğrisi oluşturmak için kullanılır (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Polimerlerde gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi[73]

Gerilme-uzama eğrisi, malzemenin gerilme altında nasıl davrandığını ayrıntılı bir şekilde gösterir. Akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı, elastik modül ve kopma uzaması gibi çeşitli önemli özellikler bu eğriden elde edilebilir. Akma dayanımı, malzemenin plastik deformasyona başladığı noktayı belirtirken, maksimum çekme dayanımı malzemenin en yüksek stres seviyesini ifade eder.

Elastik modül, malzemenin elastik davranışını ölçer; yani, malzeme gerilip gevşetildiğinde orijinal formuna ne kadar iyi dönebildiğini gösterir. Kopma uzaması ise malzemenin ne kadar esneyebildiğini ve dayanıklılığını ifade eder.

Bu çekme testi sonuçları, mühendislik tasarımları, malzeme seçimleri ve üretim süreçlerinde kritik kararlar almak için kullanılır. Ayrıca, malzemenin performansını anlamak ve güvenli çalışma sınırlarını belirlemek için de önemlidir.

Bu çalışmada, hazırlanan karışımlarından elde edilen test plakaların çekme ve eğilme testleri Zwick Z020 marka test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu test cihazı, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini ayrıntılı bir şekilde analiz etmek üzere tasarlanmıştır. Bu analiz, malzemenin çekme ve eğilme performansını anlamak, dayanıklılığını değerlendirmek ve mühendislik uygulamaları için kritik öneme sahip bilgiler elde etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Numuneler enjeksiyon ile kalıplama yöntemi kullanılarak, ISO 527-2:2012 standardında bulunan "1A" adı verilen ölçülere göre şekillendirilmiştir.

Test sırasında kullanılan 5 kN'luk yük miktarı, malzemenin çekme dayanımını ve elastik özelliklerini ölçmek üzere Zwick Z020'nin sağladığı geniş test kapasitesine adapte edilmiştir. Ölçümler sırasındaki 10 mm/dakika çekme hızı, bir standart olarak belirlenmiş ve sonuçların karşılaştırılabilir ve tekrarlanabilir olmasını sağlamak adına sabit tutulmuştur. Hazırlanan numunelerde her bir test beş farklı test plakası kullanarak tekrarlanmıştır.

(ii) Eğilme dayanım testi

Malzemenin eğilme dayanımı, malzemenin bir yük altında deformasyona karşı direncini ifade eder. Genellikle bir malzemenin eğilme yükü altındaki davranışını belirlemek için gerçekleştirilen eğilme dayanımı, malzemenin kırılmadan önemli ölçüde deformasyona uğradığı noktadaki yükü temsil eder.

ASTM D790 ve ISO 178 test standartları bu testin ölçüm yöntemini tanımlamaktadır. Her iki standarda göre test sonucunda elde edilen değerler, genellikle malzeme seçiminin erken aşamalarında önemli ölçüde farklılık göstermemektedir. Ayrıca, bu testler sadece eğilme dayanımını değil, aynı zamanda bir malzemenin eğilme modülünü de (eğilme deformasyonundaki stresin gerilme ile oranını) ölçme prosedürünü sunmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 2.1.'de, bazı dolgulu ve dolgusuz polimerler için ortalama bükülme mukavemetlerini ve bükülme modülü değerlerini listelemektedir. Bu değerler sertliğin bir ölçüsüdür; elastomerler gibi esnek malzemeler, poliimidler veya asetaller gibi metal ikameleri olarak kullanılan fiber takviyeli mühendislik polimerlerinden daha düşük değerlere sahiptir.

Tablo 2.1. Ticari polimerlerin eğilme dayanımı ve eğilme modülü

Polimer	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (GPa)
ABS	75	2.5
ABS + 30% Cam Elyaf	120	7
Asetal Kopolimer	85	2.5
Asetal Kopolimer + 30% Cam Elyaf	150	7.5
Akrilik	100	3
Poliamid 6	85	2.3
Poliamid - Imid	175	5
Polikarbonat	90	2.3
Polietilen	40	0.7
Polietilen Teraftalat (PET)	80	1
Poliimid	140	3
Poliimid + Cam Elyaf	270	12
Polipropilen	40	1.5
Polistiren	70	2.5

(iii) Darbe testi

Darbe mukavemeti, bir malzemenin ani yükleme altında kırılma direnci olarak tanımlanır. Polimer malzemelerde esnekliği ve dayanıklılığı hakkında önemli bilgiler sunar.[74] Bu özellik, darbe mukavemeti testi sırasında birim kesit alanına düşen enerji miktarını ölçerek belirlenir. Bu tür testlerin sonuçları genellikle metrekaşe başına Joule cinsinden ifade edilir (J/m^2) ve çeşitli malzemelerin darbe direncini karşılaştırmak ve değerlendirmek için standart bir ölçü sağlar[75].

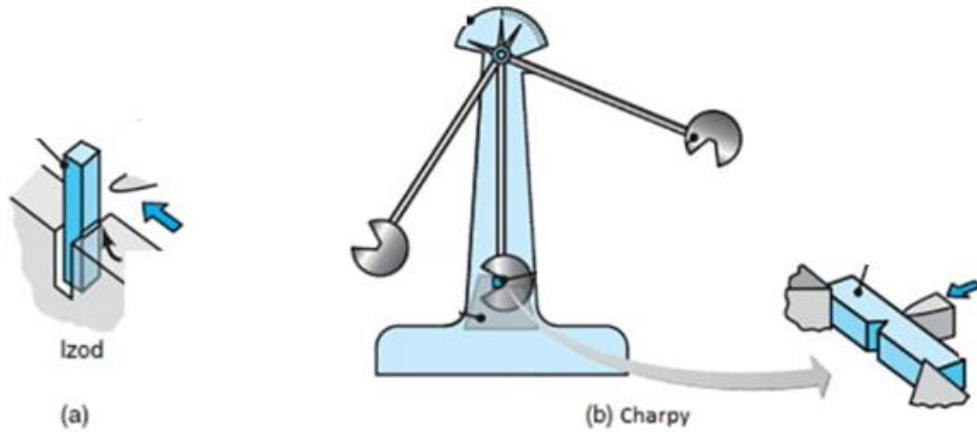
Darbe testi sonucu, bir malzemenin beklenmeyen ve yoğun mekanik streslere ne kadar iyi dayanabileceğini ölçebilmesini sağlar. Darbe direncinin hayati önem taşıdığı uygulamalarda malzeme seçiminde kritik bir faktör olup, inşaat, otomotiv ve havacılık gibi çeşitli alanlarda güvenlik ve güvenilirliği artırmak amacıyla malzeme seçimi ve tasarımını optimize etmeye çalışan mühendisler, araştırmacılar ve üreticiler için değerli veriler sağlar.

Aşağıdaki Tablo 2.2, yaygın mühendislik malzemeleri üzerindeki darbe dayanımı testlerinin bazı tipik değerlerini göstermektedir:

Tablo 2.2. Ticari polimerlerin darbe dayanımı testi (Izod) [76]

Polimer	Darbe enerji [J /m ²]
ABS	1.4 -14
Polikarbonat	19
Asetal	3
PTFE (Teflon)	5
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	1.4- 16
Alçak Yoğunluklu Polietilen	22
PVC	1.4
Polipropilen	1.4- 15
Polistiren	0.4
Poliester	1.4
Epoksi	1.1

Bu çalışmada, ISO 180 ve ISO 179 standardına göre hazırlanan numuneler Instron CEAST 9050 model test cihazı ile ölçülmüştür. Çentikli ve çentiksiz olmak üzere hem Izod hem de Charpy test yöntemine göre darbe dayanım testi gerçekleştirilmiştir. Her iki test yöntemi de bir numunenin darbe dayanımını da ölçer. Charpy testinde numune her iki uçtan da desteklenirken yatay pozisyondayken Izod testinde numune bir konsol olarak dikey pozisyonda desteklenir. Şekil 2.9’da Charpy ve Izod Darbe dayanım testine ait görsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Charpy ve Izod darbe dayanım testi

Deneyin yapılışı incelendiğinde L uzunluğuna sahip bir sarkacın ucunda, G ağırlığına sahip bir çekiç bulunmaktadır. Belirli bir h yüksekliğinden bu sarkaç serbest bırakılarak numuneye çarpması sağlanır. Bu çarpma ile kırılan numunenin absorpladığı enerji miktarı ölçülür. Kırılma işleminden sonra sarkaç tekrar belirli bir yüksekliğe çıkmaya devam eder, bu yükseklik ise h_1 olarak ifade edilir. Sarkacın sahip olduğu enerji ile, kırıldıktan sonra elde edilen enerji

arasındaki fark kırılma enerjisini ifade eder. Kırılma enerjisinin birimi, joule veya kgf.m (1 kgf.m = 9.80665 Joule) olarak ifade edilir.

Özetlenecek olursa kırılma enerjisi aşağıdaki formül ile ifade edilir;

$$\text{Kırılma Enerjisi} = (G \cdot h) - (G \cdot h_1) = G (h - h_1) \quad (7)$$

$$\text{Kırılma Enerjisi} = G \cdot L \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (8)$$

α = Düşme açısı (derece)

β = Yükselme açısı (derece)

Darbe dayanım testinde uygulanan bir diğer yöntemde çentikli darbe dayanımının hesaplanmasıdır. Test numunelerine çentik açılarak test uygulaması gerçekleştirilir. Çentikli darbe deneyi ise aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$\text{Çentikli Darbe Dayanımı} = G (h - h_1) / A \quad (9)$$

A = Numunenin Çentik bölgesinin kesit alanı (cm²)

Darbe dayanımı birimi, kgf.m/cm² veya Nm/cm² (1 kgf = 9,8 N) olarak ifade edilir.

2.5.2. Termal testler

(i) Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), malzemelerin termal özelliklerini ayrıntılı bir şekilde analiz etmek amacıyla tasarlanmış, yüksek hassasiyetli bir termal analiz cihazıdır. Cihaz, bir numunenin fiziksel özelliklerinin, sıcaklık değişimi ile birlikte zamana karşı nasıl değiştiğini ölçebilmektedir [77]. Başka bir deyişle cihaz, malzeme geçişleriyle ilişkili sıcaklığı ve ısı akışını zamanın ve zamanın bir fonksiyonu olarak belirleyen bir termal analizini sağlar.[78]

Cihazın temel prensibi, numune ile referans malzeme arasındaki sıcaklık farkını ölçmeye dayanır. Numune ile referans malzeme arasındaki ısı akışındaki farklar, malzemenin fiziksel durumundaki değişiklikleri ortaya koymaktadır. Özellikle sıcaklık artışları veya azalmaları sırasında meydana gelen faz geçişleri, erime, kristalleşme veya kimyasal reaksiyonlar gibi olaylar, DSC tarafından algılanabilir.

DSC'nin sağladığı termal analiz, malzemelerin termal davranışlarını anlamak, kalorimetrik özellikleri belirlemek ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerin performansını

optimize etmek için kapsamlı bir araştırma ve karakterizasyon aracı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

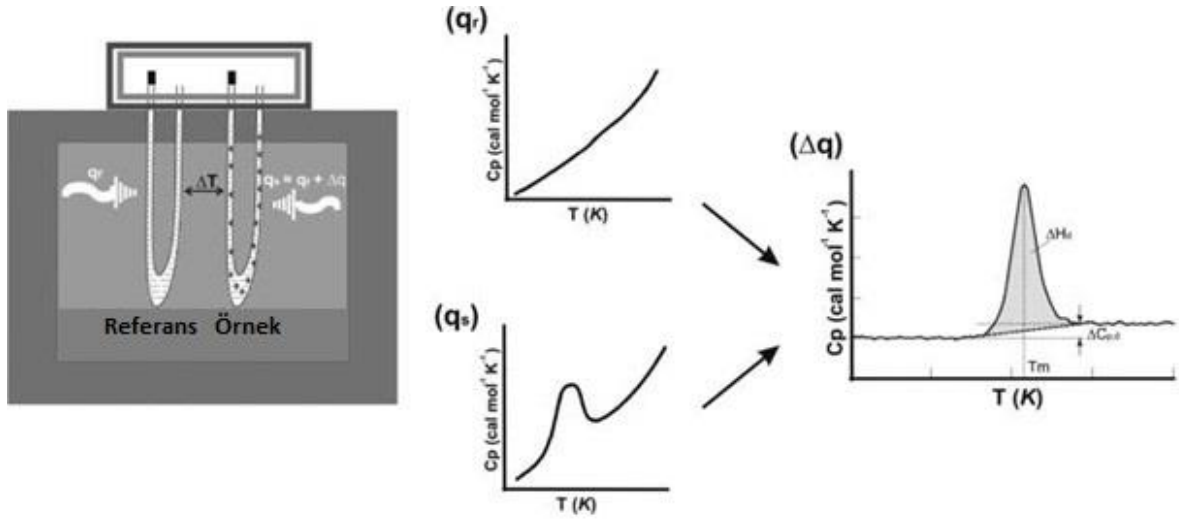
Diferansiyel Taramalı Kalorimetrelerin (DSC) işleyiş mekanizması, genellikle iki temel türde sınıflandırılmaktadır: ısı akışlı DSC'ler ve güç kompanseli DSC'ler. Isı akışlı bir DSC'de, örnek malzeme bir kaba yerleştirilir ve boş bir referans kabı, bir fırın tarafından çevrelenmiş bir termoelektrik disk üzerine konur. Fırın, doğrusal bir ısıtma hızında ısıtılır ve ısı, termoelektrik disk aracılığıyla hem örnek hem de referans kabına iletilir. Ancak, örnek malzemenin ısı kapasitesi (Cp) nedeniyle örnek ve referans kapları arasında bir sıcaklık farkı oluşur. Bu fark, alan termokuplaları tarafından ölçülür ve ardından Ohm'un yasasının termal eşdeğerine dayalı olarak oluşan ısı akışı belirlenir:

$$q = \Delta T/R \quad (10)$$

Bu formülde, q ısı akışını; ΔT , sıcaklık farkını; R, termal direnci temsil eder. Bu mekanizma, örnek malzemenin termal geçişlerini, faz değişimlerini ve diğer termal olayları doğru bir şekilde belirlemek amacıyla kullanılan bir analiz aracı olarak öne çıkmaktadır.

Isı akışlı DSC' nin karmaşık işleyiş prensipleri, çeşitli uygulamalarda malzemelerin termal davranışlarını incelemek için sağlam bir platform sunar. Ani sıcaklık farklarını ayırt etme yeteneği ve buna bağlı olarak ısı akışını çıkarabilme becerisi, bu tür DSC' yi malzeme bilimi, polimer araştırmaları, ilaç endüstrisi ve benzeri alanlarda önemli bir araç haline getirir.

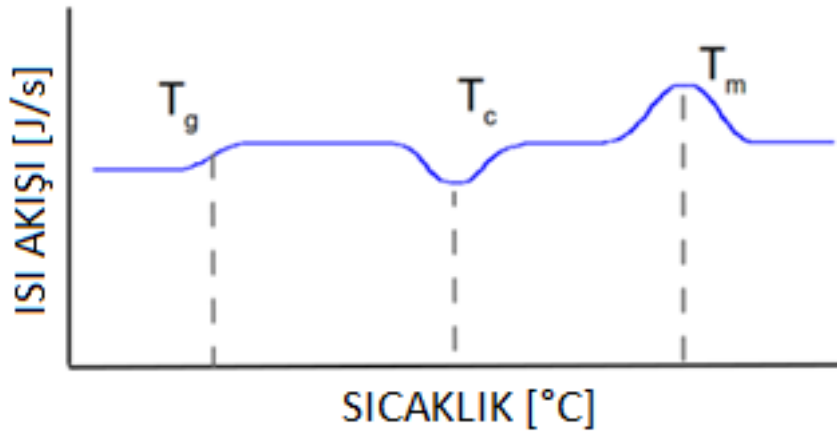
Temel bir DSC deneyinde, enerji eş zamanlı olarak bir numune hücreğine ve bir referans hücreğine uygulanır. Her iki hücrenin sıcaklıkları zaman içinde eşit şekilde yükseltilir. Numunenin sıcaklığını referansın sıcaklığına eşleştirmek için gereken giriş enerjisi farkı, numunedeki molekül tarafından absorbe edilen veya salınan fazla ısı miktarını ifade eder (sırasıyla endotermik veya ekzotermik bir süreçte) [79-81]. İlgi duyulan molekülün varlığından dolayı numunenin aynı sıcaklığa getirilmesi için daha fazla enerji gereklidir; bu nedenle, ısı fazlalığı kavramı ortaya çıkar (Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Bir DSC deneyi için deneysel gösterim [82]

Şeki 2.10, bir numune hücresinin (q_s) sıcaklığını aynı artışla (ΔT) artırmak için gereken ısı miktarı, numunedeki moleküller tarafından emilen aşırı ısı (Δq) nedeniyle referans hücre (q_r) için gerekenden daha yüksek olduğunu açıklar. Referansın numuneden çıkarıldığı sonuçtaki DSC taramaları, bu fazla ısıнын sıcaklığın bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini gösterir. Şekil 2.10.'da T (K) ; Sıcaklık (Kelvin), ΔH_d ; entalpideki değişim , $\Delta C_{p,d}$; C_p 'deki değişim T_m ; geçiş ve erime noktası, d ; denatüre'ü ifade eder.

Bir camsı geçiş sıcaklığını (T_g) , kristalizasyon zirvesini(T_c) ve erime noktasını (T_m) gösteren bir DSC grafiği örneği Şekil 2.11. gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Camsı geçiş, kristalleşmeye ve erimeye maruz kalan bir polimer için ısı akışına karşı sıcaklık grafiğinin örnek çizimi

Değerlendirilmesi gereken önemli bir nokta şudur ki, tüm polimerler ısınma sırasında üç geçiş sıcaklığını da vermemektedir. Kristal polimerlerde yalnızca kristallenme ve erime noktaları

gözlemlenir. Tamamen amorf polimerler ise yalnızca camsı geçiş sıcaklığı gözlemlenir. Kristalin ve amorf bölgeleri bir arada bulunduran yarı- kristalin polimerler ise genellikle amorf bölgeleri de içerir ve bu nedenle hem camsı geçişini hem de erime noktası gözlemlenir. Özellikle, amorf bölüm yalnızca camsı geçişini yaşarken, kristalin bölgeler yalnızca erimeyi deneyimler.

Polimer yapısındaki ince değişiklikler, Tg'de büyük değişikliklere yol açabilir. Tg'nin bu ince yapısal değişikliklere olan hassasiyeti, polimer davranışını anlamak ve öngörmek için hassas karakterizasyonunu değerlendirmede önemli bir noktadır. Isı-sıcaklık grafiği, termal davranışını analiz etme ve yorumlama konusunda değerli bir araç olarak hizmet eder, bu da yapısal ve faz geçişlerini anlamada yardımcı olur.

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri, kontrol edilen bir azot atmosferi içinde Netzsch DSC 214 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz, 0 °C ila 250 °C arasındaki bir sıcaklık aralığında yürütülmüş ve ısınma hızı sabit olarak 10 °C/dakika olarak belirlenmiştir.

Azot atmosferinin tercih edilmiş olması, örneğin termal davranışı üzerinde atmosferik oksijenin olası etkilerini ortadan kaldırmaya yöneliktir. Bu inert ortam, analiz sırasında oksidatif reaksiyonların veya istenmeyen etkileşimlerin olasılığını en aza indirerek elde edilen sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamaya yardımcı olur.

Belirlenen 0 °C ila 250 °C sıcaklık aralığı, incelenen örnekteki özel termal geçişleri veya olayları göstermektedir ve örnek malzemenin beklenen sıcaklık aralığıyla uyumludur. 10 °C/dakika sabit ısınma hızı, örnekte meydana gelen herhangi bir termal olayın hassas bir şekilde gözlemlenmesine ve karakterize edilmesine olanak tanımak amacıyla sistematik olarak uygulanmıştır.

Netzsch DSC 214 cihazı, azot atmosferi ve belirtilen sıcaklık parametreleri ile karakterize edilen bu DSC deneysel kurulumu, malzemenin termal özelliklerini incelemek için sağlam bir platform sunmaktadır. Bu analizin elde edilen verileri, örneğin faz geçişleri, erime noktaları, kristalleşme davranışı ve diğer termal olaylar hakkında kapsamlı bir anlayış kazanmada değerli katkılarda bulunacaktır.

(ii) Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklığı

HDT (Yük altında Eğilme Sıcaklığı), malzemenin yüksek sıcaklıklarda kısa süreli sertliğini belirten belirli bir yük altında numunenin eğildiği sıcaklık olarak ölçülen önemli bir termal

özelliktir.[83] Bu parametre, malzemenin yüksek sıcaklık koşullarında maruz kaldığında mekanik dayanıklılığını ve şekil değiştirme direncini değerlendirmek amacıyla kullanılır.

Elyaf takviyeli kompozit yapılarda, matrisin camsı geçiş sıcaklıkları, matrisin sertliği ve rijitlik gibi faktörler, HDT değerlerini önemli ölçüde etkileyebilir.[83] Bu bağlamda, malzemenin termal davranışını anlamak ve özellikle yüksek sıcaklıklarda mekanik performansını değerlendirmek amacıyla bu faktörlerin dikkate alınması büyük bir öneme sahiptir. Camsı geçiş sıcaklıkları, malzemenin moleküler düzeyde geçişlerini belirlerken, sertlik ve rijitlik, malzemenin genel termomekanik özelliklerini etkileyen kritik faktörlerdir.

HDT test sonuçları, malzemenin belirli sıcaklık koşullarında dayanıklılığını ve şekil değiştirme özelliklerini değerlendirmede önemli bir araç olarak hizmet eder. Bu sonuçlar, malzemenin uygulama alanlarını belirlemede, üretim süreçlerini optimize etmede ve malzeme tasarımında kritik kararlar alınmasında kullanılarak mühendislik uygulamalarına yönelik değerli bilgiler sunar. Aşağıdaki Tablo 2.3’ de bazı polimerlere ait HDT A ve B yöntemlerine göre elde edilen sıcaklıklar gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Ticari polimerlerin yük altında eğilme sıcaklıkları (HDT)

Polimer	HDT/ A (1,8 MPa) (°C)	HDT/ B (0,45 MPa) (°C)
ABS	88	98
ABS + %30 Cam Elyaf	145	150
Asetal Kopolimer	110	160
Asetal Kopolimer + %30 Cam Elyaf	190	200
Akrilik	85	95
Poliamid 6	60	160
Poliamid 6 + %30 Cam Elyaf	200	220
Polikarbonat	130	140
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	60	85
PET	65	70
PET + %30 Cam Elyaf	230	250
Polipropilen	70	100
Polipropilen + %30 Cam Elyaf	160	170
Polistiren	85	95

Vicat yumuşama sıcaklığı testinde, 1 mm² ‘lik kesit alana sahip düz uçlu bir iğne belirli bir yük altında malzeme yüzeyine batırılır ve sıcaklık yavaşça arttırılır. Derinlik 1 mm ‘ye ulaşana kadar sıcaklık arttırılır ve bu sıcaklık vicat yumuşama sıcaklığı olarak belirlenir. Bu özellik, malzemenin yüksek sıcaklıkta işleme veya kullanıma uygunluğunu değerlendirmek için önemli bir göstergedir.

Bu çalışmada, hazırlanan numunelerin HDT ve Vicat yumuşama sıcaklığı ZWICK-ROELL marka test cihazı ile ölçülerek belirlenmiştir. HDT değerleri hem 0,45 MPa yük altında hem de 1,8 MPa yük altında ISO 75-2 standardına göre ölçülmüştür.

2.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), malzemelerin mikroyapısını ve morfolojisini görüntülemeye yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. SEM'de malzemeye düşük enerjili bir elektron ışını yayılır ve numunenin yüzeyini tarar. Işın malzemeye ulaşır ve malzemeye girdiğinde birkaç farklı etkileşim meydana gelir ve bu da numune yüzeyinden veya numune yüzeyinden foton ve elektronların emisyonuna yol açar [84]. Bu mikroskop, malzemelerin nano ve mikro düzeydeki detaylarını inceleyerek, araştırmacılara önemli bilgiler sağlar. Bu çalışmada, enjeksiyon makinası ile hazırlanan numunelere uygulanan çekme kopma testinden sonraki kırık yüzeyleri SEM görüntüleme yöntemiyle incelenmiştir.

2.5.4. Triboloji testi

Triboloji etkileşim halindeki iki farklı yüzeyin sürtünme, aşınma ve yağlanması incelenmesi olarak tanımlanan bir terimdir. Çoğu tasarım ürünü bağlı harekete maruz kaldığında aşınma ve yıpranma sürecine girdiği için tribolojinin önemi günümüzde gün geçtikçe önem kazandığı ve aşınmanın endüstrilerin toplam maliyete yaklaşık %63 katkıda bulunduğunu rapor etmiştir [85]. İlginç bir şekilde, bu katkı faktörleri (sürtünme, ısı, aşınma, vb.) tamamen ortadan kaldırılamaz; ancak minimize edilebilirler. Son on yılda, birçok araştırmacı, geleneksel olarak kullanılan malzemelerin yerine geçecek şekilde geliştirilmiş malzemeleri tanıtmaktadır. Bu modifiye edilmiş malzemeler, aşınma ve sürtünme konularında üstün özelliklere sahip, hafif ve uzun ömürlüdür [86].

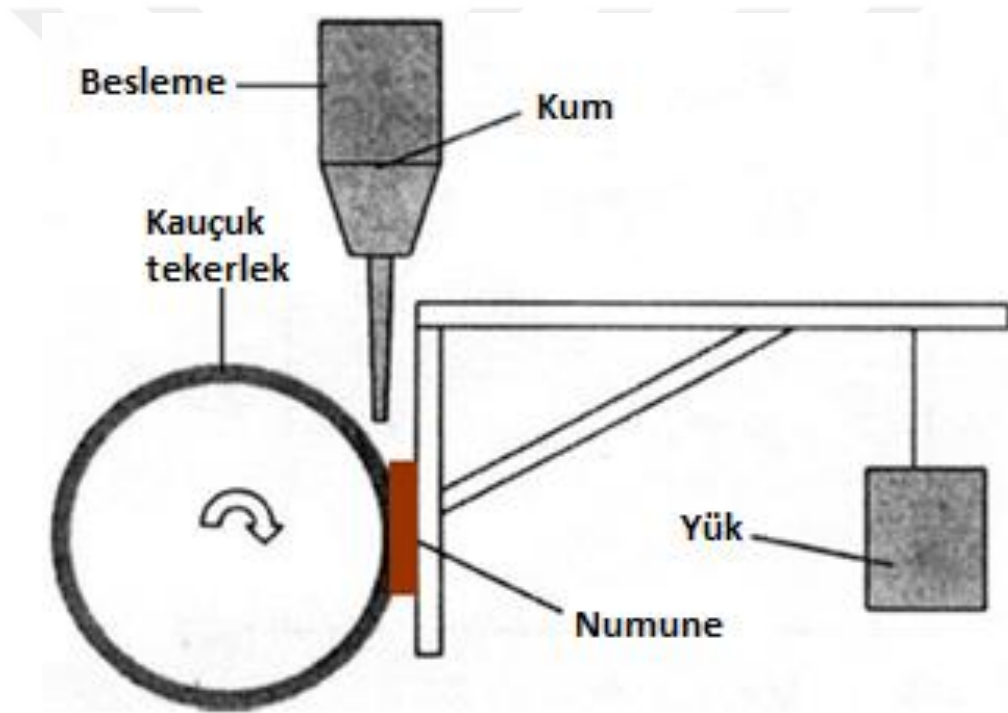
Yeni geliştirilen malzemelerin veya kompozitlerin , sürtünme dayanımları ve aşınma direncinin tahmini , önerilen malzemenin veya kompozitin ticari olarak piyasaya sunulmadan önce deneysel olarak gerçekleştirilmesi gereken bilimsel prensiplere ve hesaplama yöntemlerine dayanmalıdır [87, 88]. Bu sürecin öncesinde, gerçek zamanlı uygulama koşullarını yansıtan uygun parametrelerle donatılmış bir laboratuvar test makinesinde yapılacak deneysel çalışmalar kritik bir öneme sahiptir.

Bu kapsamda, uygun bir aşınma test düzeneği seçilmeli ve malzemenin veya kompozitin gerçek performansını doğru bir şekilde değerlendirebilmek adına özenle seçilmiş parametreler kullanılmalıdır. Bu parametreler arasında, test teknikleri, test örneklerine karşı kullanılan karşı

yüzeyin türü, kayma hızları, kayma mesafeleri, uygulanan yükler, temas koşulları ve test numunesinin karşı yüzeyin kayma yönüne göre yönlendirmesi gibi faktörler bulunmaktadır. Seçilen parametrelere dayalı olarak aşınma ve sürtünme testini simüle edebilen bir çok tribolojik ölçüm yapan test makinesi geliştirilmiştir. Bu makineler, belirli bir uygulama için testin uygunluğuna bağlı olarak birbirinden farklılık gösterir.

(i) Kuru kum kauçuk tekerlek

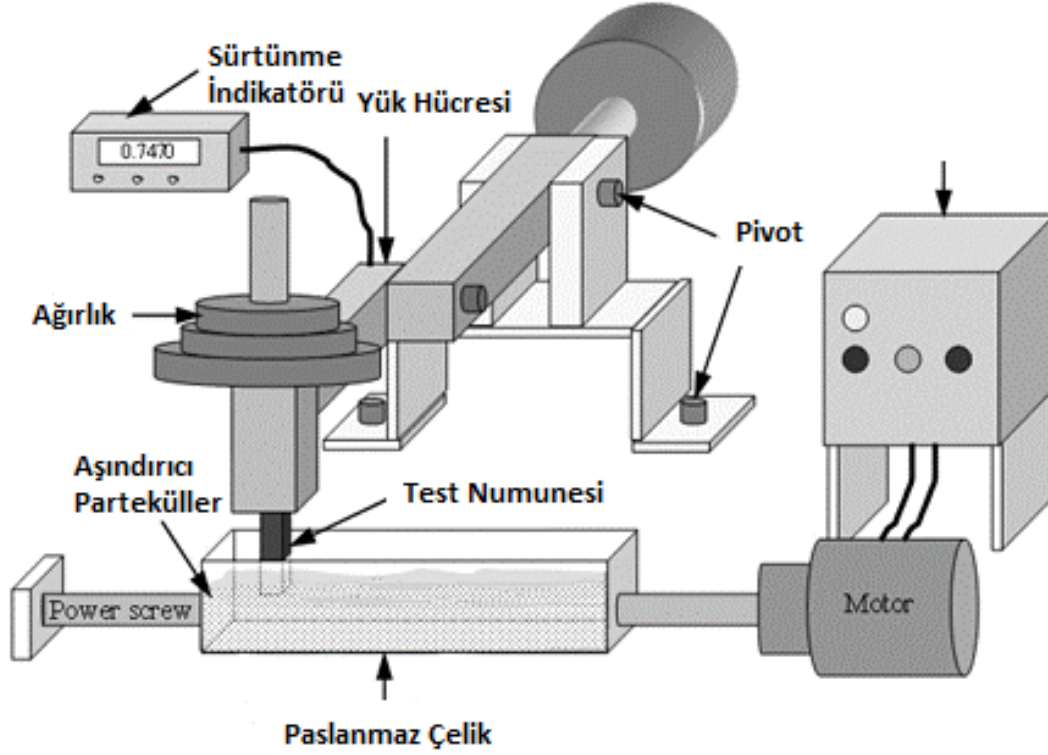
Şekil 2.12.'de şematik olarak gösterilen test makinesi, ASTM G65 standardına dayanarak inşa edilmiştir ve önerilen numune boyutu 70mm x 20mm x 7mm'dir. Lastik tekerlek, bir yük uygulandığında numune ile temas halindedir. Test sırasında, belirli bir akış hızında kum tanecikleri (ince, tane veya iri) ovma bölgesinde bulunur.



Şekil 2.12. Kuru kum kauçuk tekerlek aşınma testi donanımının şematik görünümü [89]

(ii) Doğrusal tribo test makinası

Doğrusal triboloji test makinesinin şematik görünümü Şekil 2.13.'de sunulmaktadır. Paslanmaz çelik karşı yüzey, doğrudan motora bağlı olan güç vida yardımıyla lineer olarak hareket eder. Sürtünme kuvvetlerini ölçmek için bir yük hücreğine bağlı olan bir sürtünme göstergesi bulunmakta ve karşı yüzeyin kayma hızını değiştirmek için bir hız kontrol cihazı kullanılmaktadır. Karşı yüzey, farklı test koşulları için farklı malzemeden olabilir.

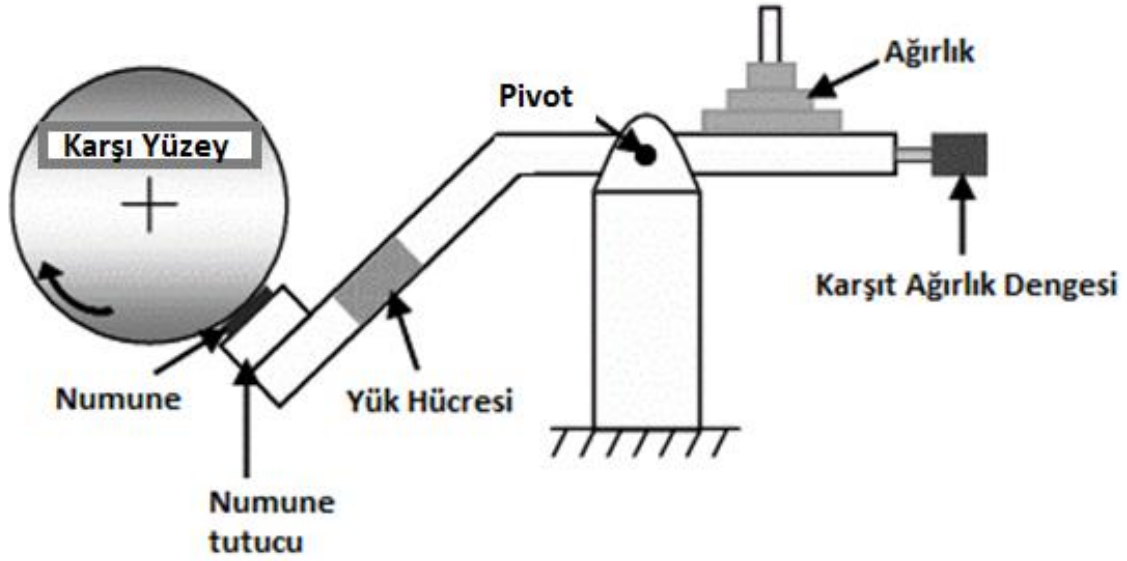


Şekil 2.13. Doğrusal triboloji test makinesinin şematik görünümü [89]

(iii) Blok bilezik aşınma deney cihazı

Şekil 2.14.'de blok bilezik aşınma test makinesinin şematik görünümü sunulmuştur. Bu makine, ASTM G77, G137-95 standartlarına uygun olarak inşa edilmiştir. Numune, 10mm x 20mm x 50mm boyutlarında olup, karşı yüzeye paralel olarak temas etmektedir. Test numunesinin karşı yüze maruz kalan temas alanı değişebilmektedir. Bir yük hücresi, test sırasında sürtünme kuvvetlerini yakalamak üzere doğrudan makinenin yük kolu içine entegre edilmiştir. Makinenin yük kolu sonunda, deneme öncesinde kaldıraç kolunu dengelemek için bir karşı ağırlık dengeleyici bulunmaktadır. Bu işlem, herhangi bir yük uygulanmadığında gerçekleştirilir.

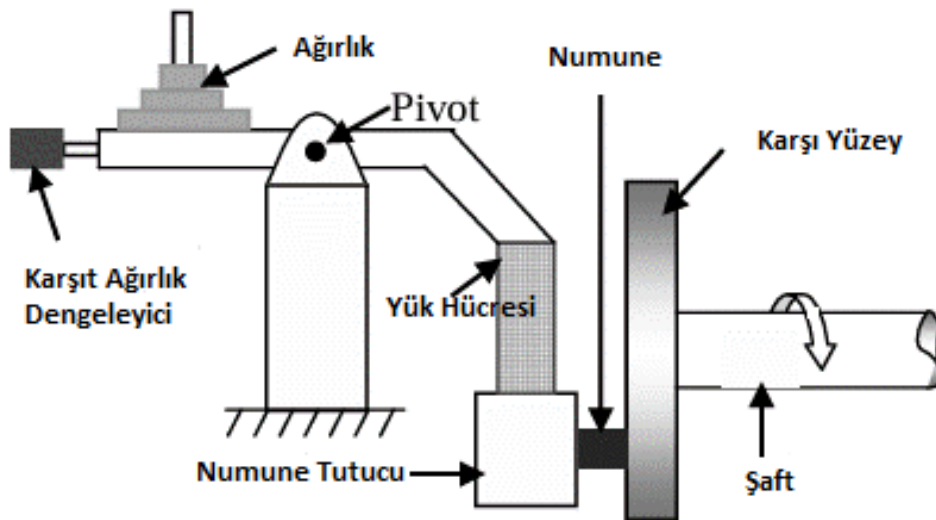
Testin yapılışı incelendiğinde, karşı yüzey çeşitli tiplerde olabilir (örneğin metal, dökme demir, titanyum, alüminyum, paslanmaz çelik vb.). Genellikle bu test, lastik diş desenlerinin, makara kasnaklarının, kam mili ve rulman malzemelerinin sürtünme veya aşınma davranışının simülasyonu için kullanılır [90].



Şekil 2.14. Blok bilezik aşınma test makinesinin şematik görünümü [89]

(iv) Disk üzeri pin aşındırma test cihazı

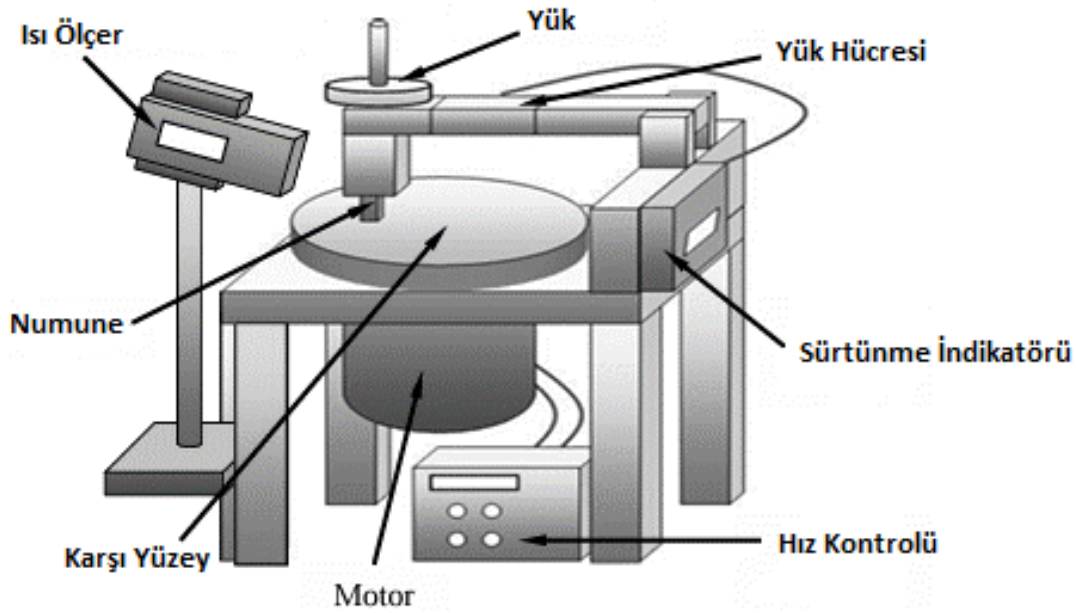
ASTM G99 standardına dayanarak inşa edilmiş olan bu tribotest makinesinin çalışma prensibi, blok halka tribotest makinesi ile aynıdır. Ancak, karşı yüze maruz kalan 10mm x 10mm x 20mm boyutlarındaki test numunesi, test boyunca sabit bir temas alanı sergiler. Test numunesi, karşı yüze dik ve yatay olarak yerleştirilmiştir. Testin tipik uygulamaları, ilgi duyulan sabit temas alanına sahip çeşitli malzemelerin kayar aşınması içerir [91-95]. Test cihazının şematik gösterimi Şekil 2.15.'te sunulmuştur.



Şekil 2.15. Disk üzeri aşındırma test cihazı [89]

(v) Blok halka aşındırma test cihazı

Şekil 2.16, küçük ölçekte inşa edilmiş olan taşınabilir blok halka aşındırma test makinesini göstermektedir. Bu makine, ASTM G99 standardına uygun olarak tasarlanmıştır. 10mm x 10mm x 20mm boyutlarındaki numune, temas alanının sabit olduğu şekilde dikey olarak karşı yüze maruz bırakılır. Test sırasında arayüz sıcaklıklarını ölçmek amacıyla blok halka makinesine bir taşınabilir kızılötesi termometre entegre edilebilir. Test, kuru kayma moduna maruz kalan yapışkan ve aşındırıcı olabilir. Bir hız kontrol ünitesi, karşı yüzey hızını değiştirmek için motora bağlıdır, dijital sürtünme göstergesi ise sürtünme kuvvetlerini test sırasında doğrudan yük hücresine yakalar [91-95].



Şekil 2.16. Blok halka aşındırma test cihazı [89]

2.5.5. Aşınma performansının hesaplanması

(ii) Aşınma performansı

Bir malzemenin aşınma süreci, mekanik etkileşime maruz kalarak, iki farklı yüzey arasında gerçekleşen bağıl hareket sebebiyle oluşan ağırlık kaybetme ve şekil değiştirme sürecini ifade eder [91, 96]. Aşınma performansını belirlemede birçok araştırmacı, spesifik aşınma hızı terimini kullanmayı tercih etmektedir.

Spesifik aşınma hızı, bir malzemenin birim yük taşıma kapasitesi başına birim zaman içinde kaybettiği ağırlığı ifade eder. Bu ölçüm, materyalin dayanıklılığını ve aşınma direncini değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Spesifik aşınma oranı genellikle şu formülle ifade edilir:

$$W = \frac{\Delta V}{F \cdot D} \quad (11)$$

W: Spesifik aşınma oranı, mm³ /N.m

ΔV : malzemenin hacim kaybı, mm³

F: Uygulanan kuvveti, N

D: kayma mesafesi, m

Bu ölçüm, malzeme performansının nicel bir değerlendirmesini sağlar ve farklı malzemelerin aşınma direncini karşılaştırmak için kullanılır.

(ii) Sürtünme performansı

Bir malzemenin sürtünme performansı, iki arayüz arasındaki bağıl harekete karşı direnç olarak tanımlanır.

Sürtünme katsayıları, malzemelerin özelliklerine ve yüzeylerin pürüzlülüğüne bağlı olarak farklılık gösterir. Pürüzsüz bir yüzeyde sürtünme genellikle daha düşüktür, ancak yüzey pürüzlü veya malzeme özellikleri buna neden olan faktörlere sahipse sürtünme artabilir. Sürtünme katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\mu = \frac{F_r}{F_n} \quad (12)$$

μ : Sürtünme katsayısı

F_r : Sürtünme kuvveti, N

F_n = Normal kuvvet, N

Bu çalışmada hazırlanan karışımlar, UTS tribolog marka, disk üzeri pin aşındırma triboloji test cihazı modeline sahip G99 aşınma test metoduna göre test edilmiştir.

Teste ait görsel aşağıdaki gibidir. Her bir numune test edilmeden önce 80°C ‘de 2 saat kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan teste ait test parametreleri Tablo 2.4.’te verilmiştir.

Tablo 2.4. Triboloji cihazı test parametreleri

Yük (N)	40
Plaka üzerindeki devir sayısı (RPM)	400
Çap (mm)	30
Aşınma Mesafesi (m)	20000

3. DENEYSEL KISIM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu tezde kullanılan alifatik PK terpolimeri (Poketone, M630A) ve (Poliketon M330A) , PA-6 (Durethan B26), sırasıyla Hyosung Corp. (Kore) ve Lanxess GmbH (Almanya) firmalarından temin edilmiştir. Bu polimerik malzemelerin teknik özellikleri Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Alifatik PK ve PA-6'nun fiziksel özellikleri

Parametreler	Test method	PK (M630A)	PK (M330A)	PA-6
Yoğunluk (g/cm ³)	ISO 1183	1.24	1,24	1.14
Çekme Esneklik Modülü (MPa)	ISO 527-1,-2	1450	1600	3000
Kopma Uzaması (%)	ISO 527-1,-2	300	300	15
Basma Esneklik Modülü (MPa)	ISO 180-1A	1500	1350	2700
Basma Bükme Dayanımı (MPa)	ISO 180-1A	57	53	100
Charpy Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	ISO 179/1eA	7	8	<10
Erime Sıcaklığı (°C)	ISO 11357-1,-3	222	222	222
Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)	ISO 306	195	195	200
Akma İndeksi (g/10dk)	ISO 1133	6	60	-

PK ve PK/PA-6 kompozitleri, Jushi Group (Zhejiang, Çin) tarafından tedarik edilen iki farklı E-cam elyafı ile hazırlanmıştır. Bu elyafların seçiminde dikkatlice belirlenen özellikler, işlenebilirlik ve son kompozit malzemenin performansı üzerinde etkili olması amacıyla titiz bir şekilde seçilmiştir. İlk olarak, 534A tipi elyafın, filaman çapı 11 µm, kesim uzunluğu 4.5 mm, boyut içeriği 0.7%, nem içeriği ise $\leq 0.10\%$ olarak belirlenmiştir. Bu elyaf, polietilen tereftalat ve polibutilen tereftalat ile uyumlu olan silan tabanlı bir boyama ile işlenmiştir. Diğer yandan, 568H tipi elyafın benzer şekilde filaman çapı 11 µm ve kesim uzunluğu 4.5 mm'dir. Bu elyafın boyut içeriği 0.45% ve nem içeriği de $\leq 0.10\%$ 'dir. 568H tipi elyaf, PA-6 ve PA-66 ile uyumlu bir silan tabanlı boyama ile işlenmiştir. Ayrıca Karbon elyaf olarak Dow Akso firmasından Aksaca AC 0101 marka karbon elyaf kullanılmıştır. Kullanılan Karbon elyaf 3mm

uzunluğunda, %1,5-3,0 aralığında boyut içeriğine sahiptir. Karbon elyaf Poliüretan bazlı emülsiyon ile boyutlandırılmıştır.

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan diğer önemli bileşenler arasında uyumlaştırıcılar ve kaydırıcılar da yer almaktadır. Etilen terpolimeri (Elvaloy PTW, Dow Chemical, ABD) ve maleik anhidrit aşılı polietilen (Fusabond N216, Dow Chemical, ABD) uyumlaştırıcı olarak kullanılmıştır. Ayrıca, çinko stearat (Akdeniz Chemson Additives Inc., Türkiye) ise kaydırıcı olarak eklenmiştir.

Bu detaylı malzeme seçimi, kompozit malzemelerin işlenmesi ve son performanslarını optimize etme amacı taşımaktadır. Bu şekilde, çalışmanın amacına yönelik olarak tasarlanmış, kapsamlı ve kontrollü deneyler gerçekleştirilebilmiştir.

3.2. Karışımların Hazırlanması

Cam elyaf takviyeli PK ve PK/PA 6 kompozitleri, COPERION ZSK 26 çift vida ekstruder kullanılarak özenle hazırlandı. Malzemelerin karışımı, 200 ila 240 °C sıcaklık aralıklarında özenle gerçekleştirildi ve vida dönüş hızı sabit olarak 350 dev/dak olarak ayarlandı. Tüm formülasyonlar ve numune kodları, ayrıntılı bilgilerle birlikte Tablo 3.2 ve 3.3'te detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Tablo 3.2. Elyaf takviyeli PK kompozitlerin kodları ve formülasyon detayları^a

Karışım	PK -1 (M630A)	PK -2 (M330A)	PA-6	GF	Uyum.	Kay.	Toplam
PK-1/GF30	69.7	-	-	30	-	0.3	100
PK-1/GF30-C1	66.7	-	-	30	3	0.3	100
PK-1/GF30-C2	66.7	-	-	30	3	0.3	100
PK-2/GF30	-	69.7	-	30	-	0.3	100
PK-2/GF30-C1	-	66.7	-	30	3	0.3	100
PK-2/GF30-C2	-	66.7	-	30	3	0.3	100
PK-1/CF15 ^b	84.7	-	-	-	-	0.3	100
PA/GF30	69.5	-	-	30	-	0.5	100

^a) cam elyaf (GF), uyumlaştırıcı (Uyum.): etilen terpolimer (C1) ve maleik anhidrit aşılanmış polietilen (C2), kaydırıcı (Kay.) olarak çinko stearat kullanıldı. ^b) ağırlıkça % 15 oranında karbon elyaf (CF) kullanıldı.

Tablo 3.3. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA 6 blend kompozitlerin kodları ve formülasyon detayları^a

Karışım	PK -1 (M630A)	PK -2 (M330A)	PA-6	Uyum.	Kay.	Toplam
PK-1-15/PA6-50/GF30- C1	15	-	49.5	5	0.5	100
PK-1-20/PA6-45/GF30- C1	20	-	44.5	5	0.5	100
PK-1-25/PA6-40/GF30- C1	25	-	39.5	5	0.5	100
PK-1-15/PA6-50/GF30- C2	15	-	49.5	5	0.5	100
PK-1-20/PA6-45/GF30- C2	20	-	44.5	5	0.5	100
PK-1-25/PA6-40/GF30- C2	25	-	39.5	5	0.5	100
PK-2-15/PA6-50/GF30- C1	-	15	49.5	5	0.5	100
PK-2-20/PA6-50/GF30- C1	-	20	44.5	5	0.5	100
PK-2-25/PA6-45/GF30- C1	-	25	39.5	5	0.5	100
PK-2-15/PA6-50/GF30- C2	-	15	49.5	5	0.5	100
PK-2-20/PA6-45/GF30- C2	-	20	44.5	5	0.5	100
PK-2-25/PA6-40/GF30- C2	-	25	39.5	5	0.5	100

^{a)} uyumlaştırıcı (Uyum.): etilen terpolimer (C1) ve maleik anhidrit aşılınmış polietilen (C2), kaydırıcı (Kay.) olarak çinko stearat kullanıldı.

Üretilen kompozit granüller, ISO 527 ve ISO 179 standartlarına uygun olarak enjeksiyon işlemiyle şekillendirilerek çekme, eğilme ve darbe testleri için kullanıldı. Mekanik verilerin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi için her test için beş ayrı numune hazırlandı ve test edildi. Çift vidalı ekstrüderde hazırlanan karışımlar granül formuna getirilmiştir. Ekstrüzyon prosesine ait parametreler Tablo 3.4 ve 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Ekstrüzyon sıcaklıkları	
Kovan Bölgesi	Ekstrüzyon Kovan Sıcaklıkları (°C)
1. Bölge	200
2. Bölge	240
3. Bölge	235
4. Bölge	235
5. Bölge	235
6. Bölge	235
7. Bölge	235
Çıkış	235
Kafa	240

Tablo 3.5. Ekstrüzyon proses parametreleri

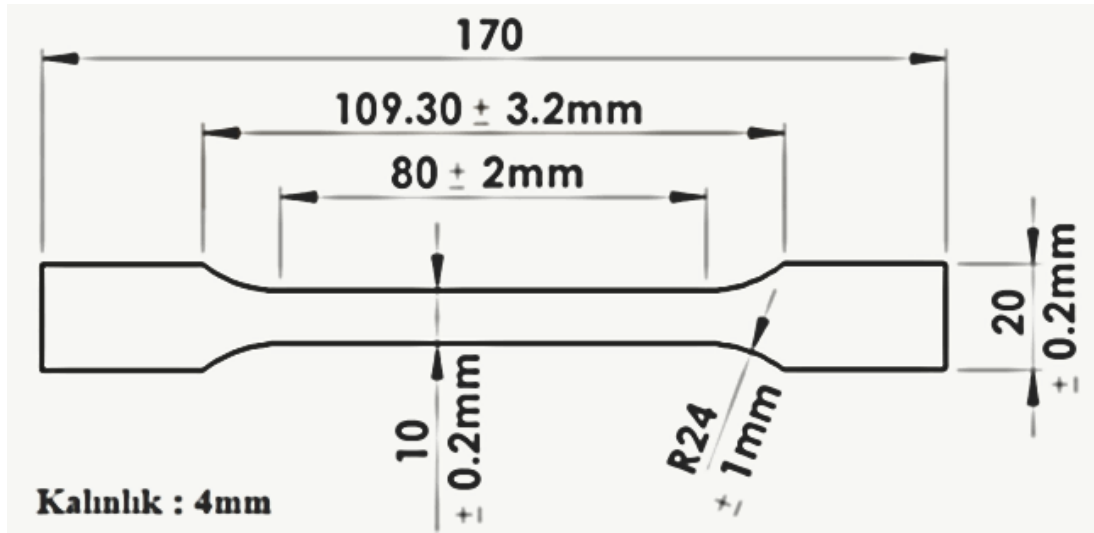
Motor Devri (RPM)	390
Yan Besleme Devri (RPM)	180
Üretim Hızı (kg/saat)	20
Malzeme Sıcaklığı (°C)	252

Ekstrüzyon proses ile hazırlanan karışımlar granül formuna getirildikten sonra, test plakaları ISO 179 ve ISO 527 standartlarına uygun olarak JONWAI marka enjeksiyon ile kalıplanarak hazırlanmıştır. Enjeksiyon prosesine ait proses parametreleri aşağıdaki Tablo 3.6’da verilmiştir.

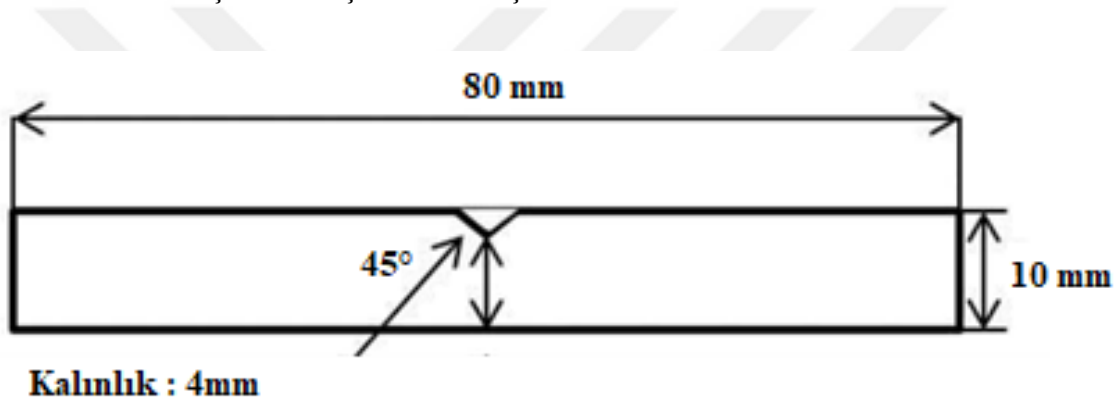
Tablo 3.6. Enjeksiyon proses parametreleri

Enjeksiyon Kovan Bölgesi	Enjeksiyon Kovan Isıları (°C)
Meme Isısı	235
1. Bölge	230
2. Bölge	225
3. Bölge	230
Enjeksiyon Basıncı (bar)	120
Enjeksiyon Hızı (CM / SEC)	
1. Bölge	35
2. Bölge	30
3. Bölge	25
4. Bölge	20
5. Bölge	15
6. Bölge	10
Ütüleme Basıncı (bar)	100
Ütüleme Hızı (cm ³ /s)	9
Kalıp Isıtıcı Sıcaklığı(°C)	60

Çekme ve darbe testi için enjeksiyon makinası ile hazırlanan numune örnekleri Şekil 3.1 ve 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çekme testi için hazırlanan numune ebatları



Şekil 3.2. Darbe testi için hazırlanan numune ebatları



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Poliketon (PK), plastik malzemeler arasında öne çıkan bir dizi avantaj sunarak endüstriyel uygulamalarda çeşitli kullanım alanlarına sahip bir polimer türüdür. Bu özelliklerinden biri, diğer polimerle karşılaştırıldığında, özellikle poliamidlere göre %30'dan fazla yüksek kimyasal direnç göstermesidir. Aynı şekilde, PK'nın poliamidleri %230'dan fazla bir darbe direncine ve Polioksimetilene (POM) göre %14'ten daha iyi bir aşınma direncine sahip olması, malzemenin dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü arttırmaktadır[24]. Bu avantajlar PK'yı otomobillerde, elektrik ve elektronikte iç ve dış malzemelerde kullanıma uygun hale getirmektedir [97].

Ekstrüder ile eriyik karıştırma, bu avantajları daha da artırmak için kullanılan etkili bir işlemdir. Bu yöntem, malzeme kalitesi, üretkenlik ve maliyet etkinliği açısından bir çok avantaj sunarak, çeşitli yenilikçi malzemelerin geliştirilmesine olanak tanır [98]. PK'nın poliamidlerle kısmen karışabilir olması, bu yöntemin PK ile eriyik karıştırmada etkili bir seçenek olmasını sağlar, bu da yüksek performanslı malzemelerin elde edilmesine imkan verir [66].

Ancak, bu malzemeler arasındaki sınırlı kimyasal çekim kuvveti nedeniyle, karışımların üretimi genellikle çoklu fazlı bir sistemle sonuçlanır. Bu zorluğu aşmak için uyumlaştırıcılar eklemek, polimer bileşenleri arasında daha sağlam fiziksel veya kimyasal bağlar oluşturarak karışımların daha homojen hale gelmesini sağlar [69, 99]. Bu çalışmada, etilen terpolimer (C1) ve maleik anhidrit aşılı polietilen (C2) gibi uyumlaştırıcıların PK/GF30 v PK/PA/GF30 kompozit malzemelerdeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Elde edilen kompozit yapıların mekanik özellikleri, çekme testi, eğilme dayanım testi ve darbe dayanım testi ile incelenmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerin karışa bilirliği Taramalı Elektrom Mikroskop (SEM) ile test edilerek incelenmiştir.

Bununla birlikte elde edilen kompozit yapıların ısıl dayanımları, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklığı ölçülerek incelenmiştir. Ek olarak karışımların tribolojik özellikleri, disk üzerinde pin aşındırma test cihazı ile ölçülerek karşılaştırılmıştır.

3.1. Mekanik Sonuçlar

PK/GF30 ve PK/PA6/ GF30 çekme, eğilme ve Izod darbe testi sonuçları Tablo 4.1 ve 4.2'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Ağırlıkça %30 elyaf takviyeli PK kompozitlerin mekanik özellikleri

Karışım	Çekme Esneklik Modülü (GPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Basma Esneklik Modülü (GPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Izod Darbe Dayanımı (kJ/m ²)
PK-1/GF30	7.1	82	2.26	5.7	116	8.2
PK-1/GF30-C1	6.5	53	2.43	5.2	83	8.4
PK-1/GF30-C2	6.4	88	2.56	4.6	125	12.2
PK-2/GF30	8.6	98	1.7	6.7	142	8.2
PK-2/GF30-C1	7.8	80	1.6	6.4	112	8.4
PK-2/GF30-C2	8.4	103	1.9	6.4	140	12.2
PK-1/CF- 15	4.2	71	2.9	3.2	86	12.7

PK/GF30 kompozitine etilen terpolimer (C1) eklenmesi hem çekme esneklik modülünde hem de basma esneklik modülünde azalmaya neden olmuştur. Bununla birlikte kopma ve basma bükme dayanımında da aynı azalma etilen terpolimer eklenmesi ile gözlemlenmiştir. Kopma uzaması ve çentikli Izod darbe dayanıklılığında ise bir miktar artış söz konusudur.

Maleik anhidrit aşılınmış polietilen (C2) eklenmesinde ise PK-1/GF30'ın kopma dayanımı (%7.3), basma dayanımı (%7.8) ve çentikli Izod darbe dayanımında (%48.8) önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, C2 uyumlaştırıcının eklenmesi ile birlikte kopma uzaması değerinde (%13.3) önemli bir iyileşme gözlemlendi.

Ancak, maleik anhidrit aşı polietilenin (C2) çekme esneklik modül (%9.9) ve basma esneklik modül (%19.3) değerleri, saf PK-1/GF30 kompozitinden daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Bu durum, C2'nin eklenmesi ile mekanik özelliklerde belirli bir düşüşe neden olduğunu göstermektedir. Ek olarak, bu olumsuz etkiye rağmen, PK-1/GF30'ın darbe direncindeki önemli artış dikkat çekicidir. %3 ağırlıkça C2 uyumlaştırıcının eklenmesiyle PK-1/GF30 kompozitlerinin darbe dayanıklılığında %48.8 'lik bir iyileşme elde edilmiştir.

Etilen terpolimer uyumlaştırıcının bulunduğu PK/GF30-C1 örneğinde, darbe direncindeki iyileşme sadece %2.4 ile sınırlı kalmıştır. Bu durum, C1'in katkısının uyumlaştırıcı etkisinin daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, cam elyaf takviyeli PK kompozitlerinin hazırlanmasında C2'nin, C1'e kıyasla daha uygun bir uyumlaştırıcı olduğu sonucuna varılmıştır.

C2'nin eklenmesiyle elde edilen darbe direncindeki belirgin artış, PK/GF30 kompozitlerinin performansını geliştirmek adına uygun bir tercih olduğunu göstermektedir.

Poliketona, eklenen %15 oranında karbon elyafı örneğinde (PK-1/CF- 15) çekme esneklik modülü ve basma bükme modülünde artış sağlanmıştır. Herhangi bir elyaf takviyesi olmayan PK-1'e göre %15 Karbon elyaf takviyesi ile çekme esneklik modulunde % 289.6 oranında artış gözlemlenirken basma bükme modülünde bu artış %213,3 oranında olmuştur. Basma bükme dayanımında ise bu iyileşme %24.5 olarak gözlemlenmiştir.

PK-1/GF30 kompozit yapı ile karşılaştırıldığında darbe dayanımında %54.9 oranında olumlu sonuçlar görülmesine rağmen, basma bükme dayanımı ve çekme testi sonucunda PK-1/GF30 kadar yüksek değerlere ulaşamamıştır. Bunun sebebi de karbon elyafın %15 oranında eklenmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.2. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 kompozitlerin mekanik özellikleri

Karışım	Çekme Esneklik Modulu (GPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Basma Esneklik Modülü (GPa)	Basma Mukavveti (MPa)	Izod Darbe Dayanımı (Çentikli) (kJ/m ²)
PA-6/GF30	10.6	168	3.00	8.3	266	11.3
PK-1-15/PA6-50/ GF30-C1	8.2	123	3.76	6.8	197	16.5
PK-1-20/PA6-45/ GF30-C1	8.7	128	3,84	6,5	198	15.5
PK-1-25/PA6-40/ GF30-C1	8.2	126	4.50	6.9	218	16.5
PK-1-15/PA6-50/ GF30-C2	9.3	144	4.26	7.5	225	19.6
PK-1-20/PA6-45/ GF30-C2	9.0	137	2,37	7.0	207	17.05
PK-1-25/PA6-40/ GF30-C2	8.4	130	4.86	6.5	200	17.3
PK-2-15/PA6-50/ GF30-C1	10.6	100	2,54	6.7	144	10.3
PK-2-20/PA6-45/ GF30-C1	9.0	90	2,66	6.5	122	9.2
PK-2-25/PA6-40/ GF30-C1	7.6	81	2,76	6.3	117	8.3
PK-2-15/PA6-50/ GF30-C2	8.6	122	5,86	6.4	176	15.4
PK-2-20/PA6-45/ GF30-C2	8.3	118	6,66	6.1	169	19.27
PK-2-25/PA6-40/ GF30-C2	8.0	114	7,84	5.9	163	24.1

Poliketon, Poliamid 6 (PA) ve %30 cam elyaf takviyeli karışımların elde edilmesi, uyumlaştırıcıların (C1 ve C2) varlığında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Üç farklı karışım oranı olan %15/50/30/5, %20/45/30/5 ve %25/40/30/5 ağırlık yüzdelerindeki PK/PA-6/GF/uyumlaştırıcı kompozitlerin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerindeki etkiler üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın odak noktalarından biri, bu kompozitlerin mekanik performansı olmuştur.

30% cam elyaf takviyeli PK/PA-6 kompozitlerinin mekanik özellikleri incelendiğinde, çekme esneklik ve basma bükme modülü ile kopma ve basma dayanımı değerleri, saf PK/GF30 ve PA-6/GF30 kompozitleri arasında bir aralıkta bulunmuştur. Bu durum, cam elyafın etkin bir şekilde kompozitlerin dayanıklılığına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ancak, ara yüzeydeki zayıf bağlanma nedeniyle bazı bölgelerde yerel fiber ayrışmaları gözlemlenmiştir. Bu durum, arayüzey mukavemetinin daha da iyileştirilebileceğini düşündürmekte ve potansiyel olarak uyumlaştırıcı tipinin değiştirilebileceğini göstermektedir.

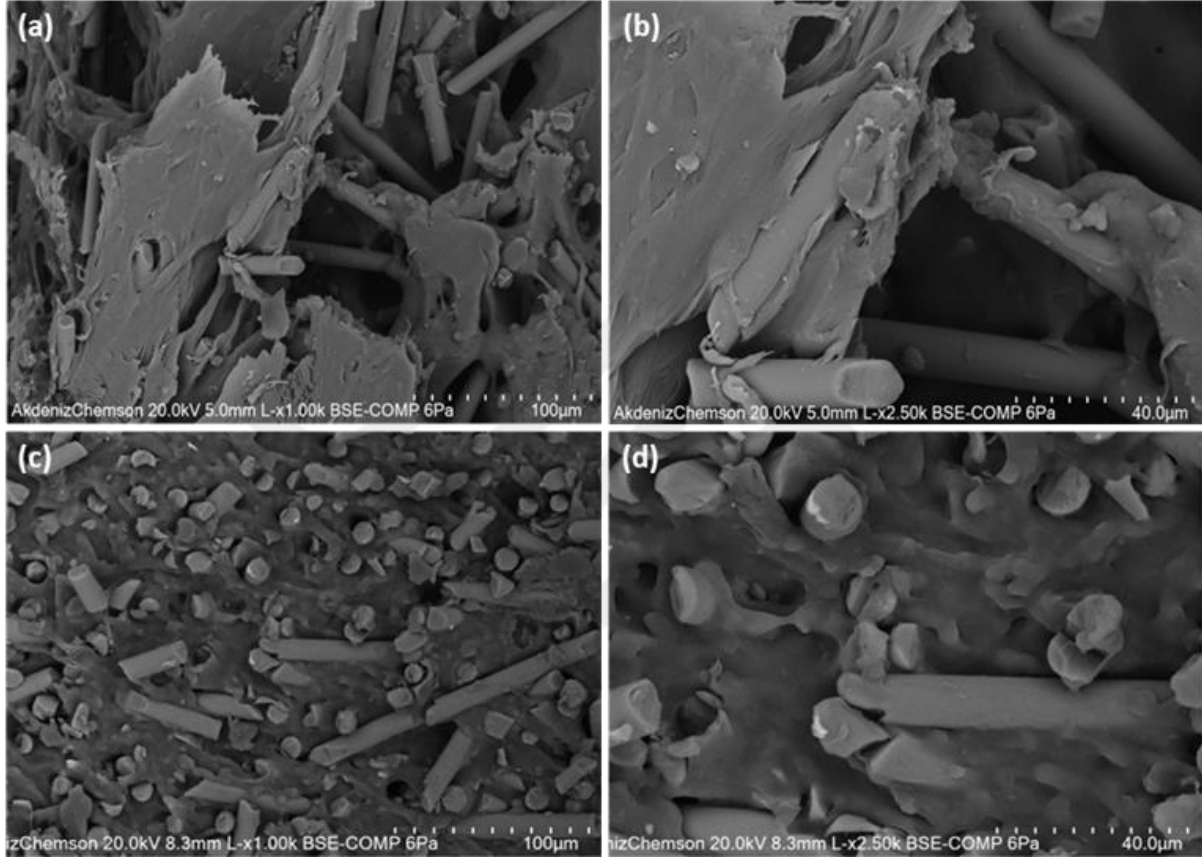
Bu çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, C2 uyumlaştırıcısı içeren PK/PA-6/GF30 kompozitinin, kontrol örneği olan PK/GF30'a göre önemli bir iyileşme sağlamış olmasıdır. Özellikle, çekme esneklik ve basma bükme modülündeki %31 ve %32'lik artışlar dikkat çekicidir. Ancak, bu değerler, saf PA-6/GF30 örneğinin değerlerinden daha düşüktür. Bununla birlikte, tüm kompozitlerde darbe dayanıklılığında ve kopma uzamasında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. PK-15/PA6-50/GF30-C2 örneğinin oluşturulmasının ardından, Izod darbe dayanıklılığındaki % 139'luk artış ve maksimum kopma uzamasındaki %115'lik artış önemli bulgulardır.

Tüm bu sonuçlar, uyumlaştırıcıların ve karışım oranlarının polimer kompozitlerin özellikleri üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır. Elde edilen bulgular, cam elyaf takviyeli PK kompozitlerinin geliştirilmesinde uyumlaştırıcı seçimi ve karışım oranlarının önemli olduğunu vurgulamaktadır.

3.2. Görüntüleme Sonuçları

Cam elyaf ile PK matrisi arasındaki etkileşim, çekme testlerinden sonra numunelerin kırık yüzeyinden alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri üzerinden araştırıldı (Şekil 4.1.). Tüm SEM görüntülerinde cam elyafın PK matrisi içinde rastgele dağıldığı gözlemlendi. PK/GF30-C1 ve PK/GF30-C2'nin SEM görüntülerini karşılaştırdığımızda, C2'nin bir uyumlaştırıcı olarak kullanıldığı durumda cam elyaf yüzeylerinin matris malzemesi ile kaplı

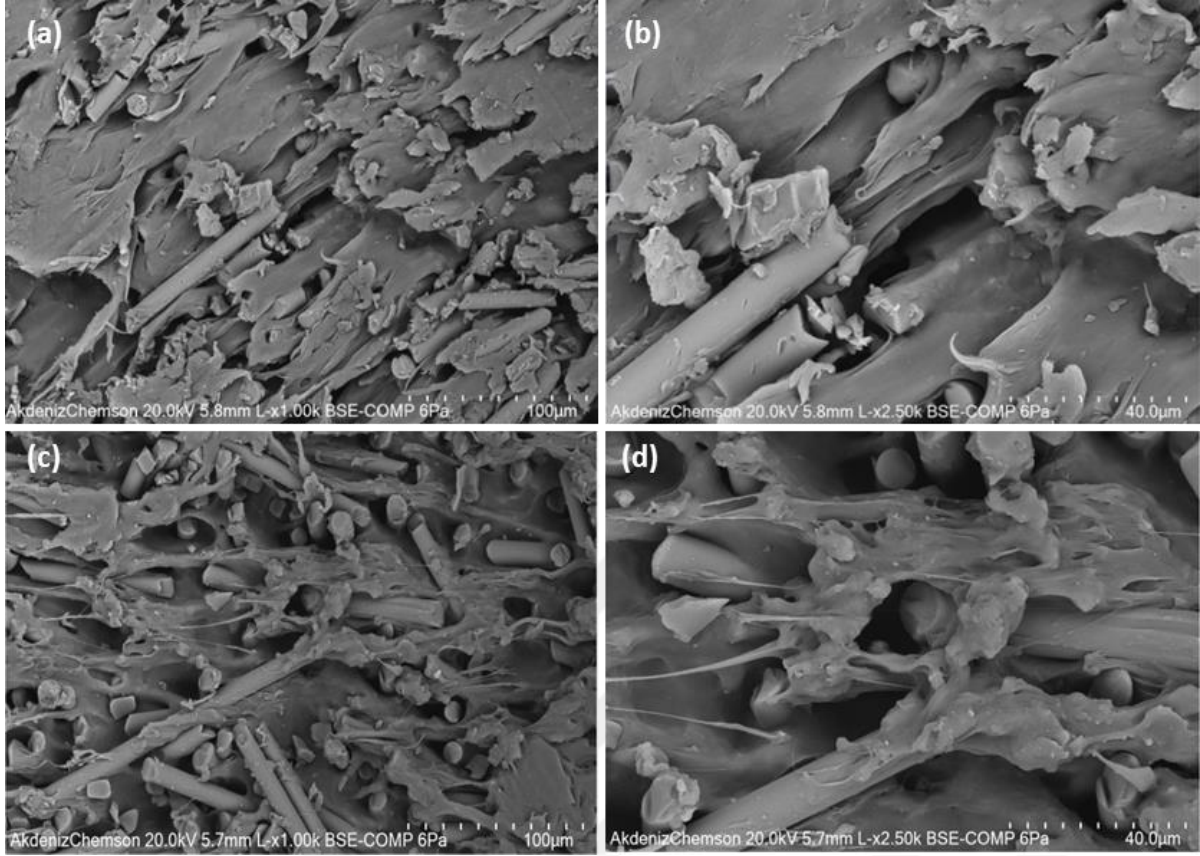
olduğu açıkça görülmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, PK matrisi ile cam elyaf arasındaki uyumluluk, yüzey özelliklerinin farklı doğası gereği sınırlı kalmaktadır. Ekstrüzyon ile karıştırma sırasında C2'nin maleik anhidrit işlevselliği, cam lifindeki hidroksil grupları ile reaksiyona girebilir ve yüzey polaritesini azaltabilir. Bu nedenle, C2 uyumlaştırıcısının kullanımıyla cam elyaf ile PK matrisi arasındaki arayüzey bağlanma ve uyumluluk önemli ölçüde iyileştirildi [100].



Şekil 4.1. PK/GF30-C1 numunesinin 100 µm (a) ve 40 µm (b) SEM görüntüleri, PK/GF30-C2 numunesinin 100 µm (c) ve 40 µm (d) SEM görüntüleri

C1 uyumlaştırıcısı içeren karışım kompozitlerinin mekanik özellikleri, PK besleme oranını %15'ten %25'e çıkardığımızda, çekme modülü ve dayanım, kopma uzaması, eğilme modülü ve dayanımı ve Izod darbe dayanımı gibi faktörler bakımından oldukça benzer olduğu gözlemlendi. SEM görüntülerinde, %15 ve %25 PK besleme oranlı örneklerde cam elyaflarının polimer matrisi boyunca rastgele dağıldığı belirlendi (Şekil 4.2). Bu, karışımın iyi karışmış karışım olduğunu göstermektedir ve cam elyaflarının kompozitin dayanımına etkili bir şekilde katkıda bulunduğu açıkça belirtmektedir. Ancak, cam elyaf ile polimer matrisi arasındaki arayüzey oldukça düz ve zayıf bağlanma sergilemektedir. Bu da bölgesel elyaf ayrılma örneklerine neden olmuştur. Sonuç olarak, elyaf çekilmesinin varlığı, arayüzey gücünün daha

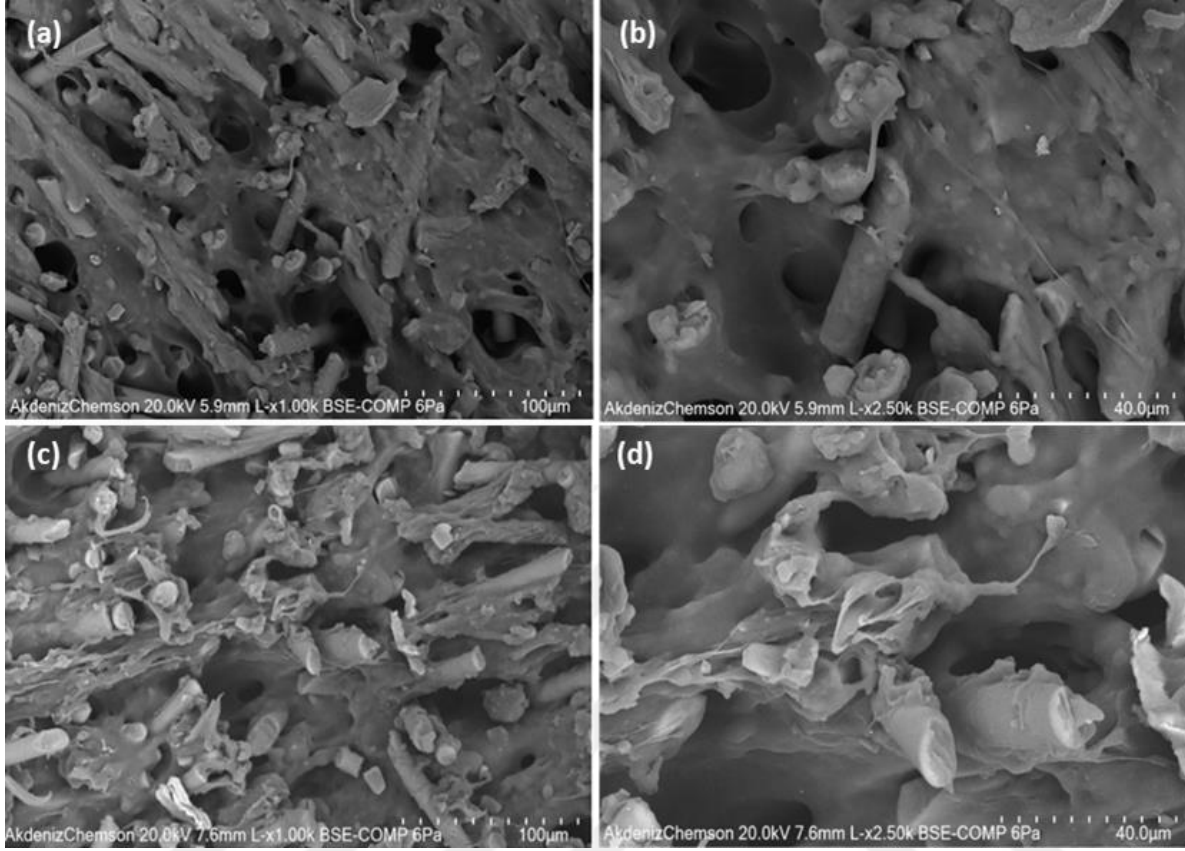
fazla optimize edilebileceğini, bu da potansiyel olarak uyumlaştırıcı tipini değiştirerek elde edilebileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4.2. PK-15/PA6-50/GF30-C1 numunesinin 100 µm (a) ve 40 µm (b) SEM görüntüleri, PK-25/PA6-40/GF30-C1 numunesinin 100 µm (c) ve 40 µm (d) SEM görüntüleri

Maleik anhidrit yapıya sahip uyumlaştırıcı (C2) kullanımının ardından, PK/PA-6 matrisi içinde cam elyaf son derece homojen ve iyi dağılmış bir şekilde yerleştiği gözlemlendi (Şekil 4.3.). Tüm cam elyaflar rastgele dağılmış, bu da karıştırma sürecinin etkili olduğunu göstermektedir. Cam elyaf ile matris arasındaki daha iyi arayüzey son derece uyumlu görünmektedir ve bu da elyaf çekilmesinin minimal örnekleri ile sonuçlanmıştır. Güçlü elyaf- matris arayüzeyi ve genel mikroyapı bütünlüğü, kompozitin darbe dayanımını ve kopma uzaması değerlerini büyük ölçüde arttırmıştır. Mekanik testler arasında çekme, eğilme ve Izod darbe testleri, %25 PK besleme oranına sahip PK-25/PA6-40/GF30-C2 kompozitinin, PK-15/PA6-50/GF30-C2 örneğine göre belirgin şekilde düşük mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 4.2). Karışım oranındaki PK ve PA-6 oranındaki değişiklik, iki polimer arasındaki etkileşimi değiştirebilir ve bu da mekanik özellikleri etkileyebilir. PK-25/PA6-40/GF30-C2 örneğinde, daha yüksek orandaki PK, daha yumuşak bir matrise neden olabilir, bu da çekme ve eğilme dayanımının azalmasına yol açabilir. Ancak çekme esneklik modülü ve basma bükme

dayanımında azalmaya sebep olurken, çentikli Izod darbe sonucunda belirgin bir artışa sebebiyet vermiştir. Bu da C2 uyumlaştırıcısının etkin olduğunu kanıtlamaktadır.



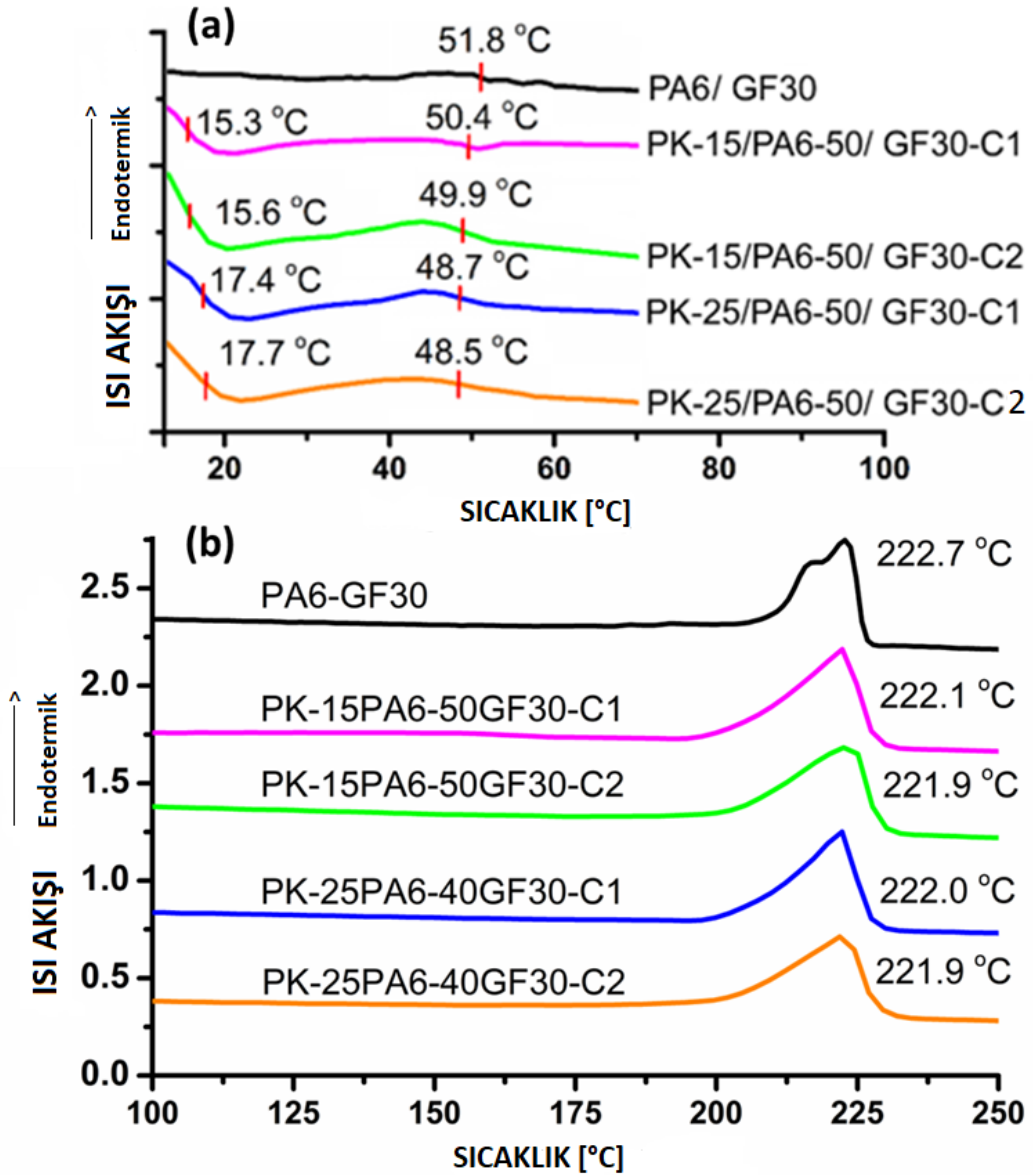
Şekil 4.3. PK-15/PA6-50/GF30-C2 numunesinin 100 µm (a) ve 40 µm (b) SEM görüntüleri, PK-25/PA6-40/GF30-C2 numunesinin 100 µm (c) ve 40 µm (d) SEM görüntüleri

3.3. Termal Analiz Sonuçları

PK/GF-30-C1 ve PK/GF-30-C2 örneklerinin termal davranışları, 0 ile 250 °C arasında, 10 °C/dk ısıtma hızıyla nitrojen atmosferinde DSC yöntemi kullanılarak incelendi. Saf alifatik PK terpolimeri (Poketone, M630A) ve PA-6 (Durethan B26) sırasıyla cam geçiş sıcaklığı (T_g) olarak 15 ve 52 °C, erime sıcaklığı (T_m) olarak ise 222 °C gösterdi. C1 ve C2 uyumlaştırıcıları ile hazırlanan %30 cam elyaf takviyeli kompozitlerde, hem PK/GF-30 hem de PA-6/GF-30 örneklerinin T_g ve T_m değerlerinde hafif bir azalma kaydedildi. Uyumlaştırıcının eklenmesi, polimer zincirlerinin segmental hareketliliğini ve polimer zincirleri arasındaki serbest hacmi arttırdı, bu da PK/GF-30 ve PA-6/GF-30 örneklerinin T_g ve T_m değerlerinde hafif bir azalmaya neden olduğu belirlendi.

PK/PA-6 besleme oranının ve uyumlaştırıcının türünün 30% cam elyaf takviyeli kompozitlerinin T_g ve T_m değerleri üzerindeki etkisi de DSC yöntemi ile araştırıldı. Şekil 4.4. ve Tablo 4.3'de gösterildiği gibi, PK fazının T_g'si hafifçe artarken, PA-6 fazının T_g'si sırasıyla

15'ten 25%'e PK içeriği arttıkça 50.4 ve 49.9 °C'den 48.7 ve 48.5 °C'ye düştü. İki ayrı Tg'nin varlığı, iki fazın varlığını göstermektedir ve iki polimerin karışmazlığını yansıtmaktadır [47, 61]. Ayrıca, C2 uyumlaştırıcısının Tg değişim üzerindeki etkisinin, C1 uyumlaştırıcısına göre daha belirgin olduğu gözlemlendi. Bu durum, C2 uyumlaştırıcısında maleik anhidrit işlevselliğinin iki faz arasında daha iyi uyumlaşmayı teşvik etmesine bağlanabilir. İki fazın Tm değerleri ($T_{m\text{ PK}}$ ve $T_{m\text{ PA-6}} = 222\text{ °C}$) çok yakın olduğu için ve her iki pik de üst üste çakıştığı için tüm karışım kompozitlerinde Tm değerinin önemli bir değişiklik göstermediği belirlendi. (Şekil 4.4.)



Şekil 4.4. PA-6/GF30, PK-15/PA6-50/ GF30-C1, PK-25/PA6-40/ GF30-C1, PK-15/PA6-50/ GF30-C2, ve PK-25/PA6-40/ GF30-C2 örneklerinin DSC termogramları

Tablo 4.3. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 kompozitlerin termal ve triboloji özellikleri

Karışım	T_{g1} (°C)	T_{g2} (°C)	T_m (°C)	Sürtünme Katsayısı (μ)	Spesifik Aşınma Oranı (10^{-6} mm^3/Nm)
PK-1/GF30-C1	15.6	-	219.6	0.340	1.83
PK-1/GF30-C2	15.2	-	221.3	0.330	1.81
PA-6/GF30	51.8	-	222.7	0.289	1.11
PK-1-15/PA6-50/ GF30-C1	15.3	50.4	222.1	0.298	1.55
PK-1-25/PA6-40/ GF30-C1	17.4	48.7	222.0	0.286	1.43
PK-1-15/PA6-50/ GF30-C2	15.6	49.9	221.9	0.302	1.14
PK-1-25/PA6-40/ GF30-C2	17.7	48.5	221.9	0.341	1.15

3.4. Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT) ve Vicat Yumuşama Sıcaklığı Ölçümü

Granül formundaki hazırlanan karışımlar enjeksiyon markasında HDT ölçümü için ISO 75-2 standardına göre şekillendirilmiştir. HDT sıcaklıkları (0,45 MPa ve 1,8 MPa yük altında) ve Vicat yumuşama sıcaklığı ZWICK-ROELL marka test cihazı ile ölçülmüştür. Karışımların bazılarından elde edilen sonuçlar Tablo 4.4.'te sunulmuştur.

Tablo 4.4. Ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 kompozitlerin HDT ve Vicat yumuşama sıcaklıkları

Numune	HDT/ A (1,8 MPa) (°C)	HDT/ B (0,45 MPa) (°C)	Vicat (°C)
PK-1/GF30-C1	187,7	198,5	194
PK-1/GF30-C2	199,9	212,8	195,4
PA-6/GF30	204,9	213,8	211,6
PK-1-15/PA6-50/ GF30-C1	182,8	202,6	205,4
PK-1-25/PA6-40/ GF30-C1	183,7	200	203,3
PK-1-15/PA6-50/ GF30-C2	192,1	203,4	207,91
PK-1-25/PA6-40/ GF30-C2	184,8	202,1	204

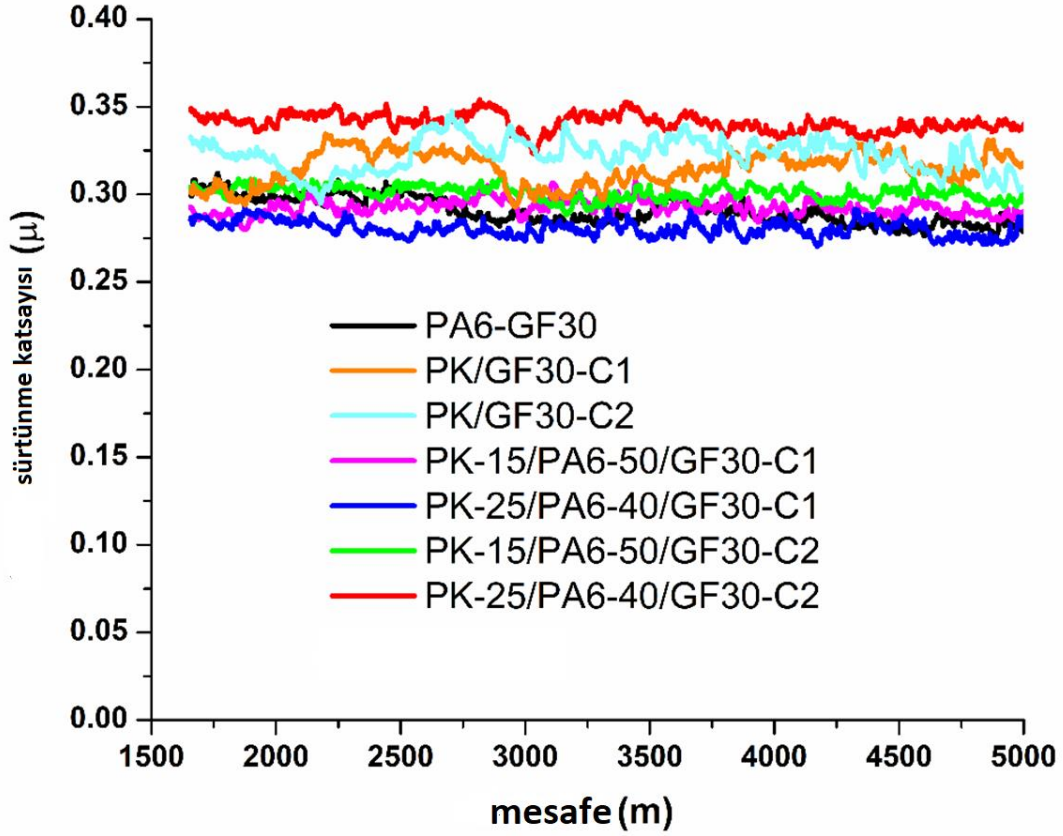
PK-1/GF30-C1 ve PK-1/GF30-C2 karışımlarının HDT (Yük Altında Eğilme Sıcaklığı) ve Vicat yumuşama sıcaklıkları arasındaki karşılaştırmada, C2 uyumlaştırıcısının olumlu etkisi, özellikle HDT sıcaklıklarında gözlemlenmiştir. Bu olumlu etki, C2 uyumlaştırıcısının Poliketon ve cam elyaf arasındaki uyumluluğun artması sonucu mekanik değerlerde gözlenen artışla ilişkilendirilebilir.

PA-6/GF30 kompozit yapısına eklenen Poliketon miktarıyla birlikte, HDT ve Vicat yumuşama sıcaklıklarında belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, eklenen Poliketonun, PA-6/GF30 yapısına entegre edildiğinde Poliamid 6 içinde bulunan kristallik oranının azalmasından kaynaklanmaktadır. Eklenen Poliketon, Poliamid'in sert yapısında bir yumuşama etkisi yaratmıştır ve bu da Vicat yumuşama sıcaklıklarında düşüşe neden olmuştur. Karışımlara eklenen Poliketon oranının artmasıyla birlikte, bu düşüş daha belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir.

3.5. Triboloji Test Sonuçları

%30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 karışım kompozitlerinin aşınma faktörleri ve sürtünme katsayıları, ASTM-G99 standardına uygun olarak UTG Tribolog marka test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aşınma test parametreleri, 40 N yük, 400 dev/dak kayma hızı ve 5000 m kayma mesafesi olarak belirlenmiştir. Aşınma testi sonuçları, belirli bir bölümün plakalardan seçilmesiyle elde edilen sürtünme katsayısı ve özel aşınma hızını içeren Tablo 11'de özetlenmiştir. Sabit bir aşındırma hızına sahip PK/GF-30, PA-6/GF-30 ve PK/PA-6/GF30 karışım kompozitlerinin sürtünme katsayısı ile kayma mesafesi arasındaki ilişki, Şekil 4.5'te çizilmiştir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, tüm örneklerin sürtünme katsayıları 1500 metrelik bir kayma mesafesinden sonra stabilize olmuştur. PK/GF-30-C1 ve PK/GF-30-C2 kompozitlerinin sürtünme katsayıları sırasıyla 0.340 ve 0.330 μ olarak belirlenmiş ve bu değerler, düz PA-6/GF30 (0.289 μ) örneğinin sürtünme katsayısından daha yüksektir. Ekstrüzyon ile karışım işleminden sonra, %30 cam elyaf takviyeli PK/PA-6 karışım kompozitlerinin sürtünme katsayıları 0.286 ila 0.341 μ arasında değişmiştir. PK oranının %15 ila %25 arasındaki artışla, PK/PA6/GF30 karışım kompozitlerinin sürtünme katsayıları genellikle PA-6/GF-30'dan daha yüksek olmuştur. PK-25/PA6-40/GF30-C1 örneği, sadece düz PA-6/GF-30'dan daha düşük bir sürtünme katsayısı göstermiştir. Bu durum, SEM sonuçlarında belirtilen C1 uyumlaştırıcısının yetersiz performansından kaynaklanabilir. Öte yandan, PA-6/GF30 örneği, PK/GF30-C1 ve PK/GF30-C2 örneklerine göre daha yüksek aşınma direnci sergilemiştir. PK'nın (15.2 °C) Tg değeri, PA-6'nın (51.8 °C) değerinden daha düşük olduğu için PK, aşınma test koşullarında PA-6'dan önce yumuşamaya başlamıştır. Bu nedenle, PA-6, kayma sırasında PA-6/GF30 ve metal pimi yüzeyleri arasında doğrudan teması önleyen bir yapışkan transfer filmi oluşturma yeteneğine sahiptir. Bu mekanizma, aşındırıcı etkiyi azaltmakta ve yüksek aşınma direncine neden olmaktadır [101, 102]. Bu nedenle, PK/PA6/GF30 karışım kompozitlerinin özel aşınma oranları, PK eklemesi ile birlikte kademeli olarak artmakta olup, en düşük özel aşınma oranı PK-15/PA6-50/GF30-C2 örneği için elde edilmiştir ($1.14 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$)[102, 103]. Ayrıca,

C2 uyumlaştırıcısı ile hazırlanan karışım kompozitleri, kompozisyonlarına bakılmaksızın C1 örneklerine göre daha düşük özel aşınma oranları sergilemiştir. Bu sonuçlar, C2'nin mekanik, termal ve SEM verileri tarafından desteklenen uyumluluğunun, C1'in uyumluluğundan daha uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5. PA-6/GF30, PK/GF30-C1, PK/GF30-C2, PK-15/PA6-50/ GF30-C1, PK-25/PA6-40/ GF30- C1, PK-15/PA6-50/ GF30-C2 ve PK-25/PA6-40/ GF30-C2 için kayma mesafesinin bir fonksiyonu olarak sürtünme katsayısı karşılaştırmaları



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, %30 cam elyaf takviyeli PK ve farklı PK / PA- 6 oranlarına sahip PK/PA-6 karışımlarının farklı uyumlaştırıcı tipinin (C1 ve C2) mekanik, termal ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. PK/PA-6/GF-30 karışımlarının mekanik özellikleri, PK/GF30 ve PA-6/GF30 kompozitlerinin arasında elde edilmiştir. Çekme, eğilme ve darbe test sonuçları, C2 uyumlaştırıcısının, cam elyaf ile PK ve PA-6 matrisi ile uyumunu artırmak için C1'den daha uygun olduğunu göstermiştir, bu da maleik anhidrit'in fonksiyonelliğine atfedilmiştir. Termal analizlerde, C1 ve C2 uyumlaştırıcıların katılması ile hem Tg hem de Tm değerlerinde hafif bir azalma olduğunu belirlenmiştir. Tg değişimleri, C2'nin cam elyaf ve iki faz arasında daha iyi uyumlaşmayı teşvik eden maleik anhidrit fonksiyonelliğine bağlı olarak daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Tribolojik analiz, 1500 metrelik bir kayma mesafesinden sonra tüm örneklerin stabilize sürtünme katsayılarına sahip olduğunu göstermektedir. Ek olarak, PK oranının artmasıyla PK/PA6/GF30 karışımlarının sürtünme katsayıları ve özgül aşınma oranlarında iyileşme gözlemlenmiştir. PK-25/PA6-50/GF30-C2 örneği, 0.341 μ sürtünme katsayısı ve 1.15 10^{-6} mm³/Nm özgül aşınma oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, mekanik, termal, mikroskobik ve tribolojik analizler tarafından desteklenmiş, C2'nin uyumluluğunun C1'den daha uygun olduğunu göstermiştir. Özetle, uyumlaştırıcı tipi, cam elyaf takviyeli PK ve PK/PA-6 karışım kompozitlerinin performansını artırmış ve özel olarak ayarlanmış mekanik, termal ve tribolojik özelliklere sahip yüksek performanslı malzemelerin geliştirilmesi için oldukça önemli bilgiler sağlamıştır.

Poliketonlar hidrokarbonlar, alkoller, seyreltilmiş asitler ve bazlar dahil olmak üzere geniş bir kimyasal yelpazeye karşı mükemmel direnç gösterir. Ayrıca iyi darbe direnci ve aşınma özellikleri vardır. Fakat, yüksek erime noktaları ve ekstrüzyon sırasında hassas sıcaklık kontrolü gerektirdiği için işlenmesi oldukça zordur.

Poliamid 12 (PA 12), esnekliği ile bilinen boru ve hortum gibi bükülebilir malzemeler gerektiren uygulamalarda kullanılır. Poliketonlar kadar geniş yelpazeye sahip olmasa da PA 12 kimyasallara karşı direnç gösterir. PA 12, mükemmel esneklik , düşük yoğunluk ve kolay işlenebilirlik sunar. Ancak poliketonlara kıyasla daha düşük mekanik mukavemete ve termal karalılığa sahiptir. Uygulamaya bağlı olarak kimyasal direnç, mekanik mukavemet, esneklik ve termal karalılık gibi özel gereksinimler göz önünde bulundurularak Poliketonlar ve PA 12 arasında seçim yapılabilir. Otomotiv sektöründe mevcut durumda kullanılan PA 12 ürününe alternatif olarak Poliketonlar, yüksek kimyasal dirençleri ve yakıt dayanımları ile tercih

edilebilirliklerini artırmaktadır. Bu durum, poliketonların farklı uygulama alanlarında kullanımının önünü açabilir. Ekstrüzyon prosesi ile uygun plastikleştiriciler kullanılarak, otomotiv sektöründe soğutma sistemlerindeki plastik boru uygulamalarında kullanılan PA 12 malzemesine alternatif bir çözüm olarak Poliketonların gelecekteki çalışmalar için tercih edilmesi mümkündür.



KAYNAKLAR

- [1] Y. Yang, S.-Y. Li, R.-Y. Bao, Z.-Y. Liu, M.-B. Yang, C.-B. Tan, W. Yang, "Progress in polyketone materials: Blends and composites," *Polymer International*, 67 1478-1487, 2018.
- [2] A. Sommazzi, F. Garbassi, "Olefin-carbon monoxide copolymers," *Progress in polymer science*, 22 1547-1605, 1997.
- [3] A. Sen, *The copolymerization of carbon monoxide with olefins*, (Eds.), in: Chromatography/foams/copolymers, Springer, 2005, p. 125-144.
- [4] J.S. Won, D.Y. Jin, J.E. Lee, S.G. Lee, "Effects of finishing conditions on the properties of polyketone fiber," *Fibers and Polymers*, 16 1908-1916, 2015.
- [5] F. Ballauf, "Bayer, O. And leichmann, I," *G. Patent*, 1941.
- [6] P. Colombo, L.E. Kukacka, J. Fontana, R.N. Chapman, M. Steinberg, "Co60 γ -radiation-induced copolymerization of ethylene and carbon monoxide," *Journal of Polymer Science Part A-1: Polymer Chemistry*, 4 29-57, 1966.
- [7] C. Bianchini, A. Meli, "Alternating copolymerization of carbon monoxide and olefins by single-site metal catalysis," *Coordination chemistry reviews*, 225 35-66, 2002.
- [8] E. Drent, P.H.M. Budzelaar, "Palladium-catalyzed alternating copolymerization of alkenes and carbon monoxide," *Chemical reviews*, 96 663-682, 1996.
- [9] W.C.J. Zuiderduin, J. Huétink, R.J. Gaymans, "Notch sensitivity of aliphatic polyketone terpolymers," *Journal of applied polymer science*, 91 2558-2575, 2004.
- [10] R.P. Gingrich, J.M. Machado, M. Londa, M.G. Proctor. "Filled and reinforced aliphatic polyketone compounds." presented at Antec'95 Conference Proceedings Boston, USA, 1995.
- [11] D. Waters, A. van Veelen, *Aliphatic polyketones in automotive fuel systems*. 1995, SAE Technical Paper.
- [12] B.J. Lommerts, E.A. Klop, J. Aerts, "Structure and melting of perfectly alternating ethylene-carbon monoxide copolymers," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 31 1319-1330, 1993.
- [13] J. Smook, G.J.H. Vos, H.L. Doppert, "A semiempiric model for establishing the drawability of solution-spun linear polyamides and other flexible chain polymers," *Journal of applied polymer science*, 41 105-116, 1990.
- [14] J.L.M. Syrier, D.A. Borger, J.M. Beyen, A.A. Broekhuis, F.C. Groenland, *Polyketone copolymer composition comprising amide or aluminum compound*. 1991, Google Patents.
- [15] J. Lee, K.H. Lee, D. Kim, S. Lim, S.-S. Lee, "Layered nanofiller-reinforced polyketone composites," *Macromolecular Research*, 21 1270-1273, 2013.
- [16] M.M. Brubaker, *Interpolymers of carbon monoxide and method for preparing the same*. 1950, Google Patents.
- [17] A. Vavasori, L. Ronchin, *Polyketones: Synthesis and applications*, (Eds.), in: Encyclopedia of polymer science and technology, 2017, p. 1-41.
- [18] W. Reppe, A. Magin, *Production of ketonic bodies*. 1951, US.
- [19] P.W.N.M. Van Leeuwen, *Homogeneous catalysis: Understanding the art*, Springer Science & Business Media, 2006.
- [20] L. Kollár, *Modern carbonylation methods*, John Wiley & Sons, 2008.
- [21] W.P. Mul, H. Dirkzwager, A.A. Broekhuis, H.J. Heeres, A.J. van der Linden, A.G. Orpen, "Highly active, recyclable catalyst for the manufacture of viscous, low molecular weight, co-ethene-propene-based polyketone, base component for a new class of resins," *Inorganica Chimica Acta*, 327 147-159, 2002.

- [22] N. Alperowicz, *Shell to produce new engineering plastic in the uk*. 1995, Chemical Week Associates 888 Seventh Ave, 26th FL, New York, Ny 10106. p. 22-22.
- [23] A. Broekhuis, H. Fong, *Carilite resins-polyketone-based adhesives: A new path to large volume formaldehyde-free wood binders*, (Eds.), in: Wood adhesives 2000, 2001.
- [24] B.J. Lommerts, "High-performance fibers based on flexible polar polymer molecules," *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 5 70-79, 2022.
- [25] E. Drent, J.A.M. Van Broekhoven, M.J. Doyle, "Efficient palladium catalysts for the copolymerization of carbon monoxide with olefins to produce perfectly alternating polyketones," *Journal of Organometallic Chemistry*, 417 235-251, 1991.
- [26] A. Sen, "Mechanistic aspects of metal-catalyzed alternating copolymerization of olefins with carbon monoxide," *Accounts of chemical research*, 26 303-310, 1993.
- [27] Z. Jiang, A. Sen, "Water-soluble palladium (ii) compounds as catalysts for the alternating copolymerization of olefins with carbon monoxide in an aqueous medium," *Macromolecules*, 27 7215-7216, 1994.
- [28] A. Zapf, M. Beller, "Palladium/phosphite catalyst systems for efficient cross coupling of aryl bromides and chlorides with phenylboronic acid," *Chemistry–A European Journal*, 6 1830-1833, 2000.
- [29] E. Drent, W.P. Mul, A.A. Smaardijk, *Polyketones*, (Eds.), in: Encyclopedia of polymer science and technology, 2001.
- [30] W.M. Groenewoud, *Characterisation of polymers by thermal analysis*, Elsevier, 2001.
- [31] D. Pérez-Foullérat, S. Hild, A. Mücke, B. Rieger, "Synthesis and properties of poly (ketone-co-alcohol) materials: Shape memory thermoplastic elastomers by control of the glass transition process," *Macromolecular Chemistry and Physics*, 205 374-382, 2004.
- [32] S.A. Jawad, A.S. Abu-Surrah, M. Maghrabi, Z. Khattari, M. Al-Obeid, "Electrical impedance of ethylene-carbon monoxide/propylene-carbon monoxide (epec-69) thermoplastic polyketone," *Journal of Materials Science*, 46 2748-2754, 2011.
- [33] F.Y. Xu, J.C.W. Chien, "Photodegradation of. Alpha.-olefin/carbon monoxide alternating copolymer," *Macromolecules*, 26 3485-3489, 1993.
- [34] T. Morita, R. Taniguchi, J. Kato, "High performance poly (1-oxotrimethylene) fibers by gel spinning method using aqueous composite metal salt solutions," *Polymer journal*, 36 495-497, 2004.
- [35] Y. Zuigyo, M. Yamamoto, "Basic study of pk fiber tire cord," *Tire Science and Technology*, 35 317-325, 2007.
- [36] S.J.A. Imhoff, Y. Donckels, *Pneumatic tire with a polyketone chipper and/or flipper*. 2010, Google Patents.
- [37] P. Gupta, J.T. Schulte, J.E. Flood, J.E. Spruiell, "Development of high-strength fibers from aliphatic polyketones by melt spinning and drawing," *Journal of applied polymer science*, 82 1794-1815, 2001.
- [38] C. Yıldız, Y. Seki, M. Ekti, S. Aker, B.M. Leskeri, M. Sarikanat, L. Altay, "Improving flame retardant properties of aliphatic polyketone (pok)-based composites," *ACS omega*, 8 9415-9422, 2023.
- [39] M. Londa, R.P. Gingrich, H.G. Kormelink, M.G. Proctor. "Development of non-halogenated flame retardant aliphatic polyketone compounds." presented at.
- [40] K.R. Sharma, *Polymer thermodynamics: Blends, copolymers and reversible polymerization*, CRC Press, 2011.
- [41] A. Asano, M. Nishioka, Y. Takahashi, A. Kato, S. Hikasa, H. Iwabuki, K. Nagata, H. Sato, T. Hasegawa, H. Sawabe, "High impact properties of polyketone/polyamide-6 alloys induced by characteristic morphology and water absorption," *Macromolecules*, 42 9506-9514, 2009.

- [42] A. Kato, M. Nishioka, Y. Takahashi, T. Suda, H. Sawabe, A. Isoda, O. Drozdova, T. Hasegawa, T. Izumi, K. Nagata, "Phase separation and mechanical properties of polyketone/polyamide polymer alloys," *Journal of applied polymer science*, 116 3056-3069, 2010.
- [43] Y. Zhai, Y. Luo, X. Wang, C. Zhang, P. Deng, H. Chen, R. Zhang, R. Bao, Y. Zhou, M. Yang, "Understanding the molecular origin of the superior toughness of polyamide-6/polyketone blends by solid-state nmr spectroscopy," *Polymer*, 259 125324, 2022.
- [44] T. Zhang, H.-J. Kang, "Enhancement of the processability and properties of nylon 6 by blending with polyketone," *Polymers*, 13 3403, 2021.
- [45] F. Lin, Y. Liu, L. Song, X. Hao, X. Liu, S. Fan, Y. Wu, L. Mao, "Preparation of biaxially oriented polyamide 6/polyketone/graphene oxide films with enhanced barrier and mechanical behaviors," *Journal of applied polymer science*, 138 50501, 2021.
- [46] Y. Wang, D.-F. Hou, K. Ke, Y.-H. Huang, Y. Yan, W. Yang, B. Yin, M.-B. Yang, "Chemical-resistant polyamide 6/polyketone composites with gradient encapsulation structure: An insight into the formation mechanism," *Polymer*, 212 123173, 2021.
- [47] Y. Son, S. Lee, "Compatibility between aliphatic polyketone terpolymer and nylon6 polymer blend," *Journal of Polymer Research*, 30 33, 2022.
- [48] S. Li, Y. Yang, X. Zha, Y. Zhou, W. Yang, M. Yang, "Nanoscale morphology, interfacial hydrogen bonding, confined crystallization and greatly improved toughness of polyamide 12/polyketone blends," *Nanomaterials*, 8 932, 2018.
- [49] I. Jeon, M. Lee, S.W. Lee, J.Y. Jho, "Morphology and mechanical properties of polyketone/polycarbonate blends compatibilized with sebs and polyamide," *Macromolecular Research*, 27 827-832, 2019.
- [50] I. Jeon, S.W. Lee, J.Y. Jho, "Compatibilizing effect of poly (methyl methacrylate-co-maleic anhydride) on the morphology and mechanical properties of polyketone/polycarbonate blends," *Macromolecular Research*, 27 821-826, 2019.
- [51] F. Tang, Y.G. Jeong, "Improvement in thermal stability, elastic modulus, and impact strength of poly (lactic acid) blends with modified polyketone," *Polymer*, 257 125281, 2022.
- [52] J. Kim, S. Oh, S.M. Cho, J. Jun, S. Kwak, "Oxygen barrier properties of polyketone/evoh blend films and their resistance to moisture," *Journal of applied polymer science*, 137 49537, 2020.
- [53] E. Marklund, U.W. Gedde, M.S. Hedenqvist, G. Wiberg, "Properties of polyketone/polypropylene blends," *Polymer*, 42 3153-3160, 2001.
- [54] X. Lu, K.Y. Lim, F.Y. Lim, L. Liu, S.-C. Wong, J. Zhao, "Morphology and structures of polypropylene-aliphatic polyketone blends," *Plastics, rubber and composites*, 31 147-150, 2002.
- [55] N. Yonezawa, A. Okamoto, "Synthesis of wholly aromatic polyketones," *Polymer journal*, 41 899-928, 2009.
- [56] L.G. Hudson, M.P. Stevens, "Synthesis of cross-conjugated polyketones by the crossed-aldol condensation of cyclic ketones with aromatic dialdehydes," *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 33 71-78, 1995.
- [57] M.-Y. Lim, J. Oh, H.J. Kim, K.Y. Kim, S.-S. Lee, J.-C. Lee, "Effect of antioxidant grafted graphene oxides on the mechanical and thermal properties of polyketone composites," *European Polymer Journal*, 69 156-167, 2015.
- [58] M.Y. Lim, J. Oh, H.J. Kim, K.Y. Kim, S.S. Lee, J.C. Lee, "Effect of antioxidant grafted graphene oxides on the mechanical and thermal properties of polyketone composites," *European Polymer Journal*, 69 156-167, 2015.
- [59] A. Vavasori, L. Toniolo, G. Cavinato, F. Visentin, "Highly active [pd (aco) 2 (dppp)] catalyst for the co-c₂h₄ copolymerization in h₂o-ch₃cooh solvent [dppp= 1, 3-bis

- (diphenylphosphino) propane]," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 204 295-303, 2003.
- [60] H.G. Kwon, J. Park, N. Kim, S. Lee, J. Shim, M. Lee, Y. Son, "High impact strength of aliphatic polyketone/polyamide 6 blends induced by a chemical reaction," *Journal of Elastomers & Plastics*, 55 492-510, 2023.
- [61] H.C. Lee, Y. Son, S. Lee, "Study of compatibility between aliphatic polyketone terpolymer and poly (styrene-r-acrylonitrile)," *Journal of applied polymer science*, 137 48743, 2020.
- [62] W.C.J. Zuiderduin, D.P.N. Vlasveld, J. Huetink, R.J. Gaymans, "Mechanical properties of polyketone terpolymer/rubber blends," *Polymer*, 45 3765-3779, 2004.
- [63] F.Y. Xu, J.C.W. Chien, "New miscible polymer blends of propylene-carbon monoxide alternating copolymer with poly (methyl methacrylate)," *Macromolecules*, 27 6589-6593, 1994.
- [64] S.C. De Vos, W. Huhn, B. Rieger, M. Möller, "Novel blends of alternating propene-carbon monoxide copolymers and styrenic copolymers," *Polymer Bulletin*, 42 611-618, 1999.
- [65] D. Sémeril, E. Passaglia, C. Bianchini, M. Davies, H. Miller, F. Ciardelli, "Reactive blending of polyamides with different carbonyl containing olefin polymers," *Macromolecular Materials and Engineering*, 288 475-483, 2003.
- [66] Y. Kim, J.W. Bae, C.S. Lee, S. Kim, H. Jung, J.Y. Jho, "Morphology and mechanical properties of polyketone blended with polyamide and ethylene-octene rubber," *Macromolecular Research*, 23 971-976, 2015.
- [67] M.-Y. Lim, H.J. Kim, S.J. Baek, K.Y. Kim, S.-S. Lee, J.-C. Lee, "Improved strength and toughness of polyketone composites using extremely small amount of polyamide 6 grafted graphene oxides," *Carbon*, 77 366-378, 2014.
- [68] Y.-C. Zhou, S.-Y. Li, Y. Yang, R.-Y. Bao, Z.-Y. Liu, M.-B. Yang, W. Yang, "Morphologies, interfacial interaction and mechanical performance of super-tough nanostructured pk/pa6 blends," *Polymer Testing*, 91 106777, 2020.
- [69] Y. Kim, C.S. Lee, S. Kim, H. Jung, J.Y. Jho, "Reactive compatibilization of polyketone/ethylene-octene rubber blends by diaminodecane," *Macromolecular Research*, 23 965-970, 2015.
- [70] S.A. Mohamad, N.S. Ahmed, S.M. Hassanein, A.M. Rashad, "Investigation of polyacrylates copolymers as lube oil viscosity index improvers," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 100 173-177, 2012.
- [71] A.H. Mehrkesh, S. Hajimirzaee, M.S. Hatamipour, "A generalized correlation for characterization of lubricating base-oils from their viscosities," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 18 642-647, 2010.
- [72] R.M. Mortier, S.T. Orszulik, M.F. Fox, *Chemistry and technology of lubricants*, Springer, 2010.
- [73] D. Roylance, "Stress-strain curves," *Massachusetts Institute of Technology study*, Cambridge, 2001.
- [74] J. Wiley, L. Sons, *Properties and behavior of polymers*, 2 volume set, John Wiley & Sons, 2011.
- [75] A. Naranjo, *Plastics testing and characterization: Industrial applications*, Hanser Verlag, 2008.
- [76] J.F. Shackelford, "Materials science for engineers," *Upper Saddle River, New Jersey*, 2000.
- [77] D.T. Haynie, *Biological thermodynamics*, Cambridge University Press, 2001.
- [78] P.K. Gallagher, M.E. Brown, "Handbook of thermal analysis and calorimetry," 2003.
- [79] A. Cooper, *Biophysical chemistry*, Royal Society of Chemistry, 2015.
- [80] A. Cooper, "Heat capacity of hydrogen-bonded networks: An alternative view of protein folding thermodynamics," *Biophysical Chemistry*, 85 25-39, 2000.

- [81] A. Cooper, C.M. Johnson, J.H. Lakey, M. Nöllmann, "Heat does not come in different colours: Entropy–enthalpy compensation, free energy windows, quantum confinement, pressure perturbation calorimetry, solvation and the multiple causes of heat capacity effects in biomolecular interactions," *Biophysical Chemistry*, 93 215-230, 2001.
- [82] P. Gill, T.T. Moghadam, B. Ranjbar, "Differential scanning calorimetry techniques: Applications in biology and nanoscience," *Journal of biomolecular techniques: JBT*, 21 167, 2010.
- [83] V. Daghighi, T.E. Lacy, H. Daghighi, G. Gu, K.T. Baghaei, M.F. Horstemeyer, C.U. Pittman, "Heat deflection temperatures of bio-nano-composites using experiments and machine learning predictions," *Materials Today Communications*, 22 100789, 2020.
- [84] T.S. Sampath Kumar, *Chapter 2 - physical and chemical characterization of biomaterials*, A. Bandyopadhyay and S. Bose (Eds.), in: Characterization of biomaterials, Academic Press, Oxford, 2013, p. 11-47.
- [85] A.I. Medalia. "On structure property relations of rubber." presented at.
- [86] N.S. El-Tayeb, R.M. Gadelrab, "Friction and wear properties of e-glass fiber reinforced epoxy composites under different sliding contact conditions," *Wear*, 192 112-117, 1996.
- [87] K.L. Dahm, K. Panagopoulos, P.A. Dearnley, *The wear response of ceramic matrix nano-composite coatings in simulated piston-ring/cylinder wall test environments*, (Eds.), in: Tribology series, Elsevier, 2003, p. 511-515.
- [88] A.K. Pogosian, "Forecasting the viability of friction pairs in accelerated tests," *Wear*, 26 175-186, 1973.
- [89] U. Nirmal, J. Hashim, S.T.W. Lau, "Testing methods in tribology of polymeric composites," *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 6 367-373, 2011.
- [90] H. Pıhtılı, N. Tosun, "Effect of load and speed on the wear behaviour of woven glass fabrics and aramid fibre-reinforced composites," *Wear*, 252 979-984, 2002.
- [91] S.R. Hummel, B. Partlow, "Comparison of threshold galling results from two testing methods," *Tribology International*, 37 291-295, 2004.
- [92] Y.J. Mergler, R.P. Schaake, A.J. Huis, "Material transfer of pom in sliding contact," *Wear*, 256 294-301, 2004.
- [93] J. Bijwe, J. Indumathi, J. John Rajesh, M. Fahim, "Friction and wear behavior of polyetherimide composites in various wear modes," *Wear*, 249 715-726, 2001.
- [94] J. Bijwe, J. Indumathi, A.K. Ghosh, "On the abrasive wear behaviour of fabric-reinforced polyetherimide composites," *Wear*, 253 768-777, 2002.
- [95] J.J. Rajesh, J. Bijwe, U.S. Tewari, "Abrasive wear performance of various polyamides," *Wear*, 252 769-776, 2002.
- [96] A.P. Harsha, U.S. Tewari, "Tribo performance of polyaryletherketone composites," *Polymer Testing*, 21 697-709, 2002.
- [97] Y.S. Jung, A. Canlier, T.S. Hwang, "An efficient and facile method of grafting allyl groups to chemically resistant polyketone membranes," *Polymer*, 141 102-108, 2018.
- [98] S. Li, W. Wang, L. Yu, Z. Xia, X. Li, "Influence of different compatibilizers on the morphology and properties of pa6/pet/glass fiber composites," *Journal of applied polymer science*, 135 46429, 2018.
- [99] J. Bae, B.C. Kim, "The rheological design of aliphatic polyketone terpolymer blends with polyester thermoplastic elastomer," *Macromolecular Research*, 22 1165-1169, 2014.
- [100] S.C. Tjong, S.-A. Xu, R.K.-Y. Li, Y.-W. Mai, "Mechanical behavior and fracture toughness evaluation of maleic anhydride compatibilized short glass fiber/sebs/polypropylene hybrid composites," *Composites Science and Technology*, 62 831-840, 2002.

- [101] S. Zhou, Q. Zhang, J. Huang, D. Ding, "Friction and wear behaviors of polyamide-based composites blended with polyphenylene sulfide," *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27 977-991, 2014.
- [102] Z. Chen, T. Li, Y. Yang, X. Liu, R. Lv, "Mechanical and tribological properties of pa/pps blends," *Wear*, 257 696-707, 2004.
- [103] Z. Chen, T. Li, X. Liu, R. Lü, "Friction and wear mechanisms of polyamide 66/high density polyethylene blends," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 43 2514-2523, 2005.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Muğla'nın Fethiye ilçesinde tamamladı. 2010 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2016 yılından başladığı özel sektör yolculuğuna devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Uysal, I.N., Tasdelen, M.A. Comparison of mechanical and tribological properties of glass-fiber-reinforced polyketone and polyketone/polyamide 6 blend composites. Macromol. Res. (2024). DOI: 10.1007/s13233-024-00260-y

DİĞER YAYIN VE ESERLER

Yilmaz, I. N., Tasdelen, M. A. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 23 (1) 285-294 (2018)