KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KARMALARIN ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS

Kimya Müh. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ

Anabilim Dalı: Kimya Mühendisliği
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayşe AYTAÇ

KOCAELİ, 2011

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KARMALARIN ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Müh. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 30 ARALIK 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 17 OCAK 2011

Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. Ayşe AYTAÇ
(.....)

Üye
Prof.Dr. Veli DENİZ
(.....)

Üye
Prof.Dr. Nurseli UYANIK
(.....)

KOCAELİ, 2011

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmam sırasında beni yönlendiren ve yüreklendiren danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Ayşe Aytaç'a,

Desteğini her zaman hissettiğim Sayın Prof. Dr. Veli Deniz'e,

Sanayi üniversite işbirliği çerçevesinde çalışmama büyük destek sağlayan AKSA AR-GE merkezi direktörü Dr. Yalçın Tanes'e ve AKSA yöneticilerine,

Bilgisini, deneyimini ve yardımlarını hiç esirgemeyen Sayın Yard. Doç. Dr. Güralp Özkoç'a,

Tüm bölüm hocalarıma,

Her zaman gülen yüzlü sevgili iş arkadaşlarım, Merve Ercan, Bahar Gürkaya, Filiz Uğur, Melda Akbin ve Nurdan Öztemel'e,

Aynı odayı paylaştığımız, aynı havayı soluduğumuz ve aynı dili konuştuğumuz sevgili çalışma arkadaşlarım, Şebnem Kemaloğlu Doğan, Dilek Turan ve Hümeyra Şirin'e,

Başta sevgili annem, sevgili babam ve biricik kardeşim olmak üzere bana kendimi her zaman şanslı hissettiren CANIM AİLEM'e,

Ve anlayışı, desteği, yardımları kısacası hayatımdaki varlığı için sevgili yol arkadaşım Taner Yılmaz'a,

SONSUZ TEŞEKKÜRLER……

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER viii
ÖZET ix
İNGİLİZCE ÖZET x
1. GİRİŞ 1
1.1. Karma (Kompozit) Malzemeler 1
1.2. Karmaların Sınıflandırılması 2
1.2.1. Elyaf takviyeli polimer matrisli karmalar 3
1.2.1.1. Elyaf türleri 3
1.2.1.2. Matrisler 4
1.3. Karma Malzemelerin Üretim Yöntemleri 5
1.3.1. Ekstrüzyon 5
1.3.2. Laboratuar ölçekli karıştırıcılar 8
1.3.3. Enjeksiyonla kalıplama 9
1.4. Karma Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri 10
1.4.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) 10
1.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 11
1.4.3. Sertlik 12
1.4.4. Çekme testi 13
1.5. Karma Malzemelerin Uygulama Alanları 14
2. LİTERATÜRDE KARBON ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK MATRİSLİ KARMALARIN KULLANILDIĞI ÇALIŞMALARDAN ÖRNEKLER 16
3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER 20
3.1. Polipropilen (PP) 20
3.2. Maleik Anhidrit Aşılanmış Polipropilen (Mah-g-PP) 21
3.3. Poliamid – 6 (PA6) 21
3.4. Poli (fenilen sülfid) (PPS) 22
3.5. Karbon Elyaf 22
3.5.1. PAN temelli karbon elyaf üretimi 23
3.5.2. Zift temelli karbon elyaf 24
4. DENEYSEL YÖNTEMLER 25
4.1. PP – Karbon Elyaf Karmaları 26
4.1.1. PP – karbon elyaf karmalarının üretimi 26
4.1.2. PP – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu 27
4.1.2.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) 27
4.1.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 28
4.1.2.3. Optik mikroskop ve görüntü analizi 28

4.1.2.4. Sertlik 29
4.1.2.5. Çekme testi 29
4.2. Mah-g-PP ile Uyumlaştırılmış PP – Karbon Elyaf Karmaları 30
4.2.1. Mah-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmalarının üretimi 30
4.2.2. Mah-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmalarının Karakterizasyonu 30
4.3. PA6 – Karbon Elyaf Karmaları 31
4.3.1. PA6 – karbon elyaf karmalarının üretimi 31
4.3.2. PA6 – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu 32
4.4. PPS – Karbon Elyaf Karmaları 32
4.4.1. PPS – karbon elyaf karmalarının üretimi 32
4.4.2. PPS – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu 33
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 34
5.1. PP – Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları 34
5.1.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) 34
5.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 36
5.1.3. Optik mikroskop ve görüntü analizi 38
5.1.4. Sertlik 39
5.1.5. Çekme testi 41
5.2. Mah-g-PP ile Uyumlaştırılmış PP – Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları 46
5.2.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) 46
5.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 48
5.2.3. Sertlik 50
5.2.4. Çekme testi 50
5.3. PA6 – Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları 52
5.3.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) 52
5.3.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 54
5.3.3. Sertlik 56
5.3.4. Çekme testi 57
5.4. PPS – Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları 61
5.4.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) 61
5.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 63
5.4.3. Sertlik 64
5.4.4. Çekme testi 66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 70
6.1. PP – Karbon Elyaf Karmaları 70
6.2. Mah-g-PP ile Uyumlaştırılmış PP – Karbon Elyaf Karmaları 71
6.3. PA6 – Karbon Elyaf Karmaları 72
6.4. PPS – Karbon Elyaf Karmaları 73
7. KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 76
KAYNAKLAR 78
ÖZGEÇMİŞ 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Bir ekstruderin temel yapısı 6
Şekil 1.2: Tek vidalı ekstruder 7
Şekil 1.3: Aynı yönde dönen çift vidalı ekstruder 7
Şekil 1.4: Ters yönde dönen vidalar a) tamamen iç içe geçmiş vidalar, b) kısmen iç içe geçmiş vidalar, c) tamamen ayrı vidalar 8
Şekil 1.5: Konik çift vidalı ekstruder 8
Şekil 1.6: Laboratuar ölçekli aynı yönde dönen çift vidalı konik karıştırıcı 9
Şekil 1.7: Enjeksiyonla kalıplama makinesi 10
Şekil 1.8: DSC'nin şematik gösterimi 11
Şekil 1.9: SEM'in şematik gösterimi 12
Şekil 1.10: Rockwell test cihazının temel bileşenleri 13
Şekil 1.11: Çekme cihazının temel bileşenleri 14
Şekil 3.1: Polipropilenin tekrarlanan birimi 20
Şekil 3.2: Polipropilen türleri a) ataktik polipropilen, b) izotaktik polipropilen, c) sindiotaktik polipropilen 20
Şekil 3.3: PA6'nın tekrarlanan birimi 22
Şekil 3.4: PPS'nin tekrarlanan birimi 22
Şekil 3.5: Karbon elyafın oksidasyon işlemi 23
Şekil 3.6: Karbon elyafın karbonizasyon işlemi 24
Şekil 4.1: "DSM Xplore" marka aynı yönde dönen çift vidalı, konik ve dikey yönlü mini ekstruder 26
Şekil 4.2: "DSM Xplore" marka enjeksiyonla kalıplama cihazı 26
Şekil 4.3: Mettler Toledo DSC 1 cihazı 27
Şekil 4.4: "Jeol 6335F" model taramalı elektron mikroskobu 28
Şekil 4.5: Görüntü analizi basamakları 29
Şekil 4.6: "Instron 3345" marka çekme testi cihazı 29
Şekil 5.1: PP – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmalarının farklı elyaf uzunluklarında ve aynı yükleme oranındaki SEM mikrografları a) 0.5 cm - %8 (x500), b) 0.5 cm - %8 (x1000), c) 1.0 cm - %8 (x500), d) 1.0 cm - %8 (x1000), e) 1.5 cm - %8 (x500), f) 1.5 cm - %8 (x1000) 36
Şekil 5.2: PP – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmaların aynı elyaf uzunluğundaki ve aynı yükleme oranındaki SEM mikrografları a) 1.0 cm - %20 – yüzeyi ön kaplanmış (x500), b) 1.0 cm – %20 – yüzeyi ön kaplanmış (x1000), c) 1.0 cm - %20 – karbon elyaf (x500), d) 1.0 cm - %20 – karbon elyaf (x1000) 37
Şekil 5.3: Üretilen örneklerdeki elyaf boyu dağılımı 38

Şekil 5.4: PP – karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği değerleri a) 0.5, 1.0 ve 1.5 cm uzunluğundaki yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri, b) 1.0 cm uzunluğundaki karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri..... 39
Şekil 5.5: PP – karbon elyaf karmalarının çekme modülü değerleri a) elyaf boyuna karşı çekme modülü değerlerindeki değişim, b) karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanımına karşı çekme modülü değerlerindeki değişim..... 41
Şekil 5.6: PP – karbon elyaf karmalarının kopma dayanımı değerleri a) elyaf boyuna karşı kopma dayanımı değerlerindeki değişim, b) karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanımına karşı kopma dayanımı değerlerindeki değişim..... 42
Şekil 5.7: PP – karbon elyaf karmalarının kopma uzaması değerleri a) elyaf boyuna karşı kopma uzaması değerlerindeki değişim, b) karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanımına karşı kopma uzaması değerlerindeki değişim..... 44
Şekil 5.8: Mah-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmalarının farklı Mah-g-PP ekleme oranlarında çekilmiş SEM mikrografları a) 1.0 cm - %8 (x1000), b) 1.0 cm - %8 (x1000), c) 1.0 cm – %8 - %2.5 Mah-g-PP (x500), d) 1.0 cm - %8 - %2.5 Mah-g-PP (x1000), e) 1.0 cm - %8 - %5.0 Mah-g-PP (x500), f) 1.0 cm - %8 - %5.0 Mah-g-PP (x2500)..... 49
Şekil 5.9: Mah-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği değerleri..... 50
Şekil 5.10: Karmaların mekanik test sonuçları a) çekme modülü, b) kopma dayanımı, c) kopma uzaması..... 51
Şekil 5.11: PA6 – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların 1.2 cm elyaf uzunluğundaki ve farklı elyaf yükleme oranlarındaki SEM mikrografları a) %4 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), b) %6 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), c) %8 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), d) %4 – karbon elyaf (x1000), e) %6 – karbon elyaf (x1000), f) %8 – karbon elyaf (x1000)..... 55
Şekil 5.12: PA6 – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri..... 56
Şekil 5.13: PA6 – farklı uzunluklardaki karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri..... 57
Şekil 5.14: PA6 – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları a) çekme modülü, b) kopma dayanımı, c) kopma uzaması..... 58
Şekil 5.15: PA6 ve farklı uzunluklardaki karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları a) çekme modülü, b) kopma dayanımı, c) kopma uzaması..... 60

Şekil 5.16: PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların 1.2 cm elyaf uzunluğundaki ve farklı elyaf yükleme oranlarındaki SEM mikrografları a) %4 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), b) %6 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), c) %8 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), d) %4 – karbon elyaf (x1000), e) %6 – karbon elyaf (x1000), f) %8 – karbon elyaf (x1000) 64
Şekil 5.17: PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri 65
Şekil 5.18: PPS ve farklı uzunluklardaki karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri 65
Şekil 5.19: PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları a) çekme modülü, b) kopma dayanımı, c) kopma uzaması 66
Şekil 5.20: PPS ve farklı uzunluklarda karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları a) çekme modülü, b) kopma dayanımı, c) kopma uzaması 68

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1: Deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri 25
Tablo 4.2: PP ve karbon elyaf karışımlarının oranları 27
Tablo 4.3: Mah-g-PP ile uyumlaştırılmış PP ve karbon elyaf karışımlarının oranları 30
Tablo 5.1: Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PP karmalarının DSC sonuçları 34
Tablo 5.2: Mah-g-PP ile uyumlaştırılmış PP ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PP karmalarının DSC sonuçları 47
Tablo 5.3: Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PA6 karmalarının DSC sonuçları 53
Tablo 5.4: Karbon elyaf takviyeli PA6 karmalarının DSC sonuçları 53
Tablo 5.5: Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PPS karmalarının DSC sonuçları 61
Tablo 5.6: Karbon elyaf takviyeli PPS karmalarının DSC sonuçları 62

SİMGELER

T_c	:Kristallenme sıcaklığı
T_g	:Camsı geçiş sıcaklığı
T_m	:Erime sıcaklığı
V_f	:Karmadaki hacimce elyaf miktarı
X_c	:Kristalizasyon derecesi
ΔH	:Erime entalpisi
σ	:Kopma dayanımı
λ_σ	:Elyaf etkinlik faktörü
ω	:Matrisin karmadaki ağırlık oranı

XPS	:X-ışını fotoelektron spektroskopisi
TGA	:Termal gravimetrik analiz
ASTM	:Amerikan test ve malzemeler derneği
DBD	:Yalıtkan engel deşarjı
DMA	:Dinamik mekanik analiz
DSC	:Diferansiyel taramalı kalorimetri
ISO	:Uluslar arası standartlar teşkilatı
SEM	:Taramalı elektron mikroskobu

KARBON ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KARMALARIN ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Nevin Gamze KARSLI YILMAZ

Anahtar Kelimeler: Karbon Elyaf, Kompozit Malzeme, Termoplastik Polimerler

Özet: Günümüzde karma malzemelerin üretiminde boyutsal ve şekilsel özellikleri çok farklı takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Tüm bu takviye malzemeleri içinde karbon elyaf yüksek dayanım ve yüksek modül özellikleri sayesinde karma malzemelere çok iyi performans özellikleri sağlaması açısından göze çarpmaktadır.

Bu çalışmada kısa karbon elyaf takviyeli termoplastik matrisli karma malzemeler ekstrüzyon ile harmanlama ve enjeksiyon ile kalıplama yöntemleri kullanılarak üretilmişlerdir ve özellikleri incelenmiştir. Termoplastik matris malzemesi olarak polipropilen (PP), maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MAH-g-PP), poliamid 6 (PA6) ve polifenilensülfür (PPS) kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak ise karbon elyaf ve yüzey kimyasalı bağlanmış olmak üzere iki çeşit karbon elyaf kullanılmıştır. Karmaların üretiminde kullanılan kısa karbon elyaf, sürekli karbon elyaftan üç farklı boyda kesilerek hazırlanmıştır ve polimerik matrise ağırlıkça % 2-4-6-8-20 olmak üzere beş farklı yükleme oranında karbon elyaf eklenmiştir. Hazırlanan karma malzemelerin karakterizasyonu için çekme ve sertlik testleri yapılmıştır. Karmaların ısıl özelliklerin belirlenmesi için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve yüzeylerinin karakterizasyonu için ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca polipropilen ile hazırlanan karmalardaki elyaf boyu dağılımı optik mikroskop görüntü analizi ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda, genel olarak artan karbon elyaf oranıyla tüm karmaların kopma dayanımı, modül ve sertlik değerlerinin arttığı, kopma uzaması ve kristalinite değerlerinin azaldığı görülmüştür. Karbon elyaf takviyeli PP karmalara MAH-g-PP'nin uyumlaştırıcı olarak eklenmesi mekanik özellikleri iyileştirmiştir. Ayrıca kullanılan elyaf türünün mekanik ve morfolojik özellikleri çok fazla etkilemediği bu nedenle PP, PA6 ve PPS ortamlı karmalarda yüzey kimyasalı bağlanmış karbon elyaf yerine karbon elyafın kullanılması önerilmiştir.

PROCESSING AND CHARACTERIZATION OF CARBON FIBER REINFORCED THERMOPLASTIC COMPOSITES

Nevin Gamze KARSLI YILMAZ

Key Words: Carbon Fiber, Composite Materials, Thermoplastic Polymers

Abstract: Nowadays there are currently many types of reinforcing fillers used in production of composite materials. Carbon fibers have excellent properties and they offer the best performance for all reinforcing fillers.

The aim of this study is to develop short carbon fiber reinforced thermoplastic composites materials by applying conventional polymer processing methods such as twin screw compounding and subsequent injection molding. The materials employed in this investigation were polypropylene (PP), maleic anhydride-grafted polypropylene (PP-g-MAH), poliamide 6 (PA6) and poly (phenylenesulfide) (PPS). Two types of carbon fibers, which are unsized and sized, were used as reinforcing materials. The carbon fiber loading level was changed as 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, and 20% by weight and these carbon fibers were prepared by chopping them in three different sizes. In order to determine mechanical properties of the composite materials, tensile and hardness tests were performed. Thermal properties of composite materials were analyzed by using differential scanning calorimetry (DSC). The fracture surfaces of the composite materials were examined by using scanning electron microscopy (SEM). Also fiber length distribution of PP – carbon fiber composites was investigated by an image analyzing program. As a result, it is found that generally tensile strength at fracture, modulus and hardness values of composites increased with increasing carbon fiber loading level. Besides, “crystalinity” and “tensile strain at break” values decreased with increasing carbon fiber loading level. Using MAH-g-PP as a compatibilizer enhanced the mechanical properties. Also, it is observed that carbon fiber type and length did not affect the mechanical and morphological properties of composites significantly. As a result, using unsized carbon fiber instead of sized carbon fiber with PP, PA6 and PPS matrices is suggested.

1. GİRİŞ

1.1. Karma (Kompozit) Malzemeler

Mühendislerin, değişik ürünlerin üretiminde kullanılabilecekleri 50,000'den fazla malzeme mevcuttur. Bunlar, yüzyıllardır kullanılan (bakır, demir, pirinç vb.) geleneksel malzemeler olabileceği gibi yeni geliştirilmiş ileri malzemeler de olabilirler [1].

Malzemeler, karakteristik özelliklerine göre (dayanım, yoğunluk, erime sıcaklığı vb.) (1) Metaller, (2) Plastikler, (3) Seramikler, (4) Karmalar olmak üzere başlıca dört bölüme ayrılabilirler [1].

Plastikler, son on yılda en yaygın kullanılan mühendislik malzemeleri olmuştur ve bu süreçte plastik üretim miktarı çelik üretim miktarını aşmıştır. Düşük ağırlıkları, kolay işlenebilirlikleri ve korozyon dirençleri plastikleri, otomobil parçalarında, uzay ve havacılık malzemelerinde ve tüketim mallarında kullanılır hale getirmiştir [1].

Karmalar ise farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesiyle hazırlanan malzemelerdir. Karma malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla oluşturulurlar [1].

Karma malzemeler, uzun bir süre teknolojik problemleri çözmek için kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda polimer esaslı karmaların geliştirilmesiyle birlikte, bu malzemeler sanayinin de dikkatini çekmeye başlamıştır. Bu aşamadan sonra karma malzemeler mühendislik malzemeleri olarak yaygın şekilde kullanılmıştır [1].

Karma malzemeler başlangıçta yapay (sentetik) olarak, insanlar tarafından üretilmiş değildir. Doğada oldukça fazla karma malzeme bulunmaktadır. Örneğin odun, selüloz lifinin, lignin denilen doğal tutkal içinde bulunduğu bir karmadır. Salyangoz ve istiridye gibi omurgasızların kabukları da doğal karma örnekleridir. Bu kabuklar insan yapımı ileri karmalardan daha kuvvetli ve sağlamdır. Bilim adamları, bir örümceğin ağından alınan lifin, yapay liften çok daha kuvvetli olduğunu bulmuşlardır. Hindistan, Yunanistan ve diğer ülkelerde ev inşasında yüzyıllarca, kil ile karıştırılan kabuk, ya da kamışlar kullanılmıştır. Anadolu'da halen yapı malzemesi olarak kullanılmakta olan kerpiç; toprak ve samandan meydana gelmektedir. Kerpiç içine saman (selülozik kesikli elyaf) koyarak toprağı güçlendirmek, yüzyıllar önce sınama yanılma yoluyla bulunmuştur. Kabuk, ya da talaşı kil içinde karıştırmak parçacık takviyeli bir karmaya, kamışı kil içinde karıştırmak ise kısa elyaf takviyeli karmaya örnek olarak verilebilir [1].

Temel olarak karma kavramı, içinde takviye elemanı bulunan matris malzemesinden oluşur. Takviye elemanları, elyaf, parçacıklar ya da kılcal kristaller (whiskers) olabilirken, matris malzemeleri ise metaller, seramikler veya polimerler olabilir. Ayrıca, karmalara değişik amaçlarla çeşitli katkı maddeleri de eklenmektedir (renklendiriciler, kalıp ayırıcılar vb). Takviye malzemeleri karmaların dayanımlarını ve tokluklarını arttırırken matris malzemesi de karmanın bükülmezliğini arttırır [1].

1.2. Karmaların Sınıflandırılması

Karmalar iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki matris malzemesine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre karmalar: (1) Organik matrisli, (2) Metal matrisli, (3) Seramik matrisli olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Buradaki "Organik matrisli karma" terimi polimer matrisli ve karbon matrisli karmaları ifade etmektedir [1-4].

İkinci tür sınıflandırma ise takviye malzemesine göre yapılabilir. Buna göre karmalar: (1) Elyaf takviyeli, (2) Parçacık takviyeli, (3) Kılcal kristal (whiskers) takviyeli olarak sınıflandırılabilir [1-4].

Takviye malzemesi olarak kullanılan parçacıklar, yönlenmedikleri ve mekanik özelliklerde önemli bir artış sağlamadıkları için tercih edilmezler. Bu sebeple, genellikle maliyeti azaltmak için kullanılırlar. Kılcal kristaller oldukça serttirler ve matris içinde dağılmaları zordur. Elyafın ise dayanımı ve bükülmezliği yüksektir [1-4].

1.2.1. Elyaf takviyeli polimer matrisli karmalar

Elyaf takviyeli polimer matrisli karmalar, matris türüne göre: (1) termoset ve (2) termoplastik matris olarak sınıflandırılırlar. Polimer matrisli karmalarda en çok kullanılan elyaf türleri ise: (1) cam, (2) bor, (3) aramid ve (4) karbon elyaf olarak sıralanabilir [1-4].

1.2.1.1. Elyaf türleri

Cam elyafı, düşük maliyeti, yüksek çekme dayanımı, yüksek darbe dayanımı ve iyi kimyasal direnci sebebiyle ticari karma uygulamalarında sıkça kullanılır. Ancak karbon elyaf ile karşılaştırıldıklarında öz dayanımlarının daha düşük olduğu görülür bu sebeple yüksek başarım (performans) karmalarının üretiminde çok sık kullanılmazlar. Karma üretiminde kullanılan cam elyaf üç ana gruba ayrılabilir: (1) E-cam ya da "elektriksel" cam, (2) S-2 cam ya da "yapısal" cam, (3) Kuvars. E-cam elyaf, en çok kullanılan ve en ucuz cam elyaf türüdür. S-2 cam elyafın ise çekme dayanımı ve öz dayanımı E-cam elyaftan daha yüksektir fakat daha pahalıdır. Kuvars elyafın ise diğer elyaf türlerine göre maliyeti daha yüksektir ve özellikle elektrik uygulamalarında kullanılır [1-4].

Bor elyafı, ileri karma üretiminde ilk kullanılan elyaf türüdür. 1960'ların başlarında üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Karbon elyafa benzer özelliklere sahip olmasına rağmen üretim süreçlerinin pahalı olması sebebiyle kullanımları ekonomik olarak faydalı değildir [1-4].

Aramid elyafı, bükülmezlik (rigidity) ve dayanım özellikleri cam ve karbon elyafın özelliklerinin arasında yer alan organik bir elyaf türüdür. Dupont firmasının Kevlar®

ticari adıyla ürettiği elyaf en çok kullanılan aramid türüdür. Aramid elyaf yüksek çekme dayanımına, öz dayanıma, tokluğa sahiptir ve hafiftir. Ancak yüzey işlemesi için uygun değildir. Bu sebeple de matris malzemesine zayıf yapışma gösterir [1-4].

Karbon elyafı, düşük yoğunluk, düşük ısıl (termal) genleşme katsayısı, yüksek yorulma direnci gibi özellikleri sayesinde özellikle uzay ve havacılık uygulamalarında en çok kullanılan takviye malzemesi türüdür. Geniş bir dayanım ve bükülmezlik aralığında kullanılabildiği için karbon elyaf üç sınıfa ayrılabilir: (1) Genel amaçlı, (2) Yüksek başarım, (3) Aktifleştirilmiş karbon elyafı [1-4].

1.2.1.2. Matrisler

Matris malzemesi, elyafı uygun pozisyonda tutma, aşınmayı önleme, yükü elyafa iletme ve tabakalar arası kayma gerilimi sağlama gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca ısıya, kimyasallara ve neme karşı direnç sağlar. İleri karmaların üretiminde kullanılan polimerik matrisler; termosetler ve termoplastikler olarak sınıflandırılabilirler [1-4].

Termoset matris, genelde bir reçineden (örneğin epoksi) ve bir çaprazbağ yapıcı malzemeden oluşur. Bu iki malzemenin karıştırılmasıyla düşük viskoziteli yeni bir malzeme elde edilir. Yapının içinde oluşan, ya da dışarıdan yapıya uygulanan ısı sonucu bu düşük viskoziteli malzeme çapraz bağlanmış olur. Molekül zincirleri arasında oluşan çapraz bağlar sonucunda büyük bir moleküler ağ oluşur. Sonuçta tekrar ısıtılarak işlenemeyen sert bir yapı elde edilir [1-4].

Karmalarda kullanılan termoset reçineler poliesterler, vinilesterler, epoksiler, siyanat esterleri, poliimidler ve fenoliklerdir. Bunların içinde epoksiler en çok kullanılan termoset reçinelerdir [1-4].

Termoplastikler ise başlangıçta, yüksek viskoziteli, ısıtılarak çapraz bağlanmayan malzemelerdir. Yeterli sıcaklığa ısıtıldıklarında yumuşar ve erirler. Böylece birçok defa işlenebilirler [1-4].

Karma üretiminde, termoplastik matris olarak başlangıçta amorf yapılı poli(etersulfon) (PES) ve poli(eterimid) (PEI) kullanılmıştır. Sonraki dönemde ise havacılık sektörü uygulamaları için çözücülere karşı dayanıklı termoplastik ortamların kullanılması önemli bir koşul olarak ortaya çıkmıştır. Bundan sonra Poli(etereterketon) (PEEK) ve Poli(fenilen sülfür) (PPS) gibi yarı-kristal yapılı plastik malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemelerin yanı sıra, Polipropilen (PP) farklı alanlarda çok amaçlı uygulamalarda ve düşük sıcaklıklarda kullanılabilinen bir matris malzemesi olarak özellikle otomotiv endüstrisi için üretilen karmalarda sıklıkla tercih edilmiştir [1-4].

Termosetler ve termoplastikler arasındaki yapısal farklılıklar sonucu termoplastiklerin üstün özellikleri ortaya çıkar. Bu üstünlüklerin en önemlileri şunlardır:

- Sınırsız raf ömrü,
- Yeniden işlenebilme (sürecin tekrarlanabilirliği),
- Düşük nem içerme,
- Isıl şekillendirme,
- Yüksek tokluk [1-4],

Termoplastik ortamlı karmaların eksiklikleri (dezavantajları) ise şu şekildedir:

- Süreç yöntemlerinin sınırlı olması,
- Yüksek süreç sıcaklıkları,
- Yüksek viskozite,
- Lif yüzey değişikliği (modifikasyonu) işlemlerinin az gelişmiş olması [1-4].

1.3. Karma Malzemelerin Üretim Yöntemleri

1.3.1. Ekstrüzyon

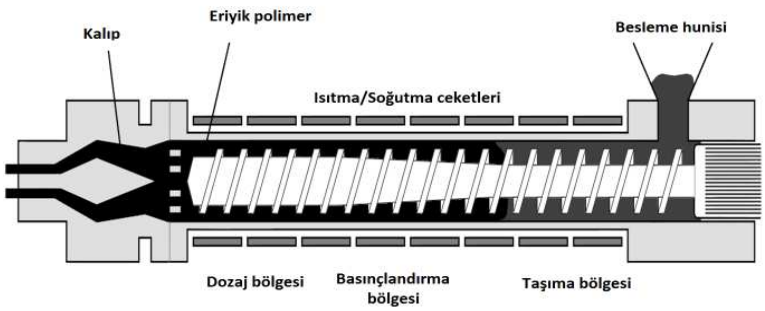
Ekstrüzyon, toz ya da granül haldeki termoplastik malzemeleri sürekli eriyik hale dönüştürmek, karıştırmak ve şekillendirmek için kullanılan bir işleme tekniğidir. Bir

ekstruderin temel görevi, malzemeye yeterli basıncı uygulamak ve bu sayede malzemenin kalıba doğru itilmesini sağlamaktır. Malzemeyi kalıba doğru itmek için gerekli basınç, kalıbın geometrisine, malzemenin akış özelliklerine ve akış hızına bağlıdır [5-8].

Bir ekstruderin temel bileşenleri kontrol paneli, besleyici, vida, kovan ve kalıptır. Kontrol paneli, ekstruzyon işleminin idare edildiği bölümdür. Buradan sıcaklığı, vida hızını ve besle oranını ayarlamak mümkündür. Ayrıca kalıp basıncı, sıcaklık bölgeleri ve kuvvet buradan takip edilebilir [5-8].

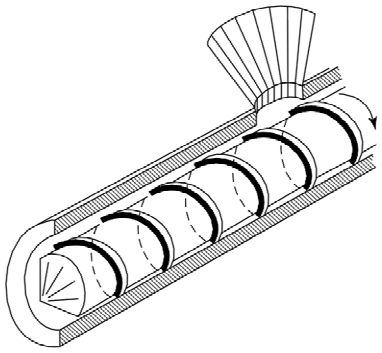
Vida ekstruderin en önemli parçasıdır. Çünkü taşıma, ısıtma, eritme ve karıştırma gibi işlemler vida tarafından gerçekleştirilir. Bu sebeple sürecin kararlılığı ve ürünün kalitesi vida tasarımına bağlıdır. Kovan, vidanın içinde yer aldığı silindir şeklindeki bölümdür. Genellikle çelikten yapılır ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Kovanın aşınma direnci vidadan daha yüksektir. Çünkü vidayı tamir etmek ya da değiştirmek kovanı değiştirmekten daha kolaydır [5-8].

Kalıp ekstruderin ucunda, boşaltma bölgesinde yer alır. İşlevi ürün olarak alınan plastiğe istenilen şekli vermektir. Kalıbın akış kanalı, erimiş plastiğin aynı hızda çıkmasını sağlamak için tasarlanmış olmalıdır. Çünkü erimiş haldeki polimer, kalıp boyunca belli bir kuvvetle itilmektedir. Şekil 1.1'de bir ekstruderin temel yapısı örnek olarak verilmiştir [5-8].



Şekil 1.1: Bir ekstruderin temel yapısı [7]

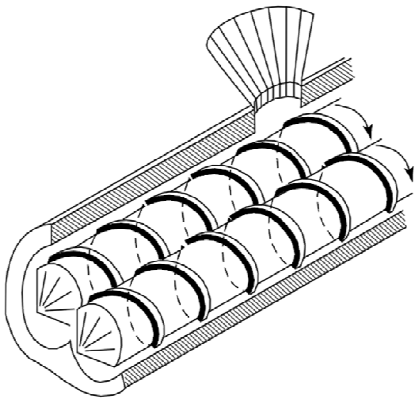
Ekstruderler plastik işlemede en çok kullanılan makinelerdir. Plastik endüstrisinde üç temel ekstruder çeşidi vardır ve vidalı ekstruderler en çok kullanılan ekstruder çeşitleridir. Vidalı bir ekstruder tek bir vidadan oluşuyorsa "tek vidalı ekstruder" adını alır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Tek vidalı ekstruder [5]

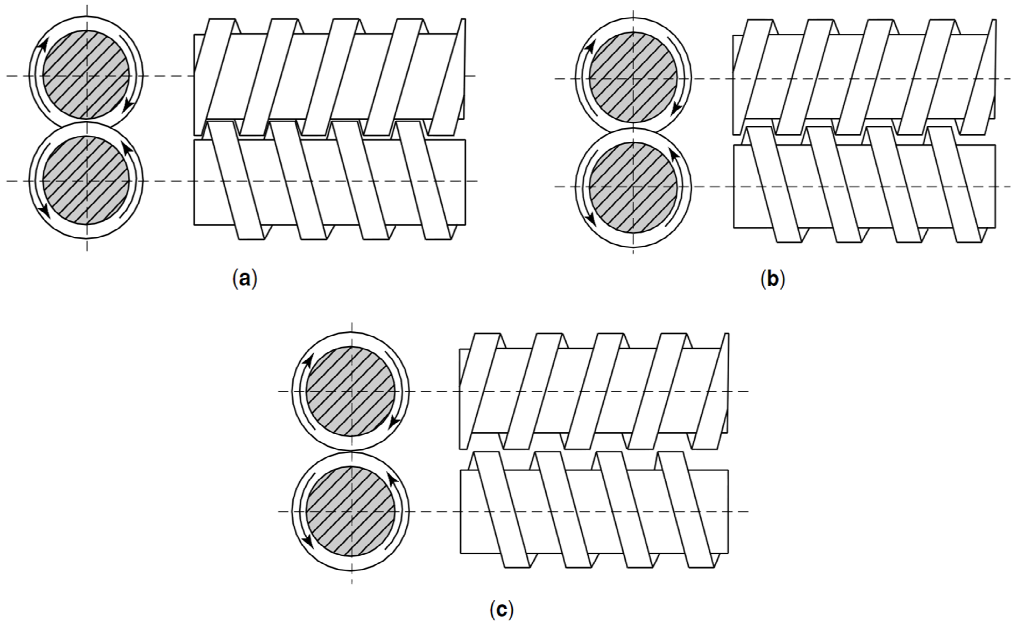
Birden fazla vidadan oluşan ekstruderlere "çok vidalı ekstruder" denir. En çok kullanılan çok vidalı ekstruder ise "çift vidalı ekstruder" dir. Çift vidalı ekstruderler dönme yönlerine göre ve vidaların iç içe geçmesine göre sınıflandırılabilirler [5-8].

Ekstruderde iki vida da aynı yönde dönüyorsa bu tip ekstruderlere, "aynı yönde dönen çift vidalı ekstruder" (co-rotating) adı verilir ve bu tip ekstruderler yüksek vida hızlarında çalışmak için uygunlardır (Şekil 1.3). Eğer çift vidalı bir ekstruderde vidalar zıt yönde dönüyorlarsa bu tip ekstruderlere ise "ters yönde dönen çift vidalı ekstruder" (counter rotating) adı verilir [5-8].



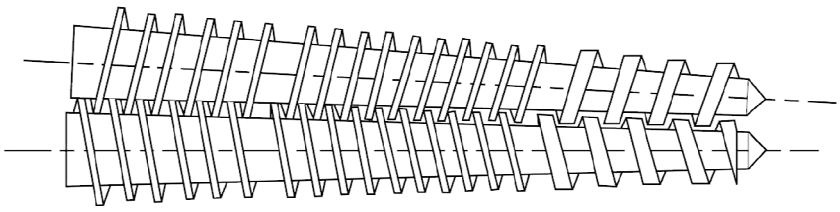
Şekil 1.3: Aynı yönde dönen çift vidalı ekstruder [5]

Ayrıca çift vidalı ekstruderlerde vidalar tamamen iç içe geçmiş (Şekil 1.4a), kısmen iç içe geçmiş (Şekil 1.4b) ya da tamamen ayrı olabilirler (Şekil 1.4c) [5-8].



Şekil 1.4: Ters yönde dönen vidalar (a) tamamen iç içe geçmiş vidalar (b) kısmen iç içe geçmiş vidalar (c) tamamen ayrı vidalar [5]

Çift vidalı ekstruderlerde vidalar paralel şekilde yer alabilecekleri gibi konik şekilde de yer alabilirler (Şekil 1.5) [5-8].

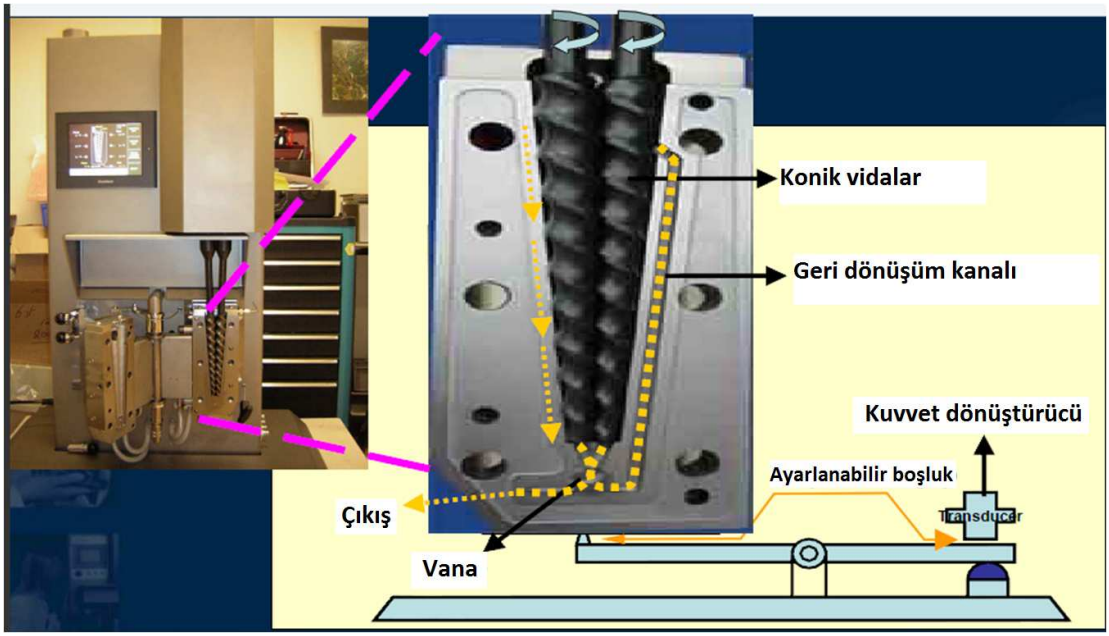


Şekil 1.5: Konik çift vidalı ekstruder [5]

1.3.2. Laboratuar ölçekli karıştırıcılar

Laboratuar ölçekli karıştırıcılar, maliyet ve zamandan kazanç sağlarken, düşük miktarlardaki malzemelerle çalışmayı mümkün kılarlar. Ayrıca klasik ekstruderlerde olduğu gibi aynı ısıl çevrede sürekli ya da kesikli işlemler için kullanılabilirler. Bu

çalışmada, laboratuar ölçekli konik çift vidalı karıştırıcı (micro compounder) kullanılmıştır (Şekil 1.6) [9].



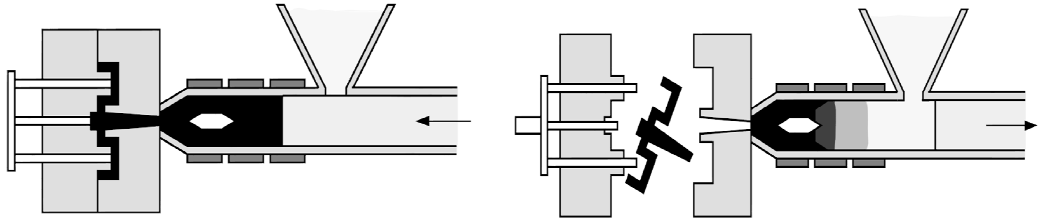
Şekil 1.6: Laboratuar ölçekli aynı yönde dönen çift vidalı konik karıştırıcı [9]

1.3.3. Enjeksiyonla kalıplama

Enjeksiyonla kalıplama, termoplastikleri ve bazı termoset malzemeleri pelet ya da toz halden çeşitli ürünlere dönüştürmek için kullanılan işleme tekniklerinden biridir. Enjeksiyonla kalıplamada basit olarak işleyiş şu şekildedir. Önce pelet ya da tozlar eriyinceye kadar ısıtılır. Daha sonra eriyik, istenilen şekildeki kalıba basınç altında enjekte edilir ve katılaşıncaya kadar beklenir. Son olarak kalıp açılır ve ürün çıkartılır. Enjeksiyonla kalıplama makinası temel olarak üç fonksiyonu yerine getirmek zorundadır:

1. Plastiği eritip basınç altında akmasını sağlamak,
2. Eriyik malzemeyi kalıba enjekte etmek,
3. Eriyik malzemeyi soğuk kalıpta katılaşıncaya kadar bekletmek ve daha sonra katı plastiği çıkarmak [7,10].

Bu işlevler, yüksek kalitede ve uygun maliyette ürün alınabilecek şekilde eniyilenmiş (optimize) edilmiş bir sistem tarafından otomatik olarak yürütülmelidir. Bir enjeksiyonla kalıplama makinesinin temel bileşenleri Şekil 1.7'de görülmektedir [7,10].



Şekil 1.7: Enjeksiyonla kalıplama makinesi [7]

1.4. Karma Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri

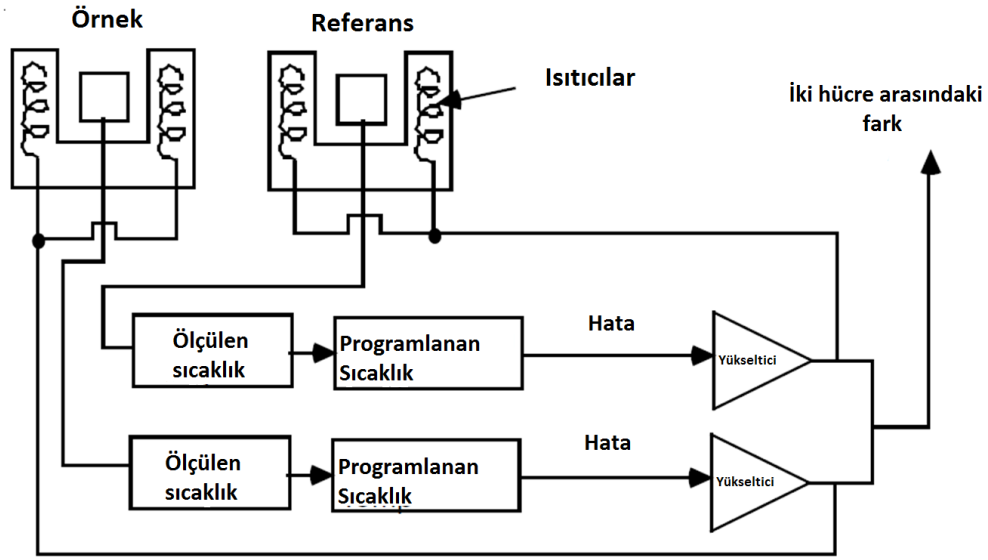
1.4.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Uluslararası Termal Analiz ve Kalorimetri Konfederasyonu'na göre ısıl analiz, özel bir ortamda, sıcaklığı programlanmış bir örneğin, bir özelliğinin zaman ya da sıcaklığa karşı davranışının gözlenmesini sağlayan bir tekniktir [5,11].

Polimerik malzeme ısıl analizlerinde en çok kullanılan teknik ise diferansiyel taramalı kalorimetridir. Bu cihazın çalışma prensibi, örnek ve referans malzemelerin sıcaklıklarının aynı tutulması esasına dayanır. Bu işlem ise sıcaklık algılayıcılarının (platin dirençli termometreler) köprü devresine yerleştirilmesiyle sağlanır [5,11].

DSC'de, biri referans biri de örnek için olmak üzere iki hazne bulunmaktadır. Boş DSC örnek kabı (pan) referans haznesine yerleştirilirken içinde polimer bulunan 2. kap örnek haznesine yerleştirilir. Ardından iki hazne de seçilen başlama sıcaklığına ulaşıncaya kadar ısıtılır ya da soğutulur. Daha sonra bir sıcaklık programı çalışmaya başlar ve haznelerin sıcaklığını belirlenen bir hızla istenilen seviyeye kadar arttırır. Bu sırada iki hazne arasında oluşan sıcaklık farkını dengelemek için gerekli ısıtma ya da soğutma işlemi yapılır. İki örneğe de sağlanan enerji arasındaki farkın birim zamana oranlanması ile örneğin ısı kapasitesi elde edilmiş olur. DSC yardımıyla yapılan ısıl analiz sonucunda malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g), erime sıcaklığı

(T_m), kristallenme sıcaklığı (T_c), erime entalpisi (ΔH), yüzde kristallenme miktarı ($\%X_c$) gibi özellikleri hesaplanabilir. DSC cihazının şematik gösterimi Şekil 1.8'de görülmektedir [5,11].



Şekil 1.8: DSC'nin şematik gösterimi [11]

1.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

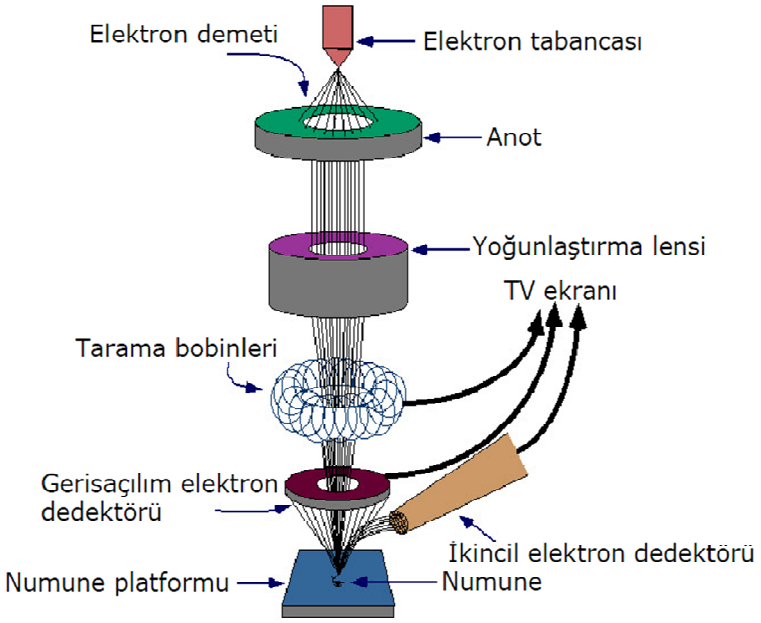
Taramalı elektron mikroskobu (SEM), örneklerin üç boyutlu yapısının görüntülenmesini ve incelenmesini sağlayan bir elektron mikroskobu tipidir. Örneklerin yüzeyindeki çok küçük girinti ve çıkıntıların ya da gözeneklerin ayrıntılı bir şekilde görüntülenmesini sağlar [12,13].

SEM'de görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiriciden geçirildikten sonra bir ekrana aktarılmasıyla elde edilir [12,13].

SEM ile incelenen örnekler iletken ve yalıtkan olanlar şeklinde ikiye ayrılabilirler. İletken olmayan örneklerin görüntülerinin incelenebilmesi için önce iletken hale

getirilmeleri bunun için de altın, altın/paladyum veya aluminyum gibi ince iletken bir tabakayla kaplanmaları gerekmektedir [12,13].

SEM'de büyütme oranı aralığı 10 ile 50.000 arasındadır. Ayrıca numunenin belli bölgelerindeki element bileşimlerinin nitel ya da yarı nicel analizlerini de yapmak mümkündür. SEM'in çalışma şekli Şekil 1.9'da görülmektedir [12,13].



Şekil 1.9: SEM'in şematik gösterimi

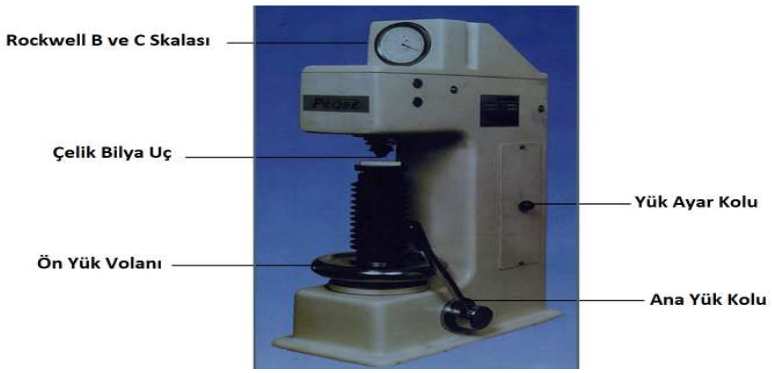
1.4.3. Sertlik

Bir malzemenin, kendisinden daha sert başka bir malzemenin batmasına, çizmesine (kalıcı şekil değiştirmesine vb.) karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Sertlik testleri, diğer mekanik testlere göre daha fazla tercih edilen testlerdir. Bunun başlıca sebepleri: basit ve ucuz olmaları, örneği fazla deforme etmemeleri ve sertlik testi sonucunda elde edilen verilerin diğer bazı mekanik özellikler açısından da aydınlatıcı olabilmeleridir [12].

Temel olarak üç çeşit sertlik testi bulunmaktadır. Bunlar; çizilme, iz ve dinamik sertliktir. Çizilme sertliği, yüzeyde bir çizgi boyunca çizme hareketi yapan sert cisme malzemenin gösterdiği dirençtir. Bu test, Mohs çizelgesi ile değerlendirilir. Mohs çizelgesi malzemelere 1'den 10'a kadar değer veren bir çizelgedir ve en sert

malzeme olarak “elmas” 10 değerini almıştır. Dinamik sertlik, malzemenin yüzeyine düşüp seken bir cisme karşı malzeme yüzeyinde oluşan plastik deformasyonu ölçüp değerlendiren test yöntemidir. Shore sklereskobu yöntemi dinamik sertlik ölçmede kullanılan bir yöntemdir. İz sertlik testleri ise, sanayide en çok kullanılan sertlik testleridir. Bu testlerde, her test metodu için ayarlanmış bir ön yükleme yapıldıktan sonra, sert cisim standart bir kuvvetle test malzemesine bastırılır ve yarattığı iz çizelgeler ile değerlendirilir. İz sertlik testlerinde en çok kullanılan test yöntemleri: (1) Rockwell, (2) Brinell ve (3) Vickers sertlik testi olarak sıralanabilir [12].

Bu çalışmada Rockwell sertlik testi yapılmıştır. Rockwell sertlik testinde, malzeme üzerine, batıcı bir uç yardımıyla önce sabit küçük bir yükle bastırılır. Bu sırada meydana gelen izin dip kısmı başlangıç noktası olarak kabul edilir. Ardından yük daha yüksek bir değere arttırılıp sonra tekrar önceki yüke dönülür. Başlangıçtaki ize nazaran meydana gelen iz derinliğindeki net artış sonucu verir. Rockwell test cihazının temel bileşenleri Şekil 1.10’da görülmektedir [12].

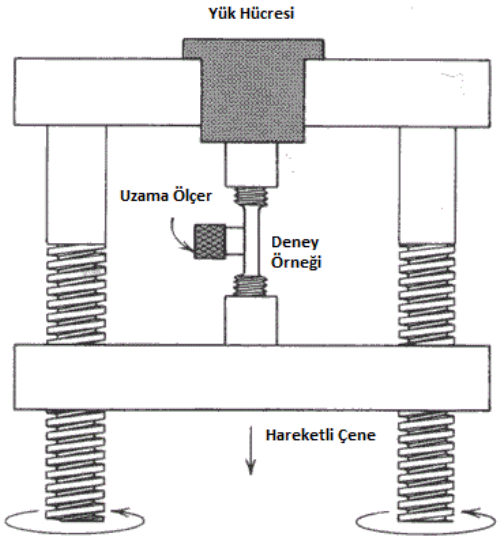


Şekil 1.10: Rockwell test cihazının temel bileşenleri

1.4.4. Çekme testi

Malzemelerin çekme, sıkıştırma gibi dış etkenler sonucunda gösterdikleri tepkileri incelemek ve bu şekilde malzeme özelliklerini anlamak için mekanik testler yapılır. Bu şekilde malzemelerin, test yapılan koşullara benzer ortamlarda test edilen mekanik özellikler açısından kullanışlı olup olmadıkları anlaşılır. Bu amaçla uygulanan testlerden en önemlisi çekme testidir [14].

Çekme testinin amacı, malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için, boyutları standartlara uygun olarak hazırlanan deney numunesi çekme cihazına bağlanır ve örneğe eksenel ve değişken kuvvetler uygulanır. Bir çekme cihazının temel bileşenleri Şekil 1.11'de görülmektedir [14].



Şekil 1.11: Çekme cihazının temel bileşenleri

Çekme cihazı temel olarak deney numunesinin bağlandığı iki çeneden oluşur. Ayrıca cihaz üzerinde bu çenelere hareket veya kuvvet veren ve bu hareketlerin büyüklüğünü ölçen üniteler de mevcuttur. Deney sırasında çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney numunesine değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir [14].

1.5. Karma Malzemelerin Uygulama Alanları

Karma malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışın birçok sebebi vardır, ancak başlıca sebep karmalardan üretilen ürünlerin daha dayanıklı ve hafif olmalarıdır. Günümüzde karma malzemelerin kullanılmadığı bir endüstri kolu bulmak zordur [1].

Karmaların kullanıldığı alanlar: uzay ve havacılık, otomotiv, yapı, denizcilik, korozyona dirençli malzeme üretimi ve tüketim malları olarak sınıflandırılabilirler [1].

Havacılık ve uzay endüstrisi, karma malzemelerin yararlarını ilk anlayan endüstrilerin başında gelmektedir. Cam, karbon ve aramid elyaf havacılık ve uzay uygulamalarında en çok kullanılan takviye malzemeleridir. Özellikle uzay endüstrisi, yüksek başarım özellikleri sebebiyle en çok karbon elyaftan yararlanır. Bu sayede uçaklar, roketler, füzeler vb. araçlar, karmaların kullanımıyla daha uzağa daha hızlı uçabilir hale gelmişlerdir [1].

Otomotiv üreticileri, otomobillerin maliyet, görünüm ve başarım özelliklerini geliştirmek ve iyileştirmek için karma malzemelerden yararlanırlar. Otomotiv sektöründe maliyet önemli bir faktör olduğu için karbon elyaf takviyeli karmalar yüksek maliyetinden dolayı henüz kabul görmüş değildir. Bu sebeple otomobillerde kullanılan karmalarda cam elyaftan yararlanılır. Spor ve hobi malzemesi üreticileri karma sektörünün önemli kullanıcılarıdır. Balık oltası, tenis raketi, kayak ve golf malzemesi ve bisiklet gibi yüksek başarım spor malzemelerinin yapımında da karmalar kullanılır [1].

Karmaların korozyon dirençleri, yakıt tüketimini azaltmaları ve düşük ağırlıkları nedeniyle yüksek hızla yolculuk yapmayı sağlayan özellikleri onları yolcu feribotları, sürat tekneleri, şamandıralar gibi deniz araçlarının üretimlerinde kullanışlı hale getirir [1].

Karmaların kullanıldığı tüketim malları geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Dikiş makineleri, kapılar, küvetler, masalar, sandalyeler, bilgisayarlar, yazıcılar bunlara örnek olarak verilebilir. Bu malzemelerin büyük çoğunluğu kısa elyaf takviyeli karmalardan yapılmaktadır [1].

İnşaat ve sivil yapı endüstrisi karma malzemelerin en çok kullanıldığı ikinci sektördür. Cam ve karbon elyaf takviyeli karmaların yapılarda kullanılmasının en önemli sebebi korozyon direncini ve dayanımı arttırıyor olmalarıdır [1].

2. LİTERATÜRDE KARBON ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK MATRİSLİ KARMALARIN KULLANILDIĞI ÇALIŞMALARDAN ÖRNEKLER

Literatürde, karbon elyaf takviyeli termoplastik matrisli karmaların üretimi, karakterizasyonu ve elyaf yüzey işlemesi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan, tez çalışması kapsamında çalışılan matrislerin kullanıldığı, bu matrislerin karbon elyaf ile ara yüzey yapışmasının incelendiği ve üretilen karmaların karakterizasyonunu içeren önemli bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Rezaei ve arkadaşları, eriyikten karıştırma ve sıcak kalıplama yöntemleriyle kısa karbon elyaf takviyeli PP karmalar hazırlamışlardır. Daha sonra bu karmaların çekme özelliklerini, eğilme özelliklerini, sertliklerini, kırılma işlerini ve termal gravimetrik analiz (TGA) yardımıyla ısıl kararlılıklarını incelemişlerdir. Sonuç olarak, çalışmada üretilen karmaların mekanik özelliklerini çelik araba kaportasının mekanik özellikleriyle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda %10 kısa karbon elyaf takviyeli PP karmaların çelikle karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu bulmuşlardır [15].

Rezaei ve arkadaşları yaptıkları bir diğer çalışmada yine karbon elyaf takviyeli PP karmalar hazırlamıştır. Bu çalışmada ise TGA yardımıyla karmaların ısıl kararlılığını ve termomekanik özelliklerini ortalama elyaf uzunluğunu da dikkate alarak incelemişlerdir. Karmaların sönümleme özelliklerinin incelenmesi amacıyla ise dinamik mekanik analiz (DMA) kullanılmıştır. Sonuç olarak elyaf uzunluğundaki artışın karmaların ısıl kararlılıklarını arttırdığını ve sönümleme özelliklerini geliştirdiğini bulmuşlardır [16].

Rezaei ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise kısa karbon elyaf takviyeli PP karmaların çekme ve sertlik özellikleri ile kırılma işleri, elyaf ağırlık oranı ve ortalama elyaf uzunlukları da dikkate alınarak incelenmiştir. Karmaların

kırılma işi incelenirken çentiksiz numuneler kullanılmıştır ve izod darbe enerjisi ölçülmüştür. Bu ölçümler sırasında elyaf ağırlık oranının ve ortalama elyaf uzunluğunun etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, artan karbon elyaf miktarıyla karmaların dayanım ve bükülmezlik özelliklerinin, sertliklerinin ve izod darbe enerjilerinin arttığı gözlenmiştir [17].

Li yaptığı çalışmada, karbon elyafın yüzey aktivitesini arttırabilmek için yalıtkan engel boşaltılması (Dielectric Barrier Discharge, DBD) yöntemini kullanmıştır. 75 µm uzunluğundaki karbon elyaf örnekleri plazma konfigürasyonu içine yerleştirilmişlerdir. Daha sonra yüzeyi modifiye edilmiş karbon elyaf ve PP arasındaki etkileşim üç nokta eğme testi ile incelenmiştir. Ayrıca karbon elyaf yüzeyindeki işlemler sonucunda oluşan kimyasal değişiklikler X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılarak incelenmiştir. XPS sonuçlarına göre, "yalıtkan engel deşarjı" yöntemiyle modifiye edilen karbon elyaf yüzeylerinde, oksijen ve azot derişimlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar, yalıtkan engel boşaltılması yönteminin kullanılmasıyla karbon elyaf yüzeyinin daha aktif ve hidrofilik hale geldiğini göstermiştir [18].

Li ve Sun'ın yaptıkları çalışmada, polistiren'in karbon elyafa yapışmasını iyileştirmek için polistiren'e uygun bir uyumlaştırıcı araştırılmıştır. Bunun sonucunda polistiren için uyumlaştırıcı olan maleik anhidrit (MAH) aşılanmış polistiren ile karıştırılmış ve matris ile değişik karbon elyaf türleri arasındaki yapışma, "tek lif çekme testi" (single fiber pull-out test) ile incelenmiştir. Daha sonra elde edilen çekme testi verileriyle ara yüzey kayma gerilimi hesaplanmıştır. Bununla birlikte uyumlaştırıcının, polistiren'in yüzey özellikleri üzerine etkisi temas açısı ölçümleriyle incelenmiştir. Deneyler sonucunda en iyi ara yüzey yapışmasının, MAH içeren polistiren ile nitrik asit oksidasyonu ile işlem görmüş karbon elyaf arasında olduğu, ayrıca saf polistiren'e MAH aşılanmış polistiren eklenmesiyle ara yüzey kayma geriliminin arttığı görülmüştür [19].

Li ve Zhang tarafından yapılan bir çalışmada, ekstrüzyon yöntemiyle, nitrik asitle işlem görmüş kısa karbon elyaf ile takviye edilmiş akrilonitril-bütadien-stiren (ABS) karmaları hazırlanmıştır. Daha sonra kısa karbon elyaf yükleme miktarının çekme

özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun sonucunda ABS matrisi içinde, karbon elyaf yükleme miktarının %10'dan %30'a kadar artmasının çekme dayanımı ve çekme modülünü arttırdığı görülmüştür. Daha sonra ara yüzeyde daha kuvvetli bir etkileşim sağlamak için %10 karbon elyaf içeren ABS karmalarına değişen oranlarda poliamid-6 (PA6) eklenmiştir. Karmalardaki artan PA6 miktarı ile ara yüzeydeki yapışmanın arttığı dolayısıyla çekme özelliklerinin de arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca bu sonuçlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleriyle de desteklenmiştir [20].

Fu ve arkadaşları, ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama tekniklerini kullanarak kısa cam ve karbon elyaf takviyeli melez polipropilen karmaları hazırlamışlardır. Bu karmaların çekme özellikleri, bu iki çeşit kısa elyafın etkisi de göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, karışımlardaki hacimce karbon elyaf miktarı arttıkça, çekme dayanımı ve modülünün arttığı ancak kopma uzaması değerinin azaldığı bununla birlikte hibrit karmaların kopma uzaması değerlerinin, karbon elyaf takviyeli karmaların kopma uzaması değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür [21].

Li yaptığı bir başka çalışmada, poli(akrilonitril) temelli karbon elyaf yüzeylerini ozon modifikasyonu yöntemiyle modifiye etmiştir. Ardından karbon elyaf yüzeylerinin özelliklerini XPS yöntemiyle karakterize etmiştir. Karbon elyaf takviyeli PA6 karmaların ara yüzey özelliklerini ise tek lif çekme testi kullanarak incelemiştir. Sonuç olarak, yüzeyi ozon modifikasyonu ile işlem görmüş karbon elyaf ile hazırlanmış karmaların ara yüzey kayma dayanımı (interfacial shear strength) değerlerinin işlem görmemiş karbon elyaf ile hazırlanan karmaların ara yüzey kayma dayanımı değerlerine göre %60 daha fazla olduğu bulunmuştur. XPS sonuçları ise, ozonla modifiye edilmiş karbon elyaf yüzeylerindeki karboksil grup sayısının arttığını göstermiştir. Bu sonuçlar karbon elyaf ve PA6 arasındaki ara yüzey yapışmasının ozon işlemesi ile iyileştiğini göstermiştir [22].

Jang ve Lee yaptıkları çalışmada, karbon elyaf takviyeli poli(fenilen sülfür) (PPS) karmalarındaki ara yüzey yapışmasını arttırmayı amaçlamışlardır. Bunun için elyaf yüzeylerini, "düşük sıcaklık plazma" ve "silan bağlayıcı" yöntemleriyle modifiye

etmişlerdir. Karbon elyaf takviyeli PPS karmaları için en uygun yüzey işleme şartlarına mekanik özellikler ve SEM yardımıyla karar verilmiştir. Sonuç olarak düşük sıcaklık plazma ve silan bağlayıcı işlemlerinin PPS ve karbon elyaf arasındaki ara yüzey yapışmasını arttırdığı ancak iki yöntemin bir arada kullanılmasının daha etkili bir sonuç yarattığı bulunmuştur [23].

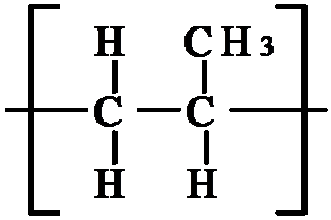
Lee ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, pişirme etkisinin, saf PPS'nin ve yüzeyi epoksi ile ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PPS karmaların kristalizasyon oranları üzerine etkisi DSC kullanılarak incelenmiştir. PPS'nin pişme ısısının artan pişme sıcaklığıyla arttığı, yüzeyi epoksi ile ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların PPS'nin pişme davranışını etkilediği ve pişme derecesinin artmasıyla PPS'nin kristalizasyon oranının da arttığı bulunmuştur. Ayrıca karbon elyafın çekirdeklendirici gibi davranarak PPS'nin kristalizasyon oranını arttırdığı ancak tamamen pişmiş PPS'in çekirdek bölgeler açısından doymuş olduğu için karbon elyafın çekirdeklenme üzerinde etkisinin az olduğunu gözlemişlerdir [24].

Zheng ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, çift vidalı ekstruderde kısa karbon elyaf takviyeli poli(etilen 2,6-naftalat) (PEN) karmaları hazırlanmıştır. Karmaların yapısı, mekanik, reolojik özellikleri ve izotermal olmayan kristalizasyon kinetikleri SEM ve DSC ile incelenmiştir. Sonuçlar, artan karbon elyaf miktarıyla birlikte karmaların çekme dayanımı, young modülü ve darbe dayanımı değerlerinin arttığını göstermiştir. Çekme ve darbe dayanımındaki bu artış PEN matris ile karbon elyaf arasındaki etkileşimin iyi olduğu sonucunu ortaya koyar. Bununla birlikte eriyik haldeki karmaların karmaşık reolojik davranış gösterdiği görülmüştür. Viskoz aktivasyon enerjisi önce artmış daha sonra artan karbon elyaf miktarıyla azalmıştır. Bu da karbon elyaf içeren eriyiklerin süreç sıcaklığına duyarlılıklarının daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca karmalardaki kısa karbon elyafın çekirdeklendirici olarak davrandığı ve kristalinite oranını arttırdığı gözlenmiştir [25].

3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

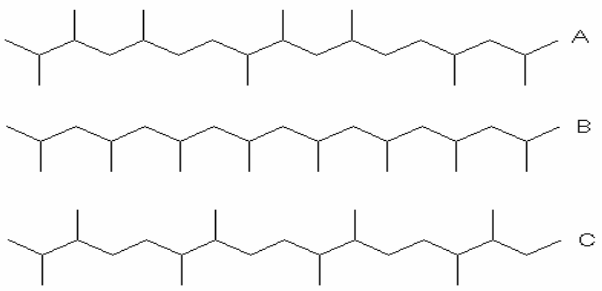
3.1. Polipropilen (PP)

PP, poliolefin grubundan bir polimerdir. PP, yüksek saflıktaki propilen (%99.9) gazının basınç altında, Ziegler-Natta katalizörleri yardımıyla radikalik olarak polimerleşmesiyle elde edilir. PP, karakteristik olarak metil grubuna sahiptir ve bu grupların karbon zinciri üzerindeki uzamsal yerleşimine bağlı olarak değişik formlar alır ve adlandırılır (Şekil 3.1) [26].



Şekil 3.1: Polipropilenin tekrarlanan birimi

PP'de metil grupları zincir üzerinde düzensiz dağılıyorsa ataktik PP (aPP), bütün metil grupları zincirin bir tarafında toplanmışsa izotaktik PP (iPP) ve metil grupları zincirin her iki tarafında dengeli bir dağılım oluşturuyorsa sindiotaktik PP (sPP) oluşur. Metil grupların dağılımının düzenli oluşu, kristalinite derecesinin, çekme dayanımının, bükülmezliğin ve sertliğin artmasını sağlar (Şekil 3.2) [26].



Şekil 3.2: Polipropilen türleri (a) ataktik polipropilen (b) izotaktik polipropilen (c) sindiotaktik polipropilen

PP, polar olmaması nedeniyle yüksek dielektrik katsayısına ve ısı yalıtım özelliğine sahiptir. Ayrıca uygulamada, derişik sülfürik asit, nitrik asit, potasyum bikromat, kerosen ve karbon tetraklorür hariç diğer tüm kimyasallara karşı oldukça dayanıklı olduğu bilinmektedir [26].

PP ekonomik açıdan en önemli termoplastik malzemelerden biridir. Şeffaf ya da renklendirilmiş şekillerde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ambalaj malzemeleri, tekstil ürünleri, otomotiv parçaları, tıbbi cihazlar ve tüketici malzemeleri bu alanlara örnek olarak verilebilir [26].

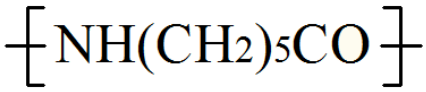
3.2. Maleik Anhidrit Aşılanmış Polipropilen (MAH-g-PP)

Maleik anhidrit, maleik asitteki karboksil gruplarının esterleşmesiyle oluşan bir bileşiktir. Maleik anhidrit aşılanmış malzemeler, ana matris ile içerisine katılan takviye malzemesinin uyumunu arttırmak, böylece üretilen karmanın özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar.

3.3. Poliamid - 6 (PA6)

Poliamidler, amid grubu (-NH-CO-) içeren makromoleküler yapılardan oluşurlar. DuPont firmasının ürettiği ve Naylon olarak da bilinen doğrusal poliamidler, en çok kullanılan poliamid türleridir. Naylonlar ilk yapay liflerdir ve ilk mühendislik polimerleridir. Poliamidler kolayca kalıplama ile şekillendirilebilirler, sert ve kırılgandırlar ayrıca alkaliler, petrol ürünleri ve organik çözücüler tarafından aşınmaya karşı dirençlidirler [27,28].

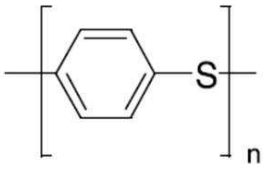
PA6, yarı kristalin bir polimerdir ve en çok kullanılan poliamid türüdür (Şekil 3.3). PA6'nın en çok kullanılan poliamid olmasının başlıca sebepleri hammaddesi kaprolaktamın kolay bulunabilmesi, geniş uygulama alanına sahip olması ayrıca üretiminin, taşınımının ve geri dönüşümünün kolay ve ekonomik olmasıdır [27,28].



Şekil 3.3: PA6'nın tekrarlanan birimi

3.4. Poli (fenilen sülfid) (PPS)

Poli(fenilen sülfid) (PPS), diklorobenzenin sodyum sülfür (Na_2S) ile polar bir çözücü içinde tepkimeye girmesi ile oluşur. Bu tepkime sonucunda elde edilen ürüne poli(tiyo-1,4-fenilen) ya da poli(fenilen sülfid) adı verilir (Şekil 3.4) [26,27].



Şekil 3.4: PPS'nin tekrarlanan birimi

PPS, iyi kimyasal direnç gösterir ve yanmaya karşı dayanıklıdır. Bu polimer sert olması ve mekanik özelliklerini çok yüksek sıcaklıklarda koruyabilmesi nedeniyle, kalıplama ve kaplama uygulamalarında iyi sonuç verir. Dolgu maddesi olmaksızın, normal sıcaklıkta sert bir madde olup, yüksek gerilme dayanımına sahiptir. Ayrıca karbon elyaf gibi dolgu maddeleri ilavesi ile bu özelliklerinde önemli derecede artış meydana gelir [26,27].

PPS, bilgisayar parçalarının yapımında, yüksek voltaj alanlarında, mekanik güç, yüksek ısıl kararlılık ve kimyasal direncin gerektiği, su altı aletlerinde; santrifüj, pervane kanadı ve dişli pompaların yapımında kullanılmaktadır [26,27].

3.5. Karbon Elyaf

Karbon elyafın bilinen en eski ticari kullanımı; 1800'lerin sonlarında, akkor lamba teli(flamenti) elde etmek amacıyla pamuk ve bambu lifinin karbonizasyonu ile başlamıştır. Takviye malzemesi olarak kullanımı ise 1950'lerin sonlarında roket malzemesi olarak kullanılmasıyla olmuştur. 2. Dünya Savaşı sırasında Union Carbide Corporation firması, rayon ve poli(akrilo nitril)'in (PAN) karbonizasyonunu bulmuştur. Karbon lifi üretmek için uygun olduğu düşünülen diğer malzemeler

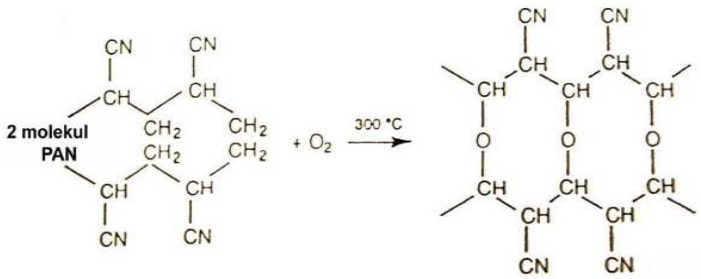
poliesterler, poliamidler, poli(vinil alkol), poli-p-fenilen ve fenolik reçinelerdir. Bu malzemelerden rayon, PAN ve ziftin (pitch) iyi mekanik özellikler gösterdiği bilinmektedir. İlk karbon elyaf rayondan yapılmıştır. Ancak günümüzde ticari olarak satılan karbon elyafın %90'ı PAN temellidir. Çünkü PAN temelli karbon elyaf, zift ya da rayondan yapılan karbon elyafa kıyasla yüksek dayanım, modül ve kopma uzamasına sahiptir [1,4].

Her hammaddeden karbon elyaf üretme süreçlerinin detayları farklı olsa da hepsinin üretiminde temel olarak aynı sıra izlenir: (1) Lif yapma, (2) Stabilizasyon (3) Karbonizasyon (4) Yüzey iyileştirmesi ve kaplama [1,4].

3.5.1. PAN temelli karbon elyaf üretimi

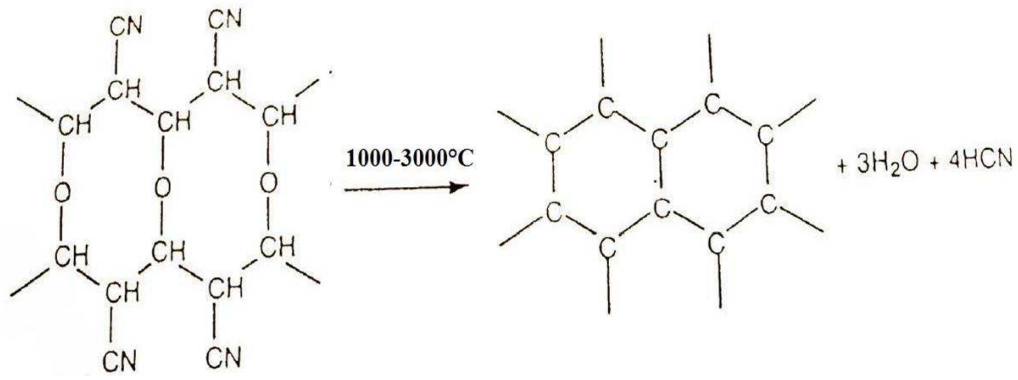
Günümüzde kullanılan karbon elyafın büyük çoğunlu PAN temellidir. Üretimde ilk aşama PAN polimerinin, standart tekstil lifi sürecinde olduğu gibi, lif haline getirilmesidir [1,4].

Oksidasyon aşamasında elyaf gerdirilir ve oksijen ortamında yaklaşık 300°C'ye kadar ısıtılırlar. Bu işlemle, elyaftan hidrojen ayrılır ve yerine daha uçucu olan oksijen bağlanır (Şekil 3.5). Bu sayede moleküller yönlenir ve çapraz bağlanırlar bu da elyafın yüksek sıcaklıklarda bozunmasını önler [1,4].



Şekil 3.5: Karbon elyafın oksidasyon işlemi

Karbonizasyon, elyafın oksijensiz ortamda 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşmasının sağlanması aşamasıdır (Şekil 3.6). Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafının sınıfını belirler [1,4].



Şekil 3.6: Karbon elyafın karbonizasyon işlemi

Karbonizasyonun ardından elyafa yüzey işlemesi yapılır. Bu işlemin amacı elyaf yüzeylerini temizlemek ve yüzeylerine fonksiyonel grup eklemektir. Birçok üretici bu amaçla elektrolitik oksidasyon sürecini kullanmaktadır. Böylece elyaf yüzeylerinde karboksil, karbonil ve hidroksil gruplar meydana gelmektedir. Bu sayede elyafın matrise yapışması iyileştirilmiş olur [1,4].

Ön kaplama (sizing) ise elyafı sonraki işlemlerden korumak ve matrise daha iyi yapışmasını sağlamak için yapılan bir işlemdir. Bu işlem sırasında elyaf reçine ile kaplanır. Bu reçine karmada matris ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür. Kaplama işleminde reçine olarak genellikle epoksi kullanılır [1,4].

3.5.2. Zift temelli karbon elyaf

PAN temelli karbon elyafın sağladığı yüksek modül, iyi ısıl ve elektriksel iletkenlik gibi özellikler, zift temelli karbon elyaftan kolayca elde edilemez. Zift temelli karbon elyaf daha bükülmez ve daha kırılgan özelliktedir. Bu elyafın üretimi, PAN temelli elyaf üretimiyle aynı yolu izler. Ancak sıcaklık, gerdirme ve stabilizasyon süreleri gibi faktörler de farklılık gösterir [1,4].

Zift tek başına düşünüldüğünde ucuz bir malzeme olmasına rağmen karbon elyaf halini alıncaya kadar geçtiği aşamalar, maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple zift temelli karbon elyaf, PAN temelli karbon elyafa göre daha pahalıdır [1,4].

4. DENEYSEL YÖNTEMLER

Bu çalışma dört bölümden meydana gelmiştir. İlk bölümde kısa karbon elyaf takviyeli PP karmaları hazırlanmıştır. İkinci bölümde PP ile karbon elyaf arasında uyumlaştırıcı görevi görmesi amacıyla maleik anhidrit aşılanmış PP ile saf PP karışımları matris olarak kullanılmış ve kısa karbon elyaf takviyeli karmalar hazırlanmıştır. Üçüncü bölümde kısa karbon elyaf takviyeli PA6, dördüncü bölümde ise yine kısa karbon elyaf takviyeli PPS karmaları hazırlanmıştır. Hazırlanan karmalara karakterizasyon aşamasında DSC, SEM, sertlik ve çekme testleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri

Malzeme	Üretici Firma/Ticari Adı	Ürün Özellikleri
PP	PETKİM / PETOPLEN MH 418	Pelet, erime akış hızı 4,0-6,0 g/10 dk, yoğunluk 0,90 g/cm^3, erime sıcaklığı 175°C
MAH-g-PP	DUPONT / Bynel® 50E739	Pelet, yoğunluk 0,890 g/cm^3, erime sıcaklığı 142°C, erime akış hızı 6,0 g/10 dk
PA6	EMAŞ PLASTİK / Nylem®6	Pelet, yoğunluk1.12-1.15 g/cm^3, viskozite 2.3-2.8 cm^3/g, erime sıcaklığı 221°C, enjeksiyona uygun
PPS	TICONA / Fortron 1200 L1	Pelet, yoğunluk 1,35 g/cm^3, ısıl eğilme sıcaklığı 115°C, erime sıcaklığı 280°C
Karbon Elyaf	AKSA / AKSACA	Kopma dayanımı 3600 MPa, modül 240 GPa, uzama 1,6 % , yoğunluk 1,76 gr/cm^3

4.1. PP – Karbon Elyaf Karmaları

4.1.1. PP – karbon elyaf karmalarının üretimi

Bu bölümde PP - karbon elyaf karmaları hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında “DSM Xplore” marka aynı yönde dönen çift vidalı konik ve dikey yönlü mini ekstruder kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: “DSM Xplore” marka aynı yönde dönen çift vidalı konik ve dikey yönlü mini ekstruder

Hazırlanan karışımların kalıplama işlemi için “DSM Xplore” marka enjeksiyonla kalıplama cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: “DSM Xplore” marka enjeksiyonla kalıplama cihazı

Karmalar hazırlanırken 0,5, 1,0 ve 1,5 cm olmak üzere üç farklı uzunlukta yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ve 1,0 cm uzunluğunda karbon elyaf kullanılmıştır. Karışımlar ağırlıkça % 2, 4, 6, 8 ve 20 oranında elyaf içerecek şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların oranları ile ilgili bilgiler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Karışımlar besleme hunisi yardımıyla ekstrudere beslenmiştir. Harmanlama işlemi sırasında kovan sıcaklığı 230°C ve vida hızı 100 rpm olarak ayarlanmıştır. Karıştırma süresi ise, 1 dakika besleme ve 3 dakika karıştırma olmak üzere toplam 4 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2: PP ve karbon elyaf karışımlarının oranları

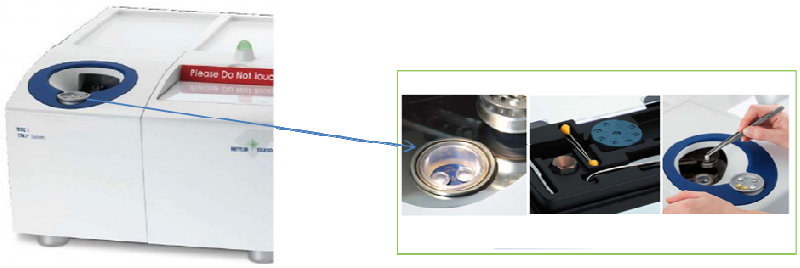
PP - Karbon Elyaf Karmaları	**Yüzeyi Ön Kaplanmış Karbon Elyaf**			**Karbon Elyaf**
	Elyaf Uzunluğu (cm)			**Elyaf Uzunluğu (cm)**
	0,5	**1,0**	**1,5**	**1,0**
Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı (%)	2	2	2	2
	4	4	4	4
	6	6	6	6
	8	8	8	8
	20	20	20	20

Ekstruderden çıkan eriyik haldeki malzeme, enjeksiyon cihazının 230°C'ye ayarlanmış haznesine aktarılmıştır. Ardından eriyik haldeki malzeme 25°C sıcaklıktaki kalıba 8 bar basınçta basılmış ve üretilen papyon numuneler kalıptan çıkarılmıştır.

4.1.2. PP – karbon elyaf karmaların karakterizasyonu

4.1.2.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Üretilen örneklerin diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri Mettler Toledo DSC 1 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Mettler Toledo DSC 1 cihazı

Ölçümler -30°C ile 200°C aralığında, 10°C/dakika ısıtma hızı ile yapılmıştır. Ölçümler sırasında sisteme 80 ml/dakika akış hızında yüksek saflıkta azot gazı beslenmiştir. Sonuçlar "Star^{e} System" yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş erime sıcaklıkları (T_m), erime entalpileri (ΔH) ve % kristalinite (% X_c) değerleri hesaplanmıştır.

4.1.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Örneklerin çekme testi sonucunda oluşan kırılma yüzeyleri altın-paladyum alaşımı ile kaplanmış ve ardından "SEM Jeol 6335F" marka taramalı elektron mikroskobu (Şekil 4.4) ile iki farklı büyütme oranında SEM mikrografları elde edilmiştir.



Şekil 4.4: "Jeol 6335F" marka taramalı elektron mikroskobu

4.1.2.3. Optik mikroskop ve görüntü analizi

Üretilen karmalardaki elyaf boyu dağılımını hesaplayabilmek için öncelikle seçilen bileşimlerdeki karmalardan yaklaşık 0,2 g ağırlığında örnekler alınarak krozelere koyulmuştur. Ardından 550°C'deki kül fırınında (Nabertherm-B180) 10 dakika bekletilmişlerdir. Kül fırınından çıkan numuneler su ile dağıtılarak cam lamellere aktarılmış ve optik mikroskopla (James Swift-England) incelenmişlerdir. Optik mikroskoptan elde edilen görüntüler daha sonra bir görüntü analizi programı olan Image J® programına yüklenmiş ve bu program yardımıyla elyaf boyu dağılımı belirlenmiştir. Bu işlem sırasında her karışımdan yaklaşık 10 görüntü alınmıştır. Seçilen bir örnek için yapılan görüntü analizinin basamakları Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5: Görüntü analizi basamakları

4.1.2.4. Sertlik

Karmaların Rockwell sertlik testleri “Brooks Model MAT 10/250” marka sertlik test cihazında ASTM D785 standartına uygun olarak yapılmıştır. Test için Rockwell R skalası kullanılmış ve numunelere 12,7 mm çapında delici top ile 10 kg ön yük ve 60 kg ana yük uygulanmıştır. Her numune için birbirine uzak noktalardan en az 5 ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması hesaplanmıştır.

4.1.2.5. Çekme testi

Karmaların çekme testleri “Instron 3345” marka çekme cihazında, 5 kN yük hücresi kullanılarak, 5 mm/dk çekme hızında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Sonuçlar “Bluehill®” yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir ve karmaların kopma dayanımı, çekme modülü ve kopma uzaması değerleri ISO 527 standardına göre hesaplanmıştır. Çekme testlerinde kullanılan cihaz Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6: “Instron 3345” marka çekme testi cihazı

4.2. MAH-g-PP ile Uyumlaştırılmış PP – Karbon Elyaf Karmaları

4.2.1. MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmaların üretimi

Bu bölümde, matris olarak seçilen PP ile reaktif uyumlaştırıcı görevi görecek olan MAH-g-PP polimerlerinin belirli oranlarda karışımları oluşturulmuş ve bu karışımlar matris olarak kullanılarak karbon elyaf takviyeli karmalar üretilmiştir.

Karışımdaki MAH-g-PP oranı ağırlıkça yüzde 0, 2,5 ve 5,0 olarak belirlenmiştir. Karmalar hazırlanırken 1,0 cm uzunluğunda yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılmıştır. Karışımlar ağırlıkça % 2, 4, 6, 8 ve 20 oranında karbon elyaf içerecek şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların oranları ile ilgili bilgiler Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3: MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP ve karbon elyaf karışımlarının oranları

PP/MAH-g-PP – Karbon Elyaf Karmaları	**Yüzeyi Ön Kaplanmış Karbon Elyaf**		
Ağırlıkça MAH-g-PP Miktarı %	**0**	**2,5**	**5,0**
Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı %	2	2	2
	4	4	4
	6	6	6
	8	8	8
	20	20	20

Hazırlanan karışımlar, PP – karbon elyaf karmaları ile aynı şartlar kullanılarak harmanlanmış ve enjeksiyonla kalıplanmışlardır.

4.2.2. MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu

Üretilen örneklerin karakterizasyonunda, PP – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu sırasında kullanılan yöntemler aynı şartlar altında kullanılmıştır.

4.3. PA6 – Karbon Elyaf Karmaları

4.3.1. PA6 – karbon elyaf karmalarının üretimi

Bu bölümde PA6 - karbon elyaf karmaları hazırlanmıştır. Karmalar hazırlanırken 0,3, 0,6, 1,3 ve 1,9 cm olmak üzere dört farklı boyda kırpılmış “karbon elyaf” ve “yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf” kullanılmıştır. Karışımlar ağırlıkça % 2, 4, 6, 8 ve 20 oranında karbon elyaf içerecek şekilde hazırlanmıştır.

Karbon elyafın kullanıldığı karmalarda, 1,3 cm uzunluğundaki elyaf kullanılarak % 2, 4, 6, 8 ve 20 oranlarında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanırken boy farkının etkisini incelemek amacıyla ise 0,3 ve 0,6 cm uzunluğunda elyaf kullanılarak % 6 oranında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanmıştır.

Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyafın kullanıldığı karmalarda ise 1,3 cm uzunluğundaki elyaf kullanılarak % 2, 4, 6, 8 ve 20 oranlarında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanırken boy farkının etkisini incelemek içinse 0,6 ve 1,9 cm uzunluğunda elyaf kullanılarak % 6 oranında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanmıştır.

Matris malzemesi olarak kullanılan PA6 içerdiği nemin uzaklaştırılması amacıyla 80°C’de 12 saat vakumlu etüvde bekletilmiştir. Ardından karışımlar besleme hunisi yardımıyla ekstrudere beslenmiştir. Harmanlama işlemi sırasında kovan sıcaklığı 240°C ve vida hızı 100 rpm olarak ayarlanmıştır. Ayrıca işleme sırasında sisteme yüksek saflıkta argon gazı beslenmiştir. Karıştırma süresi ise, 1 dakika besleme ve 3 dakika karıştırma olmak üzere toplam 4 dakika olarak belirlenmiştir.

Ekstruderden çıkan eriyik haldeki malzeme, enjeksiyon cihazının 240°C’ye ayarlanmış haznesine aktarılmıştır. Ardından eriyik haldeki malzeme 30°C sıcaklıktaki kalıba 8 bar basınçta basılmış ve üretilen papyon numuneler kalıptan çıkarılmıştır.

4.3.2. PA6 – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu

Üretilen örneklerin diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri 25°C ile 250°C aralığında, 10°C/dakika ısıtma hızı ile yapılmıştır. Ölçümler sonucunda karmaların camsı geçiş sıcaklıkları, erime sıcaklıkları, erime entalpileri ve % kristalinite değerleri hesaplanmıştır.

PA6 - karbon elyaf karmalarının SEM, sertlik ve çekme testleri sırasında, PP – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu sırasında kullanılan yöntemler, aynı şartlar altında kullanılmıştır.

4.4. PPS – Karbon Elyaf Karmaları

4.4.1. PPS – karbon elyaf karmalarının üretimi

Bu bölümde PPS - karbon elyaf karmaları hazırlanmıştır. Karmalar hazırlanırken 0,3, 0,6, 1,3 ve 1,9 cm olmak üzere dört farklı boyda kırpılmış “karbon elyaf” ve “yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf” kullanılmıştır. Karışımlar ağırlıkça % 2, 4, 6 ve 8 oranında karbon elyaf içerecek şekilde hazırlanmıştır.

Karbon elyafın kullanıldığı karmalarda, 1,3 cm uzunluğundaki elyaf kullanılarak % 2, 4, 6, 8 ve 20 oranlarında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanırken boy farkının etkisini incelemek amacıyla ise 0,3 ve 0,6 cm uzunluğunda elyaf kullanılarak % 6 oranında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanmıştır.

Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyafın kullanıldığı karmalarda ise 1,3 cm uzunluğundaki elyaf kullanılarak % 2, 4, 6, 8 ve 20 oranlarında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanırken boy farkının etkisini incelemek içinse 0,6 ve 1,9 cm uzunluğunda elyaf kullanılarak % 6 oranında karbon elyaf içeren karmalar hazırlanmıştır.

Hazırlanan karışımlar besleme hunisi yardımıyla ekstrudere beslenmiştir. Harmanlama işlemi için süreç koşulları ön denemeler yardımıyla belirlenmiştir. Buna

göre harmanlama işlemi sırasında kovan sıcaklığı 310°C ve vida hızı 100 rpm olarak ayarlanmıştır. Karıştırma süresi ise, 1 dakika besleme ve 3 dakika karıştırma olmak üzere toplam 4 dakika olarak belirlenmiştir.

Ekstruderden çıkan eriyik haldeki malzeme, enjeksiyon cihazının 310°C'ye ayarlanmış haznesine aktarılmıştır. Ardından eriyik haldeki malzeme 25°C sıcaklıktaki kalıba 8 bar basınçta basılmıştır. Son olarak üretilen papyon numuneler kalıptan çıkarılmıştır.

4.4.2. PPS – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu

Üretilen örneklerin diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri 25°C ile 300°C aralığında, 10°C/dakika ısıtma hızı ile yapılmıştır. Ölçümler sonucunda karmaların camsı geçiş sıcaklıkları, erime sıcaklıkları, erime entalpileri ve % kristalinite değerleri hesaplanmıştır.

PPS - karbon elyaf karmalarının SEM, sertlik ve çekme testleri sırasında, PP – karbon elyaf karmalarının karakterizasyonu sırasında kullanılan yöntemler, aynı şartlar altında kullanılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. PP – Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları

5.1.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Polipropilen – karbon elyaf karmalarının erime sıcaklığı (T_m,°C), erime entalpisi (ΔH_f, J/g) değerleri DSC analizleri sonucunda elde edilmiştir. Buna göre karmaların kristalizasyon derecelerindeki bağıl değişim değerleri ($\Delta\chi$, %) aşağıdaki denklik kullanılarak hesaplanmıştır [29]:

$$\Delta\chi_i(\%) = \frac{\Delta H_{f,i} - \Delta H_0}{\Delta H_0} \times 100 \qquad (5.1)$$

Bu formülde $\Delta H_{f,i}$ üretilen polipropilen karmaların erime entalpilerini ve ΔH_0 saf polipropilenin erime entalpisini ifade etmektedir. Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların DSC sonuçları tablo 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.1: Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PP karmalarının DSC sonuçları

Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı %	**Yüzeyi Ön Kaplanmış Karbon Elyaf**									**Karbon Elyaf**		
	Elyaf Uzunluğu (cm)									**Elyaf Uzunluğu (cm)**		
	0,5			**1,0**			**1,5**			**1,0**		
	T_m	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**
0	**167,1**	**61,6**	-	**167,1**	**61,6**	-	**167,1**	**61,6**	-	**167,1**	**61,6**	-
2	168,0	61,66	0,09	167,0	77,1	25,3	167,4	71,6	16,2	167,0	67,8	10,1
4	165,8	61,4	-0,29	165,7	67,8	10,13	167,0	63,9	3,8	166,2	60,1	-2,3
6	166,2	58,9	-4,25	166,6	62,8	1,98	165,9	60,2	-2,1	167,5	52,5	-16,6
8	164,9	58,6	-4,77	166,0	58,0	-5,71	167,4	58,0	-5,7	166,5	50,8	-17,4
20	166,5	57,9	-5,94	166,5	56,2	-8,65	167,0	49,6	-19,3	166,5	46,6	-24,3

Karmalarda elyaf ile matris uyumlu ise elyaf ve matris arasındaki yapışmanın iyi olması yapıdaki kovalent bağların sayısının artmasını sağlar. Artan kovalent bağ sayısıyla karmanın kristalinitesi artar bu da T_m değerinin artmasına neden olur. Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan polipropilen karmalarının Tablo 5.1'de verilen DSC sonuçları incelendiğinde, çalışılan elyaf boyu aralığında, artan karbon elyaf yükleme miktarıyla karmaların T_m değerlerinde herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Bu durum karbon elyaf ile PP arasında herhangi bir kovalent bağın oluşmadığını göstermektedir [2].

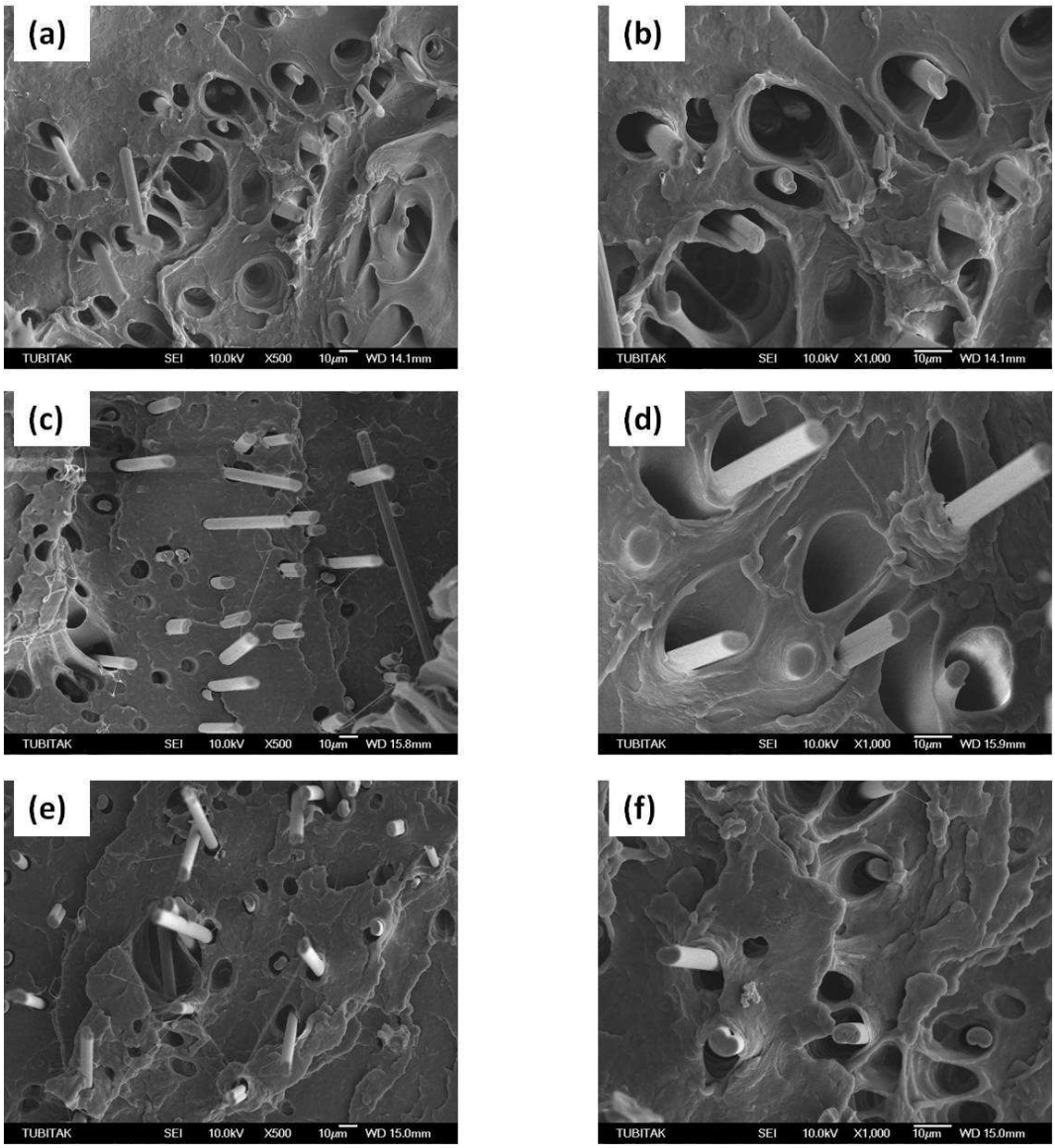
Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan polipropilen karmalarının denklem 5.1 ile hesaplanan kristalinite değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde karmalardaki elyaf miktarı arttıkça kristalizasyon derecesinin önce çok az arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Örneğin Tablo 5.1 incelendiğinde, 0,5 cm uzunluğunda yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmalarda %2 elyaf yüklemesinde, saf polipropilene göre karmanın kristalizasyon derecesi artmış ancak karmadaki karbon elyaf miktarı arttıkça kristalizasyon derecesi azalmıştır.

Elyaf takviyeli karmalarda elyaf, kristallenme derecesini çekirdek ve kristal büyümesi şeklinde etkiler. Dolayısıyla karmadaki elyaf miktarı arttıkça elyaf, etkin heterojen çekirdekler gibi davranarak kristalizasyon sürecindeki çekirdek miktarını arttırır ve bu şekilde düşük elyaf yüklemelerinde karmanın kristalizasyon derecesi artmış olur. Aynı zamanda elyaf ve polimer zincirleri arasındaki sürtünme, polimer zincirlerin kristal büyümesi sırasındaki hareketliliğini engeller ve bu etki de artan karbon elyaf yüklemelerinde karmanın kristalizasyon derecesinin azalmasına neden olur [29,30,31].

Sonuç olarak PP – karbon elyaf karmalarının kristalinite değerlerindeki azalma, artan elyaf yükleme miktarıyla, elyafın PP matris içinde sınırlayıcı alanlar gibi davranmasıyla, böylece matrisin kristallenmesini engellemesiyle açıklanabilir.

5.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Polipropilen ve farklı uzunluklarda, yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların SEM mikrografları Şekil 5.1'de verilmiştir. Çekme testleri sonucu oluşan kopma yüzeylerine bakıldığında elyafın matristen ayrıldığı ayrıca PP matrisin belli bölgelerinde uygulanan yük sonucu kopmadan önce plastik deformasyon oluşturduğu görülmektedir [7,15,20,32].

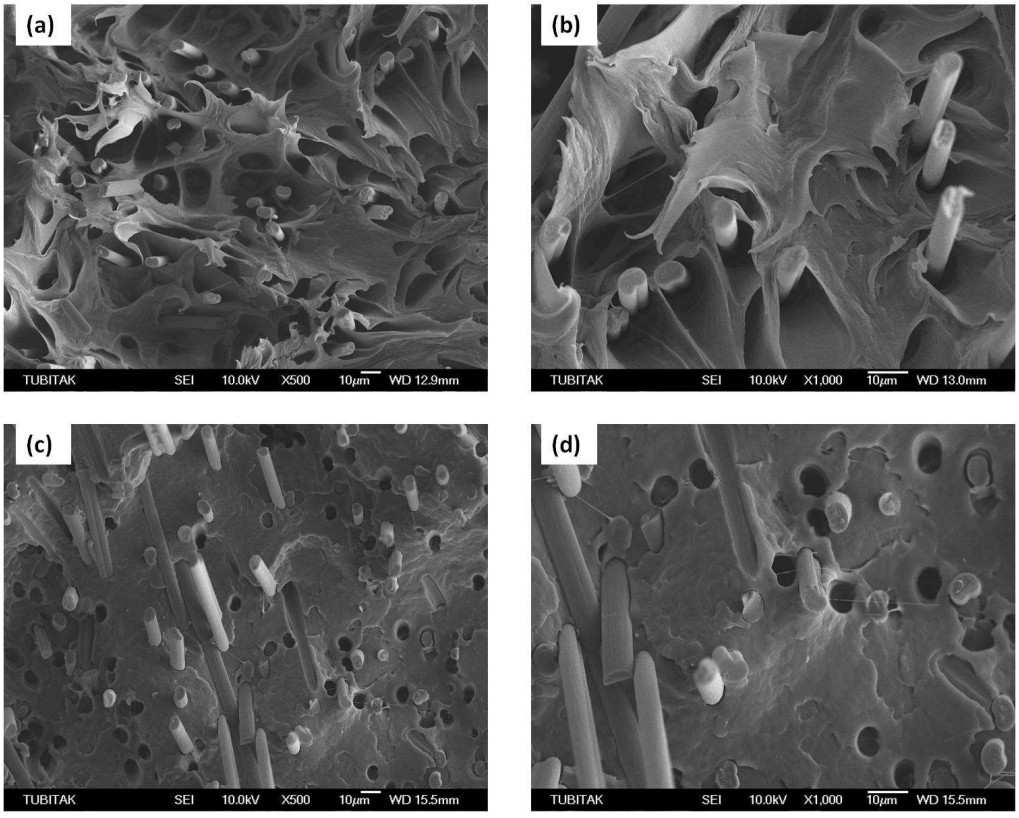


Şekil 5.1: PP - yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların farklı elyaf uzunluklarında ve aynı yükleme oranındaki SEM mikrografları (a) 0,5 cm-%8 (x500), (b) 0,5 cm-%8 (x1000), (c) 1,0 cm-%8 (x500), (d) 1,0 cm-%8 (x1000), (e) 1,5 cm-%8 (x500), (f) 1,5 cm-%8 (x1000)

Özellikle yüksek büyütme oranlarındaki mikrograflar incelendiğinde, matristen ayrılan elyafın etrafında siyah halkalar oluştuğu görülmektedir. Bu siyah halkalar elyaf matristen ayrılırken elyaf çevresini saran matrisin lokal deformasyona uğramasından dolayı oluşmaktadır [7,15,20,32].

Sonuç olarak çekme testleri sonucu elyafın matristen ayrılması ve ayrılan elyaf yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olması, yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile polipropilen matris arasında iyi bir yapışma olmadığının göstergesidir [7,15,20,32].

Şekil 5.2'de 1,0 cm uzunluğundaki karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılarak, %20 elyaf yükleme oranında hazırlanmış karmaların SEM mikrografları görülmektedir.

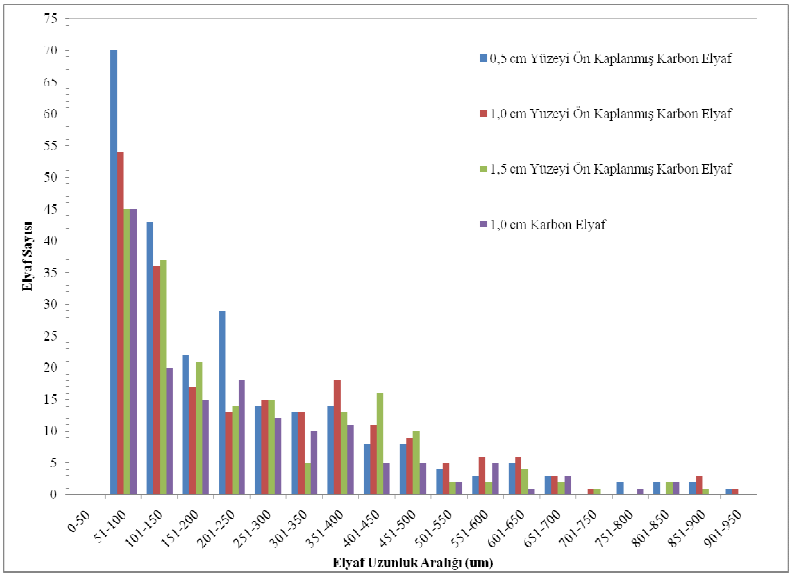


Şekil 5.2: PP – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmaların aynı elyaf uzunluğundaki ve aynı yükleme oranındaki SEM mikrografları (a) 1,0 cm-%20-yüzeyi ön kaplanmış (x500), (b) 1,0 cm-%20-yüzeyi ön kaplanmış (x1000), (c) 1,0 cm-%20-karbon elyaf (x500), (d) 1,0 cm-%20-karbon elyaf (x1000)

SEM mikrografları incelendiğinde, karbon elyaf ile hazırlanmış karmalarda elyaf ile polimer matris arasındaki boşluğun azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde, karbon elyaf ile PP arasındaki yapışmanın yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile PP arasındaki yapışmadan daha iyi olduğu söylenebilir.

5.1.3. Optik mikroskop ve görüntü analizi

Ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama yöntemleriyle üretilen örnekler için hesaplanan son elyaf boyu dağılımı grafiği Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3: Üretilen örneklerdeki elyaf boyu dağılımı

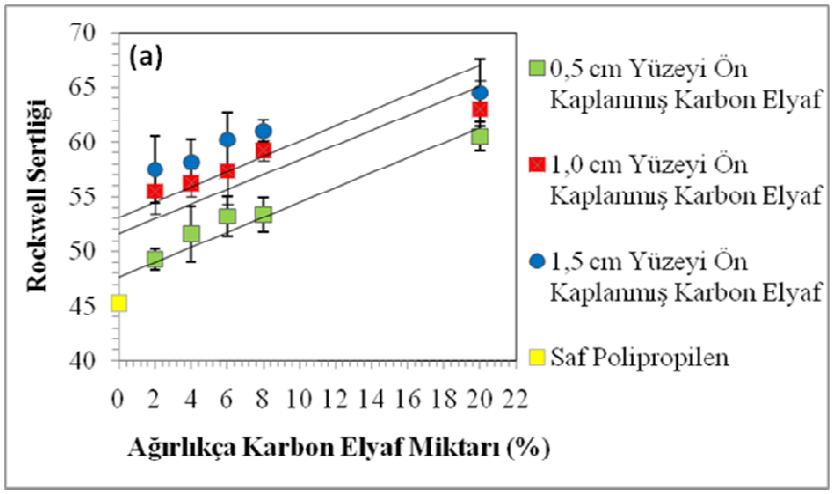
Üretilen örnekler görüntü analizi yöntemiyle incelendiğinde ortalama elyaf boyunun yaklaşık 230 ile 280 mikron aralığında değiştiği ve en fazla sayıda elyafın 51 ile 100 mikron aralığında olduğu görülmüştür.

Bu durum kısa elyaf takviyeli polimer karmalarda, üretim ya da işleme sırasında meydana gelen elyaf kırılmalarından kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama süreçlerinde elyafın en çok kırıldığı bölge vida ile eriyik haldeki polimerin temasta bulunduğu bölgedir ve ayrıca sistemin viskozitesi ve kayma gerilimi elyaf kırılmasında büyük rol oynar [33,34,35].

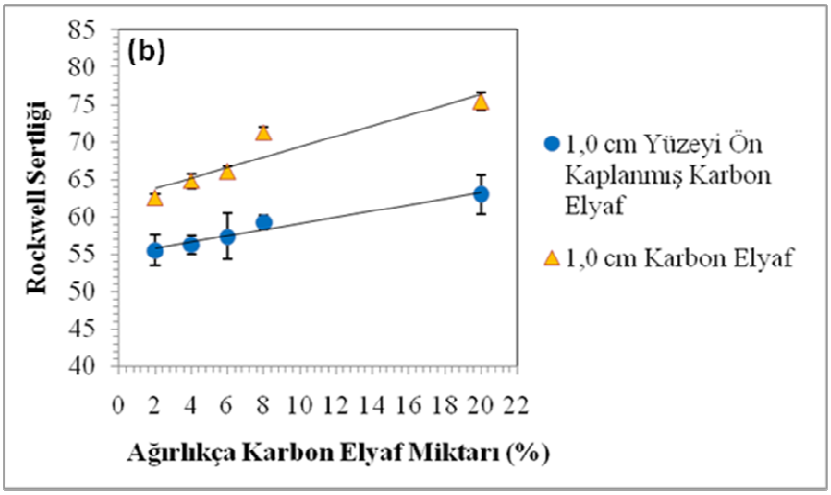
Bu sonuçlardan yola çıkarak çalışılan elyaf boyunun ve karbon elyaf veya yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanımının son elyaf boyu üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

5.1.4. Sertlik

Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan Polipropilen – karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği test sonuçları Şekil 5.4'de görülmektedir. Şekil 5.4 (a)'da farklı uzunluklarda yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri, Şekil 5.4 (b)'de ise aynı uzunlukta karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 5.4: PP - karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği değerleri (a) 0,5, 1,0 ve 1,5 cm uzunluğundaki yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri



Şekil 5.4: (Devam) (b) 1,0 cm uzunluğundaki karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri

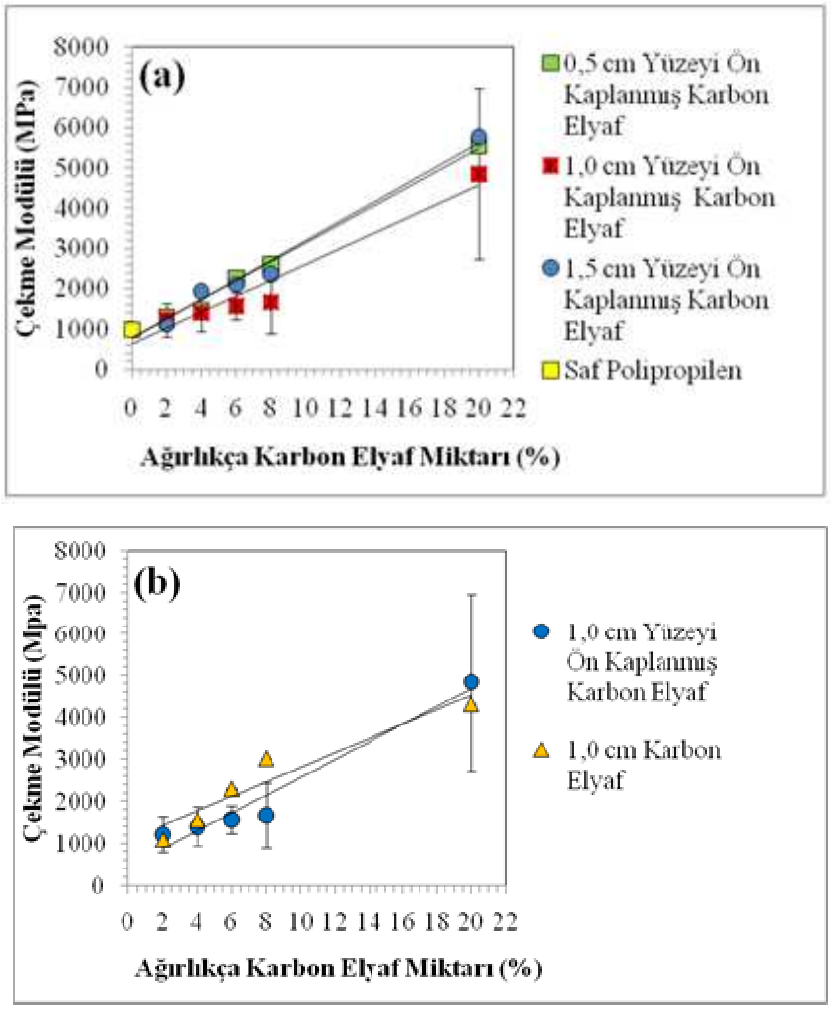
Sertlik, elyaf yüklemesinin ve karmaların modülünün bir fonksiyonudur. Dolayısıyla karmaların modülünün artmasını sağlayan elyaf takviyesi ayrıca karmaların sertliğini de arttırmalıdır (1).

Şekil 5.4-(a)'daki grafik incelendiğinde karmalardaki karbon elyaf miktarı arttıkça sertliğin de arttığı ancak çalışılan elyaf boyundaki değişikliğin sertlik üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Karmalardaki elyaf miktarı arttıkça sertlik değerlerinde de artış görülmesi şu şekilde açıklanabilir: Baskılayıcı bir kuvvet altında termoplastik matris fazı ve katı haldeki elyaf fazı birlikte sıkıştırılmış olur. Bu şekilde birbirlerine dokunurlar ve bir direnç oluştururlar. Dolayısıyla matris ile elyaf arasındaki yapışma zayıf da olsa ara yüzey, uygulanan yükü daha etkin bir şekilde aktarılabilir. Bu da karmaların sertliğinde artış şeklinde sonuçlanır [36].

Şekil 5.4-(b)'deki grafik incelendiğinde, karbon elyaf ya da yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılması durumunda da artan karbon elyaf miktarıyla karmaların sertlik değerlerinin arttığı ancak karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerlerinin, yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak karbon elyaf ile PP arasındaki yapışmanın yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile PP arasındaki yapışmadan daha iyi olduğu sonucu çıkarılabilir.

5.1.5. Çekme testi

Yapılan mekanik testler sonucunda çekme modülü, kopma uzaması ve kopma dayanımı değerleri incelenmiştir. Karmaların çekme modülü değerlerini gösteren grafikler Şekil 5.5'de verilmiştir.

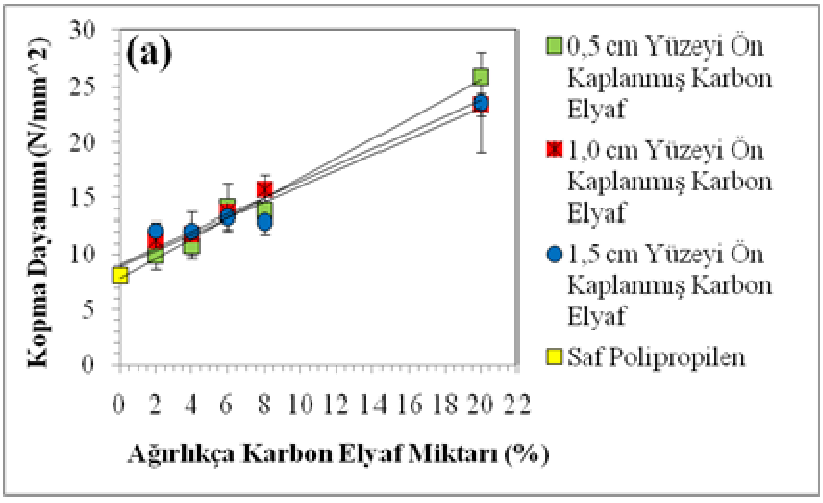


Şekil 5.5: PP - karbon elyaf karmalarının çekme modülü değerleri (a) Elyaf boyuna karşı çekme modülü değerlerindeki değişim, (b) Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanımına karşı çekme modülü değerlerindeki değişim

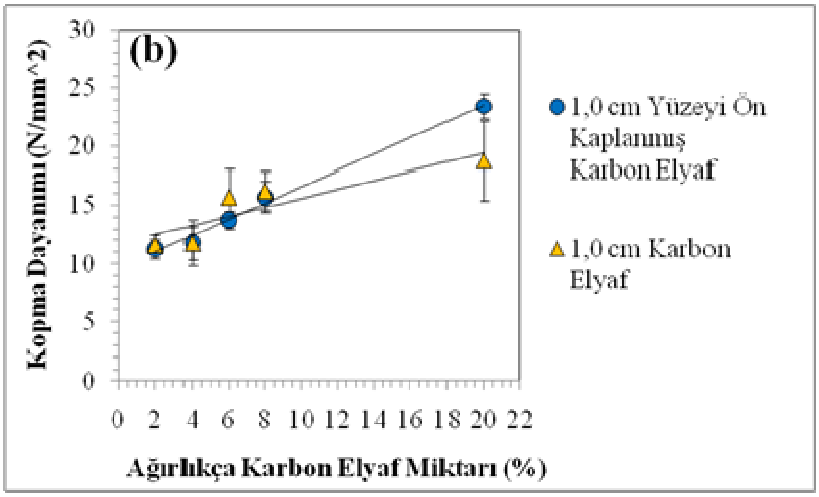
Şekil 5.5 (a) incelendiğinde üç farklı uzunlukta karbon elyaf kullanıldığı durumda da artan karbon elyaf oranı ile karmaların çekme modülü değerlerinin arttığı ancak çalışılan elyaf boyundaki değişmenin çekme modülü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.5 (b)'de ise yine artan karbon elyaf oranı ile çekme modülünün arttığı ama kullanılan karbon elyaf çeşidinin çekme modülünü çok fazla etkilemediği gözlenmiştir. Bunun sebebi malzemenin çekme modülünün, düşük uzama miktarlarında hesaplanan bir özellik olması ve bu sebeple elyaf-matris ara yüzeyi ve elyaf uzunluğu gibi özelliklere duyarlı olmamasıdır [37].

Karmaların kopma dayanımı değerlerini gösteren grafikler Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.6 incelendiğinde çalışılan elyaf boyundaki değişmenin ve elyaf yüzey ön kaplanmasının kopma dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, üç farklı uzunlukta karbon elyaf kullanıldığı durumda da artan karbon elyaf miktarıyla karmaların kopma dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Ancak bu artış karmaların çekme modülü değerlerinde görülen artış kadar fazla değildir. Örneğin 1,0 cm uzunluğunda ve ağırlıkça %2 karbon elyaf içeren bir karmanın çekme modülü saf polipropilenin çekme modülüne göre %24'lük bir artış gösterirken aynı karmanın kopma dayanımı %39 artış göstermiştir. Ancak 1,0 cm uzunluğunda ve ağırlıkça %20 oranında karbon elyaf içeren bir karmanın çekme modülü saf polipropilenin çekme modülüne göre %394'lük bir artış gösterirken aynı karmanın kopma dayanımı %188 artış göstermiştir. Buradan karmada artan karbon elyaf miktarıyla birlikte kopma dayanımında meydana gelen artışın çekme modülünde meydana gelen artıştan daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6: PP – karbon elyaf karmalarının kopma dayanımı değerleri (a) Elyaf boyuna karşı kopma dayanımı değerlerindeki değişim



Şekil 5.6: (Devam) (b) karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanımına karşı kopma dayanımı değerlerindeki değişim

Bir karmanın kopma dayanımı "Karışımlar kuralı" denkliği yardımıyla hesaplanabilir. Bu denklik şu şekildedir [37]:

$$\sigma_c = \lambda_\sigma \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \tag{5.2}$$

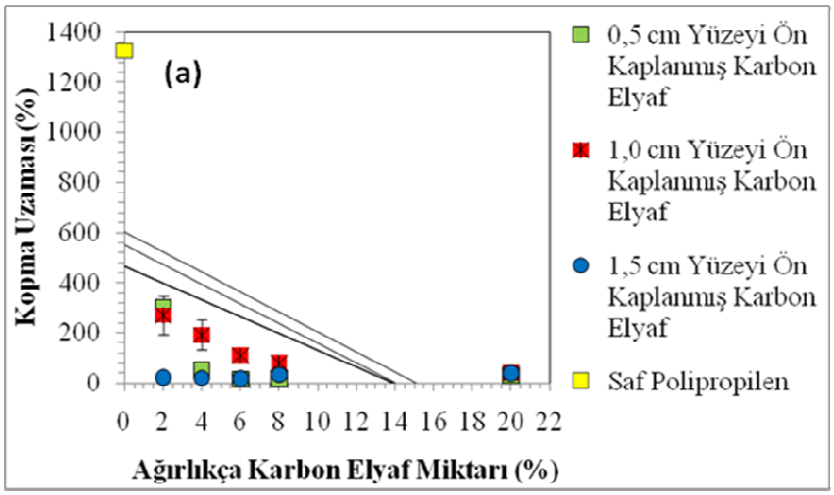
Burada σ_f ve σ_m sırasıyla elyafın ve matrisin kopma dayanımını, V_f karmadaki elyafın hacim oranını ifade ederken λ_σ ise elyaf etkinlik faktörünü ifade eder. Bu faktör elyaf uzunluğu ve elyaf yönlenmesinin karma üzerindeki etkisini gösteren bir faktördür. Üretilen karmalarda, elyafın enjeksiyonla kalıplama sırasında, akış yönünde yönlendiği göz önünde bulundurulduğu takdirde karmanın kopma dayanımı üzerindeki etkinin büyük ölçüde elyaf uzunluğundan kaynaklandığı söylenebilir. Ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle hazırlanan kısa karbon elyaf takviyeli karmalarda süreç boyunca elyaf kırılmaları meydana gelir. Bu elyaf kırılmalarının sebebi elyaf-elyaf etkileşimi, elyaf-polimer etkileşimi ve elyafın üretim yapılan cihazın yüzeyiyle etkileşimi olabilir. Dolayısıyla karmada artan elyaf miktarıyla birlikte elyaf-elyaf ve elyaf-cihaz etkileşimi artacağından son elyaf uzunluklarında azalma meydana gelir. Elyafın karma içinde etkili olabilmesi için minimum bir kritik uzunluğa sahip olması gerekmektedir. Bu uzunluğa "kritik elyaf boyu" adı verilir. Eğer elyaf uzunluğu bu değerden az olursa çekme sırasında elyaf yerinden çıkar ve etkili olmaz.

Dolayısıyla elyafın takviye etkinliği de azalmış olur. Bu durum artan elyaf miktarıyla kopma dayanımında beklenen artışın neden gerçekleşmediğini açıklar [37,38].

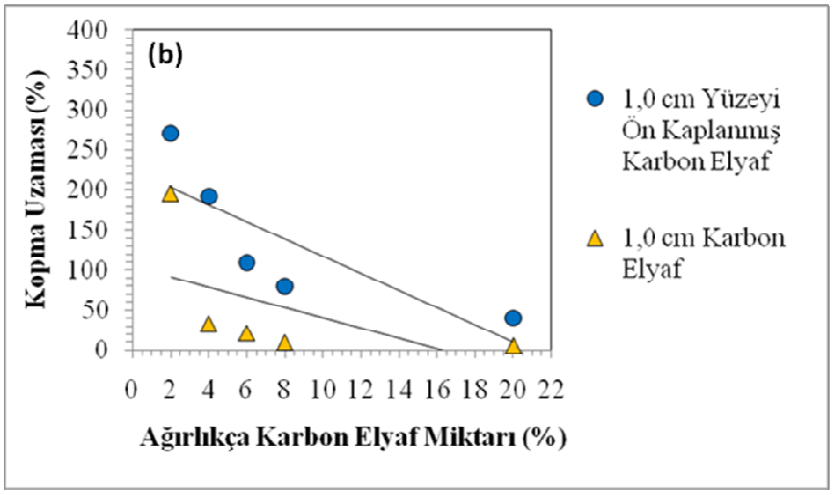
Ayrıca yapılan görüntü analizi sonucunda, çalışılan elyaf boyu aralığında karmadaki son elyaf boyunun değişmediği bu sebeple de çalışılan elyaf boyu aralığında kopma dayanımı değerleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak karmaların çekme modülleri üzerinde elyaf yükleme miktarı daha etkiliyken kopma dayanımları üzerinde ise elyaf boylarının daha etkili olduğu görülmektedir.

Karmaların kopma uzaması değerlerini gösteren grafikler Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7: PP – karbon elyaf karmalarının kopma uzaması değerleri (a) elyaf boyuna karşı kopma uzaması değerlerindeki değişim



Şekil 5.7: (Devam) (b) karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanımına karşı kopma uzaması değerlerindeki değişim

Elyaf yükleme miktarının, karmaların kopma uzaması üzerinde oldukça önemli bir etkisi vardır. Artan elyaf miktarıyla birlikte karmaların kopma uzaması değerlerinde meydana gelen azalma genellikle bilinen bir sonuçtur. Şekil 5.7-(a) incelendiğinde çalışılan elyaf boyundaki değişmenin kopma uzaması üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, üç farklı uzunlukta karbon elyaf kullanıldığı durumda da artan karbon elyaf miktarıyla karmaların kopma uzaması değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum literatürde kopma mekanizması olarak açıklanmaktadır. Bu mekanizmaya göre, elyaf sonlarındaki gerilimin yüksek olması sebebiyle karmalara çekme gerilimi uygulandığında ilk çatlaklar bu bölgelerde oluşmaya başlar. Artan gerilimle birlikte bu çatlaklar elyaf-matris ara yüzeyine ya da matrise aktarılırlar, bundan sonra çatlaklar büyüyerek kritik bir seviyeye ulaşır ve elyafın çevresini sararlar. Matrisin artan yükü taşıyamadığı durumdaki en zayıf noktada ise kopma gerçekleşir. Dolayısıyla kopmadaki uzama değeri elyaf sonu sayısıyla doğru orantılıdır. Bu sebeple karmadaki elyaf konsantrasyonu arttıkça daha fazla elyaf sonu oluşur, bu da daha fazla çatlak oluşmasına sebep olur ve kopma uzaması değerleri azalır [20,21,32,37,38].

Şekil 5.7-(b) incelendiğinde yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların kopma uzaması değerlerinin karbon elyaf ile hazırlanan karmaların kopma uzaması değerlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi karbon elyaf ile PP matris arasındaki yapışmanın daha iyi olması, bu sayede elyafta meydana gelen çatlağın matrise kolayca iletilmesi ve sonuç olarak kopma olayının daha çabuk gerçekleşmesi olarak gösterilebilir.

5.2. MAH-g-PP ile Uyumlaştırılmış PP – Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları

5.2.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Maleik anhidrit aşılanmış polipropilen, saf polipropilen ve karbon elyaf ile hazırlanan karmaların erime sıcaklığı (T_m,°C), erime entalpisi (ΔH_f, J/g) değerleri DSC analizleri sonucunda elde edilmiştir ve aşağıdaki denklik kullanılarak karmaların kristalizasyon dereceleri (X_c, %) hesaplanmıştır [39]:

$$X_c(\%) = \frac{\Delta H_f}{\omega \times \Delta H_{100}} \times 100 \qquad (5.3)$$

Burada ΔH_f karmaların deneysel olarak hesaplanan erime entalpisi değerlerini, ω matrisin karmadaki ağırlıkça oranını, ΔH_{100} ise matrisin %100 kristalin olduğu durumdaki erime entalpisi değerini ifade eder [39]. Polipropilen için literatürden bulunan ΔH_{100} değeri 209 J/g'dır [40]. Üretilen karmaların DSC sonuçları tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PP karmalarının DSC sonuçları

PP/MAH-g-PP – Karbon Elyaf Karmaları		**Yüzeyi Ön Kaplanmış Karbon Elyaf**								
		Ağırlıkça MAH-g-PP Miktarı %								
		0			**2,5**			**5,0**		
Elyaf uzunluğu (cm)		**1,0**			**1,0**			**1,0**		
		T_m	ΔH_f	X_c	T_m	ΔH_f	X_c	T_m	ΔH_f	X_c
Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı %	**0**	**167,0**	**61,6**	**29,47**	-	-	-	-	-	-
	2	167,0	77,1	37,7	166,3	66,5	33,3	168,2	68,6	35,2
	4	165,7	67,8	33,8	165,5	66,1	33,7	165,2	64,0	33,5
	6	166,6	62,8	31,9	166,7	63,2	33,0	165,7	60,0	32,0
	8	166,0	58,0	30,2	168,2	62,5	33,3	166,6	51,0	27,9
	20	166,5	56,2	33,6	167,0	42,2	25,9	167,0	50,0	31,4

Tablo 5.2 incelendiğinde çalışılan elyaf boyu aralığında, artan karbon elyaf yükleme miktarıyla karmaların T_m değerlerinde herhangi bir değişiklik olmadığı, ayrıca uyumlaştırıcı etkisi yaratması amacıyla matrise eklenen MAH-g-PP'nin de T_m değerleri üzerinde önemli bir etki yaratmadığı görülmüştür.

Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan MAH-g-PP/PP karmalarının Denklem 5.3 ile hesaplanan kristalinite değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde MAH-g-PP/PP karışımına karbon elyaf eklenmesiyle kristalizasyon derecesinin arttığı ancak eklenen karbon elyaf miktarının artmasıyla kristalizasyon derecelerinde azalma meydana geldiği ve matrise uyumlaştırıcı eklemenin kristalizasyon dereceleri üzerinde önemli bir etki yaratmadığı görülmüştür.

Elyaf takviyeli karmalarda, elyafın kristallenme derecesine olan etkisi bölüm 5.1.1'de anlatılmıştı. Bu bilgilerden yola çıkarak kristalinite değerlerindeki azalmanın, artan elyaf yükleme miktarıyla elyafın matris içinde sınırlayıcı alanlar gibi davranmasıyla ve böylece matrisin kristallenmesini engellemesiyle açıklanabilir [29,30,31].

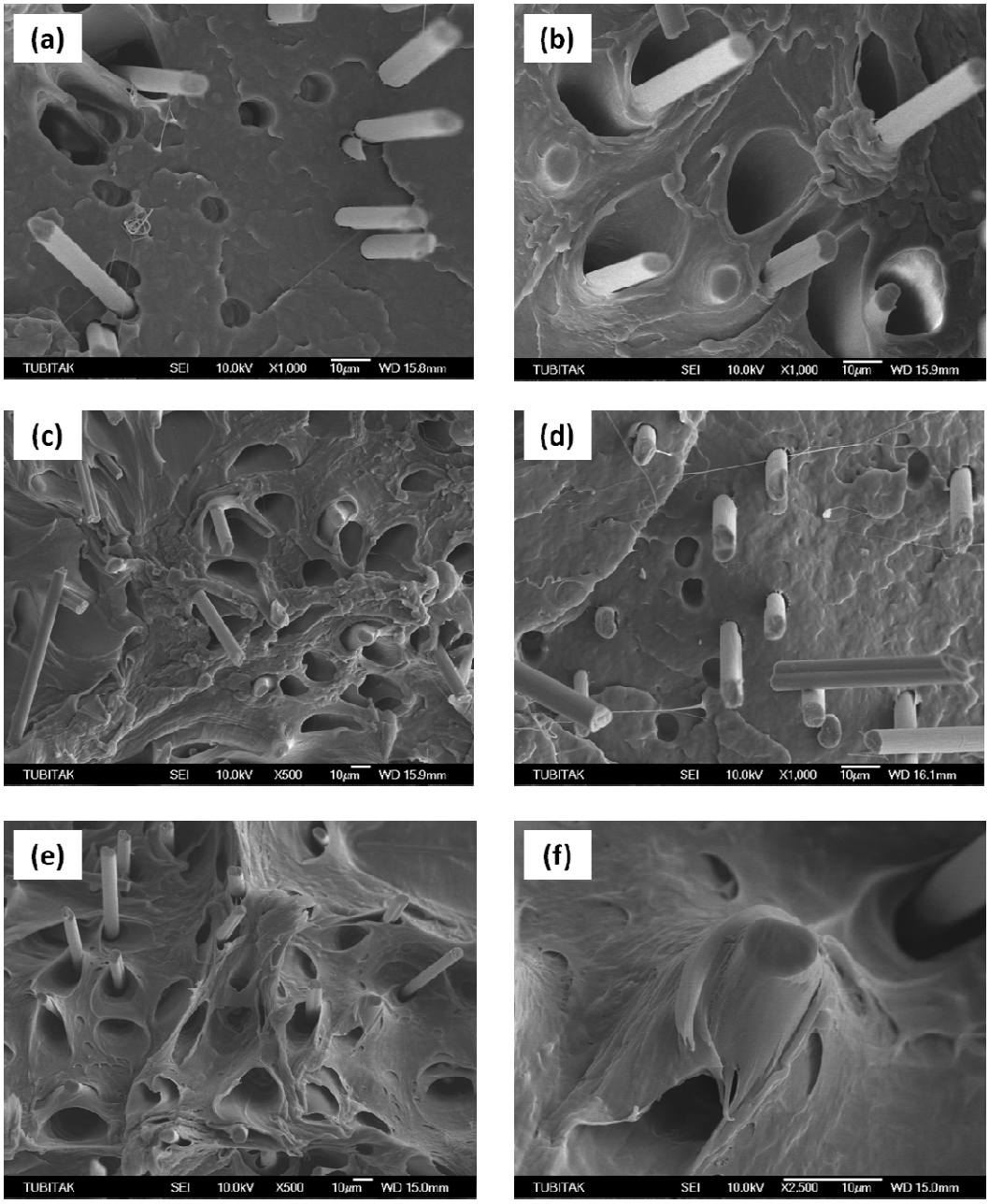
5.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

MAH-g-PP/PP ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların çekme testi sonucu oluşan kırılma yüzeylerinin SEM mikrografları Şekil 5.8'de verilmiştir.

Şekil 5.8 - (a,b)'de saf PP ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanmış karmaların SEM mikrografları bulunmaktadır. Bu mikrograflarda elyafın matristen ayrıldığı ve matristen ayrılan elyaf yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olduğu açıkça görülmektedir.

Şekil 5.8 - (c,d)'de ağırlıkça %2,5 MAH-g-PP içeren karmaların SEM mikrografları bulunmaktadır. Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan bu karmalarda elyaf ile polimer matris arasındaki boşluğun azaldığı görülmektedir.

Şekil 5.8 - (e,f)'de ağırlıkça %5 MAH-g-PP içeren karmaların SEM mikrografları bulunmaktadır. Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan bu karmalarda elyaf ile polimer matris arasındaki boşluğun azaldığı ve bununla birlikte elyaf yüzeylerinin polimerle kaplandığı görülmektedir.

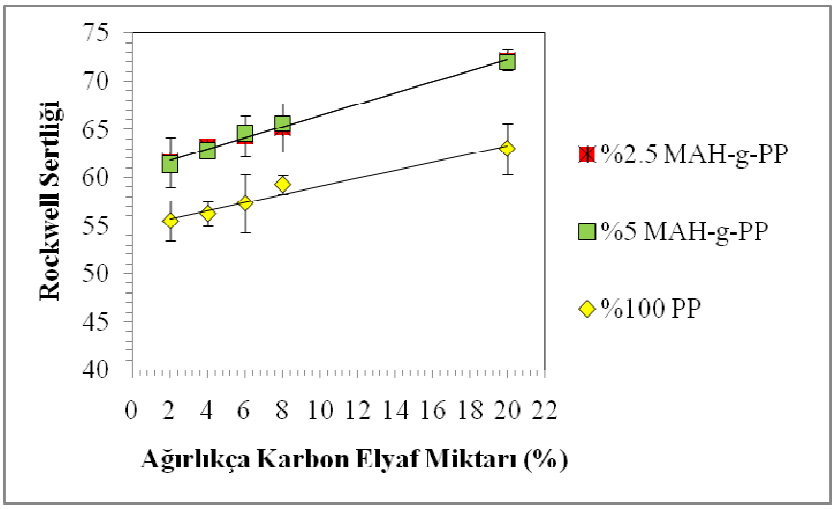


Şekil 5.8: MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli karmaların farklı MAH-g-PP ekleme oranlarında çekilmiş SEM mikrografları (a) 1,0 cm - %8 (x1000), (b) 1,0 cm - %8 (x1000), (c) 1,0 cm - %8 - %2,5 MAH-g-PP (x500), (d) 1,0 cm - %8 - %2,5 MAH-g-PP (x1000), (e) 1,0 cm - %8 - %5,0 MAH-g-PP (x500), (f) 1,0 cm - %8 - %5,0 MAH-g-PP (x2500)

Dolayısıyla SEM mikrografları incelendiğinde PP matrise uyumlaştırıcı olarak MAH-g-PP eklenmesinin matris ile elyaf arasındaki yapışmayı iyileştirdiği ancak eklenen uyumlaştırıcı miktarındaki artışın, matris ile elyaf arasındaki yapışmaya olan katkısının SEM mikrograflarından gözlenemediği sonucuna varılmıştır.

5.2.3. Sertlik

MAH-g-PP/PP ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği testi sonuçları Şekil 5.9'da verilmiştir.



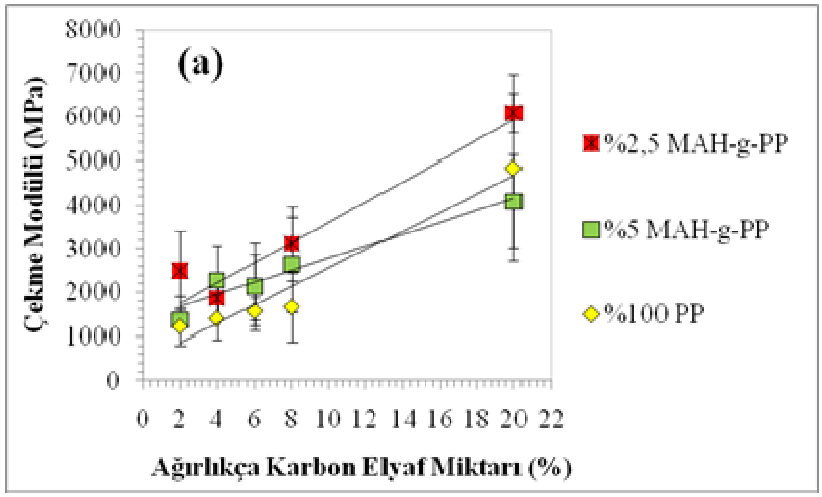
Şekil 5.9: MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği değerleri

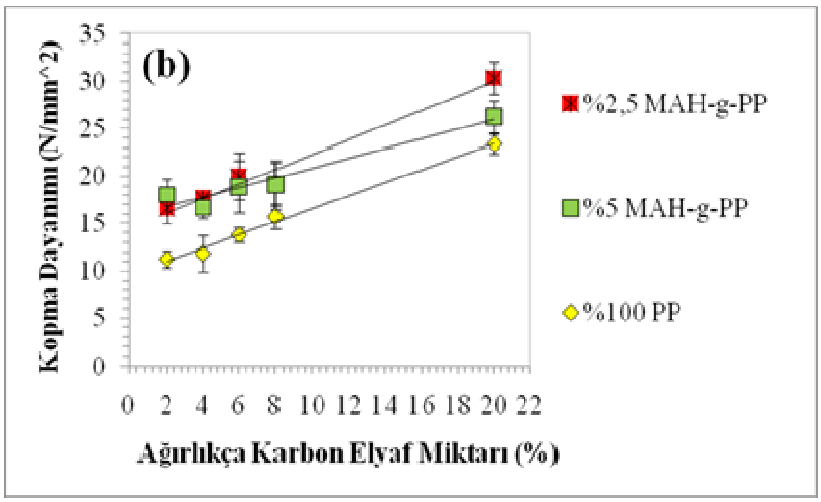
Şekil 5.9'da verilen grafik incelendiğinde, karmalardaki karbon elyaf miktarı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmüştür. Karmalarda elyaf yükleme miktarı arttıkça sertlik değerlerinde görülen bu artışın sebebi bölüm 5.1.4'de anlatılmıştır.

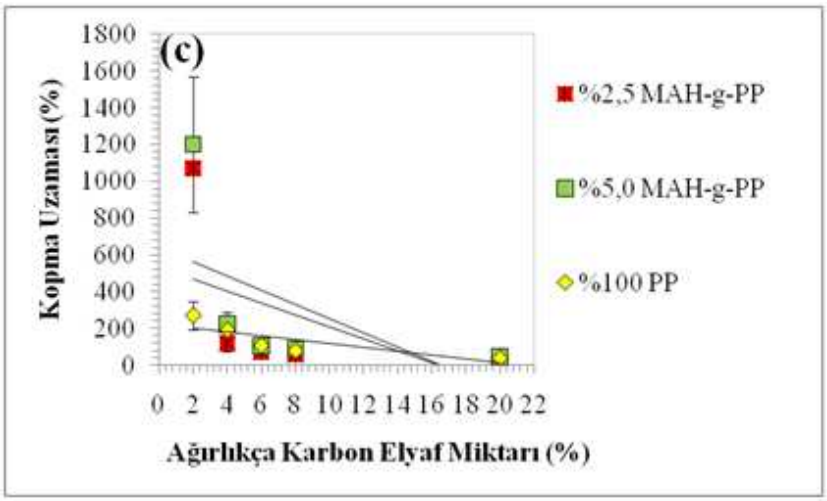
Bununla birlikte matrise uyumlaştırıcı eklenmesiyle sertlik değerlerinde artış meydana geldiği ancak eklenen uyumlaştırıcı miktarının artmasıyla sertlik değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülen bir diğer sonuçtur.

5.2.4. Çekme testi

MAH-g-PP/PP – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmalara uygulanan mekanik testler sonucunda çekme modülü, kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri incelenmiştir. Karmaların çekme testi sonuçlarını gösteren grafikler Şekil 5.10'da verilmiştir.







Şekil 5.10: Karmaların mekanik test sonuçları (a) çekme modülü, (b) kopma dayanımı, (c) kopma uzaması

Şekil 5.10 - (a) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla karmaların çekme modülü değerlerinin arttığı ancak matrise uyumlaştırıcı olarak MAH-g-PP eklemenin çekme modülü üzerinde önemli bir etki yaratmadığı görülmektedir. Bunun sebebi malzemenin çekme modülünün, düşük uzama miktarlarında hesaplanan bir özellik olması ve bu sebeple elyaf-matris ara yüzeyine ve yapışmasına bağlı olmamasıdır [37].

Şekil 5.10 - (b) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla ve matrise uyumlaştırıcı olarak MAH-g-PP eklenmesiyle karmaların kopma dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Karmaların kopma dayanımlarındaki bu artışın sebebi bölüm 5.1.5'de anlatılmıştır.

Şekil 5.10 - (c) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla karmaların kopma uzaması değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak matrise uyumlaştırıcı olarak MAH-g-PP eklemenin %2'lik karbon elyaf yükleme oranında, kopma uzamasını arttırdığı bununla birlikte karbon elyaf oranı arttıkça kopma uzaması üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmektedir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi elyaf yükleme miktarının, karmaların kopma uzaması üzerinde oldukça önemli bir etkisi vardır. Bu etkinin sebebi bölüm 5.1.5'de anlatılmıştır.

5.3. PA6 - Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları

5.3.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

PA6 – karbon elyaf karmalarının camsı geçiş sıcaklığı (T_g,°C), erime sıcaklığı (T_m,°C), erime entalpisi (ΔH_f, J/g) değerleri DSC analizleri sonucunda elde edilmiştir. Buna göre karmaların kristalizasyon derecelerindeki bağıl değişim değerleri ($\Delta\chi$, %) denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu formülde $\Delta H_{f,i}$ üretilen karmaların erime entalpilerini ve ΔH_0 saf PA6'nın erime entalpisini ifade etmektedir. PA6 – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmalarının DSC sonuçları tablo 5.3'de görülmektedir.

Tablo 5.3: Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PA6 karmalarının DSC sonuçları

Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı %	**Yüzeyi Ön Kaplanmış Karbon Elyaf**											
	Elyaf Uzunluğu (cm)											
	0,6				**1,2**				**1,9**			
	T_g	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**
0	**59,0**	**229,4**	**71,9**	-	**59,0**	**229,4**	**71,9**	-	**59,0**	**229,4**	**71,9**	-
2	-	-	-	-	56,4	222,5	62,6	-12,9	-	-	-	-
4	-	-	-	-	59,2	227,4	59,4	-17,5	-	-	-	-
6	62,9	227,3	56,3	-21,7	62,3	228,5	59,1	-17,8	60,7	227,6	61,4	-14,6
8	-	-	-	-	53,9	227,9	55,7	-22,5	-	-	-	-
20	-	-	-	-	58,7	227,2	55,3	-23,1	-	-	-	-

PA6 – karbon elyaf karmalarının DSC sonuçları tablo 5.4'de görülmektedir.

Tablo 5.4: Karbon elyaf takviyeli PA6 karmalarının DSC sonuçları

Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı %	**Karbon Elyaf**											
	Elyaf Uzunluğu (cm)											
	0,3				**0,6**				**1,2**			
	T_g	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**
0	**59,0**	**229,4**	**71,9**	-	**59,0**	**229,4**	**71,9**	-	**59,0**	**229,4**	**71,9**	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	60,0	226,6	72,2	0,3
4	-	-	-	-	-	-	-	-	58,4	228,7	52,0	-27,7
6	57,6	227,8	66,4	-7,7	57,7	227,2	67,8	-5,8	56,5	227,8	55,2	-23,3
8	-	-	-	-	-	-	-	-	56,8	227,8	54,7	-23,9
20	-	-	-	-	-	-	-	-	55,8	224,0	54,3	-24,5

Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan PA6 karmalarının Tablo 5.3 ve 5.4'de verilen DSC sonuçları incelendiğinde, çalışılan elyaf boyu aralığında, artan karbon elyaf yükleme miktarıyla karmaların T_g ve T_m değerlerinde herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan PA6 karmalarının Denklem 5.1 ile hesaplanan kristalinite değerleri Tablo 5.3 ve 5.4'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde düşük elyaf yüklemelerinde kristalizasyon derecesinin önce arttığı daha sonra karmalardaki elyaf miktarı arttıkça kristalizasyon derecesinin azaldığı görülmüştür. Örneğin Tablo 5.4'e bakıldığında, 1,2 cm uzunluğunda yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmalarda %2 elyaf yüklemesinde, saf PA6'ya göre karmanın kristalizasyon derecesi artmış ancak karmadaki karbon elyaf miktarı arttıkça kristalizasyon derecesi azalmıştır.

Elyaf takviyeli karmalarda, elyafın kristallenme derecesine olan etkisi bölüm 5.1.1'de anlatılmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak kristalinite değerlerindeki artışın elyafın heterojen çekirdek gibi davranmasıyla, azalmanın ise artan elyaf yükleme miktarıyla elyafın matris içinde sınırlayıcı alanlar gibi davranmasıyla matrisin kristallenmesini engellemesi şeklinde açıklanabilir [29,30,31].

5.3.2. Taramalı elektron mikroskopu (SEM)

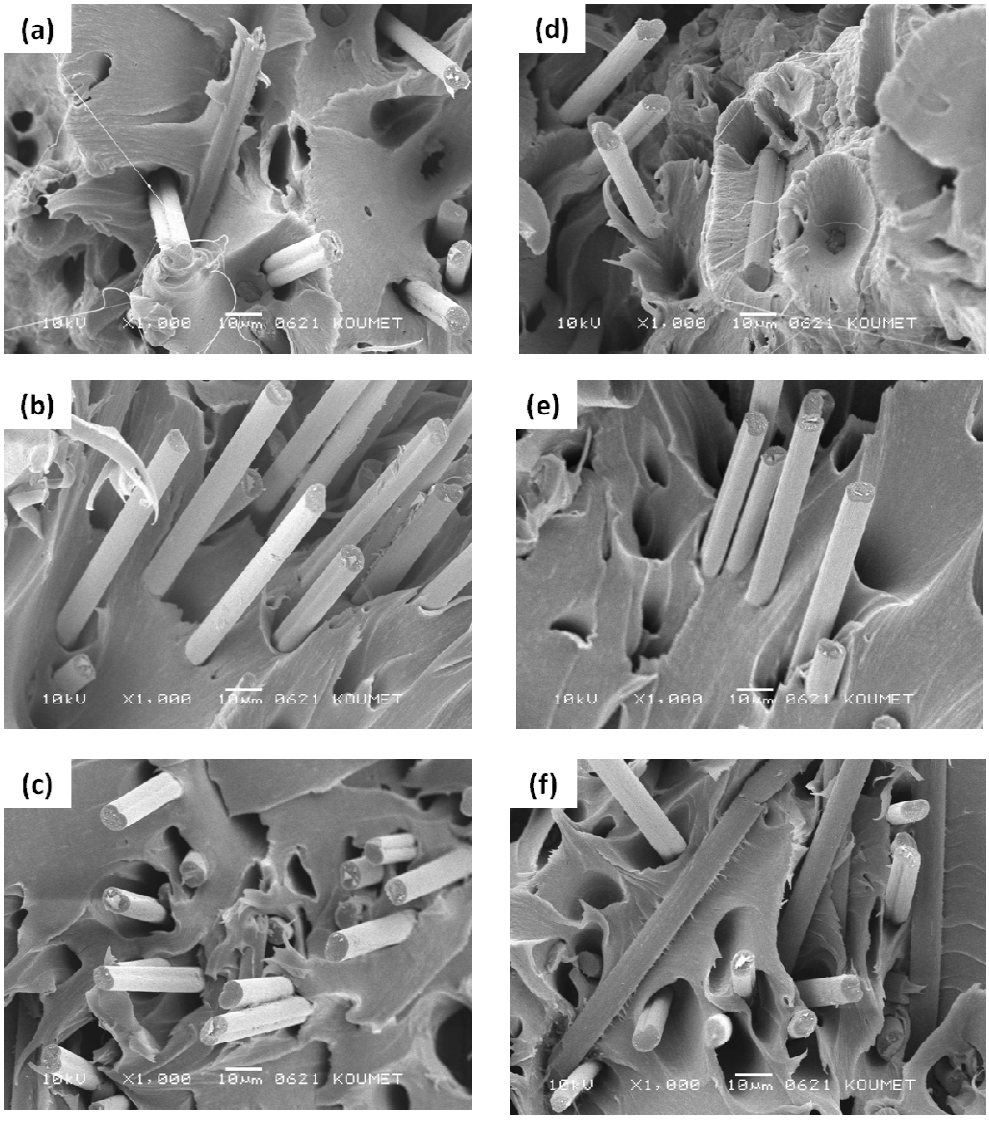
PA6 – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların SEM mikrografları Şekil 5.11'de verilmiştir.

Şekil 5.11 (a-b-c)'de yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan PA6 matrisli karmaların çekme testi sonucu oluşan kopma yüzeylerinin SEM fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflar incelendiğinde PA6 matrisin belli bölgelerinde, uygulanan yük sonucu kopmadan önce plastik deformasyon oluştuğu görülmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak elyaf matris ayrılmasının, karmadaki liflerin büyük çoğunluğunun boyunun kritik elyaf boyunun altında olması sebebiyle meydana geldiği söylenebilir [7,15,20,32].

Bunun yanı sıra fotoğraflarda, matristen ayrılan liflerin etrafında siyah halkalar oluştuğu göze çarpmaktadır. Bu siyah halkalar elyaf matristen ayrılırken elyafın çevresini saran matrisin lokal deformasyona uğramasından dolayı oluşmaktadır [7,15,20,32].

Şekil 5.11 (d-e-f)'de karbon elyaf ile hazırlanan PA6 matrisli karmaların çekme testi sonucu oluşan kopma yüzeylerinin SEM mikrografları verilmiştir. Bu fotoğraflar incelendiğinde karbon elyaf ile hazırlanmış karmalarda elyaf ile polimer matris arasındaki boşluğun azaldığı gözlenmiştir. Özellikle Şekil 5.11 (f) incelendiğinde karbon elyaf ile PA6 matris arasındaki yapışma açıkça görülmektedir.

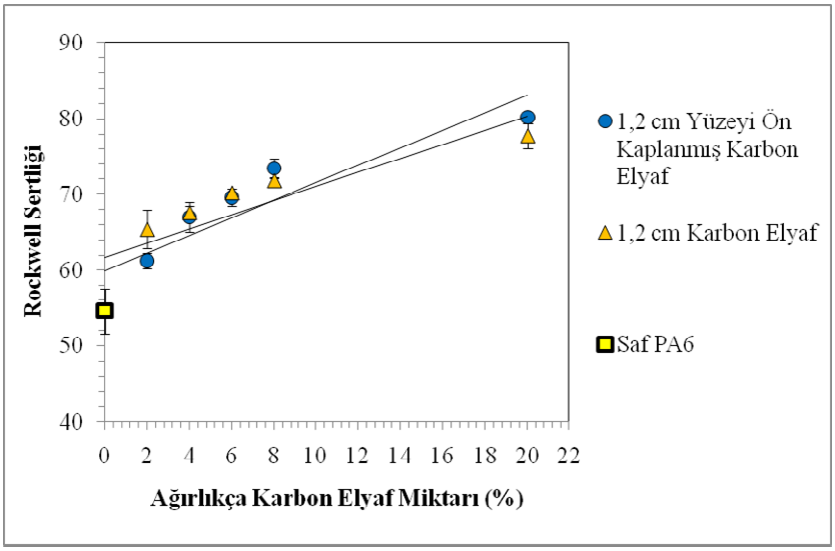
Ayrıca karbon elyaf kullanılarak hazırlanan karmalarda elyaf uçlarında çatlaklar meydana geldiği görülmektedir. Bu da elyafın matristen kopmak yerine kırıldığının bir göstergesidir [7,15,20,32].



Şekil 5.11: PA6 – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların 1,2 cm elyaf uzunluğundaki ve farklı elyaf yükleme oranlarındaki SEM mikrografları (a)%4-yüzeyi ön kaplanmış (x1000), (b)%6-yüzeyi ön kaplanmış (x1000), (c)%8-yüzeyi ön kaplanmış (x1000), (d)%4-karbon elyaf (x1000), (e)%6-karbon elyaf (x1000), (f)%8-karbon elyaf (x1000)

5.3.3. Sertlik

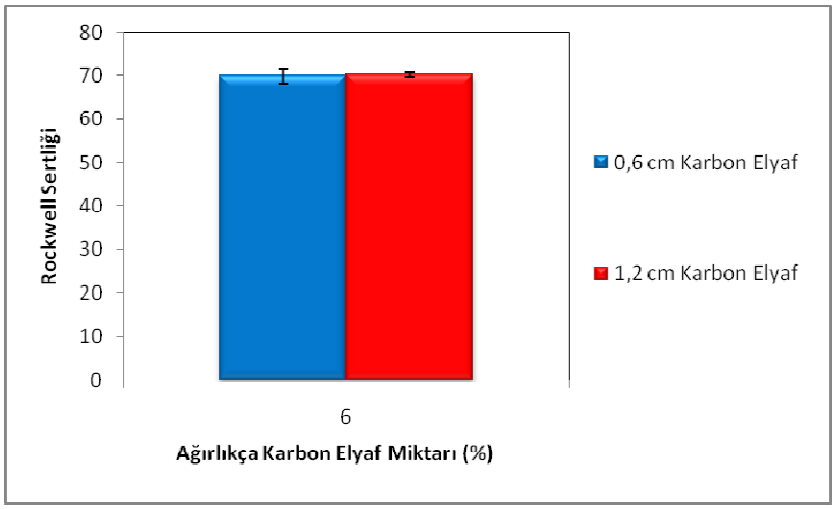
Aynı uzunlukta, karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan PA6 – karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği test sonuçları Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12: PA6 – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri

Şekil 5.12'deki grafik incelendiğinde karmalardaki karbon elyaf miktarı arttıkça sertliğin de arttığı ancak elyaf yüzey ön kaplamanın sertlik üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Karmalarda elyaf yükleme miktarı arttıkça sertlik değerlerinde görülen bu artışın sebebi bölüm 5.1.4'de anlatılmıştır.

İki farklı uzunlukta, karbon elyaf ile hazırlanan PA6-karbon elyaf karmaların Rockwell sertliği test sonuçları Şekil 5.13'de verilmiştir.

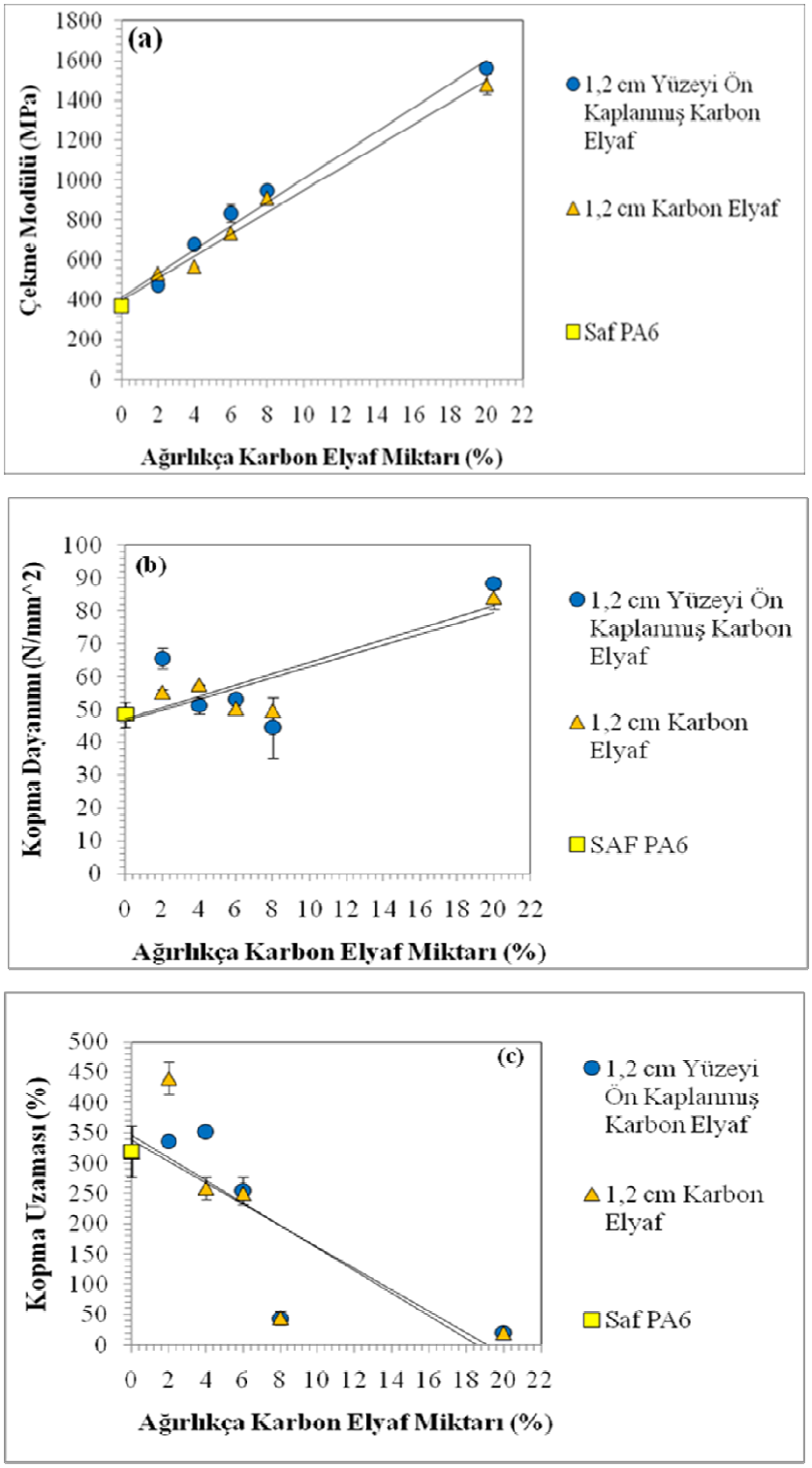


Şekil 5.13: PA6 – farklı uzunluklardaki karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri

Şekil 5.13'deki grafik incelendiğinde, farklı uzunluklarda karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir. Buradan PA6 - karbon elyaf ile hazırlanan karmalarda, çalışılan elyaf boyunun sertlik değerlerini etkilemediği sonucu çıkarılabilir.

5.3.4. Çekme testi

Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile takviye edilmiş PA6 karmalara uygulanan mekanik testler sonucunda çekme modülü, kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri incelenmiştir. Karmaların çekme testi sonuçlarını gösteren grafikler Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14: PA6 – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları a) çekme modülü, b) kopma dayanımı, c) kopma uzaması

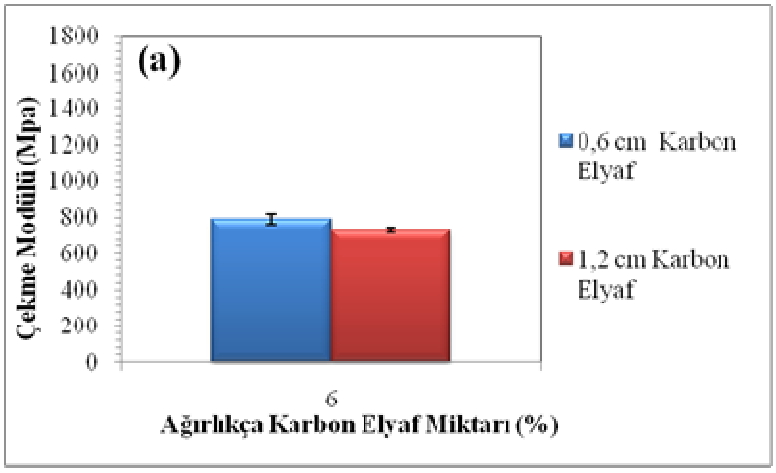
Şekil 5.14 - (a) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla karmaların çekme modülü değerlerinin arttığı ancak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılmasının çekme modülü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi malzemenin çekme modülünün, düşük uzama miktarlarında hesaplanan bir özellik olması ve bu sebeple elyaf-matris ara yüzeyine ve yapışmasına bağlı olmamasıdır [37].

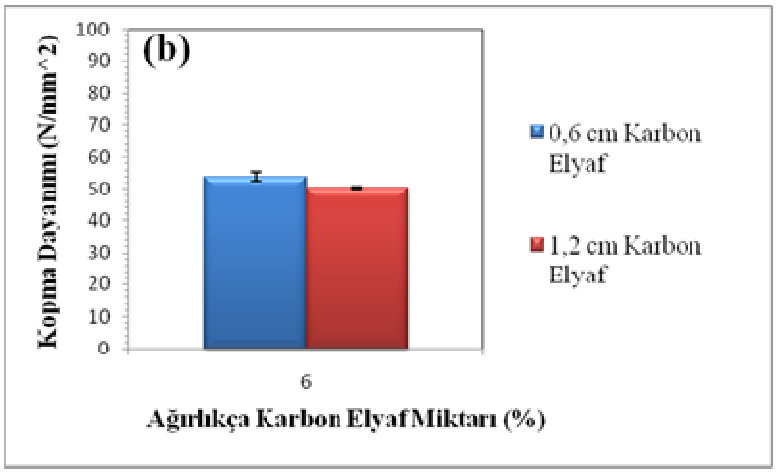
Şekil 5.14 - (b) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla karmaların kopma dayanımı değerlerinin arttığı ancak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılmasının karmaların kopma dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Karmaların kopma dayanımlarındaki bu artışın sebebi bölüm 5.1.5'de anlatılmıştır.

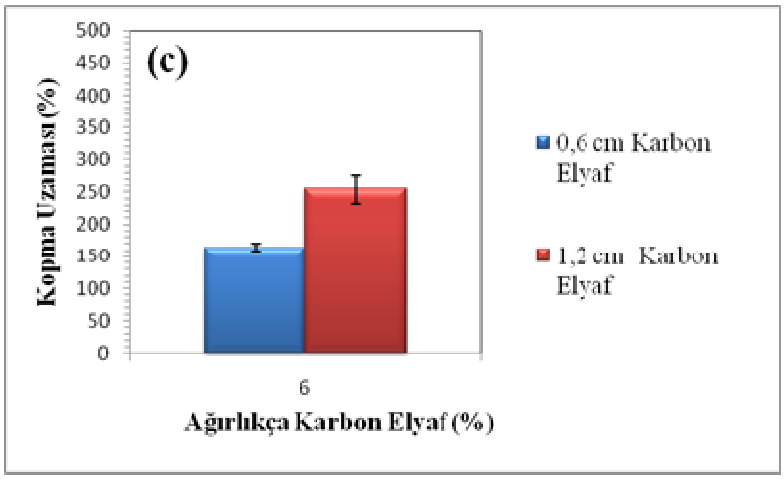
Ancak karmaların kopma dayanımlarında meydana gelen bu artış çekme modülü değerlerinde görülen artış kadar fazla değildir. Örneğin 1,2 cm uzunluğunda ve ağırlıkça %20 oranında yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan bir karmanın çekme modülü saf PA6'nın çekme modülüne göre %321 artış gösterirken aynı karmanın kopma dayanımı %82'lik bir artış göstermiştir. Buradan karmalarda artan karbon elyaf miktarıyla kopma dayanımında meydana gelen artışın çekme modülünde meydana gelen artış kadar fazla olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Şekil 5.14 - (c) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla karmaların kopma uzaması değerlerinin azaldığı ancak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılmasının karmaların kopma uzaması değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Elyaf miktarındaki artışla karmaların kopma uzaması değerlerinde meydana gelen azalma genellikle bilinen bir sonuçtur. Kopma uzamasında meydana gelen bu azalmanın sebebi bölüm 5.1.5'de anlatılmıştır.

PA6 ve farklı uzunluklarda karbon elyaf ile hazırlanan karmaların çekme modülü, kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri Şekil 5.15'de verilmiştir. Şekil 5.15'de verilen grafikler incelendiğinde çalışılan elyaf boyu aralığının karmaların bu özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.







Şekil 5.15: PA6 ve farklı uzunluklardaki karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları: (a) çekme modülü, (b) kopma dayanımı, (c) kopma uzaması

5.4. PPS - Karbon Elyaf Karmalarının Karakterizasyon Sonuçları

5.4.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

PPS – karbon elyaf karmalarının camsı geçiş sıcaklığı (T_g,°C), erime sıcaklığı (T_m,°C), erime entalpisi (ΔH_f, J/g) değerleri DSC analizleri sonucunda elde edilmiştir ve aşağıdaki denklik kullanılarak karmaların kristalizasyon derecelerindeki bağıl değişim değerleri ($\Delta\chi$, %) denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu formülde $\Delta H_{f,i}$ üretilen karmaların erime entalpilerini ve ΔH_0 saf PPS'nin erime entalpisini ifade etmektedir. PPS – yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf karmalarının DSC sonuçları tablo 5.5'de görülmektedir.

Tablo 5.5: Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PPS karmalarının DSC sonuçları

Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı %	**Yüzeyi Ön Kaplanmış Karbon Elyaf**											
	Elyaf Uzunluğu (cm)											
	0,6				**1,2**				**1,9**			
	T_g	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**
0	**93,6**	**279,7**	**23,5**	-	**93,6**	**279,7**	**23,5**	-	**93,6**	**279,7**	**23,5**	-
2	-	-	-	-	92,3	281,1	24,5	-14,4	-	-	-	-
4	-	-	-	-	91,4	282,5	16,9	-40,7	-	-	-	-
6	95,2	280,9	15,13	-47,2	94,7	284,0	16,5	-42,5	92,6	280,9	12,2	-57,2
8	-	-	-	-	92,1	281,9	15,6	-45,6	-	-	-	-

PPS – karbon elyaf karmalarının DSC sonuçları tablo 5.6'da görülmektedir.

Tablo 5.6: Karbon elyaf takviyeli PPS karmalarının DSC sonuçları

Ağırlıkça Karbon Elyaf Miktarı %	**Karbon Elyaf**											
	Elyaf Uzunluğu (cm)											
	0,3				**0,6**				**1,2**			
	T_g	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**	**T_g**	**T_m**	**ΔH_f**	**Δ_χ**
0	**93,6**	**279,7**	**23,5**	-	**93,6**	**279,7**	**23,5**	-	**93,6**	**279,7**	**23,5**	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	90,7	282,8	16,6	-41,9
4	-	-	-	-	-	-	-	-	91,4	283,8	13,5	-52,8
6	90,5	283,2	19,7	-31,2	92,7	283,4	14,2	-50,3	93,1	282,2	13,5	-52,9
8	-	-	-	-	-	-	-	-	90,9	284,4	13,3	-53,5

Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan PPS karmalarının Tablo 5.5 ve 5.6'da verilen DSC sonuçları incelendiğinde, çalışılan elyaf boylarında, artan karbon elyaf miktarıyla T_g ve T_m değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan PPS karmalarının Denklem 5.1 ile hesaplanan kristalinite değerleri Tablo 5.5 ve 5.6'da verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde karmadaki elyaf miktarı arttıkça kristalizasyon derecesinin azaldığı görülmüştür.

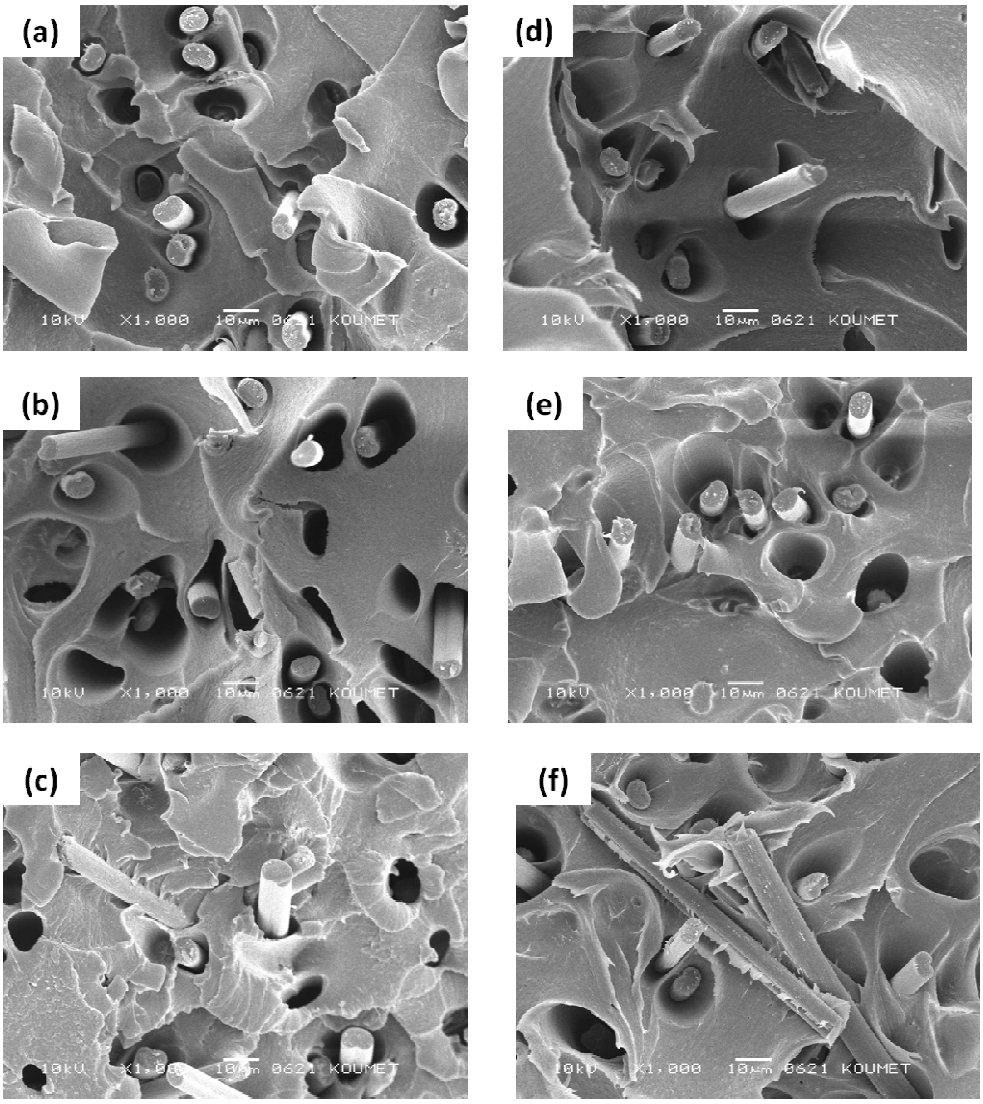
Elyaf takviyeli karmalarda, elyafın kristallenme derecesine olan etkisi bölüm 5.1.1'de anlatılmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak kristalinite değerlerindeki azalmanın, artan elyaf yükleme miktarıyla elyafın matris içinde sınırlayıcı alanlar gibi davranmasıyla ve böylece matrisin kristallenmesini engellemesi şeklinde açıklanabilir [29,30,31].

5.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların SEM mikrografları Şekil 5.16'da verilmiştir.

Bu fotoğraflar incelendiğinde PPS matrisin belli bölgelerinde, uygulanan yük sonucu kopmadan önce liflerin matristen ayrıldığı ve bu sırada plastik deformasyon oluştuğu görülmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak elyaf matris ayrılmasının, karmadaki liflerin büyük çoğunluğunun boyunun kritik elyaf boyunun altında olması sebebiyle meydana geldiği tahmini yapılabilir [7,15,20,32].

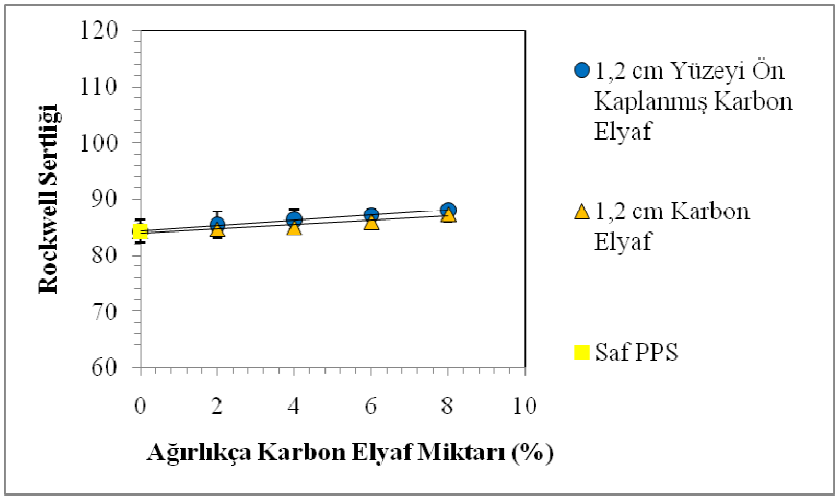
Bunun yanı sıra fotoğraflarda matristen ayrılan liflerin etrafında siyah halkalar oluştuğu göze çarpmaktadır. Bu siyah halkalar elyaf matristen ayrılırken elyaf çevresini saran matrisin lokal deformasyona uğramasından dolayı oluşmaktadır ve karbon elyaf ya da yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanıldığı durumda da elyaf ile matris arasındaki bu boşlukta bir farklılık gözlenmemiştir. Buradan elyaf türünün ara yüzey etkileşimi üzerine önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır [7,15,20,32].



Şekil 5.16: PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların 1,2 cm elyaf uzunluğundaki ve farklı elyaf yükleme oranlarındaki SEM mikrografları (a) %4 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), (b) %6 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), (c) %8 - yüzeyi ön kaplanmış (x1000), (d) %4 – karbon elyaf (x1000), (e) %6 – karbon elyaf (x1000), (f) %8 – karbon elyaf (x1000)

5.4.3. Sertlik

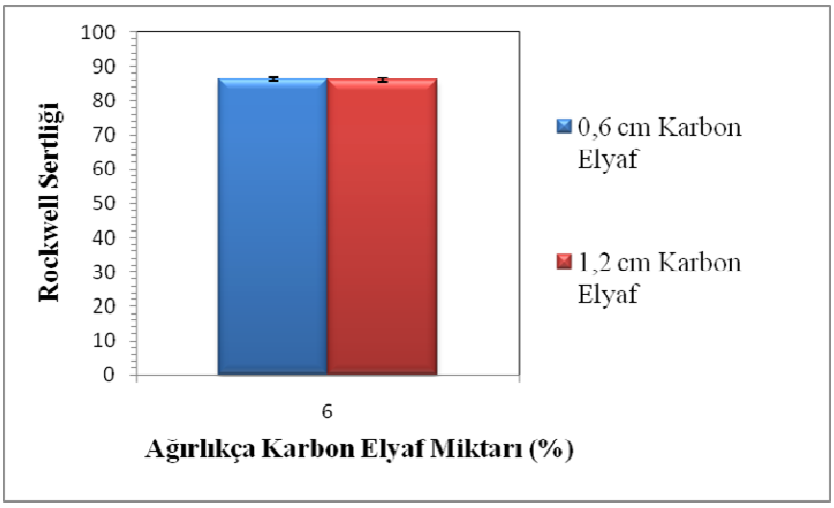
Aynı uzunlukta, karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan PPS – karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği test sonuçları Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.17: PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri

Şekil 5.17'deki grafik incelendiğinde karmalardaki karbon elyaf miktarı arttıkça sertliğin arttığı ancak elyaf yüzey ön kaplamanın sertlik üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Karmalarda elyaf yükleme miktarı arttıkça sertlik değerlerinde görülen bu artışın sebebi bölüm 5.1.4'de anlatılmıştır.

İki farklı uzunluktaki karbon elyaf ile hazırlanan PPS - karbon elyaf karmalarının Rockwell sertliği test sonuçları Şekil 5.18'de verilmiştir.



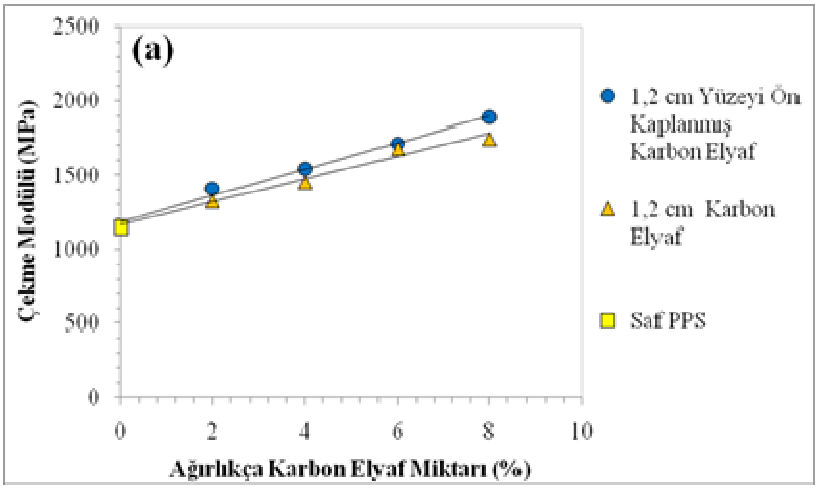
Şekil 5.18: PPS ve farklı uzunluklardaki karbon elyaf ile hazırlanan karmaların Rockwell sertliği değerleri

Şekil 5.18'deki grafik incelendiğinde, farklı uzunluklarda karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir. Buradan çalışılan elyaf boyunun sertlik değerlerini etkilemediği sonucu çıkarılabilir.

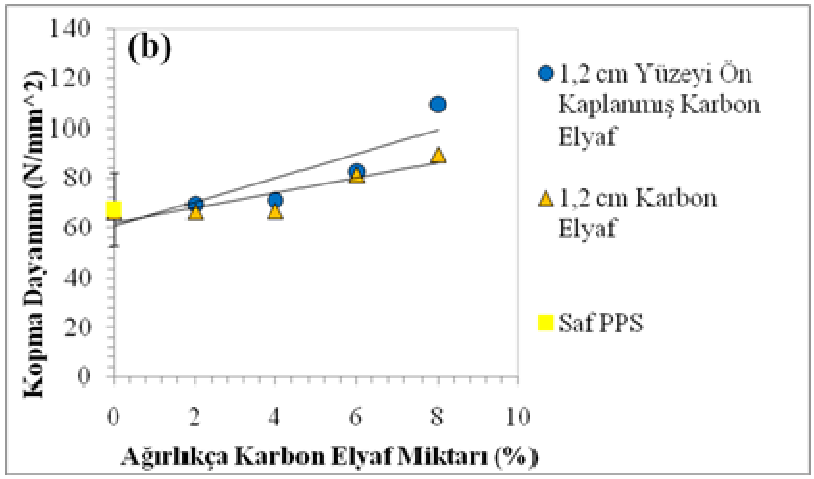
5.4.4. Çekme testi

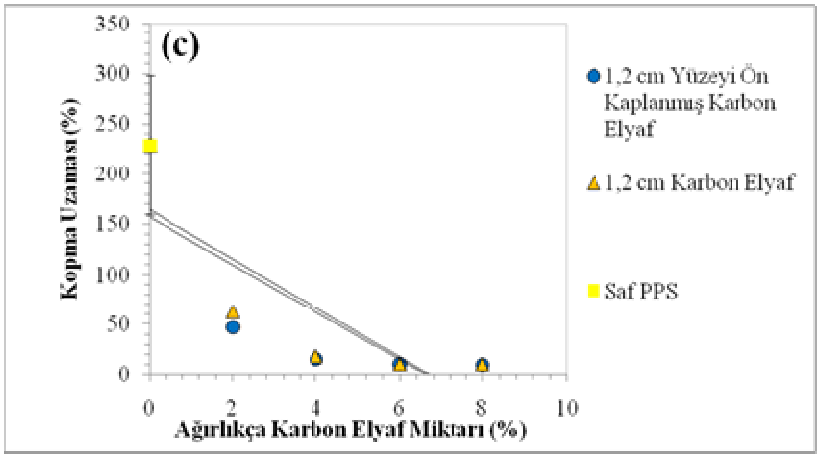
PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmalara uygulanan mekanik testler sonucunda çekme modülü, kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri incelenmiştir. Karmaların çekme testi sonuçlarını gösteren grafikler Şekil 5.19'da verilmiştir.

Şekil 5.19 - (a) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla karmaların çekme modülü değerlerinin arttığı ancak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılmasının çekme modülü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi malzemenin çekme modülünün, düşük uzama miktarlarında hesaplanan bir özellik olması ve bu sebeple elyaf-matris ara yüzeyine ve yapışmasına bağlı olmamasıdır [37].



Şekil 5.19: PPS – karbon elyaf ve yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları (a) çekme modülü,





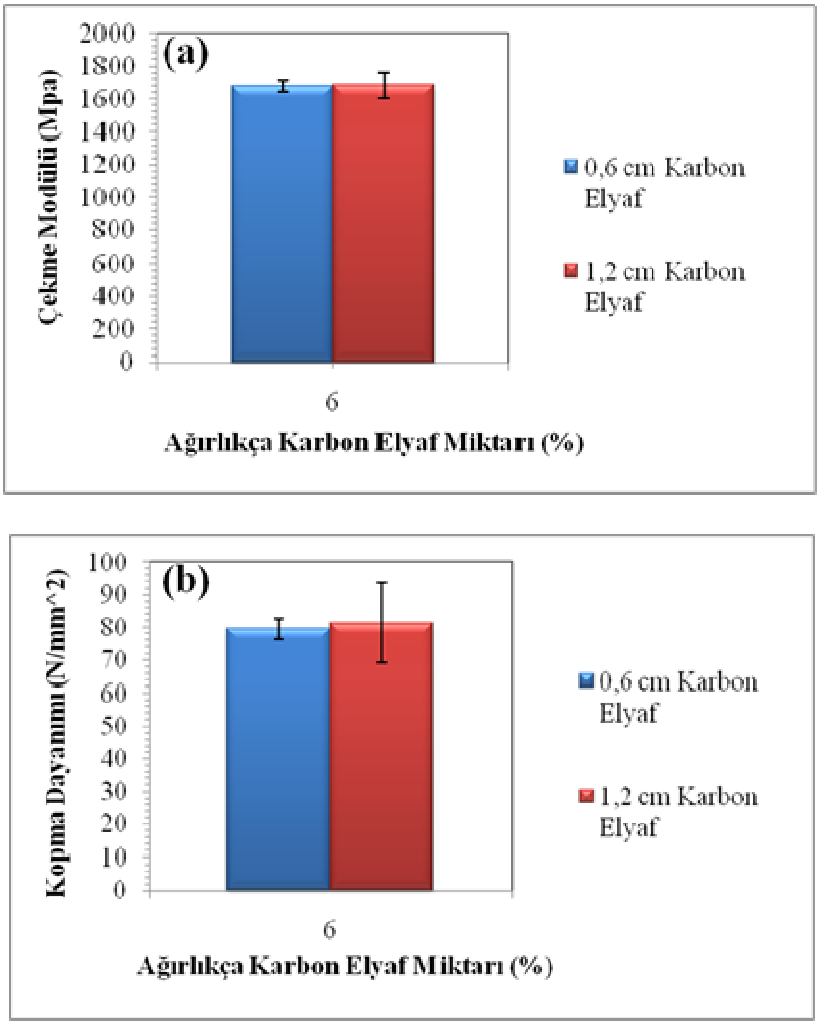
Şekil 5.19: (Devam) (b) kopma dayanımı, (c) kopma uzaması

Şekil 5.19 - (b) incelendiğinde artan karbon elyaf miktarıyla karmaların kopma dayanımı değerlerinin arttığı ancak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılmasının karmaların kopma dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Karmaların kopma dayanımlarındaki bu artışın sebebi bölüm 5.1.5'de anlatılmıştır.

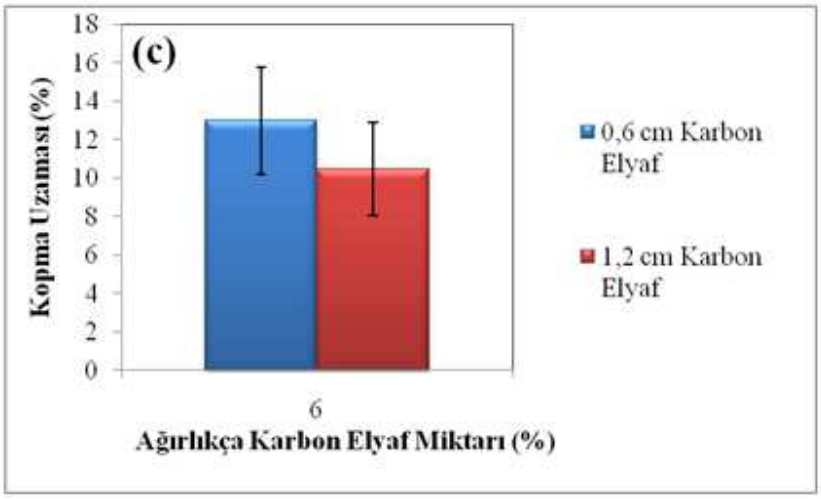
Ancak karmaların kopma dayanımlarında meydana gelen bu artış çekme modülü değerlerinde görülen artış kadar fazla değildir. Örneğin 1,2 cm uzunluğunda ve ağırlıkça %4 oranında yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan bir karmanın çekme modülü saf PPS'nin çekme modülüne göre %34 artış gösterirken aynı karmanın kopma dayanımı %5'lik bir artış göstermiştir. Buradan karmada artan karbon elyaf miktarıyla kopma dayanımında meydana gelen artışın çekme modülünde meydana gelen artış kadar fazla olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Şekil 5.19 - (c) incelendiğinde artan karbon elyaf yükleme miktarıyla karmaların kopma uzaması değerlerinin azaldığı ancak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılmasının karmaların kopma uzaması değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Karmaların kopma uzamasında meydana gelen bu azalmanın sebebi bölüm 5.1.5'de anlatılmıştır.

PPS ve farklı uzunluklarda karbon elyaf ile hazırlanan karmaların çekme modülü, kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20: PPS ve farklı uzunluklarda karbon elyaf ile hazırlanan karmaların mekanik test sonuçları (a) çekme modülü, (b) kopma dayanımı



Şekil 5.20: (Devam) (c) kopma uzaması

Şekil 5.20 incelendiğinde, çalışılan elyaf boyunun, karmaların çekme modülü, kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. PP – Karbon Elyaf Karmaları

PP – karbon elyaf karmaların DSC sonuçları incelendiğinde;

- Çalışılan elyaf boyu aralığının, elyaf yükleme oranının ve yüzey ön kaplamanın karmaların T_m değerlerini önemli derecede etkilemediği,
- Düşük elyaf yüklemesinde kristallenme yüzdesinin arttığı ancak karmadaki elyaf miktarı arttıkça kristallenme yüzdesinin azaldığı bulunmuştur.

PP – karbon elyaf karmaların SEM mikrografları incelendiğinde;

- Yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile PP matris arasındaki boşluğun karbon elyaf ile PP matris arasındaki boşluktan fazla olduğu görülmüştür.
- Bu sonuçtan yola çıkarak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile PP matris arasındaki yapışmanın çok iyi olmadığı yorumu yapılmıştır.

PP – karbon elyaf karmaların görüntü analizi sonuçları incelendiğinde;

- Ortalama elyaf boyunun 230 ile 280 mikron arasında değiştiği ve en fazla sayıda elyafın 51 ile 100 mikron aralığında olduğu bulunmuştur.

PP – karbon elyaf karmaların Rockwell sertlik testi sonuçları incelendiğinde;

- Karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerlerinin yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu,

- Ancak çalışılan elyaf boyu aralığının sertlik üzerinde önemli bir etkisi olmadığı bulunmuştur.

PP – karbon elyaf karmaların mekanik test sonuçları incelendiğinde;

- Çalışılan elyaf boyu aralığının ve yüzey ön kaplamanın, karmaların çekme modülü ve kopma dayanımı özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı,
- Ancak yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların kopma uzaması değerlerinin, karbon elyaf ile hazırlanan karmaların kopma uzaması değerlerine göre daha fazla olduğu bulunmuştur.

Tüm bu sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde, karma içindeki son elyaf boyunun yaklaşık olarak aynı olduğu, bu nedenle de karmaların mekanik, ısıl ve morfolojik özellikleri arasında önemli bir fark olmadığı bulunmuştur.

6.2. MAH-g-PP ile Uyumlaştırılmış PP – Karbon Elyaf Karmaları

MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmaların DSC sonuçları incelendiğinde;

- Elyaf yükleme oranının ve PP matrise uyumlaştırıcı eklemenin T_m değerlerini önemli derecede etkilemediği,
- Düşük elyaf yüklemesinde kristallenme yüzdesinin arttığı ancak karmadaki elyaf miktarı arttıkça kristallenme yüzdesinin azaldığı ve PP matrise uyumlaştırıcı eklemenin kristallenme yüzdesini etkilemediği bulunmuştur.

MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmaların SEM mikrografları incelendiğinde;

- PP matrise uyumlaştırıcı eklemenin matris ile elyaf arasındaki yapışmayı iyileştirdiği,
- Ancak eklenen uyumlaştırıcı miktarındaki artışın, matris ile elyaf arasındaki yapışmaya olan katkısının bu fotoğraflardan gözlenemediği sonucuna varılmıştır.

MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmaların Rockwell sertlik testi sonuçları incelendiğinde;

- Artan karbon elyaf miktarıyla ve matrise uyumlaştırıcı eklenmesiyle sertlik değerlerinin arttığı,
- Ancak eklenen uyumlaştırıcı miktarındaki artışın sertlik üzerinde önemli bir etkisi olmadığı bulunmuştur.

MAH-g-PP ile uyumlaştırılmış PP – karbon elyaf karmaların mekanik test sonuçları incelendiğinde;

- Artan karbon elyaf miktarıyla ve matrise uyumlaştırıcı eklenmesiyle PP ortamlı karmaların çekme modülü ve kopma dayanımı değerlerinin arttığı ve kopma uzaması değerlerinin azaldığı bulunmuştur.

Tüm bu sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde PP matrise uyumlaştırıcı olarak MAH-g-PP eklemenin matris ile elyaf arasındaki yapışmayı iyileştirdiği ancak artan uyumlaştırıcı miktarının karmaların mekanik, ısıl ve morfolojik özellikleri üzerinde önemli bir etki yaratmadığı görülmüştür.

6.3. PA6 – Karbon Elyaf Karmaları

PA6 – karbon elyaf karmaların DSC sonuçları incelendiğinde;

- Çalışılan elyaf boyu aralığının, elyaf yükleme oranının ve yüzey ön kaplamanın karmaların T_g ve T_m değerlerini önemli derecede etkilemediği,
- Karmada artan elyaf yükleme oranıyla kristallenme yüzdesinin azaldığı bulunmuştur.

PA6 – karbon elyaf karmaların SEM mikrografları incelendiğinde;

- Karbon elyaf ile PA6 matris arasındaki yapışmanın, yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf ile PA6 matris arasındaki yapışmadan daha iyi olduğu bulunmuştur.

PA6 – karbon elyaf karmaların Rockwell sertlik testi sonuçları incelendiğinde;

- Artan karbon elyaf yükleme oranıyla karmaların sertlik değerlerinin arttığı,
- Çalışılan elyaf boyu aralığının ve yüzey ön kaplamanın sertlik değerleri üzerinde önemli bir etki yaratmadığı bulunmuştur.

PA6 – karbon elyaf karmaların mekanik test sonuçları incelendiğinde;

- Artan karbon elyaf yükleme oranıyla, karmaların çekme modülü ve kopma dayanımı değerlerinin arttığı, kopma uzaması değerlerinin azaldığı,
- Çalışılan elyaf boyu aralığının ve yüzey ön kaplamanın bu özellikler üzerinde önemli bir etki yaratmadığı bulunmuştur.

6.4. PPS – Karbon Elyaf Karmaları

PPS – karbon elyaf karmaların DSC sonuçları incelendiğinde;

- Çalışılan elyaf boyu aralığının, elyaf yükleme oranının ve elyaf yüzey ön kaplanmasının karmaların T_g ve T_m değerlerini önemli derecede etkilemediği,
- Ancak artan elyaf yükleme oranıyla karmaların kristallenme yüzdelerinin azaldığı bulunmuştur.

PPS – karbon elyaf karmaların SEM mikrografları incelendiğinde;

- Elyaf yüzey ön kaplanmasının elyaf ile matris arasındaki boşluk üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, karbon elyaf ya da yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılması durumunda da elyaf ile matris arasındaki boşlukta bir farklılık görülmemiştir.

PPS – karbon elyaf karmaların Rockwell sertlik testi sonuçları incelendiğinde;

- Artan karbon elyaf yükleme oranıyla sertlik değerlerinin arttığı,

- Çalışılan elyaf boyu aralığının ve yüzey ön kaplamanın sertlik değerleri üzerinde önemli bir etki yaratmadığı bulunmuştur.

PPS – karbon elyaf karmaların mekanik test sonuçları incelendiğinde;

- Artan karbon elyaf yükleme oranıyla karmaların çekme modülü ve kopma dayanımı değerlerinin arttığı, kopma uzaması değerlerinin azaldığı,
- Çalışılan elyaf boyu aralığının ve yüzey ön kaplamanın bu özellikler üzerinde önemli bir etki yaratmadığı bulunmuştur.

Tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde yüzeyi ön kaplanmış karbon elyaf kullanılarak hazırlanan karmaların ısıl, mekanik ve morfolojik özelliklerinde, karbon elyaf kullanılarak hazırlanan karmalara göre önemli bir iyileşme görülmemiştir. Bu sebeple karbon elyaf takviyeli PP, PA6 ve PPS matrisli karmalarda "karbon elyaf" çeşidinin kullanılması önerilmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak maliyet analizi yapılmıştır. Buna göre kullanılan matrisler (PP, PA6 ve PPS) ile %4 ve 6 karbon elyaf takviyesinde karmalar üretildiğinde, bu karmaların kopma dayanımlarında ve maliyetlerinde meydana gelen değişimler hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalara göre ağırlıkça %4 karbon elyaf takviyeli PP matrisli karmalarda kopma dayanımı, saf PP'nin kopma dayanımına göre %45 artarken maliyet ise %568 artmıştır. Ağırlıkça %6 karbon elyaf takviyeli PP matrisli karmalarda ise kopma dayanımı, saf PP'nin kopma dayanımına göre %69 artarken maliyet ise %852 artmıştır. Buradan %4 ve 6 karbon elyaf takviyesinde karmalardaki birim kopma dayanımındaki maliyet artışının %12 olduğu bulunmuştur.

Ağırlıkça %4 karbon elyaf takviyeli PA6 matrisli karmalarda kopma dayanımı, saf PA6'nın kopma dayanımına göre %5 artarken maliyet ise %276 artmıştır. Ağırlıkça %6 karbon elyaf takviyeli PA6 matrisli karmalarda ise kopma dayanımı, saf PA6'nın kopma dayanımına göre %9 artarken maliyet ise %416 artmıştır. Buradan %4 karbon elyaf takviyesinde birim kopma dayanımındaki maliyet artışının %55, %6 karbon elyaf takviyesinde ise birim kopma dayanımındaki maliyet artışının %46 olduğu bulunmuştur.

Ağırlıkça %4 karbon elyaf takviyeli PPS matrisli karmalarda kopma dayanımı, saf PPS'nin kopma dayanımına göre %5 artarken maliyet ise %7 azalmıştır. Ağırlıkça %6 karbon elyaf takviyeli PPS matrisli karmalarda ise kopma dayanımı, saf PPS'nin kopma dayanımına göre %22 artarken maliyet ise %10 azalmıştır. Buradan %4 karbon elyaf takviyesinde birim kopma dayanımında maliyetin %1,4 azaldığı, %6 karbon elyaf takviyesinde ise birim kopma dayanımında maliyetin %0,45 azaldığı bulunmuştur.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

Karslı, N., G., Aytaç, A., Deniz, V., "Karbon Elyafla Güçlendirilmiş Polimerik Karma Malzemeler", ***PAGEV Plastik,*** Sayı 105, 176-181, (2009).

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan sözlü bildiriler

Karslı, N., G., Aytaç, A., Çiçek, R., Deniz, V., "Elyaf Boyunun Kısa Karbon Elyaf Takviyeli Polipropilen Karmaların Özelliklerine Etkileri", ***II. Uluslar arası Katılımlı Polimerik Kompozitler Sempozyum-Sergi ve Proje Pazarı,*** İzmir, (2010).

Karslı, N., G., Aytaç, A., Çiçek, R., Deniz, V., "Effect of PP-g-MAH Compatibilizer on the Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites", ***PPS 2010, Istanbul Regional Meeting, 20-23 October 2010,*** İstanbul, (2010).

Ulusal Bilimsel toplantılarda sunulan sözlü bildiriler

Karslı, N., G., Aytaç, A., Deniz, V., "Kimya Mühendisliği Eğitiminden Paydaşların Beklentileri", ***Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu (UMES),*** Kocaeli, (2007).

Deniz, V., Karslı, N., G., Aytaç, A., "Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde Kalite İşlevi Yayılımı Uygulaması", ***II. Ulusal Kalite Fonksiyonu Göçerimi Sempozyumu,*** İzmir, (2008).

Karslı, N., G., Kemaloğlu, Ş., Aytaç, A., Özkoç, G., "Farklı Yöntemlerle Hazırlanan SEBS/EVA Harmanlarının Karışabilirliklerinin İncelenmesi", ***3. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi,*** Kocaeli, (2010).

Uluslar arası bilimsel toplantılarda sunulan poster bildiriler

Karslı, N., G., Aytaç, A., Deniz, V., Güven, O., "Effects of Irradiated Polypropylene Compatibilizer on the Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites", ***9th International Symposium on Ionizing Radiation and Polymers,*** Maryland (USA), (2010).

Kemaloğlu, Ş., Karslı, G., Aytaç, A., Özkoç, G., "Boron nitride filled SEBS/EVA blends: Processing and properties", ***10th European Symposium on Polymer Blends,*** Dresden (Germany), (2010).

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan poster bildiriler

Kaner, P., Çavuşoğlu, Y., Kemaloğlu, Ş., Karslı, N., G., Aytaç, A., Özkoç, G., "Termomekanik Etki Şiddeti Ve Süresinin Plastikleştirilmiş Ve Plastikleştirilmemiş Poli(Laktik Asit)'İn Özellikleri Üzerine Etkileri", ***3.Ulusal Polimer Bilimi ve Teknolojisi Kongresi,*** Kocaeli, (2010).

Projeler

"Farklı Dolgu Maddeleri İle Takviye Edilmiş ABS/PA-6 Polimer Karışımlarının Erozif Aşınma Davranışının İncelenmesi", TÜBİTAK 1002, Proje no: 110M025, Yılmaz, T., Özkoç, G., Aytaç, A., Karslı, N. G., (2010-2011).

KAYNAKLAR

[1] Mazumdar, S., K., "Composites Manufacturing - Materials, Product, and Process Engineering", ***CRC Press,*** 20-73, (2002).

[2] Todd, D., B., "Functional Fillers for Plastics", Xanthos, M., ***Wiley-VCH Verlag GmbH&Co KGaA,*** 1-16, 39-55, (2005).

[3] Campbell, F., C., "Manufacturing Processes for Advanced Composites", ***Elsevier Ltd.,*** 2-100, (2004).

[4] Miracle D., B., "ASM Handbook", Volume 21, ASM International, 39-67, (2001).

[5] Mark, H., F., "Encyclopedia of Polymer Science and Technology", ***John Wiley & Sons,Inc.,*** 497-508, (2004).

[6] Baird, D., G., "Encyclopedia of Physical Science and Technology", Third Edition, ***Elsevier Science Ltd.,*** 621-640, (2001).

[7] Vegt, A., K., "From Polymers to Plastics", ***Delft University Press,*** 205-213, (2002).

[8] Rauwendaal, C., "Polymer Extrusion", ***Hanser Gardner Publications, Inc.,*** 4th Edition, 11-33, (2001).

[9] DSM Xplore, "Micro Processing Products", http://www.xplore-together.com/15ml_compounder.htm, **(Ziyaret tarihi: 15 Eylül 2010).**

[10] Ebewele, R., O., "Polymer Science and Technology", ***CRC Press LLC,*** 290-316, (2000).

[11] Nairn, J., A., "Polymer Characterization", ***Materials Science and Engineering 5473,*** 127-138, (2003).

[12] Callister, W., D., "Materials Science and Engineering", ***John Wiley & Sons Inc.,*** 100-101, (2007).

[13] Bindell, J., B., "Encyclopedia of Materials Characterization", Brundle, C., R., Evans, C., A., and Wilson, S., ***Butterworth-Heinemann,*** 70-84, (1992).

[14] Saçak, M., "Polimer Teknolojisi", Gazi Kitapevi, 97-134, (2005).

[15] Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A., "Development of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composite for Car Bonnet", ***Polymer-Plastics Technology and Engineering,*** 47, 351-357, (2008).

[16] Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A., "Effect of Fiber Length on Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites", ***Materials and Design,*** 30, 260-263, (2009).

[17] Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A., Mahdi, E., S., "Effect of Fiber Loading and Fiber Length on Mechanıcal and Thermal Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composite", ***The Malaysian Journal of Analytical Sciences,*** Vol. 11, No.1, 181-188, (2007).

[18] Li, J., "The Research on the Interfacial Compatibility of Polypropylene Composite Filled with Surface Treated Carbon Fiber", ***Applied Surface Science,*** 255, 8682-8684, (2009).

[19] Li, J., Sun, F., F., "The Effect of Maleic Anhydride Graft on the Interfacial Adhesion of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Polystyrene Composite", ***Journal of Composite Materials,*** Vol.43, No.23, 2716-2725, (2009).

[20] Li, J., Zhang, Y., F., "The Tensile Properties of HNO_3-treated Carbon Fiber Reinforced ABS/PA6 Composites", ***Surface and Interface Analysis***, 41, 610-614, (2009).

[21] Fu, S., Y., Lauke, B., Mäder, E., Yue, C., Y., Hu, X., Maı, Y., W., "Hybrid Effects on Tensile Properties of Hybrid Short-Glass-Fiber and Short-Carbon-Fiber Reinforced Polypropylene Composites", ***Journal of Materials Science,*** 36, 1243-1251, (2001).

[22] Li, J., "Interfacial Studies on the O_3 Modified Carbon Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites", ***Applied Surface Science,*** 255, 2822-2824, (2008).

[23] Jang, J., Lee, N., J., "Interfacial Study and Performance Improvement of Carbon Fiber/Poly(phenylene sulfide) Composite", ***Polymer (Korea),*** Vol.18, No.4, 591-601, (1994).

[24] Lee, K., H., Park, M., Young, C.,K., Choe, C., R., "Crystallization Behavior of Polyphenylene Sulfide (PPS) and PPS/Carbon Fiber Composites:Effect of Cure", ***Polymer Bulletin,*** 30, 469-475, (1993).

[25] Zheng, L., J., Qi, J., G., Liu, D., Zhou, W., F., "Studies on the Phase Structure, Mechanical, Rheological Properties, and Nonisothermal Crystallization Kinetics of the Pen/Scf Composites", ***Journal of Applied Polymer Science,*** Vol.112, 3462-3469, (2009).

[26] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, "Plastik Ürünleri Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu", http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/plastik/oik563.pdf, **(Ziyaret tarihi:20 Eylül 2010)**

[27] Morgan, P., "Carbon Fibers and Their Composites", ***Taylor&Francis Group, LLC.,*** 501-549, (2005).

[28] European Commision, "Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers", http://eippcb.jrc.es., **(Ziyaret tarihi: 2007)**

[29] Ren, X., Wang, X., Q., Sui, G., Zhong, W., H., Fuqua, M., A., Ulven, C., A., "Effects of Carbon Nanofibers on Crystalline Structures and Properties of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Blend Fabricated Using Twin-Screw Extrusion, ***Journal of Applied Polymer Science***, Vol.107, 2837-2845, (2008).

[30] Lozano, K., Barrera, E., V., "Nanofiber-Reinforced Thermoplastic Composites. I. Thermoanalytical and Mechanical Analyses", ***Journal of Applied Polymer Science,*** Vol.79, 125-133, (2001).

[31] Velasco, J., I., De Saja, J., A., Martinez, A., B., "Crystallization Behavior of Polypropylene Filled with Surface-Modified Talc", ***Journal of Applied Polymer Science,*** Vol.61, 125-132, (1996).

[32] Ozkoc, G., Bayram, G., Bayramli, E., "Short Glass Fiber Reinforced ABS and ABS/PA6 Composites: Processing and Characterization", ***Polymer Composites,*** 26, 745-755, (2005).

[33] Zhou, H., Qian, Z., Meng, X., Ding, Y., Zhang, S., Yang, M., "Fiber Breakage and Dispersion in Carbon Fiber reinforced Nylon 6/Clay Nanocomposites", ***Journal of Applied Polymer Science,*** Vol.106, 1751-1756, (2007).

[34] Stockie, J., M., "Simulating the Motion of Flexible Pulp Fibres Using the Immersed Boundary Method", ***Journal of Computational Physics,*** (1998).

[35] Gupta, V., B., Mittal, R., K., Sharma, P., K., "Some Studies on Glass Fiber reinforced Polypropylene. Part I: Reduction in Fiber Length During Processing", ***Polymer Composites,*** Vol.10, No.1, 8-15, (1989).

[36] Suresha, B., Ravi Kumar, B., N., Venkataramareddy, M., Jayaraju, T., "Role of Micro/Nano Fillers on Mechanical and Tribological Properties of Polyamide 66/Polypropylene Composites", ***Materials and Design,*** 31, 1993-2000, (2010).

[37] Fu, S., Y., Lauke, B., Mäder, E., Yue, C., Y., Hu, X., "Tensile Properties of Short Glass Fiber and Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites", ***Composites: Part A,*** 31, 1117-1125, (2000).

[38] Li, J., Cai, C., L., "The Carbon Fiber Surface Treatment and Addition of PA6 on Tensile Properties of ABS Composites", ***Current Applied Physics,*** 11, 50-54, (2011).

[39] Ludueña, L., N., Vazquez, A., Alvarez, V., A., "Crystallization of Polycaprolactone-Clay Nanocomposites", ***Journal of Applied Polymer Science,*** Vol.109, 3148-3156, (2008).

[40] Costa, H., M., Ramos, V., D., Oliveira, M., G., "Degradation of Polypropylene (PP) During Multiple Extrusions: Thermal Analysis, Mechanical Properties and Analysis of Variance", ***Polymer Testing,*** 26, 676-684, (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Nevin Gamze Karslı Yılmaz, 1985 yılında Kadıköy'de doğdu. Orta öğrenimini Kadıköy İkbaliye İlköğretim Okulu'nda, Lise öğrenimini ise Kabataş Erkek Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir. 2009 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.