



Cam Elyaf/EPDM/Poliamit-6 Kompozitlerin Mekanik Performansının ve Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Hüseyin ÜNAL^{1*}, Salih Hakan YETGİN², Veysel Furkan ÜNAL³

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus/Mersin

³Johannes Kepler University, Faculty of Engineering, Dept. of. Polymer Engineering, Linz, Austria

¹<http://orcid.org/0000-0003-0521-6647>

²<http://orcid.org/0000-0002-6068-9204>

³<http://orcid.org/0000-0002-6639-0393>

*Sorumlu yazar: unal@sakarya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.11.2021

Kabul tarihi: 26.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

PA6

EPDM

Cam elyaf

Mekanik özellikler

ÖZ

Poliamit-6 polimerine ilave edilen EPDM elastomeri, malzemenin çekme dayanımı ve elastiklik modülü gibi değerlerini azaltırken ilave edilen cam elyaflar kompozitin kopma uzamasını azaltmaktadır. Dolayısıyla endüstrinin talep ettiği yüksek mekanik özelliklere yani yüksek mukavemet, yüksek rijitlik ve üstün kırılma tokluğu (darbe enerjisi) gibi özelliklere sahip kompozitlerin elde edilebilmesi için elastomer ve elyaf takviyeli polimer kompozitlerin birlikte üretilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, katkısız poliamit 6 (PA6) polimeri ile ağırlık olarak %8 oranında Etilen-Propilen-Dien-Monomer (EPDM) katkılı poliamit 6 (PA6-8EPDM), %10 oranında cam elyaf (CE) takviyeli poliamit 6 (PA6-10CE) ve %10 CE ve %8 oranında Etilen-Propilen-Dien-Monomer katkılı poliamit 6 (PA6-10CE-8EPDM) polimer kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Poliamit-6 esaslı polimer kompozitler, endüstriyel tip ikiz vidalı bir ekstrüder makinesinde önce granül formda üretilmiş sonra da mekanik test numuneleri geleneksel tip bir enjeksiyon makinesi kullanılarak basılmıştır. Çalışma sonucunda, PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM çekme mukavemetini %19.3, elastiklik modülünü %41.4 oranında azaltırken darbe mukavemetini %14.1 oranında artırmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki cam elyaf ise çekme mukavemetini %23.6, elastiklik modülünü %64.8 oranında artırırken darbe mukavemetini %63,4 oranında azaltmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise kompozitin eğilme mukavemeti ve eğilmedeki elastiklik modülünü sırasıyla %67.0 ve %94.0 oranlarında artırmıştır.

Determination of Mechanical Performance and Microstructural Properties of Glass Fiber/EPDM/Polyamide-6 Composites

Research Article

Article History:

Received: 25.11.2021

Accepted: 26.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

PA6

EPDM

Glass fiber

Mechanical properties

ABSTRACT

The EPDM elastomer added to polyamide-6 (PA-6) polymer reduces the tensile strength and modulus of elasticity of the material, while the added glass fibers decrease the elongation at break of the composite. Therefore, it is of great importance to produce elastomer and fiber reinforced polymer composites together in order to obtain composites with high mechanical properties demanded by the industry, namely high strength, high rigidity and superior fracture toughness (impact energy). In this experimental study, mechanical behaviors of unfilled PA-6 polymer, 8wt.% of Ethylene-Propylene-Diene-Monomer (EPDM) filled polyamide-6 (PA6-8EPDM), 10wt.% of glass fiber (GF) filled polyamide-6 (PA6-10GF) and 10wt.% GF/8wt.% EPDM filled polyamide-6 (PA6-10GF-8EPDM) polymer composites were investigated.

Polyamide-6 based polymer composites were first produced in granule form in an industrial type twin screw extruder machine and then the mechanical test samples were molded using a conventional type injection molding machine. As a result of the study, the tensile strength decreased by 19.3%, the modulus of elasticity decreased by 41.4%, while the impact strength increased by 14.1% with the addition of 8wt.% EPDM to the PA6 polymer. On the other hand, with the addition of 10wt.% glass fiber to the PA6 polymer, the tensile strength increased by 23.6%, the modulus of elasticity increased by 64.8% and the impact strength decreased by 63.4%. The flexural strength and flexural modulus of the PA6 composite increased by 67.0% and 94.0% with the addition of 10wt.% GF to PA6 polymer, respectively.

To Cite: Ünal H., Yetgin SH., Ünal VF. Cam Elyaf/EPDM/Poliamit-6 Kompozitlerin Mekanik Performansının ve Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1216-1229.

1. Giriş

Poliamit 6 (PA6) polimeri, düşük maliyet, yüksek akma dayanımı, rijitliğin bir göstergesi olan yüksek moleküler ağırlık ve kristallenme oranı gibi üstün fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle otomotiv sektörü, elektrik/elektronik ve ambalaj sektöründe birçok mühendislik ürünlerinin üretiminde yaygın kullanılan önemli bir mühendislik polimeridir. Ancak, PA6 polimeri, yüksek nem alma, düşük sıcaklıklarda düşük darbe dayanımı, kuru kayma şartları altında yüksek aşınma, zayıf ölçüsel kararlılık, düşük termal bozunma sıcaklığı, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, % uzama ve elastiklik modülü gibi mekanik özellikler nedeniyle de kullanım alanı sınırlanmaktadır (Çuvalcı ve ark., 2014; Liang ve ark., 2014; Dryzek ve ark., 2017; Tarun ve ark., 2020; Tıtire ve ark., 2021).

PA6 polimerinin çentik duyarlı bir polimer olduğu bilinmektedir. Çatlak yayılmasına ve ilerlemesine karşı oldukça hassastır ve PA6 polimeri düşük sıcaklıkta gevrek bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla darbe dayanımı oldukça zayıftır ve düşük sıcaklıkta gevrek bir deformasyon gösterirler (Tanrattanakul ve ark., 2008). PA6 polimerinin darbe dayanımını artırmak için son yıllarda bünyesine doğal kauçuk (NR), etilen-propilen-kauçuğu (EPR), stiren-etilen-ko-bütülen-stiren (SEBS), etilen-propilen-dien-monomer (EPDM) gibi elastomer ilave edilerek harmanlanması oldukça yoğun ilgi görmektedir (Shao-Yun ve ark., 2006; Tanrattanakul ve ark., 2008; Shojaei ve Fereydoon, 2009; Caramitu ve ark., 2013; Tıtire ve ark., 2021). EPDM elastomeri karbon siyahı, fiberler, yağlar, kürlenme ajanları gibi maddeleri içeren sentetik kauçuğun tek katmanlı membran halidir. EPDM, kimyasal yapısı gereği sıcaklığa (+150 °C), havaya, ozona, ışığa, oksidasyona ve suya mükemmel direnç gösterir. Elektriksel olarak yalıtıcıdır (Ravishankar ve ark., 2012). %300'ün üzerinde kopma uzaması gösterebilirler. -40°C'de bile özelliklerini koruyabilmektedir. +150 °C gibi sıcaklıklarda birçok polimer yumuşarken EPDM hala iyi mekanik özellikler göstermektedir. Caramitu ve ark., (2013) %10-20 ve %30 oranlarında EPDM katkılı PA6 kompozitlerin mekanik, termal ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. EPDM miktarına bağlı olarak çekme dayanımı, akma dayanımı, elastiklik modülü, eğilme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü azalırken kopmadaki uzama değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Artan EPDM miktarı ile kristallenme oranı azalırken oksidasyon başlangıç sıcaklığının arttığını gözlemlemişlerdir. Tıtire ve ark., (2021) %40 oranında EPDM katkılı PA6 polimerinin farklı hızlardaki çekme ve darbe mukavemet özelliklerini incelemişlerdir. EPDM kauçuğu katkılı PA6

polimer karışımının elastiklik modülü değeri azalırken kopmadaki uzama değerinin arttığını da belirtmişlerdir.

PA6 polimerinin mekanik, fiziksel ve termal özelliklerini geliştirmenin diğer bir yöntemi ise cam, karbon ve aramit elyaf gibi mukavemet artırıcı malzemelerin polimer bünyesine katılmasıdır. Bunların içerisinde cam elyaf (CE), polimer matrisin özelliklerini geliştirmek için yaygın kullanılan mukavemet artırıcı malzemelerden en önemlisi olup düşük maliyet, yüksek çekme dayanımı, yüksek rijitlik, mükemmel korozyon direnci, iyi boyutsal kararlılık ve yalıtım özellikleri sağlarlar (Nuruzzaman ve ark., 2016; Essabir ve ark., 2018; Niyaraki ve ark., 2021). Son yıllarda, farklı elyaf çeşitleri katkılı PA6 esaslı kompozitlerin fiziksel, termal ve mekanik özelliklerini anlayabilmek için bazı çalışmalar yapılmıştır (Ke-Qing ve ark., 2005; Liang ve ark., 2014; Çuvalcı ve ark., 2014; Abdulkadir ve ark., 2006; Chen ve ark., 2019). Liang ve ark., (2014) %10, %15 ve %20 oranlarında karbon elyaf takviyeli PA6 kompozitlerin mekanik, termal ve kristallenme özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında artan karbon elyaf miktarı ile kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin artarken kopma uzaması değerinin azaldığını belirlemişlerdir. %20 karbon elyaf içeriğinde poliamit esaslı kompozitlerin çekme dayanımı ve elastiklik modülünün sırasıyla %50 ve %60 oranlarında arttığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde artan karbon elyaf oranı ile kompozitin depolama modülü değeri artarken kayıp modülünün zincir hareketliliğinin kısıtlanması ve sonucunda artan viskozite nedeniyle değişmediğini gözlemlemişlerdir. Karbon elyafın heterojen çekirdekleyici ajan gibi davranarak PA6 polimerinin kristalliğini ve termal kararlılığını artırdığını da belirtmişlerdir. Zaldua ve ark., (2019) karbon elyaf ve CE takviyeli PA6 esaslı kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda PA6 polimerine ilave edilen CE ve karbon elyafın kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerini önemli oranda artırdığı belirlenmiştir. Ke-Qing ve ark., (2005) uzun CE takviyeli PA6 kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Artan CE oranı ile kompozitin çekme dayanımı, eğme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerinin arttığı, çentikli darbe dayanımının ise %50 CE içeriğine kadar arttığı bu değerden sonra ise azaldığı belirtilmiştir. Isı altında deformasyon sıcaklığı değerinin ise artan CE oranı ile arttığı ve PA6 polimerinin hemen hemen ergime sıcaklığına ulaştığı belirtilmiştir. Çuvalcı ve ark., (2014) ağırlıkça %70 oranına kadar CE takviyeli döküm PA6 polimerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda %50 CE oranına kadar çekme dayanımının ve çekmedeki elastiklik modülü değerinin arttığı bu değerden sonra ise azaldığı belirtilmiştir. Çalışmalarında yüksek elyaf içeriğinde mukavemet azalmasının sebebi olarak matris ile fiber arasındaki ıslatma kabiliyeti ile ilişkili olduğu ve tüm elyafların polimer matris tarafından iyi bir şekilde sarılamadığı belirtilmiştir. Ayrıca artan CE katkı oranı ile kopma uzamasının ve darbe enerjisinin azaldığı belirtilmiştir. Abdulkadir ve ark., (2006) %15 ve %30 oranlarında amino-silan kaplı CE takviyeli PA6 ve polipropilen (PP) kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. PA6 ve PP polimerlerine ilave edilen ve artan CE oranı ile kompozitlerin çekme dayanımının arttığı kopmadaki % uzama değerinin azaldığı, darbe dayanımının ise %15 CE içeriğinde azaldığı %30 CE içeriğinde ise arttığı belirtilmiştir. Kusaseh ve

ark., (2018) %70PA6/%30PP karışımına ilave ettikleri %5, 10, 15 ve 20 oranlarındaki cam elyafın PA6/PP polimer karışımı kompozitin eğilme ve darbe dayanımlarını inceledikleri çalışmada artan CE oranına bağlı olarak kompozitin eğilme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü değerinin arttığı darbe dayanımının ise azaldığı belirtilmiştir. Nuruzzaman ve ark., (2016) %5-10-15-20 oranlarında CE katkılı PA6 polimerinin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada kompozitteki CE oranının artması ile kompozitin çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin arttığı kopma uzaması değerinin ise azaldığı belirtilmiştir. Darbe enerjisinin ise %15 CE içeriğine kadar arttığı bu oranın üzerinde ise azaldığı belirtilmiştir.

Literatürde de görüldüğü gibi PA6 polimerine ilave edilen EPDM elastomeri çekme dayanımı ve elastiklik modülü gibi değerleri azaltırken PA6 polimerine ilave edilen CE ise kopma uzamasını azaltmaktadır. Dolayısıyla endüstrinin talep ettiği yüksek mekanik özelliklere yani yüksek mukavemet, yüksek rijitlik ve üstün kırılma tokluğu (darbe enerjisi) gibi özelliklere sahip kompozitlerin elde edilebilmesi için elastomer ve elyaf takviyeli polimer kompozitlerin birlikte **hibrit olarak** üretilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada da %8 oranında EPDM elastomeri ile %10 oranındaki cam elyafın PA6 polimerinin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiş ve uygun malzeme seçimi yapılmıştır.

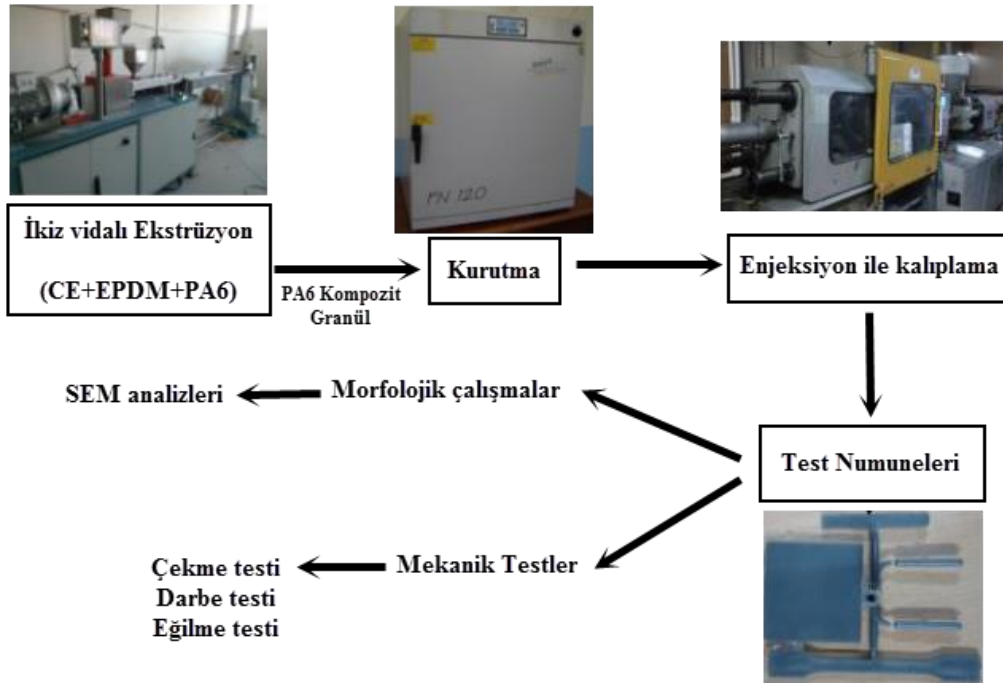
2. Materyal ve Metot

Ağırlıkça %8 oranında EPDM ve ağırlıkça %10 oranında CE katkılı PA6 kompozitlerin üretiminde, Domopolimer firmasından temin edilen Domomid ticari kodlu Poliamit-6 polimeri matris malzeme olarak kullanılmıştır. Exxon Mobil firmasından temin edilen Exxelor kodlu EPDM elastomeri ile Cam Elyaf Sanayi firmasından temin edilen 10,5 µm çapında 6 mm uzunluğunda kırılmış CE, katkı malzemeleri olarak kullanılmıştır. Cam elyaf ve EPDM katkılı PA6 kompozitlerin üretiminde ikiz vidalı ekstrüzyon prosesi (Vida çapı: 75, L/D:32) ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılmıştır. Ekstrüzyon prosesinde besleme hunisi ile ekstrüzyon kalıbı arasındaki sıcaklık dağılımı 180 °C-250 °C olarak belirlenmiştir. Bir defa ekstrude edilen CE/EPDM/PA6 kompozisyonlu polimer granüller kurutulduktan sonra enjeksiyon kalıplama yöntemi ile çekme, darbe ve eğme numuneleri basılmıştır. Enjeksiyon kalıplama yönteminde ise besleme hunisi ve kalıp arasındaki sıcaklık dağılımı 220°C-245 °C arasında seçilmiştir. Çekme testleri ASTM D638 standardına uygun olarak Zwick Roell Z-020 makinesinde, oda sıcaklığında ve 50 mm/dakika çekme hızında yapılmıştır. Darbe deneyleri ASTM D256 standardına uygun olarak Zwick B5113 darbe makinesinde yapılmış, numuneler ise 4x10x80 mm³ boyutlarında enjeksiyon makinasında basılmıştır. Daha sonra numunelerin 10 mm olan kısmının ortasına 2 mm derinliğinde 45⁰ açılı V-çentik açılmıştır. Darbe testleri için izod darbe testi yöntemi kullanılmıştır. Deneylerde numunelerin darbe enerjisi joule cinsinden belirlenmiş olup elde edilen değer, numunenin çentikten sonra kalan alanına bölünerek izod darbe mukavemeti değeri cihaz tarafından otomatik olarak belirlenmiştir. Eğilme testleri ise ASTM D790 standardına uygun olarak

Zwick Roell Z-020 makinesinde yapılmıştır. Tablo 1’de çalışmada kullanılan malzemeler ve kısaltmaları, Şekil 1’de ise CE ve EPDM katkı PA6 kompozitlerin üretim şeması verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemeler ve kısaltmaları

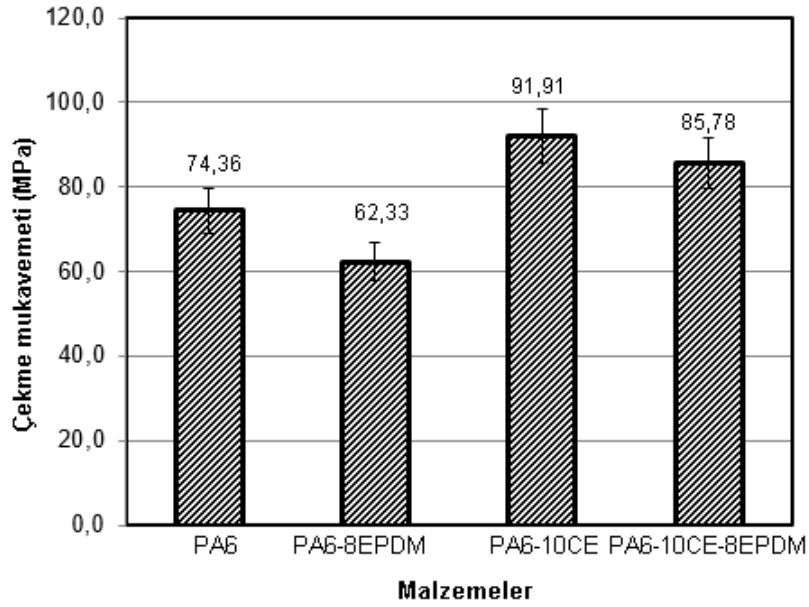
Sıra No	PA6 (ağırlık olarak)	CE (ağırlık olarak)	EPDM elastomer (ağırlık olarak)	Kısaltma
1	100	-	-	PA6
2	92	-	8	PA6-8EPDM
3	90	10	-	PA6-10CE
4	82	10	8	PA6-10CE-8EPDM



Şekil 1. EPDM katkı CE takviyeli PA6 kompozitlerin üretim şeması

3. Bulgular ve Tartışma

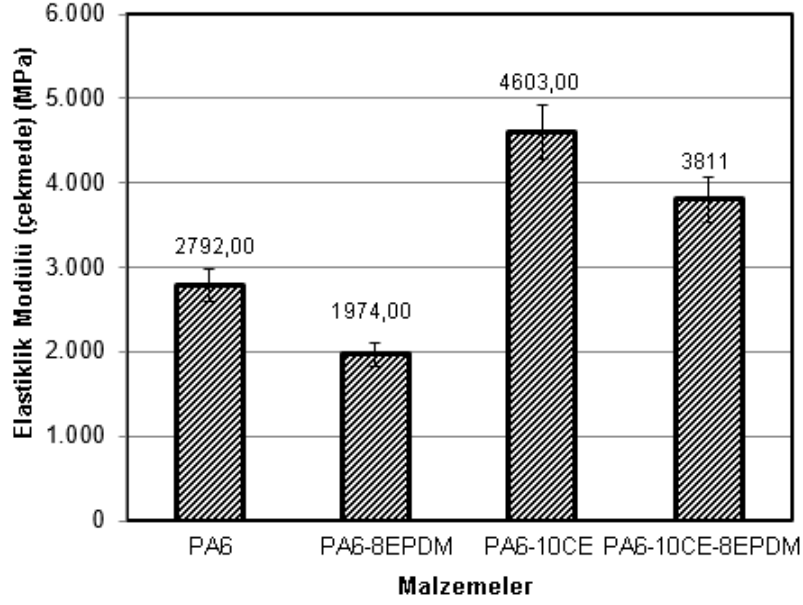
Şekil 2’de saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme mukavemetlerindeki değişim verilmiştir. PA6 polimerinin 74,36 MPa olan çekme mukavemeti %8 oranında EPDM ilavesi ile azalmış ve 62,33 MPa olmuştur. EPDM elastomeri ilavesi ile polimer karışımının çekme mukavemetindeki azalma yaklaşık olarak %19,3 oranındadır. Benzer sonuçlar Caramitu ve ark., (2013) ile Tanrattanakul ve ark., (2008) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise PA6 polimer kompozitinin çekme mukavemetini %23,6 oranında artırmıştır. Benzer sonuçlar Ke-Qing ve ark., (2005), Dryzek ve ark., (2017) ile Çuvalcı ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise kompozitin çekme mukavemetini yaklaşık %7,14 oranında azaltmıştır.



Şekil 2. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme mukavemetlerinin değişimi

Şekil 3'te saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin elastiklik modülü değişimi verilmiştir. Elastiklik modülü, katı bir malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür ve bu modül değeri çekme kuvveti altında elastik olarak deforme olacak malzeme direncini ölçmektedir (Nuruzzaman ve ark., 2016). Şekilde görüldüğü gibi saf PA6 polimeri 2792 MPa olan bir elastiklik modülü değerine sahiptir. PA6 polimerine %8 oranında EPDM ilavesi ile elastiklik modülü değeri yaklaşık %41,4 oranında azalarak 1974 MPa değerine ulaşmıştır. Shojaei ve Fereydoon (2009) tarafından yapılan çalışmada da PA6/EPR-g-MA polimerine %10-20 oranlarında kauçuk ilave edilmesi ile elastiklik modülü değerinin azaldığı, bunun sebebinin ise PA6 polimeri ile karşılaştırıldığında kauçuk fazın çok daha düşük rijitliğe sahip olmasına bağlamışlardır. Benzer sonuçlar Caramitu ve ark., (2013), Tıtre ve ark., (2021) ile Tanrattanakul ve ark., (2008) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6 polimerine %10 oranında CE takviyesi ile katkısız PA6 polimerine göre elastiklik modülü değeri yaklaşık %64,8 oranında artarak 4603 MPa değerine ulaşmıştır. Bu artışın sebebi deformasyona karşı direnç derecesinin artması ve sonuçta malzemenin rijitliğinin artmasıdır (Nuruzzaman ve ark., 2016). Benzer sonuçlar Çuvalcı ve ark., (2014) ile Liang ve ark., (2014) tarafından da elde edilmiştir. Liang ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmada da fiberin kompozitin dayanımının artmasında önemli bir rol oynadığı, fiberin PA6 polimerinden çok daha sert/mukavemetli olduğu ve fiber ile matris arasında iyi bir arayüzey oluşumunun yük uygulandığında etkili bir gerilim transferine sebep olarak mekanik özellikleri artırdığı belirtilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise elastiklik modülünü %20,7 oranında azaltmıştır. Polimer matris içerisinde hem elastomer hem de rijit bir katkının bulunması ile ilgili olarak, i) polimer matris içerisinde elastomer ve rijit katkının bağımsız olarak dağıldığı ayrılmış (separated) morfoloji, ii) rijit katkının elastomer tarafından sarıldığı çekirdek kabuğu (core-shell) morfolojisi yaygın olarak gözlenen iki morfoloji türüdür. Ayrılmış ya da çekirdek kabuğu

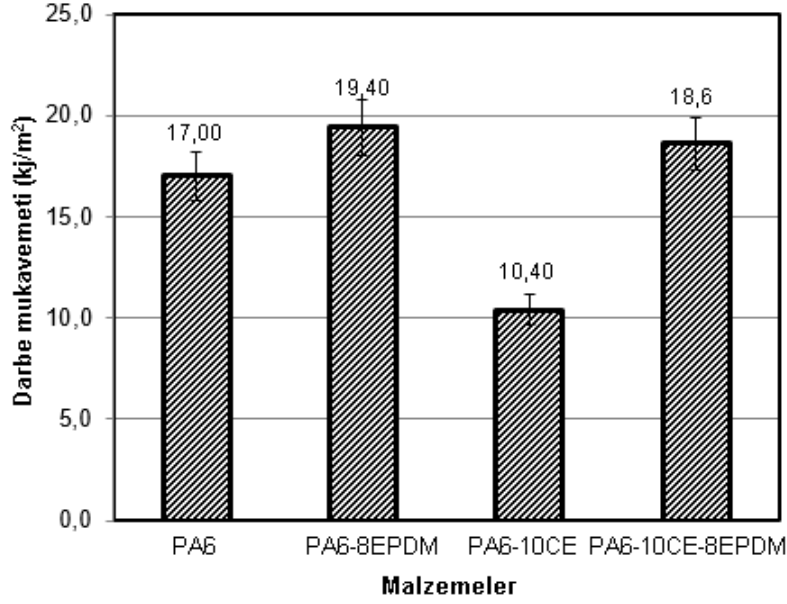
morfolojisine bağı olarak polimer kompozitin mekanik özellikleri önemli oranda etkilenmektedir (Hong ve ark., 2006; Lien ve ark., 2018). Elde edilen mekanik sonuçlar değerlendirildiğinde hem EPDM ve CE katkının bağımsız olarak dağıldığı hem de CE katkının EPDM tarafından sarıldığı morfolojinin oluştuğu değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi

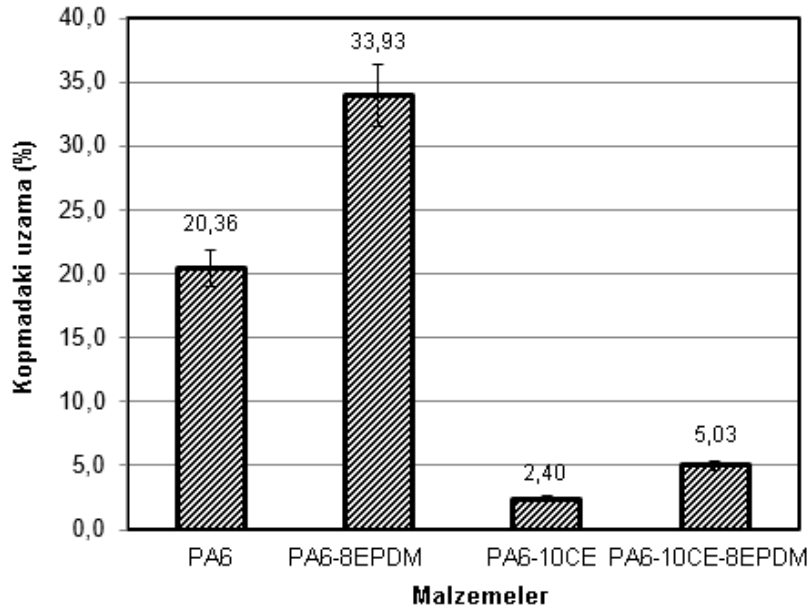
Şekil 4'te saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin izod darbe mukavemetlerinin değişimi verilmiştir. Beklenildiği gibi PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM PA6/EPDM karışımının darbe mukavemetini artırmıştır. Bu artış yaklaşık olarak %14,1 oranında olmuştur. Ancak Tanrattanakul ve ark., (2008) tarafından yapılan çalışmada PA6 polimerine ilave edilen doğal kauçuğun polimer karışımının darbe dayanımını artırmadığı bunun sebebinin ise kauçuk fazın partikül boyutu ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Partikül boyutunun 1µm'den daha düşük olması durumunda PA6/Kauçuk karışımlarının mekanik özelliklerinin gelişeceği belirtilmiştir. Saf PA6 polimerinin 17 kJ/m² olan darbe mukavemeti %10 oranında CE takviyesi ile %63,4 oranında azalmış ve darbe mukavemeti 10,4 kJ/m² olarak elde edilmiştir. Cam elyaf takviyesi ile birlikte polimer kompozitlerin sünek özelliklerinin azalarak gevrek özelliklerinin arttığı ve bu durumun kompozitin darbe tokluğunu azalttığı belirtilmiştir (Nuruzzaman ve ark., 2016). Benzer sonuçlar Çuvalcı ve ark., (2014) ile Kusaseh ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. Çuvalcı ve ark., (2014) hacimsel olarak %5.5 fiber içeriğinde darbe dayanımının 5.24 J/m² olduğunu %54.9 fiber içeriğinde ise darbe dayanımının azalarak 2.42 J/m² elde edildiğini belirtmişlerdir. Kusaseh ve ark., (2018) %70PA6+%30PP karışımına ilave ettikleri %20 oranındaki CE ile darbe dayanımının 78.14 kJ/m²'den 34.70 kJ/m²'ye azaldığı belirtilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM elastomeri ise kompozitin darbe mukavemeti değerini yaklaşık olarak %78,8 oranında artırmıştır. Niyaraki ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada ise

EPDM elastomerinin kompozitin darbe dayanımını etkilediğini, CE takviyesinin ise elastiklik modülü üzerinde oldukça etkili olduğu ifade edilmiştir. EPDM miktarına bağlı olarak kompozitin darbe dayanımının yaklaşık %28 oranında arttığı, CE oranına bağlı olarak ise darbe dayanımının yaklaşık %25, elastiklik modülünün ise yaklaşık olarak %16 oranında arttığı belirtilmiştir.



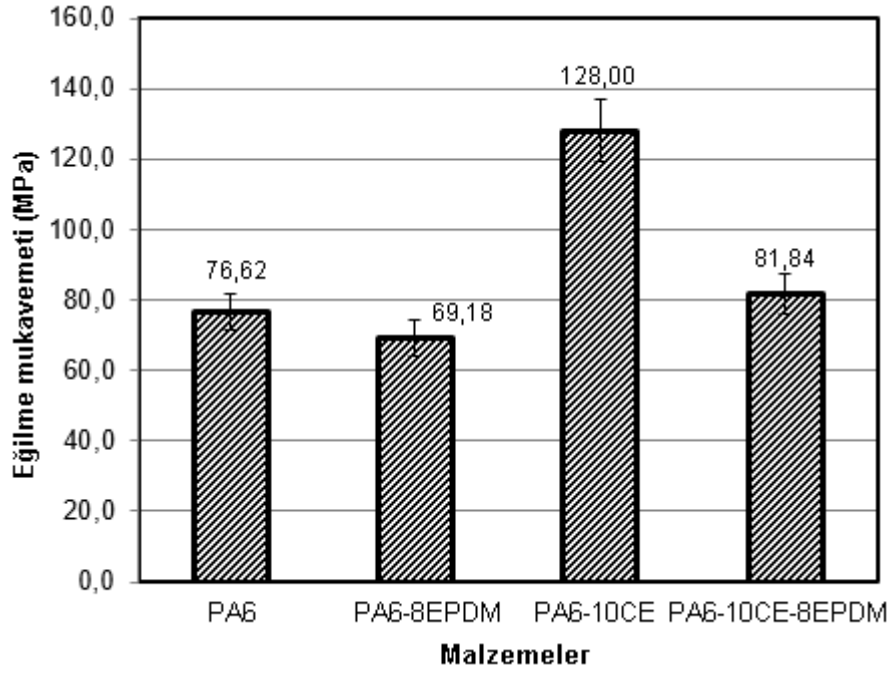
Şekil 4. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin izod darbe mukavemetlerinin değişimi

Şekil 5'te saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi verilmiştir. PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM katkısı polimer karışımının kopma uzaması %66,6 oranında artarken PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE takviyesi kompozitin kopma uzamasını yaklaşık %748,3 oranında azalmasına sebep olmuştur. Çuvalcı ve ark., (2014) kompozitte artan elyaf oranı ile kırılmanın baskın hale geldiğini belirtmişlerdir. E-cam elyafın seramik esaslı bir fiber olduğu ve uzamasının yaklaşık %2,75 olduğu belirtilmiştir. Liang ve ark., (2014) tarafından rijit katkıların veya fiberlerin ilave edilmesinin polimer moleküllerinin zincir hareketliliğini engellediği, bu durumun ise kompozitte mikro-çatlak oluşumuna sebep olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, fiberlerin uçlarındaki artan stres konsantrasyonunun, matriste çatlak oluşumunun bir başka nedeni olduğu belirtilmiştir. Özellikle matrisi çevreleyen fiberlerde numunedeki çatlakların boyutu kritik bir düzeye ulaştığında, matrisin uygulanan yüklere karşı koyamadığı ve daha sonra bu bölgelerde çatlakların ilerlediği belirtilmiştir (Ozkoc ve ark., 2005; Çuvalcı ve ark., 2014). PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM elastomeri ise kompozitin kopma uzamasını yaklaşık olarak %109,5 oranında artırmıştır. Benzer sonuçlar Tıtre ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir.

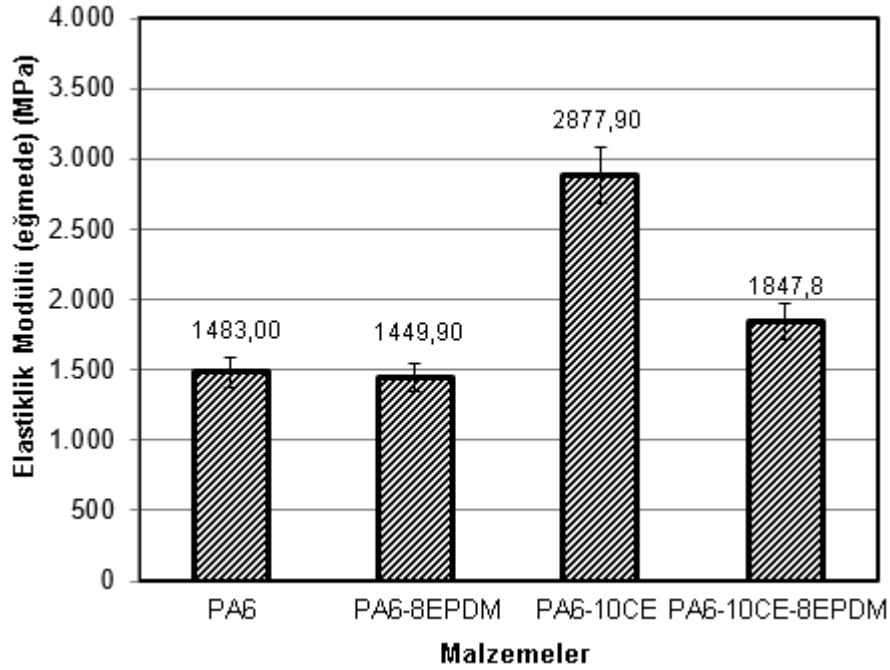


Şekil 5. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi

Şekil 6 ve 7’de saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin sırasıyla eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi verilmiştir. Her iki grafikte incelendiğinde PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM polimer karışımının eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerini hafif bir şekilde azaltmıştır. Benzer sonuçlar Caramitu ve ark., (2013) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise kompozitin eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülünü sırasıyla %67,0 ve %94,0 oranlarında artırmıştır. Kusaseh ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmada CE ile birlikte deformasyona karşı direncin arttığı dolayısıyla eğilme kuvveti altında polimer kompozitin rijitliğinin arttığı belirtilmiştir. Benzer sonuçlar Ke-Qing ve ark., (2005) ve Kusaseh ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise kompozitin eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülünü sırasıyla yaklaşık %56,4 ve %55,7 oranlarında azaltmıştır. Bunun sebebi ise PA6 polimeri ve cam elyafa göre EPDM elastomerinin rijitliğinin (4 MPa) oldukça düşük olmasıdır (Qiu ve ark., 2010).



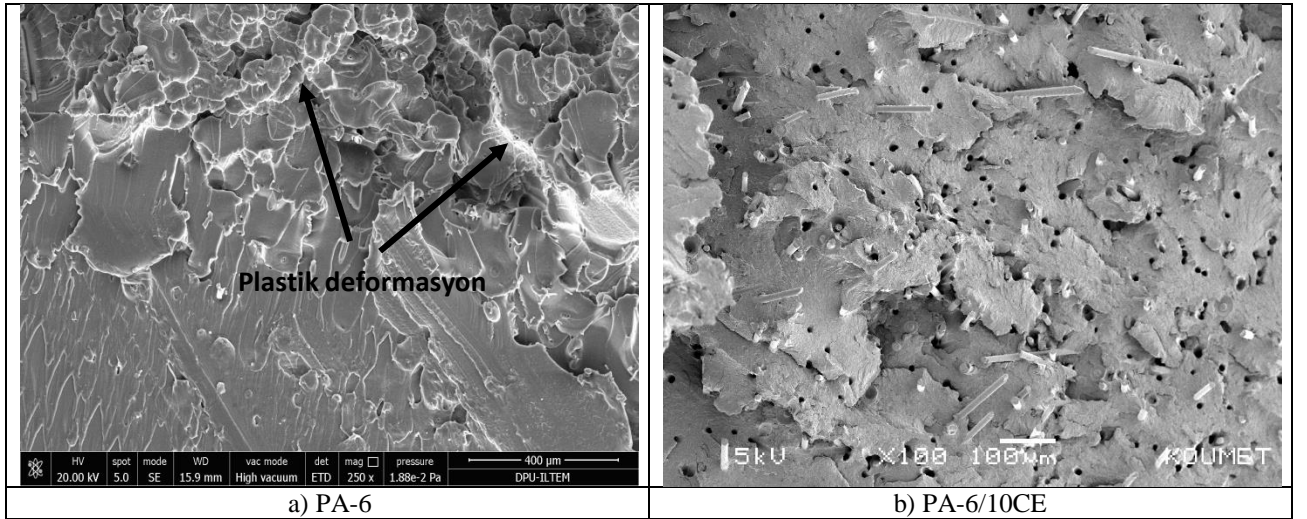
Şekil 6. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin eğilme mukavemetlerinin değişimi

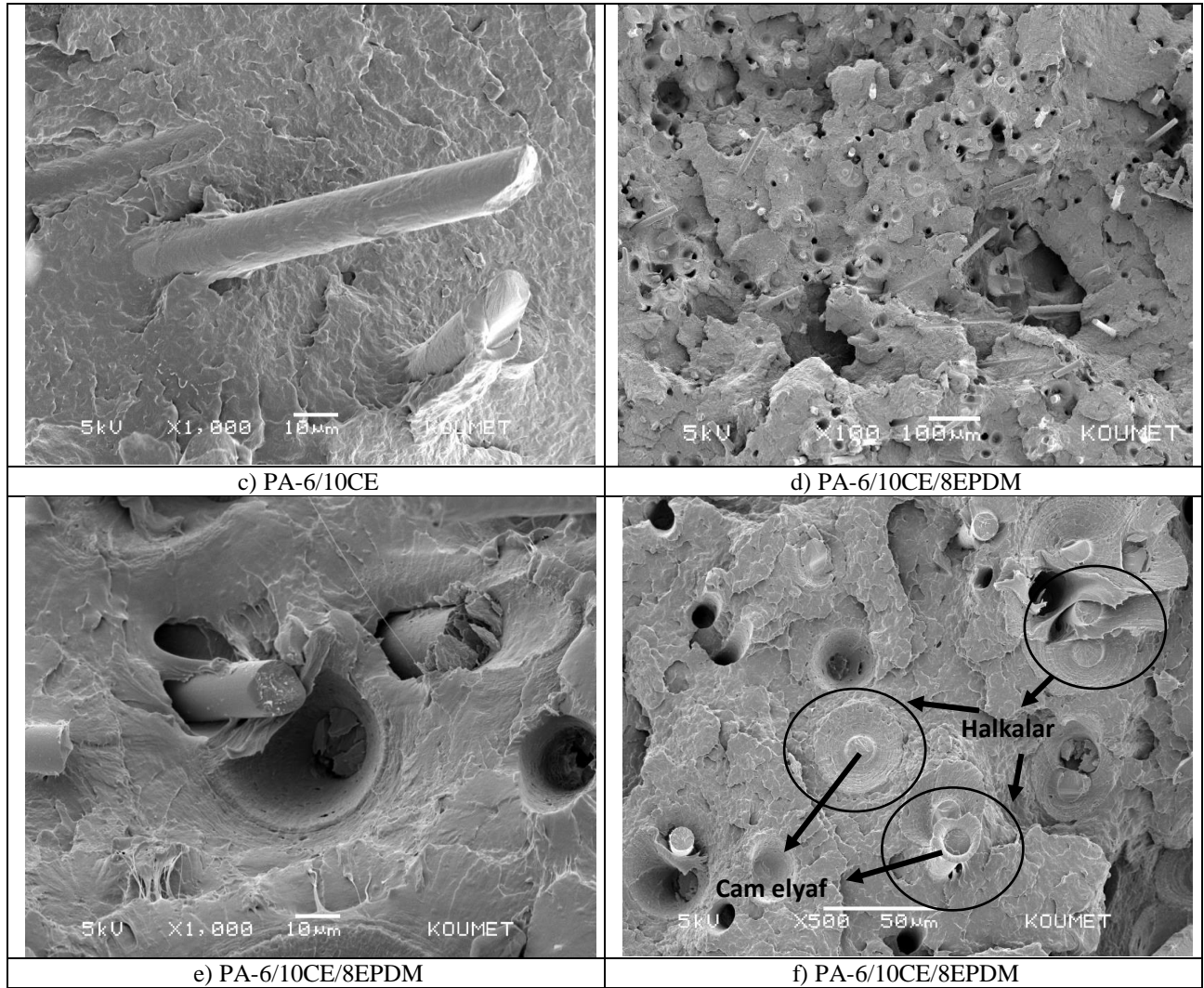


Şekil 7. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin eğmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi

Şekil 8'de saf PA6 polimeri ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme testinde elde edilen kırık yüzeylerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri verilmiştir. Şekil 8-a'da tipik PA6 polimerinin görüntüsü verilmiştir. İyi bilinen kesme mekanizması ile kırılma yüzeyinde sünek kırılmanın olduğu görülmektedir. Kırılma yüzeyindeki beyazlıklar plastik deformasyona uğramış kısımları göstermektedir. Şekil 8-b ve c'de ise tipik CE takviyeli polimer kompozitlerin kırılma yüzey SEM resimleri görülmektedir. Öncelikle Şekil 8.b incelendiğinde matris içindeki cam

elyafların homojen olarak dağıldığı ve herhangi bir topaklaşma olmadığı görülmektedir. Şekil 8-c'de cam elyafların polimer matris tarafından çok iyi sarıldığı görülmektedir. Elyaf yüzeyi incelendiğinde elyaf yüzeylerinin parlak değil yüzeyin pürüzlü olduğu ve yüzey modifikasyonunun olduğu görülmektedir. Bundan dolayı CE ile polimer matris arasındaki arayüzey bağının iyi olduğu görülmektedir. Çekme testi süresince gerilmeler, matris kırılmasından sonra elyafların deforme olmasına yetecek kadar yüksek olduğu Şekil 8-c'de fiber uçlarındaki kırılmadan anlaşılmaktadır. Yani elyaflar kompozit malzemenin çekme mukavemet değerini makul seviyelere çıkardığı görülmektedir. Ancak elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf ile matris arasında iyi bir arayüzey bağı olmazsa cam elyaflar polimer matris içerisinde kırılmak yerine polimer matristen sıyrılarak ayrılacaktır (Li ve ark., 2009). Şekil 8-d, e ve f'de ise tipik CE takviyeli ve EPDM elastomer katkılı polimer kompozitlerin kırılma yüzey SEM resimleri görülmektedir. Şekil 8-d incelendiğinde EPDM/CE/PA6 kompozitinde de cam elyafların matris içerisinde homojen dağıldığı görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 8-e'de de, Şekil 8-c'ye benzer görüntüler gözlenmiştir. İyi bir matris-elyaf arayüzey bağının olduğu görülmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde CE ve polimer matris arasında koyu halkaların oluştuğu gözlenmiştir. (Şekil 8-f). Bunun sebebi büyük bir olasılıkla polimer matrisin elyaf etrafındaki lokal deformasyonudur (Lozano ve ark., 2001). Bazı bölgelerde ise cam elyafların polimer ve EPDM elastomeri tarafından sarıldığı görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da polimer-elyaf etkileşimi üzerine kauçuk fazın arayüzey yapışmasını geliştirdiği belirtilmiştir (Shojaei ve ark., 2009).





Şekil 8. Saf PA6 polimeri ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme testinde elde edilen kırık yüzeylerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri

4. Sonuç

PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM elastomeri, polimer karışımının çekme dayanımını %19,3, elastiklik modülünü %41,4 oranında azaltırken darbe dayanımını ise %14,1 oranında artırmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise kompozitin çekme dayanımını %23,6 ve elastiklik modülünü %64,8 oranında artırırken darbe dayanımını %63,4 ve kopma uzamasını ise %748,3 oranında azaltmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE, kompozitin eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerini sırasıyla %67 ve %94 oranında artırmıştır. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise elastiklik modülünü %20,7 oranında, eğilme mukavemeti ve eğilme modülünü sırasıyla %56,4 ve %55,7 oranlarında azaltmıştır. Kopma uzaması ve darbe dayanımları ise %78,8 ve %109,5 oranlarında artmıştır. Sonuç olarak, PA6-10CE-8EPDM kompozitinin endüstride hem mekanik özelliklerin hem de darbe dayanımının yüksek olması istenen sektörlerde kullanımının uygun olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abdulkadir G., Ahmet O., Emin O. Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics. *Materials and Design* 2006; 27: 316–323.
- Caramitu AR., Traian Z., Sorina M., Violeta T., Virgil M., Lidia A. PA 6/EPDM blends for electrical insulations. Preliminary characterization. *The 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, 23-25 May 2013, sayfa no:1-6, Bucharest, Romania.
- Chen K., Mingyin J., Hua S., Ping X. Thermoplastic reaction injection pultrusion for continuous glass fiber-reinforced polyamide-6 composites. *Materials* 2019; 12: 463.
- Çuvalcı H., Kadir E., Hüseyin I. Investigation of the effect of glass fiber content on the mechanical properties of cast polyamide. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2014; 39: 9049-9056.
- Dryzek E., Wrobel M., Juszynska-Gałązka E. Free-volume and tensile properties of glass fibre reinforced polyamide 6 composites. *Acta Physica Polonica A* 2017; 132(5): 1501-1505.
- Essabir H., Denis R., Rachid B., Abou el KQ. Effect of nylon 6 (PA6) addition on the properties glass fiber reinforced acrylonitrile-butadiene-styrene. *Polymer Composites* 2018; 14-21.
- Hong Y., Qin Z., Min G., Cong W., Rongni D., Qiang F. Study on the phase structures and toughening mechanism in PP/EPDM/SiO₂ ternary composites. *Polymer* 2006; 47: 2106–2115.
- Ke-Qing H., Zheng-Jun L., Mu-Huo Y. Preparation and mechanical fiber reinforced PA6 novel process. *Macromolecular Materials and Engineering* 2005; 290: 688-694.
- Kusaseh NM., Nuruzzaman DM., Ismail NM., Hamedon Z., Azhari A., Iqbal AKMA. Flexure and impact properties of glass fiber reinforced nylon 6-polypropylene composites. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2018; 319: 012045.
- Li J., Zhang YF. The tensile properties of HNO₃-treated carbon fiber reinforced ABS/PA6 composites. *Surface and Interface Analysis* 2009; 41: 610–614.
- Liang J., Yuqiang X., Zhiyong W., Ping S., Guangyi C., Wanxi Z. Mechanical properties, crystallization and melting behaviors of carbon fiber-reinforced PA6 composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2014; 115: 209-218.
- Lien Z., Haoming W., Meihua L., Zheng J., Kai Z. Effect of core-shell morphology on the mechanical properties and crystallization behavior of HDPE/HDPE-g-MA/PA6 ternary blends. *Polymers* 2018; 10: 1040.

- Lozano K., Barrera V. Nanofiber–reinforced thermoplastic composites. I. Thermoanalytical and mechanical analysis. *Journal of Applied Polymer Science* 2001; 79: 125–133.
- Niyaraki MN., Faramarz AG., Ismail G., Sajjad D. Predicting of impact strength and elastic modulus of polypropylene/EPDM/graphene/glass fiber nanocomposites by response surface methodology. *Technical Journal* 2021; 15(2): 169-177.
- Nuruzzaman DM., Iqbal Asif AKM., Oumer AN., Ismail NM., Basri S. Experimental investigation on the mechanical properties of glass fiber reinforced nylon. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2016; 114: 012118.
- Ozkoc G., Bayram G., Bayramlı E. Short glass fiber reinforced ABS and ABS/PA6 composites: processing and characterization. *Polymer Composites* 2005; 26: 745-755.
- Qiu M., Xuming S., Patricia CT., Xinmin L., Zhongqin L. Mechanical properties of thermoplastic olefin composites: Effect of fillers content, strain rate and temperature. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2010; 49; 121-127.
- Ravishankar PS. Treatise on EPDM. *Rubber Chemistry and Technology* 2012; 85: 327-349.
- Shao-Yun F., Bernd L., Robert KYL., Yiu-Wing M. Effects of PA6,6/PP ratio on the mechanical properties of short glass fiber reinforced and rubber-toughened polyamide 6,6/polypropylene blends. *Composites: Part B* 2006; 37: 182-190.
- Shojaei A., Fereydoon M. Taguchi analysis of extrusion variables and composition effects on the morphology and mechanical properties of EPR-g-MA toughened polyamide 6 and its composite with short glass fiber. *Materials Science and Engineering A* 2009; 506: 45-57.
- Tanrattanakul V., Nutthorn S., Phatchareeya R. Rubber toughening of nylon 6 with epoxidized natural rubber. *Polymer Testing* 2008; 27: 794-800.
- Tarun SG., Sridhar A., Namrata V., Doddipatla P. Review on nano-and microfiller-based polyamide 6 hybrid composite: Effect on mechanical properties and morphology. *Polymer Engineering & Science* 2020; 60: 1717-1759.
- Titire LC., Andreea EM., Alina CC., George CC., George GO., Lorena D. Characterization of blend PA6+EPDM (60/40) by tensile tests. *Materiale Plastice* 2021; 58(3): 51-63.
- Zaldua N., Jon M., Amaia de la C., Sonia GA., Cristina E., Isabel H., Agnieszka T., Alejandro JM. Nucleation and crystallization of PA6 composites prepared by T-RTM: Effects of carbon and glass fiber loading. *Polymers* 2019; 11: 1680.