

Cam Elyaf, Cam Bilya ve EPDM katkıli Poliamit-6 Hibrit Kompozitlerin Mekanik Performanslarının Belirlenmesi

Hüseyin ÜNAL^{1*}, Salih Hakan YETGİN², Bilal ÖZSARIKAYA³

Öz

Otomotiv, beyaz eşya, savunma sanayi, uçak ve uzay sanayinde kullanılan bazı parçaların yüksek mukavemetli olmasının yanında aynı zamanda tok ve darbe dayanımlı olması da istenir. Bu çalışmada, ana matris malzeme olarak mühendislik polimerleri sınıfında yer alan poliamit 6 (PA6) polimeri kullanılmıştır. Katkısız PA6 polimeri ile ağırlık olarak %5 oranında cam bilya (CB) katkıli poliamit 6 (PA6-5CB), %15 oranında cam elyaf (CE) takviyeli poliamit 6 (PA6-15CE) ve %5CB/%15CE/%4 Etilen-Propilen-Dien-Monomer (EPDM) katkıli poliamit 6 (PA6-5CB-15CE-4EPDM) hibrit kompozitlerin mekanik performansları araştırılmıştır. Poliamit-6 esaslı polimer kompozitler önce ikiz vidalı ekstrüderde granül formda üretilmiş sonrasında ise enjeksiyon kalıplama yöntemi ile test numuneleri üretilmiştir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile ASTM standartlarına uygun olarak çekme, darbe ve eğme numuneleri üretilmiştir. Çalışma sonucunda, PA6 polimerine ilave edilen %5 oranında cam bilya çekme mukavemetini %2 oranında artırırken elastiklik modülünü etkilememiştir. PA6 polimerine ilave edilen %15 oranındaki cam elyaf ise çekme mukavemetini %51.5 oranında, elastiklik modülünü ise %85.8 oranında artırmıştır. PA6-5CB-15CE kompozitine ilave edilen EPDM elastomeri darbe mukavemetini %14.2 oranında, kopmadaki % uzama miktarını ise %56.2 oranında artırmıştır. Mikroyapı incelemeleri ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PA6, Cam bilya, cam elyaf, EPDM, Mekanik özellikler.

Determination of Mechanical Performance of Glass Fiber Reinforced, Glass Bead and EPDM filled PA-6 Hybrid Composites

Abstract

In this study, polyamide 6 (PA6) polymer, which is in the engineering polymers class, was used as the main matrix material. The aim of this study was to determine the mechanical properties of pure polyamide 6 polymer and 5wt.% glass bead filled polyamide 6, 15wt.% glass fiber reinforced polyamide 6 and 5wt.% glass beads/15wt.% glass fiber and 4wt.% Ethylene-Propylene-Diene-Monomer filled polyamide 6 hybrid composites. Polyamide-6-based polymer composites were first produced in granular form in a twin screw extruder, and then the test samples were produced by injection molding methods. Tensile, impact and bending specimens were produced by injection molding method in accordance with ASTM standards. As a result of the study, 5wt.% glass bead added to PA6 polymer increased the tensile strength by 2%, but did not affect the modulus of elasticity much. 15wt.% glass fiber added to PA6 polymer increased the tensile strength by 51.5% and the modulus of elasticity by 85.8%. The EPDM elastomer added to the PA6-5CB-15CE composite increased the impact strength by 14.2% and the elongation at break by 56.2%. Microstructure studies were investigated using scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: PA6, Glass bead, Glass fiber, EPDM, Mechanical properties

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malz. Müh. Böl., Sakarya, Türkiye, unal@subu.edu.tr

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus/Mersin, Türkiye, shyetgin@gmail.com

³İhlas Ev Aletleri İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye, bozsarikaya34@gmail.com

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

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

³<http://orcid.org/0000-0003-3065-6361>

1. Giriş

Polimer esaslı kompozitlerin mukavemet ve elastiklik modülü gibi mekanik özellikleri, kompozitte kullanılan katkı ve matrisin özelliklerine bağlı olduğu gibi iki bileşen arasındaki arayüzeydeki gerilim transferinin düzgün bir şekilde aktarılıp aktarılamayacağına da bağlıdır. Aynı zamanda bu özellikler, katkı miktarından, katkının geometrik şeklinden, en/boy oranından ve polimer matris ile katkı arasındaki arayüzey bağından da etkilenmektedir (Liang ve Li, 1998; Liang ve ark., 2014; Nuruzzaman ve ark, 2016). Örneğin, cam elyaf ve karbon elyaf gibi mukavemet artırıcı katkıların polimere ilave edilmesi ile kompozitin mukavemet değerleri artarken küresel yapıya sahip olan cam bilyaların polimer matrise ilave edilmesi ile kompozitin mekanik özelliklerinde çok belirgin bir artış gözlenmemektedir. En-boy oranı eşit olan küresel yapılu katkılar izotropik kalıplama sağlarken en-boy oranı farklı olan elyaflar anizotropik kalıplama sağlamaktadırlar. Fiber takviyeli polimer kompozitler fiber uzunluğu boyunca kuvvete maruz kaldıklarında güçlü ve rijit olmalarına rağmen enine kuvvete maruz kaldıklarında ise oldukça zayıf ve düşük rijitliktedirler (Liang ve ark., 2014; Nuruzzaman ve ark, 2016). Literatürde elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Liang ve arkadaşları (2014) farklı oranlarda (%10, %15 ve %20) karbon elyaf takviyeli PA6 kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, artan karbon elyaf miktarı ile PA6 kompozitin çekme dayanımı ve çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin arttığı fakat kopma uzaması değerinin ise azaldığı belirtilmiştir. %20 karbon elyaf takviyeli PA6 kompozitlerin çekme dayanımı ve çekmedeki elastiklik modülünün sırasıyla %50 ve %60 oranlarında arttığı belirtilmiştir. Benzer şekilde artan karbon elyaf oranı ile kompozitin depolama modülü değeri artarken kayıp modülünün zincir hareketliliğinin kısıtlanması ve sonucunda artan viskozite nedeniyle değişmediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, karbon elyaf katkının heterojen çekirdekleyici ajan gibi davranarak PA6 polimerinin kristalliliğini ve termal kararlılığını artırdığını da belirtmişlerdir. Han ve arkadaşları (2005) ise uzun cam elyaf takviyeli PA6 kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. PA6 polimerine ilave edilen cam elyaf oranı ile kompozitin çekme dayanımı, eğme dayanımı, çekmedeki elastiklik modülü ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerinin arttığı, çentikli darbe dayanımının ise %50 cam elyaf içeriğine kadar arttığı bu değerden sonra ise azaldığı belirtilmiştir. Isı altında deformasyon sıcaklığı (HDT) değerinin ise artan cam elyaf oranı ile arttığı ve neredeyse katkısız PA6 polimerinin ergime sıcaklığına (Te) ulaştığı belirtilmiştir. Nuruzzaman ve arkadaşları (2016) %5-20 oranlarında cam elyaf takviyeli PA6 polimerinin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada kompozit bünyesindeki cam elyaf oranının artması ile çekme dayanımı, akma dayanımı ve çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin arttığı fakat kopma uzaması değerinin azaldığı belirtilmiştir. %15 cam elyaf içeriğine kadar darbe enerjisinin arttığı bu oranın üzerindeki

cam elyaf içeriğinde ise darbe enerjisinin azaldığı belirtilmiştir. Zaldua ve arkadaşları (2019) karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli PA6 esaslı kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda PA6 polimerine ilave edilen cam elyaf ve karbon elyafların kompozitin çekme dayanımı ve çekmedeki elastiklik modülü değerlerini önemli oranda artırdığını belirtmişlerdir. O'Connor ve Dowling (2020) poliamit-12 (PA12) polimerine ilave ettikleri %40 oranında cam bilyanın termal ve mekanik özelliklere olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ergime sıcaklığının değişmediği kristallenme sıcaklığının yaklaşık olarak 4°C arttığı, kristallenme oranının ise cam bilya ilavesi ile %26'dan %18'e azaldığı belirtilmiştir. PA12 polimer matrise cam bilya ilavesi ile kompozitin çekme dayanımı %39 oranında, eğilme dayanımı %15 oranında azalırken çekmedeki elastiklik modülü %85 oranında ve eğmedeki elastiklik modülü %36 oranında artmıştır. Huang ve arkadaşları (2004) cam bilya katkılı PA6 kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda PA6 polimerine ilave edilen cam bilya katkısı ile kompozitin camsı geçiş sıcaklığının (Tg) ve termal kararlılığının arttığı ergime sıcaklığının ise değişmediği belirtilmiştir. Artan cam bilya miktarı ile kompozitin çekme dayanımı ve çentikli izod darbe dayanımı azalmış çekmedeki elastiklik modülü ise artmıştır. Kovacs ve Solymossy (2009) farklı oranlarda ve farklı çaplardaki cam bilya katkılı PA6 kompozitlerin kalıpta çarpılma ve çekme özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonunda PA6 matris bünyesindeki cam bilya miktarının artması ve aynı zamanda cam bilya çapının büyümesi ile kompozit parçanın kalıpta çarpılma ve kalıpta çekme değerlerinde azalma meydana geldiği ifade edilmiştir.

Polimer malzemeye ilave edilecek cam elyaf ve cam bilya ile elyaf takviyeli sistem kadar sert/gevrek olmayan ancak cam bilya sisteminden daha mukavemetli olan bir polimer kompozit ürün üretmek mümkündür. Hashemi (2008) akrilo-nitril-bütadien-stiren (ABS) polimerine ilave ettikleri kısa cam elyaf ve cam bilyanın ABS polimerinin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Cam elyaf miktarının artmasıyla kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülü artmıştır. Cam bilya miktarının artması ise kompozitin çekme dayanımı azalırken çekmedeki elastiklik modülünü artırmıştır. Cam elyaf ve cam bilya katkılı hibrit sistemde ise katkı oranına bağlı olarak çekme dayanımı ve çekmedeki elastiklik modülünün arttığı belirlenmiştir. Kuram (2021) katkısız PA6, %15 oranında cam bilya ve cam elyaf katkılı PA6 kompozitleri ile farklı oranlarda cam bilya ve cam elyaf katkılı PA6 hibrit karışımların mekanik, termal, reolojik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Cam elyaf ve cam bilya ilavesi ile PA6 polimerinin gevrekliği artmıştır. PA6 polimer matrise cam elyaf ilavesi ile kompozitin eğilme, darbe ve çekme dayanımları artarken cam elyaf/cam bilya karışımı ile kompozitin çekme ve eğilme dayanımları azalmış, darbe dayanımı ise artmıştır. Cam elyaf ve cam bilya katkıları kompozitin ergime akış indeksi değerlerini azaltırken termal kararlılığını artırmıştır. PA6 polimeri α - ve γ -kristalin formuna sahipken PA6 kompozitler γ -kristalin formunda elde edilmiştir. Ranganathan ve arkadaşları (2019)

ergiyik biriktirme modellemesi (FDM) yöntemini kullanarak ürettikleri cam elyaf takviyeli ve cam bilya katkılı PA6 kompozitlerin termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda PA6 polimerine ilave edilen cam elyaf ve cam bilyanın kompozitin termal iletkenlik değeri ve ısı altında deformasyon sıcaklığı (HDT) değerlerini artırdığı gözlenmiştir. %30 cam bilya içeriğinde termal iletkenliğin %140 oranında, ısı altında deformasyon sıcaklığının ise %233 oranında arttığı belirtilmiştir. Cam bilyanın termal özelliklerin gelişmesinde daha etkili bir katkı çeşidi olduğu belirtilmiştir.

Cam elyaf ve cam bilya katkılı polimer kompozitlerde çekme ve elastiklik modülü gibi mekanik özelliklerin geliştiği gözlenirken azalan darbe dayanımını veya tokluk değerlerini artırmanın bir yolu ise polimer matrise stiren-etilen-bütadien-stiren (SEBS), etilen-propilen kauçuğu (EPR), etilen-propilen-dien-monomer (EPDM), etilen-vinil-asetat (EVA) ve polietilen-oktan-elastomer (POE) gibi elastomerlerin ilave edilmesidir. Bu elastomerler içerisinde, EPDM elastomeri, en etkili darbe modifiye edici olarak kabul edilmektedir. Hibrit sistemlerde mekanik özellikler yapı içerisinde bulunan her bir bileşenin morfolojisine ve dağılımına bağlıdır. Elastomer ve rijit katkılı kompozitlerde elastomer ve rijit fazın bağımsız olarak dağıldığı veya rijit katkının elastomer faz tarafından sarıldığı morfolojik yapılar oluşabilmektedir (Gupta ve ark., 1991).

Bu çalışmada, hem yüksek mukavemet hem de darbe dayanımının ön plana çıktığı sektörlerde kullanabilmek için katkısız poliamit 6 (PA6) polimerine cam elyaf takviyesi, cam bilya katkısı ve toklaştırıcı EPDM elastomeri katılarak hibrit kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma için PA6 polimer matrisine ağırlık olarak %5 oranında cam bilya (CB), %15 oranında cam elyaf ve %5cam bilya ile %15 cam elyaf birlikte karıştırılarak ve %4 oranında Etilen-Propilen-Dien-Monomer (EPDM) ilave edilerek hibrit kompozit malzemeleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri ile taramalı elektron mikroskopunda alınan mikroyapıları incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada PA6 polimeri matris malzemesi olarak kullanılmış ve Domamid ticari kodu ile Domopolymers firmasından (Belçika) temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan PA6 polimeri 1.14 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Exxon Mobil firmasından temin edilen Exxelor kodlu EPDM elastomeri, Cam Elyaf Sanayi firmasından temin edilen 10.5 µm çapında ortalama 6 mm uzunluğunda kırılmış cam elyaf ve Sovitec firmasından temin edilen Microperl 1050-20-215 ticari kodlu cam bilya katkı malzemeleri olarak kullanılmıştır. Cam bilya, cam elyaf ve EPDM katkılı PA6 hibrit kompozitlerin üretiminde NR-II-75 tip (Vida çapı: 75, L/D:32) ikiz vidalı ekstrüzyon prosesi ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılmıştır. Ekstrüzyon prosesinde besleme hunisi ile ekstrüzyon kalıbı

arasındaki sıcaklık dağılımı 180°C-250°C olarak belirlenmiştir. Ekstrude edilen CB/CE/EPDM/PA6 polimer granüller 80°C’de etüvde 4 saat kurutulduktan sonra enjeksiyon kalıplama yöntemi ile çekme, darbe ve eğme numuneleri basılmıştır (Bakınız Şekil 1). Enjeksiyon kalıplama yönteminde besleme hunisi ve kalıp arasındaki sıcaklık dağılımı 220°C-245°C arasında seçilmiştir. Tablo 1’de çalışmada kullanılan malzemeler, kısaltmaları ve üretim şartları verilmiştir. Çekme testleri ASTM D638 standardına uygun olarak Zwick Roell Z-020 makinesinde, oda sıcaklığında, %50 nem şartlarında ve 5 mm/dakika çekme hızında yapılmıştır. Darbe deneyleri ASTM D256 standardına uygun olarak Zwick B5113 darbe makinesinde yapılmıştır. Eğme testleri ise ASTM D790 standardına uygun olarak Zwick Roell Z-020 makinesinde yapılmıştır.



Şekil 1. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen çekme, darbe/eğme numuneleri

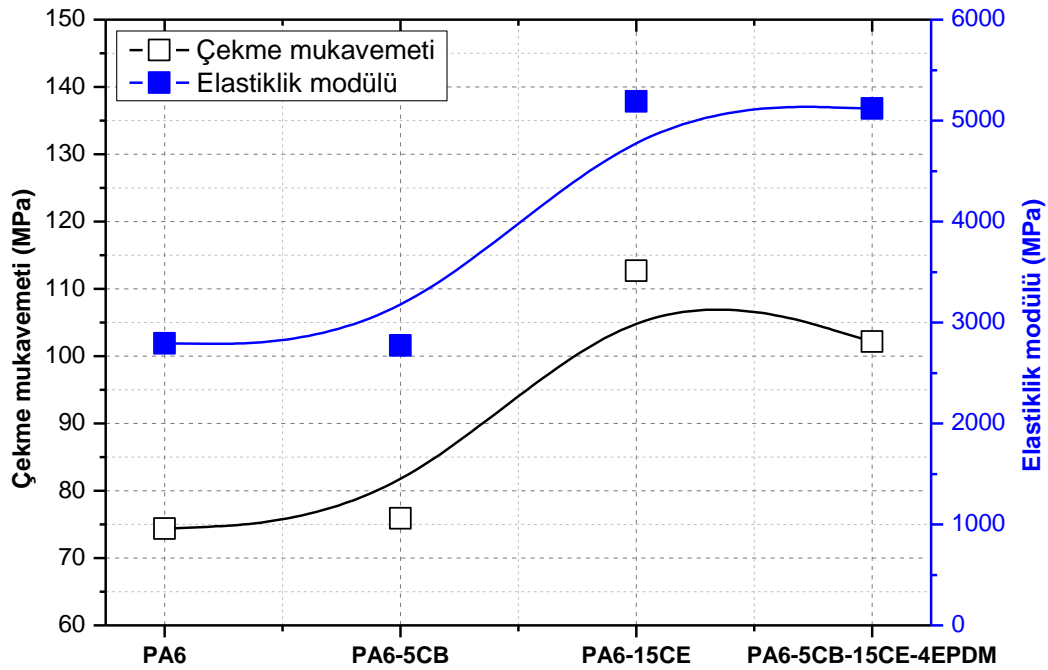
Tablo 1. CB, CE, EPDM katkılı PA-6 kompozitlerin kompozisyonları ve üretim şartları.

Sıra No	PA6	Cam elyaf	Cam Bilya	EPDM elastomer	Kısaltma	Üretim şartları
1	100	-	-	-	PA6	*İkiz vidalı ekstruder ısıtıcı sıcaklık aralığı): 180-250 °C
2	95	-	5	-	PA6-5CB	*Enjeksiyon ısıtıcı sıcaklık aralığı: 220-245 °C
3	85	15	-	-	PA6-15CE	
4	76	15	5	4	PA6-5CB-15CE-4EPDM	

3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 2’de PA6 polimeri, PA6-5CB, PA6-15CE ve PA6-5CB-15CE-4EPDM kompozitlerinin çekme mukavemeti ve çekmedeki elastiklik modülü değişimleri verilmiştir. PA6 polimerinin 74.36MPa olan çekme mukavemeti %5 oranında cam bilya ilavesi ile çok az artarak 75.89MPa değerine ulaşmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %15 oranındaki cam elyaf ise kompozitin çekme mukavemetini %51.5 oranında artırmış ve çekme mukavemeti 112.69 MPa değerine ulaşmıştır. PA6-5CB-15CE hibrit kompozitine ilave edilen %4 oranındaki EPDM ise çekme mukavemetinin %10.3 oranında azalmasına sebep olmuştur. Elastiklik modülü değerleri incelendiğinde ise PA6 polimerine ilave edilen %5 oranındaki cam bilya elastiklik modülünü etkilemezken %15 oranında ilave edilen cam elyaf elastiklik modülünü %85.8 oranında artırmıştır. PA6-5CB-15CE hibrit

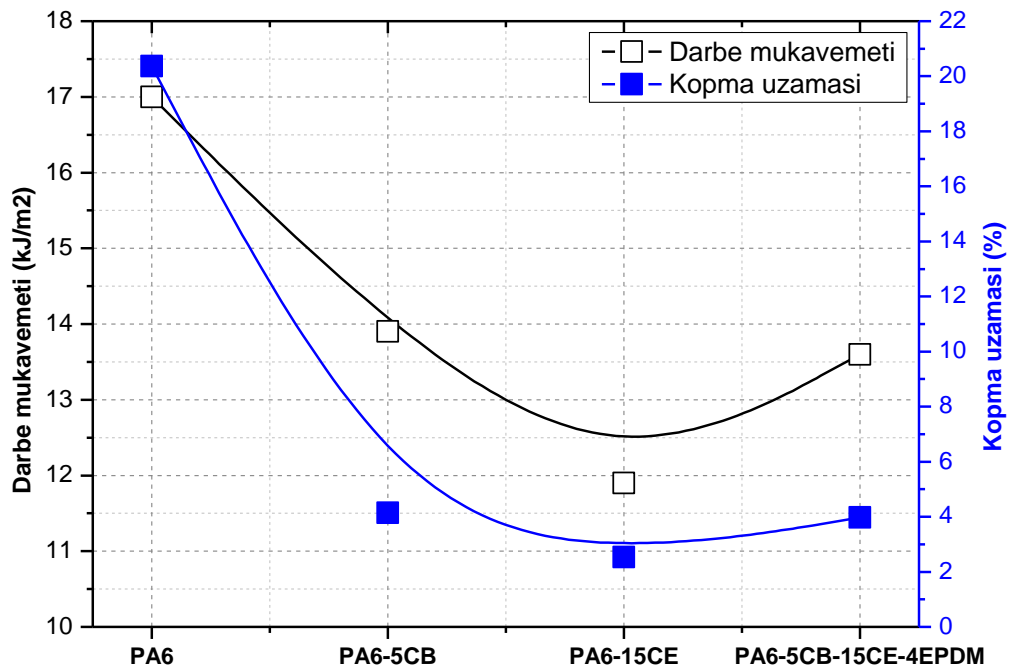
kompozitine ilave edilen %4 oranındaki EPDM ise 5188MPa olan elastiklik modülü değerini değiştirmemiş ve 5120MPa olarak elde edilmiştir. Liang ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmada da cam elyafın kompozitin dayanımının artmasında önemli bir rol oynadığı, elyafın PA6 polimerinden çok daha sert/mukavemetli olduğu ve elyaf ile matris arasında iyi bir arayüzey oluşumunun yük uygulandığında etkili bir gerilim transferine sebep olarak mekanik özellikleri artırdığı belirtilmiştir. Liang (2005) yaptığı bir diğer çalışmada ise artan cam bilya miktarı ile polimer matris ile katkı arasındaki iyi veya kuvvetli bağlanmanın kompozitin çekme mukavemeti değerlerini de iyileştirdiğini belirtmiştir.



Şekil 2. PA6 polimeri, PA6-5CB, PA6-15CE ve PA6-5CB-15CE-4EPDM kompozitlerinin çekme mukavemeti ve çekmedeki elastiklik modülü değişimi

Şekil 3'te PA6 polimeri, PA6-5CB, PA6-15CE ve PA6-5CB-15CE-4EPDM kompozitlerinin izod darbe mukavemeti ve kopmadaki % uzama değişimleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PA6 polimerine ilave edilen cam bilya ve cam elyaf gibi katkıları izod darbe mukavemetini ve kopmadaki % uzama miktarlarını azaltmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %5 oranındaki cam bilya darbe mukavemetini ve kopmadaki % uzama miktarını sırasıyla %22.3 ve %391.7 oranlarında azaltmıştır. Benzer şekilde PA6 polimerine ilave edilen %15 oranındaki cam elyaf ise darbe mukavemetini ve kopmadaki % uzama miktarını sırasıyla %42.8 ve %701.5 oranlarında azaltmıştır. Beklenildiği gibi PA6-5CB-15CE hibrit kompozitine ilave edilen %4 oranındaki EPDM ise darbe mukavemetini %14.2 oranında, kopmadaki % uzama miktarını ise %56.2 oranında artırmıştır. Cam elyaf ve cam bilya ilavesi ile darbe dayanımındaki bu azalma, polimer deformasyonunun sınırlandırılması, polimer zincirlerinin hareketinin kısıtlanması ve dolayısıyla malzemenin daha gevrek hale gelmesinden

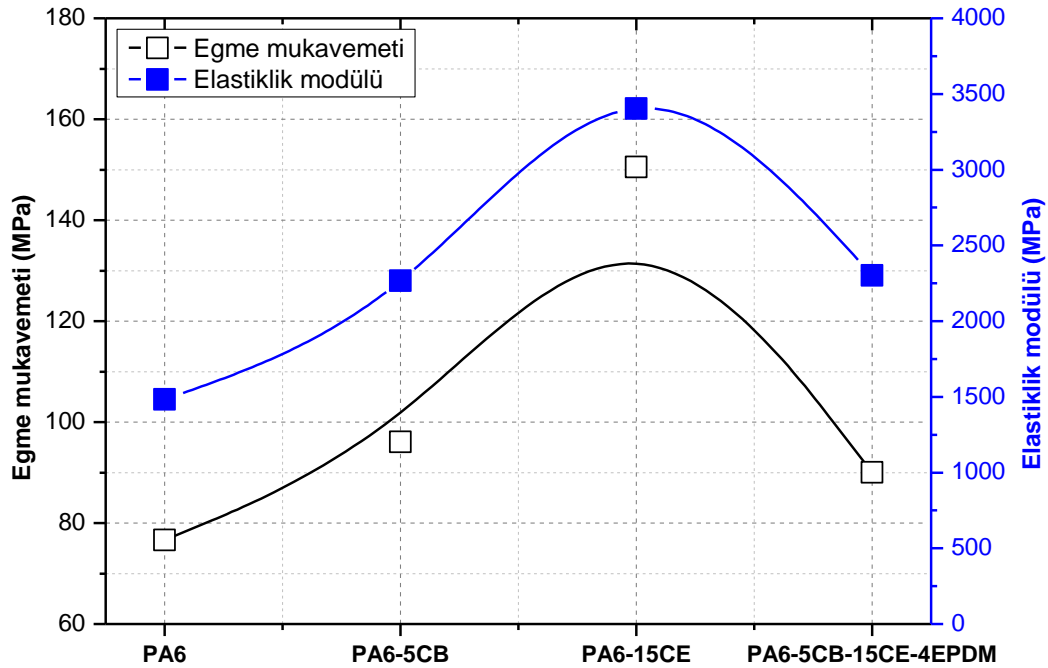
kaynaklanmaktadır. Polimer yapısı içerisindeki partiküllerin bir araya toplanması, gerilim alanları oluşturmakta ve bu partiküller mikroçatlak başlatıcı gibi davranmaktadır. Uygulanan kuvvet nedeniyle çatlak oluştuğunda, çatlak zayıf arayüzey bölgelerine doğru yayılmaktadır (Mareri ve ark., 1999). Unal (2004) tarafından yapılan çalışmada da kopmadaki % uzamanın azalmasının sebebinin katkıların makromoleküler zincir hareketliliğini engellemesi ile polimer kompozitin kırılma mukavemeti artırması olarak açıklanmıştır. Bilindiği gibi, elastomer esaslı parçacıkların polimer içerisine dahil edilmesi, matrisin darbe direncini büyük ölçüde geliştirmektedir. Artan darbe mukavemeti, hibrit sisteme ilave edilen elastomer miktarına bağlı olduğu gibi elastomer fazın polimer hibrit sistemi içerisindeki dağılımına da bağlıdır. Elastomer fazın partikül şeklindeki katkıyı sararak, partikül-polimer arayüzeyinde gerilim konsantrasyonunu azaltması darbe dayanımının artmasına sebep olmaktadır (Kristiina and Craig, 1998).



Şekil 3. PA6 polimeri, PA6-5CB, PA6-15CE ve PA6-5CB-15CE-4EPDM kompozitlerinin izod darbe mukavemeti ve kopmadaki % uzama değişimi

Şekil 4'te PA6 polimeri, PA6-5CB, PA6-15CE ve PA6-5CB-15CE-4EPDM kompozitlerinin eğme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değişimleri verilmiştir. PA6 polimerinin 76.62MPa ve 1483MPa olan eğme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerleri %5 cam bilya ilavesi ile %25.3 ve %52.8 oranlarında artarak 96.0MPa ve 2266.9MPa değerlerine ulaşmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %15 oranındaki cam elyaf ise kompozitin eğme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerini %96.4 ve %129.5 oranlarında artırmıştır. Polimere ilave edilen rijit ve kuvvetli katkıları gerilim transferinde polimer matrise yardımcı olurlar ve aynı zamanda katkı miktarının artması elastiklik modülü değerlerinin de artmasına sebep olmaktadır

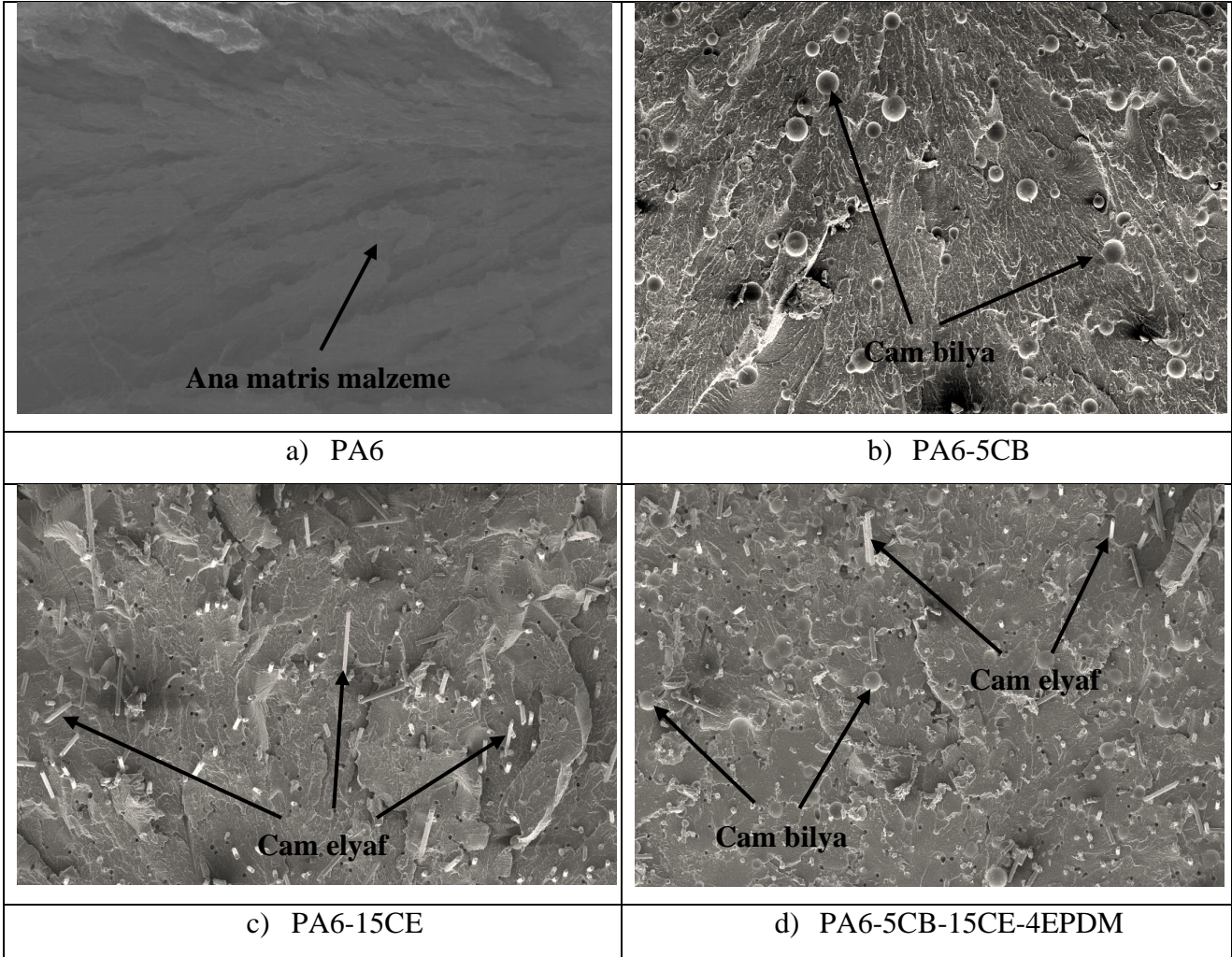
(Alghamdi, 2019; Tomar ve ark., 2010). Bilindiği gibi, polimer matrise ilave edilen farklı morfolojik yapıdaki rijit katkılar polimer matrisin deforme edilebilirliğini sınırlamakta ve polimer zincir hareketliliği azalmaktadır. Bu durum, gerilim transferini etkilemekte ve polimerin sertliği ve rijitliği (elastiklik modülü) artmaktadır (Altay ve ark., 2012; Deshmukh ve ark., 2011). PA6-5CB-15CE hibrit kompozitine ilave edilen %4 oranındaki EPDM ise eğme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerini sırasıyla %67.1 ve %47.8 oranlarında azaltmıştır. Bunun sebebi ise EPDM elastomerinin rijitliğinin (4MPa) oldukça düşük olmasıdır (Qiu ve ark., 2010).



Şekil 4. PA6 polimeri, PA6-5CB, PA6-15CE ve PA6-5CB-15CE-4EPDM kompozitlerinin eğme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değişimi

Katkısız poliamit 6 polimeri ile PA6-5CB, PA6-15CE kompozitleri ve PA6-5CB-15CE-4EPDM hibrit kompozitin çekme deneyi sonrasında elde edilen kırık yüzey görüntüleri taramalı elektron mikroskobu kullanılarak alınmış ve Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5a, saf poliamit 6 polimerinin kırık yüzey görüntüsü olup sünek bir görüntü sergilemektedir. Şekil 5b ise %5 cam bilya katkılı poliamit 6 kompozitini göstermekte olup cam bilyaların yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı ve PA6 polimerinin sünekliliğinin hala sürdüğü görülmektedir (Şekil 2). Şekil 5c ise %15 cam elyaf takviyeli poliamit 6 kompozitin kırık yüzeyini göstermekte olup cam elyafların da polimer bünyesinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. %15 oranında cam elyaf ilavesi kompozitin gevreklettiği ve kırık yüzeyinin düzgün olarak kırıldığı gözlenmiştir. Şekil 5d ise %5 cam bilya ile %15 cam elyaf takviyeli ve %4 EPDM elastomeri katkılı poliamit 6 hibrit kompozitin kırık yüzey görüntüsü verilmiş olup yüzeyde hem cam bilyaların hem de cam elyafların homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Yüzeyin düzgün kırıldığı, cam elyaf ve cam bilya katkılarının kompoziti

gevrekleştirdiği görülmektedir. %4 oranında EPDM elastomeri ise hibrit kompozitin tokluğunu yeterli derecede artırmadığı görülmektedir. %15 oranında cam elyaf ilavesinin ise kompoziti gevrekleştirdiği ve kırık yüzeyinin düzgün olarak kırıldığı gözlenmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3).



Şekil 5. a) Katkısız poliamit 6 polimeri ile b)PA6-5CB kompoziti, c) PA6-15CE kompoziti ve d) PA6-5CB-15CE-4EPDM hibrit kompozitinin çekme testi sonrasında elde edilen kırık yüzey görüntüleri

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama yöntemleri kullanılarak üretilen %5 cam bilya, %15 cam elyaf ve %4 EPDM, %5 cam bilya ve %15 cam elyaf katkılı PA6 hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

PA6 polimerine ilave edilen %5 oranında cam bilya kompozitin çekme mukavemetini yaklaşık %2 oranında artırırken elastiklik modülünü etkilememiştir. PA6 polimerine ilave edilen %15 oranındaki cam elyaf ise çekme mukavemetini %51.5 oranında, elastiklik modülünü ise %85.8

oranında artırmıştır. PA6 polimerinin eğme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerleri %5 cam bilya ilavesi ile %25.3 ve %52.8 oranlarında artmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %15 oranındaki cam elyaf ise eğme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerini %96.4 ve %129.5 oranlarında artırmıştır. PA6-5CB-15CE kompozitine ilave edilen %4 oranındaki EPDM elastomeri kompozitin çekme dayanımını %10.3 oranında azaltırken elastiklik modülü ise hafif bir şekilde azalmıştır. Eğme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerleri ise sırasıyla %67.1 ve %47.8 oranlarında azalmıştır. PA6-5CB-15CE kompozitine ilave edilen EPDM elastomeri darbe mukavemetini %14.2 oranında, kopmadaki % uzama miktarını ise %56.2 oranında artırmıştır. Deneyde kullanılan PA6-5CB-15CE polimer kompozitinin mekanik sonuçları göz önüne alındığında ilave edilen EPDM elastomer oranının %6 veya %8'e çıkarılarak kompozit darbe dayanımının arzu edilen değere ulaşması ve optimum mekanik sonuçların elde edilmesi açısından önemlidir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Alghamdi, M. (2019). Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)/Mica composites: preparation and characterization. *Minia Journal of Engineering & Technology (MJET)*, 38(1), 244-255.
- Altay, L., Sarikanat, M., Saglam, M., Uysalman, T., and Seki, Y. (2021). The effect of various mineral fillers on thermal, mechanical, and rheological properties of polypropylene. *The journal of Research on Engineering Structures and Materials (RESM)*, 7(3), 361-373.
- Deshmukh, S.P., Rao, A.C., and Gava, V.R. (2011). Mica-filled PVC composites: Effect of particle size, filler concentration, and surface treatment of the filler, on mechanical and electrical properties of the composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 24, 583-599.
- Gupta, A. K., Srinivasan, K. R., and Krishna Kumar, P. (1991). Glass fiber reinforced Polypropylene/ EPDM blends: II. Mechanical properties and morphology. *Journal of Applied Polymer Science*, 43, 451-462.
- Han, K., Zheng-Jun, L., and Mu-Huo, Y. (2005). Preparation and mechanical properties of long glass fiber reinforced PA6 composites prepared by a novel process. *Macromolecular Materials and Engineering*, 290, 688-694.

- Hashemi, S. (2008). Effect of temperature on tensile properties of injection moulded short glass fibre and glass bead filled ABS hybrids. *eXPRESS Polymer Letters*, 2(7), 474–484.
- Huang, L., Yuan, Q., Jiang, W., An, L., Jiang, S., and Li, R. K. Y. (2004). Mechanical and thermal properties of glass bead-filled nylon-6. *Journal of Applied Polymer Science*, 94, 1885-1890.
- Kovacs, J.G., and Solymosy, B. (2009). Effect of glass bead content and diameter on shrinkage and warpage of injection-molded PA6. *Polymer Engineering and Science*, 49(11), 2218-2224.
- Kristiina, O., and Craig, C. (1998). Mechanical properties polypropylene-wood and morphology of impact modified flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 67, 1503-1513.
- Kuram, E. (2021). Synergistic effect of glass bead and glass fiber on the crystalline structure, thermal stability, and mechanical, rheological, and morphological properties of polyamide 6 composites. *Journal of Composite Materials*, 1-13.
- Liang, J.Z. (2005). Tensile and flexural properties of hollow glass bead-filled ABS composites. *Journal of Elastomers and Plastics*, 37, 361-370.
- Liang, J.Z., and Li, R.K.Y. (1998). Mechanical properties and morphology of glass bead-filled polypropylene composites. *Polymer Composites*, 19(6), 698-703.
- Liang, J., Yuqiang, X., Zhiyong, W., Ping, S., Guangyi, C., and Wanxi, Z. (2014). Mechanical properties, crystallization and melting behaviors of carbon fiber-reinforced PA6 composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115, 209-218.
- Mareri, P., Bastide, S., Binda, N., and Crespy, A. (1998). Mechanical behaviour of polypropylene composites containing fine mineral filler: effect of filler surface treatment. *Composites Science and Technology*, 58, 747-752.
- Nuruzzaman, D.M., Iqbal Asif, A.K.M., Oumer, A.N., Ismail, N.M., and Basri, S. (2016). Experimental investigation on the mechanical properties of glass fiber reinforced nylon. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 114, 012118.
- O'Connor, H. J., and Dowling, D. P. (2020). Comparison between the properties of polyamide 12 and glass bead filled polyamide 12 using the multi jet fusion printing process. *Additive Manufacturing*, 31, 100961.
- Qiu M., Xuming S., Patricia C.T., Xinmin L., and Zhongqm L. (2010). Mechanical properties of thermoplastic olefin composites: Effect of fillers content, strain rate and temperature. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 49, 121-127.
- Ranganathan, S., Rangasamy Suguna Thangaraj, H.N., Vasudevan, A.K., and Shanmugan, D.K. (2019). Analogy of thermal properties of polyamide 6 reinforced with glass fiber and glass beads through FDM Process. *SAE Technical Paper*, 2019-28-0137.
- Tomar, N., and Maiti, S.N. (2010). Mechanical properties of mica-filled PBT/ABS composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 117, 672-681.
- Unal, H. (2004). Morphology and mechanical properties of composites based on polyamide 6 and mineral additives. *Materials and Design*, 25, 483-487.
- Zaldua, N., Jon, M., Amaia de la, C., Sonia, G.A., Cristina, E., Isabel, H., Agnieszka T., and Alejandro, J.M. (2019). Nucleation and Crystallization of PA6 Composites Prepared by T-RTM: Effects of Carbon and Glass Fiber Loading. *Polymers*, 11, 1680.