



Alümina-Grafen Hibrit Dolgu Karışımlarının, Polipropilen Matriksin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of The Effect of Alumina-Graphene Hybrid Filler Mixtures on The Mechanical Properties of Polypropylene Matrix

Nusret Kaya^{1*}, **Hakan Bilgili¹**, **Mustafa Can²**

¹ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, TÜRKİYE

² İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: nnusrettersunn@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 02.11.2018

DOI:10.21205/deufmd.2019216316

Kabul Tarihi / Accepted: 01.02.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/ How to cite: KAYA, N., BİLGİLİ, H., CAN, M. (2019). Alümina-Grafen Hibrit Dolgu Karışımlarının, Polipropilen Matriksin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. DEUFMD, 21(63), 869-877.

Özet

Polimer tabanlı kompozit malzemelerin yüksek dolgu oranlarındaki mekanik dayanımlarında meydana gelen belirgin kayıpların, karbon tabanlı bileşenlerin matrise ilavesi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi günümüzde çalışılan konulardandır. Bu çalışmanın amacı, polipropilen (PP) matrise %40 ağırlıkça ilave edilen 20 mikron altı alüminyum oksit (Al_2O_3) parçacıklarının yarattığı mekanik etkilerin iyileştirilmesi için eklenen dolgu kompozisyonuna, %1, %3, %5 ve %7 oranında eklenen grafen nano plaklarının mekanik cevaplarını araştırmaktır. Yüksek hızlı termo-kinetik mikser de karıştırılarak elde edilen hibrit kompozitler, evrensel mekanik test cihazı ile çekme ve 3 nokta eğme testleri yapılarak mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çekme numunelerinin kopma noktalarından alınan örnekler taramalı elektron mikroskobu altında incelenerek, alümina ve grafen parçacıklarının dağılımı gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, grafen parçacıkları ilave edilen PP tabanlı kompozitlerin çekme dayanımlarında %12 ve eğilme dayanımlarının %20 in üstün de bir iyileşme sağladığı görülmüştür. Grafen parçacıklarının PP içinde dağılımlarının homojen ve düzenli olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, PP, Grafen, Alümina.

Abstract

Improvement of mechanical properties of polymer based composite materials with high fill ratio and mechanical properties is the main reason for the improvement of mechanical properties by addition of carbon based compounds to matrix. The aim of this study was to investigate the mechanical response of the graphene nanoparticles added at 1%, 3%, 5% and 7% to the added filler composition to improve the mechanical effects of the 20 micron aluminum oxide (Al_2O_3) particles added to the polypropylene (PP) matrix by 40% by weight. Hybrid composites were obtained by mixing in high speed thermo-kinetic mixer, tensile and 3 point bending tests were performed with universal mechanical test machine and their mechanical properties were investigated. The samples taken from the rupture points of the tensile specimens were examined under scanning electron microscope (SEM) and the distribution of alumina and graphene particles was observed. According to data, it was seen that tensile strength of composites were increased nearly 12% and flexural strength increased almost 20% with the graphene particles addition in to the PP matrix. The distribution of graphene particles in PP was homogenous and regular.

Keywords: Composite, PP, Graphene, Alumina

1. Giriş

Kompozitlerin dünya genelinde birçok alanda kullanımının yaygınlaşması ile birlikte kompozitlerin temel matris malzemelerinden biri olan polimerlere olan ihtiyaç son elli yılda belirgin bir artış göstermiştir [1; 2; 3; 4]. Polimerlerin temel özelliklerini kompozite aktarmaları, hafif, dayanıklı ve kolay şekillendirilebilmeleri nedeni ile gelecekte de bu ana malzeme kalemine olan talepte artma olması beklenmektedir. Sentetik polimerlerin genel ham maddesi olan petrolün dünyadaki rezervlerinin sınırlı olması, bu malzeme kaynağının geleceğini belirsiz kaldığı için ileriye dönük sınırlı ve pahalı olabilecek bu ürünün daha verimli kullanılması önemlidir [5; 6].

Polimerlerin içlerine ilave edilen organik veya anorganik dolgularla, ürün maliyetleri düşürülebilmektedir [7; 8]. Ürünün kullanım alanına göre gerekli olan, mukavemet, ısı dayanımı, uzun ömür, vb. gibi özelliklerin kazandırılması da bu dolgu malzemeleri ile sağlanır [9; 10]. Dolgu malzemeleri polimere ilave edildiğinde her daim istenen mukavemet özelliklerini sağlamak pek mümkün olmamaktadır. Çoğu zaman polimere ilave edilen dolgu miktarı arttıkça, son ürünün mekanik dayanımının azaldığı birçok çalışmada ortaya konulmuştur [11; 12; 13].

Yapısal olarak polimerlerin mekanik özelliklerine etki eden birçok kimyasal parametre mevcuttur. Polimer zincirlerinin uzunluğu, dallanması, çapraz bağ yoğunluğu, moleküler yapısı ve üretim metodu mekanik özellikler üzerine en baskın olan parametrelerden sadece bir kaçıdır [14; 15; 16; 17]. Polimere dışardan ilave edilen dolgunun kimyasal yapısının polimer zincirleri ile uyumlu olması, polimere uygulanan mekanik yükün bir kısmının dolgu malzemesi tarafından alınarak kompozitin dayanımının artması sağlanır. Polimer matris ile dolgunun moleküler polaritelerinin birbirine yakın olması ile polimer zincirlerin dolgu malzemesi ile uyum halinde oldukları dinamik bir yapı oluşturur [17; 18]. Aksi durumda iki malzemenin polaritelerindeki fark, birbirlerini itmelerine ve polimere uygulanan yükün dolgu malzemesine aktarılamamasına neden olur. Yükün transferindeki bu yüzey yükü problemi, kompozitin mekanik dayanımını zayıflatır [19].

Dolgu malzemelerinin parçacık büyüklüğünün polimer matris içindeki mekanik dinamiklere doğrudan etkisi, birçok çalışma ile kanıtlanmıştır [13; 20; 21; 22]. Parçacık boyutunun artması, dolgu malzemesinin aktif yüzeyinin azalmasına, bununla beraber polimerin dolgu parçacıkları ile olan yüzeysel etkileşiminin azalmasına, sonuç olarak mekanik özelliklerin de zayıflamasına yol açar. Dolgu malzemelerinde mikron altı parçacık (nano) boyutlarına inildiğinde malzemenin aktif yüzeyinin arttığı ve polimer zincirleri ile daha iyi etkileştiği gözlemlenmiştir [23; 24].

Literatürde aynı tür fakat farklı parçacık boyutlarındaki dolgu karışımları ile kompozit malzemeler üretilerek mekanik karakterleri incelenmiştir [25; 26; 27]. Ancak farklı kaynaklardan sağlanmış dolgu malzemesi türleri ile yapılmış polimerik kompozit malzeme çalışmaları sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışmada seramik ve karbon tabanlı malzemelerin farklı kaynaklardan sağlanmış türleri ile polimerik kompozitler üretilerek mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Ağırlıkça %40 oranında seramik parçacıkları ile PP matrisi, yüksek hızlı termo-kinetik mikser de karıştırılarak saf PP matrise göre mekanik farklılık araştırılmıştır. Mekanik kaybın geri kazanılmasında, dolgu karışımına sırası ile ağırlıkça %1, %3, %5 ve %7 oranlarında grafen nano plaklarının eklenerek, kompozitler için standart yapılan mekanik testleri uygulanmıştır. Grafen nano plakları eklenirken matris içindeki dolgu oranı sabit tutulmuştur.

PP matrise katılan alümina ve grafen parçacıklarının matrisle olan uyumu taramalı elektron mikroskobu ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. PP matris içine ilave edilen alümina ve grafen parçacıklarının polaritelerinin birbirlerinden farklı olması bu tür kompozitlerde farklı etkiler yarattığı için çalışma bu açıdan literatüre yenilik getirmeyi hedeflemektedir.

2. Materyal ve Metot

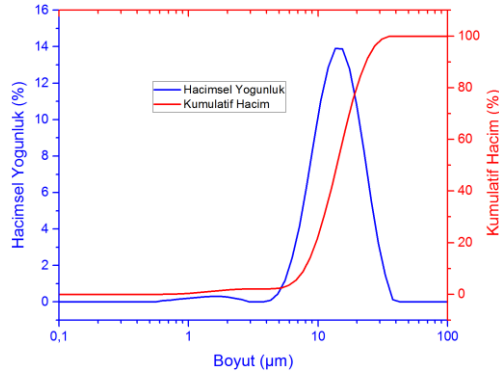
2.1. Kullanılan Kimyasallar

2.1.1. Polipropilen (PP)

PP, PETKİM Petrokimya firmasından temin edildi. Kompozitlerin matris malzemesi olarak PP MH418 kullanıldı. PP MH418 özellikleri; erime akış hızı ASTM D1238 e göre 4,0-4,6, gerilme mukavemeti ASTM D638 e göre 430 kg/cm² dir. PP pelet olarak temin edilmiştir.

2.1.2. Alüminyumoksit (Alümina, Al₂O₃)

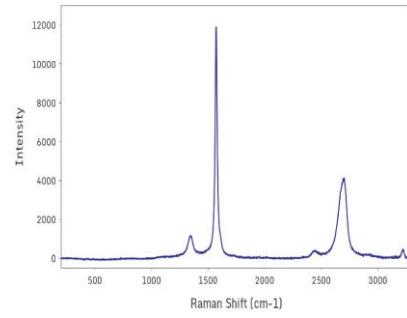
Alümina parçacıklarının D₅₀ değeri 20 mikron altı olarak Morgan Technical Ceramics firmasından temin edilmiştir. Alümina parçacıklarının saflık derecesi %99,9 ve görünümü beyazdır. Parçacıkların boyut analizleri Malvern marka Mastersizer 3000 model cihazın, 4 bar basınç altında çalışan hava dağıtıcılı ekipmanı kullanılarak yapılmıştır. Analiz 5 kez tekrarlanmış ve bu sonuçların ortalaması hesaplanarak ortalama sonuç elde edilmiştir. Testin RSD değeri %0,12 dir. Kümülatif dağılım ve hacimsel yoğunluk dağılımı aşağıdaki parçacık dağılım grafiğinde verilmiştir. Buna göre alümina parçacıklarının D₅₀ değeri 14 mikron ve D₉₀ değerinin ise 20 mikron olduğu görülmüştür.



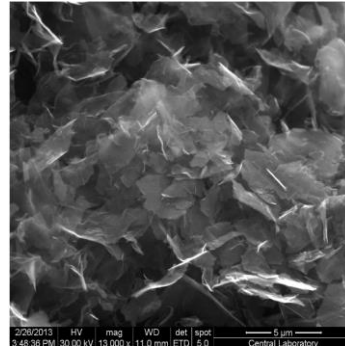
Şekil 1. Alümina parçacık büyüklüğü dağılımı

2.2.3. Grafen

Grafen, GRAFEN Future Engineering firmasından temin edilmiştir. Model numarası GRAFEN®-iGP2 (endüstride genel uygulamalar için grafen nano plak) ve kalınlığı 5-10 nm genişliği ise 5.0 -10.0 mikrondur. Saflık derecesi %99,9'dur. Konfokal Raman mikroskobu ile çekilen raman spektrumu Şekilde verilmiştir. Elde edilen spektruma göre ID/IG oranı 0,08'dir. Bu grafen türü kopolit uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir üründür. Grafen nano plaklarının taramalı elektron mikroskobu görüntüsü üretici firma tarafından sağlanmıştır.



Şekil 2. Grafen nano plakların 532 nm dalga boylu lazer ile yapılan Raman analizi spektrumu



Şekil 3. Grafen nano plakların taramalı elektron mikroskobu altındaki 13.000X büyütülmüş görüntüsü.

2.2. Kompozit Üretimi

Yüksek hızlı termo-kinetik karıştırıcı genellikle düşük erime sıcaklığı polimerlerinden kompozit prototip malzemeler hazırlamak için kullanılır [28; 29; 30]. Bu tip karıştırıcı, polimerlerin karıştırıcının cidarları ile sürtünme sağlaması için yüksek hızda çalıştırılır. Eklenen dolgu malzemeleri ile polimer bu mikser içinde iyice karıştırılır [31; 32]. Elde edilen kompozit karışımları, çeşitli testler için test numunelerinin hazırlanmasını sağlamak üzere istenen şekilde soğutulur. Uygulaması basit ve hızlıdır, bu yüzden plastik endüstrisinde ön testlerde yaygın olarak kullanılır. Bu üretim tekniği, ekstrüzyon için alternatif bir üretim yöntemi değildir [32]. Bununla birlikte, birçok üreticinin yeni ürün üretim aşamasında gerekli test ürünleri ile ilgili bilgiler verir. Atık oluşumunun ekstrüderden daha az olması diğer bir tercih nedenidir. Kullanılacak olan polimerin tipine ve erime özelliklerine bağlı olarak, çoğunlukla karıştırma haznesi olmak üzere birçok parça arzu edildiği gibi değiştirilebilir veya düzenlenebilir. Motordan gelen güç, bıçaklar yardımıyla doğrudan malzemeye aktarılır.

Gülmar marka yüksek hızlı termo-kinetik mikser bu çalışmada kullanılmıştır. Motor hızı 2.000 rpm ve mikser bölmesinin toplam hacmi 150 ml dir. Kompozitlerin üretilmesi için, mikser toplam kompozit miktarı 70 g olacak şekilde malzeme yüklenmiştir. Tüm numuneler, yüksek hızlı termo-kinetik karıştırıcı odacığına eklenmeden önce dolgu maddesi parçacıklarının ve PP'nin neminin uzaklaştırılması için 80 °C'de 2 saat kurutulmuştur. Tablo 1'de verilen kompozitlerin reçeteleri, laboratuvar tipi yüksek hızlı termo-kinetik mikser kullanılarak üretilmiştir.

Tablo 1. PP tabanlı kompozitlerin reçeteleri ağırlıkça oranları.

Kompozit	PP	Alümina	Grafen
PP	100	-	-
AO-PP	60.0	40.0	-
AOG1-PP	60.0	39.6	0.4
AOG3-PP	60.0	38.8	1.2
AOG5-PP	60.0	38.0	2.0
AOG7-PP	60.0	37.2	2.8

Kompozit plaklar, sıcak preste 180 °C sıcaklıkta 180 s, her 60 s basınç 40 psi arttırılarak en son 120 psi basınç altında preslendi, daha sonra 180 °C'den 20 °C'de soğutmak için soğuk preste 120 psi basınç altında kompozit plaklar soğutulur. Üretilen kompozit plaklar, mekanik analiz için ASTM D 646 ya göre güçlendirilmiş çelik kalıpla kesilerek hazırlanmıştır [33]. 3 nokta eğme testi için ise malzeme boyutu a=60 mm, b=15 mm ve c=1.8 mm olacak şekilde güçlendirilmiş çelik kalıp ile kesilerek hazırlanmıştır.

2.3. Analizler

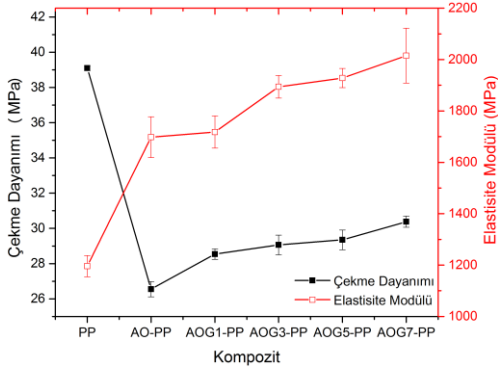
Kompozitlere uygulanan mekanik testler için ASTM D 638 e uygun numuneler hazırlanmıştır. Çekme ve eğme testi için SHIMADZU marka, AGXN 5KN model evrensel mekanik test cihazı kullanılmıştır. Test için çekme hızı 50 mm/dakika olarak belirlenmiştir. Eğme testi ise 5 mm/dakika hız ile gerçekleştirilmiştir. Her kompozitten beşer adet çekme ve eğme numunesi test edilmiş, standart sapmaları ortalama sonuçla beraber verilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu analizi, Carl Zeiss marka VP300 model cihaz kullanılarak yapılmıştır. Cihazda elektronlar 2.0 kV gerilim altında hızlandırılmış ve görüntüler ikincil elektron detektörü ile gerçekleştirilmiştir. Tüm kompozitlerin kopma noktalarından alınan kesitler analiz edilmeden önce, yüzey iletkenliğini artırmak için 5-10 nm kalınlığında altın atomları ile kaplanmıştır. Bu işlem için QUORUM marka Q150R model altın kaplama cihazı kullanılmıştır.

3. Bulgular

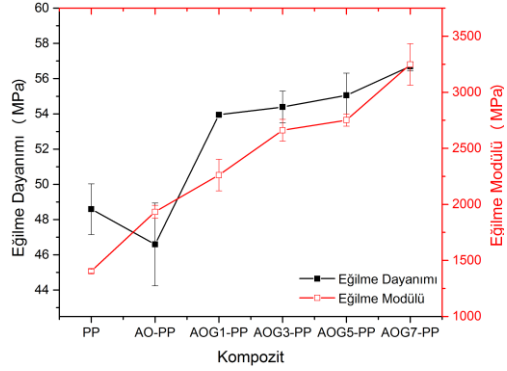
Şekil 4 de görüldüğü üzere PP matris içine ağırlıkça %40 oranında alümina parçacıkları eklenmesi sonucunda kompozit malzemenin çekme dayanımı ciddi şekilde düşüş göstermiştir. Bu düşüş matrisi oluşturan polimer zincirlerinin alümina parçacıkları ile olan zayıf etkileşiminin bir göstergesidir. Çekme dayanımında meydana gelen bu kayıp elastisite modülünde ise belirgin bir artış yaratmıştır. Alümina parçacıklarının yüksek modül değeri dolaylı olarak matrisi oluşturan PP polimerinin elastisite modülünde artışa neden olmuştur. Polimer içinde bulunan amorf yapıdaki alümina parçacıkları yük altında mekanik olarak polimer zincirlerinin oryantasyonunu engelleyerek polimerin yük çekebilme kapasitesini düşürmüştür.

Matrise eklenen dolgu malzemesi içine grafen nanoplakların eklenmesi ile çekme dayanımında artış gözlemlenmeye başlamıştır. Çekme dayanımındaki artış oranı grafen miktarı ile doğru orantılıdır. En yüksek çekme dayanımı AOG7-PP kompozitinde gözlemlenmiştir. AO-PP ile AOG1-PP kompoziti arasındaki çekme dayanımındaki farklılık 4 MPa iken AOG1-PP ile AOG7-PP arasındaki bu fark 2 MPa'dan biraz daha fazladır. Grafen eklenen dolgu malzemeleri ile hazırlanmış kompozitlerde elastisite modülünde de çekme dayanımı gibi artış gözlemlenmiştir. Elastisite modülündeki en yüksek artış AOG7-PP kompozitindedir fakat bu kompozitin çekme testi esnasında kendi içindeki varyasyonu diğer kompozit malzemelerden daha fazla olmuştur.



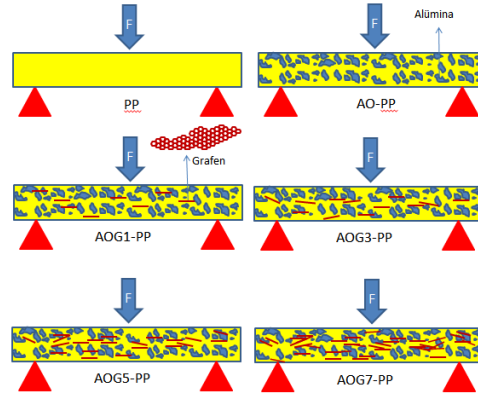
Şekil 4. Ham PP ve kompozitlerinin çekme testi sonuçları.

Kompozitler üzerinde yapılan bir diğer test ise sonuçları Şekil 5 de verilen eğilme dayanımıdır. AO-PP kompozitinin eğilme dayanımı tüm kompozitlerin altında kalmış ve test ortalamasının varyasyonu çok yüksek çıkmıştır. PP matris içine eklenen alümina parçacıkları, normal PP'ye göre eğilme dayanımını azaltmıştır.



Şekil 5. Ham PP ve kompozitlerin 3 nokta eğme testi sonuçları.

Dolgu malzemesine grafen nano plaklarının eklenmesi ile kompozitlerin eğilme dayanımı hızlı bir artış göstererek, AOG7-PP kompozitinde en yüksek seviyeye ulaşmıştır. AOG1-PP kompozitinin eğilme dayanımı AO-PP kompozitine göre yaklaşık 7 MPa artış göstermiştir. Bu artış oranı, AOG1-PP'den AOG7-PP kadar artış oranı olan 4 MPa'dan daha fazladır. Grafen miktarının dolgu oranı içinde artması eğilme dayanımına her ne kadar pozitif katkı sağlamış olsada, bu katkı AOG1-PP deki kadar olmamıştır. Eğilme dayanımındaki bu artış Şekil 6'da, içinde sadece üç boyutlu parçacıkların olduğu bir matris ile iki boyutlu parçacıkların ilave edildiği matris arasındaki farklılık ile görsel olarak ifade edilmiştir.



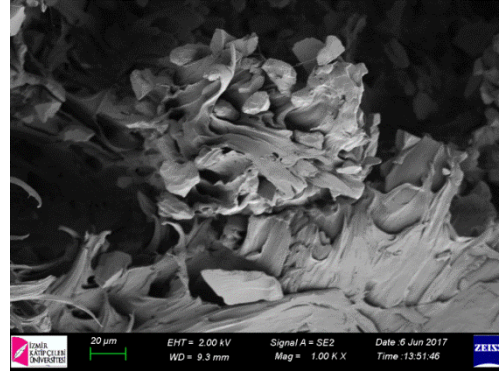
Şekil 6. Alümina ve grafen eklenmiş kompozitlerin uygulanan kuvvete karşı şekilsel yapısı.

Kompozitlerin eğilme elastik modülü doğrusal bir PP matrisine alümina ve grafen nano plakları eklenmesi ile doğrusal bir artış göstermiştir.

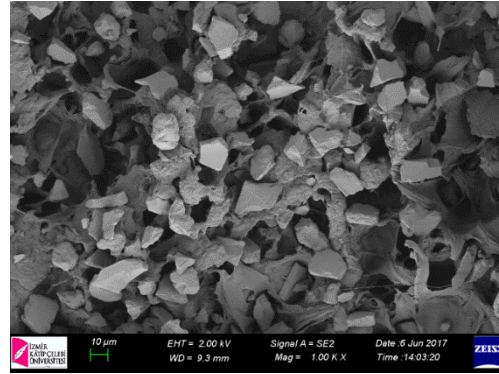
Ancak, dolgu malzemesine grafen ilavesi ile eğilme modülündeki artış çok daha fazla olmuştur. PP nin 1400 MPa civarı olan eğilme modülü, AO-PP de yaklaşık %43 civarında artarken bu oran AOG7-PP de %128 artmıştır. İki dolgu malzemesinin eğilme modülleri kıyaslandığında farkın grafenden kaynaklandığı daha iyi anlaşılır.

SEM analizi sonuçlarına göre, sadece alümina ilave edilmiş PP matriste, alümina parçacıklarının karışım içinde dağılımının iyi olduğu görülmüştür. Bir karışımı oluşturan malzemelerin polaritelerin birbirlerine yakın olması iki malzemenin etkileşiminin iyi olduğunu gösteren parametrelerin başında gelir [34]. Şekil 7'de verilen AO-PP resimlerde alümina yüzeyi ile PP nin vasat düzeyde örtüştüğü görülebilir. Alümina parçacıklarının şekillerinin belirli bir morfolojide olmadığı düzensiz konveks yüzey yapısına sahip olduğu görülmektedir. Polimer matrisin çekme kuvveti altında yönelimi düzensizdir, bu da polimer matris içindeki yük dağılımının yeterince homojen olmadığı anlamına gelebilir. Dolgu malzemesi içine grafen plaklarının eklenmesi ile matriste bir takım değişikliklerin meydana geldiği belirgin bir şekilde görülmektedir. Öncelikle grafen parçacıkları matrisin yük altında oryantasyonunu iyileştirmiştir. Özellikle bu farklılık AOG7-PP de belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Grafen plaklarının matrisle uyumunun alüminadan daha iyi olduğu ve karışımındaki parçacıkların dağılımının AO-PP ye göre daha iyi olduğu söylenebilir. Grafen nano plakların alümina parçacıklarına göre daha küçük olması 1000X'lik büyütme oranında gözlemlenmesini zorlaştırırsa da dolgu oranında %3 ilave edilmesi ile matris de gözlemlenmiştir. Polimer matrisin kuvvet altında uzarken grafen plakların kesit alanlarını kuvvet yönünde azaltarak matrisi desteklediği AOG5-PP ve AOG7-PP kompozitlerde belirgin olarak görülmektedir.

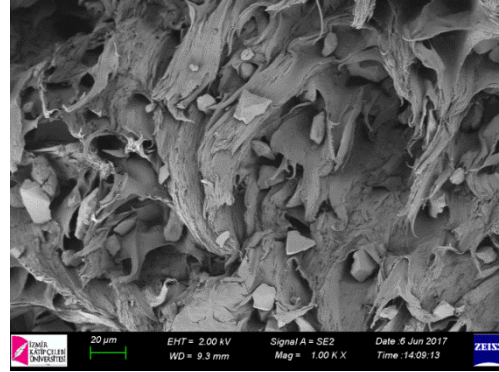
AO-PP

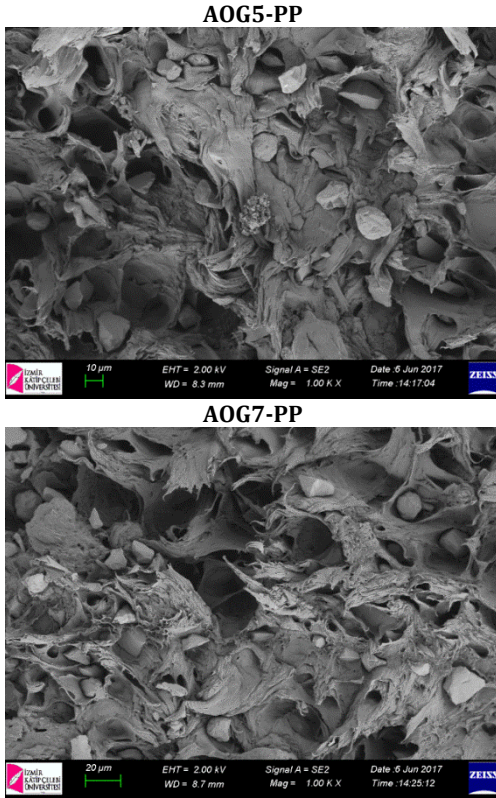


AOG1-PP



AOG3-PP





Şekil 7. Sırası ile AO-PP, AOG1-PP, AOG3-PP, AOG5-PP ve AOG7-PP kompozitlerin kopma yüzeyinden 100X büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.

4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışma ile nano boyuttaki karbon tabanlı parçacıkların yüksek oranda seramik dolgulu matrise katacağı mekanik etkiler incelenmiştir. Yapısal olarak grafen nano plaklarının düzlemsel olması ve kompozitlerin mikserden çıktıktan sonra preslenmesi esnasında yönelimlerini düzleme paralel yapmaları, kompozit yapısının dinamiğini içerden değiştirmiştir. Bu değişim mekanik olarak eğilme dayanımını iyileştirmiştir. Diğer taraftan grafen nano plaklarının yüzey alanının fazla olması ve yapısal olarak PP matris ile uyumu, gerilme dayanımını da belirgin bir şekilde iyileştirmiştir. Kompozitlerin kopma noktalarında yapılan SEM analizleri sonucunda karışımın homojen olduğu görülmüştür. Bunun dışında grafen nano plaklarının polimerin gerilme yönüne doğru oryante olduğu, bunun sonucunda da grafen nano parçacıklarının

matrisin gelen yükü alma noktasında pozitif yönde bir iyileşme sağladığı anlaşılmıştır.

Grafen nano plaklarının dolgu malzemesi kullanıldığı birçok çalışmada, elektriksel iletkenlik ölçümleri, araştırma konusu olarak incelenmiştir. Ancak polimer tabanlı kompozitlere katılan grafen nano plakların, kompozit malzemenin elektriksel iletkenliği ağırlıkça %7'nin üzerinde katılmaya başlandıktan sonra etkilemeye başladığı kanıtlanmıştır [29]. Bu çalışmada kullanılan en yüksek grafen nano plak oranının %2,8 olması nedeniyle üretilen kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerinin polimer matrisinkinden çok farklı olmayacağı anlaşılmaktadır.

Literatürde yapılan araştırmalarda, termo plastik polimerlerle seramik ve karbon tabanlı malzemelerin beraber kullanıldığı kompozitlerin, ısıl özelliklerinin veya mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmalara rastlanılmamıştır. Ancak termoset reçinelerde ağırlıkça %68 oranında alümina, %7 oranında grafen nano plakların ve %5 oranında magnezyum oksit parçacıklarının ilave edildiği kompozitlerin termal iletkenliğinin normal termoset reçineden 11 kat daha fazla olduğu görülmüştür [35].

Tüm çalışılan reçetelerden, ekonomiklik ve performans yönünden karşılaştırıldığında dolgu malzemesine oranca %1 grafen eklenmesinin kompozitin birçok mekanik özelliğinin iyileştirilmesi noktasında başarılı olabileceği kanıtlanmıştır. İleriki çalışmalarda aynı etkinin başka nano boyuttaki karbon tabanlı parçacıklar ile sağlanabileceği araştırılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmada yapılan mekanik testler için, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarı ekibine teşekkür ederim. Bunun yanı sıra, bu çalışmayı destekleyen İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğüne teşekkür ederim. Çalışmaya 2017-TDR-FB-0027nolu proje kapsamında finansal destek sağlayan İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürü borç bilirim.

Kaynakça

- [1] Rötting, O., Röpke, W., Becker, H., & Gärtner, C. (2002). Polymer microfabrication technologies. *Microsystem Technologies*, 8(1), 32-36. doi: 10.1007/s00542-002-0106-9
- [2] Mülhaupt, R. (2013). Green polymer chemistry and bio-based plastics: dreams and reality. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 214(2), 159-174.
- [3] Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. (2002). Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 10(1-2), 19-26.
- [4] Pukanszky, B. (1990). Influence of interface interaction on the ultimate tensile properties of polymer composites. *Composites*, 21(3), 255-262.
- [5] Owen, N. A., Inderwildi, O. R., & King, D. A. (2010). The status of conventional world oil reserves—Hype or cause for concern? *Energy policy*, 38(8), 4743-4749.
- [6] Masters, C. D., Root, D., & Attanasi, E. (1994). [15] 5 *World Petroleum Assessment and Analysis*. Paper presented at the 14th World Petroleum Congress.
- [7] Zhao, X., Zhang, Q., Chen, D., & Lu, P. (2010). Enhanced mechanical properties of graphene-based poly (vinyl alcohol) composites. *Macromolecules*, 43(5), 2357-2363.
- [8] Yang, Y., Gupta, M. C., & Dudley, K. L. (2007). Towards cost-efficient EMI shielding materials using carbon nanostructure-based nanocomposites. *Nanotechnology*, 18(34), 345701.
- [9] Kim, K.-H., Ong, J. L., & Okuno, O. (2002). The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *The Journal of prosthetic dentistry*, 87(6), 642-649.
- [10] Li, Y., Swartz, M., Phillips, R., Moore, B., & Roberts, T. (1985). Materials science effect of filler content and size on properties of composites. *Journal of Dental Research*, 64(12), 1396-1403.
- [11] Wu, Y.-P., Jia, Q.-X., Yu, D.-S., & Zhang, L.-Q. (2004). Modeling Young's modulus of rubber-clay nanocomposites using composite theories. *Polymer testing*, 23(8), 903-909.
- [12] Zaini, M., Fuad, M. A., Ismail, Z., Mansor, M., & Mustafah, J. (1996). The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites. *Polymer International*, 40(1), 51-55.
- [13] Fu, S.-Y., Feng, X.-Q., Lauke, B., & Mai, Y.-W. (2008). Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 39(6), 933-961.
- [14] Landel, R. F., & Nielsen, L. E. (1993). *Mechanical properties of polymers and composites*: CRC press.
- [15] Ward, I. M., & Sweeney, J. (2012). *Mechanical properties of solid polymers*: John Wiley & Sons.
- [16] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2011). *Materials science and engineering* (Vol. 5): John Wiley & Sons NY.
- [17] Nielsen, L. E. (1969). Dynamic mechanical properties of filled polymers: MONSANTO RESEARCH CORP ST LOUIS MO.
- [18] Gojny, F. H., Wichmann, M. H., Fiedler, B., & Schulte, K. (2005). Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of epoxy matrix composites—a comparative study. *Composites Science and Technology*, 65(15-16), 2300-2313.
- [19] Dannenberg, E. (1975). The effects of surface chemical interactions on the properties of filler-reinforced rubbers. *Rubber Chemistry and Technology*, 48(3), 410-444.
- [20] Cho, J., Joshi, M., & Sun, C. (2006). Effect of inclusion size on mechanical properties of polymeric composites with micro and nano particles. *Composites Science and Technology*, 66(13), 1941-1952.
- [21] Wang, M., Joseph, R., & Bonfield, W. (1998). Hydroxyapatite-polyethylene composites for bone substitution: effects of ceramic particle size and morphology. *Biomaterials*, 19(24), 2357-2366.
- [22] Ahmed, S., & Jones, F. (1990). A review of particulate reinforcement theories for polymer composites. *Journal of Materials Science*, 25(12), 4933-4942.
- [23] Balazs, A. C., Emrick, T., & Russell, T. P. (2006). Nanoparticle polymer composites: where two small worlds meet. *Science*, 314(5802), 1107-1110.
- [24] Fiedler, B., Gojny, F. H., Wichmann, M. H., Nolte, M. C., & Schulte, K. (2006). Fundamental aspects of nano-reinforced composites. *Composites Science and Technology*, 66(16), 3115-3125.
- [25] Haque, M. M., Hasan, M., Islam, M. S., & Ali, M. E. (2009). Physico-mechanical properties of chemically treated palm and coir fiber reinforced polypropylene composites. *Bioresour Technol*, 100(20), 4903-4906.
- [26] Chatterjee, S., Nafezarefi, F., Tai, N., Schlagenhauf, L., Nüesch, F., & Chu, B. (2012). Size and synergy effects of nanofiller hybrids including graphene nanoplatelets and carbon nanotubes in mechanical properties of epoxy composites. *Carbon*, 50(15), 5380-5386.
- [27] Mittal, G., Dhand, V., Rhee, K. Y., Park, S.-J., & Lee, W. R. (2015). A review on carbon nanotubes and graphene as fillers in reinforced polymer nanocomposites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 11-25.
- [28] Kaya, N., Atagur, M., Akyuz, O., Seki, Y., Sarikanat, M., Sutcu, M., . . . Sever, K. (2017). Fabrication and characterization of olive pomace filled PP composites. *Composites Part B: Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.08.017>
- [29] Seki, Y., Avci, B., Uzun, S., Kaya, N., Atagur, M., Sever, K., & Sarikanat, M. The Using of Graphene Nano-

Platelets for a Better through-Plane Thermal Conductivity for Polypropylene. *Polymer composites*.

- [30] Sever, K., Atagur, M., Altay, L., Seki, Y., Uysalman, T., Sen, I., . . . Sarikanat, M. (2018). Effect of Diatomite Weight Fraction on Morphology, Thermal and Physical Properties of Diatomite Filled High Density Polyethylene Composites. *Acta Physica Polonica, A*, 134(1).
- [31] Özen, İ., İnceoğlu, F., Acatay, K., & Menciloğlu, Y. Z. (2012). Comparison of melt extrusion and thermokinetic mixing methods in poly (ethylene terephthalate)/montmorillonite nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*, 52(7), 1537-1547.
- [32] Sahibi, İ., Yardımcıları, E., & Editörleri, A. <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/sdumuhtas/index> e-ISSN: 1308-6693.
- [33] Standard, A. (2010). D638-10, 2010. *Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [34] Li, Y., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2004). Morphology and mechanical properties of HDPE/SRP/elastomer composites: effect of elastomer polarity. *Polymer testing*, 23(1), 83-90.
- [35] Guan, F.-L., Gui, C.-X., Zhang, H.-B., Jiang, Z.-G., Jiang, Y., & Yu, Z.-Z. (2016). Enhanced thermal conductivity and satisfactory flame retardancy of epoxy/alumina composites by combination with graphene nanoplatelets and magnesium hydroxide. *Composites Part B: Engineering*, 98, 134-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.04.062>