

Grafen oksit (GO) ve indirgenmiş grafen oksit (RGO) dolgulı PVC kompozitlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

A comparison study on mechanical properties of PVC composites filled by graphene oxide (GO) and reduced graphene oxide (RGO)

Ferda MİNDİVAN^{1*} 

¹Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye.
ferda.mindivan@bilecik.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 15.01.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 25.06.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.39114

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Grafen türevleri (grafen oksit-GO, indirgenmiş grafen oksit-RGO, çok tabakalı grafen-MLG vb.) polimer malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için yüksek potansiyele sahip dolgu maddeleri olarak bilinmektedirler. Bu çalışmada kompozitlerin mekanik özelliklerinde ki değişim dolgu tipine ve dolgu miktarına göre incelenmiştir. Kompozitler, dolgu maddeleri olarak GO ve RGO, matris olarak polivinil klorür (PVC) ile hazırlanmıştır. X-ışını kırınımı (XRD) sonuçları, GO ve RGO tabakalarının polimer matrisde homojen dağıldığını göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları, RGO içeren kompozitin düz ve pürüzsüz, GO içeren kompozitin ise dolgu- matris etkileşimi daha iyi olduğu için yüksek oranda gözenekli morfoloji sergilediklerini ortaya koymuştur. Yüksek GO (ağırlıkça %1) ve düşük RGO (ağırlıkça %0.1) içeren kompozitlerin mekanik özellikleri önemli bir iyileşme sergilemiştir. Dolgu maddesi içermeyen PVC'ye nazaran ağırlıkça %1 GO ve %0.1 RGO içeren kompozitlerin çekme mukavemetleri sırasıyla %84 ve %42 artmıştır. RGO ilavesi kompozit yapıyı rijitleştirdiğinden, RGO içeren kompozitler GO içeren kompozitlere kıyasla daha yüksek mikrosertlik ve daha düşük yüzde uzama değerleri sergilemişlerdir.

Anahtar kelimeler: Grafen oksit (GO), İndirgenmiş grafen oksit (RGO), PVC kompozit, Mekanik özellikler

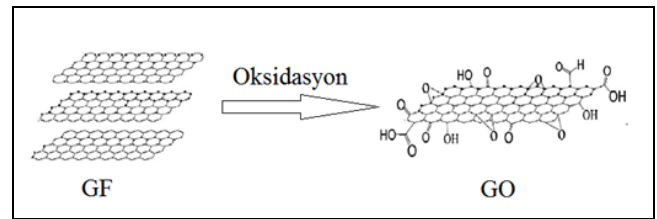
Abstract

Graphene derivatives (graphene oxide-GO, reduced graphene oxide-RGO, multi-layer graphene-MLG, etc.) generally are considered to be extremely significant fillers to improve properties of polymer materials. In this work, the mechanical properties of the composites according to filler type and filler loading were investigated. The composites were prepared using GO, RGO as the fillers and polyvinyl chloride (PVC) as a matrix. The X-ray diffraction (XRD) studies on the composites showed that the GO and RGO layers well-dispersed in polymer matrix. The scanning electron microscopy (SEM) showed that the composite with RGO exhibited smooth and clean surfaces, but the surface images of the composite with GO showed highly porous morphology because of the good filler-matrix interaction. The composites at a high GO loading (1% wt.) and a low RGO loading (0.1% wt.) indicated a prominent improvement in the mechanical properties. When compared the unfilled PVC, the tensile strength of the composite with 1 wt.% loading of the GO and 0.1 wt.% loading of the RGO increased by 84% and 42%, respectively. The composite with RGO showed a higher microhardness value compared to that of the composite with GO, but the elongation at break of the composite with RGO decreased because RGO loading increased the brittleness of composite structure.

Keywords: Graphene oxide (GO), Reduced graphene oxide (RGO), PVC composite, Mechanical properties

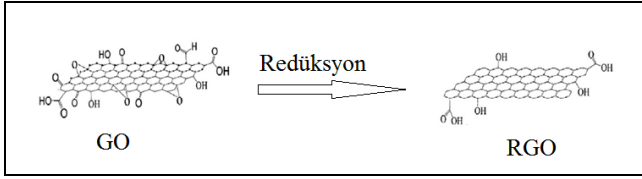
1 Giriş

Poli Vinilklorür (PVC) üstün kimyasal, mekanik ve korozyon özellikleri, suya dayanıklılığı ve düşük fiyatı ile günümüzde yer döşemeleri, kablo izolasyonu, ambalaj malzemeleri, şişeler ve tıbbi ürünler gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan termoplastiklerden biridir [1],[2]. Plastikleştiriciler ve dolgu maddeleri olmadan PVC' nin gevrek doğası onun kullanım alanlarını sınırlamaktadır [3],[4]. Son yıllarda Grafen Oksit (GO), İndirgenmiş Grafen Oksit (RGO), Çok Tabakalı Grafen (MLG), Nano Tabakalı Grafen Partiküller (GNP) gibi grafen temelli dolgu maddeleri polimer kompozit ve nanokompozitlerin üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [5],[6]. Özellikle kolay sentezleri, sıvı fazda iyi dağılımları ve ucuz dolgu maddeleri olarak bilinen GO ve RGO araştırmacılar tarafından tercih edilmektedirler [7],[8]. Endüstriyel üretim safhasında polimer kompozitler için gereken toplu miktarlarda grafen üretiminde olası bir yol olarak kabul gören Hummers metodu, kolay prosedürü ve az maliyetli oluşu nedeniyle GO üretimi için en çok kullanılan yöntemdir [9]. Bu yöntemle grafit tozunun (GF) oksidasyonu (karbon atomlarına karboksilik asit, epoksi ve alkol grupları bağlanması) ile GO sentezlenmektedir (Şekil 1).



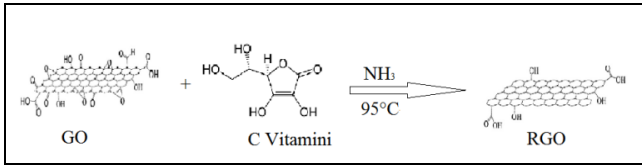
Şekil 1: GF' den GO sentezi [10].

Şekil 1'de GO'da görülen oksijen içeren fonksiyonel gruplar (-COOH ve -OH) kolay kırılabilir ve dönen yapının düzlemde sabit kalmasını kolaylaştırmakta, ayrıca bu fonksiyonel gruplar karbon atomuna göre daha büyük gruplar olduğundan GF tabakaları arasındaki mesafeyi açıp (20-40 µm) tabakaların birbirlerinden ayrılmasını kolaylaştırmaktadır [11]. GO özellikle yapısında bulunan fonksiyonel gruplardan dolayı birçok materyal ile kolaylıkla fiziksel veya kimyasal etkileşime girebilmektedir. GO ile kompozit malzemeler hazırlamak bu sebeplerden dolayı oldukça kolaydır. RGO'da GO gibi grafenin kimyasal bir türüdür [12]. GO'nun çeşitli kimyasallar redüksiyonu sonucunda RGO elde edilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: GO'dan RGO sentezi [10].

İndirgeme işleminde çoğunlukla güçlü bir indirgeyici madde olan hidrazin hidratın ($N_2H_4H_2O$) yanında yine oldukça zehirli sodyum bor hidrür ($NaBH_4$) ve formaldehitte kullanılmaktadır. Hidrazin hidrat tehlikeli kararsız bir madde olup özellikle polimerlerin π - π sistemlerine oldukça zarar veren güçlü bir indirgeyicidir [13]. Son zamanlarda bahsedilen kimyasallar yerine, sodyum bikarbonat (Na_2CO_3) [9], etilen glikol [13], şeker [14], yeşil çay [15] ve C vitamini [16] gibi doğal maddeler kullanılarak indirgenme reaksiyonu gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada indirgeme elemanı olarak C vitamini tercih edilmiştir. Sentezlenen GO, C vitamini yardımı ile Şekil 3'te görüldüğü gibi RGO'ya indirgenmiştir. Genel olarak indirgeme elemanları GO üzerinde bulunan fonksiyonel grupları indirgemekte, sadece grafen tabakasının kenarlarında bulunan karboksilik asit ve alkol türevlerini tutmaktadır [11].



Şekil 3: C vitamini ile GO'dan RGO sentezi.

PVC kompozitlerin grafen esaslı dolgu maddeleriyle mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar vardır. Ancak, indirgeme elemanı olarak C vitamini kullanılarak üretilen RGO'nun PVC kompozitlerinde dolgu elemanı olarak kullanıldığı ile ilgili bir çalışmaya yapılan literatür taramasında rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, Hummers metodu ile GF'ten sentezlenen GO ve GO'nun C vitamini kullanılarak indirgenme reaksiyonu ile sentezlenen RGO, PVC matrisinde dolgu maddesi olarak kullanılmış ve bu iki dolgu maddesinin kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkileri XRD analiz sonuçları ve SEM görüntüleri ile desteklenerek karşılaştırılmıştır.

2 Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada, GF'den GO sentezi Hummers metodu ile elde edilmiştir. 1 g GF 69 mL H_2SO_4 ile 30 dk. buz banyosunda karıştırıldıktan sonra 8 g $KMnO_4$ karışıma yavaşça ilave edilmiştir. Karışım buz banyosunda ve ultrasonik banyoda sırayla 15'er dk. karıştırılmıştır. Daha sonra buz banyosu uzaklaştırılarak, 35 °C'de yağ banyosunda başlangıçtaki siyah rengi kahverengi oluncaya kadar yaklaşık 12 sa. karıştırılmaya devam edilmiştir. Karışımın rengi bozulmayıncaya kadar yavaşça saf su ilave edilmiş ve 2 sa. şiddetli karıştırılmıştır. 2 sa. sonunda reaksiyona 12 mL %30'luk H_2O_2 eklenmiştir ve karışımın rengi aniden altın sarısına dönüşmüştür. Karışım süzülmesi ve metal iyonlarının uzaklaştırılması için %3'lük HCl ve saf su ile birkaç kez yıkanmıştır. 65 °C'de etüvde 12 sa. kurutulmuştur [17].

Hummers metodu ile sentezlenen GO'dan 0.5g alınarak 100 mL saf suda sonikasyon ile dağıtılmıştır. Süspansiyonun pH' sını amonyak (NH_3) kullanılarak ~10'a ayarlanmıştır. 0.75 g C vitamini eklenmiştir ve süspansiyon 95 °C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 12 sa. karıştırılmıştır. Karışım süzülmesi, birkaç kez saf su ile yıkanmış ve 65 °C'de kurutulmuştur.

PVC/GO ve PVC/RGO kompozitler koloidal karıştırma yöntemi ile hazırlanmıştır. 10 gr PVC, Tetrahydrofuran (THF) içerisinde 70 °C'de tamamen çözüldükten sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. GO ve RGO tozları ayrı kaplarda THF içerisinde sonikasyon yardımı ile oda sıcaklığında dağıtılmıştır. GO ve RGO tozları ayrı ayrı THF'da çözülmüş PVC ile 2 sa. 60 °C'de manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Hazırlanan koloidal çözeltiler cam petri kaplarına dökülüp 60 °C'de etüvde kurutulmuştur. Hazırlanan kompozitlerin ağırlıkça %0.1-1 aralığında değişen GO ve RGO yüzdeleri ile kodları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Kompozitlerin ağırlıkça GO ve RGO yüzdeleri ve kodları.

Örnekler	Ağırlıkça % GO ve RGO içeriği
PVC	-----
PVC/GO-0.1	0.1
PVC/GO-0.3	0.3
PVC/GO-0.5	0.5
PVC/GO-1	1
PVC/RGO-0.1	0.1
PVC/RGO-0.3	0.3
PVC/RGO-0.5	0.5
PVC/RGO-1	1

GF, GO, RGO tozların, PVC/GO ve PVC/RGO kompozitlerin XRD ölçümleri PAN analytical, Empyrean marka cihaz ile yapılmıştır. Ölçüm değerleri $2\theta=5-50^\circ$ tarama alanında ve $2^\circ/dk.$ lık tarama hızında elde edilmiştir. Örneklerin yüzey görüntüleri SEM, Supra 40VP, Zeiss cihazı ile incelenmiş, EDS sonuçları da aynı cihazdan elde edilmiştir. Çekme deneyleri Shimadzu marka çekme cihazında ve 20 mm/dk. çekme hızında ve ASTM D 3822 standardına göre yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri metalografik numuneler üzerinde DuraScan20 (EmcoTest, Germany) model mikrosertlik cihazında 10 gr yük altında Knoop sertlik değeri ($HK_{0.01}$) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik değerleri, en az 10 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Çekme deneyleri ve mikrosertlik ölçümleri için hazırlanan kompozit örneklerinden PVC/RGO-1 kodlu kompozitin fotoğrafı Şekil 4'te verilmiştir.

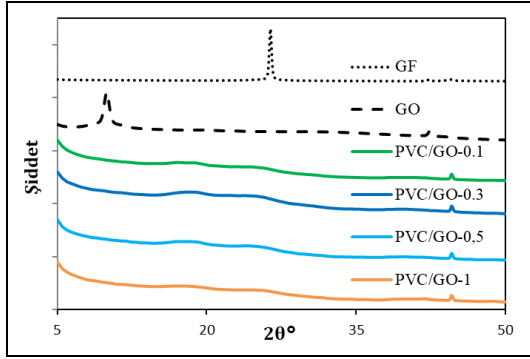


Şekil 4: Çekme deneyi ve mikrosertlik ölçümü için hazırlanan PVC/RGO-1 kodlu kompozite ait fotoğraf.

3 Sonuçlar ve tartişma

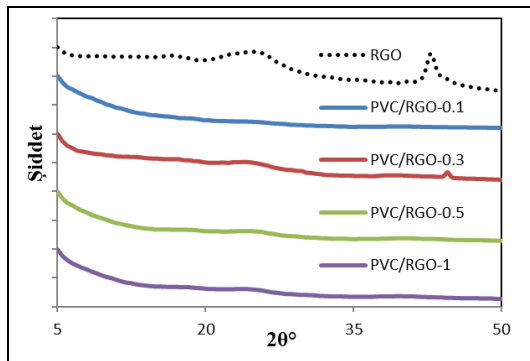
3.1 XRD analiz sonuçları

GF, GF'den sentezlenen GO ve PVC/GO kompozit örneklerin XRD difraktogramları Şekil 5'te verilmiştir. GF'nin XRD difraktogramında $2\theta=26.4^\circ$ 'de görülen keskin artış GF'nin kristal yapısını temsil etmektedir [13]. GF'nin oksidasyonu ile elde edilen GO ise Şekil 5'te grldği gibi $2\theta=9.9^\circ$ 'de kuvvetli bir difraksiyon artışı vermiştir. Yine aynı analiz sonuçlarından GF'nin tabakalar arası mesafesi 0.33 nm iken, GO'nun tabakalar arası mesafesi ise 0.88 nm olarak llmştr. Oksidasyon reaksiyonundan sonra pikin sola kayması ve tabakalar arası mesafenin artması oksijen içeren fonksiyonel grupların başarılı bir Şekilde bağlandığını göstermektedir (Şekil 1) [18]. PVC/GO kompozitlerin XRD difraktogramları ise Şekil 5'te grldği gibi birbirine benzemektedir. Bu durum literatürde PVC'nin düşük difraksiyon Őiddeti ve düşük miktarda GO içeriğine atfedilmektedir [19]. Ayrıca kompozitlerin XRD difraktogramlarında GO'ya ait artışın kaybolması GO tabakalarının polimer matriksde homojen dağıldığını göstermektedir.



Şekil 5: GF, GO ve PVC/GO kompozitlere ait XRD paternleri.

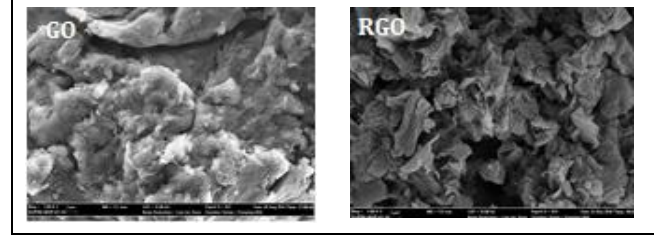
GO'nun C vitamini ile indirgenmesi ile elde edilen RGO'nun ve PVC/RGO kompozitlerinin XRD difraktogramı Şekil 6'da verilmiştir. RGO'nun XRD difraktogramında $2\theta=26^\circ$ 'de geniş bir artış görülmüştür. Bu artış C vitamini ile indirgenmenin başarılı bir Şekilde gerçekleştiğini kanıtlamaktadır [20]. Ayrıca, bu artış tabakalı GF'nin oluşumunu göstermektedir [9]. Şekil 6'da grldği gibi kompozit örneklerin XRD difraktogramları birbirine benzemektedir ve farklı oranlarda dolgu maddesi olarak kullanılan RGO'ya ait geniş artış da görünmemektedir. Bu durum dolgu maddesinin polimer matrikste her oranda topaklanmadan homojen dağılımını göstermektedir.



Şekil 6: RGO tozuna ve PVC/RGO kompozitlerine ait XRD paternleri.

3.2 FE-SEM

GO ve RGO'nun aynı büyütmedeki (5.000X) SEM görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.



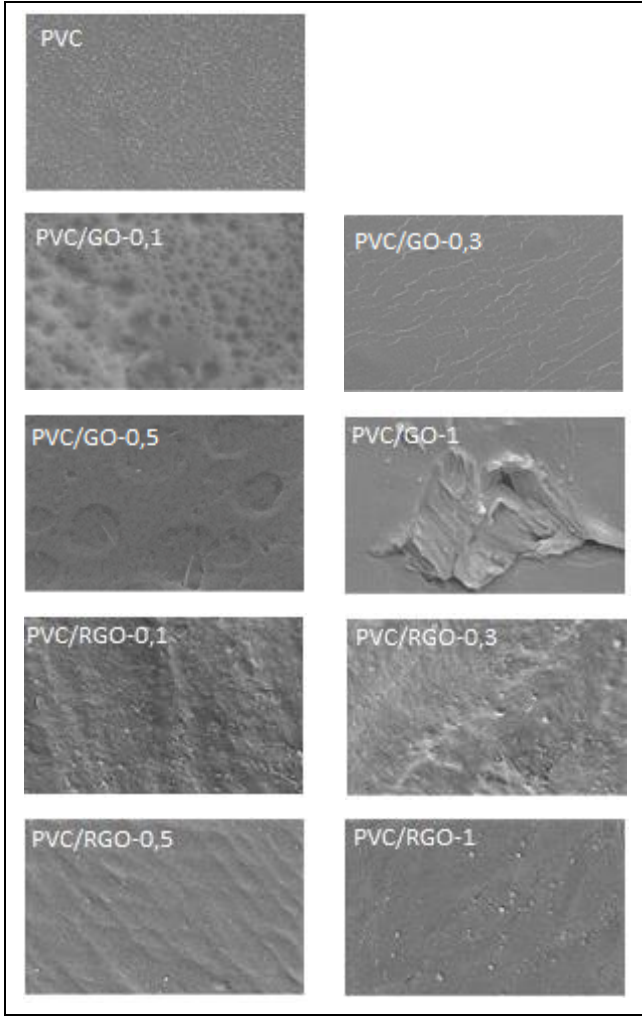
Şekil 7: GO ve RGO'ya ait SEM görüntüleri (5.000X).

GO'nun yüzey görüntüsü incelendiğinde, GO tabakalarının bir araya yığılmış yapısı aıkca görünmektedir [21]. Bu görüntü literatürde verilen GO görüntüsü ile uyumludur [22]. RGO'nun SEM görüntüsü incelendiğinde oksijenin yapıdan uzaklaştığını ispatlayan buruşuk bir yapı gözlenmiştir [20]. Tablo 2'de verilen EDS sonuçlarında GO'nun %46.78 oksijen, RGO'nun ise %24.03 oksijen içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. XRD paternleri ve SEM görüntüleri, C vitamini ile başarılı bir indirgenme reaksiyonunun gerçekleştiğini göstermektedir.

Tablo 2: GO ve RGO tozlarına ait EDS analiz sonuçları.

Örnekler	Oksijen içeriği (% atom)
GO	46.78
RGO	24.03

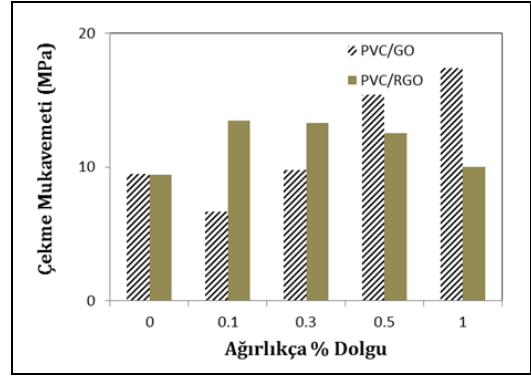
Şekil 8'de dolgusuz PVC, PVC/GO ve PVC/RGO kompozitlerin aynı büyütmede (10.000X) SEM görüntüleri verilmiştir. Dolgusuz PVC, düz ve pürüzsüz bir yüzeye sahip iken %0.1 ve %0.5 GO içeren kompozitlerin yzelerinde ise içi dolu gözenekler aıkca görülmektedir. %0.1 GO içeren kompozitte kckl büyüklü bir çok gözenek varken, %0.5 GO içeren kompozit gözenekleri %0.1 GO içeren kompozite kıyasla daha büyük ve daha az sayıdadır. %0.3 GO içeren kompozitin yüzeyinde muhtemelen kurutma esnasında oluşan buruşuk görüntü, %1 GO içeren kompozitin yüzey görüntüsünde ise büyük bir gözenek oluşumu dikkat çekmektedir. Gözlemlenen bu gözenekli yapı literatürde polimerin GO'nun tabakaları, gözenekleri arasına girdiğinin yani gcl bir matriks-dolgu etkileşiminin gerçekleştiğinin, aynı zamanda dolgu maddesinin dağılımının homojen olduğunun göstergesi olarak kabul edilmektedir [5]. Şekil 8'de farklı RGO içeren kompozitlerin yüzey görüntüleri incelendiğinde; %0.1 ve %0.3 RGO içeren kompozitlerin düzensiz ve engebeli yzelerle sahip oldukları, %0.5 ve %1 RGO içeren kompozitlerin ise az sayıda ve yüzeyde düzensiz kk çukurlara sahip oldukları görülmektedir. Ancak %0.5 ve %1 RGO içeren kompozitlerin yüzey görüntüleri %0.1 ve %0.3 RGO içeren kompozitlerin görüntüleri ile karşılaştırıldığında daha düz bir yüzeye sahip oldukları açıktır. SEM görüntülerinde pürüzsüz ve düz yzeler dolgu ve matriks arası etkileşimin zayıflığına atfedilmektedir [23]. Yani GO ve RGO içeren kompozitlerin görüntüleri karşılaştırıldığında GO içeren kompozitlerin içi dolu gözenekli yüzey görüntülerinden dolayı mekanik zelliklerin RGO içeren kompozitlere nazaran daha gcl olacağı beklenmektedir. Çünkü içi dolu gözenekli yapıların mekanik özellikleri artırdığı bilinmektedir [24].



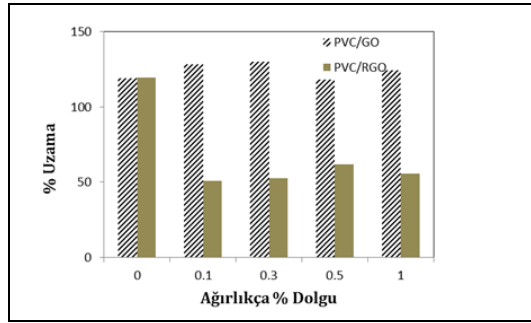
Şekil 8: PVC/GO ve PVC/RGO kompozitlerine ait SEM görüntüleri (10.000X).

3.3 Mekanik karakterizasyon

GO ve RGO içeriğinin kompozit örneklerin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemek için dolgunsuz PVC, hazırlanan PVC/GO ve PVC/RGO örneklerine çekme testi uygulanmış, çekme mukavemeti ve % kopma uzamasının GO ve RGO içeriği ile değişimi Şekil 9 ve 10'da sırasıyla verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi PVC/GO kompozitleri için ağırlıkça %0.3 GO içeriğinden sonra çekme mukavemeti değerleri dolgunsuz PVC'ye göre yükselmeye başlamış ve GO miktarı arttıkça kompozitlerin çekme mukavemetleri gittikçe artmıştır. %0.1 dolgu içeriğinde ise dolgunsuz PVC ile yakın bir mukavemet değeri sergilemiştir. Dolgunsuz PVC'nin çekme mukavemeti 9.43 MPa iken en düşük çekme mukavemeti ağırlıkça %0.1 GO içeren kompozitin çekme mukavemeti 7.67 MPa iken, en yüksek çekme mukavemetine sahip olan ağırlıkça %1 GO içeren kompozitin çekme mukavemeti 17.39 MPa olarak belirlenmiştir. PVC/GO-1 kompozitin çekme mukavemeti dolgunsuz PVC'ye göre %84 artış göstermiştir. RGO ilavesi de tıpkı GO gibi kompozitlerin çekme mukavemetlerini dolgunsuz polimere göre artırmıştır. Ancak GO'nun aksine RGO'nun matrikste ağırlıkça yüzdesi arttıkça kompozitlerin çekme mukavemetlerinde azalan bir eğilim olduğu belirlenmiştir. Dolgunsuz PVC'nin çekme mukavemeti 9.43 MPa iken en yüksek çekme mukavemetinin görüldüğü ağırlıkça %0.1 RGO içeren kompozitin çekme mukavemeti 13.45 MPa bulunmuştur.



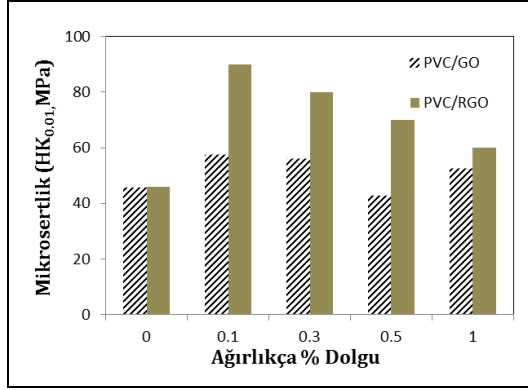
Şekil 9: GO ve RGO içeriğine bağlı olarak çekme mukavemeti değişimi.



Şekil 10: GO ve RGO içeriğine bağlı olarak kopma uzama (%) değişimi.

Çekme mukavemeti dolgunsuz PVC'ye göre %42 artmıştır. Sonuç olarak GO içeren kompozitlerin en yüksek dolgu içeriğinde, RGO içeren kompozitlerin ise en düşük dolgu içeriğinde yüksek çekme mukavemeti değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bu durum GO'nun miktarı arttıkça matriks-dolgu içeriği arasında güçlü etkileşime, RGO katkısının ise matriks-dolgu etkileşimini zayıflattığını göstermektedir. Literatürde polimer matriksli kompozitlerin çekme mukavemetlerinde görülen iyileşme kuvvetli matriks-dolgu etkileşimine atfedilmektedir [25]. Ayrıca, GO ve RGO'nun SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 7), tabaka tabaka görülen GO'nun yüzey görüntüsü ile RGO'nun buruşuk yüzey görüntüsü, her iki dolgu malzemesinin PVC ile etkileşiminin farklı olacağı izlenimi uyandırmıştır. GO ve RGO ilavesinin kompozitlerin % uzama değerleri üzerine etkisi Şekil 8'de verilmiştir. Dolgunsuz PVC'ye göre; GO içeren kompozitlerin % uzama değerlerinin hemen hemen değişmediği, RGO içeren kompozitlerin % uzama değerlerinin ise azaldığı görülmektedir. % uzama değerlerinde görülen azalma kırılabilirliğin yani rijitliğin bir göstergesi olduğundan [23], RGO içeriğinin kompoziti rijitleştirdiği, GO içeriğinin ise kompozitin rijitliğinde belirgin bir değişim gerçekleştirmediği anlaşılmaktadır. GO ve RGO içeriğinin, kompozitlerin mikrosertlikleri üzerine etkisi Şekil 11'de verilmiştir. Hem GO hem de RGO içeriklerinde üretilen kompozitlerin sertlik değerleri dolgunsuz PVC'ye nazaran artmıştır. Ancak, bu artış RGO içeren kompozitlerde GO içeren kompozitlere göre daha fazladır. Her iki dolgu maddesinin de sertlik değerlerinin en yüksek olduğu içerik değeri Şekil 11'de görüldüğü gibi %0.1'dir. Sertlik sonuçlarından %0.1 GO içeren kompozit dolgunsuz polimere göre %25, %0.1 RGO içeren kompozitin ise %98 daha sert olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç RGO ilavesinin yapıyı GO'ya göre daha rijit yaptığını bir kez daha göstermiştir. Yapının rijitliği arttığında sertliğin de arttığı bilinmektedir [25]. Ayrıca, RGO içeren kompozitlerin % uzama değerlerinde

görülen azalma ile beraber RGO içeren kompozitlerin yüksek sertlik değerleri sergilemeleri her iki analiz sonucunun birbirini desteklediğini göstermiştir.



Şekil 11: GO ve RGO içeriğine bağlı olarak mikrosertlik değişimi.

4 Sonuç

Tüm analiz sonuçları dolgu maddelerinin (GO ve RGO) ve kompozitlerin başarılı bir şekilde hazırlandığını göstermiştir. Her iki dolgu maddesi ile hazırlanan kompozitlerin XRD sonuçları benzerlik göstermelerine rağmen GO ve RGO tabakalarının PVC matrisinde topraklanma olmadan dağıldığı açıkça görülmüştür. GO içeren kompozitlerin içi dolu gözenekli yüzey görüntüleri, RGO içeren kompozitlerin ise düz ve homojen dağılmamış küçük çukurlardan oluşan görüntüleri GO ile PVC'nin RGO'ya göre daha güçlü bir matris-dolgu etkileşimine sahip olduklarını göstermiştir. %1 GO ve %0.1 RGO içeren kompozitlerin dolgunsuz PVC'ye göre sırasıyla %84 ve %42 oranlarında çekme mukavemetlerinin arttığı belirlenmiştir. GO içeren kompozitlerde % uzama değerlerinde bir değişim gözlenmez iken, RGO içeren kompozitlerde ise azalma gözlenmiştir. Sertlik sonuçlarından %0.1 GO içeren kompozitin dolgunsuz polimere göre %25, %0.1 RGO içeren kompozitin ise %98 daha sert olduğu belirlenmiştir. Hem sertlik hem de % uzama sonuçları RGO dolgununun yapıyı rijitleştirdiğini ortaya çıkarmıştır.

5 Kaynaklar

- [1] Marathe DS, Joshi PS. "Characterization of highly filled wood flour-PVC composites: Morphological and thermal studies". *Journal of Applied Polymer Science*, 11(1), 90-96, 2009.
- [2] Janajreha I, Alshraha M, Zamzam S. "Mechanical recycling of PVC plastic waste streams from cable industry: A case study". *Sustainable Cities and Society*, 18, 13-20, 2015.
- [3] Wang H, Xie G, Fang M, Ying Z, Tong Y, Zeng Y. "Electrical and mechanical properties of antistatic PVC films containing multi-layer graphene". *Composites Part B*, 79, 444-450, 2015.
- [4] Hu J, Jia X, Li C, Ma Z, Zhang G, Sheng W, Zhang X, Wei Z. "Effect of interfacial interaction between graphene oxide derivatives and poly(vinyl chloride) upon the mechanical properties of their nanocomposites". *Journal of Materials Science*, 49(7), 943-2951, 2014.
- [5] Deshmukh K, Joshi GM. "Thermo-mechanical properties of poly (vinyl chloride)/graphene oxide as high performance nanocomposites". *Polymer Testing*, 34, 211-219, 2014.
- [6] Zhu Y, Murali S, Cai W, Li X, Suk JW, Potts JR, Ruoff RS. "Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties,

- and Applications". *Advances Materials*, 22, 3906-3924, 2010.
- [7] Kim F, Cote LJ, Huang J. "Graphene Oxide: Surface Activity and Two-Dimensional Assembly". *Advances Materials*, 22, 1954-1958, 2010.
- [8] Joshi GM, Deshmukh K. "Optimized Quality Factor of Graphene Oxide-Reinforced PVC Nanocomposite". *Journal of Electronic Materials*, 43(4), 1161-1165, 2014.
- [9] Jin Y, Huang S, Zhang M, Jia M, Hu D. "A Green and Efficient Method to Produce Graphene for Electrochemical Capacitors From Graphene Oxide Using Sodium Carbonate As A Reducing Agent". *Applied Surface Science*, 268, 541-546, 2013.
- [10] Wang H, Yuan X, Wu Y, Huang H, Peng X, Zeng G, Zhong H, Liang J, Ren M. "Graphene-Based Materials: fabrication, characterization and application for the decontamination of wastewater and wastegas and hydrogen storage/generation". *Advances in Colloid and Interface Science*, 195-196, 19-40, 2013.
- [11] Singh V, Joung D, Zhai L, Das S, Khondaker SI, Seal S. "Graphene Based Materials: Past, Present and Future". *Progress in Materials Science*, 56, 1178-1271, 2011.
- [12] Dağcı K. Poli (Pyronin Y) İnce Filmlerinin ve Müstakil Grafen/Poli(Pyronin Y)/Gümüş Nanopartikül Elektrotların Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Nitritin Amperometrik Tayininde Kullanılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2015.
- [13] Liu Y, Zhang Y, Ma G, Wang Z, Liu K, Liu H. "Ethylene glycol reduced graphene oxide/polypyrrole composite for supercapacitor". *Electrochimica Acta*, 88, 519-525, 2013.
- [14] Kamisan AI, Kamisan AS, Ali RMD, Tunku Kudin TI, Hassan OH, Halim NA, Yahya MZA. "Synthesis of graphene via green reduction of graphene oxide with simple sugars". *Advanced Materials Research*, 1107, 542-546, 2015.
- [15] Wang Y, Shi Z, Yin J. "Facile Synthesis of soluble graphene via a green reduction of graphene oxide in tea solution and its biocomposites". *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3, 1127-1133, 2011.
- [16] Fernandez-Merino MJ, Guardia L, Paredes JI, Villar-Rodil S, Solis-Fernandez P, Martinez-Alonso A, Tascon JMD. "Vitamin C is an ideal substitute for hydrazine in the reduction of graphene oxide suspensions". *Journal of Physical Chemistry C*, 114, 6426-6432, 2010.
- [17] Hummers WS, Offeman RE. "Preparation of graphitic oxide". *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339,1958.
- [18] Gurunathan S, Han JW, Kim E, Kwon DN, Park JK, Kim JH. "Enhanced green fluorescent protein-mediated synthesis of biocompatible graphene". *Journal of Nanobiotechnology*, 12(41), 1-16, 2014.
- [19] Vadukumpully S, Paul J, Mahanta N, Valiyaveetil S. "Flexible conductive graphene/poly(vinyl chloride) composite thin films with high mechanical strength and thermal stability". *Carbon*, 49, 198-205, 2011.
- [20] Bora C, Bharali P, Baglari S, Dolui SK, Konwar BK. "Strong and conductive reduced graphene oxide/polyester resin composite films with improved mechanical strength, thermal stability and its antibacterial activity". *Composites Science and Technology*, 87, 1-7, 2013.
- [21] Safarpour M, Khataee A, Vatanpour V. "Thin film nanocomposite reverse osmosis membrane modified by reduced graphene oxide/TiO2 with improved desalination performance". *Journal of Membrane Science*, 489, 43-54, 2015.

- [22] Li D, Zhang B, Xuan F. "The sequestration of Sr(II) and Cs(I) from aqueous solutions by magnetic graphene oxides". *Journal of Molecular Liquids*, 209, 508-514, 2015.
- [23] Zheng YT, Cao DR, Wang DS, Chen JJ. "Study on the interface modification of bagasse fibre and the mechanical properties of its composite with PVC". *Composites: Part A*, 38, 20-25, 2007.
- [24] Duttagupta SP, Chen XL, Jenekhe SA, Fauchet PM. "Microhardness of porous silicon films and composites". *Solid State Communications*, 101, 33-37, 1997.
- [25] Crespo JE, Sanchez L, Garcia D, Lopez J. "Study of the mechanical and morphological properties of plasticized pvc composites containing rice husk fillers". *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27(3), 229-243, 2008.