

Atf İçin: Batır G G, Arık M, 2022. Suda Çözünabilir Grafen/Boyar Madde Kompozitlerinin Spektroskopik Özelliklerinin İncelenmesi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2): 946-956.

To Cite: Batır G G, Arık M, 2022. Investigation of Spectroscopic Properties of Water-Soluble Graphene / Dye Composites. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2): 946-956.

Suda Çözünabilir Grafen/Boyar Madde Kompozitlerinin Spektroskopik Özelliklerinin İncelenmesi

Gökhan Güven BATIR^{1*}, Mustafa ARIK²

ÖZET: Grafen, tek atom kalınlığındaki karbon nanomateriyallerden biri olarak, üstün optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı araştırmacılarda büyük ilgi uyandırmaktadır. Boyar maddeler medikal ve teknolojik uygulamalarda sıklıkla kullanılan optik malzemeler olup bu materyaller ile boyar maddeler kullanılarak elde edilen nanokompozitlerin optiksel ve morfolojik karakterizasyonu, optik sensörler, optoelektronik cihazlar gibi potansiyel uygulama alanları için büyük öneme sahiptir. Ksanten türevleri, geniş absorpsiyon ve floresans spektrumları, ışığa karşı dayanıklılıkları, in vivo çalışmalarda düşük toksisite ve suda nispeten yüksek çözünürlük gibi birkaç karakteristik özelliklerinden dolayı nanokompozit eldesinde kullanılabilir en iyi boyar maddeler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, modifiye edilmiş Hummers yöntemiyle sentezlenen grafenden indirgenmiş grafen oksit (rGO) eldesi gerçekleştirildi. rGO ve ksanten türevi boyar maddeler (Rodamin 101, Floresin ve Eosin Y) ile sulu ortamda yeni kompozitler sentezlendi. Bu kompozitlerin morfolojik ve optiksel özellikleri; X-ışını kırınımı (XRD), Raman spektroskopisi, Fourier dönüşümü kızıl ötesi spektroskopisi (FTIR), UV-görünür spektroskopisi ve durgun-hal floresans spektroskopisi ile aydınlatıldı. Elde edilen kompozitlerin optik ve morfolojik özelliklerine rGO ve boyar madde derişimlerinin etkisi incelenmiştir. Kompozitlerin absorpsiyon spektrumlarında rGO miktarına bağlı olarak çeşitli değişiklikler (batokromik ve hipsokromik kayma, hipokromik etki gibi) gözlemlendi. Ayrıca, kompozitlerde rGO miktarı arttırıldığında boyar maddelerin floresans şiddetlerinin etkili bir şekilde sönümlendiği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Grafen, ksanten boyar maddeler, rGO

Investigation of Spectroscopic Properties of Water-Soluble Graphene / Dye Composites

ABSTRACT: Graphene, as one of single-atom-thick carbon nanomaterial, has recently interested among researchers due to its superior optical and electrical properties. Dyes are frequently used optical materials in medical and technological applications. Optical and morphological characterization of nanocomposites that is obtained by using these materials and dyes have great importance for potential applications such as optical sensors, optoelectronic devices, etc. Xanthene derivatives are one of the best dyes used in obtaining nanocomposites since they have several characteristic features including large absorption and fluorescence, light resistance, low toxicity in-vivo, and relatively high solubility in water. In this work, reduced graphene oxide (rGO) was synthesized with modified Hummers' method. Novel composites with rGO and xanthene derivative dyes (Rhodamine 101, Florescein and Eosin Y) were synthesized in an aqueous medium. Morphological and optical properties of these composites was confirmed with X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), UV-visible spectroscopy and steady-state fluorescence spectroscopy. The effect of rGO and dye concentrations on optical and morphological properties of synthesized composites was investigated. Various changes (such as bathochromic and hypsochromic shift, hypochromic effect) were observed in the absorption spectra of the composites depending on the amount of rGO. Also, when amounts of rGO in composites was increased, the fluorescence intensities of dyes were influentially quenched.

Keywords: Graphene, xanthene dyes, rGO

¹Gökhan Güven BATIR ([Orcid ID: 0000-0001-9568-5767](https://orcid.org/0000-0001-9568-5767)), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yıldızeli Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sivas, Türkiye

² Mustafa ARIK ([Orcid ID: 0000-0001-5788-4466](https://orcid.org/0000-0001-5788-4466)), Siirt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Siirt, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Gökhan Güven BATIR, e-mail: gokhanbatir@cumhuriyet.edu.tr

Bu çalışma Gökhan Güven BATIR'ın Doktora tezinden üretilmiştir. Makale 9-12 Mayıs 2018 tarihlerinde Antalya'da düzenlenen "3rd International Conference on Advances in Natural Applied Sciences'da" sözlü olarak sunulmuştur.

GİRİŞ

2004 yılında karbon allotropu olan iki boyutlu (2D) grafenin keşfi tüm dünyada büyük ilgi uyandırmıştır. Basitçe grafitin tek katmanlı hali olarak tanımlanabilen grafen, karbon atomlarının bal peteği yapısında ve tek atom kalınlığında dayanıklı bir malzemedir. Grafen oldukça geniş bir yüzey alana ($2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) sahip olan bir malzemedir (Bolotin ve ark., 2008; Morozov ve ark., 2008). Bunun yanı sıra grafen yüksek taşıyıcı mobilite ($200.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$), kütsüz ve ışık hızına yakın bir hız ile hareket eden Dirac parçacığı benzeri elektronlar ve çok az sapma gösteren elektronik bir taşıyıcıdır (Bolotin ve ark., 2008; Morozov ve ark., 2008). Grafen bu özelliklerinden dolayı yüksek frekanslı transistörlerde, sensörlerde ve şeffaf elastik elektrot olarak kullanımında fayda sağlamaktadır.

Görünür bölge boyar maddeleri kullanılarak sabit büyüklükte band boşluğu enerjisine sahip yarıiletkenlerin foto seçiciliği son yıllarda yaygın bir şekilde araştırmalara konu olmuştur. Boyar maddeler ile çalışılırken bilinmesi gereken konuların başında fotofizik ve fotokimya gelmektedir. Fotofiziksel ve fotokimyasal olayların temelini ışık-madde etkileşimi oluşturmaktadır.

Floresans kuençleşme reaksiyonları ilk olarak 1960'ın sonları ile 1970'in başları arasında biyokimyasal problemler için uygulanmış ve o zamandan beri proteinler, membranlar ve diğer makromoleküler topluluklar için önemli bir araştırma konusu olmuştur (Lakowicz, 2013).

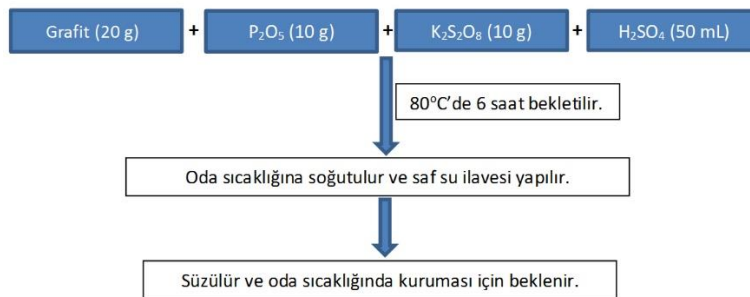
Çalışmamızda sulu ortamda Rodamin 101, Floresin ve Eosin Y gibi ksanten türevi boyar maddeler ile grafenin etkileşimleri incelenmiştir.

MATERYAL ve METOT

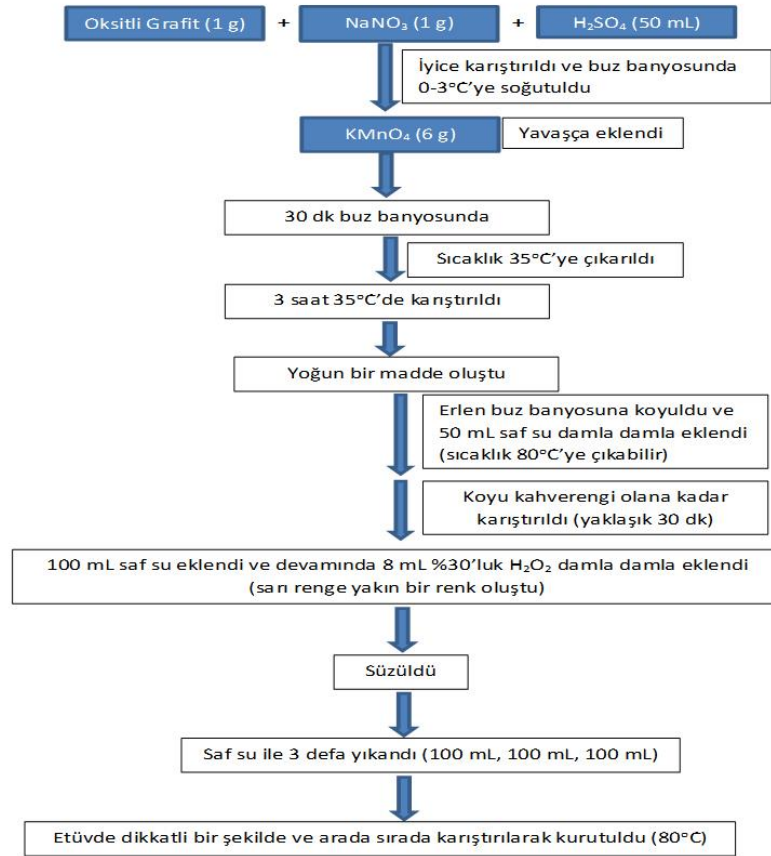
Modifiye Hummers Metodu ile Grafenin Sentezi

Boyar maddelerle sulu ortamda çalışılacağı ve daha kolay işlendiği için Modifiye Hummers metodu ile sentezlenen grafen kullanıldı. Modifiye Hummers metodu ile grafen sentezi aşağıda gösterildiği gibi 3 basamaktan oluşmaktadır. İlk basamakta grafit oksitlenir, ikinci basamakta grafit oksit eldesi sağlanır ve son olarak tek tabakalı hali olan grafen oksit elde edilir.

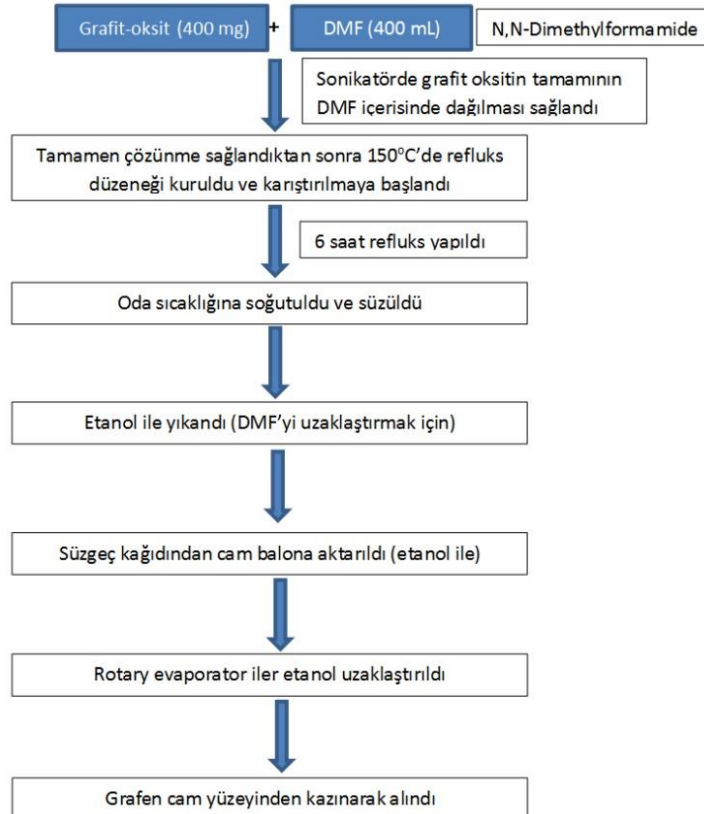
1. Basamak: Grafit'i Oksitlemek (daha ince grafen tabakası elde edebilmek için)



2. Basamak: Grafit-oksit Sentezi



3. Basamak: Grafen Sentezi



Kompozitlerin hazırlanması

Rodamin 101 ve Eosin Y bileşiğinin suda 1.0×10^{-3} M'lik stok çözeltisi hazırlandı. Floresin bileşiği suda tam olarak çözünmediği için etanolde 1.0×10^{-3} M'lik stok çözeltisi hazırlandı. Referans makalelere uygun olarak ilk etapta boyar maddelerin oranı sabit tutulup (1.0×10^{-5} M) rGO miktarları 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5 mg olarak değiştirildi ve rGO miktarının boyar maddelerin spektroskopik özellikleri üzerine etkisi incelendi. Daha sonra sabit rGO miktarında (1.5 mg) boyar maddelerin derişimleri 1.0×10^{-6} ; 5.0×10^{-6} ; 1.0×10^{-5} ; 1.5×10^{-5} ; 2.0×10^{-5} M olacak şekilde değiştirildi. Elde edilen kompozitlerin spektroskopik özelliklerini incelemek için 200-1100 nm dalga boyu aralığına sahip Perkin-Elmer firmasına ait Lambda 35 model spektrofotometre cihazı (UV-Vis) ve Shimadzu firmasına ait (model RF-5301 PC Spectrofluorophotometer) durgun-hal emisyon ve eksatasyon ölçümlerinin yapılabildiği spektrofotometre cihazı kullanılmıştır.

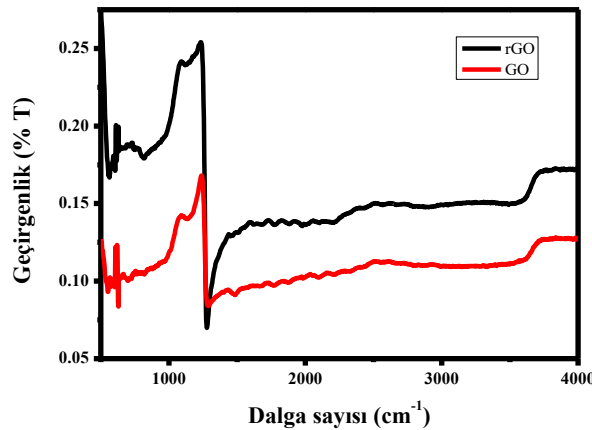
Çözücü buharlaştırma (Cast-Coating) tekniğiyle film hazırlama

Çözücü buharlaştırma filmleri hazırlanırken, oda şartlarında hazırlanmış çözeltilerden otomatik pipetlerle 100 µl alınarak temiz bir ortamda, düz olduğundan emin olunan bir destek üzerine tutturulmuş cam alttaş üzerine damlatıldı. Bu şekilde hazırlanan kompozitlere ait filmlerde çözücünün buharlaşması için ısıtıcıda 80°C 'de bekletildi. Elde edilen filmler XRD, Raman ve FTIR analizleri yapılmak için tozdan arınmış kaplarda saklandı.

BULGULAR ve TARTIŞMA

FTIR Spektroskopisi

GO yapısında -OH, -C=O, -C-OH ve -C-O gibi fonksiyonel grupları bulunmaktadır. Bu fonksiyonel grupları yapıdan uzaklaştırmak, grafen omurgasında bulunan sp^3 hibrit sayısını azaltmak ve bu şekilde iletkenliği ve esnekliği artırmak için çeşitli indirgenme prosedürleri uygulanmaktadır. Böylece rGO yapısı oluşmaktadır. Fakat uygulanan farklı indirgenme yöntemlerinden hiç biri GO yapısında bulunan bütün oksijenli fonksiyonel grupları indirgemek için yeterli olmamaktadır (Stankovich ve ark., 2006).

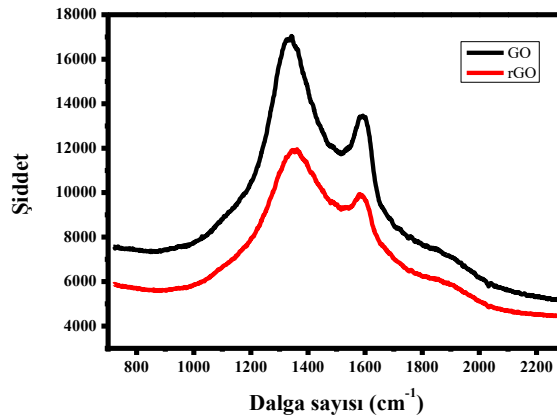


Şekil 1. GO ve rGO'ya ait FTIR spektrumları

Şekil 1.'de verilen GO'ya ait FT-IR spektrumu incelendiğinde, 3450 cm^{-1} dalga sayısında oluşan geniş ve yayvan pikin -OH gerilimine, 1734 cm^{-1} dalga sayısında karbonil ve karboksil gruplarında bulunan -C=O bağının gerilim titreşimine, 1623 cm^{-1} dalga sayılarında grafenin omurgasında bulunan -C=C- bağının gerilim titreşimine, 1222 cm^{-1} ve 1051 cm^{-1} dalga sayılarında ise -C-OH titreşimine ve -C-O- bağının deformasyonuna karşılık gelen piklerin olduğu görülmektedir. GO yapısında fonksiyonel gruplara ait bağlardan başka 2973 cm^{-1} dalga sayısında grafen omurgasında bulunan -C-H bağlarının simetrik gerilimlerine karşılık gelen pikin de olduğu belirlendi.

Raman spektroskopisi

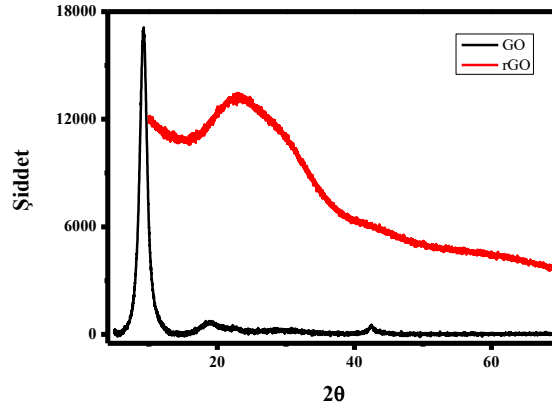
Raman spektroskopisi GO'dan rGO'ya indirgenmenin doğruluğunu kanıtlamak için kullanılan iyi bir yöntemdir. Şekil 2.'de GO ve rGO'ya ait Raman spektrumları görülmektedir. sp² hibritleşmesini gösteren D bandı pikleri, GO için 1336 cm⁻¹ ve rGO için 1354 cm⁻¹ dalga sayılarında görülmektedir (Ferrari ve Robertson, 2000). Bu pikler bütün sp² yapısına sahip karbon materyaller için C-C gerilim bandını göstermektedir. 1588 cm⁻¹ ve 1582 cm⁻¹ civarındaki G pikleri sırasıyla GO ve rGO için sp² C atomlarının E_{2g} fotonlarının saçılmasını göstermektedir (Ferrari ve Robertson, 2000). D bandının şiddeti sp² düzleminin boyutu ile bağlantılıdır (Guo ve ark., 2012). D pikinin şiddetinin artması daha fazla sp² formuna sahip olduğunu kanıtlamaktadır. D ve G piklerinin oranı sp² hibritleşmesi ve boyutların düzeni hakkında bilgi vermektedir (Akhavan ve Ghaderi, 2012; Guo ve ark., 2012). GO ve rGO için D/G oranları 1.25 ve 1.20 olarak bulunmuştur. D/G oranındaki bu azalma sp² düzlemsel bölgesinde boyuttaki azalmayı ve uç bölgesinde artışı kanıtlamaktadır (Ferrari ve ark., 2006; Fu ve ark., 2013).



Şekil 2. GO ve rGO'ya ait Raman spektrumları

XRD

GO'nun indirgenmesi yapısal değişikliklere neden olacaktır. İndirgenme gerçekleştiğinde yapısında bulunan epoksit, karboksilik asit, eter ve hidroksit gibi fonksiyonel grupların yapıdan uzaklaşması ve geride kalan tabakaların birbirlerine yaklaşması sağlanmaktadır. Oksijen içeren fonksiyonel gruplar yapıdan uzaklaştırıldıktan sonra geride kalan karbon atomları kendi aralarında birleşeceklerdir. Karbon örgüsünün tekrar meydana gelmesinden dolayı grafen (rGO) yapısı gözlenebilecektir. GO ve rGO yapısı XRD tekniği ile kolayca takip edilebilir. GO ve rGO nun XRD spektrumları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.'de gösterilmiştir. XRD spektrumları incelendiği zaman; GO'ya ait yaklaşık 9,2°'de gözlenen pik indirgenmeden sonra kaybolmuş ve tekrar 23°'de ortaya çıkmıştır. rGO için gözlenen bu pik grafenin (002) kristal yapısı ile uyumlu olup; indirgenme sonucu grafen yapısının oluşumunu göstermektedir (Liu ve ark., 2014; Wang ve ark., 2014).



Şekil 3. GO ve rGO'ya ait XRD spektrumları

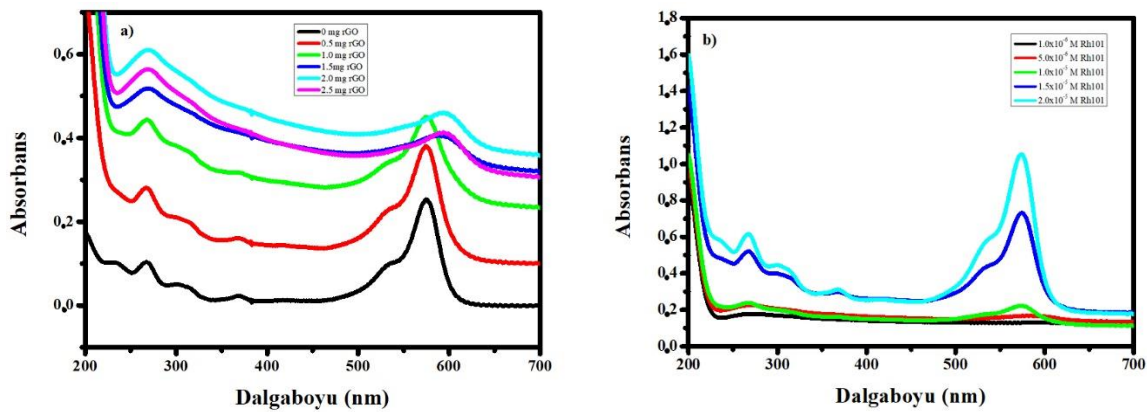
Boyar Madde-rGO kompozitlerinin sentezi

Deneylerimizde ksanten türevi olan Rodamin 101, Eosin Y ve Floresin kullanıldı. Boyar maddelerin sulu stok çözeltileri hazırlandı (Floresinin suda çözünürlüğü iyi olmadığı için etanolde çözünerek stok çözeltisi hazırlandı). Boyar maddeler stok çözeltilerinden seyreltilerek ve üzerine çeşitli oranlarda rGO eklenerek kompozitler hazırlandı. Kompozitleri elde etmek için boyar madde ve rGO 20°C'de ultrasonik banyoda 2 saat karıştırıldı.

Rh101-rGO kompozitlerinin spektroskopik özellikleri

UV-Vis spektroskopisi

Rodamin türevi boyar maddeler tekstil ve gıda boyalarında sıkça kullanılan sentetik boyar maddelerdir (Shen ve ark., 2015). Şekil 4a.'da sabit Rh101 derişiminde farklı rGO miktarları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rGO miktarı arttırıldıkça 300 nm civarında rGO'ya özgü olan absorpsiyon piki gözlenmiştir. Ayrıca Rh101'e ait olan 575 nm civarındaki keskin pik rGO miktarı arttırıldıkça etkileşimden dolayı yayvanlaşmış ve 598 nm'ye batokromik (kırmızı bölgeye) kayma gerçekleşmiştir (Bozkurt ve ark., 2014; Collison ve ark., 2008; Geng ve Jung, 2010). Rh101 π konjugasyonuna sahiptir ve rGO ile π - π ve elektrostatik etkileşime girerek batokromik kayma gerçekleştirir (Şinforoğlu ve ark., 2013).

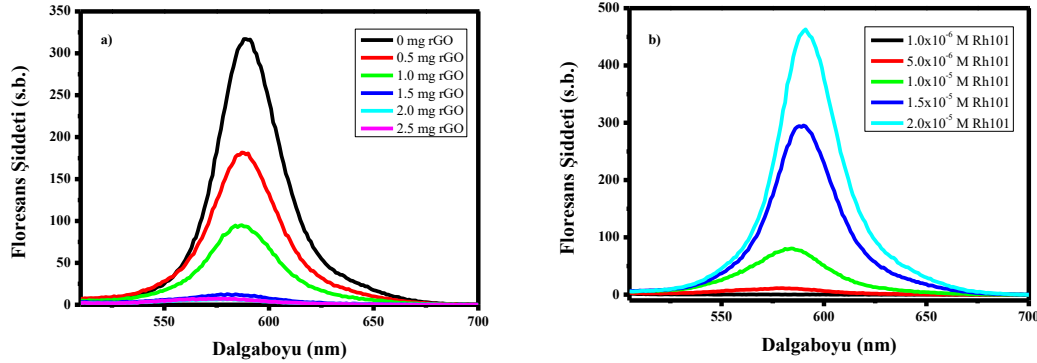


Şekil 4. a)Sabit Rh101 (1.0×10^{-5} M) derişiminde farklı rGO miktarı ilavesinin absorpsiyon spektrumları b) Sabit rGO (1.5 mg) miktarında farklı Rh101 derişimlerinin absorpsiyon spektrumları

Şekil 4b.'de sabit rGO (1.5 mg) miktarında Rh101 derişimleri değiştirilmiştir. Rh101 miktarının az olduğu durumlarda Rh101'e özgü absorbans piki gözlenmemiştir. Rh101 miktarı arttırıldıkça boyaya ait olan pik gözlenmeye başlanmıştır.

Floresans spektroskopisi

Grafen, GO ve rGO'nun floresans kuençır özelliğine sahip olduğu bilinmektedir (Morales-Narváez ve ark., 2012). Şekil 5a.'da sabit Rh101 derişiminde farklı rGO miktarlarının floresans spektrumları verilmiştir. Grafik incelendiğinde rGO miktarı arttırıldıkça doğru orantılı olarak floresans şiddetleri düştüğü görülmektedir. rGO miktarının en fazla olduğu noktada ise Rh101'in floresansının tamamen kuençleştüğü gözlenmiştir.



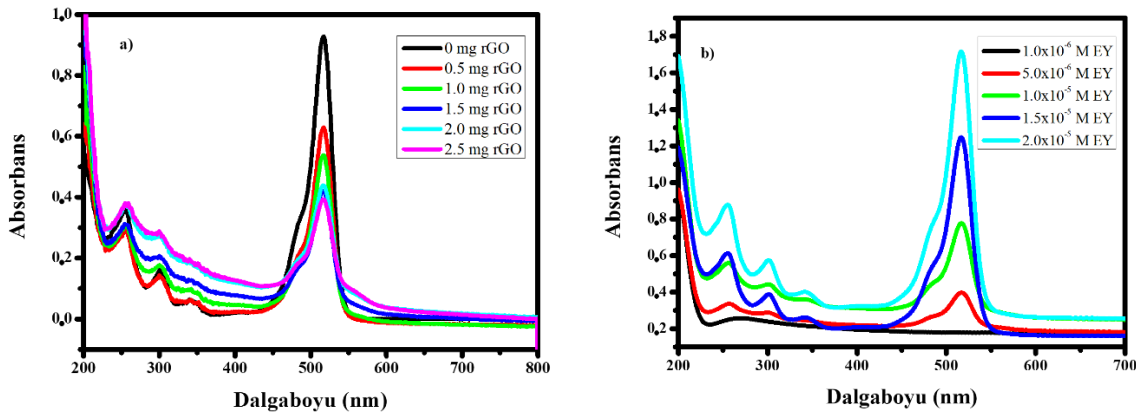
Şekil 5. a) Sabit Rh101 (1.0×10^{-5} M) derişiminde farklı rGO miktarı ilavesinin floresans spektrumları (b) Sabit rGO (1.5 mg) miktarında farklı Rh101 derişimlerinin floresans spektrumları ($\lambda_{eks}=500$ nm)

Şekil 5b.'de sabit rGO miktarında farklı Rh101 derişimlerinin floresans spektrumları verilmiştir. Grafiğe bakıldığında Rh101 derişimi arttırıldığında floresans şiddetinin de orantılı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum, ortamda boyar madde konsantrasyonu arttıkça rGO ile etkileşen boyar madde dışında çözelti ortamında serbest halde bulunan boyar maddelerin varlığı ile açıklanmaktadır (Samanta ve ark., 2018).

Eosin Y-rGO kompozitlerinin spektroskopik özellikleri

UV-Vis spektroskopisi

Eosin Y, düşük maliyet ve toksisite nedeniyle daha çok homojen fotokataliz alanlarında yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır (Hari ve König, 2011; Mou ve ark., 2011; Neumann ve ark., 2011; Koegl ve ark., 2020.). Şekil 6a.'da sabit Eosin Y derişiminde farklı rGO miktarlarının absorpsiyon spektrumları verilmiştir. Spektrumlar incelendiğinde rGO miktarı arttırıldıkça Eosin Y'nin 517 nm'deki absorpsiyon pik şiddetinde azalma (hipokromik etki) olduğu görülmektedir (Mou ve ark., 2011; W. Zhang ve ark., 2016). Ayrıca 250 nm civarındaki rGO'ya ait pikte artış gözlenmiştir.

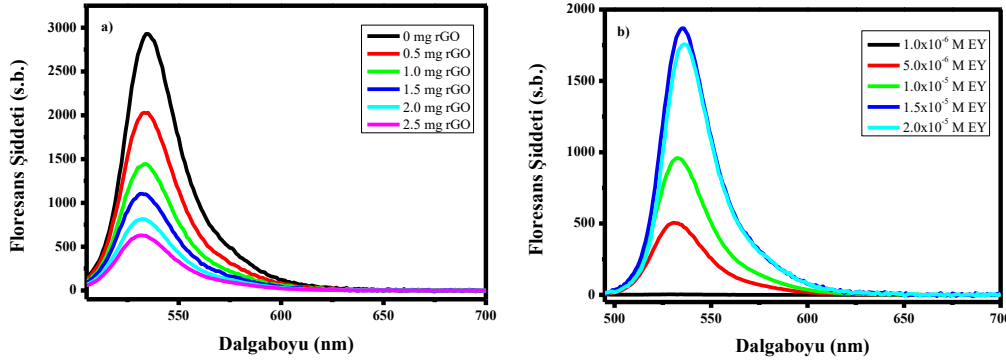


Şekil 6. a) Sabit Eosin Y (1.0×10^{-5} M) derişiminde farklı rGO miktarı ilavesinin absorpsiyon spektrumları b) Sabit rGO (1.5 mg) miktarında farklı Eosin Y derişimlerinin absorpsiyon spektrumları

Şekil 6b’de sabit rGO miktarında farklı derişimlerde Eosin Y’nin absorpsiyon spektrumları verilmiştir. Eosin Y derişimi en düşük olduğunda herhangi bir absorpsiyon piki gözlenmemiştir. Boya miktarı arttırıldığında Eosin Y’ye ait absorpsiyon pikleri gözlenmiştir.

Floresans spektroskopisi

Şekil 7a ve Şekil 7b’de sabit Eosin Y derişiminde farklı rGO miktarları ve sabit rGO miktarında farklı derişimlerde Eosin Y’nin floresans spektrumları verilmiştir. rGO’nun iyi bir kuençır olduğu bilinmektedir (Srivastava ve ark., 2018). Dolayısıyla spektrumlar incelendiğinde rGO miktarı arttırıldıkça floresans şiddetlerindeki düşüş net bir şekilde görülmektedir.

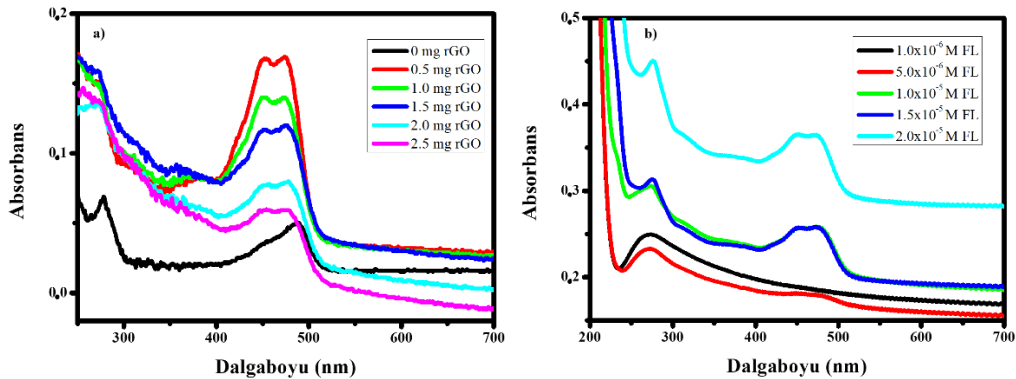


Şekil 7. a) Sabit Eosin Y (1.0×10^{-5} M) derişiminde farklı rGO miktarı ilavesinin floresans spektrumları b) Sabit rGO (1.5 mg) miktarında farklı Eosin Y derişimlerinin floresans spektrumları ($\lambda_{eks}=500$ nm)

Floresin-rGO kompozitlerinin spektroskopik özellikleri

UV-Vis spektroskopisi

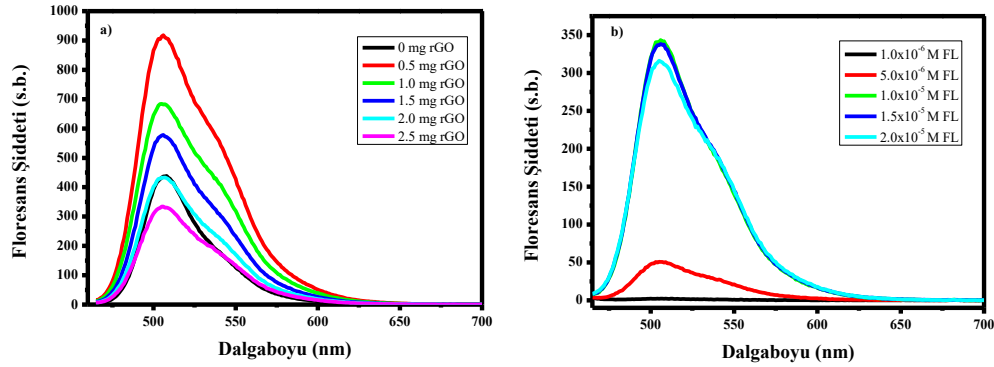
Şekil 8a ve Şekil 8b’de sabit Floresin derişiminde farklı rGO miktarları ve sabit rGO miktarında farklı derişimlerde Floresin için UV-Vis spektrumları verilmiştir. Spektrumlar incelendiğinde floresine özgü pikler 490 nm civarında görülmektedir (Dave ve Dhayal, 2017; Muthulingam ve ark., 2015; Şenol ve ark., 2017; X.-F. Zhang ve ark., 2013; Zhu ve ark., 2017; Li ve ark., 2020). rGO miktarı arttırıldıkça rGO’ya özgü pik olan 250 nm civarında belirginleşmeye başlamıştır. Ayrıca rGO miktarı arttıkça floresinin absorpsiyon pikinde hipsokromik kaymaya (maviye kayma) neden olmuştur. Şekil 8b’de floresin miktarının az olduğu yerlerde sadece rGO’ya ait pikler görünürken, floresinin miktarı arttırıldığında boyaya özgü pikler görülmeye başlamıştır.



Şekil 8. a) Sabit Floresin (1.0×10^{-5} M) derişiminde farklı rGO miktarı ilavesinin absorpsiyon spektrumları b) Sabit rGO (1.5 mg) miktarında farklı Floresin derişimlerinin absorpsiyon spektrumları

Floresans spektroskopisi

Şekil 9a ve Şekil 9b.’de sabit floresin derişiminde farklı rGO miktarları ve sabit rGO miktarında farklı derişimlerde floresine ait floresans spektrumları verilmiştir. rGO miktarı arttırıldıkça kuençleşme gerçekleşmiştir.



Şekil 9. a) Sabit Floresin (1.0×10^{-5} M) derişiminde farklı rGO miktarı ilavesinin floresans spektrumları b) Sabit rGO (1.5 mg) miktarında farklı Floresin derişimlerinin floresans spektrumları

SONUÇ

Modifiye Hummers metodu ile GO ve rGO sentezi gerçekleştirildi. Sentezlenen rGO'nun ksanten türevi boyar maddeler olan Rodamin 101, Eosin Y ve Floresin ile kompozitleri elde edildi. Boyar madde-rGO kompozitlerin spektroskopik analizleri UV-VIS spektroskopisi, durgun- hal floresans spektroskopisi ile yapıldı. Sabit Rh101 derişiminde kompozit absorpsiyonunda 23 nm civarında batokromik (kırmızıya) ve sabit FL derişiminde kompozit absorpsiyonunda 28 nm hipsokromik (maviye) kayma meydana geldiği gözlemlendi. Sabit EY derişiminde ise kompozit absorpsiyonunda hipokromik (absorpsiyon şiddetinde azalma) etki gözlemlendi. Boyar madde-rGO kompozitlerinde kullanılan boyar maddelerin tamamı ksanten türevi olmasına rağmen, ksanten halkasına bağlı olan süstitüe gruplara göre farklı absorpsiyon davranışları gösterdiği gözlemlendi. Boyar madde-rGO kompozitlerinin hepsinde rGO miktarı arttırıldıkça rGO'nun kuençır olmasından dolayı floresans şiddetlerinde belirgin düşüşler olduğu gözlemlendi. Kompozitte rGO daha baskın ve bal peteği yapısında olduğu için boyar maddelerin, rGO tabakalarının arasına yerleştiği önerildi. Sabit rGO miktarında, boyar madde miktarı arttırıldıkça boyar maddelerin floresans spektrumlarındaki şiddetin artması, boyar madde ve rGO etkileşimlerinin kimyasal olarak değil daha çok fiziksel olarak veya daha zayıf bağlar olan van der Waals bağları ile gerçekleştiği düşüncesini destekledi.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2214-A-Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı projeleri tarafından "1059B141400602" kodlu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Akhavan, O., Ghaderi, E. 2012. "Escherichia coli bacteria reduce graphene oxide to bactericidal graphene in a self-limiting manner". *Carbon*, 50(5), 1853–1860.
- Bolotin, K. I., Sikes, K. J., Jiang, Z., Klima, M., Fudenberg, G., Hone, J. ea, ... Stormer, H. L. 2008. "Ultrahigh electron mobility in suspended graphene". *Solid state communications*, 146(9–10), 351–355.

- Bozkurt, E., Acar, M., Onganer, Y., Meral, K. 2014. "Rhodamine 101–graphene oxide composites in aqueous solution: the fluorescence quenching process of rhodamine 101". *Physical Chemistry Chemical Physics*, *16*(34), 18276–18281.
- Collison, C. J., O'Donnell, M. J., Alexander, J. L. 2008. "Complexation between Rhodamine 101 and Single-Walled Carbon Nanotubes Indicative of Solvent– Nanotube Interaction Strength". *The Journal of Physical Chemistry C*, *112*(39), 15144–15150.
- Dave, K., Dhayal, M. 2017. "Fluorometric estimation of amino acids interaction with colloidal suspension of FITC functionalized graphene oxide nanoparticles". *Applied Surface Science*, *396*, 978–985.
- Ferrari, A. C., Meyer, J. C., Scardaci, V., Casiraghi, C., Lazzeri, M., Mauri, F., ... Roth, S. 2006. "Raman spectrum of graphene and graphene layers". *Physical review letters*, *97*(18), 187401.
- Ferrari, A. C., Robertson, J. 2000. "Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon". *Physical review B*, *61*(20), 14095.
- Fu, C., Zhao, G., Zhang, H., Li, S. 2013. "Evaluation and characterization of reduced graphene oxide nanosheets as anode materials for lithium-ion batteries". *Int. J. Electrochem. Sci*, *8*(5), 6269–6280.
- Geng, J., Jung, H.-T. 2010. "Porphyrin functionalized graphene sheets in aqueous suspensions: from the preparation of graphene sheets to highly conductive graphene films". *The Journal of Physical Chemistry C*, *114*(18), 8227–8234.
- Guo, Y., Sun, X., Liu, Y., Wang, W., Qiu, H., Gao, J. 2012. "One pot preparation of reduced graphene oxide (RGO) or Au (Ag) nanoparticle-RGO hybrids using chitosan as a reducing and stabilizing agent and their use in methanol electrooxidation". *Carbon*, *50*(7), 2513–2523.
- Hari, D. P., König, B. 2011. "Eosin Y catalyzed visible light oxidative C–C and C–P bond formation". *Organic letters*, *13*(15), 3852–3855.
- Koegl, M., Weiß, C., Zigan, L. 2020. "Fluorescence Spectroscopy for Studying Evaporating Droplets Using the Dye Eosin-Y". *Sensors*, *20*(21), 5985.
- Lakowicz, J. R. 2013. *"Principles of fluorescence spectroscopy"*. Springer science & business media.
- Li, T., Li, F., Altuzarra, C., Classen, A., Agarwal, G. S. 2020. "Enhanced Two-photon Absorption Fluorescence of Fluorescein Biomarkers Using Squeezed Light Excitation". İçinde *CLEO: Applications and Technology* (ss. JTh3N-5). Optical Society of America.
- Liu, W.-W., Chai, S.-P., Mohamed, A. R., Hashim, U. 2014. "Synthesis and characterization of graphene and carbon nanotubes: A review on the past and recent developments". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *20*(4), 1171–1185.
- Morales-Narváez, E., Pérez-López, B., Pires, L. B., Merkoçi, A. 2012. "Simple Förster resonance energy transfer evidence for the ultrahigh quantum dot quenching efficiency by graphene oxide compared to other carbon structures". *Carbon*, *50*(8), 2987–2993.
- Morozov, S. V., Novoselov, K. S., Katsnelson, M. I., Schedin, F., Elias, D. C., Jaszczak, J. A., Geim, A. K. 2008. "Giant intrinsic carrier mobilities in graphene and its bilayer". *Physical review letters*, *100*(1), 16602.
- Mou, Z., Dong, Y., Li, S., Du, Y., Wang, X., Yang, P., Wang, S. 2011. "Eosin Y functionalized graphene for photocatalytic hydrogen production from water". *international journal of hydrogen energy*, *36*(15), 8885–8893.
- Muthulingam, S., Lee, I.-H., Uthirakumar, P. 2015. "Highly efficient degradation of dyes by carbon quantum dots/N-doped zinc oxide (CQD/N-ZnO) photocatalyst and its compatibility on three different commercial dyes under daylight". *Journal of colloid and interface science*, *455*, 101–

109.

- Neumann, M., Fuldner, S., König, B., Zeitler, K. 2011. "Metal-free, cooperative asymmetric organophotoredox catalysis with visible light". *Angewandte Chemie International Edition*, 50(4), 951–954.
- Samanta, M., Mukherjee, M., Ghorai, U. K., Sarkar, S., Bose, C., Chattopadhyay, K. K. 2018. "Ultrasound assisted catalytic degradation of textile dye under the presence of reduced Graphene Oxide enveloped Copper Phthalocyanine nanotube". *Applied surface science*, 449, 113–121.
- Şenol, A. M., Onganer, Y., Meral, K. 2017. "An unusual "off-on" fluorescence sensor for iron (III) detection based on fluorescein–reduced graphene oxide functionalized with polyethyleneimine". *Sensors and Actuators B: Chemical*, 239, 343–351.
- Shen, K., Gondal, M. A., Al-Saadi, A. A., Li, L., Chang, X., Xu, Q. 2015. "Visible light-induced photodegradation of rhodamine dyes over BiOCl, and the vital importance of the frontier orbital energy of the dye molecules in the reaction kinetics". *Research on Chemical Intermediates*, 41(5), 2753–2766.
- Şinforoğlu, M., Gür, B., Arık, M., Onganer, Y., Meral, K. 2013. "Graphene oxide sheets as a template for dye assembly: graphene oxide sheets induce H-aggregates of pyronin (Y) dye". *Rsc Advances*, 3(29), 11832–11838.
- Srivastava, S., Senguttuvan, T. D., Gupta, B. K. 2018. "Highly efficient fluorescence quenching with chemically exfoliated reduced graphene oxide". *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena*, 36(4), 04G104.
- Stankovich, S., Dikin, D. A., Dommett, G. H. B., Kohlhaas, K. M., Zimney, E. J., Stach, E. A., ... Ruoff, R. S. 2006. "Graphene-based composite materials". *nature*, 442(7100), 282–286.
- Wang, L., Park, Y., Cui, P., Bak, S., Lee, H., Lee, S. M., Lee, H. 2014. "Facile preparation of an n-type reduced graphene oxide field effect transistor at room temperature". *Chemical Communications*, 50(10), 1224–1226.
- Zhang, W., Li, Y., Peng, S. 2016. "Facile synthesis of graphene sponge from graphene oxide for efficient dye-sensitized H₂ evolution". *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(24), 15187–15195.
- Zhang, X.-F., Liu, S.-P., Shao, X.-N. 2013. "Noncovalent binding of xanthene and phthalocyanine dyes with graphene sheets: The effect of the molecular structure revealed by a photophysical study". *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 113, 92–99.
- Zhu, X., Jin, H., Gao, C., Gui, R., Wang, Z. 2017. "Ratiometric, visual, dual-signal fluorescent sensing and imaging of pH/copper ions in real samples based on carbon dots-fluorescein isothiocyanate composites". *Talanta*, 162, 65–71.