

Değişik Boyalar Yüklenmiş p(AMPS) Hidrojellerinin Optik Özelliklerinin ve Elektriksel İletkenliklerinin İncelenmesi

Şahin Demirci¹, Nurettin Şahiner¹, Kıvanç Sel*²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

08.03.2018 Geliş/Received, 24.04.2018 Kabul/Accepted

Özet

Bu çalışmada, öncelikle poli(2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit) (p(AMPS)) türü hidrojeller sentezlenmiş ve sonrasında giemsa stain (GS), methylene blue (MB) ve rhodamin 6G (R6G) boya maddeleri ile yüklenmiştir. Hidrojeller yapılarında suyu seven birçok fonksiyonel gruba sahip olabilmeleri nedeniyle özellikle tıp, biyomedikal, eczacılık, kozmetik, tarım, çevre gibi pek çok alanda uygulama imkânına sahiptir. GS, MB, R6G boya maddeleri gen, protein, DNA gibi maddelere bağlanabilmeleri sayesinde kimya, biyoloji ve tıpta pH ayarlama ve belirleme, hastalık teşhis ve tedavisi gibi uygulamalarda ve endüstride de boya gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Floresan özellik göstermeleri sayesinde çeşitli optik uygulamalarda da kullanım alanına sahiptirler. Sentezlenen ve boya yüklenen hidrojellerin optik özellikleri morötesi-görünür bölge (UV-Vis) soğurma spektrofotometre ve floresans spektrofotometre ile analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, bu boyaların optik özelliklerinin boya yüklenen p(AMPS) hidrojellerde de gözlemlendiği belirlenmiştir. p(AMPS) hidrojellerin ve boya yüklenmiş hidrojellerin elektriksel özellikleri oda sıcaklığında iletkenlik ölçümleri ile incelenmiştir. Elektriksel ve optik özelliklerinin analizleri boya yüklenmiş p(AMPS) hidrojellerin tıbbi uygulamalarda, LED, güneş gözesi, optik filtre gibi optoelektronik uygulamalarda kullanılma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: p(AMPS), hidrojel, morötesi- görünür bölge soğurma spektrofotometre, floresans spektrofotometre, elektriksel iletkenlik

Investigation of Optical Properties and Electrical Conductivities of Various Dyes Loaded p(AMPS) Hydrogels

Abstract

In this study, poly(2-acrylamido-2-methyl-propanesulfonic acid) (p(AMPS)) type hydrogels were synthesized and afterwards giemsa stain (GS), methylene blue (MB) and rhodamin 6G (R6G) dyes were loaded to the hydrogels. Because of the reason that these hydrogels possess hydrophilic groups such as -OH, -NH₂, -SO₃H, -PO₃H, -COOH in their structures; they have various applications in many fields such as medical, biomedical, pharmacy, cosmetic, agriculture, environment. GS, MB, R6G dyes, that could be bonded to gene, protein, DNA, often used in chemistry, biology and medical applications such as diagnosis and treatment, pH

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Kıvanç Sel

(e-posta: kivanc@comu.edu.tr)

Bu çalışma ÇOMÜ BAP Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: FBA-2014-292

determination and in industrial applications that requires the use of dyes. As a result of their fluorescence properties, they could be used in various optical applications. The optical properties of the synthesized and dye loaded hydrogels were analyzed by ultraviolet-visible (UV-Vis) absorption spectrophotometer and fluorescence spectrophotometry. As a result of these analysis, it is determined that the optical properties of the dyes were also observed in the dye loaded p(AMPS) hydrogels. Additionally, the electrical properties of the p(AMPS) hydrogels and dye loaded hydrogels were investigated by room temperature conductivity measurements. The analysis of the electrical and optical properties showed that dye loaded p(AMPS) hydrogels have potential to be used in medical applications and optical applications such as LED, solar cells, optical filters.

Keywords: p(AMPS), hydrogel, ultraviolet-visible absorption spectrophotometer, florescence spectrophotometer, conductivity

1. Giriş

Hidrojeller, -COOH, -NH₂, -CONH₂, -NH₂, -SO₃H ve -PO₃H gibi hidrofilik ve/veya yük oluşturabilen fonksiyonel gruplara sahip üç boyutlu yapılar oluşturmak için monomerlerin veya polimer zincirlerinin kimyasal ve fiziksel bağlanmasıyla geliştirilir (Sahiner 2013a). Hazırlık yöntemlerinin kolaylığı, fonksiyonel grupların bolluğu ve fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle, hidrojellerin, elastik, yumuşak, esnek yapısı ve su tutma kabiliyeti ile canlı dokulara benzerlik göstermesi nedeniyle, biyomedikal ve çevre mühendisliği uygulamalarında gelişmiş malzemelerin tasarımı için büyük önemi vardır (Zhu 2010; Orakdogan ve ark., 2011; Tan ve ark., 2011). Bulk, mikro ve nano boyutlara sahip hidrojeller teşhis araçlarından sıhhi uygulamalara ilaveten ilaç verme ve çevre uygulamalarına kadar her yerde kullanıma sahiptir (Yoon ve ark., 2011; Oh ve ark., 2007; Silan ve ark., 2012; Biswal ve ark., 2008; Sahiner ve ark., 2011). Hidrojeller, makro veya mikro / nano boyutlarında üç boyutlu bir ağ oluşturan kovalent bağlanma yoluyla bağlanan hidrofilik polimerik zincirlerdir, ayrıca hidrojen bağı ve elektrostatik etkileşimler gibi fiziksel etkileşimler ve hidrofobik etkileşimleri mevcuttur (Varvarenko ve ark., 2010; Nayak ve Lyon 2005). Gözenek boyutları (makro gözenekli > 50 nm, 2 nm'ye kadar mezogözenekli ve mikro gözenekli < 2 nm) için geleneksel tanım, özel bir tür hidrojel, kriyojellerin gözenek boyutları gibi yumuşak ve esnek hidrojelere uygulanamaz. Boyut olarak birkaç yüz mikrometre kadar birbirine bağlı gözenekler ile süper gözenekli veya hiper gözenekli olarak kabul edilir (Dawson ve ark., 2012; Okay 2000; Lozinsky ve ark., 2003). Ayrıca, hidrojellerin sulu ortamlarda şişmesi nedeniyle, gözenek boyutu, ortam ve pH, iyonik güç, sıcaklık, çözücü polaritesi, tuzluluk ve benzeri gibi uyaranlara bağlı olarak büyük ölçüde değiştirilebilir. Son yıllarda hidrojellerin ayarlanabilir fiziksel ve kimyasal işlevsellikleri olan yumuşak şablonlar olarak kullanımı, kimyasal fonksiyonel grupların çok yönlülüğü, ayarlanabilir gözeneklilik, boyutların ve morfolojinin çok yönlülüğüne bağlı olarak büyük ilgi çekmiştir (Jenkins ve ark., 2012; Sahiner 2013a; Sahiner 2013b).

Bu çalışmanın amacı, sentezlenen p(AMPS) hidrojelere GS, MB, R6G gibi boyar maddeler yüklenmesi ve bu hidrojellerin optik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda p(AMPS) hidrojeller sentezlenerek GS, MB, R6G boya yüklenmiştir. Boya yüklenmiş p(AMPS) hidrojellerin optik özellikleri morötesi-görünür bölge soğurma spektrofotometre ile ölçülerek soğurma katsayısı, optik bant enerjisi (E_g) ve Urbach enerjileri (E_u) hesaplanmıştır. Ayrıca floresans spektrofotometre ile floresans özellikleri incelenmiştir. p(AMPS) hidrojellerin oda sıcaklığında akım voltaj ölçümleri yapılmış ve iletkenlikleri hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, 2-akrilamido 2- metil 1-propan sülfonik asit (AMPS, %50 sulu çözeltisi, Aldrich) monomer, N, N'-metilen bisakrilamid (MBA, %98, Aldrich) çapraz bağlayıcı, amonyum persülfat (APS, %99,9, Aldrich) başlatıcı ve N, N, N, N-tetrametiletilediamin (TEMED, %99, Merck) hızlandırıcı olarak kullanılmıştır. Bunların yanı sıra, metilen mavisi (MB, %97, Sigma Aldrich), gimza boyası (GS, Merck) ve rodamin 6G (R6G, 9%5, Sigma Aldrich) boya maddeleri olarak kullanılmış ve sulu çözeltileri içerisinde p(AMPS) hidrojellerine yüklenmiştir. Boya yükleme ve yıkama işlemlerinde iki kere distile edilmiş saf su kullanılmıştır.

p(AMPS) hidrojelleri redoks polimerizasyon tekniği ile sentezlenmiştir. Buna göre belirli bir miktar AMPS monomeri (0,5 mL) içinde monomere göre molce %0,5'lik metilenbisakrilamid (MBA) çapraz bağlayıcı çözülmüştür. Daha sonra üzerine 10 µL tetrametiletilediamin (TEMED) eklenip vortekslenmiştir. Aynı bir vialde monomere göre molce %1'lik 0,250 mL amonyum persülfat (APS) çözeltisi hazırlanmış ve monomer ile çapraz bağlayıcı içeren vialin üzerine eklenerek hızlıca karıştırılıp çapı 4 mm olan pipetler içinde polimerizasyon gerçekleştirilmiştir. Polimerizasyon bittikten sonra p(AMPS) hidrojelleri eşit parçalara kesilip 1 gece saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi sırasında su kısa zaman aralıkları içinde değiştirilerek yenilenmiştir. Yıkanan p(AMPS) hidrojelleri etüvde 50 °C'de kurutulmuştur. Sentezlenen, yıkanan ve kurutulan p(AMPS) hidrojellerine MB, GS ve R6G boya maddeleri yüklenmiştir. Bu işlem için belirli miktar p(AMPS) hidrojelini (0,2 g) saf su içerisinde hazırlanan 250 mL 100 ppm MB, GS ve R6G boya çözeltilerine yerleştirilmiş ve bir gece 200 rpm de karıştırılarak hidrojelilerin boya yüklenmesi sağlanmıştır. Boya yüklenen p(AMPS) hidrojelleri saf su ile 3 kere yıkandıktan sonra ölçümler yapılmıştır.

Hidrojelilerin optik özellikleri morötesi-görünür bölge (UV-Vis) soğurma spektrofotometre (T80+UV/VIS PG Instruments Spectrometer) ile 200-900 nm dalgaboyu aralığında ölçülerek analiz edilmiştir.

Soğurma katsayıları (α (cm⁻¹)),

$$A = \alpha \cdot d \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte 'A' soğurma, 'd' ise örneklerin kalınlığıdır. Hidrojelilerin enerji bant yapılarının direk enerji bant yapısı olduğu varsayılarak optik enerjileri (E_g) (Pankove 1976),

$$(\alpha h\nu)^2 = B(h\nu - E_g) \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte 'B' bir sabit,, 'h' Planck sabiti, 'v' ise frekanstır. $(\alpha h\nu)^2$ dik 'hv' grafiği çizilerek bu grafiğe doğrusal fonksiyon uydurulmuş ve bu fonksiyonda $(\alpha h\nu)^2$ 'nin sıfır olduğu değerden E_g belirlenmiştir.

Urbach enerjileri (E_0) ise 'ln α ' dik 'hv' grafiği çizilerek doğrusal kısmının eğiminin tersi alınarak hesaplanmıştır.

$$\alpha(h\nu) = \alpha_0 \exp \left[\frac{h\nu}{E_U} \right] \quad (3)$$

GS, MB, RG6 boyaalarının ve boya yüklenmiş p(AMPS) hidrojjelerin floresans özellikleri Thermo Scientific Lumina spektrofotometre ile ölçülmüştür.

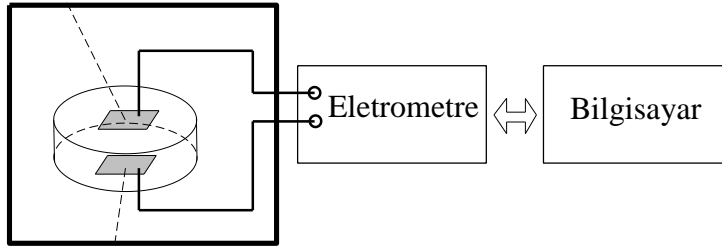
Boya yüklenmiş p(AMPS) hidrojjelerin oda sıcaklığında akım-voltaj ölçümleri Şekil 2. 1.'de sunulan bilgisayar kontrollü deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Voltaj kaynağı ve akım ölçümü için KEITHLEY 2400 model elektrometre kullanılmıştır. Hidrojjeler sentezlendikten ve boya yüklendikten sonra etüvde 50 °C'de kurutulmuştur. Silindir şeklinde hazırlanmış olan hidrojjelerin üst ve alt yüzeylerine iletken karbon bantlar elektrot olarak kaplanmıştır. Hidrojjelerin oda sıcaklığındaki öziletkenlikleri (σ) Eşitlik 4. Ve Eşitlik 5. kullanılarak akım voltaj eğrilerinin Ohmik bölgelerinden hesaplanmıştır.

$$V = I.R \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{R.A}{l} \quad (5)$$

'V' voltaj, 'I' akım, 'R' direnç, 'A' kesit alan ve 'l' kalınlıktır.

İletken Karbon Bant (Üst Elektrot)



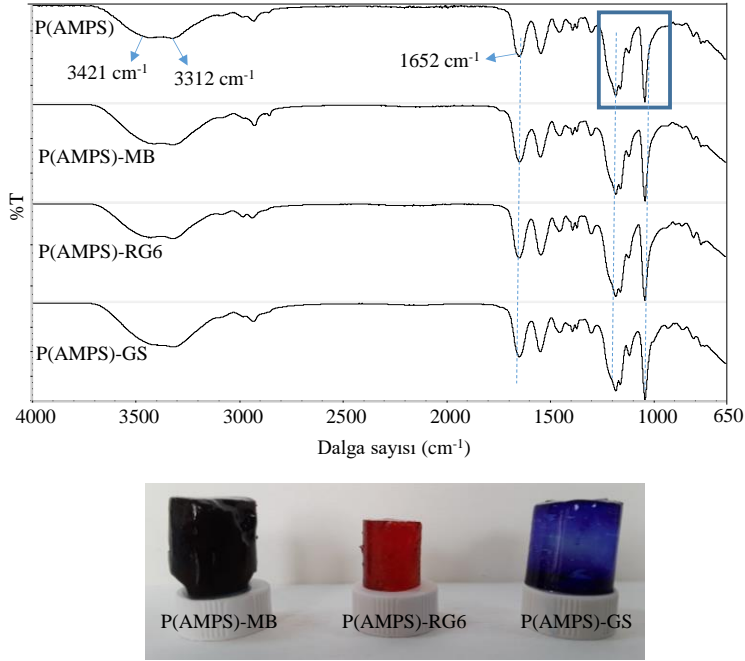
İletken Karbon Bant (Alt Elektrot)

Şekil 2.1. p(AMPS) hidrojjelerin oda sıcaklığında akım-voltaj ölçümlerinin yapıldığı deney düzeneğinin şeması

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. p(AMPS) Hidrojjelerinin Ve Boya Absorplamış Hidrojjelerin Karakterizasyonu

p(AMPS) hidrojjeleri serbest radikal polimerizasyon yöntemi ile sentezlenmiştir. Sentez sırasında çapraz bağlayıcı olarak MBA, başlatıcısı olarak APS ve hızlandırıcı olarak TEMED kullanılmıştır. Sentezlenen p(AMPS) hidrojjeleri yapılarında bulunan sülfonik asit gruplarından dolayı anyonik karakterde olduğundan katyonik karakterde boyar maddeler olan MB, GS ve RG6'nın 100 ppm 250 mL'lik sulu çözeltilerinde bekletilerek iyonik olarak hidrojjelere boya yüklemesi gerçekleştirilmiştir. p(AMPS), MB, GS ve RG6 boyaaları yüklenmiş p(AMPS) hidrojjelerinin FT-IR spektrumları çekilmiştir ve Şekil 3.1 (a)'da verilmiştir. Buna göre, p(AMPS) hidrojjelerinin FT-IR spektrumlarında N-H gerilme pikleri 3421 ve 3312 cm^{-1} dalga sayısında, C=O piki 1652 cm^{-1} dalga sayısında ve karakteristik sülfon gruplarının O=S=O asimetrik gerilme pikleri 1351 cm^{-1} , O=S=O simetrik gerilmeleri 1115 cm^{-1} ve S-O gerilme titreşimleri 1032 cm^{-1} dalga sayısında gözlenmiştir. Boya yüklü hidrojjelerinde FT-IR spektrumlarında bir değişiklik gözlenmemiştir.

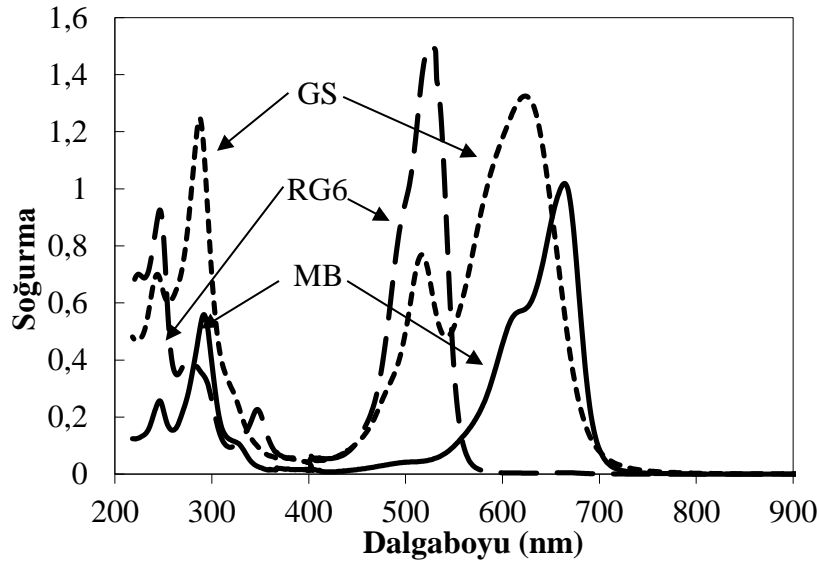


Şekil 3.1. p(AMPS) esaslı hidrojellerin (a) FT-IR spektrumları, (b) kamera resimleri

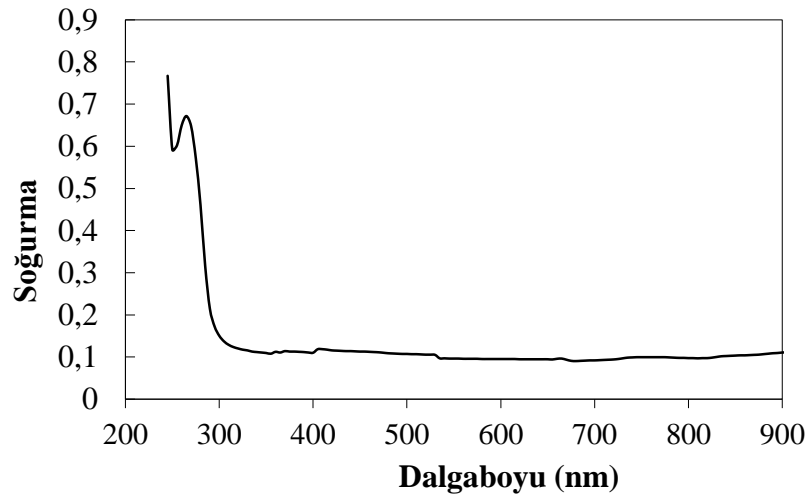
Boya yüklü p(AMPS) hidrojellerinin dijital kamera görüntüleri alınıp Şekil 3.1 (b)'de verilmiştir. Boya yüklü p(AMPS) hidrojellerinin renklerinin değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca boya yüklü p(AMPS) hidrojelleri yükleme işlemi tamamlandıktan sonra birkaç kere su ile yıkanmıştır ve yüzeye adsorbe olan boya moleküllerinin uzaklaşması sağlanmıştır. Adsorbe edilmiş boya moleküllerinin ise uzaklaşmadığı görülmüştür.

3.2. Optik Ölçüm ve Analizleri

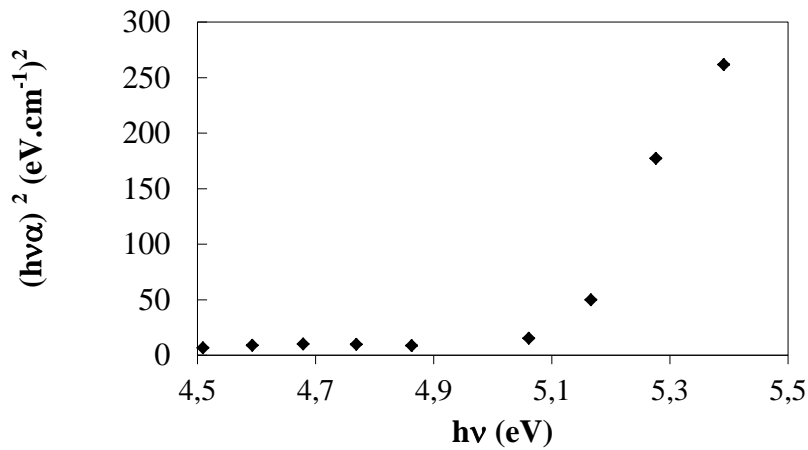
Boya yüklü p(AMPS) hidrojellerinin UV-Vis soğurma spektrumları Şekil 3.2.'de sunulmuştur. GS'nin 230-350 nm, 242 nm ve 286 nm civarında, 400-700 nm aralığında ve 515-620 nm civarında olmak üzere 4 adet piki gözlemlenmiştir. MB'nin 230-350 nm aralığında 245 nm ve 290 nm civarında ve 450-750 nm aralığında 660 nm'de olmak üzere 3 piki gözlemlenmiştir. Buna ek olarak 610 nm civarında da daha düşük yoğunluklu bir pikinin etkisi gözlemlenmektedir. RG6'nın 450-600 nm aralığında 530 nm civarında ve 230-370 nm aralığında 245 nm, 275 nm ve 346 nm civarında olmak üzere 4 piki gözlemlenmiştir.



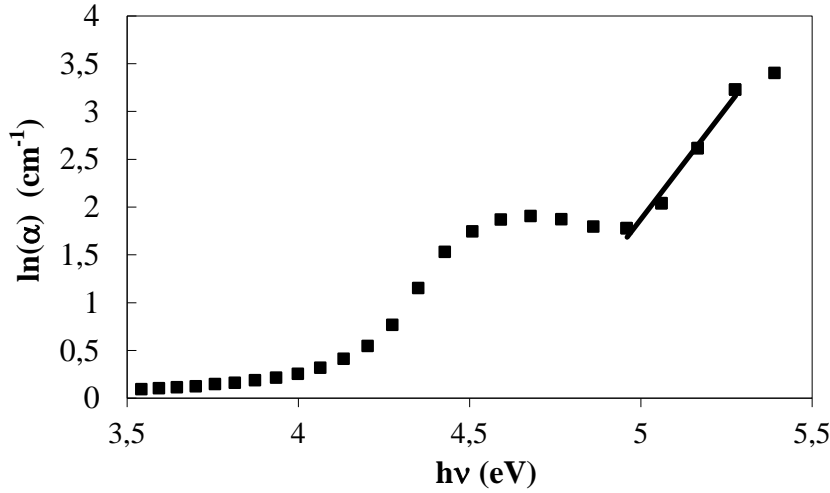
Şekil 3.2. GS, MB ve RG6 boyaalarının UV-Vis soğurma spektrumları



Şekil 3.3. p(AMPS) hidrojinin UV-VIS soğurma spektrumu

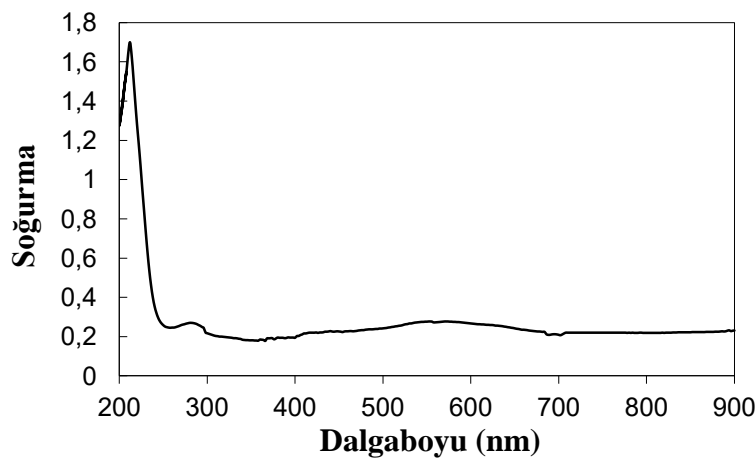
Şekil 3.4. p(AMPS) hidrojinin $(\alpha h\nu)^2$ dik $h\nu$ grafiği

p(AMPS) hidrojinin UV-Vis soğurma spektrumu Şekil 3.3.'te sunulmuştur. Soğurma bölgesinin 315 nm civarında başladığı ve 265 nm'de pik yaptığı gözlemlenmiştir. p(AMPS) hidrojinin $(\alpha hv)^2$ dik hv grafiği Şekil 3.4.'te sunulmuştur ve uydurulan doğrunun enerji eksenini kestiği noktadan optik enerjisi (E_g) 5.1 ± 0.1 eV bulunmuştur. p(AMPS) hidrojinin Urbach enerjisi (E_U) Şekil 3.5.'te $\ln(\alpha)$ dik hv grafiğine uydurulan doğrunun eğiminin tersinden 214 meV bulunmuştur.

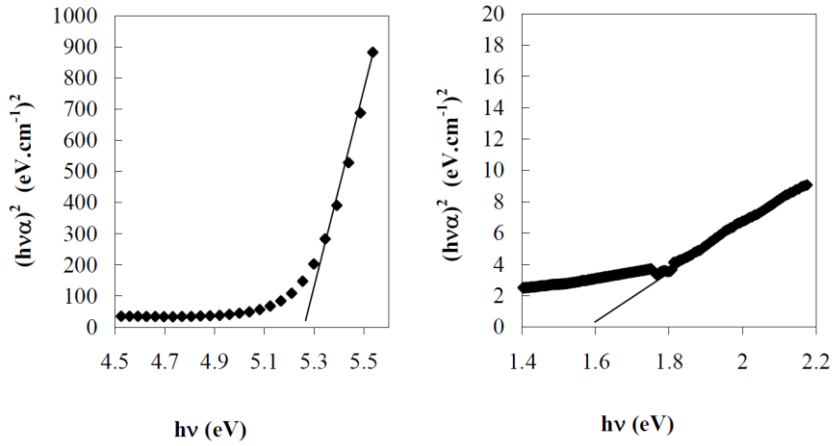


Şekil 3.5. p(AMPS) hidrojinin $\ln(\alpha)$ dik hv grafiği

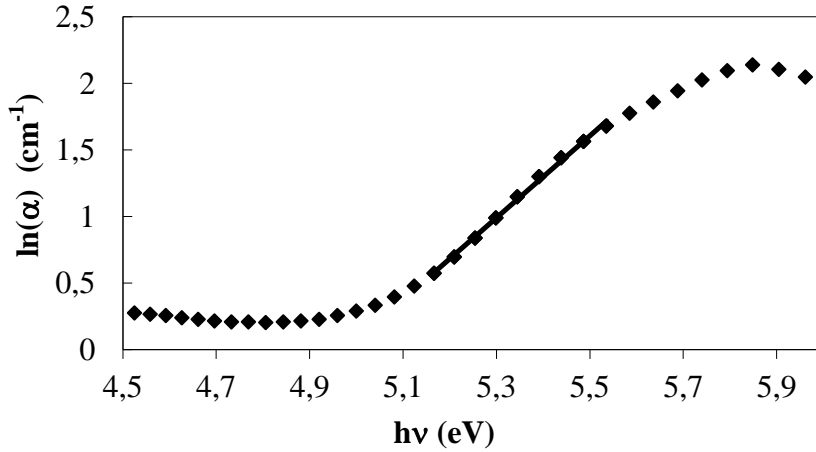
GS boyası yüklenmiş p(AMPS) hidrojinin UV-Vis soğurma grafiği Şekil 3.6.'da verilmiştir. GS boyasının etkisi sonucunda p(AMPS) hidrojinin piklerine ek olarak 400-700 nm aralığında bir soğurma piki daha gözlemlenmiştir. Şekil 3.7.'de ise $(\alpha hv)^2$ dik hv grafiği sunulmuş ve p(AMPS) hidrojinin optik enerjisine yakın olarak 5.2 eV'a ek olarak 1.5 eV'luk bir enerji daha hesaplanmıştır. Urbach enerjisi ise Şekil 3.8.'de sunulan grafikten 323 meV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. GS boyası yüklenmiş p(AMPS) hidrojinin UV-Vis soğurma spektrumu

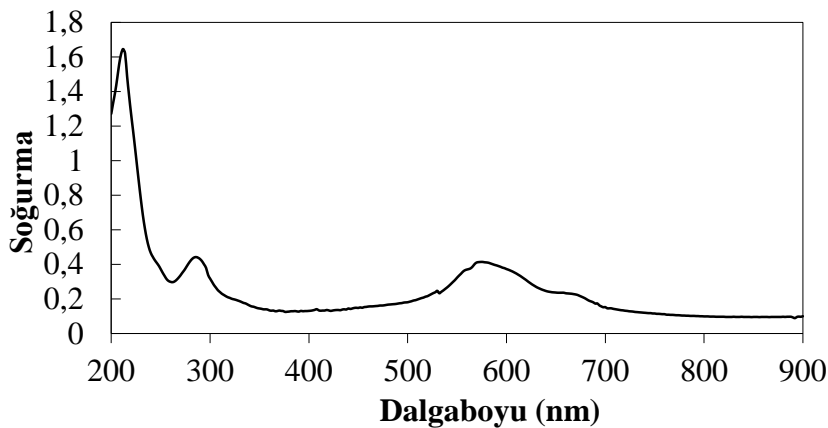


Şekil 3.7. GS boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin $(\alpha hv)^2$ dik hv grafiği

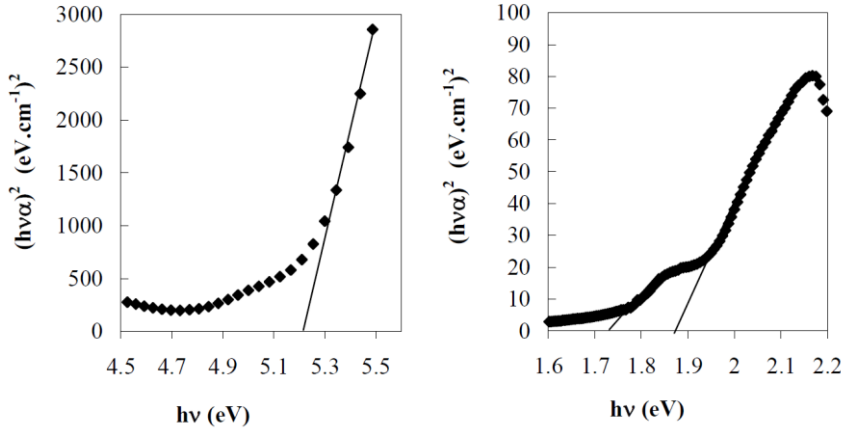


Şekil 3.8. GS boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin $(\ln \alpha)$ dik hv grafiği

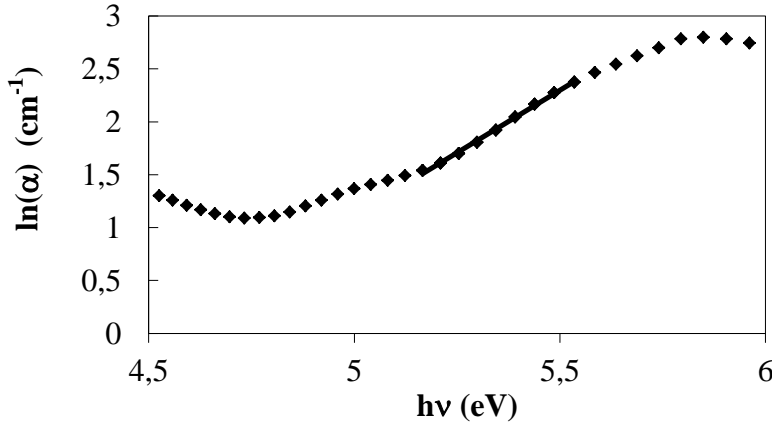
MB boyası yüklenmiş p(AMPS) hidrojinin UV-VIS soğurma grafiği Şekil 3.9.'da sunulmuştur. MB boyasının etkisiyle p(AMPS) hidrojinin piklerine ek olarak 450-700 nm aralığında da soğurma gözlemlenmiştir. MB boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin optik enerjisi p(AMPS) hidrojininkine yakın olarak 5.2 eV olarak hesaplanmış ve ayrıca 1.7 eV ve 1.9 eV enerjilerinde de optik geçişler olduğu hesaplanmıştır (Şekil 3.10). Urbach enerjisi ise Şekil 3.11.'de sunulan grafikten 423 meV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. MB boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin UV-VIS soğurma spektrumu

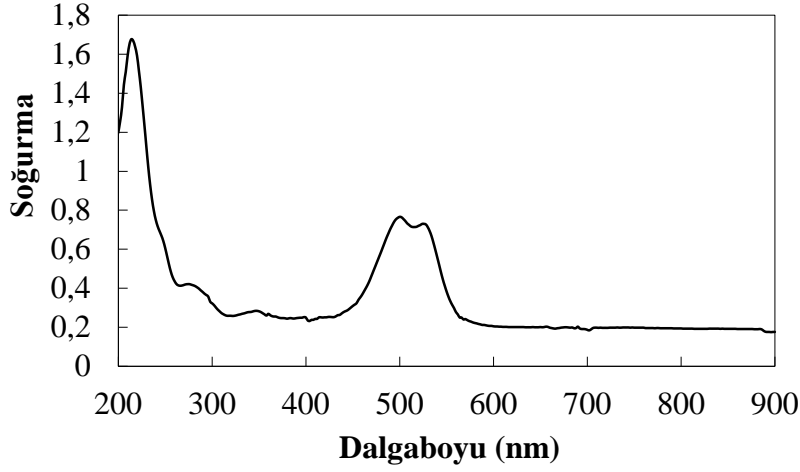


Şekil 3.10. MB boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin $(\alpha hv)^2$ dik hv grafiği

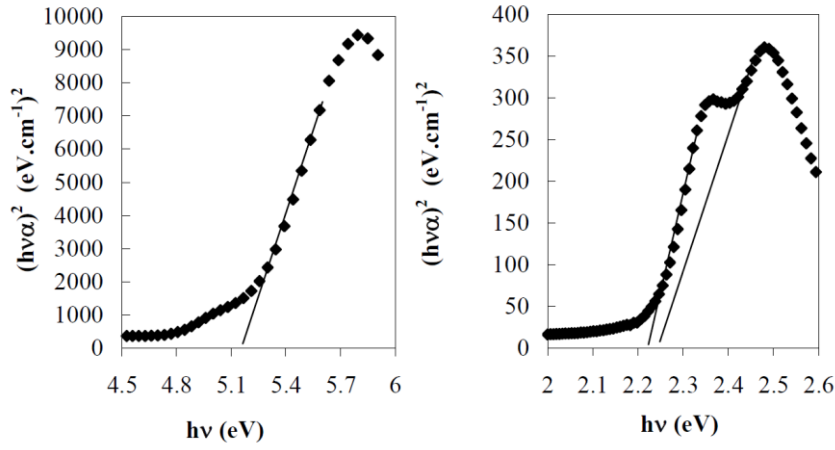
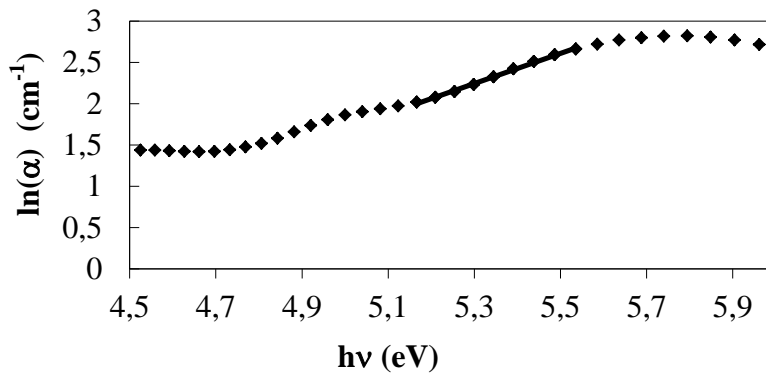


Şekil 3.11. MB boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin $\ln(\alpha)$ dik hv grafiği

RG6 boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin UV-VIS soğurma grafiği Şekil 3.12.'de sunulmuştur. RG6 boyasının etkisiyle p(AMPS) hidrojinin piklerine ek olarak 420-600 nm aralığında da soğurma piki gözlemlenmiştir. RG6 boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin optik enerjisi diğer boyaların soğurma spektrumlarına benzer davranış göstererek 5.2 eV olarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak boyanın etkisi sonucunda 2.2-2.3 eV aralığında iki farklı enerjide de optik geçişler olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.13). Urbach enerjisi ise Şekil 3.14.'te sunulan grafikten 548 meV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. RG6 boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin UV-VIS soğurma spektrumu

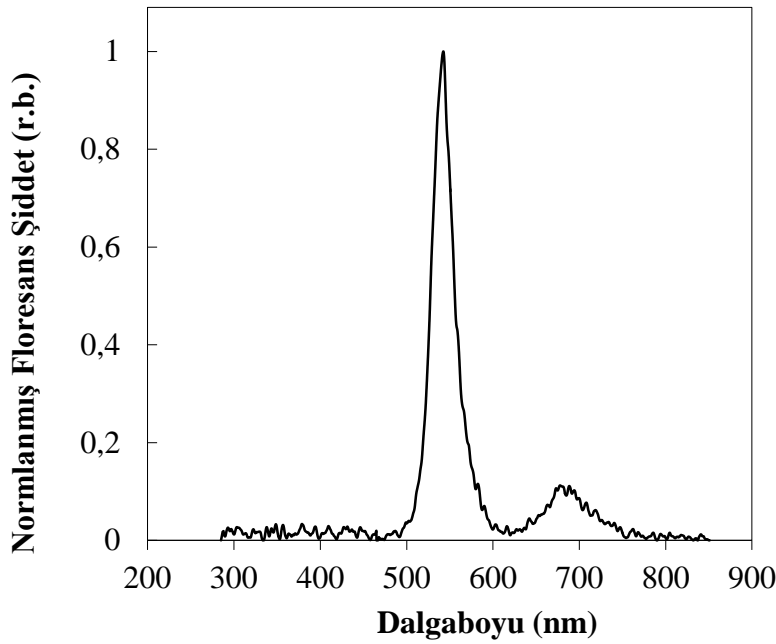
Şekil 3.13. RG6 boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin $(\alpha hv)^2$ dik $h\nu$ grafiğiŞekil 3.14. RG6 boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin $\ln(\alpha)$ dik $h\nu$ grafiği
Bulunan sonuçların özeti Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. p(AMPS) ve boya yüklü p(AMPS) hidrojenlerin optik enerjileri ve Urbach enerjileri

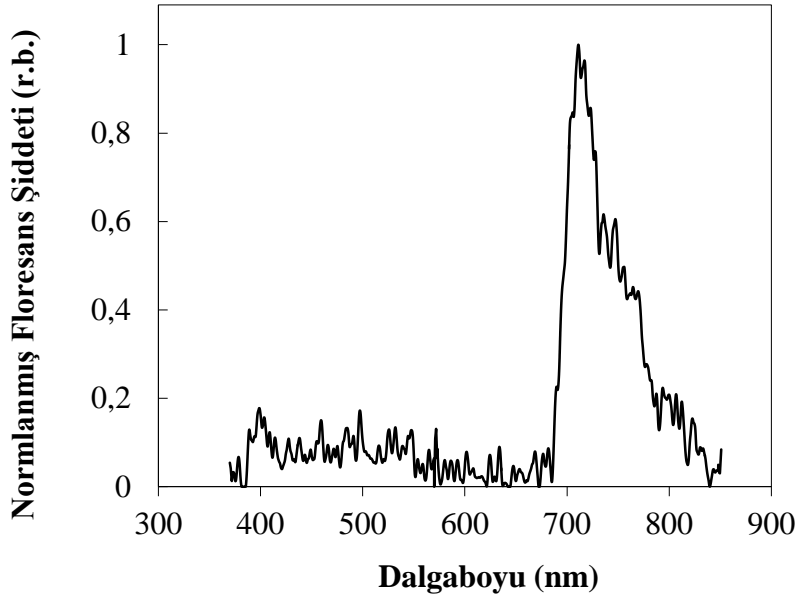
	E_g (eV)	E_g (eV)	E_g (eV)	E_U (meV)
p(AMPS)	5.1 ± 0.1	-	-	214
GS p(AMPS)	5.2 ± 0.2	1.5 ± 0.1	-	323
MB p(AMPS)	5.2 ± 0.2	1.7 ± 0.1	1.9 ± 0.1	423
RG6 p(AMPS)	5.2 ± 0.2	2.2 ± 0.1	2.2 ± 0.1	548

GS boyasının normlanmış floresans spektrofotometresi Şekil 3.15.'te sunulmuştur. 500-750 nm aralığında 543 nm ve 686 nm'de iki pik gözlemlenen bu spektrum 350 nm ve 570 nm dalgaboylu iki farklı uyarma enerjisi ile ölçülmüş ve sonrasında ölçülen spektrumlar birleştirilerek elde edilmiştir. 300-450 nm aralığında ise çok küçük yoğunluklu ve yaygın bir floresans ışınması gözlemlenmiştir. Ancak bu ışınmanın yoğunluğu diğer piklere göre çok küçüktür.

MB boyasının normlanmış floresans spektrofotometresi Şekil 3.16.'da sunulmuştur. 350 nm ve 550 nm dalgaboylu ışınlar ile uyarılan bu spektrumda 690-850 nm aralığında 710 nm'de yüksek yoğunluklu ve 760 nm'de daha az yoğunluklu olmak üzere iki pik gözlemlenmiştir

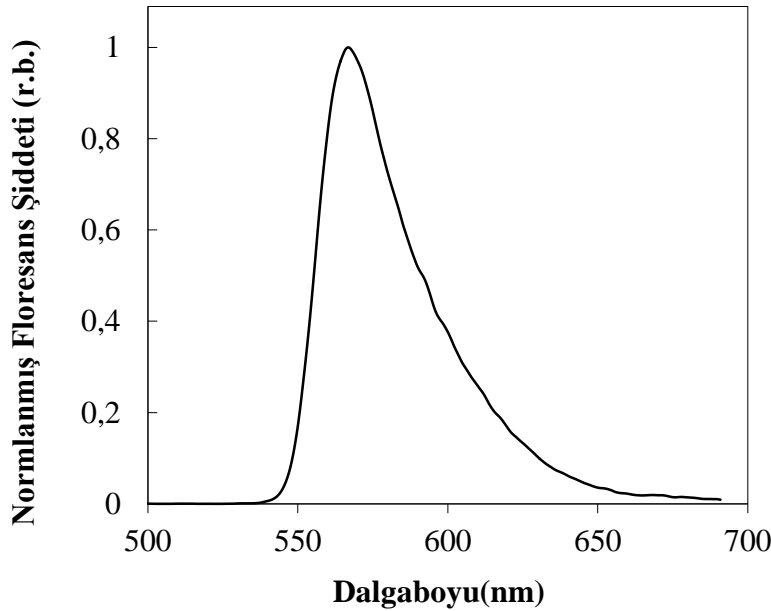


Şekil 3.15. GS boyasının normlanmış floresans spektrumu



Şekil 3.16. MB boyasının normlanmış floresans spektrumu

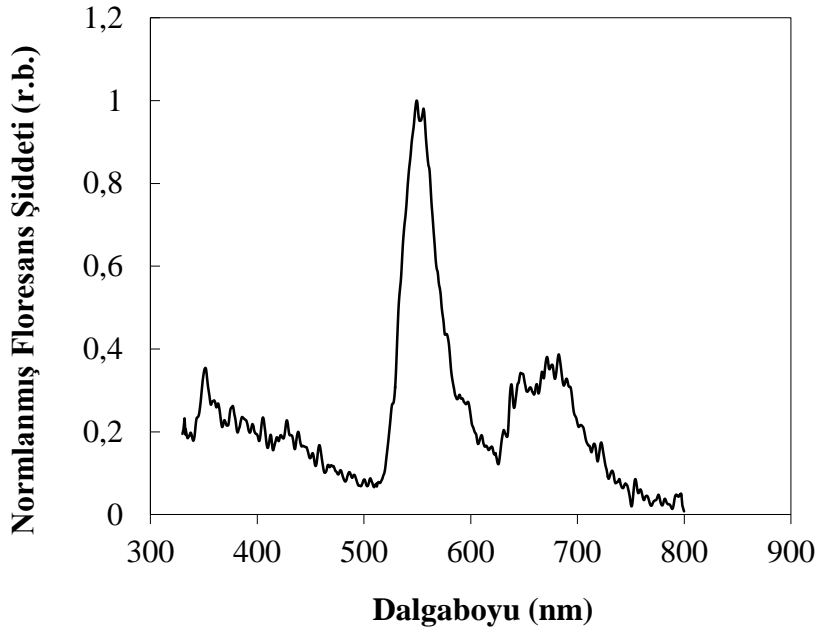
RG6 boyasının normlanmış floresans spektrofotometresi Şekil 3.17.'da sunulmuştur. 350 nm dalgalı ışınlar ile uyarılan bu spektrumda 540-700 nm aralığında 568 nm'de pik gözlemlenmiştir.



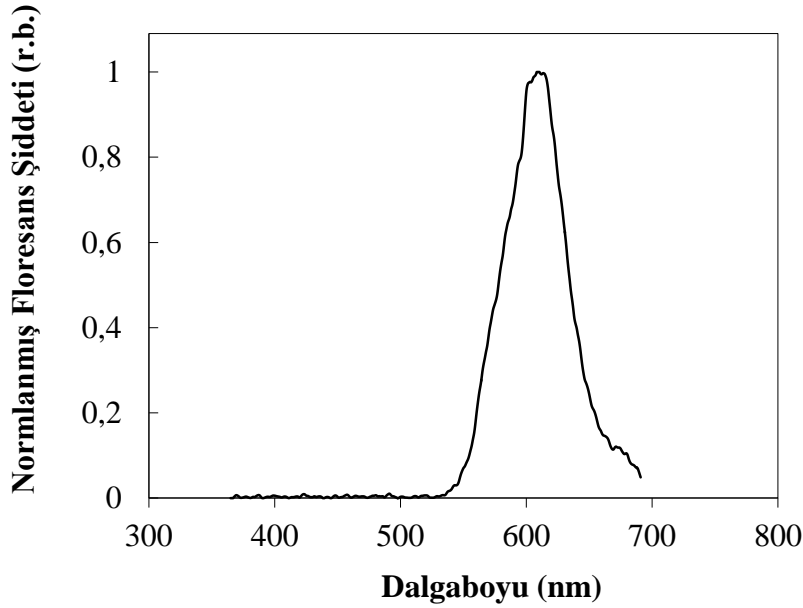
Şekil 3.17. R6G boyasının normlanmış floresans spektrumu

GS boyası yüklenmiş p(AMPS) hidrojin normlanmış floresans spektrumu. Şekil 3.18.'de sunulmuştur. Uyarma dalgalı 300 nm, 350 nm ve 570 nm olan 3 floresans ölçümü gerçekleştirilmiş ve sonrasında ölçülen spektrumlar birleştirilmiştir. 300-500 nm aralığında düşük yoğunluklu ve yaygın bir floresans piki gözlemlenmiştir. 500-600 nm aralığında 555

nm civarında göreceli olarak daha yoğun bir pik ve sonuncu olarak 620-760 nm aralığında 670 nm civarında üçüncü bir pik gözlemlenmiştir.



Şekil 3.18. GS boyası yüklenmiş p(AMPS) hidrojinin normlanmış floresans spektrumu

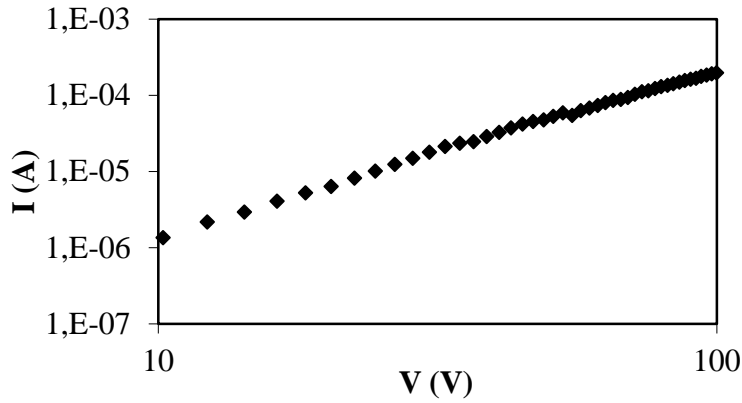


Şekil 3.19. RG6 boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin normlanmış floresans spektrumu

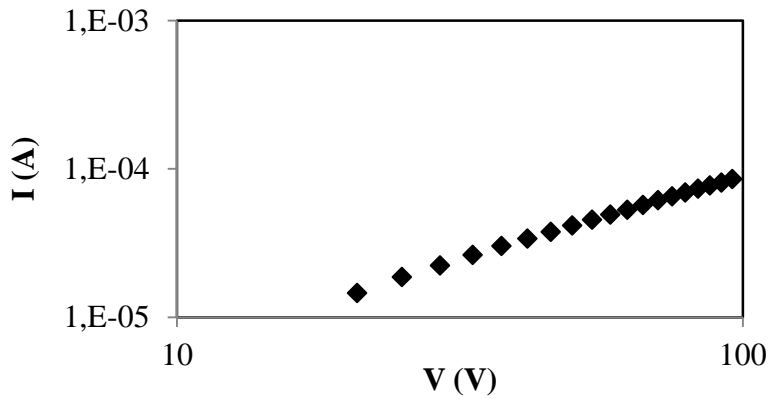
MB boyası yüklenmiş p(AMPS) hidrojinin de floresans ölçümü yapılmış ancak bu hidrojelde herhangi bir pik gözlemlenmemiştir. RG6 boyası yüklenmiş p(AMPS) hidrojinin floresans spektrumu 350 nm dalgaboylu uyarma ışınları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Şekil 3.19.'da sunulmuştur. 530-700 nm aralığında 613 nm civarında bir pik gözlemlenmiştir.

3.3. Oda Sıcaklığında Elektriksel İletkenlik Ölçüm Ve Analizleri

p(AMPS) hidrojinin oda sıcaklığında ölçülmüş akım-voltaj grafiği Şekil 3.20.'de sunulmuştur; oda sıcaklığındaki öziletkenliği $9.01 \times 10^{-06} \text{ S.cm}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. GS boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin akım-voltaj eğrisi Şekil 3.21.'de gösterilmiştir ve öziletkenliği $4.71 \times 10^{-06} \text{ S.cm}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

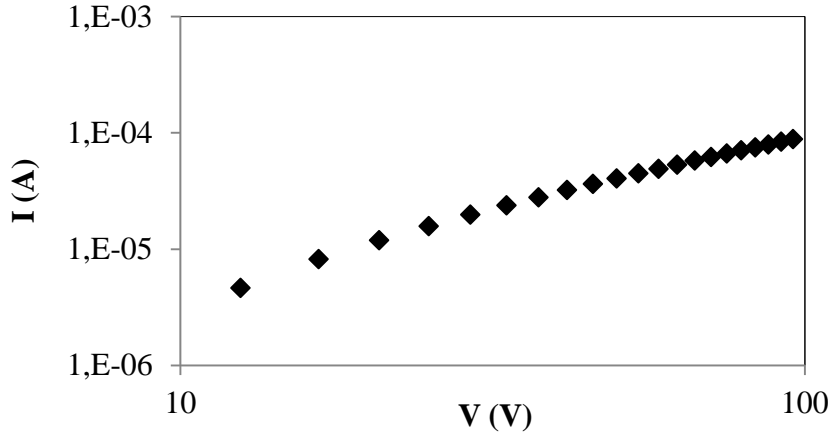


Şekil 3.20. p(AMPS) hidrojinin oda sıcaklığındaki akım voltaj eğrisi

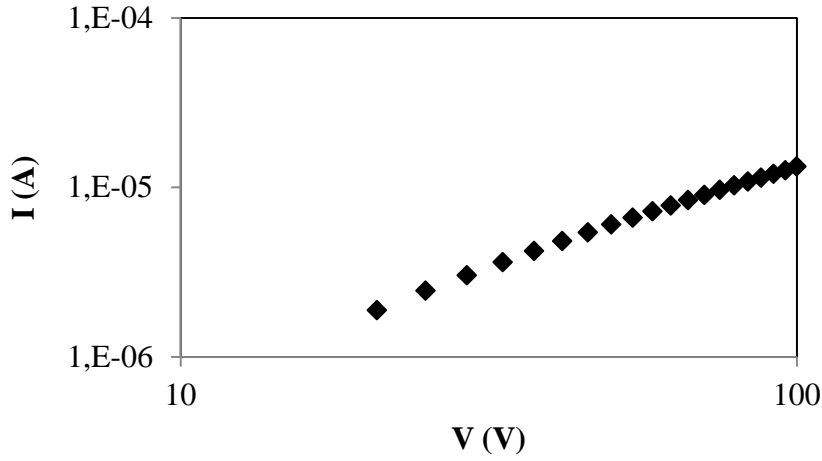


Şekil 3.21. GS boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin oda sıcaklığındaki akım voltaj eğrisi

MB ve RG6 boyları yüklü p(AMPS) hidrojinin akım-voltaj eğrileri sırasıyla Şekil 3.22. ve Şekil 3.23.'te sunulmuştur ve öziletkenlikleri de sırasıyla $5.23 \times 10^{-06} \text{ S.cm}^{-1}$ ve $4.73 \times 10^{-07} \text{ S.cm}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.22. MB boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin oda sıcaklığındaki akım voltaj eğrisi



Şekil 3.23. RG6 boyası yüklü p(AMPS) hidrojinin oda sıcaklığındaki akım voltaj eğrisi.

Ayrıca hesaplanan bütün iletkenlik değerleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir

Çizelge 3.2. Çeşitli boyalar yüklenmiş p(AMPS) hidrojinin oda sıcaklığındaki iletkenlikleri

	Öziletkenlik (S.cm ⁻¹)
p(AMPS)	9.01E-06
GS p(AMPS)	4.71E-06
MB p(AMPS)	5.23E-06
RG6 p(AMPS)	4.73E-07

4. Sonuç

p(AMPS) hidrojinler sentezlenmiş ve GS, MB ve RG6 boyaları başarı ile p(AMPS) hidrojinlere yüklenmiştir. Hazırlanan p(AMPS) ve boya yüklenmiş p(AMPS) hidrojinlerin ve boyaların optik özellikleri UV-Vis soğurma spektrofotometre ve floresans spektrofotometre ile

ölçülerek analiz edilmiştir. p(AMPS) hidrojenlerin 265 nm civarında gözlenen soğurma piki boya yüklenmiş hidrojenlerde de gözlemlenmiştir. Boya yüklenmiş hidrojenlerde p(AMPS) soğurma piklerine ek olarak her bir boyanın karakteristik soğurma pikleri civarında da soğurma piklerinin gözlemlenmesi boyaların p(AMPS) hidrojenlerin yapısında homojen olarak yüklenmiş olduğunu kanıtlamaktadır. GS boyası yüklü hidrojenelde 1.5 eV; MB boyası yüklü hidrojenelde 1.7 eV ve 1.9 eV ve R6G yüklü hidrojenelde 2.2-2.3 eV civarında optik geçişlerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu bakımdan hidrojenlere boya yüklenmesi boyaların optik karakterlerinin hidrojenlerin özelliklerine başarıyla geçtiğinin kanıtıdır. Urbach enerjilerindeki göreceli artış ise hidrojenlerin enerji bant yapısının boyaların etkisiyle göreceli olarak düzensizleştiğini göstermektedir. Floresans spektrumlarında da boya yüklü hidrojenler MB dışında boyaların floresans özelliklerini göstermektedir. Özellikle rodamin G6 boyasının yüksek yoğunluklu floresans ışınması boya yüklü p(AMPS) hidrojenelde de baskın olarak gözlemlenmiştir. Boya yüklü hidrojenlerin oda sıcaklığındaki iletkenlikleri p(AMPS) hidrojenlerin iletkenlik mertebesinde ölçülmüştür. Bu bakımdan p(AMPS) hidrojenlerin elektriksel özelliklerine yüklenen boyaların özellikle iyonik etkisinin beklendiği ölçüde olmadığı gözlemlenmiştir. p(AMPS) hidrojenlere boya yüklenmesi ve optik ve elektriksel özelliklerinin ölçülerek analiz edilmesi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Boya yüklü p(AMPS) hidrojenlerin optik ve elektriksel özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda boya yüklü p(AMPS) hidrojenlerin tedavi teşhis amaçlı tıbbi uygulamalarda, biyosensör aygıtlarının üretilmesinde; özellikle elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde soğurma ve floresans ışınma özellikleri göstermesi dolayısıyla ışık diyot ve güneş gözesi gibi optik aygıtların üretilmesinde; çeşitli optik filtrelerin üretilmesi gibi birçok optik ve elektriksel uygulamalarda başarı ile kullanılma potansiyeline sahip olduğu bu çalışmaların sonucunda gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimince desteklenmiştir, Proje Numarası: FBA-2014-292. Bu nedenle adı geçen kuruma teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Biswal D., Chirra H.D. Hilt J.Z., 2008. Fabrication of hydrogel microstructures using polymerization controlled by microcontact printing (PC mu CP), *Biomed. Microdevices* 10: 213-219.
- Dawson R., Cooper A.I., Adams D.J., 2012. Nanoporous organic polymer networks, *Prog. Polym. Sci.* 37: 530-563.
- Jenkins J.S., Flickinger M.C., Velez O.D., 2012. Deposition of composite coatings from particle-particle and particle-yeast blends by convective-sedimentation assembly, *J. Colloid. Interf. Sci.* 380: 192-200.
- Lozinsky V.I., Galaev I.Y., Plieva F.M., Savina I.N., Jungvid H., Mattiasson B., 2003. Polymeric cryogels as promising materials of biotechnological interest, *Trends. Biotechnol.* 21: 445-451.
- Nayak S., Lyon A.A., 2005. Soft nanotechnology with soft nanoparticles, *Angew. Chem. Int. Ed.* 44: 7686-7708.
- Oh J.K., Seigwart D.J., Lee H.I., Sherwood G., Peteanu L., Hollinger J.O., Kataoka K., Matyjaszewski K., 2007. Biodegradable nanogels prepared by atom transfer radical polymerization as potential drug delivery carriers: synthesis, biodegradation, in vitro release, and bioconjugation, *J. Am. Chem. Soc.* 129: 5939-5945.
- Okay O., 2000. Macroporous copolymer networks, *Prog. Polym. Sci.* 25: 711-719.
- Orakdogan N., Karacan P., Okay O., 2011. Macroporous, responsive DNA cryogel beads, *React. Funct. Polym.* 71: 782-790.
- Pankove J.I., 1976. *Optical Processes in Semiconductors*, Prentice-Hall Inc.
- Sahiner N., 2013a. Soft and flexible hydrogel templates of different sizes and various functionalities for metal nanoparticle preparation and their use in catalysis, *Prog. Polym. Sci.* 38: 1329-1356.
- Sahiner N., 2013b. Preparation of poly(ethylene imine) particles for versatile applications, *Colloid. Surf. A.*, 433: 212-218.
- Sahiner N., Ozay O., Aktas N., 2011. Aromatic organic contaminant removal from an aqueous environment by p(4-VP)-based materials, *Chemosphere* 85: 832-838.

- Silan C., Akcali A., Otkun M.T., Ozbey N., Butun S., Ozay O., Sahiner N., 2012: Novel hydrogel particles and their IPN films as drug delivery systems with antibacterial properties, *Colloids Surf. B.* 89: 248-253.
- Tan Z.Q., Ohara S., Naito M., Abe H., 2011. Supramolecular hydrogel of bile salts triggered by single-walled carbon nanotubes, *Adv. Mater.* 23: 4053-4057.
- Varvarenko S., Voronov A., Samarky V., Tarnavchik I., Nosova N., Kohut A., Voronov S., 2010. Covalent grafting of polyacrylamide-based hydrogels to a polypropylene surface activated with functional polyperoxide, *React. Funct. Polym.* 70: 647-655.
- Yoon J.A., Kowalevski T., Matyjaszewski K., 2011. Comparison of thermoresponsive deswelling kinetics of poly(oligo (ethylene oxide) methacrylate)-based thermoresponsive hydrogels prepared by "Graft-from" ATRP, *Macromolecules* 44: 2261-2268.
- Zhu J.M., 2010. Bioactive modification of poly(ethylene glycol) hydrogels for tissue engineering, *Biomaterials* 31: 4639-4656.