

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI: SolarMTech

PROJE ADI: FOTOVOLTAİK HÜCRE YAPIMINDA GRAFEN OKSİT VE KUANTUM NOKTACIKLARLA DESTEKLENEN ANYONİK-KATYONİK GRUPLARI BİRARADA İÇEREN KOPOLİMERLERİN SENTEZİ, YÜKSEK VERİMLİLİKLİ FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

BAŞVURU ID: 419319

İçindekiler

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Güneş pillerinde elektrot ve elektrolit görevinde kullanılan malzemelerin karakterleri ışık enerjisinden elektriğe olan dönüşümün veriminde büyük etkiye sahiptir. Bu çalışmada multidisipliner ve inovatif yaklaşımlarla geniş spektrum aralığında çalışabilen, Uv bölgeden gelen ışınları görünür bölgeye dönüştürebilen malzemelere sahip fotovoltaiik güneş hücreleri tasarlamak amaçlanmıştır. Yapılan bütün bu çalışmaların ana amacı geniş spektrumlu Güneş paneli elde etmektir ve bu hedefe uygun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaiik güneş hücreleri hazırlanırken Doctor Blade tekniğine göre çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaiik güneş hücrelerimizde sandviç malzemesi vazifesi görecek anyonik ve katyonik grupları bir arada içeren kopolimerik yapıdaki malzemenin sentezi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle uygun kimyasaldan yola çıkarak homopolimer, daha sonra kuaternizasyon sonucu katyonik polimer ve en sonunda asidik karakterli bir kimyasalla etkileşimi sonucu pozitif ve negatif uçlara sahip komplike bir polimer malzeme sentezlenmiştir. Sentezi gerçekleştirilen ticari değeri yüksek olan malzemelerin yüksek verimliliğe sahip fotovoltaiik güneş hücrelerinde kullanımı potansiyel farkının çok anlamlı şekilde artmasına neden olmuştur. NCQdot kullanımı kopolimerik sandviç malzemesinin kullanılmadığı ortamda potansiyel farkını %45,7 oranında, Kopolimerik sandviç malzemesi kullanılan ortamda ölçülen potansiyel farkı değerini %92 oranında artırmıştır. Fotovoltaiik güneş hücreleri çalışmalarında değişik konfigürasyonlar denenmiş ve en iyi verimin TiO₂: Kopolimer / I₂/KI/ NCQdot – GO sisteminde olduğu görülmüştür.

2. Problem/Sorun:

Güneş pili üretebilmek için ilk keşfedilen malzeme silisyumdur, ancak bu malzemenin dezavantajları yüksek maliyet ve düşük verimliliğidir. (Imamzai ve ark, 2012)

3. Çözüm

Yapılan bu çalışmanın ana amacı geniş spektrumlu Güneş paneli elde etmektir ve bu hedefe uygun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucu elde ettiğimiz verilere göre, anyonik ve katyonik grupları bir arada barındıran NCQdot takviyeli polimerimizi ara katman olarak kullandığımız güneş panelinde literatürde bulunan standart TiO₂-GO ve silisyum güneş panellerine göre daha verimli ve yüksek enerji dönüşümü gerçekleştirdiğini tespit ettik.

4. Yöntem

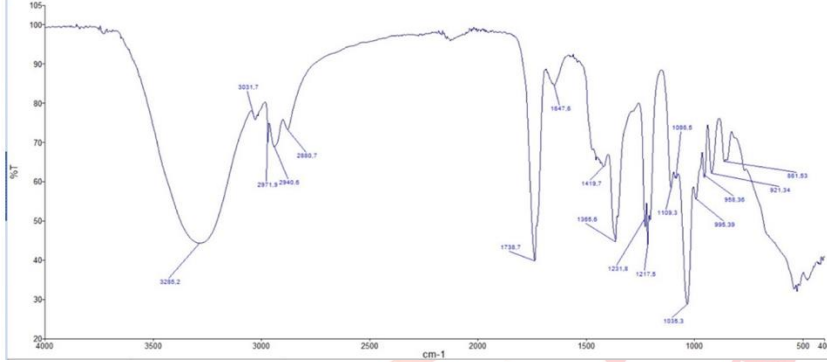
2.1. Maleik Anhidrit / Trietanol Amin / H₂SO₄ NCQdot malzemelerin sentezi

NCQdot malzemelerin sentezi yapılırken; 0,5 g Maleik anhidrit, 10 ml Trietanol amin, 10 ml 0,5M'lık H₂SO₄ ve 10 ml saf su cam beher içerisinde manyetik karıştırıcı üzerinde 60 °C'de 30 dakika karıştırıldı. Malzemelerin tamamen homojenleşmesi için 10 dakika ultrasonic su banyosunda ultrasonicleydi.

Hidrotermal reaktöre yerleştirilen malzemeler elektron transferinin gerçekleşmesi ve floresans etkiye sahip ürünlere dönüşebilmesi adına 220 °C'de 8 saat boyunca etüvde reaksiyona sokuldu. 8 saat sonunda etüv ortamında reaktörün yavaş yavaş soğuması sağlandıktan sonra reaktör açıldı, içerisindeki karışım cam bir behere aktarıldı. Beher içerisindeki malzemenin üzerine 100 ml saf su ilave edilerek iyice karıştırıldı. Ultrasonic su banyosunda ultrasonikleterek kalıntı

üzerinde NCQdot malzemelerin ayrılmasına çalışıldı.

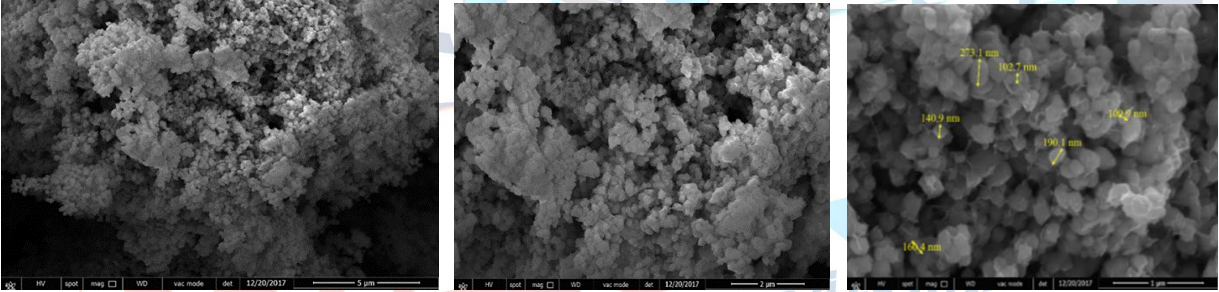
Reaktörden alınarak üzerine 100 ml saf su eklenen çözelti mavi filtre kâğıdından süzüldü. Mavi filtre kağıdıyla ayrılan NCQdot süzüntüsü 0,45 µm'lik Hydrophobic PTFE filtreden geçirilerek mümkün olduğunca saflaştırıldı. Elde edilen süzüntü 0,5M'lık H₂SO₄ kullanılarak nötral pH'a ayarlandı. Kullanılmaya kadar +4 °C de saklandı.



Şekil 1: Hidrotermal yöntemle hazırlanan NCQdot Noktacıklara ait FT-IR görüntüsü

2.3. TiO₂-Nanotüplerin Sentezlenmesi

Titanyum dioksit tozundan 0,5 gr tartıldıktan sonra üzerine 10 M 25 ml sodyum hidroksit (NaOH) solüsyonu eklenip, 110 °C deki su banyosunda 24 saat süreyle karıştırılmıştır. Su banyosundan alınan numune 4000 rpm'de 20 dk süreyle santrifüj edilerek pH=7 olana kadar saf su ile birkaç kez yıkanmıştır. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen TiO₂ nanotüp tozları, 120 °C 'deki etüvde 14-16 saat kurumaya bırakılmıştır. SEM görüntülerine göre 102-273 nm uzunluğunda TiO₂ nanotüplerin oluştuğu belirlenmiştir.



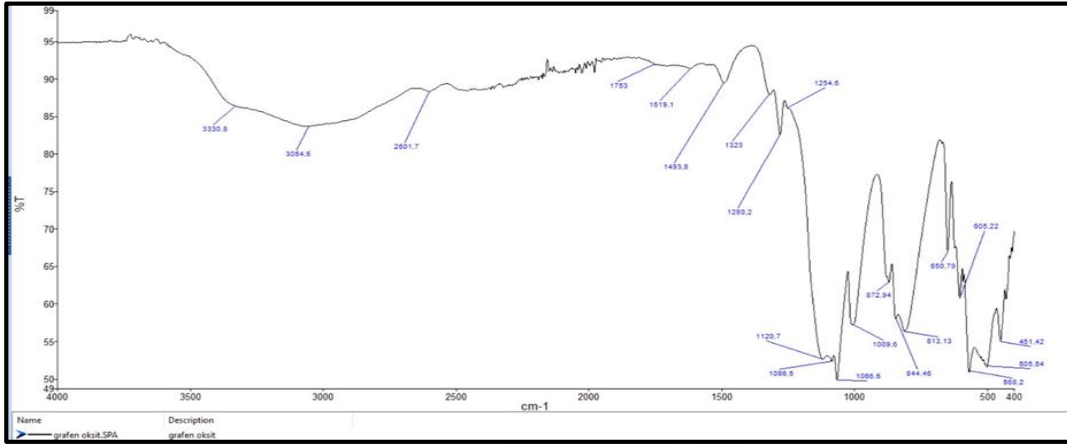
2.4. Modifiye Hummers Yöntemiyle Grafen Oksit (GO) Sentezlenmesi

Sentez işleminin ilk aşamasında buz banyosu içerisinde 5 g toz grafit, 2,5 g sodyum nitrat (NaNO₃), 115 mL %96,4'lük sülfürik asit (H₂SO₄) ilave edilmiş ve 1 saat karıştırılmıştır. Hazırlanan buz banyo içerisindeki karışıma 15 g potasyum permanganat (KMnO₄) yavaş yavaş eklenmiştir. Bu esnada ekleme işlemi süresince sıcaklığın 5 °C'nin altında olmasına dikkat edilmiştir. Karışım buz banyosundan çıkartılıp 2 saat karıştırılmıştır. Bu işlemler esnasında karışım sıcaklığının 35-40 °C aralığında olması sağlanmıştır.

Sentez işleminin ikinci aşamasında karışıma yavaşça 500 mL deiyonize su eklenip 1 saat karıştırılmaya devam edilmiştir. Karışıma 8,4 mL hidrojen peroksit (%35,7), karışım sıcaklığı 40 °C'yi geçmeyecek şekilde, eklenip 2 saat karıştırılmıştır. Bu aşamada karışımın renginin siyahtan kahverengiye dönüştüğü gözlenmiştir. Renk dönüşümünün görülmesinde sonra karışım aynı şartlar altında 12 saat daha karıştırılmış ve dönüşüm verimi artırılmaya çalışılmıştır. Sentezlenen grafen oksit saflaştırılması için önce İPA içerisinde dağıtılmıştır. Daha sonra da aseton ortamında kristallenerek açık gri renkte çökmesi sağlanmıştır.

Sentezlenen malzemenin GO olup olmadığını test etmek amacıyla FT-IR görüntüleri alınmış,

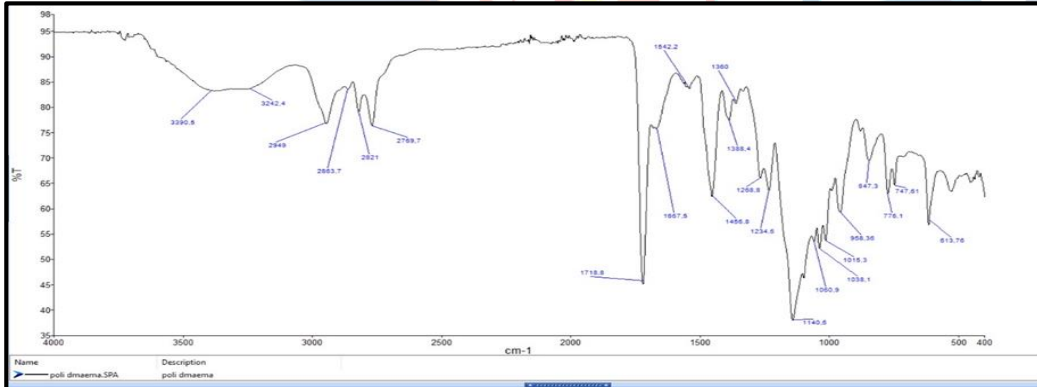
literatür kaynaklarındaki görüntülerle kıyaslanmıştır. Sentez ürünümüzün grafen oksit (GO) olduğu kıyaslama neticesinde anlaşılmıştır.



Şekil 2: Modifiye Hummers metodu ile sentezlenen Grafen Oksit'e ait FT-IR görüntüsü

2.5. Poli DMAEMA homopolimerinin sentezi

5 ml 2-dimetil amino etil metakrilat (DMAEMA) monomeri 10 ml saf su içerisinde çözüldü. Daha sonra üzerine toplam monomer miktarının %2'si olacak şekilde çapraz bağlayıcı N,N'metilen bisakrilamid ilave edilerek manyetik karıştırıcı ve ultrasonic su banyosu içerisinde çözünmesi sağlandı. Çözümler sağlandıktan sonra az miktar saf su içerisinde toplam monomer miktarının %5'i olacak şekilde çözülen başlatıcı Potasyum persülfat (KPS) ortama ilave edilerek karıştırıldı. Elde edilen karışım polimerleşme tüplerine alınarak 55 °C'lik su banyosunda 3 saat polimerleşme reaksiyonunun gerçekleşmesi sağlandı. Jel kıvamında oluşan poliDMAEMA homopolimeri saf su ve asetonla yıkanarak ortamda kalan monomerler uzaklaştırıldı. 40 °C'lik etüvde kurularak kullanıma hazır hale getirildi.

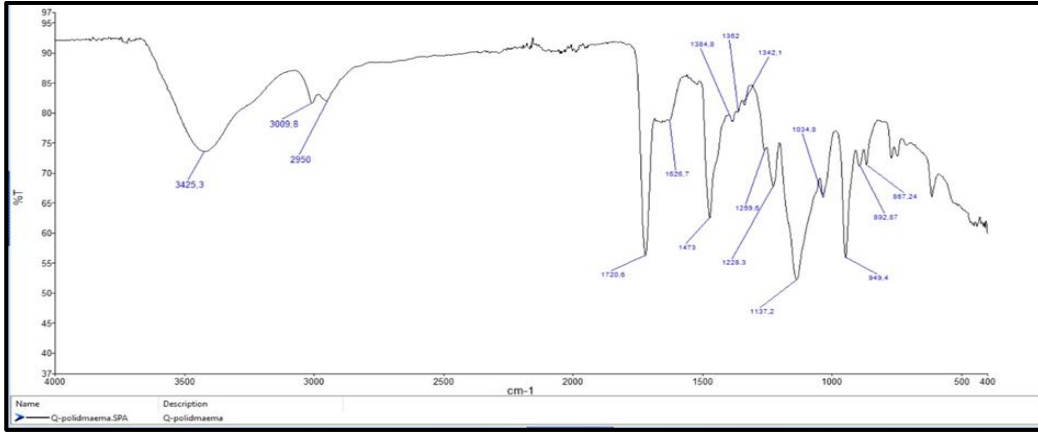


Şekil 3: Serbest radikalik polimerleşme reaksiyonu ile sentezlenen poliDMAEMA'ya ait FT-IR görüntüsü

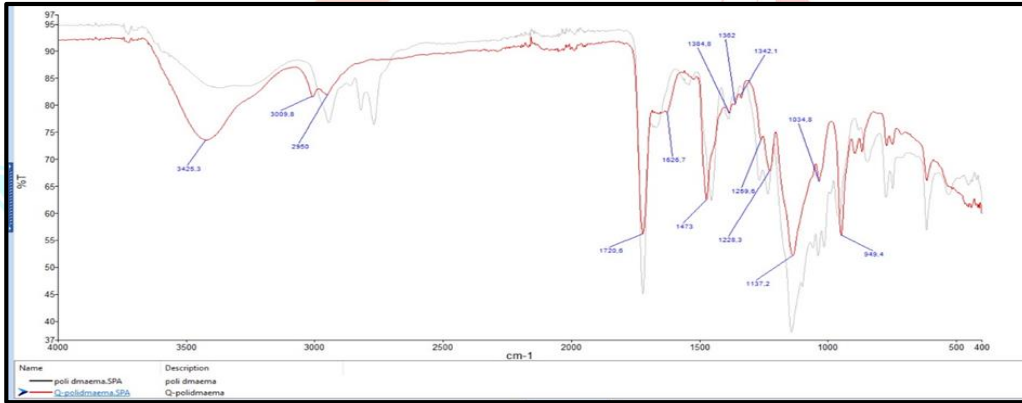
2.6. Katyonik yapılı Poli Q-DMAEMA kuaterner kopolimerinin sentezi

Katı halde elde edilen poli DMAEMA homopolimerinden 5 gram alınarak manyetik karıştırıcı üzerinde buz banyosu içerisinde 25 ml THF içerisinde dağıtılmış ve süspansiyon edilmiştir. Daha sonra bu süspansiyon üzerine damlatma hunisi yardımıyla 1:1 oranda olacak şekilde 5 ml CH₃I *Idamla/dakika* olacak şekilde damlatılmış ve manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırılmıştır. Bütün çalışmalar çeker ocak içerisinde gerekli tedbirler alınarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sıcaklığın yükselmemesi için buz banyosu içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kuaterner polimerlerin oluşum veriminin artması için reaksiyon çeker ocak içerisinde 24 saat boyunca devam etmiştir.

24 saat sonunda kuaterner polimerimiz süzgeç kâğıdı yardımıyla süzölmüş, ortamda kalabilecek CH_3I kalıntılarının uzaklaştırılması için 3 kez saf suyla yıkanmıştır. Katı formda elde edilen Poli Q-DMAEMA 40 °C'lik etüvde kurutularak kullanıma hazır hale getirildi.



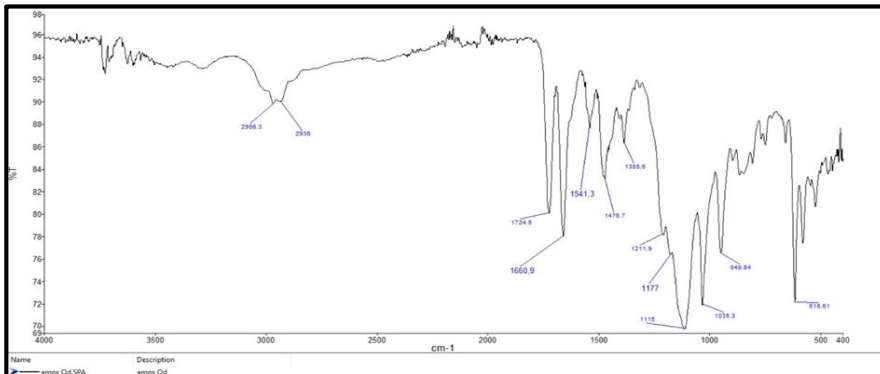
Şekil 4: Sentezlenen poli Q-DMAEMA'ya ait FT-IR görüntüsü



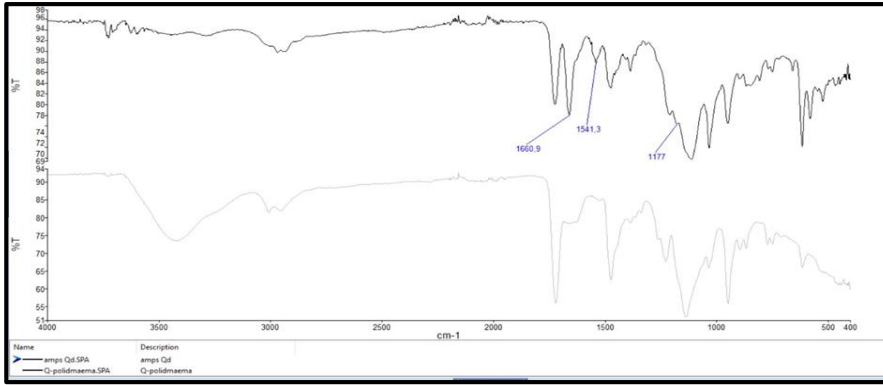
Şekil 5: poli DMAEMA'ya ve poli Q-DMAEMA'ya ait FT-IR görüntülerinin karşılaştırılması

2.7. Anyonik ve Katyonik gruplara sahip Poli (QDMAEMA-co-AMPS) kopolimerinin sentezi

10 ml DMF içerisinde 2,0725 gr Poli Q-DMAEMA polimeri sıcak su banyosu ve ultrasonic su banyosu içerisinde dağıtılmış ve çözülmüştür. Başka bir beher içerisinde yine 10 ml DMF içerisinde 2,07 gr AMPS çözülmüştür. Aynı ayrı kaplarda az miktar su içerisinde toplam monomer miktarının %2'si çapraz bağlayıcı ve %5'i olan başlatıcı çözülmüş ve hazır hale getirilmiştir. Önce polimer çözeltisi ve AMPS çözeltisi karıştırılmış, daha sonra çapraz bağlayıcı ve en son olarak başlatıcı ortama ilave edilmiştir. Polimerleşme tüplerine alınan karışım 70 °C'lik su banyosunda 24 saat polimerleştirilmiştir. 24 saat sonunda koyu renkli sıvı formda elde edilen kopolimer etil alkol ortamında çöktürülerek elde edilmiştir.



Şekil-6; poli (Q-DMAEMA-co-AMPS) 'ye ait FT-IR görüntüleri



Şeki-7; poli Q-DMAEMA'ya ait FT-IR görüntüsü ve poli (Q-DMAEMA-co-AMPS)'ye ait FT-IR görüntülerinin karşılaştırılması

2.9. Fotovoltaik Güneş Paneli Hücrelerinin Hazırlanması

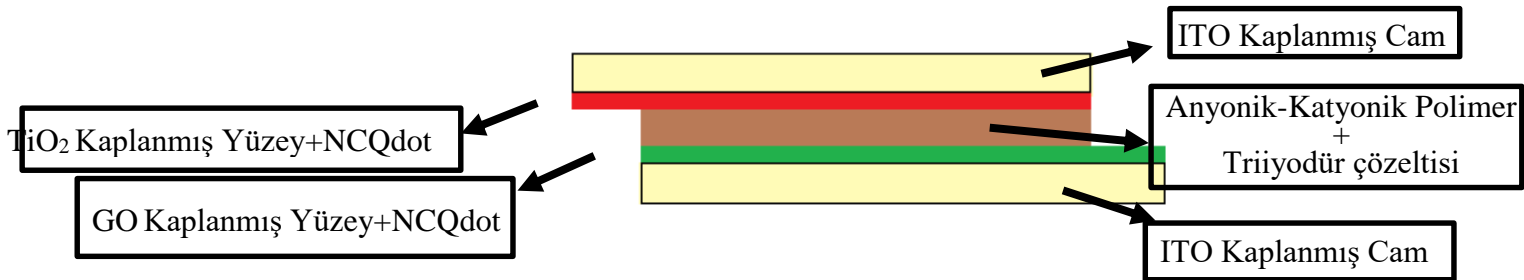
ITO kaplı camları ticari bir firmadan temin ettikten sonra bu camların yüzeyindeki adezyon kuvvetini artırıp kaplayacağımız malzemelerin daha iyi kaplanması amacıyla sodyum dodesil sülfat (SDS) ile spin kaplama tekniğini kullanarak kaplamak için üzerlerine SDS çözeltisi (50ml su üzerine 0,2 gram SDS) damlattık. Çözeltiyi ITO kaplı camların üzerine yaydırdıktan sonra tasarladığımız cihaz ile camları döndürüp ince bir SDS tabakası elde ettik. Camlardan birinin üzerine tekrardan spin kaplama tekniği kullanarak TiO_2 çözeltisini (50ml su üzerine 0,1 gram TiO_2), diğer camın üzerine ise GO çözeltisini (50ml su üzerine 0,5 g GO) kapladık. Ultraviyole ışınların tutulmasının güneş panellerinin verimi üzerindeki etkisini incelemek için TiO_2 ve grafen oksit çözeltilerine kaplama işleminden önce quantum dot ilave ettik. Bu kaplamayı sağlamlaştırmak için etüvde $250^\circ C$ de 8 saat boyunca sinterledik.

2.10. Triiyodür Çözeltisinin Hazırlanması

100 ml 0.5M'lık triiyodür çözeltisi hazırlamak için 6,35gr I_2 ve 8,3gr KI Etil alkol içinde çözüldü. Çözünmenin tamamlanabilmesi için çözelti 15dk boyunca ultrasonic su banyosunda karıştırıldı.

2.11. Sandviç Yapılı Fotovoltaik Güneş Panellerinin Hazırlanması

Kaplanan camlar, TiO_2 ve GO kaplanmış yüzeyleri iç tarafta kalacak şekilde, ara kısma ise hazırladığımız anyonik ve katyonik gruplar içeren sentez kopolimerlerimizi ince bir tabaka olacak şekilde yaydırarak yerleştirdik. Daha sonra ise az miktarda bant kullanarak camları birbirine sabitledik.



Sentezlenmiş olan kopolimer her ne kadar üstün özelliklere sahip olsa da, anyonik ve katyonik grupları bir arada bulundursa da, yapıları gereği açıkta bulunan pozitif ve negatif yüklü uçlara sahip olsalar da tek başlarına gerekli iletkenliği sağlayamamaktadır. Çünkü polimerler yapıları

gereği yalıtkan malzemelerdir. Bu sebeple katmanlar arası iletkenliğin sağlanması amacıyla hazırladığımız triiyodür (I_2/KI) çözeltisini katmanlar arasına eşit dağılacak şekilde şırınga kullanarak yaydık. Bu sayede TiO_2 ve grafen oksit kaplı camlar zıt kutuplu yükleri tutma işlevini, araya koyduğumuz anyonik ve katyonik uçlara sahip kuaternize kopolimerlerin ışığı tutma işlevini gerçekleştirmesini ve eklediğimiz triiyodür çözeltisinin de elektronların serbest hareketini sağlamasını sağlamış olduk.

2.13. Fotovoltaik Güneş Panelleri Değerlerinin Ölçülmesi

Güneş panellerinin oluşturduğu potansiyel farkı ölçmek amacıyla multimetre kullandık. Multimetreyi krokodilli kablo kullanarak ITO kaplı camın açıkta kalan uçlarına bağlayarak kapalı ortamda alınan ışık ve güneş ışığını taklit etmek amacıyla led ışık altında potansiyel fark ölçümlerini gerçekleştirdik. Çalışmalar kapalı ortamda suni ışık altında gerçekleştirilmiştir. Gerçek güneş ışığı ortamında değerlerimizin ölçülenden çok daha yüksek çıkacağı öngörülmektedir.

Tablo 1. Farklı konfigürasyonlar ile oluşturulmuş FV'lerin potansiyel fark tablosu

Sıra	Metot	Konfigürasyon	Gerilim (V)
1	Doctor Blade	$TiO_2: I_2/KI - GO$	0,127
2	Doctor Blade	$TiO_2: I_2/KI /NCQDot - GO$	0,185
3	Doctor Blade	$TiO_2: Kopolimer /I_2/KI - GO$	0,251
4	Doctor Blade	$TiO_2: Kopolimer /I_2/KI/NCQdot - GO$	0,482

Elde edilen değerlere göre en yüksek verime ve potansiyel farkına sahip konfigürasyon $TiO_2: Kopolimer /I_2/KI/NCQdot - GO$ (0,482 V) olarak gözükmektedir. İletken çözelti ortamına NCQdot eklemek iletkenlik ve potansiyel farkında %92'lik bir artışa neden olmuştur.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Ultraviyole ışınları soğurabilen floresans etkiye sahip NCQdot malzemelerin kullanımı bütün ortamlarda potansiyel farkı değerlerini artırmıştır. NCQdot kullanımı kopolimerik sandviç malzemesinin kullanılmadığı ortamda potansiyel farkını %45,7 oranında artırmıştır. Kopolimerik sandviç malzemesi kullanılan ortamda ölçülen potansiyel farkı değerini %92 oranında artırmıştır.

6. Uygulanabilirlik

Yapılan ürün işlev olarak kullanılan standart güneş panelleri ile oldukça çok benzerlik göstermektedir. Bu özelliği sayesinde elde edilen ürün standart güneş panellerinin bulunduğu her nokta işlev görebilmektedir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

İşin tanımı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat
Literatür Taraması	x	x	x	x						
Proje Çalışması					x	x	x			
Verilerin Toplanması ve Analizi						x	x	x	x	
Proje Raporu Yazımı								x	x	x

MALİYET HESAPLAMA TABLOSU

ADI	GRAMAJI	FİYATI +%18 KDV (EURO)	TL KARŞILIĞI (EURO=16 TL ALINDI)	KULLANILAN MİKTARLAR	PROJEYE MALİYETİ
Maleik Anhidrit	1 kg	16 + 2,9	302	0,5 gr	0,15 TL
Trietenol Amin	1 LT	7,14 + 1,3	135	10 ml	1,35 TL
H ₂ SO ₄	1 LT	3,61 +0,65	68	10 ml	0,70 TL
Teflon Filtre	50 adet	30 + 5,4	566,4	2 adet	22,7 TL
TiO ₂	1 kg		151 TL	0,5 gr	0,0755 tl
Aktif Karbon	1 kg	8,05+ 1,45	152	5 gr	0,76 tl
H ₂ O ₂	1 LT	3,10 + 0,56	58,5	8,4 ml	0,50 tl
H ₂ SO ₄	1 LT	3,61 +0,65	68	115 ml	7,82 tl
NaNO ₃	1 kg	7,42 +1,34	140	2,5 gr	0,35 tl
KMnO ₄	1 kg	18,20 +3,3	344	15 gr	5,16 tl
İzopropil Alkol (İPA)	1 LT	4,80 +0,87	90,6	100 ml	9,06 tl
Aseton	1 LT	3,40 +0,61	64,2	300 ml	19,25 tl
DMAEMA	250 gr	76,8 + 13,824	1450	5 ml	29 tl
THF	1 lt	22,7 +4,08	428,5	25 ml	10,7 tl
CH ₃ I	100 gr	65+ 11,7	1227	5 ml	61,4
DMF	1 lt	14,63 +2,63	276	10 ml	2,76 tl
AMPS	500 gr	69,6 +12,528	1314	2,07 gr	5,44 tl
İTO Cam	20 adet		672	4 adet	134,4

Toplam kimyasal ve sarf maliyeti	311,5 TL
Enerji ve diğer sarf giderleri	Yaklaşık 100 TL
Ticari değeri çok yüksek olan 50 ml NCQdot taneciklerimizin, Grafen Oksit (GO) ve anyonik-kasyonik grupları içeren kopolimerlerimizin hesaplanan maliyeti yaklaşık olarak	411,5 TL'dir.

Ancak üretilen NCQdot ve polimer malzemeler çok kullanılacak (en az 10 kez) durumda olduğu için projemizin maliyeti tek seferde hesap edilen değer çok altında olacaktır. Hesaplamalar yaklaşık maliyet üzerinden yapılmıştır.

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Projemizde elde ettiğimiz güneş panellerinin günümüzde kullanılan güneş panellerine daha çevreci ve verimli bir alternatif olan TiO₂ türevli güneş panellerinin üzerine bir geliştirme olması sebebiyle günümüz güneş panellerinin yerine ve güneş paneli kullanmayı düşünen herkes tarafından kullanılabilir.

9. Riskler

Güneş panellerimizi üretmek için kullandığımız malzemeler önlem alınmadan kullanılırsa çeşitli sağlık sorunlarına sebep olabilir. Fakat laboratuvar kurallarına uyulup doğru ekipmanlarla çalışılırsa bu sorunun önüne geçilebilir.

10. Kaynakça ve Rapor Düzeni

- [1] Yılmaz, E. A., & Hatice, C. A. N. (2018). Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelecek hedefleri. ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD), 8(3), 525-535.
- [2] Imamzai, M., Aghaei, M., Thayoob, Y. H. M., & Forouzanfar, M. (2012, November). A review on comparison between traditional silicon solar cells and thin-film CdTe solar cells. In Proceedings of National Graduate Conference (Nat-Grad (pp. 1-5).
- [3] Amâncio, M. A., Pinto, E. P., Matos, R. S., Nobre, F. X., Brito, W. R., & da Fonseca Filho, H. D. (2021). Nanoscale morphology and fractal analysis of TiO₂ coatings on ITO substrate by electrodeposition. *Journal of Microscopy*, 282(2), 162-174.
- [4] Sun, X., & Lei, Y. (2017). Fluorescent carbon dots and their sensing applications. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 89, 163-180.
- [5] Khatokar, J. A., Vinay, N., Sanjay, B., Bhargava, S., Bale, A. S., Kolekar, T. R., ... & Huddar, S. A. (2021). Carbon nanodots: Chemiluminescence, fluorescence and photoluminescence properties. *Materials Today: Proceedings*, 43, 3928-3931.
- [6] Ghann, Kang, H., Uddin, J., Chowdhury, F., Khondaker, S., Moniruzzaman, M., Kabir, M., & Rahman, M. (2019). Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide and Their Application in Dye-Sensitized Solar Cells. *ChemEngineering*, 3(1), 7.
- [7] Wu J., Makableh Y. F. M., Vasan R., Manasreh, M. O., Liang B., Reyner C. J. And Huffaker, D. L. "Strong Interband Transitions In Inas Quantum Dots Solar Cell," *Applied Physics Letters* 100, 051907 (2012)

- [8] Wang H., Sun P., Cong S., Wu J., Gao L., Wang Y., Dai X., Qinghua Yi O., and Zou G., “Nitrogen-Doped Carbon Dots for “green” Quantum Dot Solar Cells” *Nanoscale Research Letters* 11-27 (2016)
- [9] Maysinger D., Ji J., Hutter E., and Cooper E., “Nanoparticle- basedand Bioengineered Probes and Sensors to Detect Physiological and Pathological Biomarkers in Neural Cells” *Frontiers in Neuroscience* December2015|Volume9|Article480
- [10] Selopal G.S., Zhao H., Wang Z.M., and Rose F.,”Core/Shell Quantum Dots Solar Cells” *Advanced. Functional. Material* 2020
- [11] Nozik,A.J., Beard M.C., Luther J. M., Law M., Ellingson R. J and Johnson J. C.,” Semiconductor Quantum Dots and Quantum Dot Arrays and Applications of Multiple Exciton Generation to Third-Generation Photovoltaic Solar Cells” *Chem. Rev.* 2010, *110*, 6873–6890
- [12] Ren S.,Chang L.Y., Lim S.K., Zhao J., Smith M., Zhao N., Bulovi V., Bawendi M., and Gradecak S.,“Inorganic_Organic Hybrid Solar Cell: Bridging Quantum Dots to Conjugated Polymer Nanowires” *Nano Lett.*, 11, 3998–4002-2011
- [13] Chandan H. R, Jessica D., Schiffman R., Balakrishna G., “Quantum dots as fluorescent probes: Synthesis, surface chemistry,energy transfer mechanisms, and applications” *Sensors and Actuators B* 258 1191–1214 (2018)
- [14] Lei Shen “Biocompatible Polymer/Quantum Dots Hybrid Materials: Current Status and Future Developments” *J. Funct. Biomater.* 2, 355-372 2011
- [15] Skaltsas T., Goulielmaki M., Pintzas A., Pispas S.,and Tagmatarchis N.,”Carbon quantum dots/block copolymer ensembles for metal-ion sensing and bioimaging” *J. Mater. Chem. B*, 5, 5397, 2017
- [16] Gazzaniga A., Palugan L., Foppoli A., Maria Edvige Sangalli M.E., “Oral pulsatile delivery systems based on swellable hydrophilic polymers” *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 68 11–18 (2008)