

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

BİYOTEKNOLOJİ İNOVASYON YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

ÜNİVERSİTE VE ÜZERİ SEVİYESİ SEVİYESİ FİKİR

KATEGORİSİ

TAKIM ADI

ANTARES

PROJE ADI

Özgün Siyanobakteri Bazlı Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücrelerinin (BPV) Yapımı ve Siyanobakterilerin Hem Fotosentez Hem de Solunum Sistemi Özellikleri Yardımıyla Üretilen Hidrojen ve Fotoakımlar

BAŞVURU ID

431598

1. Proje Özeti (Proje Tanımı) (5 puan)

Bu projede *Leptolyngbia* sp. siyanobakteriler kullanılarak sabit potansiyel ve görünür bölge ışığı altında siyanobakterilerin hem fotosentez hem de solunum yapma özelliklerini kullanarak aynı anda fotoakım ve hidrojen üretebilen biyolojik fotovoltaiik hücreler yapılacaktır. **Anilinle fonksiyonlandırılmış DTP iletken polimeriyle (P(DTP-Ph-NH₂)), kaplı altın elektrota anilinle modifiye edilmiş altın nanotaneceklerin (AuNP) elektrokimyasal polimerizasyonla iletken oligopirol bağlarla bağlanması sonucu oluşacak yapının üzerine siyanobakterilerin kaplanmasıyla fotoanot, anilin fonksiyonlu SNS iletken polimeriyle (P(SNS-Ph-NH₂), modifiye edilmiş altın elektrot üzerine anilinle fonksiyonlandırılmış Pt nanotaneceklerinin (PtNP) elektropolimerizasyonla oligoanilin bağlarla bağlanmasıyla oluşturulan yapı ise katot görevi görecektir.** Sabit bir potansiyel altında sistem görünür bölge ışık ile aydınlatılarak çalıştırıldığında su siyanobakterilerin yaptığı fotosentez yoluyla yükseltgenerek ayrışacak ve suyun yükseltgenmesiyle açığa çıkan elektronların anoda taşınmasıyla **fotoakım**, katot tarafında protonların platin nanotanecekler tarafında indirgenmesiyle **hidrojen gazı** üretimi meydana gelecektir. Daha sonra ortama Diuron ve 3-(3,4-diklorofenyl)-1,1-dimetilüre (DCMU) isimli PS II inhibitörleri eklenip glukozlu ortamda sabit potansiyel altında sistem aydınlatıldığında siyanobakterilerin solunum yapma özelliğinden yararlanarak glukozun yükseltgenmesiyle PS I'de oluşacak elektronların anoda ve protonların katoda taşınıp indirgenmesiyle aynı anda fotoakım ve hidrojen gazı meydana gelecektir. Böylece siyanobakterilerin hem fotosentez hem de solunum yapma özelliklerinden yararlanarak yüksek oranda hidrojen ve fotoakım elde edilecektir.

2. Problem/Sorun (5 puan)

Sanayi devrimiyle başlayan ve zamanla artarak devam eden başta fosil yakıtlar olmak üzere insan kaynaklı faaliyetler ekosistemde geri döndürülemez tahribatlara neden olmuştur. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) küresel iklim değişikliğinin ana nedenini insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle (başta fosil yakıtların kullanılması) atmosferde karbondioksit miktarının artması olarak açıklamıştır. Enerji hayatımızın hemen her alanında ihtiyaç duyduğumuz ve günden güne artış gösteren bir ihtiyaç olduğu aşikârdır. Fakat bu enerji ihtiyacının günümüzde enerji ihtiyacının rüzgâr, güneş, hidrojen, biokütle, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi doğal, temiz ve sürdürülebilir alternatif kaynaklardan karşılanması artık elzem olmuştur. Günümüzde güneş ışığından elektrik üretmek için çok fazla silikon bazlı fotovoltaiik hücre yapım çalışmaları yapılmaktadır ancak daha verimli elektrik üretimi için bu çalışmalar zahmetli ve çok pahalıdır.

Hidrojen de küresel enerji ve çevresel problemlere çözüm olacak bir yakıt türü olarak düşünülmektedir. Temiz ve etkili enerji kaynağıdır (Chen vd., 2010; Liao vd., 2012). Günümüzde fosil yakıtlardan, doğal gaz dönüşümünden, biyolojik kaynaklı sıvıların dönüştürülmesinden, kömür ve biyokütle gazlaştırmasından, termokimyasal ve nükleer üretimden, suyun elektrolizinden veya suyun fotoelektrokimyasal olarak ayrıştırılmasından hidrojen elde edilebilmektedir (Chen vd., 2008; Damien, 1992; Gaudillere vd., 2014; Naterer vd., 2013; Turn vd., 1998). Hidrojen üretiminin %5' i başta suyun elektrolizi ile sağlanırken %95' i ise fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Son yıllarda güneş hücrelerinde çeşitli katalizörler veya iletken yapılar kullanılarak suyun fotoelektrokimyasal olarak ayrıştırılması sonucu hidrojen üretimi çalışmaları hız kazanmıştır. Fakat bu teknolojiler ya çok pahalı ya da çevre dostu değildir.

3. Çözüm (20 puan)

Raporlar, güneş enerjisinin doğadaki en önemli alternatif enerji kaynağı olduğunu ve güneş tabanlı doğal, yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinin verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından öne çıktığını göstermektedir (Heldt & Piechulla, 2011). Güneş enerjisinin verimli kullanımı üzerine çalışılan teknolojilerden en önemlisi temiz ve yenilenebilir hidrojen kaynağı olan suyun güneş enerjisi yardımıyla hidrojene ve oksijene ayrıştığı Güneş-hidrojen üretim yöntemleridir (Turner,

1999; Painuly, 2001; Haro vd., 2015). Güneş enerjisinden suyun parçalanmasıyla elektrik ve hidrojen üretiminde kullanılan sistemler; a) Güneş enerjisinin dolaylı olarak kullanıldığı fotovoltaiik hücrelerden elde edilen elektrik yardımıyla gerçekleştirilen elektroliz sistemleri; b) Fotoelektrokimyasal hücre (PEC) sistemleri; c) Güneş enerjisinin doğrudan kullanıldığı fotokatalitik yöntemler; d) Boya duyarlı fotoelektrokimyasal hücre (DSPEC) sistemleri olarak sıralanabilir. Bununla birlikte Bitkiler, siyanobakteriler ve yeşil algler de güneş hücreleri gibi güneş ışığından enerji üretebilirler. Fotovoltaiik güneş hücreleri güneş ışığını toplayarak elektrik enerjisine dönüştürürken; bitkiler, siyanobakteriler ve yeşil algler güneş ışığını alır ve kimyasal enerjiye çevirirler. Bir diğer ifade ile güneş hücreleri ve diğerleri (bitkiler, siyanobakteriler ve yeşil algler) aynı işlemi farklı yollardan meydana getirirler. DSPECler, suyun elektrolizine benzer bir süreçte elektrik enerjisi veya hidrojen üreten güneş hücreleridir. Güneş enerjisinin ve biyolojik organizmaların yaşam döngüsünün teknoloji kombinasyonu olan biyolojik fotovoltaiik hücreler (BPV), güneş enerjisini güneş ışığını kullanarak elektrik enerjisine dönüştüren bir potansiyel enerji üretim teknolojisidir (Yongjin vd., 2009). BPVler, su fotolizi için güneş ışığı kullanan ve sisteme elektron sağlayan fotosentetik mikroorganizmalar kullanan mikrobiyal yakıt hücrelerine benzer (McCormick vd., 2011; Zhang vd., 2011). Bu tür bir sistem, bir çeşit biyolojik elektrokimyasaldır ve bazen foto-mikrobiyal yakıt hücreleri veya biyo-güneş panelleri olarak adlandırılırlar (Sawa vd., 2017). Mikrobiyal yakıt hücresi sistemleri için elektron vericisi genellikle organik bir maddedir, oysa BPV'de güneş ışığı suyu hidrolize etmek için kullanılır ve sistemin tek elektron vericisi sudur (McCormick vd., 2011). BPV'lerde kullanılan fotosentetik mikroorganizmalar kendilerini sürdürebilir kılabilirler. Ayrıca ucuz yöntemlerle yetiştirilebilirler (kültürlenebilirler) ve hücrelerinde depolanan metabolitler sayesinde karanlık ortamlarda bile güç üretebilirler. Bu özellikler BPV'yi tipik fotovoltaiik hücrelerden daha üstün kılmaktadır (Rosenbaum & Schröder, 2010). Bu proje ile pratik hızlı ve ucuz bir şekilde enerji ihtiyacının giderilmesi ve temiz/sürdürülebilir alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve potansiyellerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Projenin temel amaçlarına ulaşabilmek için kutup bölgesinde bile yaşayabilen, farklı ortamlara hızlı adaptasyon sağlayan, diğer fotosentetik hücrelere göre üretimi kolay ve biyolojik fotovoltaiik yakıt hücresi yapımında etkinliği kanıtlanmış siyanobakteriler model organizma olarak seçilmiştir (İto vd., 2005; Liu vd., 2013; Sarma vd., 2016; Sawa vd., 2017). Bunun için ülkemizin kutup bilimleri konusunda yapacağı özgün bilimsel çalışmalar ile öncü ülkeler arasında yer alma vizyonu doğrultusunda alternatif kaynaklardan ihtiyaç duyulan enerjinin sağlanması, alternatif enerji teknolojisinin geliştirilmesi ve potansiyellerin ortaya konulması amacıyla bu proje yapılmaya başlanmıştır. Bu sayede ülkemizin hidrojen ve elektrik elde etme çalışmalarına bilimsel araştırma ve teknolojik alt yapısının güçlendirilmesine katkı sağlanacaktır.

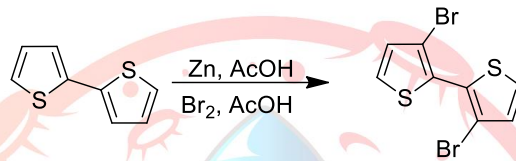
4. Yöntem (20 puan)

İş Paketi 1: Siyanobakterilerin Özel Bir Kültür Ortamında Çoğaltılması ve Karakterizasyonu: Fotosentetik mikroorganizmalardan siyanobakteri (*Leptolyngbia* sp.), Carolina™ (USA) firmasından satın alınmıştır. Bu çalışmada kullanılacak olan siyanobakteri (*Leptolyngbia* sp.) literatüre göre çoğaltılacaktır (Luimstra vd., 2013). Besi yeri olarak daha önceki çalışmalarda kullanılan ve genel olarak siyanobakteriler için tercih edilen modifiye edilmiş Leonian agar (MLA) kompleks kullanılmıştır. Oda sıcaklığında, düşük iyon şiddetli bir ortamda, ve 12:12 ışık/karanlık olarak şekilde ayarlı ve 40 µmol foton gücündeki bir beyaz fluresans lambası grafitda çoğalma gerçekleştirilmiştir. Hücreler sonra 20 °C de 10 dak. 4000 rpm de santrifüj edilmiştir, elektrolit ile yıkanmıştır ve tekrar aynı şartlarda santrifüj yapılmıştır. Elde edilen *Leptolyngbia* sp. hücreleri 1 g/ml çözelti olacak şekilde aynı elektrolit ile tekrar süspansed edilerek ve hemen fotoelektrokimyasal ölçümlerde kullanılmıştır. Siyanobakteride bulunan toplam klorofil miktarı (klorofil a ve klorofil b) Porra ve arkadaşlarının yöntemi ile belirlenmiştir (Porra vd., 1989). Yönteme göre 10 µL

siyanobakteri süspansiyonu 990 μL %80 aseton ile karıştırıldıktan sonra 14.000 rpm de 10sn sentrifüj edilmiş ve süpernatantın 645 nm'de ve 663 nm'de absorbansları okunmuştur. Toplam Klorofil (mg/mL) 31,15 şeklinde bulunmuştur.

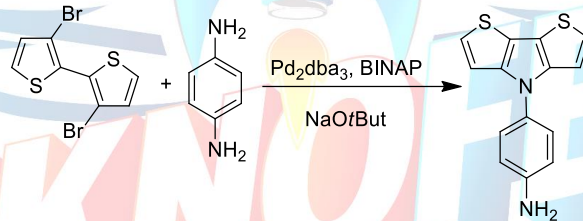
İş Paketi 2: Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücresinin Anot Elektrodunun Yapımı

4-(4H-Ditiyeno[3,2-b:2',3'-d]pirol-4-il)anilin (DTP-Ph-NH₂) Monomerinin Sentezi ve Polimerleştirilmesi: Karbon-brom bağı, organik kimyada karbon-karbon ve karbon heteroatom bağları oluşturmada kullanılan en önemli işlevsel gruplardan birisidir. 2,2'-Bitiyofen, glasiyal asetik asit içerisinde brom ve çinko ilave edilerek, 3,3'-dibrom-2,2'-bitiyofen sentezi gerçekleştirilecektir (Şekil 1). 3,3'-Dibrom-2,2'-bitiyofen'in yapısı 1H- ve 13C-NMR ile spektroskopik olarak belirlenecektir (Udum vd. 2014).



Şekil 1. 3,3'-Dibrom-2,2'-bitiyofen'in sentezinin şekilsel gösterimi.

Eşit miktarlarda 3,3'-Dibrom-2,2'-bitiyofen ve diamin bileşiği, BINAP, t-BuONa ve Pd₂(dba)₃ katalizörlüğünde kapling reaksiyonu yardımıyla 4-(4H-Ditiyeno[3,2-b:2',3'-d]pirol-4-il)aniline (DTP-Ph-NH₂)monomeri sentezlenecektir (Şekil 2). Sentezlenen monomerin yapısı spektroskopik teknikler kullanılarak (NMR, FTIR, MS) aydınlatılacaktır (Udum vd. 2014).



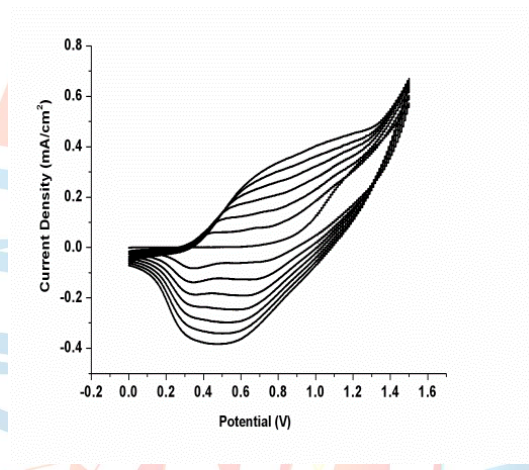
Şekil 2. 4-(4H-Ditiyeno[3,2-b:2',3'-d]pirol-4-il)aniline (DTP-Ph-NH₂) monomerinin sentezinin şekilsel gösterimi.

¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃): δ 7.37 (d, $J = 8.6$ Hz, AB sisteminin A kısmı, =CH, 2H), 7.16 (d, $J = 5.3$ Hz, AB sisteminin A kısmı, =CH, 2H), 7.10 (d, $J = 5.3$ Hz, AB sisteminin B kısmı, =CH, 2H), 7.84 (d, $J = 8.6$ Hz, AB sisteminin B kısmı, =CH, 2H), 3.84-3.78 (bs, NH₂, 2H). **¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃):** δ 144.94, 144.61, 131.15, 124.51, 123.07, 115.92, 115.80, 112.08. **IR (cm⁻¹):** 3737.3, 3622.2, 3366.7, 3057.3, 3024.9, 2924.1, 2856.7, 2337.6, 1707.9, 1600.0, 1571.2, 1495.6, 1448.8, 1398.4, 1304.9.

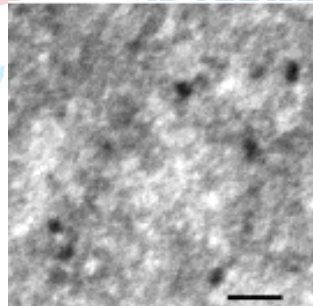
4-(4H-Ditiyeno[3,2-b:2',3']pirol-4-il)anilin, (DTP-Ph-NH₂) Monomerinin Elektrokimyasal Olarak Polimerleştirilmesi Çalışması: 4-(4H-Ditiyeno[3,2-b:2',3'-d]pirol-4-il)anilin, (DTP-Ph-NH₂) monomerinin dönüşümlü voltametri çalışmalarında TBAPF₆/Diklorometan/Asetonitril ortamında ve 100 mv/S dönüşüm hızında altın elektrot üzerinde potansiyodinamik dönüşümler göstermiştir. Ag/AgCl referans elektrot varlığında monomerin yükseltgenme piki 1,25 V görülmüştür. Monomer yükseltgenmesini takiben, elektroaktif bir polimer film altın elektrot üzerinde gelişmiştir ve dönüşümlü voltamogramda polimer filmin geniş yükseltgenme ve indirgenme pikleri gözlemlenmiştir. Tekrarlanan dönüşümlerde, akımda ve polimer filmin

kalınlığında artışlar elde edilmiştir. (Şekil 3).

Anilinle Fonksiyonlandırılmış Altın Nanopartiküllerin Sentezi: 2-Merkaptoetan sülfonik asit ve p-aminotiyofenol ile fonksiyonlandırılmış altın nanotaneçikler 197 mg HAuCl_4 içeren 10 mL etanol çözeltisiyle ve 42 mg merkaptoetan sülfonat ve 8 mg p-aminotiyofenol içeren 5 mL metanol çözeltisinin 2,5 mL glasiyal asetik asit içerisine eklenmiştir ve bu yeni çözeltinin 1 saat boyunca buz banyosunda karıştırılmasıyla hazırlanmıştır (Yıldız vd. 2008). Daha sonra bu çözeltiye 1 M 7,5 mL NaBH_4 çözeltisi damla damla siyah renkte bir çözelti elde edilinceye kadar ilave edilmiştir. Siyah renkli yeni çözelti 1 saat daha buz banyosu içerisinde karıştırıldıktan sonra buz banyosundan çıkarılarak oda sıcaklığında 14 saat daha karıştırılmaya devam edilmiştir. Meydana gelen nanopartiküller metanol, etanol ve dietil eter çözeltileriyle ikişer defa yıkanıp daha sonra santrifüj edilmiştir. Bu altın nanotaneçikler transmisyon elektron mikroskobu ile karakterize edilmiştir. Transmisyon Elektron Mikroskobuyla (TEM) incelendiğinde partiküllerin boyutlarının 8,5 nm olduğu tahmin edilmiştir. Partiküllerin TEM yardımıyla çekilmiş fotoğrafı Şekil 4'deki gibidir (Yıldız ve ark., 2008).



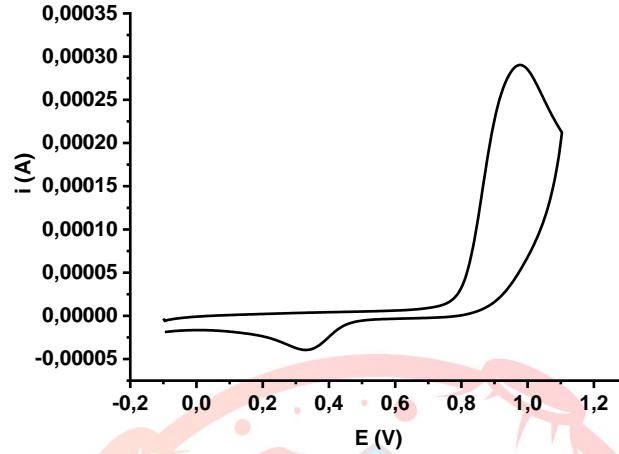
Şekil 3. DTP-Ph-NH₂ monomerinin TBAPF₆/Diklorometan/Asetonitril ortamında 100 mV/S ile N₂ atmosferindeki dönüşümlü voltamogramı (Çalışma ve Karşıt elektrot: Au, Referans elektrot: Ag/Ag⁺).



Şekil 4. Au nanotaneçiklerinin Transmisyon Elektron Mikroskobu yardımıyla çekilen fotoğrafındaki görüntüsü. (Skala 30 nm).

Anilinle Fonksiyonlandırılmış AuNP'nin, P(DTP-Ph-NH₂), İletken Polimeriyle kaplanmış Altın Elektrot Üzerine Elektropolimerizasyon Metoduyla Oluşturulan İletken Oligoanilin Polimerik Köprülerle Bağlanması Çalışmaları: DTP-Ph-NH₂ homopolimeri ve anilin ile modifiye edilmiş AuNP 0,1 M fosfat tamponu çözeltisi (pH =7,4) içinde -0,1 V ile +1,1 V potansiyelleri arasında 100 mV/S dönüşüm hızındaki dönüşümlü voltametri yardımıyla

elektropolimerizasyon tekniğiyle birbirlerine oligoanilin bağlarla bağlanmıştır. Bu elektropolimerizasyon deneyinde grafit elektrot ($d=5$ mm) yardımcı elektrot olarak, standart kalomel elektrot referans elektrot olarak kullanılmıştır (Şekil 5).



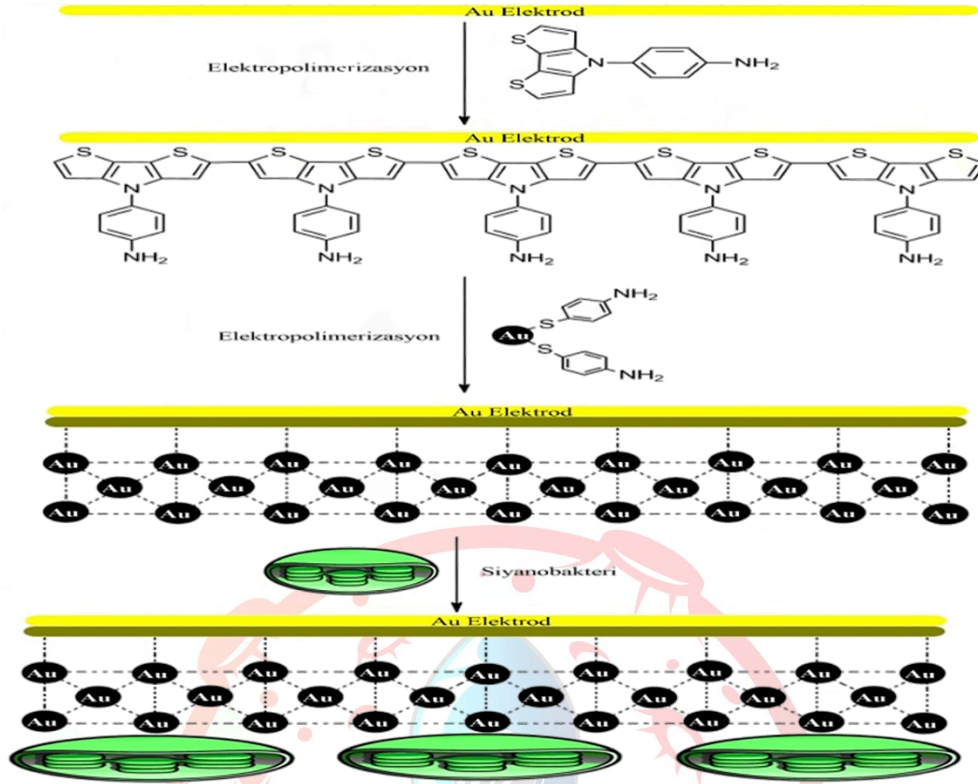
Şekil 5. Anilin ile fonksiyonlandırılmış AuNP'nin P(DTP-Ph-NH₂) ile kaplanmış elektrot yüzeyine fosfat tamponu ortamında (pH=7,4) 100 mV/S dönüşüm hızıyla dönüşümlü voltammogram yardımıyla iletken oligoanilin bağlarla bağlanması.

Anot Elektrodunun Yapımının Tamamlanması: Altın elektrotlar ultra saf suyla yıkanıp oda sıcaklığında kurutulmuştur. Yukarıda belirtilen şartlarda sentezlenen (DTP-Ph-NH₂) monomeri (5 mg/mL) daha sonra altın elektrot yüzeyi üzerinde TBAPF₆/Diklorometan/Asetonitril ortamında ve 100 mV/S dönüşüm hızında dönüşümlü voltametri yardımıyla -0,1 V ve +1,2 V potansiyel farkı aralığında elektropolimerizasyon yapılarak polimerleştirilmiştir. Anilin ile modifiye edilmiş 100 mM AuNP çözeltisi 0,1 M fosfat tamponu çözeltisi (pH =7,4) içine eklenerek 0,1 V ile +1,1 V potansiyelleri arasında 100 mV/S dönüşüm hızındaki dönüşümlü voltametri yardımıyla elektropolimerizasyon tekniğiyle altın elektrot üzerindeki P(DTP-Ph-NH₂) filme oligoanilin bağlarla bağlanmıştır. Bu elektropolimerizasyon deneyinde platin telin karşı elektrot ve Ag/Ag⁺ elektrod ise referans elektrot olarak kullanılmıştır. Daha sonra özel bir kültür ortamında olgunlaştırılmış siyanobakteriler optimum miktarda P(DTP-Ph-NH₂)/AuNP yapısıyla modifiye edilmiş Au elektroda kaplanmıştır. Daha sonra fosfat tamponuna (pH 7,4) daldırılmış diyaliz membran siyanobakterinin elektrodun yüzeyinden düşmesini önlemek için siyanobakterinin üzerine konularak bir kauçuk ve bir para film yardımıyla sıkıca elektrodun yüzeyine tutturulmuştur ve böylece projenin nihai ürünü olan biyolojik fotovoltaiik hücrenin foto-anodunun yapımı tamamlanmıştır (Şekil 6).

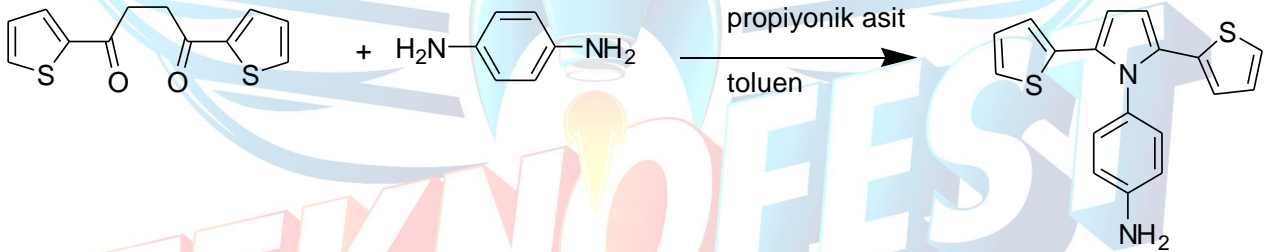
İş Paketi 3: Biyolojik Fotovoltaiik Güneş Hücresinin Katot elektrodunun Yapımı

4-(2,5-di(tiyofen-2-il)-1 H-pirol-1-il) benzenamin (SNS-NH₂) monomerinin sentezi ve karakterizasyonu: Literatürde (Yildiz vd. 2007) belirtildiği üzere, SNS-NH₂ monomerinin reaktantlarından biri olan 1,4-di(2-tiyenil)-1,4-bütandion maddesi, tiyofen ve suksinil klorürün alüminyum klorür (AlCl₃) katalizörlüğünde olan Friedel-Crafts tepkimesinin kullanımıyla elde edilmiştir. Sonra bu reaksiyondan elde edilen 1,4-di(2-tiyenil)-1,4-bütandion ile benzen-1,4-diamin, propiyonik asitin katalizörlüğünde toluen solüsyonu içinde birbirleriyle tepkimeye sokularak 4-(2,5-di(tiyofen-2-il)-1-H-pirol-1-il) benzenamin (SNS-NH₂) monomeri sentezlenmiştir (Şekil 7).

¹H-NMR(CDCl₃) (δ/ppm): 3.75 (s, 2H, Ha), 6.46 (dd, 2H, pirolil-Hd), 6.58 (s, 2H, tiyenil-He) , 6.73 (dd, 2H, tiyenil -Hf), 6.80 (d, 2H, tiyenil -Hg), 6.97 (dd, 2H, fenil-Hc), 7.12 (d, 2H, fenil-Hb).
¹³C-NMR (CDCl₃) (δ/ppm): 109.5, 115.1, 124.2, 124.4, 124.5, 127.0, 129.1, 130.3, 135.7, 146.5.



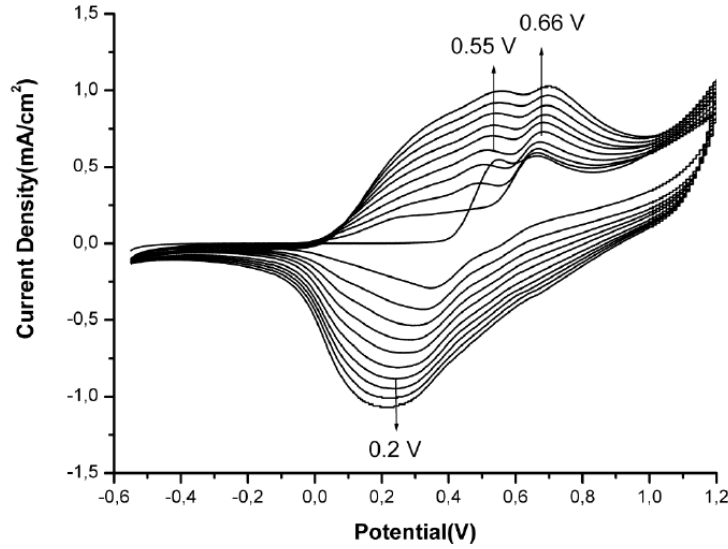
Şekil 6. Biyolojik fotovoltaik güneş hücresinin anot elektrodunun yapımının şekilsel gösterimi.



Şekil 7. 4-(2,5-di-tiyofen-2-il-pirol-1-il)-fenilamin (SNS) sentezinin şekilsel gösterimi.

SNS-NH₂ Monomerinin Homopolimerizasyonu

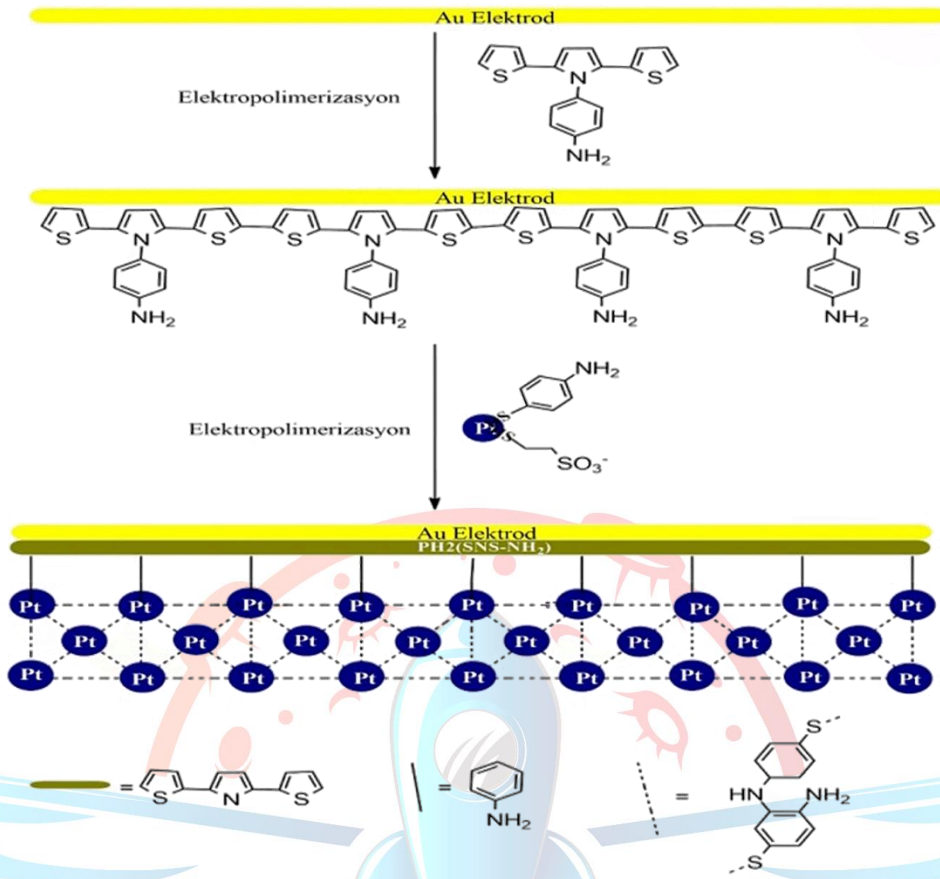
SNS-NH₂'nin homopolimerizasyonu $3 \cdot 10^{-2}$ M SNS-NH₂, 0.1 M NaClO₄/0.1 M LiClO₄ içeren asetonitril çözeltisi içeren tek bölmeli hücre içerisinde 1.2 V sabit potansiyel altında gerçekleşmiştir. Potensiyodinamik elektrokimyasal polimerizasyon sonrası P(SNS-NH₂), NaClO₄/LiClO₄ reaksiyona girmemiş monomerleri temizlemek için asetonitrille yıkanmıştır. Çalışma elektrodu olarak altın elektrot, karşıt elektrot olarak platin tel ve referans elektrot olarak da Ag/Ag tel dönüşümlü voltametri ölçümlerinde kullanılmıştır. Yapılan dönüşümlü voltametri çalışmaları ile monomerin asetonitril/ LiClO₄ ortamında 0,55 ve 0,66 V' da geri dönüşümsüz bir yükseltgenme pikleri tespit edilmiştir (Şekil 5). Bu durum iletken polimerlerin elektrokimyasal yöntem ile sentezi için gerekli olan monomer radikal katyonu'nun oluşturulabildiğini işaret etmektedir. Ayrıca döngü sayısı arttıkça elektrot üzerinde kaplanan iletken polimere ait yeni redoks pikleri varlığı tespit edilmiştir (Yıldız ve ark., 2008c). SNS-NH₂'nin homopolimerizasyonunu gösteren dönüşümlü voltammogram şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Monomerinin asetonitril/ LiClO₄ ortamında 100 mV/dak ile N₂ atmosferindeki dönüşümlü voltamogramı (Çalışma ve Karşıt elektrot: Pt, Referans elektrot: Ag/Ag⁺).

Merkaptoanilin ile Fonksiyonlandırılmış Platin Nano taneciklerinin Hazırlanması: Bu nanotaneciklerin sentezinde 3 ayrı çözelti kullanılmıştır. Bir numaralı çözelti 300 mg lık PtCl₄ 75 mL heksilamin içinde çözülerek hazırlanmıştır. İki numaralı çözelti ise hacimce 1:1'lik 30 mL'lik metanol/heksilamin çözeltisi içerisinde 35 mg, 2,8x10⁻⁴ mol tiyoaniline ve 180 mg, 1,1x10⁻³ mol 2-merkuptoetansulfonik asidinin sodyum tuzu çözülerek hazırlanmıştır. Üç numaralı çözelti ise hacimce 1:1'lik 40 mL'lik su/metanol karışımına 300 mg sodyum borhidrür eklenmesiyle hazırlanmıştır. Oda sıcaklığında üç numaralı çözelti bir numaralı çözeltiye şiddetli bir şekilde karıştırılarak eklendikten sonra karışımın rengi birkaç saniye içerisinde kahverengiye dönmüştür ve 1 dakika sonra iki numaralı çözelti kahverenkli karışıma eklenmiştir. Üç dakika sonra 200 mL saf su bu yeni karışıma eklendikten sonra 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Sonra karışım ayırma hunisine transfer edilip su fazı ortamdan uzaklaştırılmıştır. Eldeki organik faz ise 200 mL'lik suyla tekrar tekrar yıkanmıştır. Organik fazın hacmi 35 °C de daha sonra döner buharlaştırma sistemiyle 3-4 mL'ye kadar düşürülmüştür. Daha sonraki adımda 15 mL etanol içerisinde çözülmüş 35 mg, 2,8X10⁻⁴ mol tiyoanilin ve 180 mg 1,1 X10⁻³ mol merkuptoetan sülfonik asidin sodyum tuzu organik faza eklenmiştir ve en son elde edilen karışım bir gece boyunca karıştırılmıştır. Siyah renkli kalıntı bir kaç defa santrifüj makinasından geçirildikten ve 3-4 kere dietil eterle yıkandıktan sonra toplanmıştır. Hazırlanan Pt nanotaneciklerinin 4-5 nm çap büyüklüğünde olduğu anlaşılmıştır. Bu nanotanecikler TEM ve SEM analizleri yapılarak karakterize edilmiştir.

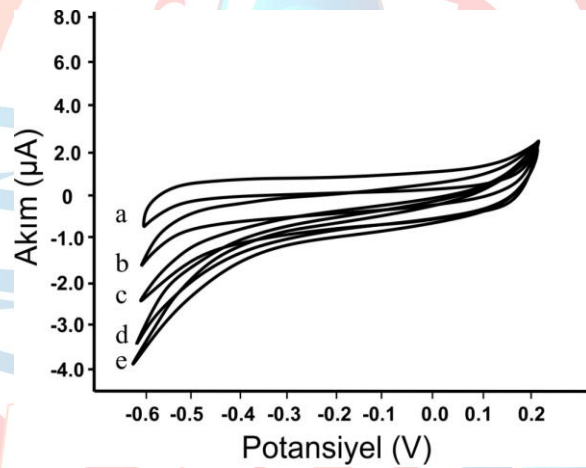
Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücresinde Katot Olarak Kullanılacak P(SNS- NH₂)/Pt Nanotanecik Yapısı İle Modifiye Edilmiş Altın Elektrodun Yapılması: Sentez ve karakterizasyonu verilen SNS-NH₂ monomeri altın elektrot yüzeyi üzerinde TBAPF₆/Diklorometan/Asetonitril ortamı içerisinde siklik voltametri yardımıyla -0,5 V ve +1,2 V potansiyel farkı aralığında elektropolimerizasyon yapılarak polimerleştirilmiştir. Daha sonra, merkuptoanilin ile fonksiyonlandırılmış Pt nanotanecikler yine elektropolimerizasyon metoduyla fosfat pH = 7,4 fosfat tamponu ortamında siklik voltametri yardımıyla -0,5 V ve +1.0 V potansiyel farkı aralığında polimerleştirilerek daha önce altın elektrot üzerine elektropolimerizasyon metoduyla polimerleşen P(SNS-NH₂) polimerine bağlanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Biyolojik fotovoltaiik güneş hücresinin katot elektrot yapısının şekilsel gösterimi.

Fotoelektrokimyasal hücresinde katot olarak kullanılacak P(DTP-Ph-NH₂)/Pt Nanotaneçik yapısı İle modifiye edilmiş altın elektrodun elektrokimyasal olarak karakterizasyonu: Pt nanotaneçiklerin en önemli özelliklerinden birisi de hidrojen peroksiti elektrokatalizleyerek suya indirgemesidir. Projenin gerçek amacında da Pt nanotaneçikler suyun yükseltgenerek ayrıştırılmasından ortaya çıkan protonları hidrojen gazına indirgeyecektir. Elektrottan Pt nanotaneçiğe doğru olan elektron transferinin en hızlı olabilmesi için gerekli olan yüzey optimizasyonlarının hidrojen peroksitin indirgenmesi yararlanılarak bulunması ve bundan çıkacak optimum koşullarının suyun ayrıştırılması sırasında ortaya çıkacak protonların hidrojen gazına dönüştürülmesi için de aynı olacağı düşünülmüştür (Tel-Vered vd., 2010). Suyun ayrıştırılması için kurulacak sistemde katot olarak kullanılacak P(SNS-NH₂)/Pt elektrodunun ilk karakterize çalışması Pt nanotaneçiklerini P(DTP-Ph-NH₂) ile kaplanmış 1 cm²'lik altın elektroda oligoanilin bağlarla bağlamak için yapılan dönüşümlü voltametrideki döngü sayısı optimizasyonu çalışmasıdır. Üç kez tekrarlanan ve her üç tekrarda da çok yakın sonuçlar elde edilen bu optimizasyon çalışmasında 100 dönüşümlü polimerleştirilen P(SNS-NH₂) iletken filmin üzerine, Pt nanotaneçikler elektropolimerizasyonla bağlanırken Pt nanotaneçiklerin konsantrasyonu 1 mg/mL'de oranı sabit tutulmuştur. Deneyler fosfat tamponu (pH=7,4) ortamında yapılmıştır. Bu optimizasyon çalışmasında Pt nanotaneçikler 40, 60, 80 ve 100 döngü sayısında elektropolimerizasyon ile P(SNS-NH₂) iletken polimerle kaplı elektroda oligoanilin kompozit bağlarıyla bağlanmıştır. Bu özelliğinden yararlanarak Pt nanotaneçiklerin iletken polimere bağlanması için gerekli olan optimum döngü sayısı bulunmaya çalışılmıştır. Bu optimum döngü sayısını bulmak için 40, 60, 80 ve 100 döngü sayısı sonucunda P(SNS-NH₂) iletken polimerine oligoanilin kompozit bağlarla bağlanarak elde edilen P(SNS-NH₂)/Pt NP elektrotlarının 9 mM hidrojen peroksit varlığında 0,2 ile -0,6 V potansiyel farkı aralığında dönüşümlü voltamogramları alınmıştır. Pt nanotaneçiklerinin

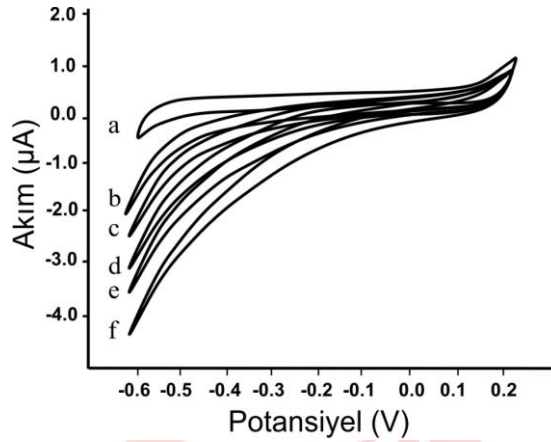
hidrojen peroksiti suya indirgemesi sonucu voltammogramda elde edilen net akım farkları sonucunda Pt nanotancikleri iletken polimere bağlamak için gerekli olan optimum döngü sayısı bulunmuştur. Kompozit oluşturmak için elektropolimerizasyon döngü sayısı arttıkça alınan voltammogramlarda akım farkında artış olduğu görülmüştür. Bu durumda 80 döngü sayısına kadar devam etmiş 100. döngüde ise akım farkı düşmüştür. 80 döngüye kadar olan akım farkı artışının sebebi olarak oligoanilin kompozit bağlarla bağlanan Pt nanotancik miktarının kompozit içindeki artışı şeklinde düşünülebilir. Buna karşın uygulanan 100 döngü sayısı sonucunda meydana kompozit içindeki Pt nanotancik miktarı artmasına rağmen akım farkının düşmeye başlamasının sebebi olarak da döngü sayısı arttıkça meydana gelen Pt nanotanciklerin iletkenlik yollarındaki çok hızlı bir şekilde sayısının artışından dolayı karışıklığa sebep olması ve bunun sonucundaki iletkenliğin azalması ve elektron transferindeki hızın azalması şeklinde gösterilebilir. Üç kez tekrarlanan ve her üç deney sonucunda birbirlerine yakın veriler elde edilen bu optimizasyon deneyinde kompozit oligoanilin bağlarla Pt nanotancikleri P(SNS-NH₂) polimerine bağlamak için 80 döngü sayısının optimum döngü sayısı olmasına karar verilmiştir. Bütün bu optimizasyon çalışmalarının bütününde 1 cm² alana sahip altın elektrot üzerine 80 döngü sayısı kullanılarak SNS-NH₂ monomeri polimerleştirildikten sonra Pt nanotancikleri elektropolimerizasyonla P(SNS-NH₂) polimerine bağlanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. a) P(SNS-NH₂) kaplı altın elektrot, b) 40, c) 60) d)100 ve e) 80 döngü sayısıyla Pt nanotanciklerin elektropolimerizasyonu sonucunda elde edilen P(DTP-PH-NH₂)/Pt Nanotancik modifiyeli altın elektrotların 9 mM H₂O₂ varlığında dönüşümlü voltammogramları.

Bir başka optimizasyon çalışması da monomerinin dönüşümlü voltametriye yapılan elektropolimerizasyonundaki optimum döngü sayısını bulma çalışmasıdır. Bundan önceki optimizasyon çalışmasının tüm deneylerinde 80 döngü sayısı kullanılarak SNS-NH₂ monomeri polimerleştirilmişti. Bu optimizasyon çalışmasında altın elektrot üzerine 10, 40, 60, 80, 100 ve 120 döngü sayısında SNS-NH₂ monomeri elektropolimerizasyon yoluyla polimerleştirilmiştir. Bu çeşitli döngü sayıları yoluyla elde edilen polimer filmlerin üzerine 1mg/mL konsantrasyonundaki Pt nanotancikler dönüşümlü voltametriye 80 döngü uygulanarak elektropolimerizasyon yoluyla polimere bağlanarak projede katot olarak kullanılacak P(DTP-Ph-NH₂)/PtNP modifiyeli altın elektrot elde edilmiştir. Fosfat tamponu ortamında (pH=7,4) ve 9 mM hidrojen peroksit kullanılarak 0,2 ile -0,6 V potansiyel farkı aralığında dönüşümlü voltammogramlar alınmıştır. Dönüşümlü voltammogramlarda en yüksek akım farkının 100 döngülü P(SNS-NH₂)li olduğu görülmüştür. 120 döngülü polimerli elektrot kullanıldığında voltammogradaki akım farkı düşmüştür. Bunun sebebi 120 döngüye kadar polimer film elektron transferi için optimum kalınlıkta ve iletkenliktedir. 120 döngüde ise polimer film elektron transferi için çok kalın olmuştur ve yeteri kadar elektron elektroda

ulaşmamaktadır şeklinde açıklanabilir (Şekil 11). Bu optimizasyon çalışmasında 1cm^2 alana sahip P(DTP-Ph-NH₂)/PtNP modifiyeli altın elektrotlar kullanılmıştır ve bu çalışma 3 kez tekrarlanmıştır ve her seferinde birbirlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

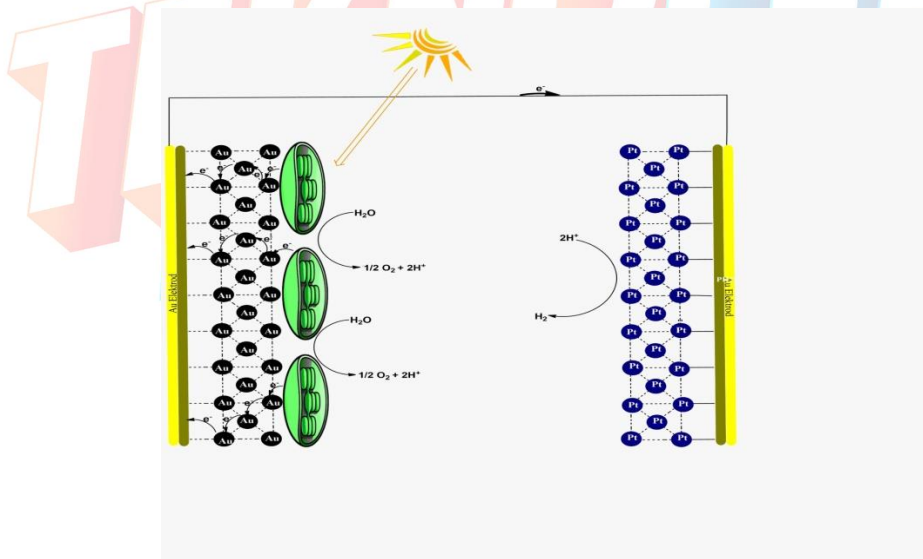


Şekil 11. a)10, b) 40, c) 60 d) 80 e) 120 ve f)100 döngü sayısı ile elektropolimerizasyonla polimerleşen DTP-NH₂ monomer üzerine Pt nanotaneçiklerin 80 döngülü elektropolimerizasyonu sonucunda elde edilen P(DTP-Ph-NH₂)/Pt Nanotaneçik modifiyeli altın elektrotların 9 mM H₂O₂ varlığında dönüşümlü voltammogramları.

Gelecekte Yapılacak Çalışmalar

İş Paketi 4: Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücresinde Fotoakım ve Hidrojen Elde Etme Çalışmaları : Biyolojik fotovoltaik güneş hücresinde anot olarak kullanılacak iletken P(DTP-Ph-NH₂)/AuNP/siyanobakteri yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrot ve onun 50 mm uzağına fotovoltaik hücrede biyo-katot olarak görev yapacak P(SNS-NH₂)/PtNP ile kaplı altın elektrot birbirlerine karşılıklı bakan 20 mm çapındaki tüp bölmelerin içinde olacaklardır. Bu bölmeler arasındaki uzaklık 50 mm dir birbirlerinden proton geçirgen bir membran olan Nafion membranla ayrılacaklardır Anot ile katot elektrotlar potansiyostat cihazına 1 k Ω 'luk dirençle seri olarak bağlanacaktır ve dirençten geçen voltajı ölçebilmek için bir multimetre de direncin karşısına konulacaktır (Şekil 12). Bu projede meydana getirilecek BPVler sayesinde siyanobakterilerin yaptığı fotosentez ve solunumdan kaynaklanan iki farklı fotoakım elde edilecektir. İlk önce fotosentez fotoakım elde etme çalışmaları yapılacaktır.. Fotoakım ölçümleri özel yapım fotokimyasal sistem içeren bir güneş simlatörü kullanılarak yapılacaktır. Bu fotokimyasal sistem 300 W Xe lamba, bir monokromatör ve özel yapım bir ayırıcıdan meydana gelmektedir. Yüksek miktarda fotoakım elde etmek için anot için oluşturulan iletken yapının optimum koşullara getirmek için çalışmalar yapılacaktır. AuElektrot/Siyanobakteri çalışmasıyla siyanobakterilerin DET ile fotoakım üretip üretmediklerine bakılacaktır. Daha sonra P(DTP-AP)/Siyanobakteri yapısına sahip anot kullanılarak elde edilecek fotoakım değerleriyle optimum polimer film kalınlığı, P(DTP-AP)/AP-AuNP/Siyanobakteri elektrotları kullanılarak elde edilecek fotoakım değerleriyle de Au-NP ve P(DTP-AP) arasındaki oligopirol bağlarını oluşturmak için optimum döngü sayısı belirlenecektir. Ayrıca optimum-DCV ışık şiddetini bulma, optimum siyanobakteri miktarını bulma, çalışmaları yapılacaktır. Bütün bu fotoakım ölçümleri boyunca bir potansiyostat BPVye farklı dirençlerle birlikte seri olarak bağlanacaktır ve resistanstan geçen voltaj miktarını ölçebilmek için dirençlerin karşısına multimetre konulacaktır. Buna ek olarak da anotta kullanılacak siyanobakteri miktarının fotoakıma olan etkisi de araştırılacaktır. BPVye farklı değerlerde dirençler (100-10 Ω) uyuglanarak multimetreden voltaj değerleri okunacaktır. Elde edilen voltaj değerleri ve dirençleri kullanarak Ohm Kanunu yardımıyla BPVnin ürettiği akım yoğunluğu ve güç yoğunluğu hesaplanacaktır ve

polarizasyon eğrileri çizilecektir. Bütün Fotoakım deneyleri pH 7,4 fosfat tampon çözeltilerde ve 1400 w/m² ışık şiddeti (1 güneş birimi) aydınlatma koşulları altında gerçekleştirilecektir. Fotosentetik fotoakım çalışmalarında belirlenen optimum koşullar ve deney şartları solunum yoluyla fotoakım elde etme ve hidrojen üretimi deneylerinde de değiştirilmeden kullanılacaktır. Bütün fotosentetik fotoakım üretim deneyleri oda sıcaklığında (25 °C) yapılacaktır. Solunum karbon maddelerinin yükseltgenerek parçalanmasıyla ilgili olduğu ve fotosentez olmadığı durumlarda meydana geldiği için bu durumdan klorofildeki PS I'in sorumludur ve burada elektroların anoda transferiyle solunumdan da fotoakım üretilebilmesi hedeflenmiştir. Bunu yapabilmek için BPVlerdeki siyanobakterilerin fotosentez yapmasının engellemesi yani PS II'nin bloke edilmesi gerekmektedir. Bu da anodun bulunduğu ortama siyanobakterinin sahip olduğu PS II'yi inhibe etmesi için Diuron ve katılacaktır (Cevik vd. (2019)). Diuron bulunduğu ortam içerisinde BPV aydınlatıldığı zaman elde edilecek fotoakım değeri elde edilecektir. Daha sonra Diuron bulunan ortama bir miktar fotosentez yapmayan canlılar için enerji kaynağı olan glukoz katılıp ışık gönderildiği zaman elde edilecek fotoakımın glukozun solunum sistemi tarafından yükseltgenip parçalanmasından dolayı gözle görülür bir artışın olacağı beklenmektedir. Böylece iletken bir yapı ile ve dışarıdan medyatör kullanılmadan solunum yoluyla da fotoakım üreten bir BPV yapılmış olacaktır. BPV sisteminde elde edilen voltaj değerleri ve dirençleri kullanarak Ohm Kanunu yardımıyla BPV'nin ürettiği akım yoğunluğu ve güç yoğunluğu hesaplanacaktır ve polarizasyon eğrileri çizilecektir. Oluşturulan BPVler tarafından üretilen hidrojen gazı sistemden bir enjektör yardımıyla alınan 1 mL (cm³) gaz örneğinin gaz kromatografisi yoluyla analiz edilmesiyle tayin edilecektir. Hem solunum hem de fotosentez yoluyla hidrojen üretim çalışmalarında oksijenin etkisini ortadan kaldırmak için BPVlerde sistemi çalıştırmadan önce hücrenin katot tarafı 15 dakika boyunca Argon geçirilecektir. İlk önce her fotosentezik hem de solunum yoluyla hidrojen üretiminde BPV'nin bias voltaj olmadan hidrojen üretimi çalışmaları yapılacaktır. Hidrojen üretimini kolaylaştırmak adına elektron transferini hızlandırmak için sisteme bias potansiyel çalışmaları yapıp en fazla hidrojen üreten optimum bias potansiyel değeri belirlenecektir. Ayrıca solunum sisteminde glukozlu ve glukozsuz ortamlarda hidrojen elde etme çalışmaları yapıp aradaki farklar irdelenecektir.



Şekil 12. Projede oluşturulacak biyolojik fotovoltajik güneş hücresinin şematisel gösterimi.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü (15 puan)

Bu projede siyanobakterilerin fotosentez ve solunum sistemlerinin kullanılmasıyla pratik olarak yüksek derecede fotoakım ve hidrojen üreten bir biyolojik fotovoltajik, BPV, güneş hücresi üretilecektir. Günümüzde güneş ışığından elektrik üretmek için çok fazla silikon bazlı fotovoltajik

hücre yapım çalışmaları yapılmaktadır ancak daha verimli elektrik üretimi için bu çalışmalar zahmetli ve çok pahalıdır. Daha fazla elektrik verimi vermesi ve ucuza mal olması açısından biyolojik fotovoltaiik güneş hücrelerinin yapım çalışmaları son yıllardaki çalışılmaya başlanan özgün ve sayısı hızla artan bir konudur. Hidrojen de son yıllarda çok ilgi gören temiz ve etkili enerji kaynaklarından biridir ancak fakat günümüzde yapılan hidrojen elde etme bu teknolojiler ya çok pahalı ya da çevre dostu değildir. **Günümüzde çalışılan BPV hücresi çalışmalarının çoğu elektrik üretimi üzerinedir ve BPV'lerden hidrojen üretimi konusu çok yeni bir konudur ve çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Projeye birlikte siyanobakteri bazlı BPVlerden hem elektrik hem de hidrojen üretimiyle bu konuda bilim dünyasında ses getirecek çalışmalar yapılacaktır ve lisans düzeyinden itibaren Türk genç bilim insanlarının dünyada bu konuda yetiştirilmesi ve söz sahibi olması sağlanacaktır. Bütün bu özellikler projenin konusunun özgün olduğunu göstermektedir.**

Bu projede planlanan diğer bir hedef de fotosentezle birlikte siyanobakterilerin yaptığı solunum özelliğini kullanarak da fotoakım ve hidrojen üretimidir. **Günümüzde yapılan elektrik ve/veya hidrojen üretmek için yapılan BPV çalışmaların büyük bir çoğunluğu fotosentez yardımcıdır. BPV'ler ile fotosentetik biyolojik maddelerin yaptığı solunum özelliğini kullanarak elektrik ve hidrojen üretimi çalışması ise yok denecek kadar azdır. Bu çalışmayla fotosentez yapımının zor olduğu ortamlarda bile siyanobakterilerin solunum yapma özelliğinden yararlanarak elektrik ve hidrojen üretimi gerçekleştirilecektir. Bu özellikler de yukarıdaki projenin özgün olduğunu desteklemektedir.**

6. Uygulanabilirlik (10 puan)

Bu proje 5 iş paketinden oluşacak şekilde 12 ay süresince 3 lisans öğrencisinden oluşan bir ekip tarafından bitirilmesi planlanmıştır. 1 Kasım 2021 tarihinden itibaren çalışılmaya başlanılan bu projede 3 iş paketi başarıyla bitirilmiştir. Şu anda son 3 numaralı iş paketindeki "Fotoanot Kullanılarak Fotoakım Deneilerinin Yapılması" deneylerine başlanmıştır. Bu proje THS 2 seviyesinde başlamış olup şundaki son durumu THS 3 seviyesindedir. Proje tamamlandığında BPV güneş hücresinin prototipi tamamlanacak olup proje THS seviyesi 4'de yükselecektir. Projenin tamamlanmasının ardından girişimci olmak için şirketleşme çalışmalarına başlanacaktır. Bu projenin şirketleştirilmesi ve destek alınması için TUBİTAK TEYDEB 1512 BIGG Programı 2023-01 çağrısına başvurulacaktır. Ayrıca yurt içi ve yurt dışında organize edilen proje pazarlarına iştirak edilerek bu projenin ürünü olan MobilSolarPestSens satışı ve diğer yapılacak ürünler adına şirket için melek yatırımcılar aranacaktır. Bu proje kapsamında üretilecek BPV güneş hücresinin tanıtımı için hedef kitlelere yönelik olarak birebir iletişim ve e-mail, google adwords gibi pazarlama araçları kullanılacaktır. Bunun yanı sıra şirket için kurulması planlanan web sitesi üzerinden hedeflenen ürünün e-satışı da gerçekleştirilecektir. Laboratuvar cihazları ve sarf malzeme satan bölgesel medikal şirketlerle kardan pay verilme şeklinde anlaşma yapılarak, onların sahip oldukları pazar ağı aracılığıyla ürünümüz satılabilir. Türkiyede çoğu markanın pazarlama ayağı tüketicilerin elinde bulunmaktadır. İnsanların memnun kaldıkları ürünleri överken farkında olmadan yaptıkları reklam ürünün Türkiye pazarına girmesiyle yer bulacaktır ve WOMMA (Word of Mouth Marketing Association) türü bir pazarlama otomatik olarak devreye sokulacaktır. Yurtiçi -Yurtdışı fuarlar, Çalıştay, Panel, Konferans vb. organizasyonlar ile yazılı ve görse medyada yapılacak reklamlar ile ürünün tanıtım faaliyetleri hız kazanacaktır. Müşteri temsilcileriyle (Kişisel) Satış, Doğrudan Satış, E-Ticaret ile Satış ile ürünün hem yurtiçi hem de yurtdışı pazara yönelik satışı planlanmaktadır.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması (5 puan)

Projenin bundan sonraki sonraki aşamaları için 100000 TL'lik bir miktara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu miktar proje kapsamında sentezlenen malzemelerin karakterizasyonlarını yapabilmek ve hidrojen ve elektrik üretimi çalışmaları için gerekli olacak analiz ve testler için gereklidir. Proje tamamlandıktan sonra BPV Güneş Hücresinin prototip oluşturulup satış için hazır hale getirildiği zamanki maliyet ve kitin planlanan satış miktarları aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

Ürün	Maliyet	Satış
BPV Güneş Hücresi	350000TL	400000 TL

Projenin tamamlanması için maliyet miktarının projenin hangi kısımları için gerekli olduğu da aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Proje Harcama Kalemleri	Maliyet
Potensiyotat (Palmsens, PS4 F1.05)	100000 TL
Cam ve Kimyasal Malzemeler (Elektrot ve Kimyasallar)	200000 TL
Üretilen malzemelerin karakterizasyonu için yapılan analizler	35000 TL
Hidrojen ve elektrik üretimi çalışmaları için gerekli test ve analizler	15000 TL
Toplam	350000 TL

Yapılması Planlanan İş Paketleri	Aylar											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Siyanobakterilerin Özel Bir Kültür Ortamında Çoğaltılması: Ticari olarak satın alınacak Lyptoningbi Sp. Siyanobakterilerinin özel bir kültür ortamında büyütülüp ve çoğaltılması	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
İş Paketi 2 Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücresinin Anot Elektrodunun Yapımı: 1) DTP-Ph-NH ₂ monomerinin sentez ve karakterizasyonu, 2) Anilinle modifiye edilmiş AuNPlerin sentez ve karakterizasyonu 3) Anot elektrodu olarak kullanılacak P(DTP-Ph-NH ₂)/AuNP/Siyanobakteri yapısıyla modifiye edilmiş Au elektrodunun tamamlanması.	x	x	x	x								
İş Paketi 3: Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücresinin Katot Elektrodunun Yapımı: 1) SNS-NH ₂ monomerinin sentez ve karakterizasyonunun yapılması, 2) Anilinle fonksiyonlandırılmış PtNPlerin sentez ve karakterizasyonunun yapılması, 3) Katot elektrodu olarak kullanılacak P(SNS-NH ₂)/PtNP yapısıyla modifiye edilmiş Au elektrodunun tamamlanması			x	x	x	x						
İş Paketi 4: Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücresinde Fotoakım ve Hidrojen Elde Etme Çalışmaları: 1) BPV güneş hücresinin entegrasyonunun tamamlanması, 2) Siyanobakterilerin fotosentez ve solunum sistemlerini kullanarak BPV güneş hücresinin fotoakım ve hidrojen üretiminin sağlanması						x	x	x	x	x	x	x

8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar) (5 puan)

Bu proje başarıyla bitirildiği zaman siyanobakteriler (*Leptolyngbia* sp.) kullanılarak sabit potansiyel ve görünür bölge ışığı altında siyanobakterilerin hem fotosentez hem de solunum yapma özelliklerini kullanarak verimli, ucuz, kolay bir şekilde aynı anda fotoakım ve hidrojen üretebilen biyolojik fotovoltaik hücreler BPV, elde edilecektir. Son zamanlarda BPV güneş hücreleri binaların dış

cephelerine monte edilerek binalar için gerekli güneş ışığından elektrik enerjisi üretilmeye başlanmıştır ve akıllı binaların yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Bundan dolayı BPVler inşaat ve mimarlık sektörlerin gözdesi haline gelmiştir. Bu projeye yapılacak BPVlerin en büyük hedef kitlesi bu iki sektör olacaktır. Ayrıca BPVler saat, çanta gibi giyilebilir eşyalar ile kumaşların üstüne de yapılmaktadır. Bundan dolayı özellikle savunma sanayi ve uzay sektörü açısından BPVler talep görmeye başlamıştır. Bu projeden çıkacak BPVler hidrojen de üretecektir. Kömürden benzin elde etmek için hidrojen kullanılır. Ayrıca, organik bileşiklerin sentetik olarak elde edilmesinde, sıvı yağlardan katı yağ üretiminde de kullanılır. Hidrojen üretiminin üçte ikisi amonyak elde etmek için kullanılır. Ayrıca petrol rafinesi için önemli bir gazdır. Metanol üretimi için kullanıldığı gibi havayla soğutulamayan dinamo gibi parçaların soğutulmasında da hidrojenden faydalanılır. Bu sebeplerden dolayı projeden yapılacak BPVler petrol, gıda, amonyak sektörlerine de hitap etmektedir.

9. Riskler (10 puan)

10. Risk Yönetimi Tablosu	
Riskler	B Planı
Oluşturulacak BPVler için ticari olarak satın alınıp özel kültür ortamında büyütülecek olan siyanobakteri türleri istenildiği gibi verimli çalışmaması ve hedeflenen fotoakım ve hidrojen üretim değerlerine ulaşamayabilir.	Bu durumda P. Pseudovolvox yeşil algler ticari olarak satın alınıp, özel kültür ortamında yetiştirilecektir ve BPVlerde kullanılacaktır belirlenen hedeflere ulaşılacaktır.. Bu durum projenin özgünlüğünden hedeflerinden bir şey kaybettirmeyecektir.
Oluşturulacak BPVler için sentezlenecek P(DTP-Ph-NH ₂)/AuNP ve P(SNS-NH ₂)/PtNP yapıları istenildiği kadar iletken olmayıp elektron transferi hızlı olmaması veya polimerik iletken yapılar homojen olarak altın elektrotlara kaplanamayabilir	Bu durumda B planı olarak tiyol fonksiyonlu karbazoller sentezlenecektir. Pirol ve karbazol içeren malzemeler güneş hücrelerinde, sensör uygulamalarında, konjüge polimerlerin sentezinde, elektrokromik malzemelerde kullanılan önemli heteroaromatiklerdir. Proje kapsamında yapısında tiyol bulunduran karbazollerin sentezi gerçekleştirilecektir. Bu yapılar literatürde yer alan yöntemler modifiye edilerek sentezi gerçekleştirilecektir.

Karbazol $\xrightarrow[\text{BrCH}_2(\text{CH}_2)_n\text{CH}_2\text{Br}]{\text{NaH}}$ Br-AK $\xrightarrow[3. \text{HCl}]{1. \text{Tiyolüre, i-PrOH}, 2. \text{NaOH, Kaynama}}$ Tiyol-AK

n: 4, 8, 12

11. Kaynaklar (5 puan)

Gaudillere, C., Navarrete, L., & Serra, J. M. 2014. "Syngas production at intermediate temperature through H₂O and CO₂ electrolysis with a Cu-based solid oxide electrolyzer cell", International Journal of Hydrogen Energy, 39(7), 3047-3054.

H.B. Yildiz, R. Tel-Vered, I. Willner, "Solar Cells with Enhanced Photocurrent Efficiencies Using

- Oligoaniline-Crosslinked Au/CdS Nanoparticles Arrays on Electrodes” *Adv. Funct. Mater.* 2008, 18, 3497–3505
- Haro M, Solis C, Molina G, Otero L, Bisquert J, Gimenez S. 2015. “Toward Stable Solar Hydrogen Generation Using Organic Photoelectrochemical Cells”, *The Journal of Physical Chemistry C*, 119(12), 6488-94.
- Heldt, H.-W., & Piechulla, B. 2011. "The use of energy from sunlight by photosynthesis is the basis of life on earth", *Plant Biochemistry*, 43–64.
- Ito, M., Tsukatani, T., Fujihara, H. 2005. "Preparation and characterization of gold nanoparticles with a ruthenium-terpyridyl complex, and electropolymerization of their pyrrole-modified metal nanocomposites", *Journal of Materials Chemistry*, 15, 960-964.
- Liu, C., Wang, X., Wang, X., & Sun, C. 2016. “Acclimation of Antarctic *Chlamydomonas* to the sea-ice environment: a transcriptomic analysis”, *Extremophiles*, 20, 437–450.
- Luimstra, V., Kennedy, S.-J., Güttler, J., Wood, S., Williams, D., Packer, M. 2013. “A cost-effective microbial fuel cell to detect and select for photosynthetic electrogenic activity in algae and cyanobacteria”, *Journal of Applied Phycology*, 26 (2013) 1-9.
- McCormick, A. J., Bombelli, P., Lea-Smith, D. J., Bradley, R. W., Scott, A. M., Fisher, A. C., Smith, A. G., & Howe, C. J. 2013. "Hydrogen production through oxygenic photosynthesis using the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 in a bio-photoelectrolysis cell (BPE) system", *Energy and Environmental Science*, 6(9), 2682–2690.
- McCormick, A. J., Bombelli, P., Scott, A. M., Philips, A. J., Smith, A. G., Fisher, A. C., & Howe, C. J. 2011a. "Photosynthetic biofilms in pure culture harness solar energy in a mediatorless biophotovoltaic cell (BPV) system", *Energy and Environmental Science*, 4(11).
- McCormick, A. J., Bombelli, P., Scott, A. M., Philips, A. J., Smith, A. G., Fisher, A. C., & Howe, C. J. 2011a. "Photosynthetic biofilms in pure culture harness solar energy in a mediatorless biophotovoltaic cell (BPV) system", *Energy and Environmental Science*, 4(11).
- Painuly J.P. 2001. “Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis”, *Renewable Energy*, 24(1), 73-89.
- Porra, R.J., Thompson, W.A., Kriedemann, P.E., Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy, *Biochimica Biophysica Acta - Bioenergetics* 975 (1989) 384–394.
- Rosenbaum, M., & Schröder, U. 2010. "Photomicrobial solar and fuel cells", *Electroanalysis* 22(7–8), 844-855.
- Sarma, M. K., Kaushik, S., & Goswami, P. 2016. "Cyanobacteria: A metabolic power house for harvesting solar energy to produce bio-electricity and biofuels", *Biomass and Bioenergy*, 90, 187-201.
- Sawa, M., Fantuzzi, A., Bombelli, P., Howe, C. J., Hellgardt, K., & Nixon, P. J. 2017. "Electricity generation from digitally printed cyanobacteria", *Nature Communications*, 8(1), 1–10.
- Turner J.A. 1999. “A realizable renewable energy future”, *Science*, 285(5428), 687-689.
- Yongjin, Z., Pisciotta, J., Billmyre, R. B., & Baskakov, I. V. 2009. "Photosynthetic microbial fuel cells with positive light response", *Biotechnology and Bioengineering*, 104(5), 939-46.