

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI: BIOSOLVER

**PROJE ADI: ALGAL SELÜLOZ TABANLI PEROVSKİT
GÜNEŞ PİLLERİNİN ÜRETİMİ**

BAŞVURU ID: 66975

İçindekiler

1. Proje Özeti	2
2. Problem/Sorun.....	3
3. Çözüm.....	4
4. Yöntem	5
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü	7
6. Uygulanabilirlik.....	7
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması.....	8
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar).....	8
9. Riskler	8
10. Kaynakça.....	10

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Fosil yakıtların, yakın gelecekte tükenebilme ihtimali ve çevreyi olumsuz etkilemeleri sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından potansiyeli en yüksek olan Güneş enerjisi için kullanılan fotovoltaik teknolojisi, bu sorunları çözmek için umut verici olarak gözükmektedir. Enerji ihtiyacının ucuz ve kolay üretilebilmesi konusunda yapılan araştırmalarda organik güneş hücreleri dikkatleri üzerine çekmeyi başarmış ve bu hücre tipleri üzerindeki çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Algler, hızlı büyümeleri, karasal bitkilere kıyasla kısa sürelerde yetiştirilebilir olmaları sebebiyle nanoselüloz üretimi için hammadde olarak oldukça uygun kaynaklardır. Ayrıca algler yüksek konsantrasyonda karbonhidrat depolar ve herhangi bir maliyetle gerekli olmayan ışık, karbondioksit ve inorganik besinlerin verimli kullanımı yoluyla kolayca büyüeyebilirler ve yetiştirilebilirler. Dahası Alg biyokütlesindeki doğal fizikokimyasal bariyerlerin düşük veya sıfır içeriği sayesinde selülozik olmayan yapının kaldırılması için ciddi kimyasal işleme ihtiyaç duymaz.

Fotovoltaik teknolojileri ekonomik olarak uygulanabilir ve yaşam döngüsü perspektifinden çevre dostu ve sonuç olarak ölçeklenebilir hale getirilmelidir. Selüloz nanomalzemeler, bol, yenilenebilir ve sürdürülebilir bitkilerden elde edilen yüksek değerli nanoparçacıklardır. Burada, optik olarak şeffaf selüloz nanokristal (CNC) substratlar üzerinde üretilen verimli polimer güneş pillerinde kullanılmıştır. CNC substratlarında üretilen güneş pilleri, karanlıkta iyi bir düzeltme gösterir ve %2,7'lik bir güç dönüştürme verimliliğine ulaşır. Bu güneş pillerinin oda sıcaklığında düşük enerjili işlemler kullanılarak kolayca ayrılabilmesini ve ana bileşenlerine geri dönüştürülebileceğini ve bu da gerçekten geri dönüştürülebilir bir güneş pili teknolojisinin önünü açmıştır. Şeffaf selüloz nanokristal (CNC) substratlar üzerinde verimli ve kolayca geri dönüştürülebilir organik güneş pillerinin sürdürülebilir, ölçeklenebilir ve çevre dostu enerji üretimi için çekici bir teknoloji olması bekleniyor.

Organik güneş pilleri, düşük maliyetli üretim, hafiflik ve iyi mekanik esneklik potansiyelleri nedeniyle ilgi çekmektedir. Son on yılda küçük alanda kullanılan organik güneş pillerinin güç dönüşüm verimliliği (PCE), %3,5 civarındaki değerlerden %18'e kadar yükselmiştir. Düşük PCE'leri ve kısa ömürleri olmasına rağmen, son maliyet analizi çalışmaları, organik güneş pillerinin, PCE'si %5 olan ve 5 yıllık ömrü olan modüller üretilebilirse diğer güneş pili

teknolojileriyle rekabet edebileceğini göstermektedir. Esnek organik güneş pillerinin gösterimi için polietilen tereftalat (PET) polietilen naftalat (PEN) veya polietersülfon (PES)1 kullanılmıştır. Bununla birlikte, yaşam döngüsü perspektifinden bakıldığında, bu petrol bazlı substratlar, kolayca geri dönüştürülebilir veya biyolojik olarak bozunabilir substratlardan daha pahalı ve çevresel olarak daha az çekicidir. Alg gibi yenilenebilir hammaddelerden düşük maliyetle elde edilebilen alt tabaka malzemeleri, sürdürülebilir bir güneş pili teknolojisinin gerçekleştirilmesi için özellikle çekicidir.

Kağıt, organik güneş pilleri için ilginç bir substrat olarak kabul edilir, çünkü ucuzdur, hafiftir, esnektir ve geri dönüştürülebilir. Çözelti ile işlenmiş polimer güneş pilleri son zamanlarda kağıt alt tabakaları üzerinde imal edilmiştir, ancak yüksek yüzey pürüzlülüğü ve kağıt alt tabakaların gözenekliliği nedeniyle sınırlı performans göstermiştir. Kalın (birkaç ila onlarca μm) düzlemselleştirme katmanlarının kullanılmasıyla bile, kağıt üzerindeki güneş pilleri, %0,4–1,4 aralığında maksimum PCE değerleri ile düşük performans göstermiştir. Selüloz nanomalzemeler (CN), endüstriyel boyuttaki miktarlara, iyi mekanik özelliklere, yüksek en boy oranına, düşük yoğunluğa, düşük termal genleşmeye, kimyasal olarak kolayca işlevselleştirilebilen yüzeylere, düşük toksisiteye sahip, doğal olarak yenilenebilir/sürdürülebilir ve üretilme potansiyeline sahip selüloz bazlı nanoparçacıklardır.

Bu projede, Algal Selüloz Tabanlı Perovskit Güneş Pillerinin Üretimi hedeflenmektedir. Perovskit güneş hücreleri (PSC), yüksek güç dönüştürme verimliliğine ve düşük işleme maliyetine sahiptir. Algal selüloz taban ise daha düşük maliyet, yüksek kristalite, termal stabilite, toksik olmama, biyobozunurluk ve kara bitkilerine göre daha kolay saflaştırma özelliği içerir. Bu bağlamda mevcut proje düşük maliyetli, sürdürülebilir, biyobozunur, esnek, yüksek kristalizasyona sahip, çevre dostu Algal Selüloz Tabanlı Perovskit Güneş Pili Üretimini hedeflemektedir.

Proje çalışmasının algal selüloz üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi konusunda uzman hocamız Prof. Dr. Didem Özçimen'den, algal selülozun perovskit pil üzerindeki etkinliğinin değerlendirilmesi konusunda uzman hocamız Prof. Dr. Serap Güneş hocamızdan danışmanlık almaktayız.

2. Problem/Sorun:

Günümüzde elektrik enerjisinin kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Ancak bu enerjinin sürdürülebilir formda ve doğaya zarar verilmenden kullanılması gerekmektedir. Fosil yakıt arzının azalması ve enerji talebinin artması, Dünya'yı gelecek nesiller için sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynak kullanımına zorlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından potansiyeli en yüksek olan ise Güneş enerjisidir. Geleneksel silikon bazlı güneş pilleri yerine organik güneş hücresi perovskitleri mükemmel güç verimliliği ve düşük maliyettedir. Bu yüzden projede organik güneş perovskit pilleri çalışılacaktır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, mevcut esnek PSC'ler doğada biyolojik olarak parçalanamayan petrol bazlı polimer substratları kullanmaktadır ve bunların atıkları "beyaz kirliliği" şiddetlendirir.

Kullanılan PSC'ler gözenekli ve düzlemsel yapıdadır. Fakat yüksek etkin alana sahip olan gözenekli yapıların üretim maliyetleri, organik moleküllerin kullanıldığı düzlemsel yapıdaki hücrelere göre çok daha yüksek olmaktadır.

PSC'lerin tabanlarında kullanılacak selülozun elde edildiği organik malzemelerin düşük mobiliteleri nedeniyle uygulamada sınırlı bir performansa sahip oldukları bilinmektedir.

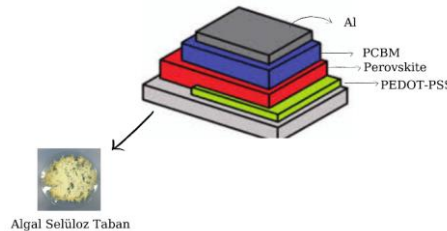
Literatürde PSC'lerin selüloz tabanları için, hücre duvarında lignin olan organik kaynaklarla çalışılmıştır. Lignin içeriği prosesin kimyasal işlem süresi ve maliyetini arttırmaktadır [4,5,6]. Mevcut PSC'lerden farklı olarak; içeriğinde lignin bulundurmayan ve bu sayede daha düşük maliyet ve proses süresi sağlayan, aynı zamanda git gide kirlenen yaşam alanımızda çevre dostu bir alternatifin kullanılması gerekmektedir.

3. Çözüm

Fosil yakıtların zamanla tükenmesi ve atıklarının çevrede birikmesine karşın; projede çalışılan organik bazlı PSC'ler ile sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji desteklenecek olup, insanlığın yaşam kalitesini artırıp temiz ve çevre dostu enerji eldesi sağlanacaktır. Ayrıca ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olduğundan dolayı yüksek alg potansiyeline sahiptir. Küresel ısınma ve artan çevre kirliliği sebepleriyle denizlerde çoğalan ve sahillerde ve deniz üstünde biriken alglerin katma değeri yüksek olan bir ürünün üretiminde kullanılacak olması özellikle içinde bulunduğumuz dönemde Marmara Denizinin yenilenebilir enerji türlerinden en önemlilerinden birisi olan güneş enerjisi kullanımında artışla, önerilen projeye enerjide dışa bağımlılığın azalmasına katkıda bulunup sektörde istihdamın artırılması sağlanacağı düşünülmektedir.

Literatürde lignin içeren organik madde kullanan PSC'lerden farklı olarak, ligninsiz alg selülozu kullanılacaktır. Bu sayede hem kimyasal işlem süresi azalacak hem de düşük maliyetli organik PSC'ler geliştirilecektir.

Silikon bazlı güneş pilleri, çevrede bozunmayan ve toksik olan atık birikimine neden olmaktadır. Projede kullanılan algal selülozun toksik özelliği yoktur. Algler atık kaynaklardan (baca gazı, atık su) besin alabilir ve büyük ölçekte yetiştirilebilirler. Algle büyürken havadaki karbondioksiti tutan, bunun yanında dünyanın oksijeninin yaklaşık %70 ini de üreterek, sera gazı etkisini azaltan, böylece küresel ısınmaya karşı bir çözüm olarak düşünülen yeni nesil hammadde kaynaklarıdır. Doğaya atık tüketimi ile yararlı olduğu gibi aynı zamanda biyobozunurlardır. Ayrıca projede ortaya çıkacağı öngörülen atıkları oluşturan NCP bazlı PSC'ler, alevle yakılarak atıldığında dahi substrattan yalnızca karbondioksit ve karbon materyaller üretilir, algler büyürken fotosentez esnasında karbondioksiti tuttukları için, net karbon salınımında sıfır olur. Bu sayede yanmış küller, gübre olarak doğal toprağa geri dönmüş olacaktır. Çalışmada daha önce çalışılmış olan ve kullanılan düşük mobilitelere sahip organik malzemelerin yerine, termal stabiliteye ve yüksek kristaliteye sahip olan algal nanoselüloz kullanılacaktır. Ayrıca selüloz taban sayesinde fotovoltaiik pillerde esnekliği artırma yönünde katkı sağlanabilecektir.

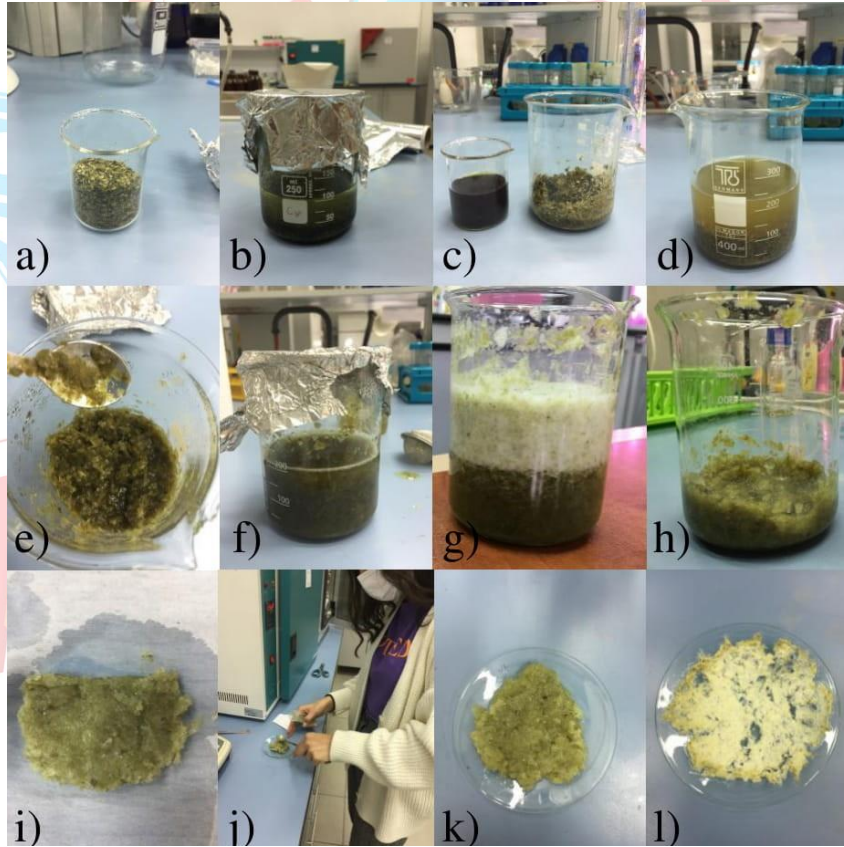


Resim 3.1 Algal Selüloz Tabanlı Perovskit Pil Tasarımı

4. Yöntem

Selüloz Ekstraksiyonu: 10g *Ulva lactuca* kurutulmuş biyokütle ilk önce 4 saat 120 mL etanol kullanılarak ultrasonik banyoda 80°C ekstraksiyon işlemi ile ön işleme tabi tutuldu (**Şekil 4.1.a,b,c**). Alkalizasyon işlemi için ekstrakte edilmiş numune 2 saat boyunca 80°C'de su banyosunda %2 NaOH çözeltisi ile muamele edilmiştir (**Şekil 4.1.d,e**). Daha sonra numunelerin ağartma işlemi 80°C'de 1.5 saat süreyle %30 H₂O₂ solüsyonu kullanılarak yapıldı (**Şekil 4.1.f,g**). Bu işlem ağartma gerçekleşene kadar iki kez tekrarlanmıştır (**Şekil 4.1.h**). Daha sonra örnek yıkayıp süzülüp etüvde 70°C'de 16 saat tutulup kurutulmuştur (**Şekil 4.1.i,j,k**) (Chen vd., 2016).

Nanoselüloz izolasyonu: Nanoselüloz lifinin hazırlanması şu şekilde gerçekleştirilmiştir: 1 g özütlenmiş selülozik malzeme, sürekli karıştırılarak bir reaksiyon şişesi içinde 100 mL ağırlıkça %64 sülfürik asit içinde dağıtılmıştır. Hidroliz reaksiyonu 45°C'de 45 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon tamamlandıktan sonra, fazla sülfürik asidi çıkarmak için süspansiyon santrifüjlenmiştir. Toplanan katı kalıntılar, nötr pH, yani 6-7 elde edilene kadar %1 NaOH solüsyonu ile işlendi (Chen vd., 2016).



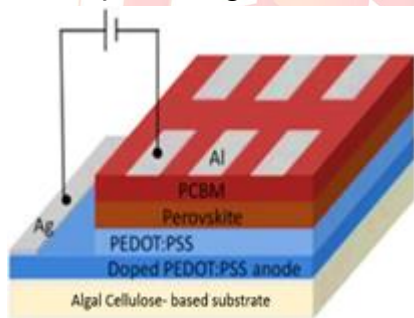
Şekil 4.1. a) 10 g kurutulmuş *Ulva lactuca* **b)** Ekstraksiyon işlemi için örneğe etanol eklenmiş çözelti **c)** Ekstraksiyon işlemi bittikten sonra solventin selülozik kısımdan ayrılması **d)** Örneğe %2'lik NaOH eklemesi işlemi **e)** Alkalizasyon işleminin sonunda yıkanmış örnek **f)** Örneğe %30'luk hidrojen peroksit muamelesi **g)** Örneğin ağartma işleminden sonraki hali **h)** Ağartma işleminden sonra selülozik kısmın ayrıştırılması **i,j,k)** Kurutma işleminden önce yıkanmış örnek **l)** 70°C 16 saat etüvde kurutulmuş algal selüloz örneği

Şeffaf Algal Selüloz Tabanın Hazırlanması ve Kaplanması:

Nanoselüloz çözeltisi, çubuk kaplama yöntemi ile bir cam plaka üzerine yayılır ve pıhtılaşma banyosuna batırılan cam plakadan kendiliğinden ayrılan bir hidrojel tabakası oluşturulur. Hidrojel, nihai şeffaf algal selüloz bazlı substratı oluşturmak için 48 saat boyunca oda sıcaklığında kuruması için bir PMMA substratı üzerine konulur. Algal selüloz bazlı substratı esnek PSC'lere alt tabaka olarak su geçirmez yapmak için, saf algal selüloz bazlı substratı bir akrilik reçine tabakası ile kaplanır. Algal selüloz tabanlı PSC'ler biyolojik olarak parçalanabilir ve kolayca atılabilirler. İlk olarak 25.00 g akrilik reçine parçacıkları, 100 mL DMF içinde çözülür. Algal selüloz bazlı substrat cam tabak içindeki akrilik reçinenin viskoz çözeltisine daldırılır. Daha sonra viskoz solüsyonlu algal selüloz bazlı substrat temiz bir cam tabağa konar ve üzerine cam çubuk sıkıca yerleştirilir. Daha sonra akrilik reçine çözeltisi ile kaplanmış algal selüloz bazlı substrat oluşturmak için 30 dakika boyunca 90 ° C'de kürlenir. Algal selüloz bazlı substrat, önce sırayla deiyonize su, etanol ve izopropanol ile temizlenir (Gao vd., 2019).

Karakterizasyon işlemleri: Algal selüloz bazlı substrat ve PEDOT: PSS anodunun RMS yüzey pürüzlülüğü atomik kuvvet mikroskobu ile ölçülür. Algal selüloz ve algal selüloz bazlı substratın yüzey morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu ile karakterize edilir. Algal selüloz, algal selüloz bazlı substrat ve saf akrilik reçine film üzerindeki 2 µL su damlacıklarının temas açıları, temas açısı aparatıyla ölçülür. Algal selüloz, algal selüloz bazlı substrat ve saf akrilik reçine filminin şeffaflığı UV – Vis spektrofotometre ile değerlendirilir. PEDOT: PSS anodunun tabaka direnci, dört noktalı bir prob cihazı ile ölçülür. Algal selüloz ve algal selüloz tabanlı substrat X-ışını kırınım cihazı ile ölçülür.

Perovskit Güneş Hücresi Üretimi: Düzlemsel yapıdaki heteroeklem hibrit perovskit güneş hücreleri algal selüloz bazlı substrat cam üzerinde PEDOT:PSS/MAPbI₃/PCBM ince filmlerin üst üste kaplanması ile üretilmişlerdir. PIN yapısındaki bu hücrelerde katot elektrodu olarak 100 nm Ag kullanılmıştır. Algal selüloz (AC) bazlı substrat 1.3 cm x 1.3 cm kare tabakalar halinde kesildi ve yapışkan bant ile cam substrata tutturuldu. AC bazlı substrat, farklı PH özellikli (PH500, PH1000, AL4083 vb) PEDOT:PSS çözeltisi kullanılarak, 4000 rpm'de 40 saniyede dinamik dönü kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. PEDOT:PSS kaplı camlar 10 dk boyunca 140°C'de sıcak hotplate üzerine yerleştirilerek laboratuvar (hava) ortamında tavlama işlemi yapılmıştır. 159 g/mol Metilamonyumiyodür (CH₃NH₃I, MAI), 461 g/mol PbI₂ 1000 µl



gamabutirlakton (GBL) içerişimde 1.4:1.4 oranında olacak şekilde karıştırılır. PVDF filtre tardımla süzülür. İnce film haline getirilirken 4500 rpm'de 20 s dönü kaplama yöntemiyle kaplanır. Döndürme işlemi başladığında 60 mikrolitre toluen çözücüsü ile yıkama işlemi yapılır. 100 0C'de 20 dk tavlama işlemi yapılır. Kaplama işlemi önceden 50-70 0C'de ısıtılmış camlar üzerine yapılır.

Şekil 4.2. Algal Selüloz Tabanlı Perovskit Güneş Hücresi Prototipi

Algal Selülozun Perovskit Yüzeyinde Koruyucu Tabaka Olarak Kullanılması ve Kararlılığa Etkilerinin İncelenmesi:

PEDOT:PSS ve perovskit tabakaları yukarıda belirtildiği gibi kaplandıktan sonra algal selüloz tolüen çözücüsü içerisinde çözünerek dönel kaplama yöntemiyle kaplanacaktır. 20 mg PCBM 1 ml klorobenzen içerisinde çözülerek 1000 rpm’de dönel kaplama yöntemiyle kaplanacaktır. 100 nm Aluminyum (Al) veya gümüş (Ag) termal buharlaştırma yöntemiyle kaplanır.

Perovskit Güneş Pillerinin Karakterizasyonu:

Perovskit güneş pilleri, akım-gerilim karakteristikleri glove box içerisinde 1000 W/m² ve AM 1.5 koşulları için Oriol marka silikon kalibrasyon diyoduyla kalibre edilmiş ABET marka solar simülator ile karakterize edilecektir. Dolgu faktörü (FF), (1) formülü kullanılarak hesaplanacaktır.

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (1)$$

$$\eta_{AM1.5}(\%) = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100 = \frac{FF \times V_{oc} \times J_{sc}}{P_{in}} \times 100 \quad (2)$$

$$HF = \frac{PCE_{Forward} - PCE_{Reverse}}{PCE_{Forward}} \quad (3)$$

Güç dönüşüm verimi (2) numaralı formülle hesaplanacak ve histeresiz faktörü ise (3) numaralı formülle hesaplanacaktır. Kararlılık testleri ise enkapsüle edilmiş ve edilmemiş perovskit güneş pilleri için glovebox içerisinde ve dışarısında muhafaza edilerek, haftalık aralıklarla akım-gerilim karakteristikleri ölçülerek ve verim değerleri kaydedilerek yapılacaktır. Böylece zamana bağlı olarak Jsc, Voc, FF ve verim değerlerinin nasıl değiştiği belirlenmiş olacaktır.

Dış Kuantum Verimi (EQE) Belirlenmesi:

Monokromatik ışık altında güneş pillerinin veriminin dalga boyuna bağlı olarak incelenmesi amacıyla Newport marka cihaz yardımıyla hazırlanan perovskit güneş pillerinin dış kuantum verimleri belirlenecektir.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Düşük maliyetli ve yüksek verimli güneş hücrelerinin üretimi literatürde ilgi çekmektedir. Kullanılacak algal nanoselüloz, literatürde çalışılan organik malzemelerden farklı olarak yüksek kristallik ve termal stabilite özelliklerine sahiptir. Bu faydaları ile literatürde daha önce çalışılmış ancak düşük mobilite değeri olan organik bitkisel malzemelere alternatif olacaktır. Ayrıca yenilikçi yön olarak; literatürde kullanılan selüloz bitkisel kaynaklıyken, projemizde algal selüloz tabanı kullanılacaktır. Algal nanoselüloz, lignin içermemekte ve toksik değildir. Bu özellikleri ile esnek PSC üretiminde sürdürülebilir işletim maliyetini azaltan materyal olarak avantajdır ve literatüre katkıda bulunacaktır.

6. Uygulanabilirlik

Genellikle, ana ticari agar üretimi ve gıda endüstrisi olarak alg biyokütlesinin kullanılması, şu anda değerli olmayan ve normalde agar kısmı çıkarıldıktan sonra çevreye boşaltılan büyük miktarda katı kalıntıya yol açacaktır. **Aslında, bu katı atık potansiyel olarak tamamen nanoselüloz çıkarmak için kullanılabilir**, çünkü yüksek miktarda selüloz içerir. Bu nedenle, bu biyokütlenin bolluğu ve kolay erişilebilirliği sayesinde alg biyokütlesi nanoselüloz eldesi

için umut verici yeni bir aday gibi görünmektedir. Algal Selüloz Tabanlı Perovskit Pillerinin, en önemli organik güneş pillerinden biri haline gelmesi öngörülmektedir. Binalarda, araçlarda vb. cam, pencere yerine yarı şeffaf ve esnek pervoskitlerin kullanılması; yüksek stabiliteleri sayesinde, giyilebilir teknoloji veya taşınabilir tüketici elektroniği ürünleri; güneş enerjili araçlar, insansız uçaklar ve tarımda; su arıtma ve sulama için doğrudan uygulamaya sahip olacaktır. Ek olarak; araçlara güç sağlamak için; alan ısıtma ve pişirme gibi evsel amaçlar için de kullanılabilir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Yürütülecek projede kullanılacak malzemelerin birim fiyatları verilmiştir. Buradan elde edilmek istenen enerji miktarına göre scale-up yapılması gerekir.

Malzeme/Hammadde	Tahmini fiyat (TL)	Kullanılacağı aşama
Hidrojen peroksit (%30) (1 L)	75 TL	Selüloz ekstraksiyonu
NaOH (1 L)	65 TL	Selüloz ekstraksiyonu
Etil alkol (1 L)	110 TL	Selüloz ekstraksiyonu
İzopropanol (1 L)	30 TL	Şeffaf Algal Selüloz Tabanın ve Kaplanması
DMF çözücü (1 L)	100 TL	Şeffaf Algal Selüloz Tabanın ve Kaplanması
Akrilik reçine (10 kg)	200 TL	Şeffaf Algal Selüloz Tabanın ve Kaplanması
Sülfürik asit (%98) (1 L)	35 TL	Nanoselüloz izolasyonu
Perovskit güneş hücresi	12.65 (Adet)/TLx10 adet	PSC üretimi
Karakterizasyon Testleri - Hizmet alımı	1500 TL	PSC karakterizasyonları
Toplam	2241,15 TL	

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Güneş pilleri günümüzde birçok alanın aydınlatılmasında, trafik ışıklarında, çeşitli mekanların elektrik ihtiyacının karşılanmasında, elektronik cihazların enerji ihtiyacının karşılanmasında, billboard reklam panolarındaki aydınlatmalarda, güneş enerjisi ile çalışan araçlarda, cam ve pencerelerde, tarımda su arıtma ve sulama için doğrudan kullanılmaktadır. Proje sonunda üretilmesi hedeflenen algal selüloz tabanlı esnek perovskit güneş pilleri bu alanlarda güvenilir bir kullanım sağlayacaktır. Proje ürününün esnek ve şeffaf özellikleri nedeniyle de diğer güneş pillerinden farklı olarak daha yaygın bir kullanıma sahip olacağı düşünülmektedir.

9. Riskler

No	Olasılık	Etki Matrisi
1	Malzeme siparişi ve tedariki süreci	Covid-19 süreci nedeniyle laboratuvar, araç, ekipman kimyasal malzemelerin tedariginde lojistik sorunların yaşanması ilk risktir. B planı olarak ise; malzeme siparişi ve tedariki sürecinde yaşanabilecek tedarik aksamalarını önlemek adına yurt dışından tedarik edilecek ürünlerin yurt içinde tedariki için araştırmalar yapılması tasarlanmıştır.
2	Algal biyokütleden selüloz ekstraksiyonu	Algal biyokütleden selüloz ekstraksiyonu sonucu elde edilen selülozun yeterli saflığa sahip olmaması bir diğer risktir. B planı olarak ise literatür tarama sürecinde birden çok algal selüloz ekstraksiyon metodu bularak en verimli olan prosedürün uygulanması hedeflenmektedir.
3	Perovskit Güneş Hücrelerinin Yapımı	Toz halindeki algal selüloz toz malzemenin esnek bir altlık üzerine aktarılamaması bir risktir. Bu durumda, B planı olarak algal selüloz DMF çözücüsü içerisinde çözünerek jel kıvamında plastik bir altlık üzerine damlatma yöntemiyle kaplanarak kaplanacak ve altlık istenilen boyutlarda kesilerek üzerinde perovskit güneş pilleri hazırlanacaktır.

No	İş Paketi	Açıklaması
1	Algal Selüloz Eldesi	Projeyle ilgili gerekli bilgilerin ve verilerin toplanması ve derlenmesi hedeflenmektedir. Üç süreçten oluşmaktadır: <i>Gelidium elegans</i> biyokütlesi bir yosun kültürü laboratuvarından toplanması, <i>Gelidium elegans</i> biyokütlesinin kurutulması, kurutulmuş liflerin toz haline getirilmesi.
2	Şeffaf Nanoselüloz Substratının Hazırlanması	PSC Yapımında Kullanılacak Alt Tabaka için Algal Nanoselüloz Eldesini kapsar. Şeffaf NCP'nin hazırlanması ve kaplanması bu aşamada gerçekleştirilecektir.
3	Perovskit Güneş Hücrelerinin Yapımı	Algal nanoselüloz tabanlı perovskit güneş hücrelerinin yapımı iki aşamadan oluşmaktadır: Deneysel için gerekli çözeltilerin hazırlanması ve perovskit güneş hücresi katmanlarının kaplamalarının spin kaplama cihazıyla oluşturulması. Perovskit güneş hücrelerinin yöntem kısmında verilen detaylarla hazırlanarak, karakterize edilmesi hedeflenmektedir.
4	Analizler ve Verilerin Değerlendirilmesi	Yapılan deneyler sonucunda karakterizasyonların kontrolünü içermektedir. Bu aşamada yedi farklı ölçüm gerçekleştirilecektir.
5	Yayınlara Hazırlanması	Algal nanoselüloz tabanlı perovskit güneş hücrelerinin yapımını içermektedir. Deneylerin sonucunda elde edilen verilerin düzenlenmesi ve deney sonuçlarının yayına dönüştürülmesi bu aşamada yapılacaktır.

No	İş Paketi Adı	AYLAR											
		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	Algal Selüloz Eldesi		X	X	X								
2	Şeffaf Nanoselüloz Kağıdının Hazırlanması				X	X	X	X					
3	PSC Yapımı						X	X	X	X	X	X	X
4	ANOVA programı ile Analizler ve Verilerin Değerlendirilmesi							X	X	X	X	X	X

10. Kaynakça

- Chen, Y. W., Lee, H. V., Juan, J. C., & Phang, S. M. (2016). Production of new cellulose nanomaterial from red algae marine biomass *Gelidium elegans*. *Carbohydrate polymers*, 151, 1210-1219.
- El Achaby, M., Kassab, Z., Aboulkas, A., Gaillard, C., & Barakat, A. (2018). Reuse of red algae waste for the production of cellulose nanocrystals and its application in polymer nanocomposites. *International journal of biological macromolecules*, 106, 681-691.
- Fang, Z., Hou, G., Chen, C., & Hu, L. (2019). Nanocellulose-based films and their emerging applications. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 23(4), 100764.
- Gao, L., Chao, L., Hou, M., Liang, J., Chen, Y., Yu, H. D., & Huang, W. (2019). Flexible, transparent nanocellulose paper-based perovskite solar cells. *npj Flexible Electronics*, 3(1), 1-8.
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. B. M. A., & Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284-297.
- Kara, K., (2018). Yeni Nesil Perovskit Güneş Hücrelerinde İskelet Yapıların Desenlenmesi
- Méhes, G., Vagin, M., Mulla, M. Y., Granberg, H., Che, C., Beni, V., ... & Simon, D. T. (2020). Solar Heat-Enhanced Energy Conversion in Devices Based on Photosynthetic Membranes and PEDOT: PSS-Nanocellulose Electrodes. *Advanced Sustainable Systems*, 4(1), 1900100
- Subtil Lacerda, J. & Bergh, J. C. J. M. (2016). Diversity in solar photovoltaic energy: Implications for innovation and policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 331-340.
- Tarchoun, A. F., Trache, D., & Klapötke, T. M. (2019). Microcrystalline cellulose from *Posidonia oceanica* brown algae: Extraction and characterization. *International journal of biological macromolecules*, 138, 837-845.
- Wang, X., Yao, C., Wang, F. & Li, Z. (2017). Cellulose-based nanomaterials for energy applications. *Small*, 13(42), 1702240.
- Zhou, Y., Fuentes-Hernandez, C., Khan, T. M., Liu, J. C., Hsu, J., Shim, J. W. & Kippelen, B. (2013). Recyclable organic solar cells on cellulose nanocrystal substrates. *Scientific reports*, 3(1), 1-5.