

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK ARAYÜZEYLİ FOTODİYOT VERİMLİLİĞİ,
STACHYS LAVANDULİFOLIA BİTKİSİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Selami ÖZER**

FİZİK ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. İkrām ORAK

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Ömer SEVGİLİ

BİNGÖL-2024

**ORGANİK ARAYÜZEYLİ FOTODİYOT VERİMLİLİĞİ, STACHYS
LAVANDULİFOLIA BİTKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ**

Doç. Dr. İkrâm ORAK danışmanlığında, Selami ÖZER tarafından hazırlanan bu çalışma 16/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Doç. Dr. Fikriye Şeyma KAYA	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Hüseyin TECİMER	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Ömer SEVGİLİ	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. Nezir YILDIRIM	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. İkrâm ORAK	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli danışmanlarım Doç. Dr. İkrım ORAK ve Doç. Dr. Ömer SEVGİLİ'ye teşekkür ederim. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

Tez izleme sınavlarım esnasında yaptıkları yönlendirmeler ve katkılarından dolayı değerli hocalarım Doç. Dr. Kadir EJDERHA'ya, Prof. Dr. Nezir YILDIRIM'a ve Prof. Dr. İskender DEMİRKOL'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar esnasında yardımlarını gördüğüm Yüksek lisans öğrencisi Evin YİĞİT'e teşekkür ederim.

Selami ÖZER
BİNGÖL
2024

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
 1. GİRİŞ.....	 1
 2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	 4
2.1. Güneş Pilleri	8
2.2. Yarı iletken Malzemeler	10
2.2.1. n Tipi Yarıiletken	11
2.2.2. p Tipi Yarıiletken.....	12
2.3. Foto Diyotlar.....	13
2.3.1. Foto Diyot Çeşitleri.....	14
2.3.2. Foto Diyotların Akım-Voltaj Karakteristiği.....	15
2.4. Güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi işlemi.....	17
2.5. Güneş Panelleri Karakteristiği.....	19
2.5.1. Kristal Yapılı Silisyum Güneş Pilleri.....	20
2.5.2. İnce film tabakalı güneş pilleri	21
2.5.3. Organik güneş pilleri ve boya duyarlı güneş pilleri.....	22
2.6. Lavandulifolia Bitkisi.....	22
 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	 21
3.1. p-Si Temizleme işlemi.....	21
3.2. Numunenin hazırlanması.....	24
3.3. Arayüzey Kaplanması.....	25
3.4. Doğrultucu Kontak	26
3.5. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).....	20
3.6. UV Görünür Bölge Spektroskopisi	27
3.7. Deney ve ölçüm sistemi	27

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Atomik Kuvvet Mikroskop Sonuçları.....	31
4.2. UV Görünür Bölge Spektrum Sonuçları	31
4.3. Işığa Bağlı Akım-Gerilim Elektriksel Karakterizasyon Sonuçları	32
4.4. Frekansa Bağlı Elektriksel Karakterizasyon Sonuçları	34
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Diyotun kontak alanı
A^*	: Richardson sabiti
e^-	: Elektron yükü
eV	: Elektron volt
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu (eV)

Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu (eV)
Φ_b	: Engel yüksekliği (eV)
k	: Boltzman sabiti
I	: Akım (A)
J	: Akım yoğunluğu (A/cm ²)
J_0	: Ters beslem akım yoğunluğu (A/cm ²)
E_c	: İletim bandı minimum enerji seviyesi (eV)
E_v	: Valans bandı maksimum enerji seviyesi (eV)
E_F	: Fermi enerjisi (eV)
E_g	: Yasak enerji aralığı (eV)
E_s	: Yarıiletkenin dolu bandının vakum seviyesi altındaki derinliği
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
I_0	: Ters doyma akımı (A)
n	: İdealite faktörü
K	: Kelvin
P	: Güç (Watt)
FF	: Dolum faktörü (%)
V_d	: Difüzyon potansiyeli
MOY	: Metal/Organik/yarıiletken
MS/MY	: Metal/yarıiletken
TE	: Termiyonik emisyon
OPV	: Organik Fotovoltaikler

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritası.....	9
Şekil 2.2.	a) Yalıtkan, b) Yarıiletken, c) İletken enerji diyagramı	11
Şekil 2.3.	a) As katkılı Si kristali, b) n-tipi yarıiletkenlerin band yapısı.....	11
Şekil 2.4.	a) Ga katkılı silisyum kristali, b) p-tipi yarıiletkenlerin band yapısı	12
Şekil 2.5.	p-n eklem diyot	13
Şekil 2.6.	Schottky fotodiyot yapısı.....	14
Şekil 2.7.	p-i-n diyot yapısı	18
Şekil 2.8.	Diyot ve güneş piline ait (a) yarı-logaritmik I-V grafiği, (b) Lineer I-V grafiği Foto diyotun akım-voltaj karakteristikleri.....	19
Şekil 2.9.	Stachys Lavandulifolia Bitkisi (plant select).....	22
Şekil 3.1.	Wiseclean ultrasonik cihaz.....	23
Şekil 3.2.	Vacuum spin coater cihazı.....	24
Şekil 3.3.	a-) Termal buhalaştırma cihazı (nanovak NVTs-400), b-) 1mm nokta kontak maske, c-) Lavandulifolia arayüzeyli diyot şeması.....	23
Şekil 3.4.	Atomik Kuvvet Mikroskobu.....	20
Şekil 3.5.	UV Görünür bölge vipectrum cihazı.....	24
Şekil 3.6.	(a) Frekansa bağlı C-V analiz cihazı 4192A model YHP (b) Akım-Gerilim analiz solar simülatörü.....	25
Şekil 4.1.	Atomik Kuvvet Mikroskop Sonuçları.....	25
Şekil 4.2.	Stachys lavandulifolia bitkisinin A) UV-görünür bölge spektrumu ve B) yasak enerji bant aralığı.....	25
Şekil 4.3.	(A) Stachys lavandulifolia yüzeyli doğrultucunun yapısının karanlık ve 30-100 mW/cm ² ışık şiddeti altında Akım-Gerilim grafiği, (B) logI-logP grafiği	27
Şekil 4.4.	Stachys lavandulifolia arayüzeyli doğrultucu yapısının (-,+3) volt ve (5-5000) kHz frekans aralığında elde edilen (A) düşük-yüksek C-V grafikleri, (B) düşük-yüksek G/w-V grafikleri	28

Şekil 4.5. Stachys lavandulifolia arayüzeyli doğrultucu yapısının (-2,+3) volt ve (5-5000) kHz frekans aralığında elde edilen (A) C^{-2} -V grafiği, (B) düşük- yüksek frekans R_i -V grafiği, (C) R_s -ln(f) grafiği, (D) 5 kHz’de N_{ss} -V grafiği.....

29



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Türkiye İstatistikleri	36
Tablo 4.1.	Stachys lavandulifolia arayüzeyli doğrultucu yapısının oda sıcaklığında (300 K) hesaplanan engel yüksekliği ve idealite faktörü, seri direnç, şönt direnç ve doğrultma oranı değerleri.....	37
Tablo 4.2.	(Ph-PDI-Ph)' ın TD-DFT methoduyla hesaplanmış absorpsiyon verileri 30-100 mW/cm ² ışık şiddeti altında lnI-V grafiğinden elde edilen I _{sc} , V _{oc} , I _{max} , V _{max} , Doluluk oranı (FF) ve Güneş enerji verimi (η) değerleri.....	40
Tablo 4.3.	Stachys Lavandulifolia arayüzeyli doğrultucu yapısı için çeşitli frekanslar ile hesaplanan V _D , N _D , E _F , W _D , ΦB _(C-V) ve R _s değerleri.....	41

ORGANİK ARAYÜZEYLİ FOTODİYOT VERİMLİLİĞİ, STACHYS LAVANDULIFOLIA BİTKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada yaygın olarak pembe pamuklu kuzukulağı olarak adlandırılan *Stachys lavandulifolia* bitkisinin özünden elde edilen solisyonun arayüzeyde kullanılması ile bir fotodiyotun fabrikasyonu gerçekleştirildi. Yapılan bu aygıtın arayüzey organik malzemenin optik özellikleri 180-900 nm dalga boyu aralığında alınan U-V ölçümleri ile absorbans pik değeri 330-340 nm dalga boyunda ve yasak enerji aralığı 3,2 eV olarak hesaplandı. Döndürme metodu ile p-Si parlak yüzeyine 60 s 1400 rpm’de ince film şeklinde kaplandı. Yüzey pürüzlülüğüne atomik kuvvet mikroskobu ile bakıldı. Elde edilen aygıtın fotovoltaiik performansını anlayabilmek için karanlık ve güneş simülatörü ile 30-100 mW/cm² arasında farklı ışık şiddetleri altında elde edilen akım-gerilim (I-V) karakteristiğinden engel yüksekliği, idealite faktörü, seri direnç, şönt direnç ve doğrultma oranı parametreleri hesaplandı. Karanlıkta diyotun idealite faktörü 1,43 olarak ideallığe en yakın değeri olarak elde edildi. Farklı bir değeri hesaplama ise 30-100 mW/cm² ışık şiddeti altında akım-gerilim ölçümlerinden elde edilen kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre gerilimi (V_{oc}), maksimum akım (I_{max}), maksimum gerilim (V_{max}), dolun faktörü (FF) ve güneş enerji verimi (η) değeri verilmıştır. Organik arayüzeye sahip sadece bir fiziksel parametrenin değeri ile değeri aynı zamanda farklı bir fiziksel uyarı olan frekans ilgili diyot karakteristiğeri de incelenmiştir. Frekansa bağıli diyot parametrelerini incelemek üzere 5-5000 kHz aralığında iletkenlik, kapasite, seri direnç diyot parametreleri incelendi.

Anahtar Kelimeler: stachys lavandulifolia, fotodiyot, arayüzey.

ORGANIC SOLAR CELL EFFICIENCY, EVALUATION AND DATA ANALYSIS OF STACHYS LAVANDULIFOLIA PLANT

ABSTRACT

In this study, a photodiode was fabricated by using the solution obtained from the extract of the *Stachys lavandulifolia* plant, commonly called pink cotton lamb's ear, at the interface. The optical properties of the interfacial organic material of this device were determined by U-V measurements taken in the 180-900 nm wavelength range, and the absorbance peak value was calculated at 330-340 nm wavelength and the forbidden energy range was calculated as 3.2 eV. Using the spin coating method, p-Si was coated on its shiny surface as a thin film in 60 seconds at 1400 rpm. Surface roughness was examined using an atomic force microscope. In order to understand the photovoltaic performance of the obtained devices, barrier height, ideality factor, series resistance, shunt resistance and rectification ratio parameters were calculated from the current-voltage (I-V) characteristic obtained under different light intensities between 30-100 mW/cm² with the dark and sun simulator. The ideality factor of the diode in the dark was obtained as 1.43 which is the closest value to ideality. Another different calculation is the short circuit current (I_{sc}), open circuit voltage (V_{oc}), maximum current (I_{max}), maximum voltage (V_{max}), filling factor (FF) and solar energy efficiency (η) values obtained from current-voltage measurements under 30-100 mW/cm² light intensity. The frequency-related diode characteristic with the organic interface was investigated not only by changing a physical parameter but also by a different physical stimulus. To examine the frequency-dependent diode parameters, capacity, conductivity and series resistance diode parameters were examined in the range from 5 to 5000 kHz.

Keyword: *Stachys lavandulifolia*, Photodiode, Interface

1. GİRİŞ

Enerji, hayat için vazgeçilmez bir kaynaktır. Enerji olmadan ne insan yaşayabilir, ne makineler, ne de cihazlar çalışabilir. Çağımızda elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmaktadır. Bu enerjiyi karşılayabilmek için nükleer enerji, hidroelektrik enerji ve fosil yakıtlar çokça kullanılmaktadır. Enerjiye bu kadar ihtiyacımız varken tükenmekte olan ve çevreye zararı olan fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynakları öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş en önemlilerinden biridir. Güneş hem ekonomik olması hem de çevreye zararı olmaması bakımından diğer enerji kaynaklarından ayrılır. Ülkemiz güneşlenme oranı olarak bir çok ülkeden avantajlı durumdadır. Güneş enerjisini, elektrik enerjisine dönüştürmek için güneş hücreleri kullanılmaktadır. Güneş hücreleri veya güneş pilleri aşağıdaki gibi gruplandırılabilir;

1. Nesil güneş pilleri; Monokristal, Polikristal, Heteroeklem
2. Nesil güneş pilleri; Amorf İnce Film Silisyum, Bakır İndiyum Galyum Selenoid, Kadmiyum Tellür
3. Nesil güneş pilleri; Organik güneş pilleri, Perovskit güneş pilleri, Boya ile duyarlaştırılmış güneş pilleri

Üçüncü nesil olan organik güneş pilleri 1. nesil inorganik güneş pillerinden verim olarak düşük olmalarına rağmen hazırlanmasının kolay olması, esnek olması, geniş yüzeylere kaplanabilmesi üzerinde yapılan çalışmaların hız kazanmasını sağlamıştır. Gün geçtikçe organik güneş pillerinin verimliliğinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Hem doğa dostu olması hem de maliyetinin uygun olması organik güneş pillerine yönelimlerde önemli etkenlerden olmuştur. İnorganik güneş pillerinin yüksek maliyetli olmaları yeni nesil güneş pilleri olan organik güneş pillerine yönelimi artırmıştır. Organik güneş pilleri maliyeti az olan malzeme kullanılması ve üretim sürecinin kolay olması bakımından avantajlara sahiptir (Çaldıran, 2017). Bu çalışmada doğada birçok hava koşuluna dayanabilen (sıcaklık, basınç, vb.) ülkemizde çokça bulunabilen bir bitki olan STACHYS LAVANDULİFOLIA'nın optiksel analizleri ve arayüzeyde bu bitki kullanılarak cihaz uygulamaları yapılacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Gelecekteki kuşaklara daha yaşanılabilir bir ortam bırakmanın temelinde sürdürülebilir teknolojilerin kullanılması yatmaktadır. Artan dünya nüfusu ve endüstriyel gelişmeler neticesinde insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı oldukça artmaktadır. Gün içerisindeki yaşantıdan tutupta bütün sanayi faaliyetlerine kadar enerji gerekli ve önemli bir ihtiyaçtır. Özellikle son yıllarda artan sanayileşme ile birlikte petrol, doğal gaz ve kömür vb. fosil yakıtlar yaşantının hammaddesi halini almıştır. Fakat kullanılan bu yakıtlar CO₂ ve SO₂ gibi zehirli gazların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu da hava ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ek olarak kullanılan bu fosil yakıtların tükenmesi sorunu insanoğlunu alternatif enerji kaynakları arayışına itmiştir. Bu arayış daha çok temiz, yenilebilir ve tükenmeyecek alternatif kaynaklar olmuştur. Bu kaynaklar genellikle; güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle enerjisi gibi alternatif enerji kaynakları olmuştur. Sözü edilen bu enerji kaynakları arasında, ülkemizin konumu itibarı ile de olsa erişilebilirlik ve kaynak açısından ön plana çıkan alternatif enerji kaynağı güneş enerjisidir. Fakat ülkemizde sanayi sektöründe kullanılan toplam enerji ihtiyacının yaklaşık olarak %0,1'lik kısmının karşılanmasında alternatif enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır.

Optoelektronik ve elektronik cihazların üretiminde istenilen performansı elde etmek amacıyla çeşitli parametrelerin iyileştirilmesi amacıyla inorganik ve organik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahmad, 2009) (Shah, 2010).

Metal-yarı iletken (MS) kontak, elektronik endüstrisinde en yaygın kullanılan doğrultucu kontaklardan biridir. Si yüzeyindeki ince SiO₂ tabakası nedeniyle Si yarı iletken, elektrik ve elektronik cihaz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Fotodiyotlar ve fotodedektörler gibi fotoğraf tabanlı cihazlar optoelektronik cihaz teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Jia, 2021). Bu cihazlar güneş enerjisine dayalı temiz enerji kaynaklarının temelini oluşturması nedeniyle yenilenebilir enerji sektöründe oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu cihazların iki temel ortak özelliği bulunmaktadır. Birincisi bu cihazların ışığa tepki vermesi, diğeri ise metal (M) ve yarı iletken (S) tabanlı cihazlarda anot ve katot arasında bir arayüz katmanına sahip olmasıdır. Son yıllarda ara yüz katmanında organik malzemelerin kullanımı dikkat çekmektedir (Orak, 2017).

Geçmişten günümüze hızla artan enerji ihtiyacı insanoğlunu yeni arayışlara itmiştir. Bu arayış hem her zaman var olan hem de tükenmez bir enerji kaynağının bulunmasına yol açmıştır. Güneş ışınları kullanılarak üretilen cihazlar enerji ihtiyacına çözüm olmuştur. Esnek ve yarı şeffaf organik güneş pilleri (OSC'ler), giyilebilir enerji kaynaklarında ve binaya entegre fotovoltaiklerde uygulanması için en umut verici fotovoltaik cihazlar olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle esnek ve yarı saydam OSC'ler, yeni esnek alt veya üst şeffaf elektrotların geliştirilmesi, yüksek performanslı fotoaktif katman ve düşük sıcaklıkta işlenmiş elektrot tampon katmanı malzemelerinin tasarlanması ve sentezlenmesi ve cihaz mimarisi mühendisliği konusundaki sinerjik çabalar sayesinde son yıllarda hızla gelişti. Bugüne kadar en yüksek güç dönüşüm verimliliği, esnek OSC'lerde %10'un üzerine ve yarı şeffaf OSC'lerde ortalama %37'lik görünür geçirgenlik ile %7,7'ye ulaştı. Burada, esnek ve yarı şeffaf OSC'lerin ilgili malzemeleri ve cihazları hakkındaki son araştırma ilerlemelerine ve perspektiflere kapsamlı bir genel bakış sunulmaktadır (Li, 2017).

Organik bazlı yarı iletkenler, organik ışık yayan cihazlar (OLED'ler) ve organik fotovoltaik cihazlar (OPV'ler) gibi çok katmanlı organik optoelektronik cihazların çalışmasının ve performansının kontrol edilmesinde önemli bir rol oynar (Shi, 2023). Organik güneş pillerinde, elektron-verici (D) ve elektron-alıcı (A) malzemeleri arasındaki arayüzde oluşan yük-transfer (CT) elektronik durumları, eksiton-ayırışma ve yük-ayırışmada çok önemli bir role sahiptir. D-A toplu heteroeklemlerden oluşan aktif katmanların tanıtılmasından bu yana, CT durumları kapsamlı deneysel ve teorik çalışmaların odak noktası olmuştur. (Bredas, 2019).

Organik optoelektronik malzemelerin doğal avantajları, organik fotovoltaikler (OPV'ler) ve organik fotodiyotlar (OPD'ler) dahil olmak üzere hafif hasat sistemlerine düşük maliyetli üretim, hafiflik, esneklik ve geniş alanlı imalata uygulanabilirlik gibi birçok avantaj sağlar. Onları inorganik muadilleriyle gelecek vaat eden rakipler haline getiriyor. Bunlar arasında yakın kızılötesi (NIR) organik optoelektronik malzemeler özel bir yere sahiptir ve hem akademide hem de endüstride kapsamlı araştırmaların konusu haline gelmiştir. NIR malzemelerinin OPV'lere dahil edilmesi, absorpsiyon spektrum aralığını genişletir, böylece cihazların foton toplama kabiliyetini artırır; bu sayede, tek eklemli veya tandem mimarili yarı şeffaf güneş pillerinin yapımında yaygın olarak kullanılırlar. NIR fotodiyotları, akıllı elektronik cihazların uzaktan kontrolü, kimyasal/biyolojik algılama, çevresel izleme, optik iletişim vb. gibi endüstriyel, askeri ve bilimsel uygulamalarda

muazzam bir potansiyele sahiptir. Bu pratik ve potansiyel uygulamalar, NIR fotoelektrik malzemelerin gelişimini teşvik etmiş ve bu da ışık toplama sistemlerinde yeniliğe ivme kazandırmıştır (Huang, 2019).

Bunlardan bir tanesi Bayındır ve arkadaşlarının yaptığı asit yapılı simetrik ve asimetrik aNDI'lerin sentezi için literatürde bahsedilen yöntemler etkili dokunuşlarla geliştirilmiştir. Sentezin ardından aNDI'lerin tüm elektronik parametreleri DFT aracılığıyla teorik olarak hesaplanmış. Ayrıca cihazın foto tepkileri, cihazın farklı aydınlatma koşulları altında hızlı bir organik fotodiyot olarak uygun olduğunu göstermiş. Organik maddenin ışığa tepkisinin yanı sıra sıcaklık ve değişen frekanslarla elektriksel ölçümler de alınarak cihazların performansları ortaya çıkarılmış. Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında, organik bazlı fotodiyot cihazlarının üretiminde organik arayüz olarak yaygın olarak kullanılan yeni aNDI'lerin etkin bir şekilde sentezlenmesi ve kullanılabilir verimli fotodiyot malzemelerinin imalatının yanı sıra enerji farklı nitelikteki aNDI'lerin eklendiği cihazların verimliliği karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Bayındır, 2023).

Bir diğer çalışma ise Uzun ve arkadaşlarının literature kazandırdığı Canthaxanthin, β - karoten'den sentezlenmiş. Ara yüzey katmanı olarak bu maddeler kullanılarak üç farklı diyot (Al/ β -karoten/ n -Si, Al/kantaksantin/ n -Si ve Al/kantaksantin/ p -Si) yapıldı. Diyotların akım-gerilim eğrileri hem karanlıkta hem de 300 K'de 100 mW/cm² aydınlatma altında incelenmiş. Çalışmada diyotların akım-gerilim eğrilerinin güçlü bir Schottky doğrultma davranışı gösterdiği gözlenmiş. Sonuç olarak, bu diyotlar arayüz katkısıyla daha da ideal hale getirilebileceği gösterilmiş (Uzun, 2023).

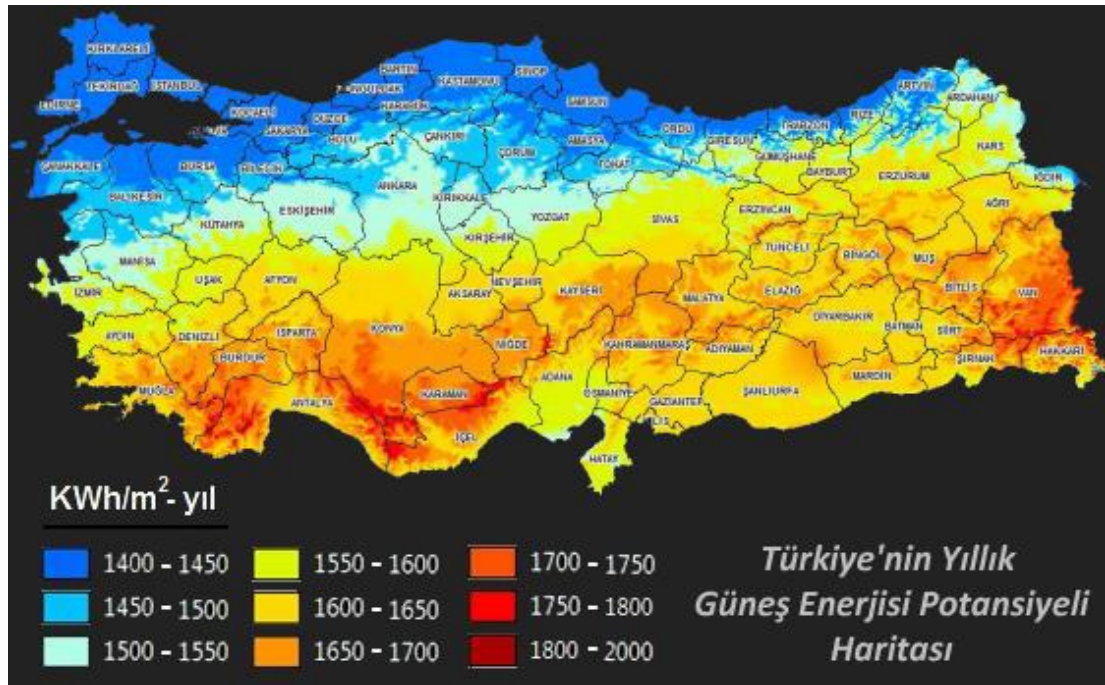
Son yıllarda dünyada ve hatta bizim ülkemizde de artan küresel ısınma ve bunun yanında artan enerji ihtiyacı oldukça fazladır. Bunun için bilimsel çalışmalar daha çok enerji alanına kaymış durumdadır. Küresel ısınmadan kaynaklı olarak daha çok organik ve doğaya zarar vermeyen alternaif enerji kaynakları için çalışmalar yapılmaktadır.

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre Türkiye'nin toplam yıllık güneşlenme zamanı 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam Türkiye'ye gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4.2 kWh/m²) olduğu belirlenmiştir.. Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu toplam gücü 8,479 MW'dır. (Haziran 2022 yılı)

Tablo 2.1. Türkiye İstatistikleri

Türkiye'nin güneş enerjisi değerleri (Haziran 2022 itibarıyla)	
Kurulu güç	8.479 MWe
Toplam enerjiye oranı	% 8,35
Yıllık elektrik üretimi	12,627 GWh
Aktif santral sayısı	674

Güneş enerjisinin bir diğer enerji çeşidi olan elektriğe dönüştürülmesinde güneş hücreleri etkin olarak kullanılmaktadır. İnorganik güneş pilleri % 27- %30 verimlilik değerlerine ulaşmış bulunmaktadır. Atmosferden geçerek bize ulaşan güneş enerjisi 0 ile 1100 W/m² arasında farklı değerler göstermektedir. Buradaki enerji değeri tükettiğimiz enerji değerini fazlasıyla karşılayabilmektedir. Ülkemiz 2013 sonrasında güneş pillerinden üretilen enerjiye daha fazla yönelim göstererek hızla bu alanda iyileşme göstermektedir. Türkiye güneşlenme süresi olarak diğer ülkeler içinde ilk sıralar içerisinde yer almaktadır. (Kahyaoglu, 2021)



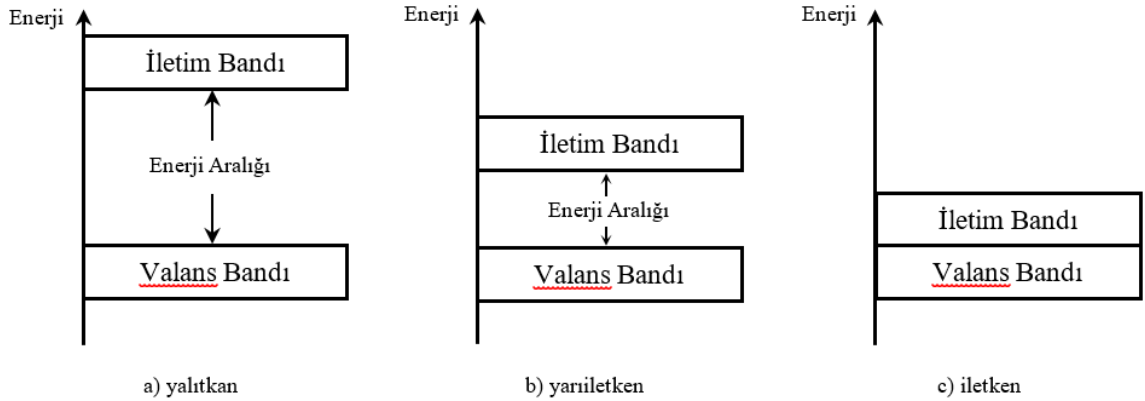
Şekil 2.1. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritası

2.1. Güneş Pilleri

Güneş'ten yayılan ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlere güneş hücresi ya da güneş pili denir. Yarıiletken diyot olarak görev görür. Güneş hücresinin üst kısmında hem koruyucu hem de yansıma önleyici tabakalar bulunmaktadır. Bu tabakaların içerisinde N ve P tipi yarıiletkenler bulunur. Güneş hücrelerinde genelde çok kristalli veya tek kristalli silisyum yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2. Yarı iletken Malzemeler

Katı maddeler elektriksel iletkenlik olarak iletken, yalıtkan, yarıiletken olmak üzere üçe ayrılır. İletken maddeler arasındaki yasak enerji aralığı çok çok düşük (öz dirençleri 10^{-6} ile 10^{-4} ohm.metre), yalıtkanlarda yasak enerji aralığı elektron iletimini sağlayamayacak kadar çok (öz dirençleri 10^{10} ohm.metre'ye eşit ya da büyük), yarıiletkenlerde öz dirençleri 10^{-4} ile 10^{10} ohm.metre) ise belirli şartlarda ilettime geçmektedir.

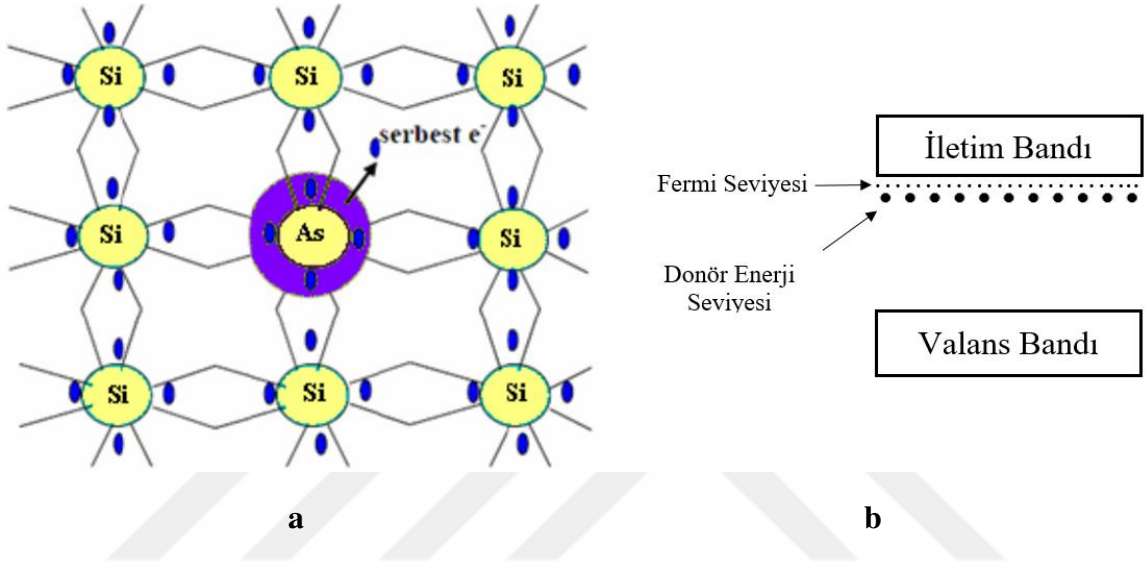


Şekil 2. 2. a) Yalıtkan, b) Yarıiletken, c) İletken enerji diyagramı

Yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı değeri 3,8 eV değerinden küçük, yalıtkanlarda ise 4 eV' tan büyüktür. Periyodik cetvelde 3A ve 5A grubu ile 2A ve 4A grubu metalleri yarıiletken yapımında en çok kullanılanlardır (Canlı, 2018).

2.2.1. n tipi Yarıiletken

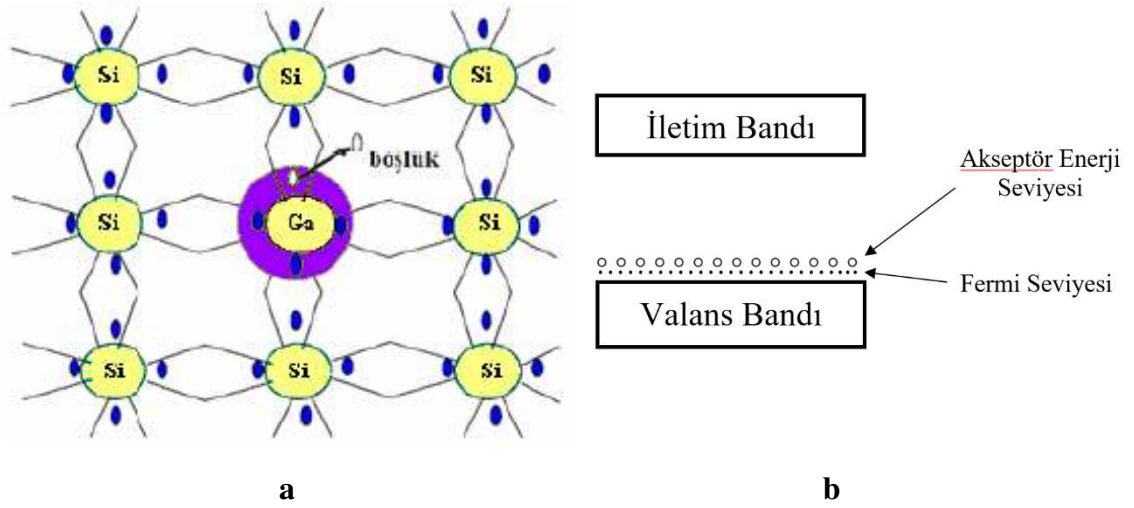
Elektrik iletkenliği elektronların hareket etmesiyle oluşuyorsa bu şekildeki yarıiletkenler n tipi yarıiletkenlerdir. Böyle oluşturulan yarıiletkenler donör katkılanmıştır. IV A grubu elementine V A grubu elementi katkılanması ile n tipi elde edilir. n-tipi yarıiletkenlerde elektron yoğunluğu boşluklara göre daha fazla olur.



Şekil 2.3. a) As katkılı Si kristali, b) n-tipi yarıiletkenlerin band yapısı

2.2.2. p tipi Yarıiletken

Elektrik iletkenliği hollerin hareketiyle sağlanıyorsa bu tür yarıiletkenlere p tipi yarıiletken denir. Bu şekilde oluşturulan yarıiletkenler akseptör katkılanmıştır. Holler(böşluklar) elektronlardan daha yoğun bulunur. (Çavaş, 2011)



Şekil 2.4. a) Ga katkılı silisyum kristali, b) p-tipi yarıiletkenlerin band yapısı

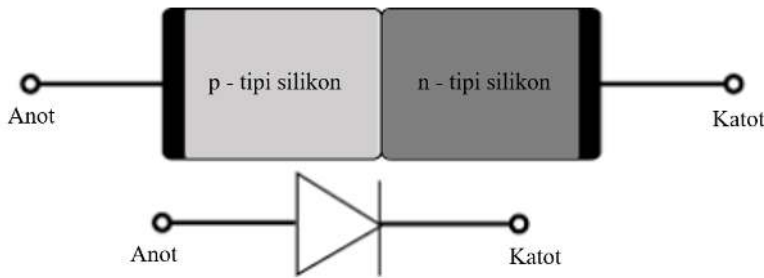
2.3. Foto Diyotlar

Fotodiyot, engelleme yönünde gelen akımı ışık yardımı ile kontrol edebilen bir yarı iletken malzemedir. Yani üzerine düşen ışık miktarıyla orantılı olarak iletkenlik derecesi değişen diyot çeşitidir.

2.3.1. Foto diyot Çeşitleri

a.) p-n eklem diyotlar

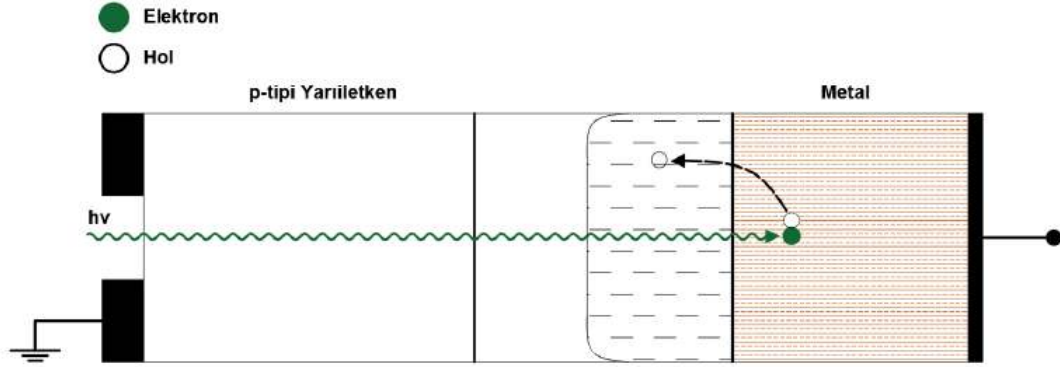
p tipi ve n tipi iki yarıiletkenin bir araya getirilmesi ile oluşan bir diyottur.



Şekil 2.5. p-n eklem diyot

b.) Schottky diyotlar

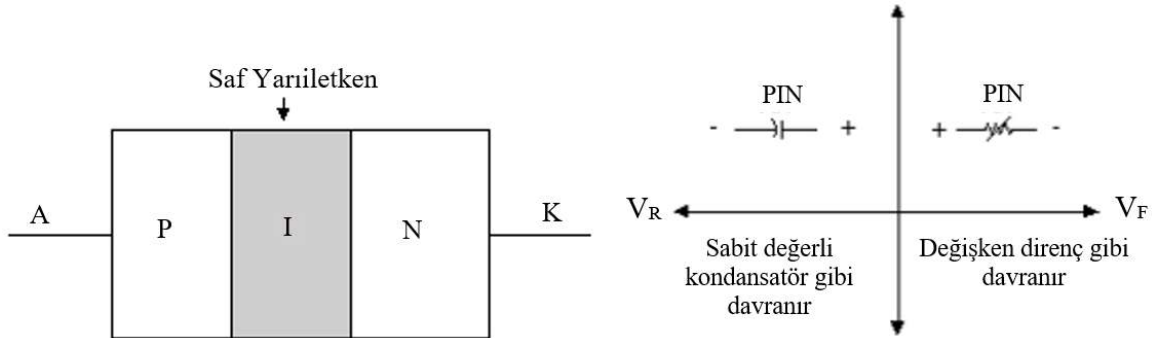
Schottky diyotlar yarıiletken ve metalin birbiri ile kontak oluşturulması ile elde edilir. Ters yönde gelen azınlık taşıyıcıları çok az olduğu için ters yönde oluşan akım küçüktür. Bu sebeple gürültü seviyeleri az ve verimleri yüksektir.



Şekil 2.6. Schottky fotodiyot yapısı

c.) p-i-n diyotları

Değişken direnç değerine sahiptir. p yarıiletkenin yanına dirençli I bölgesi ve diğer tarafa n yarıiletken bölgesi vardır. p ve n tipi maddelerin arasına yalıtkan bir yüzey koyularak oluşturulurlar. Bu diyotlar, doğru polarlamada ayarlanabilir direnç, ters polarlamada ise sabit değerli kondansatör gibi davranır.



Şekil 2.7. p-i-n diyot yapısı

d.) Heteroeklem diyotlar

Farklı ve birden fazla yarıiletkenin aynı devrede kullanılması ile oluşan bir diğer yapı heteroeklemidir. Heteroeklem diyotların sağladığı en büyük avantaj eklem mesafesinin kuantum verimine etki etmemesidir. Yani eklem mesafesine bağlı değildir. (Çavaş, 2011)

2.3.2. Foto diyotların Akım-Voltaj Karakteristiği

Fotodiyotlarda normal diyotlar gibi akım-gerilim değerleri göstermektedirler. Şekil 2.8’de fotodiyotun karanlık ve ışık altında akım-gerilim karakteristiği gösterilmektedir. Şekil 7’deki A eğrisi fotodiyotun karanlık ortamdaki, B ve C eğrileri ise fotodiyotun ışık ortamındaki akım-gerilim karakteristiğini vermektedir. Şekildeki bölgeler sırası ile; birinci bölgede, akım ve gerilim değerleri pozitifliği temsil eder. Bu bölgede fotodiyot doğru polarize olmuştur. Ayrıca bu bölge fotodiyot alanları için olumsuz herhangi bir durum oluşturmamaktadır. Bu bölgede çalıştırılan fotodiyot normal bir diyot gibi davranmaktadır. İkinci bölgede fotodiyotun etkisi görülmemektedir. Üçüncü bölgede çok az bir sızıntı akımı (I_s) akımı akar. Fotodiyota gelen ışığın miktarı yani birim alana düşen ışık değeri arttığında bu bölgedeki eğriler tümüyle, negatif akım yönünde aşağıya doğru değişim gösterecektir. $V=0$ ekseninde oluşan eğrilerin akım ekseninde kestiği nokta kısa-devre akımı (I_{sc}), Sıfır akım noktalarında oluşan eğrilerin gerilim ekseninde kestiği noktalar ise açık-devre voltajı (V_{oc}) olarak elde edilir. (Özmen, 2015)



Şekil 2.8. Foto diyotun akım-voltaj karakteristikleri

Bir organik p-n eklem fotovoltaiik durumu p ve n tip malzemelerin hazırlanırken kirlenmemesi, katılan organik malzemenin elektronik ve morfolojik özelliklerine bağlı olarak değişir. p-n eklemının fotovoltaiik veriminin artırılması için p ve n tipi malzemeler arasındaki potansiyel farkı maksimum değere çıkarılmalı. Eksiton ayrışma veriminin istenen düzeyde olabilmesi için p tip malzemenin HOMO (highest occupied molecular orbital-en yüksek dolu moleküler orbital) seviyesi ile n tip malzemenin LUMO (lowest unoccupied molecular orbital-en düşük dolu olmayan moleküler orbital) seviyesi arasında oluşan fark bağlanma enerjisinden büyük değerde olmalıdır. (Yağci, 2011)

Akım- voltaj karakteristiğinden elde edilen değerlerle bazı parametreler hesaplanır. Termiyonik emisyonla göre $eV \gg kT$ olduğundan, akım ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$I = I_0 \exp \left(- \frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right) \quad (2.1)$$

İdealite faktörünü elde etmek için, eşitliğin her iki tarafının logaritması alınır ve sonrasında V' 'ye göre türevi alınarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d \ln(I)} \quad (2.2)$$

Yarı logaritmik I-V grafiğinin pozitif bölgesinde yer alan lineer kısmına lineer bir fit yani bir doğru çizildiğinde, bu doğrunun eğiminden $dV/d(\ln I)$ bulunur. Bu doğrunun $V=0$ 'da

düşey eksenini kestiği nokta I_0 doyma akım yoğunluğunu verir ve aşağıdaki denklem olarak yazılır.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \quad (2.3)$$

Elde edilen bu eşitlikten yola çıkarak aşağıdaki engel yüksekliği bulunur.

$$e\phi_B = kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (2.4)$$

Burada, A diyotun etkin alanını ($7,85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$), A^* Richardson sabitini (p-Si için $32 \text{ A/K}^2 \text{ cm}^2$), k Boltzman sabitini ($8,625 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$), T Kelvin cinsinden sıcaklığı simgeler.

Doğrultma oranı (RR),

$$RR = \frac{I_F}{I_V} \quad (2.5)$$

İle gösterilir. Buradaki I_F değeri doğru beslem akımı, I_V değeri ise ters beslem akımıdır.

Şekil 2.8.'de verilen akım-voltaj karakteristiğinde $I_{\max}$ ve $V_{\max}$ ifadeleri sırası ile max gücün elde edilmesi için gereken akım ve voltaj değerleridir. Böylelikle güneş hücresinden elde edilen maximum güç,

$$p_{\max} = I_{\max} \times V_{\max} \quad (2.6)$$

olarak elde edilir. Güneş hücresinin enerji dönüşümü (η), hücre mevcut devreye bağlandığında soğrulan ışık enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürme yüzdesini gösterir. Bu ifade bu güneş hücresinden elde edilen maximum gücün hücre üzerine düşürülen ışığın gücüne oranı ile bulunur. Buna göre güneş hücresinin verimi;

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{inA}} \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir. Bu denkleme göre P_{in} hücre yüzeyine düşürülen yapay ışığın gücü, A hücrenin etki alanını ifade eder. Böylelikle yapılan bu tür deneysel çalışmalarda net gücü elde etmek için uygulanan ışık gücü ile hücrenin etki alanının çarpılmasıyla elde edilir. Güneş hücrelerinin karakterizasyonunda kullanılan bir diğer parametre de dolum faktörüdür. Dolum faktörü, elde edilen maksimum gücün açık devre voltajı ve kısa devre akımının çarpımına oranı olarak;

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc}I_{sc}} = \frac{P_{in}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (2.8)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Diyot yapısının (seri direnç) R_s değeri hesaplanırken hem akım-voltaj hem de kapasitans-voltaj değerlerinden elde edilebilir. R_s değerleri hesaplanmasında Ohm Kanunu, Cheung Fonksiyonu, Norde Methodu ve Nicollian- Brews Yöntemleri kullanılarak bulunabilir. Bunlardan Nicollian- Brews Yöntemi kapasitans-voltaj verileri kullanılarak bulunurken Ohm Kanunu, Cheung Fonksiyonu, Norde Methodu akım-voltaj verileri kullanılarak bulunurlar.

Ohm Kanunu R_s değeri

$$R_s = \frac{V}{I} \quad (2.9)$$

denklemleri ile elde edilir.

2.4. Güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi işlemi

a) Işığın soğurulması

Fotovoltaik yüzeye düşen ışığın absorbe edilmesidir. Görünür bölge dalga boyundaki ışığın soğurma miktarı soğurma katsayısı olarak ifade edilir. Soğurma katsayısı ışığın, absorbe edilme miktarını ifade eder.

I_0 ışık şiddetine sahip bir ışığın x kalınlığındaki bir ortamdan geçerken değeri Beer-Lambert yasasına göre,

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2.10)$$

şeklinde hesaplanır. I_0 gelen ışığın şiddeti, x ışığın ilerlediği ortamın kalınlığı, α soğurma katsayısı I ise, gelen ışığın ortamda ilerledikten sonraki değeridir. Işığın soğurulma değeri maddenin cinsine ve gelen ışığın dalga boyundan etkilenir. Elektronun bağlanma enerjisinden daha düşük enerjili gelen ışık elektronu uyarmaya yetmediğinden akım oluşmaz. Organik foto diyot yapımında problemlerden birisi de soğurma kayıplarıdır. Soğurma kayıpları, organik tabakanın yansıma yapmasından ve çok ince olması gibi nedenlerden oluşmaktadır.

b) Yüklerin ayrılması ve kontak noktalarına iletimi

Işığın absorbe edilmesiyle oluşan elektron-boşluk çifti arasında bir kuvvet meydana gelir. Bu kuvvete Coulomb kuvveti denir. Bu çekim kuvvetini ortadan kaldırabilmek için bir iç elektrik alana ihtiyaç vardır. Organik güneş hücrelerinde fotoakımın meydana gelebilmesi için güçlü bir iç alan gereklidir. İç elektrik alanın etkisi yük taşıyıcı çiftinin bir araya gelme durumunu azaltır. Yük taşıyıcılarının ayrılmasıyla elektron ve boşluk akım oluşturmak için kontak noktalarına doğru hareket eder.

c) Yüklerin toplanması

Elektrik alanından dolayı ayrılan yükler holler anota ve elektronlar da katota geçerek devre üzerinden akım oluşmasına sebep olurlar (Yağci, 2011).

2.5. Güneş Panelleri

2.5.1. Kristal Yapılı Silisyum Güneş Pilleri

Güneş hücrelerinde tek kristal silikon oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun gibi malzemeler ile üretilen güneş hücreleri en çok kızılötesi ışığa duyarlıdır ve kızılötesi

bölgedeki elektromanyetik spektrumun radyasyonunun enerjisi diğerlerine göre daha düşük bir dalga boyunda olduğundan bu hücrelerin verimliliği yaklaşık % 25 ile sınırlı kalmaktadır. Tek kristalin üretimi Chrozalski (Chrozalski, 1918) kristal çekme tekniği ile gerçekleştirilir. Maliyeti yüksek olup deavantaja sahiptir. Çok Kristal Silikon güneş hücreleri ise, erimiş bir yarıiletken olan silikonun kalıp üzerine dökülerek soğuma işlemi için bırakılmasıyla çok kristal silisyum üretilir daha sonra da ince levhalar halinde kesilmesi ile işlem tamamlanır. Bu işlemlerden dolayı üretimleri tek kristalin üretimine göre çok daha ucuzdur ancak verimleri ortalama % 15 civarındadır. Bunun en büyük sebebi ise silikon kristallerin sınır bölgelerinde meydana gelen bir iç dirençtir. (Öztürk, 2013).

2.5.2. İnce film tabakalı güneş pilleri

Nanometre ve mikrometre arasında çeşitli katman kalınlıkları ile ifade edilen malzemelere ince film denir. İnce film yapıları çoğunlukla kullanılabilir uygulamalar elektronik yarı iletken cihazları ve optik kaplamaları içerir. İnce Filmlerin en bilinen uygulaması gördüğümüz şey cam ve arka tarafta yansımaya izin veren ince metal yüzeydir. Bunları her gün kullanıyoruz ve çeşitli boyutlarında mevcuttur. İnce film güneş hücrelerinde üç farklı teknolojik tip kullanılmaktadır. Bu teknolojik tipler, a-Si (amorfsilikon), CuInGa-Se (bakır indiyum galyum selenyum) ve CdTe (kadmiyum tellür) malzemelerinden oluşmaktadır. Bu üç teknolojik tip kristal silikon güneş hücreleri de, kendi aralarında yarış halindedir (Parlak, 2011).

2.5.3. Organik güneş pilleri ve boya duyarlı güneş pilleri

İnorganik maddelerin oluşumu ve maliyetinin çok olması organik madde içerikli güneş pillerinin gelişimlerinde etkili olmuştur (Kahyaoğlu, 2021). İnorganik ve organik malzemeler farklı yapısal özelliklere sahiptirler. Dolayısıyla, oluşturulan güneş hücrelerinin özellikleri de farklılık gösterir. İnorganik yarıiletken maddeler yüksek dielektirik sabiti ve düşük bağlanma enerjisine sahiptir. Organik yarıiletken maddelerin ise ters özelliğe sahiptir. Organik yarıiletkenlerin dielektirik sabiti düşük ve bağlanma enerjileri inorganik maddelere göre daha yüksektir. Organik malzemelerin bu eksiklikleri akseptör ve donör adı verilen iki malzemeyle giderilmektedir. Organik yarıiletkenlerin kendine özgü bir biçimi olmadığından yük taşınımı inorganik kristal yarıiletkenlere göre

daha zordur. Normal bir organik güneş paneli hücresi, en az dört katmandır bunlar; katot, anot, donör, akseptör dür (Kahyaoğlu, 2021).

Çalışmalar organik fotovoltaiik aygıtların açık devre voltajları ile HOMO seviyeleri arasında oldukça sıkı bir korelasyon olduğunu göstermiştir. En fazla kısa devre akım yoğunluğunun C60'ın kullanıldığı durumda, en büyük açık devre voltajında ITO/TiO₂/C60/CuPc/Au da olduğunu görmüşlerdir. (Yağci, 2011)

2.6. Lavandulifolia Bitkisi

Stachys lavandulifolia (yeşil form), Kuzukulağının yavaş sürünen bir kuzeni olup, ilkbaharın sonlarında ve yaz başlarında gerçekten pamuk şekeri andıran inanılmaz derecede yumuşak pembe trompet kümeleriyle yumuşak, çekici yapraklardan alçak paspaslar oluşturur. Tavşanlara ve geyiklere dayanıklı olan bu çok yıllık bitki, bahçe sınırının önü veya xeriscape bahçesi için üstün bir Türk kır çiçeği seçimidir. Stachys lavandulifolia çayının etkili bir ilaç olabileceğini düşündürmektedir. Kişisel raporlama anketlerine göre, Stachys lavandulifolia çayının menstruasyon üzerinde yalnızca plasebo etkisi olması mümkündür.

Yapılan çalışmalarda Stachys lavandulifolia etnobotanikte önemli yere sahip olan Lamiaceae familyasına ait çiçekli bir bitkidir. Yapılan çalışmada bitkinin fitokimyasal yapısı, asetilkolinesteraz (AChE) inhibisyonu, antiaterosklerotik aktivite için paraoksonaz (hPON 1) inhibisyonu ve antioksidan kapasitesi ile ilgili araştırma yapılmıştır. Sonuçta ise, antioksidan, anti-aterojenik ve anti-nörodejeneratif özelliklere sahip olan S. lavandulifolia, Alzheimer hastalarında kullanılan doğal bir ilaç potansiyeline sahip olarak görülmüştür (Güzel, 2023).



Şekil 2.9. Stachys Lavandulifolia Bitkisi (plant select)

Lamiaceae familyasının en büyük cinslerinden biri olan Stachys cinsi yaklaşık 300 tür içerir. Bu cinsin 39'dan fazla türü İran'ın çeşitli bölgelerinde yetiştirilmekte ve dağıtılmaktadır (Rechinger, 1982).

Stachys lavandulifolia Vahl. İran'ın farklı bölgelerinde yaygın olarak dağıtılan ve "Chaye-e-Kohi" veya "Lolopashmak" olarak bilinen yerli bir bitkidir (Andalip, 2011). Bu bitki İran halk hekimliğinde bitki çayı ve şifalı bitki olarak kullanılmaktadır (Mahzooni, 2012). S. lavandulifolia'nın toprak üstü kısımlarından elde edilen sulu ekstrakt antipiretik, antiinflamatuvar, spazmolitik ve sedatif ilaç olarak kullanılmaktadır (Nabavizade, 2011). Ayrıca bu bitkinin antibakteriyel, antioksidan, anksiyolitik, analjezik ve yara iyileştirici etkileri vardır (Ghasemi, 2011).

Şekil 2.9'da görseli verilen lavandulifolia bitkisi bu çalışmada fabrikasyonu gerçekleştirilecek olan Schottky kontakta arayüzey malzemesi olarak kullanılacaktır. Yaygın pembe pamuklu kuzukulağı olarak adlandırılan Stachys lavandulifolia, tipik olarak 8-10 inç uzunluğa kadar büyüyen ve 15 inç genişliğe yayılan püsküllü, stoloniferli, odunsu bazlı çok yıllık veya yarı çalıdır. Bu, Irak, İran ve Güney Kafkas Dağları'ndaki kuru kayalık yamaçlara özgü bir dağ bitkisidir. Yapraklar gri-yeşildir. Bazal yapraklar (2 1/2 inç uzunluğa kadar) dikdörtgen mızrak şeklinde ile tersmızrak şeklindedir, genellikle ipeksi

tüylere ve tam kenarlara sahiptir. Kök yaprakları daha kısa ve daha az dardır. Lavanta ile pembe çiçekler (her biri 3/4 inç uzunluğa kadar), yoğun pamuksu filamentlerle kaplanmış kısa tüylü dikenler üzerinde 2-6 çiçekli vertisillasterlerde ilkbaharın sonlarından yazın başlarına (Mayıs-Haziran) kadar çiçek açar. Cins adı, muhtemelen ilgili bir bitkinin çiçeklenmesine atıfta bulunarak, Yunanca'da mısır başak anlamına gelen stacy kelimesinden gelmektedir. Özel sıfat, lavanta, Lavandula gibi yaprakları olan anlamına gelir.

3. MATERYAL METOT

Bu bölümde, fabriksayonu gerçekleştirilecek olan diyotların fabrikasyon basamakları ile üretilen diyotların karakterizasyonlarının yapılmasında kullanılan cihazların tanıtımı yapılacaktır. Oluşturulan diyotların I-V, C-V, karakteristiklerini belirlemede kullanılacak cihazların özelliklerinden bahsedilmektedir.

3.1. p tipi Si temizleme işlemi

Öncelikle kullanılacak olan yarıiletkeninin temizlik işlemleri yapılır. Temizlik işleminde şekil 3.1'de kullanılan cihazın görseli bulunmaktadır. Bu çalışmada p-Si kullanıldı. Temizlik işlemleri sırası ile;

- a) 15 dakika ultrasonik cihazda Aseton içerisinde yıkandı.
- b) Deiyonize su ile durulandı.
- c) 15 dakika ultrasonik cihazda İzopropanal içerisinde yıkandı.
- d) Deiyonize su ile durulandı.
- e) 15 dakika ultrasonik cihazda deiyonize su içerisinde yıkandı.
- f) Tüm işlemler bittikten sonra Azot gazı (N₂) ile kurutma işlemi gerçekleştirildi.

Yapılan kimyasal temizlik işlemleri fabrikasyonu gerçekleştirilecek olan diyotta meydana gelebilecek kirlilikler, oluşabilecek oksit tabakasını minimize etmek ve silikon kristalinin yüzeyini organik ve ağır metal kirliliklerinden arındırmak için yapılmaktadır.



Şekil 3.1. Wiseclean ultrasonik cihaz

3.2. Numunenin hazırlanması

Omik kontak yapmak için buharlaştırılan Al metali yukarıda verilen kimyasal temizlik işlemlerinden geçirilir. Kimyasal temizleme işlemleri biten malzemeler ardından vakum ünitesine yerleştirilir. Kaplama ünitesinin kapağı kapatılır ve içerisi vakuma alınmaya başlanır. Vakum ünitesinin olduğu bölge basınç 10^{-6} Torr değerine ulaşınca kaplama işlemi gerçekleştirilir. Al metalinin yüzeye buharlaştırılması ile kristalin mat yüzeyi Al metali ile kaplanmış oldu. Vakum ortadan kaldırılarak kapak açılır. Numuneye çevreden herhangi bir kirlilik etki etmeyecek bir şekilde dışarı çıkartılır. Bu işlem esnasında kullanılan cihaz şekil 3.3’de verilmiştir.

3.3. Arayüzey Kaplanması

Stachys Lavandulifolia, Haziran 2022’de Türkiye’nin Bingöl ilinden toplanmış ve Türkiye florasına göre tanımlanmıştır. (Bhattacharjee,1982). Tespit edilen örnek Bingöl Üniversitesi herbaryumunda muhafaza edilmektedir (Herbaryum numarası:BIN12200.)

Stachys Lavandulifolia bitkisi etanol içerisinde 48 saat +4 derece ortamda bekletildi. Sonra süzgeç kağıtları ile mikro kalıntılar elimine edilerek şekilde süzüldü ve bitki özü elde edildi. Ardından spin coating döndürme yöntemi ile 60 sn 1400 rpm olacak şekilde

ayarlanıp arayüzey kaplanması gerçekleştirildi. Döndürme metodu ile yapılan kaplama için kullanılan cihaz şekil 3.2' de verilmiştir.

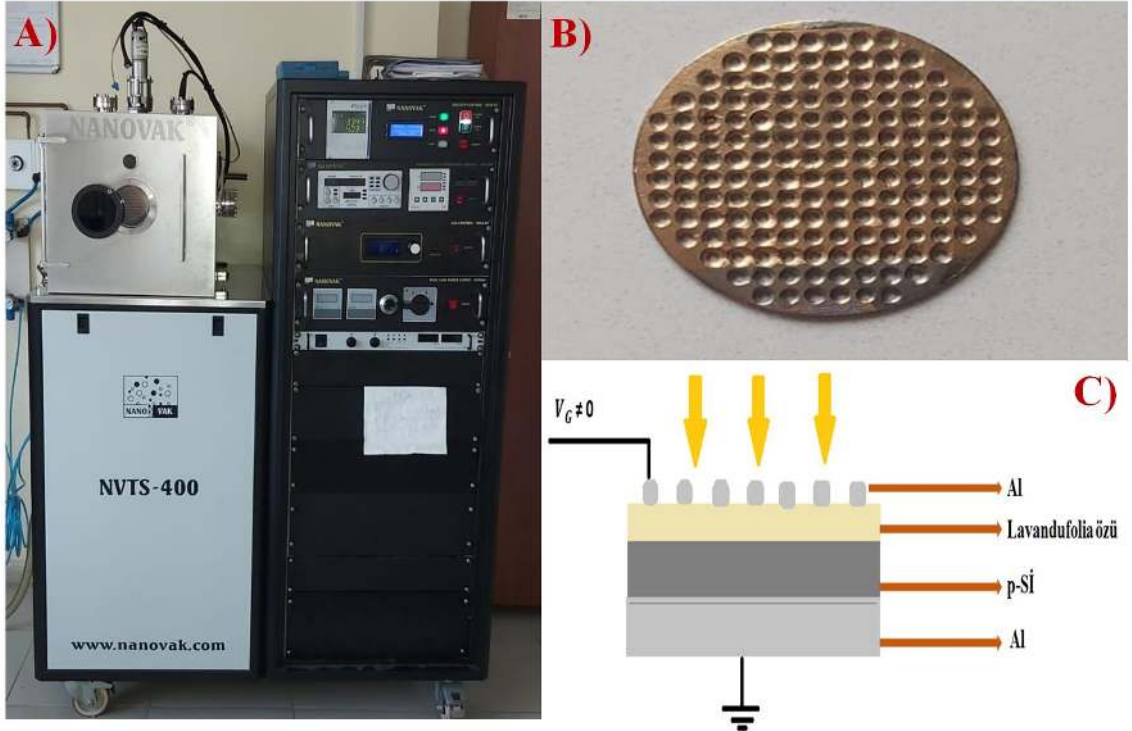


Şekil 3.2. Vacuum spin coater cihazı

3.4. Doğrultucu Kontak

Omik kontağı ve arayüzey kaplanması yapılan p-Si diyetun doğrultucu kontağı için önceden hazırlanmış 1 mm çapındaki deliklerden oluşturulan maske üzerine, omik kontak için Al kaplanan yüzey kısımları alt kısımlarda kalacak şekilde ve arayüzey malzemeli yüzey üst kısımda kalacak bir biçimde maskenin tam üzerine gelecek şekilde yerleştirilir. Sonrasında kaplama ünitesinin kapağı dikkatli bir şekilde kapatıldı. Nanovak termal buharlaştırma cihazının vakum seviyesinin 10^{-6} Torr değerine gelmesi beklenildi. Bekleme süresi yaklaşık olarak 45-50 dk'dır. İstenilen vakum değerine gelen cihaz Al konulan potaya kademeli olarak akım verilir. Verilen akım sonucunda buharlaşan Al 1 mm çapındaki deliklerden geçip yarıiletken yüzeyine nokta kontak şeklinde oluşur. İşlem sonunda akım verilen potaya yine kademeli olacak şekilde akım azaltılarak diyet fabriksayonu gerçekleştirilir. Kaplanmanın gerçekleştiği cihazdaki basınç değerlerinin dalgalanması sonucunda anlaşılır. Sonuç olarak Al metalinin yarıiletken üzerine

buharlaştırılması ile kristalin yüzeyinde nokta şeklinde nokta kontaklar oluşturuldu. Tüm bu işlemler esnasında kullanılan cihazlar şekil 3.3’ de verilmiştir.



Şekil 3.3. a-) Termal buharlaştırma cihazı (nanovak NVTS-400), b-) 1mm nokta kontak maske, c-) Lavandufolia arayüzeyli diyot şeması

3.5. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), ilk kez 1985 yılında Binnig, Quate ve Gerber tarafından gösterilen, yüksek çözünürlüklü, optik olmayan bir görüntüleme tekniğidir (Binnig, 1986). O zamandan beri yüzey analizi için güçlü bir ölçüm aracı haline geldi. AFM, havada, sıvılarda veya çok yüksek vakumda çok yüksek çözünürlükte (Marti, 1987) bir numune yüzeyinin topografik, elektriksel, manyetik, kimyasal, optik, mekanik vb. özelliklerinin doğru ve tahribatsız ölçümüne olanak tanır. Bu benzersiz yetenek kombinasyonu, AFM'yi dünya çapındaki en gelişmiş bilim ve teknoloji laboratuvarlarında vazgeçilmez kılmaktadır.



Şekil 3.4. Atomik kuvvet miroskobu

Optik geri beslemeli standart bir AFM sisteminin temel çalışma prensibi (Marti, 1999) bir AFM probunun keskin bir AFM ucu ile bir örnek yüzey üzerinde tarama deseninde taranmasını içerir. AFM ucu genellikle silikon veya silikon nitrürden yapılır ve esnek bir AFM konsolunun serbest ucunun yakınına entegre edilir. Piezoelektrik seramik tarayıcı, AFM probunun yüzeye göre yanal ve dikey konumunu kontrol eder. AFM ucu farklı yükseklikteki özellikler üzerinde hareket ettikçe AFM konsolunun sapması değişir. Bu sapma, AFM konsolunun arka tarafından yansıtılan ve konuma duyarlı bir fotodetektöre yönlendirilen bir lazer ışınıyla takip edilir. Bir geri besleme döngüsü, neredeyse sabit AFM konsol sapmasını ve dolayısıyla sabit bir etkileşim kuvvetini korumak için tarayıcının dikey uzantısını kontrol eder. AFM ucunun tarama sırasında izlediği koordinatlar, yüzeyin üç boyutlu topografik görüntüsünü oluşturmak için birleştirilir.

3.6. UV Görünür Bölge Spektroskopisi

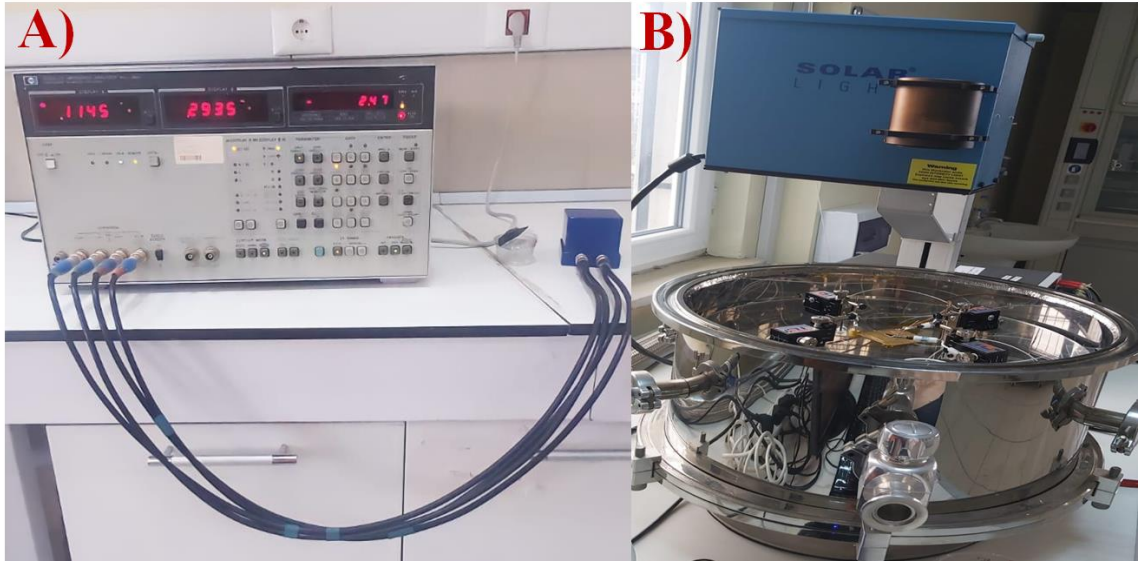
Ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis) absorpsiyon spektroskopinin temeli, ışığın bir yerden geçtikten veya bir yüzeyden yansıdıktan sonra ışık şiddetinde meydana gelen azalmaya dayanır. Bu azalma absorplanan madde miktarının arttığının göstergesidir. Bu çalışmada Bingöl Üniveristesi Merkezi Laboratuvarında bulunan 180-3300 nm aralığında ölçüm yapan ve ışık kaynağı değişimi dalga boyuna göre otomatik olarak değişen cihaz kullanıldı. Kullanılan ihaz şekil 3.5’ de verilmiştir.



Şekil 3.5. UV Görünür bölge spektrum cihazı

3.7. Deney ve ölçüm sistemi

Hazırlanmış organik güneş hücresinin ışığa bağlı ölçümleri -2V ile +2V aralığında toplam 200 noktadan oluşan bilgisayar kontrollü 1.0×10^{-12} A aralığında ölçüm yapabilen Keithley 2400 picoammeter cihazı ile alınarak kaydedilir. Ayrıca, $5-10^7$ Hz aralığında kapasite-frekans ($C-f$), ölçümleri yapabilen *LF* Impedance Analyzer ölçüm cihazı kullanılarak ölçümler alınır.

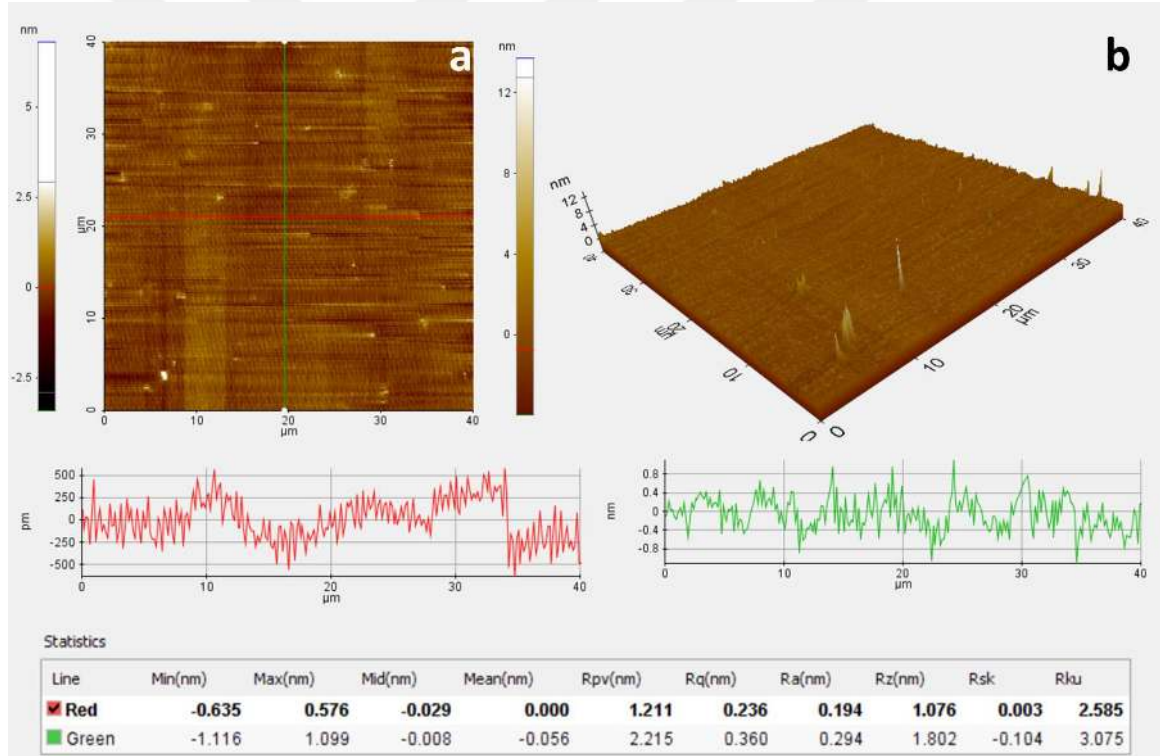


Şekil 3.6. (a) Frekansa bağlı C-V analiz cihazı 4192A model YHP (b) Akım-Gerilim analiz solar simülatörü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Atomik Kuvvet Mikroskop Sonuçları

Standart bir şekilde 40*40 μm^2 'lik alanlarda AFM ölçümleri alınarak yüzey pürüzlülüğü değerleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi spin döndürme yöntemi yapılarak yüzeyi kaplanan bu tür malzemelerde yüzey pürüzlülüğünün çok küçük olduğu görülmektedir. Yüzey morfolojisinde oldukça önemli olan ve fotovoltaik aygıtlarda oldukça sık karşımıza çıkan yüzey pürüzlülüğü değerlerini kırmızı ve yeşil hat boyunca çok küçük olduğu görülmektedir. Bu değer yaklaşık değerleri olarak 0.19-0.29 nm civarında olup bu tarz bir yöntem ile elde edilebilecek en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri arasındadır.



Şekil 4.1. Atomik kuvvet mikroskop görüntüleri

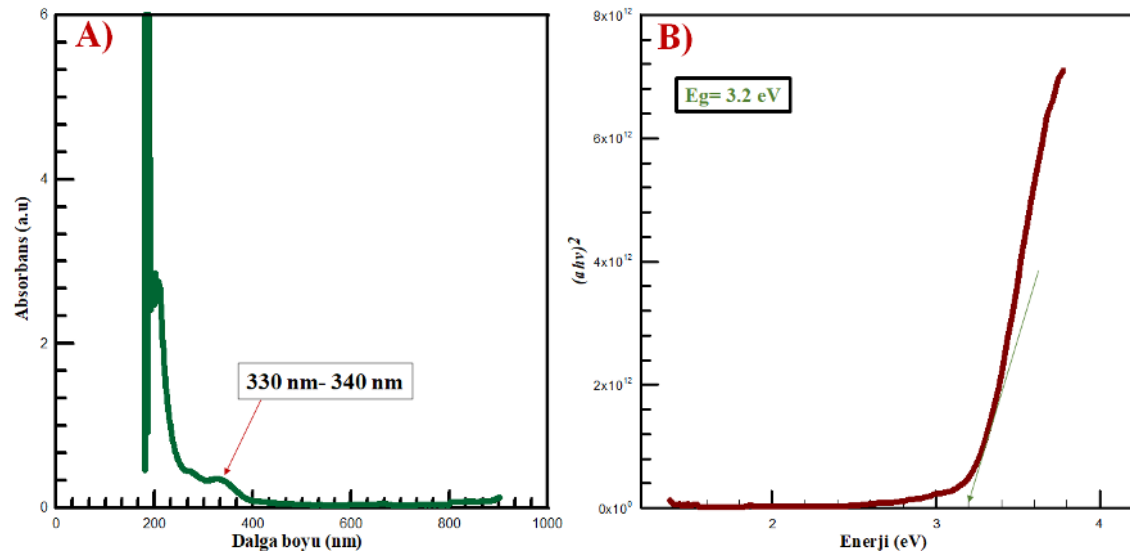
4.2. UV Görünür Bölge Spektrum Sonuçları

Stachys lavandulifolia bitkisi, 180-900 nm dalga boyu aralığında yapılan absorbans ölçümleri sonucunda organik tabakanın bant aralığının değerini elde etmek için, öncelikle absorbsiyon katsayısı belirlendi. Absorbsiyon katsayısı

$$\alpha = \frac{\ln(1-T)}{d} \quad (4.1)$$

denklemlerle elde edilir. (Turgut, 2013). Bu denklemde T yüzde optik geçirgenlik değerini, d (500 nm) ise film kalınlığını göstermektedir.

$$\alpha h\nu = K(h\nu - E_g)^2 \quad (4.2)$$



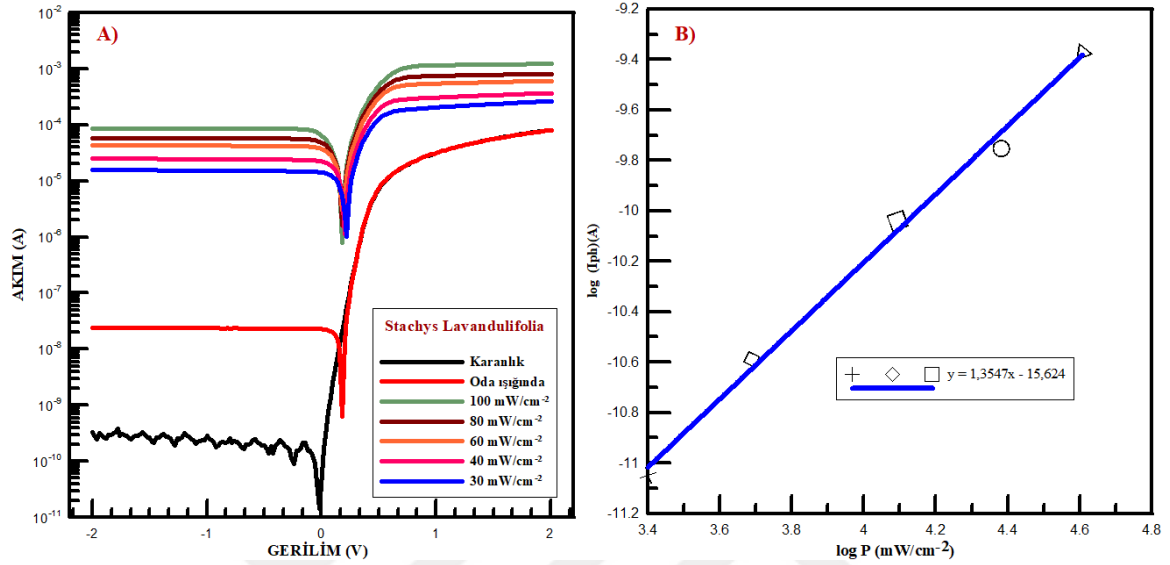
Şekil 4.2. Stachys lavandulifolia bitkisinin a) UV-görünür bölge spektrumu, b) yasak enerji bant aralığı

Burada $h\nu$ foton enerjisi, K malzeme sabitidir. E_g yasak enerji aralığı olarak görülür. Hazırlanan solüsyonun absorbans pik değerlerine bakıldığında Şekil 4.1 (a)'daki Stachys lavandulifolia bitkisinin absorbans 330-340 nm aralığında pik değeri verdiği görülmüştür. Yine bu solüsyonun ölçüm datalarından elde edilen bant aralığı $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiğinin eğim değerine bakıldığında 3,2 eV olarak elde edilmiştir. Bu değer Şekil 4.2 (b)'de ki grafiğin lineer kısmına uygun fit çekildi. Bu fitin x eksenini böldüğü nokta literatüre yasak enerji aralığı değerini verir.

4.3. Işığa Bağlı Akım-Gerilim Elektriksel Karakterizasyon Sonuçları

Öncelikle bu çalışmada Stachys Lavandulifolia bitkisinden elde edilen arayüzey malzemesi ile hazırlanan doğrultucunun elektriksel karakterizasyonunu incelemek için ilk olarak farklı

aydınlatma şiddetleri altında ve oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümleri yapıldı. p-Si yarıiletkenenden yapılan Schottky diyotunun -2 V ile +2 V arasında gerilim uygulanarak akım ölçümü yapıldı.



Şekil 4.3. (a) *Stachys lavandulifolia* yüzeyli doğrultucunun yapısının karanlık ve 30-100 mW/cm² ışık şiddeti altında Akım-Gerilim grafiği, (b) logI-logP grafiği

Yapılan ölçümler neticesinde diyotun ana parametreleri olan idealite faktörü, engel yüksekliği, doğrultma oranı, şönt direnç, doyma akımı ve seri direnç değerleri denklem (2.1), denklem (2.2), denklem (2.3), denklem (2.4) denklem (2.5) ve (2.9) kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.3-(b) grafiği ile ifade edilen fotoakım ile aydınlatma yoğunluğu (P) arasında bir ilişkiyi göstermektedir. Diyotlarda oluşan fotoakımın logaritmasına karşı aydınlatma yoğunluğunun logaritmasının grafiklerine bakıldığında aralarında bir doğru orantı görülmüştür.

Metal yarı iletken tabanlı cihazlarda akım iletim mekanizmasını çalıştıran, yani akım iletim mekanizmasına hakim olabilen farklı yaklaşımlar bulunmaktadır ve bu yaklaşımlar genel olarak termiyonik alan emisyonu, elektronik yardımıyla tünel açma olarak ifade edilebilir. (Karataş, 2007) (Türüt, 2021). Akım ve gerilim arasındaki ilişki ($V > 3 \text{ kT/q}$) (Bıyıklı, 2014) Termiyonik teorisi, en az bariyer yüksekliği kadar enerjiye sahip yüklerin, bariyer yüksekliğini aşarak metalden yarı iletkene veya metalden yarı iletkene doğru hareket edebileceğini ifade etmektedir (Türüt, 2020) (Türüt, 2021). Ancak ışığın diyot tabanlı elektronik cihazların akım değerleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Canbay, 2021).

Tablo 4.1. *Stachys lavandufolia* arayüzeyli doğrultucu yapısının oda sıcaklığında (300 K) hesaplanan engel yüksekliği ve idealite faktörü, seri direnç, şönt direnç ve doğrultma oranı değerleri

P (mW.cm ⁻²)	n	I₀ (A)	Φ_{B0} (eV)	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)	RR
Karanlık	1,43	1,52x10 ⁻¹⁰	0,829	24737,76	6,02x10 ⁹	243187,8
30	1,89	3,19x10 ⁻⁸	0,693	7547,17	125721,2	16,65
40	1,84	4,24x10 ⁻⁸	0,686	5405,405	79401,31	14,68
60	1,94	1,13x10 ⁻⁷	0,661	3284,072	45816,92	13,95
80	2,07	2,17x10 ⁻⁷	0,644	2457,002	34395,49	13,99
100	2,38	4,25x10 ⁻⁶	0,568	1627,339	23296,37	14,31

Böyle bir yarı iletken tabanlı cihaz, değerlendirilmesi ve yorumlanması gereken çok önemli elektriksel parametrelere sahiptir. Akım-gerilim eğrileri analiz edilerek bariyer yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi parametrelerin hesaplanması da yapılmaktadır (Yılmaz, 2020) (Çaldıran, 2014).

Tabloda 4.1’de aydınlatma şiddetinin artması ile idealite faktörü artarken, engel yüksekliğinin de azaldığı hesaplanmıştır. İdeal diyotların idealite faktörü değeri 1’dir. İdealite faktörü değerinin 1’den büyük bulunması halinde doğrultucunun ideallikten saptığının en önemli göstergesidir. Artan ışıqla beraber doğrultucunun ideallikten saptığını görmekteyiz. Doğrultucunun İdeallikten sapmasına arayüz durumları (Orak, 2015), bariyer homojenliği (Orainy, 2014), seri direnç (Karataş, 2010), arayüzdeki akseptör-donör dağılımı gibi nedenler sebep olur (Altındal, 2014).

Şekil 4.3’de Al/*Stachys Lavandofolia*/p-Si/Al diyot yapısının karanlık ve 30-100 mW/cm² ışık şiddeti altında elde edilen değerlerden yola çıkarak yarı logaritmik akım-gerilim grafiği çizilmiş olup şekilde gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında Al/*Stachys Lavandulifolia*/p-Si/Al diyot yapısı üzerine düşen ışık miktarı arttıkça ters beslem bölgesindeki akımın arttığı ve grafiğin düz beslem bölgesine kaydığı görüldü. Bu kayma fabriksayonu yapılan diyotun yapısının fotodiyot özelliği gösterdiği anlamı taşımaktadır.

Tablo 4.2. 30-100 mW/cm² ışık şiddeti altında lnI-V grafiğinden elde edilen I_{sc}, V_{oc}, I_m, V_m, Doluluk oranı (FF) ve Güneş enerji verimi (η) değerleri

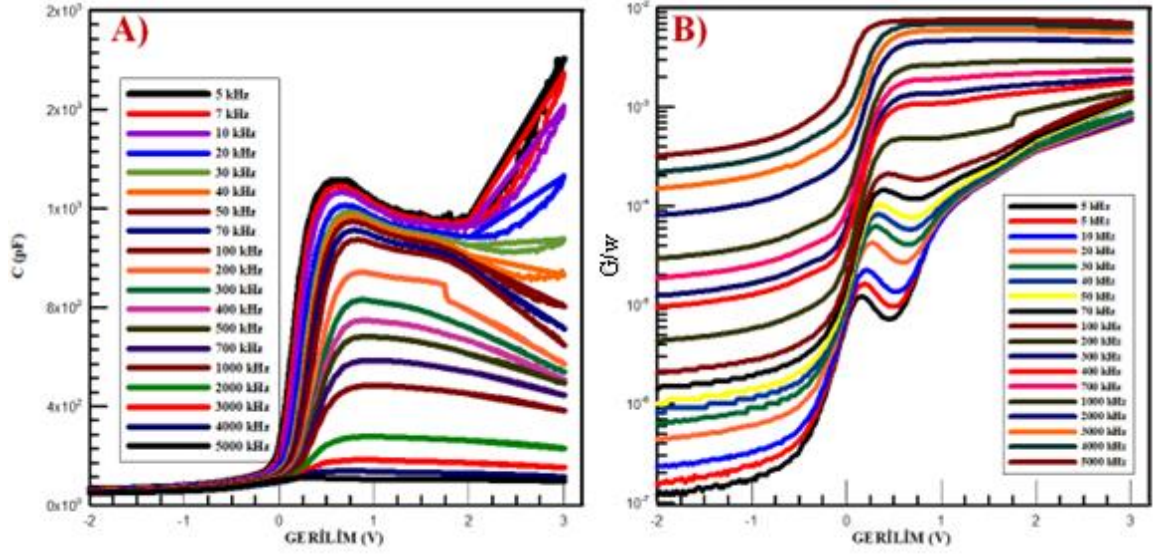
Işık Şiddeti (mW/cm ²)	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)	I _m (A)	V _m (V)	Doluluk Oranı (FF)	Verimlilik (η)
30	1,393x10 ⁻⁵	0,1999	1,267x10 ⁻⁵	0,0799	36,35	0,4298
40	2,194x10 ⁻⁵	0,1999	5,761x10 ⁻⁶	0,1599	21,00	0,2933
60	3,618x10 ⁻⁵	0,1999	3,425x10 ⁻⁵	0,0399	18,91	0,2905
80	4,591x10 ⁻⁵	0,1799	8,997x10 ⁻⁶	0,1599	17,42	0,2291
100	5,998x10 ⁻⁵	0,1799	5,998x10 ⁻⁵	0,0199	11,08	0,1523

Tablo 4.2’de Al/Stachys Lavandulifolia/p-Si/Al diyotunun 30-100 mW/cm² ışık şiddeti altında akım-gerilim ölçümlerinden elde edilen I_{sc}, V_{oc}, I_{max}, V_{max}, doluluk oranı (FF) ve güneş enerji verimi (η) değerleri verilmiştir. Bu değerler denklem 2.6, 2.7 ve 2.8’den elde edilmiştir. Tablo incelendiğinde ışık şiddeti arttırıldığında arayüzeyli doğrultucu kontakın ışığa karşı verdiği tepki, yani verimin 30 -100 mW/cm² arasında fark olduğu görülmektedir. Bunun nedeni donör-akseptör konsantrasyonu sebebiyle elektronların uyarılma sürelerinin çok kısa olmasıdır (Jayakrishnan, 2011), (Kanda vd. 2016).

4.4. Frekansa Bağlı Elektriksel Karakterizasyon Sonuçları

Metal-yarıiletken tabanlı organik arayüzeyli doğrultucu kontak gibi cihazlarda en önemli konulardan biri üretilen cihazın kapasitif ve iletkenlik davranışlarının belirlenmesidir. Cihazlar metalik kontaklar üzerinden uygulanan voltajla polarize olacağından oluşabilecek kapasitans farklı bir araştırma konusu olacak ve birçok elektriksel parametrenin hesaplanmasına olanak sağlayacaktır. Bu bilgiler doğrultusunda üretilen cihazın kapasitans ve iletkenlik ölçümleri uygulanan gerilime bağlı olarak farklı frekanslarda yani frekansın fonksiyonu olarak gerçekleştirilmiş ve ilgili ölçümler Şeki 14.4 a ve b de grafiklendirilmiştir. Stachys Lavandulifolia arayüzeyli Schottky diyotun hem C-V hem de G-V grafikleri 5 kHz-5000 kHz frekans aralığı ve -2V ile 3V aralığındaki ölçümleri yapılmıştır.

Şekil 4.4. *Stachys lavandulifolia* arayüzeyli doğrultucu yapısının (-2,+3) volt ve (5-5000) kHz frekans aralığında elde edilen (A) düşük-yüksek C-V grafikleri, (B) düşük-yüksek G/w-V grafikleri



Şekil 4.4'teki A) ve B)'de görüldüğü gibi C-V ve G/ω -V terslenim (-2V/-1V), tüketim (-1V/1V) ve yığılma (1V/3V) olmak üzere tıpkı metal-organik-yarıiletken (MOY) kontağa benzer biçimde yani üç bölgeye olduğu görülür. Şekilden de anlaşıldığı üzere yüksek frekans değerlerinde terslenim ve yığılma bölgelerinde C-V ve G/ω -V sabit bir değer aldığı görülmektedir. Yüksek frekanslarda olmak üzere terslenim ve yığılma alanlarında C-V ve G/ω -V sabit bir değer almakta, tüketim ve yığılma alanlarında voltaj ile birlikte artma göstermektedir. Çünkü Silikonun ön yüzeyinde daha çok olan elektronlar metal yüzeyin ön kısmına geçerler ve böylelikle C değeri, denge koşulunu sağlayıncaya kadar elektronların azalması ile birlikte azalır. Dolayısıyla, C ve G/ω değerleri N_{ss} etkilerindeki duruma benzer bir frekans ve voltaj ile büyük oranda alakalıdır. Yeterince küçük negatif voltajda (terslenim bölgesi) ise C ve G/ω değerlerinde dikkate alınacak kadar önemli bir değişim söz konusu olmayıp bu alanda voltajın C ve G/ω değerlerine etkisi hemen hemen hiç yoktur. Ayrıca C-V eğrisinde seri direncin büyüklüğü ve etkisinden dolayı yığılma alanında aşağı doğru bükülme meydana gelmektedir. C-V sonuçlarından alıcı yoğunlaşması (N_a), difüzyon gerilimi (V_d), Fermi enerjisi (E_F), tüketim tabakası genişliği (W_D), engel yüksekliği (Φ_{b0}) ve seri direnç (R_s) parametreleri bulundu.

Nicollian-Brews metoduna (Nicollian, E.H., Brews, 1982) göre Seri direnç (R_s),

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + (\omega C_m)^2} \quad (4.3)$$

Bu denklemde, C_m ölçülen Kapasitans, G_m ölçülen kondüktans ve herhangi bir ön gerilim için $\omega (=2\pi/T)$ açısal frekanstır.

C-V ölçümleri sayesinde öne çıkan birçok elektriksel parametre belirlenebilmekte ve hesaplamaların yapılabilmesi için Mott-Schottky yöntemi (Sellers, 2011) olarak bilinen C^{-2} -V grafiğinin Şekil 4.5(a)' de verildiği gibi çizilmesi gerekmektedir. Şekilde görüldüğü gibi her frekans için verilen ölçümler yaklaşık olarak birbirine paralel olmakla birlikte bazı noktalarda özellikle düşük frekanslarda ara katmandaki malzeme ve yapıdaki olası kirlenmeler nedeniyle doğrusallık bozulmaktadır. Mott-Schottky yaklaşımı ile parametrelerin hesaplanmasında kullanılmak üzere sunulan denklem aşağıdaki gibidir (Batır, 2018); Tükenme bölgesi, C^2 -V grafiğinin doğrusal bir davranışa sahip olmasından birçok diyot parametresi bu denklemden hesaplanabilir.

$$C^{-2} = \frac{2(V_R + V_0)}{q\epsilon_0 N_A A^2} \quad (4.4)$$

Bu denklemde V_R ters öngerilim voltajı, N_A akseptör atomların uyarıcı konsantrasyonu V_0 olabilecek ön gerilimde sıfır voltajı kesme, q elektronik yükü ve ϵ_0 boşluğun dielektrik sabiti olarak tanımlanır. Bu denklemde de görüldüğü üzere şekil, C^2 -V grafikleri her frekans için uygulanan öngerilim voltajı aralığı geniş düz bir çizgi sergiler. Böylece, N_A değeri C^2 -V'nin doğrusal kısmının eğiminden elde edilmiştir.

Doğru ve ters beslemede metal-organik-yarıiletken (MOY) Schottky diyotun alıcı atomları sayısı (N_A), fermi enerji seviyesi (E_F), deneysel olarak difüzyon potansiyeli (V_D), frekansa bağlı engel yüksekliği ($\Phi_{B(C-V)}$) ve tüketim bölgesi genişliği (W_D) gibi elektriksel parametrelerini C^{-2} -V'nin terslenim bölgesi eğimi ve aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir. (Rhoderick,1988) (Sharma, 1984) (Sze, 1981a)(Card, 1971).

$$V_D = V_0 - \frac{kT}{q} \quad (4.5)$$

Burada V_0 ise ters beslemdeki lineer C^{-2} -V grafiğinin eğiminin yatay eksenini kestiği noktadır.

$$N_C = 4.82 \times 10^{15} T^{3/2} \left(\frac{m_e^*}{m_0} \right)^{3/2} \quad (4.6)$$

$$N_A = \frac{2}{q \epsilon_0 A^2} \left[-\frac{1}{d(C^{-2})/dV} \right] = \frac{2}{q \epsilon_s A^2 \tan(\theta)} \quad (4.7)$$

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_C}{N_A}\right) \quad (4.8)$$

$$W_D = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_A}} |V_i - V| \quad (4.9)$$

$$\Phi_{B(C-V)} = V_D + E_F \quad (4.10)$$

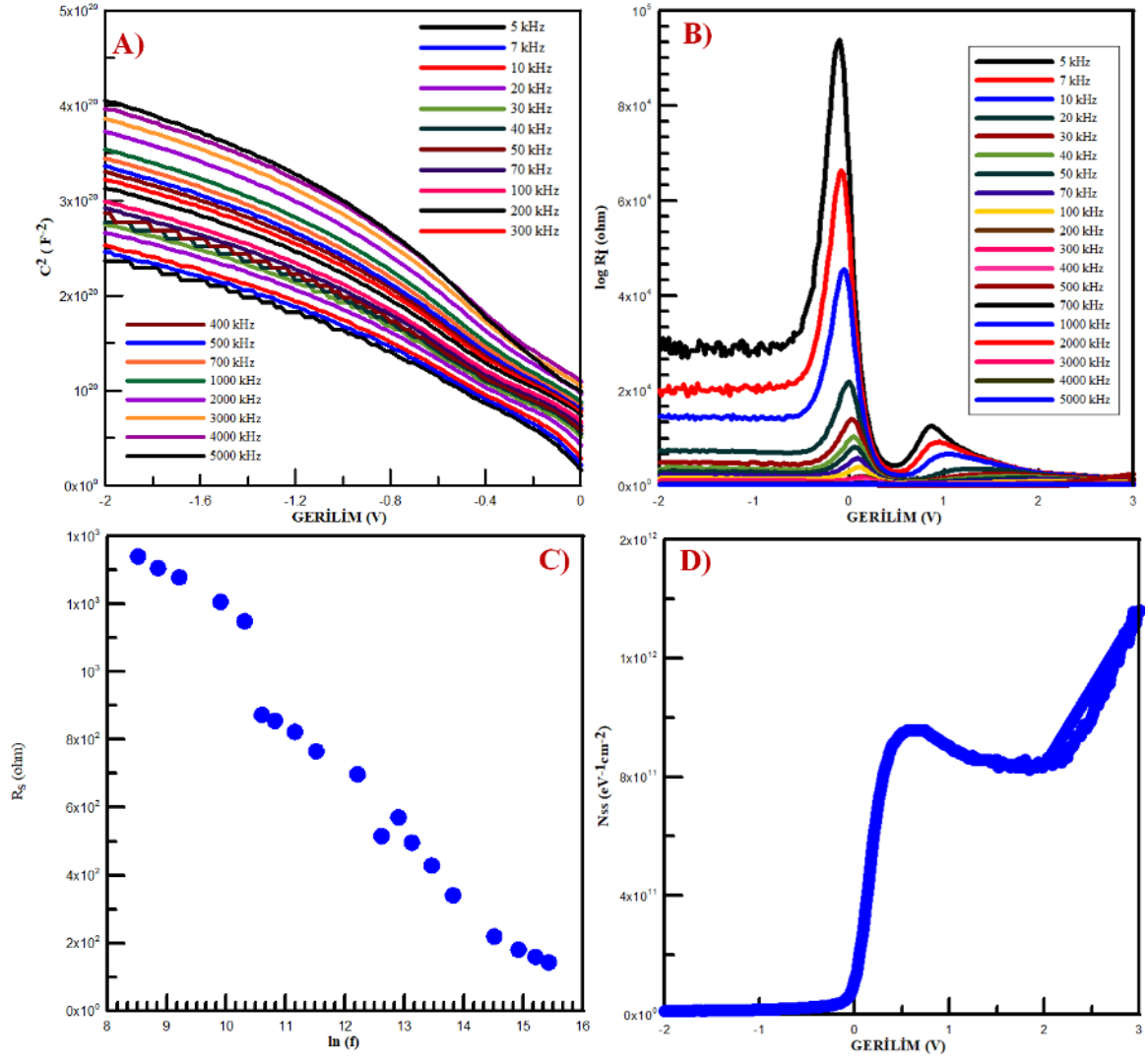
Burada $\left(\frac{m_e^*}{m_0}\right) = 0,55$, N_C iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğu, ϵ_0 ise uzayın geçirgenliğidir ve değeri $8,85 \times 10^{-14}$ F/cm'dir.

Voltaja bağlı arayüzey durumları (N_{SS}),

$$N_{SS} = \frac{1}{qA} \left[\left(\frac{1}{C_{LF}} - \frac{1}{C_i} \right)^{-1} - \left(\frac{1}{C_{HF}} - \frac{1}{C_i} \right)^{-1} \right] \quad (4.11)$$

Bu denklemde düşük-yüksek frekans (C_{LF} - C_{HF})'dır. C_i oksit tabakanın kapasitansı ve q elektronik yüküdür.

C-V ile diyot karakteristiğine bakıldığında diyot kontak aralığında varlığı bilinen uzay yükü alanının öngerilimlenmiş terslenim alanının genişliği ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Tükenim bölgesi olarak adlandırılan bölge, kontağa verilen gerilimi takip eden düşük frekans değerlerinde yüksek pik veren bölgedir. Bu tükenim bölgesindeki pik durumlarını yasak enerji aralığında mevcut arayüzey durumlarının yani arayüzey tabakasının varlığı atfedilmiş olur (Şahinkaya, 2020)



Şekil 4.5 *Stachys lavandulifolia* arayüzeyli doğrultucu yapısının (-2,+3) volt ve (5-5000) kHz frekans aralığında elde edilen (A) C^2 -V grafiği, (B) düşük- yüksek frekans R_i -V grafiği, (C) R_s -ln(f) grafiği, (d) 5 kHz'de N_{ss} -V grafiği

Ayrıca yüksek frekanstan alçak frekansa doğru iletkenlik değerleri azalırken tam tersi iletkenliğin arttığı da elde edilen bir diğer sonuçtur. Kapasitans verilerinin değerlendirilmesi sonucunda yük taşıyıcılarının AC sinyali takip edebilmesinden dolayı kapasitansın düşük frekanslarda daha fazla etkilendiği belirlenmiştir (Chattopadhyey, 1993) (Gupta, 2005) (Farag, 2009). Kapasitans ve iletkenlik eğrilerinde görülen doğrusal olmayan davranış, arayüz durum yoğunluğuna, seri dirence ve metal-yarı iletken yapı arasındaki ara katmanın varlığına atfedilebilir (Wageh, 2018).

Tablo 4.3. *Stachys Lavandufolia* arayüzeyli doğrultucu yapısı için çeşitli frekanslar ile hesaplanan V_D , N_A , E_F , W_D , Φ_{B0} ve R_s değerleri

Frekans (kHz)	V_D (eV)	N_A $\times 10^{-5}$ (cm ⁻³)	E_F (eV)	W_D (cm)	Φ_{B0} (eV)	R_s (Ω)
5	0.48	2,65	0.23	$6,02 \times 10^{-5}$	0.71	1339,93
7	0.53	2,4	0.23	$6,64 \times 10^{-5}$	0.76	1305,59
10	0.56	2,21	0.24	$7,13 \times 10^{-5}$	0.80	1278,31
20	0.62	1,94	0.24	$7,99 \times 10^{-5}$	0.86	1206,12
30	0.65	1,81	0.24	$8,47 \times 10^{-5}$	0.89	1149,01
40	0.67	1,74	0.24	$8,76 \times 10^{-5}$	0.91	872,79
50	0.68	1,69	0.24	$8,96 \times 10^{-5}$	0.92	855,02
70	0.70	1,62	0.24	$9,31 \times 10^{-5}$	0.95	822,76
100	0.71	1,56	0.24	$9,55 \times 10^{-5}$	0.96	765,50
200	0.74	1,45	0.25	0.000101	0.99	697,72
300	0.75	1,38	0.25	0.000105	1.01	515,15
400	0.76	1,34	0.25	0.000106	1.01	570,72
500	0.77	1,31	0.25	0.000108	1.02	496,24
700	0.77	1,26	0.25	0.000111	1.03	428,43
1000	0.79	1,21	0.25	0.000114	1.04	340,82
2000	0.83	1,11	0.25	0.000122	1.08	219,29
3000	0.86	1,04	0.26	0.000129	1.12	180,50
4000	0.90	0,98	0.26	0.000136	1.16	159,79
5000	0.80	1,04	0.25	0.000124	1.06	143,04

Araştırılan parametrelere ait C-V verilerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir. Tabloda verilen sonuçlar, değerlendirilen parametrelerin frekansa bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca bariyer yüksekliği parametresi hem I-V hem de C-V ölçümlerinden elde edilebilmekte olup, her iki yöntem sonucunda elde edilen değerler farklılık göstermektedir. Bu durumun bariyerin düzgünsüzlüğünden kaynaklandığı düşünülmekte olup C-V analizlerinden elde edilen bariyer yükseklik değerinin bariyer yükseklik dağılımının ortalama bir değeri olduğu düşünülmektedir (Batır, 2018).

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Al /p-Si /Stachys Lavandulifolia/Al Schottky diyotunun fabrikasyonu gerçekleştirilip elektriksel özellikleri incelenmiştir. Çeşitli fiziksel uyaranlara bağlı n , Φ_b ve R_s değerleri gibi önemli elektriksel parametreler iki yöntemle hesaplanmış ve sonuçlar literatürle karşılaştırılmıştır. Işığa duyarlılık özelliği, oda sıcaklığında aydınlatma koşulları altında analiz edildi. CV- f ölçümleri ile fermi düzeyi (E_f), bariyer yüksekliği ve akseptör konsantrasyonu (N_A) gibi bazı elektriksel parametreler hesaplandı.

UV- görünür bölge spektrum sonuçları analiz edildi. Yapılan analiz sonucunda absorbans pik değeri 330-340 nm aralığında bulundu. Absorbans pik değerlerinden elde edilen yasak enerji aralığı 3.2 eV olarak elde edildi. Işığa bağlı ölçümlerde fabrikasyonu yapılan diyotun ideallikten saptığı gözlemlendi. Spin döndürme yöntemi ile kullanılarak yapılan kaplama malzemenin kaplamadan sonraki yüzey morfolojisi incelendiğinde yüzeyin pürüzlülük değerinin yaklaşık olarak 0,35 – 0,24 nm olduğu tespit edilmiştir. Ideal bir diyotun idealite faktörü yani $n=1$ olması gerekirken karanlık ve ışık altındaki değerlerin 1 değerinin üstünde olduğu görüldü. Bu çalışmada diyotun ideallığe yakın değeri karanlık ortamdaki ölçümde 1.43 olarak elde edildi.

Yapılan ölçümlerde ışık, frekans gibi dış uyaranların etkileri detaylı olarak incelendi ve veriler farklı hesaplama yaklaşımları kullanılarak analiz edildi. Verilerin değerlendirilmesiyle, değişen frekans ve ışık şiddetleri için büyük önem taşıyan elektriksel parametreler belirlenerek karşılaştırıldı. Işığa bağlı ölçümlerde ışık altındaki ölçümlerde değerlerin ters beslem bölgesinde akım artması ve düz beslem bölgesine kayması sonucunda üretilen cihazın akım iletim mekanizmasının uygulanan her iki dış uyarana da duyarlı olduğu görülmüştür. Elde edilen önemli sonuçlar ışığında üretilen cihazın elektronik ve optoelektronik uygulamalarda kullanılma potansiyelinin yüksek olduğu ifade edilebilir.

KAYNAKÇA

- Al Orainy RH (2014) Electrical characterization of a Schottky diode based on organic semiconductor film. *J. Optoelectron. Adv. Mater*, 16: 793–797
- Ahmad Z (2009) Organik yarı iletken metil kırmızısına dayalı Schottky diyotun elektronik parametrelerinin çıkarılması Fizik. E: Düşük. Boyutlar. Sistem Nanoyapı.
- Shah M (2010) Yüzey tipi bir Al/NiPc/Ag Schottky diyotun elektriksel özelliklerinin I–V ve C–V karakteristikleri kullanılarak incelenmesi Fizik. B: Yoğunlaşır
- Altındal Ş, Tunç T, Yücedag I, Tecimer H. (2014) Electrical and photovoltaic properties of Au/(Ni, Zn)-doped PVA/n-Si structures in dark and under 250 W illumination level. *Mater. Sci. Semicond. Process*, 28: 48–53
- Bayindir S, Yigit E, Akman A, Sevgili Ö, Orak İ, Dayan O (2023). The electrical and photophysical performances of axially-substituted naphthalene diimide-based small molecules as interface layer. *Materials Science and Engineering (B)*.294, 116510
- Coropceanu V, Chen X. K, Wang T, Zheng Z, Brédas J. L (2019). Charge-transfer electronic states in organic solar cells. *Nature Reviews Materials*. 4, 689–707.
- Card HC, Rhoderick EH (1971) Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *Journal of Physics D: Applied Physics* 4(10): 1589
- J. Czochralski (1918) "Ein neues Verfahren zur Messung der Kristallisationsgeschwindigkeit der Metalle [A new method for the measurement of the crystallization rate of metals], *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 92: 219–221.
- Güzel A, (2023) Tüylü Çayın (*Stachys lavandulifolia*) Fitokimyasal Analizi ve Antioksidan, Antikolinesteraz ve Antiaterojenik Aktivitesi. *Iğdır üni. Fen bilimleri Enstitüsü*. 13 (4):2809
- Boming Xie, Zhongxin Chen, Lei Ying, Fei Huang, Yong Cao (2019) Near-infrared organic photoelectric materials for light-harvesting systems: Organic photovoltaics and organic photodiodes. 2(1). 57-9.
- Karataş Ş (2010) Effect of series resistance on the electrical characteristics and interface state energy distributions of Sn/p-Si (MS) Schottky diodes. *Microelectron. Eng*, 87: 1935–1940
- Lee J, Uhrmann T, Dimopoulos T, Bruckl HJF (2010) TEM study on diffusion process of NiFe Schottky and MgO/NiFe tunneling diodes for spin injection in silicon. *IEEE Trans. Magn*, 46:2067–2069

Li Y, Xu G, Li Y (2017) Flexible and Semitransparent Organic Solar Cells. *Advanced Energy Materials*. 8 (7):1701791.

Maity NP, Maity R, Thapa RK, SB (2015) Image force effect on tunneling current for ultra thin High-K dielectric material Al₂O₃ based metal oxide semiconductor devices. *Nanoelectron. Optoelectron*, 10:645–648

Nicollian EH, Brews JR (1982) Metal oxide semiconductor (MOS) physics and technology. New York, 257–264

Orak İ, Ejderha K, Türüt A (2015) The electrical characterizations and illumination response of Co/N-type GaP junction device. *Curr. Appl. Phys*, 15: 1054–1061

Rhoderick RH, Williams EH (1988). *Metal-Semiconductor Contacts*. London: Oxford University Press, 257–267

Sevgili Ö (2020) Au/(Ag-ZnO/PVP)/n-Si (MPS) Schottky engel diyotların hazırlanması ve elektrik ile dielektrik özelliklerinin frekans ve voltaja bağlı incelenmesi / The fabrication of Au/(Ag-ZnO/PVP)/n-Si (MPS) Schottky barrier diodes and the investigation their electrical. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, s.127

Sharma B (1984) *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*. New York: Plenum Press, s.370

Sze S (1981a) *Physics of semiconductor devices* 2nd edition. *Microelectronics Journal*

Şahinkaya, M (2020) Si tabanlı ru(ı) kompleks yapısına alq3 organik bileşiğinin elektriksel ve fotovoltaiik özelliklerini arttırmadaki etkisi. YL Tezi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.93

Uzun İ, Yigit E, Orak İ, Sevgili Ö, Karakaplan M (2023) Synthesis of canthaxanthin from β-carotene and evaluation of both substances in diode construction Published. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 23 (33), 1888–1898

A. Asadzadeh, M. Arashpour, H. Li, T. Ngo, A. Bab-Hadiashar, A. Rashidi (2020) Sensor-based safety management *Autom. Constr.*, 113 (2020), Article 103128,

Y. Tu, C. Kyle, H. Luo, D.W. Zhang, A. Das, J. Briscoe, S. Krause (2020) Ammonia gas sensor response of a vertical zinc oxide nanorod-gold junction diode at room temperature *ACS Sens.*, 5 (11):3568-3575

Ş. Karataş, Ş. Altındal, A. Türüt, M. Çakar (2007) Electrical transport characteristics of Sn/p-Si schottky contacts revealed from I-V-T and C-V-T measurements *Phys. B Condens. Matter*, 392: 43-50

- A. Turut, A. Karabulut, H. Efeoğlu Effect of the Al₂O₃ interfacial layer thickness on the measurement temperature-induced I–V characteristics in Au/Ti/Al₂O₃/n-GaAs structures J. Mater. Sci.: Mater. Electron., 32 (17):22680-22688
- N. Biyikli, A. Karabulut, H. Efeolu, B. Guzeldir, A. Turut Electrical characteristics of Au/Ti/n-GaAs contacts over a wide measurement temperature range Phys. Scr., 89 (9)
- Jayakrishnan R, Gandhi S, Suratkar P (2011) Correlation between solar cell efficiency and minority carrier lifetime for batch processed multicrystalline Si wafers, Mater. Sci. Semicond. Process. 14:223–228
- Kanda H, Uzum A, Harano, N, Yoshinaga S, Ishikawa Y, Uraoka Y, Fukui H, Harada T, Ito S (2016) Al₂O₃/TiO₂ double layer anti-reflection coating film for crystalline silicon solar cells formed by spray pyrolysis. Energy Sci. Eng. 4: 269–276
- A. Türüt (2020) On current-voltage and capacitance-voltage characteristics of metal-semiconductor contacts Turk. J. Phys., 44 (4):302-347
- A. Türüt (2021) Thermal sensitivity from current-voltage-measurement temperature characteristics in Au/n-GaAs Schottky contacts Turk. J. Phys., 45 (5): 268-280
- C.A. Canbay, A.D.E.M. Tataroğlu, A. Dere, A.G. Al-Sehemi, A. Karabulut, A.A. Al-Ghamdi, F. Yakuphanoglu (2021) Electrical, kinetic and photoelectrical properties of CuAlMnMg shape memory alloy/n-Si Schottky diode J. Alloy. Compd. 888
- M. Yilmaz, A. Kocyigit, B.B. Cirak, H. Kacus, U. Incekara, S. Aydoğan (2020) The comparison of Co/hematoxylin/n-Si and Co/hematoxylin/p-Si devices as rectifier for a wide range temperature Mater. Sci. Semicond. Process., 113
- Z. Çaldıran, A.R. Deniz, F. Mehmet Coşkun, Ş. Aydoğan, A. Yeşildağ, D. Ekinici (2014) I–V–T (current-voltage-temperature) characteristics of the Au/Anthraquinone/p-Si/Al junction device J. Alloy. Compd., 584: 652-657,
- Parlak, M., Turan, R., 2011. İnce Film Güneş Gözeleri. Bilim ve Teknik. 54–55
- P. Chattopadhyay, B. Raychaudhuri (1993) Frequency dependence of forward capacitance-voltage characteristics of Schottky barrier diodes Solid State Electron., 36 (4): 605-610
- R.K. Gupta, R.A. Singh (2005) Fabrication and characteristics of Schottky diode based on composite organic semiconductors Compos. Sci. Technol., 65 (3–4): 677-681,
- A.A.M. Farag, I.S. Yahia, M. Fadel (2009) Electrical and photovoltaic characteristics of Al/n-CdS Schottky diode Int. J. Hydrog. Energy, 34 (11): 4906-4913
- S. Wageh, A. Karabulut, A. Dere, A.G. Al-Sehemi, A.A. Al-Ghamdi, F. El-Tantawy, F. Yakuphanoglu (2018) Photodiode based on Pb_{0.9} Cd_{0.1} S ternary alloy semiconductor for solar tracking systems J. Mater. Sci.: Mater. Electron., 29 (19):16880-16893

M.C. Sellers, E.G. Seebauer (2011) Measurement method for carrier concentration in TiO₂ via the Mott–Schottky approach Thin Solid Films, 519 (7): 2103-2110

G.G. Batır, M. Arık, Z. Caldıran, A. Turut, S. Aydoğan (2018) Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide/Rhodamine 101 (rGO-Rh101) Nanocomposites and Their Heterojunction Performance in rGO-Rh101/p-Si Device Configuration J. Electron. Mater., 47:329-336

Kahyaoğlu A. (2021). Klorofil İle Organik Güneş Pili Üretimi Ve Verimliliğinin Artırılması.

Güneş Enerjisi Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji Kitabı -H.H. ÖZTÜRK, D. KAYA

Özmen D. (2015). YMnO₃ ve YCoO₃ Ferroelektrik Malzeme Esaslı Si Tabanlı Fotodiyotların Elektriksel Özellikleri.

Binnig, G., Quate C. F (1986) Gerber, Atomik Kuvvet Mikroskobu. Fizik. Rahip Lett. 56, 930–933 (1986).

Marti, O., Drake, B., Hansma P.K (1987) Sıvı Kaplı Yüzeylerin Atomik Kuvvet Mikroskobu: Atomik Çözünürlük Görüntüler. Başvuru Fizik. Lett. 51, 484 (1987). doi: 10.1063/1.98374

Marti, O., Bushan B(1999) AFM Instrumentation and Tips. İçinde: Mikro/Nanotriboloji El Kitabı, 2. Baskı. s. 81–144

Orak İ. (2013). Saçtırma Yöntemiyle Elde Edilen Co/n-GaP Schottky Diyotların Tavlama Ve Numune Sıcaklığına Bağlı Elektriksel Karakterizasyonu.

Uslu M. M. (2021). Al/SiO₂/p-Si (MIS) Tipi Foto Diyotların Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi.

Çavaş M. (2011). Nano Yapılı Metal Oksit Yarı İletkenlerin Kullanılarak Foto Diyotların Üretilmesi.

Rechinger KH, Hedge IC (1982). Akademische Druck Verlagsanstalt, Graz Avusturya. Flora Iranica; s. 150,359–361,365.

Andalib S, Vaseghi A, Vaseghi G, Motavallian Naeini A (2011). Uykusuzluğun tedavisinde kullanılan İran geleneksel şifalı bitkilerinin sadatıf ve hipnotik etkileri. *EXCLI J.* 2011; 10 :192–197.

Mahzooni-kachapi SS, Mahdavi M, Roozbeh-nasira'ei L, Akbarzadeh M, Rezazadeh F, Motavalizadehkakhky A (2012). *Stachys lavandulifolia* Vahl'in uçucu yağlarının antimikrobiyal aktivitesi ve kimyasal bileşimi. Mazandaran'dan. *İran J Med Tesisleri Arş*; 6 :4149–4158.

Nabavizade F, Alazadeh AM, Adeli S, Golestan M, Kamalinejad M (2011). Deneysel mide ülseri üzerinde *Stachys lavandulifolia* ekstraktının gastroprotektifi. *Afr. J Pharm Pharmacol*; 5 :155–159.

Ghasemi Pirbalouti A (2011). Malvasylvestris ve *Stachys Lavandulifolia* ekstraktlarının yara iyileştirme aktivitesi. *Uluslararası J Biol.* 2011; 3 :55–62.

Shi Y. S (2023). Naftalindiimid bazlı fotokromik MOF'ler: Radikal oluşum üzerine yapı görselleştirmesi ve mor ışık tespiti, mürekkepsiz baskı ve sahteciliğe karşı uygulamalar *J. Chem. Müh.*

Göktaş Ö. F. (2018). Al Katkılı n-ZnO/p-Si Heterojonksiyon Foto Diyotun Işığa Duyarlılık Performansının İncelenmesi.

Yağci Ö. (2011). Organik Tabanlı Güneş Pillerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu.

Canlı S. (2018). Silisyum tabanlı Alq₃ arayüzeyli Foto Diyotların Elektriksel ve Optiksel incelenmesi. Bingöl Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü. Yüksek lisans tezi.

Çaldıran Z. (2017). Fe₃O₄ Nanoparçacık ve mpg-C₃N₄ Nanokompozit Katkılı P3HT: PCBM Tabanlı Organik Güneş Pillerinin Fabrikasyonu, Optik, Morfolojik, Yapısal Ve Elektriksel Karakterizasyonu.

İ. Orak, A. Karabulut (2020) Frequency and voltage dependence of electrical conductivity, complex electric modulus, and dielectric properties of Al/Alq₃/p-Si structure *Turk. J. Phys.*, 44: 85-94

Orak İ (2017) Hazırlanan atomik katman biriktirme tekniği ile ZnO/n-Si fotodiyotun yüzey morfolojisi özellikleri ve yanıt aydınlatma etkisi. *J. Alışimler Compd.*

Jia X (2021) Düşük optik güce sahip görünür ışığın algılanması için dahili amplifikasyona sahip organik fotodetektör Organizasyon Elektron.

Turgut G, Keskenler E F, Aydın S, Sönmez E, Doğan S, Düzgün B, Ertuğrul M (2013) Effect of Nb doping on structural, electrical and optical properties of spray deposited SnO₂ thin films. *Superlattices Microstructure*, 56: 107–116

R. Bhattacharjee, *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, *Stachys L.*, Edinburgh University Pres., Edinburgh, 1982.