

KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE 'BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ' KONUSUNDA YAPILMIŞ
TEZLERİN DERLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Nur YILDIRIM

Fizik Anabilim Dalı

Şubat, 2024

KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE 'BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ' KONUSUNDA YAPILMIŞ
TEZLERİN DERLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Nur YILDIRIM
190801021

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İsmail ARSEL

ŞUBAT 2024

TEZ ONAYI

Fatma Nur YILDIRIM tarafından hazırlanan TÜRKİYE’DE ‘BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ’ KONUSUNDA YAPILMIŞTEZLERİN DERLEMESİ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman:

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ARSEL

Jüri Üyeleri

İmza:

Unvanı, Adı ve Soyadı
Dr. Öğr. Üyesi İsmail ARSEL

Unvanı, Adı ve Soyadı
Dr. Öğr. Üyesi Emel ECE

Unvanı, Adı ve Soyadı
Prof. Dr. Aşır GENÇ

Unvanı, Adı ve Soyadı

Unvanı, Adı ve Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 01/02/2024

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Murat MAYDA
Enstitü Müdürü



BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

(İmza)

Fatma Nur YILDIRIM



ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başlamama vesile olan, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübesi ile yol gösteren, gerekli koşulları sağlayan ve maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi İsmail ARSEL'e, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Emel ECE'ye ve manevi desteklerinden dolayı sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2024

Fatma Nur YILDIRIM



İÇİNDEKİLER

Sayfa

1.	GİRİŞ.....	23
2.	KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
2.1	Güneş Pillerinin Tarihçesi ve Yapısal Özellikleri.....	25
2.1.1	Güneş pillerinin tarihsel gelişimi	25
2.1.2	Güneş pilleri ve yapısal özellikleri.....	26
2.2	Güneş Pili Çeşitleri.....	33
2.2.1	Kullanılan kristalin cinsine göre güneş pili.....	34
2.2.1.1	P-N homoeklemlı güneş pili.....	35
2.2.1.2	P-N heteroeklemlı güneş pilleri	37
2.2.1.3	Amorf silisyum güneş pilleri.....	41
2.2.2	Tarihsel gelişim sırasına göre güneş pili.....	44
2.2.2.1	BNGP	44
2.2.2.2	İNGP	44
2.2.2.3	ÜNGP.....	45
2.2.2.4	DNGP.....	47
2.3	BDGP ve Bileşenleri	47
2.3.1	İletken camlar.....	48
2.3.2	Yarı iletken elektrot.....	50
2.3.2.1	Katkısız yarı iletkenler	50
2.3.2.2	Katkılı yarı iletkenler	51
2.3.3	Elektrolit.....	52
2.3.4	Karşı elektrot.....	53
2.4	BDGP Çalışma Prensibi	55
2.4.1	BDGP'nin verimini etkileyen faktörler.....	56
2.5	Güneş Enerji Potansiyeli	56
2.5.1	Dünya'da güneş enerji potansiyeli	56
2.5.2	Türkiye'de güneş enerjili potansiyeli.....	58
2.5.3	Güneş enerjisi avantajları ve dezavantajları.....	61
2.6	Güneş Pili Sistemi ve Kullanım Alanları	61
3.	METHERYAL VE METOT	65
3.1	Boya	65
3.1.1	Porfirin	65
3.1.2	Ftalosiyanın	66
3.1.3	Kumarin.....	67
3.1.4	Konjuge polimer.....	67
3.1.5	Perilen	68
3.2	Boyanın Özellikleri	68
3.3	Sensör Boyalar	69
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	71
4.1	Türkiye'de Yapılan Tezler ve Örnek Uluslararası Makaleler	71
5.	SONUÇ	89
6.	KAYNAKLAR.....	91



KISALTMALAR

BDGP	: Boya Duyarlı Güneş Pilleri
Si	: Silisyum
Eg	: Enerji aralığı
e⁻	: elektron
FF	: Dolum Faktörü
GaAs	: Galyum Arsenik
CdTe	: Kadmiyum Tellür
CuInSe₂	: Bakır İndiyum Diselenür
Ge	: Germanyum
Al	: Alüminyum
B	: Bor
Ga	: Galyum
As	: Arsenik
O	: Oksijen
P	: Fosfor
CdS	: Kadmiyum Sülfür
Cu₂S	: Bakır Sülfür
Au	: Altın
Ag	: Gümüş
Te	: Tellür
CSS	: Yakın mesafeden buharlaştırma
TCO	: Şeffaf İletken Kalay Oksit
a-Si	: Amorf Silisyum
a-Si:H	: Hidrojen katkılı amorf silisyum
BNGP	: Birinci Nesil Güneş Pili
İNGP	: İkinci Nesil Güneş Pili
ÜNGP	: Üçüncü Nesil Güneş Pili
DNGP	: Dördüncü Nesil Güneş Pili
ZnCdS	: Çinko Kadmiyum Sülfür
OGP	: Organik Güneş Pilleri

ITO	: İndiyum katkılı Kalay Oksit
PEDOT:PSS	: Poli 3-4 etilen dioksi tiyofen:poli stiren sülfonat
FTO	: Flor katkılı Kalay Oksit
TiO₂	: Titanyum dioksit
HOMO	: En Yüksek Dolu Moleküler Orbital
LUMO	: En Düşük Boş Moleküler Orbital
ON-GRID	: Şebekeye Bağlı Elektrik Enerjisi Sistemi
OFF-GRID	: Şebekeden Bağımsız Elektrik enerjisi Sistemi
Ru	: Rutenyum
BEGP	: Boya Esaslı Güneş Pili
Pv	: Fotovoltaik
Ü	: Üniversite

SEMBOLLER

W/m²	: Watt/metreka
kWh/m²	: Kilowatt*saat/metreka
ABD \$/Wp	: Amerika Birleşik Devletleri Dolar cinsi maliyet
η	: Verim
eV	: Isı Miktarı
mV	: Moment Bileşenleri
P_{out}	: Güç çıkışı
P_{in}	: Güç girişi
V	: Voltaj
I	: Akım
E_{yap}	: Elektrik alan
S	: Boya
S*	: Uyarılmış Boya
I/I₃	: İyodür/ Triiyodür
I	: İyodür
I₃	: Triiyodür



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Fotovoltaik panel şeması.	25
Şekil 2.2: Güneş Pili şeması.	27
Şekil 2.3: I-V eğrisi ile FF hesaplaması.	29
Şekil 2.4: Güneş enerjisi üretim akım şeması.	29
Şekil 2.5: Diyot gösterimi.	30
Şekil 2.6: P-tipi ve N-tipi diyot gösterimi.	31
Şekil 2.7: N-tipi yarı iletken şeması.	31
Şekil 2.8: Elektron hareketi gösterimi.	31
Şekil 2.9: P-tipi yarı iletken şeması.	32
Şekil 2.10: Oyuk hareketi gösterimi.	32
Şekil 2.11: Güneş Pili Çeşitleri Şeması.	33
Şekil 2.12: Güneş pili çeşitleri.	34
Şekil 2.13: Kristalin cinsine göre güneş pili şeması.	34
Şekil 2.14: Homoeklemlı güneş pilleri anot-katot elektron geçişi.	35
Şekil 2.15: Dökme yöntemi ile oluşturulan ürün.	37
Şekil 2.16: İki katmanlı heteroeklem organik güneş pili şemaları.	38
Şekil 2.17: N-CdS/P-Cu ₂ S Pillerinin şematik kesit görünümü.	38
Şekil 2.18: N-CdS/P-Si güneş pili ve yapımı.	40
Şekil 2.19: N-CdS/P-CdTe güneş pili şematik gösterimi.	41
Şekil 2.20: a-Si ve a-Si:H molekül kristal yapısı.	42
Şekil 2.21: a-Si:H molekül gösterimi.	42
Şekil 2.22: a-Si güneş pili çeşitleri.	42
Şekil 2.23: a-Si güneş pillerinin kristal yapı görünümü.	43
Şekil 2.24: Tarihsel gelişim sırasına göre güneş pili şeması.	44
Şekil 2.25: Perovskit güneş pilleri.	47
Şekil 2.26: FTO örnekleri.	47
Şekil 2.27: BDGP yapısının gösterimi.	48
Şekil 2.28: TCO örneği.	49
Şekil 2.29: (a) Ge kristalinde atomlar arası bağların gösterimi ve (b) yarı iletken malzemede e-h çifti oluşumu.	51
Şekil 2.30: BDGP’de karşıt elektrotların gösterimi.	54
Şekil 2.31: BDGP çalışma prensibi.	55
Şekil 2.32: BDGP’nin çalışma şablonu.	55
Şekil 2.33: BDGP’nin çalışma yönteminin gösterimi.	56
Şekil 2.34: Dünya güneş enerjisi haritası.	58
Şekil 2.35: Türkiye’nin güneş enerji potansiyelinin haritası.	59
Şekil 2.36: Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m ² -gün).	59
Şekil 2.37: Türkiye güneşlenme süreleri (Saat).	59
Şekil 2.38: ON-GRID ve OFF-GRID sistemleri.	62
Şekil 3.1: Ru türevinin yüksek verime sahip ticari boyaları.	65

Şekil 3.2: Pirol halkası.	66
Şekil 3.3: Porfirin halkasının gösterimi.	66
Şekil 3.4: Sübstitüe ftalosiyanınların sentez yöntemleri ve ftalosiyanın öncü bileşikleri.	67
Şekil 3.5: Kumarin halkası.	67
Şekil 3.6: Konjuge polimer bağ yapısı.	68
Şekil 3.7: Perilen (C ₂₀ H ₁₂) molekülü.	68
Şekil 3.8: OGP’lerde kullanılan boyaların genel yapıları.	69
Şekil 4.1: Tüm Tezler.	82
Şekil 4.2: Boya ile yapılmış Güneş Pili ve Güneş Pilleri Tez sayıları.	82
Şekil 4.3: Üniversitelerde yapılan tez sayılarının dağılımı.	83



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Türkiye'nin aylık toplam güneş enerji potansiyeli (EİE, 2019).	60
Tablo 2.2: Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.	60
Tablo 4.1: Üniversitelerde yapılan tez sayılarının dağılımı.	71
Tablo 4.2: Uluslararası yayınlanan derleme makale dağılımı.	84





ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE’DE ‘BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ’ KONUSUNDA YAPILMIŞ TEZLERİN DERLEMESİ

Fatma Nur Yıldırım

**Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmail ARSEL

Şubat, 2024, 68 sayfa

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, güneş ışığını oluşturan fotonların enerjilerini güneş pillerini oluşturan malzemenin atomlarındaki elektronlara aktarmasıyla oluşan potansiyel farkının elektrik enerjisine çevrilmesiyle oluşur. Güneş pillerinin dezavantajı ise enerji üretim maliyetinin oldukça yüksek olmasıdır. Bu dezavantajdan kurtulmak amacıyla, araştırmalar polimer ve boyar maddeli yapay fotosentez yapabilen sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Boyar maddeli güneş pillerinin kıvılcığı bölgede de verimlidir. Bu durum, onları kapalı havalarda ve iç mekanlarda da kullanılabilir hale getirmektedir.

Bu hedef doğrultusunda, Ulusal Tez Merkezinde verilen bilgiler taranmıştır. 1986-2023 yılları arasında BDGP konusunda 90 tez olduğu belirlenmiştir. Bu tezler; tez adı, tez konusu, tez amacı, yöntem, materyal ve sonuçlar kısımları incelenerek BDGP konusunda yapılan tezlerin yılı, üniversitesi, tez adı, amacı ve bulguları tablo halinde belirtilmiştir. Amaçları/sonuçları, yıl ve üniversite bazında gruplandırılarak istatistiksel veriler tamamıyla ve kapsamlı bir şekilde ilk kez literatüre sunulmuştur. Böylelikle, konuyla ilgili yapılacak yeni çalışmalara sağlıklı bir zemin hazırlanmış ve araştırmacılara ışık tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Boya duyarlı güneş pilleri (BDGP), yenilenebilir enerji, fotovoltaik etki.



ABSTRACT

Master's Thesis

**A COMPILATION OF THESES MADE IN TURKEY ON THE TOPIC OF
'DYE SENSITIVE SOLAR CELL'**

Fatma Nur Yıldırım

**Karamanoğlu Mehmetbey University
Institute of Science and Technology
Department of Physics**

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi İsmail ARSEL

Month, 2024, 68 pages

Electricity production from solar energy happens by transferring the energy of the photons that make up sunlight is transferred to the electrons in the atoms of the material that makes up the solar cells. The disadvantage of solar cells is that the energy production cost is quite high. In order to get rid of this disadvantage, research has focused on systems that can perform artificial photosynthesis using polymers and dyes. Dye solar cells are also efficient in the infrared region. This makes them usable both indoors and outdoors.

In line with this goal, the information provided at the National Thesis Center was scanned. It was determined that there were 90 theses on DSSC between 1986-2023. These theses; By examining the thesis name, thesis subject, thesis purpose, method, material and results sections, the year, university, thesis name, purpose and findings of the theses on DSSC are stated in a table. The aims/results were grouped by year and university and statistical data were presented completely and comprehensively to the literature for the first time. Thus, a healthy basis was prepared for new studies on the subject and shed light on researchers.

Keywords: Dye sensitized solar cells (DSSC), renewable energy, photovoltaic effect.



1. GİRİŞ

Dünyada canlı yaşamı varlığını yaklaşık 150 milyon kilometre uzaklıktaki sarı cüceye borçludur. Bu sarı cüce: Güneş, sistemimizin tek yıldızıdır, sürekli olarak değişir ve uzaya enerji yayar. Güneş, kendi yerçekimi tarafından bir arada tutulan devasa bir hidrojen ve helyum topudur, yaydığı enerjinin kaynağı da bu hidrojenlerin helyuma dönüşüm reaksiyonlarında açığa çıkan kütle farkıdır.

Güneş devasa bir enerji kaynağıdır, öyle ki ürettiği enerjinin çok küçük bir kısmı (yaklaşık $10^{-9}/2$) dünyaya ulaşmaktadır. Bu miktar Güneşin kendisi için çok küçük olsa da dünyamız için şu an kullanılan toplam enerji miktarından oldukça fazladır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan güneş ışıınım değeri yaklaşık olarak 1367 W/m^2 'dir ve bu değerin yer yüzeyine ulaşan kısmı yaklaşık ortalama 1100 W/m^2 'dir. Günümüzde güneş enerjisi yalnızca verimli bir yenilenebilir enerji kaynağı olması açısından değil ayrıca çevre dostu ve görece düşük maliyetli oluşu sebepleriyle de en önemli alternatif enerji kaynağı olarak kabul görmektedir. Nitekim, yenilenebilir enerji kaynakları araştırmalarında güneş enerjisi çalışmaları öncelikli başlıklardan biri haline gelmiştir.

2640 saat ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi ve 1311 kWh/m^2 yıl ortalama ışıınım şiddeti ile ülkemiz, güneş enerjisi verimi açısından oldukça iyi bir coğrafi konumda bulunmaktadır (**Batur, 2011**). Bu durum dünyadaki trendlere paralel olarak ülkemizde de güneş enerjisi konulu çalışmaları popüler ve öncelikli alanlar içerisine sokmuştur.

Bu tez çalışmasında, ülkemizdeki Boya Duyarlı Güneş Pili (BDGP) konulu çalışmaların kendi içinde ve dünya trendleriyle karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla Ulusal Tez Merkezinde basılan BDGP konusuyla alakalı tez çalışmaları incelenmiştir. BDGP konusunda günümüze kadar yapılan tüm tezler: amaçları/sonuçları, yıl ve üniversite bazında gruplandırılarak istatistiksel veriler tamamıyla ve kapsamlı bir şekilde ilk kez literatüre sunulmuştur. Böylelikle, konuyla ilgili yapılacak yeni çalışmalara sağlıklı bir zemin hazırlanmış ve araştırmacılara ışık tutulmuştur.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

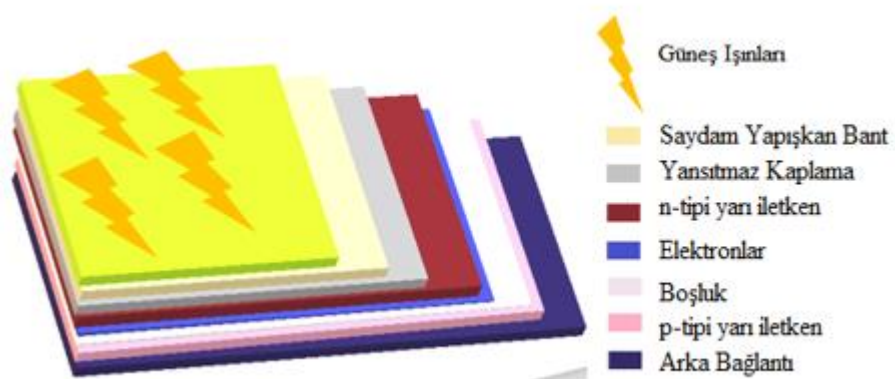
2.1 Güneş Pillerinin Tarihçesi ve Yapısal Özellikleri

2.1.1 Güneş pillerinin tarihsel gelişimi

Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi Fotovoltaik prensibine dayanmaktadır. Fotovoltaik terimi; Yunancada ışık anlamına gelen ‘photo’ kelimesiyle pilin mucidi olan Alessandro Volta’ya ithafen ‘voltaic’ kelimelerinin bir araya getirilmesiyle oluşarak literatüre girmiştir (Würfel, 2005).

Fransız Fizikçi Alexandre Edmond Becquerel 1839 yılında fotovoltaik etkiyi ilk keşfeden bilim insanı olmuştur. William G. Adams ve Richard E. Day tarafından 1876 yılında silikon olarak da tabir edilen Silisyum (Si) kristalleri bulunmuş, ardından 1905’te fotovoltaik etkiyi daha anlaşılır bir biçimde ifade etmiştir. Bu son ilerleme Albert Einstein’a 1921 yılında Nobel Fizik Ödülünü kazandırmıştır.

Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson Bell Telefon Laboratuvar’larında 1950 yılında Si hücrelerinin verimi %6 olarak belirlenmiştir. Zaman içerisinde Si kristallerine ilgi giderek artmıştır ve ilk teknik uygulama imkanını 1954 yılında ‘Vanguard 1’ uydusu ile uydu teknolojisinde bulmuştur. Bu gelişmeyi takiben 1960-1970 yıllarında havacılık sektörü fotovoltaik hücrelerin gelişiminde öncü olmuştur ve Şekil 2.1’de Güneş Pili şeması gösterilmiştir (Kazmerski, 2006; Nelson, 2003).



Şekil 2.1: Fotovoltaik Panel şeması.

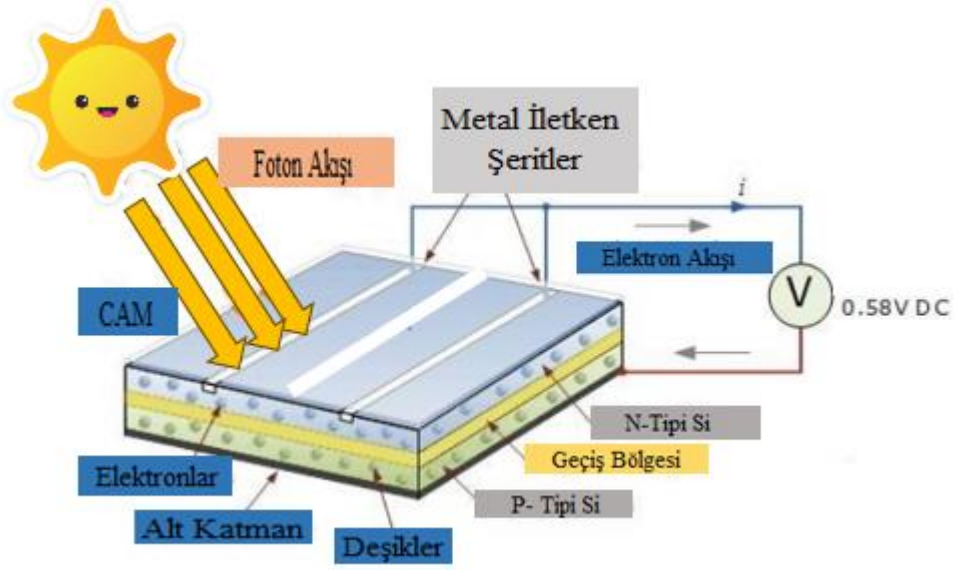
Güneş enerjisinden elektrik üretimi, daha basit ifadeyle güneş ışınlarının etkisiyle 1990'lı yıllarda fotovoltaiklere ilgi arttı ve fosil yakıtlara alternatif elektrik kaynaklarının güvence altına alınması ihtiyacına ilişkin farkındalık arttı. 1990'ların

sonlarında fotovoltaik üretimi yılda %15-25 oranında arttı ve bu da maliyette bir düşüşe yol açtı (**Anderson, 2001**). Maliyetlerin düşmesinin satış fiyatlarına yansımalarıyla yeni pek çok alanda uygulama imkânı bulmaya devam etmektedir.

2.1.2 Güneş pilleri ve yapısal özellikleri

Basitçe ifade etmek gerekirse güneş enerjisinden elektrik üretimi, güneş ışığının etkisiyle oluşan potansiyel farkının elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu tür sistemlerde kullanılan malzemelerin katkılı yarı iletken özelliklere sahip olması gerekmektedir. Sistemde kullanılan yarı iletken malzemelerin oldukça geniş bir yelpazedeki güneş enerjisini absorbe etmesi gerekmektedir. Absorblanan enerji, farklı katkılı yüzeyler arasında bir voltaj farkı yaratarak mevcut elektrik enerjisinin kullanılmasına olanak tanır. En yaygın kullanılan yarı iletken malzeme saf Si maddesidir.

Si güneş pillerinin çalışma prensibine bakıldığında: Enerji aralığı (Eg) ile ayrılmış iki enerji bandı yarı iletken bir malzeme oluşturur, bu bantlar "değerlik bandı" ve "iletkenlik bandı" olarak adlandırılır. Bu Eg'na denk ya da daha büyük bir enerjiye sahip bir foton bir yarı iletken tarafından absorblandığında, bu enerji değerlik bandındaki bir elektron (e^-) tarafına verilir ve e^- 'un iletim bandına geçmesine neden olur. Böylelikle elektron-deşik çiftleri meydana gelir. Bu durum bir P-N eklemli güneş pilinin arayüzünde meydana geldiğinde, oradaki elektrik alanı elektron-deşik çiftlerini birbirinden ayırır. Bu şekilde güneş pili bir pompa gibi davranarak e^- 'ları N bölgesine, deşikleri de P bölgesine iter. Ayrılan elektron-deşik çiftleri, güneş pilinin sonunda kullanılabilir bir güç çıkışı üretir. Pil yüzeyine tekrardan başka bir foton çarptığında süreç aynı şekilde devam eder. Üretim sırasında pilin ön tarafında çok sayıda statik alan oluşturulur ve bu alan bu e^- 'ları serbest bırakır. Normalde farklı elementler silikon kristaline katkılanır ve Si kristalde bu elementlerin varlığı kristalin elektriksel dengesini bozar. Işığa maruz kalan malzemelerde bu atomlar dengesizleşerek serbest e^- 'ların pilin yüzeyine ve diğer pillere doğru hareket etmesine veya şarj olmasına neden olur. Milyonlarca foton pilin içine akarken, enerji kazanarak bir sonraki seviyeye geçen elektronlar da pilin içindeki elektrostatik bölgeye akar ve sonra pilden çıkar (**Green, 1995; Knobloch ve Voss, 1998; Nelson, 2003, Altaş, 1999; Tekerek, 2009**). Şekil 2.2'de güneş pili şemasının görünümü görülmektedir.



Şekil 2.2: Güneş Pili şeması.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren üniteler ve modüllerden bir kısmında 1980’li yılların ilk yarısında dayanıklılık problemleri ile karşılaşmış fakat, bu problemler giderilmiştir ve nihayetinde bu ünite ve modüllerin büyük bir kısmı günümüzde sağlıklı bir şekilde işlevsel durumdadır. Bu alanda uzmanlaşmış üretici firmalar, oluşturdukları modüllerin 10-20 yıl süre kullanılabilir olmalarını belirtirler. Birçok üretici firma üretmiş oldukları fotovoltaik sistemlerin en az on yıl kullanılabilir olduğuna garanti vermektedir. Amorf sistemler de ise garanti süresi 2-3 yılları aralığında belirtilmektedir (Gratzel ve O’Regan, 1991).

1970’li yıllarında oldukça fazla maliyetle üretilen, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren Si tabanlı güneş pili ünitelerin fiyatları giderek azalmıştır. 1990’lı yıllarda kristal Si modül siparişlerinde, fabrika çıkış fiyatı yaklaşık 2,00-3,00 ABD \$/Wp dolaylarındadır. Sistemin monte edilmiş (kurulum) fiyatları, taşıma ve işçilik maliyetleri, kâr hadleri, siparişin büyüklüğü ve bir sürü diğer faktörlere bağlılığı sebebiyle 4,00-5,00 ABD \$/Wp’den aşağı olması mümkün olmamaktadır. Genellikle kırsal alanlardan gelen, az siparişler için, fiyatlar 10,00 ABD \$/Wp’ın üzerinde olmaktadır. Si modüler sistemlerin bakım ihtiyaçları oldukça kolaydır. Sistemlerin sürekli çalışabilirliğinin sağlanması için yapılması gereken temel bakım, modüler yüzeylerin oldukça temiz tutulmasıdır. Yüzeydeki küçük bir kirlenmiş bölgenin dahi elektrik akımının maksimum verimini %50’ye kadar düşmesine neden olmaktadır (Gratzel ve O’Regan, 1991).

Üretilen sistemin cazip olması gibi avantajının yanı sıra, sistemin üretim maliyetinin bir hayli yüksek olması durumu dezavantajdır. Bu dezavantajdan kaynaklı olarak araştırmacılar daha ucuz yöntemler bulmaya teşvik edilmektedirler. Bu doğrultuda araştırmalar bilim insanlarınca polimer ve boyar maddeli yapay fotosentez yapabilen sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır **(Spanggaard ve Krebs, 2004)**.

Michael Gratzel ve Brian O'Regan 1991 yılında Ecole Polytechnique Federale de Lausanne araştırma merkezinde ilk defa boyar maddeli güneş pilleri bulunmuştur **(Gratzel, 2003)**. Si matrisli güneş pillerinin tersine bu yeni tip güneş pilleri çok fazla safsızlık istememeleri sebebiyle, Si matrisli güneş pillerinde kullanılan temiz oda teknolojisinin maliyetinden muaf olmuş ve böylece bu tarz hücreler ucuz güneş hücreleri olarak anılmaya başlanmıştır.

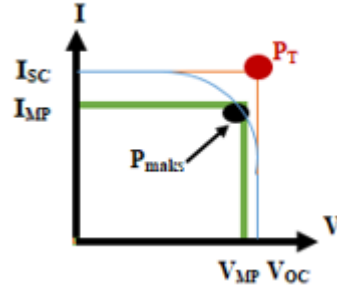
Ayrıca bu tarz sistemlerin çok fazla saf malzemelerden üretilmemesi sonucu sistemin kararlılığının uzatıldığı belirlenmiş ve bu durum 'ucuz üretim, uzun kullanım' olarak adlandırılmıştır **(Gratzel, 2003; Sastrawan, 2006)**.

Genel olarak, boyar maddeli güneş pillerinin zayıf ışık altında da düzgün bir performans göstermeleri onları kapalı havalarda veya iç mekanlarda da kullanılabilir hale getirmektedir **(Gratzel, 2003)**. Yine de verimlerinin halen maksimum %7-%11 civarında olması, bu sistemlerin büyük ölçekli üretimlerinin önündeki en önemli dezavantajdır **(Green ve diğerleri, 2009)**.

Yarı iletken maddeden oluşan fotovoltaiik modüllerin yüzey alanlarına düşen güneş ışınları elektrik enerjisine dönüşmesiyle güneş pili olarak kullanılmaktadır. Yüzeyleri farklı boyutlarca tasarlanabilen panellerin kullanımda en çok tercih edileni dikdörtgen şeklindeki olanıdır ve sonrasında sırayla kullanımda tercih edilen kare ve oval şeklindeki boyutlardır. Güneş pillerinin çalışma şartları fotovoltaiik özelliğe sahip olan ve verimlilikleri (η) güneş ışın şiddetleri, güç çıkış (P_{out}), güç giriş (P_{in}), voltaj (V), akım (I) ve dolum faktörü (FF) ile alakalıdır. Aşağıda ki denklemde η hesaplanması formül olarak, FF hesaplanması ise hem formül hem de Şekil 2.3'de de I - V eğrisi ile gösterilmiştir.

$$\eta = P_{max} / P_{in} = I_{SC} \times V_{OC} \times FF / P_{in}$$

$$FF = P_{max} / P_T = I_{MP} \times V_{MP} / I_{SC} \times V_{OC}$$



Şekil 2.3: I-V eğrisi ile FF hesaplaması.

Güneş panellerinden (fotovoltaik pillerden) elektrik enerjisi elde edilmesi pratik anlatımla; güneşten çıkan ışınları pillerin yüzeyine gelmesi pil uçlarında elektrik geriliminin oluşmasıdır. Gelen güneş ışınlarının fotovoltaik panellerde bulunan yarı iletken maddelerdeki etkileşimiyle elektrik üretimi gerçekleşir. Güneş enerji sistemlerinde pillerin birbirlerine seri ve paralel bağlanmaları ile güç çıkışındaki artış mümkün hale gelir. Böylelikle pillerin birbirlerine bağlanmasıyla fotovoltaik modüller oluşturulur ve bu modüle güneş modülü ya da fotovoltaik modül adı verilmiştir. Aşağıda Şekil 2.4’de güneş enerjisi üretim akım şeması gösterilmiştir.



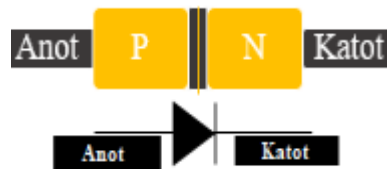
Şekil 2.4: Güneş enerjisi üretim akım şeması.

Güneş pilinin oluşturulmasında yarı iletken özellikli maddeler kullanılmaktadır. Kristal Si, amorf Si, germanyum (Ge), galyum arsenik (GaAs), kadmiyum tellür

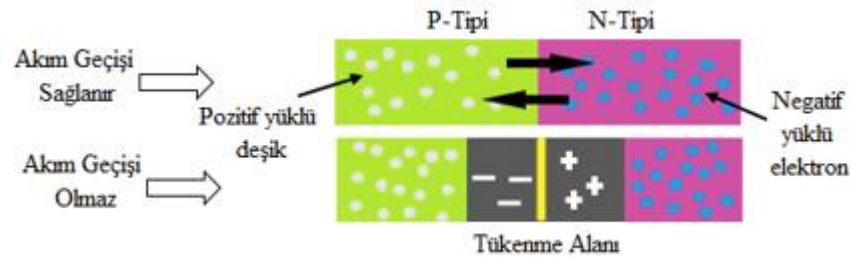
(CdTe) ve bakır indiyum diselenür (CuInSe₂) güneş pillerinin yapımında en fazla tercih edilen yarı iletken özellikli maddelerden bir kısmıdır. Yarı iletken matris temelli oluşturulan tüm güneş pillerinde iletkenliği arttırmak üzere P-tipi ya da N-tipi iletken katkılanması yapılır. Katkılanmanın özellikleri pilin verimliliğini doğrudan belirleyen ana etkidir (**Tuna, 2014**).

Güneş pillerinin çalışması fotovoltaiik sistemlerle benzerlik göstermektedir. Yani, güneş pillerinin üzerine gelen güneş ışığı uç kısımlarda elektrik gerilimi meydana getirmektedir. Fotovoltaiik hücrenin üzerine düşen güneş ışınlarının enerjisini elektrığe dönüştürmesi işlemin fotovoltaiik etki olarak tanımlanabilir. Açıklamak gerekirse, fotovoltaiik etki; fotonların yarı iletken malzemenin yüzeyine gelmesi ile atomlardaki e⁻lar serbest hale geçmesi sonucunda meydana gelir. Güneş ışınımı, enerji yüklü fotonların bir araya gelmesi sonucu oluşur ve her bir fotonun dalga boyunun farklı olması durumundan dolayı fotonlar farklı miktarlarda enerjiye sahiptirler. Fotovoltaiik hücreye soğurulan bir kısım fotonlardan geriye kalan fotonlar da hücrenin içinden geçmektedir. Hücrenin absorbe ettiği fotonlar elektrik enerjisi üretimi meydana getirmektedir. Absorbe edilen fotonların enerjisi, yarı iletken özelliğe sahip olan malzemenin atomunda bulunan elektrona aktarılır. Bu sayede üretilen yeni bir enerji ile de e⁻, elektrik devresindeki atoma bağlanabilmek için yarı iletkendeki atomdan kurtulma özelliğine sahip olur (**Öztürk, 2008**).

- ✓ **Diyot;** N -tipi özellikteki yarı iletken madde ile P-tipi özellikteki yarı iletken maddenin birleşiminden oluşan tek yönde akım iletici devre elemanıdır. Akım, direncin yetersiz olduğu yöne doğru gerçekleşir ve bu durum ‘doğru yön’ olarak adlandırılır. Şekil 2.5’de diyot gösterimi ve Şekil 2.6’da P-tipi ve N-tipi diyot gösterimleri verilmiştir.

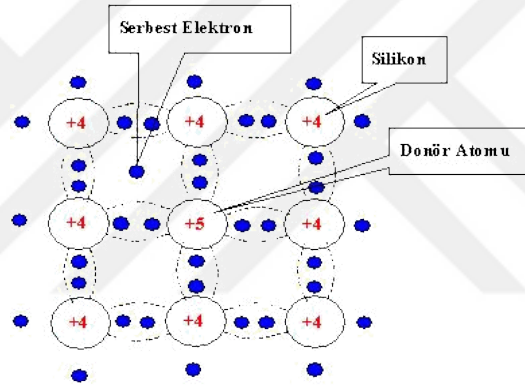


Şekil 2.5: Diyot gösterimi.

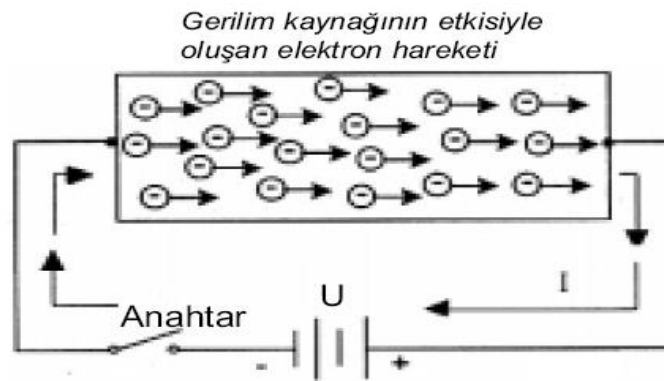


Şekil 2.6: P-tipi ve N-tipi diyot gösterimi.

- ✓ **N-tipi yarı iletken;** 4 valans e^- 'a sahip olan saf Si veya Ge atomlarının 5 e^- 'lu fosfor (P) atomu ile birleşmesi sonucu oluşan yeni kristal yapıda e^- açıkta kalır. e^- yönünden zengin olan bu karışıma N-tipi yarı iletken denir. Bu durumdan kaynaklı N-tipi yarı iletken malzemeye verici donör de denir. Şekil 2.7'de N-tipi yarı iletken şeması ve Şekil 2.8 e^- hareketi gösterimi gösterilmiştir.



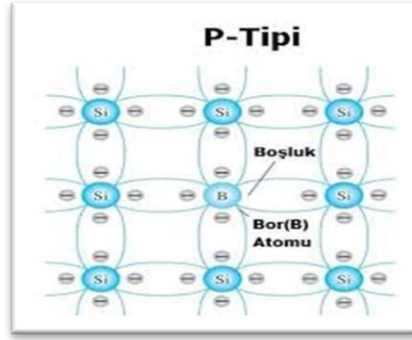
Şekil 2.7: N-tipi yarı iletken şeması.



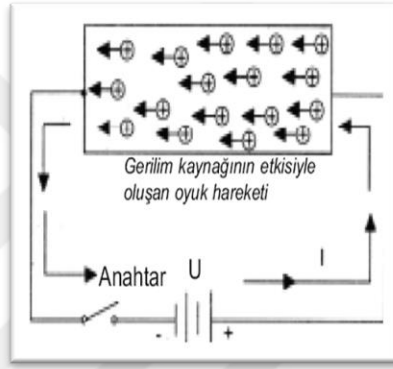
Şekil 2.8: Elektron hareketi gösterimi.

- ✓ **P-tipi yarı iletken;** 4 valans e^- 'a sahip olan saf Si ve Ge atomlarının içerisinde 3 valans e^- 'a sahip Alüminyum (Al), Bor (B) veya Galyum (Ga) atomlarının birleşmesi sonucu oluşan yeni kristal yapıda e^- eksikliği olur ve yeni kristal yapıda

delik (boşluk) oluşur. Bu duruma P-tipi yarı iletken denir. Şekil 2.9'da P-tipi yarı iletken şeması ve Şekil 2.10'da oyuk hareketi gösterimi verilmiştir.



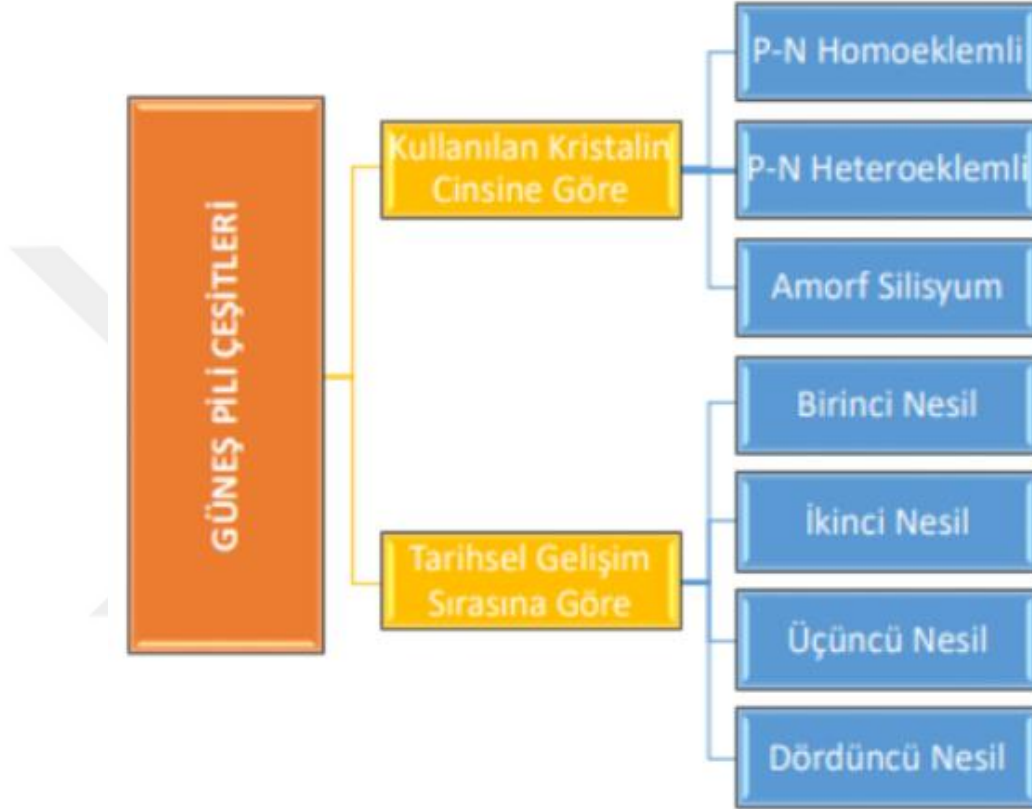
Şekil 2.9: P-tipi yarı iletken şeması.



Şekil 2.10: Oyuk hareketi gösterimi.

2.2 Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pilleri teknolojide üç farklı şekilde üretilirler. Bunlar tek kristalli (monokristal), çok kristalli (polikristal) ve ince filmler olarak adlandırılır. Üretimdeki bu farklılıklar güneş pillerin gruplanmasına neden olmuştur. Aşağıdaki Şekil 2.11 güneş pili çeşitleri şeması verilmiştir.



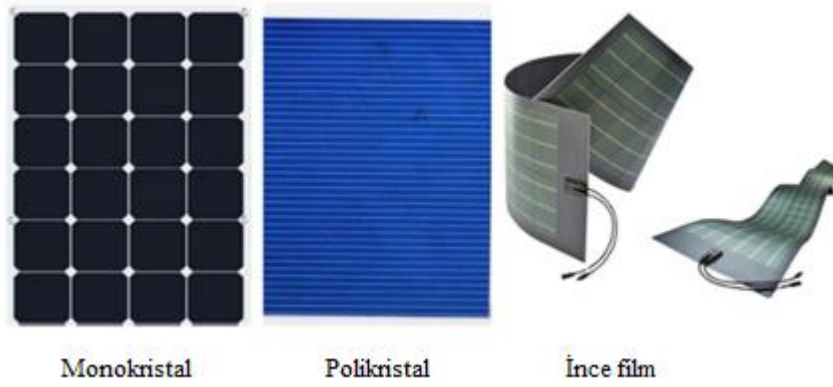
Şekil 2.11: Güneş Pili Çeşitleri Şeması.

Tek kristal; monokristal olarak da adlandırılırlar ve yapısında tek bir kristal atomu bulundurmaktadır. Si ve Ge elementleri bu kristallerdendir ve en yaygın kullanılan Si elementidir. Ayrıca, tek kristal güneş pillerinin maliyeti diğer güneş pillerinin maliyetine göre oldukça yüksektir.

Çok kristal; polikristal olarak da adlandırılırlar ve yapısında birden fazla kristal atomu bulunmaktadır.

İnce film; güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanan ikinci nesil güneş pilidir. Mikron kalınlığında ve esnek yapıdadır.

Şekil 2.12’de güneş pili çeşitleri gösterilmiştir.

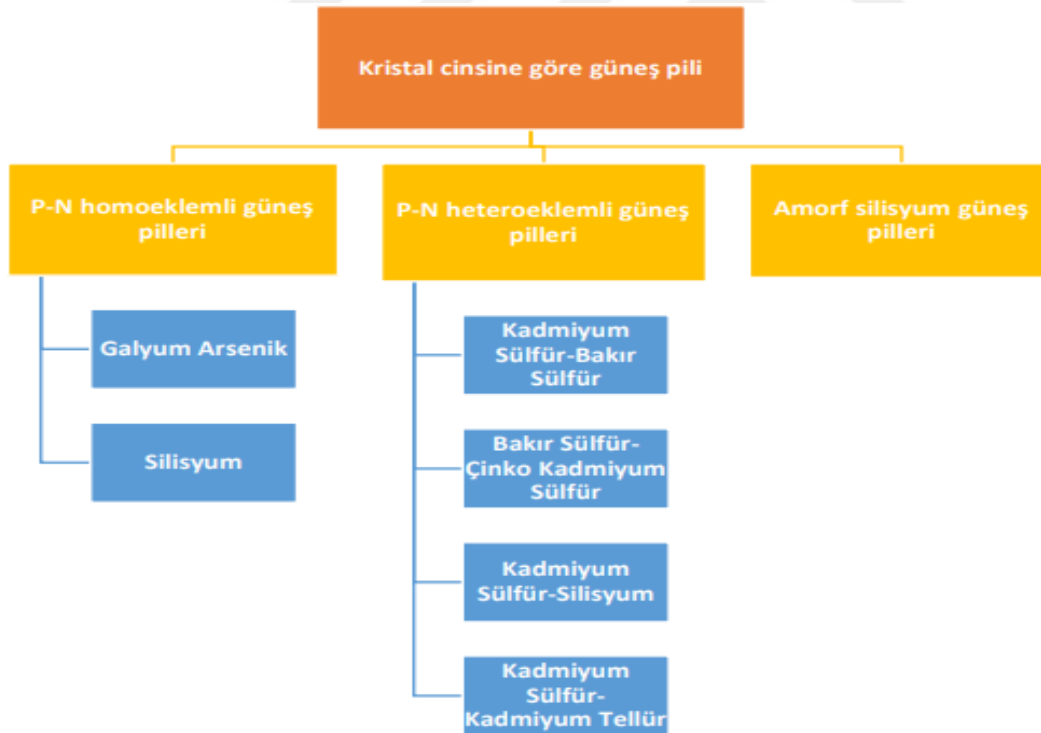


Şekil 2.12: Güneş pili çeşitleri.

Bu piller için ayrıntılar sonraki bölümde verilmiştir.

2.2.1 Kullanılan kristalin cinsine göre güneş pili

Güneş pilleri Şekil 2.13’de gösterildiği gibi kullanılan kristalin cinsine göre 3 ana gruba ayrılır.



Şekil 2.13: Kristalin cinsine göre güneş pili şeması.

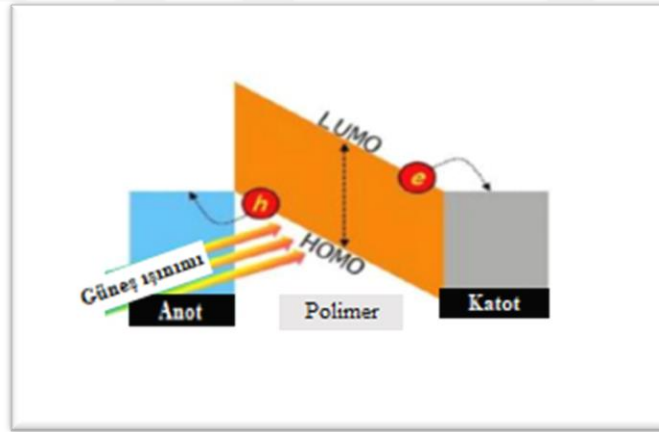
2.2.1.1 P-N homoeklemlı güneş pili

P-N eklemının uçları aynı yarı iletken maddeden yapılan güneş pili türüne homoeklemlı güneş pili denmektedir. En yaygın güneş pili tasarımı, monokristalin p-n bağlantısıdır; p-n homoeklemleri, heteroeklem tasarımlarına göre önemli bir avantaja sahiptir; bağlantı noktasında hiçbir malzeme arayüzü yoktur ve bu nedenle arayüz durumlarından kaynaklanan kayıplar önlenabilir (Nelson, 2003).

Homoeklemlı güneş pilleri katkılama yöntemine göre 4 farklı türe ayrılır, bunlar:

- sığ homoeklemlı güneş pilleri,
- yüksek alçak yayınlayıcı güneş pilleri,
- ön yüzey alanlı güneş pilleri,
- düşey homoeklemlı güneş pilleri

olarak adlandırılırlar. Şekil 2.14’de Homoeklemlı güneş pilleri anot-katot e^- geçişi gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Homoeklemlı güneş pilleri anot-katot elektron geçişi.

P-N homoeklemlı güneş pillerinde Si ve GaAs en fazla tercih edilen malzemelerdir. Si kullanılarak üretilen P-N homoekleminin açık devre geriliminin verimi daha yüksek olması sebebi ile güneş pili yapımında en çok tercih edilen malzemedir. Ge, ışığın geniş dalga boyu spektrumunda kararlı durumdayken Si kararlı durumda değildir. Fakat bu durum, güneşin ışık kaynağı olarak kullanılmasında bir problem teşkil etmemektedir.

Akkor ışık kaynağı kullanıldığında ise; Ge'un uçları arasın gerilim farkı küçük olmasına rağmen, çıkışında oluşan güç Si'a kıyasla fazladır. Bunun nedeni ise Ge'un yasak band genişliği Si'a göre daha küçüktür ve böylece daha az enerjilerde fotoakım oluşmasına imkân sağlar **(Köse, 1986)**.

Galyum (Ga) ve arsenik (As) elementlerinden üretilen Galyumarsenik (GaAs), polikristal bir yapıdadır. Bununla birlikte kristal yapıları Si ile benzerlik göstermektedir. Aynı zamanda, Si'den üretilen güneş pillerinde p-n ekleme fazla miktarda açık devre gerilimi oluşması nedeniyle üretimde Si GaAs'ğe kıyasla çok fazla tercih edilmektedir. **(Engin, 1996)**. GaAs'in bir başka avantajı ise radyasyona karşı oldukça dayanıklı bir malzeme olmasıdır. Böylece GaAs, uzay araştırmaları ve uydu yapımı kullanımlarında daha kullanışlı hale gelmektedir. Ancak As maddesinin zehir özelliğine sahip olmasından kaynaklı olarak imal edilen yarı iletken malzemelerinin yeryüzünde uzun süre kullanılamayacağı durumu meydana gelmektedir.

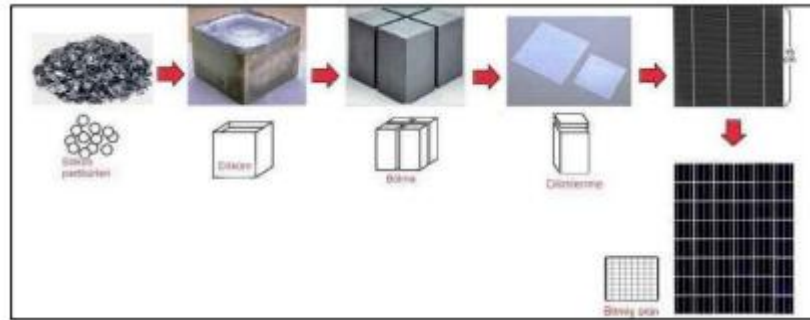
GaAs güneş pilleri elektrik ve termal enerji üretim amaçlarıyla kullanılabilir. Bunun örneği, Frensel merceklerinin arkasına yerleştirilen GaAs güneş pil panellerinin iklimlendirme cihazlarını çalıştırılmasında görülmektedir. Bununla birlikte, Ga elementinin yer yüzünde az olması, sıcaklık ve radyasyona Si'a göre daha dayanıklı olması sebebiyle GaAs güneş pilleri, daha çok uzay uygulamalarında kullanılmaktadır **(Engin, 1996; Köse, 1986)**.

Silisyumun kararlı yapısı ve üretim teknolojisini gelişmesi, Silisyumu güneş pili teknolojilerinde en popüler malzeme yapmıştır. Oksijenden sonra yeryüzünde bulunma yüzdesi en yüksek element: Si; doğada kumun (SiO_2) ve kuartzın yapısında bolca bulunur. Kumun saflık derecesi çok düşüktür ve bu sebepten kum, teknik olarak kullanılmaya uygun değildir. Ayrıca kuartz içerisinde %90 Si barındırmaktadır ve kuartz bir dizi işleminden geçirilerek yüksek saflıkta Si elde edilebilmektedir. Si güneş pillerinde ise uygulama alanına göre değişmekle beraber genellikle Ga, As, B, P ve Al atomları katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar **(Köse, 1986)**.

Günümüzdeki piyasa faaliyetlerindeki yüksek payın monokristal Si yarı iletken malzeme üretimine yönelik olmasıyla birlikte teknolojik yönden monokristal yarı iletken malzemelerindeki üretim teknikleri gelişme göstermesi nedeniyle daha fazla alanlarda kullanıma tercih edilir hale gelmektedir. Ancak, Silisyumu saf monokristal

halinde üretmenin zor ve pahalı olması sebebiyle Si'un saflaştırılması yöntemiyle yarı iletken netliğinde polikristalli Si elde edilmesi sağlanmıştır (**Oktik, 2001**).

Polikristalli Si üretiminde en fazla kullanılan yöntem 'dökme' yöntemidir. Mono ve polikristalli Si'larda başlangıç maddesi aynıdır. Eritilen Si kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır ve döküm yöntemiyle polikristal Si elde edilir. Bu yöntem ile üretilmiş malzemelerle üretilen güneş pillerinin verim ve maliyetleri görece düşük olmaktadır (**Oktik, 2001**). Şekil 2.15'de de dökme yöntemi ile oluşturulan ürün gösterimi verilmiştir.

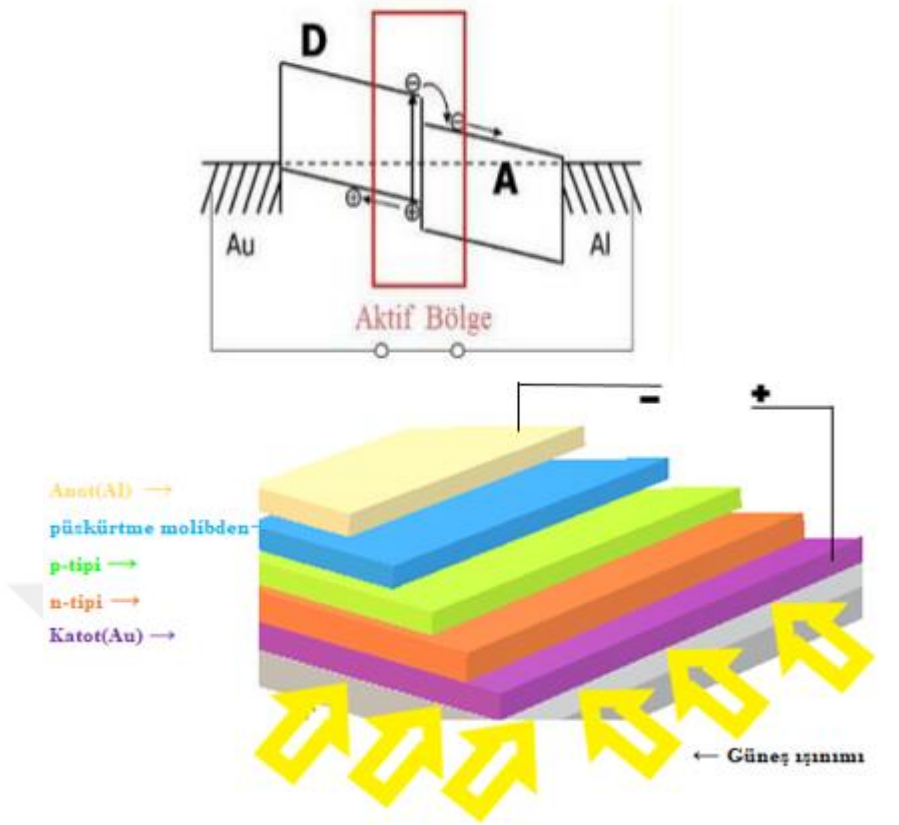


Şekil 2.15: Dökme yöntemi ile oluşturulan ürün.

2.2.1.2 P-N heteroeklemlı güneş pilleri

P-N eklemının iki tarafında iki farklı yarı iletken kullanılarak elde edilen heteroeklemlı güneş pillerinde, P-N homoeklemlı güneş pillerine oranla kolay ve ekonomik maliyeti sebebiyle son yıllarda tercih edilmektedir. Ayrıca, bu tip güneş pilleri homoeklemlı olanlara oranla ısıcağa ve radyasyona daha dayanıklıdır (**Köse, 1986; Engin, 1996**).

Ancak P-N eklemın iletim bandı kenarındaki süreksizliklerden kaynaklı olumsuzlukların kaçınmak için heteroeklemlı güneş pillerinde, eklemın iki tarafında örgü sabitleri birbirine çok yakın yarı iletkenlerin seçilmesine, zıt yarıiletken tipte soğurucu ve pencere materyali seçilmesine dikkat edilmelidir (**Oral, 1979; Engin, 1996**). Şekil 2.16'da heteroeklem organik güneş pili şemaları verilmiştir.



Şekil 2.16: İki katmanlı heteroeklem organik güneş pili şemaları.

➤ N-CdS/p-Cu₂S heteroeklemlı güneş pilleri

Düşük verim ve kısa ömür gibi problemleri dolayısıyla, 1954 yılında, yani Si güneş pilleri ile aynı yılda yapılmış olmalarına rağmen n-CdS/p-Cu₂S pillerinin üretimi hala ticarileşememiştir. Ayrıca Cu₂S bileşiğindeki bakırın, oksitlenmesi en önemli problemidir (Köse, 1986). Şekil 2.17’de n-CdS/p-Cu₂S Pillerinin şematik kesit görünümü görülmektedir.



Şekil 2.17: N-CdS/P-Cu₂S Pillerinin şematik kesit görünümü.

Bu türün üretilmesinde vakumdan buharlaştırma veya püskürtme yöntemleri kullanılır. Elektriksel bağlantı; taban elemanı olan CdS için çinko, indium, kalay; soğurucu katman olan Cu₂S için bakır veya altın kullanılarak yapılır **(Oral, 1979)**. Bakırın absorpsiyon katsayısı daha büyük olduğundan ışığın absorplanması Cu₂S ortamında gerçekleşir.

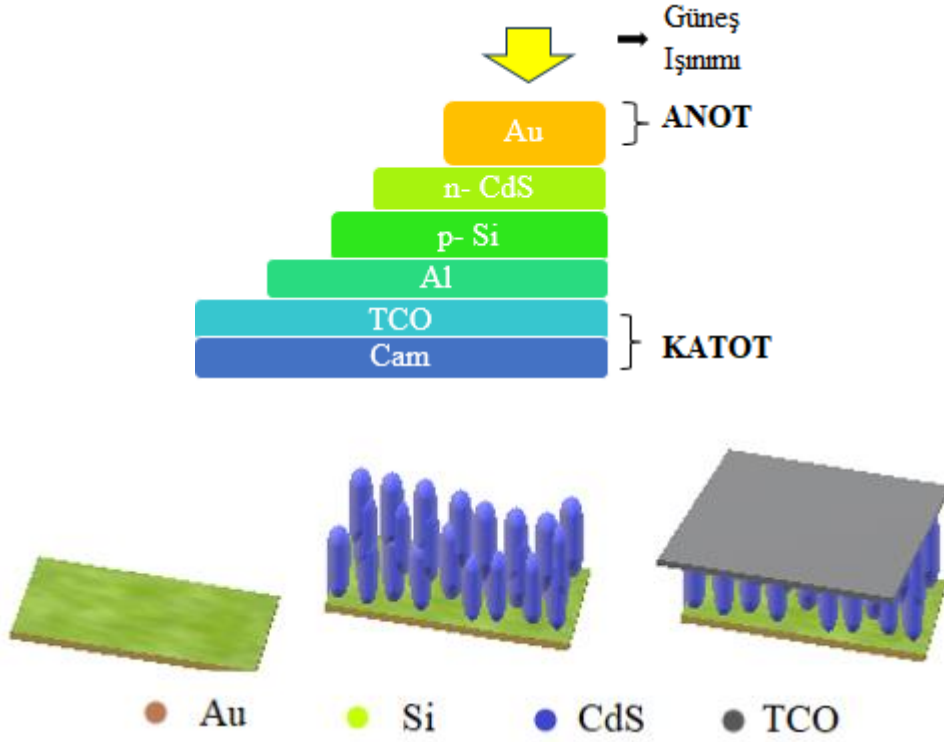
Heteroeklem oluşturulmadan önce CdS'in yasak bant genişliği 2,4 eV, Cu₂S'in ise 1,2 eV'dir. Bu değerler heteroeklem oluşturulduktan sonra CdS için 2,31 eV ve Cu₂S için 1,21 eV olarak değişir **(Köse, 1986)**. Bu pillerin verimleri teorik olarak %10 olmasına rağmen, pratikte %3 ile %8 arasında değişim göstermektedir. Verimi arttırmak için temizleme işlemi maksimum özenle ve daha saf bir madde ile yapılır. Cu₂S bileşiğindeki bakırın oksitlenmesini önlemek için pilin üst metal kısmı, buharlaştırma yerine temas yoluyla yapılır ve gelen ışınların yansımalarını önlemek için fotonların çoğunu absorplayan bir madde kullanılır **(Köse, 1986)**.

➤ P-Cu₂S/N-ZnCdS güneş pilleri

N-CdS/p-Cu₂S pillerinin p-n eklemlerinde açık devre voltajı 500 mV'dir. Bu pillerin kristal örgü uyumsuzluklarını kısmen de olsa önlemek için CdS kristali yerine, ZnCdS kristali kullanılarak p-Cu₂S/n-ZnCdS güneş pilleri üretilmektedir. Sonuçta 800 mV açık devre voltajı elde edilerek, verim %10'un üzerine çıkarılabilmektedir **(Köse, 1986)**. ZnCdS malzemesi içerisindeki Zn konsantrasyonu artırıldığı zaman, bu pilin elektrik ve optik özellikleri değişmektedir. Açık devre voltajı artarken, kısa devre akımı azalmaktadır **(Köse, 1986)**.

➤ N-CdS/P-Si güneş pilleri

Bu tür güneş pilleri; yasak bant genişliği 1,21 eV olan Si, yasak bant aralığı 2,24 eV olan CdS ile belirlenen koşullara göre birleştirilmesi sonucu üretilirler. P-tipi Si yüzeyine CdS kristali kapanarak, p-n heteroeklemi oluşturulur. Çalışmalarda verimini yükseltmek için kontak; Si için Altından, CdS için In'dan yapılır ve böylelikle verim %9 civarında elde edilebilir **(Köse, 1986)**. Şekil 2.18'de n-CdS/p-Si güneş pili ve yapımı gösterilmektedir.



Şekil 2.18: N-CdS/P-Si güneş pili ve yapımı.

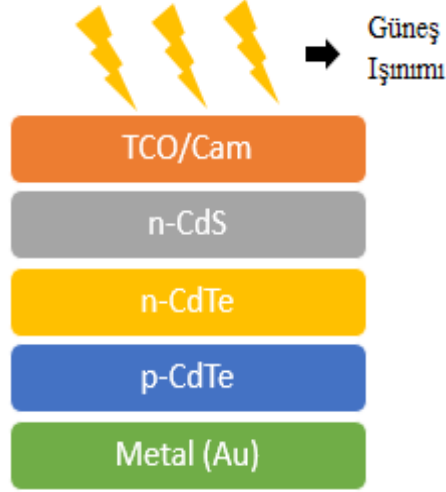
➤ **N-CdS/p-CdTe güneş pilleri**

N-CdS/p-CdTe güneş pillerinin yapısı Şekil 2.19’de gösterildiği gibidir. 6B grubu elementi olan Te ile, 2B grubunda bulunan Cd elementlerinin birleşimiyle meydana gelen 2-6 yarı iletken bileşiği CdTe, oda sıcaklığında yasak E_g 1,5 eV seviyesindedir. Yüksek soğurma katsayısının sahip olması ve ince film büyütme teknolojilerinin büyük bir kısmı ile üretilebilmeye imkân sağlaması, CdTe bileşik yarı iletkeninin geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde öne çıkmasını sağlamıştır (**Küpelı, 2005**).

CdTe ince filmlerinin büyütülmesinde yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bunlar sırasıyla;

- yakın mesafeden buharlaştırma (Close Space Sublimation/CSS) yöntemi
- büyütme (elektro-depozisyon/elektrotta biriktirme) yöntemi

olarak isimlendirilir.

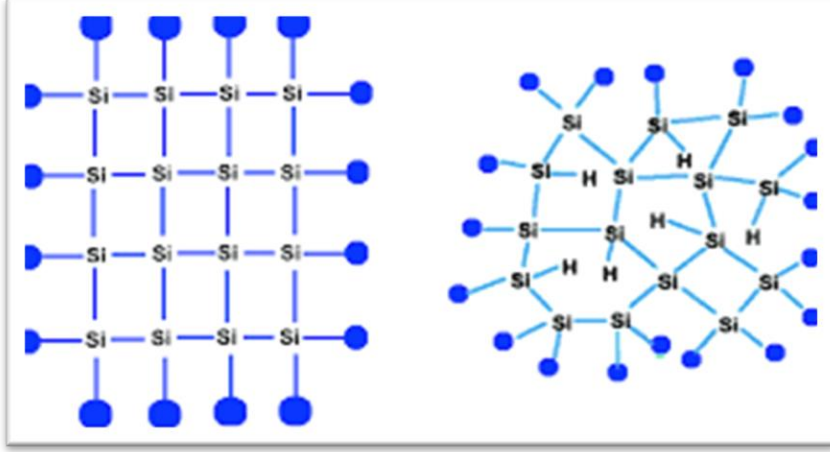


Şekil 2.19: N-CdS/P-CdTe güneş pili şematik gösterimi.

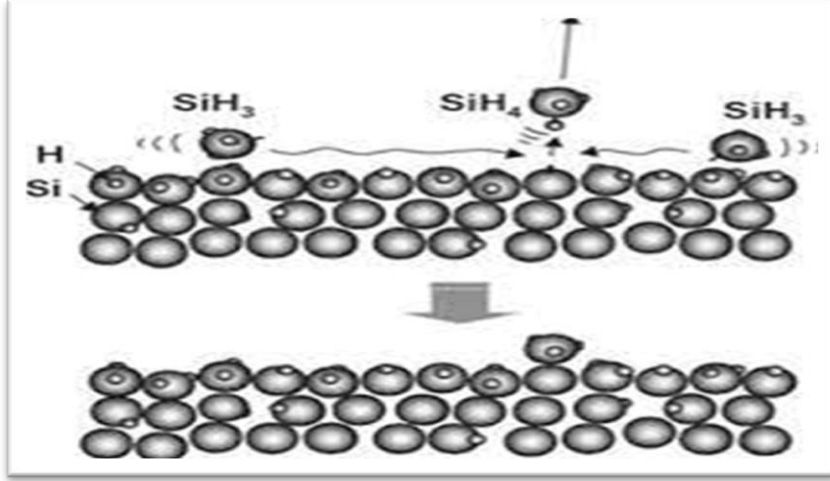
2.2.1.3 Amorf silisyum güneş pilleri

Amorf-Si (a-Si) malzemesi; içindeki Si atomlarının rastgele yerleşmiş olmasıyla kristal Si'dan ayrılır. Dolayısıyla, a-Si'da atomların düzensiz sıralanışı; yasak bant aralığına fazladan izinli enerji durumlarını arttırarak birleşme merkezleri oluşmasına neden olur. Malzeme içerisindeki yapı taşlarının bu rastgele dizilişi, a-Si'un elektriksel iletim kalitesini düşürse de; yarı iletken içerisine %5-%10 oranlarında H katılarak, elektriksel özellikleri fotovoltaik çevrime uygun düzeyde tutulabilir. H; doymamış Si bağlarının bazılarını doyurarak, Eg'nda bulunan izinli durumların sayısını azaltır (Oktik, 2001).

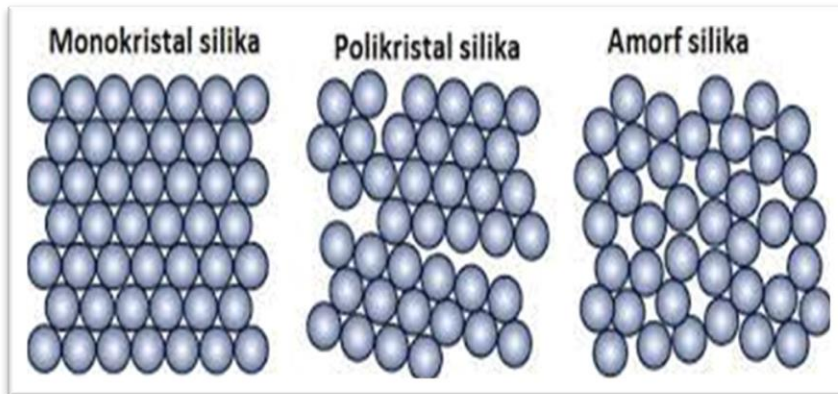
1977 yılında, Wronski ve Carlos, ilk defa a-Si:H güneş pili yapmış ve verimi %5,5 olarak bulunmuştur (Köse, 1986). Fotoiletkenlik, a-Si filmlerde yok denecek kadar az olsa da, a-Si:H filmlerde oldukça büyüktür. Şekil 2.20'de a-Si ve a-Si:H molekül kristal yapısı, Şekil 2.21'de a-Si:H molekül gösterimi, Şekil 2.22'de a a-Si güneş pili çeşitleri ve Şekil 2.23'de a-Si güneş pillerinin kristal yapı görünümü verilmiştir.



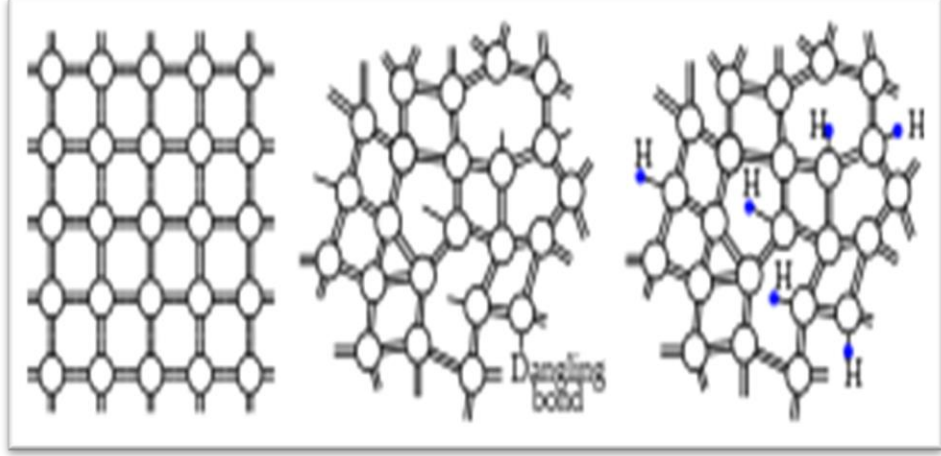
Şekil 2.20: a-Si ve a-Si:H molekül kristal yapısı.



Şekil 2.21: a-Si:H molekül gösterimi.



Şekil 2.22: a-Si güneş pili çeşitleri.

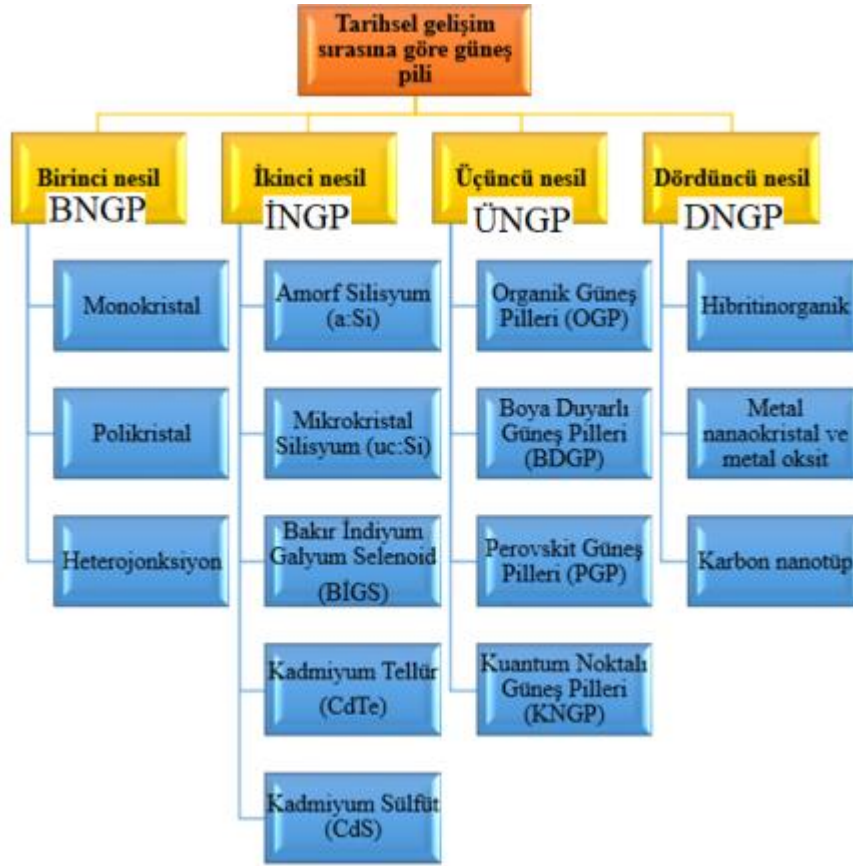


Şekil 2.23: a-Si güneş pillerinin kristal yapı görünümü.

Soğurma katsayısı çok büyük olan a-Si, 250 °C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Bu özellikleri a-Si'den elde edilen güneş pillerinin, kristal yapıdakilere göre daha ucuza mal edilebilmelerini sağlar **(Engin, 1996)**. Bu avantajlarının yanı sıra en büyük dezavantajları, üzerlerine düşen ışığın artmasıyla, verimlerinin azalmasıdır (Steabler Wronsky etkisi). Güneş piline ışık düşürülmesi sonucu, serbest yük taşıyıcıları (elektronlar ve boşluklar) oluşur. Güneş pilinde meydana gelen bu elektron ve boşlukları birbirinden ayıracak, yapısal bir elektrik alan (E_{yap}) oluşturulmalıdır. Katkılanmış bölgelerdeki yüksek orandaki kusur yoğunluğu, taşıyıcı mobilitelerini düşürür. Bunu yapmak için güneş pilindeki p-tipi ve n-tipi yarı iletken tabakaların arasına, düşük kusurlu katkısız bir tabaka konur. Bu tabaka optik olarak aktiftir ve üzerine ışık düştüğünde yapısal elektrik alan tarafından birbirinden ayrılacak serbest taşıyıcılar oluşturmaktadır. Böylece p-i-n eklem yapısına sahip a-Si:H güneş pilleri elde edilir **(Tercan, 2000)**.

2.2.2 Tarihsel gelişim sırasına göre güneş pili

Tarihsel gelişim sırasına göre güneş pili şeması 2.24’de verilmiştir.



Şekil 2.24: Tarihsel gelişim sırasına göre güneş pili şeması.

2.2.2.1 BNGP

Güneş pillerinin tarihsel sürecinde enerji elde edebilmek için ilk üretilen fotovoltaiik pilleri BNGP olarak adlandırılmaktadır. İlk olarak üretilmiş olmaları nedeniyle güneş pili pazarına hâkim Si tabanlı fotovoltaiik pillerdir. Bu pillerin üretim maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen üretim teknolojisi beklentiye göre oldukça düşüktür. Bu dezavantaja sahip Birinci nesil güneş pilinin yetersizliği ikinci nesil güneş pillerinin vârolmasına katkı sağlamıştır. Monokristal ve polikristal birinci nesil güneş pilleri içinde yer almaktadırlar (Pastuszak ve diğerleri, 2022).

2.2.2.2 İNGP

Verimlilikleri %10 dolayında olan İNGP’ler günlük yaşamda fazla kullanım alanı bulamamış olsa da uzay ve uydu teknolojilerinde kullanımı oldukça fazla tercih edilmiştir. CuInSe₂, a-Si, CdTe ve GaAs aktif katman malzemeleridir. Bu tip

malzemelerinin absorpsiyon katsayıları büyük olduğu için, sadece birkaç mikron kalınlığında aktif tabaka gelen ışığı absorblamak için yeterli olmaktadır. BNGP'ye kıyasla minimum malzeme kullanımı, ince film güneş pillerinde artı durum teşkil etsede elde edilen yetersiz verim sonuçları muadilleriyle karşılaştırılmaz durumdadır. Bunun yanında ince film güneş pillerinin diğer dezavantajı, bu pillerin yapımında kullanılan malzemelerin doğal dengeye ve insan sağlığına olumsuz etkisi mevcuttur (Doğan, 2014; Çiftpınar, 2014; Şimşek, 2015).

2.2.2.3 ÜNGP

ÜNGP az maliyetli ve düşük verimli sistemlerden (boya duyarlı, OGP) çok maliyetli ve yüksek verimli sistemlere kadar geniş bir yaklaşım yelpazesini temsil eder. ÜNGP, bir kısmı 25 yıldan fazla bir zamandır incelenmiş olsa da, yetersiz pazar dağılımı sebebinden kaynaklı bazen "gelişmekte olan" olarak nitelendirilir (Dunlap ve diğerleri, 2019).

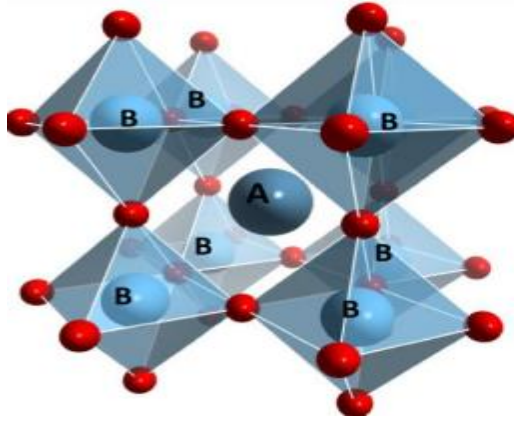
Silikon fotovoltaiik hücre geliştirmedeki en son eğilimler, yarı iletkenin bant yapısında ek enerji seviyelerinin üretilmesini içeren yöntemlerdir. Üretim teknolojisi ve verimlilik iyileştirmelerine yönelik en gelişmiş çalışmalar artık ÜNGP üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Bu nesil, daha yeni kimyasal bileşikler içeren fotovoltaiik teknolojilere dayanmaktadır. Ayrıca nanokristal filmler, kuantum dots, boyaya duyarlı, organik polimer bazlı ve perovskit güneş pilleri gibi pekçok teknoloji de bu kuşağa aittir. Bunlardan en yaygın olanları OGP, BDGP ve perovskit hücrelerdir.

Organik güneş pilleri: 1986 yılında ilk modülleri oluşturulmuş (Tang, 1986) ve 1995 te Heeger tarafından geliştirilerek OGP ye olan ilgi artmıştır (Yu ve diğerleri, 1995). %8,4 ile %10,7 gibi farklı verim değerlerine sahip türleri mevcuttur (He ve diğerleri, 2011).

- **Perovskit hücreler:** 'Perovskit' kelimesi CaTiO_3 (kalsiyum titanat)'ün mineral formunu ifade etmektedir ve ABX_3 stokiyometrik yapısına sahiptir. Ayrıca aynı yapıya sahip birçok malzeme bulunmaktadır ve bu yapılar arasında en çok bilinenleri; SrTiO_3 (Stronsiyum titanat) ve BaTiO_3 (Baryum titanat)'dır. Güneş hücresi uygulamalarında ise en bilinen yapı $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (Metil amonyum kurşun iyodür) olmakla beraber farklı kompozisyonlarda perovskit yapısı elde edilebilir. ABX_3 yapısında A: CH_3NH_3^+ (metil amonyum),

$\text{CH}(\text{NH}_2)_2^+$ (formamidinyum) gibi katyonlar, B: Pb (kurşun) veya Sn (kalay) gibi metaller, X: Cl(klor), Br (Brom), I (iyot) gibi halojen malzemeler kullanılmaktadır **(Yu ve Sun, 2015)**. Perovskit güneş hücreleri düşük maliyetli, basit bir şekilde hazırlanabilen, yüksek soğurma katsayısı ($\alpha \sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$), bant aralığının ayarlanabilmesi, yük taşıyıcıların mikrometre boyutunda difüzyon uzunluğuna sahip olması, yüksek yük taşıyıcı mobilitesi ($1\text{-}100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) gibi özelliklerinden dolayı diğer PV teknolojilerine göre oldukça avantajlıdır **(Im ve diğerleri, 2011; Noh ve diğerleri, 2013; Stranks ve diğerleri, 2014; Wehrenfennig ve diğerleri, 2014)**. Ancak tüm bu avantajlarının yanında yapısal ve termal kararsızlıklar, stabilizasyon, ara yüzey kusurları gibi dezavantajları da beraberinde getirmektedir. İndiyum katkılı kalay oksit (ITO) üzerine kaplanan PEDOT:PSS (poli 3-4 etilen dioksi tiyofen:poli stiren sülfonat) görünür bölgede geçirgen bir yapıya sahip olması, boşluk taşıyıcı mobilitesinin yüksek olması, iş fonksiyonunun ITO ile uyumlu olması gibi özellikleri ile güneş hücresi uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır **(Xia ve Dai, 2020)**. Fakat, PSS grubunun asidik yapısından dolayı ITO/PEDOT:PSS ara yüzeyinde oluşan korozyif etkiler ve PEDOT:PSS çözücüsünün su olmasından kaynaklı olarak da PEDOT:PSS/Perovskit arayüzeyinde de yapısal deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu kusurları engellemek ve aygıt performansını geliştirmek adına literatürde yüzey modifikasyonu, ara yüzey mühendisliği gibi kavramlar ortaya çıkmaktadır **(Zhou ve diğerleri, 2014)**. Kendiliğinden dizilen tek tabaka moleküller (Self assembled monolayer, SAM) bunun en somut örneğidir. Kaplandığı yüzeyin özelliklerini değiştirmekle kalmayıp yapının enerji bant seviyelerinde de değişimler sağlayarak aygıt performansında iyileştirmeler sağlamaktadır **(Zuo ve diğerleri, 2015)**. Şekil 2.25’de perovskit maddesi ve hücre görünümü görülebilir.



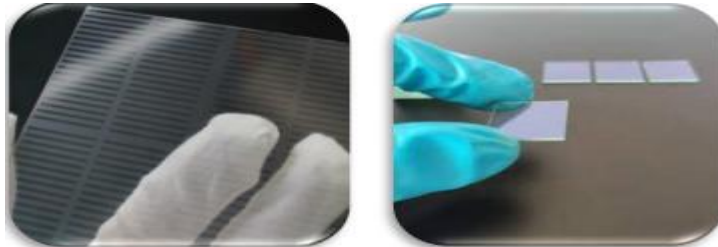
Şekil 2.25: Perovskit maddesi ve hücre görünümü.

2.2.2.4 DNGP

Diğer nesillerdeki sorunlara çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bu nesilde hibritinorganik güneş hücreleri bulunmaktadır. Organik ve inorganik malzemelerin nanoyapılarının karışımıdır. Böylece iki malzemenin özellikleri de birleşmiştir. İşlenebilirliği, düşük maliyeti ve ince film cihazlarının çok yönlü üretimi açısından ön plana gelmesi beklenmektedir (Güneş ve Sarıçiftçi, 2008).

2.3 BDGP ve Bileşenleri

BDGP'nin üretiminde ışığa duyarlı organik yapı ve yarı iletken tabaka kullanılmaktadır. Ayrıca genel bir BDGP cam veya FTO gibi iki adet şeffaf iletken oksit (transparent conductive oxide) TCO ile oluşturulur (Hagfeldt ve Gratzel, 1995). Şekil 2.26'da FTO örnekleri gösterilmiştir.



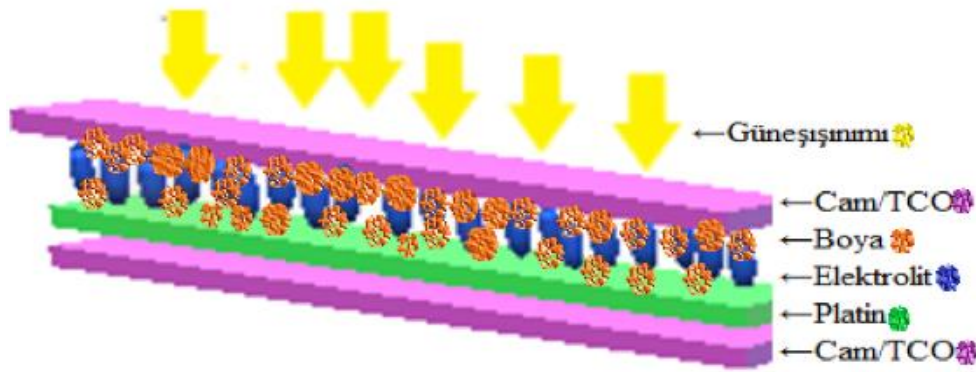
Şekil 2.26: FTO örnekleri.

BDGP'nin ucuz ve kolay üretilebilmesi ayrıca iyi verimli olmaları gibi durumlar bilim insanlarının çalışmalarını bu malzeme üzerinde yapmasına yol açmıştır (Gratzel 1991; Krebs ve diğerleri, 2010). BDGP iki elektrot arasında tutulan redoks

elektrolitinden oluşur. Gratzel ve O'Regan bitkilerdeki fotosentez işlemini referans alarak 1991'de boya duyarlı titanyum nanokristal güneş pili geliştirmişlerdir.

Bitkilerde klorofil tarafından ışığın absorblanması ve daha sonra yük alışverişinin gerçekleşmesine benzer bir biçimde gelen ışığın boya tarafından absorblanır ve böylece aldığı enerji ile uyarılan elektronlar bir üst enerji seviyesine çıkar. Metal oksit iletkenlik bandına aktarılır ve yine metal oksit sayesinde FTO cam yüzeyine ulaşmış olurlar (**Koleman ve diğerleri, 2011**). Gelen elektron redox çifti üzerinden boyar malzemenin en yüksek dolu moleküler orbital (HOMO) seviyesine iletilerek rejenerasyon gerçekleşmiş olur. Boya uyarılmaya devam ettiği sürece döngü devam eder.

BDGP'lerin yapıları temel olarak sandviç şekline benzer bir sistemden oluşur ve Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



Şekil 2.27: BDGP yapısının gösterimi.

2.3.1 İletken camlar

Cam yüzeyi, genellikle bir element katkılı kalay oksitle 'PVD (fiziksel buhar biriktirme)' tekniğiyle kaplanıp, cam yüzeyinde saydam iletken bir tabaka oluşturulup, şeffaf iletken oksit kaplama elde edilir. Katkılanan maddenin ismine göre, ITO, CTO (klor katkılı kalay oksit) ve FTO olarak isimlendirilirler (**Granqvist, 2007**).

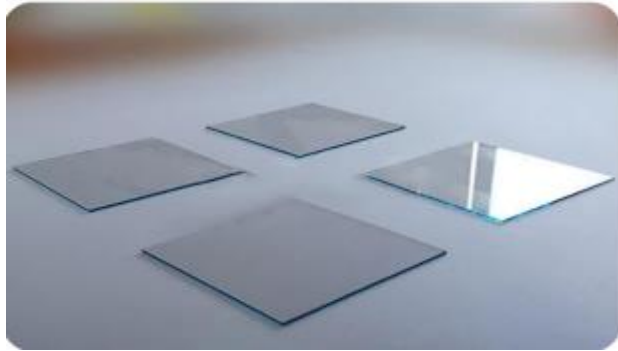
TCO çeşitleri, kalay okside katkılanmış maddelerin cinsine göre adlandırılırlar;

ATO Antimon katkılı kalay oksit (Antimony doped Tin Oxide, $\text{SnO}_2:\text{A}$) (**Elangovaan ve Ramammrthi, 2005**).

CTO Klor katkılı kalay oksit (Chloride doped Tin Oxide, $\text{SnO}_2:\text{Cl}$). Doğada hemen temin edilememesinden kaynaklı

sadece deneysel çalışmalar için kullanılmaktadır. İletkenliği azdır (**Granqvist, 2007**).

- FTO Flor katkılı kalay oksit (Fluorine doped Tin Oxide, $\text{SnO}_2\text{:F}$). Doğada kolaylıkla bulunur ve kullanımda en fazla tercih edilen maddedir. İletkenliği ise CTO'ya göre oldukça fazladır (**Pietron ve diğerleri, 2007**).
- ITO İndiyum katkılı kalay oksit (Indium doped Tin Oxide, $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$). Çalışmalarda maddenin iletkenliğini ve saydamlığını arttırmak istendiği zamanlarda tercih edilmektedir (**Chcbotareva ve diğerleri, 2007**).
- FTO/ITO Çift katmanlı FTO/ITO kaplanmış iletken camlardır. Çalışmalarda iletkenliklerinin fazla olmasından ve mekanik özelliklerinden dolayı kullanılmaktadırlar (**Kawashima ve diğerleri, 2004**).
- ITO/ SnO_2 Çift katmanlı ITO/ SnO_2 kaplanmış camlardır ($\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}/\text{SnO}_2$). Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığa sahiptir ve iletkenliği diğerlerine göre en fazla olan çift katmanlı ITO/ SnO_2 camlardır (**Ngamsinlapasathian ve diğerleri, 2006**).



Şekil 2.28: TCO örneği.

BDGP'lerinde genel olarak, ITO veya FTO iletken camlar kullanılırlar. İletken camların güneş pilindeki ana görevi, elektriksel iletkenliği ve optik saydamlığı sağlamaktır. Cam üzerine ITO veya FTO kaplarken; yüksek konsantrasyonun, yük taşınımını artırıp böylece malzemenin iletkenliğini arttıracak, fakat saydamlığı düşürecek için, optimum kalınlık belirlenmelidir. İndiyumun yüksek

maliyeti ve kaynaklarının kısıtlı olması, ITO filmlerinin kırılğan olmaları ve esnekliklerinin az olması, bu filmlerin vakum gerektiren yüksek maliyetli kaplama yöntemleri ile üretiliyor olması alternatif arayışların gereksinimine yol açmıştır. Bu bağlamda, karbon nanotüpler ITO'ya alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karbon nanotüp kaplamalar, düşük maliyetli olup ITO'ya göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler **(Wu, 2007)**.

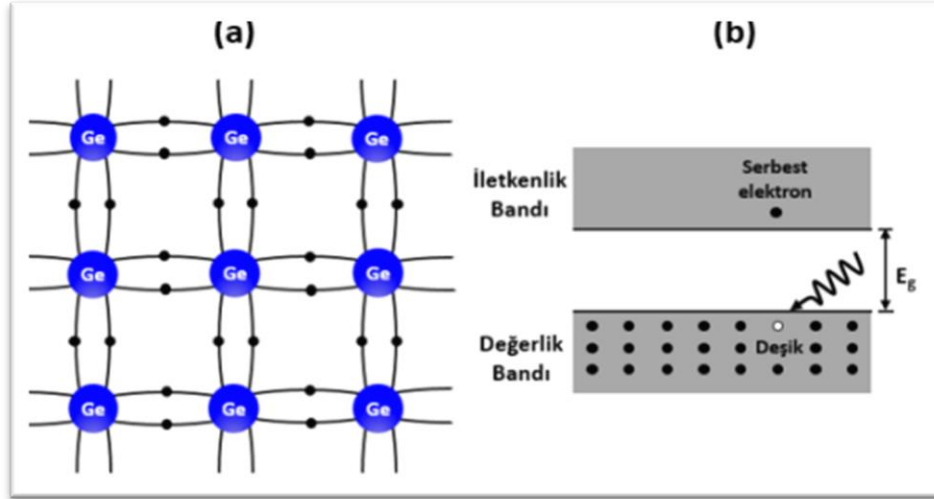
2.3.2 Yarı iletken elektrot

Katkısız ve katkılı yarı iletkenler olarak iki gruba ayrılırlar.

2.3.2.1 Katkısız yarı iletkenler

Yapısında herhangi bir safsızlık ya da örgü kusuru içermeyen mükemmel bir yarı iletken, özgün (intrinsic) yarı iletken şeklinde isimlendirilir **(Colinge ve Colinge, 2002)**. İntrinsic yarı iletkenlerde mutlak sıfırda (0 K) kovalent bağlarda bir tane dahi e^- eksikliği söz konusu değildir, nitekim aşağıdaki şekilde de bu durum net bir biçimde görülmektedir. Mutlak sıfırda intrinsic yarı iletkenlerde serbest yük taşıyıcıları bulunmamaktadır, yani değerlik bandı e^- larla tam olarak doldurulmuştur ve iletkenlik bandında serbest e^- lar yer almamaktadır. Yarı iletken üzerine enerjisi band aralığına eşit ya da ondan büyük foton düşürüldüğünde, değerlik bandındaki bir elektrona enerjisini aktararak onu iletkenlik bandına çıkarır ve bu durum aşağıdaki şekilde de net bir biçimde gösterilmektedir. e^- , bulunduğu atomdan ayrılır ve geride dengelenmemiş bir pozitif yük kalır. Değerlik bandında kalan bu pozitif yük boşluk, delik ya da deşik (hole) olarak adlandırılır **(Wenham ve diğerleri, 2007)**.

En nihayetinde, yarı iletken yüzeyine gelen fotonun enerji değeri, band aralığına eşit veya büyük ise, bir elektron-boşluk (electron-hole) çifti meydana gelir. Eğer yüzeye gelen fotonun enerji değeri band aralığından küçük bir enerji değerine sahipse fotonlar elektron-boşluk çifti meydana getiremezler ve fotovoltaiik dönüşüme katkıları oluşmaz.



Şekil 2.29: (a) Ge kristalinde atomlar arası bağların gösterimi ve **(b)** yarı iletken malzemede e-h çifti oluşumu.

2.3.2.2 Katkılı yarı iletkenler

Özgün yarı iletkenlerde iki tip yük taşıyıcısı da, e^- ve boşluklar eşit sayıda bulunur. Birçok uygulamada ise örnek içerisinde sadece tek bir tip yük taşıyıcısının olması istenir. Yarı iletken uygun safsızlıklarla katkılanarak e^- veya boşluklardan sadece birisinin bulunduğu malzemeler elde edilebilir. Böyle üretilen yarı iletken ürünlere katkılı yarı iletken denir.

- **Yarı iletken elektrot;** BDGP'lerde en fazla tercih edilen yarı iletken elektrot malzeme, geniş bant aralığı, yüksek e^- hareketliliğine sahip olması, elektrokimyasal kararlılığı ve bol miktarda bulunan ucuz, çevre dostu, yüksek iletken bant kenarı enerjisine sahip özellikteki TiO_2 'dir (**Mahmood ve diğerleri, 2017; Yıldız, 2018**). TiO_2 'nin temel işlevi, boyar maddenin taşıdığı e^- 'u iletken cama iletmektedir. TiO_2 ; anataz, brokit ve rutil olmak üzere üç farklı kristal forma sahiptir. TiO_2 'in daha fazla e^- hareketliliğine sahip olması sebebiyle bunlardan en çok anataz form tercih edilmektedir. (**Gratzel, 2003; Seçkin, 2010; Sharma ve diğerleri, 2014; Yıldız, 2018**).

➤ Boyar madde

BDGP'de organik ve inorganik olmak üzere pek çok farklı boyar madde kullanılmaktadır. Genellikle inorganik olanlar organik olanlara göre daha kararlı kimyasal yapı gözlenmektedir.

Boyar maddeler içinde polipridiller, porfirinler, kumarinler, ftalosiyoninler, indolinler, perilenler ve konjüge polimerler en yaygın olanlarıdır.

- Bir boyar maddede olması gereken genel özellikler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

2.3.3 Elektrolit

Elektrolit, BDGP’nde foto-elektrot ve karşı elektrot arasında yükün taşınmasını sağlayarak çok önemli bir rol üstlenir. İdeal elektrolit çözeltisi düşük buhar basıncı, çok düşük viskozite, yüksek dielektrik özellikler ve yüksek kaynama noktasına sahip olmalıdır. Endüstriyel olarak bakıldığında, kolay işlem, sağlamlık (kimyasal eylemsizlik) ve çevresel faktörler de kullanılan elektrolit çiftinin önemini arttırmıştır **(Adedokun ve diğerleri, 2016)**. BDGP’lerde kullanılan en başarılı redoks çifti, organik iyodür/triiyodür (I/I_3^-) içeren sıvı elektrolit çözeltisidir. BDGP’de I/I_3^- , Br^-/Br_2 , kobalt (II), kobalt (III) ve benzeri elektrolitlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bir cihazın dayanıklılığını ve stabilitesini önemli ölçüde etkileyen sıvı elektrolit içerisinde istenmeyen bazı durumlar meydana gelebilir. Örneğin, toksik organik çözücünün sızması çevre kirliliğine neden olur, aynı zamanda uçucu I iyonlarının buharlaşması, yük taşıyıcı konsantrasyon oranını düşürerek genel iç direnci de arttıracaktır. Bu dezavantajları aşmak için, geleneksel olmayan elektrolitler, oda sıcaklığındaki iyonik sıvılar (RTIL’ler), yarı katıhal ve katıhal elektrolitlerini geliştirmek için araştırmalar yapılmış ve sıvı elektrolit çözeltisi üzerinde durulmuştur **(Gong ve diğerleri, 2012)**.

İyonik sıvılar, yüksek iyonik iletkenlik, kimyasal stabilite gibi avantajlar sağlayan alternatif elektrolitlerdir. TiO_2 ’nin iletim bandına e^- enjekte edilerek, I_3^- ile e^- rekombinasyonundan çok daha hızlı olan femtosaniye zaman aralığında meydana gelir ve okside olmuş boya molekülü, enjekte edilen e^- ’lerle bir araya gelmeden I reaksiyonu yapar. Elektrolit, I_3^- elektronlarını toplamak için katoda yayılır ve buna karşılık olarak, yeniden düzenlenmiş boya moleküllerinde TiO_2 elektroduna doğru ters yönde yeni bir ürün ortaya çıkar. Gözenekli TiO_2 yapısında I_3^- iyonlarının difüzyon katsayısı yaklaşık $7,6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ’dir **(Huang ve diğerleri, 1997)**. I/I_3^- redoks çiftini kullanırken dikkat edilmesi gereken önemli diğer bir konu da konsantrasyon oranıdır. Düşük iyodür konsantrasyonda, yeterli elektrolit

iletkenliğini ve hızlı redoks reaksiyonunu korumak zordur. Diğer taraftan, iyodür konsantrasyonu yüksek olduğunda, TiO_2 ara yüzeyinde e^- rekombinasyonu, BDGP'ni azaltır ve redoks çifti tarafından ışık emilim değerini artırır **(Zanni ve diğerleri, 1999)**. 4-tert bütülpiridin (4TBP), guanidinyum-tiyosiyanat ve metilbenzimidazol (MBI) gibi elektrolitlere katkı maddeleri eklenerek rekombinasyon oranının bastırılabilceği bulunmuştur **(Boschloo ve diğerleri, 2006; Kopidakis ve diğerleri, 2006; Figgemeier ve Hagfeldt, 2004)**. Bu katkı maddeleri, temel foto elektrokimyasal işlemlere katılmamalarına rağmen verimliliği ve kararlılığı arttırabilir. En muhtemel mekanizma, TiO_2 yüzeyi tarafından soğurulduğunda bu katkı maddelerinin e^- alıcı moleküller ile temas etmesini engellemektir.

BDGP'de elektrolit, çalışan elektrot ve karşıt elektrot arasında yük taşıyan ve oksitlenmiş boyanın yenilenmesine izin veren elektriksel olarak iletken bir ortam görevi görür. BDGP'lerde en yaygın olarak kullanılan elektrolit, I^-/I_3 redoks çifti kullanılır. Bu redoks çifti sıvı elektrolitin mükemmel performansı, düşük rekombinasyon kaybına, aşırı hızlı boya rejenerasyonuna ve yarı iletken malzeme filmine yavaş penetrasyona bağlıdır. Bununla birlikte BDGP'nin uzun vadeli kararlılıklarını etkileyen sıvı elektrolitte mevcuttur. Asıl endişe ise yük taşıyıcı konsantrasyonunu azaltacak ve hücre bozunmasına neden olarak iyodür iyonunun buharlaşması sonucu toksik organik çözücünün sızması da çevre kirliliğine yol açacaktır **(Yeoh ve Chan, 2017)**.

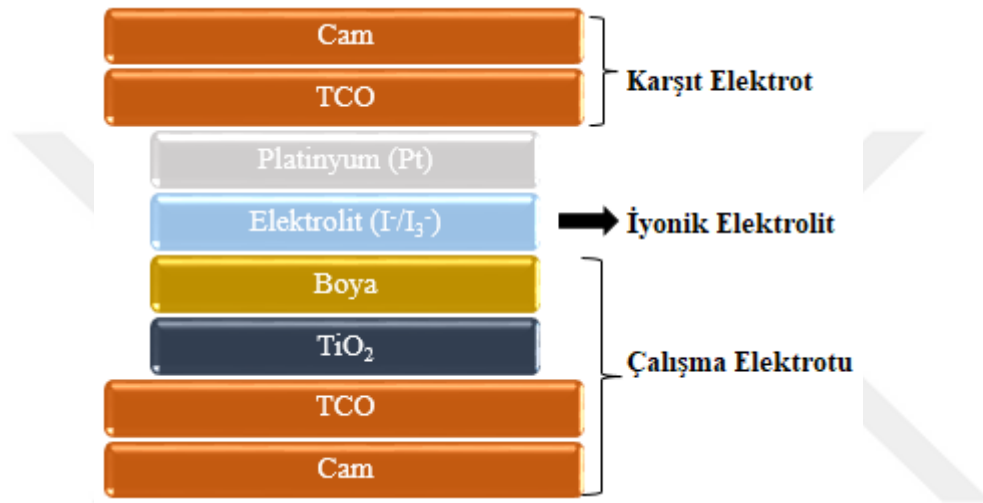
2.3.4 Karşıt elektrot

Fotoanot metalllerinde görüldüğü gibi, BDGP'lerin başka bir elemanı da karşıt elektrottur. Karşıt elektrotlarda da fotoanotlarda olduğu gibi nano mertebesindeki materyaller çok önemlidir. Redoks türünün rejenerasyonunu katalizlemek ve elektrotların harici yükten elektrolite akışı olan iki ana görevi BDGP'de karşıt elektrot üstlenmektedir.

Karşıt elektrodun yapımı için tercih edilen materyal seri direnciyle (R_s) bağlantılı olan FF'yi etkilemektedir. BDGP'lerde karşıt elektrot olarak genellikle platin kullanımı tercih edilmektedir fakat, platin üretiminin yüksek maliyetli olması ve rezervlerin azalması sebebiyle başka malzemeler tercih edilerek çalışmalar yapılmaktadır. Çeşitli araştırmalara göre platine alternatif olabilecek materyaller içerisinde karbon siyahı,

karbon nanotüpler (CNT), grafen, polimerler ve geçiş metallerinin karbürleri, sülfürleri, oksitleri ve nitrürleri bulunmaktadır (Thomas ve diğerleri, 2014).

Karşıt elektrot, harici devreden gelen redoks elektrolitine elektron transferini sağlar. Ayrıca, güneş pillerinin genişliği boyunca foto-akım taşımaya yarar. Bu nedenle, verimli bir karşıt elektrot iletken olmalı ve redoks çiftinin azaltılması için düşük gerilim değerine sahip olmalıdır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda platin, I_3^- azaltmada mükemmel performans göstermiş ve karşıt elektrot için en çok tercih edilen malzeme haline gelmiştir (Luque ve Hegedus, 2003).



Şekil 2.30: BDGP’de karşıt elektrotların gösterimi.

➤ **BDGP’lerin avantajları;**

- Isı ve diğer çevre şartlarından olumsuz etkilenmemesi.
- Zaman içerisinde duyarlılık göstermesi.
- Düşük maliyetle elde edilebilir olması.
- Çok ince bir yapıya sahip olmasından dolayı kullanım alanlarının oldukça fazla olması.

➤ **BDGP’lerin dezavantajları;**

- BDGP’ler uzun süre ışığa maruz kaldıklarında sıvı elektrolitlerde bozunmalar görülmektedir.
- Isı ve nem gibi faktörler pil verimliliğini etkiler.
- Kullanılan boyar maddenin yapısal ve fiziksel özellikleri verimi etkilemektedir.
- Zamana ve ortama bağlı olarak güç kaybının azalması.

2.4 BDGP Çalışma Prensibi



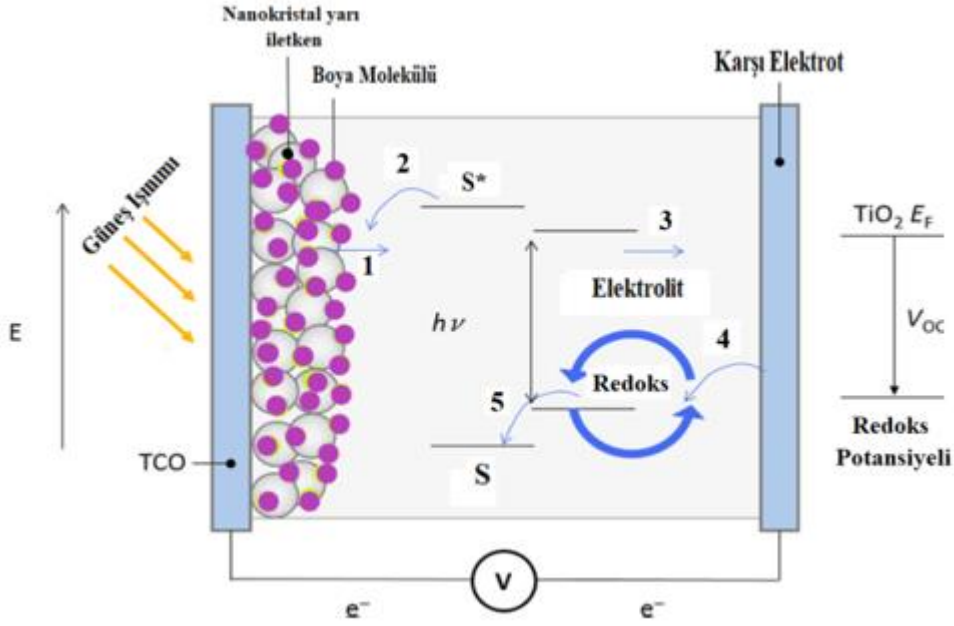
Şekil 2.31: BDGP çalışma prensibi.

- 1) Uyarılma; $S + \text{foton} \rightarrow S^*$
- 2) Enjeksiyon; $S^* + \text{Yarı iletken oksit} \rightarrow e^- + S^+$
- 3) Elektrik üretimi; $TiO_2(e^-) \rightarrow TiO_2 + e^- + \text{Elektrik enerjisi}$
- 4) Boya yenilenmesi; $S^+ + 3I^- \rightarrow S + I_3^- + 2e^-$
- 5) Elektrolit yenilenmesi; $I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$

Şekil 2.32: BDGP'nin çalışma şablonu.

- (1) Foto-anotun üzerine gelen fotonların boya molekülleri tarafından soğurulması sonucu uyarılan boya molekülünde enerjisi artan e^- 'lerin HOMO seviyesinden LUMO seviyesine çıkması,
- (2) Uyarılan e^- yarı iletken TiO_2 'nin iletim bandına transfer edilir ve bunun sonucunda boya molekülü yükseltgenerek kararsız duruma geçer,
- (3) TiO_2 'ye transfer edilen e^- bir bağlantı yardımıyla dış devreye aktarılır ve elektrik enerjisine dönüşüm gerçekleşir,
- (4) Yükseltgenmiş boya molekülü elektrolit içerisindeki I^- iyonundan e^- alarak kendisi indirgenerek kararlı duruma geçmiş olur ancak iyodür(I^-) ise tri-iyodüre(I_3^-) yükseltgenir,

(5) I_3^- ise dış devreden karşıt elektrot üzerine gelen e^- 'u alarak $3I^-$ iyonuna dönüşür ve böylece BDGP'de elektrik enerjisi meydana getirilmiş olur (Gratzel, 2005).



Şekil 2.33: BDGP'nin çalışma yönteminin gösterimi.

2.4.1 BDGP'nin verimini etkileyen faktörler

Yarı iletken güneş pillerinin verimini etkileyen faktörler vardır. Bu faktörler şu şekilde sıralanır:

- Tam olmayan soğurma (Spektral faktörler)
- Foton enerjisinin tamamının elektron-deşik çiftinin oluşturulmasında kullanılmaması
- Işığın geliş açısının etkisi
- Sıcaklığın etkisi
- Güneş pili yüzeyinde yansıma ve yüzeyde oluşan kirlenme kaynaklı kayıplar
- Güneş pilinin iç seri direncinden kaynaklı kayıplar
- Toplama kayıpları
- Güneş pilinin kalınlığı
- Tavlama yetersizliği

Yukarıda maddeler halinde bahsedilen durumlar BDGP'lerin verimine etki etmektedir.

2.5 Güneş Enerji Potansiyeli

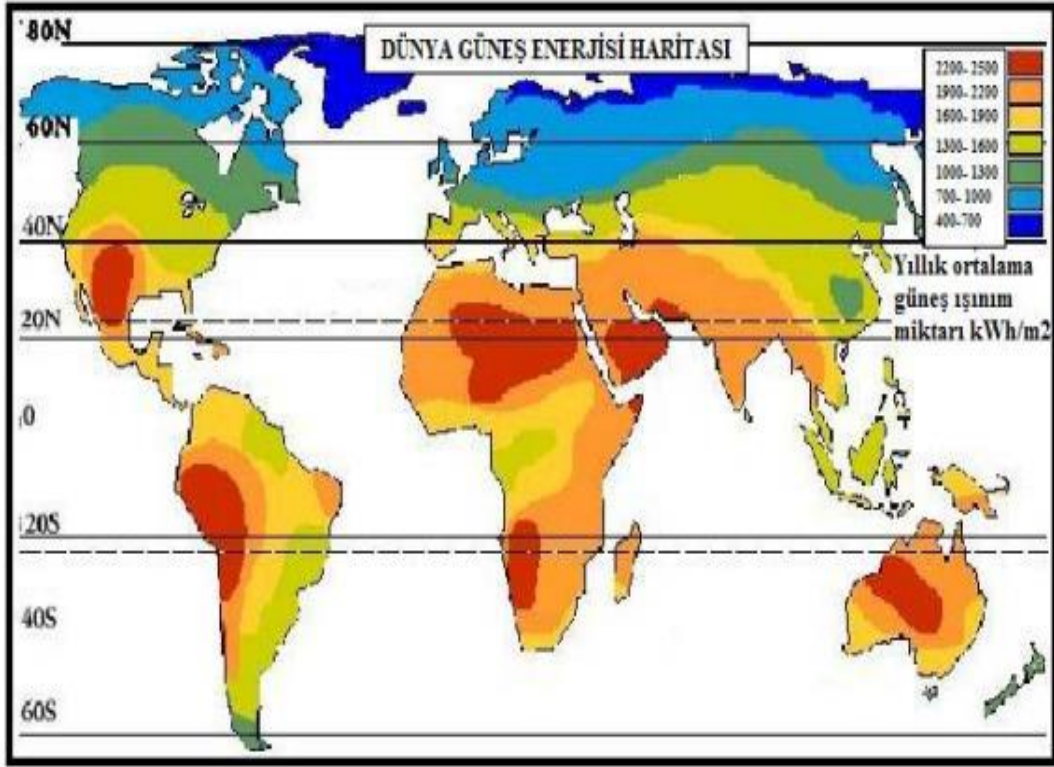
2.5.1 Dünya'da güneş enerji potansiyeli

Sanayileşme ve buna bağlı olarak enerji kaynaklarına erişim çabaları, dünya çapında o kadar çok acıya neden oldu ki, bu kaynakları ele geçirmek için dünya savaşları

yapıldı. 1970'li yıllardan itibaren bu sürecin sağlıklı ve sürdürülemez olduğu anlaşılmaya başlandı. 1970'li yıllardan bu yana uluslararası konferans raporları ve ortak geleceğe yönelik hazırlıklarla bu konuda ciddi ilerlemeler kaydedildi. Dünya enerji kaynaklarına bağımlılığın yanı sıra sorunsuz, sınırsız ve güvenilir enerji kaynakları konusu da bu dönemde sorgulanmaya başlandı. Jeotermal ve nükleer dışındaki tüm enerji kaynaklarının ana kaynağı olan güneş enerjisi bu konuda en büyük umut olarak görünmektedir (**Adams ve diğerleri, 2018**).

Dünya çapında 50 yıldır sürdürülen güneş enerjisi alanındaki araştırmalar son dönemde ayrı bir ivme kazandı. Bunun temel nedenlerinden biri, küresel enerji sektörünün iklim değişikliği ve bundan kaynaklanan sorunlara odaklanmış olmasıdır. Bu çalışmada, fosil kaynaklara sahip olmayan ve enerji konusunda dışa bağımlılıktan endişe duyan gelişmiş ülkeler, giderek güvenilir enerji kaynaklarına yönelmekte, yenilenebilir enerji ve temiz teknolojilere olan bağlılıklarını artırmaktadır.

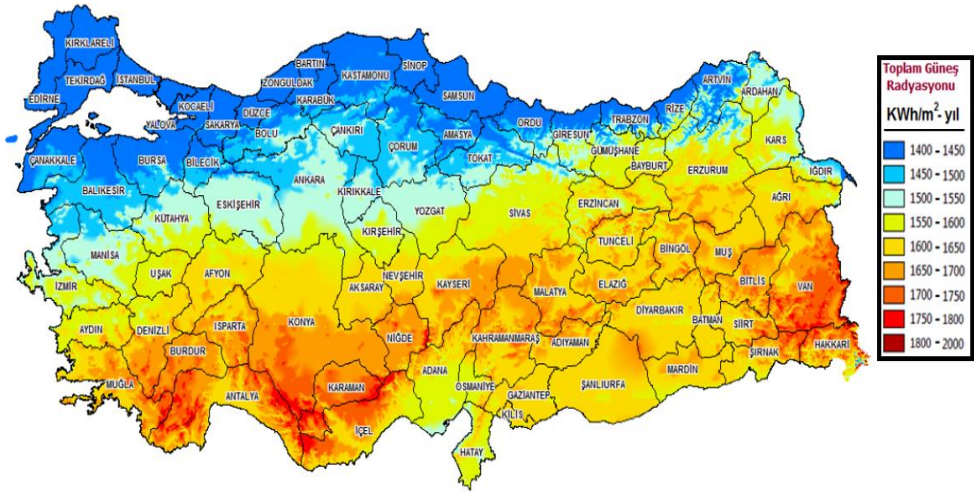
Gelişmiş ülkeler ve sanayileşmiş şirketler için yenilenebilir enerji, yalnızca enerji güvenliği açısından önemli değil, aynı zamanda bir yatırım ve istihdam alanı ve dünyada inşa edilen teknolojik üstünlüğün bir bileşeni olarak da değerlendiriliyor. Güneş enerjisi, iklim değişikliğine bağlı sorunlara çözüm olarak son dönemde dünya çapında en önemli kaynak haline gelmiştir (**Ay, 2008**). Güneşli bir günde dünya üzerine dik açıyla düşen güneş ışın miktarı ortalama yaklaşık 1370 W/m^2 'dir. Şekil 2.34'de dünya güneş enerjisi haritası verilmektedir (**Neville, 1995**).



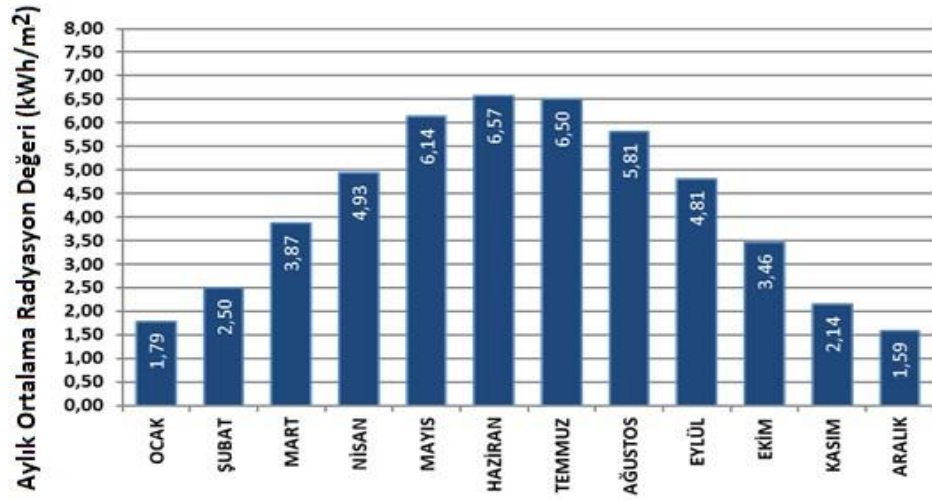
Şekil 2.34: Dünya güneş enerjisi haritası.

2.5.2 Türkiye’de güneş enerjili potansiyeli

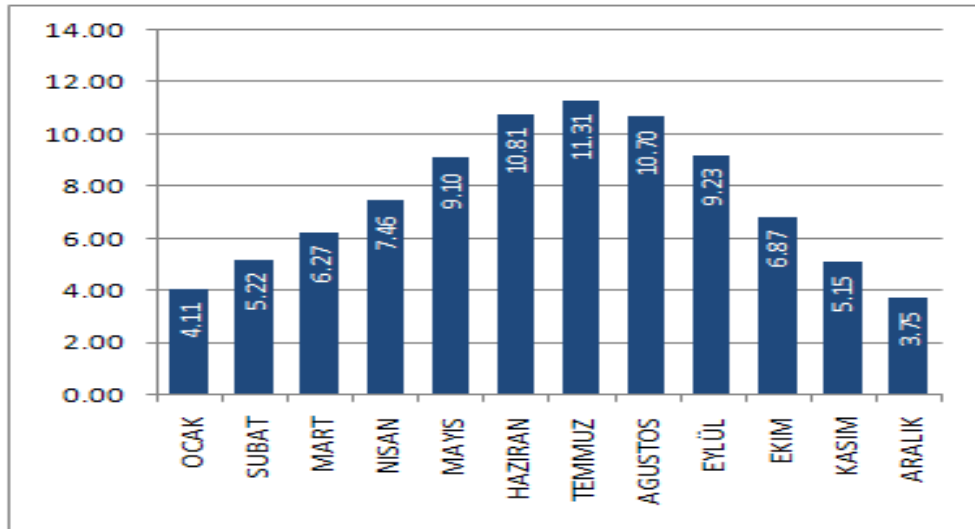
Türkiye’nin coğrafi konumu sebebiyle güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir. Türkiye’de aylık ortalama güneş enerji potansiyeli yaklaşık 3,6 kWh/m²-gün ve güneşlenme süresi 7,2 saat/gün olduğu bilinmektedir ve bir güneş enerjisi santrali kurmak için yıllık en az 2000 saat güneşlenme süresine gerek duyulduğu göz önünde bulundurulduğunda Şekil 2.50 den görüldüğü gibi ülkemizin güneş enerjisi açısından ne kadar elverişli olduğu görülmektedir (Yenisey, 2015; YEGM, 2019).



Şekil 2.35: Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin haritası.



Şekil 2.36: Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün).



Şekil 2.37: Türkiye güneşlenme süreleri (Saat).

AY	ATGE (kcal/cm ² -ay)	ATGE (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,55	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,33	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	250
EKİM	7,73	39,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103

Tablo 2.1: Türkiye'nin aylık toplam güneş enerji potansiyeli (EİE, 2019).



Tablo 2.2: Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.

2.5.3 Güneş enerjisi avantajları ve dezavantajları

➤ Güneş enerjisi sistemlerinin avantajları;

- Doğa dostudur, çevreyi kirletmez ve iklim krizi oluşturmaz.
- Halihazırdaki sistemlere göre en iyi avantajı herhangi bir fosil yakıtı ihtiyaç duymadan güneşten aldığı ışını elektrik enerjisine dönüştürür.
- Doğada kolay bulunur olmasından kaynaklı olarak dışa bağımlılığı ortadan kaldırır.
- İlk yatırım maliyetlerinin ardından üretim maliyeti oldukça ucuzdur ve işletme maliyetleri düşüktür.
- Enerjiye ihtiyaç duyulan her ortamda nakil gerektirmeden kolaylıkla bulunabilir. Bu sayede de güç kaybından arındırılmış olur.
- Küresel dünyada oluşan enerji krizlerinden etkilenmez
- Herhangi bir teknolojik karmaşıklık gerektirmeden kurulumu oldukça basittir.
- Yapılarda hareketli parçalar ya çok azdır ya da yoktur. Bu sebeple oluşabilecek olumsuz doğa olaylarından zarar görmez.

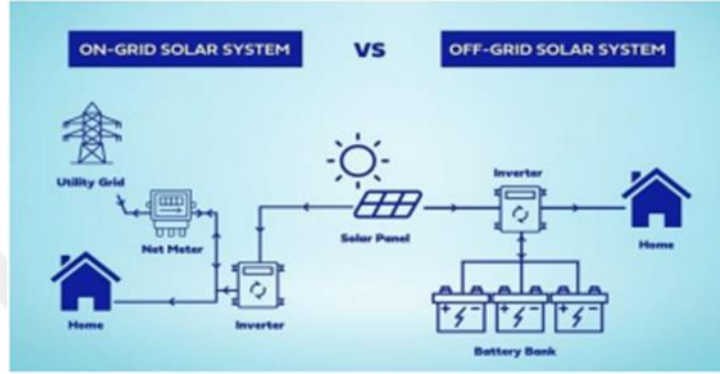
➤ Güneş enerjisi sistemlerinin dezavantajlar;

- Yapının birim yüzeyine gelen güneş ışınımı verimi istenilen değerde olmadığı için çok geniş alanlara yapı kurulmaktadır ve bunun neticesinde ilk üretim maliyeti yüksek olmaktadır.
- Yapıdan elde edilen enerjinin ihtiyacı karşılayamaması durumunda sisteme ek olarak batarya takmak gerekmektedir ve bu da maliyeti artırıp verimin düşmesine neden olmaktadır.
- Kış aylarındaki doğa olayları neticesinde enerji ihtiyacının artması ve yapıya gelen ışınımın azalması.
- Mevsimlik, günlük ya da saatlik enerji çıktısı belli değildir ve bu durumda tahmin edilemez.

2.6 Güneş Pili Sistemi ve Kullanım Alanları

Güneş Pillerinin uygulanmasında 2 sistem vardır. Bu sistemler şebekeye bağlı (ON-GRID) ve şebekeden bağımsız (OFF-GRID) sistemler olarak olarak adlandırılır. Şekil 2.38’de bu sistemler gösterilmiştir. Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemleri, yüksek performanslı enerji santrali büyüklüğündeki sistemler şekli alabilir, ancak daha

yaygın olarak binalarda küçük ölçekli enerji sistemleri şeklinde kullanılır. Bu sistemlerde örneğin bir hanenin elektrik ihtiyacı karşılanırken üretilen fazla enerji şebekeye satılır, enerji yetersiz olduğunda ise şebekeden enerji alınır. Bu tür sistemler enerji depolamaya ihtiyaç duymazlar. Üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürüp elektrik şebekesine uyumlu hale getirmek yeterlidir. Böylece enerji üretimi yapan güneş enerji sistemi tesisleri maddi yönden kazanım sağlamanın yanında kendi ihtiyaç duyduğu enerji tüketimlerini karşılamaktadırlar (Çetinkaya, 2001).



Şekil 2.38: ON-GRID ve OFF-GRID sistemleri.

OFF-Grid güneş pili sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığı bazı uygulama alanları maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir.

- Sıcak su üretimi
- Park ve bahçe
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- Sokak, cadde ve otoparklar
- Trafik işaret levhaları
- Hesap makineleri
- Saatler
- Evlerdeki elektrikli eşyalar
- Bilboardların aydınlatılmasında
- Şarj aletleri
- Arazi, kamp alanlarının aydınlatılması
- GSM vericilerinin enerjilerini karşılamada
- Radyo istasyonlarının enerjilerini karşılamada
- Güneş arabalarında
- Yapay uydular ve haberleşme istasyonlarında

- Petrol boru hatlarının kadotik korumasında
- İlaç ve aşı soğutmada
- İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemlerinde
- Orman gözetleme kuleleri
- Su pompalarında
- Metal yapıların (köprü, kule, vb.) korozyondan korunmasında
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümlerde.

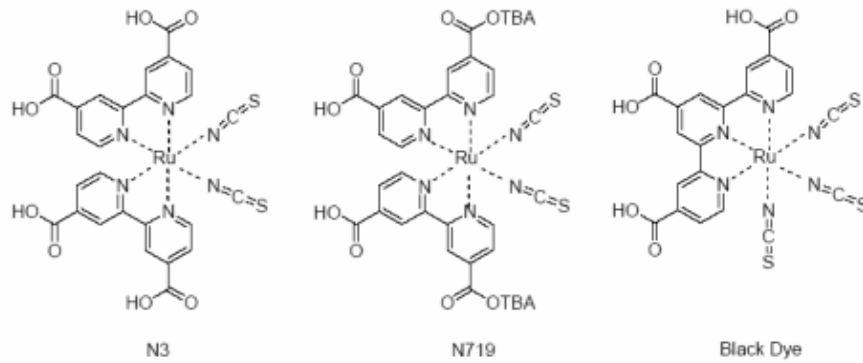




3. METHERYAL VE METOT

3.1 Boya

OGP yapımında kullanılmak için birbirinden farklı boyalar sentezlenmektedir. Şu ana kadar OGP’lerde tercih edilen boyar maddeler arasında polipridiller (**O’Regan ve Gratzel, 1991; Islam, 2003**), porfirinler (**Kay ve diğerleri, 1993; Cherian ve Wamser, 2000**), ftalosiyanınler (**Komori ve Amao, 2003**), kumarinler (**Hara ve diğerleri, 2003; Hara ve diğerleri, 2001**), indolinler, konjuge polimerler ve perilenler (**Ferrera ve Gregg, 2002**) yer almaktadır. Bahsedilen boyalar içerisinde günümüze kadar en fazla verimin gözlendiği rutenyum polipiridil kompleks boyaları olmuştur. 1991 yılında TiO_2 yapılı OGP’lerin bulunması sonucu $\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{NCS})_2$ boyaları ve bu boya türevleri önemli hale gelerek bilim insanlarınca araştırmalarda en çok tercih edilen boyalar arasında yer almıştır (**O’Regan ve Gratzel, 1991**).



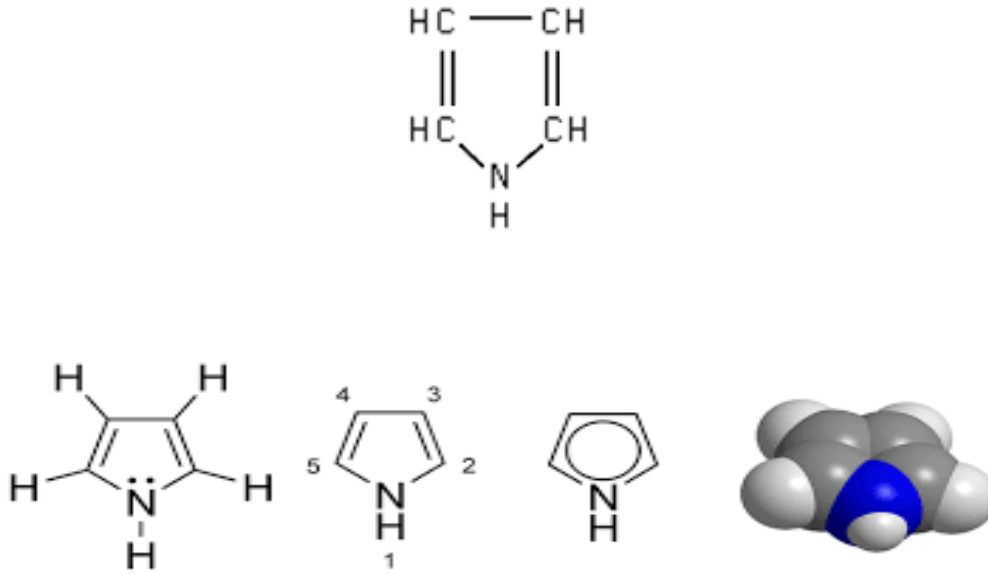
Şekil 3.1: Ru türevinin yüksek verime sahip ticari boyaları.

Boya sentezlerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

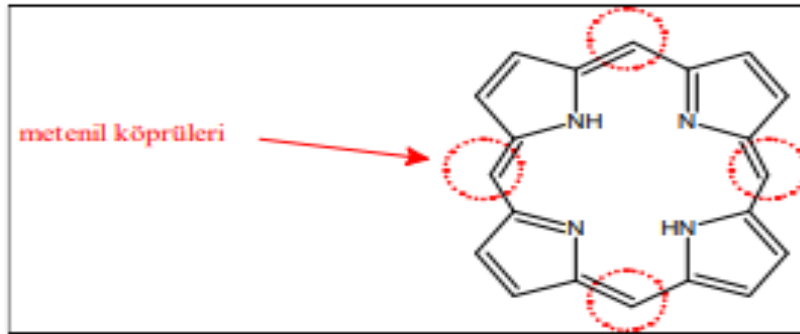
3.1.1 Porfirin

Porfirinler canlı organizmaların metabolizmasında çok önemli olan makrosiklik bileşiklerdir ve hatta Porfirinler ve türevleri olmasaydı yaşam mümkün olmazdı (**Giavannetti, 2012**). Porfirinin moleküler yapısı Şekil 3.2’de gösterilmiştir (**Hayvalı, 1997**).

Pirol halkası (C_4H_4NH)



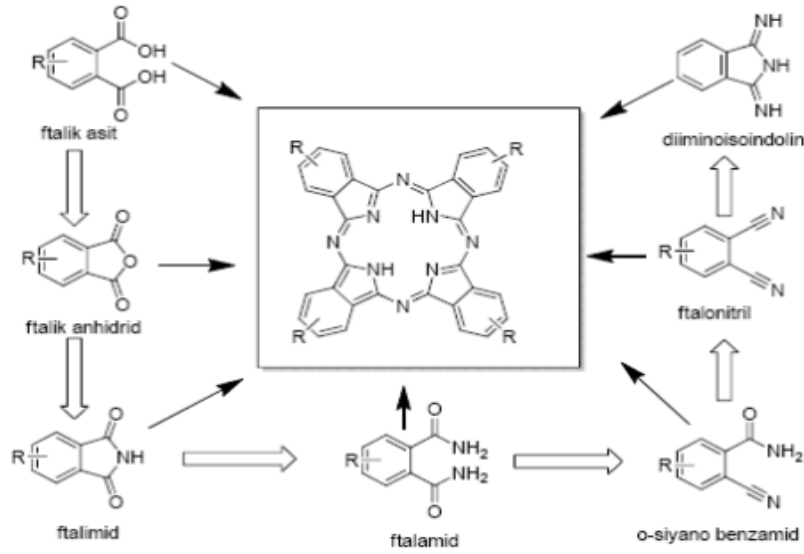
Şekil 3.2: Pirol halkası.



Şekil 3.3: Porfirin halkasının gösterimi.

3.1.2 Ftalosiyanin

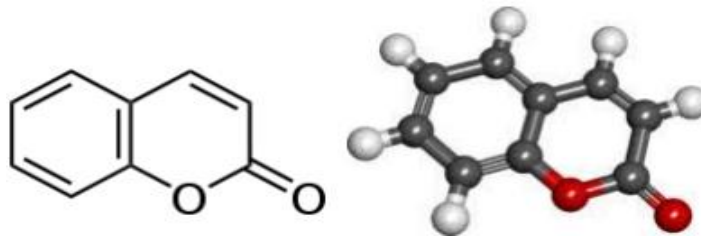
18 π elektronlu düzlemsel bir makro halka olan ftalosiyaninler dört izoindolin biriminin 1,3-konumlarından azo köprüleriyle bağlanması sonucu oluşmaktadırlar. Ftalosiyaninler hem kimyasal hem de termik kararlılığa sahiptirler. **(Kadish ve diğerleri, 2010)**. Sübstitüe ftalosiyaninlerin sentez yöntemleri ve ftalosiyanin öncü bileşikler şekilde özetlenmiştir.



Şekil 3.4: Sübstitüe ftalosiyanınin sentez yöntemleri ve ftalosiyanın öncü bileşikleri.

3.1.3 Kumarin

Kumarin ve türevleri, biyolojik aktiviteleri nedeniyle son yıllarda önem kazanmış, tek başlarına veya kombine halde bitkilerde sık rastlanan doğal bileşiklerdir (**Yua ve diğerleri, 2010**). Kumarinin moleküler yapısı şekil 3.5 de verilmiştir. Doğal haldeyken rengi olmayan Kumarin, bazı sübstitüentlerin kumarin halkasına eklenmesiyle renk kazanmaktadır. Son zamanlarda sentezleri yapılan yeni tür kumarinlerin floresans ve lüminesans özelliklerine ilişkin çalışmalar yapılmaktadır (**Alonso ve diğerleri, 2002; Masuda, 2000; Erk ve diğerleri, 2000; Bulut ve Erk, 2001; Erk, 2000; Rodriguez-Ubis ve diğerleri, 2000; Brunet ve diğerleri, 2001**).

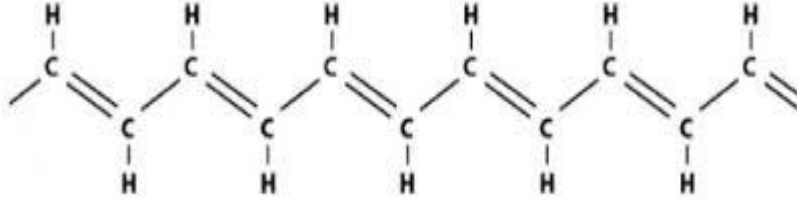


Şekil 3.5: Kumarin halkası.

3.1.4 Konjuge polimer

Polimerler (plastikler) metallerin zıddıdır. Bu nedenle iletkenlik özelliğine sahip olmadıklarından iyi bir yalıtkan olarak bilinirler. Nitekim canlıları korumak amacı ile de elektrik telleri polimerlerle kaplanmaktadır. Ayrıca polimerlerin bu durumundan dolayı da elektronik teknolojisinde fazlaca kullanılmaktadır. Bu durumun her zaman

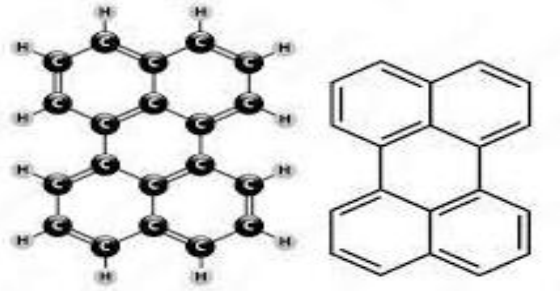
geçerli olmadığını Alan J. Heeger ve arkadaşları yapmış oldukları keşifle göstermişlerdir. Yeni edinilen bilgiye göre polimer olan poliasetilen bir metal kadar iletkenidir. 3 bilim insanına yapmış oldukları keşiflerden dolayı ve sonraki çalışmalarının neticesinde Nobel 2000 kimya ödülü layık görülmüştür (**Çörekçi, 2005**).



Şekil 3.6: Konjuge polimer bağ yapısı.

3.1.5 Perilen

Moleküler yapısı şekil 3.8 de verilen Perilen, küp boya olarak kullanılan kahverengi renkli bir katıdır. Bu madde ısıya karşı çok yüksek bir stabilizeye sahiptir ve aynı zamanda çevresel ve ışık stabilitesi de yüksektir. Perilen pigmentleri, kimyasal inertlikleri ve yüksek stabiliteyi nedeniyle düşük toksisiteye sahiptir ve insanlara ve çevreye zarar vermeyen (veya minimum zararlı) toksik olmayan maddeler olarak bilinirler (**Mazhar ve diğerleri, 2020**).



Şekil 3.7: Perilen ($C_{20}H_{12}$) molekülü.

Perilen türevleri, otomotiv boyama ve tekstil boyama endüstrilerinde, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2 Boyanın Özellikleri

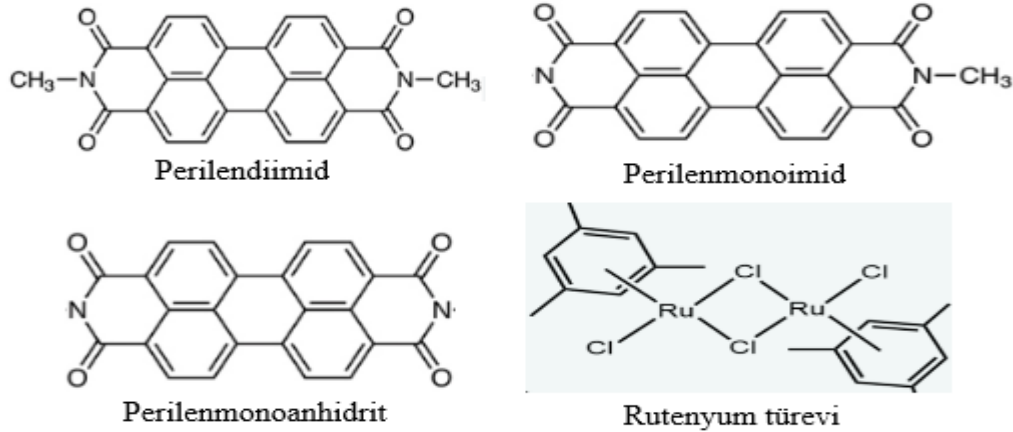
Organik boyalar ve inorganik boyalar olmak üzere iki farklı yapıda boya türü bulunmaktadır. İyi bir boya aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

- Boyar maddenin 920 nm dalga boyu altındaki ışığı soğurabilmelidir.
- Boyar madde konulduğu yarı iletken özellikli yüzeye topaklanmadan kuvvetli bir biçimde tutunması gerekmektedir.
- Boyanın uyarılmış enerjisi, TiO_2 'nin iletkenlik bandının çok az üzerinde olmalı ve enerji bandı elektron transferine izin vermelidir.
- Boyar madde, yarı iletken-elektrolit ara yüzeyinde uzun süre kararlı olabilmelidir.
- Boyar maddenin çözünürlülüğü iyi olmalı ve yarı iletken yüzeyine tutunabilecek bağlayıcı fonksiyonel bir grup içermelidir.
- Elektrolitin redoks seviyesi boyanın oksitlenme seviyesinden düşük olmalıdır.
- Foto duyarlaştırıcılar elektrokimyasal özellikli foto kararlı yapılardır.
- Çok ince yapıda olan baya tabakasının içinde bulunan elektron ve deşikler küçük mobilité özelliği ile membranlara kolayca ulaşabilmelidir.
- Boyalar inorganik (kimyasal) ve organik boya olarak sınıflandırılırlar.

Yapısında metal kompleks barındıran doğal boyaların yüksek maliyetli olması ve inorganik boyaların ise doğaya negatif etkisinin olması gibi dezavantajlar sonucu bilim insanları çalışmalarını bitkilerden üretilen boyalara yönlendirmişlerdir (**Su'ait ve diğerleri, 2015; Hagfeldt ve diğerleri, 2010**).

3.3 Sensör Boyalar

OGP'lerde kullanılan sensör boyalar perilendiimid (PDI), Perilenmonoimid (PMI), perilenmonoanhidrit (PMA) türevi organik boyalar ve rutenyum bipiridil kompleksleri organometalik boyalar olmak üzere dört ana grup altında toplanmaktadır.



Şekil 3.8: OGP'lerde kullanılan boyaların genel yapıları.

Rutenyum polipiridil boyaları bugüne kadar en yüksek verimli boyalar olmalarına rağmen ideal boyalar değildirler. Bu boyaları sınırlayan faktörler arasında sentezlerinin zor olması, çıkış maddelerinin pahalı olması, molar soğurma katsayılarının düşük olması ve güneş spektrumunun çok dar bir aralığında soğurma yapmaları sayılabilir. Organik boya esaslı güneş pilinde, TiO_2 nano-kristal tanecikler üzerine absorblanmış olan boyanın yüksek ışık enerjisi-elektrik enerjisi dönüşümü sağlayabilmesi bazı temel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Soğurma:** Boyanın görünür bölgede (400-700 nm) soğurma yapması gerekmektedir. Bu durumda boya, ideal olan tek bir bant aralıklı güneş pillerine 1,35 eV bant aralığına sahip olacaktır.
- Kinetikler:** Boyanın uyarılmış halinden TiO_2 'nin iletkenlik bandına yapılan e^- transferi, fluoresans, fosforesans ya da karanlık süreç gibi sönmüleme reaksiyonlarına imkan vermemek için çok hızlı olmalıdır ($k_{et} \gg k_f$). Molekülün uyarılması tercihen metal-ligant yük transferi (MLCT) türünde olmalıdır.
- Kararlılık:** TiO_2 yüzeyine absorblanmış olan boya, çalışma koşullarında (yarı iletken-elektrolit ara yüzeyinde) 20 yıl süreyle kararlı olmalıdır.
- Ara yüzey özellikleri:** Yarı iletken yüzeyine kuvvetli absorpsiyon yapılmalıdır.
- Uygulama özellikleri:** Boya yüksek çözünürlüğe sahip olmalıdır ve yarı iletken yüzeyine tutunabilecek bağlayıcı grup içermelidir.
- Enerji değerleri:** Enerji kayıplarını azaltmak ve foto-voltajı mümkün olan en yüksek seviyede tutmak için boyanın uyarılmış hal enerjisi, TiO_2 'nin iletkenlik bandının çok az üzerinde ve enerji farkı da e^- transferine izin verecek yeterlilikte olmalıdır. Yine aynı şekilde boyanın temel hal enerji düzeyi de elektrolitin redoks potansiyelinin biraz altında olmalıdır.

Işığın güneş pilinde boya haricinde diğer katmanlar tarafından (yarı iletken veya elektrolit) absorblanması istenmemektedir. Bu durum, başka reaksiyonlara neden olup pilden elde edilen verimin ve pilin kararlılığını olumsuz etkilemektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Türkiye’de Yapılan Tezler ve Örnek Uluslararası Makaleler

Bu tez çalışmasında Türkiye’de BDGP konusunda yapılan araştırma ve çalışmaların durumunu ve son trendleri belirlemek hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, Ulusal Tez Merkezinde verilen bilgiler taranmıştır.

Ulusal Tez Merkezi ana sayfasında tarama terimi olarak “güneş pili” ve “güneş pilleri” terimleri yazılarak arama yapıldığında 1986-2023 yılları arasında güneş pili konusunda toplam 361 tez veri girişi olduğu görülmüştür. Bu tezler; tez adı, tez konusu, tez amacı, yöntem, materyal ve sonuçlar kısımları incelenerek BDGP konusunda 90 tez olduğu belirlenmiştir. BDGP konusunda yapılan tezlerin yılı, üniversitesi, tez adı, amacı ve bulguları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

YIL / ÜNİVERSİTE	TEZ ADI	AMAÇ	YÖNTEM	BULGU
2006 / Ege Ü.	Organik Boya Esaslı Nanokristal Yapılı İnce Film Güneş Pili Üretimi	Ru türevi boyaların elektrokimyasal ve pv özelliklerinin verime etkisi incelenmiştir.	Kesikli ışınlamalı zamana bağlı mikrodalga iletkenliği (kızbmi).	Plastik yapılı güneş pilleri verimi daha iyidir.
2008/ İhsan Doğramacı Bilkent Ü.	Boron Dipirin Türevlerinde Işık Hasatı Ve Boyar Madde Uyarımlı Güneş Pillerinde Potansiyel Kullanıma Yönelik Türevlendirme	Boradiazaindasen (BODIPY) kromoforundan oluşan yeni enerji transfer kasetleri tasarlanıp sentezlenmiştir.	Işığı toplama.	Boyar madde yapıda yüksek verim göstermiştir.
2009 / Ege Ü.	Güneş Pili Uygulamaları İçin Görünür Bölgede Absorbsiyon Yapan Yeni Organik Boyar Maddelerin Sentezi	Organik boyar maddelerin sentezlenmesi.	Donör sentezi, kristallendirme yöntemi ve Döngüsel Voltammetri.	En yüksek metal kararlılıktaki bileşiğin akrilik asit (ST3) olduğu görülmüştür.
2009/ Kahramanmaraş Sütçü İmam Ü.	TiO ₂ Tabanlı Doğar Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı	Bitkilerden elde edilen doğal boyaların sentezi.	Kimyasal Püskürtme.	İncelenen bitkiler içinde en yüksek verim mor havuçta görüldü (%0,248).
2009/ Celal Bayar Ü.	Organik Boya Uyarımlı Güneş Pillerinde Kullanılabilecek Yeni Perilen Türevlerinin Sentezi Ve Karakterizasyonu	Yeni perilen türevi boya sentezi verimi.	Renklendirme yöntemi.	Perilen halkasına eklenen gruplar verimi arttırmaktadır.

2010/ İhsan Doğramacı Bilkent Ü.	Boyar Madde Uyarımlı Güneş Pilleri İçin Yeni Duyarlılaştırıcıların Sentezi Ve Karakterizasyonu	Yeni BODIPY tasarımı ve sentezi sıvı ve katı elektrolitlerle incelenmiştir.	DFT.	Sıvı ve katı elektrolitler verimleri arttırmıştır.
2010/ Atatürk Ü.	Çinko Oksit (ZnO) Nanoyapılar Üzerinde Boya İle Duyarlı Hale Getirilmiş Güneş Pillerinin Üretilmesi	Nano yapıların verimleri incelenmiştir.	Hidrotermal metot.	Çalışmada kullanılan materyaller içerisinde en iyi verim nano-çiçekler N719 ile birleşimiyle gözlenmiştir (%25).
2010/ İstanbul Teknik Ü.	Titanyum Anodizasyonu Yöntemi İle Boyar Maddeli Güneş Pili Hücresi Üretilmesi Ve Verim Karakterizasyonu	Anodizasyon parametresinin verimi.	Parlatma yöntemi.	Ti için kimyasal parlatma çözeltisi geliştirilerek nanotüp filmlerden elde edilen verimler artmıştır.
2011/ Kahramanmaraş Sütçü İmam Ü.	ZnO Tabanlı Doğal Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı	Kara havuçtan elde edilen boyanın verimi.	Hidrotermal metot.	Verim etanol konsantrasyonuna bağılı olarak değişmektedir.
2011/ Mustafa Kemal Ü.	TiO ₂ Katkılı Organik Hibrit Güneş Pilleri	TiO ₂ 'nin ucuz maliyetle üretilmesi ve boyar madde ile elde edilen verimi.	Doctor Blade yöntemi.	Ucuz üretim sağlanabilmiş ve verim düşük çıkmıştır.
2012/ Abant İzzet Baysal Ü.	Sprey Püskürtme Metodu Kullanarak Üretilen Boya İle Hassaslaştırılmış Güneş Pillerinin İncelenmesi	Üretilen boyanın verimi incelenmiştir.	Sprey Püskürtme Metodu.	Bu yöntemle üretilen boya verimlerinin olumlu sonuçlar vereceğı görülmüştür.
2013/ K. Dumlupınar Ü.	Nb ₂ O ₅ Ve Nb ₂ O ₅ Tabanlı İnce Filmlerin Karakterizasyonu Ve Güneş Pili Üretimi	BDGP'nin mikro yapı ve uygulanan üretim yöntemi incelenmiştir	Sol-jel yöntemi.	Düşük maliyetli ve verimi yüksek güneş pilleri üretilmiştir.
2013/ ODTÜ	Modelleme Ve Deneyisel Olarak Titanosilikat ETS-10 Araştırması: Güneş Pilleri Uygulamaları Araştırmaları	Teorik ve deneysel olarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	ETS-10 iyon değişimi yöntemi, DFT.	ETS-10 ile oluşturulan boya duyarlı güneş hücrelerinin yük döngüsü geliştirilmelidir.
2013/ İhsan Doğramacı Bilkent Ü.	Kıral BODIPY Boyaları & Fotodinamik Terapi Ve Boya Duyarlılaştırılmış Güneş Pilleri İçin Fotoduyarlılaştırıcılar	Zayıf BODIPY molekülleri ile fenil türevi boyanın birleşmesi ile üretilen pilin verimi incelenmiştir.	DFT.	Verim alınamamıştır.
2013/ Ege Ü.	Farklı Morfolojilerde CdO Ve ZnO Elektrodların Sentez, Karakterizasyonu Ve Organik Boya Esaslı Güneş Pillerinde Uygulamaları	TiO ₂ yerine CdO ve ZnO kullanılarak verimleri incelenmiştir.	Mikrodalga ve hidrotermal yöntemleri.	ZnO:CdO elektrot kullanımı yüksek verim vermiştir.
2014/ Abant İzzet Baysal Ü.	Güneş Pili Üretimi Ve Verimlilik Hesapları	Pil üretimi ve verimi incelendi.	Püskürtme tekniğı, screen printing metodu.	Verim %2,2 bulundu.

2014/ Gediz Ü.	Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Elektriksel Eşdeğer Devre Modellemesi	Farklı boyaaların aydınlatmalardaki kararlılıkları inceleniyor.	Bir diyotlu eşdeğer devre modeli.	Boyaalar aydınlatmalarda tutarlılık göstermiştir.
2014/ Mersin Ü.	Boya Esaslı Nano-kristal Güneş Pillerine Yönelik Yeni Rutenyum Komplekslerinin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Performans Çalışmalarının Yapılması	Pil üretimi ve verimi incelendi.	Döngüsel Voltametri	Yarı iletken ve redoks çift bileşenlerindeki iyileştirmeleri pil verimini artıracaktır.
2014/ Süleyman Demirel Ü.	Boya Esaslı Güneş Pillerinde Kullanılabilecek Supramoleküler Yapıların Sentezi Ve Foto-Fiziksel Çalışmalar	Ftalosiyanın molekülleri sentezlenerek verimi incelenmiştir.	Elektrokimyasal polimerizasyon ve istatistiksel kondenzasyon yöntemleri.	Çalışılan moleküller içerisinde en iyi verim değeri 3,81mA/cm ² olarak bulunmuştur.
2014/ Recep Tayyip Erdoğan Ü.	Katkılı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Elektronik Özelliklerinin Hesaplanması	TiO ₂ 'de yabancı madde katkılanması incelendi.	DFT.	Çalışma literatürdeki teorik ve deneysel verilerle uyumluluk göstermiştir.
2015/ İTÜ	Boya Uyarımlı Güneş Pillerinin Üretimi Ve Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu	Baskı tekniği kullanılarak katı hal boya uyarımlı güneş pilleri üretimi amaçlanmıştır.	Baskı tekniği.	Endüstriyel alanda üretim için yeni parametreler geliştirilmiştir.
2015/ Gediz Ü.	Sonokimyasal Methodla Büyütülmüş ZnO Nano Yapılı BDGP'lerin Fabrikasyonu Ve Elektriksel Karakterizasyonu	Kolay, hızlı ve düşük maliyetle üretim araştırılmıştır.	Sonokimyasal metot, ultrasonik sonikasyon yöntemi.	Sonochemical yöntem ile kolaylıkla seri üretimler yapılabileceği görülmüştür.
2015/ İzmir Yüksek Teknoloji Ü.	Güneş Pillerinde Kullanılan Ruthenium Boyaların Elektronik Yapısının Hartree Fock Kuramı İle Kuantum Monte Carlo Tekniğinin Birleştirilerek İncelenmesi	Rutenyum türevli boyaların elektronik manyetik özellikleri incelenmiştir.	DFT, Hartree Fock Kuramı ve Kuantum Monte Carlo Teknikleri.	4d orbitallerinin doluluk oranları ve manyetizasyonları elde edilmiştir.
2015/ İhsan Doğramacı Bilkent Ü.	Yüksek Verimli Boya Uyarımlı Güneş Pilleri İçin Fotoanot Geliştirilmesi	Fotoanot bileşeninin verime etkisi incelenmiştir.	Hidrotermal yöntem.	Deneyde yapılan farklı çalışmalar neticesinde verimin 3 kata kadar arttırılacağı bulunmuştur.
2015/ Mersin Ü.	Boya Temelli Güneş Pillerine Yönelik Yeni Subftalosiyanın Türevlerinin Sentezi Ve Performans Çalışmalarının Yapılması	Subftalosiyanın türevli 4 farklı molekülün boya verimleri incelenmiştir.	Vakumlu kaplama yöntemi.	En iyi verim periferik konumdaki SC ₈ H ₁₇ den elde edilmiştir.

2015/ YTÜ	Boya Hassasiyetli Güneş Pilleri İçin D- π -D Türevli Ftalosiyanınların Sentezlenmesi, Spektroskopik Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi	Yeni nikel, kobalt, Ru ve çinko fthalosiyanınların sentezlenmesi incelendi.	Kolon kromatografisi ile saflaştırma yöntemi ve Malditof (elektron ağırlığı) yöntemi.	BDGP'ler için yüksek molar soğurma katsayılarına sahip oldukları görülmüştür.
2015/ Ege Ü.	Katkılandırılmış TiO ₂ İnce Filmlerin Üretilmesi, Karakterizasyonu Ve Boya Katkılı Güneş Pili Aygıtlarının Geliştirilmesi	BDGP aygıtlarının geliştirilmesi ile ışığı absorblama durumu incelenmiştir.	Sol-jel yöntemi.	Co-absorbe kullanımı ile verim artmıştır.
2016/ KMÜ	Biyo-Malzeme Duyarlı Güneş Pili	Mor ötesi bölgede ışığı soğuran buğday ve nohut bitkilerinin DNA'sından BDGP üretimi çalışılmıştır.	Döndürerek kaplama yöntemi ve DNA reaksiyon yöntemleri.	Ru türevli boyalara eş duyarlaştırıcı olarak kullanılabileceği ve verimi arttırdığı gözlenmiştir.
2016/ İTÜ	Boya Uyarımlı Güneş Pili Uygulamaları İçin TiO ₂ -Poli (Alkilendioksitiyofen) Nano Yapılarının Üretimi	Modifiye edilmiş TiO ₂ nanoçubukları ile FTO elektrotları üretilerek verim incelenmiştir.	Daldırma, elektro çekim, elektrosprey, mekanik kırma ve elektrokimyasal kaplama yöntemleri.	Sadece poli türevli elektrotlardan verim yüksek çıkmıştır.
2016/ S. Demirel Ü.	Elektrokimyasal Depolama Yöntemi İle Boyar Maddeli Güneş Pili Üretimi	Farklı yöntemlerin verime etkileri incelenmiştir.	Elektrokimyasal depolama, kronoamperometri ve dönüşümlü voltametri yöntemi.	Veriler literatüre kazandırılmıştır.
2016/ İstanbul Ü.	Plasmonik Nanoparçacık Katkılı Boyaya Duyarlı Güneş Pilleri	Boya verimini artırmak.	Kaplama yöntemi.	Plasmonik etki le verim artırılmıştır.
2016/ YTÜ	Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Makro Halkalı Tetra Pirollerin Etkisi	Farklı metotla 5 ayrı durum incelendi.	Damlatma ve daldırma yöntemi.	Verim artışı gözlemlendi. Elektrolit sızdırması önlemleri. Alternatif karşıt elektrot bulundu. Boyanın tekrardan indirgenmesi sağlandı.
2016/ Bozok Ü.	Yeni Türdeki Jellerin Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanılması	Jellerin sıvı elektrolit yerine kullanımındaki kararlılığı incelenmiştir.	Serbest radikallik kopolimerizasyon ve kimyasal banyo biriktirme yöntemi.	Karadut ile üretilen BDGP'den elde edilen verimin arttığı gözlenmiştir.
2016/ YTÜ	Boya Hassasiyetli Güneş Pilleri İçin D- π -D Türevli Fluorenlerin Sentezlenmesi Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi	3 Farklı ligand ve bu ligandlarla Ru kompleksleri sentezlenerek karakterizasyon ve verim incelendi.	Solüsyon tabanlı yöntem.	4,5-diazafluorenlerin geliştirilmesi öngörülmüştür.

2017/ Bozok Ü.	Doğal Boyayla Duyarlılaştırılmış Güneş Pili Üretimi Ve Yapının Sensör Karakteristiklerinin Belirlenmesi	Fotoaktif kimyasal dönüşüm hücrelerinin güneş pili özellikleri ve ışık dedektör özellikleri incelenmiştir.	Fotovoltaaj, analitik ve ekstraksiyon yöntemleri kullanılmıştır.	Verim değerleri iyileştirilmiştir.
2017/ Sakarya Ü.	Boya Duyarlı Güneş Pili İçin Ditizon Metal Kompleks Boyalar Geliştirilmesi	Ditizon ve ditizon-metal-gallik asit komplekslerinin sentezi.	Mikrodalga destekli hidrotermal ve elektrokimyasal yöntem.	Ditizonun tek başına TiO_2 'ye bağlanamadığı ve TiO_2 'nin katkılanması ile ditizona bağlanabildiği görülmüştür.
2017/ Sakarya Ü.	Yeni Yaklaşımlarla Tanin Esaslı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Geliştirilmesi	Taninlerin ve bunların demir komplekslerinin elektrokimyasal özellikleri incelenmiş ve güneş pili yapımı araştırılmıştır.	Doctor Blade ve Raman yöntemleri.	Demir-tanin boyası metal içermeyen organik boyalarla aynı verimi verdiği görülmüştür ve daha az maliyetle üretilmiştir.
2017/ YTÜ	4,5-Diazafluoren-9-On Esaslı Kobalt (II/III) Redoks Aracının Boya Duyarlı Güneş Pillerindeki Performansları	Kullanılan ürünün sentezi yapılmış ve verimi incelenmiştir.	Solüsyon tabanlı yöntem.	Literatüre yeni çalışmalar kazandırılmıştır.
2017/ Erzincan Binali Yıldırım Ü.	Alüminyum Katkılı TiO_2/ZnO Nanokompozit Yapıların Karakterizasyonu Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Performanslarının İncelenmesi	Verim artışı amaçlanmıştır.	Anodik oksidasyon yöntemi hidrotermal durumlarda katkılama.	Yasak enerji bant aralığının azalması ve rekombinasyon oranlarının baskılanması sonucunda yük transfer direncinin azalmasıyla verim artmıştır.
2017/ KMÜ	İki Adımlı Elektrokimyasal Kaplama Yöntemiyle Yeni Nesil Cu_2XSnS_4 ($X=Co^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2}, Ni^{+2}, Zn^{+2}$) İnce Filmlerin Sentezi Ve Karşıt Elektrot Olarak Boya-Duyarlı Güneş Pili Uygulamaları	İletken metallerin karakterizasyonu ve BDGP'ler için kullanımı incelenmiştir.	Elektrokimyasal kaplama.	Farklı metallerden üretilen ince filmlerin BDGP'ler için kullanılabileceği görülmüştür.
2017/ Mersin Ü.	Boya Temelli Güneş Pillerine Yönelik Ftalosiyanın Türevlerinin Sentezi Ve Performans Çalışmalarının Yapılması	Literatürde ilk kez sentezlenecek 3 farklı ftalosiyanın molekülü sentezlenmiş BDGP verimleri incelenmiştir.	Molekül sentezleme yöntemi.	Asimetrik karboksilik asit türevleri literatüre kazandırılmıştır.
2017/ Ankara Ü.	ZnO Tabakalı, TiO_2 Bazlı Boya Duyarlı Organik Güneş Pillerinin Sentezlenmesi, Karakterizasyonu Ve Veriminin Geliştirilmesi	Katkılı ve katkısız durumdaki ZnO tabakasının FTO ve TiO_2 arasındaki potansiyeli karşılaştırılmıştır.	Spin kaplama metodu ve doctor blade yöntemi.	Katkılı durumda verimin arttığı ve en iyi verimin Al katkılanması ile sağlandığı gözlemlendi.

2018/ Erzincan Binali Yıldırım Ü.	Farklı Konsantrasyonlarda Sentezlenen TiO_2/ZnO Nanokompozit Yapıların Karakterizasyonu Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Performanslarının İncelenmesi	TiO_2/ZnO nanoçubuk hibrit yapılarının verime etkisinin incelenmesi.	Anodik oksidasyon yöntemi ve hidrotermal yöntem.	Platin yüzeyde verim değerleri çalışmaya değer bulunmuştur.
2018/ Eskişehir Osmangazi Ü.	Karbozal Türevli Maddelerin Sentezlenmesi, Karakterizasyonu Ve Güneş Pili Uygulamaları	Karbozal türevli boya verimleri değerlendirilmiştir.	Bromlama, Suzuki kenetleme ve oksitleme yöntemleri.	Verim artışları gözlenmiştir.
2018/ Selçuk Ü.	Evropiyum (Eu^{+3}) Katkılı TiO_2 İnce Filmlerin Sentezi Karakterizasyonu Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Foto-Anot Olarak Kullanımı	Saf ve farklı konsantrasyonlardaki Evropiyum katkılı TiO_2 'nin BDGP'de kullanılabilirliği inceleniyor.	Sol-jel yöntemi.	Elde edilen verim değerleri saf Evropiyumda %27'nin üzerinde çıkarken farklı konsantrasyondaki Evropiyumda %11,31 çıkmıştır.
2018/ Erciyes Ü.	N-koordine Metal Komplekslerinin Sentezi, Katalitik Uygulamaları Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Özellikleri	N-koordine yapısında sülfanamid türevli ligandların BDGP' kullanabilirliği incelenmiştir.	Doctor blade ve termal analiz yöntemleri.	N-koordine sülfanamid türevleri çalışması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır.
2018/ Atatürk Ü.	Kimyasal Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanan Çinko Oksit Nanoçubuklarının Üretimi, Karakterizasyonu Ve BDGP Uygulamaları	ZnO nanoçubukları büyütülerek veriminin incelenmesi ve Carmi türü boyanın etkisi araştırılmıştır.	Kimyasal püskürtme.	Kalın yapıdan elde edilen verim daha fazla çıkmıştır.
2018/ İzmir Katip Çelebi Ü.	Boya Duyarlılaştırılmış Güneş Pillerinin Verimlerini İyonik Sıvı Esaslı Moleküller Kullanarak Artırmak	İyonik sıvının verim performansının geliştirilmesi.	Boyaya daldırma yöntemi.	Verim artışı sağlanmıştır.
2018/ Ankara Yıldırım Beyazıt Ü.	TiO_2 Bazlı Boyaya Duyarlı Güneş Pillerinin Sol-gel Yöntemi İle Elde Edilmesi	Kalınlığın dut, kök boyası ve eozin boyalarında verimleri araştırıldı.	Sol-gel yöntemi ve döndürerek kaplama.	Verimlilik standart test sonuçları altında bulundu.
2018/ Celal Bayar Ü.	Karışım Heteroeklem Güneş Pilleri İçin Modifiye Edilmiş Bazı Doğal-Küçük Moleküllü Boyaların Sentezi Ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi	Sentezlenen doğal boyaların verimleri incelendi.	Renklendirme, kolon kromatografisi, kristalizasyon ve preparatif ayırma yöntemleri.	Sentezlenen yeni türevli boyaların heteroeklem hücrelerde de çalışmaya değer olduğu bulunmuştur.
2019/ Selçuk Ü.	Praseodymium (Pr^{+3}) Katkılı TiO_2 Filmlerin Boya Duyarlı Güneş Pili Foto-Anot Olarak Uygulanması	Praseodymium katkılı TiO_2 'nin BDGP'deki verimi incelendi.	Sol-jel ve doctor blade yöntemleri.	Katkılama verimi yükseltmiştir.

2019/ Erciyes Ü.	BDGP Üretimi İçin Yeni Materyallerin Geliştirilmesi	N-koordine poladyum komplekslerinin BDGP'deki verimleri incelendi	Döngü diyagramı ve emdirme yöntemleri.	Verimlerin yüksek çıktığı gözlemlendi.
2019/ Erzincan Binalı Yıldırım Ü.	Farklı Sıcaklıklarda Sentezlenen TiO ₂ /ZnO Nanokompozit Yapılarının Karakterizasyonu Ve BDGP Performanslarının İncelenmesi	TiO ₂ /ZnO üretiminin BDGP'de verime etkisi.	Anodik oksidasyon, Hidrotermal ve daldırma yöntemleri.	Beklenen verim değerlerinin iki katı sonuca ulaşıldığı gözlemlendi.
2019/ Ankara Yıldırım B.Ü.	Plazmonik TiO ₂ Kompozit Malzemeler Ve Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanımı	Plazmonik TiO ₂ fotonlarının farklı yollarla sentezlenmesinin verime etkisi.	Solvotermal ve silanizasyon prosedürlü yöntemler.	Verim DEĞERLERİ %7 civarında artmıştır.
2019/ Alanya Alaaddin Keykubat Ü.	Boya Duyarlı güneş Pilleri İçin TiO ₂ Bazlı Malzemelerin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Uygulaması	TiO ₂ geçiş metallere 3 tanesi ile ayrı ayrı katkılanarak verime etkisi incelenmiştir.	Dinamik Işık Saçılımı metodu.	Toz boyutlarının küçük olması verimi arttırmıştır.
2019/ Sakarya Ü.	Phylotacca Americana Bitkisinden Elde Edilen Pigmentlerin Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanımının İncelenmesi	Şekerciboyası bitkisinin meyvesinden ve salkımından boya üretilmiş ve verimleri incelenmiştir.	Doctor blade yöntemi.	En yüksek verimin salkımdan elde edildiği görülmüştür. (%3,04)
2019/ Kütahya Dumlupınar Ü.	Boya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Yeni Nesil Nanomalzemelerin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Uygulamaları	Çok duvarlı karbon nanotüp bazlı platin üretimi ve karşıt elektrot olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.	Mikrodalga yöntemi.	Karşıt elektrot olarak kullanılabilir olduğu netleştirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır.
2019/ Sakarya Ü.	Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Berberis Vulgaris Ekstraktlarının Fotoduyarlastırıcı Olarak Kullanımının İncelenmesi	Kadıntuzluğu bitkisinin meyvesinin ve kökünün verim incelemeleri yapılmıştır.	Doctor blade yöntemi.	%91 verim meyvede görülürken %54 verim kökte görülmüştür.
2019/ Kütahya Dumlupınar Ü.	Vanadyum Pentaoksit Fotoanot Malzemesinin Nanokristal TiO ₂ Tabanlı Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerine Etkisi	Vanadyum pentaoksitin verim incelemesi.	Sıyırma, sol-jel yöntemleri ve döndürerek kaplama metodu.	%5,6 civarında verim elde edilmiştir.
2019/ Sakarya Ü.	Çinko, Kobalt Ve Nikel İçeren Ftalosiyanın Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanımının İncelenmesi	Duyarlastırıcı olarak kullanılan ftalosiyanın örneklerinin BDGP'de elektrokimyasal, optik ve fotovoltaik özellikleri incelenmiştir.	Doctor blade metodu.	Bant aralığının ve molar absorpsiyon katsayısının BDGP veriminde etkisi gözlemlenmiştir.

2019/ Ankara Ü.	Elektron Ve Enerji Aktarım Mekanizmalarının Boya İle Duyarlaştırılmış Güneş Pillerinin Verimliliği Üzerine Etkileri	Elektron ve enerji transfer mekanizmalarının BDGP verimine etkisi incelenmiştir.	Ultra gözlem spektroskopisi ve lazer ablasyon teknikleri.	Lazer ablasyon tekniği ile verimlerin arttığı gözlemlendi.
2019/ Selçuk Ü.	Holmium (Ho ⁺³) Katkılı TiO ₂ Filmler Kullanılarak Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu	Saf ve katkılı BDGP'nin verim değerleri karşılaştırılmıştır.	Sol-jel metodu.	Katkılı üretilen BDGP verimi %28 civarında artmıştır.
2019/ Sakarya Ü.	Tiyazolo-Tiyazol, Schiff Baz Türevi Bileşiklerin Sentezi, Optik Özellikleri Ve Güneş Pillerinde Kullanımı	Tiyazolo-tiyazol, ferrosen ve boronik asit içeren yeni boya maddesinin sentezi ve karakterizasyonu incelendi.	Daldırma yöntemi.	Tiyazolo-tiyazol türevli boyaların belirgin renkleri olduğu gözlemlenmiştir.
2019/ Süleyman Demirel Ü.	Boyaya Duyarlı Güneş Pilleri	İndigo mavisi, bezathren kırmızısı ve bezathren sarısı incelenmiştir.	Air-Brush ile spreysel piroliz tekniği.	Sarı rengin ideal bir BDGP olacağı gözlemlenmiştir.
2020/ Gebze Teknik Ü.	Işık Toplayıcı Gruplar İle Fonksiyonlandırılmış Yeni Ftalosiyanın Sentezi Ve Güneş Pili Uygulamalarının Araştırılması	Ftalosiyanın molekülleri sentezlenerek verimi incelenmiştir.	Sonogashira kenetlenme reaksiyon, elektrokimyasal, buhar kaplama, spin kaplama yöntemleri ve DFT.	Verim eldelerinin olumlu şekilde olduğu görülmüştür.
2020/ Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Ü.	Morfoloji Ve Boya Etkisinin CdS-Tabanlı Hibrit Güneş Pillerinin Verimliliği Üzerine Olan Etkilerinin Araştırılması	İnce filmlerin farklı yöntemlerle üretilmesinin BDGP'ye etkisi.	Kimyasal püskürtme, kimyasal banyoda çökeltme, Doctor Blade ve hidrotermal.	İnce filmlerin BDGP'ye dönüşümünde verime etki gözlemlenmiştir.
2020/ Yüzüncü Yıl Ü.	Yeni Ftalosiyanın Komplekslerinin Sentezi Ve Boyaya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Uygunluğunun İncelenmesi	Ftalonitril türevlerinin BDGP'de kullanılabilirliği incelenmiştir.	Spektroskopik yöntem.	Elde edilen sonuçlarca uygulanabilirliği gözlemlenmiştir.
2021/ Mersin Ü.	CZTS Güneş Pillerinde Verimliliği Artırmaya Yönelik Çalışmalar	BDGP'lerin üretimindeki maliyetin azaltılmasına yönelik çalışma yapılmıştır.	Sol-jel yöntemi ve döndürme ile kaplama metodu kullanılmıştır.	BDGP'lerde kullanılan İnce filmlerin katkılanması verimi arttırmıştır.
2021/ KMÜ	Boya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Yeni Boya Oluşturulması Ve Elektronik Özelliklerinin Hesaplanması	Sentezlenen Boyaların HOMO-LUMO değerleri teorik olarak incelenmiştir.	Gaussview uygulaması ile DFT hesaplanmıştır.	Elde edilen sonuçların literatürdeki verimlerle benzerlik gösterdiği görülmüştür.
2021/ Eskişehir Teknik Ü.	ZnO:Cu Ve ZnO:Mn Tabanlı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Fabrikasyonu Ve Karakterizasyonu	Katkılı ve katkısız durumdaki ZnO tabakasının verim değeri incelenmiş ve düşük maliyetle fabrikasyon üretimi amaçlanmıştır.	Hidrotermal sentez ve daldırma yöntemi.	Katkılama verimi yükseltmiştir.

2021/ Batman Ü.	Quercetin Cu(II) Kompleksi İle Duyarlaştırılmış TiO ₂ Tabanlı Boya Duyarlı Güneş Pili'nin Fabrikasyonu Ve Karakterizasyonu	Quercetin Cu(II) kompleksili duyarlaştırıcı ile BDGP'deki verimi.	Doctor blade tekniği.	Kararlı bir yapı sergilediği iyi verimler elde edildiği belirlendi.
2021/ Düzce Ü.	Fotoanaot Tavlama Sıcaklığı Ve Elektrolit Türünün BDGP Performansına Etkisinin İncelenmesi	BDGP'de, 4 farklı fotoanaot tavlama sıcaklığı ve 2 farklı elektrolit türün etkileri araştırılmıştır.	Doctor Blade yöntemi.	Elektrolytler için yüksek tavlama yüksek verim elde edilmiştir.
2021/ Sivas Cumhuriyet Ü.	Naftakinon Türevi Bileşiklerin BDGP Performanslarının Hesaplanması	6 farklı donör incelendi.	DFT ve TD-DFT metotları Polarizable continuum model.	Elektron salıcı bağlı gruplar daha yüksek verim vermiştir. Elde edilen deneysel ve teorik hesaplamalar uyumludur.
2021/ Iğdır Ü.	Organik Boya Esaslı Güneş Pilleri İçin Fenazin Tabanlı Aday Organik Boyaların Kuantum Kimyasal Hesaplamaları	BDGP'de kullanılmak üzere fenazin tabanlı organik moleküller incelenmiştir.	DFT ve TD-DFT metotları.	BDGP'ler için yeni boyalar tasarlanabileceği bulunmuştur.
2021/ Zonguldak Bülent Ecevit Ü.	Güneş Pillerinde Boya Olarak Mono Karboksilik Asit Sübstitüe Çinko Ftalosiyanınların Kullanılması	Ftalosiyanın molekülleri sentezlenerek BDGP'de verimi incelenmiştir.	Hidrotermal yöntem.	Absorbsiyonu yüksek iki yeni ftalosiyanın türevi boya bulunmuştur.
2022/ Ankara Yıldırım Beyazıt Ü.	Zr Katkılı ZnO Nanoçubuklar Ve TiO ₂ Nanopartiküllerden Oluşan Hibrit Fotoanotlara Duyarlı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Üretilmesi Ve Karakterizasyonu	ZnO nanoçubukların elektron taşıma özelliklerini geliştirmek.	Elektrokimyasal metot.	Zr katkılamaıyla elektron taşıma özelliği artarak verim olumlu etkilenmiştir.
2022/ Abdullah Gül Ü.	Yüksek Performanslı Organik Transistörler Ve Güneş Pilleri Uygulamaları İçin Yeni Yarı İletken Malzemeler	İki yeni malzemenin verime etkisi incelenmiştir.	Hidrotermal yöntem.	%4 civarında verimde iyileştirme gerçekleşmiştir.
2022/ Marmara Ü.	Boyaya Duyarlı Güneş Pillerinde Metalli Ftalosiyanın Kullanımı	Metal sübstitüe ftalosiyanınların sentezi ve BDGP'de verimin iyileştirilmesi.	Doctor blade metodu.	Verim değerlerinin arttığı gözlenmiştir.
2022/ Gazi Ü.	Güneş Enerjisi Kullanımı İçin Au@SiO ₂ Ve Ag@SiO ₂ Çekirdek-Kabuk Nanoparçacıklarına Duyarlı Plazmonik Boya-Sensitize Güneş Pillerinin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu	Nanoparçacıkların hızlandırılması ve verime etkisi.	Lazer ablasyon tekniği.	Lazer enerjisinin artması ile verim artmıştır.

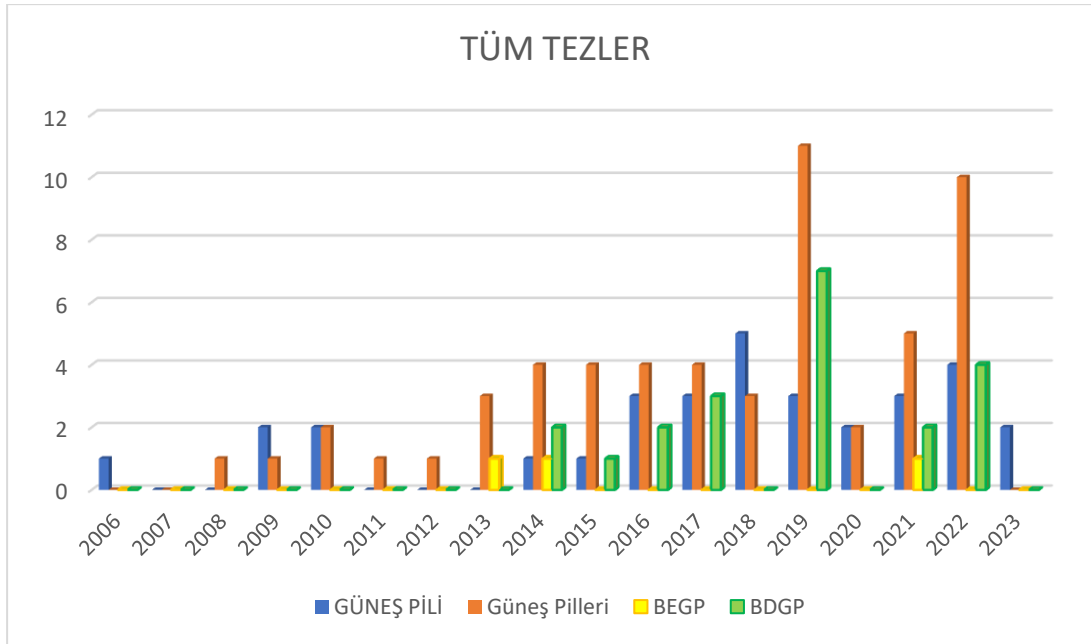
2022/ Ankara Yıldırım Beyazıt Ü.	Homojunction Fotoanot Tabanlı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Üretimi Ve Optimizasyonu	Bloklama katmanı ve gözenekli yapının BDGP verimine etkisi incelenmiştir.	Döndürerek kaplama.	Üretim maliyetinin azalması ve verimin arttığı belirlenmiştir.
2022/ Eskişehir Teknik Ü.	Farklı Boyaların ZnO Tabanlı Tabanlı Güneş Pillerinin Verimine Etkisi	Bromür türevli katkılama ile farklı sıcaklıklardaki değerler incelenmiştir.	Hidrotermal yöntem.	Yüksek verim eldesinde boya türünün, boya emiliminin ve morfolojik yapının etkili olduğu kanıtlanmıştır. N749 boyasından elde edilen verimin N719'dan yüksek olduğu görülmüştür.
2022/ İTÜ	Güneş Pillerinde Fotohassaslaştırıcı Olarak Kullanılan Simetrik Olmayan TiO(IV) Ftalosiyanın Sentezi Ve Karakterizasyonu	Ftalonitril türevleri incelenmiştir.	Kütle spektroskopisi tekniği.	Alternatif boyalar bulunmuştur.
2022/ Sakarya Ü.	Boya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Ftalosiyanın Boyalarının Geliştirilmesi	Ftalonitril türevleri incelenmiştir.	Doctor blade, DFT, TD-DFT yöntemleri.	Alternatif boyalar bulunmuştur.
2022/ Sakarya Ü.	Polimerik Boyaların Sentezi Ve Güneş Pili Uygulamaları	Bezoksazin türevli polimerlerin BDGP'de uygulanabilirliği incelenmiştir.	Termal ve mikrodalga yöntem.	Literatürde ilk defa araştırılarak BDGP'ler için kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.
2022/ Kütahya Dumlupınar Ü.	Boya Duyarlaştırılmış Titanyum Dioksit Güneş Pillerinin Üretimi Ve Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi İle Modüllemesi	TiO ₂ tabanlı BDGP'nin verim artırılması amaçlanmıştır.	DFT.	9 farklı kristal formda yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel ve teorik verilerle %99 benzerlik göstermiştir.
2022/ Recep Tayyip Erdoğan Ü.	Çay İle Organik BDGP Üretimi Ve Karakterizasyonu	Yüksek verimli, dengeli ve sürdürülebilir enerji kaynağı üretimi amaçlanmıştır.	Damlatma yöntemi.	Pil üzerindeki verimin her noktada aynı değerde olduğu ve daha dengeli çalıştığı bulunmuştur.
2022/ Fırat Ü.	Kompozit Yarı İletken Fotoanotların Boya Duyarlı Hibrit Güneş Pili Performansına Etkisi	TiO ₂ ve ZnO Tozlarının verim değerlerinin karşılaştırmaları araştırılmıştır.	Hidrotermal yöntem ve serigrafi yöntem ile kaplama.	Saf TiO ₂ 'nin daha yüksek verimde olduğu ve tabakanın kalınlaşmasıyla kararlılığın ve verimin arttığı görülmüştür.

2022/ Gebze Teknik Ü.	Elektrokimyasal Olarak İndirgenmiş Grafen Oksit (ERGO)-TiO ₂ Nanokompozit Elektronların Hazırlanması Ve Boya Duyarlı Güneş Pillerinde (DSSC'lerde) Fotoanot Olarak Kullanılması	Elektrokimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit ile TiO ₂ 'nin birleşmesi sonucu verim incelenmiştir.	Elektrokimyasal ko-depozisyon yöntem.	Elektrokimyasal olarak indirgenmiş grafen oksitin yüzey alanının geniş olmasıyla hızlı yük transferi gerçekleşir ve buda verimin ciddi derecede artmasını sağlamıştır.
2023/ Ankara Yıldırım Beyazıt Ü.	Boya Duyarlı Bir Güneş Pili'nin Üretimi Ve Analizi: Hidrotermal Olarak Büyütülmüş Hibrit Fotoanot Ve Opak Platinyum Karşıt Elektrot	Birden fazla yöntemle düşük maliyette ve iyi verimli BDGP üretimi çalışılmıştır.	Kimyasal banyo biriktirme, Hidrotermal büyütme ve döndürmeli kaplama yöntemleri.	Maliyetin azalması ve verimin artması için umut verici bir çalışma olmuştur.
2023/ YTÜ	Farklı Çapa Grubu İçeren 4,5-Diazafluorenlerin Ve Rutenyum Komplekslerin Sentezi, Karakterizasyonu, Boya Duyarlı Güneş Pili Uygulamaları	5 farklı Ru ve ligand türevli çapa grubu boyalarla BDGP üretilmiş ve verimleri incelenmiştir.	DFT.	En yüksek verim kategorisi çapa grubunda görülmüştür.

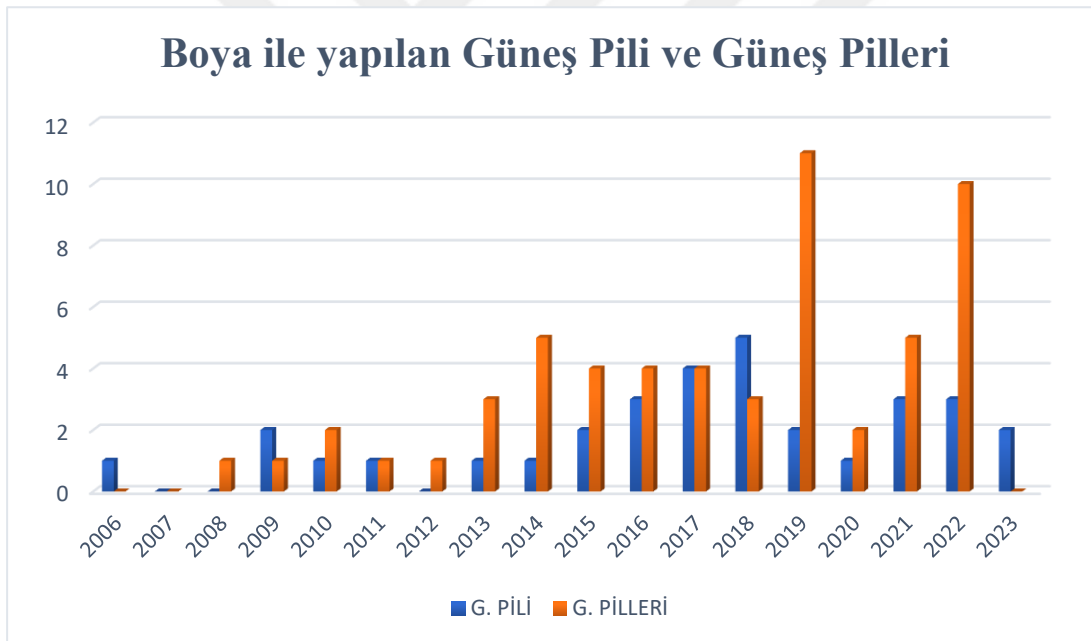
Tablo 4.1: Ulusal Tez Merkezinden alınan ‘Güneş pili’ ve ‘Güneş Pilleri’ çalışmaları.

Tablo 4.1’ de görüldüğü gibi, 90 tezin 21 tanesinde BDGP kelimeleri, 3 tanesinde ise BEGP kelimeleri tez adında yer almaktadır. Buradan görüldüğü üzere BDGP konulu tez çalışmaları ilk kez 2006 yılında başlamıştır.

2006-2023 yılları arasında yapılan tez çalışmalarının ‘BDGP’, ‘BEGP’, ‘Güneş Pilleri’ ve ‘Güneş Pili’ tarama terimlerine göre yıl bazında dağılımı Şekil 4.1’de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere, 2006-2013 yılları arasında yapılan ortalama tez sayısı bir elin parmağını geçmeyecek kadar azdır. Nitekim 2008 yılında BDGP konulu hiçbir tez çalışmasının olmadığı görülmektedir. Bu konuda yapılan tez çalışmaları daha çok 2016 yılından sonra ivme kazanmıştır. 2019 yılında çalışmaların pik yaptığı görülmektedir. 2021 ve 2022 yıllarında görece bir azalma mevcuttur ki bu durumun tüm dünyada etkin olan pandemik süreçten ülkemizdeki çalışma koşullarının ve araştırmacıların da negatif etkilenmesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.



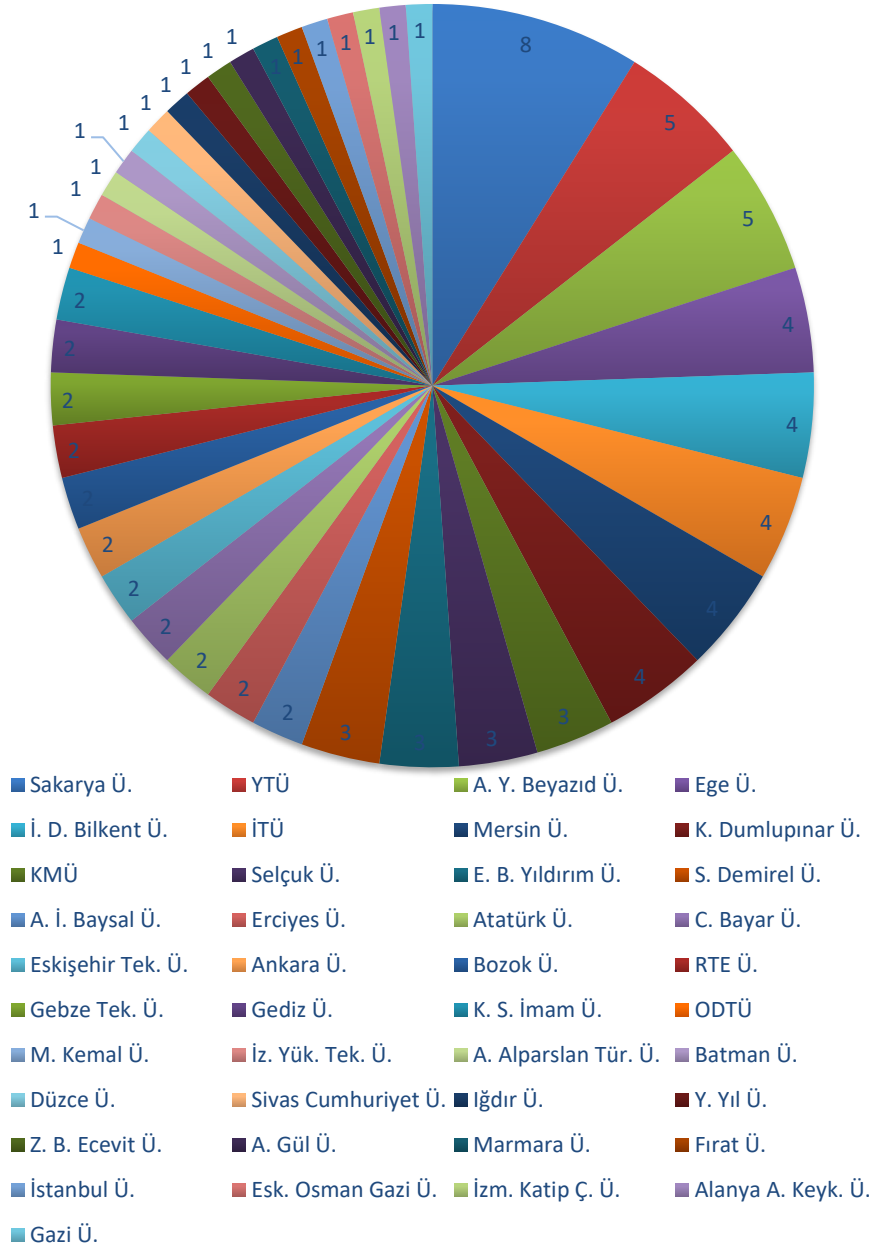
Şekil 4.1: Ulusal Tez Merkezinde BDGP için yapılmış tüm tezler.



Şekil 4.2: Boya ile yapılmış Güneş Pili ve Güneş Pilleri Tez sayıları.

BDGP konulu tezlerin yıllara göre üniversiteler bazında dağılımı Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Toplam çalışma sayısında Sakarya Üniversitesinin 8 tez çalışmasıyla zirvede olduğu, ardından 5 çalışmayla Yıldız Teknik Üniversitesinin geldiği görülmüştür. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi 3 çalışmayla listede yer almıştır. Araştırma laboratuvarları ve altyapısı olan, Tübitak vb. projelerle destek alan üniversitelerde çalışmaların daha fazla yapılabilmesi beklenen bir sonuçtur.

ÜNİVERSİTEDE YAPILAN TEZ SAYILARI



Şekil 4.3: Üniversitelerde yapılan tez sayılarının dağılımı.

Google Akademik üzerinden ‘Dye Sensitive Solar Cells (DSSC)’ anahtar kelimesiyle tarama yapıldığında son 20 yılda on binlerce çalışmaya ulaşılmaktadır. Yalnızca 2023 yılında yaklaşık 200 veri olduğu görülmektedir. 2024 yılının ilk haftasında bile 8 yayın verisi (bu veri 07.01.2024 saat 12.00’da alınmıştır) mevcuttur. Bu durum BDGP konulu çalışmaların popülaritesine ışık tutmaktadır. Bu çalışmaları açıklaması açısından son yıllarda yapılan belli başlı uluslararası yayınlardan bir derleme aşağıda Tablo 4.2’de verilmiştir.

YIL/ MAKALE ADI	ÇALIŞMANIN AMACI	ÇALIŞMADA SONUÇ
2005/ Effect of hydrocarbon chain length of amphiphilic ruthenium dyes on solid-state dye-sensitized photovoltaics	Amfifilik rutenyum boyalarının hidrofobik hidrokarbon zincir uzunluğunun, katı hal boyasına duyarlı güneş pillerinde cihaz performansı üzerindeki etkisi incelendi.	Zincir uzunluğunun artmasıyla birlikte, sınırlayıcı bir zincir uzunluğuna kadar daha yüksek akımlar ve açık devre gerilimleri gözlemlendi.
2006/ Stable mesoscopic dye-sensitized solar cells based on tetracyanoborate ionic liquid electrolyte	Hızlandırılmış termal stres ve hafif ıslatma altında IL tabanlı DSSC'lerin performansının incelenmesi.	Yeni bir iyonik sıvı kullanarak tam güneş ışığında %7,0 enerji dönüşüm verimliliği elde edildi.
2007/ Organic dye-sensitized ionic liquid based solar cells: remarkable enhancement in performance through molecular design of indoline sensitizers	İndolin hassaslaştırıcıların moleküler tasarımı sayesinde performansta dikkate değer bir artışının incelenmesi	%7,2'lik verimliliğine ulaşıldı.
2007/ Zinc Stannate (Zn_2SnO_4) Dye-Sensitized Solar Cells	DSSC'de Zn_2SnO_4 nanoparçacıklarının araştırılması.	Zn_2SnO_4 'ün asidik boya moleküllerine karşı kararlı olduğunu göstermektedir.
2007/ Thermal stability of dye-sensitized solar cells with current collecting grid	Boya duyarlı güneş pilinin (DSSC) termal stabilitesini araştırmak için çeşitli dayanıklılık testleri yapılmıştır.	Döngü boyunca sıcak ve soğuk döngüsü stresi altında performansta neredeyse hiç bozulma olmadı.
2009/ Photovoltaics based on hybridization of effective dye-sensitized titanium oxide and hole-conductive polymer P3HT	Oleofilik tienil gruplarına sahip boyaların ve iyonik sıvı (IL), 1-etil-3'ün kullanıldığı yarı- katı-hal TiO_2 /boya/poli (3-heksiltiyofen) (P3HT) güneş pillerinin üretimi rapor edilmektedir.	Boyalı TiO_2 yüzeyi ve IL'deki lityum tuzu cihazların arayüzlerine katkı maddesi olarak performansı etkili bir şekilde artırabilir.
2010/ Dye-Sensitized Solar Cells: Sensitizer-Dependent Injection into ZnO Nanotube Electrodes	Hem protonlanmış hem de protosuzlaştırılmış formlarda farklı asitliğe sahip karboksilik asit bağlarına sahip iki porfirin bazlı boya, ZnO nanotüp elektrotları üzerinde incelenmiştir.	Verimli enjeksiyonun gerçekleşmesi için boyanın ZnO yüzeyini kısmen aşındırması gerekliliği ile tutarlıdır.
2011/ Design of Organic Dyes and Cobalt Polypyridine Redox Mediators for High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells	İki trifenilamin bazlı organik hassaslaştırıcının ve bir dizi kobalt polipiridin redoks aracısının sterik özelliklerinin, DSC'lerdeki genel cihaz performansının yanı sıra bu cihazlardaki taşıma ve rekombinasyon süreçleri üzerindeki etkisi karşılaştırıldı.	Düşük ışık yoğunluklu iç mekân koşullarında da mükemmel performans bulundu. Ayrıca çalışmada bir elektronlu dış küre komplekslerinin, yüzey yalıtım katmanlarına ihtiyaç duymadan n-tipi DSC'lerde kullanılabileceğini gösterdik.
2011/ High-efficiency dye-sensitized solar cells with ferrocene-based electrolytes	Arketipik ferrosen/ferrosenyum($Fc/Fc1$) tek elektronlu redoks çiftini yeni bir metal içermeyen organik donör-alıcı (Carbz-PAHTDTT) duyarlılaştırıcı ile birleştiren boya duyarlı güneş pilleri için %7,5'lik enerji dönüştürme verimlilikleri incelendi.	Bu $Fc/Fc1$ tabanlı cihazlar, karşılaştırılabilir koşullar altında I_2/I_3 2 elektrolitleri kullanılarak hazırlanan cihazlar için elde edilen verimliliği aşarak, gelecekteki boya duyarlı güneş pili uygulamalarında ferrosen bazlı elektrolitlerin büyük potansiyelini ortaya çıkarır.
2011/ Increasing the efficiency of zinc-phthalocyanine based solar cells through modification of the anchoring ligand	Birkaç çinko bazlı ftalosiyanın sentezlendi ve Boya Duyarlı Güneş Pillerinde (DSSC) kullanıldı.	Sabitlenme parçasının hem yüksek enjeksiyon verimleri elde etmek hem de genel cihaz verimliliğini etkileyen yavaş geri elektron transfer dinamikleri için kritik olduğu gösterildi.

2011/ High molar extinction coefficient heteroleptic ruthenium complexes for thin film dye-sensitized solar cells	İki yeni heteroleptik hassaslaştırıcı sentezlendi.	Verimli ince film güneş pillerinin gerçekleştirilmesinde yüksek sönme katsayılı hassaslaştırıcıların avantajını doğrulamaktadır.
2012/ All-solid-state dye-sensitized solar cells with high efficiency	İyot bazlı sıvı elektrolitlerin değiştirilmesi kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve sıvı elektrolit yerine delik iletimi için çözümlenebilir p-tipi doğrudan bant aralıklı yarı iletken CsSnI ₃ 'ün kullanılabileceğini gösterilmiştir.	İncelemeler neticesinde ortaya çıkan cihazların verimlilikleri düşük kalmaktadır.
2012/ Preparation of Doping Metal TiO ₂ Particle/Nanotube Composite Layer and Their Applications in Dye-Sensitized Solar Cells	Doping Metal TiO ₂ Partikül/Nanotüp Kompozit Katmanının boya duyarlı güneş piline etkisi incelenmiştir.	Yüksek performanslı bir DSSC elde edildi.
2013/ Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers	Çalışmada, bir donör-p-köprüsü-alıcının prototipik yapısını içeren ve hem elektrolit uyumluluğunu en üst düzeye çıkaran hem de ışık toplama özelliklerini geliştiren, moleküler olarak tasarlanmış bir porfirin boyası incelenmiştir.	%13 verimliliği sergileyen boyaya duyarlı güneş pili bulundu.
2014/ Meso-substituted porphyrins for dye-sensitized solar cells	Porfirin duyarlaştırıcılar ve bunların uyarılmış durumda yönelik elde etmeye yönelik tasarım stratejilerini ve görünür ve yakın IR spektrumlarını toplamak için pankromatik tepkiyi tartışıyoruz.	Şu ana kadar kobalt (III/II) tris (2,2bipiridin) kompleksi ile bazı porfirin boyaaları arasında bu uyum sağlanmıştır.
2014/ Kinetics of iodine-free redox shuttles in dye-sensitized solar cells: interfacial recombination and dye regeneration	İyot içermeyen metalorganik kompleksler ve saf organik redoks çiftleri arasındaki elektron transfer davranışının karşılaştırılmasına dayanarak, iyot içermeyen DSSC'lerdeki ilgi çekici arayüzey süreçlerinin kapsamlı bir açıklamasını sunmayı amaçlıyoruz, çünkü temel bilimsel nokta, arayüzey reaksiyonlarının kinetiği ile bağlantılıdır.	Metalorganik ve organik kükürt redoks çiftleri üzerindeki elektron rekombinasyonu ve boya rejenerasyonuna ilişkin mevcut bilgiler özetlenmiştir.
2015/ Efficient dye-sensitized solar cells based on carbon-doped TiO ₂ hollow spheres and nanoparticles	Farklı kalınlıklara ve faz bileşimlerine sahip nanoparçacıklardan ve karbon katkılı TiO ₂ içi boş kürelerden yapılmış tek ve çift katmanlı filmlerin üretimiyle TiO ₂ DSSC'lerin sistematik bir çalışması ve sonuçların literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.	Tek katmanlı güneş pillerinin ile en yüksek performansı gösterdiğini göstermiştir.
2015/ High performance dye-sensitized solar cells with inkjet printed ionic liquid electrolyte	DSSC substratlarında delik delmeyi ortadan kaldıran yeni bir hücre üretim dizisinin bir parçası olarak, boyaya duyarlı hale getirilmiş güneş pilinde bir iyonik sıvı sülfolan elektroliti başarılı bir şekilde mürekkep püskürtmeli olarak basmak.	DSSC substratlarında delik delmeyi ortadan kaldıran yeni bir hücre üretim dizisinin bir parçası olarak, boyaya duyarlı hale getirilmiş güneş pilinde bir iyonik sıvı sülfolan elektroliti başarılı bir şekilde mürekkep püskürtmeli olarak üretildi.

2016/ Enhanced light harvesting of dye-sensitized solar cells with TiO ₂ microspheres as light scattering layer	TMS'nin boya duyarlı güneş pillerinin (DSSC'ler) ışık hasadı ve fotovoltaiik performansı üzerindeki etkisi araştırıldı.	DSSC'lerde önemli bir fonksiyonel malzeme olan ışık saçılımı ve boya adsorpsiyonunun ikili fonksiyonlarını gösterdiğini kanıtladı. Pürüzlü yüzeyli titanyum (IV) izopropoksitten yapılan TMS'nin, pürüzsüz yüzeyli tetrabütül titanattan yapılan TMS'den daha iyi fotovoltaiik performans sergilediğini gösterdi.
2016/ Dye-sensitized solar cells with inkjet-printed dyes	Boya damla döküm yöntemiyle elde edilenle eşit performans ve stabilizeye sahip güneş pilleri üreten TiO ₂ filmi üzerine konsantre bir boya çözeltisinin mürekkep püskürtmeli olarak basılmasıyla elde edilen çok yönlü bir boya hassaslaştırma sürecini rapor ediyoruz.	DSSC TiO ₂ fotoelektrotları, üzerlerine mürekkep püskürtmeli baskı konsantre boya çözeltileri ile etkili bir şekilde boyanabilir.
2016/ Synthesis of TiO ₂ nanorice and their improved dye sensitized solar cells performance	Büyüme süresinin sentezlenmiş TiO ₂ nanoyapılarının bileşimi, morfolojisi ve kristal fazı üzerindeki etkisi incelendi ve TiO ₂ nanopirinçten imal edilen DSSC'ye karşılık gelen fotovoltaiik performansı da araştırıldı.	Nanopirin büyüme süresinin fotovoltaiik performans üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gösteriyor.
2017/ Organic dianchor dyes for dye-sensitized solar cells	Bu makale, birkaç boya tasarımı sınıfını tartışarak ve böylece boyaya duyarlı güneş pillerinin performansını ayarlayarak, dianchor boyalarındaki son gelişmelerin kapsamlı bir incelemesini sunar.	Verici birimlerin kısa bir p-köprüsü ile bağlanması durumunda da gözlemlenebilir, burada boyanın iki yakın piramidal uç kısmı elektrolit ile etkileşimi azaltmak için faydalıdır.
2017/ Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends	Cihaz modelleme, en son teknikler ve yeni cihaz yapıları perspektifinden bu gelecek vadeden teknolojinin gelişmiş tekniklerini ve araştırma eğilimlerini incelemektedir.	İyi geliştirilmiş bir model, deneysel zaman ve kaynaklardan önemli ölçüde tasarruf sağlayarak geliştirme sürecini hızlandırmak için kullanılabilir. Tandem ve katı hal DSSC'ler, sırasıyla yüksek verimlilikleri ve mükemmel kararlılıkları nedeniyle iki çekici cihaz yapısını temsil eder. DSSC'lerden kaynaklanan, bu iki çekici özelliğe sahip olan perovskite güneş pili, yeni nesil mezo-üstyapılı güneş pilleri (MSSC'ler) olarak hizmet edecektir.
2017/ Well-connected microsphere-nanoparticulate TiO ₂ composites as high performance photoanode for dye sensitized solar cell	Boya duyarlı güneş pili için yüksek performanslı fotoanot olarak iyi bağlanmış mikroküre-nanopartikülata TiO ₂ kompozitlerinin etkisini incelemek.	Nanokristalit TiO ₂ ile iyi bağlanmış mikrokürelerden oluşan kompozitler, bireysel mikrokürelerden veya nanokristalitlerden yapılmış fotoanot filmine göre daha iyi verim elde etmek için hassaslaştırılmış güneş pilleri için tercih edilen bir fotoanot olarak kullanılabilir.
2017/ Electrochemistry and dye-sensitized solar cells	Elektrokimyasal yöntemlerin bdgp üzerine etkisi incelenmiştir.	Elektrokimyasal yöntemler elektrot malzemelerinin, elektrolit çözeltilerinin, delik taşıma ortamlarının ve tam cihazların karakterizasyonu için vazgeçilmezdir.
2017/ Multi-functional 3D N-doped TiO ₂ microspheres used as scattering layers for dye-sensitized solar cells	DSSC için saçılma katmanları olarak kullanılan çok işlevli 3D N katkılı TiO ₂ mikrokürelerin incelenmesi ve sonuçların literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.	DSSC'lerde kullanıldığında daha yüksek açık devre voltajlarına ve daha uzun elektron ömürlerine yol açan N eleman olduğunu gösterdi.

2017/ Mechanochemical synthesis of melamine doped TiO ₂ nanoparticles for dye sensitized solar cells application	DSSC performansına sahip yeni malzeme geliştirme arayışında, basit, kolay ve sürdürülebilir mekanokimya yöntemi kullanılarak ticari TiO ₂ nanopartikülüne metalik olmayan bir katkılama, yani nitrojen gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.	Nitrojen katkılı TiO ₂ nanoparçacıkları, nitrojen kaynağı olarak melamin kullanılarak DSSC uygulaması için mekanokimyasal yöntemle başarıyla sentezlendi. TiO ₂ 'de melamin katkısı partikül boyutunu değiştirmez. Simüle ışık kaynağı kullanılarak sabit aydınlatma gücü altında ölçülen %10-90 melamin için melamin konsantrasyonu ile verimlilik miktarı %26'dan %86'ya yükseldi.
2018/ Molecular Engineering of D-D- π -A-Based Organic Sensitizers for Enhanced Dye-Sensitized Solar Cell Performance	D1 donörüne dayanan bir dizi moleküler olarak tasarlanmış ve yeni boya bağlayıcılar olarak sentezlendi. Boyaların performansı, redoks mekikleri olarak Co (II / III) komplekslerine dayanan bir elektrolit ile birlikte araştırılmıştır.	Yüksek bir verim sağlanmıştır. Ayrıca, alıcı moiety'nin konumu, LUMO enerji seviyesi boyunca açık devre voltajını etkiler.
2018/ Comprehensive control of voltage loss enables 11.7% efficient solid-state dye-sensitized solar cells	Burada, duyarlılaştırıcı ve redoks aracısının etkili mühendisliği yoluyla Vloss'un kapsamlı bir kontrolünü rapor edildi.	Sıvı bağlantı redoks elektroliti kullanan optimal boya aydınlatma altında %11.6'lık mükemmel bir verim alınmıştır. Yüksek performanslı perovskit güneş pili ile karşılaştırılabilir.
2019/ Electrodeposition of hierarchical zinc oxide nanostructures on metal meshes as photoanodes for flexible dye-sensitized solar cells	Esnek fotoanotlar, hiyerarşik ZNRA'ların SSM substratı üzerine iki aşamalı bir elektrodpozisyon yaklaşımı yoluyla biriktirilmesiyle üretilmiştir. İlk adım elektrodpozisyon süresi ve sürelerinin ZNRA'ların morfolojileri ve birleştirilmiş DSSC'lerin fotovoltaj performansları üzerindeki etkisi araştırıldı.	En iyi DSSC performansına sahip, esnek DSSC'lerdeki uygulamalar için esnek bir fotoanod olarak potansiyel bir aday olabileceğini göstermektedir.
2021/ Near-infrared unsymmetrical squaraine corebased sensitizers for co-sensitized highphotocurrent dye-sensitized solar ce	DSSC'lerde Near-infrared boya olarak simetrik olmayan çekirdeklere sahip iki kare boyayı rapor ediyoruz.	Hassaslaştırıcılar, TiO ₂ yüzeyinde Near-infrared güçlü absorpsiyonu sergiledi. Elektrikli trokimyasal ve optik analiz, her iki duyarlılaştırıcının da DSSC cihazlarında enerjik olarak kullanıma çok uygun olduğunu ortaya koyuyor.
2021/ One-step electrodeposition of ZnO/graphene composite film as photoanode for dye-sensitized solar cells	ZnO ile indirgenmiş grafen oksit kompozit fotoanotlar, tek adımlı bir elektrodpozisyon yöntemiyle elde edildi ve bir araya getirilen DSSC'lerin fotoelektrik performansı ölçüldü.	DSSC için ZnO- indirgenmiş grafen oksit fotoanotunu hazırlamak için tek adımlı bir elektrodpozisyon yöntemi geliştirilmiştir.
2022/ Calcium-doped TiO ₂ microspheres and near-infrared carbazole-based sensitizer for efficient co-sensitized dye-sensitized solar cell	Kalsiyum dopinginin TiO ₂ mikro küreye etkisi incelenmiş ve açıklanmıştır.	Bir katkı maddesi ile katkılanmış iyi bağlanmış mikrokürelerden oluşan bir fotoanot filmi, bireysel mikrokürelerden oluşan bir fotoanottan daha yüksek bir verim elde etmek için DSSC'ler için tercih edilen bir fotoanot olarak kullanılabilir.

2022/ Biosynthesis, characterization and optimization of TiO₂ nanoparticles by novel marine halophilic Halomonas sp. RAM2: application of natural dye-sensitized solar cells	Yeni deniz halofilik Halomonas sp. ile TiO₂ nanoparçacıklarının biyosentezi, karakterizasyonu ve optimizasyonu sonrası elde edilen sentezlerin DSSC'ye uygulanması incelenmiştir.	TiO₂ nanoparçaların başarılı yeşil sentezini doğruladı ve daha fazla verimlilik geliştirme çalışmaları için bir ilk adımı temsil eden DSSC fabrikasyonunda bakteriyel karotenoidlerle kombinasyon halinde yeni bir kullanım önerdi.
---	---	---



5. SONUÇ

Güneş pillerini ve özellikle BDGP teknolojisini tanıttığımız bu tez çalışmasında Ulusal Tez Merkezi verileri kapsamlı bir şekilde taranarak BDGP konusuyla ilgili yapılan tez çalışmaları incelenmiştir.

BDGP konusunda günümüze kadar yapılan tüm tezler: amaçları/sonuçları, yıl ve üniversite bazında gruplandırılarak istatistiksel veriler ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- Ülkemizde güneş pili konulu ilk çalışma 1986 yılındadır (**Köse, 1986**), BDGP konusunda ilk tez ise 2006 yılında yapılmıştır (**Ceylan, 2006**),
- BDGP konusunda tez çalışmalarının 2014 yılı itibariyle ivme kazandığı görülmüştür.
- Tezlerde çalışma hedeflerinin ağırlıklı olarak boyar madde üretim/geliştirilmesi ve verim geliştirme olduğu tespit edilmiştir.
- Ülkemizde yapılan tez çalışmalarının dünyada yapılan çalışmalarla paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanında uluslararası indeksler tarandığında tez çalışmalarının makaleye dönüşüm hızlarının aynı olmadığı söylenebilir.
- BDGP konulu tezler bölge ve üniversite bazında incelendiğinde İç Anadolu ve Marmara bölgesindeki Üniversitelerin başı çektiği görülmüştür. Bu durumun; altyapı/laboratuvar ortamları ile proje olanaklarının bir sonucu olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizdeki BDGP konulu çalışmaların kendi içinde ve dünya trendleriyle karşılaştırıldığı bu tez çalışmasıyla, ilk kez, konuyla alakalı tez çalışmaları tamamıyla ve kapsamlı bir şekilde ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar 29-31 Temmuz 2023 tarihlerinde İzmir’de düzenlenen Uluslararası İzmir Fen, Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Kongresinde “Studies On Dye-Sensitive Solar Cells: A Review Of Türkiye” başlıklı sözlü bildiri olarak sunulmuştur.



6. KAYNAKLAR

- Adams, W.G. ve Day, R. E. (1877). On The Action of Light on Selenium. *Proceedings of The Royal Society of London*, 25(171-178), 113-117.
- Adedokun, O., Titilope, K. ve Awodugba, A.O. (2016). Review on Natural Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *International Journal of Engineering Technologies*, 2, 34-41.
- Akar, V. (2016). Elektrokimyasal Depolama Yöntemi İle Boyar Maddeli Güneş Pili Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Akın, H. (2016). Plasmonik Nanoparçacık Katkılı Boyaya Duyarlı Güneş Pilleri. İstanbul Üniversitesi.
- Aksan, S. (2022). Boya Duyarlaştırılmış Titanyum Dioksit Güneş Pillerinin Üretimi Ve Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi İle Modellenmesi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Alonso, M.T., Brunet, E., Juanes, O. ve Rodriguez-Ubis, J-C. (2002). J.Photochem. and Photobio. A: Chem., 147, 113.
- Altaş, İ.H. (1999). Fotovoltaj Güneş Pilleri: Uygulama Örnekleri. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik Dergisi*, 60, 26-29.
- Arıcan, F. (2022). Polimerik Boyaların Sentezi Ve Güneş Pili Uygulamaları. Sakarya Üniversitesi.
- Arslan, H. (2018). Evropiyum (Eu^{+3}) Katkılı TiO_2 İnce Filmlerin Sentezi Karakterizasyonu Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Foto-Anot Olarak Kullanımı. Selçuk Üniversitesi.
- Aşkar, Z. (2009). Organik Boya Uyarımlı Güneş Pillerinde Kullanılabilecek Yeni Perilen Türevlerinin Sentezi Ve Karakterizasyonu. Celal Bayar Üniversitesi.
- Atılğan, A. (2022). Homojunction Fotoanode Tabanlı Boya Duyarlı Güneş Pillerin Üretimi Ve Optimizasyonu. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi.
- Atlı, A. (2023). Boya Duyarlı Bir Güneş Pili Üretimi ve Analizi: Hidrotermal Olarak Büyütülmüş Hibrit Fotoanot ve Opak Pt Karşıt Elektrot. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi.
- Balkan, T. (2016). Boya Uyarımlı Güneş Pili Uygulamaları İçin TiO_2 -Poli (Alkilendioksitiyofen) Nano Yapılarının Üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Batur, H., 2013. Güneş Gözelerinin Modellenmesi ve Verimlilik Analizleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Isparta.
- Barın, G. (2008). Boron Dipirin Türevlerinde Işık Hasatı Ve Boyar Madde Uyarımlı Güneş Pillerinde Potansiyel Kullanıma Yönelik Türevlendirme. İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi.
- Başaran, Z.S. (2022). Elektrokimyasal Olarak İndirgenmiş Grafen Oksit (ERGO)- TiO_2 Nanokompozit Elektrotların Hazırlanması Ve Boya Duyarlı Güneş Pillerinde (DSSC'lerde) Fotoanot Olarak Kullanılması. Gebze Teknik Üniversitesi.
- Berkman, I.Ç. (2015). Güneş Pillerinde Kullanılan Ruthenium Boyaların Elektronik Yapısının Hartree Fock Kuramı İle Kuantum Monte Carlo Tekniğinin Birleştirilerek İncelenmesi. İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi.
- Bilgiç, B. (2019). Praseodymium (Pr^{+3}) katkıli TiO_2 filmlerin boya duyarlı güneş pilinde foto-anot olarak uygulanması. Selçuk Üniversitesi.

- Bulut, M., ve Erk, Ç. (2001). *J. Heterocyclic Chem.*, 38, 1291.
- Büyükaydın, M. (2018). Kimyasal Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanan Çinko Oksit Nanoçubukların Üretimi, Karakterizasyonu Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Uygulamaları. Atatürk Üniversitesi.
- Büyüktopçu, İ.S. (2014). Güneş Pili Üretimi Ve Verimlilik Hesapları. Abant İzzet Baysal Üniversitesi.
- Boschloo, G., Häggman, L., ve Hagfeldt, A. (2006). Quantification of the effect of 4-tert-butylpyridine addition to I-/I³-redox electrolytes in dye-sensitized nanostructured TiO₂ solar cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(26), 13144-13150.
- Boz, M. (2015). Katkılandırılmış TiO₂ İnce Filmlerin Üretilmesi, Karakterizasyonu Ve Boya Katkılı Güneş Pili Aygıtlarının Geliştirilmesi. Ege Üniversitesi.
- Brunet, E., Alonso, M.T., Juanes, O., Velasco, O. ve Rodriguez-Ubis, JC, (2001). *Tetrahedron*, 57, 3105.
- Can, A. (2022). Yüksek Performanslı Organik Transistörler Ve Güneş Pilleri Uygulamaları İçin Yeni Yarı İletken Malzemeler. Abdullah Gül Üniversitesi.
- Can, C. (2019). Boyaya Duyarlı Güneş Pilleri. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Caner, B. (2019). Çinko, Kobalt Ve Nikel İçeren Ftalosiyanınların Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanımlarının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi.
- Cebeci, C. (2016). Boya Hassasiyetli Güneş Pilleri İçin D- π -D Türevli Fluorenlerin Sentezlenmesi Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Cebeci, C. (2023). Farklı Çapa Grubu İçeren 4,5-diazafluorenlerin ve Rutenyum Komplekslerinin Sentezi, Karakterizasyonu, Boya Duyarlı Güneş Pili Uygulamaları. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Cesur, M. (2019). Boya duyarlı güneş pillerinde Berberis Vulgaris ekstraktlarının fotoduyarlastırıcı olarak kullanımlarının incelenmesi. Sakarya Üniversitesi.
- Chebotareva, A.B., Untila, G.G., Kost, T.N., Jorgensen, S. ve Ulyashin, A.G. (2007). ITO deposited by pyrosol for photovoltaic applications. *Thin Solid Films*, 515, 8505–8510.
- Cherian, S. ve Wamser, C.C. (2000). Adsorption and Photoactivity Of Tetra (4-Carboxyphenyl) Porphyrin (TCPP) on Nanoparticulate TiO₂. *The Journal Of Physical Chemistry, B* 104(15), 3624-3629.
- Chung, I., Lee, B., He, J., Chang, R. P., ve Kanatzidis, M. G. (2012). All-solid-state dye-sensitized solar cells with high efficiency. *Nature*, 485(7399), 486-489.
- Colinge, J.A. ve Colinge, P.C. (2005). Physics of Semiconductor Devices. *Springer*, pp. 29-33, New York.
- Cui, Z., Zhang, K., Xing, G., Feng, Y., ve Meng, S. (2017). Multi-functional 3D N-doped TiO₂ microspheres used as scattering layers for dye-sensitized solar cells. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 11, 395-404.
- Çetin, S. (2013). Nb₂O₅ Ve Nb₂O₅ Tabanlı İnce Filmlerin Karakterizasyonu Ve Güneş Pili Üretimi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Çakar, S. (2017). Yeni Yaklaşımlarla Tanin Esaslı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi.
- Çakmak, Y. (2013). Kiral BODIPY Boyaları & Fotodinamik Terapi Ve Boya Duyarlastırılmış Güneş Pilleri İçin Fotoduyarlastırıcılar. İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi.
- Çakmak, E.Ş. (2014). Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Elektriksel Eşdeğer Devre Modellemesi. Gediz Üniversitesi.

- Çaktı, K. (2015). Boya Hassasiyetli Güneş Pilleri İçin D- π -D Türevli Ftalosiyanın Sentezlenmesi, Spektroskopik Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Çetinkaya, H.B. (2001). Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi. Kocaeli Üniversitesi.
- Çiftınar, E.H. (2014). Selective Emitter Formation Via Single Step Doping Through Laser Patterned Mask Oxide Layer For Monocrystalline Silicon Solar Cells. Middle East Technical University.
- Çoğal, S. (2014). Boya Esaslı Güneş Pillerinde Kullanılabilecek Supramoleküler Yapıların Sentezi Ve Foto-Fiziksel Çalışmalar. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Çolak, S.G. (2021). CZTS Güneş Pillerinde Verimliliği Arttırmaya Yönelik Çalışmalar. Mersin Üniversitesi.
- Çörekçi, S., (2005). Grup III-V Bileşik Yarıiletkenlerde AFM Yüzey Karakterizasyonu, Doktora Tezi Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Daeneke, T., Kwon, T. H., Holmes, A. B., Duffy, N. W., Bach, U., ve Spiccia, L. (2011). High-efficiency dye-sensitized solar cells with ferrocene-based electrolytes. *Nature chemistry*, 3(3), 211-215.
- Dayan, S. (2019). Boya duyarlı güneş pili üretimi için yeni materyallerin geliştirilmesi. Erciyes Üniversitesi.
- Demir, A. (2022). Kompozit Yarı İletken Fotoanotların Boya Duyarlı Hibrit Güneş Pili Performansına Etkisi. Fırat Üniversitesi.
- Demir, Z. (2018). Farklı Konsantrasyonlarda Sentezlenen TiO₂/ZnO Nanokompozit Yapıların Karakterizasyonu Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Performanslarının İncelenmesi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi.
- Demir, E. (2019). Boya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Yeni Nesil Nanomalzemelerin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Uygulamaları. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Demirci, Y.C. (2022). Boya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Ftalosiyanın Boyaların Geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi.
- Devadiga, D., Selvakumar, M., Devadiga, D., Paramasivam, S., Ahipa, T. N., Shetty, P., ve Kumar, S. S. (2023). Calcium-doped TiO₂ microspheres and near-infrared carbazole-based sensitizer for efficient co-sensitized dye-sensitized solar cell. *Journal of Materials Science*, 58(13), 5718-5734.
- Doğan, H. (2014). Fotovoltaik Güneş Pilleri. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Gillison, M. L., Trotti, A. M., Harris, J., Eisbruch, A., Harari, P. M., Adelstein, D. J. Ve Le, Q. T. (2019). Radiotherapy plus cetuximab or cisplatin in human papillomavirus-positive oropharyngeal cancer (NRG Oncology RTOG 1016): a randomised, multicentre, non-inferiority trial. *The Lancet*, 393(10166), 40-50.
- Eden, Ç. (2019). Farklı sıcaklıklarda sentezlenen TiO₂ / ZnO nanokompozit yapıların karakterizasyonu ve boya duyarlı güneş pili performanslarının incelenmesi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi.
- Elangovan, E. ve Ramamurthi, K. (2005). A study on low cost-high conducting fluorine and antimony-doped tin oxide thin films. *Applied Surface Science*, 249, 183-196.
- Engin, D. (1996). Yaprak büyüklüğünü belirleyen bir ölçme sisteminin geliştirilmesi. Ege Üniversitesi.

- Ercengiz, N. F. (2017). Boya Temelli Güneş Pillerine Yönelik Ftalosiyanın Türevlerinin Sentezi Ve Performans Çalışmalarının Yapılması. Mersin Üniversitesi.
- Erden, Ç. (2018). Karbazal Türevli Maddelerin Sentezlenmesi, Karakterizasyonu Ve Güneş Pili Uygulamaları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Erdoğan, Y. (2017). Alüminyum Katkılı TiO₂/ZnO Nanokompozit Yapıların Karakterizasyonu Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Performanslarının İncelenmesi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi.
- Erekler, D. (2019). Vanadyum Pentaoksit Fotoanot Malzemesinin Nanokristal TiO₂ Tabanlı Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerine Etkisi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Erk, Ç., Bulut, M. ve Göçmen, A., (2000). *J. Inclusion Phenom.*, 37, 441.
- Erk, Ç. (2000). *Ind. Eng. Chem.*, 39, 3582 ve references cited.
- Erol, E. (2017). İki Adımlı Elektrokimyasal Kaplama Yöntemiyle Yeni Nesil Cu₂XSnS₄ (X=Co⁺², Fe⁺², Mn⁺², Ni⁺², Zn⁺²) İnce Filmlerin Sentezi Ve Karşıt Elektrot Olarak Boya-Duyarlı Güneş Pili Uygulamaları. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi.
- Eşgin, H. (2021). ZnO:Cu Ve ZnO:Mn Tabanlı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Fabrikasyonu Ve Karakterizasyonu. Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- Faideci, M. A. (2017). 4,5-Diazafluoren-9-On Esaslı Kobalt (II/III) Redoks Aracının Boya Duyarlı Güneş Pillerindeki Performansları. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Feldt, S. M., Gibson, E. A., Gabrielsson, E., Sun, L., Boschloo, G., ve Hagfeldt, A. (2010). Design of organic dyes and cobalt polypyridine redox mediators for high-efficiency dye-sensitized solar cells. *Journal of the American Chemical Society*, 132(46), 16714-16724.
- Ferrere, S. ve Gregg, B.A. (2002). Now Perylenes For Dye Sensitization of TiO₂. *New Journal Of Chemistry*. 26(9), 1155-1160.
- Figgemeier, E. ve Hagfeldt, A. (2004). Are dye-sensitized nano-structured solar cells stable? An overview of device testing and component analyses. *International journal of photoenergy*, 6(3), 127-140.
- García-Iglesias, M., Cid, J. J., Yum, J. H., Forneli, A., Vázquez, P., Nazeeruddin, M. K. ve Torres, T. (2011). Increasing the efficiency of zinc-phthalocyanine based solar cells through modification of the anchoring ligand. *Energy & Environmental Science*, 4(1), 189-194.
- Gebeyehu, D., Brabec, C.J. ve Sariciftci, N.S. (2002). Solid-State Organic/Inorganic Hybrid Solar Xells Based On Conjugated Polymers and Dye-Sensitized TiO₂ Electrodes. *Thin Solid Films*, 403,271-274.
- Giavannetti R. (2012). The Use of Spectrophotometry UV-Vis for the Study of Porphyrins. *Macro To Nano Spectroscopy*, Dr.Jamal Uddin (Ed.), ISBN:978-953-51-0664-7.
- Ginley, D.S. ve Cahen, D. (2012). Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability. *Materials Research Society Cambridge*, 723 sayfa.
- Gong, J., Liang, J. ve Sumathy, K. (2012). Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs): Fundamental Concepts and Novel Material. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5848-5860.
- Gong, J., Sumathy, K., Qiao, Q. ve Zhou, Z. (2017). Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 234-246.

- Gözel, M. (2021). Quercetin Cu (II) Kompleksi İle Duyarlaştırılmış TiO₂ Tabanlı Boya Duyarlı Güneş Pili'nin Fabrikasyonu Ve Karakterizasyonu. Batman Üniversitesi.
- Granqvist, C.G. (2007). Transparent conductors as solar energy materials: A panoramic Review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 1529– 1598.
- Grätzel, M. (2003). Dye-Sensitized Solar Cell. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4, 145-153.
- Grätzel, M. (2005). Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells. *Inorganic Chemistry*, 6841–6851.
- Grätzel, M. ve O'Regan B., (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353, 737 – 740.
- Green, M.A. (1995). Silicon Solar Cells: Advanced Principles and Practice. *Bridge Printery*.
- Green, M.A., Emery, K., Hishikawa, Y. ve Warta, W. (2009). Solar Cell Efficiency Tables. *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 17, 85–94.
- Gepa, (2023). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>.
- Guan, Y., Song, L., Zhou, Y., Yin, X., Xie, X. ve Xiong, J. (2017). Enhanced light harvesting of dye-sensitized solar cells with TiO₂ microspheres as light scattering layer. *Applied Physics A*, 123, 1-9.
- Gülen, M. (2012). Sprey Püskürtme Metodu Kullanarak Üretilen Boya İle Hassaslaştırılmış Güneş Pillerinin İncelenmesi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi.
- Güler, T. (2015). Fabrication and Electrical Characterization of Sonochemically Grown Nanostructured ZnO Dye Sensitized Solar Cells. Gediz Üniversitesi.
- Gümüş, M. (2019). Holmium (Ho⁺³) Katkılı TiO₂ Filmler Kullanılarak Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu. Selçuk Üniversitesi.
- Günes, S. ve Sariciftci, N. S. (2008). Hybrid solar Cells. *Inorganica Chimica Acta*, 361 (3), 581-588.
- Güngör, M. (2021). Boya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Yeni Boya Oluşturulması Ve Elektronik Özelliklerinin Hesaplanması. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi.
- Gürbüz, O. (2016). Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Makro Halkalı Tetra Pirollerin Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Gürbüz, Ç.U. (2019). Tiyazolo-Tiyazol, Schiff Baz Türevi Bileşiklerin Sentezi, Optik Özellikleri Ve Güneş Pillerinde Kullanımı. Sakarya Üniversitesi.
- Hagfeldt, A. ve Graetzel, M. (1995). Light-induced redox reactions in nanocrystalline systems. *Chemical reviews*, 95(1), 49-68.
- Hagfeldt, A., Boschloo, G., Sun, L., Kloo, L. ve Pettersson, H. (2010). Boyaya duyarlı güneş pilleri. *Kimyasal incelemeler*, 110 (11), 6595-6663.
- Hara, K., Sayama, K., Ohga, Y., Shinpo, A., Suga, S. ve Arakawa, H. (2001). %5,6'ya varan yüksek bir güneş enerjisi dönüştürme verimliliğine sahip bir kumarin türevi boya ile hassaslaştırılmış nanokristalin TiO₂ güneş pili. *Kimyasal İletişim*, (6), 569-570.
- Hara, K., Kurashige, M., Dan-Oh, Y., Kasada, C., Shinpo, A., Suga, S., Sayama, K. ve Arakawa, H. (2003). Design Of New Coumarin Dyes Having Thiophene Moieties For Highly Efficient Organic-Dye-Sensitized Solar Cells. *New Journal Of Chemistry*, 27(5), 783-785.

- Hashmi, S. G., Ozkan, M., Halme, J., Misic, K. D., Zakeeruddin, S. M., Paltakari, J. ve Lund, P. D. (2015). High performance dye-sensitized solar cells with inkjet printed ionic liquid electrolyte. *Nano Energy*, 17, 206-215.
- Hashmi, S. G., Özkan, M., Halme, J., Zakeeruddin, S. M., Paltakari, J., Grätzel, M. ve Lund, P. D. (2016). Dye-sensitized solar cells with inkjet-printed dyes. *Energy & Environmental Science*, 9(7), 2453-2462.
- Hayvalı M. (1997). Bazı Yeni Porfirin Türevlerinin Sentezi Yapıları ve Bazlık Sabitinin İncelenmesi. Ankara Üniversitesi.
- He Z., Zhong C., Huang X., Wong W.Y., Wu H., Chen L., Su S. ve Cao Y. (2011). Simultaneous enhancement of open-circuit voltage, short-circuit current density, and fill factor. *Advanced Materials*, 23: 4636-4643.
- Horiuchi, T. Miura, H. ve Uchida, S. (2003). Highly-Efficient Metal-Free Organic Dyes For Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Chemical Communications*, 3036-3037.
- Huang, S. Y., Schlichthörl, G., Nozik, A. J., Grätzel, M. ve Frank, A. J. (1997). Charge recombination in dye-sensitized nanocrystalline TiO₂ solar cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 101(14), 2576-2582.
- Ilaiyaraja, P., Das, T. K., Mocherla, P. S. ve Sudakar, C. (2017). Well-connected microsphere-nanoparticulate TiO₂ composites as high performance photoanode for dye sensitized solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 169, 86-97.
- Islam, (2003). Molecular design of ruthenium (II) polypyridal photosensitisers for efficient nanocrystalline TiO₂ solar Cells. *J. Photchem. Photobiol.* 158, 131-138.
- Im, J.H., Lee, C.R., Lee, J.W., Park, S.W. ve Park, N-G. (2011). 6,5% efficient Perovskite quantum-dot sensitized solar cell. *Nanoscale*, 3, 4088-4093.
- Jensen, R. A., Van Ryswyk, H., She, C., Szarko, J. M., Chen, L. X. ve Hupp, J. T. (2010). Dye-sensitized solar cells: sensitizer-dependent injection into ZnO nanotube electrodes. *Langmuir*, 26(3), 1401-1404.
- Jiang, K. J., Manseki, K., Yu, Y. H., Masaki, N., Suzuki, K., Song, Y. L. ve Yanagida, S. (2009). Photovoltaics based on hybridization of effective dye-sensitized titanium oxide and hole-conductive polymer P3HT. *Advanced Functional Materials*, 19(15), 2481-2485.
- Kadish, K. M., Smith, K. M. ve Guillard, R. (2010). Handbook of Porphyrin Science: with Applications to Chemistry, Physics, Materials Science, Engineering, Biology and Medicine (Volumes 1-5). World Scientific: Singapore, 2014, 1-35.
- Kara, A. (2014). Katkılı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Elektronik Özelliklerinin Hesaplanması. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.
- Karakuş, M. Ö. (2017). Doğal Boyayla Duyarlılaştırılmış Güneş Pili Üretimi Ve Yapının Sensör Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Bozok Üniversitesi.
- Kawashima, T., Ezure, T., Okada, K., Matsui, H., Goto K. ve Tanabe, N. (2004). FTO/ITO double-layered transparent conductive oxide for dye-sensitized solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 164, 199-202.
- Kavan, L. (2017). Electrochemistry and dye-sensitized solar cells. *Current Opinion in Electrochemistry*, 2(1), 88-96.
- Kayacı, N. (2018). N-koordine Metal Komplekslerinin Sentezi, Katalitik Uygulamaları Ve Boya Duyarlı Güneş Pili Özellikleri. Erciyes Üniversitesi.

- Kay, A. (1993). Artificial Photosynthesis. 1. Photosensitization Of Titania Solar Cells With Chlorophyll Derivatives and Related Natural Porphyrins. *The Journal Of Physical Chemistry*, 97(23), 6272-6277.
- Kazmerski, L.L. (2006). Solar photovoltaics R. ve D. at the tipping point: A 2005 technology overview. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 150, 105–135.
- Kılıç, B. (2010). Çinko Oksit (ZnO) Nanoyapılar Üzerinde Boya İle Duyarlı Hale Getirilmiş Güneş Pillerinin Üretilmesi. Atatürk Üniversitesi.
- Knobloch, J. ve Voss, B., (1998). Crystalline silicon solar cells, Wiley.
- Koç, M. (2013). Modelleme Ve Deneysel Olarak Titanosilikat ETS-10 Araştırması: Güneş Pilleri Uygulamaları Araştırmaları. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Kolemen, S., Bozdemir, O.A., Cakmak, Y., Barin, G., Erten-Ela, S., Marszalek, M., Yum, J.-H., Zakeeruddin, S.M., Nazeeruddin, M.K. ve Grätzel, M. (2011). Optimization of distyryl-Bodipy chromophores for efficient panchromatic sensitization in dye sensitized solar cells. *Chemical Science*, 2 (5), 949-954.
- Kotta, A., Ansari, S. A., Parveen, N., Fouad, H., Alothman, O. Y., Khaled, U. ve Ansari, Z. A. (2018). Mechanochemical synthesis of melamine doped TiO₂ nanoparticles for dye sensitized solar cells application. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29, 9108-9116.
- Köse, S. (1986). Yarıiletken Güneş Pilleri ve Verimlilikleri. Anadolu Üniversitesi.
- Komiya R., Fukui A., Murofushi N., Koide N., Yamanaka R. ve Katayama H., (2011). Improvement of the conversion efficiency of a monolithic type dyesensitized solar cell 2020döle. Technical Digest, 21st *International Photovoltaic Science and Engineering Conference*, November 2011, Fukuoka; 2C-5O-08.
- Komori, T. ve Amao, Y. (2003). Dye-Sensitized Solar Cell With The Near-Infrared Sensitization of Aluminum Phthalocyanine. *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, 7(2),131-136.
- Kopidakis, N., Neale, N. R., ve Frank, A. J. (2006). Effect of an adsorbent on recombination and band-edge movement in dye-sensitized TiO₂ solar cells: evidence for surface passivation. *The journal of physical chemistry B*, 110(25), 12485-12489.
- Kölemen, S. (2010). Boyar Madde Uyarımlı Güneş Pilleri İçin Yeni Duyarlaştırıcıların Sentezi Ve Karakterizasyonu. İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi.
- Krebs, F.C., Fyenbo, J. ve Jørgensen, M. (2010). Product integration of compact roll-to-roll processed polymer solar cell modules: methods and manufacture using flexographic printing, slot-die coating and rotary screen printing. *Journal of Materials Chemistry*, 20 (41), 8994-9001.
- Kuang, D., Ito, S., Wenger, B., Klein, C., Moser, J. E., Humphry-Baker, R. ve Grätzel, M. (2006). High molar extinction coefficient heteroleptic ruthenium complexes for thin film dye-sensitized solar cells. *Journal of the American Chemical Society*, 128(12), 4146-4154.
- Kuang, D., Wang, P., Ito, S., Zakeeruddin, S. M. ve Grätzel, M. (2006). Stable mesoscopic dye-sensitized solar cells based on tetracyanoborate ionic liquid electrolyte. *Journal of the American Chemical Society*, 128(24), 7732-7733.
- Kuang, D., Uchida, S., Humphry-Baker, R., Zakeeruddin, S. M. ve Grätzel, M. (2008). Organic dye-sensitized ionic liquid based solar cells: remarkable enhancement in performance through molecular design of indoline sensitizers. *Angewandte Chemie*, 120(10), 1949-1953.

- Kudret, A. (2011). ZnO Tabanlı Doğal Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.
- Kumar, D., & Wong, K. T. (2017). Organic dianchor dyes for dye-sensitized solar cells. *Materials Today Energy*, 5, 243-279.
- Küpeli A.Ö. (2005). Güneş Pilleri ve Verimleri. Osmangazi Üniversitesi.
- Lee, C. H., Kim, K. H., Bark, C. W. ve Choi, H. W. (2013). Preparation of doping metal TiO₂ particle/nanotube composite layer and their applications in dye-sensitized solar cells. *Metals and Materials International*, 19, 1355-1359.
- Luque, A. ve Hegedus, S. (2003). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken.
- Maden, Y.E. (2022). Güneş Pillerinde Metalli Ftalosiyanın Kullanımı. Marmara Üniversitesi.
- Mahmood, K., Sarwar, S. ve Mehran, M.T. (2017). Current Status of Electron Transport Layers in Perovskite Solar Cells: Materials and Properties. *Royal Society of Chemistry*, 7, 17044-17062.
- Mathew, S., Yella, A., Gao, P., Humphry-Baker, R., Curchod, B. F., Ashari-Astani, N. ve Grätzel, M. (2014). Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers. *Nature chemistry*, 6(3), 242-247.
- Masuda, T., Kaneko, T., Tanaka, T., Goya, S., Murata, C. ve Takadate, A. (2000). Novel Fluorescent Coumarin Reagents Appending 15-Crown-5 Ether for the Rapid and Self-Catalytic Derivatization of Carboxylic Acids. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 73(5), 1213-1217.
- Matsui, H., Okada, K., Kitamura, T. ve Tanabe, N. (2009). Thermal stability of dye-sensitized solar cells with current collecting grid. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(6-7), 1110-1115.
- Mazhar M., Abdouss M., Zarifi F. ve Zargaran M. (2020). Effectiveness of perylene pigment on the reduction of energy demand of a building. *Pig Resin Tech.*
- Metwally, R. A., El Nady, J., Ebrahim, S., El Sikaily, A., El-Sersy, N. A., Sabry, S. A. ve Ghozlan, H. A. (2023). Biosynthesis, characterization and optimization of TiO₂ nanoparticles by novel marine halophilic Halomonas sp. RAM2: application of natural dye-sensitized solar cells. *Microbial Cell Factories*, 22(1), 1-17.
- Mathew S., Yella A., Gao P., Humphry-Baker R., Curchod B. F. E., Ashari-Astani N., Tavernelli I., Rothlisberger U., Nazeeruddin Md. K. ve Gratzel M. (2014). Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers. *Nature Chemistry*, 6: 242.
- Mohammed, M.A.M. (2022). Güneş Enerjisi Kullanımı İçin Au@SiO₂ Ve Ag@SiO₂ Çekirdek-Kabuk Nanoparaçacıklarına Dayalı Plazmonik Boya-Sensitize Güneş Pillerinin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi.
- Mutlu, S. (2016). Biyo-Malzeme Duyarlı Güneş Pili. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi.
- Nelson J. (2003). The physics of solar Cells. *Imperial College Press*.
- Neville, A. (1995). Chloride attack of reinforced concrete: an overview. *Materials and structures*, 28, 63-70.
- Ngamsinlapasathian, S., Sreethawong, T., Suzuki, Y. ve Yoshikawa ,S. (2006). Doubled layered ITO/SnO₂ conducting glass for substrate of dye-sensitized solar Cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 2129-2140.

- Noh, H. J., Im, S. H., Heo, J. H., Mandal, T. N. ve Seok, S. I. (2015). Chemical management for colorful efficient, and stable inorganic-organic hybrid nanostructured solar Cells. *Nano Letters*, 13, 1764-1769.
- O'Regan, B. and Grätzel, M. (1991). A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature International Journal of Science*, 353, 737-740.
- Ok, S. (2019). Boya Duyarlı güneş Pilleri İçin TiO₂ Bazlı Malzemelerin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Uygulaması. Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi.
- Oktik, S. (2001). *Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri*. Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayınları.
- Oral, M. (1979). *Güneş Pilleri*. İzmir: İlker Matbaası.
- Önen, T. (2016). Yeni Türdeki Jellerin Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanılması. Bozok Üniversitesi.
- Öztürk, H.H. (2008). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Öztürk, H.H. (2012). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Özdal, T. (2011). TiO₂ Katkılı Organik Hibrit Güneş Pilleri. Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Özel, K. (2017). ZnO Tabakalı, TiO₂ Bazlı Boya Duyarlı Organik Güneş Pillerinin Sentezlenmesi, Karakterizasyonu Ve Veriminin Geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi.
- Özkacar, T. (2021). Fotoanot Tavlama Sıcaklığı ve Elektrolit Türünün Boya Duyarlı Güneş Pili Performansına Etkisinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi.
- Öztürk, Ö. (2022). Güneş Pillerinde Fotohassaslaştırıcı Olarak Kullanılan Simetrik Olmayan TiO(IV) Ftalosiyanın Sentezi Ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Pastuszak, J. ve Węgierek, P. (2022). Photovoltaic cell generations and current research directions for their development. *Materials*, 15(16), 5542.
- Pietron, J.J., Stux A.M., Compton R.S. ve Rolison D.R. (2007). Dye-sensitized titania aerogels as photovoltaic electrodes for electrochemical solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 1066-1074.
- Ranabhat, K., Patrikeev, L., Antal'evna-Revina, A., Andrianov, K., Lapshinsky, V. ve Sofronova, E. (2016). An Introduction to Solar Cell Technology. *Journal of Applied Engineering Science*, 14(4), 481-491.
- Rodriguez-Ubis, J-C, Alonso, M.T., Juanes, O. ve Brunet, E. (2000). *Luminescence*, 15, 331.
- Saltan, G.M. (2018). Karışım Heteroeklem Güneş Pilleri İçin Modifiye Edilmiş Bazı Doğal-Küçük Moleküllü Boyaların Sentezi Ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi.
- Sarı, F.A. (2015). Boya Temelli Güneş Pillerine Yönelik Yeni Subftalosiyanın Türlerinin Sentezi Ve Performans Çalışmalarının Yapılması. Mersin Üniversitesi.
- Sarı, S. (2021). Naftakinon türevi bileşiklerin boya duyarlı güneş pili performanslarının hesaplamalı incelenmesi. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi.
- Sarıca, H. (2013). Farklı Morfolojilerde CdO Ve ZnO Elektrodların Sentez, Karakterizasyonu Ve Organik Boya Esaslı Güneş Pillerinde Uygulamaları. Ege Üniversitesi.
- Sastrawan, R. (2006). Photovoltaic modules of dye solar Cells.
- Schmidt-Mende, L., Kroeze, J. E., Durrant, J. R., Nazeeruddin, M. K. ve Grätzel, M. (2005). Effect of hydrocarbon chain length of amphiphilic ruthenium dyes on solid-state dye-sensitized photovoltaics. *Nano letters*, 5(7), 1315-1320.

- Seçkin, E. (2010). Titanyum Anodiazasyonu Yöntemi ile Boyar Maddeli Güneş Pili Hücresi Üretilmesi ve Verim Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Sha, S., Lu, H., Yang, S., Li, T., Wu, J., Ma, J. ve Li, Y. (2021). One-step electrodeposition of ZnO/graphene composite film as photoanode for dye-sensitized solar cells. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 630, 127491.
- Sharma, A., Karn, R.K. ve Pandiyan, S.K. (2014). Synthesis of TiO₂ Nanoparticles by Sol-gel Method and Their Characterization. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, 1(9), 1-5.
- Sharmoukh, W., Cong, J., Gao, J., Liu, P., Daniel, Q. ve Kloo, L. (2018). Molecular engineering of D–D– π –A-based organic sensitizers for enhanced dye-sensitized solar cell performance. *ACS omega*, 3(4), 3819-3829.
- Shirakawa H., Louis, E. J., MacDiarmid, A. G., Chiang, C. K. ve Heeger, A. J., (1977). *J Chem Soc Chem Comm*, 579.
- Skotheim, T. A., (1986). *Handbook of Conducting Polymers*. Marcel Dekker Inc., Vol 1-2 New York.
- Spanggaard, H. ve Krebs F.C., (2004). A brief history of the development of organic and polymeric Photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 83, 125–146.
- Smestad, G., Bignozzi, C. ve Argazzi, R. (1994). Testing of Dye Sensitized TiO₂ Solar Cells 1: Experimental Photocurrent Output and Conversions Efficiencies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 32(3),259-272.
- Solğun, D.G. (2020). Yeni Ftalosiyanın Komplekslerinin Sentezi Ve Boyaya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Uygunluğunun İncelenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi.
- Söğüt, S. (2014). Boya Esaslı Nano-kristal Güneş Pillerine Yönelik Yeni Rutenyum Komplekslerinin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Performans Çalışmalarının Yapılması. Mersin Üniversitesi.
- Su'ait, M. S., Rahman, M.Y. A. ve Ahmad, A. (2015). Review on Polymer Electrolyte in Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *Solar Energy*, 115, 452–470.
- Sun, Z., Liang, M. ve Chen, J. (2015). Kinetics of iodine-free redox shuttles in dye-sensitized solar cells: interfacial recombination and dye regeneration. *Accounts of Chemical Research*, 48(6), 1541-1550.
- Suzuki, K, Yamaguchi, M., Kumagai, M. ve Yamagida, S. (2002). Application Of Carbon Nanotubes To Counter Electrodes Of Dye-Sensitized Solar Cells. *Chemistry Letters*, 32(1),28-29.
- Stranks, S. D., Burlakov, V. M., Leijtens, T., Ball, J. M., Goriely, A. ve Snaith, H. J. (2014). Recombination kinetics in organic-inorganic perovskites: excitons, free charge, and subgap states. *Physical Review Applied*, 2(3), 034007.
- Şimşek, R., (2015). Production of Dye Sensitized Solar Cell and Optimization of Production Parameters. İstanbul Technical University.
- Tabari-Saadi, Y. ve Mohammadi, M. R. (2015). Efficient dye-sensitized solar cells based on carbon-doped TiO₂ hollow spheres and nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26, 8863-8876.
- Tan, B., Toman, E., Li, Y. ve Wu, Y. (2007). Zinc stannate (Zn₂SnO₄) dye-sensitized solar cells. *Journal of the American Chemical Society*, 129(14), 4162-4163.
- Tang, C. W. (1986). Two-layer organic photovoltaic cell. *Applied Physics Letters*, 48(2), 183-185.
- Tekerek, S. (2009). TiO₂ Tabanlı Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.

- Tekoğlu, S. (2009). Güneş Pili Uygulamaları İçin Görünür Bölgede Absorbsiyon Yapan Yeni Organik Boyar Maddelerin Sentezi. Ege Üniversitesi.
- Tercan, M.B. (2000). Güneş Pili Karakterizasyon Yöntemleri. Hacettepe Üniversitesi.
- Thomas, S., Deepak, T.G., Anjusree, G.S., Arun, T.A., Nair, S.V. ve Nair, A.S. (2014). A review on counter electrode materials in dye-sensitized solar cells. *J. Mater. Chem. A Mater. Energy Sustain.*, 2, 13, 4474–4490.
- Tuna, Ö., (2014). Fotovoltaik Etki Kullanılarak Farklı Açık Alanlardaki Dinlenme Yerlerinin Serinletilmesinin Çevresel ve Ekonomik Faydalarının Araştırılması. Fırat Üniversitesi.
- Tutar, Ö.F. (2019). Phylotacca americana bitkisinden elde edilen pigmentlerin boya duyarlı güneş pillerinde kullanımlarının incelenmesi. Sakarya Üniversitesi.
- Türkili, B. (2021). Güneş Pillerinde Boya Olarak Mono Karboksilik Asit Sübstitüe Çinko Ftalosyaninlerin Kullanılması. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi.
- Türkmen, M.M. (2022). Çay İle Organik Boya Duyarlı Güneş Pili Üretimi Ve Karakterizasyonu. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.
- Ulusoy, T.G. (2015). Yüksek Verimli Boya Uyarımlı Güneş Pilleri İçin Fotoanot Geliştirilmesi. İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi.
- Urbani, M., Grätzel, M., Nazeeruddin, M. K. ve Torres, T. (2014). Meso-substituted porphyrins for dye-sensitized solar cells. *Chemical Reviews*, 114(24), 12330-12396.
- Ünverdi, A. (2020). Morfoloji Ve Boya Etkisinin CdS-Tabanlı Hibrit Güneş Pillerinin Verimliliği Üzerine Olan Etkilerinin Araştırılması. Adana Alparslan Türkeş bilim ve Teknoloji Üniversitesi.
- Xia, Y.ve Dai, S. (2020). Rewiev on applications of PEDOTs and PEDOT:PSS in Perovskite solar Cells. *Journal of Material Science: Materails in Electronics*, 155.
- Watson, J., Rodrigues, R. R. ve Delcamp, J. H. (2022). Near-infrared unsymmetrical squaraine core-based sensitizers for co-sensitized high-photocurrent dye-sensitized solar cells. *Cell Reports Physical Science*, 3(1).
- Wehrenfennig, C., Eperon, G., Johnston, M. B., Snaith, H. J. ve Herz, L. M. (2014). High Charge carrier mobilities and lifetimes in organolead trihalide perovskites. *Advanced Materials*, 26, 1584-1589.
- Wenham, S.R., Green, M.A., Watt, M.E. ve Corkish, R. (2007). Applied Photovoltaics. Earthscan. *James and James Ltd. Sterling, USA*, 6-8, 36, 54 p.
- Wu, C. (2007). Adsorption of reactive dye onto carbon nanotubes: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of Hazardous Materials*, 144, 93-100.
- Würfel P. (2005). Physics of solar cells : from principles to new concepts, Wiley.
- Yaka, A.P. (2022). Farklı Boyaların ZnO Tabanlı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Verimine Etkisi. Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- Yang, S., Sha, S., Lu, H., Wu, J., Ma, J., Wang, D. ve Sheng, Z. (2020). Electrodeposition of hierarchical zinc oxide nanostructures on metal meshes as photoanodes for flexible dye-sensitized solar cells. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 594, 124665.
- Yaşar, M. (2018). Boya Duyarlılaştırılmış Güneş Pillerinin Verimlerini İyonik Sıvı Esaslı Elektrolitler Kullanarak Artırmak. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi.
- Yenisey, D. (2015). İç Anadolu Bölgesi İçin Güneye Bakan Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Global, Direkt ve Difüz Radyasyonun Hesaplanması. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- YEGM, 2019

- Yeoh, M. ve Chan, K. (2017). Recent advances in photo-anode for dye-sensitized solar cells: a Review. *International Journal of Energy Research*, 41, 2446-2467.
- Yıldız, Z.K. (2018). TiO₂ Based Dye Sensitized Solar Cells Obtained by Sol-gel Method. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi.
- Yıldız, E. (2019). Elektron Ve Enerji Aktarım Mekanizmalarının Boya İle Duyarlaştırılmış Güneş Pillerinin Verimliliği Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi.
- Yıldız, Z.K. (2022). Zr Katkılı ZnO Nanoçubuklar Ve TiO₂ Nanopartiküllerden Oluşan Hibrit Fotoanotlara Dayalı Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Üretilmesi Ve Karakterizasyonu. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi.
- Yıldırım, H. (2019). Plazmonik TiO₂ Kompozit Malzemeler Ve Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanımı. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi.
- Yiğit, N. (2021). Organik Boya Esaslı Güneş Pilleri İçin Fenazin Tabanlı Aday Organik Boyaların Kuantum Kimyasal Hesaplamaları. Iğdır Üniversitesi.
- Yu G., Gao J., Hummelen J. C., Wudl F. ve Heeger A. J. (1995). Polymer photovoltaic cells: enhanced efficiencies via a network of internal donor-acceptor heterojunctions. *Science*, 270: 1789-1791.
- Yua, T., Yangab, S., Zhaob, Y., Zhanga, H. ve Hanb, X. (2010). Synthesis, crystal structures and fluorescence properties of 3-(2-pyridyl) coumarin Derivatives. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 214, 92– 99.
- Yu, Z. ve Sun, L. (2015). Recent progress on hole-transporting materials for emerging organometal halide Perovskite solar Cells. *Advanced Energy Materials*, 5, 1500213.
- Zan, R., Xiao, J. ve Wen, X. (2017). Synthesis of TiO₂ nanorice and their improved dye sensitized solar cells performance. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 4107-4113.
- Zafer, C. (2006). Organik Boya Esaslı Nanokristal Yapılı İnce Film Güneş Pili Üretimi. Ege Üniversitesi.
- Zanni, M.T., Greenblatt B.J., Davis, A.V. ve Neumark, DM., (1999). Photodissociation of gas phase I using femtosecond photoelectron spectroscopy. *Journal of Chemical Physics*; 111(7) : 2991.
- Zhang, W., Wu, Y., Bahng, H. W., Cao, Y., Yi, C., Saygili, Y. ve Grätzel, M. (2018). Comprehensive control of voltage loss enables 11.7% efficient solid-state dye-sensitized solar cells. *Energy & Environmental Science*, 11(7), 1779-1787.
- Zhou, H., Chen, Q., Li, G., Luo, S., Song, T. B., Duan, H. S., Hong, Z., You, J., Liu, Y. ve Yang, Y. (2014). Interface engineering of highly efficient Perovskite solar Cells. *Science*, 345, 6196, 542-546.
- Zuo, L., Gu, Z., Ye, T., Fu, W., Wu, G., Li, H. ve Chen, H. (2015). Enhanced photovoltaic performance of CH₃NH₃PbI₃ perovskite solar cells through interfacial engineering using self-assembling monolayer, *Journal of the American Chemical Society*, 137, 7, 2674-2679.
- <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/pvilke.html>
- <http://www.mmo.org.tr/muhendis/makine/arsiv/2000/gunes.htm>
- <https://www.cografya.gen.tr/egitim/matcog/turkiye-nin-konumu.htm>
- <http://www.gunder.org.tr/documents/gunespilleri.pdf>

