

**FOTOVOLTAİK (PV) PANELLER İÇİN FOTOKATALİTİK,
ANTİBAKTERİYEL VE YANSIMA ÖNLEYİCİ YÜZEY KAPLAMALARIN
GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman ÇELEN

Danışman

Doç. Dr. Mustafa UÇAR

İkinci Danışman

Doç. Dr. Atilla EVCİN

NANOBİLİM ve NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Ocak 2020

Bu tez çalışması 18.FEN.BİL.21 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK (PV) PANELLER İÇİN
FOTOKATALİTİK, ANTİBAKTERİYEL VE YANSIMA
ÖNLEYİCİ YÜZEY KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ
VE KARAKTERİZASYONU

Osman ÇELEN

Danışman

Doç. Dr. Mustafa UÇAR

İkinci Danışman

Doç. Dr. Atilla EVCİN

NANOBİLİM ve NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Ocak 2020

TEZ ONAY SAYFASI

Osman ÇELEN tarafından hazırlanan “Fotovoltaik (PV) Paneller İçin Fotokatalitik, Antibakteriyel ve Yansıma Önleyici Yüzey Kaplamaların Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 24 / 01 / 2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Mustafa UÇAR

İkinci Danışman : Doç. Dr. Atilla EVCİN

Başkan : Prof. Dr. Esengül KIR
SDÜ, Fen Edebiyat Fakültesi



Üye : Doç. Dr. Mustafa UÇAR
AKÜ, Fen Edebiyat Fakültesi



Üye : Doç. Dr. Atilla EVCİN
AKÜ, Mühendislik Fakültesi



Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail YILDIZ
AKÜ, İncehisar M.Y.O



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZKAN
AKÜ, Fen Edebiyat Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24 / 01 / 2020



Osman ÇELEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK (PV) PANELLER İÇİN FOTOKATALİTİK, ANTİBAKTERİYEL VE YANSIMA ÖNLEYİCİ YÜZEY KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Osman ÇELEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa UÇAR

İkinci Danışman: Doç. Dr. Atilla EVCİN

Bu araştırmada, PV panel yüzeylerinin çevresel etkilerden kaynaklı (toz, kir ve CO₂ vb.) kirlenme nedeniyle çıkış güçlerinde verim kaybı oluşmaktadır. Bu etkiyi azaltmak için geliştirilen kendi kendini temizleyen, foto katalitik, yansımaya önleyici ve anti bakteriyel kaplamalar Sol Jel yöntemiyle cam yüzeylere kaplanmış ve yapılan kaplamaların PV panellerinin verimliliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan kaplamaların optik ve foto katalitik özellikleri, sırasıyla temas açısı ölçümü ve SEM mikroskopunda karakterize edilmiştir. PV panel yüzeyindeki artan ışık geçirgenliği ile kaplanmış paneller; kendi kendini temizleme özelliği, yansımaya önleyici etki ve anti bakteriyel yüzey oluşumu göstermiştir. Panel yüzeylerine yapılan kaplamalardan; TiO₂, SiO₂ elementleriyle foto katalitik ve yansımaya önleyici etki sağlanmış, B₂O₃ elementi ile de anti bakteriyel yüzey elde edilmiştir. Çalışmaya dahil edilen TiO₂, SiO₂, B₂O₃ ve TiO₂+SiO₂+B₂O₃ kaplı dört adet panel ve kaplanmayan panel karşılaştırılmıştır. PV panellerin dış ortamda konumlanmış ve üretilen ekstra enerjinin ölçülmesi için fotovoltaiik sistem düzeneği alınan veriler ile en verimli kaplama tayini yapılmıştır.

2020, ix+62 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fotokatalitik, PV Panel, Yansımaya Önleyici, Antibakteriyel, Sol Jel

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF PHOTOCATALYTIC, ANTIBACTERIAL AND REFLECTIVE SURFACE COATINGS FOR PHOTOVOLTAIC (PV) PANELS

Osman ÇELEN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of nanoscience and nanotechnology

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa UÇAR

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Atilla EVCİN

In this research, the efficiency of PV panel surfaces due to environmental pollution (dust, dirt and CO₂ etc.) pollution results in loss of output power. Self-cleaning, photocatalytic, anti-reflection and anti-bacterial coatings developed to reduce this effect were coated on glass surfaces by Sol Gel method and the effects of the coatings made on the efficiency of PV panels were investigated. The optical and photo catalytic properties of the coatings made were characterized by contact angle measurement and SEM microscope, respectively. Panels coated with increased light transmittance on the PV panel surface; showed self-cleaning properties, anti-reflection effect and anti-bacterial surface formation. Of the coatings made on the panel surfaces; Photo catalytic and anti-reflection effect was provided with TiO₂, SiO₂ elements, and an antibacterial surface was obtained with the B₂O₃ element. Four panels covered with TiO₂, SiO₂, B₂O₃ and TiO₂ + SiO₂ + B₂O₃ and uncoated panels were compared. PV panels are located in the external environment and the most efficient coating determination was made with the data received from the photovoltaic system assembly to measure the extra energy produced.

2020, ix+62 pages

Keywords: Photocatalytic, Photovoltaic Panel, Antireflective, Antibacterial, Sol Gel.

TEŐEKKÖR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa UÇAR, Sayın Doç. Dr. Atilla EVCIN araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teőekkr ederim. Ayrıca bu araştırmanın fonlanması konusunda Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne ve 18.FEN.BİL.21 numaralı proje desteği için Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAPK) teőekkr ederim.

Bu araştırmada her zaman yanımda ve destekçim olan sevgili eşim Sayın Dr. gr. y.'si Yonca YAHŐİ ÇELEN'e sonsuz teőekkr ederim.

Osman ÇELEN
Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Fotovoltaik Sistem (FV)	5
2.1.1 Fotovoltaik Sistemindeki Bileşenler	6
2.1.2 Fotovoltaik Hücre Yapısı ve Çalışma Prensibi	6
2.1.3 Fotovoltaik Panel Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Karakteristiği	8
2.1.4 Fotovoltaik Sistemin Verimliliğini Etkileyen Unsurlar	9
2.1.4.1 Güneş ışınımı.....	9
2.1.4.2 Güneş Işınlarının Yansıma Etkisi.....	10
2.1.4.3 FV Panelin Sıcaklık Etkisi	10
2.1.4.4 FV Sistemlerin Cam Yüzey Kirliliği.....	11
2.1.4.5 FV Sistemlerinde Gölgeleme	11
2.2 Nano Kaplamalar	11
2.2.2 Kendi kendini temizleyen nano kaplamalar	14
2.3 Sol – Jel Metodu	16
2.3.1 Sol – Jel Yöntemi Uygulama Esasları.....	17
2.3.2 Sol-Jel Yönteminde Kullanılan Bileşenler.....	17
2.3.2.1 Metal Alkoksitler.....	18
2.3.2.2 Alkoller.....	18
2.3.2.3 Katalizörler.....	18
2.3.3 Sol-Jel Oluşumu.....	19
2.3.3.1 Hidroliz ve Yoğunlaşma Reaksiyonları	19
2.3.3.2 Jelleşme	20
2.3.4 Sol – Jel İnce Film Kaplama Yöntemleri.....	21
3. MATERYAL ve METOT	24

3.1	Çözeltilerde Kullanılan Kimyasal Materyaller	24
3.2	Alımı Gerçekleştirilen FV Panel Düzenegi	24
3.2.1	Polikristal Solar Paneller	25
3.2.2	Solar Paneller İçin Elektronik Yükler.....	26
3.2.3	Açı ayarlı platform.....	26
3.2.4	Kayıt Cihazı	26
3.3	Kaplama Yapılacak Numune Camlar	27
3.3.1	Numune Camların Özellikleri	27
3.3	Sol – Jel Film Aplikatörü Yöntemiyle Numune Camlara Kaplama Prosesi.....	28
3.3.1	Numune Camların Temizliği	28
3.3.2	Kaplama yapılacak TiO_2 , SiO_2 , B_2O_3 ve $TiO_2 + SiO_2 + B_2O_3$ Model Karışımın Hazırlanması	29
3.3.2.1	TiO_2 Kaplama Karışımının Hazırlanması	29
3.3.2.2	SiO_2 Kaplama Karışımının Hazırlanması	30
3.3.2.3	B_2O_3 Kaplama Karışımının Hazırlanması.....	31
3.3.3	Hazırlanan Kaplamaların Numune Camlara Kaplanması Prosesi	32
3.3.4	Kaplanan Numune Camlar	34
3.4	Fotovoltaik Panellerin Cam Yüzeylerinin Kaplama Prosesi	35
4.	BULGULAR	37
4.1	Camlara Yapılan Kaplamaların Özellikleri	37
4.1.2	TiO_2 Kaplanmış Yüzey	37
4.1.2	SiO_2 Kaplanmış Yüzey	39
4.1.2	B_2O_3 Kaplanmış Yüzey.....	42
4.3	Kaplanan PV Panellerin Çıkış Güçlerinin İstatistiği	43
4.3.1	Panel Verilerinin Normal Dağılım Testi	44
4.3.2	TiO_2 ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi	45
4.3.3	SiO_2 ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi	46
4.3.4	B_2O_3 ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi.....	47
4.3.5	$TiO_2+SiO_2+B_2O_3$ ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi	48
4.4	Numune Camların Geçirgenlik Pusluluk Testleri.....	48
5.	TARTIŞMA ve SONUÇ	49
6.	KAYNAKLAR.....	52
	ÖZGEÇMİŞ.....	55
	EKLER	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

AA	Alternatif Akım
B ₂ O ₃	Bor Oksit
C ₂ H ₅ OH	Etil Alkol
CH ₃ OH	Metil Alkol
C ₃ H ₇ OH	Propil Alkol
CO ₂	Karbondioksit
DA	Doğru Akım
I	Akım
O ₂	Oksijen
SiCl ₄	Silikat
SiO ₂	Silisyumdioksit
SnO ₂	Kalaydioksit
TiO ₂	Titanyumdioksit
V	Gerilim
ZnO	Çinkooksit

Kısaltmalar

AR	Anti Reflektif
ARC	Anti Reflektif Kaplama
CNTs	Karbon Nanotüp
EDS	Enerji Dispersiv Spektrum
FV	Fotovoltaik
I _{kd}	Kısa Devre Akımı
kWp	Güneş Panllerinde Üretilen Enerji
MB	Metilen Mavis
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
V _{kd}	Açık Devre Gerilimi
XRD	X ışını Kırınım Yöntemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Fotovoltaik sisteminin temel şeması	6
Şekil 2.2 FV Hücresinin Çalışma İlkesi.....	7
Şekil 2.3 FV Hücresinin İç Yapısı	8
Şekil 2.4 FV Panelin Akım – Gerilim Karakteristiğinin Yükle Değişimi.	8
Şekil 2.5 FV Panelin I-V ve PV Karakteristiği	9
Şekil 2.6 Güneş Işınımı ile akım, gerilimi ve güç bağıntısı	10
Şekil 2.7 Hidrofobik Yüzey.....	13
Şekil 2.8 Hidrofilik Yüzey	13
Şekil 2.9 Fotokatalitik Yüzey (Ashby 2009).....	14
Şekil 2.10 Pürüzlülük ve keni kendini temizlemenin blok diyagramı; (a) düz bir yüzeydeki su damlası ile kirlerin dağıtılması, (b) pürüzlü yüzeyde su damlasının kirleri uzaklaştırması.....	15
Şekil 2.11 Su damlalarının lotus yaprağı üzerinde oluşan görüntü.....	15
Şekil 2.12 Sol – Jel Yöntemi Blok Şeması.....	16
Şekil 2.13 Sol – Jel Metodunda Kullanılan Yöntemler.....	19
Şekil 2.14 Jelleşme Yöntemi	21
Şekil 2.15 İnce film hazırlama yöntemleri	22
Şekil 3.1 Fotovoltaik sistem	25
Şekil 3.2 20 W Polikristal Fotovoltaik Panel	25
Şekil 3.3 Elektronik Yükler.....	26
Şekil 3.4 Film kaplama aplikatörü	28
Şekil 3.5 Camların Temizlenme Prosesi	29
Şekil 3.6 TiO ₂ kaplama karışımının hazırlığı ve pH ölçümü	30
Şekil 3.7 SiO ₂ kaplama karışımının hazırlığı ve pH ölçümü	31
Şekil 3.8 TiO ₂ + SiO ₂ + B ₂ O ₃ kaplama karışımının hazırlığı ve PH derecesi.....	32
Şekil 3.9 Karışımların Manyetik Karıştırıcıda Karıştırılması.....	33
Şekil 3.10 TiO ₂ , SiO ₂ , B ₂ O ₃ ve TiO ₂ + SiO ₂ + B ₂ O ₃ Sol – Jel daldırma yöntemi ile kaplama.....	33

Şekil 3.11	Kaplanan Camların Isıl İşlem Prosesi	34
Şekil 3.12	Sol – Jel Daldırma Yöntemiyle Kaplanan Camlar	35
Şekil 3.13	FV Paneller İçin Hazırlanan Kaplamalar	36
Şekil 3.14	Kaplanan PV paneller	36
Şekil 4.1	TiO ₂ Kaplanmış Camların Yüzey Görüntüsü	37
Şekil 4.2	TiO ₂ Kaplanmış Camların Kesit Görüntüsü	37
Şekil 4.3	Temas Açısı Ölçüm Sonuçları	38
Şekil 4.4	X-ışını Spektroskopisi (EDS) analizi	39
Şekil 4.5	SiO ₂ Kaplanmış Camların Yüzey Görüntüsü	40
Şekil 4.6	SiO ₂ Kaplanmış Camların Kesit Görüntüsü	40
Şekil 4.7	Temas açısı ölçüm sonuçları	41
Şekil 4.8	X-ışını Spektroskopisi (EDS) analizi	41
Şekil 4.9	B ₂ O ₃ Kaplanmış Camların Yüzey Görüntüsü	42
Şekil 4.10	B ₂ O ₃ Kaplanmış Camların Kesit Görüntüsü	43
Şekil 4.11	Temas açısı ölçüm sonuçları	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kullanılan Kimyasallar	24
Çizelge 3.2 Numune Alınan Camların Özellikleri	24
Çizelge 4.1 X-ışını Spektroskopisi (EDS) analizi	38
Çizelge 4.2 X-ışını Spektroskopisi (EDS) analizi	42
Çizelge 4.3 Panel verilerinin normallik test sonuçları	44
Çizelge 4.4 Geçirgenlik Test Sonuçları	48
Çizelge 5.1 Panel Verim Sonuçları	53

1. GİRİŞ

Küresel enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Enerjiye gereksinim duyulan arzı sağlamak için alternatif enerji kaynakları oluşturma ve mevcut kaynaklardan üretilen enerjinin verimini arttırmak için çalışmalar sürdürülmektedir. Üretimi gerçekleştirilen enerji yenilenebilir (tükenmeyen) ve tükenbilir olarak iki gruba ayrılır. Tükenen enerji daha çok fosil yakıtlar gibi sınırlı kaynaklardan üretilirken, yenilenebilir enerji türleri ise güneş, rüzgâr, suyun potansiyel enerjisi gibi dünyanın kendi doğal olaylarından üretilir (Köklü 2017). Mevcut yöntemler ile üretilen enerjinin; doğa kirliliği, CO₂ salınımı gibi çevreyi ve doğayı etkileyen olumsuz etkileri ciddi önem teşkil etmektedir. Bu nedenle çevre uyumu daha uygun ve doğada var olan kaynaklar (rüzgâr, güneş) ile üretimi yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan önem her geçen gün artmaktadır (Bakır 2016).

Elektrik enerjisinin üretiminde etkinlik, çevresel faktörler, maliyet ve kaynağın kolay bulunması unsurlarına bakıldığında yenilenebilir enerji kaynağı, rüzgâr ve güneş enerjisi çok önem taşımaktadır. Öncelik güneş ışınımından sağlanan enerjinin temiz, az bakım gerektiren, güvenilir ve tükenmeyen bir ana kaynak olmasının yanında son zamanlardaki teknolojilerdeki gelişmeler ile daha önemli rol oynamaktadır. Güneş enerji sisteminde paneller aracılığıyla ışınım elektrik üretimine dönüştürülmektedir (Parmaksız 2017).

Ülkemiz, güneş enerjisi bakımından uygun bir coğrafi konuma sahiptir. Ülkemizde PV paneller ile üretimi ile defa, 2014 yılında kurulu güç içindeki yerini almıştır. Türkiye’de mevcut lisansa haiz olmayan 50 MW güneş santrali olduğu bilinmektedir (Kılıç 2015). Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi’nin son yılları içeren raporundaki istatistikleri incelendiğinde, güneş enerjisi için kurulu güç 2014 yılında 40,2 MW iken, 2015 yılında 248,9 MW’a, 2016 yılında 832,5 MW’a ve 2017 yılı için 3421,7 MW kurulu güç ile Avrasya’da ilk sırada olduğu görülmektedir.

Fotovoltaik panellerinin enerji üretimindeki verimliliği düşüren parametreler bulunmaktadır. Özellikle çevresel kirlenmeden dolayı panelin yüzeyinin toz, çamur ve

CO₂ salınımindan kaynaklı kirletilmektedir. Bu azalma da kayıpları arttırarak üretilen gücü düşürmektedir. Verimliliği düşüren bu etkiler üzerine yapılan çalışmalarda 1 MW'lık bir santralin çevresel etkilerinden dolayı kaybedilen enerji yaklaşık yıllık 89000 kWh'e kadar çıkmaktadır. Oluşan kayıplar zaman ve dış etkilere bağı olarak değişkenlik göstermektedir (Louy vd. 2017).

Kaldellis ve Kokala (2010), yapmış oldukları araştırmada, pv panel cam yüzeyinde düşük oranda ($\approx 1\text{g/m}^2$) birikim olması sonucundaki kayıp yıllık 40 €/kWp olarak belirtilmektedir.

Güneş ışınımı ile üretilen enerji; kullanılan malzeme, uygulanan yöntem ve teknolojik farklılıklar oluştursa da, ısıl güneş teknolojileri ve fotovoltaik teknolojileri olarak gruplandırılmaktadır. Isıl güneş teknolojilerinde, güneş ışınımından elde edilen ısı doğrudan veya elektrik üretimine olanak sağlamaktadır. Güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çeviren PV panel hücrelerinin üretiminde kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid gibi inorganik malzemeler ve organik malzemeler bulunmaktadır (Kılıç 2015).

Piliouline vd. (2008), 7 Fotovoltaik (PV) paneller üzerine yaptıkları çalışmalarında en önemli sorunların başında bakım ve temizliği bulmuşlardır. PV modüllerin yüzeylerinin kirlenmesinden dolayı panel yüzeylerine ulaşan solar ışınım miktarının azalması nedeniyle kayıplar oluşmaktadır. Panel yüzeyindeki tozlanma etkileri üzerine yapılan araştırmalar da, az yağış alan bölgelerdeki kayıplar %15 seviyelerindedir. Verimliliği düşüren bu etkiyi ortadan kaldırmak için yapılması gereken panel yüzeyinin temizlenmesidir. Fakat bu temizleme yüksek güçte ki santrallerde önemli bir sorun ve maliyete neden olmaktadır. Bu kirlilik nedeniyle düşen üretim; tozun cinsi, yağın yağmur ve zamana bağı olarak değişim göstermektedir.

Bu çalışmada faydalı ve etkin olacak sonuçlar şöyle sıralanabilir;

- ❖ PV panellerin enerji üretimindeki dış etki parametrelerinin etkisini araştırmak.
- ❖ Literatürde çalışılmamış PV panellerin güç verimi için foto katalitik, anti bakteriyel ve yansıma önleyici yüzey kaplama etkilerinin uygulanabilirliğini

araştırmak.

- ❖ TiO_2 , SiO_2 ve B_2O_3 yzey kaplamasının cam PV panel yzeyindeki etkisini analiz etmek.
- ❖ Yzey kaplamalarından alınacak veri setlerinin enerji üretimindeki atıl kapasite faktörünü ortaya çıkarmak.

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile enerjiye duyulan ihtiyaç her gün artarak devam etmektedir. Ülkemiz enerji arzı noktasında yetersiz olup, enerjiyi ithal etmemiz nedeniyle ülkemiz bütçesinde cari açığa neden olmakta ve mevcut konvansiyonel enerji kaynakları ile yapılan üretim CO_2 salınımı nedeniyle çevreye zarar vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ülkemiz için önemli potansiyele sahiptir. Güneş enerji sistemi için kullanılan panellerin; yzeylerinin kirliliğı nedeniyle %15, ışınların yansması nedeniyle %5 verim kaybı olduğı bilinmektedir. Tüm bu nedenler göz önüne alınarak yapılacak çalışmada, verim azaltıcı etkilerin ortadan kaldıracak kaplamaların yzeylere uygulanması amaç edinilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan metot ve yöntemlerin daha iyi anlaşılması için detaylı bilgilere yer verilmiştir. Öncelikli olarak FV sistemlerinde cam yüzeyin tozlanması sonucunda oluşan verim kaybı ölçümü ile yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda TiO_2 , SiO_2 kimyasal formların Sol – Jel metodu ile daldırma yöntemi, püskürtme yöntemi ve hazır solüsyonlar kullanılarak yapılan kaplamalar denenmiştir. Yapılan bu çalışmada solüsyonlar hazırlanarak Sol – Jel metodu ve Dr. Blade sıyırma yöntemi kullanılmış ve diğer çalışmalardan farklı olarak B_2O_3 elementi ile yapılan baz karışım çalışmanın özgünlüğü ön plana çıkarmıştır.

Sangchay (2016), yapmış olduğu çalışmada, SnO_2 - TiO_2 katkılı ince filmleri sol-jel yöntemi ile hazırlanmıştır. İnce filmler cam zemin üzerine $700\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 2 saat süreyle $10\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik ısıtma oranı ile kalsine edilerek biriktirilmiştir. Katkılı konsantrasyonları % 0-5 mol arasında değiştirilmiş ve hazırlanan ince filmlerin mikro yapıları da SEM ve XRD teknikleriyle karakterize edilmiştir. Aynı zamanda ince filmlerin foto katalitik özellikleri floresan ışınlama altında metilen mavisi çözeltisinin bozulması yöntemleriyle analiz edilmiştir. Son olarak, ince filmlerin kendi kendini temizleme özellikleri, flüoresan ve flüoresansız ince filmler üzerindeki su damlacıklarının temas açısını ölçerek değerlendirilmiştir.

Hanei vd. (2016), yapmış oldukları bu derlemede çalışmasında kendi kendini temizleme özelliği olan anti yansıtıcı kaplamaların son zamanlarda büyük önem kazandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada çok çeşitli pratik uygulamalar, özellikleri, antire-fleksiyon ve kendi kendini temizleme etkisi araştırılmıştır. Ek olarak, karbon nanotüpler üzerindeki ARC'ler ve kendi kendini temizleyen kaplamalar kısaca tarif edilmiştir. Son olarak da, CNT'ler ve bazı çok fonksiyonlu ARCs kullanılarak anti yansıtıcı ve kendi kendini temizleyen kaplamadaki son gelişmeler tanıtılmıştır.

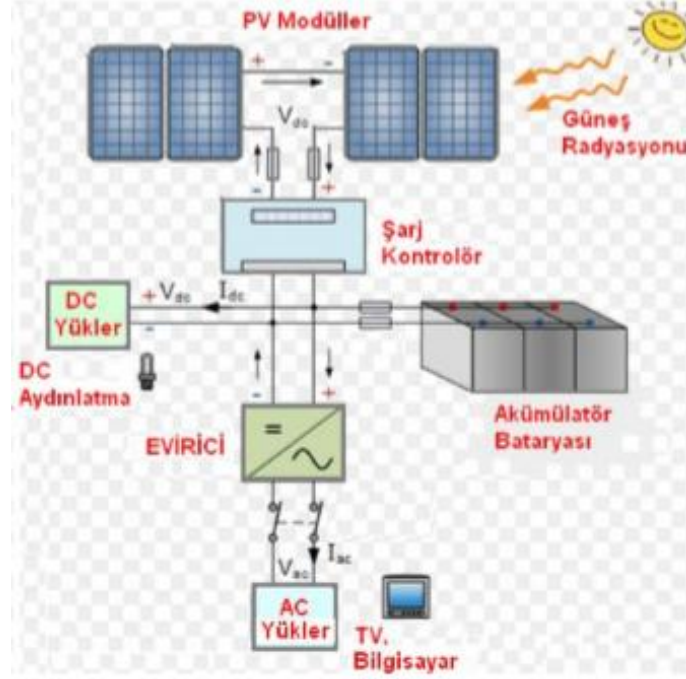
Son vd. (2012), yaptıkları çalışmada; kimyasal arıtma yöntemiyle yapay bir süper hidrofobik yüzey üzerinde çalışmışlardır. Kendinden temizlenen ve anti yansıtıcı etki elde etmek için yüksek pürüzlü yüzey etkileri, yüzey işlevselleştirmesi ile

süperhidrofobik yüzey için lotus yaprağı taklit edilerek kendi kendini temizleme etkisi oluşturulmaktadır.

Çeşitli hidrofobik, hidrofilik, süperhidrofobik ve süperhidrofilik camlar, su temas açısı (Contactangle- CA) varyasyonunu izleyerek 12 hafta boyunca dış ortam şartlarında optik geçirgenlik ve fotovoltaik performans değerlendirilmiştir. Alınan sonuçlar yüzey kimyasal arıtımı olmayan nano desenli süperhidrofilik camı daha fazla sergilemektedir. Güneş pili verimliliğinin sadece % 1,39'una neden olan kendi kendini temizleyen ve yansıma önleyici etkileri, 12 hafta boyunca açık bir test sırasında, çıplak cam ambalajlı ve süperhidrofobik ambalaj florlanmış güneş pilleri için sırasıyla % 7,79 ve % 2,62 değerleri ile verimlilik düşüşünün olduğunu göstermektedir.

2.1 Fotovoltaik Sistem (FV)

Fotovoltaik sistemler; devresine bağlanan farklı özellikteki yükü çalıştırmak için, güneş ışınımından enerjiyi üretirler. Bu sistemlerde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için FV paneller kullanılır. FV panellerden doğru akım çıkış olarak alınır ve doğru akım ile çalışan yükler direkt olarak beslenebilir. Güneş ışınımı günün farklı zamanlarında ve mevsimsel şartlara göre değişiklik gösterir. Buna bağlı olarak elektrik üretimi yükleri beslemekte yetersiz kalabilir veya elektriksiz enerji üretimi fazla olabilir. İhtiyaç fazlası olan elektrik enerjisi bataryalarda depolanır. Elektrik enerjisi üretiminin yetersiz kaldığı zamanlarda bataryalarda depolanan enerji kullanılarak yükler sürekli beslenebilir. Alternatif akım ile çalışan bir yük besleneceği zaman doğru akımı alternatif akıma çevirecek bir inverter (evirici) kullanılır (Bahtiyar 2006). Şekil 2,1'de bir FV sisteminin blok şeması verilmiştir. Verilen sistemde genel olarak FV panel, batarya, şarj kontrol birimi, inverter ve belirli amaca yönelik yükler bulunabilir (Kulaksız 2007).



Şekil 2.1 Fotovoltaik sisteminin temel şeması (Öztürk 2010).

2.1.1 Fotovoltaik Sistemdeki Bileşenler

FV sistemler, temel olarak panelin yüke bağlanmasıyla oluşsa da, ihtiyaç duyulan güç ve çevresel şartlar göz önüne alınarak, farklı özellikteki bileşenlerden oluşabilir. Sistemde kullanılacak elamanların çeşidini ve özelliğini belirleyen en önemli etken ihtiyaç duyulan enerjidir. Genel olarak bir FV sistemi oluşturan bileşenler şunlardır (Kaplan 2012);

- ❖ FV panel
- ❖ Batarya
- ❖ Şarj regülatörü
- ❖ İnverter

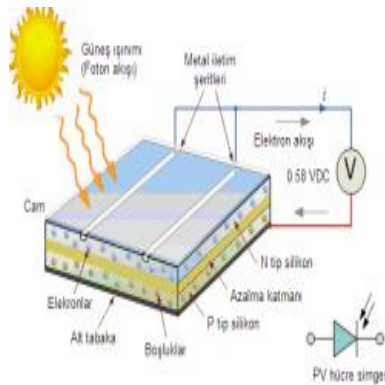
2.1.2 Fotovoltaik Hücre Yapısı ve Çalışma Prensibi

Fotovoltaik hücreler güneş ışının etkisiyle çalışırlar. Fotovoltaik olay, PV panel içerisinde yer alan hücre tarafından güneş ışımalarının elektriğe dönüştürüldüğü fiziksel bir mekanizmadır.

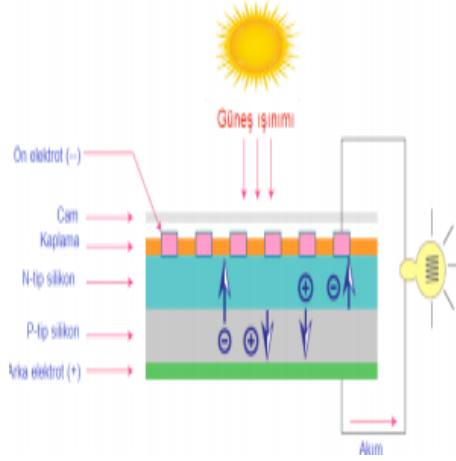
Güneş ışınımındaki fotonların, fotovoltaik panel içerisinde bulunan polisiloksan malzemelerin yüzeyine çarpmasıyla, atomlardan elektronları koparıp serbest bırakma prensibine göre çalışır. Fotovoltaik Yunanca kelime anlamı ışık demektir. Fotovoltaik sistemini ve elektrik üretimi yapan makinanın tasarımını yapan Alessandra Volta'dan alarak gerilim anlamına gelen voltaic kelimelerinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Güneş hücreleri, ilk defa 1839'da Becquerel aracılığıyla araştırmalara konu edinilmiştir (Öztürk 2010).

Güneşten gelen ışınlar ile enerji taşınması yapan fotonların birleşmesinden meydana gelir. Bu fotonlar, güneş ışınımın açı ve yönünde farklı miktarlar da enerji içermektedirler. Fotonlar, panel yüzeyine çarptığında bir bölümü panel tarafından emilerek enerji elde edilir, bir kısmı yansır ve kalan kısmı da hücre içerisinden geçer.

Şekil 2.2' de hücre içyapısı gösterilen fotovoltaik yapıdan elektriksel güç üretilebilmesi için gereken şart; Güneş ışınımından gelen fotonların pv panel tarafından emilerek foto akım ve geriliminin üretilmesi gereklidir. Temel prensip gelen fotonların hücre yapısındaki malzemelerin yüzeyine çarpmasıyla, atomlardaki elektronları serbest bırakmasıdır. Güneş ışınım enerjisi sonucunda, yarı iletken malzemedeki atomun elektrona transfer olma sürecidir. Elektron ise kazanmış olduğu bu enerjiyle elektrik akımının süreci içerisinde girebilmek için, yarı iletken malzemelerdeki atoma benzeyerek normal halinden kurtulma yeteneği kazanır (Şekil 2.3) (Öztürk 2010).



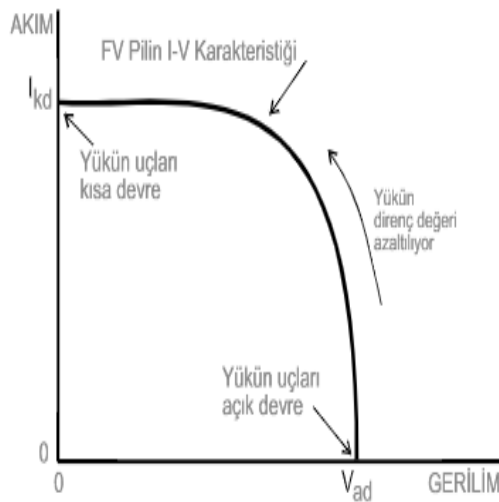
Şekil 2.2 FV Hücrenin Çalışma İlkesi (Öztürk 2010).



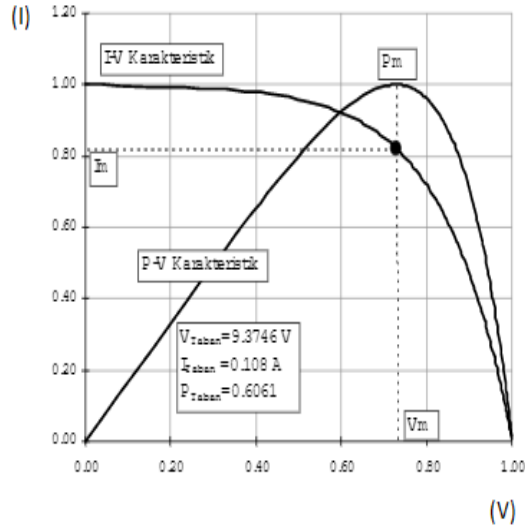
Şekil 2.3 FV Hücrenin İç Yapısı (Öztürk 2010).

2.1.3 Fotovoltaik Panel Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Karakteristiği

Hücre yüke bağlı olmadığı ve maksimum ışınım anında, çıkış uçları ölçülerek açık devre gerilimi (V_{ad}) elde edilir. Maksimum ışınımında hücrenin çıkış uçları kısa devre edilerek, uç akımı ölçülerek panel parametrelerindeki belirlenen kısa devre akımı bulunur (I_{kd}). Panel maksimum gücünü belirleyen; açık devre gerilimi ve kısa devre akımı hücrenin performansını belirleyen en etken iki karakteristik parametredir. Bağlanılan yüke bağlı olarak fotovoltaik hücre I-V eğrisinde herhangi bir noktada çalıştırılabilir. Kısa devre akımı ölçülürken, diyot akımı ve sızıntı akımı ihmal edilirse I faz (I_L) = I_{kd} olur. Açık devre ve kısa devre şartlarında hücrede güç üretilmez (Yoldaş vd. 2015).



Şekil 2.4 FV Panelin Akım – Gerilim Karakteristiğinin Yükle Değişimi (Altaş 1998).



Şekil 2.5 FV Panelin I-V ve PV Karakteristiği (Altaş 1998).

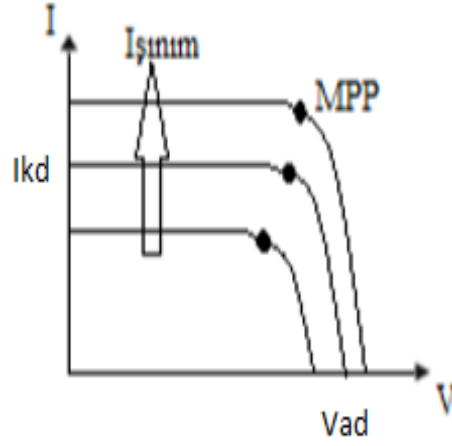
Şekil 2.5’ de görüldüğü gibi akım ve gerilim değerleri belirli oranlarda maksimum noktalara ulaşmaktadır. Fotovoltaik panelin üretebileceği değer; yüzeyine gelen gün ışığı ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle bir fotovoltaik paneli verimli kullanmak için çıkış gücündeki maksimum değerde tutmak gerekmektedir. Fotovoltaik panelin Şekil 2.5 ‘de verilen; akım - gerilim ve güç - gerilim karakteristikleri 20 °C lik ortam sıcaklığı ve 80 mW/cm² lik günışığı şiddeti (güneş radyasyonu seviyesi) varken elde edilen karakteristikleridir.

2.1.4 Fotovoltaik Sistemin Verimliliğini Etkileyen Unsurlar

FV panellerinden üretilen enerjinin verimi çevresel etkilere bağlı olarak; Güneş ışınımı, panel sıcaklığı, kirlilik, yansımaya ve gölgeleme olarak tanımlanmaktadır. Bu etkiler nedeniyle mevcut kurulu bir santralde kullanılmayan atıl alan oluşumuna neden olur.

2.1.4.1 Güneş ışınımı

FV sistemin ürettiği gücü etkileyen en önemli faktör ışınımıdır. Güneş ışınım sistemin ürettiği gerilim ile logaritmik, akım ile lineer ilişkilidir. Işınımın FV sistemin performansındaki etkisinin hesaplamasındaki temel zorluk, ışınımın FV performansını etkileyen diğer faktörlerle de ilişkili olmasıdır.



Şekil 2.6 Güneş Işınımı ile akım, gerilimi ve güç bağıntısı (Altaş 1998).

Bu faktörler, bulutlu gündeki dağınık ışınım etkilerini, sabah erken saatlerde veya akşamüstü düşük ışınım etkilerini, geliş açısı etkilerini kapsamaktadır. Şekil 2,6'da ışınımın artması maksimum güç noktasını arttırmıştır. Akım değeri ışınım ile doğru orantılı artarken, gerilim değeri logaritmik artmıştır (Yoldaş vd. 2015).

2.1.4.2 Güneş Işımlarının Yansıma Etkisi

FV panellerin üzerine düşen ışığın bir kısmı hücreler tarafından emilmeden, modül yüzeyinden yansır. Yansıyan ışıklardan dolayı oluşan kayıplara yansıma kayıpları denir. FV sisteminde üretilen elektrik, emilen ışık miktarına bağlı olduğundan, panellerin üretiminde ışığı daha az yansıtan malzemelerin kullanılması performansı artıracaktır. FV panellerin farklı katmanlardan oluşturulması, yansımaya azaltmak içindir. Ortalama bir ışınım altında panellere gelen ışığın yaklaşık olarak %96'sı emilirken geri kalan %4'lük kısmı ise dış ortama yansıtılır.

2.1.4.3 FV Panelin Sıcaklık Etkisi

FV panellerinin sıcaklığı arttıkça performansı düşmektedir. FV sistemlerde kullanılan panelin özelliğine göre, güneş enerjisinin %5'i ile %25'i elektrik enerjisine dönüştürülür.

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülemeyen bir kısmı, modülün sıcaklığını artırır. FV modül ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı bazen 40 °C'nin üstüne çıkabilmektedir. Panelin arkasında biriken ısı, panelin arka kısmının havalandırılması ile doğrudan ilişkilidir. Panel arka yüzeyi hava almayacak şekilde yerleşim yapılırsa, arka yüzeyde oluşacak sıcaklık performansı düşürecektir. Panel arka yüzeyi ve montaj yüzeyi arasında boşluk bırakılırsa, istenmeyen ısı etkileri azaltılabilir (Yoldaş vd. 2015).

2.1.4.4 FV Sistemlerin Cam Yüzey Kirliliği

Toz, kir, su, kum ve yosun gibi parçacıkların FV panel yüzeyinde birikmesi, hücreye düşen ışığı engeller ve dağıtır. Bu durum yaklaşık olarak %4 gibi enerji kaybına neden olur. Kirlenmeden dolayı oluşan kayıp coğrafi özelliklere göre değişkenlik gösterir. Bazı yağmurlar ve tozlu rüzgârlar panel kirliliğini etkilediğinden, kayıplar belli zamanlarda çevresel etkilere bağlı olarak maksimum ve minimum noktalar arasında değişkenlik göstermektedir (Saidan vd. 2016). Kaldellis ve Kokala'nın yapmış olduğu araştırmada çalışmada, panel üzerinde ($\approx 1\text{g/m}^2$) oranında dahi toz birikimi yıllık olarak yaklaşık 40 €/kWp dolaylarında kayıp olacağını belirtmektedir.

2.1.4.5 FV Sistemlerinde Gölgeleme

FV sistemlerde verimliliği etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biride gölgelemedir. Gölgelemeye binalar, ağaçlar, elektrik veya telefon direkleri sebep olsa da, bazen sistemin tasarımından kaynaklı olarak panellerde birbirlerini gölgeleyebilmektedir. Bu nedenle sistemin tasarımı yapılırken gölgeleme durumu dikkate alınmalıdır. Gölgeleme %1-%6 arasında verim kaybına sebep olabilmektedir.

2.2 Nano Kaplamalar

Nano kaplama; içerisinde nano boyutta parçacık (titanyum dioksit, silisyum dioksit, gümüş, vb.) yardımıyla oluşturulan tabakanın yüzeylere farklı metotlarla kaplama işlemidir. Nano parçacıklar bazen, malzeme karışımlarına direkt olarak eklenmesiyle istenilen özellikte yüzey elde edilebilmektedir.

Bu oluşan ince film kaplamalarının yüzeye uygulanmasıyla malzemeye üstün özellik kazandırması sağlanmaktadır. Karışımı yapılan bu kaplamalar cam, metal, seramik, plastik ve beton gibi malzemelere uygulanabilmektedir (Ashby vd. 2009).

Bu kaplamalar farklı yöntemler ile

- ❖ Daldırma
- ❖ Sprey
- ❖ Döndürme
- ❖ Plazma
- ❖ Kimyasal Buhar Çökertme

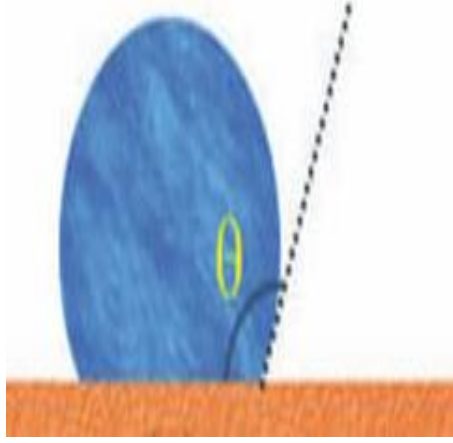
Uygulanabilmektedir. Bu sayede malzemeye kendi kendini temizleme, kolay temizlenebilme, antimikrobiyel, aşınmazlık, çizilmezlik korozyon gibi pek çok farklı üstün özellik kazandırmaktadır (Elvin 2010).

Kendi kendini temizleyen, kolay temizlenebilen ve anti bakteriyel nano kaplamaların tasarlanabilmesi için üç farklı teknoloji uygulanmaktadır.

Bu yöntemler ile oluşturulan yüzeyler;

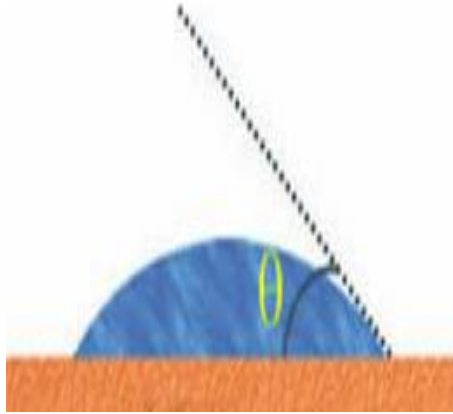
- ❖ Hidrofobik yüzeyler (suyu uzaklaştırıcı)
- ❖ Hidrofilik yüzeyler (suyu çeken)
- ❖ Fotokatalitik yüzeyler olarak sınıflandırılmaktadır

Hidrofobik (suyu uzaklaştırıcı) yüzeyler: Yüzey üzerine gelen su damlası, yüzey üzerinde yayılma yerine küre şeklinde tutulum gerçekleştiriyorsa bu tarz yüzeyler hidrofobik yüzeyler olarak adlandırılmaktadır. Hidrofobik bir yüzeyin oluşum gösterebilmesi için temel şart yüzeyin nano boyutta pürüzsüz olması gerekmektedir.



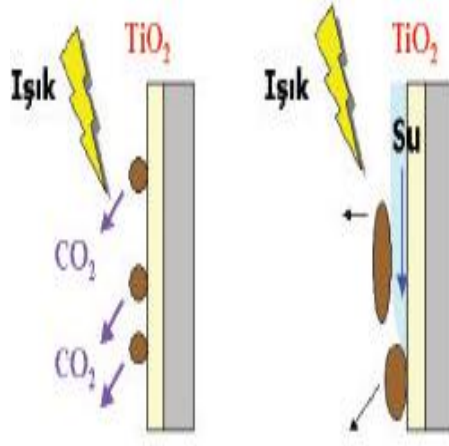
Şekil 2.1 Hidrofobik Yüzey (Int. Kyn. 2).

Hidrofilik (suyu tutan) yüzeyler: Hidrofilik yüzeyler, hidrofobik yüzeylerin karşıtıdır. Yüzey üzerine gelen su damlası, yüzeyde yayılma eğilimi gösteriyorsa bu tür yüzeyler hidrofilik yüzey olarak adlandırılmaktadır. Hidrofilik yüzeylerin önemli bir özelliği, yüzeylerin kendi kendini temizleyebilmeleridir. Bu özellik, dış cephe kaplamalarında yağmur yağdığı sırada yüzeyde yayılan suyun, yüzeydeki kiri de beraberinde sürüklemesi ile gerçekleşmektedir.



Şekil 2.8 Hidrofilik Yüzey (Int. Kyn. 2).

Fotokatalitik yüzeyler: Foto katalitik yüzeylerin öne çıkan özelliği, doğal güneş ışınımından sağlanan UV ışınları sayesinde oksijen ve nano partiküller meydana gelir. Bu oluşan partiküller kaplama ve yüzey arasında kimyasal bir reaksiyon oluşturarak yüzeydeki kirleri parçalayarak yok eder.



Şekil 2.9 Fotokatalitik Yüzey (Ashby vd. 2009).

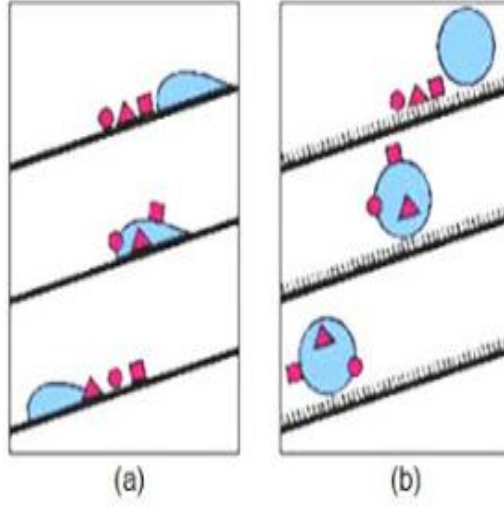
2.2.2 Kendi kendini temizleyen nano kaplamalar

Kendini temizleme özelliği gösteren nano kaplamalar da hidrofobik (lotus etkisi) ve foto katalizin etkisi malzemenin yüzeyine üstünlük kazandırılmaktadır. Bu işlev ile malzemeye kendi kendini temizleme özelliği kazandırılmaktadır. Hidrofobik etki oluşturan nano kaplamalar, Lotus bitkisi yapraklarının özel yapısından etkilenilerek tanımlanmış ve literatürde “Lotus etkisi” olarak adlandırılmaktadır.

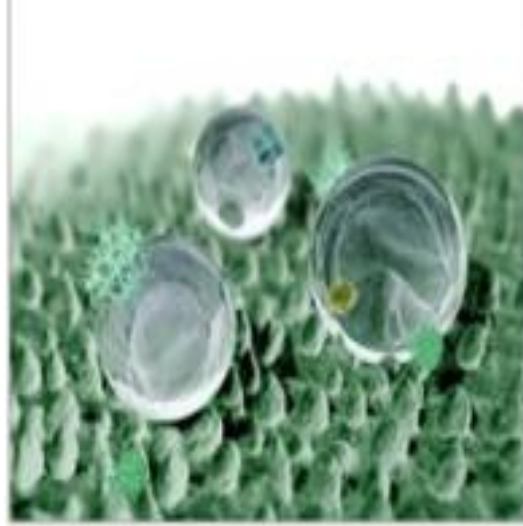
Lotus bitkisinin yaprakları, yüzeyinde mevcut nano ve mikron düzeyindeki çukur ve tepecikli yapı nedeniyle ıslanmamakta, bu sayede su damlacıkları kayarken yapraklar üzerindeki; kir, çamur ve böcekleri yüzeyinden atmaktadır. Bu etki foto katalitik etkiyi ortaya çıkartan titanyum dioksit (TiO_2) veya çinko oksit (ZnO) parçacıklarıdır. Yüzeydeki kirler güneş ışımadaki ultraviyole etki sayesinde parçalanarak yağmur suyu sayesinde akarak temizlenmektedir. Yağmur suyunun hızlı bir şekilde akabilmesi ve parçalanmış kirleri de yüzeyden atabilmesi için temel şart yüzeyin hidrofobik yapıda olması gerekir.

Bu özelliği gösteren yüzeyler şu şekilde oluşturulabilir;

- ❖ İnce nano film kaplama
- ❖ Nano parçacık içeren boya
- ❖ Malzemeyi oluşturan karışım nano parçacıkları eklenmesiyle



Şekil 2.10 Pürüzlülük ve kendi kendini temizlemenin blok diyagramı; (a) düz bir yüzeydeki su damlası ile kirlerin dağıtılması, (b) pürüzlü yüzeyde su damlasının kirleri uzaklaştırması (Ashby vd. 2009).



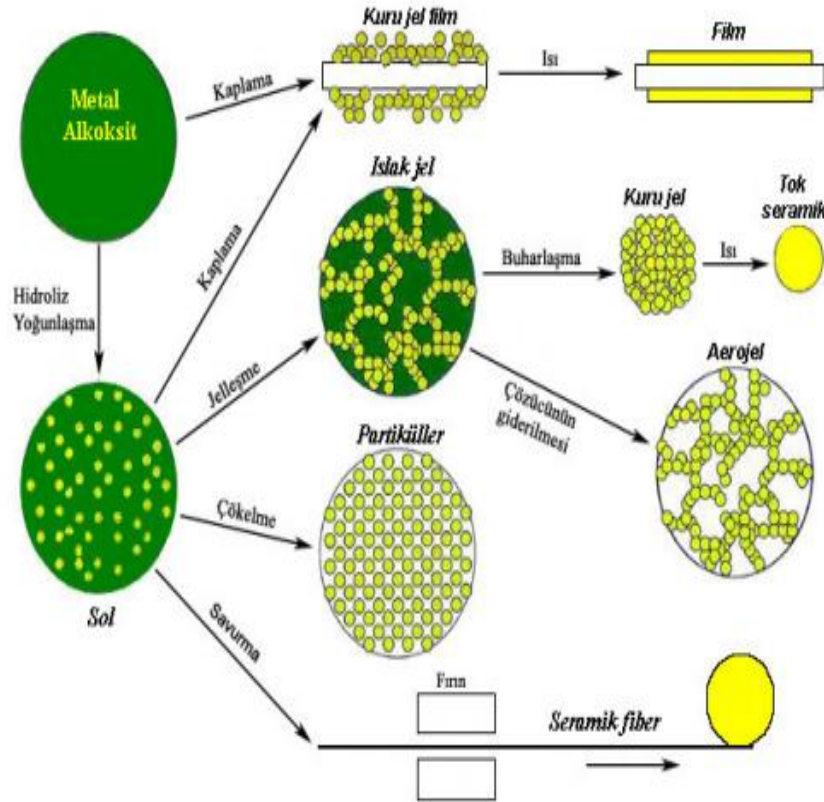
Şekil 2.11 Su damlalarının lotus yaprağı üzerinde oluşan görüntü (Ashby vd. 2009).

Nano Kaplamaların İşlevsel Karakteristikleri: Nano kaplamalar, nano teknolojik yüzey özelliği sayesinde malzemede farklı üstün özellikler işlevler kazandırma işlemidir.

Malzemelerin yüzeyleri kendi kendini temizleyebilmesi, kolay temizlenebilmesi, anti bakteriyel özelliğe sahip olması, buğulanmaması, çizilme ve aşınmaya karşı dayanıklı olması gibi işlevsel özellikler malzemenin kullanım alanını ve malzeme kalitesinin ve kullanım ömrünün artmasında çok önem taşımaktadır.

2.3 Sol – Jel Metodu

Sol-jel uygulaması cam ve seramik malzemelere üstün bir yüzey oluşturulması için gerçekleştirilen bir uygulamadır. Proses yapısı, sıvı olan fazdan (koloidal – sol) katı olan jel fazına geçiştir. Bu prosesin farklı özelliklere sahip malzemelerin üretilmesine olanak sağlar. İnce tozlar, seramikler, camlar, seramik fiberler, ince film kaplamalar ve arojeller bu süreç sayesinde üretilmiştir. Bu yöntemle sayesinde dünyada en hafif maddeleri ve tok seramiklerin üretilmesine olanak sağlanmıştır. Sol – Jel uygulama akışı Şekil 2.12’ de gösterilmiştir (Brinker ve Sherer 1990).



Şekil 2.12 Sol – Jel Yöntemi Blok Şeması (Özler 2007).

2.3.1 Sol – Jel Yöntemi Uygulama Esasları

Cam ve seramik gibi inorganik maddeler yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulan işlemler (eritme ve 1600 °C) sayesinde üretilirler. Böyle malzemelerin üretilmesinde farklı yöntem ve metotlar uygulanmıştır. Bu yöntemlerin en başında gelen sol-jel uygulamasıdır (Türhan 2000). Katı maddelerin sıvı içindeki haline “sol” adı verilir. Katı maddelerin sıvılar içinde dağılık olarak durmasında “sol” denir. Van Der Waals yasasına göre; elektriksel itme kuvveti, yer çekimi kuvvetine göre daha fazladır. Bu sebeptendir ki solün oluşumunu sağlayan maddeler dibe çökmez. Molekül çözelti içerisinde büyüüp geniş boyutlara ulaşmasından kaynaklı ortaya çıkan maddeye ise jel adı verilir (Türhan 2000).

Sol-jel yöntemini, 1846 yıllarında kimyacı “Jean-Jacques Ebelmen” tarafından hazırlanarak oluşturulan, SiCl_4 ve alkol karışımının hava ile maruz kalmasıyla jelleşmesinin ortaya çıkması sonucunda bulunmuştur. 1939 yılı içerisinde ise “Geffcken” SiO_2 ile film oluşturulabileceği tezini ortaya koymuştur. 1953 yılından sonra otomobillerin dikiz aynalarının yüzeylerinde kullanılmaya başlanmıştır.

1964 yılında ise yansıtmayı engelleyen yüzey üzerine yapılan çalışmalar bu yöntem ile geliştirilmiştir. Sol-jel yöntemi sayesinde günümüzde metal ve tarihi eserlerin korozyona karşı korunması, cam yüzeylerin aşındırıcı etki, çizilmezlik ve kendi kendini temizleyebilme, plastik ve porselen malzemelerin ise kimyasal dayanıklılığının artırılması sağlanmaktadır. Endüstride ise CO_2 ve O_2 geçirgenliğinin azaltılarak; yüzey sertliğinin artırılması, plastik ve camların buğu ve buz etkisi oluşumuna karşı korunması, gözenekli filmlerin yüzey üzerinde oluşturulması, fosfatlama ve kromatlama sistemlerinin yerini, anti statik özellikler kazandırma amacıyla kaplama, gıda, otomotiv, metal, cam, beyaz eşya, elektronik ve telekomünikasyon gibi birçok sanayi dalında kullanılmaya imkan sağlanmıştır (Jones 1989).

2.3.2 Sol-Jel Yönteminde Kullanılan Bileşenler

Sol-jel yönteminde; başlangıç malzemesi olarak “metal alkoksitler”, çözücü “alkoller”

ve katalizörler kullanımıyla sol karışımı hazırlanmıştır (Klein 1988).

2.3.2.1 Metal Alkoksitler

Metal alkoksitler metal organik yapılu bileşiklerdir. Metal, oksijen ve karbon bağı içeren metal alkoksitleri genel olarak $M(OR)_x$ ifadesiyle gösterilmektedir. Bu bileşen içerisinde; O oksijeni, M kaplanacak olan metal malzemeyi, R herhangi bir alkil grubunu (CH_3 -metil, C_2H_5 -etil gibi), x metal değerine göre değişen valans durumunu temsil etmektedir. Metal alkoksitler, içerdikleri yüksek elektro negatif-OR grubu olması nedeniyle reaksiyona katılımları yüksektir.

Metal alkoksitler su ile kolaylıkla reaksiyona girebilme özelliği sayesinde yoğun olarak kullanılan başlangıç bileşikleri adını almaktadır (Türhan 2000, Klein 1988).

2.3.2.2 Alkoller

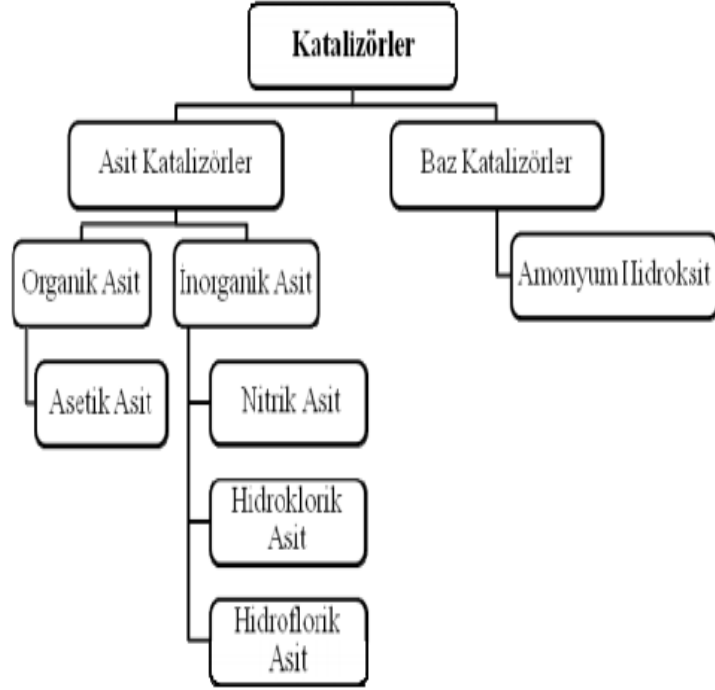
Bir alkil veya başka bir moleküle-OH grubu ekleyerek oluşturulan moleküllere alkol adı verilmektedir. $C_nH_{2n+1}OH$ genel gösterimi olup 'n' sayısı değişerek farklı alkoller ile oluşur.

- ❖ "n" 1 değerini aldığıda CH_3OH metanol (metil alkol),
- ❖ "n" 2 değerini aldığıda C_2H_5OH etanol (etil alkol)
- ❖ "n" 3 değerinde ise C_3H_7OH propanol (propil alkol) adını alır.

Sol-Jel yönteminde alkoller çözücü olarak kullanılırlar ve metal oksitlerle reaksiyona girerler (Brinker ve Sherer 1990).

2.3.2.3 Katalizörler

Hiçbir reaksiyona girmeyen fakat reaksiyon hızının artmasına olanak sağlayan malzemeler katalizör olarak adlandırılmaktadır. Asitler veya bazlar sol-jel yönteminde katalizör olarak kullanılırlar. Şekil 2.13'de katalizörlerin sınıflandırılması gösterilmiştir;



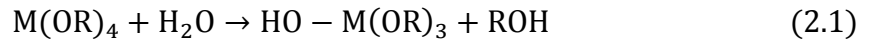
Şekil 2.13 Sol – Jel Metodunda Kullanılan Yöntemler (Özler 2007).

2.3.3 Sol-Jel Oluşumu

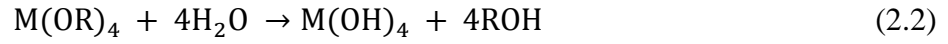
Solün hazırlanmasında hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları oluşur. Jel üretiminin kimyasal temelini metal alkoksitlerin ve hidroliz yoğunlaşması oluşturur. Hidroliz ve yoğunlaşma hızlarındaki fark nedeniyle jelleşme aşamasında farklı polimer yapıların oluşmasını sağlarlar. Hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının hızını etkileyen en önemli faktörler pH, su oranı, sıcaklık, katalizör cinsi ve konsantrasyonudur.

2.3.3.1 Hidroliz ve Yoğunlaşma Reaksiyonları

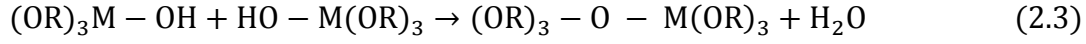
Jones (1989), Hidroliz reaksiyonu ile hidroksil iyonu metal atomuna bağlanır,



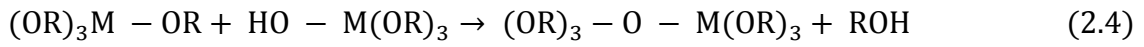
Bu yapıda ROH alkol grubu bileşimidir. Su ve katalizör miktarına bağlı olarak hidroliz reaksiyonu oluşur ve bütün OR grupları OH gruplarına dönüşür;



veya metal kısmen hidrolize olduğunda biter. Yoğunlaşma reaksiyonu ile kısmen hidrolize olmuş iki molekül oksijen köprüsü ile bağlanırlar:



veya



Özetle, yoğunlaşma reaksiyonu sırasında su veya alkol gibi küçük molekül serbest bırakılır ve reaksiyonlar sonucunda büyük silikon bazlı moleküller elde edilebilir. Bu olaya ise polimerizasyon adı verilir. Genel tanımla polimer, büyük çaplı bir moleküldür ve monomerden oluşmuşlardır (Klein 1988, Brinker ve Sherer 1990).

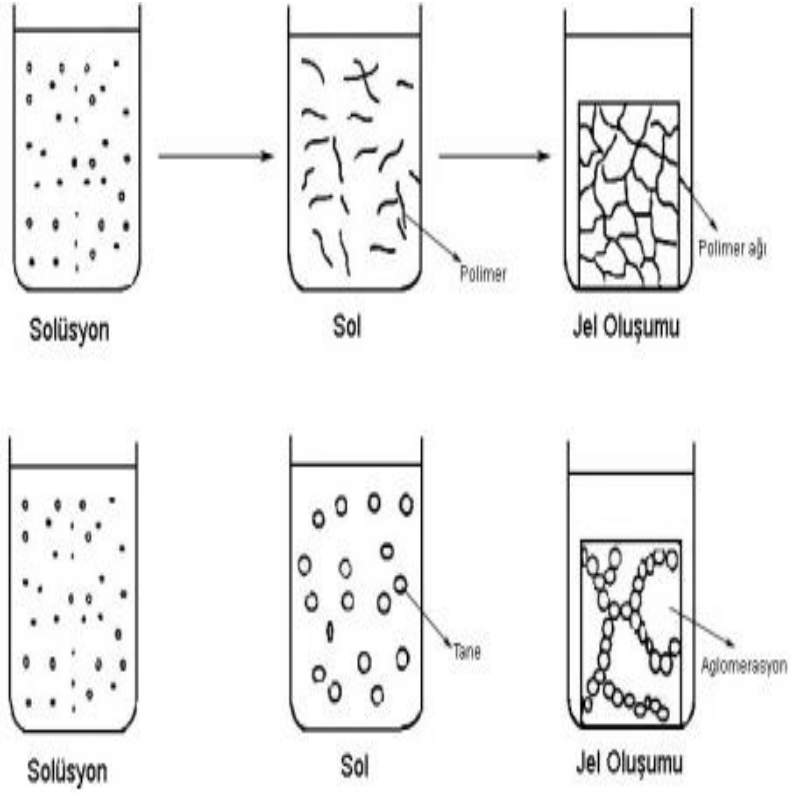
2.3.3.2 Jelleşme

Sıvı olan nano partikülleri, yoğunlaşan metal türleri büyür, geniş demetler şeklinde birbirine bağlanarak makro – parçacık oluştururlar. Bu olay, çözeltinin jele olan geçişini sağlar ve çözeltinin viskozitesinde artış kolaylıkla fark edilir. Şekil 2.14’ de Sol – Jel yönteminin jelleşmenin olduğu mekanizma gösterilmiştir. Jelleşme, hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının etkisi ile oluşur.

Sol fazdan jel faza geçiş iki değişik yol ile gerçekleşir;

- ❖ Polimerik moleküllerin büyür ve üç boyutlu çapraz bağlı yapı oluşturması
- ❖ Birbirinden ayrı partiküllerin genişleyerek beraber büyümesi

Genel olarak sistemde yapısında oluşan reaksiyonlar daha karışık olup, aynı anda çeşitli reaksiyonlar oluşmaktadır. Sol-jel akışında oluşan reaksiyonların kontrol edilmesi jelleşme olayının kontrolünü sağlar. Reaksiyon hızına ve şekline bağlı olarak oluşan jellerin ve son ürünün mikro yapısı kontrol edilebilmektedir (Jones 1989, Klein 1988).

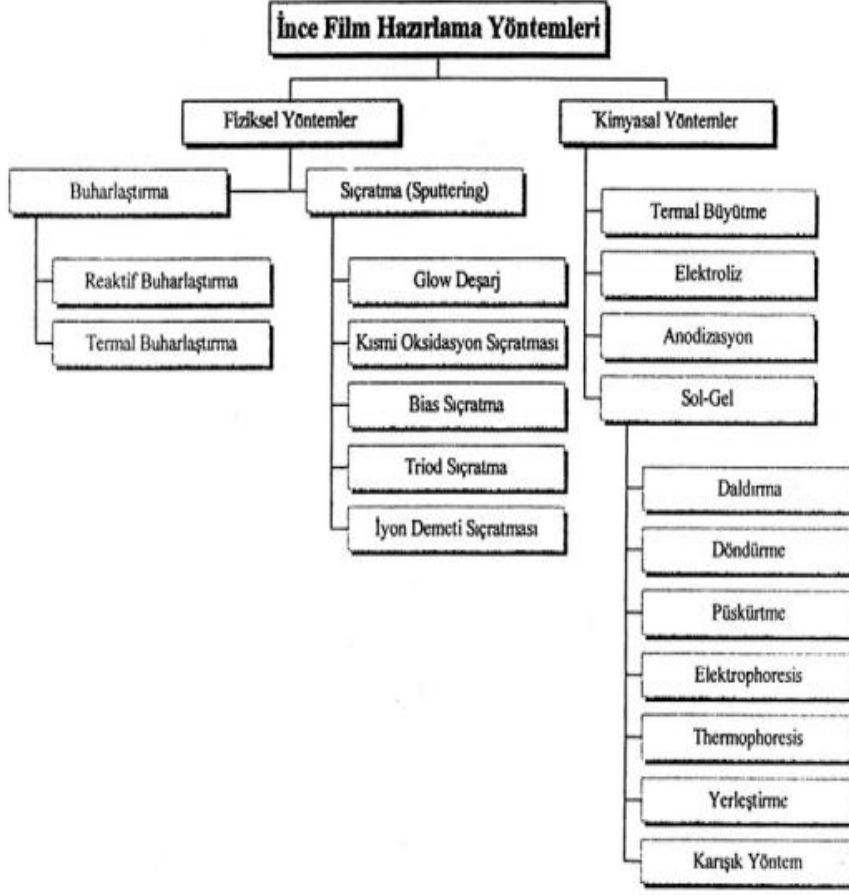


Şekil 2.14 Jelleşme Yöntemi (Özler 2007).

2.3.4 Sol – Jel İnce Film Kaplama Yöntemleri

İnce filmler sol-jel yöntemi ile elde edilmektedir. Bu yöntem ile oluşturulan ince filmler malzeme kalınlığı sıfıra yaklaşıırken oluşan iki boyutlu limit şeklinde tanımlanmaktadır. Filmlerin özellikleri; kalınlığına, malzeme türüne, elde edilen yöntem ve şekline göre malzemenin kütle halinden farklılık gösterir.

Filmlerin hazırlanmasında meydana gelecek iç gerilmeler filmlerin yoğunluğu ve diğer özelliklerini etkiler. İnce filmlerin kalınlığı 50-300 Å aralığında, süreksiz yapıya sahip olup orta kalınlıktaki filmler 300-3000 Å aralığında, kütleli özellik olarak daha yakındırlar. Kalın oluşturulan filmlerin ise mekanik dayanımı azalan, puslu görünümde ve yapıların da boşluk olan malzemelerdir. Ayrıca oluşturulan filmlerin özellikleri sadece film kalınlığına bağlı olmayıp, film malzemesine, belirlenen kaplama yöntemine göre farklılık göstermektedir. İnce film hazırlama yöntemlerinin sınıflandırılması, Şekil 2.15’de verilmiştir (Koh vd. 1997).



Şekil 2.15 İnce film hazırlama yöntemleri (Özler 2007).

Bir malzemenin buharlaştırılması fiziksel yöntemin temelini oluşturur. Kimyasal yöntemler ise; kimyasal reaksiyonlar, elektrik akımı veya termal etki ile yapılırlar. Sol-jel film kaplama yöntemi kimyasal bir prosestir.

Sol – Jel kaplamada kullanılan yöntemler;

- ❖ Daldırma kaplama
- ❖ Döndürme kaplama
- ❖ Püskürte kaplama
- ❖ Film aplikatörleri ile kaplamadır.

Bu kaplamalar sayesinde oluşturulan film kalınlıkları 500-1000 Å seviyesindedir. Daha kalın kaplamalar ise parametreler değiştirilerek sağlanabilir.

Sol-jel film kaplama prosesinde sıvı fazdaki koollidial malzeme yüzeye farklı yöntemler ile temas ettirilerek yüzey üzerinde bir jel film oluşumu elde edilir. Yüzey tutulumunu arttırmak için yüzey sıcak işleme maruz bırakılarak film yoğunluğu arttırılır. Sol – Jel film kaplama süreci ile farklı türlerde oksit film elde edilmesine imkân tanır ve bu sayede; endüstriyel sektör, Ar -Ge çalışmaları ile nanoteknolojik malzemeler üretilir (Klein 1988, Brinker ve Sherer 1990).

Sol – Jel Kaplama Yönteminin Avantajları;

- ❖ Farklı geometrilerdeki numunelerin kaplanmasına olanak sağlar (Silindirik parça, prizmatik yapı vb.)
- ❖ Kontrol edilebilir ve düzgün bir kalınlık
- ❖ Hazırlanan karışımdaki parametreler ile kontrol edilebilir mikro yapılar
- ❖ Birden fazla numune kaplanabilir
- ❖ Kolay ve ucuz bir yöntemdir

Sol-jel kaplama yönteminin dezavantajları;

- ❖ Yüzey alanı büyük yapılarda, çok miktarda çözelti gerekmektedir. Kullanılan çözelti maliyetli veya sabit değilse bu yöntem elverişli olmaz.
- ❖ Çapraz bağ yapısından kaynaklı çok katmanlı sistemler için çok elverişli değildir.
- ❖ Tek tarafı kaplanacak olan yüzeler de kaplama istenilmeyen yüzeyin korunması gerekir.

Birçok farklı türde metot ile Sol – Jel kaplama yöntemin malzemeler yüzeyine kaplanabilmesine olanak sağlanır. Üstün özellikli malzeme oluşumuna olanak sağlayan bu yöntem birçok araştırma geliştirme proseslerin de ve endüstride kullanılmaktadır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Çözeltilerde Kullanılan Kimyasal Materyaller

Çizelge 3.1 Kullanılan Kimyasallar.

Kullanılan Materyal	Formül	Moleküler Ağırlığı
GLYMO	$C_9H_{20}O_5Si$	236,34 g/mol
Titaniumtetrapropoxide	$C_{12}H_{28}O_4Ti$	284,22 g/mol
Tetraethylorthosilicate	$Si(OC_2H_5)_4$	208,33 g/mol
Tripropyl borate	$C_9H_{21}BO_3$	188,03 g/mol
Saf Su	H_2O	18 g/mol
Nitrik asit	HNO_3	63,013 g/mol
Etil Alkol	C_2H_5OH	46,07 g/mol

3.2 Alımı Gerçekleştirilen FV Panel Düzenegi

Bap proje 18.FEN.BİL.21 nolu BAP desteği ile alınan fotovoltaiik panel düzenegi;

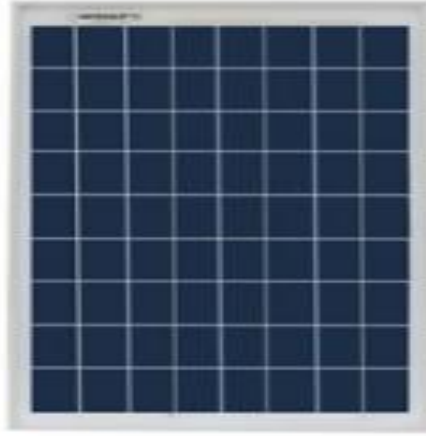
- ❖ 5 adet 20w polikristal solar panel
- ❖ 5 adet 20w solar paneller için elektronik yük
- ❖ Açı ayarlı platform 1 adet
- ❖ Veri Kayıt Cihazı



Şekil 3.1 Fotovoltaik sistem.

3.2.1 Polikristal Solar Paneller

20 Watt (W) Gücüne sahip 5 adet alımı gerçekleştirilen panellerin iç kayıplarının homojen olması için aynı marka alınmıştır.



Şekil 3.2 20 W Polikristal Fotovoltaik Panel.

3.2.2 Solar Paneller İçin Elektronik Yükler

- ❖ Elektronik yükler, otomatik olarak devreye alınıp amper, gerilim ve güç değerlerinin ölçümleri otomatik olarak yapılmaktadır.
- ❖ Elektronik yükler $\frac{1}{2}$ oranında otomatik olarak devreye alınıp akım, gerilim ve güç değerlerinin ölçümü yapabilecek özelliktedir.
- ❖ Elektronik yükler %100 oranında otomatik olarak devreye alınıp akım, gerilim ve güç değerlerinin ölçümlerini yapılabilmektedir.
- ❖ Panellerin yüksüz boştaki gerilimi ve kısa devre altındaki akımı otomatik olarak ölçüm yapabilecek özelliğe sahiptir.



Şekil 3.3 Elektronik Yükler.

3.2.3 Açık ayarlı platform

Tez kapsamında alınan 5 ayrı 20 W gücünde olan panellerin aynı düzlem üzerine yerleşmesini sağlayan ve maksimum gücü sağlamak için açı ayarı bulunmaktadır.

3.2.4 Kayıt Cihazı

5 ayrı panelin yüksüz, kısa devre altında, $\frac{1}{2}$ yük altında ve tam yükte alınan verileri kayıt edebilecek özellikte alınan veriler için kayıt alanı, günlük 1 saatlik periyotlarla 5

ayrı panelin; akım, gerilim ve güç değerlerini bir ay kaydedecek kapasitededir. Kayıt edilen veriler PC'ye aktarılabilir ara yüze sahip, kayıt cihazına ethernet kablosu ile bağlanılıp PC'den anlık üretimler izlenebilir özelliktedir.

Bu tez çalışması kapsamında alımı gerçekleştirilen FV sistem düzeneği ile kaplama yapılmadan ve kaplama yapıldıktan sonraki panellerin;

- ❖ Panellerin kısa devre Akımı (A),
- ❖ Panellerin boştaki gerilimi Voltaj (V)
- ❖ Panellerin tam yük altındaki Akım Voltaj ve Güç (W) değerleri
- ❖ Panellerin ½ yük altındaki Akım Voltaj ve Güç (W) değerleri

1 saatlik periyotlarla kayıt cihazına aktarılan verilerin istatistiksel değerlendirilmesi yapılmış ve bu değerlendirmeler neticesinde en etkin verim artışına sahip olan kaplama belirlenmiştir. Fotovoltaik sistemdeki açı ayarlı platformun uygun değer açı tayini için her panel çıkışındaki; kısa devre I_{kd} akımı (A) maksimum, boştaki açık devre V_{ad} voltu (V) maksimum değerleri dijital multimetre ölçülerek belirlenmiştir. Fotovoltaik sistem kurulumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi biriminde açık deney alanına gerçekleştirilmiştir.

3.3 Kaplama Yapılacak Numune Camlar

PV panel yüzeyindeki camlara kaplama öncesinde, eşdeğer 5 adet cam numuneleri Çağdaş Cam A.Ş firmasından tedarik edilmiştir. İlk kaplama eşdeğer numune cam yüzeylere yapılarak SEM analizi ve karakterizasyonlar bu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Numune Camların Özellikleri

Çizelge 3.2 Alınan numune camların özellikleri.

Ürün	Işık geçirgenliği (d65)	Pv geçirgenliği f,pv	Güneş ışığı geçirgenliği (am 1,5)t	Spf sınıfı
Sandy 3,2 mm	%91,8	%95,1	%91,2	P1
Sandy 4 mm	%91,9	%95	%91	P1

3.3 Sol – Jel Film Aplikatörü Yöntemiyle Numune Camlara Kaplama Prosesi

Sol – Jel metodu kaplamada çok kullanılan yöntemlerinden bir tanesidir. Hazırlanan sol karışımı pipet yardımı ile alınarak kaplanacak yüzeye damlatılır. Sonrasında film aplikatörü yardımıyla yüzeyin homojen yapıda aynı kalınlıkta kaplanması sağlanır. Yüzeyde fazla damlatılan karışım uçar. Yapılan kaplama karışımın yüzeye damlatılması ve film aplikatörü yardımıyla yüzeye tek yönlü bir kaydırma ile iki adımda yapılır. Kaplanan yüzeyde ısı işleme maruz bırakılarak film tabakası oluşmasına imkân sağlanır.



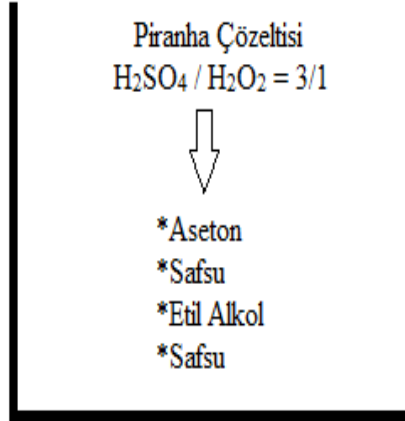
Şekil 3.4 Film Kaplama Aplikatörü.

3.3.1 Numune Camların Temizliği

5 adet numune cam piranha çözeltilisine daldırılmış ($H_2SO_4 / H_2O_2 = 3/1$) sonrasında Şekil 16’da verilen blok diyagramında ki gibi sırasıyla yıkama prosesi gerçekleştirilmiştir.

- ❖ Aseton - C_3H_6O
- ❖ Saf su - H_2O
- ❖ Etil Alkol - C_2H_5OH
- ❖ Saf su - H_2O

Böylelikle kaplanacak cam yüzeylerin temizliği ve yüzeye kaplanacak filmin tutuculuğu sağlanmıştır.



Şekil 3.5 Camların Temizlenme Prosesi.

3.3.2 Kaplama yapılacak TiO_2 , SiO_2 , B_2O_3 ve $TiO_2 + SiO_2 + B_2O_3$ Model Karışımın Hazırlanması

3.3.2.1 TiO_2 Kaplama Karışımının Hazırlanması

TiO_2 kaplama karışımının içine katılacak olan elementlerin ağırlıkça oranları aşağıdaki gibidir.

- ❖ 30,45 g GLYMO
- ❖ 48,75 g C_2H_5OH
- ❖ 8,55 g H_2O
- ❖ 0,09 g HNO_3
- ❖ 12,18 g $Ti(OC_3H_4)_4$

Karışım Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında hazırlanmış. Karışım için ihtiyaç duyulan malzemeler laboratuvardan kullanılmıştır. Tartımlar laboratuvarda bulunan elektronik hassas terazi ile yapılmıştır.



Şekil 3.6 TiO₂ Kaplama Karışımının Hazırlığı ve pH Ölçümü.

3.3.2.2 SiO₂ Kaplama Karışımının Hazırlanması

SiO₂ kaplama karışımının içine katılacak olan elementlerin ağırlıkça oranları aşağıdaki gibidir.

- ❖ 30,45 g GLYMO
- ❖ 48,75 g C₂H₅OH
- ❖ 8,55 g H₂O
- ❖ 0,09 g HNO₃
- ❖ 12,18 g TEOS

Karışım Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında hazırlanmış. Karışım için ihtiyaç duyulan malzemeler laboratuvardan kullanılmıştır. Tartımlar laboratuvarda bulunan elektronik hassas terazi ile yapılmıştır.



Şekil 3.7 SiO₂ Kaplama Karışımının Hazırlığı ve pH Ölçümü.

3.3.2.3 B₂O₃ Kaplama Karışımının Hazırlanması

B₂O₃ kaplama karışımının içine katılacak olan elementlerin ağırlıkça oranları aşağıdaki gibidir.

- ❖ 34,32 g GLYMO
- ❖ 54,95 g C₂H₅OH
- ❖ 9,61 g H₂O
- ❖ 1,00 g B₂O₃

Karışım Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında hazırlanmış. Karışım için ihtiyaç duyulan malzemeler laboratuvardan kullanılmıştır. Tartımlar laboratuvarda bulunan elektronik hassas terazi ile yapılmıştır.

3.3.2.4 TiO₂ + SiO₂ + B₂O₃ Kaplama Karışımının Hazırlanması

TiO₂+SiO₂+B₂O₃ kaplama karışımının içine katılacak olan elementlerin ağırlıkça oranları aşağıdaki gibidir.

- ❖ 31,74 g GLYMO
- ❖ 50,81 g C₂H₅OH
- ❖ 8,89 g H₂O
- ❖ 0,33 g B₂O₃
- ❖ 4,06 g TEOS
- ❖ 4,06 g Ti(OC₃H₇)₄



Şekil 3.8 $TiO_2 + SiO_2 + B_2O_3$ Kaplama Karışımının Hazırlığı ve pH Derecesi.

Karışım Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında Şekil 3.9'deki gibi hazırlanmış. Karışım için ihtiyaç duyulan malzemeler laboratuvardan kullanılmıştır ve tartımlar laboratuvarda bulunan elektronik hassas terazi ile yapılmıştır.

3.3.3 Hazırlanan Kaplamaların Numune Camlara Kaplanması Prosesi

Hazırlanan tüm karışımlar 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Karışımların Manyetik Karıştırıcıda Karıştırılması.



Şekil 3.10 TiO_2 , SiO_2 , B_2O_3 ve $TiO_2 + SiO_2 + B_2O_3$ Sol – Jel Daldırma Yöntemi ile Kaplama.

Numune camlar kabın içerisine koyularak hazırlanan karışımlar Şekil 3.10'de sırasıyla TiO_2 , SiO_2 , B_2O_3 ve $TiO_2 + SiO_2 + B_2O_3$ Sol – Jel daldırma yöntemi ile kaplama gerçekleştirilmiştir.

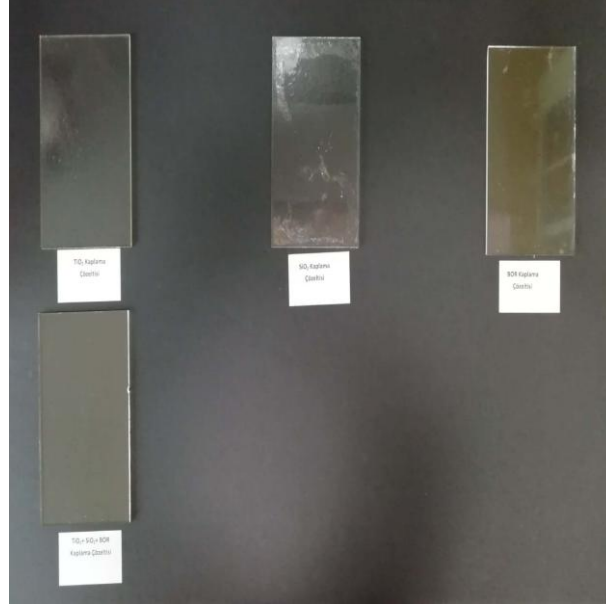


Şekil 3.11 Kaplanan Camların Isıl İşlem Prosesi.

Yapılan kaplama sonrasında camlar önceden 60°C'ye ısıtılmış etüvde sıcaklık dakikada 10°C artırılarak toplamda 120 dakika ısıl işleme maruz bırakılmıştır (Şekil 3.11).

3.3.4 Kaplanan Numune Camlar

Yapılan bu tez çalışmasında 4 ayrı numune camlar TiO_2 , SiO_2 , B_2O_3 ve $TiO_2 + SiO_2 + B_2O_3$ kullanılarak Sol Jel daldırma yöntemiyle kaplanmıştır. (Şekil 3.12) Bu camlara yapılan kaplama prosesinin aynısı PV solar panellere de uygulanmıştır. Numune camlardan parçalar alınarak SEM analizi ve karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12 Sol – Jel Daldırma Yöntemiyle Kaplanan Camlar.

3.4 Fotovoltaik Panellerin Cam Yüzeylerinin Kaplama Prosesi

Numune camlar için hazırlanan kaplamaların aynı oranda karışımları PV paneller içinde hazırlanıp Sol Jel metodu ile kaplama gerçekleştirilmiştir. Kaplamanın kuruması için ısıtıcılar yardımıyla paneller kurumaya bırakılmış 6 saat boyunca dâhili ısıtıcılarla 1 gün boyunca da doğal kurutma yapılmıştır.



Şekil 3.13 FV Paneller İçin Hazırlanan Kaplamalar.



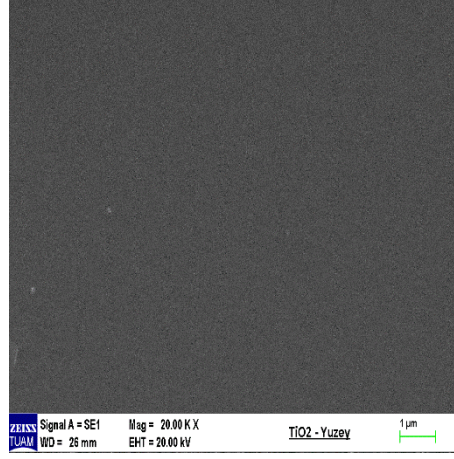
Şekil 3.14 Kaplanan PV paneller.

4. BULGULAR

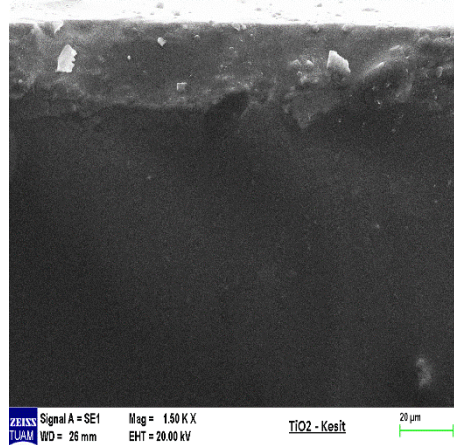
4.1 Camlara Yapılan Kaplamaların Özellikleri

4.1.2 TiO₂ Kaplanmış Yüzey

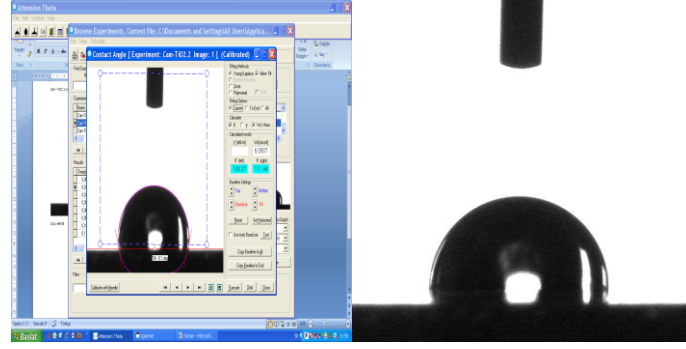
TiO₂ kaplama yapılan camların sem mikroskobu ile analizi yapılmış ve yapılan kaplamaların yüzey tutulumları gösterilmiştir. Kaplanmış yüzey için SEM görüntülerinde düzenli olarak dizilmiş nano parçacıklar gözlenebilir. Kaplama, çatlak ve kusur olmadan homojen bir dağılım göstermiştir.



Şekil 4.1 TiO₂ Kaplanmış Camların Yüzey Görüntüsü.



Şekil 4.2 TiO₂ Kaplanmış Camların Kesit Görüntüsü.



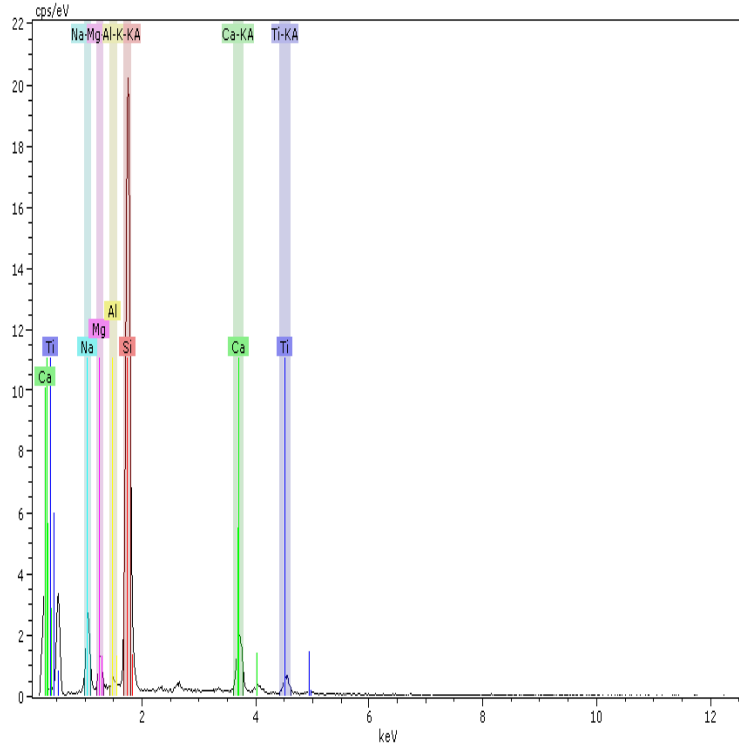
$$CA(L)=108,37 \quad CA(R)=111,44 \quad CA(M)=109,91 \quad STD=0,60$$

Şekil 4.3 Temas Açısı Ölçüm Sonuçları.

Yapılan kaplamanın X-ışını Spektroskopisi (EDS) analizi, iki yüzey için ana elementlere doğru ve destekler nitelikte sonuç ortaya koymuştur. TiO_2 kaplamanının kanıtı olan bu nedenlerden dolayı süperhidrofilik özelliğini gösterir. Bu özellik, TiO_2 üzerindeki kimyasal olarak emilen H_2O katmanının, Van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağları yoluyla su moleküllerini çekmesini ve böylece cam yüzeyi ile absorbe edilen kirleticiler arasındaki teması engeller. Kaplanmış yüzeyde biriken kirlilikler suyun yayılma etkisi ile kolayca giderilebilir ve sonuç olarak kaplanmış TiO_2 cam yüzeyi kendi kendini temizleyen bir etki sergiler (Gaglia vd. 2017).

Çizelge 4.1 X-ışını Spektroskopisi (EDS) Analizi.

Element	Seri	Net	Unn C (wt%)	Nor C (wt%)	Atom C(at%)	Oxid	Oxid C (%)
Sodyum	K Serisi	7900	5,17	4,46	4,11	Na_2O	6,09
Magnezyum	K Serisi	5163	2,42	2,09	1,82	Mg	2,11
Alüminyum	K Serisi	2810	1,09	0,94	0,74	Al_2O_3	1,79
Silikon	K Serisi	110071	38,43	33,19	25,04	SiO_2	71,82
Klor	K Serisi	6103	2,44	2,10	1,26	CL	2,13
Potasyum	K Serisi	2604	1,03	0,89	0,48	K_2O	1,09
Kalsiyum	K Serisi	10463	4,17	3,60	1,90	CaO	5,10
Titanyum	K Serisi	12817	6,78	5,85	2,59	TiO_2	9,88
Oksijen	K Serisi	21366	54,27	46,87	62,06		1,15
		Toplam	115,78	100,00	100,00		

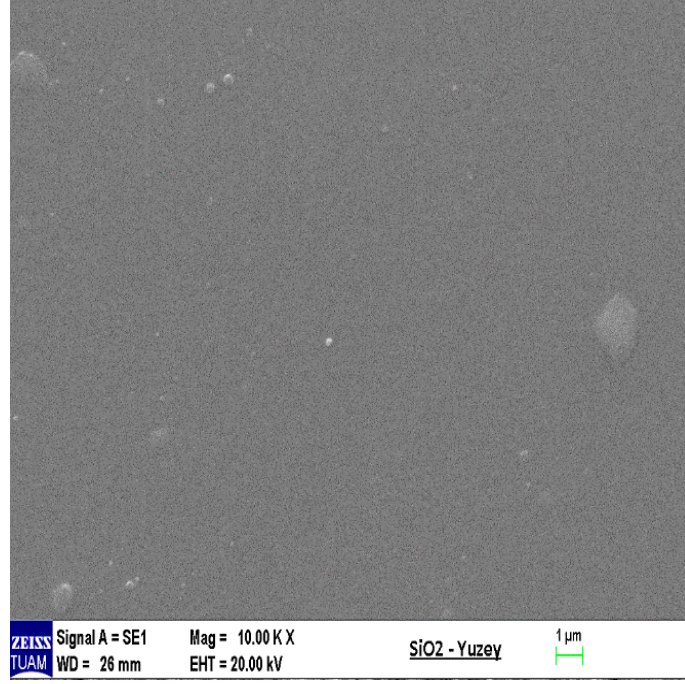


Şekil 4.2 X-ışını Spektroskopisi (EDS) analizi.

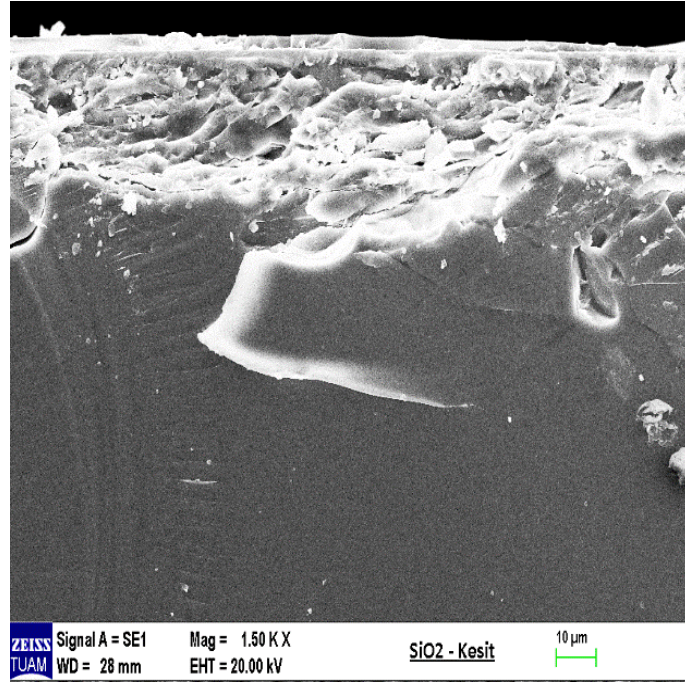
Homojen kaplanmış foto katalitik mekanizmaya göre foto-üretilen elektronlar TiO_2 nano parçacıklarının yüzeyine ulaşır ve organik bileşiği inorganik CO_2 ve H_2O 'ya saldıran ve ayrıştıran yüksek derecede foto katalitik oluşumuna katılır. Foto katalitik aktivite testleri, TiO_2 kaplı PV panellerin cam yüzeyine ulaşan diğer organik kirleticilere karşı kendi kendini temizleme aktivitesi göstermesi ve sonuç olarak güneş ışığı kullanımında verimliliği arttırması beklenmektedir (Fastuni vd. 2010).

4.1.2 SiO_2 Kaplanmış Yüzey

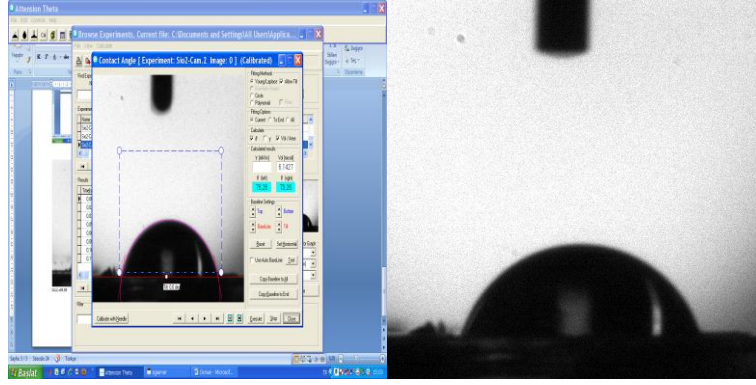
SiO_2 kaplama yapılan camların sem mikroskobu ile analizi yapılmış ve yapılan kaplamaların yüzey tutulumları gösterilmiştir. Kaplanmış yüzey için SEM mikroskobundaki görüntülerde düzenli olarak dizilmiş nano parçacıklar gözlemlenebilir. Kaplama, çatlak ve kusur olmadan homojen görünmüştür.



Şekil 4.5 SiO₂ Kaplanmış Camların Yüzey Görüntüsü.



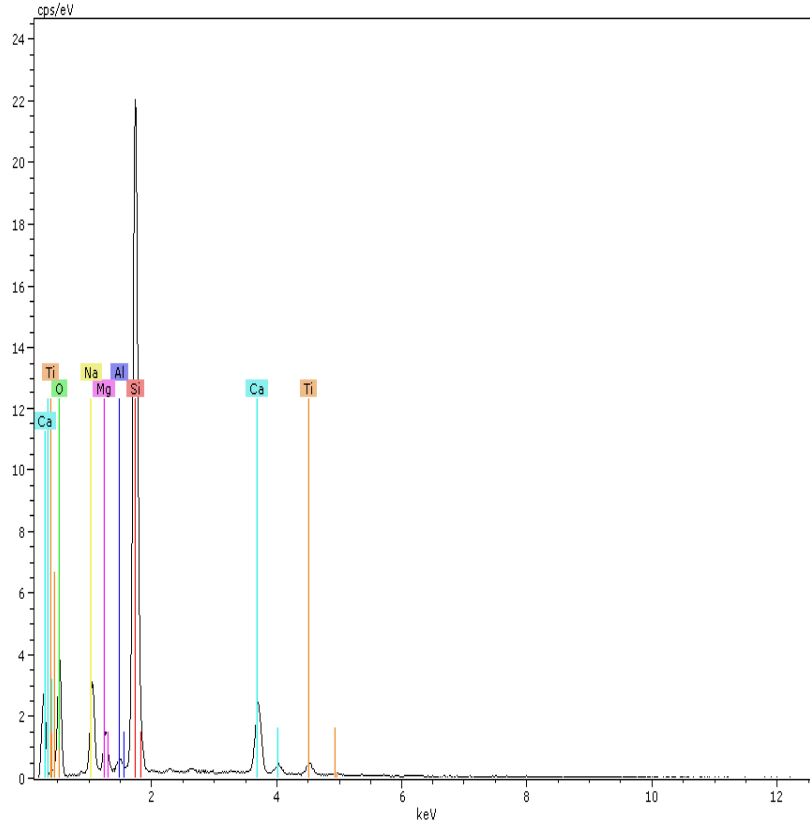
Şekil 4.6 SiO₂ Kaplanmış Camların Kesit Görüntüsü.



CA(L) = 73,63 CA(R) = 73,64 CA(M)=73,64 STD = 1,31

Şekil 4.7 Temas açısı ölçüm sonuçları.

Yapılan kaplamada X-ışını Spektroskopisi (EDS) analizi, iki yüzey için ana elementlere doğru ve destekler nitelikte sonuç ortaya koymuştur.



Şekil 4.8 X-ışını Spektroskopisi (EDS) Analizi.

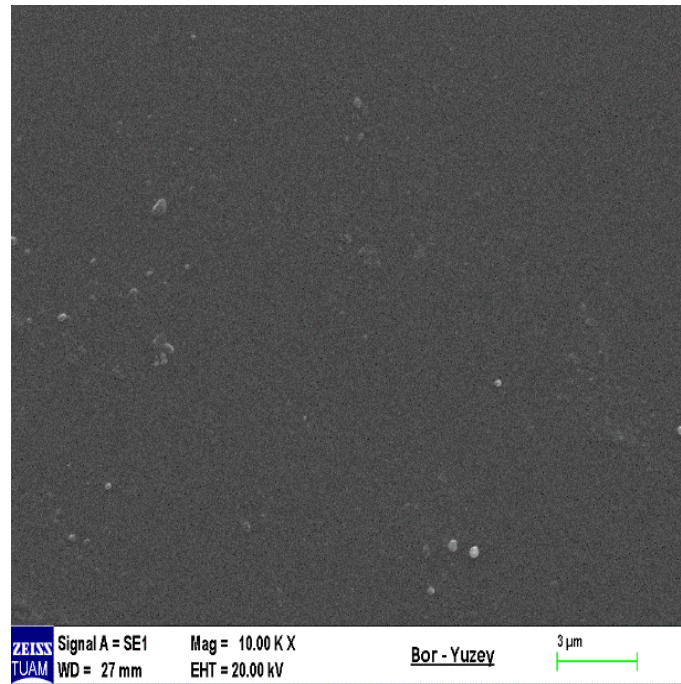
Çizelge 4.2 X-ışını Spektroskopisi (EDS) Analizi.

Element	Seri	Net	Unn C (wt%)	Nor C (wt%)	Atom C (at%)	Oxid	Oxid C (%)
Sodyum	K Serisi	8951	6,47	6,97	6,31	Na2O	9,44
Magnezyum	K Serisi	4127	2,24	2,42	2,07	Mg	2,43
Alüminyum	K Serisi	1152	0,52	0,56	0,43	Al2O3	1,06
Silikon	K Serisi	80917	32,72	35,27	26,13	SiO2	75,73
Kalsiyum	K Serisi	11897	5,71	6,15	3,19	CaO	8,64
Titanyum	K Serisi	2119	1,50	1,62	0,70	TiO2	2,71
Oksijen	K Serisi	10703	43,62	47,01	61,16	-	0,38
		Toplam	92,78	100,00	100,00		

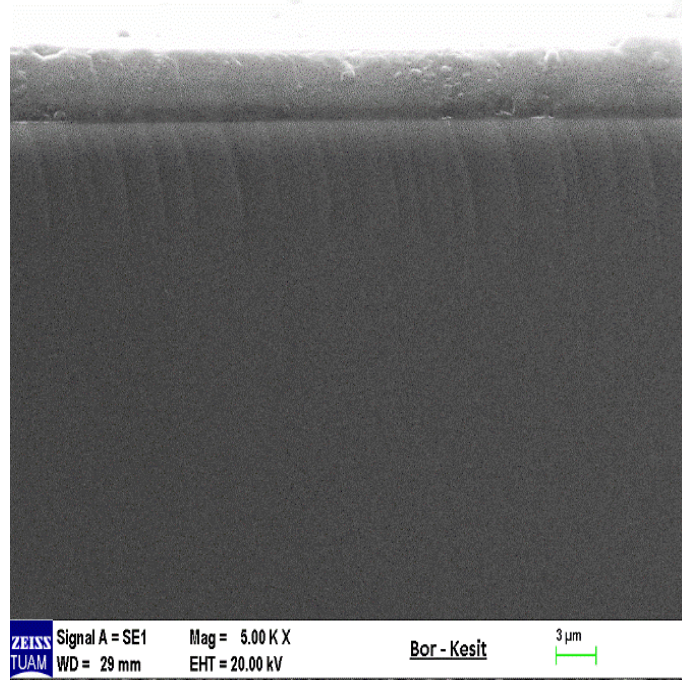
4.1.2 B₂O₃ Kaplanmış Yüzey

B₂O₃ Kaplama yapılan camların sem mikroskobu ile analizi yapılmış ve yapılan kaplamaların yüzey tutulumları gösterilmiştir.

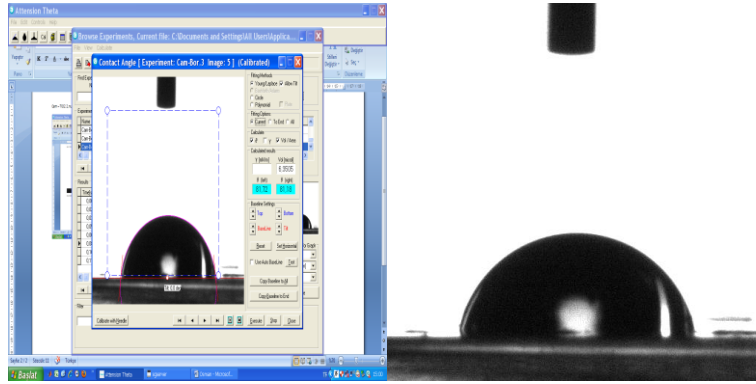
Kaplanmış yüzey için SEM mikroskobundaki görüntülerde düzenli olarak dizilmiş nano parçacıklar gözlenebilir. Kaplama, çatlak ve kusur olmadan homojen görünmüştür.



Şekil 4.9 B₂O₃ Kaplanmış Camların Yüzey Görüntüsü.



Şekil 4.10 B₂O₃ Kaplanmış Camların Kesit Görüntüsü.



$$CA(L) = 81,72 \quad CA(R) = 81,18 \quad CA(M) = 81,45 \quad STD = 0,25$$

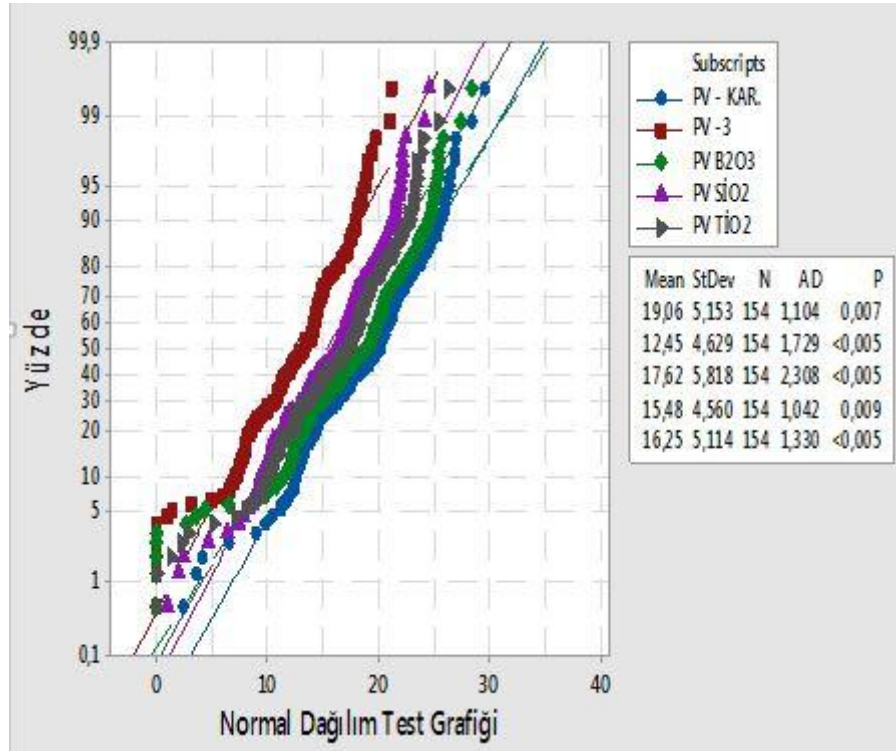
Şekil 4.11 Temas açısı ölçüm sonuçları.

4.3 Kaplanan PV Panellerin Çıkış Güçlerinin İstatistiği

Yapılan tez çalışmasında; TiO₂, SiO₂, B₂O₃ ve TiO₂+SiO₂+B₂O₃ elementleriyle kaplanan ve kaplanmayan panellerin verileri 3 ay boyunca PV panel düzeneğinde kayıt edilmiş alınan verilerin analizi Minitab 18,1 sürümü programı ile yapılmıştır. Alınan tüm verilere sırasıyla; normal dağılım testi ve 2 numune t testi uygulanmıştır.

4.3.1 Panel Verilerinin Normal Dağılım Testi

Çizelge 4.3 Panel verilerinin normallik test sonuçları



- ❖ Kaplanmayan panel (PV-3)
- ❖ B₂O₃ Kaplanan Panel (PV - B₂O₃)
- ❖ SiO₂ Kaplanan Panel (PV – SiO₂)
- ❖ TiO₂ Kaplanan Panele (PV – TiO₂)
- ❖ PV Kar. Kaplanan Panel (TiO₂+SiO₂+B₂O₃)

Tüm değerler için kurulan hipotez;

H₀: Veriler Normal Dağılımlıdır.

H₁: Veriler Normal Dağılımlı Değildir.

0,05 anlamlılık düzeyinde H₀ Kabul edilir (0,05 > Tüm Sig.) Veriler Normal Dağılıma uygundur.

4.3.2 TiO₂ ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi

İki numune T-Test: Kaplanmamış Panel – PV3; TiO₂ Kaplanmış Panel PV₁

Metot

μ_1 : Anlamı, Kaplanmamış PV Panel

μ_2 : Anlamı TiO₂ Kaplı Panel PV₁

Fark: $\mu_1 - \mu_2$

Bu analiz için eşit varyanslar varsayılmaktadır.

Tanımlayıcı İstatistikler

Örneklem	N	Ortalama	Standart Sapma	SE Mean
PV -3	154	12,45	4,63	0,37
PV TiO ₂	154	16,25	5,11	0,41

Fark Tahmini

Fark	St. Sapma	95% Farklılık
-3,807	4,878	(-4,901; -2,713)

Test

H₀ Hipotezi **H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$**

H₁ Hipotezi **H₁: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$**

T-Value	DF	P-Value
-6,85	306	0,000

4.3.3 SiO₂ ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi

İki numune T-Test: Kaplanmamış Panel – PV₃; SiO₂ Kaplanmış Panel PV₂

Metot

μ_1 : Anlamı, Kaplanmamış PV Panel

μ_2 : Anlamı SiO₂ Kaplı Panel PV₂

Fark: $\mu_1 - \mu_2$

Bu analiz için eşit varyanslar varsayılmaktadır.

Tanımlayıcı İstatistikler

Örneklem	N	Ortalama	Standart Sapma	SE Mean
PV -3	154	12,45	4,63	0,37
PV 2 SiO ₂	154	15,48	4,56	0,37

Fark Tahmini

Fark	St. Sapma	95% Farklılık
-3,029	4,595	(-4,059; -1,999)

Test

H₀ Hipotezi **H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$**

H₁ Hipotezi **H₁: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$**

T-Value	DF	P-Value
-5,78	306	0,000

4.3.4 B₂O₃ ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi

İki numune T-Test: Kaplanmamış Panel – PV₃; B₂O₃ Kaplanmış Panel PV₄

Metot

μ_1 : Anlamı, Kaplanmamış PV Panel

μ_2 : Anlamı B₂O₃ Kaplı Panel PV₄

Fark: $\mu_1 - \mu_2$

Bu analiz için eşit varyanslar varsayılmaktadır.

Tanımlayıcı İstatistikler

Örneklem	N	Ortalama	Standart Sapma	SE Mean
PV -3	154	12,45	4,63	0,37
PV 4 B ₂ O ₃	154	17,62	5,82	0,47

Fark Tahmini

Fark	St. Sapma	95% Farklılık
-5,173	5,257	(-6,352; -3,994)

Test

H₀ Hipotezi **H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$**

H₁ Hipotezi **H₁: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$**

T-Value	DF	P-Value
-8,64	306	0,000

4.3.5 TiO₂+SiO₂+B₂O₃ ve Kaplanmamış Panel 2 Numune T – Testi

İki numune T-Test: Kaplanmamış Panel – PV3; TiO₂+SiO₂+B₂O₃ Kaplanmış Panel PV₅

Metot

μ_1 : Anlamı, Kaplanmamış PV Panel

μ_2 : Anlamı PV3; TiO₂+SiO₂+B₂O₃ Kaplı Panel PV4

Fark: $\mu_1 - \mu_2$

Bu analiz için eşit varyanslar varsayılmaktadır.

Tanımlayıcı İstatistikler

Örneklem	N	Ortalama	Standart Sapma	SE Mean
PV -3	154	12,45	4,63	0,37
PV 5 TiO ₂ +SiO ₂ +B ₂ O ₃	154	19,06	5,15	0,42

Fark Tahmini

Fark	St. Sapma	95% Farklılık
-6,615	4,898	(-7,713; -5,517)

Test

H₀ Hipotezi **H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$**

H₁ Hipotezi **H₁: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$**

T-Value	DF	P-Value
-11,85	306	0,000

4.4 Numune Camların Geçirgenlik Pusluluk Testleri

Çizelge 4.4 Geçirgenlik Test Sonuçları.

	SiO ₂	TiO ₂	B ₂ O ₃	SiO ₂ +TiO ₂ +B ₂ O ₃	Kaplanmamış Panel
Geçirgenlik (%)	% 91,9	%90,9	%91,7	%91,5	%95,1
Pusluluk (%)	% 5,72	%2,45	%5,38	%5,98	-

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Arabatzis vd. (2018), Yapmış oldukları çalışmada; fotovoltaik panellerin çalışmasında karşılaşılan en önemli sorunların bakım sürekliliği ve temizlik yapılması gerekliliği olduğunu belirtmişlerdir. Mevcut çalışmada, PV panellerin etkin kullanımı üzerine kendi kendini temizleyen, foto katalitik ve yansımaya önleyici bir cam kaplamanın etkileri araştırılmıştır. Yapılan ince film kaplamanın foto katalitik özellikleri floresan ışınlama altında metilen mavisi çözeltilisinin bozunuma ve UV spektrometresiyle analiz edilmiştir. Kaplama yapılan cam ile kaplanmamış cam karşılaştırıldığında, kaplama yapılan cam kendi kendini temizleme özelliği gösterdiğini bulmuşlardır. Işık yoğunluğu açısı, yağış ve kum fırtınalarının oluşması gibi özel koşullar kaplamalı ve kaplanmamış PV paneller arasındaki güç farkını (ΔP_m) belirgin şekilde artırmıştır. ΔP_m 'nin artışı, dağınık ışık (bulutlu gün) ve durum açısı (sabah, akşam) sırasıyla $\sim\%$ 20 ve $\%$ 30 ulaşmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada da $TiO_2+SiO_2+B_2O_3$ ile kaplı PV panel verimi $\%$ 34,68, B_2O_3 ile kaplı PV panelin verimi $\%$ 29,34, TiO_2 ile kaplı PV panel verimi $\%$ 23,34 ve SiO_2 ile kaplı PV panelin verimi $\%$ 19,52 bulunarak benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Faustini vd. (2010), Yapmış oldukları çalışmada; anti yansıtıcı, foto katalitik (kendi kendini temizleyen), su itici ve yüksek su ıslatma (anti sisleme) özellikleri ilk kez cam alt tabakaları üzerine biriken bir sol-jel kaplamasıyla film kaplaması yapılmışlardır. Bu yöntem ile kalınlık ve kırılma indeksi yüksek şeffaflık, yüksek su direnci, sıfır su adsorpsiyonuna yakın malzeme ve oldukça yüksek mekanik stabilize oluşmaktadır. Anti yansıtıcı etkiyi ayarlamak için uygun kimyasal ve işleme koşulları seçilerek kontrol etmişlerdir. Kalınlığı ve kırılma indeksi sırasıyla 12 nm ve $n \approx 1,8$ civarındadır. TiO_2 üst tabaka kısmında koruyucu bariyer görevi görür. Yüzeyde mekanik saldırı, yüksek su ıslatma (buğulanma) ve foto katalitik (kendi kendini temizleyen) etkisini sağlar. Bu iki katmanlı sistem foto kompost için mükemmel bir özellik göstermektedir. Organik türler Anti-Reflective katman gözenekliliği içine adsorbe edilir. Model kirleticilerin ayrışması, tabakanın içinde ve yüzeyinde meydana gelebilir. Bu sistemler, düşük maliyetle büyük çapta üretilmekte ve yüksek mekanik özellik ve kimyasal dayanıklılık sergilemektedir. Bu nedenle, fotovoltaik hücreler için bu kaplamalar, kendi kendini temizleme etkisi için önemli bir sonuçtur.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada Sol Jel metodu ile TiO_2 kaplı panellerin foto katalitik etki ve anti yansıtıcı etki davranışı gösterdikleri SEM analizi ve temas açısı ölçümü sonucundaki verilerden elde edilmiştir.

Gaglia vd. (.2017), Yapmış oldukları çalışmada; fotovoltaik panellerin standart verimliliği genellikle gerçek açık hava koşullarında elde edilen değerlerden hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada Atina'nın kuzeyinde bulunan açık bir deney tesisinde, yaz ve kış aylarında alınan ölçümler ile PV performansı ve çalışma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Bazı korelasyonlar mevcut PV ile gerçek PV performansının tahminini kolaylaştırmıştır. Örneğin; ortam hava sıcaklığı, rüzgâr hızı gibi kullanılan parametreler ile PV verimliliği % 18 civarında bulunmuştur. Benzer çalışma koşullarında, laboratuvar standart test koşullarında daha düşüktür. Ortalama yıllık PV verimliliği % 8,7'dir. Yapılan bu tez çalışmasında deney düzeneği açık hava koşullarında gerçek verileri içermektedir. Panel düzeneğinde kullanılan paneller aynı marka, panel güç üretimleri için tüketilen yükler 33 ohm elektronik yük olup, ara yüz yazılımıyla kayıt edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında TiO_2 , SiO_2 , B_2O_3 ve $TiO_2+SiO_2+B_2O_3$ ile kaplanan PV panellerin, kaplanmayan panele göre güç artışındaki analizi incelenmiştir. Bulunan sonuçlar göstermiştir ki;

TiO_2 Kaplı Panel: Minitab analiz programında; P değeri $0,000 < 0,05$ olduğundan kurulan hipotezde H_0 red, H_1 kabul edilir. TiO_2 kaplanmış (PV TiO_2) ve kaplanmamış PV-3 panellerin güç üretimi arasında anlamlı bir farklılık vardır. TiO_2 kaplı panel, kaplanmamış panele göre daha verimli bir güç çıkışı vermiştir.

SiO_2 Kaplı Panel: Minitab sonuç analizine göre P değeri $0,000 < 0,05$ olduğundan H_0 ret, H_1 kabul edilir. SiO_2 kaplanmış (PV SiO_2) ve kaplanmamış PV-3 panellerin güç üretimi arasında anlamlı bir farklılık vardır. SiO_2 kaplı panel, kaplanmamış panele göre daha verimli bir güç çıkışı vermiştir.

B_2O_3 Kaplı Panel: Minitab sonuç analizine göre P değeri $0,000 < 0,05$ olduğundan H_0

ret, H_1 kabul edilir. B_2O_3 kaplanmış (PV B_2O_3) ve kaplanmamış PV-3 panellerin güç üretimi arasında anlamlı bir farklılık vardır. B_2O_3 kaplı panel, kaplanmamış panele göre daha verimli bir güç çıkışı vermiştir.

TiO₂+SiO₂ +B₂O₃ ve Kaplı Panel: Minitab sonuç analizine göre P değerimiz $0,000 < 0,05$ olduğundan H_0 ret, H_1 kabul edilir. $TiO_2+SiO_2+B_2O_3$ kaplanmış (PV Kar.) ve kaplanmamış PV-3 panellerin güç üretimi arasında anlamlı bir farklılık vardır. $TiO_2+SiO_2+B_2O_3$ kaplı panel, kaplanmamış panele göre daha verimli bir güç çıkışı vermiştir.

Çizelge 5.1 Panel Verim Sonuçları.

Verim	Kaplanmamış Panel Güç Ort. Değer (W)	Kaplanmış Panel Güç Ort. Değer (W)	Kaplanan Materyaller
% 29,34	12,45	17,62	B_2O_3
% 19,57	12,45	15,48	SiO_2
% 23,38	12,45	16,25	TiO_2
% 34,68	12,45	19,06	$TiO_2+SiO_2+B_2O_3$

Fotovoltaik deney düzeneğinde beş farklı panelden değişik zaman aralıklarında alınan 154 adet panel güç çıkışlarının; B_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 ve $TiO_2+SiO_2+B_2O_3$ elementleriyle kaplı panellerin, kaplanmamış panel verileriyle karşılaştırması, watt (W) birim cinsinden ortalama değerleri alınarak tabloda verilmiştir. Farklı elementler ile kaplanan panellerin güç çıkışları, kaplanmayan panel ile karşılaştırılarak verim değerleri elde edilmiş ve çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Alınan veriler karşılaştırıldığında en iyi güç artışı $TiO_2+SiO_2+B_2O_3$ ile kaplı PV panelden elde edilmiş, kaplanmayan panele göre verimi %34,68 olmakla birlikte; B_2O_3 ile kaplı PV panelin verimi %29,34 TiO_2 ile kaplı PV panelin verimi %23,34 ve SiO_2 ile kaplı PV panelin verimi %19,52 bulunmuştur. Yapılan kaplamalardan; TiO_2 ve SiO_2 ile yansıma önleyici yüzey ve kendi kendini temizleyen yüzey, B_2O_3 ile antimikrobiyel yüzey elde edilmiştir. PV panel yüzeyine gelen ışınların yansıma önleyici etkisi arttırılmış, kendi kendini temizleyen yüzey ile çevresel etkilerden (kir, toz, kuş pisliği vb.) koruma sağlanmış ve anti bakteriyel yüzey ile de yosunlaşma nedeniyle oluşan verim kayıpları en aza indirilerek PV panel çıkışlarında güç artışı sağlanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Altaş H, 1998, Fotovoltaj Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Bilisim Yayıncılık, 66-71s, İstanbul.
- Arabatzis I, Nadia T, Loanna F, Chrysovalanti T, Antonis P, Wen X L, and Zhiwei Z, Photocatalytic, 2010, Self-Cleaning, Antireflective Coating For Photovoltaic Panels: Characterization And Monitoring In Real Conditions, Solar Energy, 159, 251-259.
- Ashby M F, and Johnson K, 2002, Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design, Elsevier Science, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Ashby M F, Ferreira, P J, and Schodek D L, 2009, Nanomaterials, Nanotechnologies and Design an Introduction for Engineers and Architects, Elsevier, China.
- Bahtiyar B, 2006, Fotovoltaik Sistemler İçin Gerçek Zamanlı Bir İzleme Merkezi Tasarım ve Uygulaması, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Muğla.
- Bakır H, 2016, Fotovoltaik Sistem Entegreli Akıllı Şebeke İçin Zigbee Aygıtları ile Enerji Kontrolü ve İzlemenin Gerçekleştirilmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 23-34s, Konya.
- Brinker C J, and Sherer G W, 1990, Sol-Gel Science, Academic Press, 236-250s, San Diego.
- Elvin G, 2013, Nanobilim ve Nanoteknoloji, ODTÜ Yayıncılık, 2. Baskı, 124s, Ankara.
- Faustini M, Nicole L, Boissiere C, Innocenzi P, Sanchez C, and Grosso D, 2010, Hydrophobic, Antireflective, Self-Cleaning, and Antifogging Sol-Gel Coatings an Example of Multifunctional Nanostructured Materials for Photovoltaic Cells, Chem. Mater, 4406-4413.
- Gaglia A G, Lykoudis S, Argiriou A A, Balaras C A, and Dialynas E, 2017, Energy Efficiency of PV Panels Under Real Outdoor conditions – an Experimental Assessment in Athens, Greece Renew Energy, 236-243.
- Hanaei H, Khalaji A M, and Saidur R, 2016, Highly Efficient Antireflective and Self-Cleaning Coatings that Incorporate Carbon Nanotubes Into Solar Cells, Elsevier, 59, 620-635.

- Jones R W, 1989, Fundamental Principles of Sol-Gel Technology, Institute of Metals, 475s, London.
- Kaldellis J K, and Kokala A, 2010, Quantifying The Decrease of The Photovoltaic Panels' Energy Yield Due to Phenomena of Natural Air Pollution Pispasal, Elsevier, 35, 4862-4869.
- Kaplan Z, 2012, Fotovoltaik Sistem Tasarımı, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62, Kütahya.
- Klein L C, 1988, Sol-Gel Technology for Thin Films, Fibers, Preforms, Electronics, and Specialty Shapes, William Andrew, 428s, ABD.
- Koh W, Ku S, and Kim Y, 1997, Chemical Vapor Deposition Al₂O₃ Films Using Highly Volatile Single Sources, Elsevier, 304: 222-224.
- Köklü T, 2017, Remote Monitoring of Photovoltaic System, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İzmir.
- Kılıç F Ç, 2015, Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, Mühendis ve Makina, 671: 28-40.
- Kulaksız A A, 2007, Maksimum Güç Noktası İzleyicili ve UVM İnverterli Fotovoltaik Sistemin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Kontrolü, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 75s, Konya.
- Louy M, and Wang C, 2017, Effect of Dust on the I-MW Photovoltaic Power Plant at Tafila Technical University, 2017 8th International Renewable Energy Congress (IREC 2017), Article number 168811071.
- Özler F B, 2007, Titanyum ve Alaşımlarının Sol-Jel Daldırma Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, İstanbul.
- Öztürk H, 2010, Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler, Elektrik Mühendisleri Odası, 1-14 Adana.
- Parmaksız H, 2017, Rasperi PI ile Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Verilerin Gerçek Zamanlı İzlenmesi, Şeyh Edebalı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Bilecik.
- Piliouguine M, Carretero J, Sidrach-de-Cardona M, Montiel D, and Sánchez-Friera P, 2018, Comparative Analysis of The Dust Losses in Photovoltaic Modules With Different Cover Glasses, Proceedings of 23rd European Solar Energy

Conference, 2698-2700.

Saidan M, Albaali A G, Alasis E. and Kaldellis J K, 2016, Experimental Study on The Effect of Dust Deposition on Solar Photovoltaic Panels in Desert Environment, Renewable Energy, 92, 499-505.

Sangchay W, 2016, The Self-Cleaning and Photocatalytic Properties of TiO₂ Doped With SnO₂ Thin Films Preparation by Sol-Gel Method, Energy Procedia, 89, 170-176.

Son J, Kundu S, Verma, L K, Sakhuja M, Danner A J, Bhatia C S, and Yang H, 2012, A Practical Superhydrophilic Self Cleaning and Antireflective Surface for Outdoor Photovoltaic Applications, Sol. Energy Mater, 98, 46–51.

Türhan İ, 2000, TiO₂ ve Katkılı TiO₂ İnce Filmlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İstanbul.

Yoldaş Y, and Teke A, 2015, Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Etkileyen Faktörler, VIII . Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Adana, 15-16 Ekim, 37-41.

İnternet Kaynakları

1- <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc> 14.12.2019

2- <https://www.fizikciyiz.com/s200-hidrofobik-ve-hidrofilik-yuzey-nedir.html>

14.12.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman ÇELEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir 16.09.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) :0549 748 88 02 / osmancelen86@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : 100. Yıl Anadolu Meslek Lisesi (2000 – 2004)
Lisans : Balıkesir Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Böl.
(2011– 2015)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı (2017-2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Bigadiç Etibor İşletme Müdürlüğü (2009 – 2018)
: Legrand Elektrik San. A.Ş. (2018 – Devam Ediyor)

EKLER

EK 1. Panel Ölçüm Verileri

TARİH SAAT		PV1 AÇIK DEVRE (V)	PV2 AÇIK DEVRE (V)	PV3 AÇIK DEVRE (V)	PV4 AÇIK DEVRE (V)	PV5 AÇIK DEVRE (V)	PV1 KISA DEVRE (A)	PV2 KISA DEVRE (A)	PV3 KISA DEVRE (A)	PV4 KISA DEVRE (A)	PV5 KISA DEVRE (A)	ÖLÇÜM NO
1.09.2019	10:00	20,90	20,90	20,90	21,00	21,30	0,87	1,06	1,12	1,21	1,26	1
1.09.2019	11:00	21,00	20,90	20,80	20,80	20,80	0,81	0,96	1,03	1,12	1,17	2
1.09.2019	12:00	21,10	21,00	21,00	21,00	21,10	0,69	0,82	0,87	0,96	1,00	3
1.09.2019	13:00	21,20	21,20	21,20	21,20	21,30	0,54	0,63	0,66	0,75	0,77	4
1.09.2019	14:00	21,30	21,25	21,25	21,20	21,20	0,45	0,51	0,54	0,63	0,64	5
2.09.2019	10:00	20,70	20,70	20,80	20,80	20,90	0,07	0,12	0,14	0,21	0,20	6
2.09.2019	11:00	20,30	20,20	20,40	20,30	20,30	0,00	0,05	0,06	0,13	0,12	7
2.09.2019	12:00	21,70	21,70	21,80	21,80	21,80	0,72	0,83	0,88	0,96	1,00	8
2.09.2019	13:00	21,50	21,50	21,50	21,50	21,60	0,88	1,02	1,09	1,17	1,22	9
2.09.2019	14:00	21,30	21,20	21,20	21,20	21,30	0,45	0,53	0,58	0,65	0,68	10
3.09.2019	10:00	21,40	21,40	21,50	21,50	21,60	0,98	1,15	1,22	1,32	1,37	11
3.09.2019	11:00	21,10	21,10	21,10	21,20	21,50	0,73	0,86	0,91	1,01	1,04	12
3.09.2019	12:00	21,30	21,30	21,30	21,30	21,40	0,51	0,60	0,64	0,73	0,75	13
3.09.2019	13:00	21,30	21,30	21,30	21,30	21,40	0,63	0,74	0,79	0,86	0,90	14
3.09.2019	14:00	20,60	20,50	20,50	20,50	20,60	0,81	0,98	1,04	1,12	1,18	15
4.09.2019	10:00	20,60	20,50	20,50	20,50	20,60	0,81	0,98	1,04	1,14	1,19	16
4.09.2019	11:00	20,80	20,70	20,70	20,70	20,80	0,76	0,91	0,97	1,06	1,10	17
4.09.2019	12:00	20,60	20,70	20,70	20,70	20,80	0,65	0,78	0,84	0,93	0,97	18
4.09.2019	13:00	21,20	21,20	21,20	21,10	21,20	0,00	0,83	0,88	0,00	0,97	19
4.09.2019	14:00	21,60	21,40	21,30	21,30	21,30	0,00	0,85	0,90	0,00	0,98	20
5.09.2019	10:00	21,70	21,70	21,70	21,80	21,80	0,46	0,54	0,59	0,65	0,67	21
5.09.2019	11:00	21,40	21,40	21,40	21,40	21,40	0,67	0,78	0,83	0,91	0,94	22
5.09.2019	12:00	21,10	21,00	21,00	21,00	21,10	0,80	0,94	1,01	1,08	1,13	23
5.09.2019	13:00	20,90	20,70	20,70	20,60	20,60	0,85	1,03	1,10	1,18	1,24	24
5.09.2019	14:00	20,90	20,70	20,70	20,70	20,70	0,86	1,03	1,10	1,19	1,24	25

6.09.2019	10:00	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	0,00	1,06	0,00	0,00	1,18	26
6.09.2019	11:00	21,20	21,00	21,00	20,90	20,90	0,51	0,60	0,63	0,72	0,74	27
6.09.2019	12:00	21,00	20,90	20,90	20,90	21,00	0,00	0,79	0,84	0,00	0,91	28
6.09.2019	13:00	20,60	20,50	20,50	20,50	20,50	0,00	0,99	0,00	0,00	1,09	29
6.09.2019	14:00	21,00	20,80	20,70	20,70	20,70	0,84	1,00	1,07	1,16	1,22	30
7.09.2019	10:00	21,50	21,50	21,40	21,30	21,30	0,56	0,64	0,69	0,78	0,80	31
7.09.2019	11:00	21,10	21,10	21,20	21,20	21,30	0,37	0,44	0,48	0,55	0,56	32
7.09.2019	12:00	21,30	21,30	21,40	21,50	21,60	0,68	0,79	0,85	0,92	0,96	33
7.09.2019	13:00	21,00	21,00	21,10	21,10	21,20	0,77	0,91	0,97	1,05	1,10	34
7.09.2019	14:00	21,10	21,10	21,20	21,20	21,40	0,83	0,98	1,05	1,13	1,18	35
8.09.2019	10:00	20,80	20,80	20,90	20,90	20,90	0,86	1,04	1,11	1,20	1,26	36
8.09.2019	11:00	21,40	21,20	21,10	21,10	21,10	0,81	0,93	1,00	1,10	1,14	37
8.09.2019	12:00	21,50	21,40	21,30	21,20	21,20	0,66	0,76	0,82	0,91	0,94	38
8.09.2019	13:00	21,30	21,20	21,20	21,10	21,10	0,47	0,54	0,58	0,67	0,69	39
8.09.2019	14:00	21,40	21,40	21,40	21,40	21,50	0,46	0,54	0,59	0,65	0,67	40
9.09.2019	10:00	21,30	21,30	21,30	21,40	21,50	0,67	0,78	0,84	0,91	0,95	41
9.09.2019	11:00	20,70	20,70	20,80	20,80	20,90	0,75	0,89	0,96	1,04	1,08	42
9.09.2019	12:00	21,40	21,30	21,30	21,30	21,30	0,87	1,01	1,08	1,17	1,22	43
9.09.2019	13:00	21,50	21,30	21,20	21,20	21,20	0,86	0,99	1,06	1,16	1,20	44
9.09.2019	14:00	21,70	21,50	21,40	21,40	21,40	0,80	0,91	0,98	1,07	1,12	45
10.09.2019	10:00	21,40	21,20	21,20	21,10	21,10	0,65	0,75	0,80	0,90	0,93	46
10.09.2019	11:00	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	0,47	0,55	0,58	0,67	0,69	47
10.09.2019	12:00	21,40	21,50	21,50	21,50	21,60	0,57	0,67	0,72	0,79	0,82	48
10.09.2019	13:00	21,40	21,40	21,40	21,40	21,50	0,68	0,78	0,85	0,93	0,96	49
10.09.2019	14:00	21,00	20,80	20,70	20,60	20,60	0,86	1,02	1,09	1,18	1,23	50
1.10.2019	10:00	21,60	21,40	21,30	21,20	21,20	0,88	1,02	1,09	1,18	1,23	51
1.10.2019	11:00	21,50	21,40	21,30	21,30	21,30	0,80	0,92	0,99	1,08	1,12	52
1.10.2019	12:00	21,50	21,40	21,40	21,30	21,40	0,65	0,75	0,81	0,90	0,94	53

EK 1. (Devam) Panel Ölçüm Verileri

1.10.2019	13:00	21,40	21,40	21,30	21,30	21,30	0,49	0,57	0,61	0,70	0,72	54
1.10.2019	14:00	21,60	21,70	21,70	21,80	21,80	0,43	0,51	0,56	0,63	0,65	55
2.10.2019	10:00	22,00	22,10	22,10	22,10	22,10	0,50	0,59	0,64	0,71	0,74	56
2.10.2019	11:00	21,00	21,10	21,20	21,20	21,20	0,15	0,22	0,24	0,31	0,31	57
2.10.2019	12:00	21,70	21,80	21,80	21,80	21,90	0,52	0,62	0,66	0,73	0,75	58
2.10.2019	13:00	21,40	21,40	21,40	21,40	21,40	0,72	0,83	0,89	0,96	1,00	59
2.10.2019	14:00	21,20	21,10	21,00	21,00	21,10	0,83	0,98	1,04	1,12	1,17	60
3.10.2019	10:00	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	0,89	1,06	1,13	1,22	1,27	61
3.10.2019	11:00	21,20	21,20	21,20	21,20	21,30	0,87	1,04	1,10	1,19	1,24	62
3.10.2019	12:00	19,40	19,30	19,40	19,40	19,60	0,05	0,10	0,12	0,18	0,18	63
3.10.2019	13:00	22,10	22,20	22,20	22,20	22,20	0,65	0,75	0,81	0,90	0,93	64
3.10.2019	14:00	21,20	21,30	21,30	21,30	21,40	0,58	0,68	0,72	0,81	0,83	65
4.10.2019	10:00	21,30	21,40	21,40	21,40	21,50	0,52	0,60	0,65	0,72	0,74	66
4.10.2019	11:00	21,40	21,40	21,50	21,50	21,60	0,70	0,81	0,87	0,94	0,98	67
4.10.2019	12:00	21,20	21,20	21,30	21,40	21,50	0,82	0,96	1,03	1,11	1,15	68
4.10.2019	13:00	21,10	21,10	21,10	21,20	21,30	0,85	1,01	1,09	1,17	1,22	69
4.10.2019	14:00	21,10	21,10	21,10	21,10	21,20	0,61	0,71	0,77	0,85	0,88	70
5.10.2019	10:00	21,20	21,20	21,20	21,30	21,30	0,62	0,73	0,78	0,87	0,90	71
5.10.2019	11:00	21,10	21,10	21,10	21,00	21,10	0,43	0,50	0,55	0,63	0,65	72
5.10.2019	12:00	21,10	21,10	21,00	21,00	21,10	0,31	0,37	0,41	0,48	0,49	73
5.10.2019	13:00	21,00	21,10	21,10	21,10	21,20	0,24	0,30	0,34	0,41	0,42	74
5.10.2019	14:00	21,90	22,00	22,00	22,00	22,10	0,46	0,54	0,59	0,66	0,68	75
6.10.2019	10:00	21,30	21,40	21,40	21,50	21,60	0,67	0,78	0,84	0,91	0,94	76
6.10.2019	11:00	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	0,78	0,91	0,98	1,06	1,10	77
6.10.2019	12:00	21,10	21,00	21,00	21,00	21,00	0,87	1,03	1,10	1,19	1,24	78
6.10.2019	13:00	21,20	21,00	20,90	20,80	20,80	0,76	0,88	0,95	1,04	1,09	79
6.10.2019	14:00	21,20	21,30	21,40	21,40	21,50	0,40	0,47	0,51	0,58	0,60	80
7.10.2019	10:00	21,20	21,30	21,40	21,50	21,70	0,55	0,64	0,69	0,77	0,79	81

7.10.2019	11:00	20,90	20,90	20,90	20,90	21,10	0,68	0,81	0,87	0,94	0,98	82
7.10.2019	12:00	20,60	20,50	20,50	20,50	20,60	0,73	0,88	0,95	1,03	1,08	83
7.10.2019	13:00	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	0,71	0,85	0,91	0,99	1,04	84
7.10.2019	14:00	20,50	20,50	20,50	20,60	20,70	0,64	0,77	0,82	0,91	0,95	85
8.10.2019	10:00	20,70	20,70	20,70	20,70	20,80	0,53	0,63	0,68	0,77	0,79	86
8.10.2019	11:00	21,20	21,20	21,20	21,20	21,20	0,42	0,49	0,53	0,62	0,63	87
8.10.2019	12:00	22,20	22,30	22,30	22,30	22,40	0,55	0,64	0,69	0,75	0,78	88
8.10.2019	13:00	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10	0,75	0,86	0,91	0,99	1,03	89
8.10.2019	14:00	22,10	22,00	21,90	21,90	21,90	0,86	0,98	1,04	1,13	1,18	90
9.10.2019	10:00	21,90	21,70	21,70	21,60	21,60	0,90	1,02	1,10	1,18	1,23	91
9.10.2019	11:00	21,10	20,90	20,80	20,70	20,70	0,38	0,46	0,50	0,58	0,60	92
9.10.2019	12:00	21,90	21,80	21,70	21,60	21,70	0,82	0,94	1,00	1,09	1,14	93
9.10.2019	13:00	21,70	21,70	21,60	21,60	21,70	0,65	0,76	0,81	0,90	0,93	94
9.10.2019	14:00	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10	0,32	0,39	0,42	0,50	0,51	95
10.10.2019	10:00	22,00	21,90	21,90	21,90	21,90	0,96	1,10	1,16	1,25	1,30	96
10.10.2019	11:00	21,70	21,60	21,50	21,50	21,50	0,31	0,39	0,43	0,50	0,52	97
10.10.2019	12:00	22,20	22,20	22,20	22,20	22,30	0,33	0,42	0,45	0,52	0,53	98
10.10.2019	13:00	21,70	21,80	21,70	21,80	21,90	0,32	0,47	0,50	0,57	0,59	99
10.10.2019	14:00	21,20	21,40	21,40	21,60	21,70	0,57	0,71	0,76	0,83	0,86	100
1.11.2019	10:00	20,80	20,90	20,90	21,00	21,10	0,69	0,84	0,89	0,98	1,02	101
1.11.2019	11:00	20,80	20,80	20,80	20,90	21,00	0,71	0,86	0,92	1,02	1,06	102
1.11.2019	12:00	20,70	20,90	20,90	21,10	21,20	0,67	0,82	0,87	0,97	1,01	103
1.11.2019	13:00	20,90	21,00	21,00	21,10	21,20	0,57	0,68	0,73	0,83	0,86	104
1.11.2019	14:00	20,80	20,90	21,00	21,10	21,10	0,39	0,48	0,52	0,61	0,63	105
2.11.2019	10:00	21,70	21,90	21,90	22,00	22,00	0,35	0,48	0,51	0,58	0,60	106
2.11.2019	11:00	21,30	21,30	21,30	21,40	21,40	0,57	0,73	0,77	0,84	0,88	107
2.11.2019	12:00	20,80	20,90	20,90	21,00	21,10	0,69	0,85	0,91	0,98	1,03	108
2.11.2019	13:00	21,00	21,00	20,90	21,00	21,10	0,72	0,89	0,95	1,04	1,09	109

EK 1. (Devam) Panel Ölçüm Verileri

2.11.2019	14:00	20,60	20,70	20,70	20,80	20,90	0,68	0,83	0,89	0,98	1,02	110
3.11.2019	10:00	20,60	20,80	20,90	21,00	21,10	0,56	0,69	0,74	0,84	0,87	111
3.11.2019	11:00	20,60	20,80	20,80	20,90	21,00	0,39	0,49	0,53	0,62	0,64	112
3.11.2019	12:00	21,70	21,80	21,90	22,00	22,00	0,37	0,53	0,56	0,62	0,65	113
3.11.2019	13:00	21,20	21,30	21,40	21,50	21,60	0,61	0,77	0,82	0,90	0,93	114
3.11.2019	14:00	20,70	20,90	20,90	21,10	21,30	0,71	0,90	0,96	1,04	1,09	115
4.11.2019	10:00	20,50	20,60	20,70	20,80	21,00	0,71	0,92	0,98	1,07	1,12	116
4.11.2019	11:00	20,40	20,50	20,60	20,70	20,80	0,66	0,85	0,91	1,00	1,04	117
4.11.2019	12:00	20,60	20,80	20,80	20,90	21,00	0,39	0,50	0,55	0,64	0,66	118
4.11.2019	13:00	21,80	21,90	21,90	22,00	22,10	0,39	0,54	0,57	0,63	0,65	119
4.11.2019	14:00	21,40	21,50	21,40	21,50	21,50	0,60	0,75	0,81	0,88	0,91	120
5.11.2019	10:00	20,70	20,80	20,80	20,90	21,10	0,65	0,84	0,89	0,97	1,01	121
5.11.2019	11:00	20,70	20,80	20,90	21,00	21,10	0,42	0,54	0,59	0,66	0,69	122
5.11.2019	12:00	20,70	20,70	20,60	20,70	20,70	0,65	0,82	0,88	0,97	1,02	123
5.11.2019	13:00	20,80	20,90	21,00	21,00	21,10	0,36	0,45	0,49	0,57	0,59	124
5.11.2019	14:00	22,40	22,40	22,50	22,60	22,70	0,56	0,67	0,70	0,78	0,81	125
6.11.2019	10:00	22,00	22,10	22,20	22,30	22,40	0,68	0,79	0,83	0,91	0,95	126
6.11.2019	11:00	22,10	22,20	22,30	22,30	22,40	0,88	1,00	1,05	1,14	1,20	127
6.11.2019	12:00	21,60	21,60	21,70	21,70	21,80	0,37	0,46	0,48	0,56	0,58	128
6.11.2019	13:00	21,00	21,00	21,00	21,10	21,20	0,70	0,82	0,86	0,95	0,99	129
6.11.2019	14:00	21,50	21,60	21,60	21,60	21,70	0,52	0,64	0,69	0,78	0,81	130
7.11.2019	10:00	22,20	22,30	22,20	22,20	22,40	0,50	0,61	0,64	0,71	0,73	131
7.11.2019	11:00	21,80	21,80	21,80	21,80	21,90	0,66	0,78	0,82	0,90	0,94	132
7.11.2019	12:00	21,30	21,30	21,40	21,40	21,60	0,71	0,84	0,88	0,97	1,01	133
7.11.2019	13:00	21,50	21,50	21,50	21,50	21,60	0,67	0,76	0,81	0,90	0,94	134
7.11.2019	14:00	21,40	21,40	21,40	21,40	21,50	0,51	0,63	0,68	0,77	0,80	135
8.11.2019	10:00	21,40	21,40	21,50	21,60	21,80	0,34	0,41	0,44	0,55	0,57	136
8.11.2019	11:00	21,90	21,90	22,00	22,00	22,20	0,65	0,77	0,81	0,90	0,93	137
8.11.2019	12:00	21,80	21,80	21,80	21,80	22,00	0,61	0,73	0,76	0,85	0,88	138
8.11.2019	13:00	21,60	21,70	21,70	21,80	21,80	0,52	0,62	0,69	0,78	0,80	139
8.11.2019	14:00	21,60	21,60	21,60	21,70	21,80	0,36	0,43	0,45	0,56	0,59	140
9.11.2019	10:00	22,90	22,80	22,80	22,70	22,80	0,39	0,51	0,53	0,59	0,61	141
9.11.2019	11:00	21,70	21,80	21,80	21,70	21,90	0,57	0,68	0,71	0,79	0,82	142
9.11.2019	12:00	21,70	21,70	21,70	21,70	21,80	0,69	0,80	0,84	0,93	0,97	143
9.11.2019	13:00	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	0,66	0,77	0,81	0,91	0,94	144
9.11.2019	14:00	21,50	21,50	21,50	21,50	21,60	0,52	0,63	0,69	0,78	0,81	145
10.11.2019	10:00	21,40	21,50	21,50	21,50	21,60	0,36	0,43	0,45	0,57	0,59	146
10.11.2019	11:00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,10	0,36	0,46	0,48	0,56	0,57	147
10.11.2019	12:00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,10	0,52	0,63	0,66	0,74	0,77	148
10.11.2019	13:00	21,50	21,50	21,50	21,50	21,60	0,39	0,48	0,51	0,58	0,61	149
10.11.2019	14:00	21,50	21,50	21,60	21,60	21,70	0,42	0,52	0,56	0,64	0,66	150
01.12.2019	08:00	22,10	22,10	22,10	22,10	22,20	0,49	0,60	0,62	0,69	0,72	151
02.12.2019	09:00	21,70	21,70	21,80	21,80	21,80	0,71	0,83	0,87	0,96	1,00	152
03.12.2019	10:00	21,60	21,60	21,60	21,60	21,60	0,69	0,80	0,85	0,94	0,98	153
04.12.2019	11:00	22,30	22,30	22,20	22,20	22,20	0,57	0,66	0,74	0,84	0,88	154

EK 2. Panel Güç (W) Çıktıları

KAPLAMA YOK	SİLİSYUM	TİTANYUM	BOR	Tİ+Sİ+B
18,18	22,15	23,41	25,41	26,84
17,01	20,06	21,42	23,30	24,34
14,56	17,22	18,27	20,16	21,10
11,45	13,36	13,99	15,90	16,40
9,59	10,84	11,37	13,25	13,57
1,45	2,48	2,91	4,37	4,18
0,00	1,01	1,22	2,64	2,44
15,62	18,01	19,18	20,93	21,80
18,92	21,93	23,44	25,16	26,35
9,59	11,24	12,30	13,78	14,48
20,97	24,61	26,23	28,38	29,59
15,40	18,15	19,20	21,41	22,36
10,86	12,78	13,63	15,55	16,05
13,42	15,76	16,83	18,32	19,26
16,69	20,09	21,32	22,96	24,31
16,69	20,09	21,32	23,37	24,51
15,81	18,84	20,08	21,94	22,88
13,39	16,15	17,39	19,25	20,18
0,00	17,60	18,66	0,00	20,56
0,00	18,19	19,17	0,00	20,87
9,98	11,72	12,80	14,17	14,61
14,34	16,69	17,76	19,47	20,12
16,88	19,74	21,21	22,68	23,84
17,77	21,32	22,77	24,31	25,54
17,97	21,32	22,77	24,63	25,67
0,00	21,94	0,00	0,00	24,43
10,81	12,60	13,23	15,05	15,47
0,00	16,51	17,56	0,00	19,11
0,00	20,30	0,00	0,00	22,35
17,64	20,80	22,15	24,01	25,25
12,04	13,76	14,77	16,61	17,04
7,81	9,28	10,18	11,66	11,93
14,48	16,83	18,19	19,78	20,74
16,17	19,11	20,47	22,16	23,32
17,51	20,68	22,26	23,96	25,25
17,89	21,63	23,20	25,08	26,33

EK 2. (Devam) Panel Güç (W) Çıktıları

17,33	19,72	21,10	23,21	24,05
14,19	16,26	17,47	19,29	19,93
10,01	11,45	12,30	14,14	14,56
9,84	11,56	12,63	13,91	14,41
14,27	16,61	17,89	19,47	20,43
15,53	18,42	19,97	21,63	22,57
18,62	21,51	23,00	24,92	25,99
18,49	21,09	22,47	24,59	25,44
17,36	19,57	20,97	22,90	23,97
13,91	15,90	16,96	18,99	19,62
9,96	11,66	12,30	14,20	14,63
12,20	14,41	15,48	16,99	17,71
14,55	16,69	18,19	19,90	20,64
18,06	21,22	22,56	24,31	25,34
19,01	21,83	23,22	25,02	26,08
17,20	19,69	21,09	23,00	23,86
13,98	16,05	17,33	19,17	20,12
10,49	12,20	12,99	14,91	15,34
9,29	11,07	12,15	13,73	14,17
11,00	13,04	14,14	15,69	16,35
3,13	4,64	5,09	6,57	6,57
11,28	13,52	14,39	15,91	16,43
15,41	17,76	19,05	20,54	21,40
17,60	20,68	21,84	23,52	24,69
18,87	22,47	23,96	25,86	26,92
18,44	22,05	23,32	25,23	26,41
0,97	1,93	2,33	3,49	3,53
14,37	16,65	17,98	19,98	20,65
12,30	14,48	15,34	17,25	17,76
11,08	12,84	13,91	15,41	15,91
14,98	17,33	18,71	20,21	21,17
17,38	20,35	21,94	23,75	24,73
17,94	21,31	23,00	24,80	25,99
12,87	14,98	16,25	17,94	18,66
13,14	15,48	16,54	18,53	19,17
9,07	10,55	11,61	13,23	13,72
6,54	7,81	8,61	10,08	10,34
5,04	6,33	7,17	8,65	8,90
10,07	11,88	12,98	14,52	15,03

EK 2. (Devam) Panel Güç (W) Çıktıları

14,27	16,69	17,98	19,57	20,30
16,54	19,29	20,78	22,47	23,32
18,36	21,63	23,10	24,99	26,04
16,11	18,48	19,86	21,63	22,67
8,48	10,01	10,91	12,41	12,90
11,66	13,63	14,77	16,36	17,14
14,21	16,93	18,18	19,65	20,68
15,04	18,04	19,48	21,12	22,25
14,70	17,60	18,84	20,49	21,53
13,12	15,79	16,81	18,75	19,67
10,97	13,04	14,08	15,94	16,43
8,90	10,39	11,24	13,14	13,36
12,21	14,27	15,39	16,73	17,47
16,58	19,01	20,11	21,88	22,76
19,01	21,56	22,78	24,75	25,84
19,71	22,13	23,87	25,49	26,57
8,02	9,61	10,40	12,01	12,42
17,96	20,49	21,70	23,54	24,74
14,11	16,49	17,50	19,44	20,18
7,07	8,62	9,28	11,05	11,27
21,12	24,09	25,40	27,38	28,47
6,73	8,42	9,25	10,75	11,18
7,33	9,32	9,99	11,54	11,82
6,94	10,25	10,85	12,43	12,92
12,08	15,19	16,26	17,93	18,66
14,35	17,56	18,60	20,58	21,52
14,77	17,89	19,14	21,32	22,26
13,87	17,14	18,18	20,47	21,41
11,91	14,28	15,33	17,51	18,23
8,11	10,03	10,92	12,87	13,29
7,60	10,51	11,17	12,76	13,20
12,14	15,55	16,40	17,98	18,83
14,35	17,77	19,02	20,58	21,73
15,12	18,69	19,86	21,84	23,00
14,01	17,18	18,42	20,38	21,32
11,54	14,35	15,47	17,64	18,36
8,03	10,19	11,02	12,96	13,44
8,03	11,55	12,26	13,64	14,30
12,93	16,40	17,55	19,35	20,09
14,70	18,81	20,06	21,94	23,22

EK 2. (Devam) Panel Güç (W) Çıktıları

14,56	18,95	20,29	21,26	23,52
15,46	17,43	18,75	20,70	21,63
8,03	10,40	11,44	13,38	13,86
8,50	11,83	12,48	13,86	14,37
12,84	16,13	17,33	18,92	19,57
15,46	17,47	18,51	20,27	21,31
8,69	11,23	12,33	13,86	14,56
15,46	16,97	18,13	20,08	21,11
7,49	9,41	10,29	11,97	12,45
12,54	15,01	15,75	17,63	18,39
14,96	17,46	18,43	20,29	21,28
19,45	22,20	23,42	25,42	26,88
7,99	9,94	10,42	12,15	12,64
14,70	17,22	18,06	20,05	20,99
11,18	13,82	14,90	16,85	17,58
11,10	13,60	14,21	15,76	16,35
14,39	17,00	17,88	19,62	20,59
15,12	17,89	18,83	20,76	21,82
14,41	16,34	17,42	19,35	20,30
10,91	13,48	14,55	16,48	17,20
7,28	8,77	9,46	11,88	12,43
14,24	16,86	17,82	19,80	20,65
13,30	15,91	16,57	18,53	19,36
11,23	13,45	14,97	17,00	17,44
7,78	9,29	9,72	12,15	12,86
8,93	11,63	12,08	13,39	13,91
12,37	14,82	15,48	17,14	17,96
14,97	17,36	18,23	20,18	21,15
14,19	16,56	17,42	19,57	20,21
11,18	13,55	14,84	16,77	17,50
7,70	9,25	9,68	12,26	12,74
7,92	10,12	10,56	12,32	12,60
11,44	13,86	14,52	16,28	17,02
8,39	10,32	10,97	12,47	13,18
9,03	11,18	12,10	13,82	14,32
10,83	13,26	13,70	15,25	15,98
15,41	18,01	18,97	20,93	21,80
14,90	17,28	18,36	20,30	21,17
12,71	14,72	16,43	18,65	19,54