



**FOTOVOLTAİK KOLLEKTÖRLERDE
KULLANILAN SAYDAM ÖRTÜNÜN YAPAY
DEFORMASYON İŞLEMLERİ UYGULANMASI
SONUCUNDA KOLLEKTÖR VERİMİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Neslihan KOÇDEMİR ERTÜRK

**Yüksek Lisans Tezi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hüseyin BENLİ
AĞUSTOS – 2019**

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

**FOTOVOLTAİK KOLLEKTÖRLERDE KULLANILAN SAYDAM ÖRTÜNÜN
YAPAY DEFORMASYON İŞLEMLERİ UYGULANMASI SONUCUNDA
KOLLEKTÖR VERİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Neslihan KOÇDEMİR ERTÜRK

142135106

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26/06/2019
Tezin Savunulduğu Tarih: 01/08/2019**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin BENLİ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Sami EKİCİ (F.Ü)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü)

AĞUSTOS-2019

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca sabır ve hoşgörü ile desteğini esirgemeyerek tüm süreci bilimsel bir temelde sonlandırmamı sağlayan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin BENLİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, sürekli fikir alışverişinde bulunduğum Arş. Gör. Dr. Mert GÜRTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneyler boyunca yardımlarını esirgemeyip bilgilerinden yararlandığım Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU ve Arş. Gör. Dr. Ayşegül DERE'ye teşekkürlerimi sunarım.

TBMYO.17.01 proje numarası ile Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerine desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince üzerimden desteğini esirgemeyen aileme, gösterdikleri sabır ve anlayıştan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Neslihan KOÇDEMİR ERTÜRK

ELAZIĞ – 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL ve METOT	6
2.1. Tek diyot <i>Rs</i> – Model.....	13
2.2. PV Hücresinin Verimlilik Parametreleri İçin Metodoloji	15
3. BULGULAR ve TARTIŞMA	17
3.1. Temizleme İşlemi	17
3.2. Rüzgar – Toz	33
3.3. Sıcak-Soğuk.....	49
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
EKLER	66
ÖZGEÇMİŞ	76

ÖZET

Enerji talebi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmalar da, bu perspektifte artmakta ve geliştirilmektedir. Bu kapsamda, fotovoltaik güneş panellerinin kullanımı da hızlı bir şekilde artmaktadır. Kullanılan kollektörlerin verimini arttıran ve çalışma ömrünü uzatan araştırma ve geliştirme çalışmaları güncel bir konudur.

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik güneş kollektörlerinde kullanılan saydam örtünün maruz kaldığı çevre koşulları sonrasında, camın yapısında ve yutma-geçirme gibi özelliklerinde meydana gelebilecek değişiklikler araştırılmıştır. Model boyutta temin edilmiş olan camlara çeşitli deformasyon yöntemleri uygulanmıştır. Söz konusu bu deformasyonlar ise cam yüzeyinin çizilmesi, cama rüzgârla toz püskürtülmesi ve sıcak-soğuk farklarından meydana gelen ani genleşmelerdir. Cama uygulanan bu yapay deformasyonlar sonucunda camın yapısında meydana gelen değişiklikler belirlenmiştir. Bunlar, camın yüzeyinde meydana gelen çiziklerin yapısı, malzemenin yapısında meydana gelmiş olan mikro çatlaklar, camın yansıtma oranı, camın yutma ve geçirme özellikleridir. Yapay bir şekilde deformasyona uğratılmış camlar, güneş enerjisi simülatörlerinde, gerçek bir fotovoltaik hücre üzerine bırakılarak, camların verim üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Elde edilen veriler derlenerek literatüre kazandırılmıştır. Yapay olarak deformasyona uğratılan camların yapısında meydana gelen değişikliklerin kollektör verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu tez çalışmasının Ar-Ge niteliğinde olması, birçok yararlı çıktı sağlayacaktır. Elde edilen sonuçlar, özellikle fotovoltaik kollektör verimine etkileyen faktörler arasında önemli bir parametre olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Kollektör, Enerji, Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji

SUMMARY

INVESTIGATION OF COLLECTOR EFFICIENCY EFFECT AS A RESULT OF APPLICATION OF ARTIFICIAL DEFORMATION PROCESSES OF TRANSPARENT COVER USED IN PHOTOVOLTAIC COLLECTORS

Energy demand and interest in renewable energy sources are increasing day by day. Research on renewable energy sources is also increasing and developing in this perspective. In this context, the use of photovoltaic solar panels is also increasing rapidly. Research and development studies that increase the efficiency and prolong the working life of the collectors used are a current issue.

In this thesis, changes in the structure and properties of glass such as photovoltaic solar collectors are investigated after environmental conditions to which transparent cover is used. Various deformation methods have been applied to the glasses provided in the model size. These deformations are sudden expansions caused by scratching the glass surface, spraying powder with wind on the glass and hot-cold differences. As a result of these artificial deformations applied to the glass, changes in the structure of the glass were determined. These are the structure of the scratches on the surface of the glass, micro cracks in the structure of the material, the reflection rate of the glass, the absorption and permeability properties of the glass. Artificially deformed glasses were deposited on a real photovoltaic cell in solar simulators and their effects on the yield were investigated.

The data obtained were compiled into the literature. The effects of the changes in the structure of the artificially deformed glasses on the collector yield were investigated. The fact that this thesis study is in the nature of R-D will provide many useful outputs. The results obtained can be considered as an important parameter especially among the factors affecting the efficiency of photovoltaic collector.

Key Words: Photovoltaic Collector, Energy, Solar Energy, Renewable Energy

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Rüzgarla taşınan tozun hasarı için deneysel kurulum.....	7
Şekil 2.2. Cam kumunun görünümü	8
Şekil 2.3. Örnekler (A) ve (B)	10
Şekil 2.4. Deneylerin görüntüsü.....	10
Şekil 2.5. Deneylerde kullanılan güneş simülatörü	11
Şekil 2.6. Kum püskürtme kabini..	12
Şekil 2.7. Atomik Kuvvet Mikroskobu XE-100E (Park Sistemi).....	13
Şekil 2.8. Tekli diyot Rs - model [17]	14
Şekil 3.1. Deterjan Kullanımı (Öncesi).....	20
Şekil 3.2. Deterjan Kullanımı (Sonrası).....	20
Şekil 3.3. Şebeke Suyu Kullanımı (Öncesi).....	21
Şekil 3.4. Şebeke Suyu Kullanımı (Sonrası).....	21
Şekil 3.5. Saf Su Kullanımı (Öncesi).....	22
Şekil 3.6. Saf Su Kullanımı (Sonrası).....	22
Şekil 3.7. Sıvı Sabun Kullanımı (Öncesi).....	23
Şekil 3.8. Sıvı Sabun Kullanımı (Sonrası)	23
Şekil 3.9. Cam Jileti Kullanımı (Öncesi)	24
Şekil 3.10. Cam Jileti Kullanımı (Sonrası)	25
Şekil 3.11. Çek çek Kullanımı (Öncesi)	26
Şekil 3.12. Çek çek Kullanımı (Sonrası)	26
Şekil 3.13. Güderi Kullanımı (Öncesi)	27
Şekil 3.14. Güderi Kullanımı (Sonrası)	27
Şekil 3.15. Pelüş Kullanımı (Öncesi).....	28
Şekil 3.16. Pelüş Kullanımı (Sonrası)	28
Şekil 3.17. Sünger Kullanımı (Öncesi).....	29
Şekil 3.18. Sünger Kullanımı (Sonrası)	29
Şekil 3.19. PV'lerin yüzey temizliği sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği düşme oranları	30
Şekil 3.20. Deneyden önce hücrenin görünüşleri	30
Şekil 3.21. Temizleme işleminden sonra hücre yüzeylerindeki kalıntılar.....	31

Şekil 3.22. Temizlik aletlerinin kullanımından kaynaklanan hasarlar	33
Şekil 3.23. Kollektör açısı 90° için verim (Öncesi).....	35
Şekil 3.24. Kollektör açısı 90° için verim (Sonrası).....	36
Şekil 3.25. Kollektör açısı 80° için verim (Öncesi).....	37
Şekil 3.26. Kollektör açısı 80° için verim (Sonrası).....	37
Şekil 3.27. Kollektör açısı 70° için verim (Öncesi).....	38
Şekil 3.28. Kollektör açısı 70° için verim (Sonrası).....	38
Şekil 3.29. Kollektör açısı 60° için verim (Öncesi).....	39
Şekil 3.30. Kollektör açısı 60° için verim (Sonrası).....	39
Şekil 3.31. Kollektör açısı 50° için verim (Öncesi).....	40
Şekil 3.32. Kollektör açısı 50° için verim (Sonrası)	40
Şekil 3.33. Kollektör açısı 40° için verim (Öncesi).....	41
Şekil 3.34. Kollektör açısı 40° için verim (Sonrası).....	42
Şekil 3.35. Kollektör açısı 30° için verim (Öncesi).....	42
Şekil 3.36. Kollektör açısı 30° için verim (Sonrası).....	43
Şekil 3.37. Kollektör açısı 20° için verim (Öncesi).....	43
Şekil 3.38. Kollektör açısı 20° için verim (Sonrası).....	44
Şekil 3.39. Kollektör açısı değişmesi sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği düşme oranları	44
Şekil 3.40. Rüzgar ve rüzgar yükü ile taşınan tozun zarar vermemesi için yapılan öneri duvarı	45
Şekil 3.41. Farklı kollektör açılarında toz püskürtme sonrası hücrelerin görünümü	49
Şekil 3.42. A ve B güneş camı örneklerinin enerji verimliliği	50
Şekil 3.43. A ve B güneş camı örneklerinin Ekserji Verimliliği	51
Şekil 3.44. A ve B güneş camı örneklerinin güç dönüşüm verimliliği.....	52
Şekil 3.45. A ve B güneş camı numunelerinin reflektansı	56
Şekil 3.46. A ve B güneş camı numunelerinin absorbe edilmesi	57
Şekil 3.47. A ve B güneş camı numunelerinin transmittansı.....	58
Şekil 3.48. Güneş camı numunelerinin yüzey fotoğrafları	59

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Cam Kum fiziksel ve kimyasal özellikleri	8
Tablo 2.2. PV hücrenin teknik özellikleri	13
Tablo 3.1. Temizlikte kullanılan kimyasalların hücre yüzeyindeki kalan kalıntıları	18
Tablo 3.2. Temizlik malzemelerinin numuneler üzerinde oluşturmuş olduğu hasar	19
Tablo 3.3. PV hücrelerinin yüzeyindeki toz hasarı	34
Tablo 3.4. Standart Test Koşullarına Göre Verimlilik Parametreleri.....	46
Tablo 3.5. A numunesinin referans ve verimlilik hesaplamasında ölçülen değerleri.....	54
Tablo 3.6. B numunesinin referans ve verimlilik hesaplamasında ölçülen değerleri.....	55

SEMBOLLER LİSTESİ

I	: Akım (A)
I_{pv}	: Foto akımı
I_0	: Doygunluk akımı
q	: Elektron yükü (1.602×10^{-19} C)
V	: Seri voltajı (V)
R_s	: Seri direnç
a	: İdealite faktörü
k	: Boltzmann sabiti (1.381×10^{-23} J / K)
T	: Ortamın ve güneşin yüzeyinin sıcaklığı (K)
V_{oc}	: Açık devre voltajı
I_{sc}	: Kısa devre akımı
η_{en}	: Enerji verimliliği
G	: Güneş şiddeti (W/m^2)
A	: Alan (m^2)
η_{ex}	: Ekserji verimliliği
I_{max}	: Maksimum akım
V_{max}	: Maksimum gerilim
G_{ex}	: Güneş yoğunluğu ekserjisi
P_{max}	: Maksimum güç çıkışı
FF	: Doldurma faktörü
η_{pc}	: Güç dönüşüm verimliliği

KISALTMALAR LİSTESİ

AR-GE	: Araştırma ve Geliştirm
NREL	: Ulusal Yenilenebilir Enerji Labaratuvarı
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
PV	: Fotovoltaik
XRD	: X- Işını Kesilmesi
(UV-vis)	: Optik Geçirgenlik
PL	: Foto Işıldama
AFM	: Spektroskopisi ve Atomik Kuvvet Mikroskopisi

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı bilinci her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji çeşitlerinden olan güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığı zaman çok daha avantajlıdır. Bu avantajlar düşük işletme maliyeti, sessiz çalışma ve ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır. Yenilikçi ve Ar-Ge odaklı çalışmalar birçok araştırmacı tarafından yürütülmektedir. Son veriler, güneş pili verimliliğinde iyi sonuçların elde edildiğini göstermektedir. NREL (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı) verilerine göre, güneş pilinin verimliliği %45 değerini aşmıştır. Bu durum güneş enerjisinin geleceğinin çok parlak olduğunu ve yakın gelecekte elektrik üretiminin önemli bir parçası olacağını göstermektedir [1].

Tez kapsamında, fotovoltaik kollektörlerde kullanılan cam örtünün maruz kaldığı etkilerden dolayı, bu örtünün yapısında meydana gelebilecek değişiklikler sonucunda, camın yutma ve geçirme gibi önemli özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda elde edilmiş olan bilimsel verilerin, GES (Güneş Enerjisi Santrali)'lerin tasarımına veya fotovoltaik kollektör tasarımlarına etkisi olacağı düşünülmektedir. Literatürde benzer analizlerin yapılmasına, uygun GES ve fotovoltaik kollektör camı üzerine tasarımların, çeşitli analizlerinin gerçekleştirilmesinin önünü açacağı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasından elde edilen tecrübe, bilimsel birikim, akademik personel yetiştirilmesi, deneylerden elde edilen sonuçlar ve buna benzer birçok kazanımların elde edileceği düşünülmektedir. Araştırmacılar tarafından bu kazanımların değerlendirilmesi ile yeni ve farklı analizlerinin yapılması ön görülmektedir. Fotovoltaik kollektörlerin birçoğu ithal edilmektedir. Bununla birlikte, fotovoltaik kollektörlerin üretiminin gerçekleştirildiği ulusal şirketlerde bulunmaktadır. Fakat bu ulusal şirketler de, panel üretiminde kullanılan bütün parçaları ithal etmektedir. Bu perspektifte tez değerlendirildiği zaman, ithal olarak elde edilen bu ürünlerin uzun süre kullanılması gerekmektedir. Tez kapsamında incelenmiş olan parametreler panel verimliliğini olumsuz bir şekilde etkilediği sonucuna varılmış ve bu etkilerin ciddi ekonomik kayıplara neden olacağı görülmüştür. Tezden elde edilen sonuçların, yerli sektör temsilcileri ile paylaşılması ve bu yönde yürütülecek olan AR-GE projelerine yön vereceği ön görülmektedir. Tezin, panel verimlerinin düşmesine neden olan bu süreç veya süreçlerin

engellenmesinde başvurulacak bir rehber olacağı düşünülmektedir. Elde edilmiş olan veriler ve yapılan araştırmalar, güneş enerjisi sektörünün başvurabileceği bir referans olacaktır. Elde edilen verilerin GES santralleri için ve fotovoltaik panel üretimini yapan sektörlerin sürdürülebilirliği, enerji verimliliği ve maliyet faktörlerinin iyileştirilmesine doğrudan etki edeceği ön görülmektedir. Yine bahsi geçen sektörlerin alt sektörlerini de doğrudan ilgilendirmektedir. Bu bakımdan binlerce kişiye istihdam sağlayan sektörlerin sürdürülebilirliği açısından yararlı bir çalışma olmaktadır.

Güneş Enerjisi Santrallerinde kullanılan fotovoltaik güneş kollektörleri çeşitli çevre etkilerine maruz kalmaktadır ve fotovoltaik kollektörlerin verimliliği üzerinde birçok parametrenin etkisi vardır. Bunlar özellikle toz, sıcak-soğuk farklılıkları, rüzgar ve kar yükleri gibi etkilerdir. Fotovoltaik sistemin yerleştirildiği bölgeye bağlı olarak, kollektör üzerinde biriken toz ciddi problem oluşturmaktadır. Literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Toz, ışınlama yoğunluğu, soğutma sıvısı kütle akış hızı ve nem gibi birçok parametre göz önüne alınarak çalışmalar yapılmıştır. Yüzeyde toz birikmesi fotovoltaik (PV) hücrelerinin verimliliğini etkiler çünkü güneş ışınlamayı tozdan geçemez. PV hücresinin yüzeyindeki toz, güneş ışınlarını yansıtır ve ya emer. Emilim ve yansıma, kollektör yüzeyinde biriken tozun yapısına ve miktarına bağlıdır. Yapılan birçok çalışmada PV kollektör üzerinde farklı türde biriken tozlar araştırılmıştır. Bu farklı tozlar; kum, kil, kırmızı toprak, silis ve kalsiyum karbonattan oluşur. Sonuçlar PV geriliminin ve gücünün, kirlilik türüne ve toz yüzeyindeki birikim miktarına göre azaldığını göstermiştir [2]. Literatürde, PV hücrenin verimliliğine etki eden toz etkisinin belirlenmesi için uzun süredir yapılan çalışmalar bulunabilir. Ayrıca araştırmacılar PV hücrelerinin yüzeyindeki toz birikimi üzerine çalışmışlardır. Toz birikmesi gibi faktörler; toz özellikleri, cam özellikleri, ortam sıcaklığı ve nemi, PV sistem eğim açısı ve yönü, rüzgar hızı ve saha özellikleri olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; yüzeydeki tozun yağmur ve rüzgar gibi doğal etkilerle temizlenebileceğini ancak uzun süre yağmur olmazsa günlük enerji kayıplarının %20'den fazla olabileceğini gösterdi [3,4]. Toz, konsantre fotovoltaik sistemler ve konsantre güneş enerjisi sistemleri için istenmeyen sorunlara neden olur [5]. Literatürde PV hücrelerinin verimliliği ve elektriksel karakteristiğine etki eden toz etkisi üzerine birçok inceleme çalışması bulunabilir. Literatürde araştırmacılar tarafından X- ışını kesilmesi (XRD), optik geçirgenlik (UV-vis), foto ışıltama (PL) spektroskopisi ve atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) gibi birçok analiz yapılmıştır [6,7].

PV hücrelerinin çalışma sıcaklığı, PV hücrelerinin verimliliğini etkileyen parametrelerden biridir. PV hücrelerinin ve ya modülünün farklı güneş ışınlarındaki verimi ve hücrelerin farklı çalışma sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun sonucunda PV hücre sıcaklığının verimliliğe önemli etkisi olduğu bulunmuştur [8]. PV hücrelerinin verimliliğinin 1 santigrat hücre ısı başına % 0,06 oranında azaldığı gözlenmiştir. PV hücrelerinin verimliliği, standart test koşullarında belirli bir sabit sıcaklık ve radyasyon değerinde belirlenir. PV hücrelerinin verimliliği belirlenirken, PV hücre üreticileri bu standart test koşullarını kullanır. Bu koşullarda, PV hücrelerinin sıcaklığı 25 °C ve güneş ışınımı 1000W/m^2 'dir. PV hücre standart test koşulları altında çalışmaz ve PV hücrenin verimliliği, uygulamadaki farklı güneş ışınlarına bağlıdır. Bazı çalışmalarda PV hücrelerinin farklı güneş ışınları üzerindeki verimlilik değerleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, enerji verimliliğinin yaklaşık %18.8 ile %19.9 arasında değiştiğini ve ekserji veriminin yaklaşık %13.6 ile %16 arasında değiştiğini göstermektedir [8,9].

Birçok parametre PV hücrelerinin verimliliği ve elektriksel özelliği üzerinde etkilidir. Bu parametrelerden biri de mekanik bir yüküdür. Rüzgarlı günlerde kollektör üzerine uygulanan basıncın, yoğun kar yağışının meydana gelmesi durumunda, kollektör üzerinde biriken karın uyguladığı normal gerilmeler üzerine çeşitli araştırmalar ve modellemeler gerçekleştirilmiştir [10].

Kazem ve arkadaşları; 2013 yılında kum, kül, kırmızı toprak, silis ve kalsiyum karbonat olmak üzere beş kirleticinin yapay tozunun etkisini araştırdı. Kirlilikten kaynaklanan gerilim düşüşü ve zaman içindeki değişimi ölçülmüş ve sonuçlar sıcaklık değişimiyle ilişkilendirilmiştir. Açık devre gerilimindeki bozulma % 4 ile % 24 aralığında değişmiş ve kül için en büyük düşüş gözlemlenmiştir. Kazem ve arkadaşları; 2014 yılında Irak'taki çöl bölgelerinde artışa neden olan insan faaliyetlerini gözden geçirmişlerdir. Çalışma, toz nedenleri, türleri, spesifikasyonları üzerine yoğunlaşmışlardır. Ayrıca yazarlar, tozun fotovoltaik kollektör sistemleri üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışmada, fotovoltaik kollektör verimliliğinin toz fırtınalarından büyük ölçüde etkilenebileceğini bulunmuştur. Kazem ve arkadaşları, 2016 yılında Kuzey Uman'da altı bölgeden altı değişik toz numuneleri (çapları % 64 ünün 2 ile 63 mikron metre olan numuneler) ile fotovoltaik kollektörler üzerindeki verim kayıplarını ölçmüşlerdir. Toz ve kalınlığın verim üzerinde % 35-40 bir azalmaya neden olduğunu göstermişlerdir [11-13].

Çalışmaların bir kısmı, tozun kendisinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine odaklanmıştır. Mani ve Pillai, fotovoltaik kollektör performansı üzerinde toz ile yaptıkları araştırmayı literatürde sınıflandırdılar. Literatürdeki araştırmayı 1945-1990 ve 1990 yılları olmak üzere iki evre halinde sınıflandırdılar. Yazarlar tozun fiziksel özelliklerinin araştırma zorluklarının bir parçası olduğunu ve karakterize edilmelerinin gerektiğini iddia ettiler [14].

Darwish ve arkadaşları, kollektörlerin kirlenmesine neden olan parametrelerin, fotovoltaik kollektör performansına etkisini gözden geçirmiş ve araştırmıştır. Araştırmacılar doğal ve suni tozun fotovoltaik kollektör performansı üzerindeki etkisini inceledi. Yazarlar, fotovoltaik kollektör performansı üzerindeki kirlenici tipin etkisini araştırmaya ihtiyaç olduğunu iddia etmektedirler [15,16].

Sulaiman ve arkadaşları; çamurdan ve talktan oluşan suni tozun fotovoltaik kollektör performansı üzerindeki etkisini araştırdı [17].

Chaichan ve arkadaşları; hava kirliliği ve tozunun fotovoltaik kollektör performansına etkisini değerlendirmek için pratik bir araştırma yapmıştır. Sonuçlar toz-hava kirlenmelerinin bir kombinasyonunun fotovoltaik kollektör performansını kötüleştirdiğini göstermişlerdir [18].

Klugmann-Radziemska Polonya'daki fotovoltaik kollektörlerin elektriksel performansındaki bozulmayı inceledi. Akım, gerilim özelliklerini toz tabakası kalınlığına göre incelenmiştir [19].

Sayyah ve arkadaşları; tozun güneş fotovoltaik kollektör enerji verimi üzerindeki etkisini incelemiş ve araştırmıştır. Kullanılan güneş kollektörünün türüne, yerel iklim, coğrafi konuma ve kollektörlerin herhangi bir elle temizleme yokluğunda maruz kaldığı performans düşüşü tartışılmıştır [20].

Jiang ve arkadaşları; bir test odası ve bir güneş simülatörü kullanarak çeşitli fotovoltaik modül dizileri türlerinde toz birikimine bağlı verimlilik düşüşünü araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır [21].

Biryukov, Niknia ve arkadaşları, Kaldellis ve arkadaşları, Cabanillas ve Munguia, Rahman ve arkadaşları, Kaldellis ve Kapsali, Appels ve arkadaşları, Massi Pavan ve arkadaşları, Sanusi, Kumar ve arkadaşları, Al-Ammri ve arkadaşları, Adinoyi ve Said, Qasem ve diğerleri, Sueto ve diğerleri, Said ve Walwil, Rifai ve diğerleri, Sarver ve diğerleri; fotovoltaiklerin üzerindeki tozun fiziksel özelliklerinin panel performansını ne derecede etkilediği sorusuna cevap aramışlardır [22-40].

Bu bilgilerin ışığında ve literatür araştırmalarında çalışmalar toz, kum ve yapay kirleticilerin fotovoltaiik kollektörler üzerinde ne oranda g kaybına neden olduğuna yöneliktir. Güneş pillerinin herhangi bir şekilde hasar görmesi (izik, kırılma, sıcak ve soğuk ortam değişikliği, çatlak vb) nedenlerle oluşan hasarlarda hücrelerde g üretiminin ne oranda kayba uğradığı ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Literatür taramalarında yapılan araştırmalarda böyle bir çalışma yoktur. Bu özelliği ile çalışma yeni bir çalışma olmaktadır.



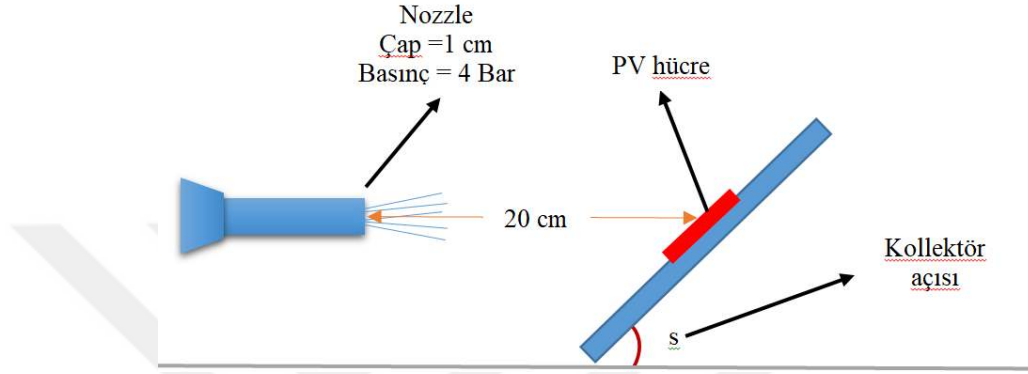
2. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada; hatalı temizleme sonrası oluşan hasarın, rüzgarla taşınan tozun ve güneş camındaki sıcaklık değişiminin PV hücrenin verimliliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Birçok güneş enerjisi santrali incelendiğinde, bu parametrelerin PV hücre verimliliği üzerinde oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. PV kollektörlerin çalışma ömrü 20 ile 30 yıl arasındadır. Ayrıca fotovoltaiğin çalışma ömrü çalışma koşullarına bağlıdır. Genel olarak, PV kollektörler çalışanlar tarafından haftada bir kez temizlenir. PV kollektörlerin çalışma ömrü 25 olarak kabul edilirse kollektörler 1300 kez temizlenmiş olur [41,42]. Bu süre zarfında hatalı temizleme yöntemlerinin seçilmesi, uygun olmayan temizleyici madde ve kimyasalların kullanılması, PV kollektörlerin yüzeyine zarar verebilir ve PV hücrenin verimliliğini etkileyebilir.

Bu tez çalışmasında; PV hücrenin yüzey temizliği, kullanılan kimyasal malzemeler ve kullanılan araçlar olarak iki kısımda sınıflandırılıp, deneylerdeki bu numuneler öncesi ve sonrası kavramlarına göre oluşturuldu. PV kollektörlerin yüzey temizliğinde kullanılan kimyasallar deterjan, şebeke suyu, saf su ve sıvı sabundur. PV kollektörlerin yüzey temizliğinde kullanılan araçlar cam jileti, çek çek, güderi, pelüş ve süngerdir. Temizleme işleminde kullanılan kimyasallar ve araçlar hücre yüzeyine uygulandı. Verimlilik parametresi, elektriksel özellikleri ve termodinamik performansı belirlemek için aynı ve homojen özelliklere sahip numunelerin deneysel ölçümleri yapıldı. Temizlemede kullanılan kimyasallar iyi durulama yapılmazsa yüzeyde kalıntı bırakabilir. PV hücrelerin yüzeyine deterjan, şebeke suyu, saf su ve sıvı sabun püskürtüldü ve bu kimyasalların PV hücre üzerindeki kalıntıları gözlemlendi. PV kollektörlerin yüzeyinde biriken toz toplanıp bu toz ile çamurlu su hazırlandı. Numuneler bu çamurlu suda, cam jileti, çek çek, güderi, pelüş, ve sünger kullanarak temizlenmeye çalışıldı. Şimdiye kadar açıklanan bölüm, kollektör temizliği ile ilgili deney sürecidir.

Toz birikiminin kollektör yüzeyine olan etkisi üzerine çok fazla araştırma yapılmıştır. Ancak literatürde tozun kollektör üzerinde oluşturmuş olduğu hasarla ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin kurulu olduğu birçok yerde ciddi rüzgar hızı değerleri görülür. Hızı yüksek olan rüzgarın taşıdığı hız kollektör yüzeyine yüksek hızda çarpabilir. Bu olay PV kollektörün yüzeyine ciddi bir şekilde zarar verebilir.

Genel olarak, güneş enerjisi sistemleri tarım için uygun olmayan kırsal alanlarda kurulmuştur. Bu bölgelerde rüzgar hızını azaltan faktörler bulunmadığı için rüzgar hızı oldukça yüksektir. Türkiye’de en yüksek rüzgar hızı 1978’de 176 km/sa olarak ölçüldü [43]. Bu tez çalışmasında ortalama rüzgar hızı 28 km/sa olarak belirlendi ve rüzgarla taşınan tozun neden olduğu hasarı belirlemek için kurulmuş deney düzeneği Şekil 2.1’ gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Rüzgarla taşınan tozun hasarı için deneysel kurulum [44]

Bu deneyde rüzgar hızı, nozzle ile PV hücre arasındaki mesafe, toz miktarı gibi tüm değişkenler sabittir. Sadece kollektör açısı 90°, 80°, 70°, 60°, 50°, 40°, 30°, 20° olarak değiştirilmiş ve PV hücre numunelerinin yüzeyinde oluşan toz hasarı gözlemlenmiştir. Püskürtme işleminde kullanılan toz cam kumudur. Cam kumu piyasada cam taneciği ve ya cam tozu olarak da bilinir. Hava basınçlı kumlama sistemlerinde kullanılması daha uygundur. Uygulamalarda kullanılan cam kumu tüketim sonrası yüzde yüz geri dönüşümlü olup şişe camdan imal edilmiştir. Çok küçük parçacıklara sahip olup kullanılan uygulamalarda daha beyaz daha temiz bir sonuç verir. Kırılmış camdaki köşeli parçacıklar, baskı yüzeyinin oluşturulmasına ve boya , alkid, epoksi, poliüre vinil, elastomer, kömür katranı gibi kaplamaların çıkarılmasına izin verir. Tablo 2.1 cam kumunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini göstermektedir. Cam kumunun fotoğrafı Şekil 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Cam Kum fiziksel ve kimyasal özellikleri [45]

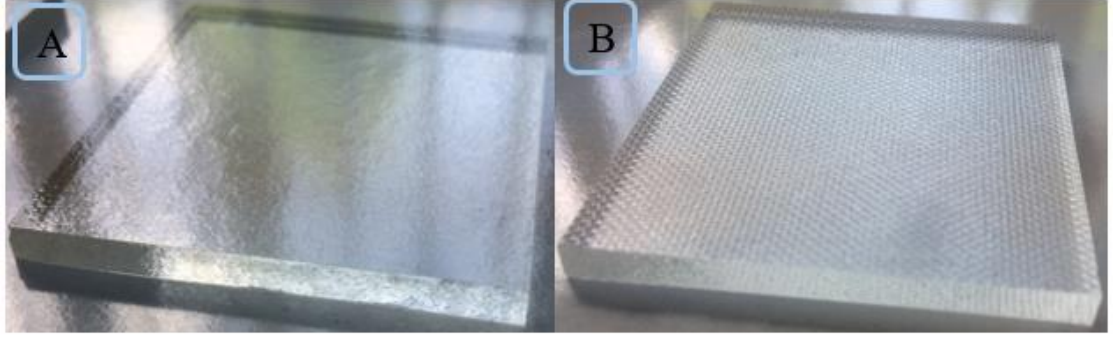
CAM KUMU SARF MALZEMESİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Özgül Ağırlığı	2,45 g/cm ³
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Dökme Yoğunluğu	1,50 g/cm ³
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Sertliği	47 HRC
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Dayanımı	Düşük
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Serbest Akış Özelliği	% 97 minimum
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Nem Tutma Özelliği	Yüksek
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Radyoaktivite Özelliği	Yoktur
Cam Kumu Sarf Malzemesinin Manyetiklik Özelliği	Yoktur
CAM KUMU SARF MALZEMESİNİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	
SiO ₂ >% 65	Cam Kumu oksijenle reaksiyona girmez.
Al ₂ O ₃ : % 0,5-2	Cam Kumu serbest silika içermez
CaO: %8-11	Cam Kumu inert yapıya sahiptir.
MgO : % 3-5	Cam Kumu korozyona neden olmaz.
Fe ₂ O ₃ < % 0,2	Cam Kumu yanıcı değildir.
K ₂ O < %1,5	Cam Kumu kanserojen madde içermez.
Na ₂ O : %13-15	
CAM KUMU SARF MALZEMESİNİN BOYUTLARI	
Grade C	310-400 mikron arasındaki cam kumu taneciklerini içerir.



Şekil 2.2. Cam kumunun görünümü [45]

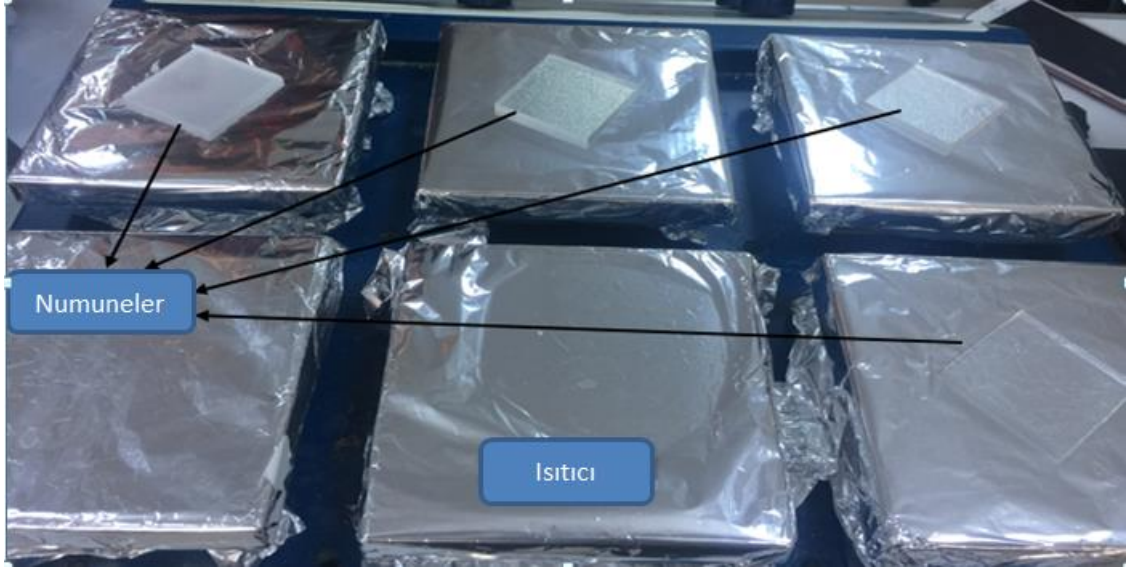
Güneş camındaki sıcaklık değişimi hücre verimliliğini etkiler. Güneş camına uygulanan sıcak-soğuk testlerin amacı, güneş camının genleşip büzülmesinin etkisini belirlemektir. Çünkü bu etkiler PV hücresinde ve güneş camında mikroçatlaklar meydana getirebilir. Türkiye’de en yüksek sıcaklık 1961’de 49°C, en düşük sıcaklık 1990’da -46.4°C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık değişimleri, iklim olarak soğuk olan bölgelere

kurulan güneş enerjisi santrallerinde meydana gelebilir. Ayrıca iklim değişikliklerinin de önemli bir faktör olduğu düşünülmelidir. Bulutlu ve soğuk bir yerde bulunan PV hücrelerinin sıcaklığı çok düşebilir hava koşullarına ve güneş açısına göre, güneş ışınları PV hücresinin yüzeyine çarpıp birden sıcaklık çok yükselebilir. Bu durumda PV hücresinin sıcaklığı çok düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklık değerine ulaşır. Yaz aylarında PV hücresinin sıcaklığı 75°C'den yüksek olabilir. Bu açıdan bir deney düzeneği oluşturuldu. Güneş camı numuneleri sıvı azot içerisine daldırıldı. Güneş camının sıcaklığı -50°C'ye düşürüldü. Daha sonra numuneler bir anda 50°C'deki sıcak suya daldırıldı. Soğukluk sıcaklığı -50°C'de sabit tutularak, numuneler 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C sıcaklık değerlerine getirilerek gerekli ölçümler yapıldı. Güneş camının kalitesi çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından belirlenir. Güneş camı, bu kurumlar tarafından yapılan ölçümlerden elde edilen değerlere göre sertifikalandırılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan deneylere göre cam verim parametresini gösteren sembollerle ifade edilir. Güneş camı iki başlık altında incelenmiştir. Bunlar güneş enerjisi kollektörlerinde kullanılan güneş camı ve fotovoltaik hücrelerde kullanılan güneş camıdır. Güneş ısı kollektörlerinde kullanım için tercih edilen güneş camının verimlilik değerleri, geçirgenlik hızına ve güneş camına uygulanan işleme göre sınıflandırılır. Benzer şekilde, PV hücrelerinde kullanılan güneş camı ışık geçirgenliğine göre sınıflandırılmıştır. PV hücrelerde kullanılan güneş camının sınıflandırılma değerleri P1, P2, P3, P4'tür. P1 sınıfındaki güneş camının verimliliği $\geq 0,94$ 'tür. Diğer sınıflandırma sınıfları P2, P3, P4 olup verimlilik değerleri sırasıyla $\geq 0,925$, $\geq 0,91$ ve $\geq 0,895$ 'tir [46]. Deneylerde kullanılan güneş camı derecesi (SPF) P1'dir. Bu tez çalışmasında deneylerde iki tip güneş camı kullanılıp ve bunlar A ve B olarak adlandırıldı. A numunesinin ışık geçirgenliği %91,8, B numunesinin ışık geçirgenliği %91'dir [47,48]. A ve B numunelerinin yüzey şekilleri farklı olup diğer özellikleri benzerdir. Bu özellikler demir oranı, kalınlık, kalınlık toleransı, yoğunluk, yüzey işleme, temper bilgisi ve sıcaklık direncidir. Camdaki demir oksit oranı arttığı zaman, camın geçirgenlik oranı azalır. Bu nedenle, genel olarak demir oksit oranının 0.05'ten az olması istenir [49]. Her iki güneş camı numunesinin kalınlığı 4 mm'dir. Kalınlık toleransı, yoğunluk, yüzey işleme, temper bilgisi ve sıcaklık direnci sırasıyla ± 0.2 mm, 2.5 gr/cm^3 , desenli, temperli, 250°C'dir. Deneylerde kullanılan güneş camı numunelerinin fotoğrafları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Örnekler (A) ve (B) [50]

Deneylelerden önce güneş camı numuneleri üzerinde çeşitli ölçümler yapılmıştır. İşlem görmemiş güneş camına referans güneş camı denir ve elde edilen değerlerde referans değerler olarak ifade edilir. Referans değerleri elde etmenin amacı, cam numunelere uygulanacak sıcak-soğuk testinden sonra yapılan ölçümlerden elde edilen verileri karşılaştırmaktır. Bu nedenle sıcak-soğuk testinden sonra cam verimi, hücre verimi ve diğer parametreler ölçülmüştür. Şekil 2.4 deneylerin görüntüsünü gösterir.



Şekil 2.4. Deneylerin görüntüsü [50]

Fotovoltaik hücrelerde kullanılan güneş camı temperlenmiştir. Temperleme işlemi camın dayanımını artırmak için yapılan bir işlemdir. Temperleme işlemi camın mekanik yüklerle, yüksek sıcaklıklara ve ani sıcaklık değişimlerine karşı direncini artırır. Fotovoltaik hücrelerde kullanılan güneş camının birçok özelliğe sahip olması beklenmektedir. Güneş camı kullanımının temel amacı, güneş hücresini çevresel koşullardan korumaktır. Bu

açından fotovoltaik hücrelerde kullanılan güneş camı, yüksek sıcaklıklara dayanabilen ultraviyole güneş ışınlarından etkilenmeyen ucuz ve kolay tedarik edilebilir olmalıdır [49]. Deneylerde referans olan güneş camı güneş hücresine bırakılıp güneş simülatöründe ölçümler yapıldı. Deneylerde sadece güneş camı değiştirildi ve tüm numuneler için güneş simülatörünün farklı güneş ışıınım değęerleri için ölçümler yapıldı.

Tüm deneylerde ölçümler FYTRONIX 7000 elektronik cihaz karakterizasyon sistemi kullanılarak yapıldı. FYTRONIX şirketi tarafından üretilen cihazın modeli 7000-EDCS'dir. Cihazın teknik özellikleri DC akım voltajı (I-V) aralığı 100 pA- 10A ve Volt aralığı ± 50 V'dur. FYTRONIX 7000 güneş simülatörü, otomatik olarak 200-1000W/m² arasında değışen farklı güneş ışıınımları elde etmek için kullanıldı. Cihaz soğuk bir lambaya sahiptir ve AAA sınıfı güneş simülatörüdür. FYTRONIX 7000 EDCS sistemi tüm fotovoltaik karakteristikleri ve güneş pilinin parametrelerini otomatik olarak ölçer ve analiz eder. Deneylerde kullanılan güneş simülatörü şekil 2.5'te gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan güneş simülatörü ile farklı güneş ışıınım değęerleri için birçok parametre belirlenmiştir. Bu cihaz ile yapılan ölçümlerde; açık devre gerilimi, kısa devre akımı, maksimum gerilim, maksimum akım, doldurma faktörü, R_s (ohm), R_{sh} (ohm), R_{ch} (ohm) ve RR gibi parametreler belirlenmiştir. Güneş ışıınım değęerleri 200-400-600-800-1000 W/m²'dir [44].



Şekil 2.5. Deneylerde kullanılan güneş simülatörü

Rüzgar-toz deneylerinde kullanılan hücrelere toz parçacıklarının, homojen ve dengeli bir şekilde dağılması için, kım püskürtme kabini kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, yüksek eğim açılarında çarpma etkisiyle kum parçacıklarının verimde önemli bir düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sırasında PV hücrelerinde homojen kumlama sağlamak için metal parçaların temizliğinde kullanılan özel bir cihaz kullanıldı. Bu amaçla kullanılan cihaz, saykar firmasının SK-1400 ürünüdür. Cihaza yerleştirilen hücreler 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90° eğim açısında tutuldu ve iki dakika boyunca ince cam kumu püskürtüldü. Hava basınçlı kumlama sistemlerinde kullanılan malzeme C sınıfı 310-400 mikron cam tanecikli parçacıklardır. Kum püskürtme kabinine ait resim Şekil 2.6’da gösterilmiştir [45].



Şekil 2.6. Kum püskürtme kabini [45]

Kum püskürtmeden sonra Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanılarak fotoğraflama yapıldı. Cihaza ait resim Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Atomik Kuvvet Mikroskobu XE-100E (Park Sistemi)

Deneyleerde kullanılan güneş camı numunelerinin absorbans, geçirgenlik ve yansıtma özellikleri UV-3600 Spektrofometre kullanılarak ölçülmüştür. Absorbans güneş camının kendi içinde güneş ışınımı emdiğini gösterir. Geçirgenlik güneş camına gelen ışığın ne kadarının içinden geçtiğini gösteren bir parametredir. Yansıtma güneş camına gelen ışığın ne kadarının camdan yansıdığını gösterir [50].

Deneyleerde kullanılan PV hücrenin teknik özellikleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

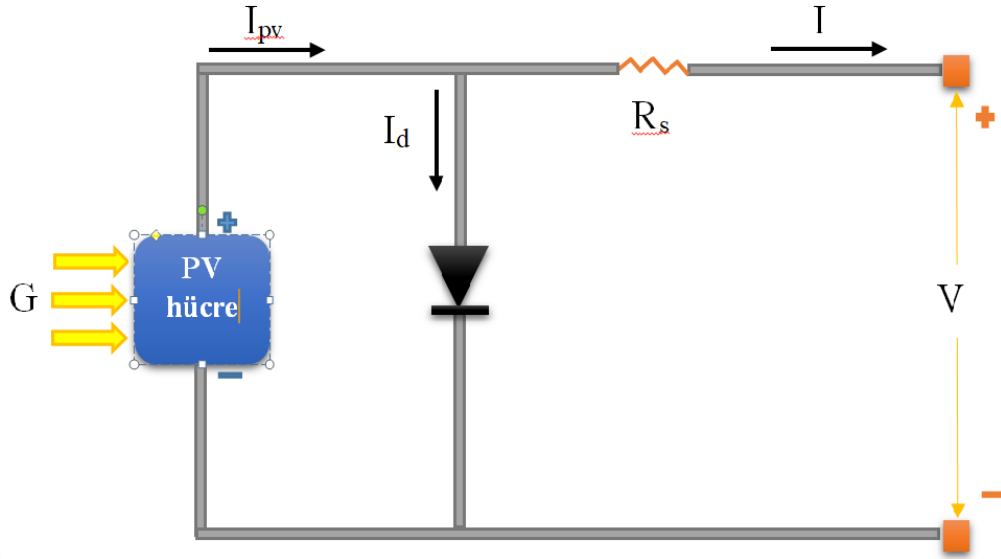
Tablo 2.2. PV hücrenin teknik özellikleri [44]

Hücre verimliliği (%)	$2 < \eta_{en} < 2.62$
En yüksek güç çıkışı (mW)	$0.013 < P_{max} < 0.019$
PV hücre malzemesi	Amorf silikon PV hücresi
Boyut (mm)	30x37x3

PV hücrenin verimlilik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ve modeller aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır.

2.1. Tek diyot R_s – Model

Literatürde farklı devre modelleri bulunabilir. Bu modellerden bazıları ideal tek diyot modeli, tek diyot R_s modeli, tek diyot R_p modeli ve iki diyot modelidir [44]. Bu çalışmada tek diyot R_s modeli düşünülmüş ve model Şekil 2.8’de gösterilmiştir [43].



Şekil 2.8. Tekli diyot R_s - model [44]

Tek diyot R_s modeli ile tek diyot R_p modeli arasındaki fark, tek diyotlu R_p modelin hücre sıcaklığı değerine göre daha hassas olmasıdır [43]. Bu tez çalışmasında hücre sıcaklığının etkisi göz altına alınmadı. Çünkü literatürde farklı hücre sıcaklıkları üzerine birçok çalışma yapılmış ve PV hücrelerin soğutulması durumunda, PV hücre verimindeki değişme ve elektriksel karakteristik değerleri araştırmacılar tarafından incelenmiştir [43]. Denklem 1 PV hücrenin elektriksel özelliklerini belirlemek için kullanılır [10].

$$I = I_{pv} - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{akT} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

Burada I_{pv} fotoakımıdır, I_0 doygunluk akımı, a diyot idealite faktörü ve R_s , V , T ve q sırasıyla seri direnç, gerilim, sıcaklık, elektron yükü ($1.60217646 \times 10^{-19}$ C) ve k boltzmann sabiti ($-1.380653 \times 10^{-23}$ J / K)'dir.

PV hücrenin I-V karakteristikleri denklem 2'de gösterilmiştir [51].

$$V_{oc} = \left(a \frac{kT}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} \right) \quad (2)$$

Burada I_{sc} kısa devre akımı, V_{oc} açık devre voltajıdır. Deneyler 200, 400, 600, 800, 1000 W/m^2 olan farklı güneş ışınlarında gerçekleştirildi.

2.2. PV Hücrenin Verimlilik Parametreleri İçin Metodoloji

PV hücrenin verimlilik parametreleri, güneş ışıyım enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yeteneğinin bir göstergesidir. Bu açıdan PV hücrenin verimlilik parametreleri için enerji ve ekserji verimlilik parametreleri düşünülebilir. PV hücrenin sıcaklığı tüm deneylerde sabit 25°C 'de tutuldu. Denklem 3 PV hücrenin enerji verimliliğini belirlemek için kullanılabilir [43].

$$\eta_{en} = \frac{I_{sc} V_{oc}}{GA} \quad (3)$$

G güneş yoğunluğu, A PV hücrenin aydınlatılmış alanını gösterir. Ekserji verimliliğinin hesaplanmasında maksimum akım ve gerilim dikkate alınmalıdır. Ayrıca güneş yoğunluğunun ekserji değeri de belirlenmelidir. PV hücrenin ekserji verimliliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\eta_{ex} = \frac{I_{max} V_{max}}{G_{ex} A} \quad (4)$$

G_{ex} güneş yoğunluğunun ekserjisi denklem 5 tarafından gösterilir.

$$G_{ex} = \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right) \right) G \quad (5)$$

T ortamın ve güneş yüzeyinin sıcaklığını sembolize eder. Güneşin sıcaklığı 5600 K [10].

Maksimum güç çıkışı denklem 6 kullanılarak hesaplanır [52,53].

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (6)$$

FF doldurma faktörüdür ve önemli performans göstergelerinden biridir [4].

$$FF = \frac{I_{max} V_{max}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (7)$$

Birçok çalışmada, güç dönüşüm verimliliği göz önünde bulundurulur çünkü direnç açısından maksimum erişilebilir elektriksel gücü belirtir.

Güç dönüşüm verimliliği denklem 8 kullanılarak hesaplanır [4].

$$\eta_{pc} = \frac{\int_0^{V_{oc}} I(V) dV}{GA_{pv}} \quad (8)$$

Analiz ve testlerden elde edilen sonuçlar bu çalışmanın bulgular ve tartışma bölümündedir.



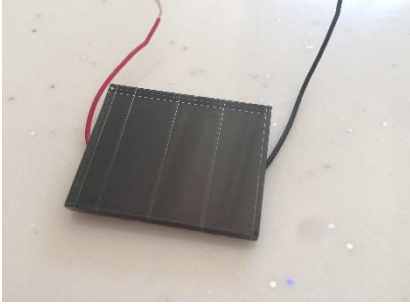
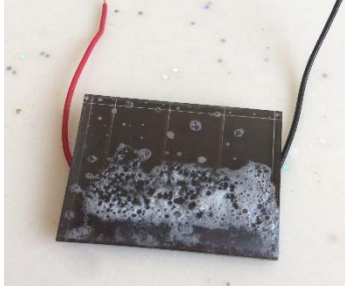
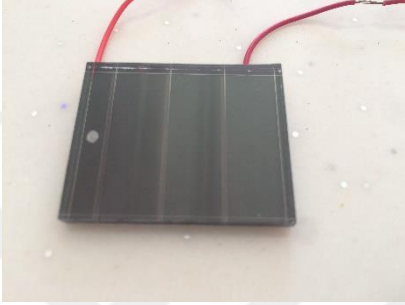
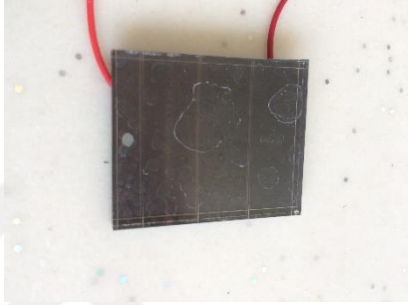
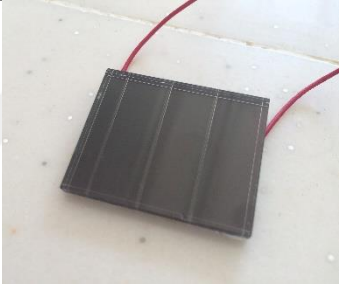
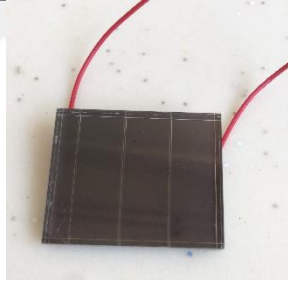
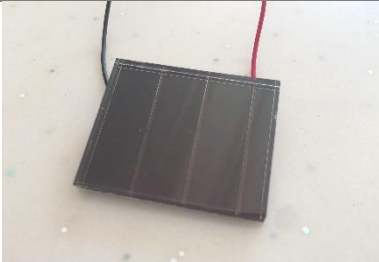
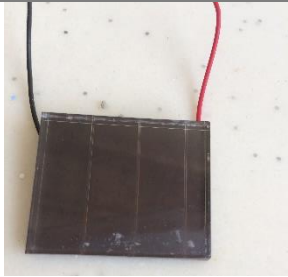
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada; temizleme işlemi, rüzgarla taşınan tozun hasarı ve güneş camındaki sıcak-soğuk farklılıklarının enerji, ekserji ve güç dönüşümü verim parametrelerine olan etkisi , I-V ve P-V grafikleri incelenmiştir. Analizden elde edilen sonuçlar temizlik, rüzgar-toz ve sıcak-soğuk olmak üzere üç alt başlıkta incelendi. Öncelikle PV hücre örneklerinin fotoğrafları gösterilip, verimlilik parametrelerinin grafikleri öncesi-sonrası kavramlarına göre sunulduktan sonra malzemenin yapısında meydana gelen mikroçatlaklar gösterilmiştir. I-V ve P-V grafikleride ekte bulunmaktadır.

3.1.Temizleme İşlemi

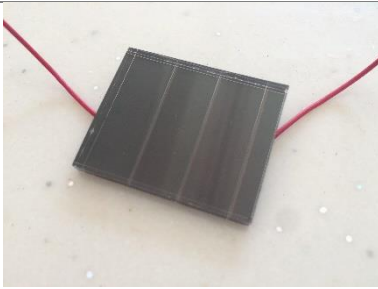
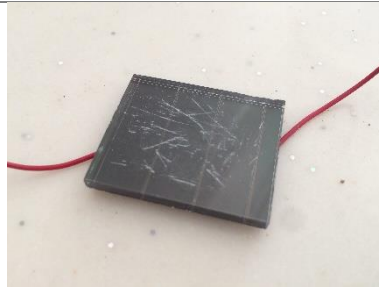
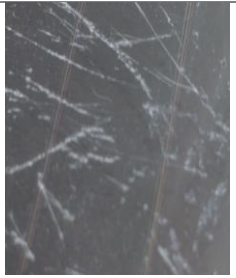
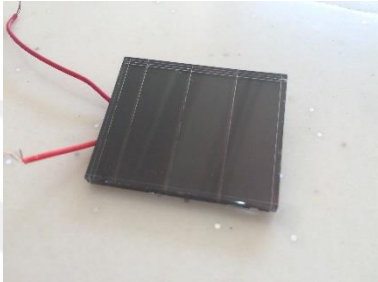
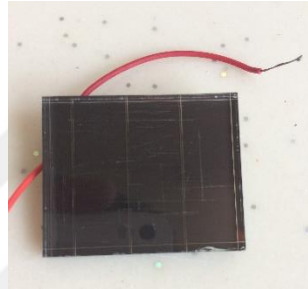
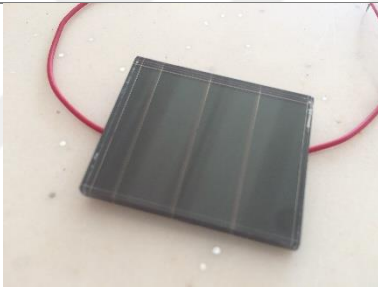
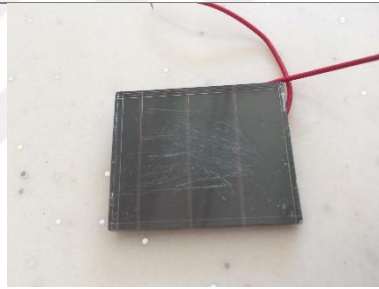
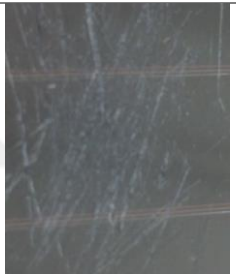
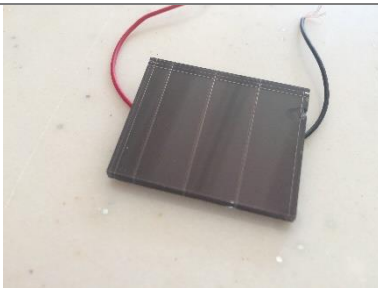
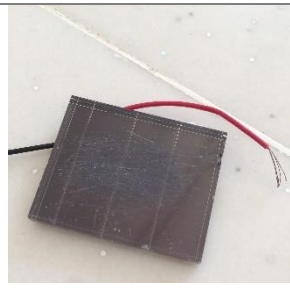
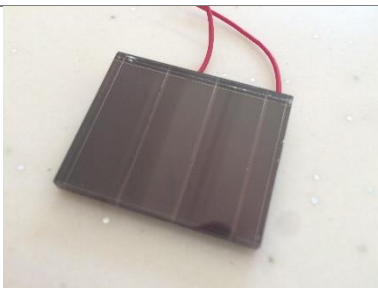
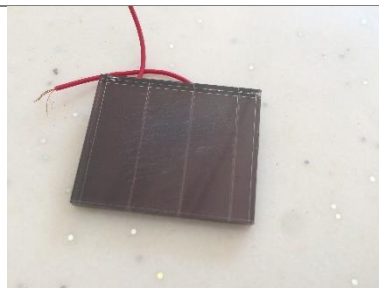
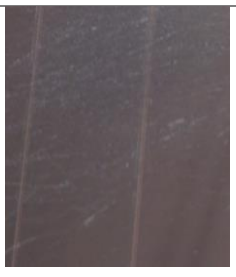
PV'lerin kurulu olduğu güneş enerjisi sistemleri, endüstriyel kuruluşların çatı bölümüne monte edilir ve endüstriyel atıklar, kollektörlerin yüzeyini kirletir. Güneş enerjisi santralinin işletilmesi ve temizlenmesinden sorumlu olan personel temizlik işleminin nasıl doğru bir yöntemle yapılacağı bilgisine sahip değildir. PV kollektörlerin temizliği ile ilgili dikkate alınması gereken noktalar hakkında çok az bilgi ve tecrübeye sahip personel bulunmaktadır. Bu çalışmada PV hücrenin yüzey temizliği için kullanılan kimyasallar deterjan, şebeke suyu, saf su ve sıvı sabundur. Kullanılan araçlar cam jileti, çek çek, güderi, pelüş ve süngerdir. Deterjan birçok temizlik uygulamasında kullanılıp zor lekelerin ve kirlerin temizlenmesi için tercih edilir. Kuş dışkısı, yapışkan polen, ağaç reçinesi temizlenmesi zor olan farklı kimyasallar kollektör yüzeyinde birikebilir ve deterjan bu istenmeyen kirlerin temizlenmesi için kullanılır. Deterjanla temizlenen yüzey iyi durulanmadığı takdirde bu kimyasal atıklar yüzeyde birikir. Tablo 3.1 incelendiği zaman deterjan kalıntısı önceki ve sonraki kavramlarına göre yüzeyde görülür. Tablo 3.1 PV hücrenin temizlik uygulamalarında kullanılan kimyasalların kalıntılarını gösterir. Görüldüğü gibi yüzeyde kalıntı oluşturmadağı için saf su en iyi sonucu verir. Sıvı sabun kalıntı oluşturur. Şebeke suyu klor, kireç, tortu ve benzeri birçok madde içerir ve faz değişimi olduğu zaman kireç yüzeyde birikir. Bu artıklar güneş ışımasını engelleyip, PV hücrenin verimliliğinin olumsuz etkilenmesini sağlar.

Tablo 3.1.Temizlikte kullanılan kimyasalların hücre yüzeyindeki kalan kalıntıları [44]

Açıklama	Önce	Sonra
Deterjan		
Şebeke suyu		
Saf su		
Sıvı sabun		

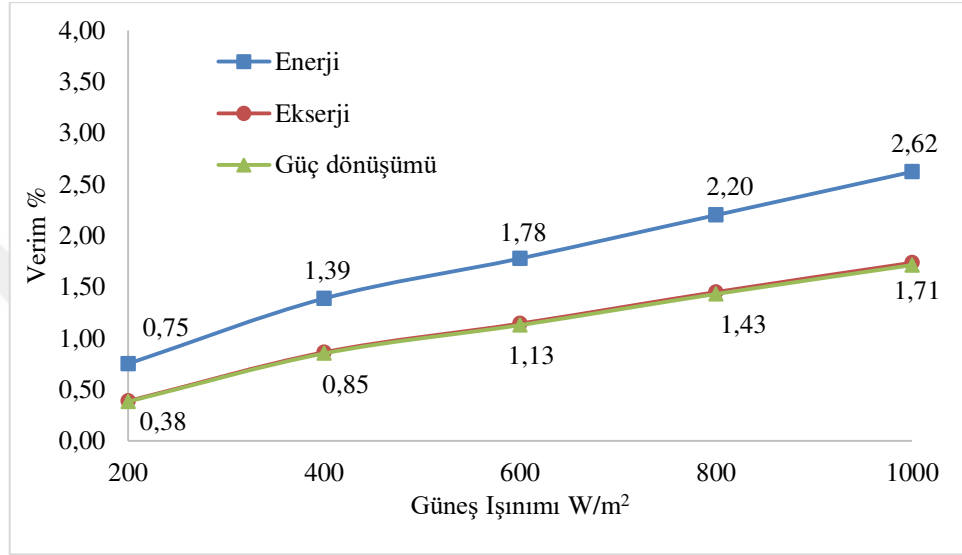
Tablo 3.2 PV hücrenin temizliği sırasında kullanılan araçların hasarını göstermektedir. Cam jileti, kuş pisliği gibi sert ve kuru pislikleri temizlemek için kullanılır. PV kollektörlerin yüzeyinde biriken toz toplanıp bu tozla çamurlu su hazırlandı. Bu çamurlu suda; cam jileti, çek çek, güderi, pelüş ve sünger kullanılarak numunelere yapay deformasyon işlemi uygulandı. Temizleme işleminin sonunda yüzeydeki hasar Tablo 3.2’de görülebilir.

Tablo 3.2. Temizlik malzemelerinin numuneler üzerinde oluşturmuş olduğu hasar [44]

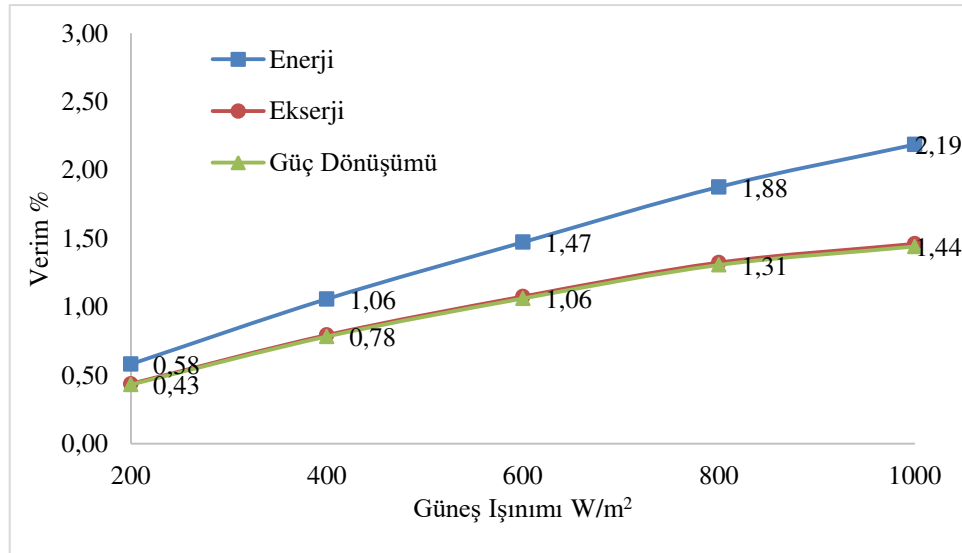
Açıklama	Önce	Sonra	Detay	
Cam jileti				
Çek çek				
Güderi				
Pelüş				
Sünger				

PV hücrenin çalıştırılması ve bakımı ile ilgili bilgiler broşürlerde olmalıdır. Bu broşürler işletme ve bakım bölümünde paylaşılmalıdır. PV hücrenin temizliği ile ilgili

bilgiler internette bulunabilir ancak PV üreticileri tarafından temizleme işlemi için verilen bilgiler daha güvenilir olacaktır. PV'lerin temizliğinde kullanılan kimyasalların ve araçların enerji, ekserji, güç dönüşüm verimleri öncesi ve sonrası kavramlarına göre verilmiştir. Şekil 3.1'de deterjan kullanımı öncesi Şekil 3.2'de deterjan kullanımı sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



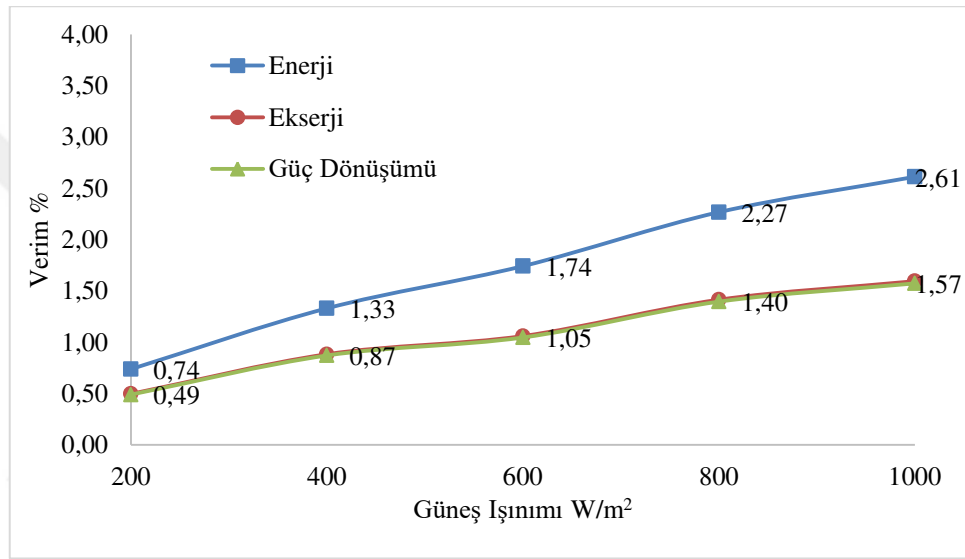
Şekil 3.1. Deterjan Kullanımı (Öncesi) [44]



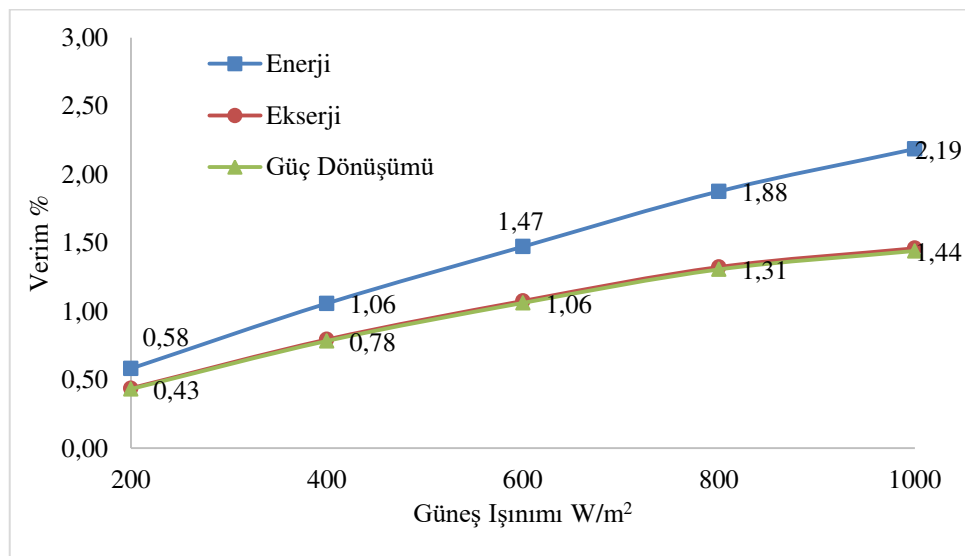
Şekil 3.2. Deterjan Kullanımı (Sonrası) [44]

Deterjan kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.62, % 1.74, % 1.71 olup deterjan kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 2.19, % 1.46, % 1.44'dür. Enerji verimliliği % 16.41, ekserji verimliliği % 16.09, güç dönüşüm verimliliği % 15.79 oranında azalmıştır. Tablo 3.1'de görülebileceği gibi yüzeydeki deterjanın oluşturmuş olduğu kalıntılar güneş ışığını önler ve ya yansıtır ve PV hücrenin verimlilik parametrelerini azaltır.

Şekil 3.3'de şebeke suyu kullanımı öncesi Şekil 3.3'de şebeke suyu kullanımı sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



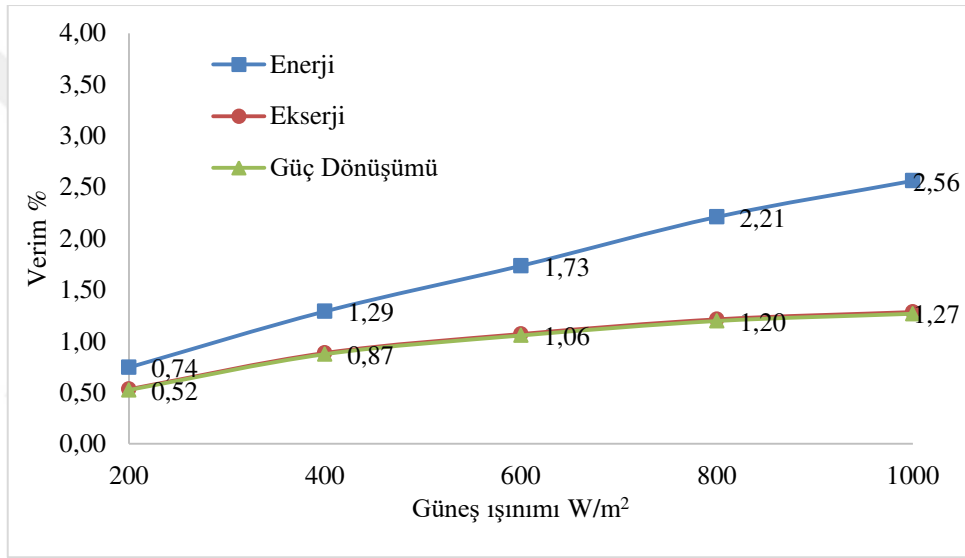
Şekil 3.3. Şebeke Suyu Kullanımı (Öncesi) [44]



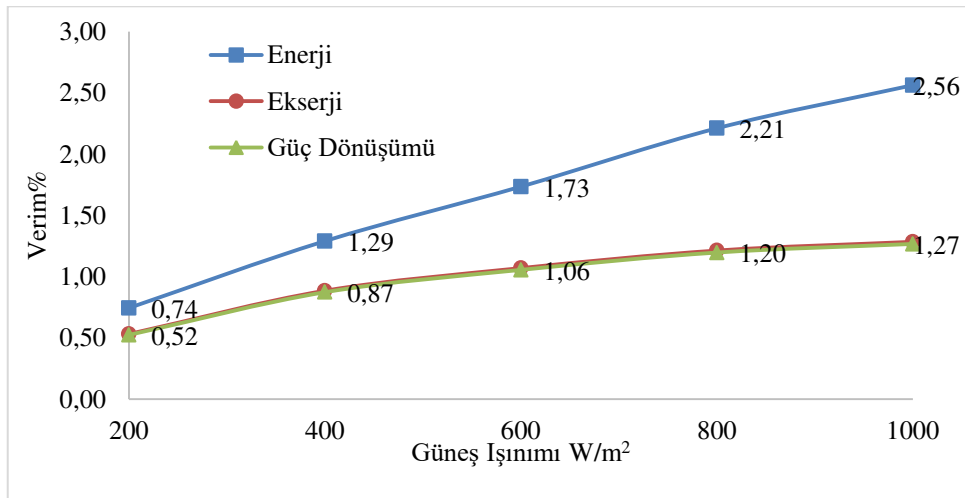
Şekil 3.4. Şebeke Suyu Kullanımı (Sonrası) [44]

Şebeke suyu kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.61, % 1.6, % 1.57 olup şebeke suyu kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 2.19, % 1.46, % 1.44'dür. Enerji verimliliği % 16.09, ekserji verimliliği % 8.75, güç dönüşüm verimliliği % 8.28 oranında azalmıştır. Şebeke suyu kullanımı için verimlilik parametreleri dikkate alındığında, şebeke suyunun PV hücre temizliği için uygun olmadığı söylenebilir. Çünkü şebeke suyu birçok bileşenden oluşur ve Tablo 3.1'de görüldüğü gibi yüzeyde artıklara neden olur. Bu durumda, bu artıklar verimlilik parametrelerini olumsuz etkilemektedir.

Şekil 3.5'de saf su kullanımı öncesi Şekil 3.6'da saf su kullanımı sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



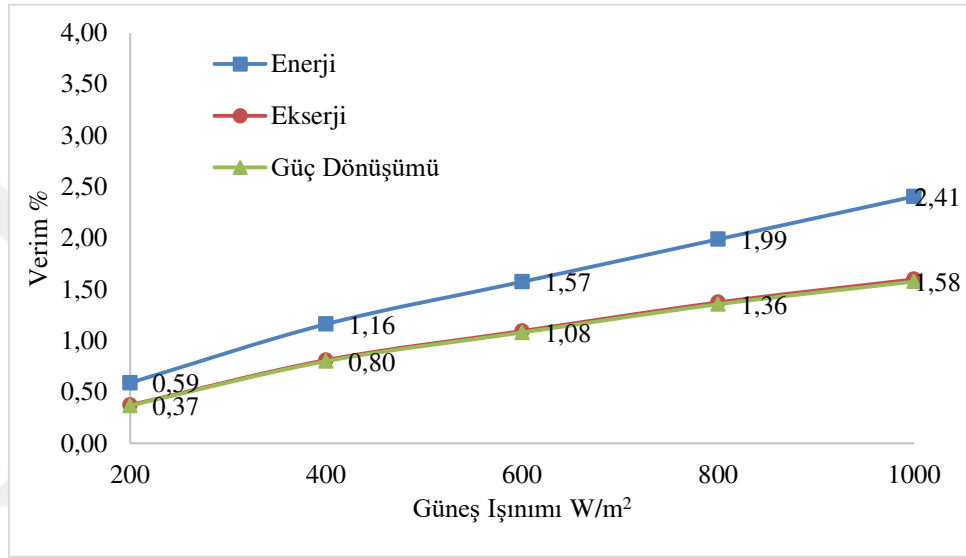
Şekil 3.5. Saf Su Kullanımı (Öncesi) [44]



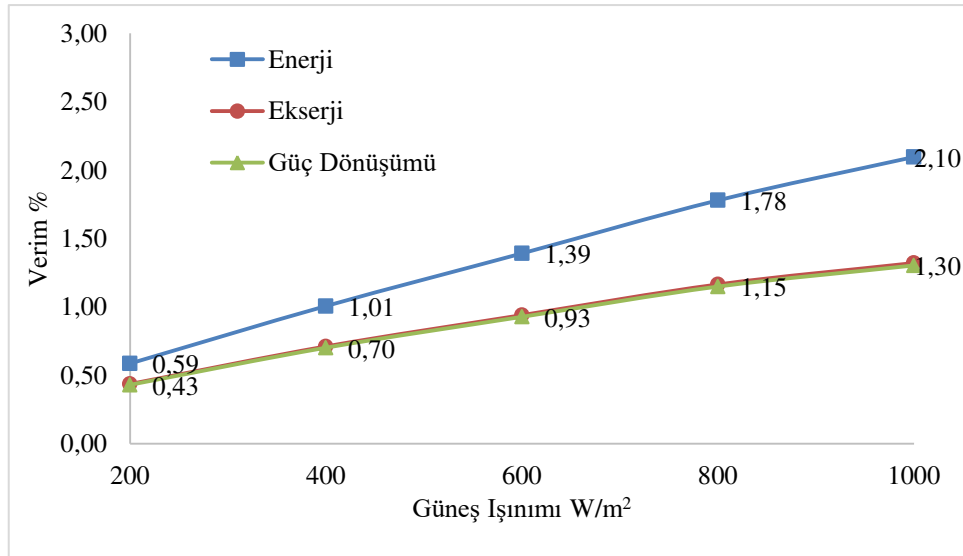
Şekil 3.6. Saf Su Kullanımı (Sonrası) [44]

Saf su kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.56, % 1.28, % 1.27 olup saf su kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 2.56, % 1.28, % 1.27'dir. Deney sonuçlarına göre saf sudaki enerji kaybı yoktur. Genel olarak, PV hücrenin temizlenmesi için saf su önerilmektedir. Çünkü herhangi bir içerik içermemektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar bu öneriyi desteklemektedir.

Şekil 3.7'de sıvı sabun kullanımı öncesi Şekil 3.8'de sıvı sabun kullanımı sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.7. Sıvı Sabun Kullanımı (Öncesi) [44]

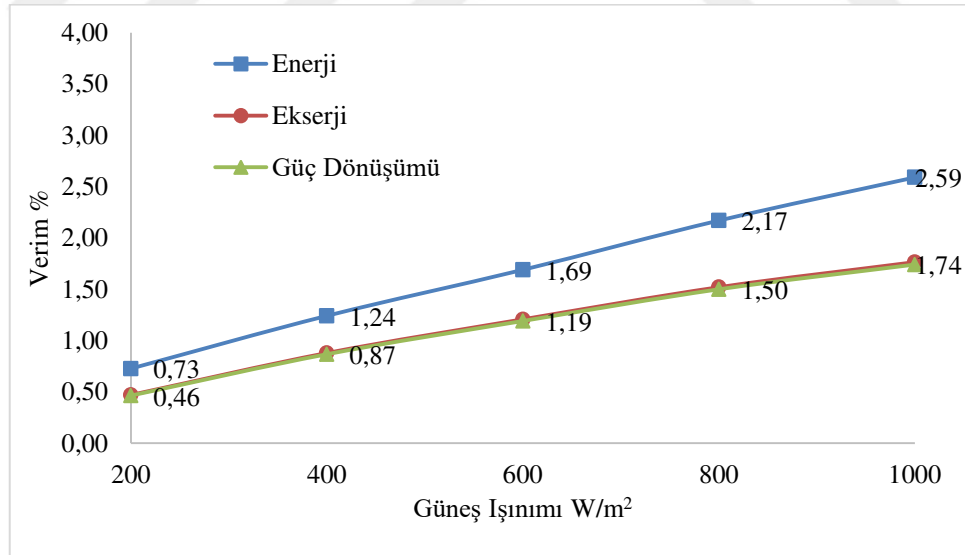


Şekil 3.8. Sıvı Sabun Kullanımı (Sonrası) [44]

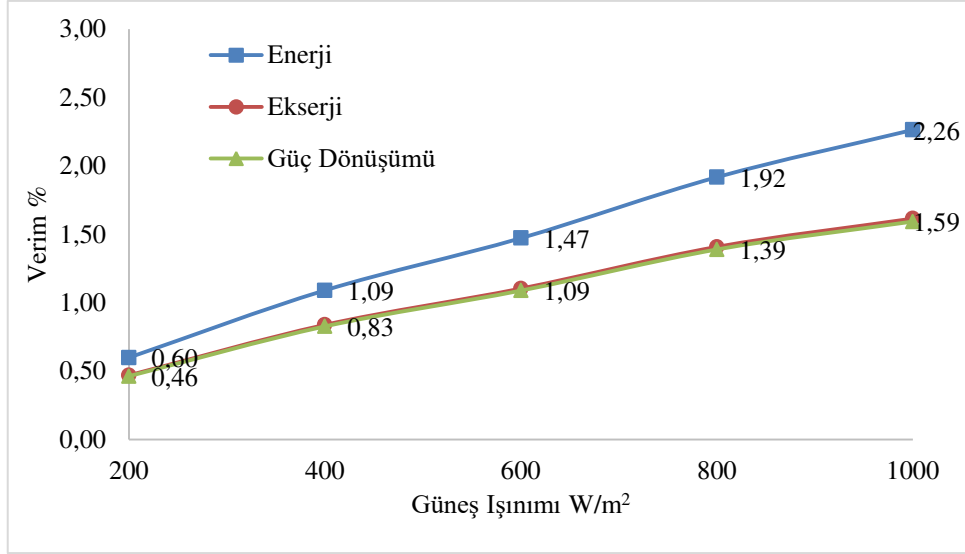
Sıvı sabun kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla %2.41, %1.6, %1.58 olup sıvı sabun kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla %2.1, %1.32, %1.3'dür. Enerji verimliliği %12.86, ekserji verimliliği %17.50, güç dönüşüm verimliliği %17.72 oranında azalmıştır. Bu durumda sıvı sabun PV hücre temizliği için uygun değildir. PV hücre üzerindeki yapışkan ve zor lekelerin temizlenmesi için bazı güneş enerjisi santrallerinde sıvı sabun kullanılır. Sıvı sabun seçilmesinin ana amacı, yüzeydeki zor lekelerin temizliği için bir çözücü olarak kullanılmasıdır. Lekelerde kullanılan diğer çözücüler ile sıvı sabun kıyaslandığı zaman, sıvı sabunun daha kolay temin edilir ve daha ucuzdur.

Yanlış temizleme araçlarının kullanılması ve temizleme aracı ile yüzey arasındaki toz çiziklere ve hasarlara neden olur. Bu çiziklik ve hasarlara, birçok yüzeyde rastlanmıştır. PV hücrenin temizleme işlemi için kullanılan aletler farklı amaçlarla kullanılır. Bunlardan bazıları çok nadiren kullanılır. Örneğin zor lekeler için cam jileti kullanılır. Bu aletler nadiren kullanılsa da yüzeye ciddi zarar verir.

Şekil 3.9'da cam jileti kullanımı öncesi Şekil 3.10'da cam jileti kullanımı sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



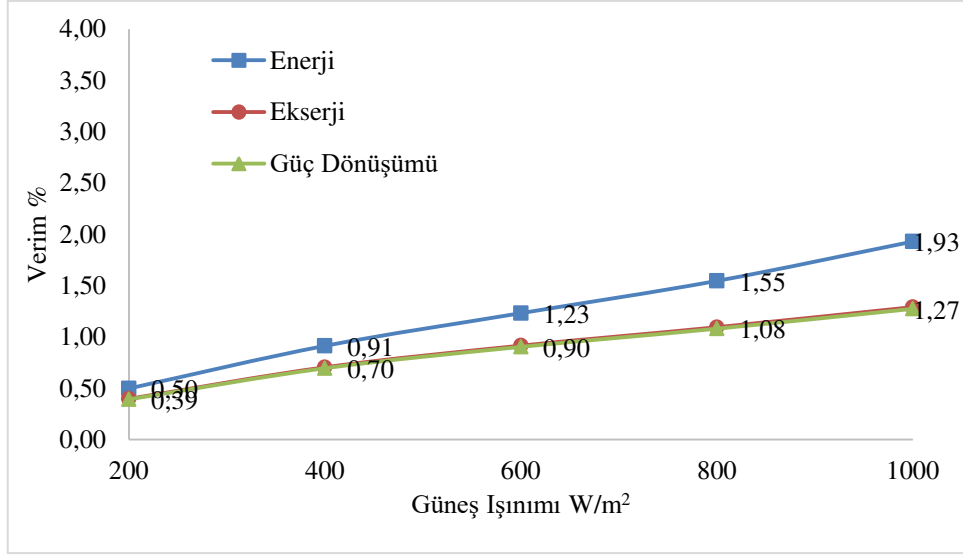
Şekil 3.9. Cam Jileti Kullanımı (Öncesi) [44]



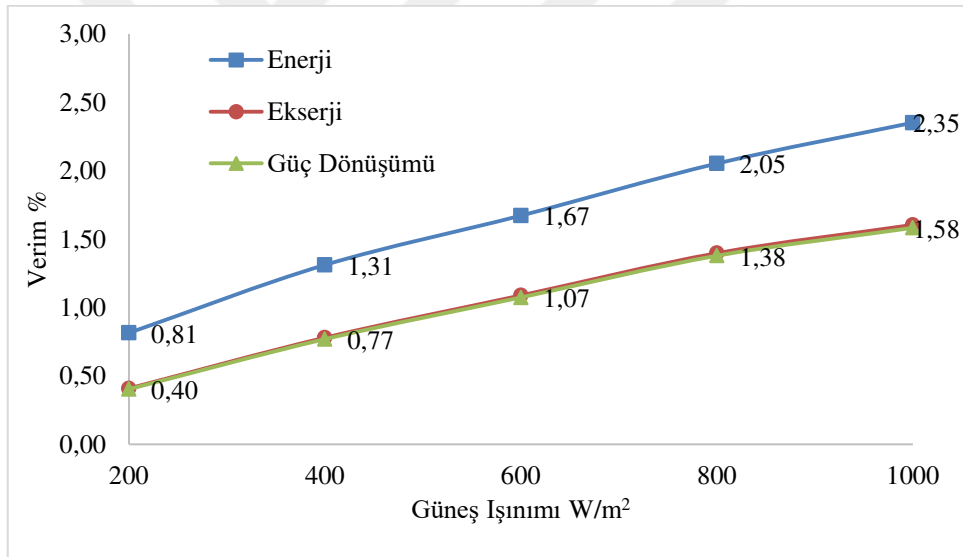
Şekil 3.10. Cam Jileti Kullanımı (Sonrası) [44]

Cam jileti kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.59, % 1.76, % 1.74 olup cam jileti kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 2.26, % 1.62, % 1.59'dur. Enerji verimliliği % 12.74, ekserji verimliliği % 7.95, güç dönüşüm verimliliği % 8.62 oranında azalmıştır. PV hücre üzerinde cam jileti kullanılması sonrası oluşan hasar Tablo 3.2'de görülmektedir. Cam jileti kullanılmasından kaynaklanan çizikliklerin enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği üzerindeki olumsuz etkisi de grafiklerde görülmektedir. PV hücre temizliği için cam jileti kullanmak uygun değildir ciddi verim kayıplarına neden olur.

Şekil 3.11'de çek çek kullanımı öncesi Şekil 3.12'de çek çek kullanımı sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



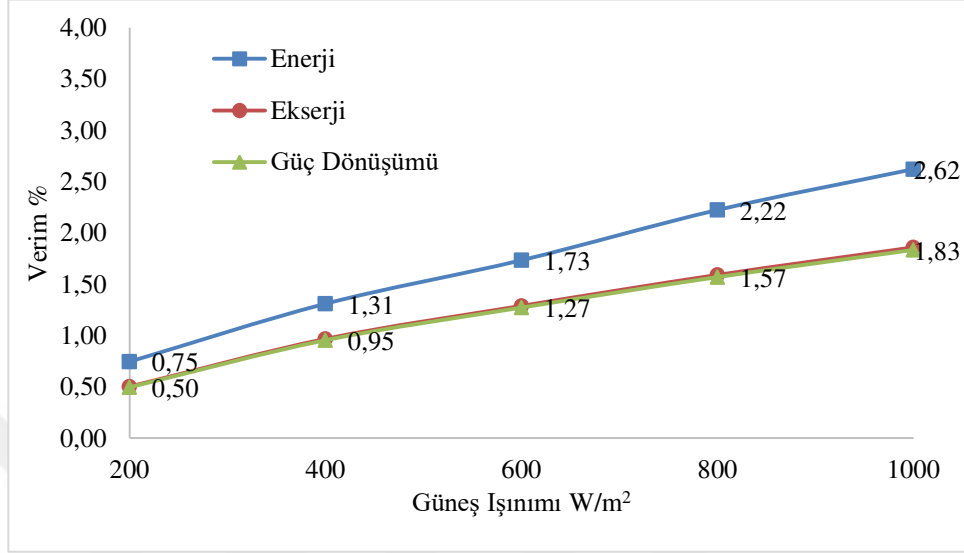
Şekil 3.11.Çek çek Kullanımı (Öncesi) [44]



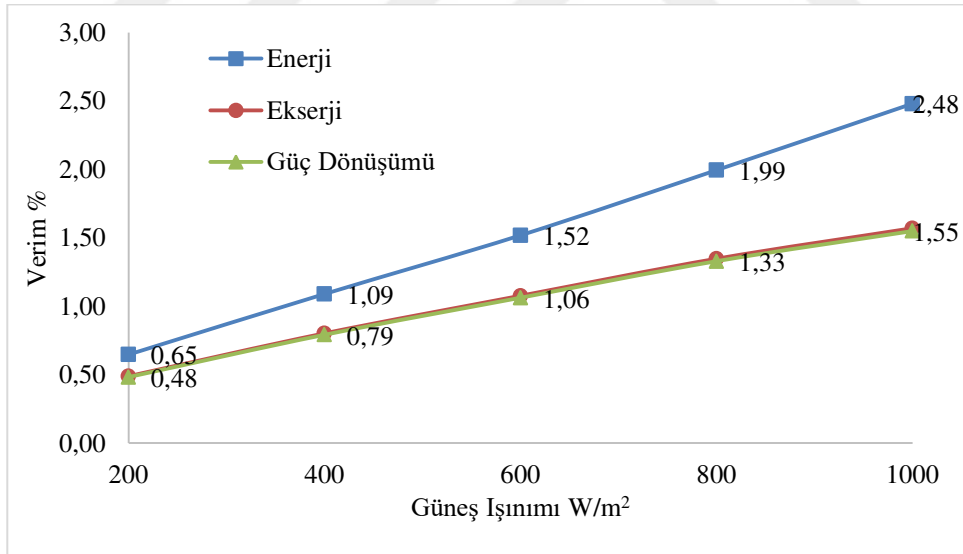
Şekil 3.12. Çek çek Kullanımı (Sonrası) [44]

Çek çek kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.35, % 1.6, % 1.58 olup çek çek kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 1.93, % 1.29, %1.27'dir. Enerji verimliliği % 17.87, ekserji verimliliği % 19.38, güç dönüşüm verimliliği % 19.62 oranında azalmıştır. Çek çek cam yüzeyleri temizlemek için en çok kullanılan araç olup durulama işlemi için kullanılır. Bu malzemenin kullanılması yüzeyde çizik oluşturduğu için verim parametrelerinin azalmasına neden olur.

Şekil 3.13’de güderi kullanımı öncesi Şekil 3.14’de güderi kullanımı sonrası enerji,ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



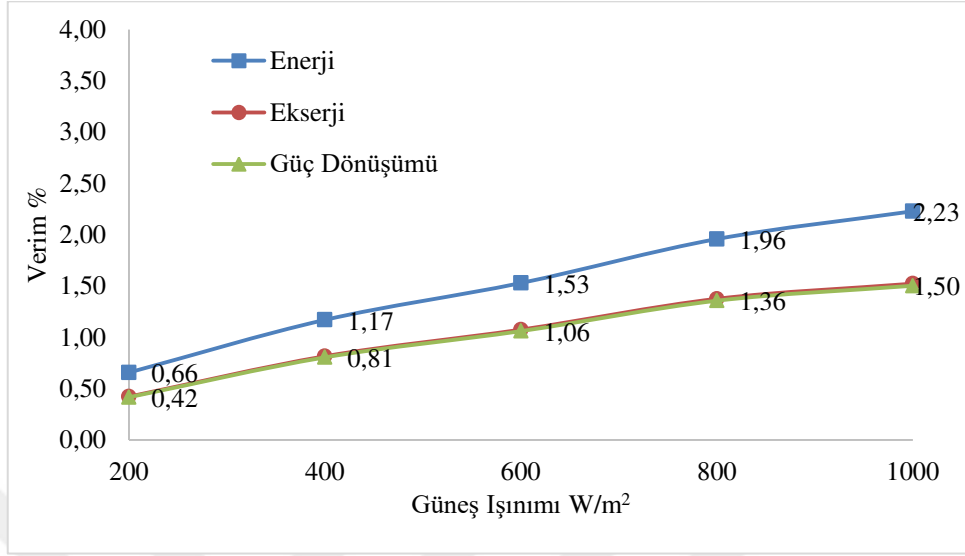
Şekil 3.13. Güderi Kullanımı (Öncesi) [44]



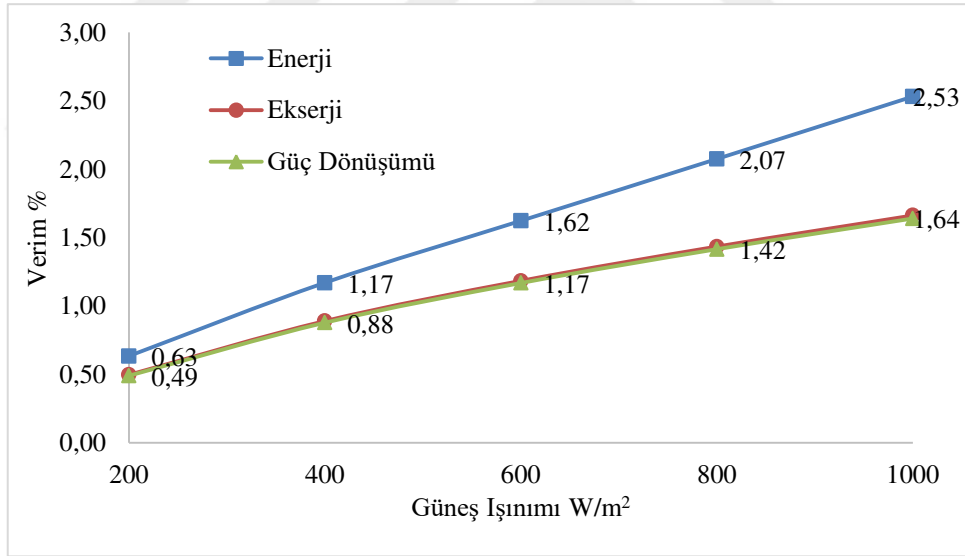
Şekil 3.14. Güderi Kullanımı (Sonrası) [44]

Güderi kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.62, % 1.86, % 1.83 olup güderi kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 2.48, % 1.57, % 1.55’dir. Enerji verimliliği % 5.34, ekserji verimliliği % 15.59, güç dönüşüm verimliliği % 15.3 oranında azalmıştır.

Şekil 3.15’de pelüş kullanımı öncesi Şekil 3.16’da pelüş kullanımı sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



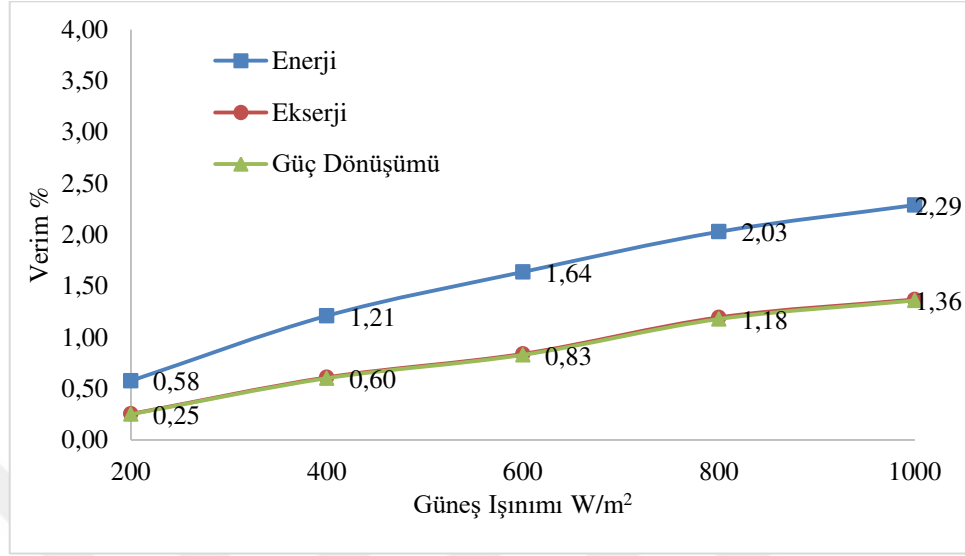
Şekil 3.15. Pelüş Kullanımı (Öncesi) [44]



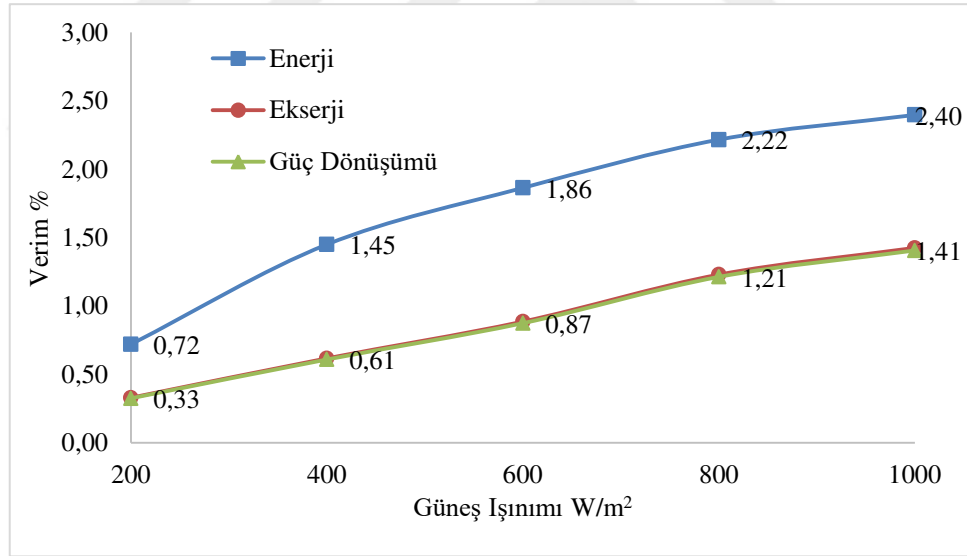
Şekil 3.16. Pelüş Kullanımı (Sonrası) [44]

Pelüş kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.53, % 1.66, % 1.64 olup pelüş kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 2.23, % 1.52, % 1.5’dir. Enerji verimliliği % 11.86, ekserji verimliliği % 8.43, güç dönüşüm verimliliği % 8.54 oranında azalmıştır.

Şekil 3.17’de sünger kullanımı öncesi Şekil 3.18’de sünger kullanımı sonrası enerji,ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



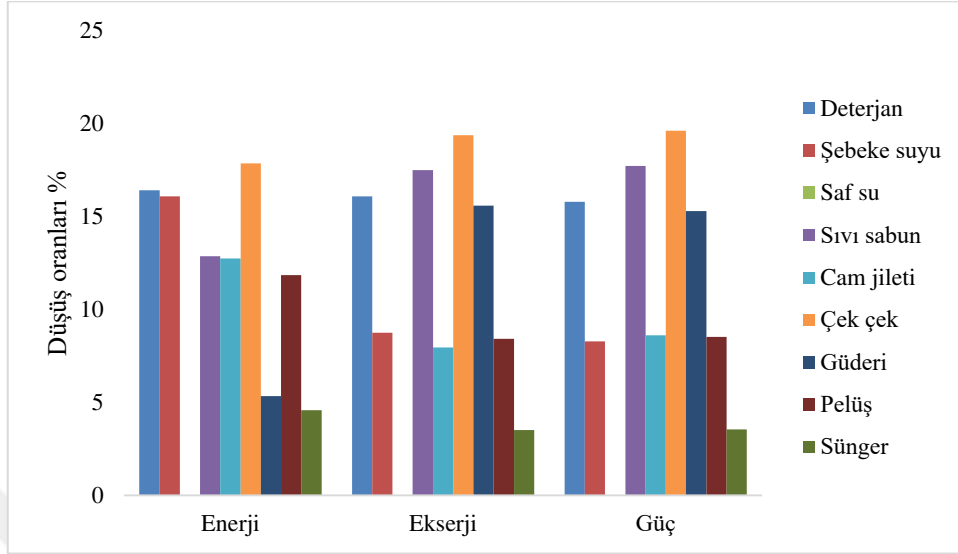
Şekil 3.17. Sünger Kullanımı (Öncesi) [44]



Şekil 3.18. Sünger Kullanımı (Sonrası) [44]

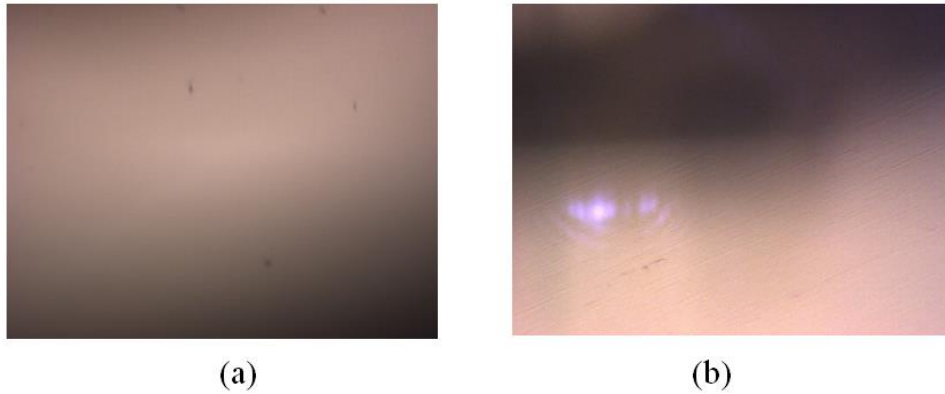
Sünger kullanımı öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2,4, % 1,42, % 1,41 olup sünger kullanımı sonrası bu değerler sırasıyla % 2,29, % 1,37, % 1,36'dır. Enerji verimliliği % 4,58, ekserji verimliliği % 3,52, güç dönüşüm verimliliği % 3,55 oranında azalmıştır.

Şekil 3.19’da PV’lerin yüzey temizliği sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği düşme oranları gösterilmiştir



Şekil 3.19. PV’lerin yüzey temizliği sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği düşme oranları [44]

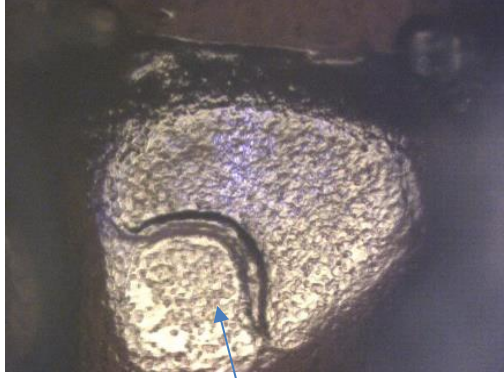
Şekil 3.20’de yüzeyi hiç işlenmemiş bir hücrenin iki ayrı fotoğrafını göstermektedir. Sağdaki resimdeki parlaklık objektif en yüksek seviyeye yaklaştığı için ortaya çıkan parlaklıktır.



Şekil 3.20. Deneyden önce hücrenin görünüşleri

Şekil 3.21’de hücrenin yüzey temizliğinde kullanılan kimyasal maddelerin, yüzeyde oluşturmuş olduğu kirlilik ve artıkları göstermektedir. Temizlikte kullanılan araçların oluşturmuş olduğu hasar Şekil 3.22’de gösterilmiştir.

Deterjan



Deterjan kalıntısı

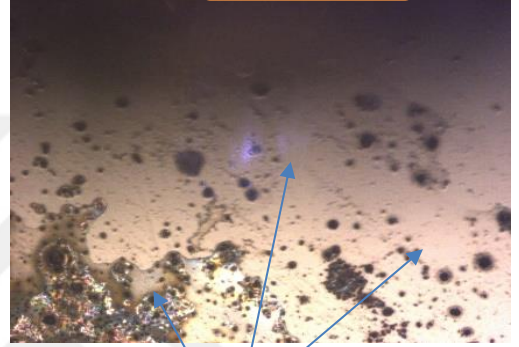


Deterjan

Şebeke
Suyu

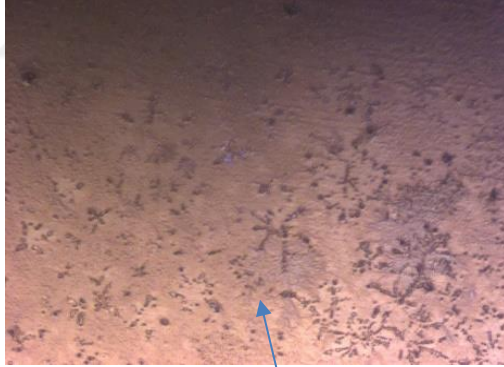


Kirec

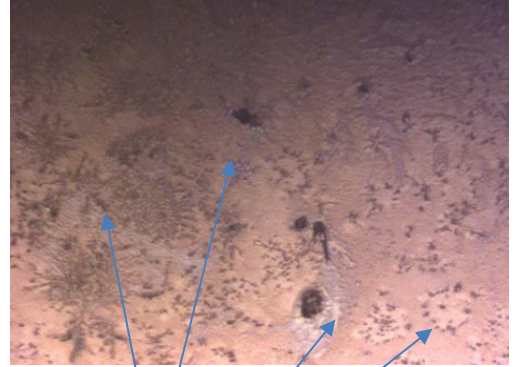


Kirec Kalıntıları

Sıvı
Sabun



Sıvı sabun lekeleri

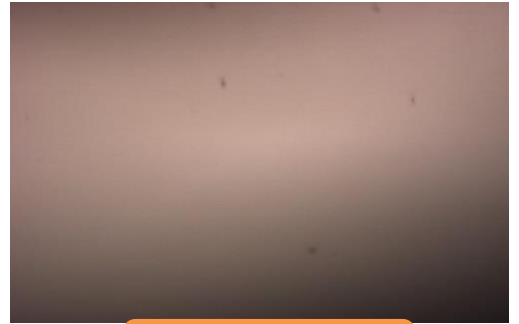


Sıvı sabun kalıntıları

Saf Su



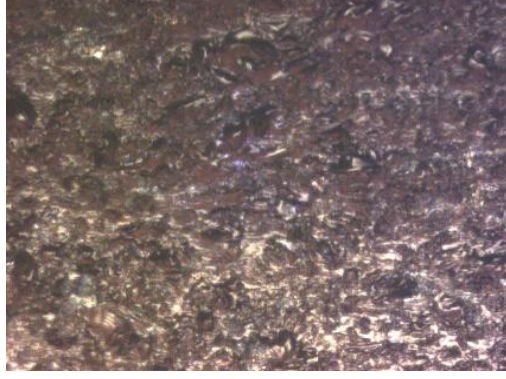
Temiz yüzey



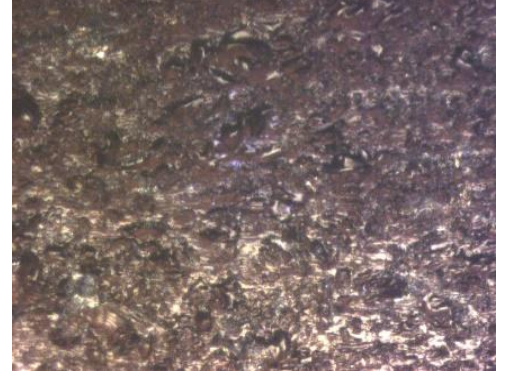
Temiz yüzey

Şekil 3.21. Temizleme işleminden sonra hücre yüzeylerindeki kalıntılar

Cam jileti

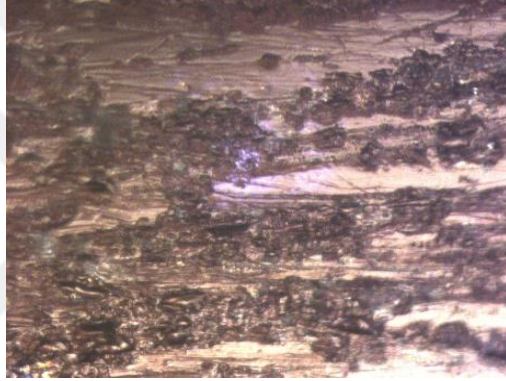


Hafif hasarlar

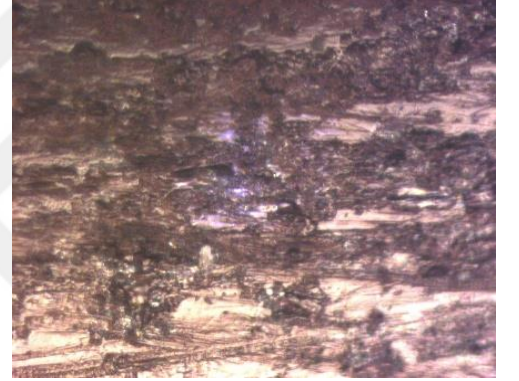


Hafif hasarlar

Çek çek



Kaba yüzey oluşumu

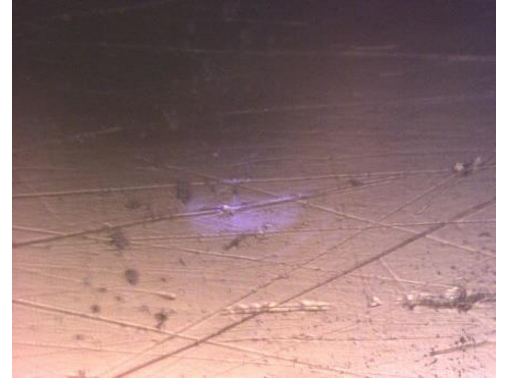


Kaba yüzey oluşumu

Güderi

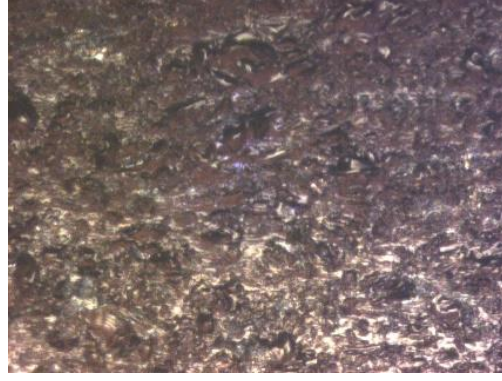


Birden fazla hasar

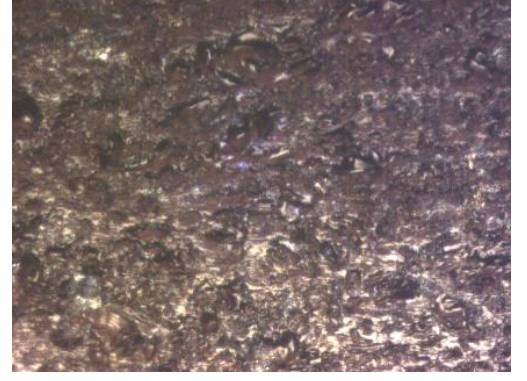


Birden fazla hasar

Pelüş

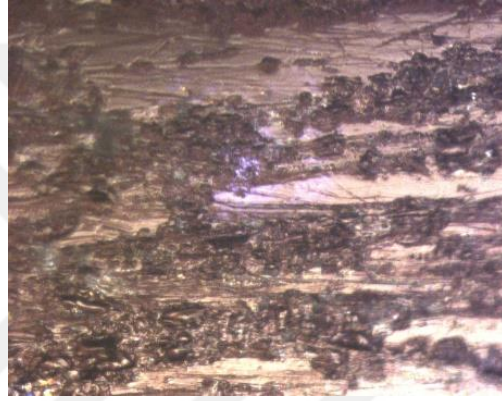


Hafif hasarlar

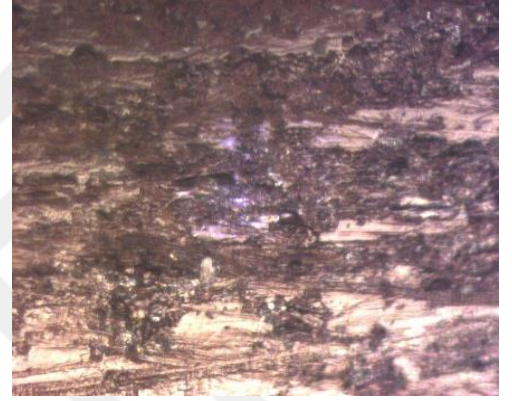


Hafif hasarlar

Sünger



Kaba yüzey oluşumu



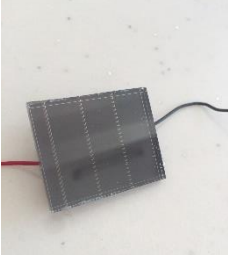
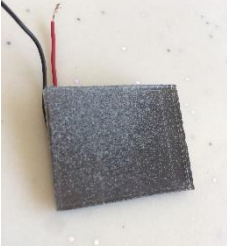
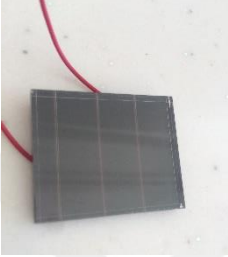
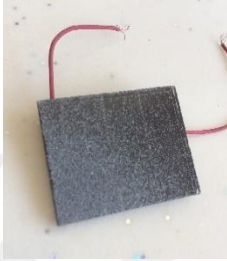
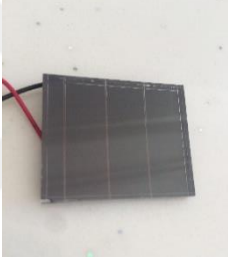
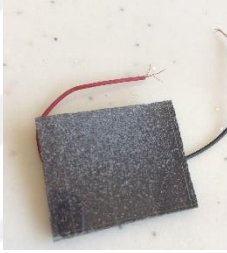
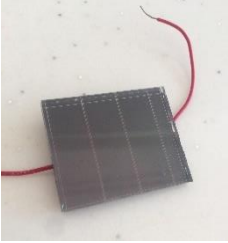
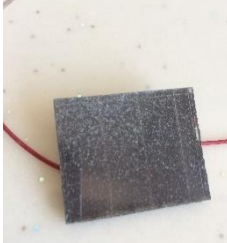
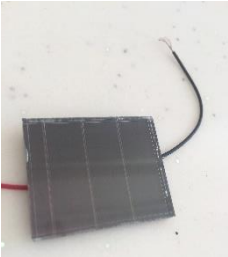
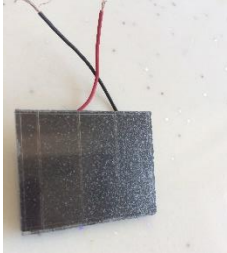
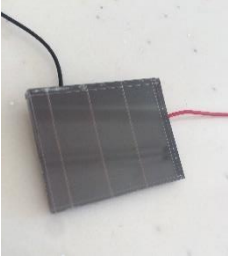
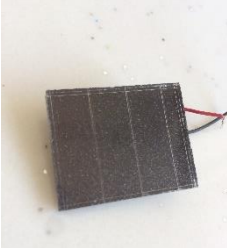
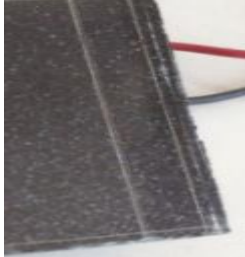
Kaba yüzey oluşumu

Şekil 3.22. Temizlik aletlerinin kullanımından kaynaklanan hasarlar

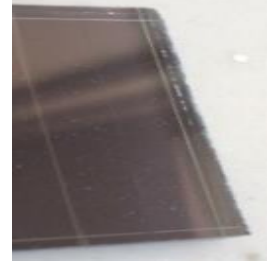
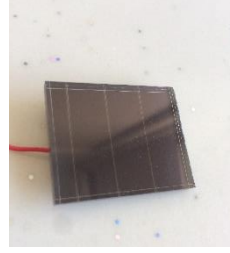
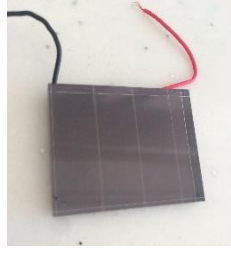
3.2 Rüzgar – Toz

Rüzgar-toz deneylerinin temel amacı, rüzgarla taşınan toz nedeniyle oluşan hasarın belirlenmesidir. Güneş enerjisi santralinin kurulu olduğu birçok yerde yüksek rüzgar hızı değerleri görülebilir. Örneğin, çöller güneş enerjisi santralleri için uygun bir yer olabilir, ancak bu yerlerde kum fırtınaları ve yüksek hızlı rüzgarlar PV hücrelerin yüzeyinde hasara neden olabilir. Bu açıdan, çalışmanın bu bölümünde rüzgar-toz deneylerinden elde edilen sonuçlar görülmektedir. Tablo 3.3 PV hücrelerinin yüzeyindeki toz hasarını göstermektedir. Bu rüzgar-toz deneyleri, 90° ve 20° arasında değişen farklı kollektör açılarında yapıldı. Tozun oluşturmuş olduğu hasar Tablo 3.3’de detay sütununda ayrıntılı olarak görülebilir.

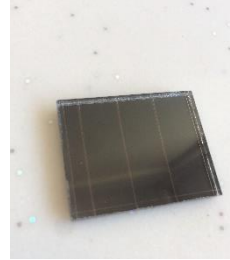
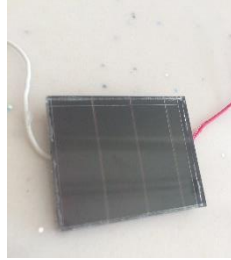
Tablo 3.3. PV hücrelerinin yüzeyindeki toz hasarı [44]

Açıklama	Önce	Sonra	Detay
90°			
80°			
70°			
60°			
50°			
40°			

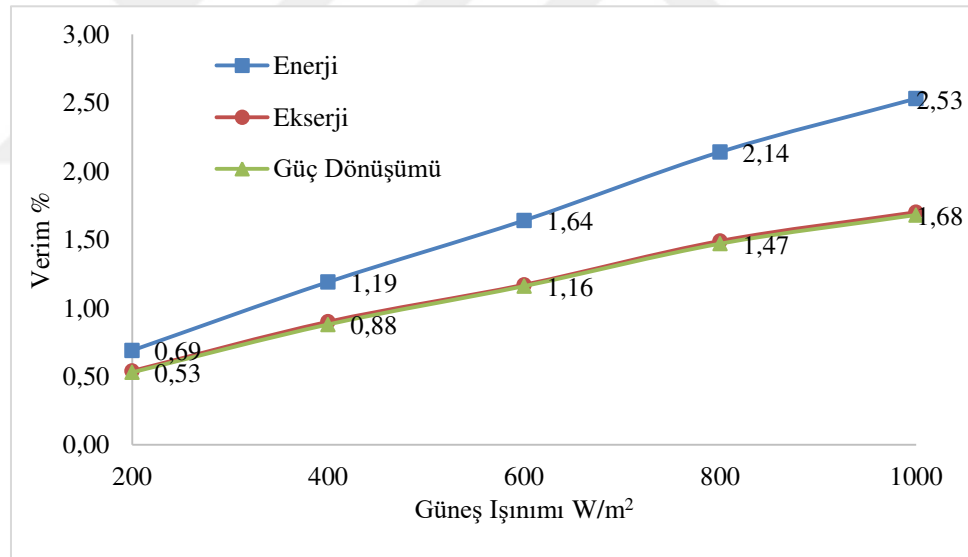
30°



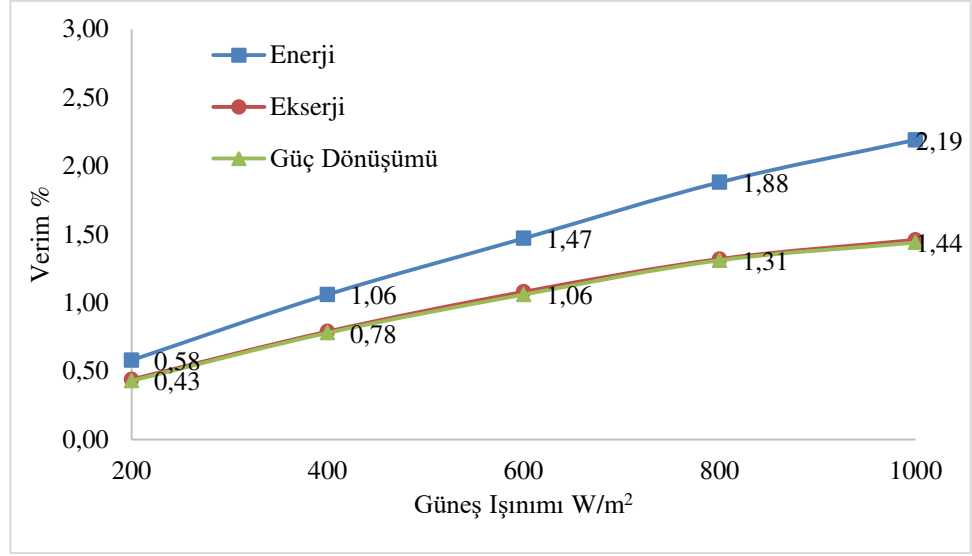
20°



Şekil 3.23’de 90° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.24’de 90° kollektör açısı için sonrası enerji,ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



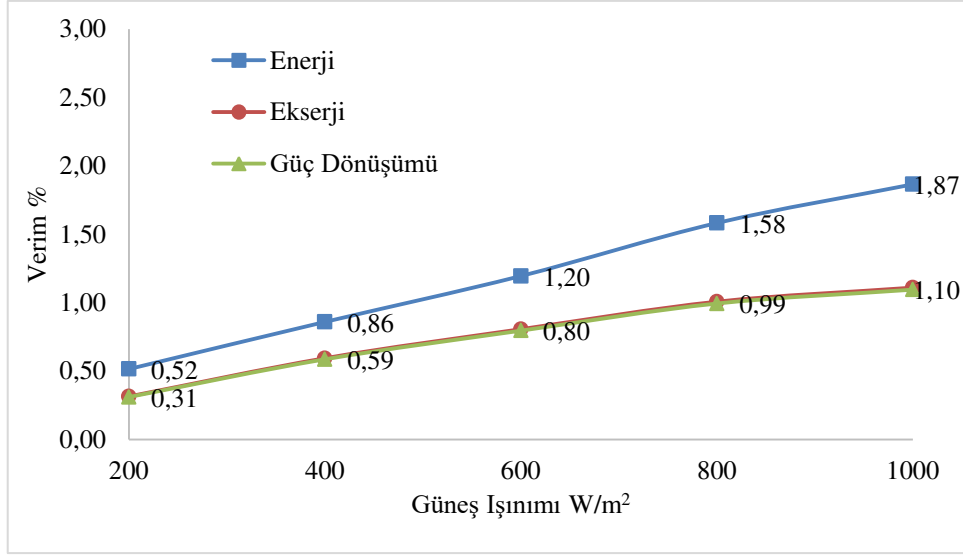
Şekil 3.23. Kollektör açısı 90° için verim (Öncesi) [44]



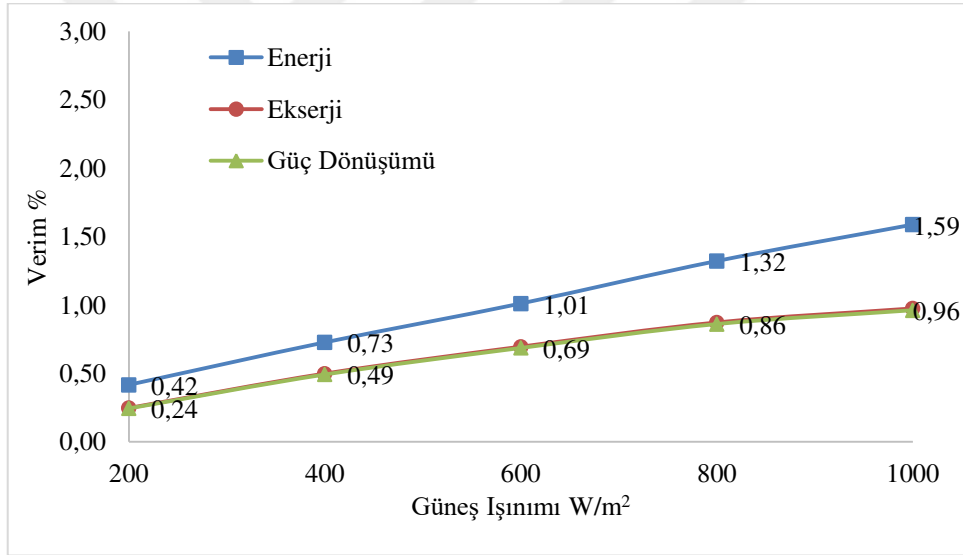
Şekil 3.24. Kollektör açısı 90° için verim (Sonrası) [44]

Daha öncede belirtildiği gibi PV hücrelerinin herbiri aynı verimlilik parametrelerine sahip olmayabilir. Bu nedenle tüm deneyler öncesi ve sonrası kavramlarına göre gerçekleştirildi. 90° kollektör açısında PV hücrenin yüzeyine toz püskürtüldü. 90° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.53, % 1.7, % 1.68 olup 90° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 2.19, % 1.46, % 1.44'dür. PV hücrenin enerji verimliliği, PV hücrenin yüzeyindeki hasar nedeniyle % 13.44 oranında azalmıştır. Çünkü yüzeydeki bu hasar güneş ışınlarının kollektör yüzeyine ulaşmasını engeller. Ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 14.12, % 14.29 azalmıştır.

Şekil 3.25'de 80° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.26'da 80° kollektör açısı için sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



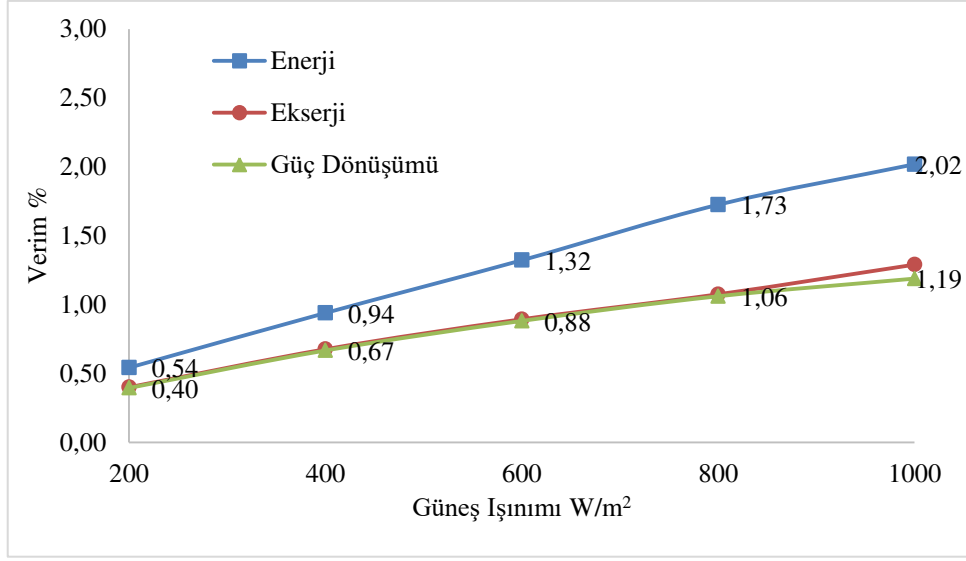
Şekil 3.25. Kollektör açısı 80° için verim (Öncesi) [44]



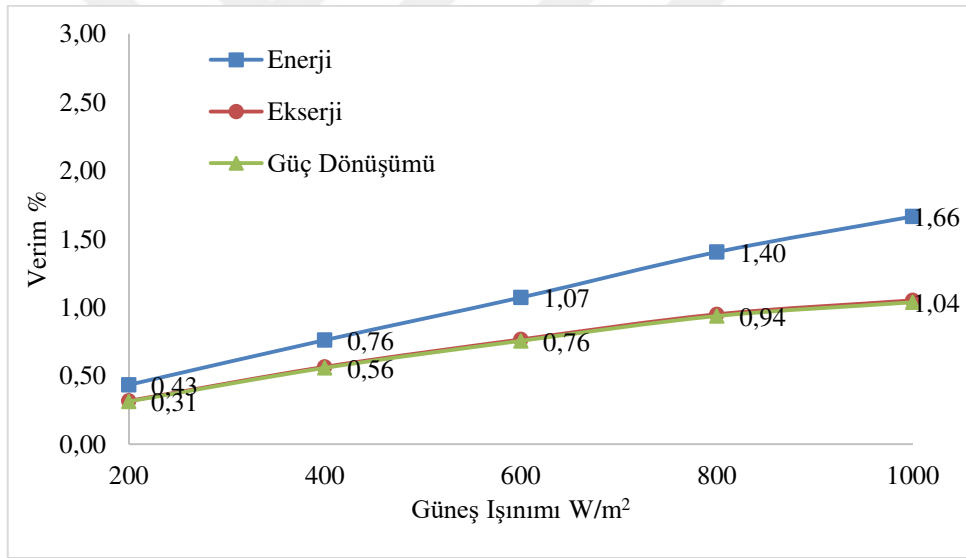
Şekil 3.26. Kollektör açısı 80° için verim (Sonrası) [44]

80° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 1.87, % 1.11, % 1.1 olup 80° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 1.59, % 0.98, % 0.96'dır. Enerji verimliliği % 14.97, ekserji verimliliği % 11.71, güç dönüşüm verimliliği % 12.73 oranında azalmıştır. Kollektör açısı rüzgar etkisi ve toz etkisi için çok önemlidir [14], çünkü kollektör açısına bağlı olarak rüzgarın etkisi arttırılabilir veya azaltılabilir.

Şekil 3.27'de 70° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.28'de 70° kollektör açısı için sonrası enerji ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.27. Kollektör açısı 70° için verim (Öncesi) [44]

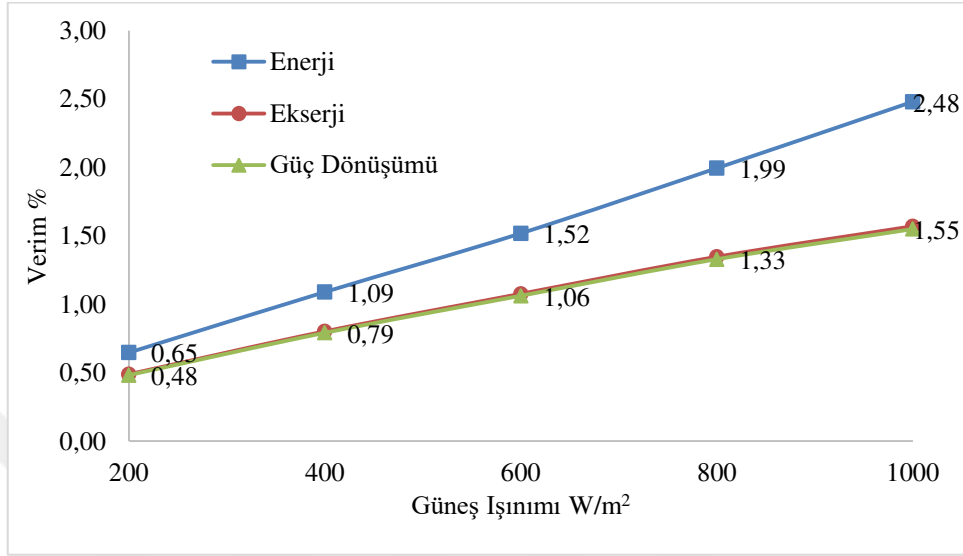


Şekil 3.28. Kollektör açısı 70° için verim (Sonrası) [44]

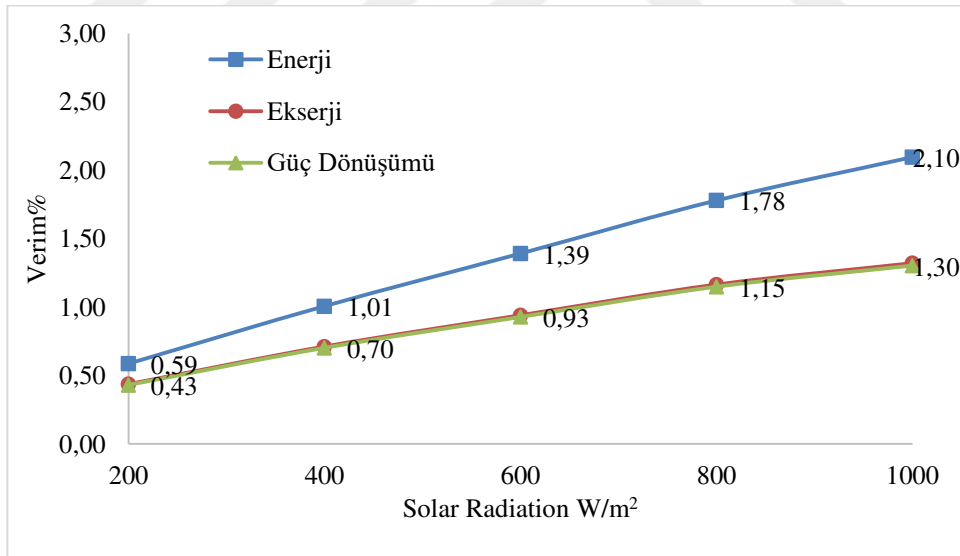
70° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.02, % 1.21, % 1.19 olup 70° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 1.66, % 1.05, % 1.04'dür. Enerji verimliliği % 17.82, ekserji verimliliği % 13.22, güç dönüşüm verimliliği % 12.61 oranında azalmıştır.

90° ve 40° arasındaki kollektör açıları uygulamada görülmeyebilir veya optimum kollektör açısına göre tercih edilmeyebilir. Rüzgârın kollektör yüzeyini etkileyeceği açı tahmin edilemez. Bunun için rüzgârın etkilediği her kollektör açısı dikkate alınmalıdır.

Şekil 3.29’da 60° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.30’da 60° kollektör açısı için sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.29. Kollektör açısı 60° için verim (Öncesi) [44]

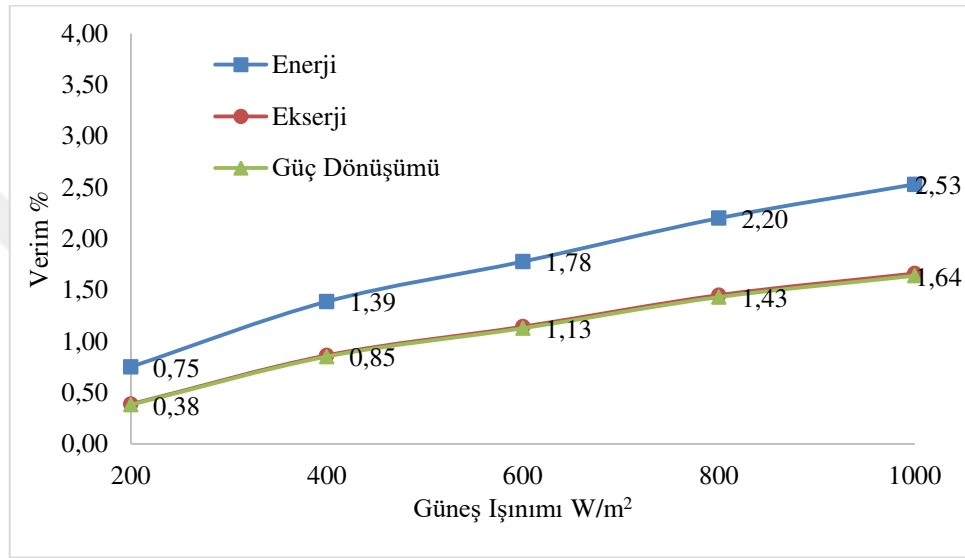


Şekil 3.30. Kollektör açısı 60° için verim (Sonrası) [44]

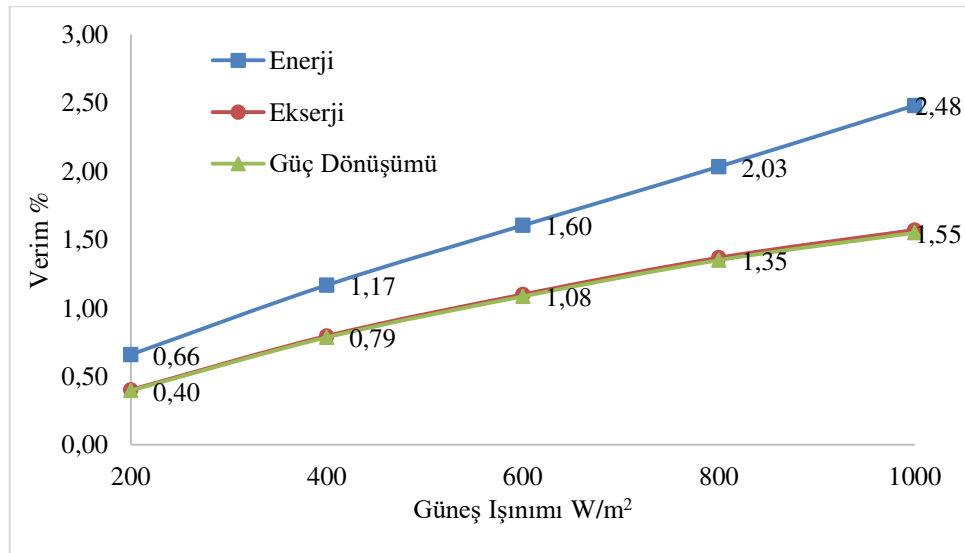
60° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.48, % 1.57, % 1.55 olup 60° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 2.1, % 1.32, % 1.3’dür. Enerji verimliliği % 15.32, ekserji verimliliği % 15.92, güç dönüşüm verimliliği % 16.13 oranında azalmıştır. Kollektör açısı değiştikçe rüzgarla taşınan tozun

hasar derecesi değişir ve 60° kollektör açısı için verimlilik parametreleriniz azaldığı grafiklerde görülmektedir. Kollektör açısı verimlilik parametreleri üzerinde çok etkilidir [11]. Bu çalışmada kollektör açısı azaldığı zaman rüzgarla taşınan tozun miktarıda azaldığı görülür.

Şekil 3.31’de 50° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.32’de 50° kollektör açısı için sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



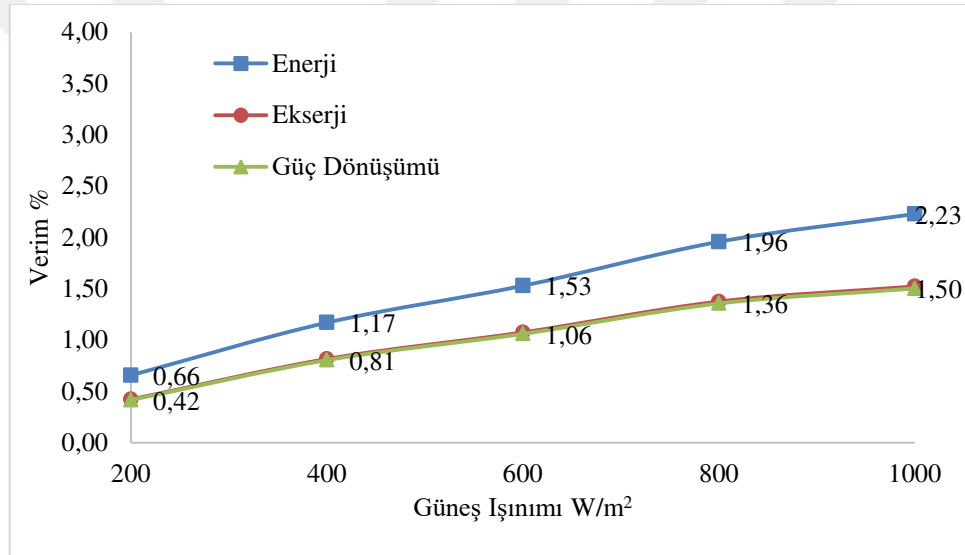
Şekil 3.31. Kollektör açısı 50° için verim (Öncesi) [44]



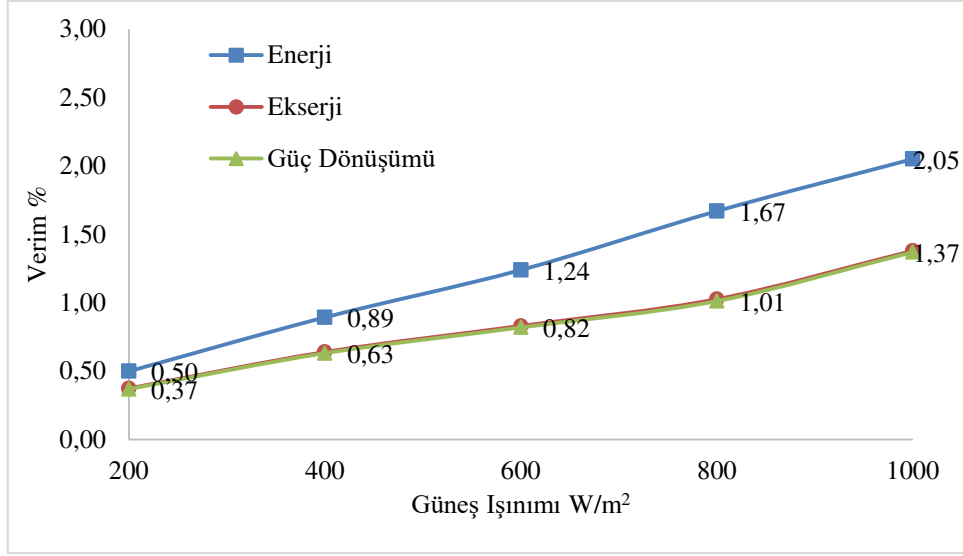
Şekil 3.32. Kollektör açısı 50° için verim (Sonrası) [44]

50° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.62, % 1.74, % 1.71 olup 50° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 2.37, % 1.56, % 1.54'dür. Enerji verimliliği % 9.54, ekserji verimliliği % 10.34, güç dönüşüm verimliliği % 9.94 oranında azalmıştır. 90° ve 60° arasındaki kollektör açılarında verimlilik parametreleri neredeyse aynı oranda azalır. Tablo 3.3'te 50° kollektör açısı için rüzgarla taşınan tozun hasar derecesinin azaldığı görülür. Bu tabloda, PV hücrenin kenarındaki hasar ve aşınma toz etkileri nedeniyle meydana gelir. Bu kenar yatay düzleme yakın olduğu için , toz öncelikle bu kenara etki eder.

Şekil 3.33'de 40° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.34'de 40° kollektör açısı için sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



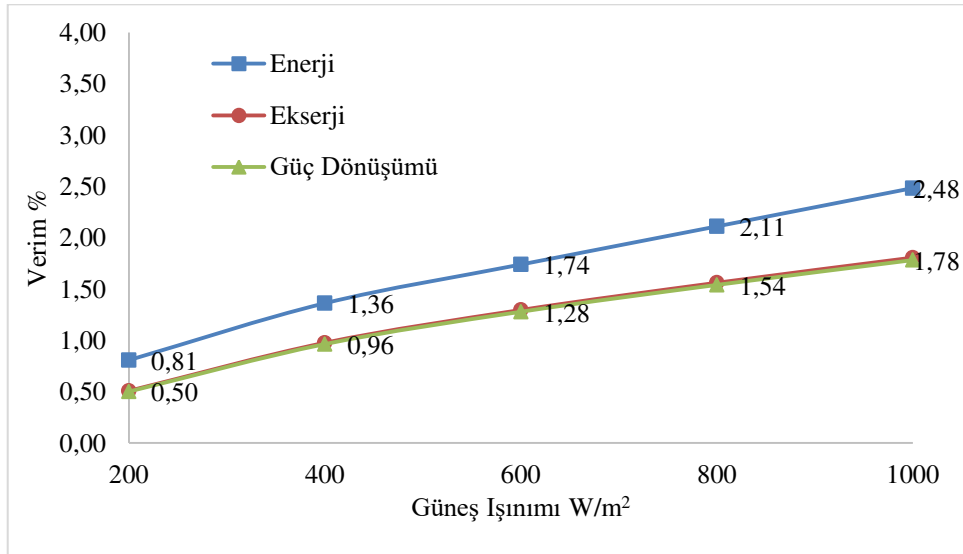
Şekil 3.33. Kollektör açısı 40° için verim (Öncesi) [44]



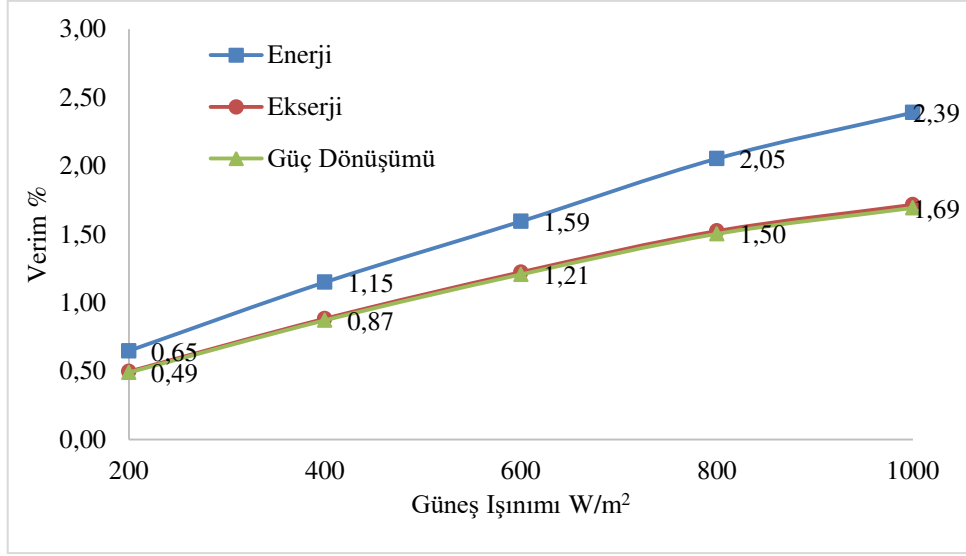
Şekil 3.34. Kollektör açısı 40° için verim (Sonrası) [44]

40° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.23, % 1.52, % 1.5 olup 40° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 2.05, % 1.38, % 1.37'dir. Enerji verimliliği % 8.07, ekserji verimliliği % 9.21, güç dönüşüm verimliliği % 8.67 oranında azalmıştır.

Şekil 3.35'de 30° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.36'da 30° kollektör açısı için sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



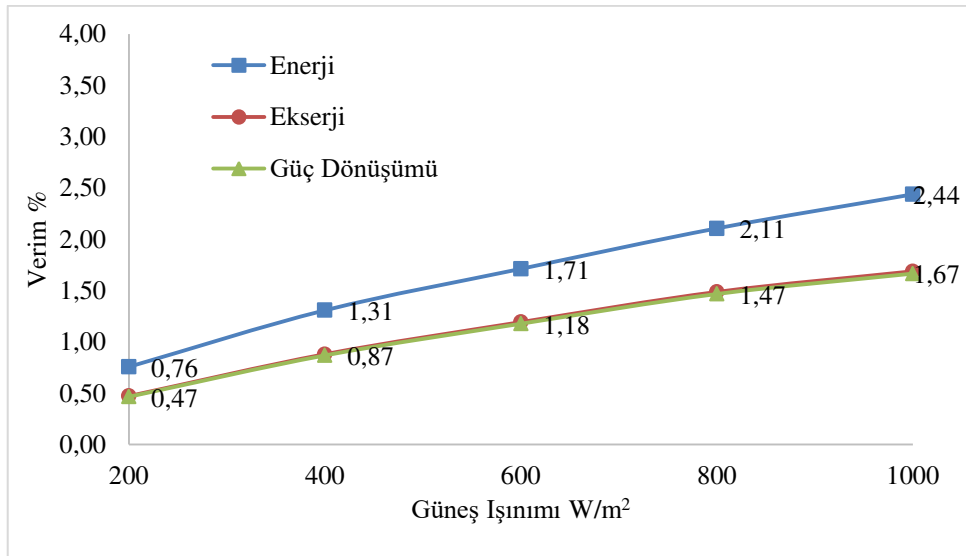
Şekil 3.35. Kollektör açısı 30° için verim (Öncesi) [44]



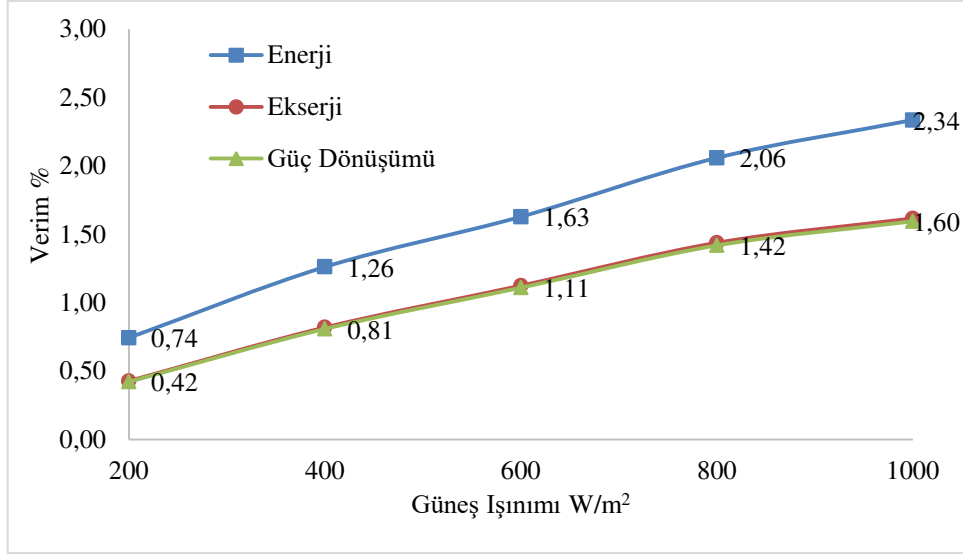
Şekil 3.36. Kollektör açısı 30° için verim (Sonrası) [44]

30° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.48, % 1.81, % 1.78 olup 30° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 2.39, % 1.72, % 1.69'dur. Enerji verimliliği % 3.63, ekserji verimliliği % 4.97, güç dönüşüm verimliliği % 5.06 oranında azalmıştır.

Şekil 3.37'de 20° kollektör açısı için öncesi Şekil 3.38'de 20° kollektör açısı için sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin grafikleri verilmiştir.



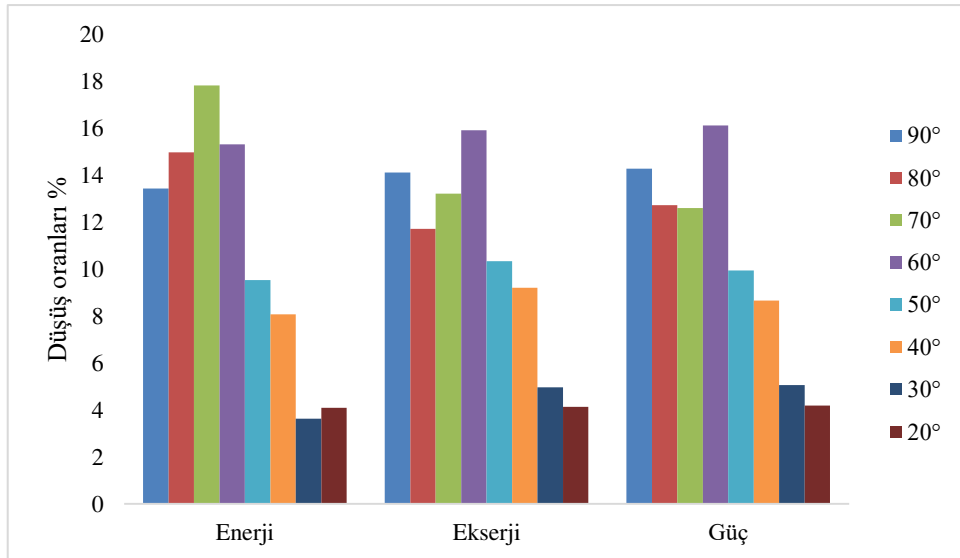
Şekil 3.37. Kollektör açısı 20° için verim (Öncesi) [44]



Şekil 3.38. Kollektör açısı 20° için verim (Sonrası) [44]

20° kollektör açısı için öncesi enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla % 2.44, % 1.69, % 1.67 olup 20° kollektör açısı için sonrası bu değerler sırasıyla % 2.34, % 1.62, % 1.6'dır. Enerji verimliliği % 4.1, ekserji verimliliği % 4.14, güç dönüşüm verimliliği % 4.19 oranında azalmıştır.

Tüm sonuçlar verimlilik parametrelerinin düşme oranlarına göre dikkate alınmıştır. Şekil 3.39 PV hücrelerinin kollektör açısına göre enerji, ekserji ve güç dönüşüm verimlerinin düşme oranlarını göstermektedir.



Şekil 3.39. Kollektör açısı değişmesi sonrası enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği düşme oranları [44]

Şekil 3.39'da görüleceği gibi 90° ve 40° arasındaki kollektör açıları için enerji, ekserji ve güç dönüşümü verim düşüşü çok yüksektir. Rüzgarın taşımış olduğu tozun hasar

derecesinin kollektör açısına bağlı olduğu söylenebilir. Bu hasarın derecesi tozun farklı tip olması nedeniyle değişebilir. Tozun farklı tip olması PV hücre yüzeyinde daha yüksek ve daha düşük hasara neden olabilir. Rüzgarın taşımış olduğu tozun hasarını azaltmak için koruma duvarları düşünölebilir. Genel olarak, güneş enerji santralleri tel örgü ile çevrilidir. Bu uygulamaların amacı güneş enerji santraline yetkisiz girişı engellemektir. Rüzgar hızını azaltmak için kullanılan birçok uygulamayı incelerken, Şekil 3.40'da gösterilen duvarlar, rüzgar ve rüzgar yükü ile taşınan toza karşı koruma için düşünölebilir. Bu duvarlar kara yollarının kenarında rüzgar ve karı önlemek için kullanılır. Şekil 3.40'da görölebileceği gibi esnekliğe ve güneş ışınlarına dayanıklı malzeme kullanılır. Plastik malzeme hasar gördüğünde, değiştirilmesi çok kolay ve ucuzdur.



Şekil 3.40. Rüzgar ve rüzgar yükü ile taşınan tozun zarar vermemesi için yapılan öneri duvarı [44]

Tablo 3.4. Standart Test Koşullarına Göre Verimlilik Parametreleri

Parametreler	Verim	Önce(%)	Sonra(%)	Parametreler	Verim	Önce(%)	Sonra(%)
Deterjan	Enerji	2,62	2,19	90°	Enerji	2,53	2,19
	Ekserji	1,74	1,46		Ekserji	1,7	1,46
	Güç Dönüşümü	1,71	1,44		Güç Dönüşümü	1,68	1,44
Şebeke Suyu	Enerji	2,61	2,19	80°	Enerji	1,87	1,59
	Ekserji	1,6	1,46		Ekserji	1,11	0,98
	Güç Dönüşümü	1,57	1,44		Güç Dönüşümü	1,1	0,96
Saf Su	Enerji	2,56	2,56	70°	Enerji	2,02	1,66
	Ekserji	1,28	1,28		Ekserji	1,21	1,05
	Güç Dönüşümü	1,27	1,27		Güç Dönüşümü	1,19	1,04
Sıvı Sabun	Enerji	2,61	2,1	60°	Enerji	2,48	2,1
	Ekserji	1,6	1,32		Ekserji	1,57	1,32
	Güç Dönüşümü	1,58	1,3		Güç Dönüşümü	1,55	1,3
Cam Jileti	Enerji	2,59	2,26	50°	Enerji	2,62	2,37
	Ekserji	1,76	1,62		Ekserji	1,74	1,56
	Güç Dönüşümü	1,74	1,59		Güç Dönüşümü	1,71	1,54
Çek Çek	Enerji	2,35	1,93	40°	Enerji	2,23	2,05
	Ekserji	1,6	1,29		Ekserji	1,52	1,38
	Güç Dönüşümü	1,58	1,27		Güç Dönüşümü	1,5	1,37
Güderi	Enerji	2,62	2,48	30°	Enerji	2,48	2,39
	Ekserji	1,86	1,57		Ekserji	1,81	1,72
	Güç Dönüşümü	1,83	1,55		Güç Dönüşümü	1,78	1,69
Pelüs	Enerji	2,53	2,23	20°	Enerji	2,44	2,34
	Ekserji	1,66	1,52		Ekserji	1,69	1,62
	Güç Dönüşümü	1,64	1,5		Güç Dönüşümü	1,67	1,6
Sünger	Enerji	2,4	2,29		Enerji		
	Ekserji	1,42	1,37		Ekserji		
	Güç Dönüşümü	1,41	1,36		Güç Dönüşümü		

Tablo 3.4'te standart test koşullarında (25°C- 1000W/m²) enerji, ekserji ve güç dönüşümü verim parametreleri görülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre PV hücre üzerinde oluşan kir ve hasar gelen güneş ışığını önleyip verim parametrelerinin düşmesine neden olur.

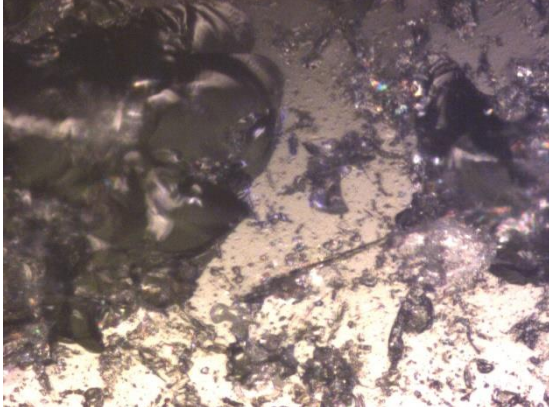
Farklı kollektör açılarında toz püskürtme sonrası elektron mikroskobu ile fotoğraflanan her bir hücrenin iki fotoğrafı Şekil 3.41’de gösterilmiştir.



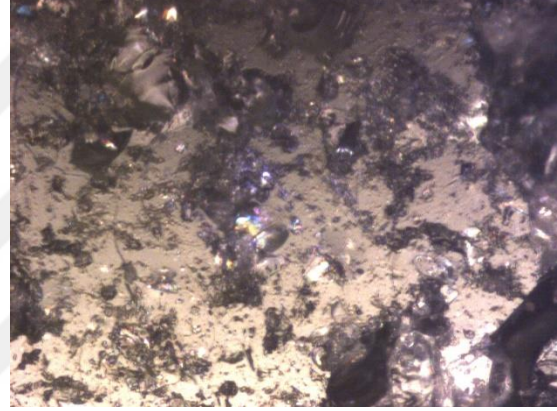
a (90°)



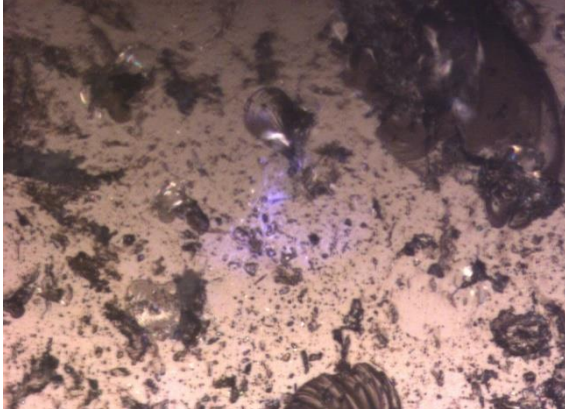
b (90°)



a (80°)



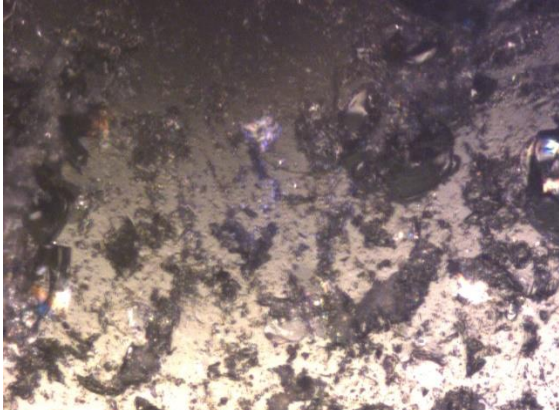
b (80°)



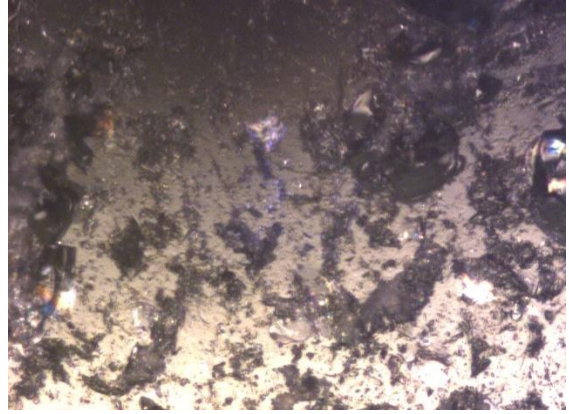
a (70°)



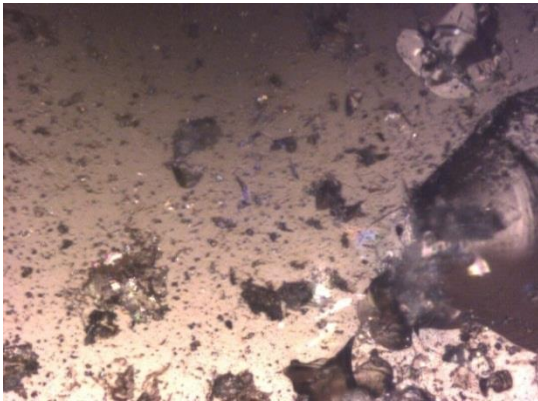
b (70°)



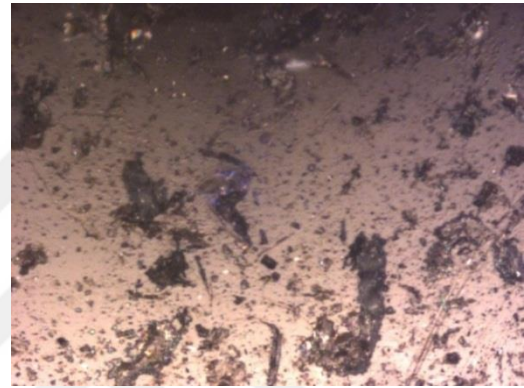
a (60°)



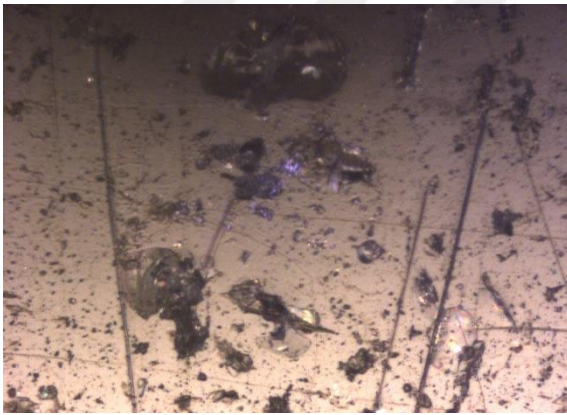
b (60°)



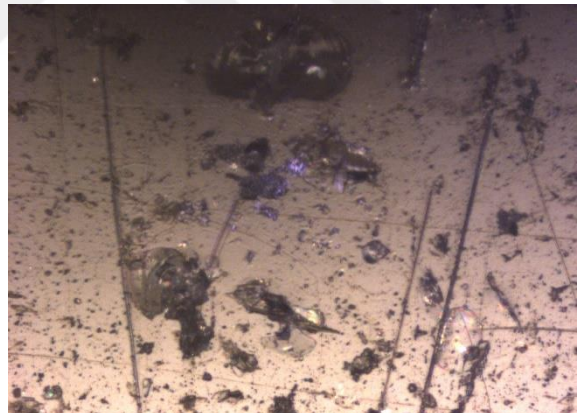
a (50°)



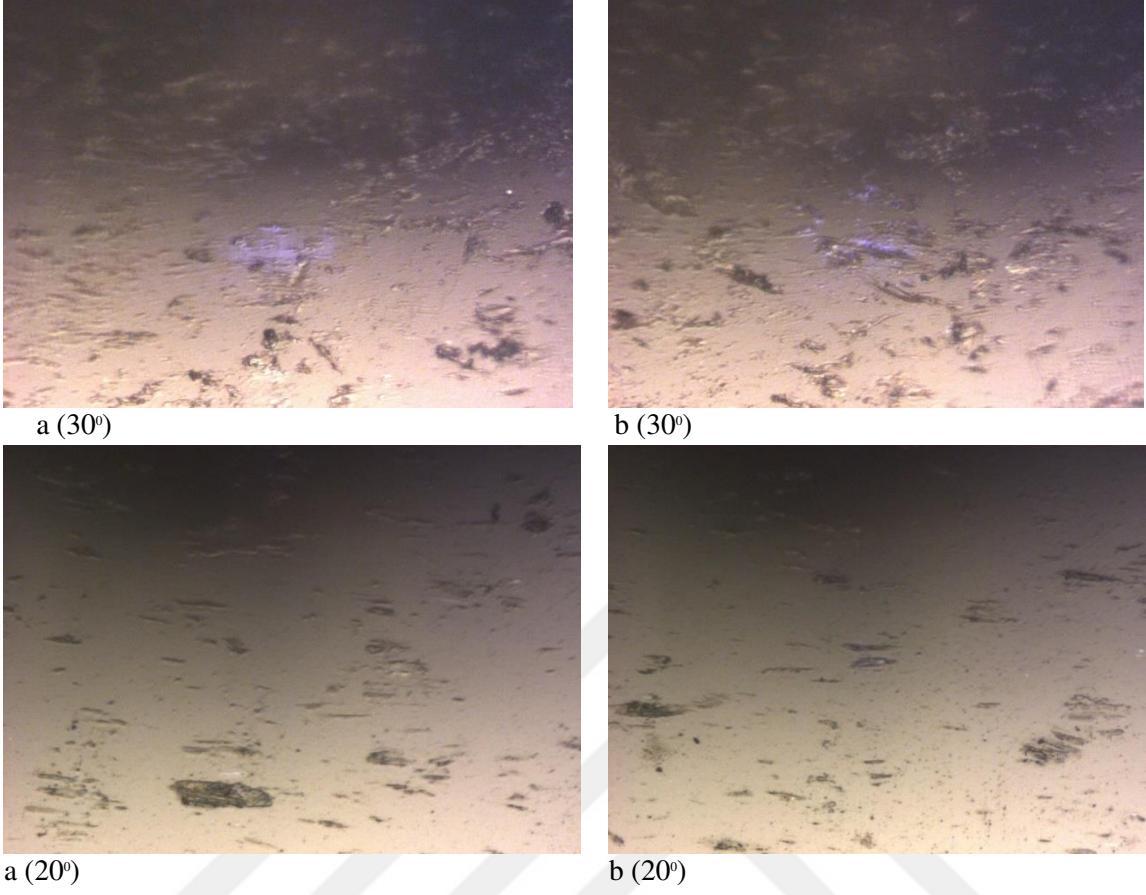
b (50°)



a (40°)



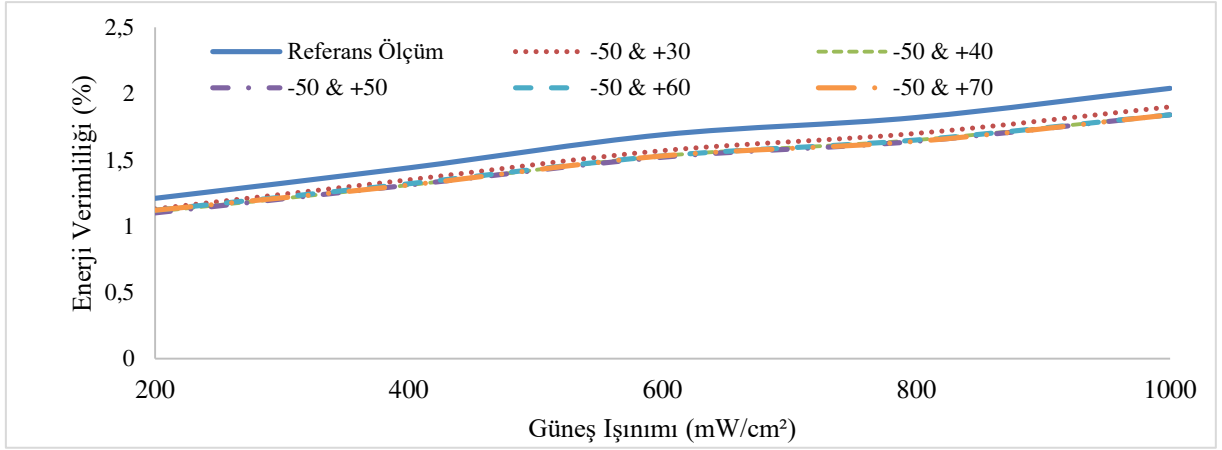
b (40°)



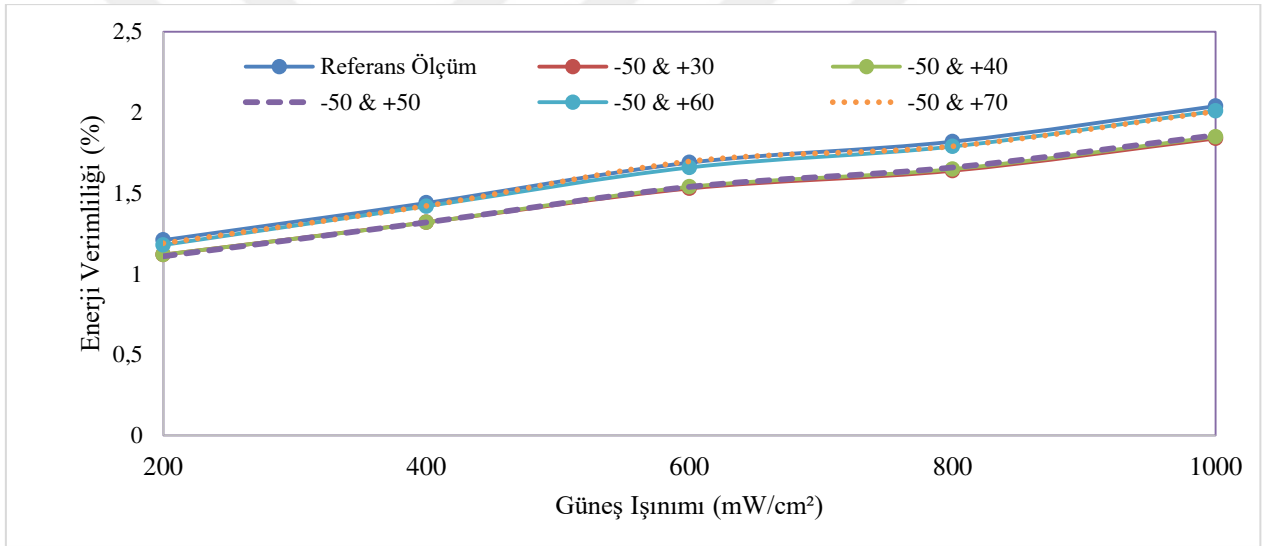
Şekil 3.41. Farklı kollektör açılarında toz püskürtme sonrası hücrelerin görünümü

3.3.Sıcak-Soğuk

Sıcak-soğuk deneylerinde, güneş camında meydana gelen değişiklikler araştırıldı. Her iki (A) ve (B) numunelerine ait güneş camları soğutuldu. Daha sonra ısıtma işlemi gerçekleştirilip A ve B numunelerinin sıcaklık değerleri artırıldı. Birçok ölçüm ve analiz yapıldıktan sonra referans değerleri ile karşılaştırıldı. Elde edilen değerlere göre sıcaklık farklılıklarının güneş camı üzerindeki etkileri incelendi. A ve B numuneleri güneş hücresi üzerine koyulduktan sonra güneş simülatöründe ölçümler yapıldı. Bu ölçümlerden elde edilen değerlere göre güneş pilinin enerji verimliliği hesaplandı. A ve B referans güneş camı örneklerinin enerji verimliliği grafikleri Şekil 3.42’de verilmiştir.



(A)

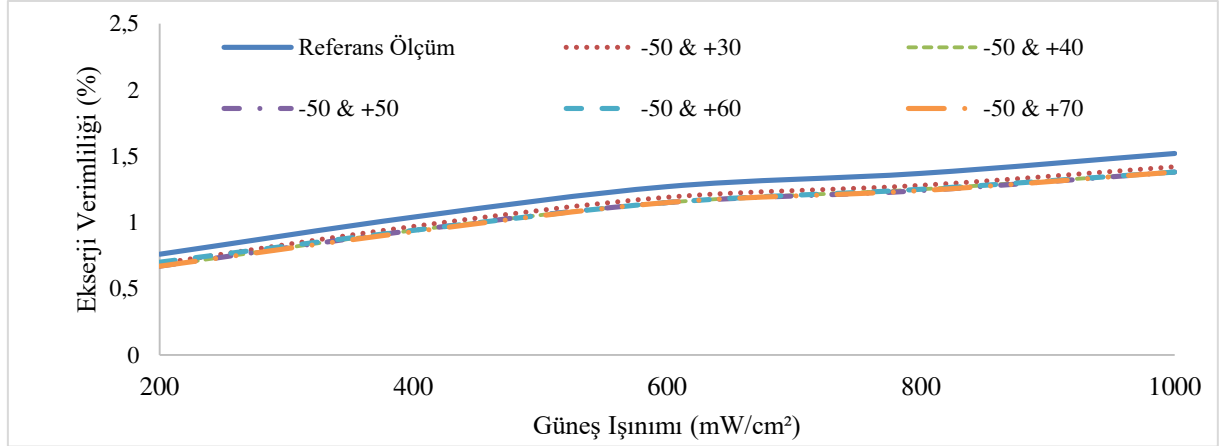


(B)

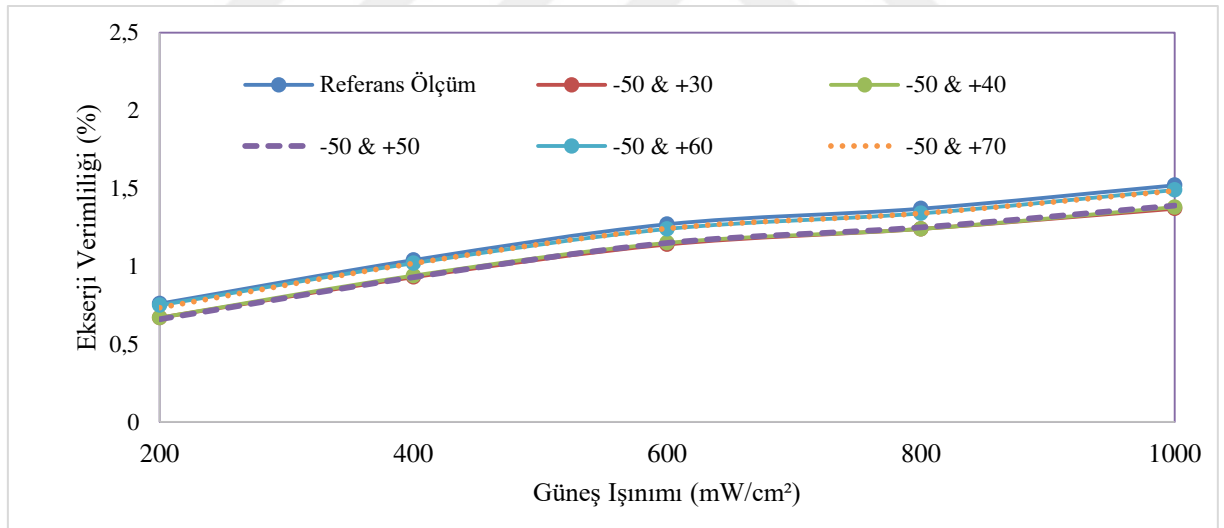
Şekil 3.42. A ve B güneş camı örneklerinin enerji verimliliği [50]

A ve B numunelerinin enerji verimliliği grafiğinde, referans ölçümlerden elde edilen verim değerinin, yapılan diğer ölçümlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Güneş pili üzerine yerleştirilen referans güneş camına yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda, enerji verimliliğinin % 1,24 ile % 2,06 arasında değiştiği görüldü. Her iki güneş camı türü numunelerine uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri sonucunda, iki güneş camı türünün de yapısında ciddi bir değişiklik olmadığı söylenebilir. Ancak güneş camlarının enerji verimliliği, referans güneş camlarının enerji verimliliğinden daha düşük hesaplandı. Sonuç olarak, güneş camı numunelerinin yapısının değişkenliğinin, bunların verimliliği

üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu söylenebilir. Diğer bir verimlilik parametresi ekserjidir. Güneş hücresi üzerine yerleştirilen güneş camı numunelerinin her biri farklı sıcaklık aralıklarında ısıtılıp soğutuldu. Enerji verimliliğini hesaplamak için kullanılan metot ekserji verimliliğini hesaplamak içinde kullanıldı. Ekserji verimliliği ile ilgili elde edilen sonuçlar, Şekil 3.43'te gösterilmiştir.



(A)

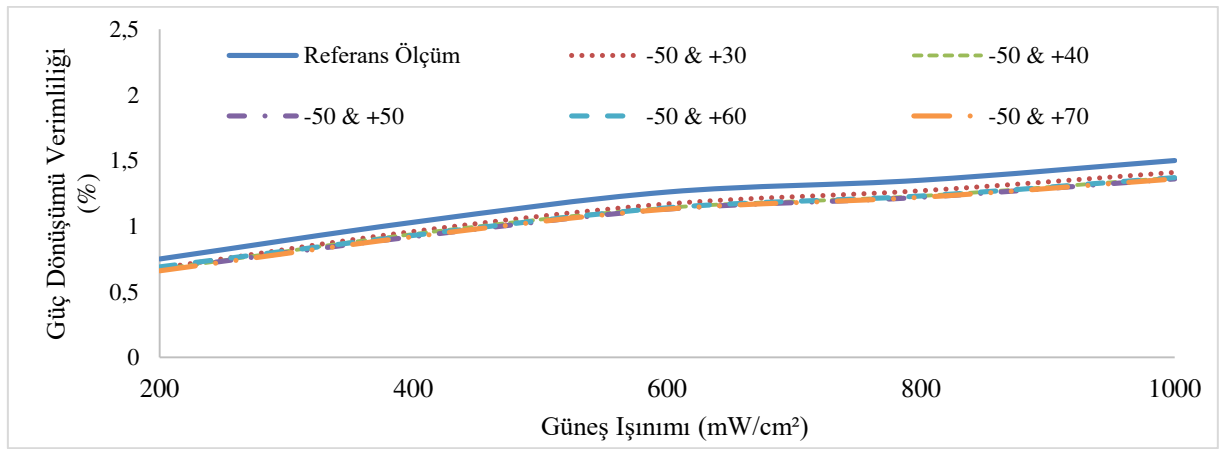


(B)

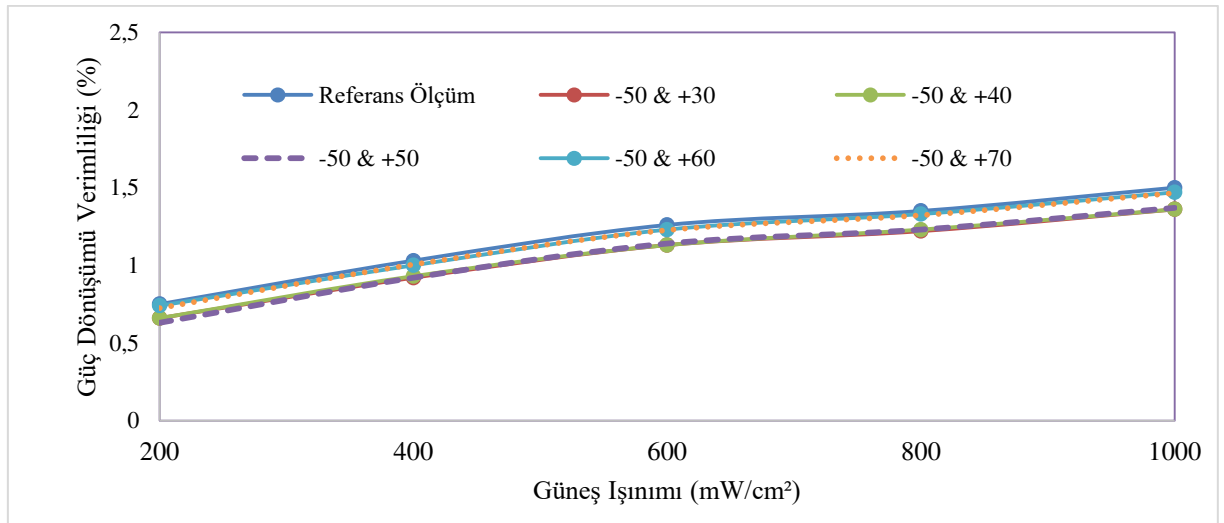
Şekil 3.43. A ve B güneş camı örneklerinin Ekserji Verimliliği [50]

A ve B numunelerinin, enerji verimliliği grafiğinin eğilimi, ekserji verimliliği grafiğindeki eğilim ile benzerlik göstermektedir. Ancak ekserji verimliliği değerleri enerji verimliliği değerlerinden daha düşük hesaplanmıştır. Referans numunelerin ekserji verimliliği değerleri sıcak-soğuk işlem uygulanmış numunelerin ekserji verimliliği değerlerinden daha yüksektir. A ve B numunelerinin ısıtılıp soğutulması işlemi sonucunda

ekserji verimlilikleri arasında ciddi bir fark olmadığı görüldü. Farklı güneş ışıını değerlerine göre referans numunelerin ölçümlelerinde, ekserji verimlilik değleleri % 0,76 ile % 1,52 arasında değışmektedir. A numunesi için farklı değlerdeki güneş ışıınımlarında ekserji verimliliğı sonuçları % 0.67 ile % 1.42 arasında B numunesi için farklı değlerdeki güneş ışıınımlarında ekserji verimliliğı sonuçları % 0.66 ile % 1.49 arasında değışti. Isıtma ve soğutma işlemlerinin bir sonucu olarak, güneş camının yapısında bir değışkenlik olduğu söylenebilir. Diğer bir verimlilik parametresi güç dönüşüm verimliliğidir. A ve B güneş camı örneklerinin güç dönüşüm verimliliğı grafiğı Şekil 3.44'de gösterilmiştir.



(A)



(B)

Şekil 3.44. A ve B güneş camı örneklerinin güç dönüşüm verimliliğı [50]

Güneş pili üzerine yerleştirilen A numunesinin farklı güneş ışınlamalarında güç dönüşümü verimliliği değerleri % 0.66 ile % 1.41 arasında B numunesinin farklı güneş ışınlamalarında güç dönüşümü verimliliği değerleri % 0.63 ile % 1.47 arasında değişmektedir. Referans güneş camının güç dönüşümü verimliliği değerleri % 0.75 ile % 1.5 arasında değişir. Elde edilen veriler, güneş camı türlerinde herhangi bir değişiklik olması durumunda güneş pilinin verimliliği üzerinde ciddi bir değişiklik olmaz. En göze çarpan fark, -50 ve +50, +30, +40 sıcaklık farklarının uygulandığı güneş camından elde edilen güç dönüşüm verimliliği değerlerinde görülür. Verimlilik analizinde yapılan ölçümlerden daha ayrıntılı veriler elde edilmiştir. A numunesi için bu veriler Tablo 3.5'de gösterilmektedir. Verimlilik analizinden elde edilen ayrıntılı veriler B numunesi için Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Güneş hücresine yerleştirilen güneş camı numunelerinin verim hesaplamaları ve kullanılan parametre ve ölçümler Tablo 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir. Bunlar (V) voltaj, (η) enerji verimliliği, (V_{oc}) açık devre voltajı, (I_{sc}) kısa devre akımı, (R_s) seri direnç, (FF) doldurma faktörü, (P) güneş ışınlamı ve (I) akımdır.

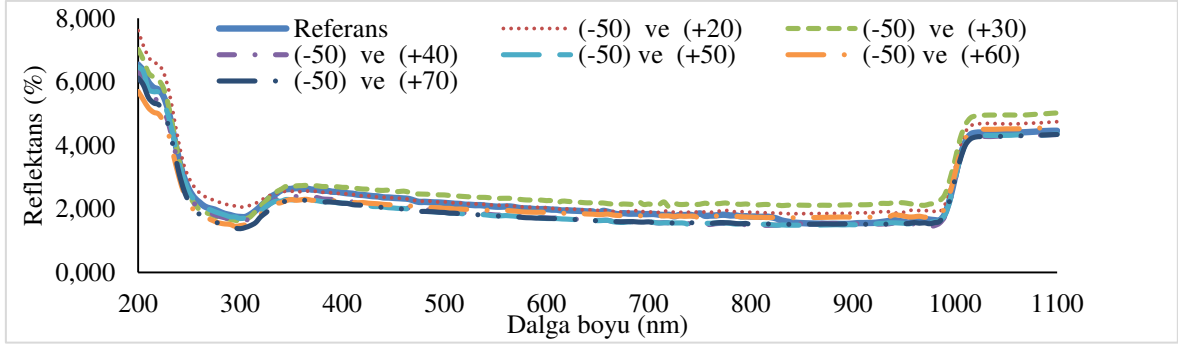
Tablo 3.5. A numunesinin referans ve verimlilik hesaplamasında ölçülen değerleri [50]

Referans								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.21	2.25	0.001197	2	8.31E-04	0.616684	300.9944
400	7.43	1.44	2.35	0.002718	2.05	0.00223	0.715742	134.5046
600	8.79	1.69	2.4	0.004684	2.1	0.003982	0.743868	75.34003
800	9.78	1.82	2.45	0.006595	2.1	0.005725	0.744127	61.13428
1000	10.8	2.04	2.5	0.009036	2.1	0.007931	0.737288	50.435
A numunesi için -50 ve +30								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.13	2.25	0.00112	1.95	7.85E-04	0.607605	381.9341
400	7.43	1.35	2.35	0.002552	2.05	0.00208	0.710969	144.2313
600	8.79	1.57	2.4	0.004382	2.1	0.003731	0.745006	80.40014
800	9.78	1.7	2.45	0.006166	2.1	0.005373	0.746925	65.13615
1000	10.8	1.9	2.5	0.00846	2.1	0.007454	0.74003	53.66555
A numunesi için -50 ve +40								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.11	2.25	0.001099	1.95	7.58E-04	0.597443	395.9494
400	7.43	1.31	2.35	0.00248	2.05	0.00208	0.706215	149.4133
600	8.79	1.53	2.4	0.004246	2.1	0.003605	0.742831	83.22789
800	9.78	1.65	2.45	0.005965	2.1	0.005197	0.74678	67.35116
1000	10.8	1.84	2.5	0.00817	2.1	0.00722	0.742315	55.40212
A numunesi için -50 ve +50								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.1	2.25	0.001094	1.95	7.60E-04	0.602323	394.5406
400	7.43	1.31	2.35	0.002476	2.05	0.002012	0.708903	149.0969
600	8.79	1.52	2.4	0.004246	2.1	0.003607	0.743493	83.16149
800	9.78	1.64	2.45	0.005971	2.1	0.005199	0.746391	67.31866
1000	10.8	1.84	2.5	0.008185	2.1	0.007221	0.741107	55.39091
A numunesi için -50 ve +60								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.12	2.25	0.001109	1.95	7.64E-04	0.597334	392.6523
400	7.43	1.32	2.35	0.002488	2.05	0.002017	0.706974	148.7681
600	8.79	1.53	2.4	0.004249	2.1	0.003609	0.743245	83.11928
800	9.78	1.65	2.45	0.005972	2.1	0.005198	0.746107	67.32913
1000	10.8	1.84	2.5	0.008191	2.1	0.007217	0.740092	55.42551
A numunesi için -50 ve +70								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.12	2.25	0.001109	1.95	7.59E-04	0.592963	395.4906
400	7.43	1.31	2.35	0.002491	2.05	0.002007	0.702982	149.4415
600	8.79	1.53	2.4	0.004259	2.1	0.003601	0.739876	83.30462
800	9.78	1.64	2.45	0.005967	2.1	0.005191	0.745687	67.42154
1000	10.8	1.84	2.5	0.008187	2.1	0.007208	0.739544	55.49277

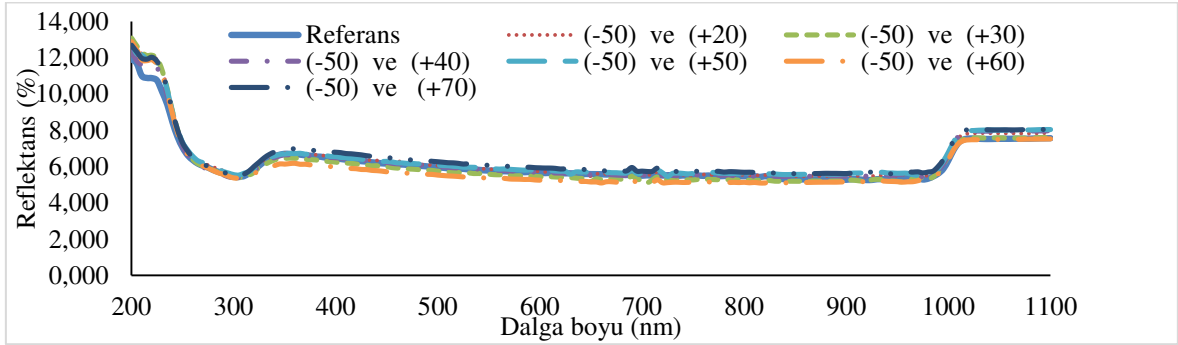
Tablo 3.6. B numunesinin referans ve verimlilik hesaplamasında ölçülen değerleri [50]

Referans								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.21	2.25	0.001197	2	8.31E-04	0.616684	300.9944
400	7.43	1.44	2.35	0.002718	2.05	0.00223	0.715742	134.5046
600	8.79	1.69	2.4	0.004684	2.1	0.003982	0.743868	75.34003
800	9.78	1.82	2.45	0.006595	2.1	0.005725	0.744127	61.13428
1000	10.8	2.04	2.5	0.009036	2.1	0.007931	0.737288	50.435
B numunesi için -50 ve +30								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.12	2.25	0.001114	1.95	7.54E-04	0.58697	397.7577
400	7.43	1.32	2.35	0.002496	2.05	0.002002	0.699756	149.8182
600	8.79	1.53	2.4	0.004262	2.1	0.003592	0.737464	83.50817
800	9.78	1.64	2.45	0.005979	2.1	0.005177	0.742156	67.61104
1000	10.8	1.84	2.5	0.008183	2.1	0.007194	0.738464	55.60323
B numunesi için -50 ve +40								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.12	2.25	0.001107	1.95	7.54E-04	0.590392	397.9295
400	7.43	1.32	2.35	0.002495	2.05	0.002004	0.700647	149.731
600	8.79	1.54	2.4	0.004265	2.1	0.003596	0.737821	83.41733
800	9.78	1.65	2.45	0.005987	2.1	0.005188	0.742755	67.46101
1000	10.8	1.85	2.5	0.0082	2.1	0.00721	0.738582	55.47585
B numunesi için -50 ve +50								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.11	2.25	0.001101	1.95	7.50E-04	0.590519	400.0672
400	7.43	1.32	2.35	0.002497	2.05	0.002008	0.701277	149.4354
600	8.79	1.54	2.4	0.004287	2.1	0.003616	0.737933	82.97183
800	9.78	1.66	2.45	0.006026	2.1	0.005218	0.742199	67.08163
1000	10.8	1.86	2.5	0.008261	2.1	0.007256	0.737871	55.12523
B numunesi için -50 ve +60								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.18	2.25	0.001167	1.95	8.17E-04	0.606861	367.2765
400	7.43	1.42	2.35	0.002678	2.05	0.00217	0.707056	138.2285
600	8.79	1.66	2.4	0.004606	2.1	0.00389	0.738913	77.12302
800	9.78	1.79	2.45	0.006479	2.1	0.005604	0.741411	62.45185
1000	10.8	2.01	2.5	0.008904	2.1	0.007773	0.733317	51.45761
B numunesi için -50 ve +70								
P (W/m ²)	V (V)	η (%)	Voc (V)	Isc (A)	Vmax (V)	Imax (A)	FF	Rs (ohm)
200	5.74	1.19	2.25	0.001175	1.95	8.59E-04	0.584227	349.1586
400	7.43	1.42	2.35	0.002687	2.05	0.002268	0.678702	132.2635
600	8.79	1.70	2.45	0.004615	2.1	0.004051	0.693441	86.39823
800	9.78	1.79	2.45	0.006492	2.1	0.005824	0.708719	60.09199
1000	10.8	2.01	2.5	0.008913	2.1	0.008068	0.700729	49.58159

Bu çalışmada güneş camı numunelerinin her biri için reflektans, absorbe ve transmitans parametreleri incelendi. Reflektans; güneş camının yapısına, üretim türüne, malzemenin içeriğine (demir oksit oranı gibi), yüzey şekline ve temperleme işlemine bağlı olarak değişen bir özelliği ifade eder. Güneş camından yansıyan güneş ışınımını ifade etmek istendiğinde dikkate alınan bir parametredir. Çeşitli enstitüler ve araştırma enstitüleri, güneş camı ürünlerini sertifikalandırmak için bazı analizler yaptılar. Bu çalışmada A ve B güneş camı numunelerinin her birinin, referans güneş camına yansıma oranını belirlendi. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.45’de gösterilmiştir.



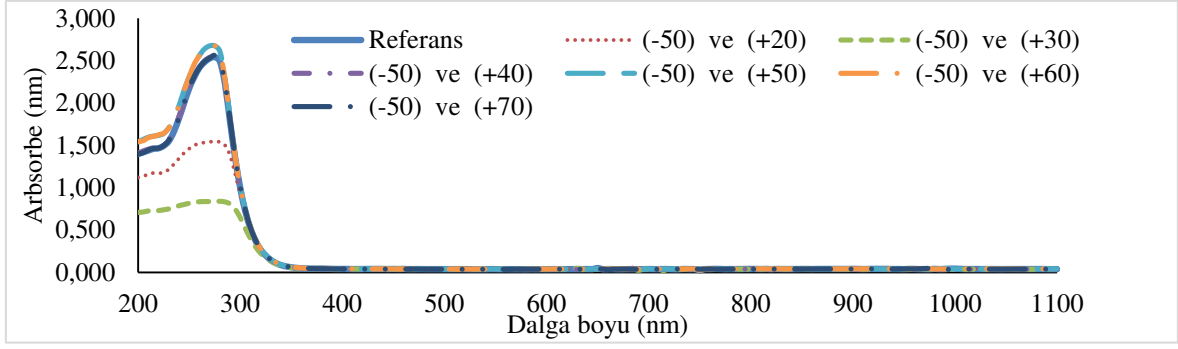
(A)



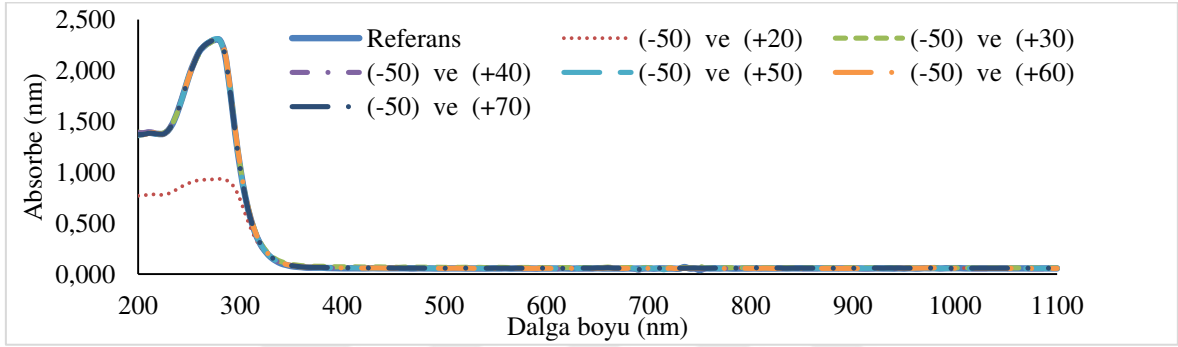
(B)

Şekil 3.45. A ve B güneş camı numunelerinin reflektansı [50]

Şekil 3’de görüldüğü gibi B’nin yüzeyi prizmatiktir. A güneş camının daha şeffaf yapısı olması nedeniyle yansım oranı daha düşüktür. Isıtma ve soğutma uygulanan güneş camı numunelerinin yansım değerleri ile referans güneş camın yansım değerleri arasında ciddi bir farklılık görülmedi. Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin yansıtma oranları, farklı dalga boylarında , A numunesi için % 2 ile % 8 ve B numunesi için % 6 ile % 14 arasında değişmiştir. Özellikle 400’den 700 nm’ ye kadar olan dalga boyundaki güneş ışınımı , PV hücreleri tarafından elektriğe dönüştürülür. Bu durum dikkate alındığı zaman, her iki güneş camı türünün de uygulanan sıcaklık farklarından etkilenmediği yorumlanabilir. PV hücrelerde güneş camının kullanılabilirliğini belirlemek için kullanılan bir diğer parametre de güneş camının absorbe etme özelliğidir. Şekil 3.46’da A ve B numunelerine ait güneş camlarının farklı dalga boylarında absorbe ettiği , değerler görülmektedir.



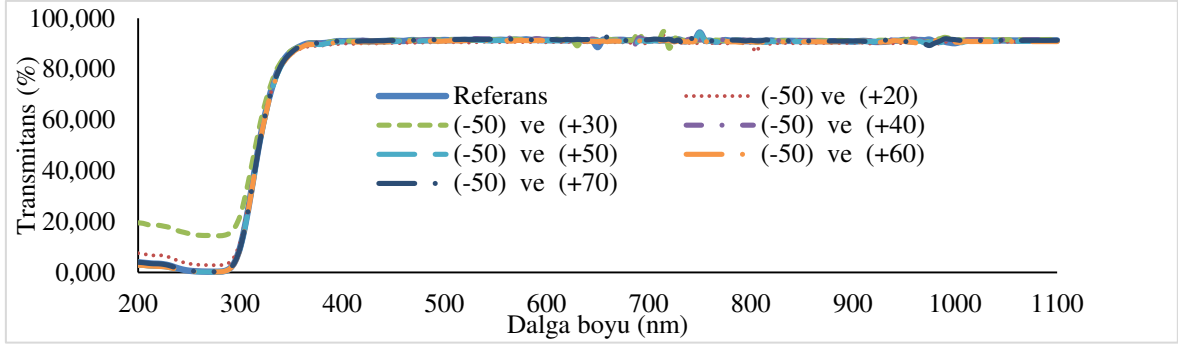
(A)



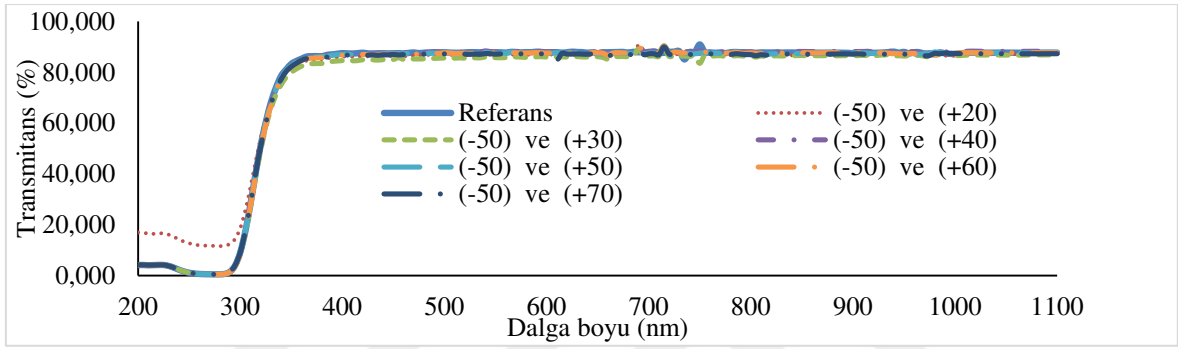
(B)

Şekil 3.46. A ve B güneş camı numunelerinin absorbe edilmesi [50]

A ve B güneş camlarına uygulanan sıcaklık farkının bir sonucu olarak güneş camı numunelerinin absorpsiyon özellikleri arasında bir değişiklik gözlenmedi. Bununla birlikte, dalga boylarının (A ve B numuneleri için -50 ve +20) ve (A numunesi için -50 ve +30), özellikle 200 nm ile 300 nm arasında olduğu gözlenmiştir. Bu numuneler farklı oldukları için, 400 ile 700 nm arasındaki ışık dalga boyunu etkilemediğinden, bu durumların PV hücrelerin verimi üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Özellikle, güneş camının geçirgenlik özelliği, güneş camının verimliliğini belgelemek için temel parametre olarak dikkate alınmakta ve çeşitli kurumlar tarafından sertifikalandırılmaktadır. Bu çalışmada güneş camı numunelerinin (A ve B) ışık geçirgenliği özellikleri de incelenmiştir. Güneş camı numunelerinin geçirgenlik özellikleri farklı dalga boyu (200 ile 1100 nm) değerleri arasında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.47’de gösterilmiştir.



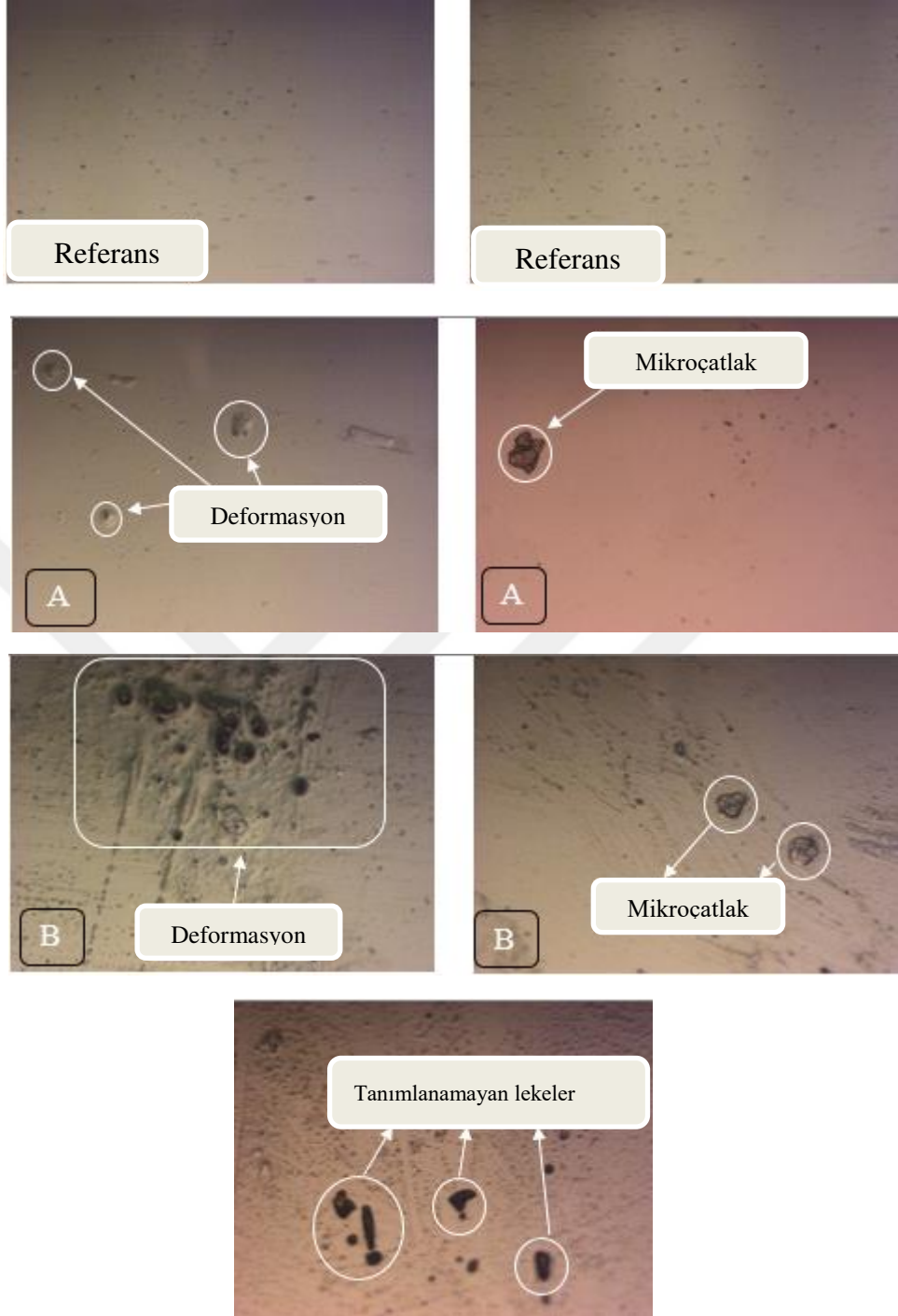
(A)



(B)

Şekil 3.47. A ve B güneş camı numunelerinin transmittansı [50]

A ve B güneş camlarının kalitesi, P1 notu olarak yetkili kurum tarafından onaylanmıştır. Bu kalite en yüksek kaliteyi temsil eder. Deneyler sonucunda referans güneş camı ile farklı sıcaklık değerlerine maruz kalan numune türleri arasında anlamlı bir fark gözlenmedi. Özellikle, 400 ile 700 nm dalga boyları arasındaki geçirgenlik özellikleri, A güneş camı için % 91,820 ve B güneş camı için % 87,49'dur. Geçirgenliği, her iki cam türünün sıcaklık farklılıklarından etkilenmediği söylenebilir. Sıcaklık farkları güneş camına zarar vermeyebilir, ancak güneş pili yapısında ciddi hasara neden olabilir. A ve B güneş camı numuneleri üzerinde son bir analiz yapılmıştır. Bu analizin amacı, güneş camının yüzeyindeki sıcaklık farkları nedeniyle oluşabilecek mikro çatlak veya deformasyon ihtimalini araştırmaktır. Bu nedenle, güneş camının yüzeyinde meydana gelebilecek mikro çatlaklar ve deformasyonlar incelenmiştir. Şekil 3.48'de, referans A ve B güneş camı numunelerinin yüzey fotoğrafları gösterilmektedir.



Şekil 3.48. Güneş camı numunelerinin yüzey fotoğrafları [50]

A ve B güneş camı numunelerinin kritik sıcaklık aralığına ulaştıktan sonra güneş camının yüzeyinden fotoğraflar çekildi. Şekil 3.48 'de görüldüğü gibi, referans güneş camının yüzeyinde herhangi bir olumsuz durum veya tanımlanamayan bir şekil gözlenmedi. Yüzeyde sıcaklık farkları sonucu oluştuğu düşünülen mikro çatlak ve deformasyonların meydana geldiği görülmüştür. Bu sonuçlar, soğutulmuş ve ısıtılmış A ve B güneş camı örneklerinin yüzeylerinde meydana gelen mikro çatlakların veya deformasyonların cam kalitesi üzerinde bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bu yorum, yalnızca bu çalışmadan elde edilen veriler tarafından desteklenmiştir. Her iki güneş camı numunesi çok uzun bir süre boyunca sıcaklık farklılıklarına maruz kalırsa, daha büyük mikro çatlaklar ve deformasyonlar meydana gelir ve güneş camının absorbe, transmitans ve reflektans özelliklerini ciddi şekilde etkileyebilir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular güneş enerjisi santrali modellemesi, güneş pili modellemesi ve benzeri pek çok çalışmada kullanılabilir. Genel olarak güneş paneli üreticilerinin paylaştığı veriler sınırlıdır. Bu çalışmada birçok parametre göz önüne alındığında, sıcak-soğuk isleminin uygulandığı güneş camına ilişkin önemli sonuçların elde edildiği görüldü. PV hücrelerinde kullanılan güneş camının temel amacı güneş pilini çevre koşullarından korumaktır. Bu görev için çok uygun bir bileşendir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, model boyutta temin edilmiş olan camlara çeşitli deformasyon yöntemleri uygulanıp, camın yapısında meydana gelen değişiklikler ve bu değişikliklerin kollektör verimi üzerindeki etkisi araştırıldı.

PV hücrelerin temizlenmesi amacı ile kullanılan kimyasalların ve temizleme malzemelerinin hatalı kullanımı sonucu; PV hücrelerin enerji, ekserji ve güç dönüşüm verimliliği azalır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre bu malzemeler yüzeyde çizilme ve hasara neden olur ve bu hasarları telafi etmek mümkün değildir. Temizleme işlemi için kullanılan kimyasal malzemelerin sonuçları incelendiğinde en uygun yöntemin saf su olduğu görülür. Temizlikte kullanılan araçlardan olan çek çekteki enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimlilik parametrelerindeki azami düşüş sırasıyla % 17.87, % 19.38, % 19.62'dir. Bu yüzden PV'lerin temizlik işlemleri için sürekli yeni teknolojiler geliştirilmelidir. Temizliğini gerçekleştirecek personel iyi eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Paneller üzerinde biriken tozlar nem nedeniyle sertleşir, kuş dışkıları, reçine katılaşır ve bu da işçilik ve temizlik maliyetini artırır. Bu nedenle, temizleme işlemi belirli aralıklarla ve uygun malzemelerle yapılmalıdır. Temizlik için kullanılan malzemeler iyi seçilip yüzey deformasyonuna yol açmadığından emin olunmalıdır.

Rüzgar-toz deney sonuçlarına göre rüzgarla taşınan tozun oluşturmuş olduğu hasar PV hücrenin açısına bağlıdır. Bu çalışmada kollektör açısı azaldığı zaman rüzgarla taşınan tozun miktarıda azaldığı görülür. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliğinin kollektör açısı için ortalama % 13 azaldığı görülmüştür. (90° ve 40 ° arası) Rüzgar-toz deneyinden önce 1000W/m² güneş ışınımında 90° kollektör açısında enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimleri sırasıyla % 2.53, % 1.7, % 1.68 olarak hesaplanmıştır. Rüzgar-toz testinden sonra PV hücrenin enerji, ekserji ve güç dönüşümü verimliliği sırasıyla %2.19, %1.46, %1.44 olarak belirlenmiştir. Hücre üzerinde oluşan hasarın derecesi tozun farklı tür olması nedeniyle değişebilir. Tozun farklı tip olması PV hücre yüzeyinde daha yüksek ve daha düşük hasara neden olabilir.

Sıcak-soğuk deneylerinde iki farklı güneş camı türü ele alındı. Öncelikle, güneş camları soğutulup daha sonra ısıldı. Bu işlem sonucunda güneş camının özelliklerinde meydana gelen değişiklik araştırıldı. Güneş hücresi üzerine yerleştirilmiş olan referans güneş camı üzerinde yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda enerji verimliliğinin %

1,24 ile % 2,06 arasında değiştiği görüldü. Her iki güneş camı numunelerine uygulanan ısıtma ve soğutma işlemi sonucunda, her iki güneş camı türünün yapısında ve özelliklerinde ciddi bir değişiklik olmadığı görüldü. Referans ölçümlerde, ekserji verimlilik değerleri ışınım değerlerine göre % 0,76 ile % 1,52 arasında değişmektedir. A numuneleri için ölçüm sonuçlarında, ekserji verimlilik değerleri güneş ışınımına göre % 0,67 ile % 1,42 arasında değişmektedir. B numuneleri için ekserji verimliliği değerleri, güneş ışınımına göre % 0,66 ile % 1,49 arasında değişmektedir. A numuneleri için ölçüm sonuçlarında, g   dönüşümü verimlilik değerleri güneş ışınımına göre % 0,66 ile % 1,41 arasında değişmektedir. B numuneleri için g   dönüşümü verimlilik değerleri, güneş ışınımına göre % 0,63 ile % 1,47 arasında değişmektedir. Farklı dalga boyu yoğunlukları arasında, deneysel çalışmada kullanılan numunelerin yansıtma oranları, A numunesi için % 2 ile % 8 ve B numunesi için % 6 ile % 14 arasında değişmiştir. Özellikle 400 ile 700 nm dalga boyunda güneş ışınımı PV hücreleri tarafından elektrige dönüştürülür. A ve B güneş camı numunelerine uygulanan sıcaklık farkı nedeniyle, güneş camı numunelerinin özellikleri arasında bir değişiklik gözlenmedi. Bununla birlikte, dalga boyları (A ve B numuneleri için -50 ve +20 olduğu g r lm ştir.) ve (A numunesi için -50 ve +30), özellikle 200 nm ila 300 nm arasındadır. 400 ila 700 nm dalga boyları arasındaki geçirgenlik  zellikleri A güneş camı için % 91,820 ve B güneş camı için % 87,49 idi. Bu sonuçlar, soğutulmuş ve ısıtılmış A ve B tipi cam örneklerinin yüzeylerinde meydana gelen mikro çatlakların cam kalitesine veya deformasyona etkisi olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, güneş camı A ve B'nin her iki numunesi de çok uzun süre sıcaklık farklılıklarına maruz kalır, daha büyük mikro çatlaklar ve deformasyonlar meydana gelir ve güneş camının emme, geçirgenlik ve yansıtma özelliklerini ciddi şekilde etkileyebilir. Bu sonuçlara göre cam kalitesinin soğutulmuş ve ısıtılmış A ve B güneş camı örneklerinin yüzeylerinde meydana gelen mikro çatlaklara veya deformasyona etkisi olmadığını göstermektedir. A ve B güneş camı numuneleri çok uzun süre sıcaklık farklılıklarına maruz kalırsa, daha büyük mikro çatlaklar ve deformasyonlar meydana gelir ve güneş camının emme, geçirgenlik ve yansıtma özelliklerini ciddi şekilde etkileyebilir.

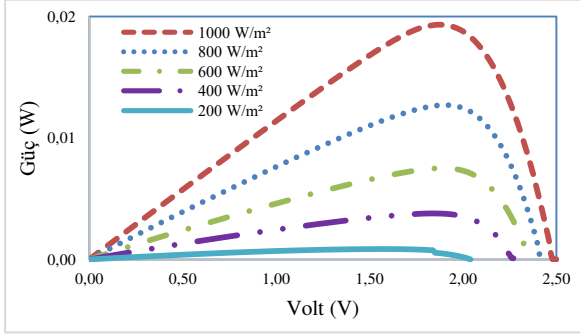
KAYNAKLAR

- [1] National Renewable Energy Laboratory. efficiency-chart @ www.nrel.gov. <https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png> , 2018.
- [2] **Lee Y, Tay AAO.**, 2013. Stress analysis of silicon wafer-based photovoltaic modules under IEC 61215 mechanical load test. *Energy Procedia*;33:265–71.
- [3] **Tanesab J, Parlevliet D, Whale J, Urmee T, Pryor T.**, 2015. The contribution of dust to performance degradation of PV modules in a temperate climate zone. *Solar Energy*;120:147–57.
- [4] **Ndiaye A, Kébé CMF, Ndiaye PA, Charki A, Kobi A, Sambou V.**, 2013. Impact of dust on the photovoltaic (PV) modules characteristics after an exposition year in Sahelian en-vironment: the case of Senegal. *International Journal of Physics Scientific*;8(21):1166–73.
- [5] **Zorrilla-Casanova J, Piliouguine M, Carretero J, Bernaola P, Carpena P, Mora-Lopez L.et al.**, 2011. Analysis of dust losses in photovoltaic modules. In: *Proceedings of the world renewable energy congress*. Sweden::2985–2992.
- [6] **Al-Douri Y, Waheb JH, Ameri M, Khenata R, Bouhemadou A, Reshak AH.**, 2013. Morphology, analysis and properties studies of CdS nanostructures under thiourea concentration effect for photovoltaic applications. *International Journal of Electrochemical Science* ;8:10688–96.
- [7] **Chaudhry AR, Ahmed R, Irfan A, Mohamad M, Muhammad S, Ul Haq B, et al.**, 2016. Optoelectronic properties of naphtho[2, 1-b:6, 5-b']difuran derivatives for photo-voltaic application: a computational study. *Journal of Molecular Modelling*;22.
- [8] **Rahman MM, Hasanuzzaman M, Rahim NA.**, 2015. Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion Management*;103:348–58.
- [9] **Skoplaki E, Palyvos JA.**, 2009. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*;83:614–24.
- [10] **Cuce E, Cuce PM, Karakas IH, Bali T.**, 2017. An accurate model for photovoltaic (PV) modules to determine electrical characteristics and thermodynamic performance parameters. *Energy Conversion Management*;146:205–16.
- [11] **Kazem, H.A., Khatib, T., Sopian, K., Buttinger, F., Elmenreich, W., Albusaidi, A.S.**, 2013. The effect of dust deposition on the performance of multi-crystalline photovoltaic modules based on experimental measurements. *International Journal Renewable. Energy Research (IJRER)* 3 (4), 850–853.
- [12] **Kazem, A.A., Chaichan, M.T., Kazem, H.A.**, 2014. Effect of dust on photovoltaic utilization in Iraq: review article. *Renewable and Sustainable. Energy Reviews*. 37, 734–749.
- [13] **Kazem, A.A., Chaichan, M.T.**, 2016. Experimental analysis of effect of dust's physical properties on photovoltaic modules in Northern Oman. *Solar Energy* 139,68-80.
- [14] **Mani M, Pillai R.** 2010. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: research status, challenges and recommendations. *Renew Sustain Energy Reviews*;14:3124–31.
- [15] **Darwish, Z.A., Kazem, H.A., Sopian, K., Alghoul, M.A., Chaichan, M.T.**, 2013. Impact of some environmental variables with dust on solar photovoltaic (PV) performance: review and research status. *International Journal of Energy Environment*. 7 (4), 152–159.

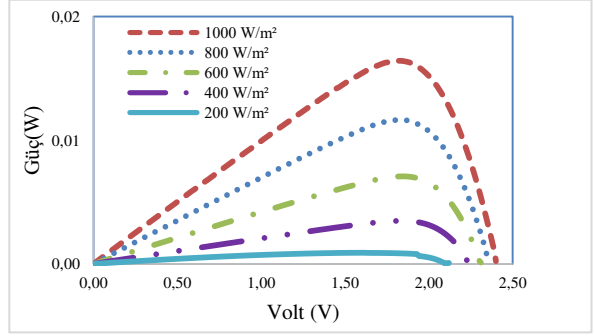
- [16] **Darwish, Z.A., Kazem, H.A., Sopian, K., Al-Goul, M.A., Alawadhi, H.,** 2015. Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance. *Renew. Sust. Energy Rev.* 41, 735–744.
- [17] **Sulaiman, S.A., Hussain, H.H., Leh, N.S.H.N., Razali, M.S.,** 2011. Effects of dust on the performance of PV panels. *World Academic Scientific English Technology.* 58, 588–593.
- [18] **Chaichan, M.T., Mohammed, B.A., Kazem, H.A.,** 2015. Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study. *International Journal of Science and Engineering. Research.* 6 (4), 594–601.
- [19] **Klugmann-Radziemska, E.,** 2015. Degradation of electrical performance of a crystalline photovoltaic module due to dust deposition in Northern Poland. *Renewable Energy* 78, 418–426.
- [20] **Sayyah A, Horenstein MN, Mazumder MK.,** 2014. Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels. *Solar Energy*;107:576–604.
- [21] **Jiang, H., Lu, L., Sun, K.,** 2011. Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules. *Atmospheric Environment.* 45, 4299–4304.
- [22] **Biryukov, S.A.,** 1996. Degradation of optical properties of solar collectors due to the ambient dust deposition as a function of particle size. *Journal of Aerosol Science.* 27, 37–45.
- [23] **Biryukov, S.,** 1998. An experimental study of the dry deposition mechanism for airborne dust. *Journal of Aerosol Science.* 29, 129–139.
- [24] **Niknia, I., Yaghoubi, M., Hessami, R.,** 2012. A novel experimental method to find dust deposition effect on the performance of parabolic trough solar collectors. *International Journal of Environment Studies.* 69, 233–252.
- [25] **Kaldellis, J.K., Kokala, A., Kapsali, M.,** 2010. Natural air pollution deposition impact on the efficiency of PV panels in urban environment. *Fresenius Environment Bulletin.* 19, 2864–2872.
- [26] **Kaldellis, J., Fragos, P., Kapsali, M.,** 2011. Systematic experimental study of the pollution deposition impact on the energy yield of photovoltaic installations. *Renewable Energy* 36, 2717–2724.
- [27] **Kaldellis, J., Kapsali, M.,** 2011. Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements. *Energy* 36, 5154–5161.
- [28] **Cabanillas, R., Munguía, H.,** 2011. Dust accumulation effect on efficiency of Si photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 3, 043114.
- [29] **Rahman, M., Islam, A., Zadidul Karim, A., Ronee, A.H.,** 2012. Effects of natural dust on the performance of PV panels in Bangladesh. *International Journal of Mod. Education Computation Science.* 4, 26–32.
- [30] **Appels, R., Muthirayan, B., Beerten, A., Paesen, R., Driesen, J., Poortmans, J.,** 2012. The effect of dust deposition on photovoltaic modules. In: *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 38th IEEE,* pp. 1886–1889.
- [31] **Massi Pavan, A., Mellit, A., De Pieri, D.,** 2011. The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants. *Solar Energy* 85, 1128–1136.
- [32] **Sanusi, Y.,** 2012. The performance of amorphous silicon PV system under Harmattan dust conditions in a tropical area. *Pa. Journal Scientific Technology* 13.
- [33] **Kumar, E.S., Sarkar, B., Behera, D.,** 2013. Soiling and dust impact on the efficiency and the maximum power point in the photovoltaic modules. *International Journal of Engineering Research Technology.* 2 (2), 1–8.

- [34] **Al-Ammri, A., Ghazi, A., Mustafa, F.,** 2013. Dust effects on the performance of PV street light in Baghdad city. International Renewable and Sustainable Energy Conference. (IRSEC), 18–22.
- [35] **Adinoyi, M.J., Said, S.A.M.,** 2013. Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules. Renewable Energy 60, 633–636.
- [36] **Qasem, H., Betts, T.R., Gottschalg, R.,** 2013. Spatially-resolved modeling of dust effect on cadmiumtelluride photovoltaic modules. Solar Energy 90, 154–163.
- [37] **Sueto, T., Ota, Y., Nishioka, K.,** 2013. Suppression of dust adhesion on a concentrator photovoltaic module using an anti-soiling photo-catalytic coating. Solar Energy 97, 414–417.
- [38] **Said, S.A.M., Walwil, H.M.,** 2014. Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance. Solar Energy 107, 328–337.
- [39] **Rifai, A., Abu Dheir, N., Yilbas, B.S., Khaled, M.,** 2016. Mechanics of dust removal from rotating disk in relation to self-cleaning applications of PV protective cover. Solar Energy 130, 193–206.
- [40] **Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., Kazmerski, L.L.,** 2013. A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: history, investigations, results, literature, and mitigation approaches. Renewable Sustainable Energy Reviews 22, 698–733.
- [41] **Zaihidee FM, Mekhilef S, Seyedmahmoudian M, Horan B.,** 2016. Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how. Renewable and Sustainable Energy Reviews;65:1267–78.
- [42] **Ahmed Z, Kazem H a, Sopian K.,** 2013. Effect of Dust on Photovoltaic Performance : Review and Research Status 2 Effect of Dust Properties. Latest Trends Renewable Energy Environment Informatics:193–9.
- [43] **Chin VJ, Salam Z, Ishaque K.,** 2015. Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review. Applied Energy;154:500–19.
- [44] **Gürtürk, M., Benli, H., Ertürk, N.K.,** 2018. Effects of different parameters on energy - Exergy and power conversion efficiency of PV modules. Renewable and Sustainable Energy Reviews 92, 426–439.
- [45] https://www.saykar.net/cam_kumu 01.05.2019
- [46] SPF:Certification n.d. <http://www.spf.ch/Certification.94.0.html?&L=6>, 2018.
- [47] Sisecam N.D. <http://www.sisecam.com.tr/en> , 2018.
- [48] Sarcam n.d. <http://en.sar-cam.com.tr/> , 2018.
- [49] **Kılıç A, Öztürk A.,** 1983. Güneş Enerjisi (in Turkish). KİPAŞ.
- [50] **Gürtürk M., Benli H., Ertürk N.K.,** 2020. Determination of The Effects of Temperature Changes on Solar Glass Used İn Photovoltaic Modules. Renewable and Sustainable Energy Reviews 711-724.
- [51] **Soylu M, Yakuphanoglu F.,** 2011. Photovoltaic and interface state density properties of the Au/n-GaAs Schottky barrier solar cell. Thin Solid Films;519:1950–4.
- [52] **Petela R.,** 1964;Exergy of Heat Radiation. Journal of Heat Transfer 86:187.
- [53] **Skouri S, Bouadila S, Ben Salah M, Ben Nasrallah S.,** 2013. Comparative study of different means of concentrated solar flux measurement of solar parabolic dish. Energy Conversion and Management 2013;76:1043–52.

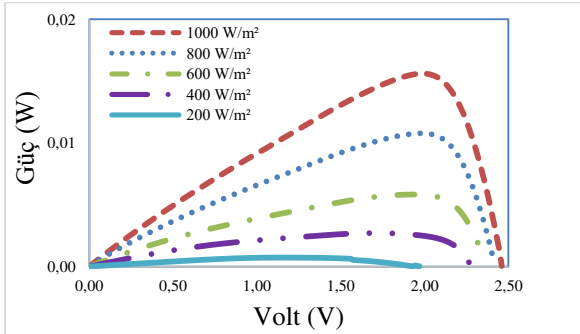
EKLER



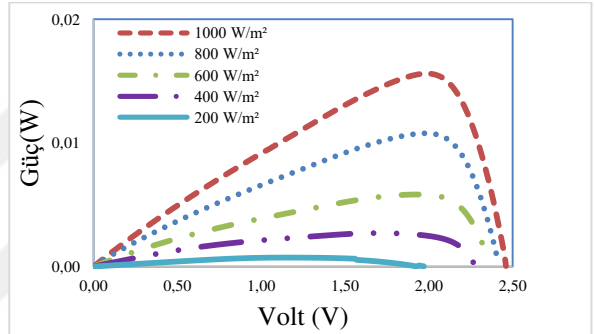
Deterjan kullanımı (Önce)



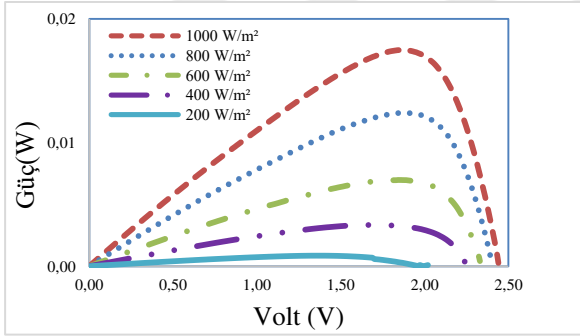
Deterjan kullanımı (Sonra)



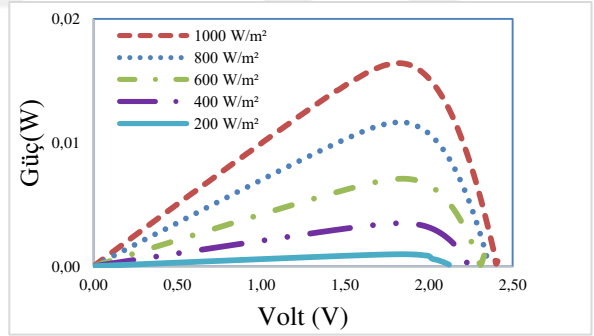
Saf su kullanımı (Önce)



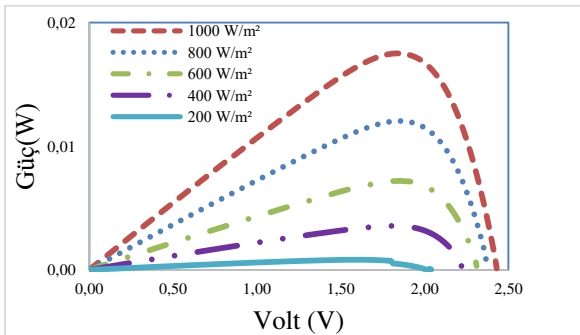
Saf su kullanımı (Sonra)



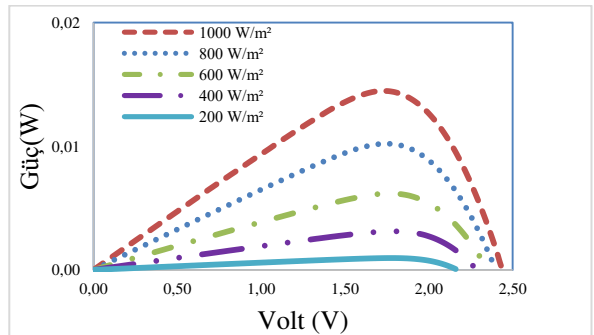
Şebeke suyu kullanımı (Önce)



Şebeke suyu kullanımı (Sonra)

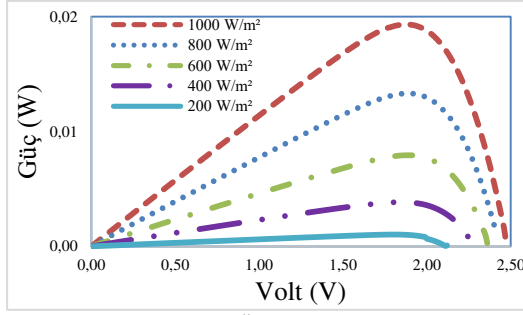


Sıvı sabun kullanımı (Önce)

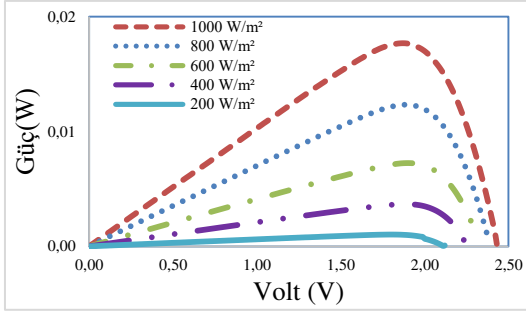


Sıvı sabun kullanımı (Sonra)

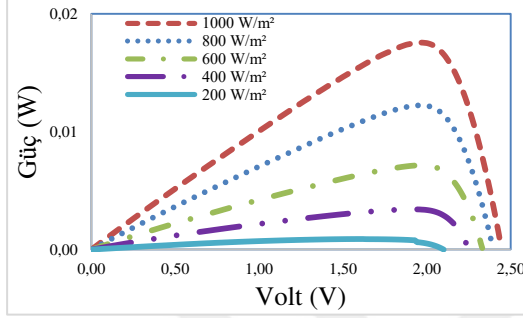
Ek- Şekil 1. Temizlik malzemelerinin P-V eğrilerinin değişimi



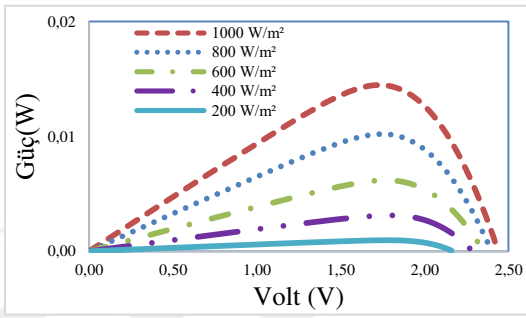
Cam jileti kullanımı (Önce)



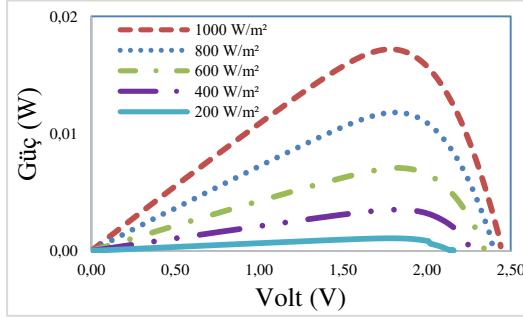
Cam jileti kullanımı (Sonra)



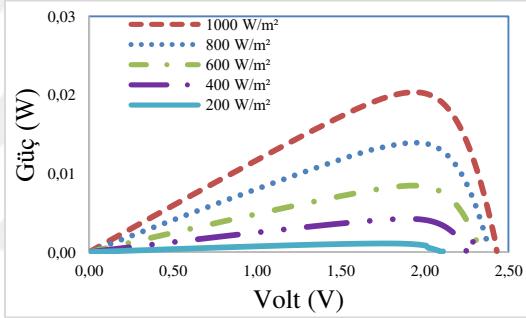
Çek çek kullanımı (Önce)



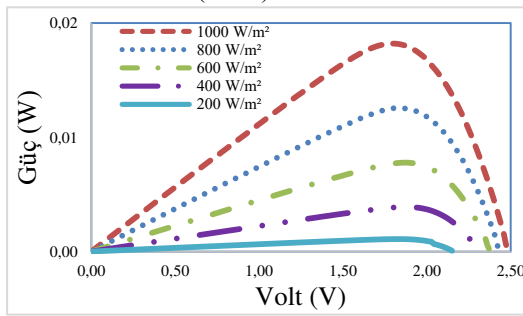
Çek çek kullanımı (Sonra)



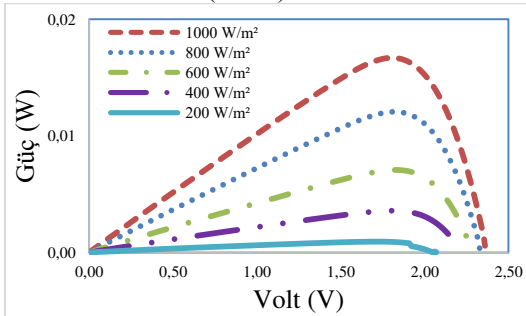
Güderi kullanımı (Önce)



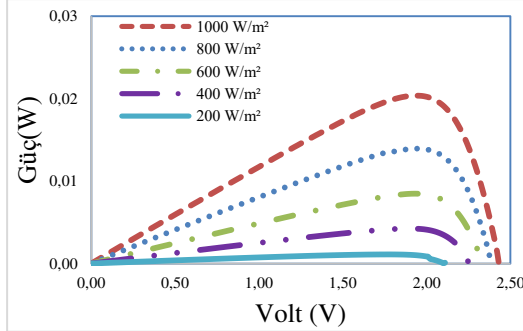
Güderi kullanımı (Sonra)



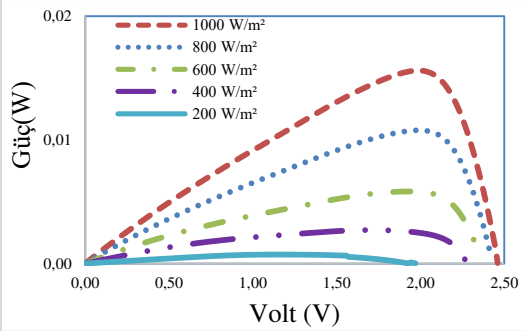
Pelüş kullanımı (Önce)



Pelüş kullanımı (Sonra)

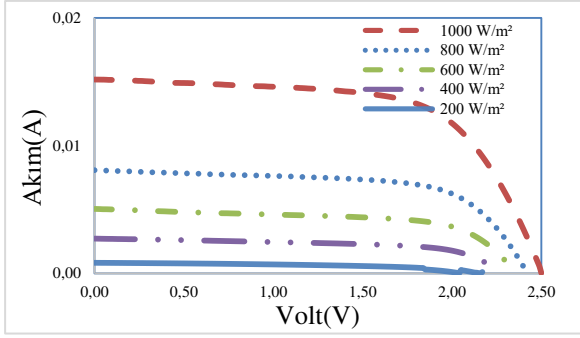


Sünger kullanımı (Önce)

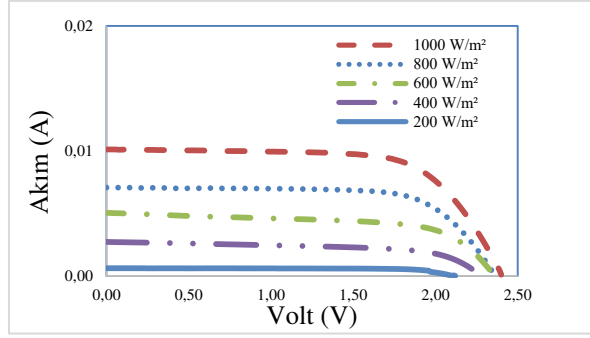


Sünger kullanımı (Sonra)

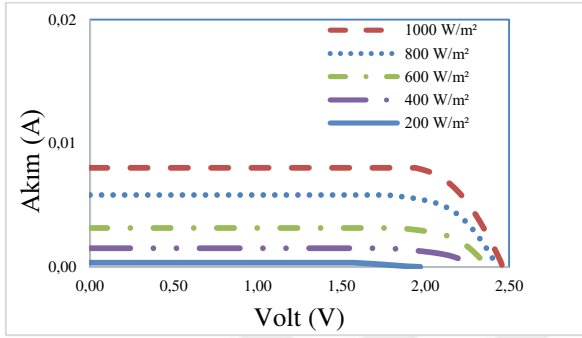
Ek - Şekil 2 Temizleme araçlarının P-V eğrilerinin değişimi



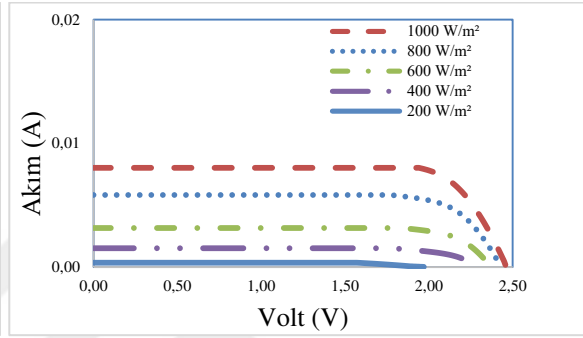
Deterjan kullanımı (Önce)



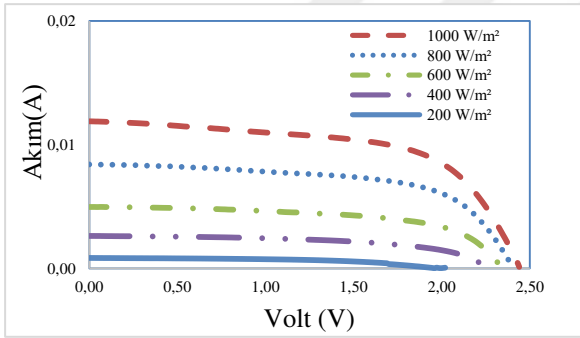
Deterjan kullanımı (Sonra)



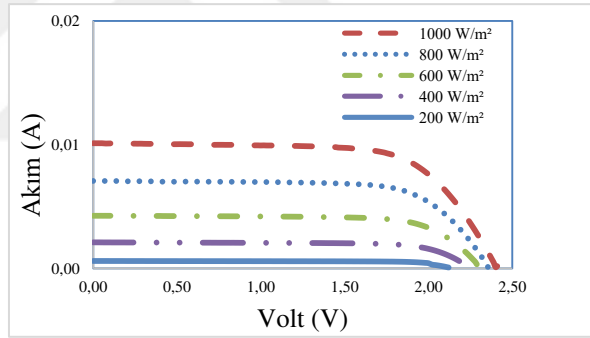
Saf su kullanımı (Önce)



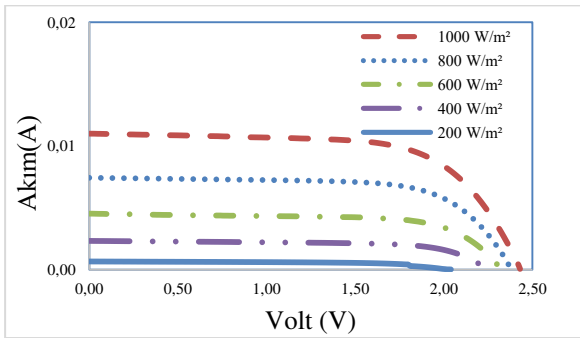
Saf su kullanımı (Sonra)



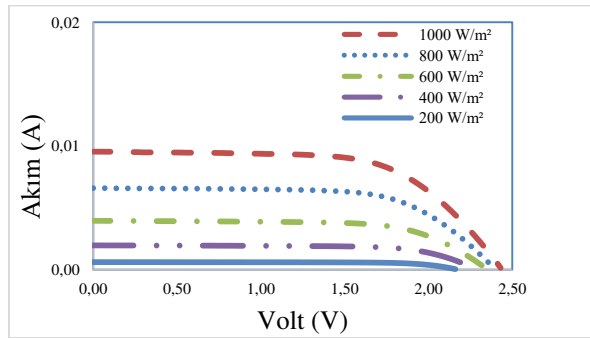
Şebeke suyu kullanımı (Önce)



Şebeke suyu kullanımı (Sonra)

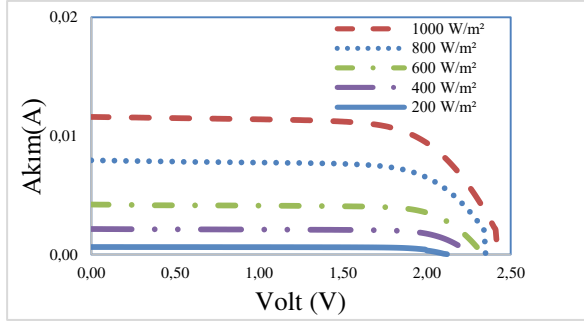


Sıvı sabun kullanımı (Önce)

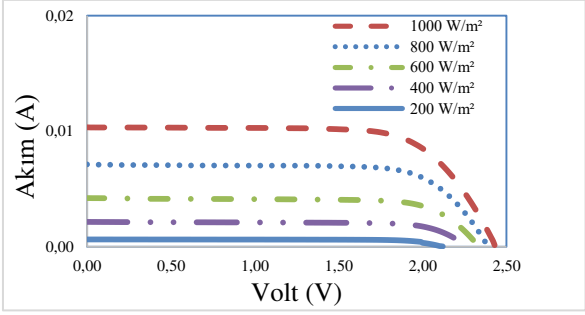


Sıvı sabun kullanımı (Sonra)

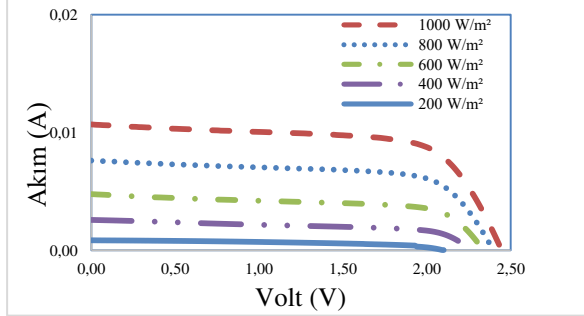
Ek- Şekil 3 Temizlik malzemelerinin I-V eğrilerinin değişimi



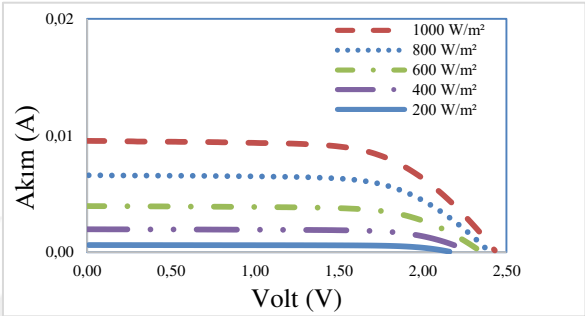
Cam jileti kullanımı (Önce)



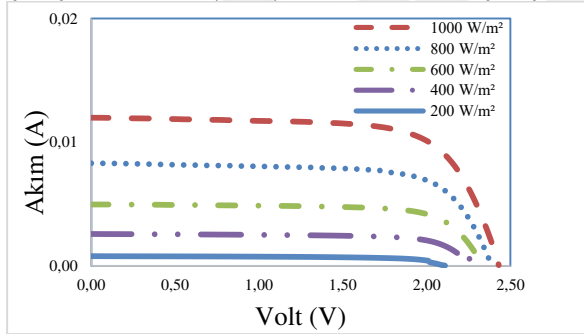
Cam jileti kullanımı (Sonra)



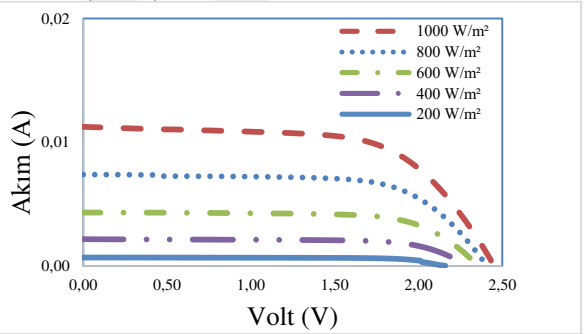
Çek çek kullanımı (Önce)



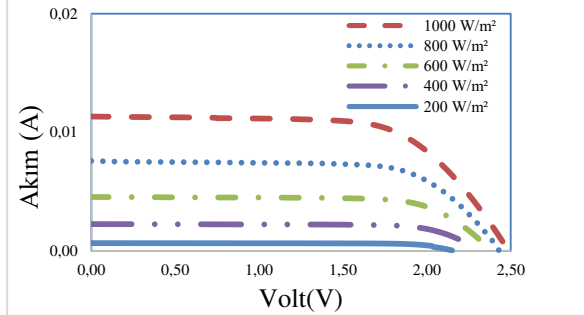
Çek çek kullanımı (Sonra)



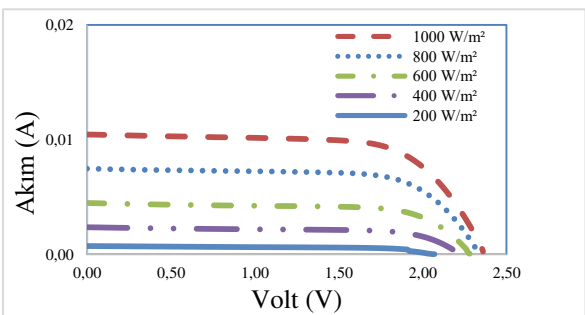
Güderi kullanımı (Önce)



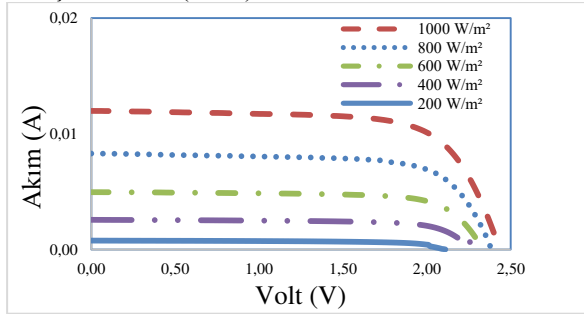
Güderi kullanımı (Sonra)



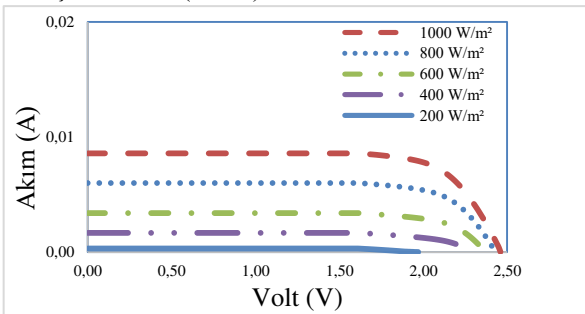
Pelüş kullanımı (Önce)



Pelüş kullanımı (Sonra)

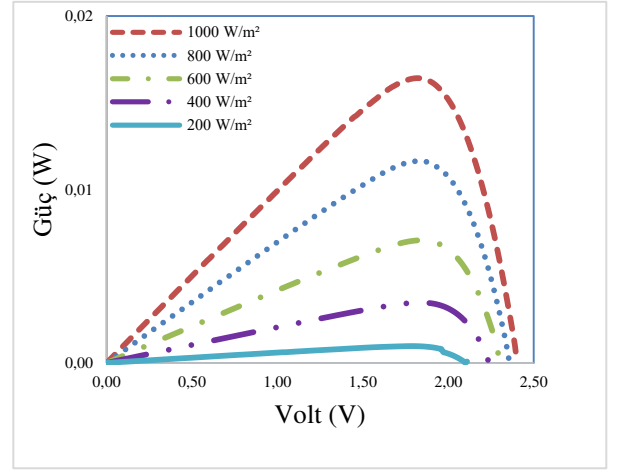
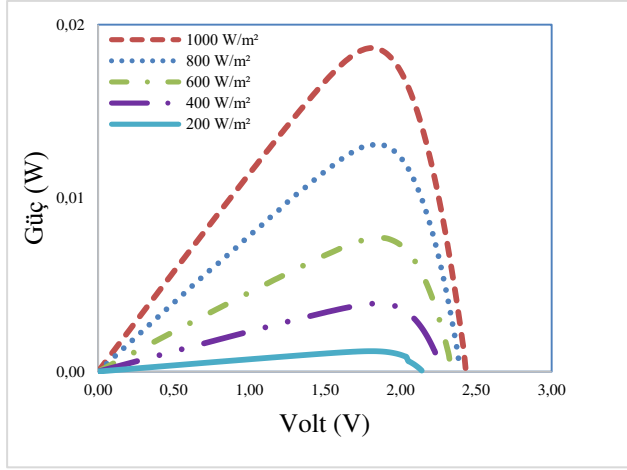


Sünger kullanımı (Önce)



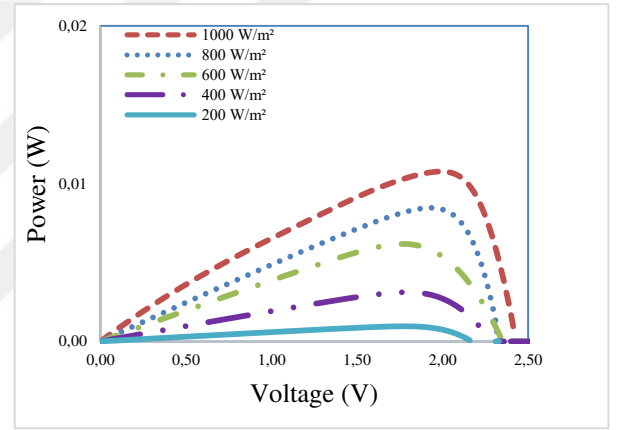
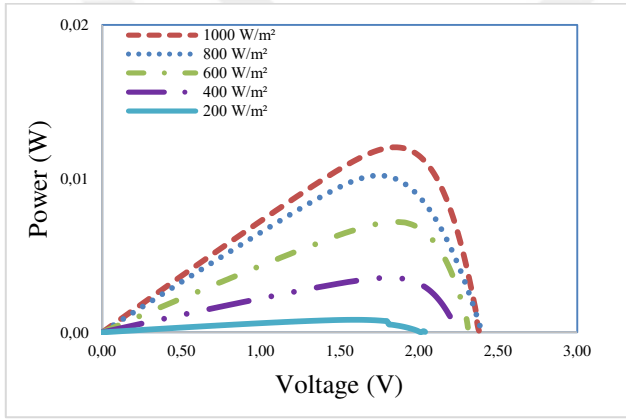
Sünger kullanımı (Sonra)

Ek - Şekil 4 Temizleme araçlarının I-V eğrilerinin değişimi



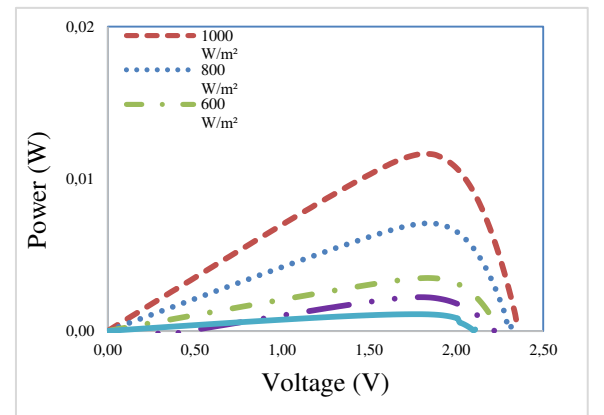
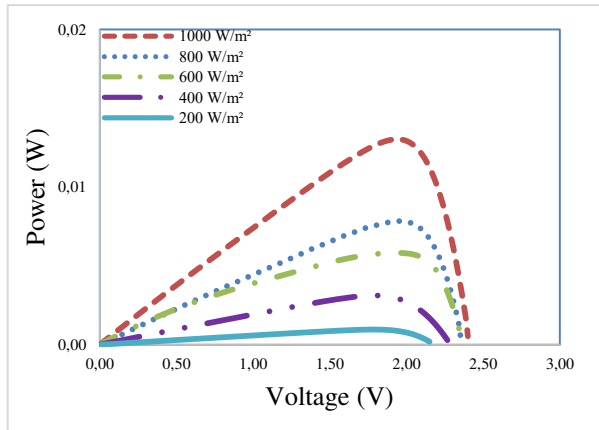
Toz püskürtmeden (Önce 90⁰)

Toz püskürttükten (Sonra 90⁰)



Toz püskürtmeden (Önce 80⁰)

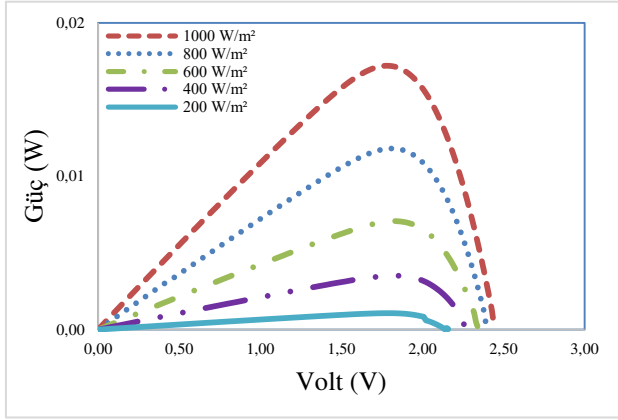
Toz püskürttükten (Sonra 80⁰)



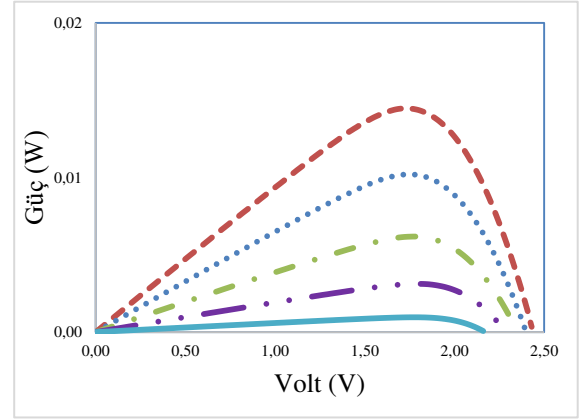
Toz püskürtmeden (Önce 70⁰)

Toz püskürtmeden (Sonra 70⁰)

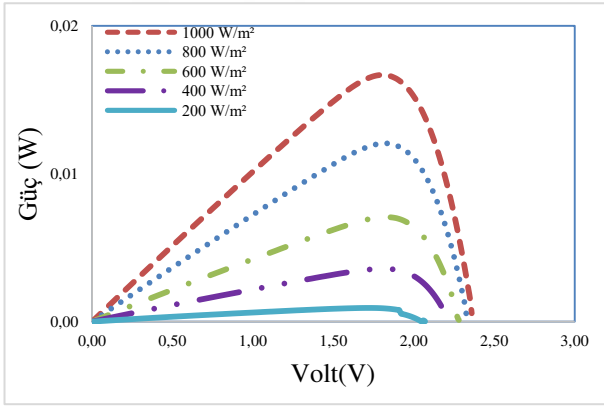
Ek- Şekil 5 Toz püskürtme P-V eğrilerinin değişimi



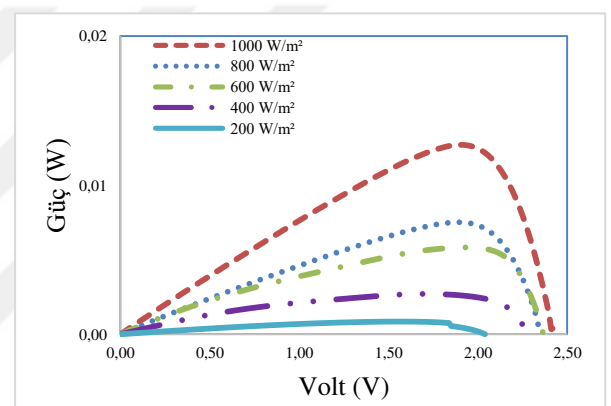
Toz püskürtmeden (Önce 60°)



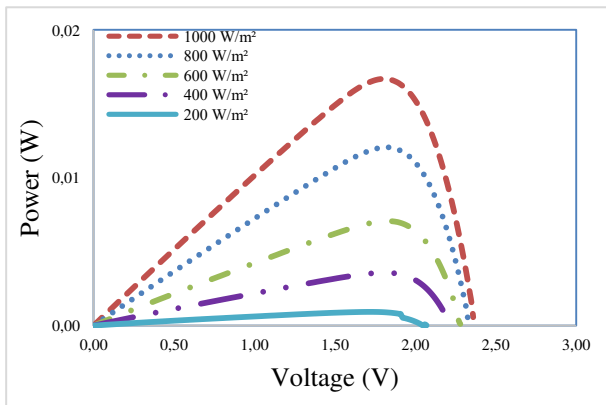
Toz püskürtükten (Sonra 60°)



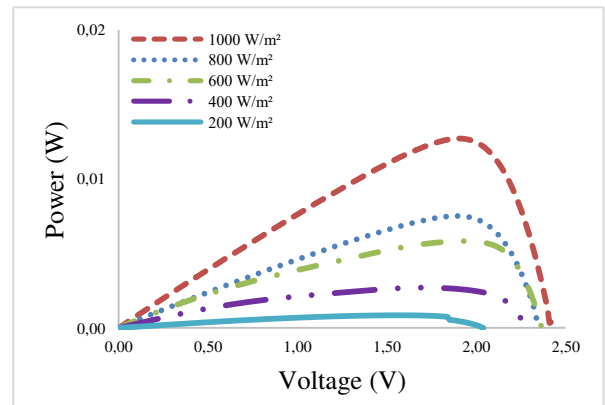
Toz püskürtmeden (Önce 50°)



Toz püskürtükten (Sonra 50°)

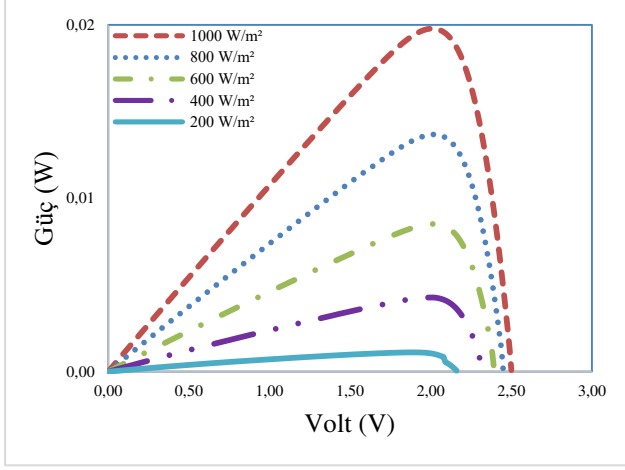


Toz püskürtmeden (Önce 40°)

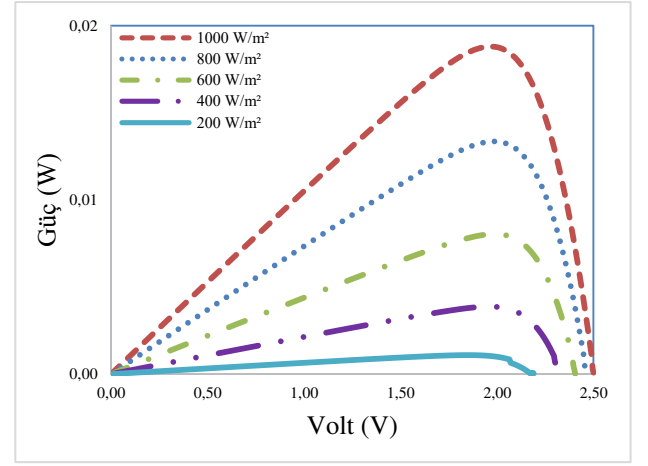


Toz püskürtmeden (Sonra 40°)

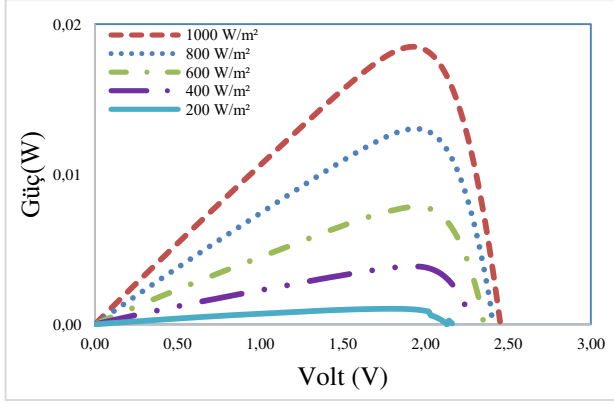
Ek- Şekil 5 Toz püskürtme P-V eğrilerinin değişimi (devamı)



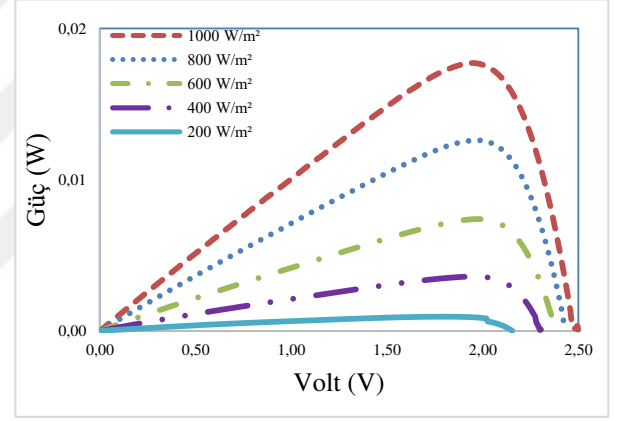
Toz püskürtmeden (Önce 30⁰)



Toz püskürttükten (Sonra 30⁰)

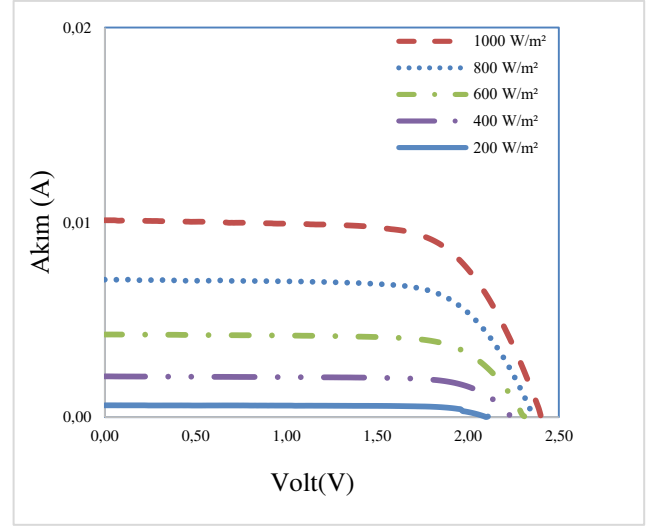
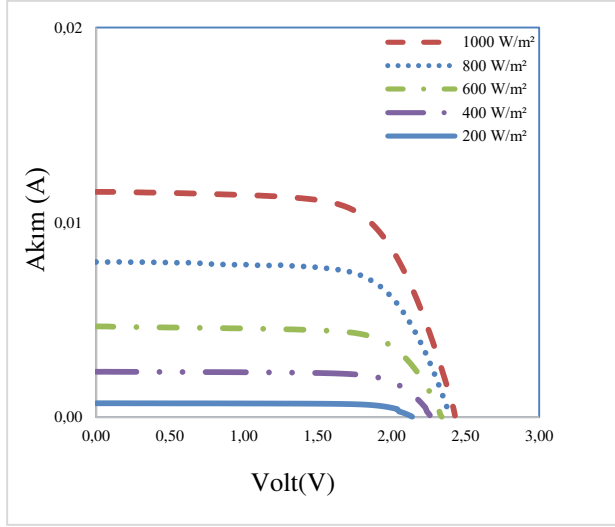


Toz püskürtmeden (Önce 20⁰)



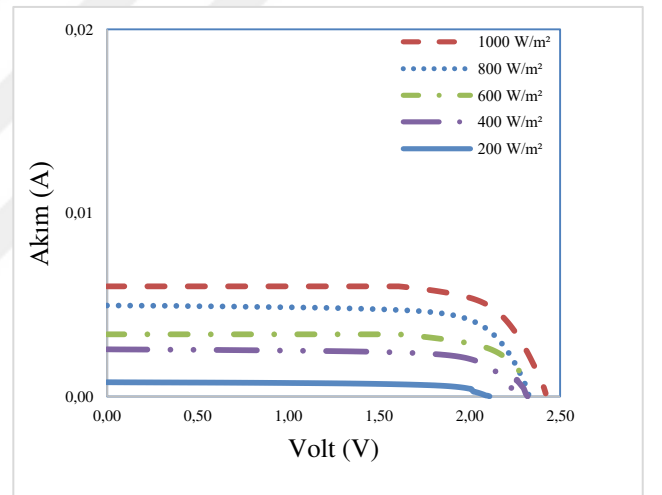
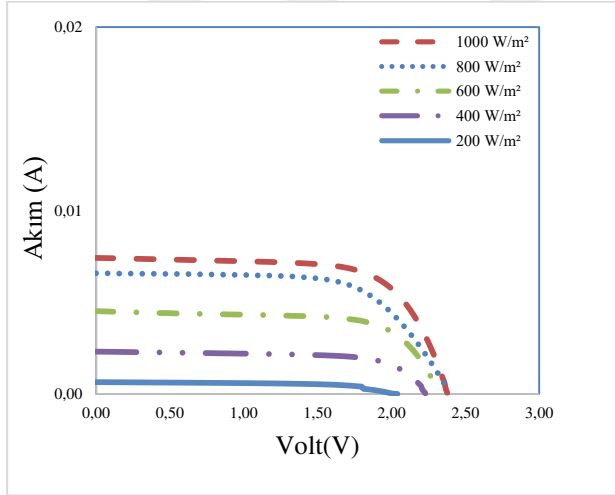
Toz püskürttükten (Sonra 20⁰)

Ek- Şekil 5 Toz püskürtme P-V eğrilerinin değişimi (devamı)



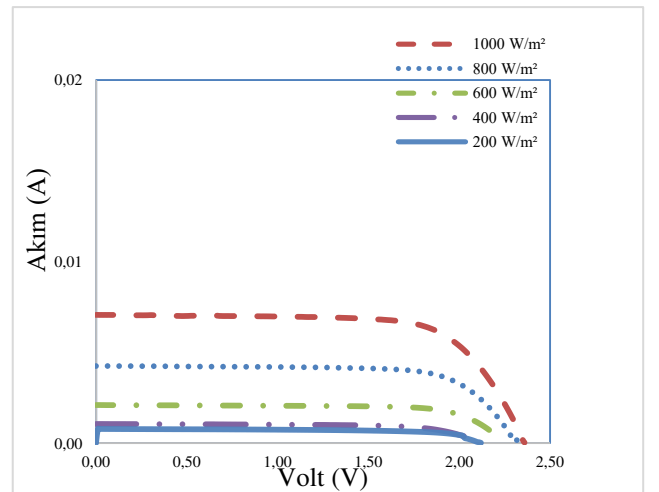
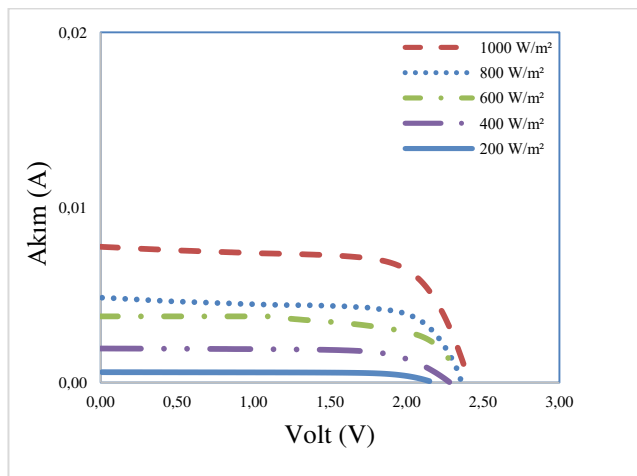
Toz püskürtmeden (Önce 90°)

Toz püskürttükten (Sonra 90°)



Toz püskürtmeden (Önce 80°)

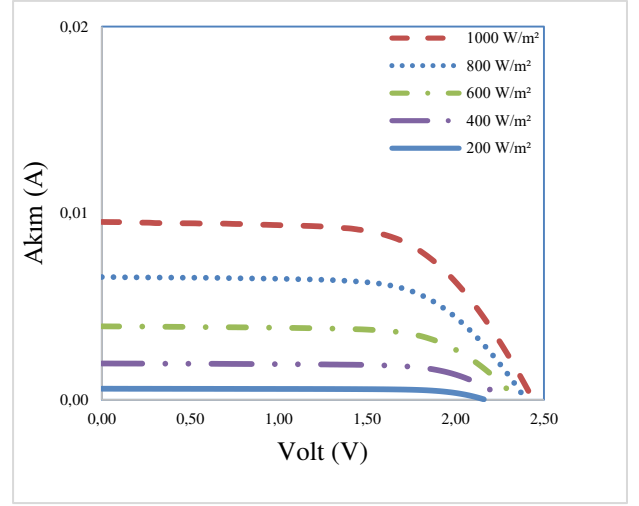
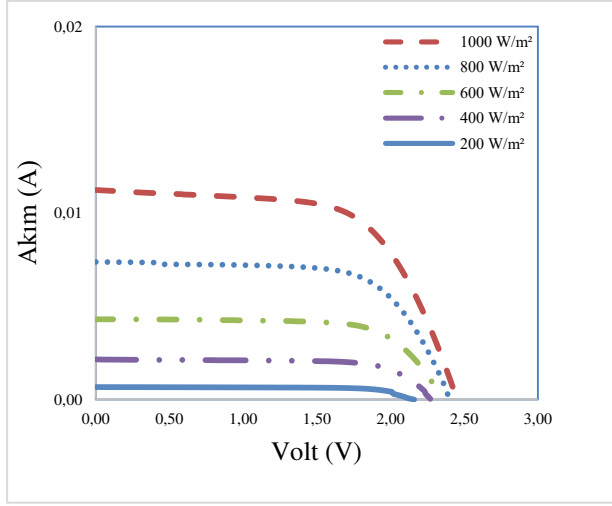
Toz püskürttükten (Sonra 80°)



Toz püskürtmeden (Önce 70°)

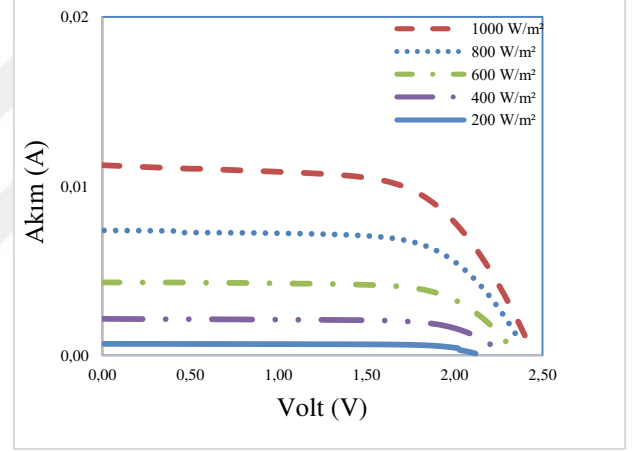
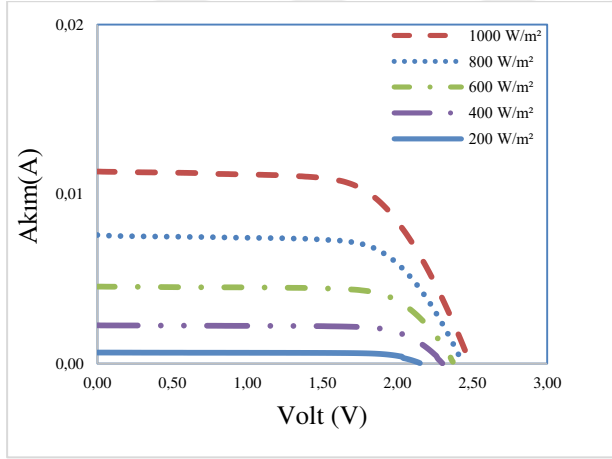
Toz püskürttükten (Sonra 70°)

Ek- Şekil 6 Toz püskürtme I-V eğrilerinin değişimi



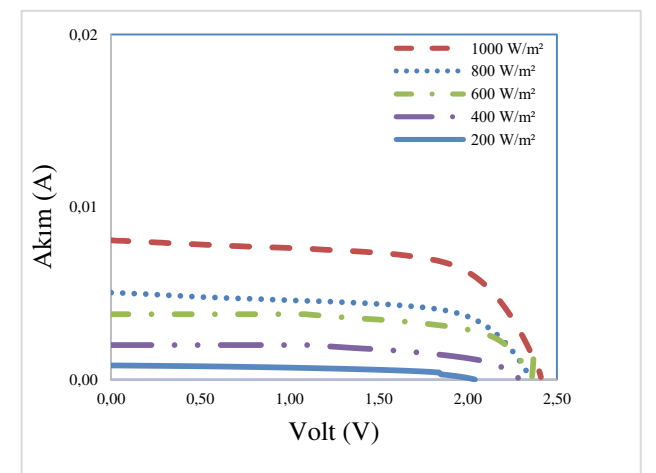
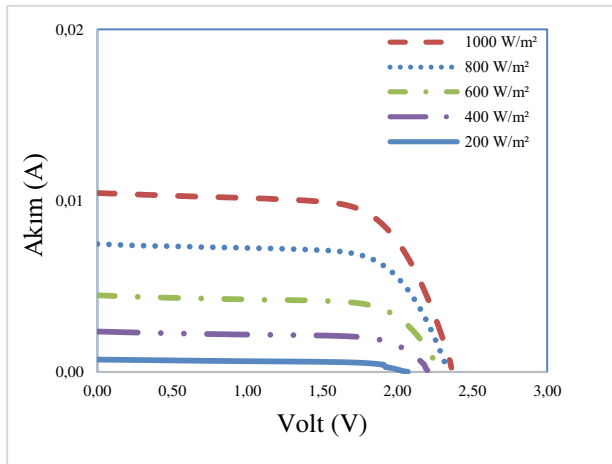
Toz püskürtmeden (Önce 60°)

Toz püskürttükten (Sonra 60°)



Toz püskürtmeden (Önce 50°)

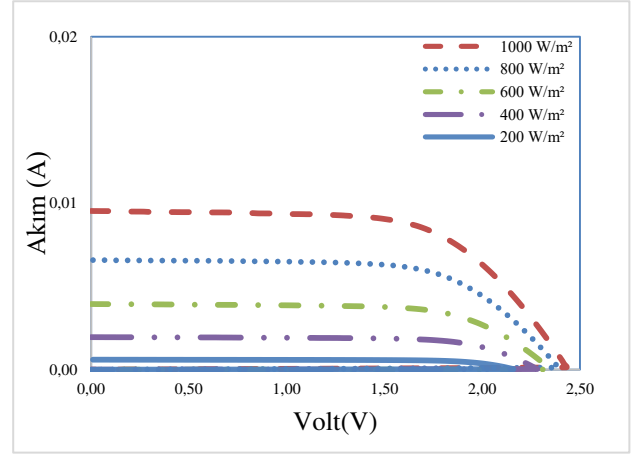
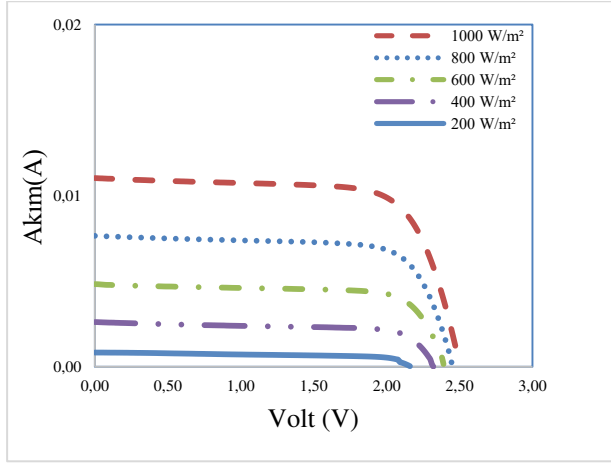
Toz püskürttükten (Sonra 50°)



Toz püskürtmeden (Önce 40°)

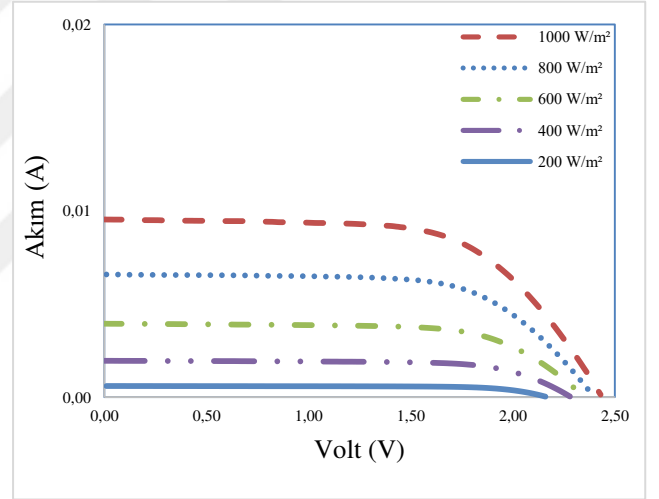
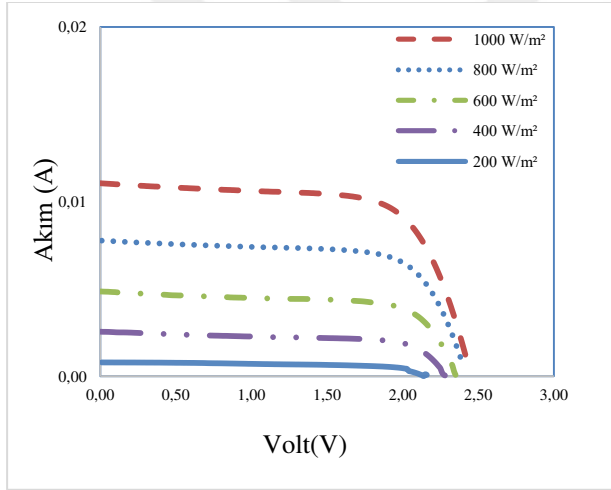
Toz püskürttükten (Sonra 40°)

Ek- Şekil 6 Toz püskürtme I-V eğrilerinin değişimi (devamı)



Toz püskürtmeden (Önce 30°)

Toz püskürttükten (Sonra 30°)



Toz püskürtmeden (Önce 20°)

Toz püskürttükten (Sonra 20°)

Ek- Şekil 6 Toz püskürtme I-V eğrilerinin değişimi (devamı)

ÖZGEÇMİŞ

Neslihan KOÇDEMİR ERTÜRK, 01 Temmuz 1990 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlk orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamlamıştır. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü programına kayıt yapmış ve bu bölümden 2013 yılında mezun olmuştur. 2013-2014 yılları arasında Elazığ Hürel Otomotiv İnş.San ve Tic.Ltd.Şti'de Kontrol Mühendisi olarak çalışmıştır. 2015 yılı Şubat ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalında lisansüstü eğitime başlamış yarım dönem bilimsel hazırlık almıştır. 2015-2017 yılları arasında Malatya Saygın Yapı Denetim firmasında Kontrol Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2017 yılında Gençlik ve Spor Bakanlığına atanmış olup çalışmaya halen devam etmektedir.