

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTROSTATİK YÖNTEMLE GÜNEŞ PANELİNİN TEMİZLENMESİ

Murat ALTINTAŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2021**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTROSTATİK YÖNTEMLE GÜNEŞ PANELİNİN TEMİZLENMESİ

Murat ALTINTAŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2021**

Dr. Öğr. Üyesi Serdal ARSLAN danışmanlığında, Murat ALTINTAŞ'ın hazırladığı “**Elektrostatik Yöntemle Güneş Panelinin Temizlenmesi**” konulu bu çalışma 19/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Serdal ARSLAN

Üye : Prof. Dr. M. Tahir GÜLLÜOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sibel AKKAYA OY

Bu Tezin Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	26
3.1. Materyal	26
3.1.1. Ülkemizde toz taşınımı ve tozlanma düzeyinin belirlenmesi	26
3.1.2. Şanlıurfa İli kirlilik eldesi ölçümü	37
3.1.3. Kirlilik ölçüm ve analizi veri setinin oluşturulması	38
3.1.4. Kirliliğin güneş panellerindeki üretim değerlerine etkisinin incelenmesi	44
3.1.5. Kirliliği meydana getiren faktörlerin birinci yöntemde kullanılan veri seti ile bulguların elde edilmesi ve analizi	47
3.1.6. Kirliliği meydana getiren faktörlerin ikinci yöntem olarak kullanılan PVSyst veri setinin oluşturulması ile bulguların elde edilmesi ve analizi	50
3.1.7. PVSyst sonuçların elde edilmesi	63
3.1.8. Ekonomik değerlendirme	67
3.2. Yöntem	68
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	83
4.1. Araştırma bulguları için FV panel temizlik yöntemi geliştirme çalışmaları ve ar-ge deneyleri	83
4.1.1. Elektronik kart tasarımı	83
4.1.2. Deney için PCB kart tasarımı ve baskı devre imalatı	87
4.1.3. Elektronik kart ve plaket bağlantıları	90
4.2. Bakır plaketlerin tek kanallı toz deneyi	91
4.3. Bakır plaketlerin 4 kanallı toz deneyine ilişkin bulgular	97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
5.1. Deneyisel verilerin incelenmesi ve tartışma	101
5.2. Sonuçlar	108
5.3. Öneriler	109
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ	115
EKLER	116
EK 1. GES Sahasına Ait Resim ve Koordinat Bilgileri	116
EK 2. Panele Ait Datasheet 1/2	117
EK 3. Akıllı Elektronik Kart Algoritma Şeması	119
EK 4. Deney Seti Üzerinden Alınan Aylık Toz Verisi İçerisinde Bulunan Element Grafiği 1/3	120
EK 5. Aylık Toz Verisi Tanecik Çapı	123

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTROSTATİK YÖNTEMLE GÜNEŞ PANELİNİN TEMİZLENMESİ

Murat ALTINTAŞ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serdal ARSLAN
Yıl: 2021, Sayfa: 123

Bu çalışmada; fotovoltaik panel yüzeyinde biriken tozların etkileri, Şanlıurfa ilinde bulunan bir güneş enerjisi santrali için kirlilik etkileri yazılım kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca panel yüzeyindeki aylık toz verileri ve etkileri elde edilmiştir. Yağmur kaydırıcı etkileri ve sulu temizleme sistemi maliyet bakımından incelenmiştir. Bu veriler dikkate alınarak panel yüzeyinden toz partiküllerinin uzaklaştırılması için elektrostatik panel temizleme yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemin çalışması için yüksek gerilim ve 1-5 Hz kare dalga çıkış veren dört kanallı kare dalga sinyal üreten elektronik kart üretilmiştir. Ayrıca panel yüzeyi için geleneksel ve önerilen model olarak ızgara şekilli baskı devreler (PCB'ler) üretilmiştir. Çalışma kapsamında toz temizleme verimlilikleri ve harcanan güç ölçülerek veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular ile klasik (sulu) panel temizleme yöntemi maliyet bakımından karşılaştırılmıştır. Elektrostatik temizleme yönteminin daha düşük maliyetle su gerektirmeden yüksek verimlilikte gerçekleştirilebildiği gösterilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Akıllı Kart Panel Temizliği, Susuz Panel Temizleme, Güneş Paneli, Verimlilik Arttırma.

ABSTRACT

MSc Thesis

AUTOMATIC CLEANING OF POWDERS IN PHOTOVOLTAIC PANELS BY USING ELECTROSTATIC CARD

Murat ALTINTAŞ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Electronic Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serdal ARSLAN
Year: 2021, Page: 123**

In this study; The effects of dust accumulating on the photovoltaic panel surface were analyzed to transmit electrical circuit pollution for a solar power plant located in Şanlıurfa province. In addition, monthly dust data and effects on the panel surface were obtained. Rain repellent effects and wet cleaning system were examined in terms of cost. Considering these data, the electrostatic panel cleaning method has been chosen to remove dust particles from the panel surface. For the operation of this method, an electronic card that produces a square wave signal with four channels with high voltage and 1-5 Hz square wave output was produced. In addition, grid-shaped printed circuits (PCBs) were produced as a traditional and recommended model for the panel surface. Within the scope of the study, a data set was created by measuring the dust cleaning efficiencies and the power consumed. The findings were compared with the conventional (aqueous) panel cleaning method in terms of cost. It has been shown that the electrostatic cleaning method can be carried out at a low cost without requiring water and at high efficiency.

KEY WORDS: Smart Card Panel Cleaning, Waterless Panel Cleaning, Solar Panel, Efficiency Increasing.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, çalışma sürem boyunca toz deneylerinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesi için toz gönderimi sağlayan Santoz Firması' na, tez çalışmamın başlangıcından itibaren katkılarını sunan ve yönlendirmesini eksik etmeyen değerli hocam ve tez danışmanım, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serdal ARSLAN'a her daim yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen eşime, anneme ve babama tez için uygulamamda GES santrali sahasını açan Badıllı GES Firması'na ve çalışmamın tamamlanmasında tüm destek verenlere minnettarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. 15 Mart 2020 tarihli toz konsantrasyonu $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerlerini gösterir Türkiye Haritası	28
Şekil 3.2. Partiküler maddelerin değerleri gösterimi.....	29
Şekil 3.3 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı hava kalitesi izleme istasyonları PM10 göstergesi	30
Şekil 3.4. 15 Mart 2020 PM10 kirlilik faktörü Şanlıurfa değerlendirmesi	31
Şekil 3.5. Toz etkisi azaltma teknikleri	34
Şekil 3.6. Panellerin konumlandırıldığı GES sahası genel görünümü	39
Şekil 3.7. Polikristal yapılı PV panelin araziye konumlandırılması (1. gün temiz PV panel görseli).....	39
Şekil 3.8. Taşıyıcı sisteme monte edilmiş halde bulunan invertör görüntüsü (veri sistem elemanı)	40
Şekil 3.9. Digital multimetre ölçüm cihazı ekranı görünümü.....	41
Şekil 3.10. Test analizinde kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM analiz cihazı)	41
Şekil 3.11. Ocak ayında test GES sahasına konumlandırılmış PV panel yüzeyinde 14.03.2020 biriken tozun toplanması ve temizlenmiş panel yüzeyi görselleri	42
Şekil 3.12. 03.2020 ile 04.2020 tarihleri arasında 30 günlük PV panel yüzeyinde biriken toz ve tozların toplanması ile PV panel temizliği.....	43
Şekil 3.13. Nisan 2020 ile Mayıs 2020 14 günlük PV panel yüzeyinde biriken toz ve tozların toplanması ile PV panel temizliği.....	44
Şekil 3.14. Partikül maddelerin mikro yapısının SEM analizinde görünümü.....	50
Şekil 3.15. PVSyst programı arayüz görünümü.	53
Şekil 3.16. PVSyst programında coğrafi koordinat penceresi	54
Şekil 3.17. Araziye uygulanmış GES yerleşkesi uydu görüntüsü	56
Şekil 3.18. PVSyst programı panelin yönelim eğim açısı belirleme penceresi	57
Şekil 3.19. PVSyst'te benzetim bileşenlerinin seçilmesi.....	57
Şekil 3.20. FV sistemin arazi panel dizilimi ve yakın gölgelenme seçim penceresi	58
Şekil 3.21. FV sistemin arazi panel dizilimi, yakın gölgelenme analiz tablo ve grafik penceresi	59
Şekil 3.22. FV sistemin araziye otomatik panel dizilimi penceresi.....	60
Şekil 3.23. Karbon salınımı analizi penceresi.....	61
Şekil 3.24. PVSyst sonuçlar menüsü.....	61
Şekil 3.25. Normalize edilmiş üretim ve kayıp değerleri	63
Şekil 3.26. Yıl boyunca oluşan kayıp diyagramı örneği.....	65
Şekil 3.27. Kirlilik faktörüne göre invertör çıkış gücü değişimi.....	66
Şekil 3.28. Kirlilik faktörüne göre iletken kaybı ve sıcaklık nedeniyle panel kaybı değişimi	66
Şekil 3.29. Kirlilik faktörüne göre ısıtım seviyesi nedeniyle panel kaybının değişimi.....	67
Şekil 3.30. Santral için yapılan ekonomik değerlendirme penceresi	68
Şekil 3.31. Mart ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı analizi	70
Şekil 3.32. Nisan ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi....	71
Şekil 3.33. Mayıs ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi ...	71
Şekil 3.34. Haziran ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi	72
Şekil 3.35. Temmuz ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi	72
Şekil 3.36. Ağustos ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi	73
Şekil 3.37. Eylül ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi	73
Şekil 3.38. Kirli panel görselleri (araştırma sahası kirli panel görüntümleri)	77
Şekil 3.39. Araştırma sahası olan 1 MW kurulu güçteki bölücek GES panel temizliği görselleri	78
Şekil 3.40. Yağmur deneyi kirli panel, hidrofobik malzeme ile kaplanması ve temiz panel	79
Şekil 4.1. Elektronik kart tasarım görselleri	83
Şekil 4.2a. Akıllı elektronik kart sistem detayları görseli.....	85
Şekil 4.2b. Akıllı elektronik kart 4 kanal dalga çıkış formu	86
Şekil 4.3. Elektronik kartın 4 kanallı bağlantısı.....	86
Şekil 4.4a. Geleneksel model	87
Şekil 4.4a. Geleneksel model (L1 kodlu pcb).....	87
Şekil 4.4a. Geleneksel model (M1 kodlu pcb).....	88

Şekil 4.4b. Önerilen modeller (M2 kodlu pcb)	88
Şekil 4.4.b. Önerilen modeller (L2 kodlu pcb)	88
Şekil 4.4. Tasarlanan baskı devre şekilleri a-Geleneksel modeller, b-Önerilen modeller	88
Şekil 4.5. Tasarlanan baskı devre çözünme işlemleri a-Karışım içerisindeki plakette, b- Çözünmeye başlayan plaket	89
Şekil 4.6. Plaket deformasyonları a-Deforme olmuş plaket b-Çözünen plaket.....	89
Şekil 4.7. Lehimlenmiş plaket a-Bakır plaket lehimleme b- Temizlenmiş bakır plaket görselleri	90
Şekil 4.8. Elektronik akıllı kart ve bakır plaket bağlantısı.....	91
Şekil 4.9. Tek kanallı bakır plaket deneyi	92
Şekil 4.10. M3 kodlu plaket temiz hali	92
Şekil 4.11. M3 kodlu plaket 100-300 µm homojen tozlu hali	93
Şekil 4.12. M3 kodlu plaket 100-300 µm tozun bakır yol arasında toplanmış hali.....	93
Şekil 4.13. M4 kodlu plaket temiz ve tozlu hali	94
Şekil 4.17. L1 kodlu plaket temiz hali Şekil 4.18. L1 kodlu plaket tozlu hali	96
Şekil 4.19. L1 kodlu plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali	96
Şekil 4.20. L2 kodlu 4 kanal 1Hz 11kV temiz plaket	98
Şekil 4.21. L2 kodlu 4 kanal 1Hz 11kV tozlu plaket	98
Şekil 4.22. L2 1Hz 11kV 4 kanal plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali	99
Şekil 4.23. L1 1Hz 11kV 4 kanal temiz plaket.....	99
Şekil 4.24. L1 1Hz 11kV 4 kanal plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali	100
Şekil 5.1. N1 Geleneksel yöntem 17mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz gözlemi	102
Şekil 5.2. N2 Önerilen yöntem 17mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz.....	102
Şekil 5.3. 1Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi	103
Şekil 5.4. 2Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi	103
Şekil 5.5. 3Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi	104
Şekil 5.6. L1 Geleneksel yöntem 20mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz.....	105
Şekil 5.7. L2 Önerilen yöntem 20mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz	105
Şekil 5.8. 1Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi	106
Şekil 5.9. 2Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi	106
Şekil 5.10. 3Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Kabul gören toz ölçek modelleri korelasyon katsayıları	30
Çizelge 3.2. Şanlıurfa İli, ÇSB güneydoğu tahmin merkezi.....	32
Çizelge 3.3. Gaziantep İli, 15.03.2020-15.04.2020 tarihleri arası raporlanan aylık veriler ÇSB güneydoğu tahmin merkezi	32
Çizelge 3.4. FV panellerde dijital ölçüm cihazı ile tespit edilen tozlanmanın üretime etkisini gösterir ölçüm değerleri kirli ve temiz panel üretimi karşılaştırması	48
Çizelge 3.5. Taramalı Elektron miknatısı partikül incelemesinden elde edilen partikül içeriği analizi.....	49
Çizelge 3.6. Bölücek GES köşe noktaları koordinat bilgileri	54
Çizelge 3.7. Köşe noktalarının iyileştirilmesi çalışması.....	55
Çizelge 3.8. Google haritalar bölüce enlem ve boylam değerlerinin işlenmesi için KML koordinatlarının oluşturulması	55
Çizelge 3.9. Benzetim parametreleri.....	62
Çizelge 3.10. Şebeke bağlantılı GES santralinin benzetim parametreleri	62
Çizelge 3.11. Enerji üretimi ile ilgili ana sonuçlar.....	64
Çizelge 3.12. Kaba temizleme yöntemi ile kirli ve temiz panele ilişkin ölçüm tablosu	80
Çizelge 3.13. Su kaydırıcı aktif madde ile FV yüzeyin kaplanması işlemi üç farklı tip solüsyon performansının ölçümü.....	81
Çizelge 3.14. Temizlik maliyet hesabı.....	81
Çizelge 4.1. Dört kanallı voltaj jeneratörü, güç tasarım hesaplaması tablosu.....	84

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A.B.	Avrupa Birliği
A.B.D	Amerika Birleşik Devletleri
AERONET	Aerosol Robotik Ağı
cm	Santimetre
CO ₂	Karbon Dioksit
CSP	Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Aynalar
ÇŞB, ÇSB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
dB	Desibel
EDAŞ	Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
EDS	Enerji Saçılım Spektroskopisi
EİGM	Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletmeleri Anonim Şirketi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVA	Güneş Panellerinde Bulunan Orta Katman (Ethylene Vinyl Acetate)
FV	Fotovoltaik (PV)
GES	Güneş Enerjisi Santrali
GW	Gigawatt
Hz	Frekans
IEA	Uluslararası Enerji Örgütü (International Energy Agency)
kWh	Kilowatt Saat
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
MEMS	mikro-elektro-mekanik sistem
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
mm	Milimetre
MW	Megawatt
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
PM10	10 Micron Çaplı Partikül Madde
PM2,5	2,5 Micron Çaplı Partikül Madde
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim
THM	Temiz Hava Merkezi
TW	Terawatt
u	Mikron
um	Mikrometre
UV	Ultraviyole (Mor ötesi güneş ışını)
VOC	Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds)
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YAD	Yüzey Akustik Dalga
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları

1. GİRİŞ

Güneş, dünyamızın ısı ve ışık kaynağıdır. İnsanlık tarihinde ona kutsaliyet atfederek doğmasına yakın, doğması sırasında veya batmasına yakın ortalığı bir kıızıllığın kaplamasıyla çeşitli ritüellerle minnetlerini sunmuşlar mitolojik karakterleri de kapsayan efsanelerin üretilmesine katkı sunmuşlardır (Özbek, 2018). Âdemoğlu artık güneşi ısı ve ışık kaynağı olarak görmesinin yanı sıra gelişen teknoloji ile ondan yararlanmanın yollarını keşfetmiştir. Bu enerji kaynağının kullanılabilir olacağına dair ilk çalışmalar, güneş enerjisi ile buhar üretimi ile başlamıştır. Bu süreçte bazı buhar ile çalışan makine sistemleri geliştirilmiştir. Ayrıca elektrik üretimin yapılabilmesine dair düşünce 19. yy. başlarında Edmond Becquerel'ün ileri sürdüğü görüşle başlatılmıştır. 1839 yılında Becquerel elektrolit içine daldırılmış elektrotlar arasında bulunan gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemlemiş ve Fotovoltaik akımı bulmuştur (Duran, 2014). Benzer durum katı cisimlerde ilk kez 1876 yılında R.E. Day ve G.W. Adams tarafından Selenyum kristalleri üzerinde gösterilmiştir. 1893 yılında, Charles Fritts çalışmalarında Selenyum plakalarını, ince bir altın tabakası ile kaplayarak plakaya bağlanan deney lambasının yakılması ile ispatlamıştır. Fotovoltaik gözelerdeki verimlilik 1914 yılında %1 değerine ulaşmıştır. Ancak güneş enerjisini elektrik enerjisine %6 verimlilik ile dönüştürebilen fotovoltaik gözeler, 1954 yılında Silikon kristalinin kullanılması ile mümkün olmuştur (İTÜ, 2014). Bu kristalin %6 verimliliğini kanıtlayan çalışmalar; 1941 yılında A.B.D'de bulunan Bell Laboratuvarlarında çalışan ve silikonlu güneş pilinin mucidi olan Russel Shoemaker Ohl'un şirketi tarafından gerçekleştirilmiştir. 1970'li yıllardan itibaren hesap makineleri ile güneş panelleri yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Özdel K., 2020). Günümüzde hesap makinelerinde güneş enerjisi halen kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra; uzay sanayi ürünlerinde kullanılan güneş panellerini meydana getiren hücreler tarafından elektrik üretimi sağlanmaktadır. Güneş enerjili sıcak su sistemleri, iklimlendirme sistemi olarak bilinen ısıtma ve soğutma sistemi olan HVAC sistemlerde, son olarak da plaka ile cep telefonu şarj etme sistemlerinde de kullanılmaktadır (William ve ark., 2007).

Ülkemizin enerji politikası enerji ithalatını azaltmak ve enerji talebini karşılamak amacıyla elektrik enerjisi üreten sistemlere yatırımlar gerçekleştirmektir. Bu kapsamda kurulan santraller (hidroelektrik, termik, doğal gaz vb.) ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Son yıllarda malzeme teknolojisindeki ilerlemeler güneş enerjisinden elektrik üreten santrallerin artışına sebep olmuştur. Ayrıca diğer ülkelerin gündeminde olduğu gibi ülkemiz gündeminde de yerini almış ve enerji politikaları gereği çeşitli teşvik imkanları sunularak desteklenmesi kararları da bulunmaktadır. Ülkemizde elektrik enerjisi üretimi için kurulacak santraller hakkında çalışmalar; yasal mevzuat kapsamında yasa, talimatname, beyanname ve çeşitli kararlarla belirlenmiştir. Uygulamanın her safhası; lisanssız elektrik üreticileri ve lisanslı elektrik üreten otoprodüktör, müessese ve kurumlarla ilgili dağıtım şirketleri açısından belirlenmiştir. Ülkemizde tüm enerji üretim santralleri, değerlendirmeleri ve proje süreçleri bu kurumlarca denetlenmekte ayrıca kanun yapıcılar tarafından yasal mevzuat çerçeveleri belirlenmektedir. Bu kapsamda 2013 yılında düzenlenen ve üretilen enerji miktarının ihtiyaç kadarının kullanılması kalan enerji miktarının ise bölgesel dağıtım şirketi (E.D.A.Ş) tarafından satın alınması maddesine istinaden lisanssız elektrik üretimi santral sayısında büyük bir artış olmuştur (28783 Sayılı Resmî Gazete). Temelde bir Güneş Enerji Santrali (GES) için bilinen sistem elemanları şu şekildedir (EMO, 2020):

- Güneş Paneli
- Evirici
- Akü
- Şarj ünitesi
- Yedek güç kaynağı
- Uzaktan izleme kontrol sistemi
- Çelik konstrüksiyon
- AC-DC kablo, çift yönlü sayaç, somun, cıvata vs.

Güneş panellerinin verimliliğini etkileyen faktörler açık alanda bulunmaktadır. Bu nedenle hava koşulları ve jeolojik koşullar olarak ikiye ayrılmaktadır (Altıntaş ve Arslan, 2020). Hava koşulları mevsim değişimleri, güneşin radyasyon değerleri, konumu ve açısı ile rüzgâr, yağmur, kar vb. meteorolojik

değişkenler ve bu değişkenlere bağlı olarak elektrik üretim değerlerine etki etmektedir. Bu değişkenlerin bir araya gelmesi ile oluşan etki “meteorolojik koşullar” olarak tanımlanırken, bu koşullara bağlı olarak oluşan kirlenme oranı ise “meteorolojik kirlenme” olarak adlandırılmaktadır (Aly ve ark., 2015).

Jeolojik koşullar ise üretim santralinin yer aldığı sahaya yakın kumsal; binalar, otlar, ağaçlar gibi herhangi bir fiziksel yapıdan kaynaklanan gölgeleme; sahaya ait tozlanma; üretim sahası yakınında yer alan ve genelde kuşların kullandığı bilinen göç yolları, santral sahası yakınlarında bulunan akarsu kaynakları vb. etkenlerdir. Panellerde bu faktörlerden kaynaklanan kirlenme oranı panel verimliliğini ve buna bağlı olarak elektrik santralindeki toplam üretim değerini etkilemektedir. Bu faktörlerin sebep olduğu kirlenme büyüklüğü arazinin yapısal durumu ve santral sahasının konumuyla ortaya çıktığı için bu tür kirlenmeler “jeolojik koşullara bağlı kirlenme” olarak adlandırılmaktadır (Sayyah ve ark., 2014).

Her iki koşul ve buna bağlı kirlenme oranları, henüz proje aşamasındayken santral kurulmadan, alan uzmanları tarafından incelenerek rapor hazırlamasıyla öngörülebilir durumlardır. Mevcut koşulların santral sahasında oluşturduğu kirlilik faktörü, panel kullanım ömrünü ve panellerin üretim değerlerini azaltmaktadır. Bu sebepleri panellerin belirli aralıklar ile bakımlarının yapılması ve sık sık temizlenmesi gerekmektedir (Maghami ve ark., 2016).

Fotovoltaik panellerde elektrik üretimi için panel bakım ve temizliklerinin yapılmasının panel verimliliğine etki eden faktörler açısından incelenmiş ve elektrostatik temizleme (susuz temizleme) sistemi ile klasik usul (sulu temizleme) panel temizleme ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında ana amacı gerçekleştirmek için aşağıda sıralanan alt amaçlar verilmiştir:

- Pvsyst paket programı ile Şanlıurfa’da bulunan GES için panel kirlilik etkileri incelenmesi;
- Santrale konumlandırılan panel üzerinden gerçek kirlilik verilerinin elde edilmesi;
- Panel üzerine toz kaynaklı kirlilik numunelerinin toz içeriği ve tanecik boyutunun analizi;

➤ Yüksek gerilim kontrol kartı prototip üretimi ve ızgara şekilli elektrot tasarımlarının toz temizliği üzerindeki başarımının incelenmesi; amaçlanmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Panel verimliliği ve temizlik faktörünün etkisi konusunda literatürde yer alan bazı çalışmalar şu şekildedir: Mekhilef ve ark. (2012), fotovoltaik panellere etki eden çevresel faktörler ve ekonomik faktörleri baz alarak gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkeleri mukayese etmiş ve gelişmekte olan ülkelerin fotovoltaik sistemlerde enerji verimliliğini ve panel üretim gücünü arttırmak için daha fazla ödeme yaptıklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, santral kurulumunda yer alan sistem elemanlarıyla birlikte vaziyet planı, tasarımı, eğimi gibi faktörler ve iklimsel şartlara bağlı olan kirlenmenin etkili olduğunu savunmuşlardır. Panel verimliliklerinin artması için tozsal kirlenme oranı, bölgedeki nem oranı ve hava akış hızının planlamasını önemli görmüşlerdir.

Darwish ve ark. (2013), Arap coğrafyasında toz parçacıklarının çaplarının bölgeden bölgeye farklılık gösterdiğini kimi bölgelerde daha kuru kimi bölgelerde ise küçük ve yapışkan olduğunu bunların çevresel nedenlere bağlı olduğunu belirterek, fotovoltaik panel yüzeylerinde iklimsel koşullara da bağlı olarak kirlilik meydana getirdiğini bu sebeple panel yüzeylerinin temizlenmesinin önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Sulaiman ve ark. (2014), fotovoltaik panellerin yüzeyinde meydana gelen toz, kum, yosun benzeri maddeler nedeniyle fotovoltaik panellerin üretim gücünü %85 oranında düşüreceğini kanıtlamışlar ve panellerin yüzeylerinin belirli aralıklarla temizlenmesinin üretim değerlerine katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Casanova ve ark. (2011), fotovoltaik panelde meydana gelen tozun, güneş radyasyon değerinin hücrelere erişimini yarı yarıya azalttığını bununla birlikte panel yüzeyinin güneşi alma açısında kırılmalara neden olduğunu ileri sürmüş bu sebeple panelin elektrik üretim değerlerinde yüzde elliden fazla düşüş meydana geldiğini belirtmişlerdir. Açık veya güneşli bir günde bu kaybın yüzde yirmiye yakın olduğunu yıllık kayıpların hesaplanmasında açık ve kapalı günlerin ortalaması alındığında bu

kaybın artacağını ileri sürmüştür. Fotovoltaik panellerdeki kirli yüzeylerin yüzdelik üretime yansımalarını hesaplamışlar ve nitel gözlem ile değerlendirmişlerdir.

Maghami ve ark. (2016), elektriksel PV'nin özellikleri (Gerilim ve akım) kirlenmeden kaynaklanan gölgeleme açısından tartışmışlar ve kirlenme nedeniyle gölgeleme hava kirliliği gibi yumuşak gölgeleme ve sert bir gölgeleme gibi sert gölgelendirme olmak üzere iki kategoride gruplandırmışlardır. Biriken tozun güneş ışığını engellediğini belirterek, oluşan hafif gölgelemenin fotovoltaik modül tarafından üretilen akımı etkilediğini, ancak gerilimin aynı kaldığını gözlemlemişlerdir. Katı gölgelemede ise, fotovoltaik modülün performansı bazı hücrelerin gölgeli olup olmamasına bağlı olarak fotovoltaik modülün tüm hücrelerinin veya bir kısmının gölgeli olmasına göre, gölgesiz hücreler güneş ışınımı aldıkları sürece, PV modülünün voltaj çıkışında bir azalma olmasına rağmen, bir miktar çıkış olacağını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında güneş paneli dizilerinin yüzeyinde toz birikmesini önlemek için birkaç temizleme yöntemi önermişlerdir.

Abderrezek ve Fathi (2017), tozun fotovoltaik panellerin elektriksel ve termal davranışları üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Araştırmacılar, çeşitli toz türleri dikkate alarak, termal sistemde farklı panel davranışlarına yol açan optik ve elektriksel yönleri odaklanmıştır. Araştırmacılar yaz aylarında mikroskop, spektrofotometre, I-V fotovoltaik gibi çeşitli aletler kullanılarak yaptıkları laboratuvar testlerinde ışık iletiminin tozla değiştiğini gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar, termokuplarla donatılmış modül analizörü ve veri kaydedici kullanarak sonuçları analiz etmişlerdir. Araştırma sonucunda, fiziksel parametreler (tane büyüklüğü ve tipi), ışık geçirgenliği seviyesindeki değişimlerin olduğu bulgusuna varmışlardır. Araştırmacıların elde ettikleri bulgular, cam sıcaklığı, fotovoltaik panelin (PV) performansında değişikliğe yol açtığını gözlemlenen davranışlar, Energy2D bilgisayar simülasyonu kullanılarak elde edilen sonuçlara uygun olduğunu cam ve PV modülüne uygulanan termal davranışın PV panellerini meydana getiren ve tez çalışmamız kapsamında ilerleyen bölümlerde ele alacağımız

(cam, EVA(Ethylene Vinyl Acetate), hücre, çerçeve ve tedlar) elemanlarının simülasyona uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Ghazi ve ark. (2014), kirli PV'lerin yüzeyini temizlemek için çeşitli yenilikçi yöntemler kullanılmasına rağmen, farklı iklim koşullarında temizleme mekanizmasını göstermek için bütünsel bir yaklaşım gerektiğini öne sürmüşlerdir. Yazarlar bu sebeple üç zaman diliminde çeşitli referanslardan elde edilen bulguları ön plana çıkartarak ve yapılan çalışmaların benzerliklerine odaklanarak bir derleme meydana getirmişlerdir. Yazarlar arşivlerde yer alan yayınlar üzerinden yaptıkları incelemelerde, uygun azaltma yönteminin ölçeklendirilmesi için, havada asılı partiküllere dayanarak dünya çapında dört farklı bölgeyi konu alan çalışmaları konu edinmişlerdir. İnceleme çalışmalarının sonucunda, dünyanın farklı yerlerinde toz dağılım desenini değerlendirilmişler ve Orta Doğu ve Kuzey Afrika'nın dünyadaki en kötü toz birikim bölgelerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Son olarak, farklı iklim bölgelerine ve özelliklerine ilişkin bir kılavuz ve öneri yöntemleri sunmuşlardır.

Abbas ve ark. (2010), Irak'taki güneş enerjisi santral uygulamalarının birçok sorunla karşı karşıya olduğunu belirterek, bu sorunlardan en önemlisinin, güneş panellerinin yüzeyinde tozun birikmesi olduğunu ve bu sebeple panel performansının keskin bir şekilde düştüğünü ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, güneş paneli yüzeyinde biriken tozu azaltmak için iki eksenli güneş takip sistemi kullanarak yeni bir teknik sunmuşlar ve 30° ve 45° eğim açılarına monte edilen sabit güneş panelleri ile karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda, sabit güneş panellerinde toz birikmesi nedeniyle çıkış gücünün maksimum kayıplarının 34 günlük birikim dönemi için sırasıyla yaklaşık %31,4 ve %23,1 olduğunu (18-2-2010- 25-3-2010 arasında), iki eksenli izleme sistemine sahip güneş paneli için maksimum çıkış gücü kaybı, aynı birikim süresi için yaklaşık %8,5 olarak tespit etmişlerdir.

Chanchangi ve ark. (2020), toz birikiminin PV modülü performansı üzerindeki etkilerinin ve bunların azaltılmasına yönelik tedbirlerin gözden geçirilmesini sağlamışlardır. Araştırmacılara göre, Nijerya'da yenilenebilir enerji hedeflerine

ulaşmanın önündeki engel toz nedeniyle PV'den kaynaklanan enerji kayıpları göz ardı edilemeyecek bir konudur. Araştırmacılar çalışmalarında, belirli bir performans seviyesini korumak için kullanılabilecek bir dizi etki azaltma tekniği sunmaktadır. Nijerya'daki tüm jeopolitik bölgelerde tozun etkileri üzerine, her bir alandaki kirlerin etkilerini azaltmada veya önlemede en uygun teknikleri göz önünde bulundurularak PV modül sisteminin tasarlanması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Chen ve ark. (2018), güneş panelleri üzerindeki toz partiküllerinin temizleme verimliliğini değerlendirmek için yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, Katar Doha'dan topladıkları toz partiküllerinin çapını ölçerek ortalama çaplarını 2.3 μm olarak belirlemişlerdir. Bir fırça-disk konfigürasyonu, tozlu bir cam alt tabakadan kayan polimerik bir uç olarak süpürme kuvvetini ölçmek için yapılmıştır. Süpürme kuvveti, çeşitli nem ortamında işlenmiş numuneler üzerinde uygulanan çeşitli yükler altında ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, kuru toz partiküllerinin temizleme etkinliğinin uygulanan yükten bağımsız olduğunu ve %90'ın üzerine çıktığını göstermiştir. Araştırmacılar su moleküllerinin adsorpsiyonu, temizleme etkinliği üzerinde belirgin etkiler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Nemli ortamda verimliliği artırmak için, uygulanan yükün artırılmasını sağlamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarının sonucunda, uygulanan yük ne kadar yüksek olursa, süpürme kuvvetinin o kadar yüksek olacağını, temizleme verimliliğinin de buna bağlı olarak artacağını belirlemişlerdir.

Al Shehri ve ark. (2016), kurak bölgelerde güneş enerjisinin verimli üretiminin karşılaştığı temel zorluklardan biri olarak gördükleri demirli camda ışık geçirgenliği üzerindeki toz etkisi farklı sürelerde izleyerek değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar saha çalışmasında naylon fırçalar ile temizledikleri PV panellerin verimliliğini, fırçalanmayan paneller ile karşılaştırmışlar ve naylon fırçalarla temizliği yapılan panellerin cam yüzeyin optik özellikleri üzerinde önemli ve kalıcı bir etkisi olmadığını ancak temizlenmeyen panellere nazaran geçirgenliğinin arttığını tespit etmişlerdir. Panellerin temizleme verimliliği, su ve hassas sileceklerle temizlenme kadar yüksek olmadığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar, kirli panel cam yüzeylerinin fırçalamadan sonra bazı değişiklikler gösterdiğini, ancak bunun 20

yıllık temizliğe denk bir simülasyondan sonra camın optik özellikleri üzerinde kalıcı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda ise robotik sistemlerin geliştirilerek panel temizliğinin yapılabilmesi ve daha etkili olabileceği görüşünü savunmuşlardır.

Hocaoğlu ve Kargacioğlu (2017), çalışmalarında panel boyunca hareket eden bir fırça ve bu fırça üzerine su besleyen bir selenoid valf ile temizleme mekanizmasını kontrol eden bir mikrodenetleyici bulunan bir prototipi geliştirmişlerdir. Uygulama sonucunda temizlenmemiş panel çıkış verimine göre temizlenen panel çıkış veriminin daha yüksek olduğunu kanıtlamışlardır.

Akyazı ve ark. (2019), çalışmalarında, GPTR adını verdikleri çift motorlu ve paletli bir güneş paneli temizleme robotu tasarlayarak yatay düzlemde hareket ederken temizleme fırçası ise dikey eksenle panel boyunu algılayarak temizleyebilen bir sistem geliştirmişlerdir.

Alagöz ve Apak (2020), yüzey akustik dalga (YAD) teknolojileri, mikro-elektro-mekanik sistemde (MEMS) hassas yüzey temizliği ve partikül yönlendirme uygulamaları için yaygın olarak kullanılan teknikler olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, FV panel yüzeylerinin temizliği için YAD teknolojisini kullanarak, fotovoltaik (FV) güneş paneli yüzeylerinin bozulmasını analiz etmişlerdir. Araştırmada dış ortam koşullarındaki FV güneş enerjisi sistemlerinin enerji verimliliği için temizlik sistemlerinin önemine değinilmiş olup, kaba mekanik temizleme yöntemlerinin kullanılmasıyla, panellerin yüzeyine verilen zarar ortaya konmuş olup, panellerin verimli çalışma ömrünün kısaldığı vurgulanmıştır. Araştırmada problem durumu olarak ele alınan temizlik yöntemlerinin FV panel yüzeyini etkilemesiyle verimliliğinin azalması ele alınmaktadır. Araştırmacıların önerdiği kendini temizleyen panel teknolojileri ve geliştirdikleri YAD temelli toz parçacıklarının sistem yüzeyinden ayrılmasını sağlayan teorik bir analiz sunulmaktadır. Araştırmacıların kullandığı analiz, temizleme işleminde yerçekiminin yapışma kuvvetlerini ve etkilerini dikkate almaktadır. Araştırma sonucunda parçacık ayırma süreciyle ilgili temel mekanizmaları ortaya konulmuştur. YAD

etkileşimleriyle eğimli panel yüzeylerinden bir toz partikülünün uzaklaştırılmasına yönelik temizleme etkileri değerlendirilmiştir.

Masuda ve ark. (1987), sıvı içinde süspansiyon halinde tutulan küçük partiküllerin düzgün olmayan hareket alanı ile ayrılması yöntemi ile yaptıkları çalışmalarında hareketli dalga elektrik yükü yolu ile fotovoltaiik panel temizleme yöntemini geliştirmişler ve kullanım metodunu tanıtmışlardır.

He ve ark. (2011), güneş paneli hücre dizisi için kendi kendini temizleme teknolojisi ile üretilen elektriğin verimini arttırabilen ve güneş paneli hücrelerini koruyabilen bir sistemin geliştirilmesini amaçlamışlardır. Araştırmacılar, doğal araçlar, mekanik araçlar, kendi kendini temizleyen nano-film ve elektrostatik araçlar gibi toz giderme yöntemlerini çalışmaları sırasında irdemişlerdir.

Biris ve ark. (2004), panellerde oluşan kirlerin elektrodinamik metot ile giderimi ve uygulamaları adlı çalışmalarında, panel yüzeyinde oluşan toz ve benzeri kirlerin (yosun hariç) elektrodinamik dalgalar ile giderebilen bir cihaz tasarlamışlardır.

Hudedmani ve ark. (2017), mevcut enerji tüketimi senaryosu ile fosil yakıt rezervlerinin daha hızla tükendiğini belirterek enerji kullanım endeksi ile bir ülkenin büyüme durumunu gösterdiğini belirtmişlerdir. PV panellerde güneş PV sisteminin verimliliğinin arttırılması toz parçacıklarının uygun şekilde güneşe maruz kalması ve birikmesi panellerdeki performans kaybı yahut gölgeleme nedeni ile oluşan kayıpların önüne geçilmesi için bir sistem geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, PV panellerde çeşitli temizlik yöntemlerinin karşılaştırmalı bir çalışmasını sunmuşlardır. Araştırmacıların önerdikleri elektrostatik çöktürücü ile tozun ayrılması yöntemi yenilikçi bir yaklaşım fikri (ESP) sunmaktadır. Elektrostatik çöktürücüler ile PV panelleri temizlemek için statik elektrik kullanmışlardır. PV panelden gelen tozu sadece belirli madde ile toplayarak ve dolayısıyla geleneksel temizlikten farklı olan bu uygulama metodu ile paneller güneşlenme emme yeteneğinin arttığını ileri sürmüşlerdir. Araştırmacıların tasarladığı sistemde ağırlık sensörü sürekli paneldeki

ve arduino kontrol cihazındaki tozun ağırlığını izleyerek, gerektiği zamanlarda temizliğin yapılması için geri bildirim komutunu sensörler aracılığı ile vermektedir. Güneş panelinin yüzeyindeki tozu iyonize etmek ve kirleri elektrotlara doğru iterek temizleme işlemini sağlamaktadır. İlk elektrot çok yüksek bir negatif gerilimle yüklenir ve diğer elektrotlar ise pozitif yüklü elektrot ile yüklenerek toz parçacıklarının periyodik olarak otomatik halde panellerden atılmasını sağlamaktadır.

Guangming ve ark. (2016), gerçekleştirdikleri çalışmalarında, tozun güneş panelleri üzerindeki etkisi göz ardı edilemediğinden, elektrikli perde ile tozdan arındırma tekniği avantajları göz önüne alındığından yoğun bir ilgi ve araştırma aldığını belirterek “elektrikli perde ile tozdan arındırma mekanizması” adını verdikleri bir modeli elektrikli perdenin yapısına, elektrikli perdenin durağan dalgaları üzerindeki toz kuvvetine, elektrot tepesindeki elektrik alan yoğunluğunun dağılımına, elektrot elektrik alanının fiziksel model hesaplamalarına ve elektrot kırılma geriliminin analizine dayanarak önermişlerdir.

Yilbas ve ark. (2019), tarafından yapılan çalışmada, elektrostatik etki altında hidrofobik bir yüzeyden püskürten çevresel toz partikülleri dikkate almışlar ve toz partiküllerinin dinamiklerine yüksek hızlı kamera içeren bir analiz yapmışlardır. Araştırmacılar, püskürtülen toz partiküllerinin hızı, elektrostatik itme, partikül yapışması, partikül sürüklenmesi ve havadaki partiküllerin yük etkisi altındaki etkileşimleri ile ilişkili kuvvetler dahil olmak üzere kuvvet dengesi kullanılarak formüle etmişlerdir. Araştırmacılar daha sonra işlevselleştirdikleri silika partiküllerini, yüzeyde hidrofobik bir ıslanma durumuna ulaşmak için cam yüzeyinde biriktirmişlerdir. Hidrofobik plakanın yüzeyinde bulunan toz partikülleri üzerinde titreşim formunda elektrostatik etki üretilirken bir elektronik devre tasarlayıp, üretmişler ve uygulamasını sağlamışlardır. Çalışmalarında tespit ettikleri bulgular ile, yüzeyde biriken işlevselleştirilmiş silika partiküllerinin temas açısı $158^\circ \pm 2^\circ$ ve temas açısı histerezisi $2^\circ \pm 1^\circ$ olan hidrofobik ıslanma durumuna yol açtığını ortaya koymuşlardır. Plaka yüzeyinde üretilen elektrostatik itici kuvvet, toz partiküllerinin boyutlarının çoğunu itmeyi sağladığını; bununla birlikte, bazı küçük toz partikülleri elektrostatik etkiden sonra yüzeyde kalıntı olarak kalacağını tespit etmişlerdir.

Analitik formülasyondan tahmin edilen toz partikül hızı, yüksek hızlı kamera verilerinden elde edilenle aynı olduğu sonucuna varmışlardır. Küçük boyutlu partiküllerin ($0,6 \mu\text{m} \leq$) yüzeyin üzerine yapışma nedeniyle sabitleme kuvvetinin ortalama boyuttaki partiküllerden ($\sim 1,2 \mu\text{m}$) daha büyük olduğu bulunmuştur. Bu şekilde elektrostatik etki altında yüzeyden püskürtülen partikülleri ortadan kaldırılabileceğini belirlemişlerdir. Toz püskürtmeden sonra alınan cam yüzeyi üzerindeki toz partiküllerinin kalıntılarının, hidrofobik yüzeydeki kalıntılardan daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu davranışın, yüzeydeki toz partiküllerinin yapışması ile ilişkili olduğunu kabul etmişler. Sonuç olarak, plaka yüzeyindeki hidrofobik ıslanma ile yüzeyden toz partiküllerinin temizlenebileceğini tespit etmişlerdir.

Kawamoto ve Guo (2018), araştırmacılar; Güneş panellerinin yüzeylerini tozdan arındırmak için elektrostatik kuvvetler kullanan gelişmiş bir temizleme sistemi geliştirmişlerdir. Bir güneş panelinin cam plakasına gömülü paralel tel elektrotlarına iki fazlı yüksek voltaj uygulamışlar daha önce, yapışan tozun, düşük frekanslı yüksek voltaj uygulanarak hafifçe eğimli bir panelin yüzeyinden püskürtülebileceği göstermişlerdir. Araştırmacılar ayrıca son derece küçük toz partikülleri için performansın düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Önerdikleri sistemde, yüksek voltaj uygulanması, yapışma kuvvetinin azaltılması, doğal rüzgârın kullanılması ve toz birikmeden önce sık çalışma ile performansının arttırılabileceğini savunmuşlardır. Temizleme performansına ek olarak, yüksek voltaj kaynağının frekans tepkisi ve gerçek güç tüketimi de sistemin tasarımı ve yeterlilik değerlendirmesi için veri sağlamak amacıyla araştırmışlardır. Enerji tüketiminin basit ve potansiyel olarak düşük maliyetli bir yüksek voltaj kaynağı ile son derece düşük olduğunu kanıtlamışlardır. Bu teknolojinin çöllerde düşük rakımlarda inşa edilen mega güneş enerjisi santrallerinin verimliliğini artıracağı görüşünü savunmuşlardır.

Kawamoto ve Shibata, (2015), kumdan arındırmak için elektrostatik kuvvet kullanan gelişmiş bir temizleme sistemi geliştirmişlerdir. Güneş panelleri yüzeyi şebekeye gömülü paralel tel elektrotlarına tek fazlı yüksek güneş panelinin cam plaka kapağı ile voltaj uygulanır. Yapışan kumun %90'ından fazlasının temizleme

işleminden sonra hafif eğimli panelin yüzeyinden itilmektedir. Performansı elektrot konfigürasyonu iyileştirilerek ve doğal rüzgâr getirilerek sistem daha da geliştirilmiş panelin üzerinde kum birikmesi derece yüksek olsa bile, bu sistemde güç tüketimi neredeyse sıfırdır. Bu teknoloji çöllerde inşa edilen mega güneş enerjisi santrallerinin bir kısmı için etkin verimliliği artırması için önerilmektedir.

Mazumder ve ark. (2007), çalışmalarında sadece 4 g/m² tozun (0,5 ile 1 m arasındaki parçacık çapı) birikmesinin, üretilen elektrik miktarında %40 oranında düşüşe sebep olduğunu ileri sürerek güneş panellerinden toz parçacıklarını gidermek için elektrodinamik ekranın temel prensiplerini ve çalışmasını çözüm olarak önermişlerdir. Çözüm çalışmalarında geliştirdikleri sistemin çalışma prensibi elektrodinamik prensipleri ile çalışan bir sistemdir ve şu şekilde çalışmaktadır: Elektrotlara üç fazlı yüksek voltajlı alternatif akım elektrik alanı uygulandığında, elde edilen elektrodinamik alan, toz parçacıklarının başlangıçta şarjsız olarak şarj edilip edilmediğine bakılmaksızın, toz parçacıklarını yüzeyden iter ve çıkarır. Kendi Kendini Temizleyen güneş panelleri, düşük güç çıkışlarını güneş panellerinden yaklaşık 10 w/m² alanın elektrodinamik ekranlarla temizleyebileceği iddiasını savunmuşlardır.

Chesnutt ve ark. (2017), fotovoltaik (PV) panellerin enerji kayıplarını önlemek için panel yüzeyindeki elektrotlar tarafından üretilen elektrodinamik dalgalar yoluyla PV panelinden tozu kaldırmak ve taşımak için potansiyel bir çözüm olarak gördükleri bir elektrodinamik bir toz kalkanın simülasyonunu yapmışlardır. Araştırmacılar Katar Doha'da tozun temsili olarak kullanılan yüklü partiküllerinin taşınmasını, çarpışmasını ve yapışmasını sayısal olarak analiz etmek için ayrık elemanlar yöntemi kullanmışlardır. Araştırma sonucunda ise araştırmacılar, belirli koşullar altında, elektrotlar arasındaki optimum mesafenin (açıklık) 14 mm olduğunu ve bunun, toz taşınmasına yardımcı olan artan açıklık ile buna bağlı olarak taşınmayı da engelleyen azalan elektrik alan kuvvetinin arasındaki denge sonucu ortaya çıktığını göstermiştir. Düşük voltajlarda (0,7 kVp-p) yüzeye yapışan, yüksek voltajlarda (11,8 kVp-p) ise aynı elektrotlar tarafından itilen ve çekilen partiküller için optimal voltajın 2.8 kVp-p olduğunu tespit etmişlerdir. 10 döngü başına toz

taşıma mesafesi genellikle döngü frekansı 0,5'ten 10 Hz'ye yükseldikçe azaldığını gözlemlemişler; bununla birlikte, zaman başına en büyük taşıma mesafesi, 1 Hz ara frekansı ile sağlamışlardır. Araştırmacılar gözlemlerinde ayrıca, tekil toz partiküllerinin, farklı taşıma paternleri yaratan farklı koşullar altında elektrotlar tarafından itildiği ve çekildiği gözlemlemişler; bu davranış biçiminin PV panellerinde toz azaltma verimliliğini geliştirmek için kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Kawamoto ve ark. (2011), Ay tozlarını güneş panelleri ve optik elementlerin yüzeyinden arındıran bir sistem, ayla ilgili araştırmalar için büyük önem taşıdığını belirtmişlerdir. Bir cam alt tabaka üzerine basılmış paralel ITO (indiyum kalay oksit) elektrotlardan oluşan şeffaf bir taşıyıcıya uygulanan dört fazlı dikdörtgen voltaj tarafından üretilen elektro statik hareket dalgalarını kullanarak ay tozunu gidermek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Temel araştırmalara dayanarak, mevcut ay tozunun kaldırılmasını göstererek, sayısal bir araştırma, ayın düşük yer çekimli ortamında performansın artacağını öngörmüşlerdir.

Kawamoto (2014), uzayda asteroitlerden güvenilir ve otonom bir kaya üzerinde toz birikmesi olarak bilinen regolit örnekleme sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, elektrostatik kuvvet kullanan yeni bir örnekleme sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, partiküllerin elektrostatik olarak yakalanması ve taşınmasını birleştiren bir sistem kullanmaktadır. Örnekleme cihazının paralel ekran elektrotları arasına yüksek voltaj uygulanır. Elektrostatik kuvvetin bir sonucu olarak, partiküller ekran elektrotları tarafından yakalanır. Yakalanan partiküller daha sonra elektrostatik bir yürüyen dalga ile taşınır ve bir toplama kapsülüne aktarılır. Eğer ekran elektrotunun ucu regolit ile kısa bir süre (1 saniye için) temas halinde olursa, ay toprağı simülantının, demir partiküllerinin ve kırılmış buzun örneklenebildiğini göstermiştir. Yazar araştırma sonucunda, yerçekimi küçük asteroitlerde son derece düşük olduğundan, asteroitlerde partikül örnekleme işleminin Dünya'dakinden daha kolay olacağı görüşünü savunmuştur.

Calle ve ark. (2004), mevcut Mars görevindeki Mars Opportunity aracı, günde %0,15 oranında bir toz birikmesi nedeniyle güneş dizilerinde örtülme ölçülmesinden hareket ile toz birikimi, şu anda Mars'ta çalışan iki araç için başlıca görev süresinin kısıtlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar bu sorunu önlemek için Kennedy Uzay Merkezi'nde, Mars'taki güneş panellerindeki tozu temizlemek için kullanılacak bir Elektrodinamik Kalkan prototipi geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, bir tasarım kullanmanın, sadece elektrostatik bozulmayı önlenebileceğini belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda yüksüz tozun Mars çevre koşulları altındaki yüzeylerden kaldırılabilmesini ve çıkarılabilmesini de göstermişlerdir. Bu teknolojinin, güneş siperliklerinden, görüş alanlarından ve güneş dizeleri gibi birçok başka yüzeyden tozu uzaklaştırmak için birçok potansiyel faydası olduğunu belirtmişlerdir.

Calle ve ark. (2009), Ay keşif faaliyetleri sırasında partikül kaldırma ayın robotik ve insan keşif başarısı için birincil öneme sahip olduğu görüşüne odaklanmışlardır. Güneş panelleri üzerinde toz birikmesini önleyen ve bu yüzeylere yapışan tozu gideren bir toz giderme teknolojisi geliştirmek için elektrostatik ve dielektroforetik kuvvetleri kullanma çalışmalarını derleyerek bir rapor oluşturmuşlardır. Birkaç prototipin test edilmesi, toz temizlendikten sonra ilk potansiyellerin %90'ının üzerinde güneş kalkanı çıktısını göstermişlerdir.

Mazumder (2016), PV panel performansını korumak ve artırmak için tozun otomatik olarak çıkarılması için güneş kolektörleri ve benzeri bileşenler ile bir trans örüntüsü ana iletken elektrotlar bir cam veya güneş kolektörünün polimer dış yüzeyi ve gömülü ince, şeffaf bir dielektrik floropolimer film altında veya silikon dioksit kaplamalı bir prototip sunmuştur. Üç fazlı enerji verildiğinde 5 ila 20 Hz arasındaki frekanslardaki voltajlar, elektrik sürgüler ile salınan bir elektrik alanı ve bir titreşim hareketiyle sur üzerindeki parçacıkları yükleyen elektrodinamik dalga yüz ve kaldırmak için Coulomb ve Dielektroforetik kuvvetleri uygulamaktadır. Yüzeyden gelen toz alanı ve dolayısı ile yüzey temizliği bu şekilde yapılmaktadır. Araştırmacı EDS olarak adlandırdığı elektrodinamiksel alan toplayıcıya entegre bir şekilde dahil ederek mevcut konvansiyonel kollektörlerin imalatı veya sonradan uyarlanmasını prototipte mümkün olduğunu beyan etmiştir.

Mazumder ve ark. (2017), araştırmacıların tasarladıkları sistemde, PV modüllerinin kirlenmesinden kaynaklanan enerji verimi kaybı ve elektrik santrallerindeki CSP aynaları temizlik için gerekli olan tatlı su kaynaklarının kullanımına gerek kalmaksızın elektrodinamik ekranın ilerlemesini gözden geçirmektedir. Elektronik denetleme sistemi (EDS) film teknolojisi ile sık sık temizlik gereksinimlerini giderdiklerini belirtmişlerdir. Elektronik denetleme sistemi (EDS) tabanlı temizliğin, yüksek TW ölçeğinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlayan optik verimlilik kurak topraklardaki güneş tarlalarında uygulama yapmışlardır. İlkeler, modelleme, yapım ve EDS filmlerinin modüller ve aynalar üzerine laminasyonu ve güç çıkışı restorasyonunu gösteren deneysel veriler ile sunmuşlardır. Çalışmanın sonucunda araştırmacılar, açık havada üretim ve toplantıdaki mevcut zorluklar EDS filmlerinin dayanıklılığını tartışmışlardır.

Sharma ve ark. (2009), elektrodinamik ekran (EDS) ile gelecekte Mars seyahatleri için uygulanabilir toz azaltma teknolojileri arasında yer alacağını ve görevler üstleneceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, yüzey temizliği için EDS performansını operasyonel açıdan karakterize etmişlerdir. Araştırmacıların çalışmaları için belirlediği parametreler aşağıdaki gibidir;

- Her iki ekranın (EDS ve DRE) sürekli altında ekranların verimliliği ve farklı toz birikme oranları ile aralıklı işlemler işlemlerin izlenebilmesi,
- Ekranların çalışması için elektrik güç gereksinimleri toz giderme verimliliği (DRE), sıklık ve uyarma ile ilgili Sıklık göstergelerinin kontrol edilmesi,
- Optik iletim verimliliği şeffaf EDS'ler ve bunlara karşılık gelen güç kaybı ekranlar güneş panellerine yerleştirilebilmesi.

Araştırmacılar çalışmaları sonucunda, EDS'nin ortalama toz yüklemesi %95'in üzerindeyken DRE'si sürekli %90'ın üzerinde olduğunu, ekran aralıklı olarak etkinleştirildiğinde ise güç tüketimi EDS tarafında ağırlıklı ve yoğun olduğunu, tasarlanan toz kovucunun boyutu ve ağırlığı yönünden tercih edilebileceğini, böylelikle bu toz giderme ürünlerinin Mars görevleri sırasında panellerde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca deney sonuçlarına da çalışma kapsamında yer vermişlerdir. Araştırmacılar; çeşitli toz yüklemeleri altında

ve farklı güvenli çalışma için frekanslar ve elektrik alan yoğunlukları arızası olmadan güç kaynakları kaynağının, güneşten toz uzaklaştırma uygulanabilirliğini Mars atmosferi altında (5,0 mb CO₂ atmosfer) 59 cm² aktif yüzey alanına sahip bir ekran kullanmışlardır. Ekranın ortalama güç tüketimi 1,02 ile 2,87 mW. Saydam için optik iletim verimliliği EDS (indiyum kalay oksit elektrotlu PET substrat) ITO elektrotlu bir PET ekran için ölçmüşler ve şeffaf EDS'yi tipik bir alan tipi güneş paneline yerleştirme önemli bir kararma ile sonuçlandığını bulmuşlardır. Toz uzaklaştırıldıktan sonra Güneş panelindeki güç kaybının %15 azaldığını gözlemlemişlerdir.

Calle ve ark. (2008), tozlu Ay ortamının NASA'nın keşif görevlerini engelleyebileceğini çünkü Ay'daki toz partiküllerinin çoğunun yüzeye yapışabilme özelliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Dünya dışı yolculuklar düzenleyen NASA seyahatlerinde kullandıkları uzay gemilerindeki enerji ihtiyacını gideren Güneş panellerinin yüzeyinde biriken Ay tozunun elektrostatik yöntemlerle temizlenebileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, Güneş UV ışınlaması ve güneş rüzgâra ve kozmik ışınlar maruz kalması nedeniyle de temizleme cihazının da şarj edilebileceğini savunmuşlardır. Araştırmacılar, NASA'nın şu anda olası tozu inceleyen aktif bir toz azaltma programı olduğunu bildirmişlerdir. Toz azaltma teknolojilerine yönelik, Kennedy Elektrostatik ve Yüzey Fiziği Laboratuvarı Uzay Merkezi'nin, çeşitli üniversitelerle iş birliği içerisinde geliştirdikleri toz azaltma teknolojisi ürünlerini gözlemeleme fırsatı bulduklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar gözlemeleme çalışmalarını şu şekilde rapor etmişlerdir: Elektrostatik ve elektroforetik kullanan bir toz giderme teknolojisi olan Toz Kalkanı'nın geliştirilmesi aşamalarını anlatmışlardır. Toz kalkanının yüzeylerde birikmiş olan tozu temizlemeye ve birikmeyi önlemeye zorladığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, teknolojik sistemlerde toz parçacıklarının yüzeylere yapıştığını belirtmişlerdir. Bunu önlemek için yüklü parçacıkların bu sistemlerle etkileşime girmesini sağlamak gereklidir. Araştırmacılar, bu toz önleme teknolojisi ürünlerine ilişkin bilgisayar simülasyonlarının sonuçlarına çalışmalarında yer vermişlerdir.

Mazumder ve ark. (2013), gigawatt ölçeklerinde, Güneş panelleri ve Güneş yoğunlaştırıcılarında toz birikintileri yüzeye bağlı olarak %10 ila %30 arasında

verimlilik kaybına neden olduğunu sulu ve elle temizlik gerektiren kütle tozu konsantrasyonunun büyük ölçekli santraller için pahalı olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, suyun az olduğu yerlerde, şeffaf elektrodinamik elekler, içine gömülü şeffaf paralel elektrot sıralarının şeffaf ve elektrikli filmin, toz giderme için kullanılabileceğini savunmuşlardır. Araştırmacılar, kendi kendini temizleyen güneş kolektörleri olarak uygulamasında, elektrotlar fazlı voltaj, yüzeydeki toz parçacıkları tarafından etkinleştirilip filmin elektrostatik olarak yüklenmesi ve uygulanan elektrik alanı tarafından üretilen hareket dalgası ile çalışan bir sistem tanıtmışlardır. Araştırmacıların tasarlayıp, tanıtımını yaptıkları bu sistemde, % 90'ın üzerinde biriken toz çok küçük bir kısım kullanılarak 2 dakika içerisinde uzaklaştırıldığını ve paneller tarafından üretilen enerjinin kullanımı ile su veya mekanik başkaca bir materyale gerek duyulmaksızın elektrodinamik uzaklaştırma analizi elektrostatik ve elektroforetik kuvvetlere dayalı mekanizmalar van der Waals ve imaj nedeniyle yapışma kuvvetlerine karşı güçler sunarak tozun uzaklaştırılmasını sağladığını kanıtlamışlardır.

Jiang ve ark. (2020), Güneş paneli kirlenmesinden kaynaklanan enerji verimi kaybı, yüzlerce gigawatt ölçeğinde olduğundan ve hızla büyümeye devam ettiğinden giderek daha önemli hale geldiğini belirtmişlerdir. Güneş panellerinden gelen yüksek gerilimlerle toz parçacıklarının elektrostatik çekim ve yapışma gücünün (F_{es}), van der Waals ve su kılcal kuvvetlerinden 1 ila 2 büyüklükte daha büyük olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar, açık hava testi yaparak sistem voltajında kirlilik oranının neden olmasının yanı sıra, yapışma gücünün (F_{es}) kirlilik üzerindeki başka bir özelliği olarak yüksek voltaj üreten panellerin bakıma alındığı kapatma sürecindeki gözlemlerde, uzun süreli veya yavaş bozulmaya yol açtığını belirlemişlerdir. F_{es} bozulma süresi, iki faktöre bağlı olarak 1 ila 10 saatlik geniş bir zaman aralığında değişime uğradığını belirtmişlerdir. Bunlar; Voltajlar kapatılmadan önce hücrenin, parçacığın veya her ikisinin yüksek voltajla şarj edilip edilmediği ve voltaj kapatıldıktan sonra hücrenin toprağa nasıl bağlandığı (güç kaynağı elektroniği yoluyla bağlanmış, doğrudan toprağa bağlanmış veya elektriksel olarak yüzdürülen şekilde bağlanma) faktörleridir. Araştırmacılara göre; F_{es} bozulması,

- Partikül ve hücre içindeki net elektrik yükü dağılımını etkiler,
- Güneş paneli camı dielektrik sabitlerinde, dipol polarizasyonunun termal bozulmasına neden olur,
- Parçacık ve panel camının elektrostatik etkileşimi ile yükün yeniden dağıtılması mümkün olur.

Araştırmacılar çalışmaları sonunda, uzun ömürlü F_{es} , güneş panelinin güneş battıktan sonra kirlenmesini etkileyebileceğini ve geceleri su yoğunlaşması ile birleştirildiğinde daha da büyük bir etkiye sahip olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Kawamoto (2019), kirli güneş panellerinin yüzeyindeki tozu temizlemek için elektrostatik temizleme ekipmanları geliştirmişlerdir. Araştırmacıların, güneş paneli üzerine yerleştirdikleri paralel ekran elektrotlarına yüksek bir AC voltajı uygulandığında, ortaya çıkan elektrostatik kuvvet elektrotların yakınındaki parçacıklara etki ettiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, elektrotlar arasındaki parçacıkların karşılıklı hareketi, bazı parçacıkların üst elektrotunun açıklıklarından geçtiğini ve yerçekimi kuvveti nedeniyle eğimli panel boyunca aşağıya düştüğünü bunun da alternatif elektrostatik kuvvetten kaynaklandığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, belirttikleri bu yöntemle tozun panel yüzeyinden verimli bir şekilde uzaklaştırıldığını kanıtlamışlardır. Araştırmacılar, yüksek temizleme performansının, düşük frekanslı yüksek voltaj uygulanmasıyla gerçekleştirildiğini ve panelin yüksek eğiminden ve düşük başlangıçtaki toz yüklemesi nedeniyle tercih edildiğini belirtmişlerdir. Tekrarlanan temizleme işlemlerinden sonra toz birikmesine rağmen, biriken toz miktarı temizleme sonrasında çok daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacıların sunduğu sistemin güç tüketimi ihmal edilebilir derecede düşüktür. Araştırmacılar, sundukları teknolojinin çöllerde inşa edilen mega güneş enerjisi santrallerinin verimliliğini önemli ölçüde artıracığını ileri sürmüşlerdir.

Faes ve ark. (2002), çöl bölgelerinde fotovoltaiik panellerdeki kirliliğin, güneş enerjisi ve konsantre güneş enerjisi santrallerinin güç kaybında ana neden olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar, elektrodinamik temizleme sistemini ise,

yoğunlaştırılmış aynalar veya güneş panelleri için yüzeylerindeki tozu temizleyen, darbeli elektrik alanları kullanan, otomatik ve su içermeyen entegre bir temizleme sistemi olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar Suudi Arabistan'da bulunan güneş enerjisi üretim santralinden aldıkları 458 günlük ölçüm değerlerini analiz etmişlerdir. Araştırmacıların yaptıkları analize göre; Suudi Arabistan'daki gerçek koşullarda kir azalımı üzerinde net bir etki göstermektedir. Araştırmacılar izleme periyotlarına bağlı olarak, kirlilik oranında kaynaklanan performans kayıplarını, bir referans modülü için $-0,06$ / gün ile $-0,41$ / gün arasında değişebileceğini saptamışlardır. Elektrodinamik temizleme sistemini kullanarak bu kirlilik oranında ortalama $32,1$ ile $95,7$ 'ye kadar azalma sağlanabileceğini saptamışlardır. Araştırmacıların yaptığı maliyet analizine göre, elektrodinamik temizleme sistemi ile donatılmış modüllerde normal temizleme sistemi ile mukayese edildiğinde $2,6$ ve $5,2$ ¢ / Wp arasında bir kazanç elde edildiğini hesaplamışlardır. Araştırmacılar bu kazancın bir modül fiyatının yaklaşık 10 ila 20 'si arasında olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak araştırmacılar çalışmalarında, CSP aynaları veya FV uygulamalarına tahsis edilmiş heliostat için elektrodinamik sistem ile temizleme yönteminin çeşitli elektrot tasarımlarının genişletilmiş iç mekân testleri, ön cam kalınlığı 1 mm'den fazla olan 98 'e kadar yüksek bir temizleme verimliliği gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, iki tip (FV ve CSP yüzeylerinde) elektrodinamik yöntem ile temizleme sisteminin CSP aynalarında ise -40 ° C ile $+85$ ° C arasında 200 döngüden sonra spiral elektrot tasarımında, desenli püskürtülmüş gümüş ile çıplak referans aynasından 4 daha düşük performans gösterdiğini ancak bu değer iyi bir aynasal yansıtma değeri olduğunu belirtmişlerdir.

Xu ve ark. (2020), bir güneş elektrostatik çöktürücü tasarlamak amacıyla, fotovoltaik panel teknolojisi ve elektrostatik toz giderme teknolojisini birleştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, toz çöktürücünün elektrot yapısının iyileştirmesini sağlamışlardır. Böylelikle birim hacim başına toz toplayıcının alanını arttırmışlar ve toz giderme verimliliğinin de artırılmasını sağlamışlardır. Farklı çalışma koşullarında, farklı çözünürlük gösteren toz çöktürücünün, farklı voltajlarda, toz giderme verimliliğinde değişime uğradığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, son

olarak, tasarladıkları sistemle, kanatlı boru şekilli ve kar tanesi toz presipitatörünün¹ toz giderme verimliliğini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, çalışmaları sonucunda, kar tanesi toz presipitatörünün güneşli ve bulutlu havalarda istikrarlı bir şekilde çalıştığını ve toz giderme etkisinin yüksek olduğunu belirlemişler, ancak yüksek miktarda kuru toz gidermede aynı başarıyı sağlayamadığını belirtmişlerdir. Araştırmacıların tasarladıkları sistemde ise ayarlanan aralıktaki voltaj değişiminin dağınık tozları gidermede çok az etki gösterdiğini ancak yüksek derecede tozlanma olduğunda, toz kümelerini kolaylıkla giderdiğini belirtmişlerdir.

Kawamoto (2020), fotovoltaik (FV) panellerin yüzeyinden nem emilimi nedeniyle, çok az yapışmış toz parçacıklarını temizlemek için elektrodinamik kuvveti kullanan çıkarılabilir bir temizleme cihazı geliştirilmesine yönelik bir analiz gerçekleştirmiştir. Araştırmacının gelişimini sağladığı cihaz, plastik bir çerçeveye tutturulmuş halde bulunan paralel ekran elektrotlarını içermektedir. Araştırmacının yönteminde paralel ekrana yüksek AC voltajı uygulanmaktadır. Çalışmada, elektrotların alt kısmı kirli bir FV paneli üzerine yerleştirilerek elektrodinamik kuvvet kullanılarak, alt elektrotun altındaki parçacıklara etki etmesi sağlanmıştır. Araştırmacı uyguladığı elektrodinamik kuvvet nedeniyle elektrotlar arasında ve üst elektrotunun açıklıklarından geçen yerçekimi kuvveti nedeniyle eğimli panel boyunca bazı parçacıklar arasında aşağı yönlü bir hareketi başlattığını gözlemlemiştir. Araştırmacı, panel üzerinde biriken tozun bu şekilde temizlendiğini vurgulamaktadır. Araştırmacının önceki denemesinde, eğimli bir panelin yüzeyinden düşük frekanslı bir yüksek voltaj uygulayarak tozun verimli bir şekilde uzaklaştırılmasına ilişkin bulgularına yer vermiş, panele güçlü bir şekilde sabitlenmiş parçacıkların uzaklaştırılmasında ise performansı düşük olarak değerlendirilmiştir. Araştırmacı iki çalışmasından da elde ettiği bulguları, toz parçacıklarının temizlenmesini iyileştirmek için üç kademeli bir önlem dizisi önermektedir. Araştırmacı önlem dizisini; operasyonel şemayı ayarlamak, elektrot konfigürasyonunu geliştirmek ve hava akışını kullanmak olarak sıralamaktadır. Araştırmacı çalışması sonucunda, sunduğu gelişmiş teknoloji temelli cihazın,

¹Presipitatör: İndüklenen bir kuvveti kullanarak bir akan gaz, toz ve duman gibi, ince taneciklerin yok edilmesini sağlayan filtrasyon cihazıdır. Kaynak (https://tr.qaz.wiki/wiki/Electrostatic_precipitator) Erişim: 02.01.2021

çöllerde inşa edilen büyük ölçekli FV enerji üretim tesislerinin verimli çalışması için FV panel temizliğinde kullanılabilecek bir yöntem olarak değerlendirmektedir.

Jiang ve ark. (2020). fotovoltaiik ay tozu giderme teknolojisinin gelecekteki uzay araştırmaları için potansiyel bir uygulamaya sahip olduğunu kanıtlamak amacıyla, fotoelektrik malzeme lantan ile modifiye edilmiş kurşun zirkonat titanatın yüksek voltaj özelliklerine dayanan, bir toz giderici elektrot kullanılarak ay tozunun panelden ayrılmasını sağlamak üzere deneyler yapmışlardır. Çalışmada kullanılan yöntem, yüksek voltaj uygulanarak, elektronik kutuplaşmayı sağlayarak panelden ay tozunu uzaklaştırma planına dayanmaktadır. Araştırmada, elektrot alanı, elektrot şekli, ışık yoğunluğu, bakır folyo kalınlığu, yalıtım filmi ve elektrotun geometrik parametreleri gibi farklı faktörlerin toz giderme performansı üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için bir dizi deney gerçekteşirmişlerdir. Araştırmaya ilişkin sonuçlar, bu fotovoltaiik ay tozu giderme sisteminin gelecekteki ay keşiflerinde kullanılan FV panellerin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak üzere optimizasyonu sağlamada elektrot tasarımı için öneriler sunmuşlardır.

Alizadehyazdi ve ark. (2020), özellikle robotik kavrama, tünelleme ve tırmanma gibi çok çeşitli uygulamalar en umut verici kontrol edilebilir Gecko² tipi yapıştırıcı formlarını kullanmışlardır. Araştırmacılar, FV panellerin yüzeyine yapışan tozların FV panellerin verimliliğini düşürdüğünü belirtmişler ve elektrostatik kuvvetlerin Gecko yapıştırıcıların yüzeyine yapışmış halde tozu dahi giderebildiğini belirtmişler ve elektrostatik yöntemiyle mümkün olan en düşük frekansta iki fazlı elektrik dalgasıyla en yüksek temizleme verimliliğini sağladığını tespit etmişlerdir. Araştırmada ayrıca, itme, kayma ve yuvarlanma olmak üzere elektrostatik parçacık giderme mekanizması modellenmişlerdir. Araştırmanın sonucunda, tüm partikül boyutları için en yüksek temizleme verimliliğinin, elektrot genişliği ve aralığu sırasıyla 400 µm ve 300 µm olduğuanda mümkün olan en yüksek tepe-tepe voltajıyla gerçekteştiğini göstermişlerdir. Araştırmacılara göre bu sonuçlar en yüksek

² Gecko: Bir sürüngen türüdür ve bulunduğu yerden çıkarmanın zor olduğu kertenkeleri ifade etmektedir. Bu türden esinlenerek üretilen yapıştırıcılar ise süper yapıştırıcı olarak bilinmektedir. Bilgi için (<https://tr.ulfsciences.com/scientists-make-super-strong-nanotech-glue-modeled-gecko-feet-57453>) Erişim: 02.01.2021

temizleme verimliliğinin, elektrotların parçacıklara daha yakın olduğu geko-esinli mikro yapıların en ince numunelerinde %50'lik bir görev döngüsü kullanılarak üretildiğini göstermektedir. Son olarak, partikül kayması ve partikül yuvarlanması modellerinde esinlenen yapıştırıcıların elektrostatik temizliğinde baskın faktörler olarak belirlenmiş partikül itme etkisini ise sınırlı bir rol oynadığı tespit etmişlerdir.

Costa ve ark. (2016), literatür derlemesini en üst düzeye çıkarmak ve raporlanan materyalleri incelemişlerdir. Araştırmacılar son 5 yıl içinde yayınlanan dergi makaleleri güneş panellerinde kir ve kirlerin hafifletme yaklaşımları çerçevesinde 2013-2015 dönemlerine odaklanmışlar, ise de 2012 yılı için güncellenmiş bir liste de sunmuşlardır. Bu literatür taraması ayrıca periyodik, tek bir toplama raporu için ilk güncellemeyi sağlayacağı görüşünü savunan araştırmacılar, bilgileri derleyerek rehber niteliğinde bir yayın meydana getirmişlerdir. Araştırmacıların sunduğu bu derleme çalışmasında bazı kısa tablo ve formasyonların bir listesini bir listesini de bulundurmaktadır.

Costa ve ark. (2018), Ar-Ge kirliliği güneş enerjisi elektrikli cihaz raporları, 2012-2015 kapsayan literatürü genişletmek ve güncellemek için 2016-2017 yıllarını kapsayan inceleme ve değerlendirme yapmışlardır. Fotovoltaik (PV) ve konsantre güneş (termal) güç (CSP) teknolojilerinin ele alındığı çalışmada araştırmacılar, okuyucuları yönlendirmek için, tablo halinde çalışmaların araştırma odağı, yeri, süresi (uygunsa), güneş cihazları hakkında temel bulgular ve diğer faydalı bilgileri derleyerek sunmuşlardır.

Literatür araştırmalarından da anlaşılacağı üzere araştırmacıların ortak görüşleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Güneş panelleri yüzeyinde biriken toz, panele ulaşan güneş ışınlarının miktarını azalttığı bu sebeple güneş panelleri (FV) için düzenli bir temizleme yönteminin uygulanması gerekmektedir.
- Tozlanma ile ilgili yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular, özellikle az yağış alan bölgelerde, aşırı durumlarda bu tür kayıpların %15-40 oranlarına ulaştığını göstermektedir.

- Büyük güçlü güneş enerjisi santrallerinde, panel temizleme işlemi özellikle su sıkıntısının çekildiği bölgelerde oldukça pahalı olmaktadır.
- Su kullanımı ise ilerleyen yıllarda büyük sorun oluşturacaktır. Bu açıdan susuz ve düşük maliyetli alternatif temizleme sistemi gerçekleştirilmeye çalışılması elzemdir.
- Dünya dışı araştırma çalışmalarında kullanılan güneş panellerinin temizliği için elektrostatik yöntem tercih edilmektedir.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de özellikle su sıkıntısı çeken alanlarda, büyük güçlü güneş enerjisi santrallerinde bir GES sahasında bulunan FV panel dizelerinin temizliği işlemi pahalıya mal olmaktadır.

Ayrıca su kullanımının ilerleyen yıllarda büyük sorun oluşturacağı beklenmektedir. Bu açıdan susuz ve düşük maliyetli alternatif temizleme sistemi tasarımının gerçekleştirilmesi bu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Odak noktamızdaki sorun olan toz partiküllerinin Güneş enerjisi (FV) panel dizelerinden temizlenmesi tasarımımızın çalışma şekli açısından amaçladığımız avantajlar şu şekilde özetlenebilir; Tasarlanan sistem Güneş panellerinden toz, kum gibi partiküllerin çıkarılması için elektrostatik temizleme sistemidir. Bu sistem güneş paneline yerleştirilen paralel elektrotlar, ızgara şeklinde kum itici bir levhadan meydana gelmektedir. Kum tanecikleri, güneş panelinin eğim açısı ve yer çekiminden faydalananarak panelden aşağıya doğru, frekansı ve gerilimi ayarlanabilen elektronik kart yardımı ile toz hareketi oluşturmaktadır. Bu sayede toz parçacıkları panel yüzeyinden uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca panel çıkış voltajından beslenen sürücü kartı paneldeki ince elektrotları enerjilendirmektedir. Bu sistem; su ve herhangi bir kimyasal sıvı madde kullanılmadan düşük maliyet ile panel yüzeyinde temizlik yaparak panel veriminin artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında tasarlayacağımız kart sistemi, alanında ülkemizde gerçekleştirilen ilk çalışma olması yönüyle önemlidir. Ayrıca bu çalışma aşağıdaki nedenler ve sonuçları açısından da değerlendirildiğinde, önem derecesi anlaşılmaktadır:

- GES santrallerinde yer alan FV panel dizeleri için düşük güç, ayarlanabilir darbe gerilimi ve frekans yardımı ile çalışabilme yeteneğine sahip olması açısından önemlidir.
- Tasarlanan sistem, güneş panellerine yönelik oluşturulan yeni elektrot sistemi tasarımı panel ışıınım miktarını etkilemeden ve panel yüzeyinde oluşan toz vb. tanecikleri üzerinden atacak şekilde başka bir değişle toz partiküllerine karşı tam korumalı bir toz kovucusu olması beklenmektedir.
- Piyasada bulunan geleneksel sistemlerden farklı olarak düşük güç ve maliyetli olmasının yanı sıra yer kaplamaması, yerli ve milli imkanlar ile geliştirilmiş olması yönüyle önemlidir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Ülkemizde toz taşınımı ve tozlanma düzeyinin belirlenmesi

WHO 2019 raporunda yer alan bilgilere göre, Avrupa Birliği (AB) güçlü iklim eylemini, sürdürülebilir kalkınmayı ve çevrenin korunmasını desteklemektedir. Avrupa Birliği yasaları hava ve su kalitesi, iklim değişikliği, doğa koruma, atık yönetimi, kimyasallar, endüstriyel kirlilik, sivil koruma ve gürültü konularını ele almaktadır. Raporda, Türkiye'nin bu alanda bir miktar hazırlık yaptığı dile getirilmektedir. Türkiye'de daha iyi koordine edilmiş ve daha iddialı iklim ve çevre politikaları oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. Türkiye, yatay mevzuat alanında bir miktar hazırlık yapmıştır. Mekânsal bilgi altyapısı ile ilgili Direktifin uygulanması için ise henüz erken aşamadır. Hava kalitesi konusunda 2018 yılında "VOC Solvent Emisyonları Direktifi" ile uyumlu bir ulusal mevzuat yürürlüğe girmiştir. Bazı şehirlerde şiddetli hava kirliliği yıllık olarak rapor edilmektedir. 2014 yılı itibariyle 64 il tarafından kendi koşullarına uygun olarak kirletici kaynaklara göre belirlenen 5 yıllık temiz hava eylem planları (THEP) hazırlanmıştır (Köksal ve ark., 2017).

Hava kalitesi izleme için ulusal bir strateji mevcut olup planlaması yapılan 8 bölgesel ağdan 7'si faaliyettedir. Hava kalitesi izleme verileri çevrimiçi olarak yayınlanır. Bununla birlikte Türkiye, endüstriyel kirlilik ve risk yönetiminde, çoğu AB yönergesi ve düzenlemelerine uyum için erken aşamadır denmektedir. Buna ilişkin olarak Türkiye 2010 yılı itibari ile 62 ilde toz tahmin değerlerini hesaplamakta, MGM sitesinden online olarak duyurmakta ve hava kirliliği değerlerinden biri olarak bilinen toz taşınma değerlerinin analizini yapmaktadır (MGM, 2018; WHO, 2019).

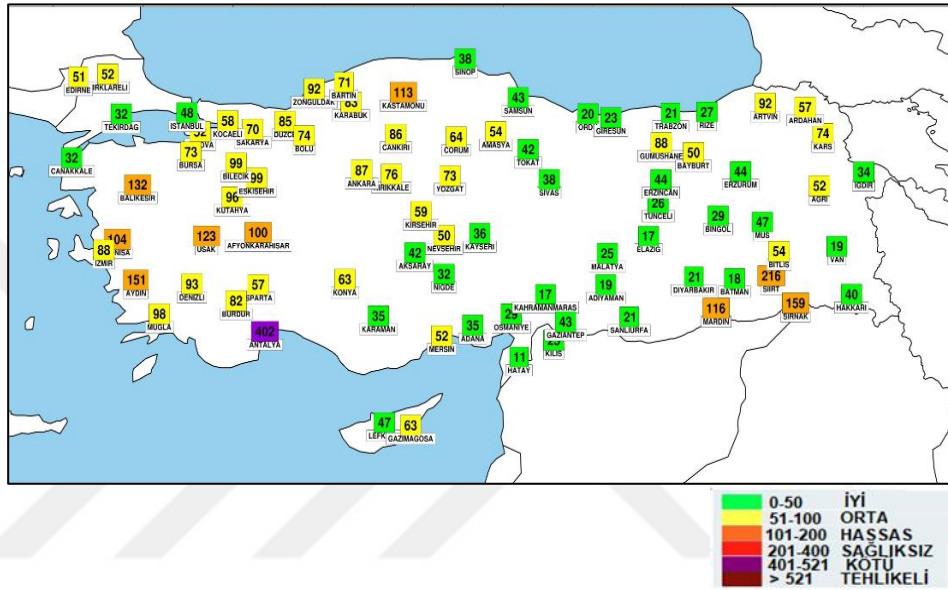
Türkiye'de bölgesel toz tahmin değerleri ve toz taşınımı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) resmî sitesinden çevrimiçi yayınlanmakta ve 3 günlük toz tahmin ve toz taşıma değerleri bulunmaktadır. Yurdumuzdaki tozlanma değerlerine

ilişkin MGM sitesinden yapılan bilgilendirme, BSC-DREAM8b modeli kullanılarak Kum ve Toz Fırtınası Tahmini yöntemine dayanmaktadır. MGM tarafından “Toz Taşınımı Uyarı Sistemi” olarak adlandırılan sistem ise iller bazında yapılan noktasal tahmin değerlerinin internet üzerinden çevrimiçi olarak yayınlanması ile birey ve kurumların bilgi erişimine sunulmuştur. 2010’da MGM bünyesinde Türkiye, Katar, Suriye Irak ve İran arasında imzalanan “Çevre ve Meteoroloji Alanında İş birliği Eylem Planı” çerçevesinde “Kum ve Toz Fırtınaları Sanal Tahmin Merkezi” kurulmuştur. Faaliyetlerine 2012 yılında başlayan “Sanal Tahmin Merkezi” aracılığıyla operasyonel olarak Kuzey Afrika ve Orta Doğu’daki ülkeler için 72 saatlik toz taşınım tahminleri üretilmektedir. Mineral toz partikülleri olarak bilinen çöl tozları, MGM belirlemesine göre atmosferdeki en baskın aerosol çeşitlerinden bir tanesidir. Dünya ekosistemi için çöl tozlarının büyük önemi vardır (Şengün ve Kıranşan, 2012). Çöllerden meteorolojik etkiler ile harekete geçen tozlar, atmosfer tabakalarına dek yükselir ve uzun mesafelerde yolculuk yapabilmekte ve büyükçe kabul edilen çaplardaki çöl tozları, yaratıldığı alanların yakınında yer çekimine yenik düşse de daha küçük çaplardaki tozlar binlerce km mesafeyi kat edebilmektedirler. Bu sebeple çöl tozu kaynakları olan Sahra, Gobi, Taklamakan çölleri gibi büyük çöl alanlarından yükselen tozların, okyanus ve amazonlara değerli mineralleri taşıdığı ve gübreleme etkisi yaptığını belirten araştırmalar mevcuttur (MGM Raporu, 2018).

Kum ve toz fırtınaları, en çok ulaşım araçları ile deniz, kara ve hava ulaşım sektörünü etkilemekte bunun yanı sıra sosyo-ekonomik yaşamı da olumsuz etkilemektedir. Çöllerden atmosfere dağılan toz oranı yıllık 2 milyar tona yakın olduğu varsayılmaktadır. Büyük çöl alanlarından atmosfere dağılan bu toz miktarı, bir takvim yılı içerisinde Dünyadaki tüm kaynakların yarattığı toz miktarının yarısına yakın olduğu belirlenmiştir. Büyük çöl alanları ve küçük çöl alanlarının birleşiminden elde edilen ortalama toz salınımı miktarı ise bir takvim yılı içerisinde Dünya toz değerinin %70’ ini oluşturmaktadır (MGM Raporu, 2020).

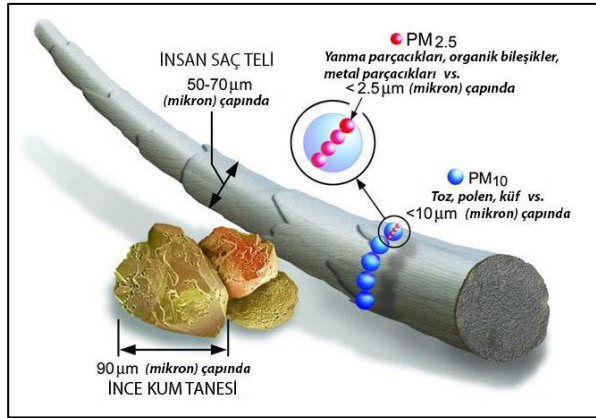
Ülkemizdeki toz salınım değerlerine ilişkin MGM resmî sitesinde çevrimiçi günlük ortalama yüzey toz konsantrasyonu değerlerine yer verilmektedir. Yüzey toz konsantrasyonu değeri, hava kalitesi ölçü birimi olan mikrogram küp ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ile

ifade edilmektedir. Bu ölçü biriminin kullanımı tesadüfi değil birleşik kavramların kullanımının bir sonucudur. Bu ölçü biriminden de anlaşılacağı üzere hava kirlilik indeksi (HKİ) ile yüzey toz konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki bulunmakta ve yüzey toz konsantrasyonu değeri hava kirliliği indeks değerlerine etki eden bir faktördür. Yüzey toz konsantrasyonuna ilişkin 15 Mart 2020 tarihli harita (Şekil 3.1.) yer almaktadır.



Şekil 3.1. 15 Mart 2020 tarihli toz konsantrasyonu $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerlerini gösterir Türkiye haritası (MGM Resmi sitesi (web mgm.gov.tr) Çevrimiçi veri, 2020)

Kirlenmeye ilişkin Dünya Sağlık Örgütü sınır değeri (WHO) $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. AB standartları ölçeğinde de aynı sınır değer kabul edilmektedir. Ülkemizde, hava kirliliği etkenlerinin belirlenmesinde rol oynayan 7 etmen gözlemi yapılmaktadır bunlar; Ozon (O_3), Azot Dioksit (NO_2), Kükürt Dioksit (SO_2), Karbon Monoksit (CO) ve partikül maddelerdir (PM_{10}).



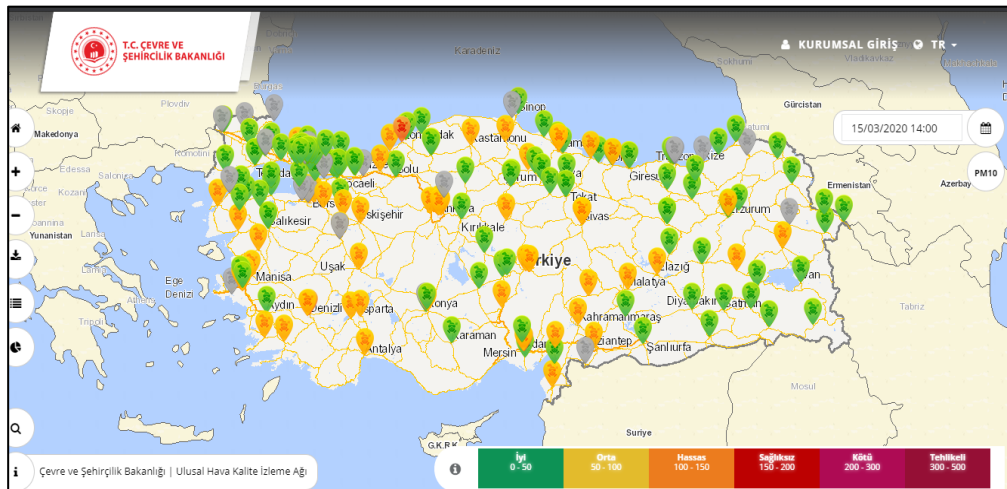
Şekil 3.2. Partiküler maddelerin değerleri gösterimi (Gerçekoğlu, 2019).

Ülkemiz bir Akdeniz ülkesidir ve coğrafi konumu Ortadoğu'ya yakın bir ülkedir. Bu nedenle sınır dışında yer alan PM10 değerinin, toz ve diğer partiküllerin (PM10) yoğun olduğu bölgelere yakınlığı nedeniyle AB sınır değeri olan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşürülmesi ve bu değerin bir yıl boyunca 35'ten fazla aşılmasını hedeflemiştir. Ancak Akdeniz ülkelerinde PM10 standartlarının sağlanmasını Orta Doğu coğrafyasında ve Sahra'da bulunan çöl bölgelerinden taşınan tozlar oldukça zorlaştırmaktadır (Dündar, 2019). Bu nedenle ülkemiz, AB normları uyarınca PM10 standardında yer alan “eğer sınır ötesi toz taşınımı gibi yerleşim birimi dışından kaynaklanan doğal bir PM10 kaynağının bulunduğu ispatlanırsa ve kentsel hava kalitesine bu kaynağın katkısı belirlenir ise bu miktar sınır değer olan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e dahil edilmediği ölçek kullanımını sağlayabilir” ibaresinden yararlanmaktadır (MGM, 2020). Ülkemiz bu sınıfa dahil olduğundan Şekil 3.1. 'de yer alan haritada toz standardına $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri hariç tutulmuş ve bu değer “Sıfır” kabul edilerek toz konsantrasyonu değeri hesaplanmıştır. Bu bilgiler ışığında haritaya bakıldığında, Ülkemizin tozluluk oranının il bazlı dağılımının iyi kabul edilen $0-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerinde dahi hayli yüksek olduğunun kabulünü gerekli kılmaktadır. Diğer taraftan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Kurumsal internet sitesinde, kullanılan ölçek tipi olan BSC-DREAM8b modelinin de yer aldığı ve kabul görüp kullanılan toz ölçümü ölçek modelleri AERONET (Aerosol Robotik Ağı) istasyonlarına ait 2017 gözlemlerine dayanarak hesapladıkları korelasyon katsayıları Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kabul gören toz ölçek modelleri korelasyon katsayıları (MGM Raporu, 2020)

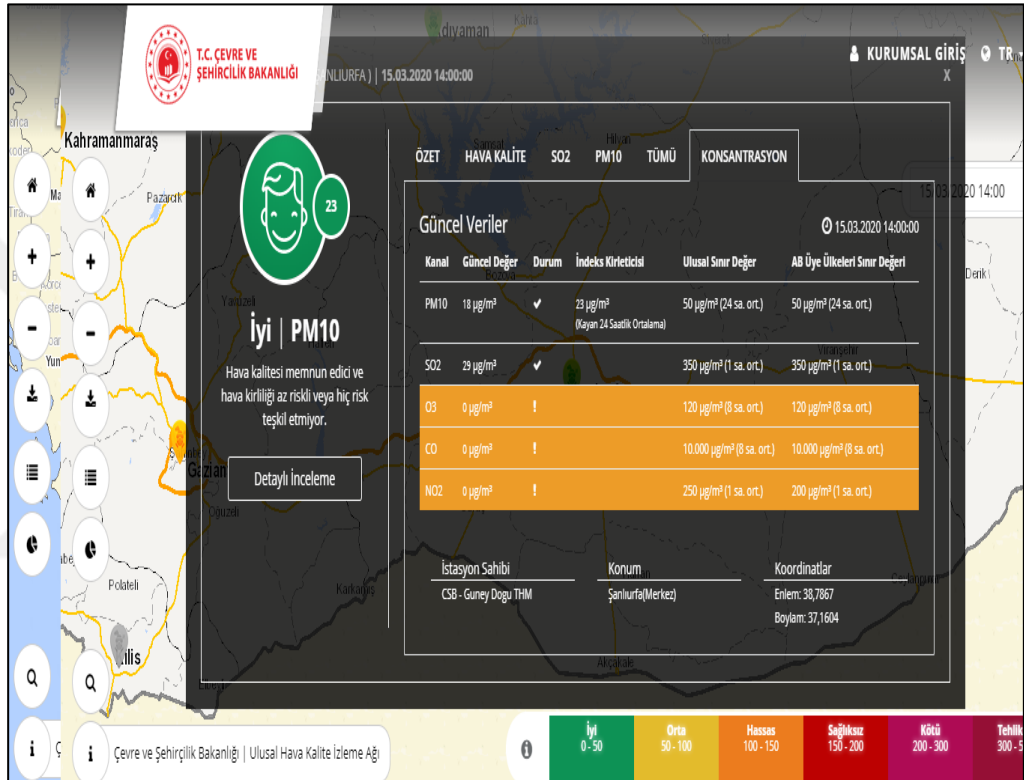
Bölge/Model	BSC Dream 8	ECMWF- CAMS	Dream8- NMME	NMMB/BSC- Dust	MetUM	NASA GEOS-5	NCEP NGAC	Ort.
Sahra/Sahel	0.51	0.69	0.60	0.57	0.69	0.75	0.48	0.61
Orta Doğu	0.21	0.64	0.46	0.06	0.65	0.57	0.44	0.43
Akdeniz	0.48	0.67	0.63	0.51	0.74	0.70	0.59	0.62
Toplam	0.45	0.70	0.59	0.54	0.72	0.75	0.53	0.61

Görüleceği üzere ülkemizde kullanılan ölçek modeli en geniş aralık değerine sahip ölçek modelidir ve korelasyon katsayısı da bu ilişkinin yansımısını göstermektedir. Büyük çöl alanlarında yapılan ölçümlerde diğer ölçeklere nazaran en küçük değeri yansıtmaktadır. Bu korelasyon değerlerinin de ortalamanın altında kalmasına neden olmaktadır. Ancak bu ölçek modeli uluslararası kullanıma dair kabul gören bir ölçektir ve amaca %45 oranı ile uygundur Onat ve ark. (2012). Ülkemiz, hava kirlenmesi faktörlerine ilişkin belirlemiş olduğu politikaları ve coğrafi konumu gereği Ortadoğu ve Afrika'da da gözlemler yaparak, çöl fırtınası olasılığında, tahminleme modelleri ile 3 günlük verilerine MGM resmî sitesinde yer vererek yayımlamaktadır. Bu tahminleme modelleri ile oluşabilecek çöl fırtınası tehlikesine karşı, gerektiğinde uyarı vererek insan hayatı dahil olmak üzere oluşabilecek tüm olumsuz sosyo-ekonomik koşullara hazırlıklı olmayı öngörmektedir. Şekil. 3.3.'te Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait kurumsal internet sayfasında HKI 'ne ilişkin PM10 İndeks dağılımını gösterir harita yer almaktadır.



Şekil 3.3. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı hava kalitesi izleme istasyonları PM10 göstergesi (Çevrimiçi ÇSB verileri, 2020)

Şekil 3.3.'te yer alan haritadan da anlaşılacağı üzere 15 Mart 2020 tarihinde partikül madde (PM10) dağılımı iç kesimlerde ve kıyı bölgelerinde ve Güneydoğu Anadolu'da yer alan sınır illerde orta ve hassas düzeyde görülmekte iken bazı illerde iyi dereceye sahiptir. ÇŞB tarafından çevrimiçi olarak yayınlanan verilere göre Şekil 3.4. 'te yer alan PM10 kirlilik $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile Şanlıurfa İli, iyi skalasında yer almaktadır.



Şekil 3.4. 15 Mart 2020 PM10 kirlilik faktörü Şanlıurfa değerlendirmesi (ÇŞB Çevrimiçi veri, Mart, 2020)

Şanlıurfa İli gözlem istasyonundan alınan 15.03.2020 tarihli PM10 raporuna göre PM10 değeri $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini göstermektedir. Bu kirlilik değeri partikül madde diğer bir deyişle toz kirlilik değeri olarak bilinmektedir. Bu değerler şehir istasyon verilerinden saatlik günlük olarak alınabilmektedir. Aylık yıllık bazda raporlamalar için ise il bazlı raporlama yapılabilir. Sistem bir adet il seçimine ve bir adet il istasyonu seçimine izin vermektedir. Şanlıurfa İli gözlem istasyonundan alınan 15.03.2020 tarihli PM10 verilerine göre $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini göstermektedir. 15.04.2020 değerleri ise Çizelge 3.2.'de yer almaktadır. Bu veri değerleri aylık

olarak seçilmiş ancak istasyondan elde edilen veriler 15.03.2020 tarihi ile 6.04.2020 tarihleri arasındaki ölçülen kaydı vermektedir. Bu da il ve istasyon veri kayıtlarının Çizelge 3.2. 'den de anlaşılacağı üzere tamamının sistemden çekilemediği izlemine yol açmaktadır.

Çizelge 3.2. Şanlıurfa İli, ÇSB güneydoğu tahmin merkezi (ÇSB güneydoğu THM) değerleri
15.03.2020-15.04.2020 tarihleri arası aylık veriler filtresi çevrimiçi raporlama

İstasyon	Parametre	Birim	Max. Değer	Max. Tarih	Ort. Değer	Olması Gereken Veri	Standart Sapma	Toplam Değer
Şanlıurfa	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20,4	15.3.2020	13,63	31	3,95	218,09
Şanlıurfa	SO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	35,8	6.4.2020	25,59	31	4,91	818,73
Şanlıurfa	CO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	31	-	0
Şanlıurfa	NO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	31	-	0
Şanlıurfa	NOX	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	31	-	0
Şanlıurfa	NO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	31	-	0
Şanlıurfa	O ₃	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	31	-	0

Aylık bazda istasyondan elde edilen ve Çevre Şehircilik Bakanlığı Veri Merkezinde yer alan değerler de anlaşılacağı üzere 9 günlük veri kaybının olduğu ve PM10 verilerinin aylık bazda 8,04 değeri ile 20,4 arasında PM10 verilerinin değiştiğini ifade etmektedir. ÇSB sisteminde Şanlıurfa İli yakın komşusu Gaziantep İli verilerinin Güneydoğu Anadolu THM raporuna göre sergilenmesine Çizelge 3.3' te yer verilmektedir.

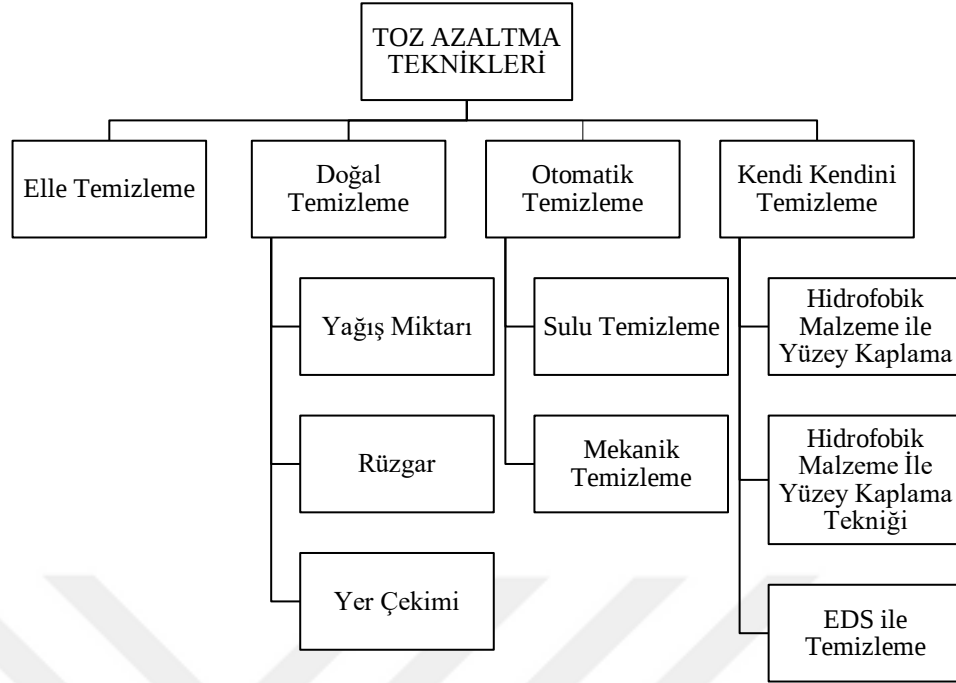
Çizelge 3.3. Gaziantep İli, 15.03.2020-15.04.2020 tarihleri arası raporlanan aylık veriler ÇSB güneydoğu tahmin merkezi (ÇSB Güneydoğu THM) değerleri (ÇSB Hava İzleme, 2020)

İstasyon	Parametre	Birim	Max. Değer	Max. Tarih	Ort. Değer	Veri Yüzdesi	Standart Sapma	Toplam Değer
Gaziantep	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	113,97	22.3.2020	34,61	93,86	18,83	47585,33
Gaziantep	SO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	21,63	6.4.2020	5,48	82,12	3,41	6595,09
Gaziantep	CO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	0	-	0
Gaziantep	NO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	0	-	0
Gaziantep	NOX	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	0	-	0
Gaziantep	NO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	0	-	0
Gaziantep	O ₃	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	0	-	0

Çizelge 3.3.'ten de anlaşılacağı üzere Gaziantep ili, Şanlıurfa İli ile komşu olsa da PM 10 kirlilik değeri aylık ÇSB raporunda veri kayıpları sayılmaksızın 113,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür ve Şanlıurfa ilindeki tozluluk oranından daha fazla toz kirlenmesi

yaşamaktadır. Bu da sınır değerlerinin bölgesel eşitlik değerinde hava kalitesini etkilemesinin yanı sıra taşınma yolu ile toz sirkülasyonunu arttırmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan iki il için büyük değişkenlikler gösteren bu değerler ülkemizde her coğrafi bölgeyi gruplandırılarak toz taşınımını gösterir bir çalışma bulunmamakla birlikte il bazlı çalışmalarda veri eksiklikleri bulunmaktadır. Ancak il bazlı saatlik değişimler olabileceği gibi tozların atmosfer etkisi ile sürekli hareket halinde olması bölgesel tozlanma faktörünün de en büyük etkenidir. Bu nedenle hava kalitesi ölçüm değeri en iyi olan bölgeler de dahil olmak üzere coğrafyamızda toz partikülünün hiçliğe ulaştığı gözlemlenebilen iller bulunmamaktadır. Ancak illerin karşılaştırılmasında en iyi dereceye sahip olan şehirler yani hava kalitesi indeks değerleri ölçeğinde “iyi” olarak derecelendirilen şehirler bulunmaktadır.

Ancak bu şehirlerde de toz partikülleri taşınmaya devam etmektedirler (MGM, 2019; ÇSB, 2020). Tozlanmanın eşyalar üzerinde konumlanması ile kirli görünmesine ek olarak elektronik cihazların rutin çalışma prensibine engel olarak verimli kullanımı ve eşya ömrüne etkilerinin bulunduğu bilinen bir gerçektir. Ancak bu tozlar bir eşya yüzeyinde yapışık halde ise çeşitli temizleme yöntemleri bulunmaktadır. Evlerimizde genellikle yaptığımız toz alma işlemi kaba bir arıtma yöntemidir. Yüzey olarak daha büyük hacim kaplayan ve hassas modüllerden oluşan FV panellerde ise kaba temizleme yönteminin yanı sıra çeşitli toz arıtma teknikleri bulunmaktadır. Bu yöntemlere ilişkin özet bir şematik gösterim Chanchangi ve ark. (2020), tarafından oluşturularak literatüre kazandırılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Toz etkisi azaltma teknikleri (Chanchangi ve ark., 2020).

FV paneller için uygulanan bu toz alma veya toz azaltma yöntemleri doğal temizleme yöntemleri hariç insan müdahalesi ve teknolojinin kullanımı ile geliştirilmiş olan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden kendi kendini temizleme özelliği gösteren FV teknolojileri içeriğindeki alaşımlar ve nanoteknoloji malzemelerin kullanımı ile üretilmektedir. Henüz üretim aşamasındayken, kendi kendini temizleme yöntemi günümüz teknolojilerinde nanoteknolojik cihaz yahut malzeme olarak adlandırılmaktadır. Ancak nanoteknoloji ürünlerinin kullanımı çoğunlukla pahalıdır. Yüzeyin tamamının hidrofobik malzeme ile yahut hidrofibik malzeme ile kaplanması ürün maliyetine etkisinin yanı sıra, FV paneller için üretilen özel kaplamalarda önemli olan faktör, güneş radyasyon değeri ile aktif üretim sağlayan FV panellerin elektrik üretim miktarına etkisini sorgulayan deney sayısının yetersizliği olgusudur.

FV panel yüzeyinde zamanla biriken tozlar panel verimliliğin düşmesine, temizlik yöntemi olarak kaba temizleme yöntemlerinin FV panel yüzeyine zarar vererek verimliliği düşürmektedir. Ancak tozun birikmesini önleyen yöntemler, yani kendi kendini temizleyen FV panel temizleme yöntemleri hem verimde bir kaybın

oluşmaması hem de FV panelin ömrünün uzaması için en geçerli yöntem olarak görülmektedir (Alagöz ve Apak, 2020).

FV panellerin temizleme yöntemlerine yönelik çeşitli ölçekler ve ortamlar sunulmakta ve geleneksel temizleme yöntemlerinin verimsiz ve zararlı olduğu yerlerde yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Alagöz ve Apak (2020), tarafından yapılan incelemelerde akustik temizlemeye ilişkin dalga yapısından gelen etkinlik ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Özellikle, enerji üretimi verim kaybının giderilmesi için mekanik yöntemle bozucu malzemelerin akustik dalgalar tarafından taşınarak FV sistemden bu dalgaların enerjiyi gaz, sıvı ve katı ortamlara iletmesi; geniş bir alanda etkili temizliğin yapılması için oldukça önemli görülmüştür. Mikrodan makro ölçeklere dek yöntemin uygulama aralığında akustik temizleme sistemlerinin elektronik olarak kontrol edilebilir olması ise büyük bir avantajı beraberinde getirmektedir. Temizleme işleminin gücünü hassas temizlik için ayarlanabilir olması amacına göre YAD' nın; biyomalzemelerin uzaklaştırılmasını, yönlendirilmesini ve süpürülmesini sağlayan mikro seviyeli uygulamalarda kullanılabileceği gibi biyokimyasal olmayan bozucu parçacıkların uzaklaştırılmasını da sağlaması, güçlü ses dalgalarının basınç alanları (ses basınç seviyeleri 90 dB'nin üzerindedir) boşluklar arasında kolayca hareket ederek, yapıların yüzeylerini temizlemesi FV panel yüzeylerinden de toz, kül ve çamur gibi kirleticileri temizlemesi etkili bir temizleme yöntemidir. Akustik dalga alanları, ulaşılması zor yüzeylere ve normalde diğer temizleme yöntemlerine erişilemeyen alanlara nüfuz ederek gaz halinde mikro hava akışları oluşturabilirler veya yüzeylerin yakınındaki sıvılarda boşluklar yaratarak akustik alanlarla bağlantılı yüzeylerin titreşmesine neden olmakta, bu etki aynı zamanda yüzeylerin temizlenmesine de katkıda bulunmaktadır (Alagöz ve Apak, 2020). Temel anlamda ses ile ivmelendirmeyi sağlayan akustik dalgalar aynı zamanda bir pielektroliz yöntemidir. Yani bir ses dalgası desibeli ile birlikte çalışan bir süpürme tekniğidir (Alagöz ve Apak, 2020). Dolayısıyla, bu tekniğin kullanımı düşük güçte ve devamlı olarak kendini temizleyen panel uygulamaları için değerlendirildiğinde enerji sarfiyatındaki düşük tüketimi avantajlı olarak görülebilmekte ancak 90 dB bir ses yoğunluğunun devamlı çalışan bir sistem için istenen bir özellik olmadığını belirtmekte fayda görülmektedir.

Bununla birlikte kendini temizleyen FV panel teknolojilerinde bir dizi teknoloji gözden geçirilerek avantaj ve dezavantajların sunulduğu uzun bir liste yapmak mümkündür. Ancak temizleme teknolojisi kullanmaya karar veren yatırımcıların, baştan itibaren değerlendirip, direkt kendini temizleyen bir inovasyona sahip panele yönelmesi de mümkündür. Bu da mevcut elektrik üretim panellerinden vazgeçerek, bu teknolojilerle üretilmiş panellerin satın alınması sürecini beraberinde getirecektir. Mevcut standart teknolojilerde üretilmiş FV panellerin satın alma maliyetindeki pahalılık göz önünde bulundurulduğunda, panellerin sökülmesi ve bu yeni teknolojiye geçiş süreci daha fazla maliyet yükünün oluşmasına yol açacağı çıkarımını yapmak zor olmayacaktır. Bu sebeple standart paneller (EDS, hidrofobik, hidrofobik olmayan) için kendi kendini temizleme teknolojisinin sunulması, yatırımcılar açısından fizibilite olacaktır. Yatırım tamamlandıktan sonra yeni bir maliyet yaratmadan ve panel temizleme ve bakım servislerine ek ödeme yapılmaksızın ve deterjan yada temizleme özelliği bulunan başka aşındırıcı kullanımına gerek kalmaksızın elde edilebilecek bir teknoloji ürünü hem panel verimini arttırarak panellerin ömrünü uzatacak hem de bakım ve temizleme servis ücretlerinin ortadan kaldırılmasını sağlayacak bir yöntem her aşamada kabul gören ve karmaşık karar verme sürecini iyileştirebilen bir teknolojiye yönelim, mevcut FV santralleri ve gelecek teknolojilerini birleştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin Şanlıurfa ilinde mevcut olan yani kurulmuş bir GES için İl bazlı tozlanma değerlerini kontrol etmekle fizibilite çalışmasına başlanabilecektir. Genel anlamda bir fizibilite çalışması, üretim tesisi kurulmadan önce yapılmaktadır. Mevcut santraller için ise, veri kontrolünün elle ve uzaktan yapıldığı ortamlar gerçekliği sunmamakla birlikte ancak bir tahmin yöntemi sunabilmektedirler. Buradan hareketle ilimiz Şanlıurfa için düzenlenen verilerin yer aldığı ÇŞB resmî sitesi ve toz taşınımı kriterlerinin belirlendiği ölçekte AB standartları gereği Akdeniz ve Ortadoğu coğrafyası ülkelerine tanınan imtiyazlardan yararlanan ülkemizde, çevre ülkelerden gelen toz taşınmasına bağlı yüksek tozluluk değerleri nedeniyle ölçeğin hiçbir zaman “sıfır” değerini bulamayacağı aşıkardır. Bu noktada, FV paneller için önemli olan faktör ek maliyet yükü yaratmayacak, mevcut teknolojilere uyarlanabilen, yüzeye zarar vermeyen, sistem performans değerlerini kısaca verimliliğini yükseltecek ve toz kovucu özelliğine sahip teknolojilerin geliştirilebilmesidir. Hava kirliliği kriteri

olarak kabul gören ve partikül madde taşınımını tanımlayan PM10 faktörünün iyi olarak sonuçlandığı Şanlıurfa İl değerlendirmesi toz verilerinin kontrolü çalışmamız kapsamında, toz ölçme teknikleri kullanılarak tekrar ölçümlenmiştir. ÇŞB resmi verilerinde var olan ve ölçümün tanımlanmadığı gün aralıkları sebebiyle tozluluk oranını belirlemek ve uygun temizleme teknikleri ile bölge civarında analizini yapılan bir toz değeri çalışması ülke genelinde bulunmamakla birlikte ÇŞB online kaynakları haricinde sağlıklı bir veri datası da bulunmamakta bu sebeple asıl kirlilik oranlarına ölçüm ve laboratuvar şartlarında ulaşılabilir.

3.1.2. Şanlıurfa İli kirlilik eldesi ölçümü

Gün ışığında koyu renkteki bir arka planda 10 mikron ve daha büyük tanecikler gözle görülebilmektedir. Işıklandırma olmayan karanlık ortamlarda ise 100 mikron ve küçük tanecikler gözle görülemezler. 10 μ büyüklüğündeki bir Silisyum taneciğinin yere düşme hızı 1 cm/sn'dir. Bu tanecik hava akımıyla 100 m uzaklığa kadar havada sürüklenebilirken, 1 mikron büyüklüğündeki tanecikler kilometrelerce uzaklıklardaki mesafelere taşınabilmektedirler (Simko ve ark., 2011).

Bu taneciklerin yere düştüğü yüzeylerde gözle görülür bir kirlilik yarattığı bilinmektedir. Toz miktar ölçümlemesi ile ilgili yurdumuzda yayımlanan bir inceleme bulunmamakla birlikte toplu veri akışını sağlayan tek toplu ölçüm raporu 61 ilde konumlandırılmış olan ve ÇŞB' ye bağlı bulunan hava izleme ve tahmin istasyonundan elde edilen verilerdir. İl bazlı sonuçların yer aldığı bu veriler ise bazı illerde PM10 değerleri için ölçüm yok sonucunu vermektedirler. Ancak Şanlıurfa ili için belli tarih aralığını seçtiğimizde verilere ulaşabilmekle birlikte seçtiğimiz tarihlere yakın ölçüm sonuçlarını sergilemektedir. Çizelge 3.1. ve 3.2.'de bu verilere yer verilmiş, Şanlıurfa ve Gaziantep verileri için de aynı tarihler 15.03.2020-15.04.2020 değerlerine ulaşılmaya çalışılmış ise de bu tarih aralığı yerine çizelgelerden de anlaşılağı üzere yakın başlangıç ve bitiş tarihlerinde elde ettiğı bilgiyi sergilemektedir. Bu durum toz dağılımı hakkında yeterli veri elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bölgesel şartlarda GES panellerine yönelik olarak ulaşılan sağlıklı kaynak olmadığından aralıksız bir ölçüm değerine ulaşmak üzere bölge toz ölçümünü yapabilmek ise oldukça yüksek maliyetli olacağından, bu ölçümü bölge şartlarında ve hazır bulunan GES sahası içerisinde gerçekleştirerek bir veri kümesi

ile toz etkisi ölçümünü gerçekleştirdik. Laboratuvar ortamında yüzey kirliliği toz ölçümü için farklı ölçüm yöntemleri bulunmaktadır. Belirli bir hava miktarındaki toplam tozun çöktürme yolu ile havadan ayrılmasını sağlayarak tartılması tartım yolu ile toz ölçümü yöntemidir.

Bu yöntemde tozun ağırlık miktarı mgr/cm^3 olarak hesaplanmaktadır. Ancak bu yöntemde, İri toz taneciklerinin etkisi oldukça yüksektir. Bu durum da ölçümde hata olmasına yol açabilmektedir. Bu yanıltıcı bilgiyi dikkate alan uzmanlar tartım başlamadan önce 5 mikrondan büyük toz taneciklerini diğer taneciklerden seçilerek ayıklanmakta ve kalan küçük tanecikler ile tartma işlemi yapılmaktadır.

Laboratuvar koşullarında kullanılan diğer bir ölçüm tekniği ise sayma olarak bilinir. Sayma yönteminde ise 5 μ 'dan küçük tanecikler cam bir tabaka üzerine toplanarak büyük parçalı tozlardan ayrılır. 5 μ 'dan küçük olan tanecikler sayılarak tane/cm^3 cinsinden hesaplanarak ortam toz yükü belirlenir. Bu yöntemlere ek olarak ise toz analizinin gerçekleşmesini sağlayan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile alandan elde edilen tozlar toz kovasına konularak taraması yapılmakta toz miktarını belirtir bir analiz çıktısını bize sunacaktır.

3.1.3. Kirlilik ölçüm ve analizi veri setinin oluşturulması

Şanlıurfa ili, Karaköprü ilçesi, Akziyaret Köyü, Bölücek Mevkii 'de yer alan 1 MW üretim kapasitesine sahip Lisanssız GES sahamızın yanına 1 adet PV panel konumlandırılmıştır. Şekil 3.6.'da santral sahası genel görünümüne yer verilmektedir.



Şekil 3.6. Panellerin konumlandırıldığı GES sahası genel görünümü

Santral sahası alanının hemen yanına toz kirliliği ölçümü için veri seti elemanı olan konumlandırılmış PV 1 adet panele ilişkin teknik bilgiler şu şekildedir: 270 Wp (WattPeak) üretim gücüne sahip polikristal yapıli güneş panelidir. Her bir adet PV panel en oranı 30 boy oranı 35 cm olan ve 0,5 cm et kalınlığına sahiptir ve her bir PV panel 60 adet hücreden oluşmaktadır. Panel ağırlığı 18 kg'dır. PV paneller, denek santralimizde 30°'lik açı ile konumlandırılmıştır.



Şekil 3.7. Polikristal yapıli PV panelin araziye konumlandırılması (1. gün temiz PV panel görseli)

Diğer veri setinde bulunan diğer sistem elemanları; Evirici (İnterter): 50 kVa gücündedir. 3 fazlı elektrik kullanımı için AC/DC dönüşümünü sağlamaktadır. 71 kg ağırlığındadır ve santral taşıyıcı sisteminde her bir panel dizesi için projelendirmede yer almaktadır. Araştırma kapsamında 50-60 Hz orantılı frekans aralığındadır. 2 ayrı dize halinde bulunan adet panelimiz için evirici değeri gücü 50 kVa kapasitelidir.



Şekil 3.8. Taşıyıcı sisteme monte edilmiş halde bulunan invertör görüntüsü (veri sistem elemanı)

Sistemimizde uygulama değerimiz 2 dizeden denek GES sahamızda elektrik üretim değerleri ölçümü el ile yapılmıştır. Dijital multimedya ölçüm cihazına ilişkin teknik bilgiler şu şekildedir:

3999 Count Okuma değerine sahiptir. Ekran çözünürlüğü 3.3/4 dijit değerindedir. DC Voltaj değeri 1000 voltuttur. DC voltaj değer aralığı 400 milivolt ila 1000 voltuttur. Sıcaklık hassasiyeti ile ölçüm değeri -40 derece ila 1000⁰C'dir. 2 adet 1,5 Volt pil ile çalışmaktadır. 190 X 88,5 X 27,5 mm boyutundadır. Şekil 3.9.'dijital multimetre ölçüm cihazı ekran görünümü yer almaktadır.



Şekil 3.9. Digital multimetre ölçüm cihazı ekranı görünümü

Dijital ölçüm cihazı ile denek santralimize ait üretim değerleri her ayın 15. ve 30. günlerinde yapılmıştır. Bu ölçümler GES santrali sahasına ayrı ayrı koymuş olduğumuz 1 adet 270 Wp' lik PV panellerimizin her biri için ayrı ayrı kirlilik ve temizlik olarak panel verimi için tozun etkisi araştırmamızda veri setini elde edebilmek için boşta ve yükteki akım ve gerilim ölçümleri yapılmaktadır. Ölçümlenmekte ve çalışma kapsamında değerlendirilmek üzere kaydedilmektedir.



Şekil 3.10. Test analizinde kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM analiz cihazı)

Santral sahamızda konumlandığımız PV panellerin göz ile kontrolü ve temizlenmesi her ayın 30. gününde yapılmıştır. Panellerden toz miktarının elde edilme yöntemine ait görseller Şekil 3.11., Şekil 3.12. ve Şekil 3.13 'de yer almaktadır.



Şekil 3.11.(a) 14.03.2020 Kirli panel yüzeyine ait görsel



Şekil 3.11.(b) 14.03.2020 Kirli panel yüzeyine ait görsel (yakın çekim)



Şekil 3.11(c) 14.03.2020 Kirli panel yüzeyinde biriken toz



Şekil 3.11(d) 14.03.2020 Panel yüzeyi temizlendikten sonra elde edilen görüntü (kaba temizleme silme)

Şekil 3.11. Ocak ayında Test GES Sahasına konumlandırılmış PV panel yüzeyinde 14.03.2020 biriken tozun toplanması ve temizlenmiş panel yüzeyi görselleri



Şekil 3.12(a) Nisan 2020 kirli panel yüzeyine ait görsel (yakın çekim)

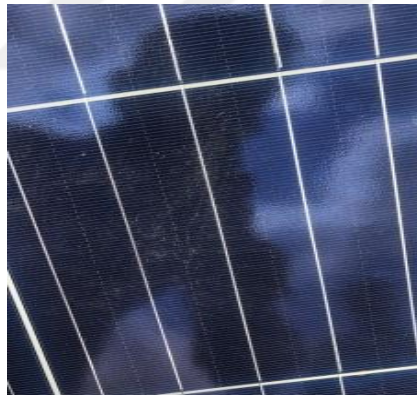


Şekil 3.12(b) Nisan 2020 Kirli panel yüzeyinde biriken toz



Şekil 3.12(c) Nisan 2020 Panel yüzeyi temizlendikten sonra elde edilen görüntü (kaba temizleme silme)

Şekil 3.12. 03.2020 ile 04.2020 tarihleri arasında 30 günlük PV panel yüzeyinde biriken toz ve tozların toplanması ile PV panel temizliği



Şekil 3.13(a) Mayıs 2020 tarihli PV panel yüzeyi kirlilik kontrolüne ait görsel



Şekil 3.13(b) Mayıs 2020 tarihli PV panel yüzeyinde biriken toz



Şekil 3.13(c) Mayıs 2020 tarihli panel yüzeyi temizlendikten sonraya ait görsel (kaba temizleme)

Şekil 3.13. Nisan 2020 ile Mayıs 2020 14 günlük PV panel yüzeyinde biriken toz ve tozların toplanması ile PV panel temizliği

3.1.4. Kirliliğin güneş panellerindeki üretim değerlerine etkisinin incelenmesi

FV panellerde kirliliğe etki eden faktörleri; sadece panel yüzeyindeki toz birikimi olarak görmek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. FV yüzeyinde kirlenme, bitki ürünleri, kurum, tuz, kuş pisliği ve organik türlerin büyümesi ile yüzey kirlenmesini de içeren bir olgudur. Bu olgu, FV panellerin optik performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Kirlilikten başka önemli FV panelin verimini sınırlayan faktörler aşınma yüksek rüzgâr hızı, yüksek bağıl nem ve sıcaklık etkileridir (Girgin, 2011). Sürekli ya da kademeli olarak toz-kir tabakasının birikmesi, panelin içerisine yerleştirilmiş güneş hücrelerine ulaşan güneş ışığı miktarını düşürmekte ve sonuç olarak panelin güç çıkışını azaltmaktadır (Öztürk, 2020). Kalsiyum, kül, toprak, kireçtaşı, silika, kum vb. ağır element içeren tozlar panel üzerinde hasar bırakması açısından önemli bir tesire sahiptir.

Panelin üzerinde doğal toz birikiminden daha çok yapay (sanayi kaynaklı hava kirliliğinden kaynaklanan) toz birikiminin olumsuz etkisi bulunmaktadır (Genç, 2018). Kirlenmeden dolayı gölgelendirme, biriken toz gibi bir partikül maddenin güneş ışığını kapattığında oluşan “sert gölgelendirme” ile hava kirliliği gibi “yumuşak gölgelendirme” şeklinde iki sınıfa ayrılmaktadır (Maghami ve ark., 2016). Alharbi ve ark. (2015), tarafından yapılan bir araştırmada, hava kirliliği kaynaklı

oluşan yumuşak gölgeleme, FV modülü tarafından sağlanan akım değerine etki ettiğini, ancak voltajın aynı kaldığını göstermiştir. FV panel yüzeyinde partikül madde birikiminden kaynaklanan, tam gölgelendirmede ise fotovoltaiik modülün performansı, fotovoltaiik modülün tüm hücrelerinin gölgeli durumda olmasına ya da bazı hücrelerin gölgeli olup olmamasına bağlıdır (Maghami ve ark., 2016). Aslında fotovoltaiik modülün üzerinde birikmiş olan tozun miktarı, fotovoltaiik modülün yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük bazda ürettiği enerjiyi etkilediğini göstermektedir (Maghami ve ark., 2016). Örneğin güneş panellerindeki toz birikimi, performansta Kuveyt şehrinde 6 günde %17, Riyad şehrinde ise 8 ay sonunda %32 azalmaya neden olmuştur (Alharbi ve ark., 2015; Maghami ve ark., 2016).

Kuwait uluslararası havaalanında bir ay içerisinde 400 g/m²den fazla yoğun kum birikimi ve Riyad şehrindeki bir ayda yaklaşık 10 g/m²lik yoğun toz birikimi çok daha yüksek bir seviyede kaydedilmiştir (Alharbi ve ark., 2015). Çünkü panelde bulunan toz birikimi miktarı, meteorolojik ve coğrafi niteliklere bağlı farklılık göstermektedir. Bununla birlikte kumun/tozun tanecik boyutu da oldukça önemlidir. Doha tozunun çapı yaklaşık 6-10 µm iken Namibya kumunun tipik çapı 200-300 µm'dir (Alharbi ve ark., 2015). Bu sebeple, FV panellerinin yüzeyinin belirli aralıklarla temizlik işleminin yapılması gerekmektedir.

Şebeke bağlantılı bir güneş enerjisi sisteminin üretmekte olduğu enerji birçok faktöre bağlıdır. Fotovoltaiik sistemde oluşan kayıplar % olarak sıralanabilir (Akcan, Kuncan ve Minaz, 2020).

- Gölgeleme % 7,
- Sıcaklık % 4.6,
- İnvertör % 3,
- Yansıma % 2.5,
- Tozlanma % 2,
- Işınım % 1.5,
- Spektrum % 1,
- DC kablo % 1,
- Uyumsuzluk % 0.7,
- AC kablo % 0.5,

Elektrik enerjisi üretimi ve güneş enerjisi üretim santralleri (GES), ülkelerin enerji politikalarına bağlı olarak enerji ithalatını azaltmak ve enerji talebini karşılamak amacıyla yasal mevzuat kapsamında yasa, talimatname, beyanname ve çeşitli kararlarla belirlenmiştir. Türkiye’de de bu tür uygulamaların her basamağı; yetki belgesi olmayan elektrik üreticileri, lisanslı elektrik üretimi yapan otoprodüktör, müessese ve kurumlar ile ilgili dağıtım şirketlerine göre belirlenmiştir (Taktak ve İl, 2018).

Kayıpların azaltılmasına yönelik yasal düzenlemeler ve bilimsel çalışmalar olmasına rağmen fotovoltaiik sistemler için oluşan kayıpların yüzdelik değerlerinin sıfırlanması imalat faktörleri ve sıcaklık, tozlanma ve gölgelenme gibi çevresel şartlar nedeniyle çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu da güneş enerjisine dayalı elektrik üretim sistemlerinde FV panellerdeki üretim gücünün henüz yakalanmamış olduğu çağımızda, elektrik üretim performansının da düşmesine dolayısıyla bu üretim kaybı, sisteme verilen enerji değerinin de düşmesine neden olmaktadır. Bu da maliyetli bir yatırım olan güneş enerjisi santralleri için ya amortisman süresinin uzamasına yahut işletme maliyetlerine ilave bakım maliyetlerinin yüklenmesine neden olmaktadır. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ve buna bağlı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Cetveli (YEK Cetveli) enerji kaynak cinsine göre belirlenmiş olan alım garantisi 10 yıllık süreyi kapsamakta ve Lisanslı Elektrik Üretim Yönetmeliği’nde ise bu süre 25 yıl olarak belirlenmiştir. Bu alım garantisi süresi sona erdiğinde santral ya ömrünü tamamlamış olur yahut lisanslı üretim söz konusu ise lisans süresi uzatması için başvuru yapılabilir. Bu süreler esasında GES yatırımları düşünüldüğünde, kredi kullanılmadan kurulan GES’lerde amortisman süresinin kısa olması iki faktöre bağlıdır. Bunlar güneş enerjisi santralının enerji üretim miktarı ve işletme maliyetleridir. Bunlar haricinde amortisman süresine etki eden başkaca faktör bulunmadığından işletme maliyetinin azaltılması ve üretime esas katkıyı sunacak olan panel ömrünün uzatılması ve optimizasyonunun sağlanmasındaki önemi anlaşılmış olacaktır.

Bu bağlamda, bu bölümde güneş enerjisi radyal değeri açısından güçlü olan Şanlıurfa İli’nde yer alan GES’ne kirliliğin etkisi işletmenin bu veriye dayanarak

enerji kaybı açısından ele alınmaktadır. Kirliliğe bağlı enerji üretim performansındaki değişimlerin elde edilmesi için ise iki farklı yöntem izlenmektedir. Bu yöntemlerden ilki kirlenme tespiti için bir veri seti oluşturularak deneysel ölçümlerin periyodik olarak yapılması ve analizini kapsamaktadır. İkinci yöntem ise Güneş Enerji Santrallerinin bölge, konum, meteorolojik veriler, güneş radyal değerleri gibi değerlerin analiz edilmesini ve elde edilecek enerji miktarını simüle edilmesi amacıyla İsviçre'deki Cenevre Üniversitesinden mezun Andre Mermoud ve İsviçre'deki EPFL (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne) üniversitesinden mezun Michel Villos tarafından geliştirilen ve C programlama dili ile yazılan PVSyst adlı simülasyon programının kullanılması yöntemidir.

Her iki yöntem ile belirlenmek istenen ise santralin kurulu olduğu bölgedeki kirliliğin panellerin üretim performansına etkisinin analiz edilmesidir. Çalışma kapsamında öncelikle birinci yöntem ile yapılan analize yer verilmesi bölgenin kirlilik değerlerinin tek FV panel üzerinde yarattığı etkiyi görebilmek adına önemlidir. Bu sebeple öncelikle deneysel yöntem veri seti ile yapılan deneysel çalışmalar ve analizlere yönelik bilgilere yer verilmektedir.

3.1.5. Kirliliği meydana getiren faktörlerin birinci yöntemde kullanılan veri seti ile bulguların elde edilmesi ve analizi

Şanlıurfa ili, Karaköprü ilçesi, Akziyaret Köyü, Bölücek Mevkii'nde bulunan güneş enerji santralinde kirlilik etkisi bulunan maddelerin FV panellerin elektrik üretimine etkisi analiz değerlerini elde etmek için ilk olarak panellerdeki kirlenme oranları göz ile kontrol edilmiştir. Daha sonra dijital multimetre ölçüm cihazı ile üretim değeri ölçülerek kaydedilmiş, bu işlemten sonra ise panel temizlenerek ölçüm tekrarlanmıştır. FV Panellerdeki kirlenmeye bağlı üretim değerlerindeki düşme ve FV paneller temizlendikten sonra üretim gücüne yansımaları gösterir değerlere Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. FV panellerde dijital ölçüm cihazı ile tespit edilen tozlanmanın üretime etkisini gösterir ölçüm değerleri kirli ve temiz panel üretimi karşılaştırması³

CWT 60P 270WP SOLAR PANEL ÖLÇÜMLERİ							
Bağlı Yük	Tarih	Gerilim	Akım	Kirli Panel Voltaj (V)	Kirli Panel Akım (A)	Temiz Panel Voltaj (V)	Temiz Panel Akım (A)
YÜK YOK	14.3.2020	Voc	Isc	34.07	2,77	34.59	4,02
58Ω	14.3.2020	V	I	19.65	0.338	27.59	0.47
YÜK YOK	30.3.2020	Voc	Isc	36.38	6,74	37.34	6,67
58Ω	30.3.2020	V	I	36.10	0.622	36.54	0.63
YÜK YOK	13.4.2020	Voc	Isc	35.34	9,16	35.65	8,81
58Ω	13.4.2020	V	I	35.01	0.603	34.98	0.603
YÜK YOK	27.4.2020	Voc	Isc	35.21	6,49	36.30	6,55
58Ω	27.4.2020	V	I	34.55	0.595	34.90	0.601
YÜK YOK	7.5.2020	Voc	Isc	35.37	9,84	35.41	10,19
58Ω	7.5.2020	V	I	34.99	0.603	35.07	0.604
YÜK YOK	21.5.2020	Voc	Isc	33.91	9,23	34.06	9,27
58Ω	21.5.2020	V	I	33.61	0.579	33.77	0.582
YÜK YOK	9.6.2020	Voc	Isc	34.30	7,48	34.5	7,1
58Ω	9.6.2020	V	I	33.40	0.575	34.20	0.589
YÜK YOK	24.6.2020	Voc	Isc	33.36	8,85	34.10	8,84
58Ω	24.6.2020	V	I	32.20	0.555	33.4	0.576
YÜK YOK	2.7.2020	Voc	Isc	34.0	5,35	34.2	6,37
58Ω	2.7.2020	V	I	33.7	0.581	33.9	0.584
YÜK YOK	21.7.2020	Voc	Isc	33.7	8,83	34.3	9,12
58Ω	21.7.2020	V	I	33.3	0.574	34.2	0.589
YÜK YOK	14.8.2020	Voc	Isc	33.8	8,15	34.0	8,6
58Ω	14.8.2020	V	I	33.4	0.575	33.7	0.581
YÜK YOK	29.8.2020	Voc	Isc	34.4	6,61	35.0	6,95
58Ω	29.8.2020	V	I	34.0	0.603	34.7	0.598
YÜK YOK	9.9.2020	Voc	Isc	33.4	9,02	33.0	9,26
58Ω	9.9.2020	V	I	32.09	0.553	32.8	0.565
YÜK YOK	30.9.2020	Voc	Isc	33.09	7,82	34.0	8,11
58Ω	30.9.2020	V	I	32.04	0.552	33.75	0.582
YÜK YOK	10.10.2020	Voc	Isc	33.86	4,25	34.85	4,7
58Ω	10.10.2020	V	I	33.35	0,58	34.5	0.594
YÜK YOK	28.10.2020	Voc	Isc	34.83	6,56	35.24	6,62
58Ω	28.10.2020	V	I	34.44	1,63	35.09	1,67
YÜK YOK	15.11.2020	Voc	Isc	34,5V	3,05A	35,23V	02,96A
YÜK YOK	8.12.2020	Voc	Isc	36,25V	1,97A	36,38V	1,46A

³Ölçüm saatleri 12:00 ila 13:00 saatleri arasındadır. Yük yok yazılan sütunda panel + ve - uçları kısa devredir

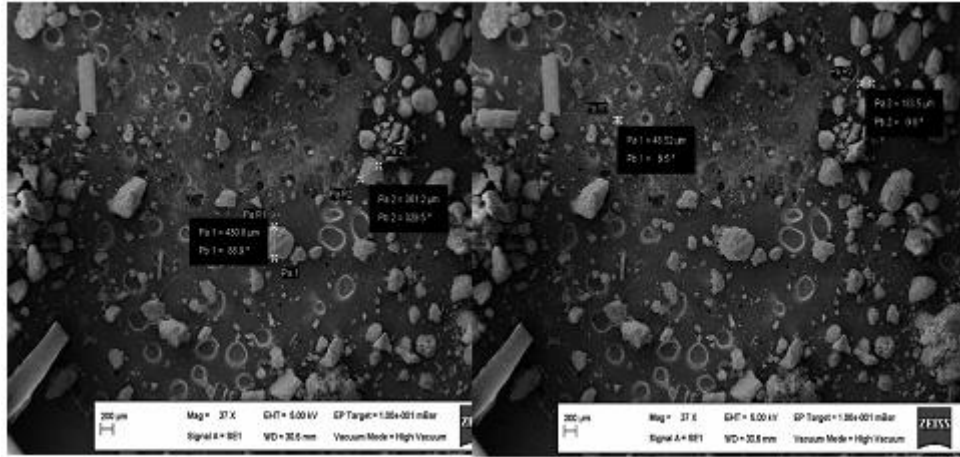
Daha sonra panel yüzeyinde bulunan kirlenmeyi sağlayan partiküller, HÜBTAM Laboratuvarında analiz edilmek üzere panel yüzeyinden toplanmış bir kavanoza konularak laboratuvarında yer alan taramalı elektron mikroskobunda (SEM Cihazında) analiz edilerek tozlanmaya neden olan partiküllerin içeriği ve miktarı belirlenmiştir. Analizden elde edilen partikül maddelerin içerik analizine Çizelge 3.5.'de yer verilmektedir.

Çizelge 3.5. Taramalı elektron miknatısı partikül incelemesinden elde edilen partikül içeriği analizi

El	AN	Series	unn	C norm.	C Atom	C Error
			[wt. -%]	[wt. -%]	[at. -%]	[%]
Si	14	K-Series	25,17	19,68	14,67	1,1
Al	13	K-Series	12,58	9,84	7,63	0,6
Ca	20	K-Series	8,29	6,48	3,39	0,3
Fe	26	K-Series	5,27	4,12	1,54	0,2
Mg	12	K-Series	3,15	2,46	2,12	0,2
Nb	41	K-Series	2,75	2,15	0,49	0,1
K	19	K-Series	2,6	2,03	1,09	0,1
Na	11	K-Series	2,09	1,64	1,49	0,2
C	6	K-Series	0,15	0,12	0,21	0,1
O	8	K-Series	65,83	51,48	67,37	7,4
		Total	127,88	100,00	100,00	100,00

Partiküllerden alınan Enerji Saçılım Spektroskopisi (EDS) analizi sonuçları görülmektedir. Partiküller Si, Al, Ca, Fe, Mg gibi doğada fazlaca bulunan elementlerin oksit formlarını içermektedir. Havada uçuşan tozlar hava akımları vb. meteorolojik olaylar ile taşındığı için bölgesel olarak farklılık gösterebilmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) cihazında gözlemlenen partiküllerin panel camları üzerinde doğal yollarla biriken toz partiküllerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsüne Şekil 3.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Partikül maddelerin mikro yapısının SEM analizinde görünümü

Şekil 3.14.'te panel camları üzerinde doğal yollarla biriken toz partiküllerinin taramalı electron mikroskobu (SEM) görüntüsünden de görüleceği üzere ince toz partikülleri küresel, ellipsoid ve açılı olmak üzere karmaşık şekillidir. Partiküller, iri ve küçük hacimli partiküllerin karışımıdır. Rastgele partikül çapları SEM resimlerine göre 50 μm ile 450 μm aralığında olduğu tespit edilmiştir.

3.1.6. Kirliliği meydana getiren faktörlerin ikinci yöntem olarak kullanılan PVSyst veri setinin oluşturulması ile bulguların elde edilmesi ve analizi

A. PVSyst'nin tercih edilme sebebi

Bir Güneş Enerjisi Santrali planlanırken, temel bilgisayar programları Autocad, Netcad özel durumlarda ise Matlab programlarıdır. Ek olarak yatırımcılar santral planlarını görsel olarak da tasarımını, üretim değerlerini vs. gibi bilgileri görmek isterler, bu istek doğrultusunda tasarım için 3 DCmax simüle etmek için ise en çok tercih edilen simülasyon programları olan; Homer, PV SQL, PV GIS, PV SYST gibi simülasyon programlarından destek alınmaktadır.

Simülasyon programlarına ilişkin IEA tarafından PV sektörünün güçlendirilmesi amacı ile çeşitli araştırmalar yapılmış olup bu araştırma verilerine göre IEA Almanya'da 235, Diğer Avrupa ülkelerinde 133 adet kurulu santral üzerinde performans değerlendirmesi yapmış PVSQLE ile simüle edilen santralin gerçek değeri 820 kWh/kWp iken simülasyon sonucunun 793 kWh/kWp olduğu

görülmüştür. Yapılan diğer testlerde de sonuçlar değerlendirilmiş ve programın $\pm 0,3 - 0,4$ oranında sapma eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu da PVSyst ile yapılan analizleri bankaların kabul etmesi ve projelere kredi vermesi ile sonuçlanmıştır (Mutluay, 2016; IEA, 2013)

2013 yılında Hırvatistan’da IEA adına araştırma yapan Petrovic, Simic ve Vrazic, Varazdin bölgesinde 20,64 kWp gücündeki şebeke bağlantılı bir PV sistemin, 12 aylık gerçek performans değerlerini; PVGIS, Homer ve PVSyst simülasyon programlarının tahmin değerlerini karşılaştırarak IEA’ya bilgi vermişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, 20,64 kWp gücündeki PV sisteminin yılda toplam 26.500 kWh enerji ürettiği ölçülürken, Homer ile yapılan simülasyon 28.500 kWh/yıl, PVGIS ile yapılan simülasyon 17.300 kWh/yıl, PVSyst ile yapılan simülasyon ise 26.600 kWh/yıl enerji üretimi yapılabileceğini tahmin ettiğini raporlayarak PVSyst tahmin modelinin güneş enerji santrallerinde, $\pm 0,3$ hata payı ile en başarılı simülasyonu gerçekleştirdiğini saptamışlardır. PVGIS $\pm 34,7$ hata payı ile başarısız simülasyon programı seçilirken, Homer simülasyon programının gerçekleştirdiği tahmin, ± 70 oranında hata payına sahip olduğunu belirleyerek en başarısız simülasyon programı olarak belirlemişlerdir (Petrovic ve ark., 2013).

Bu geniş çaplı araştırma, en düşük hata payına ($\pm 0,3$) sahip olan PVSyst simülasyon programının araştırmacılar tarafından tercih edilme sebebini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, Şanlıurfa İli Karaköprü İlçesi Bölücek Mevkii’nde yer alan güneş enerjisi santralının kayıp modellemesi ve kirlilik modelleme yapılarak analiz edilmesi için IEA tarafından en düşük hata payına ($\pm 0,3$) ve en yüksek analiz, tahmin değerlerine sahip olan ve bu sebeple literatürde sıkça başvurulanan PVSyst simülasyon programı tercih edilmiştir.

B. PVSyst Simülasyon Programı Parametreleri ve Ekranları

PVsyst programı yardımı ile veri analizi ve PV sistemlerin tasarımı yapılabilmektedir. İçerisinde barındırdığı araçlar sayesinde araştırmacı, tasarımcı, mühendis ve mimarlar çalışmalarını kolaylıkla gerçekleştirebilmektedirler. PVsyst

programı, içerisinde çeşitli kaynaklardan sağlamış olduğu bölgesel verilerin yanı sıra Meteoronorm verileri de barındırabilmektedir. PVsyst programı, aynı zamanda şebeke bağlantısız sistemler ile şebeke bağlantılı sistemlerin modellemesini de yapabilmektedir. Bu programı hesaplama esnasında bazı ayrıntıları göz önünde bulundurarak ilgili işlemi yapmaktadır. Bu ayrıntılar arasında (Girgin, 2011);

- Tesisin kurulacağı bölgenin meteorolojik verileri,
- Bölgenin kirlilik oranı (Kum fırtınası, çamur yağmuru vb.)
- Güneş ışının ayrıntılı değerleri,
- Bulutlu gün gölgelenme sayıları ile ilgili analizler,
- İskan planları,
- Yeryüzünden gökyüzüne doğru gerçekleşen yansıma oranları,
- Kullanılacak güneş paneline ait bilgiler,
- Kurulacak güneş panelinin açısı ve yönü,
- Evirici (İnvertör) cihazlarla ilgili özellikler,
- Güneş panellerinin yıllık verim kaybı oranları,
- Besleme kablolarının mesafesi,
- Yapılan bağlantı noktasına dair sayı,
- Elektrik dağıtım şebekesine dair özellikler

vb. ayrıntılara yer vermekte ve benzetimi yapılacak bilgilerin girişine göre hesaplamalar yapmaktadır (Girgin, 2011). Programda şebeke bağlı, şebekeden serbest, su pompası ve doğru akım (DC) şebekesi olmak üzere dört farklı örneğin ön ve proje dizaynının yanı sıra panel bilgileri, FV sistemlerin hava durumu verileri vb. çeşitli verilerin de girilebildiği araçlar (Tools) menüsü de vardır. Programın giriş ekranına ait görüntüye Şekil 3.15 'te yer verilmektedir. Burada seçenekler (option) bölümü görüldüğü gibi solda, sistem türünün seçildiği sistem (system) bölümü sağ tarafta bulunmaktadır.



Şekil 3.15. PVsyst programı arayüz görünümü

Fotovoltaik sistemlerin dizaynı ile ilgili olarak PVSyst, “ön tasarım” (preliminary design) ve “proje tasarımı” (Project design) olmak üzere iki aşamada gerçekleştirme olanağı sunmaktadır (Lalwani, Kothari, Singh, 2010). Yazılımın öntasarım kısmı daha çok kurulmak istenen düzeneğin ve kullanılan donanımların boyutlarını değerlendirebilme adına kullanılmaktadır.

Ön tasarım giriş ekranında, tasarımın tanımlamasının yapıldığı ve değerlerin elde edildiği “sonuçlar” (results) kısmı ile kurulacak sistemin bulunduğu bölgenin seçiminin yapılacağı “yer seçimi” (meteo database) bölümleri vardır. Programın ilk aşamasında tasarlanacak sistemin yer seçimi ve bu yer için meteoroloji ve hava durumu verilerinin girişi yapılır. Yer seçimi ön tasarım penceresindeki “meteo database” sekmesinden yapılmaktadır. Şayet programın veri tabanında bu kısım bulunmuyor ise verilerin programın araçlar (database) penceresinden manuel olarak girilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte “Database” penceresinde bu programın farklı özelliklerinin bulunduğu bir ekran ve güç kaynakları, inverter çeşitleri, FV modül tipleri, harici hava durum verileri vb. FV sistem donanımları yer almaktadır. Tasarlanan bölgenin yer seçimi veri tabanı penceresindeki “coğrafik yer” (Geographical Sites) tuşuna basılarak gerçekleştirilmektedir. Yer seçimi ekranında ülke seçimi sırasında çıkan listede bölge veya modellenen yer bulunuyor ise bu yer “open” (aç) düğmesi ile açılıp gerekli değişiklikler yapılabilir.

Şekil 3.16. PVSyst programında coğrafi koordinat penceresi

Bu pencere ile programda yer alan yeni “new” düğmesi aracılığıyla yerler sıfırdan oluşturulabildiği gibi farklı bir kaynaktan yerler de programa yüklenilebilmektedir. Burada çalışma kapsamında lokasyon seçimini gösterir koordinat değerlerine (Enlem ve Boylam) Çizelge 3.6.’da yer verilmektedir.

Çizelge 3.6. Bölücek GES köşe noktaları koordinat bilgileri

	GES Koordinat Noktaları sıralaması						1.Noktaya Göre Farklar (1. nokta referans noktamız kabul edilmiştir).
Boylam	1.nokta	37	24	51,98	Lat	37,41444	0
Enlem	1.nokta	38	48	44,84	Long	38,81246	0
Boylam	2.nokta	37	24	54,78	Lat	37,41522	0,000777778
Enlem	2.nokta	38	48	44,89	Long	38,81247	1,38889E-05
Boylam	3.nokta	37	24	54,32	Lat	37,41509	0,00065
Enlem	3.nokta	38	48	54,84	Long	38,81523	0,002777778
Boylam	4.nokta	37	24	51,83	Lat	37,4144	-4,16667E-05
Enlem	4.nokta	38	48	54,85	Long	38,81524	0,002780556

Çizelge 3.6.’da yer alan köşe koordinat noktaları santralin kurulması için YEGM başvurusu sırasında girilen köşe noktalarıdır. Bu köşe noktaları direkt olarak PVSyst’ye işlenemeyeceğinden saf bir nokta yaratmak gerekmektedir. Bunun için noktaların iyileştirilmesi ve tek bir koordinat(Y/Boylam) ile tek bir apsisin

(X/Enlem) belirlenmesi gerekmektedir. Lokasyon bilgilerinin iyileştirme çalışmalarına ise Çizelge 3.7. ve Çizelge 3.8.’de yer verilmektedir.

Çizelge 3.7. Köşe noktalarının iyileştirilmesi çalışması

	Lat	Long
1.nokta	0	0
2.nokta	0,000777778	1,38889E-05
3.nokta	0,00065	0,002777778
4.nokta	-4,16667E-05	0,002780556
Pvsyst için ayarlar		
1.nokta	0	0
2.nokta	-85,99655556	-1,546125
3.nokta	-71,86855	-309,225
4.nokta	4,606958333	-309,534225
	Long	Lat
	0	0
	-1,546125	-85,99655556
	-309,225	-71,86855
	-309,534225	4,606958333

Çizelge 3.8. Google haritalar bölölce enlem ve boylam değlerlerinin işlenmesi için KML koordinatlarının oluşturulması

0	0	0
-1.54612499978766	-85.9965555555297	0
-309.225000000246	-71.8685500000289	0
-309.534224999729	4.60695833348627	0

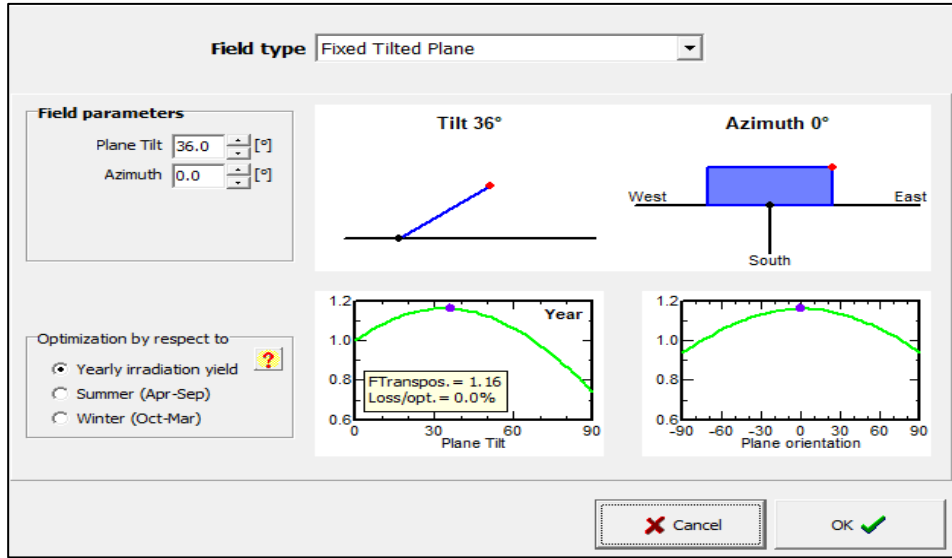
Lokasyon bilgilerini işlemek için Şekil 3.16.’da yeni “new” düğmesine basıldığında karşımıza gelen ekranda öncelikle oluşturulacak olan lokasyonun adı yazılır ve daha sonra bulunduğu ülke ve kıta seçilir. Meydana gelen bu yerle ilgili paralel ve meridyen bilgileri ondalık veya derece cinsinden, zaman dilimi ve yükseklik bilgileri bir haritadan bulunarak penceredeki ilgili kutucuklara girilir. Yahut o çalışma kapsamında KML dosyası oluşturabilir haritaya işleyebilir otomatik verilere kaydet yöntemi de tercih edilebilmektedir. Haritaya işlenen değler sonraki kullanımlar için sahanın görünür ve seçilebilir olmasını sağlamaktadır. Şekil 3.17.’de derece, saat, dakika saniye cinsinden GES yerleşkesi uydu görüntüsüne yer verilmektedir.



Şekil 3.17. Araziye uygulanmış GES yerleşkesi uydu görüntüsü

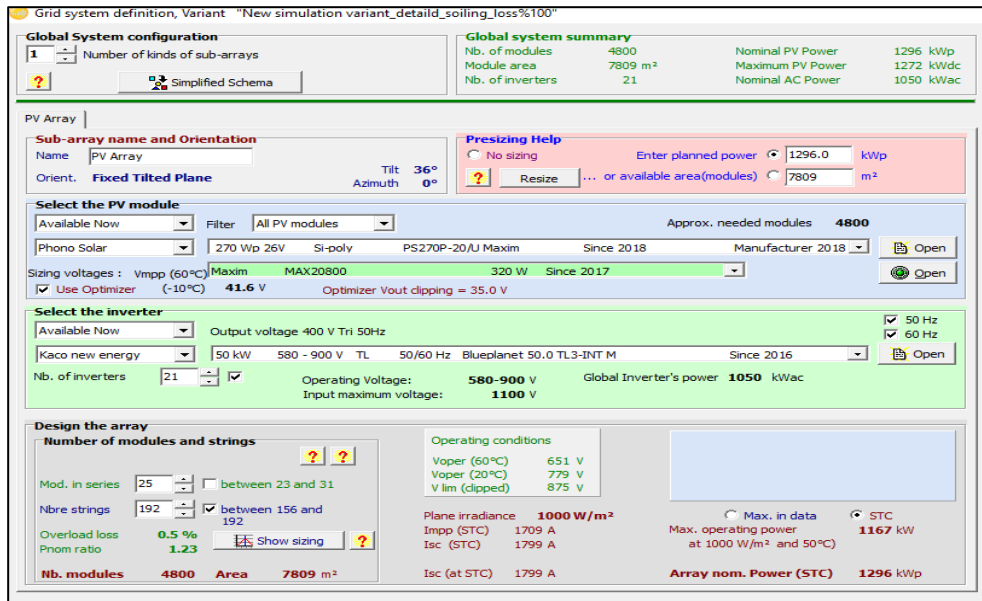
Programa gerekli bilgiler aktarıldıktan sonra, ekranda yer alan “aylık meteorolojik veri” (monthly meteo) tuşu kullanılarak aylık hava durumu bilgilerinin girilmiş olduğu yeni bir ekrana geçilir. Bu yeni ekranda aylık meteorolojik bilgilerin yanı sıra girilmesi zorunlu olan kısımlar da bulunmaktadır. Bunlar “aylık ortalama sıcaklık bilgileri” ve “aylık küresel ışıınım bilgileri”dir. Bununla birlikte isteğe göre girilebilen “rüzgâr hızı bilgileri” ve “aylık yayınlık ışıınım bilgileri” için farklı yerler de bulunmaktadır. Buralara girilmesi gereken veriler manuel olarak girilebildiği gibi bir tablodan kopyala/yapıştır yapılarak da girilebilmektedir. Şayet seçilen bölgenin meteorolojik verileri elde bulunmuyor ise böylesi bir durumda “Default” (NASASSE) sekmesi aracılığıyla program veri tabanında yer alan ve NASA tarafından belirlenen aylık ortalama sıcaklık verileri ile aylık küresel ışıınım bilgileri kullanılabilir. Böylece belirlenen lokasyonun programda oluşturma işlemi bitmiş olur. Şekil 3.18.’de de görüldüğü üzere ilgili bölümde FV panellerin yerleşim açıları gösterilmektedir.

FV panellerin yönelim açıları hesaplanarak ya da farklı bir kaynak kullanılarak doğrudan bu ekrana girilebilmektedir. Bununla birlikte en iyi eğim açısı, “en optimum hali göster” (how optimisation) sekmesinde açılan ekrandan belirlenebilmektedir. En uygun işlemin kış, yaz veya yıllık durumu belirlenmektedir. Buna göre kayıp/iyileştirme (Loss/Opt) değeri %0 oluncaya kadar eğim açısı değiştirilir. Burada Loss/Opt bu değerini sıfır olarak veren açı en uygun eğim açısı olarak kullanılabilir.



Şekil 3.18. PVSyst programı panelin yönelim eğim açısı belirleme penceresi

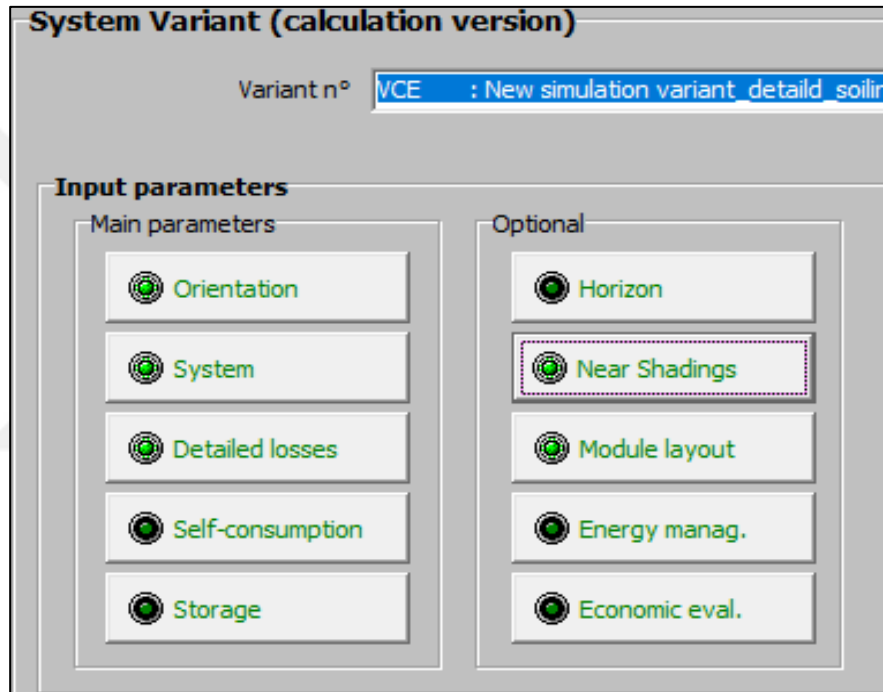
Arazi alanına göre FV panellerin belirlendiği bu pencerede, modellenen sistemde tasarımcı tarafından panel dizilim şekli, inverter (evirici) sayısı, panelin kapladığı toplam alan, arazinin alanı ve panelin tipi ve gücü belirlenmektedir. PVSyst, nominal güçler ve üretici firmaya bağlı olarak kurulacak sistem için evirici değerleri ve kullanılacak panelleri Şekil 3.19.'da görüldüğü şekliyle tercih etme imkanı sunmaktadır.



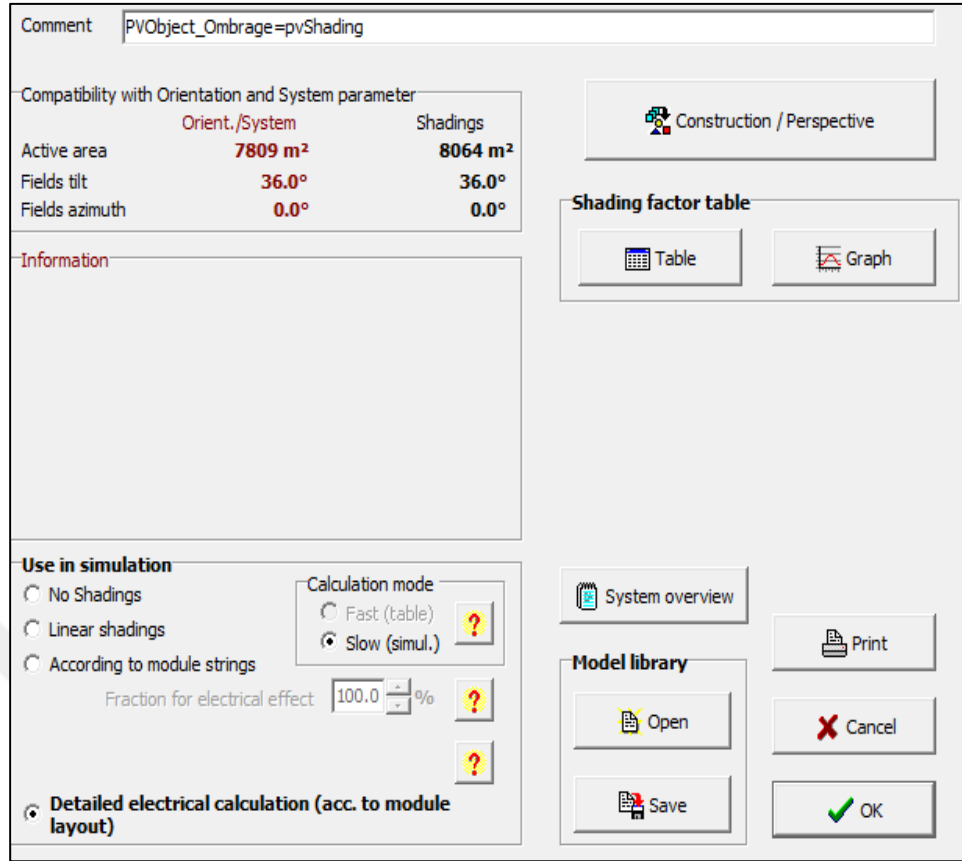
Şekil 3.19. PVSyst'te benzetim bileşenlerinin seçilmesi

Şekil 3.20.’de ön tasarım panelinin “Near Shadings” (yakın gölgelenme) ekranı görülmektedir. Arazinin durumuna göre tasarlanan sistem için yakın gölgelenme ve panel dizilimi analiziyle ilgili öneri sunmaktadır. “Near Shadings” panelinde

Şekil 3.21’de görülen “Detailed Electrical Calculation” (detaylı elektrik hesaplama) sekmesi seçilir ve gelen “Construction/Perspective” (inşaat) ekranından arazinin yapısına göre panel dizilimi yapılır. Daha sonra yakın gölgelenme analizi yapılır ve ekranın sağında yer alan butonlara basılarak istenen tablo ve grafikler elde edilir.

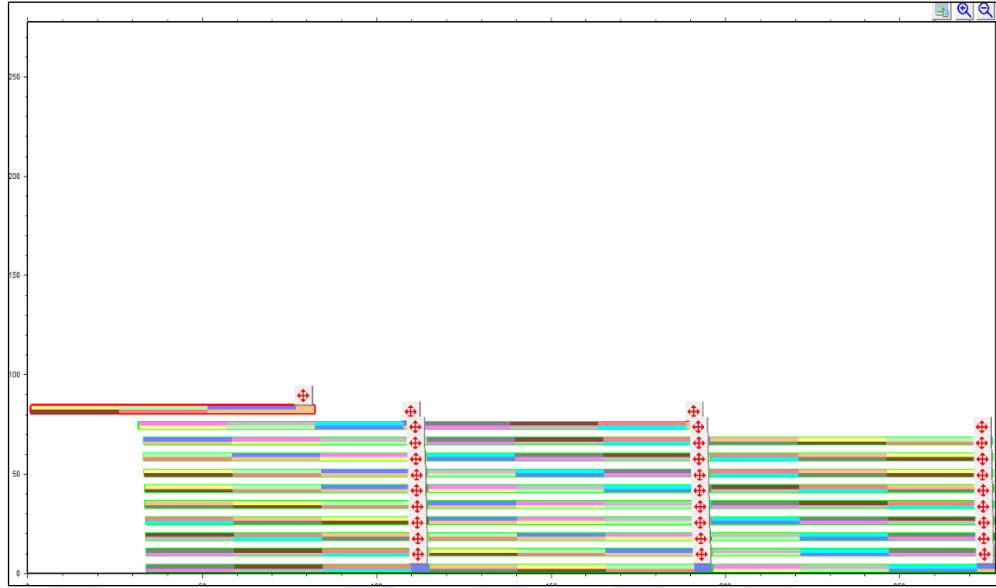


Şekil 3.20. FV sistemin arazi panel dizilimi ve yakın gölgelenme seçim penceresi



Şekil 3.21. FV sistemin arazi panel dizilimi, yakın gölgelenme analiz tablo ve grafik penceresi

Şekil 3.21’de “Module Layout” (parça düzeni) ekranı görülmektedir. Bu ekranda arazinin durumuna göre tasarlanan sistem için fotovoltaik panel dizilimi otomatik olarak yapılmaktadır. Paneller arası uzaklık, bir sehpa da bulunacak panel sayısı ile ilgili yatay ya da dikey dizilim tipleriyle tasarım yapma olanağı sunmaktadır. Şekil 3.22’de arazi alanında kullanılacak paralel ve seri bağlanan panel sayıları, panel tipi, toplam panel sayısı ve arazi yerleşimini görsel ekranına yer verilmektedir.

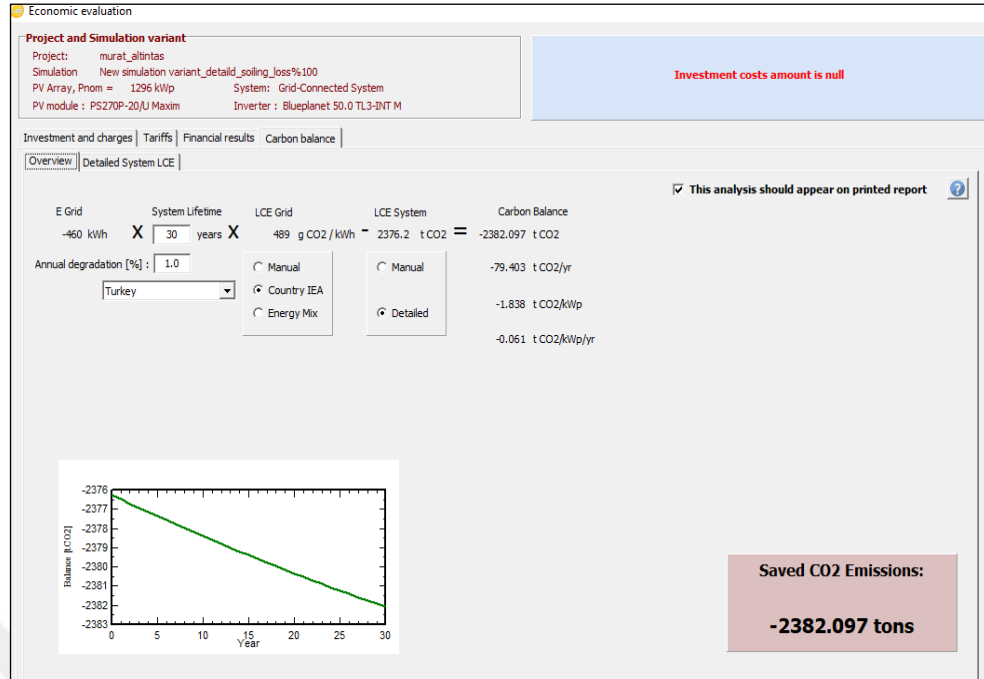


Şekil 3.22. FV sistemin araziye otomatik panel dizilimi penceresi

Dizayn işlemleri bittikten sonra PVSyst tasarım panelinde program, “Run Simulaiton” (simülasyonu çalıştır) bölümünde tasarlanan sistem için PV ve AC nominal güç durumuyla ilgili öneri sunmaktadır. Bu ekranda basit bir ara yüz vardır. Simülasyonun çalıştırılmasından sonra ekranın altında yer alan “Report” (rapor) tuşuna basarak istenilen grafik ve tablolar elde edilir.

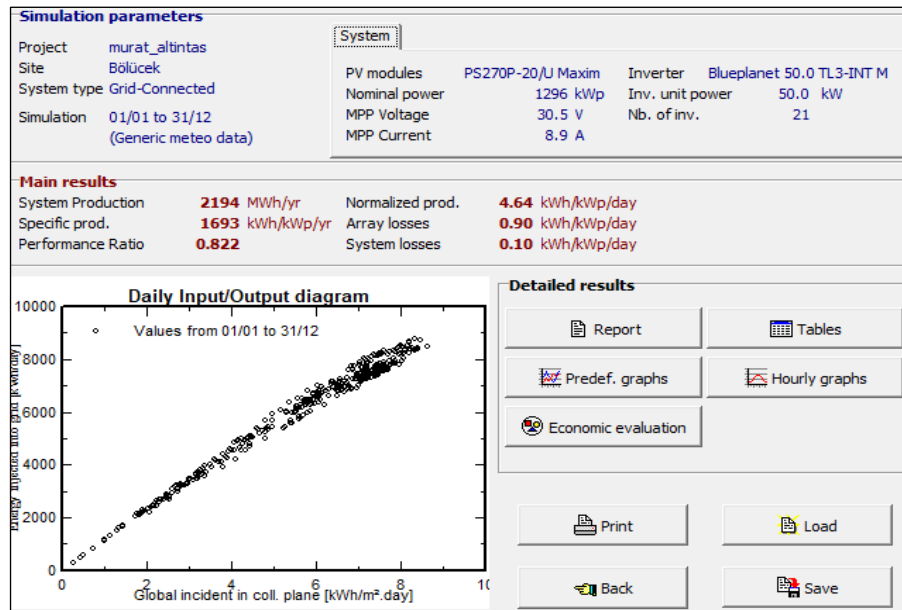
Ön tasarım penceresinde yer alan Ekonomik Değerlendirme bölümü kullanılarak sistem için ekonomik değerlendirmeler yapılabilmektedir. Burada sol üstte santral için kullanılan tüm veriler yer almaktadır.

Sistemin maliyeti için sol altta bulunan “sistemde kullanılan teçhizatlar” seçilir ve birim fiyatları girilir. Böylelikle yıllık toplam maliyet üzerinden enerji birim fiyatlarına ulaşılır. Ekonomik değerlendirme penceresinde yer alan “Karbon Dengesi” sekmesi tıklanarak kg ve ton cinsinden karbon salınım değerleri sistemin ömrü boyunca ve yıllık bazda alınmaktadır karbon salınımı ekranına, Şekil 3.23.’te yer verilmektedir.



Şekil 3.23. Karbon salınımı analizi penceresi

PVSyst ‘sonuçlar’ menüsüne Şekil. 3.24 ’de yer verilmektedir. Bu menüde ön değerlendirmeler yapılarak sistem segmentleri, boyutları, aylık performans ve üretimler değerlendirilir. “Araçlar” menüsü ise tablolar ve grafik görüntüleri ile veri tabanında yer alan veri bileşenlerinin yönetimini içermektedir.



Şekil 3.24. PVSyst sonuçlar menüsü

C. PVSyst Benzetim parametreleri

Benzetim parametreleri Çizelge 3.9’da gösterildiği şekliyle tasarlanmıştır. Sistem bileşeni olarak diğer parametreler ve santralin enlem-boylam değerleri programa kaydedilmiştir.

Çizelge 3.9. Benzetim parametreleri

Şebeke Bağlantılı Sistem: Benzetim Parametreleri İlk yıl operasyonları			
Proje: Ham Toprak Üzerine Çakım uygulamalı GES			
Coğrafik alan: Şanlıurfa / Bölücek			Ülke: Türkiye
Enlem: 37.41°	Boylam: 38.81°	Eğim: 36°	Azimuth: 0°
			Rakım: 819 m

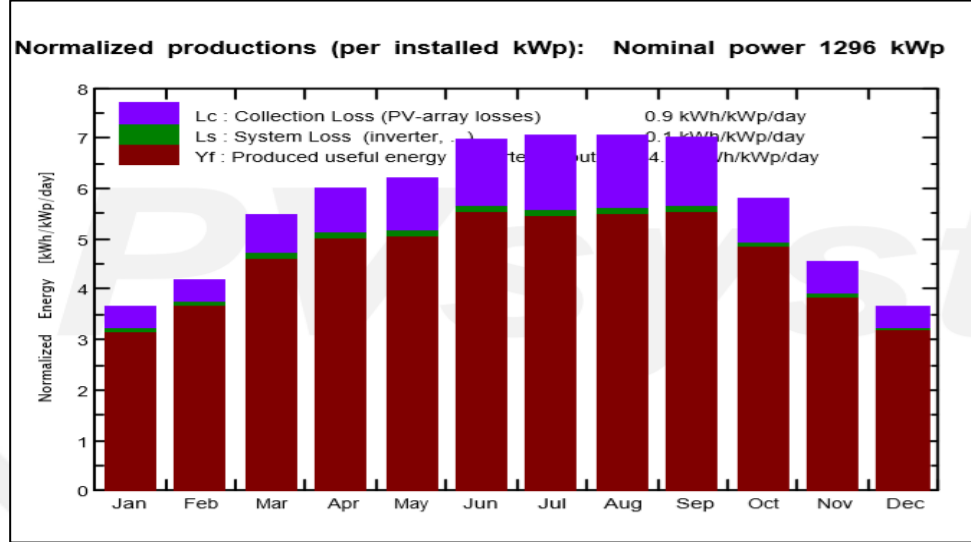
Çizelge 3.10’da yer alan benzetim sonuçları incelendiğinde arazideki hücre alanının 7009 m², modül alanının ise 7809 m² olduğu ve 4800 adet fotovoltaik polikristal modül kullanıldığı görülmektedir. Her modül 270 Wp seçilirken, U mpp’nin 900 V, I mpp’nin ise 150 A olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra nominal gücü 1050 kWac olan 21 evirici tercih edilmiştir.

Çizelge 3.10. Şebeke bağlantılı GES santralinin benzetim parametreleri

Simülasyon değişkenleri		
Fotovoltaik dizi karakteristiği		
FV modül sayısı	Seri: 25 modül	Paralel: 192 dizi
Toplam FV modül sayısı: 4800	Nominal hücre gücü: 270 Wp	Nominal güç (STK): 1296 kWp
Polikristal (Phono Solar)		
I mpp: 150 A	U mpp: 900 V	
Hücre alanı: 7009 m ²	Modül alanı: 7809 m ²	
Evirici (KACO blueplanet 50.0 TL M1 WMOD IIGX)	Operasyon gerilimi: 580-900 V	Nominal gücü: 50 kWac
	Evirici sayısı: 21	Toplam Nom güç: 1050 kWac

Eviricilerden ve dizilerden meydana gelen kayıplar optimize edilmiştir. Veriler aylık bazda incelendiğinde kış aylarında evirici çıkışından sağlanan enerji kazancı yüksek olmasına karşın evirici ve dizi kayıplarının minimum seviyede ve sıcaklığın

düşük olduğu görülmüştür. Buna karşın haziran ayında kayıp değerleri maksimum seviyeye ulaşırken, enerji kazancı da maksimum olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.25. Normalize edilmiş üretim ve kayıp değerleri

Tüm değerlerle ilgili ayrı ayrı yapılan analiz neticesinde elde edilen değerler ay ve yıl bazında listelenmiştir. Buna göre;

- Santralde yatay düzlemde bir yıl içerisindeki küresel ışıınım miktarı 1807,6 kWh/m²dir.
- Ortam sıcaklığı yıllık ortalama 16,22°dir.
- Optik düzeltmeler yokken eğimli FV toplayıcı düzlemdeki küresel ışıınım miktarı: 2058,7 kWh/m²
- Toplayıcılardaki ‘asıl’ küresele ışıınım miktarı (kirlenme kayıpları, yakın-uzak gölgelenmeler ve optik kayıplar vb.): 1946,5 kWh/m²
- Fotovoltaik dizinin üretmiş olduğu enerji miktarı: 2242,2 MWh.
- Evirici ve AC iletken kayıpları dâhil olmak üzere şebekeye verilen enerji miktarı: 2193,9 MWh

3.1.7. PVSyst sonuçların elde edilmesi

Tasarlanan sistem için program, Pvsyst tasarım panelinde tasarım işlemlerinin tamamlanmasından sonra “Run Simulaiton” (simülasyonu çalıştır) bölümünde PV ve AC nominal güç durumuyla ilgili öneri sunmaktadır. Bu ekranda basit bir ara yüz

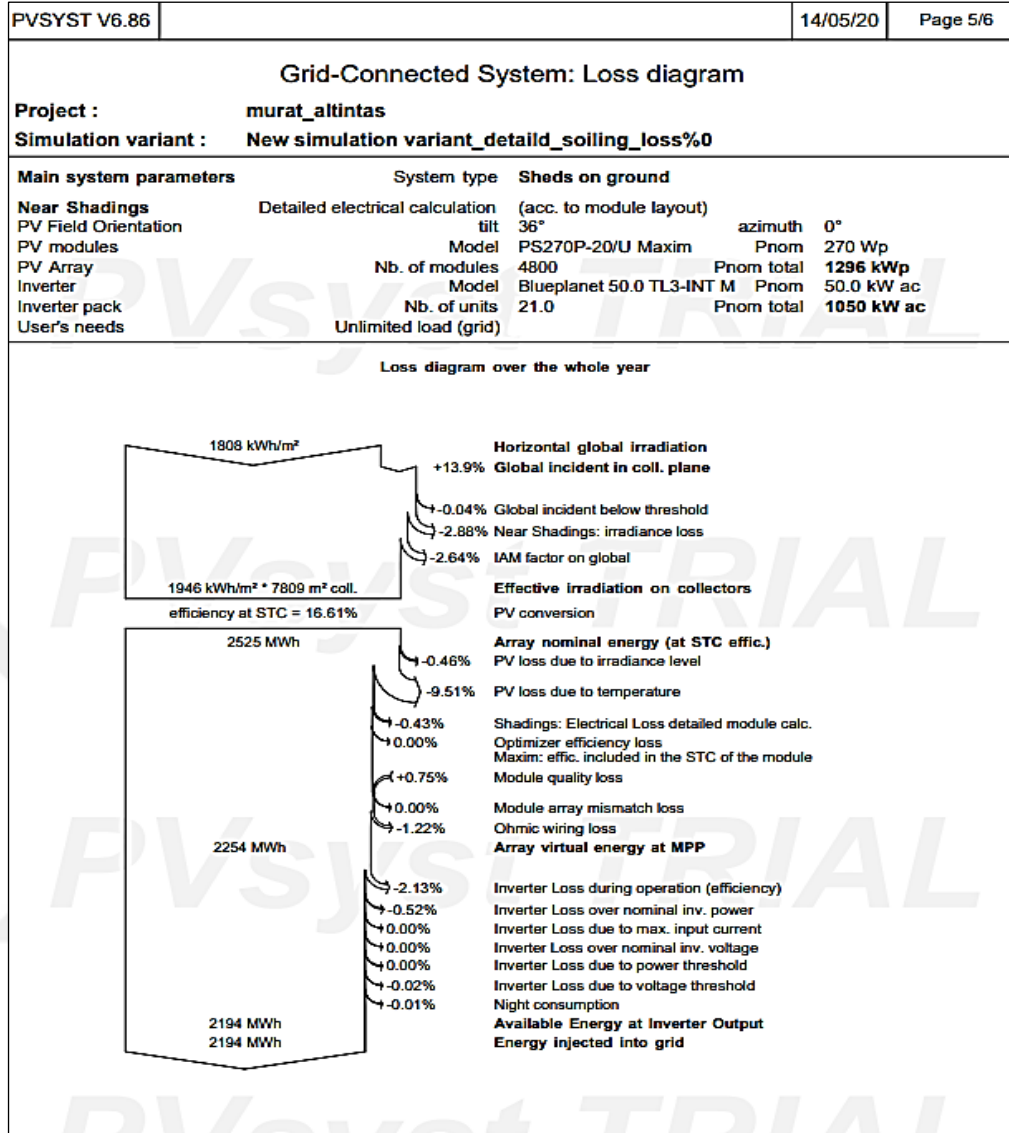
vardır. Simülasyonu başlattıktan sonra ekranın altında yer alan “Report” (rapor) tuşuna basılır ve istenilen grafik ve tablolar elde edilir.

Çizelge 3.11. Enerji üretimi ile ilgili ana sonuçlar

1MW Ges Santrali								
Ana sonuçlar								
	Küresel ışıınım	Dağınmık ışıınım	Ortam Sıcaklığı	Eğimli FV Toplayıcı	Asıl küresel ışıınım	Dizi çıkışında üretilen Enerji	Şebekeye basılan Enerji	Perf. Oranı
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	69,2	31,85	3.13	112.8	106.1	130.8	127.9	0.875
Şubat	82,1	33,00	4.76	117.2	111.6	136.9	133.8	0.882
Mart	137,0	49,44	9.76	169.2	160.7	190.7	186.5	0.850
Nisan	169,2	68,51	13.89	180.2	169.6	200.7	196.3	0.841
Mayıs	206,1	71,67	19.56	192.6	180.4	208.0	203.5	0.815
Haziran	234,8	61,74	25.88	209.4	196.9	220.0	215.3	0.793
Temmuz	239,5	58,89	30.39	218.1	205.6	224.2	219.4	0.776
Agustos	215,7	56,60	29.68	219.0	207.4	226.1	221.4	0.780
Eylül	175,5	43,86	23.97	210.5	200.8	221.0	216.3	0.793
Ekim	128,0	43,24	18.12	179.7	171.4	199.3	195.1	0.838
Kasım	84,2	30,55	9.79	136.2	129.4	153.2	149.9	0.849
Aralık	66,63	30,37	4.90	113.8	106.4	131.3	128.5	0.871
YIL	1807,6	579,64	16.22	2058.7	1946.5	2242.2	2193.9	0.822

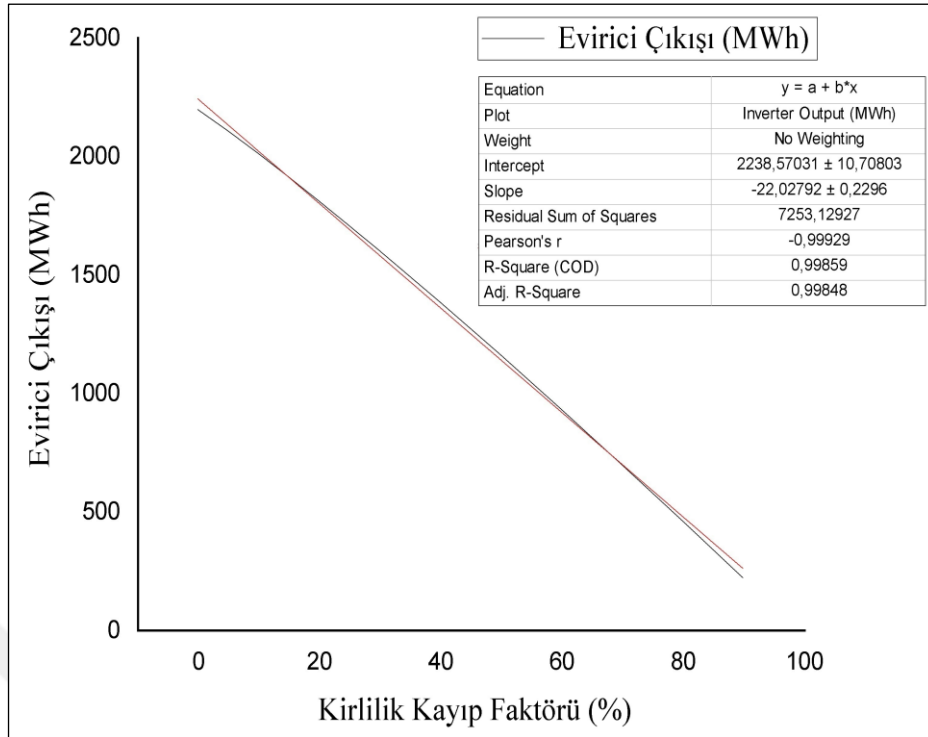
Kayıp çizelgesi yıl boyunca incelendiğinde şebekeye verilen net enerji miktarı ile yatay düzleme gelen ışıınım miktarı arasında oluşan tüm kayıp değerler en uygun hale getirilmiştir.

Örneğin yatay düzleme düşen ışıınım 1808 kWh/m² iken optik kayıp %3,3 oranında olmaktadır. Bu orana ayrıca %1,5 oranında kirlenme faktörü de eklenmektedir. Fotovoltaik panellere düşen ışıınım miktarı bu oranlar hesaplandığında 1947 kWh/m² olmaktadır. Toplam alan 7809 m² olduğu için toplam yüzeye düşen ışıınım miktarı: $1947 \times 7809 = 15.204.123,00$ kWh olmaktadır. Fotovoltaik hücre verimi standart test koşullarında %18,03 alındığı zaman ışıınım miktarı $[15.204.123,00 \times 18,03] / 100 = 2.740.884,418$ kWh = 2.740,884 MWh enerji üretimi sağlanmaktadır. Ayrıca kayıp diyagramı ayrıntılı olarak incelenip evirici ve dizi kayıplar hesaplandığında üretim sahasından şebekeye yıllık 2.193,90 MWh elektrik verileceği belirlenmiştir.

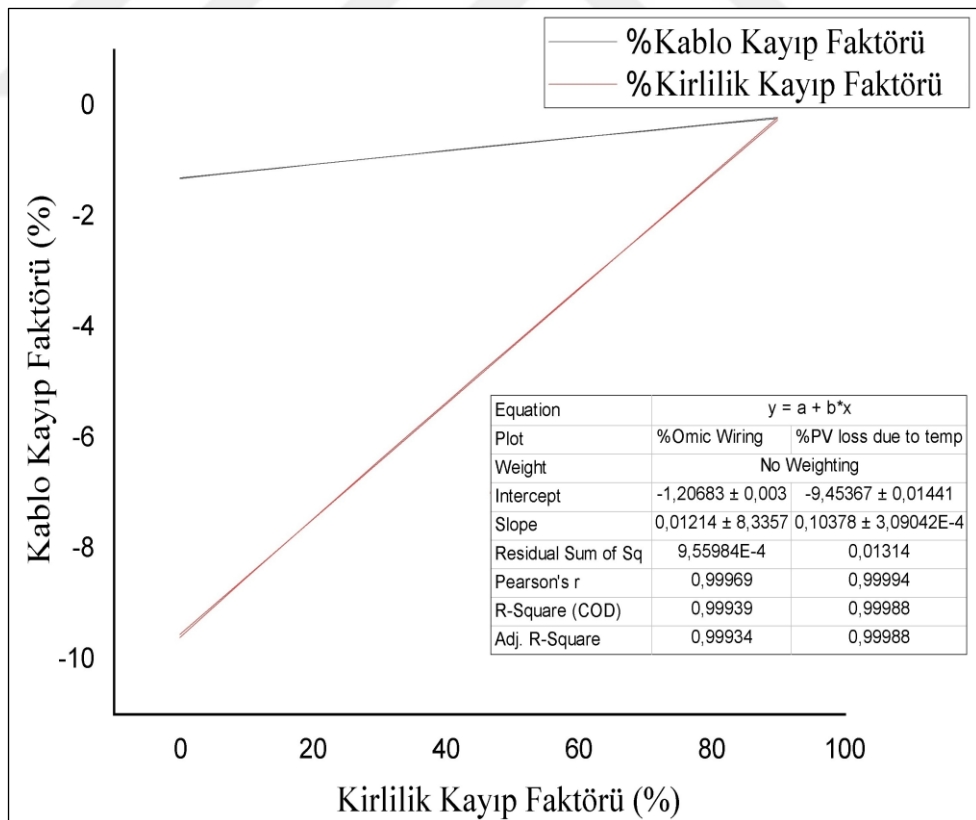


Şekil 3.26. Yıl boyunca oluşan kayıp diyagramı örneği

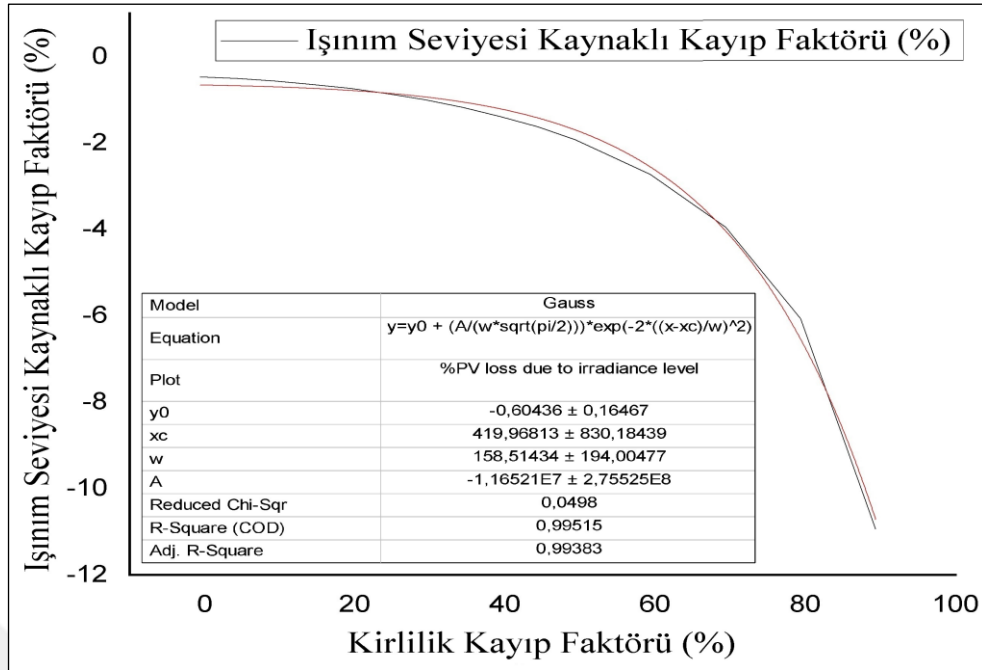
Kirlilik kaynaklı kayıp faktörü değişimine Şekil 3.26’ da yer verilmektedir. Şekil 3.26.’da yer alan kayıp bir yıllık kaybı ifade etmekte olup, Şekil 3.27., Şekil 3.28. ve Şekil 3.29.’da verilen diyagramlarda ise evirici çıkış gücüne göre elektrik üretim kaybını göstermektedir.



Şekil 3.27. Kirlilik faktörüne göre invertör çıkış gücü değişimi



Şekil 3.28. Kirlilik faktörüne göre iletken kaybı ve sıcaklık nedeniyle panel kaybı değişimi



Şekil 3.29. Kirlilik faktörüne göre ışınım seviyesi nedeniyle panel kaybının değişimi

Şekil 3.29'dan da anlaşılacağı üzere, evirici çıkışından ölçülen elektrik üretim değerlerinde, kirliliğe faktörüne bağlı kayıp oranında artış oldukça, enerji üretim gücünde azalma görülmektedir. Kirlilik oranı 0 olduğunda üretimde herhangi bir kayıp olmamaktadır. Bununla birlikte kirlenme oranı %5 düzeyinde gerçekleştiğinde oluşan üretim kaybı 91 kwh düşmekte ve 2103 çıkış gücüne sahip olmaktadır. Kirlilik oranının %10 olması durumunda kirlilik payı olmayan panele kıyasla 186 kwh'lık bir üretim kaybı oluşmaktadır. Kirlilik oranının %15 oluşması durumunda ise temiz panele kıyasla 285 kwh'lık düşüş gerçekleşmektedir. Kirlenme payı %20 olan santralde ise temiz panele göre bu kayıp 387 kwh'tır.

3.1.8. Ekonomik değerlendirme

“Ekonomik Değerlendirme” bölümü PVSyst simülasyon programında ön tasarım panelinde yer almakta sisteme ekonomik değerlendirme olanağı sağlamaktadır. Sol üstte, tasarlanan santral için kullanılan tüm veriler yer almaktadır. Sol altta yer alan sistemde kullanılan teçhizatlar sistemin maliyetinin belirlenmesi için seçilir. Bu bölümü birim fiyatları girilir ve enerji birim fiyatı ile toplam yıllık maliyet sonuçları elde edilir. Şekil 3.30.'da yer almaktadır. Ekonomik veriler oluşan toz yüküne göre değer kaybına uğramaktadır. Bu ekran çeşitli toz yükü değerleri ile

ekonomik verileri analiz edebilmektedir. Kazanç kaybına yol açan bir etken olan toz yükü diğer bir değişle kirlilik oranının ekonomik değerlere etkisi ayrıca bulunmaktadır. Üretim değerlerine göre EDAŞ'a fatura kesme ve mahsuplaşma yöntemiyle elektrik üreticisinin hesabına yansıyacak tutar santralden üretilen güç-yatırımcının kendi tükettiği güç olacağından üretim değerini etkileyen kirlenmeye bağlı kayıplar yaşanacağı Şekil 3.27., Şekil 3.28. ve Şekil 3.29.'dan anlaşılabacaktır.

Project and Simulation variant

Project: murat_altintas
Simulation: New simulation variant_detail_loss%100
PV Array, Pnom = 1296 kWp System: Grid-Connected System
PV module: PS270P-20/U Maxim Inverter: Blueplanet SO.0 TL3-INT M

Investment and charges | Tariffs | Financial results | Carbon balance

Values
Global | by Wp | by m² | Currency: EUR - Euro | Rates

Investment

Description	Quantity	Unit price	Total
PV modules			0.00 EUR
Supports for modules	4800	0.00	0.00 EUR
Inverters			0.00 EUR
Studies and analysis			0.00 EUR
Installation			0.00 EUR
Insurance			0.00 EUR
Land costs			0.00 EUR
Loan bank charges	0	0.00	0.00 EUR
Gross investment			0.00 EUR
Substitution	0	0.00	- 0.00 EUR
Taxes			0.00 EUR
Subsidies	0	0.00	- 0.00 EUR
Net investment (CAPEX)			0.00 EUR

Financing

Own funds: 0.00 EUR
Loan: 0.00 EUR, 20 years, 0.00 %
Annuities: 0.00 EUR/year

Operating costs (yearly)

Project lifetime: 20 years, Inflation: 0.00 %/year

Description	Yearly cost
Maintenance	0.00 EUR
Land rent	0.00 EUR
Insurance	0.00 EUR
Bank charges	0.00 EUR
Administrative, accounting	0.00 EUR
Taxes	0.00 EUR
Subsidies	- 0.00 EUR
Operating costs (OPEX)	0.00 EUR/year

Şekil 3.30. Santral için yapılan ekonomik değerlendirme penceresi

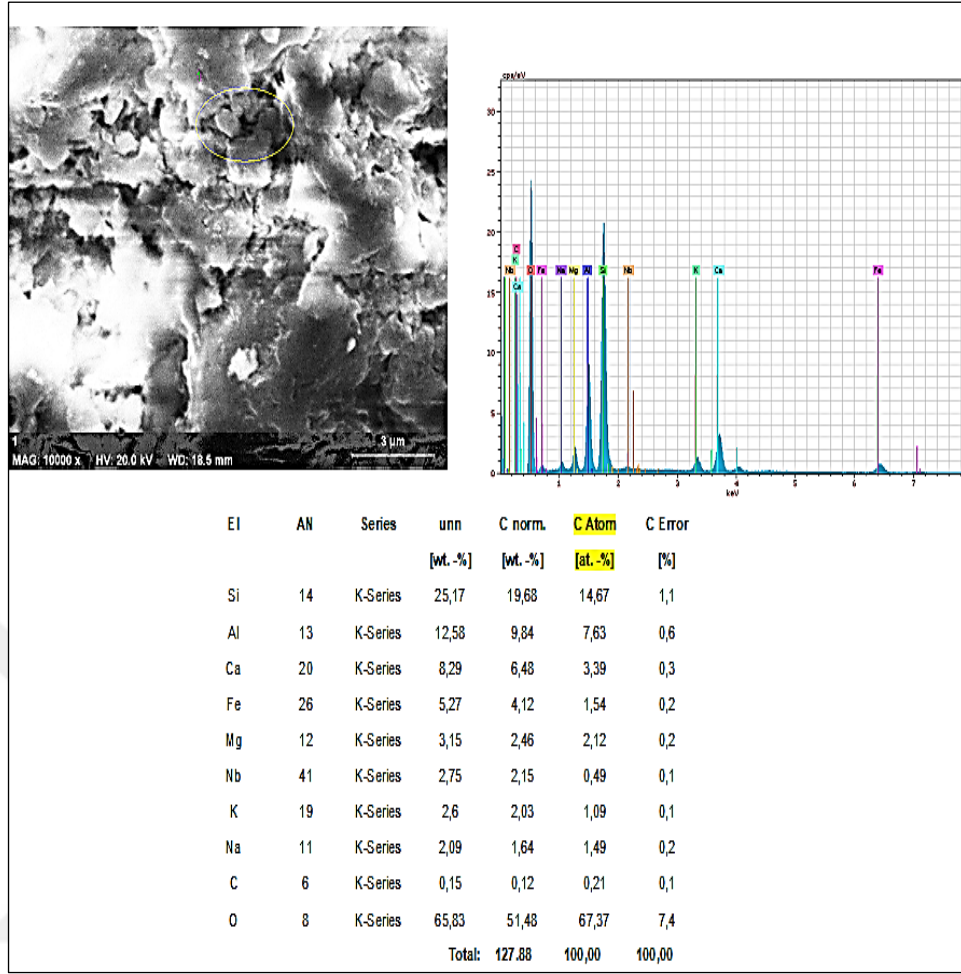
Bu tezde Şanlıurfa ili Karaköprü ilçesi Bölücek Mahallesi'nde araziye uygulaması yapılan ve coğrafi bilgileri girilerek Google Earth'den uydu görüntüsü alınan (EK 1) fotovoltaik sistemin, bölgenin meteorolojik değerleri de dikkate alınarak PVSyst programı yardımıyla teorik üretim miktarı hesaplamaları yapılmıştır.

3.2. Yöntem

Tez çalışması kapsamında öncelikle GES tasarım, GES projelendirme, GES fizibilite ve GES Kurulum uzmanlarının çalışmalarına katkı sağlayan sistemin çalışma prensibi, panel verimliliğini artırma çalışmaları, panel kirliliği ve temizleme yöntemleri yönünden literatür araştırması yapılarak incelenmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

- 1 MW GES santrali kurulu alan (Ek 1 'de resim ve koordinatları verilen) pilot bölge seçilmiştir. PVsyst Güneş Enerjisi Simülasyon Programı ile analizi gerçekleştirilmiştir. Yazılımda toz konsantrasyon değeri değişimi ile santralde üretilen elektrik enerjisi ve kayıplar verisi incelenmiştir. Kayıp miktarının maddi olarak karşılığı incelenmiştir.
- GES santraline Ek 2'de datasheeti verilen bir adet panel santrale yerleştirilmiştir. Şubat ayında santrale konulan paneller ile Mart ayından başlayarak her 15 günde ve 30 günde bir periyodik olarak kirli ve temiz panelden ölçüm verileri alınmıştır. Bu kapsamda gerilim değerleri aylık olarak alınmıştır. Ayrıca her ayın sonunda panelde biriken toz miktarının analizi "Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi"nde (HÜBTAM) Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Panellerde biriken toz miktarı ve içeriği (element dağılımı) aylık olarak verilmiştir.
- Panellerde biriken tozların ölçüm verileri ve özellikle toz tanecik boyutu dikkate alınarak elektrostatik alan oluşturmak amacıyla düşük frekanslı yüksek gerilim kartı tasarlanmıştır.
- Literatürde verilen geleneksel ızgara şekilli PCB ve önerilen PCB üzerinde gerilim çıkışı ve frekansı kontrol edilerek toz temizleme yeteneği araştırılmıştır. Bu kapsamda uygun gerilim ve frekans değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

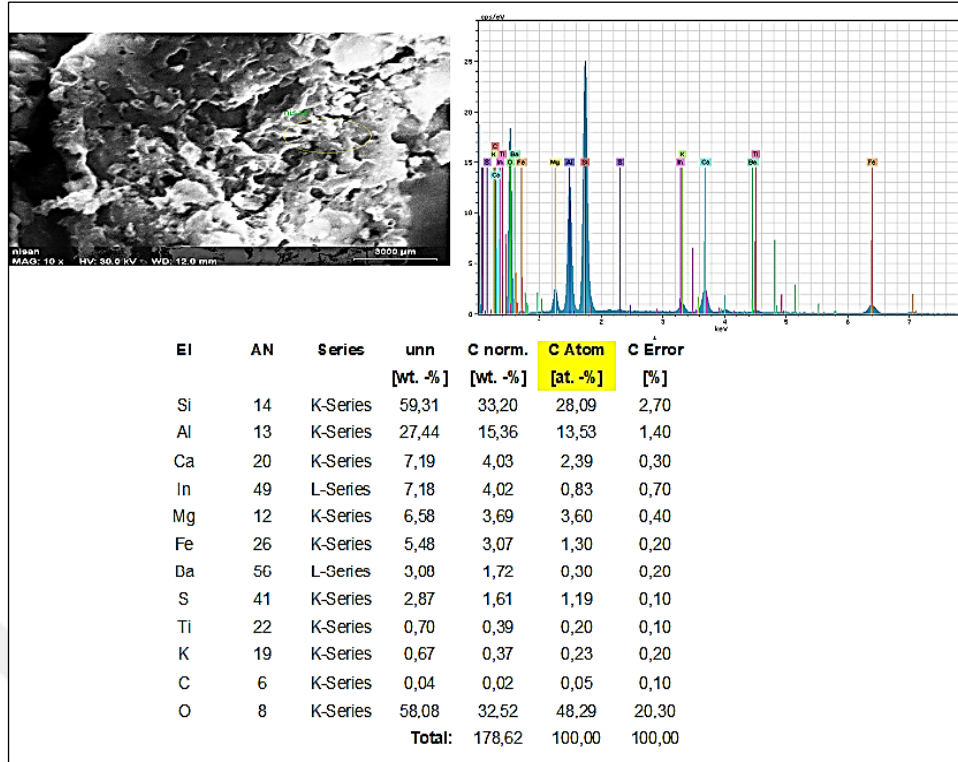
Deney seti toz içeriği veri analizinde yer alan tüm bu hesaplamalara ek olarak bir panel kirlilik testi için analizlerin gerçekleştirildiği sahaya konumlandırılmış deney panellerinden alınan bilgiler ise tarihsel şablonda şu şekilde görülmektedir.



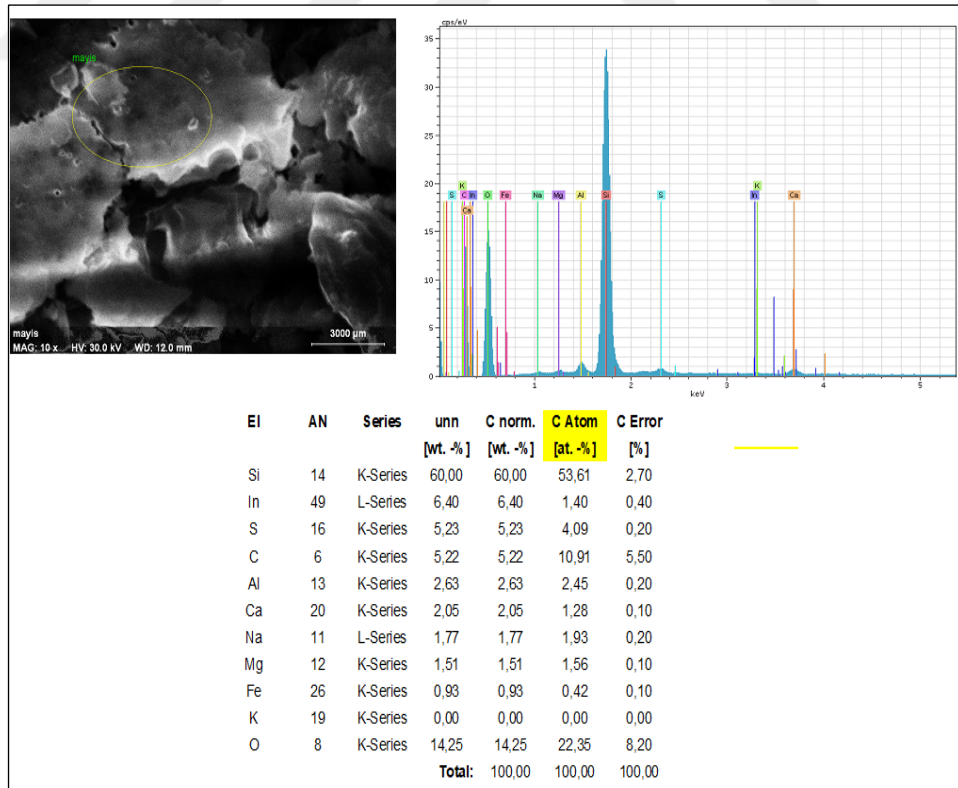
Şekil 3.31. Mart ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı analizi⁴

Şekil 3.31 'de SEM cihazı analizinde sahada konumlandırılmış deney panellerinden elde edilen tozların içeriğine yer verilmekte olup, ilk resimde toz partikülleri içerisinde bulunan elementlerin kümesini vermektedir. Bu alan sarı renkli bir çember ile işaretlenmiştir. İkinci resimde yer alan grafik ise elementlerin toz zerreciklerindeki dağılımı göstermektedir. Son olarak ise SEM cihazından alınan çıktıya ait içerik analizi ve gözlem biçimine yer verilmektedir. Şekil 3.31.'de Mart ayı verilerine ait analiz iken Şekil 3.32.'de Nisan Ayına ait veriler Şekil 3.23.'de Mayıs ayına ait verilere yer verilmektedir. Verileri takiben, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait verilere sırası ile yer verilmektedir.

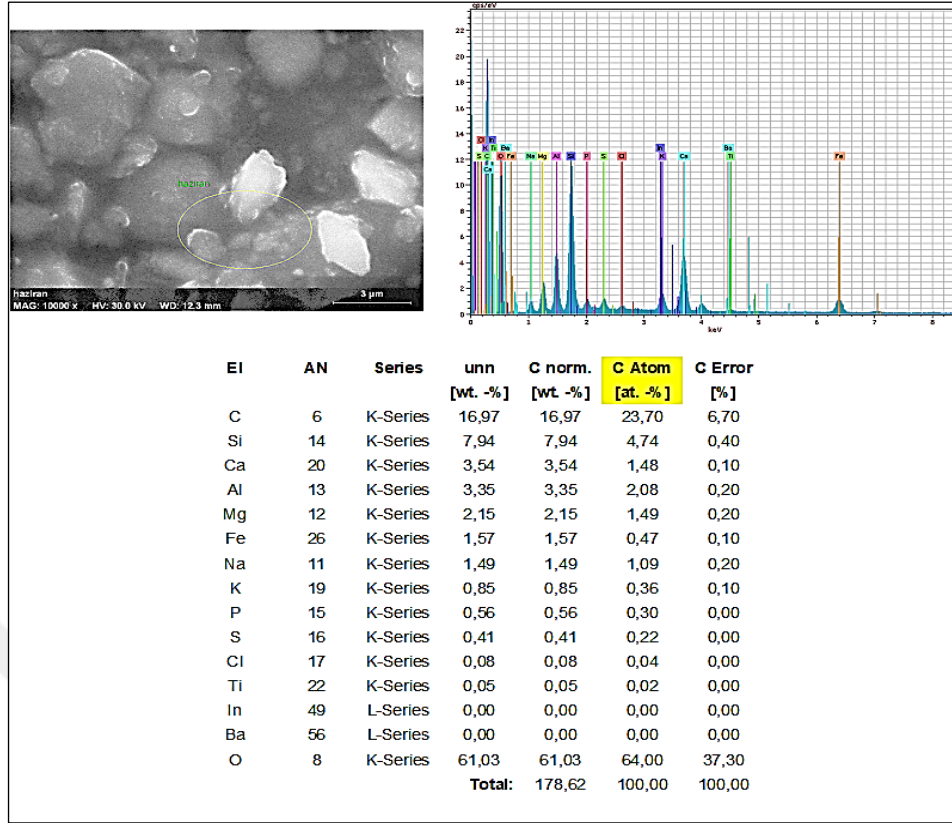
⁴ İlk resimde sarı çember içine alınan alan C Atom bildirimi olarak sarı dolgulu işaretli alanı meydana getirmekte ve toz partikülü içerisinde bulunan elementlerin yüzdelik dilimi belirtmektedir.



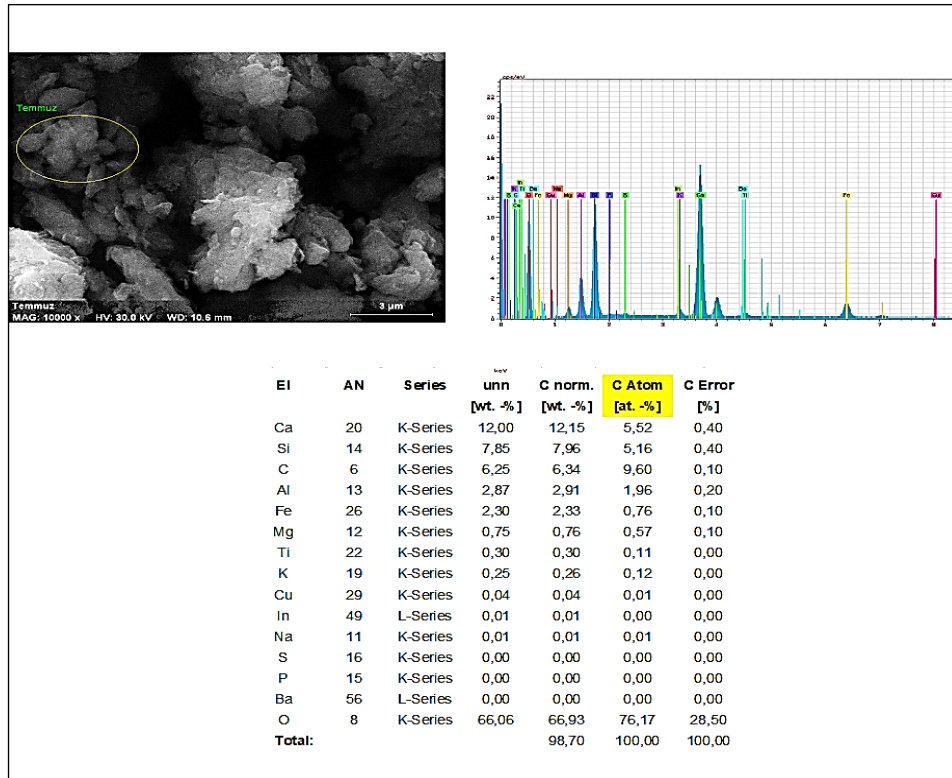
Şekil 3.32. Nisan ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi



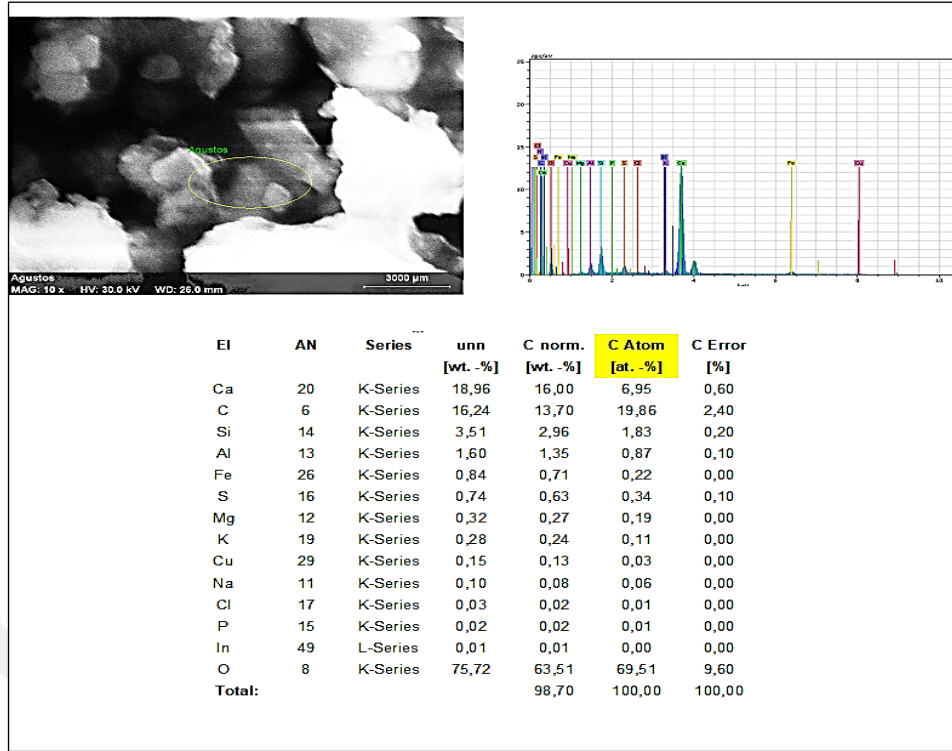
Şekil 3.33. Mayıs ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi



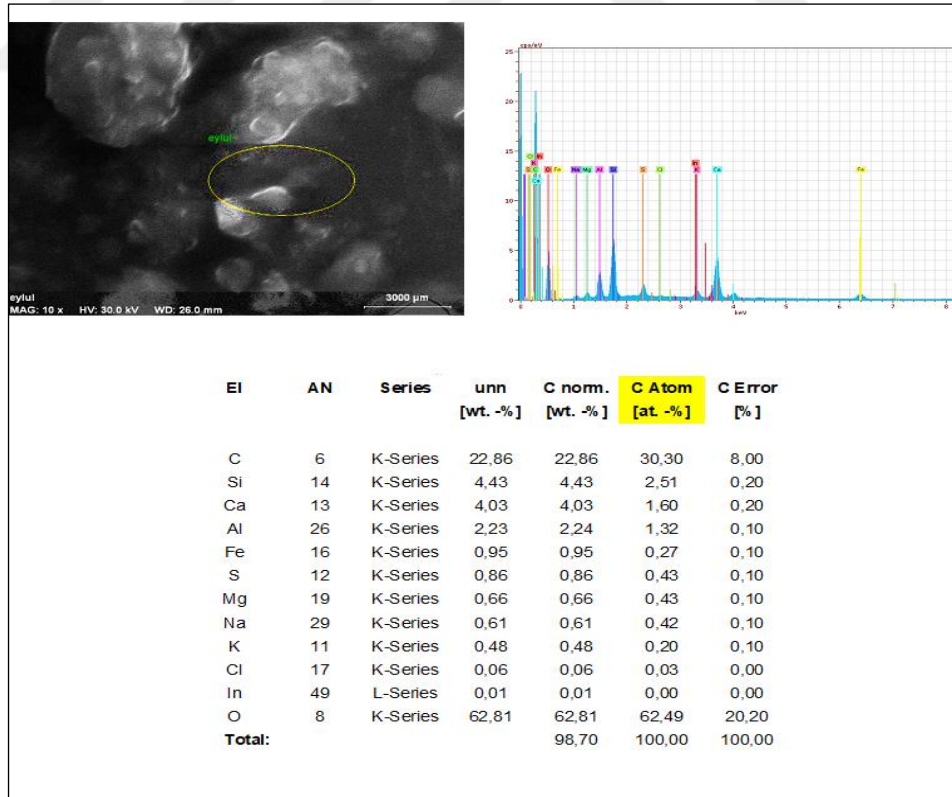
Şekil 3.34. Haziran ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi



Şekil 3.35. Temmuz ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi



Şekil 3.36. Ağustos ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi



Şekil 3.37. Eylül ayına ait deney panelinden toplanan tozların SEM cihazı ile içerik analizi

Şekil 3.31 ile Şekil 3.37 aralığında yer alan görseller sahada konumlandırılmış panel yüzeyinden elde edilen tozların HÜBTAM laboratuvarında bulunan SEM Cihazı ile analizinden elde edilen sonuçları göstermektedir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere kış mevsimi bitişi ile bahar dönemi geçişi arasındaki dönemde toz ile taşınan ağır elementlere ait geçişler de artmaktadır. Bu geçişe bağlı olarak kirletici gazların panel yüzeylerine yapışma ve tutunma eğilimleri de artış göstermektedir.

Bu aşamada panel yüzeyi temizleme yöntemlerinin yeniden gözden geçirilmesi bu aşamada gerekli görülmektedir. Çalışmanın bu bölümünde 3.1.1. başlığında ele alınan FV panel temizleme yöntemlerine Şekil 3.5 'te yer verilmiş olup, aynı tekniklerin tekrarı sağlanmayacaktır. Ancak temizleme yöntemlerinden biri olan hidrofobik malzeme ile yüzey temizliği tekniği ile de sahada bulunan panel temizliği sağlanmış olup, bu temizleme yöntemiyle elde edilen verileri bu noktada paylaşmakta yarar görülmektedir.

Deney seti üzerinde uygulanan basit kirlilik giderme yöntemleri; Şanlıurfa ili Karaköprü ilçesi Bölücek mahallesinde bulunan 1 MW kurulu güce sahip GES santralinde konumlandırmış olduğumuz CWT 270 WP marka (ayrıntısı EK 1'de yer almaktadır) deney paneli santral genel temizliğinin yapıldığı sırada hidrofobik malzeme ile kaplanmış ve takip eden aylarda ölçüm değerleri alınmıştır. Ölçümler kirliliği ve temiz olmak üzere iki aşamadan oluşmakta olup, ölçülen değerler boşta akım ve gerilim değerlerini yansıtmaktadır.

Diğer taraftan kirliliğe katkısı olan mevsim geçişlerinden tezin 3.1. ve takip eden bölümlerinde bahsedilmiş olup, ilaveten Şanlıurfa İli, meteoroloji verilerinden elde edilen bilgilerden de bahsetmek bu aşamada önemli görülmektedir. Şanlıurfa İli, meteorolojik ölçüm verilerine göre; Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında beş aya ait ortalama yağış miktarı m^2 'de, 3,6 mm olarak bildirilmiştir (MGM, 2020). Bu noktada genişletilmiş ölçekte, 1 m^2 'ye yağın yağmur 1mm'lik yüzey düşünüldüğünde 1 Lt yağmur yağdığı rahatlıkla hesaplanabilir bir veri sunmaktadır. Yani 1 m^2 'ye yağın yağmur miktarı 1 kg olup, bu da 1 Lt eşit olarak çevrilmektedir. Şanlıurfa İli'nde bu beş aylık zaman dilimi, SEM analizi cihazından alınan veriler ve PVSyst ile alınan verilerle uyumlu olup, tozlanmanın ve toz

yağışlarının olduğu aylar olarak bilinmekte bu nedenle yapıştırıcı etkisi bulunan kirletici gazlar da hesaba katıldığında kurulu GES temizliği periyodik zamanlaması genellikle bu aylarda yapılmaktadır. Deney ortamı olarak belirlenen araştırma sahamız olan GES sahasında Cwt 270wp panelin alanı 1,64 m² (EK 2 Datasheet) olup alana yağın yağmur miktarı beş aylık zaman zarfında 5,9 mm yani 5,9 Lt'lik yağışa maruz kaldığını bu noktada belirtmekte yarar bulunmaktadır. Su ile temizleme ve hidrofobik malzeme ile panel yüzeyinin kaplanması işlemlerine ilişkin olarak santral sahasındaki deney panelleri ile birer saat arayla üç farklı marka su kaydırıcı madde kullanılarak panelin yağmur ile temizlenmesi sonucu boşta akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Deney paneli yüzeyinde uygulanan kirlilik giderme işlemleri şu şekilde sağlanmıştır:

Mevsim geçişleriyle yağın yağmur miktarı verileri MGM tarafından yayımlanan verilerle eşleştirilmiştir. Eşleştirilen değerler sahadan alınan ve HÜBTAM laboratuvarı SEM cihazı ile kuru temizleme yöntemiyle elde edilen deney setinde analiz edilmiştir. Deney paneli yüzeyin bu işlemleri sekiz aylık süre ile sağlanmış toplam dokuz aylık deney süresinde kalan bir aylık periyodik dilim, önce kuru temizleme yöntemiyle toz toplama işlemi sağlanmış, daha sonra sulu temizleme işlemi uygulanmış ve panel bu temizleme işlemi ardından, hidrofobik malzeme ile sağlanmıştır.

Öncelikle, sulu temizleme yöntemi özelliklerine kısaca değinmek gerekmektedir. Buradaki sulu temizleme den kasıt iyonize saf sudur. FV paneller için, iyonize saf su yüksek derecede kaliteli bir su olarak tanınmakta diğer adıyla determinize su olarak tanıtılmaktadır. Bu cins su içerisinde yer alan katyon ve anyon iyonları çeşitli tekniklerle giderilmiştir. Bu anyon ve katyonların giderilmesi için, buharlaştırma, damıtma gibi işlemlerin daha geliştirilmiş ekipmanların kullanılması ile sağlanmaktadır. Saf su ile FV panel temizlemenin bazı önemli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajları aşağıdaki gibi listelemek mümkün olmaktadır.

- Bu temizleme biçiminde, yüzeylerde kirletici partikül maddeyi tamamen gidermekte ve tortu bırakmamaktadır. Temizleme işlemini takiben FV panel yüzeyinin güneş ışığını daha iyi emmesi sağlanmaktadır,

- Temizlik işlemi sırasında kullanılan saf su anyon ve katyonlardan arındırılmış olduğu için daha az iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle temizlik esnasında çalışanlar açısından iş güvenliği tedbirlerinin alınmasını kolaylaştırmakta ve yüksek voltaja maruz kalma olasılığını azaltmaktadır.
- Fiziksel gölgelendiriciler olan bitki ve santral sahasında istenmeyen otları biyolojik olan sular gibi beslememektedir. Bu da paneller etrafında gölge yapıcı fiziki varlıkların oluşumlarına katkı sunmadığı anlamına gelmektedir.
- Temizlik işlemi sonrasında ayrıca bir kurutma işlemine ihtiyaç duyulmamakta ve santralde ufak kayıpların oluşmasının ve FV panel yüzeyinin zarar görmesini engelleyici bir yöntemi sunmaktadır.
- Panel yüzeyi temizliğini takiben, hidrofobik malzeme kaplanmasıyla panel yüzeyine yağın yağmur ile yüzeye yapışma ihtimali bulunan toz, polen gibi kirletici maddelerin panellere yapışmasını engellemektedir.
- Temizleme yönteminde normalize olan biyolojik suya nazaran, korozyona sebebiyet vermemekte bu da FV panel ömrünün daha uzun olmasını sağlamaktadır.
- Kirletici etkilere bağlı olarak, düzenli bir periyodik çizelgeyle yapılan panel temizliği, temizliği ihmal edilen panellere nazaran %30 oranında verim artışını sağlamaktadır.
- FV panel temizliğinde, dünya çapında en çok tercih edilen temizleme yöntemidir.

Tüm bu avantajlar düşünülerek FV panel için bu deneyim uygulanmış olup, öncelikle periyodik olarak görseller alınmış kirlilik analizine katkı bu aşamada devam etmiştir. Sahadan alınan kirli panel görselleri veri setine eklenmiştir. Burada dikkat çekilmek istenen nokta aylık olarak temizlenen panellerle birlikte görüntüsü alınan ve araştırma sahası olarak kullanılan GES alanı elemanı olan panele ait görseldir. Deney paneline nazaran GES santrali paneli yüksek kirlilik değerine sahiptir ve Şekil 3.38.'de yer alan kirli panel görselleri kümesinde yer verilmiştir. Şekil 3.38.'de ayrıca yağmur damlasıyla gelen kirlilik izlerine de yer verilmektedir.



Şekil 3.38. Kirlı panel görselleri (araştırma sahası kirlı panel görünümleşi)

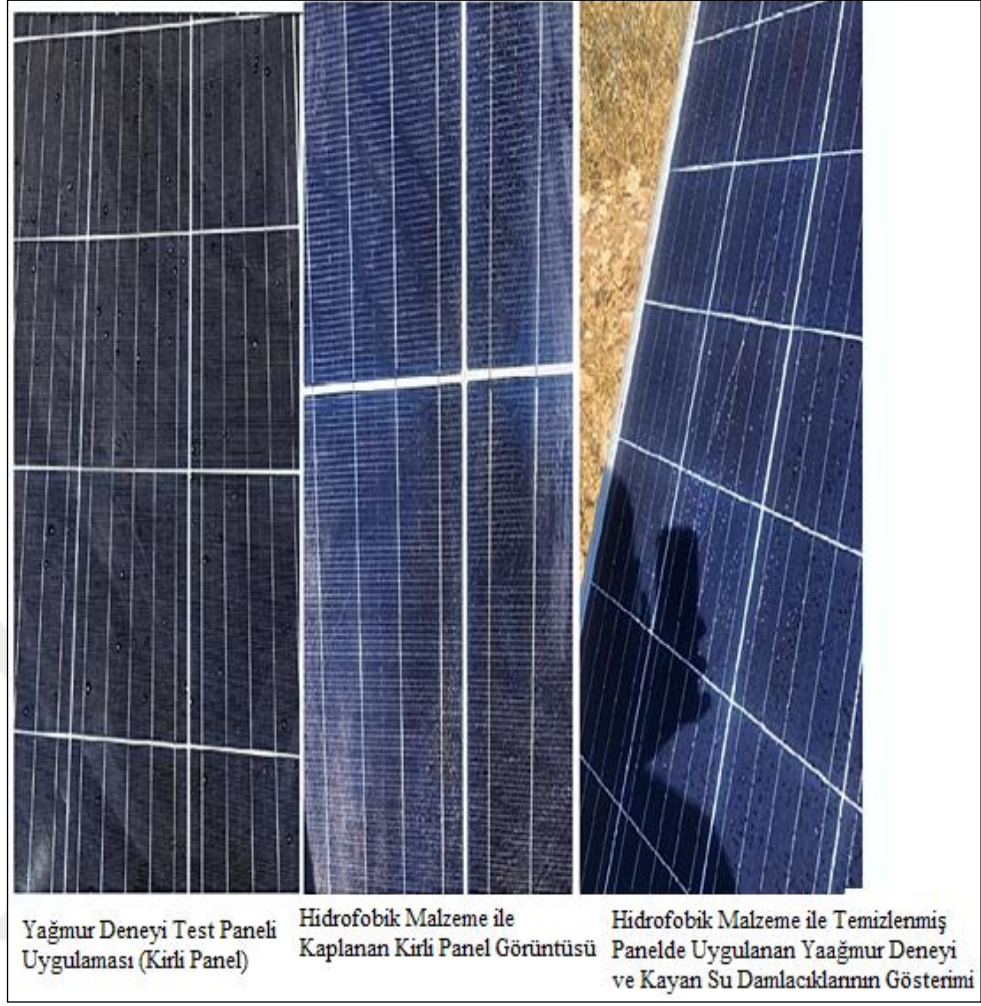
Sahada bulunan deney panellerinin yanı sıra Şekil 3.38 'de soldan ikinci görsel araştırma sahasında yer alan üretim tesisi bağlantılı olan panele aittir. Diğer görseller araştırma sahasında yağmur sonrası ve yağmur damlarının panel üzerinde konuşlanmasını gösteren saha araştırması için santrale konumlandırılmış deney paneline aittir.

Tüm bu FV panel yüzeyi görünen kirlilik giderme yöntemi olarak araştırma sahası kullanılan GES alanında bir santral genel temizliği yapılmıştır. Bu temizliğe ilişkin görseller ve deney panelinin iyonize saf su kullanımı ve hidrofobik malzeme ile deney paneli yüzeyinin suya karşı gösterdiği başarımı görselleştirilmiştir. Şekil 3.39.'da 1 MW GES alanında yapılan temizleme yöntemi olan sulu temizleme (saf su ile temizleme yöntemini göstermekte ikinci görselde yer verilen temizleme traktörüdür. Traktörün arkasında görülen alan temizleme tankıdır.



Şekil 3.39. Araştırma sahası olan 1 MW kurulu güçteki bölücek GES panel temizliği görselleri

Yapılan deneylerde sırası ile birer saat arayla 3 farklı marka su kaydırıcı solüsyon kullanılmıştır. Şekil 3.40 'ta kirli panellerin saf su ile temizlenmesi ve hidrofobik malzeme ile kaplandığı görsellere yer verilmektedir.



Şekil 3.40. Yağmur deneyi kirli panel, hidrofibik malzeme ile kaplanması ve temiz panel hidrofibik malzeme üzerinden kayan su damlacıkları görselleri

GES santralindeki CWT 270wp marka panel üç farklı tip solüsyon kullanılarak hidrofobik bir ortam sağlanmış, malzeme ile kaplanarak, panelin yağmur deneyi ile temizlenmesi sonucu boşa akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçümler kirli ve temiz olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Ölçülen değerler boşa akım ve gerilim değerleridir. Çizelge 3.12.'de kaba temizleme ile kirli ve temiz panel ölçümüne, Çizelge 3.13.'te ise kullanılan hidrofobik solüsyonun marka, kullanım miktarlarına ilişkin bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 3.12. Kaba temizleme yöntemi ile kirli ve temiz panele ilişkin ölçüm tablosu

CWT 60P 270WP SOLAR PANEL ÖLÇÜMLERİ							
BAĞLI YÜK	TARİH	GERİLİM	AKIM	KİRLİ PANEL VOLTAJ (V)	KİRLİ PANEL AKIM (A)	TEMİZ PANEL VOLTAJ (V)	TEMİZ PANEL AKIM (A)
YÜK YOK	14.3.2020	Voc	Isc	34.07	2,77	34.59	4,02
58Ω	14.3.2020	V	I	19.65	0.338	27.59	0.47
YÜK YOK	30.3.2020	Voc	Isc	36.38	6,74	37.34	6,67
58Ω	30.3.2020	V	I	36.10	0.622	36.54	0.63
YÜK YOK	13.4.2020	Voc	Isc	35.34	9,16	35.65	8,81
58Ω	13.4.2020	V	I	35.01	0.603	34.98	0.603
YÜK YOK	27.4.2020	Voc	Isc	35.21	6,49	36.30	6,55
58Ω	27.4.2020	V	I	34.55	0.595	34.90	0.601
YÜK YOK	7.5.2020	Voc	Isc	35.37	9,84	35.41	10,19
58Ω	7.5.2020	V	I	34.99	0.603	35.07	0.604
YÜK YOK	21.5.2020	Voc	Isc	33.91	9,23	34.06	9,27
58Ω	21.5.2020	V	I	33.61	0.579	33.77	0.582
YÜK YOK	9.6.2020	Voc	Isc	34.30	7,48	34.5	7,1
58Ω	9.6.2020	V	I	33.40	0.575	34.20	0.589
YÜK YOK	24.6.2020	Voc	Isc	33.36	8,85	34.10	8,84
58Ω	24.6.2020	V	I	32.20	0.555	33.4	0.576
YÜK YOK	2.7.2020	Voc	Isc	34.0	5,35	34.2	6,37
58Ω	2.7.2020	V	I	33.7	0.581	33.9	0.584
YÜK YOK	21.7.2020	Voc	Isc	33.7	8,83	34.3	9,12
58Ω	21.7.2020	V	I	33.3	0.574	34.2	0.589
YÜK YOK	14.8.2020	Voc	Isc	33.8	8,15	34.0	8,6
58Ω	14.8.2020	V	I	33.4	0.575	33.7	0.581
YÜK YOK	29.8.2020	Voc	Isc	34.4	6,61	35.0	6,95
58Ω	29.8.2020	V	I	34.0	0.603	34.7	0.598
YÜK YOK	9.9.2020	Voc	Isc	33.4	9,02	33.0	9,26
58Ω	9.9.2020	V	I	32.09	0.553	32.8	0.565
YÜK YOK	30.9.2020	Voc	Isc	33.09	7,82	34.0	8,11
58Ω	30.9.2020	V	I	32.04	0.552	33.75	0.582
YÜK YOK	10.10.2020	Voc	Isc	33.86	4,25	34.85	4,7
58Ω	10.10.2020	V	I	33.35	0,58	34.5	0.594
YÜK YOK	28.10.2020	Voc	Isc	34.83	6,56	35.24	6,62
58Ω	28.10.2020	V	I	34.44	1,63	35.09	1,67
YÜK YOK	15.11.2020	Voc	Isc	34,5V	3,05A	35,23V	02,96A
YÜK YOK	8.12.2020	Voc	Isc	36,25V	1,97A	36,38V	1,46A

Yüzey aktif maddeleri olan hidrofobik solüsyona ilişkin markalar ve etkililik değerlerini gösterir Çizelge 3.13.'de yer alan değerlere ilişkin önemli görülen husus kaplanan güneş paneli yağmur yağdıktan sonra panel yüzeyindeki yağmur suyu

tamamen silinirse akım ve gerilim değerinin 35,4 volt ile 8,13 amper olarak ölçülmesidir.

Çizelge 3.13. Su kaydırıcı aktif madde ile FV yüzeyin kaplanması işlemi üç farklı tip solüsyon performansının ölçümü

Yağmur ile temizlenmesi sonucu akım-gerilim göstergeleri							
Kullanılan Marka	Miktar	Birim	Kullanılan Su Miktarı (Lt)	Kirli Panel Voltaj (V)	Kirli Panel Akım (A)	Temiz Panel Voltaj (V)	Temiz Panel Akım (A)
Caldini	250	ML	5,9	34,5	7,09	36,7	7,4
Motip	250	ML	5,9	35,5	7,47	36,4	7,82
Würth	250	ML	5,9	34,8	7,82	36,1	8,01

Bu deneye ilişkin sonuçlarda görülmüştür ki yüzey aktif malzeme olarak bir hidrofobik solüsyonun kullanılması, panel kirliliğini gidermekle kalmayıp, temizliğin etkili olmasına ve uzun bir müddet temiz yüzeyle elektrik üretim veriminin artmasına hizmet etmesidir. Yukarıda daha önce sayılmış olan saf su kullanımına dayalı olan bu yöntemin maliyet analizine göz atmak bu noktada uygun görülmektedir. Çizelge 3.14.'te Bölücek 1 MW GES Sahası'nda gerçekleştirilmiş iyonize saf su ile temizleme yöntemine ilişkin maliyet hesabına yer verilmektedir.

Çizelge 3.14. Temizlik maliyet hesabı

Kullanılan Ürün	Miktar	Birim	Birim Fiyat	Toplam Tutar
Temizleme Traktörü	1	Ad	20.000,00 €	20.000,00 €
Traktör Mazotu	100	Lt	0,80 €	800,00 €
Temizlik Görevlisi	2	Ad	350,00 €	700,00 €
Temizlik Solüsyonu veya Saf su	395	Lt	15,00 €	5.925,00 €

Burada belirtilmesi gereken önemli bir bilgi olarak, bu temizleme işleminin teknik gereklilik, panel verim kaybının önlenmesi, sigorta kapsamı dışına çıkılmaması, santral ömrü ile ilişkili olarak (ki bu süre YEKDEM ve LUY gereği 10 yıldır) FV panellerin yılda iki kez temizliğinin gerekli olmasıdır. Bu bilgilerle maliyet hesabını yeniden kontrol ettiğimizde, Çizelge 3.14.'te yer alan temizleme işlemi maliyeti traktör masrafı hariç tutulduğunda bir kez temizleme toplam maliyeti **7.425,00€** dur. Temizleme işlemi yılda en az bir toplam da iki kez yapılmaktadır. Bu nedenle; yıllık iki kez temizleme maliyeti ise **14.850,00€** dur. Bu maliyetlere traktör

eklenmemiştir. Traktör 1 defaya mahsus alındığından sonradan eklenmiştir. Bu durumda 1MW'lık santrali temizlemek için gerekli maliyet = **34.850,00€** dur. Daha sonraki temizleme işlemlerinde ki maliyet yıllık olarak **14.850,00€** olacaktır. Euro (04.11.2020 tarihli kuru) **9,89TL** olduğuna göre **146.866,50TL** yıllık maliyet olacaktır.

Bu da göstermektedir ki kullanışlı ve en çok tercih edilen FV panel temizleme yöntemine ait temizlik gideri işletme giderlerini etkileyecek düzeyde bir maliyeti doğurmaktadır. Bu noktada yeni temizleme teknikleri araştırmaları sağlamak üzere çeşitli tekniklerin geliştirilmesini anlaşılabilir kılmaktadır.



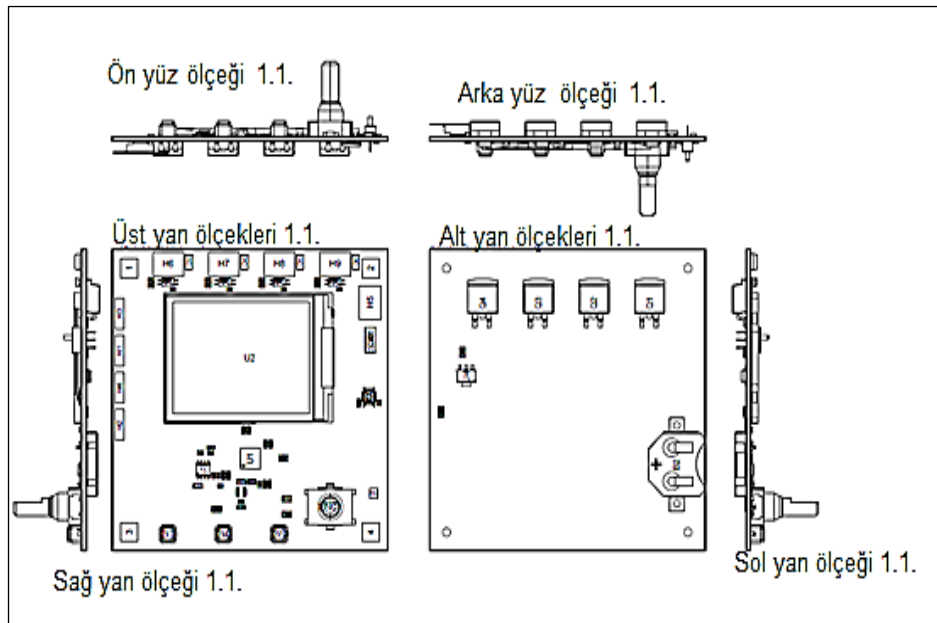
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma bulguları için FV panel temizlik yöntemi geliştirme çalışmaları ve ar-ge deneyleri

Bu bölümde bir elektronik kart tasarlanarak yeni bir FV panel temizleme yönteminin geliştirilmesi için yapılan AR-GE çalışmalarına yer verilecek olup, çalışmanın her aşaması ve yapılan deneylerle birlikte deney başarımı ve elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Elektronik kart tasarımına ilişkin uygulanan deneysel çalışmalar tasarımından imalatına dek aşamalı olarak bölümler halinde sunulacaktır.

4.1.1. Elektronik kart tasarımı

Öncelikle Elektronik kart tasarımına ilişkin teknik çizimler yapılmış ve kart için bağlantılar tanımlanmıştır. Tasarımcıların voltaj jeneratörü adını verdikleri akıllı kart tasarımı Sistem 4 kanaldan yüksek voltaj trafolarını istenilen frekansta (1Hz-5Hz sınırlandırılmış) ve istenilen voltaj aralığında (3kV-11kV) sürecektir. Şekil 4.1.'de kart tasarımı görsellerine yer verilmektedir.



Şekil 4.1. Elektronik kart tasarım görselleri

4 kanallı sistem voltaj jeneratörü için sisteme verilecek güç hesaplamasına ilişkin veriler hesaplanmış olup Çizelge 4.1 'de yer almaktadır.

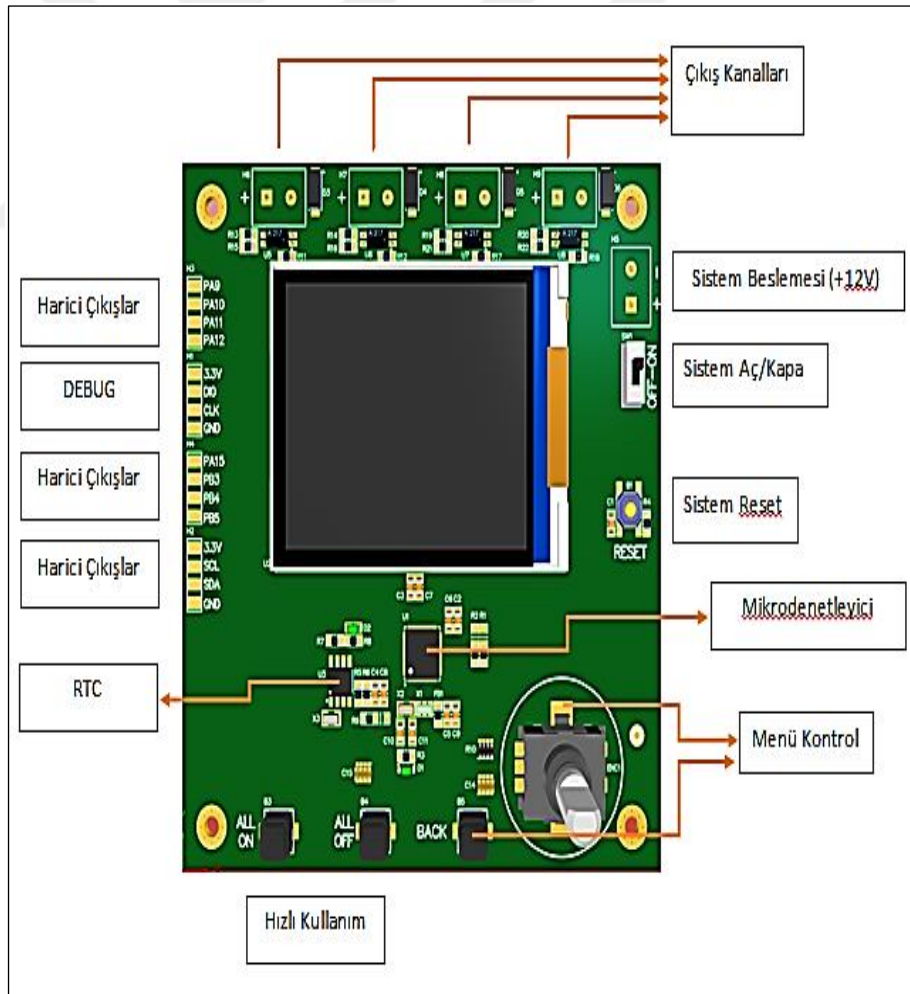
Çizelge 4.1. Dört kanallı voltaj jeneratörü, güç tasarım hesaplaması tablosu

4 Kanallı 3kv-11kv Yüksek Voltaj Jeneratörü								
Aktif Kanal Sayısı	Kablolar Arası Mesafe (Mm)	Akım (A)	Frekans (Hz)	Kanal 1 (%)	Kanal 2 (%)	Kanal 3 (%)	Kanal 4 (%)	Güç (W)
1	19,50	0,4	1	10	0	0	0	9,6
1	19,50	0,5	1	50	0	0	0	12
1	19,50	0,5	1	80	0	0	0	12
1	19,50	0,6	1	99	0	0	0	14,4
1	19,50	0,6	3	10	0	0	0	14,4
1	19,50	0,20	3	50	0	0	0	4,8
1	19,50	0,39	3	80	0	0	0	9,36
1	19,50	0,43	3	99	0	0	0	10,32
2	19,50	0,4	1	10	10	0	0	9,6
2	19,50	0,4	1	50	50	0	0	9,6
2	19,50	0,8	1	80	80	0	0	19,2
2	19,50	0,8	1	99	99	0	0	19,2
2	19,50	0,22	3	10	10	0	0	5,28
2	19,50	0,58	3	50	50	0	0	13,92
2	19,50	1,42	3	80	80	0	0	34,08
2	19,50	1,6	3	99	99	0	0	38,4
3	19,50	0,5	1	10	10	10	0	12
3	19,50	0,7	1	50	50	50	0	16,8
3	19,50	0,9	1	80	80	80	0	21,6
3	19,50	1	1	99	99	99	0	24
3	19,50	0,17	3	10	10	10	0	4,08
3	19,50	0,56	3	50	50	50	0	13,44
3	19,50	0,97	3	80	80	80	0	23,28
3	19,50	1,08	3	99	99	99	0	25,92
4	19,50	0,5	1	10	10	10	10	12
4	19,50	0,9	1	50	50	50	50	21,6
4	19,50	1,1	1	80	80	80	80	26,4
4	19,50	1,3	1	99	99	99	99	31,2
4	19,50	0,74	3	10	10	10	10	17,76
4	19,50	1,18	3	50	50	50	50	28,32
4	19,50	1,5	3	80	80	80	80	36
4	19,50	1,6	3	99	99	99	99	38,4

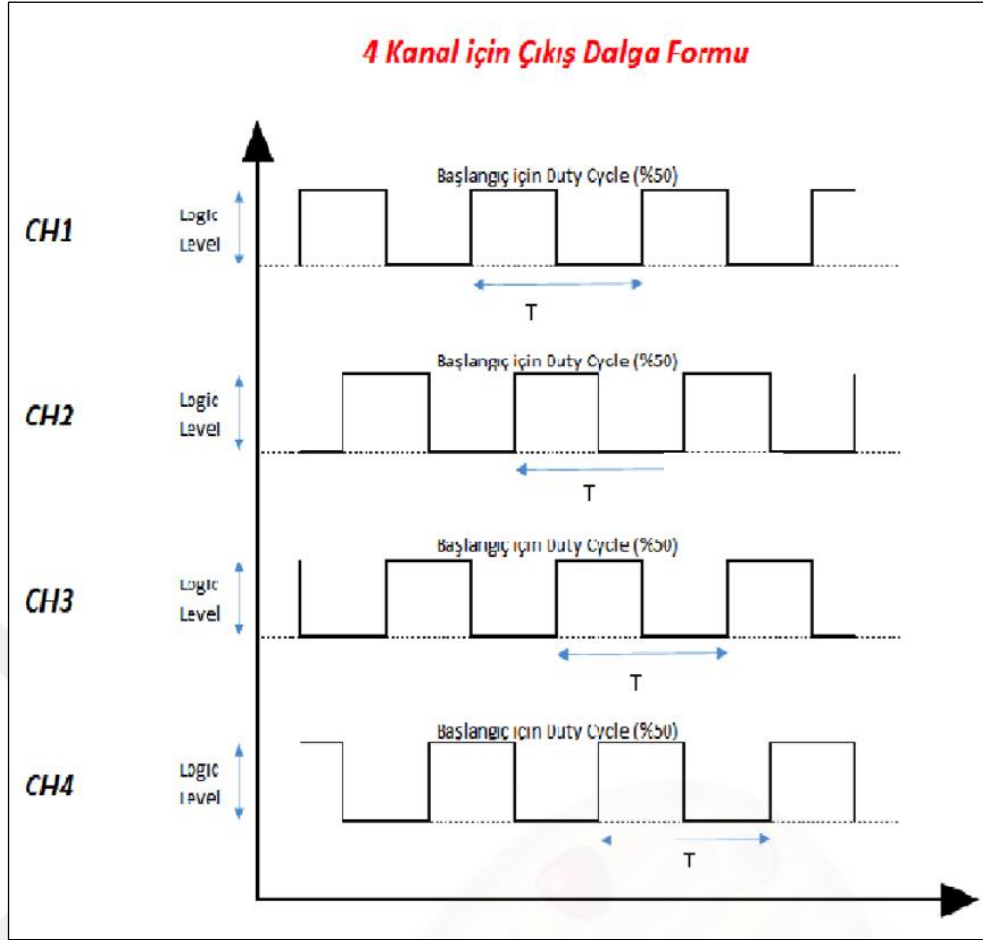
Sistem 4 kanaldan yüksek voltaj trafolarını istenilen frekansta (1Hz-5Hz sınırlandırılmış) ve istenilen voltaj aralığında (3kV-11kV) sürececek şekilde çalışmaktadır. Kullanıcı her bir kanalı bağımsız olarak programlayabildiği gibi ayrıca sistem saatini kurarak istenilen zaman aralığında 4 kanalın aktif olarak çalışmasını da ayarlayabilmektedir. Sistemin enerjisi kesildiğinde devre RTC (Real Time Clock) bilgisini hafızada tutmaktadır ve enerji verildiğinde kaldığı yerden saymaya devam

edebilmektedir. Yine aynı şekilde otomatik çalışma programlandığı zaman bilgiler hafızaya kaydedilir ve yine bir kesinti halinde bilgiler kaybolmaz. Programlanan bilgiler devre üzerinde bulunan renkli TFT LCD ekran üzerinden takip edilebilmektedir. Fontlar ve renkler kullanıcının dikkatini çekecek şekilde ayarlanmıştır. Devrenin çalışma mantığı ve algoritması Ek 3'te verilmiştir.

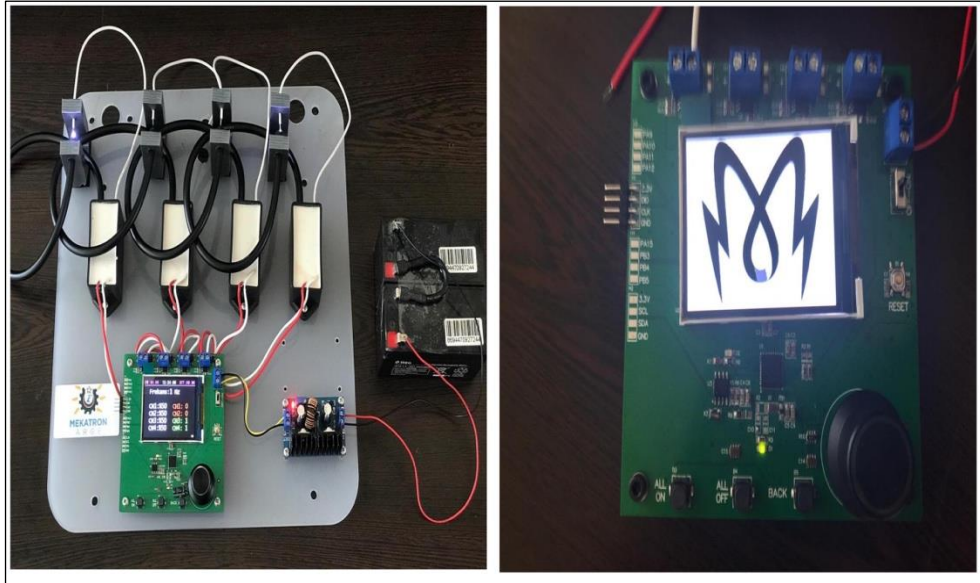
Her bir kanal aşağıda gösterilen sinyalizasyon prensibine göre anahtarlama yapmaktadır. Her bir kanal için görev süresi (Duty Cycle) ayarlanabilmektedir. Görev süresi istenilen değere ayarlandığında ve sisteme dışarıdan müdahale edilmediği sürece bu işlemi sürekli olarak tekrarlamaktadır. Tasarlanan akıllı elektronik karta ilişkin sistem detaylarına Şekil 4.2a.'da yer verilmektedir. Akıllı kartın dalga çıkış formuna Şekil 4.2b.'de verilmiştir.



Şekil 4.2a. Akıllı elektronik kart sistem detayları görseli



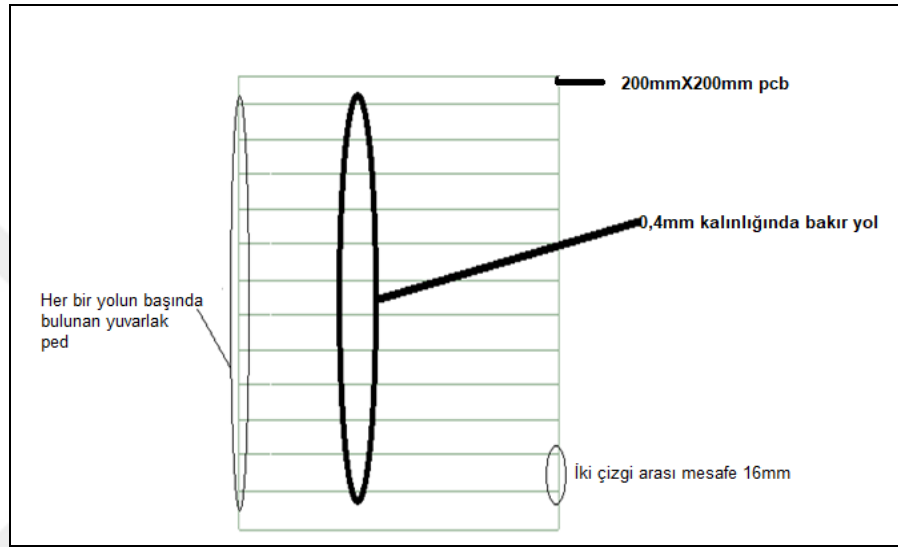
Şekil 4.2b. Akıllı elektronik kart 4 kanal dalga çıkış formu



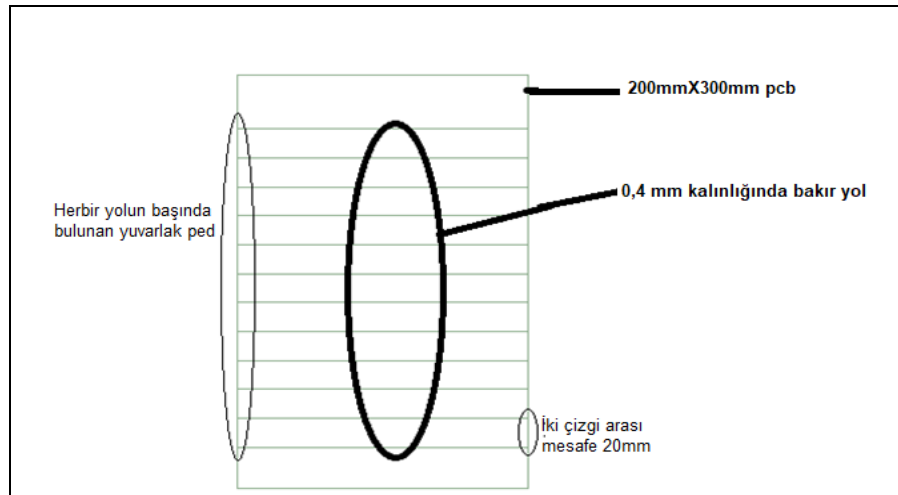
Şekil 4.3. Elektronik kartın 4 kanallı bağlantısı

4.1.2. Deney için PCB kart tasarımı ve baskı devre imalatı

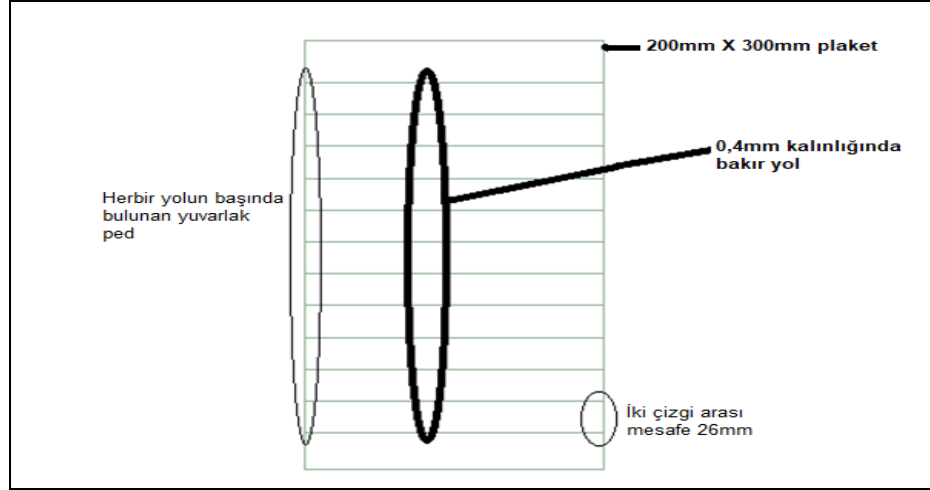
ANSYS Maxwell programında çizimi yapılan 20x30 cm ve 20x20 cm'lik 11 adet model, bilinen devre tasarımlarının (geleneksel model) yanı sıra, (Şekil 4.4a.) çalışma kapsamında daha iyi performans sergileyeceği düşünülen modeller önerilen tasarımlar olarak adlandırılarak (Şekil 4.4b.) gruplara ayrılmıştır. Bu devre tasarımları aşağıda yer alan Şekil 4.4.'de yer verilmektedir.



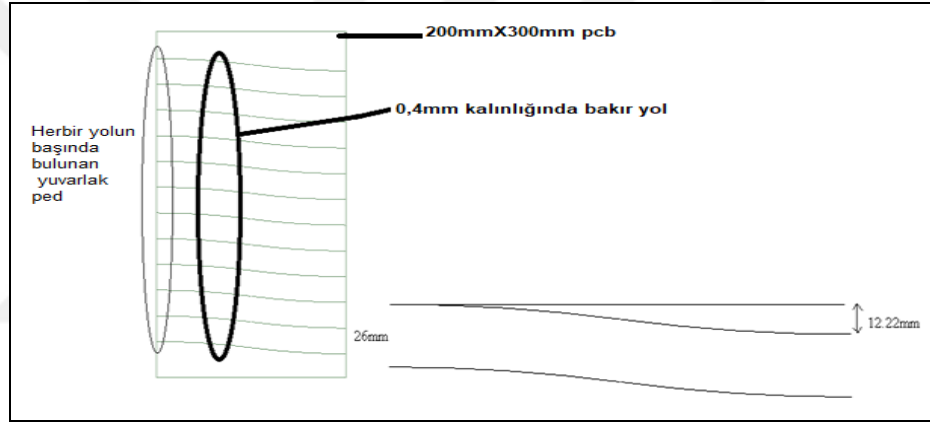
Şekil 4.4(a). Geleneksel modeller



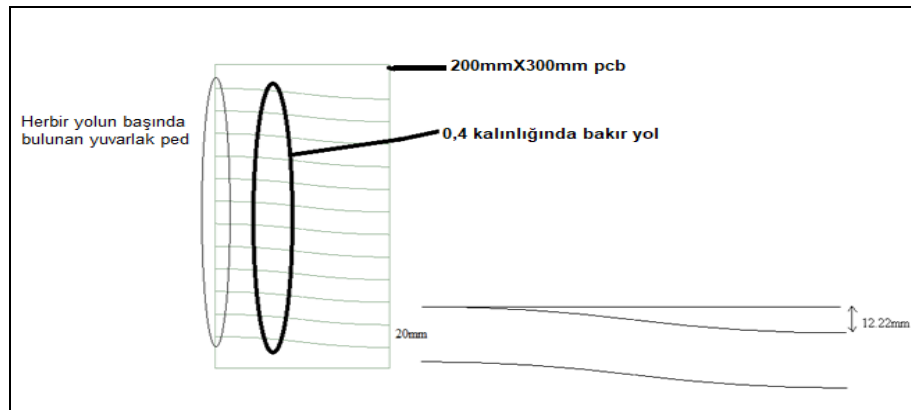
Şekil 4.4.(a1). Geleneksel model (L1 kodlu pcb)



Şekil 4.4(a2). Geleneksel model (M1 kodlu pcb)



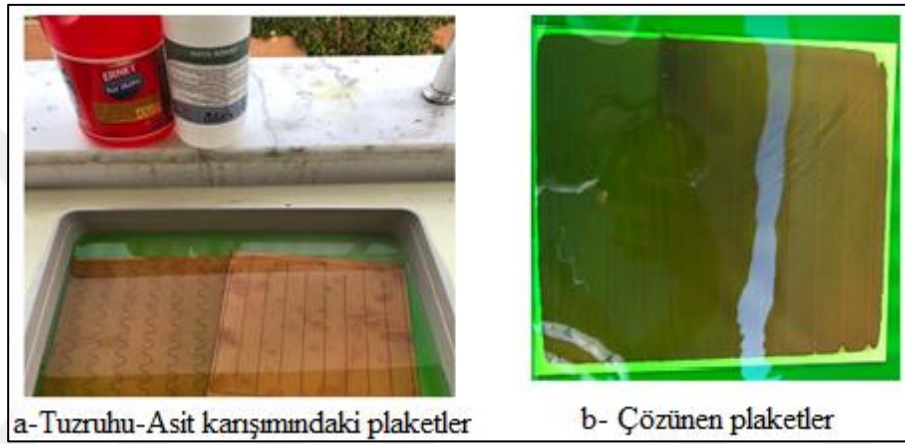
Şekil 4.4(b). Önerilen model (M2 kodlu pcb)



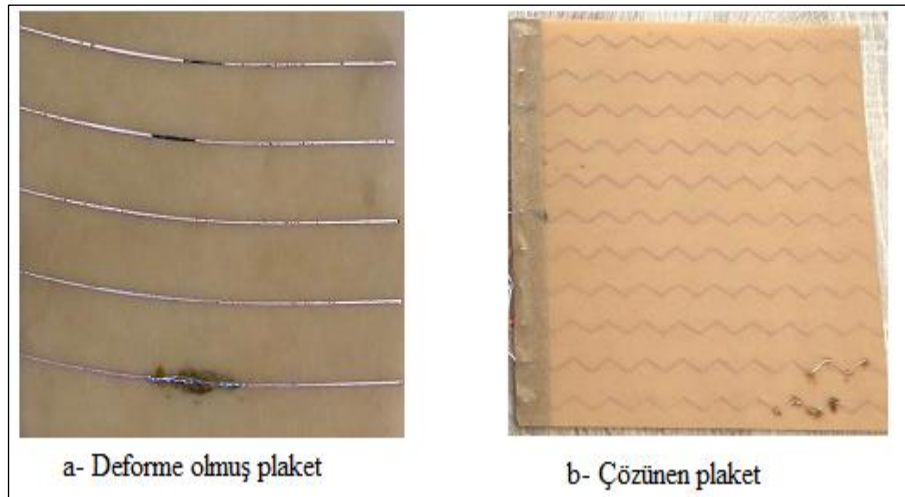
Şekil 4.4(b1). Önerilen model (L2 kodlu pcb)

Şekil 4.4. Tasarlanan baskı devre şekilleri a-Geleneksel modeller, b-Önerilen modeller

Bilgisayar ortamında çizilerek reklam folyoları ile baskı devre yapılması yöntemi izlenmiştir. Bunun için plastik bir kaptaki tuz ruhu oranı 3, asit (perhidrol) oranı 1 olacak şekilde karıştırılmıştır. Tasarlanan bakır plakeler; hazırlanmış reklam folyoları ile kaplanarak asit çözeltisinde çözünmesi sağlanmıştır. Çözünen plakeler asitten çıkarılıp su ile temizlenerek plastik folyolar kaldırılmıştır. 0.4mm kalınlığında bakır yollar başarılı bir şekilde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.5a. ve 4.5b.). Ancak bu işlem yapılırken bazı plakelerde imalat kaynaklı küçük bozulmalar olmuş (Şekil 4. 6a. ve 4. 6b.) ve yeniden baskı devre yapılmıştır.

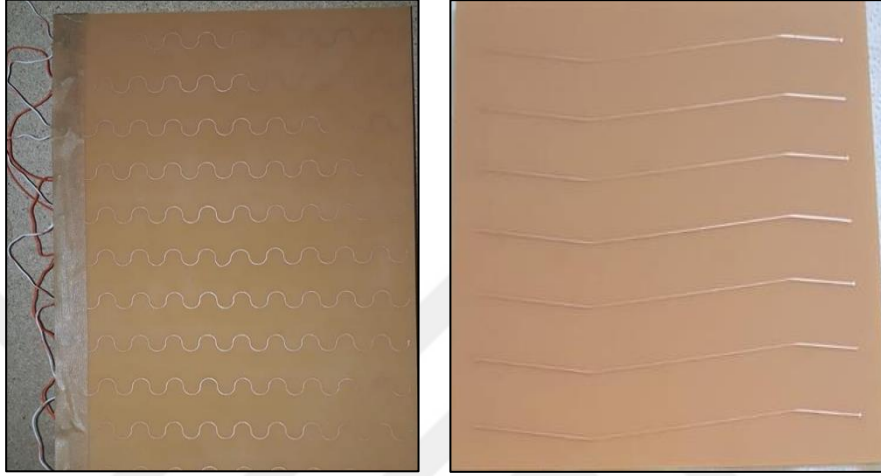


Şekil 4.5. Tasarlanan baskı devre çözünme işlemleri a-Karışım içerisindeki plakeler, b-Çözünmeye başlayan plaket



Şekil 4.6. Plaket deformasyonları a-Deforme olmuş plaket b-Çözünen plaket

Baskı devresi yapılmış plaketler asitli karışımdan çıkarıldıktan sonra gerekli temizleme işlemleri yapılmıştır. 0.9 mm uçlu DC motorlu matkap ile bakır yolları üzerinde delme işlemi yapılmıştır. Elektronik kart için tek kanal ve dört (4) kanal olmak üzere klemens bağlantıları yapılmıştır. Şekil 4.7.'de Plaketler üzerinde yapılan lehimleme işlemlerine yer verilmektedir.



Şekil 4.7(a). Temizlenmiş bakır plaket lehim işlemi

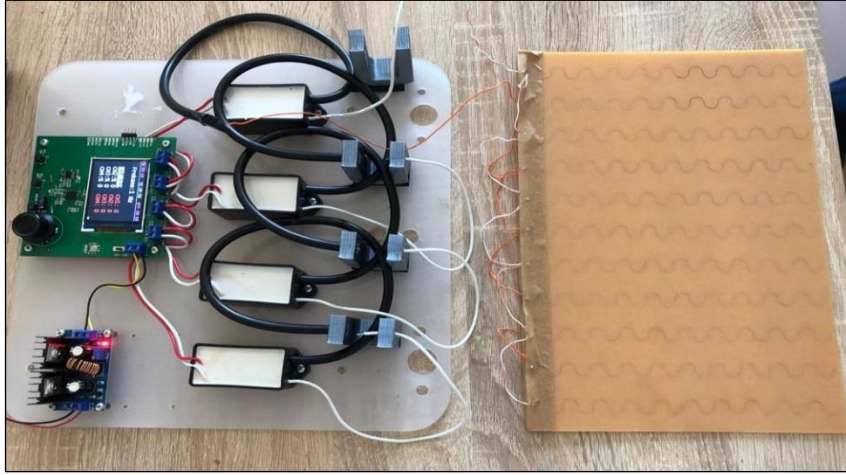
Şekil 4.7(b) Temizlenmiş bakır plaket lehim işlemi

Şekil 4.7. Lehimlenmiş plaket a-Bakır plaket lehimleme b- Temizlenmiş bakır plaket lehim işlemi görselleri

Lehimle işlemi biten 11 adet plaketler deney kartı ile tek tek bağlantı yapılarak işlevsellik kontrol edilmiştir.

4.1.3. Elektronik kart ve plaket bağlantıları

Bakır plaketlerin üretilmesiyle voltaj jeneratörü bakır plakete bağlanarak denenmiştir. Şekil 4.8.'de Akıllı karta bağlanan bir plaket görseline yer verilmektedir.



Şekil 4.8. Elektronik akıllı kart ve bakır plaketi bağlantısı

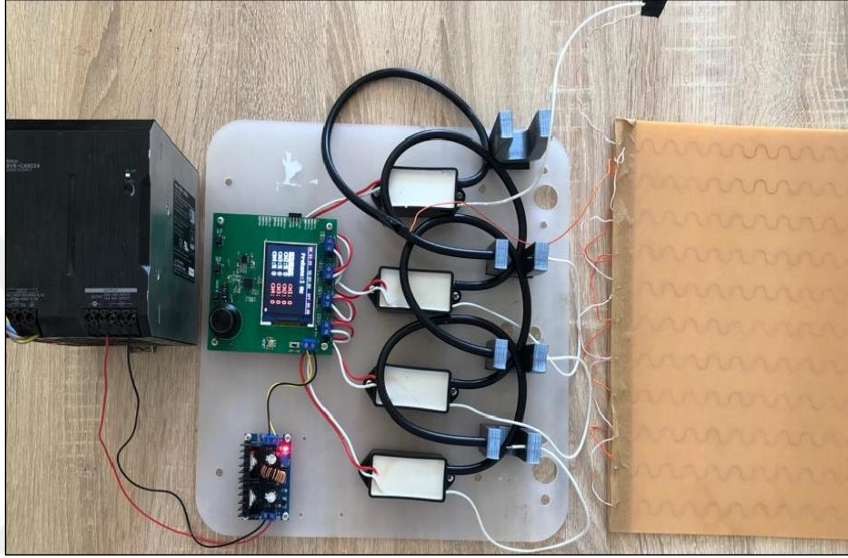
Bakır plakeler, tek kanallı toz deneyine tabi tutulmuş Deney; elektronik kart bağlantıları yapılarak 4 model seçilmiştir. Bu modeller plaketi üzerine M1, M2, M3 ve M4 olarak kodlanmıştır ve bakır plakeler için toz deneyi sağlanmıştır.

4.2. Bakır plakelerin tek kanallı toz deneyi

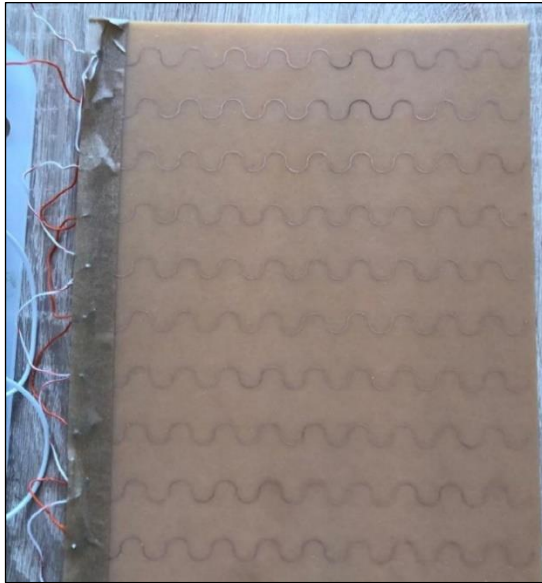
Deney; elektronik kart bağlantıları yapılarak dört adet model seçilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyde 1 Hz frekansta %10 doluluk oranı (1,1kV) ile başlanmış olup adım adım sabit frekansta gerilim artırılarak gerçekleştirilmiştir. Plaketler üzerine hassas terazide tartılmış 0,56gr 100-300µm boyutunda toz homojen olarak dağıtılmıştır. Bu toz bulaştırmanın ardından kademeli olarak %10 ile %99 arasında doluluk oranı uygulanmış ve herhangi bir ark görülmemiştir. Tozların yaklaşık 3 dk içerisinde bakır yollar arasında toplandığı görülmüştür.

Deneyler esnasında frekans değişiminde en verimli frekans 1Hz ve doluluk oranı %99 yani 11kV olmuştur. Daha sonraki deney aşamalarında 1Hz frekans, 11kV gerilim uygulanmıştır. Kodlanmış plakeler üzerine 0.56gr 100-300µm toz homojen olarak dağıtılmış ve 1 Hz frekansta, 11 kV gerilim uygulanmıştır. M1 ve M2 plakelerinde tozların tek bir hat üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak M3 ve M4 kodlu plakelerde tozlar bakır yolu şekline göre toplanma olduğu gözlemlenmiştir. Temizleme işlemi için M3 ve M4 plakeleri bakır yolu şeklinden dolayı temizleme işlemine bir etki göstermemiştir. Ayrıca bakır yolunun paralel

izgiden uzaklaşması başka şekillerde uygulanması elektriksel alan için uygun değildir. Bu kabule M1 ve M2 için anlaşılmaktadır. Bu uygulamalar tek kanal olarak yapılmıştır. Deney sırasında görülmüştür ki M1 ve M2 kodlu plaketer temizleme işleminin için daha etkili olmuştur. Deneyin diğer aşamasında bakır yollar arası mesafe 20mm ve 4 kanallı olarak devam edilmiştir. Şekil 4.9.'da tek kanallı bakır plaketerin elektronik kart bağlantısıyla gerçekleştirilen deney düzeneğine yer verilmektedir.



Şekil 4.9. Tek kanallı bakır plaket deneyi

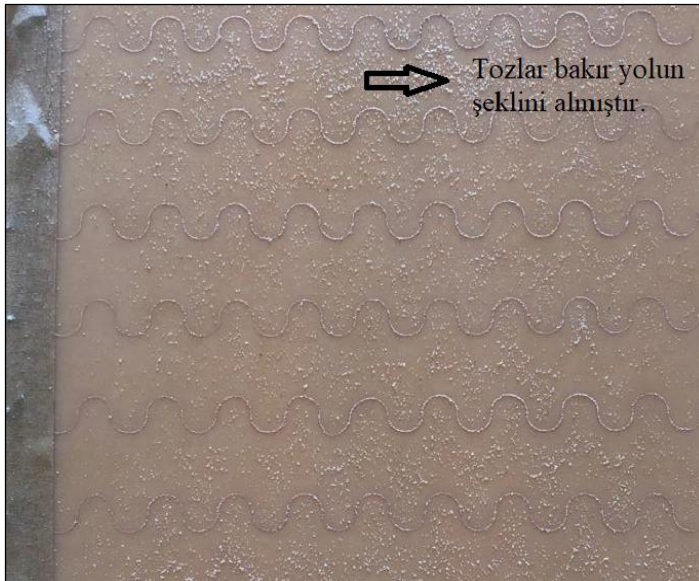


Şekil 4.10. M3 kodlu plaket temiz hali



Şekil 4.11. M3 kodlu plaket 100-300 µm homojen tozlu hali

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’ de Elektronik kart bağlantısı sağlanmış olan bakır plaketler yer almaktadır. Şekil 4.10 ’da yer alan bakır plaket temizlenmiş halde bulunan henüz deney de kullanılan tozlanmaya maruz bırakılmamış haldeki görseli sunmaktadır. Şekil 4.11. de ise tozlanmaya maruz bırakılan bakır plaket görseline yer verilmektedir. Deneyin devamında M3 kodlu plakada tozlanmanın bakır yolun şeklini aldığı görülmüştür Şekil 4.12 ’de bu görsele yer verilmektedir.



Şekil 4.12. M3 kodlu plaket 100-300 µm tozun bakır yol arasında toplanmış hali

Deney sırasında daha sonra diğerk bakır plakalara da aynı toz deneyi uygulanmış olup deney görsellerine Şekil 4.13.'te yer verilmiştir.



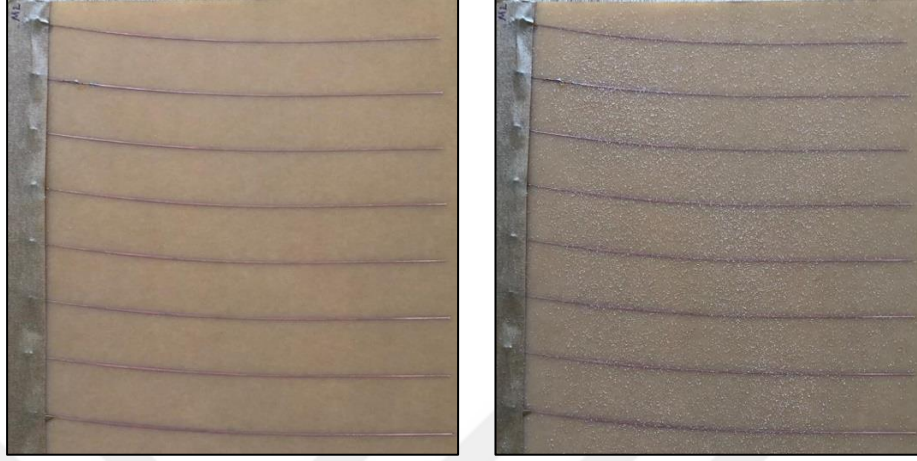
Şekil 4.13. M4 kodlu plaket temiz ve tozlu hali

Şekil 4.13 'te M4 Kodlu bakır plakaya ait temiz ve tozlu görünümüne yer verilmiştir. M4 Kodlu Plakada da tozların bakır yolun şeklini aldığı gözlemlenmiştir. Bu görsele Şekil 4.14 'te yer verilmiştir.



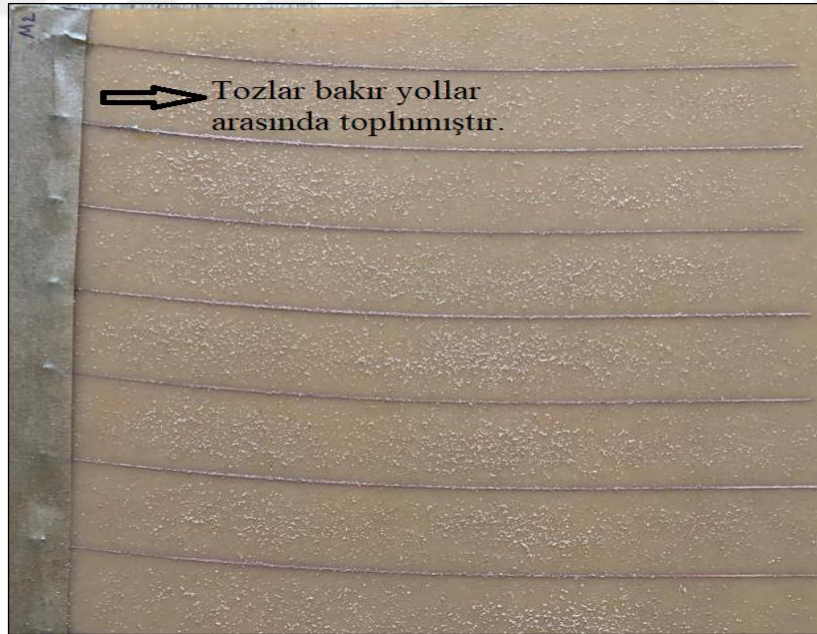
Şekil 4.14. M4 kodlu plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali

Bu işlemi takiben M2 ve M1 kodlu plakalara da aynı işlem uygulanmıştır. Plakaların deney tepkisi görselleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 4.15. M2 kodlu plaket temiz ve tozlu hali

M2 Kodlu bakır plaka deneyinde tozların bakır yollar arasında toplandığı gözlemlenmiş olup, deney gözlemine ait görsele Şekil 4.16.'da yer verilmektedir.



Şekil 4.16. M2 kodlu plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali

Deney aşamasında; literatürde Kawamoto ve ark. (2020), tarafından tasarlanmış olan paralel elektrot yöntemi ile M1 kodlu plaket L1 kodlu olarak

yeniden tasarlanmış olup, bakır yollar arası mesafe 20 mm olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir. L1 kodlu plaka için 0.56 gr toz tanecikleri homojen olarak dağıtılarak 1 Hz frekans, 11 kV gerilim tek kanalda uygulanmıştır. Bakır yolların arası paralel konumlandırıldığında; yüksek gerilim ve düşük frekans uygulanarak bu plaka için makalede önerilen yöntem deneyimlenmiştir. Sonuç olarak ise makalede belirtildiği üzere verimli bir temizleme gözlemlenmiştir. Şekil 4.17., Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.'da bu deney verilerine yer verilmektedir.



Şekil 4.17. L1 kodlu plaket temiz hali



Şekil 4.18. L1 kodlu plaket tozlu hali



Şekil 4.19. L1 kodlu plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali

4.3. Bakır plaketteerin 4 kanallı toz deneyine ilişkin bulgular

Deneyler sırasında görölmüştür ki en verimli tasarım 20 mm aralıklı paralel bakır yollara sahip L1 plaketi ile 26 mm aralıklı bakır yollara sahip tarafımızdan tasarlanmış olan M2 plaketine ait tasarımıdır. L1 plaketi bakır yollar 20mm olarak deneyde yeniden kullanılmış olup M2 plaketi ise 20 mm aralıklı bakır yollar çizilerek L2 plaketi olarak yeniden tasarlandı. İki plakete 0,56gr homojen dağılımda, 4 kanallı olarak 1Hz frekans ve 11kV gerilim altında 3 dk boyunca uygulandı. L2 plaketi 4 kanallı devre kullanılarak 11 kV gerilim 1 Hz frekansta 1,33 A çekerek toz temizleme işlemini gerçekleştirdi. 0,56 gr tozun 0,50 gramını kavisli bakır yollar arasından plakete dışarısına püskürterek temizlik işlemini bitirmiştir. Plakete üzerindeki 100-300 µm toz ince fırça yardımı ile alınarak hassas terazide tartıldığında ise plakete bakır yollar arasında kalan temizlenmemiş toz miktarı görölmüş ve bu tozlar hassas fırça ile toplanıp tartıldığında ise toz miktarının 0,06 gr olduğu (hassas terazi ölçümü 0,56gr) tespit edilmiştir. Verim anlamında ise; aşağıdaki gibi bir denklemin hesabı yapıldığında;

$$Verim = \frac{Temizlenen\ toz\ miktarı\ (gr) \times 100}{Toplam\ toz\ miktarı\ (gr)} = \frac{0,50 \times 100}{0,56} = \%89,28 \quad (4.1)$$

oranı bulunmaktadır.

L1 Plaketi geleneksel yöntem ile tasarlanmış olup 0,56 gr toz deneyinde L2 plaketi gibi işlem uygulandı. Plakete üzerindeki tozlar püskürtülerek bakır yollar üzerindeki toz fırça yardımı ile alınarak hassas terazide 0,10 gr ölçölmüştür. L1 plaketi temizleme işlemi sırasında 2,44 A çekerek tozların 0,46 gramını temizlemiş olduğu gözlemlenmiştir. Yukarıdaki verim hesabı bu kez L1 plaketi için yapıldığında, verim olarak; (Panelde Biriken Toz miktarı 0,56gr olarak alındığında);

$$Verim = \frac{Temizlenen\ toz\ miktarı\ (gr) \times 100}{Toplam\ toz\ miktarı\ (gr)} = \frac{0,46 \times 100}{0,56} = \%82,14 \quad (4.2)$$

oranı tespit edilmiştir.

Deney sonucunda yeni tasarlanmış ve önerilen modeller olarak ele alınan bakır levha yollarında kavisli yolların tasarımıyla elektriksel alanda tam paralel bakır yollara göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, temizleme işlemi ve elektriksel tüketim açısından L2 tasarımı L1 tasarımından daha verimli olmuştur.

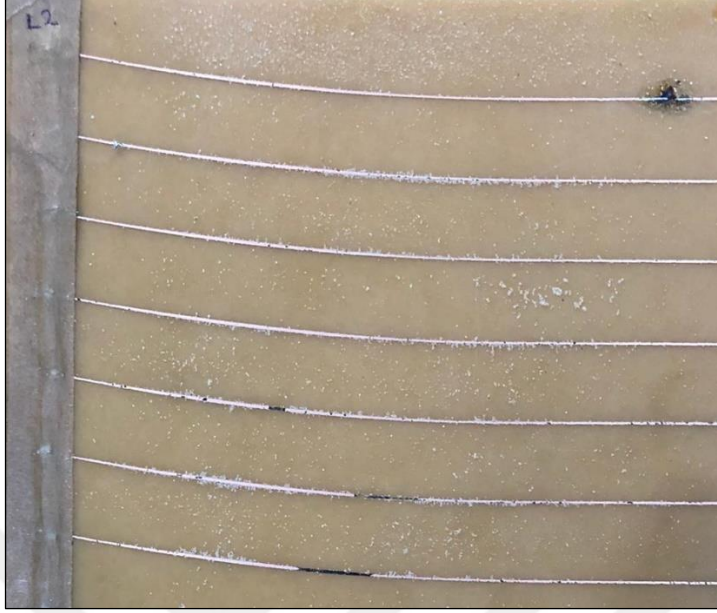


Şekil 4.20. L2 kodlu 4 kanal 1Hz 11kV temiz plakette



Şekil 4.21. L2 kodlu 4 kanal 1Hz 11kV tozlu plakette

Şekil 4.22 'de L2 Kodlu bakır plakete ilişkin toz toplanmasına yer verilmektedir.



Şekil 4.22. L2 1Hz 11kV 4 kanal plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali

Son olarak L1 kodlu plaka için gözlemlenen toz yolları Şekil 4.23 ve 4.24 'te yer almaktadır.



Şekil 4.23. L1 1Hz 11kV 4 kanal temiz plaket



Şekil 4.24. L1 1Hz 11kV 4 kanal plaket tozların bakır yollar arasında toplanmış hali

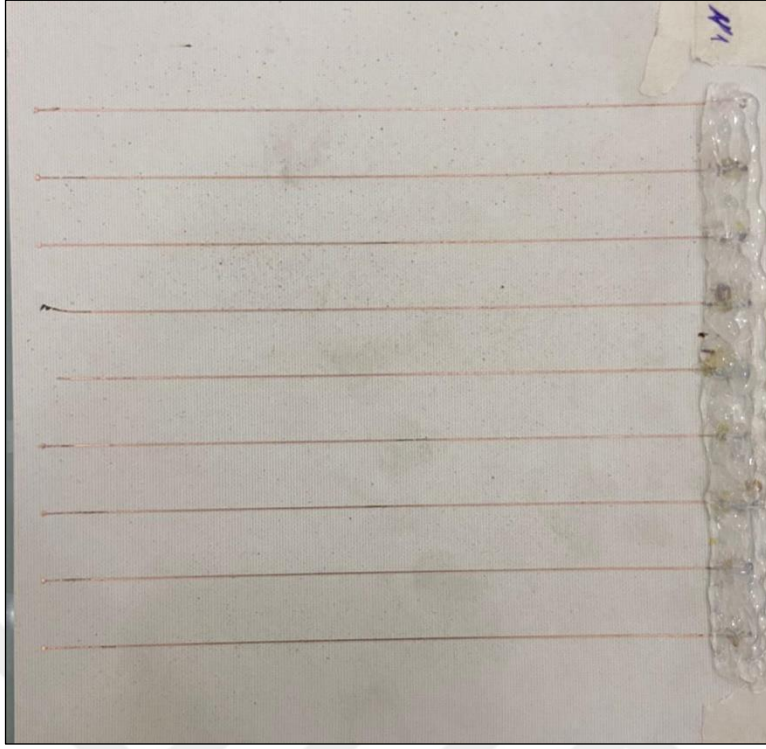
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Deneysel verilerin incelenmesi ve tartışma

Yapılan bu çalışmada kullanılan 270Wp güçteki panelin ölçüleri 164cm x 99cm=16,236cm² kasım ayında panel üzerinde biriken toz 16,24 gramdır. Dolayısıyla cm² başına 0,0010gr toz düştüğü görülmüştür. Deney kapsamında önerilen modelin alanı 20cm x 20cm = 400cm² olduğuna göre 270W'lık panelde temizleme verimliliğini ölçme amacıyla küçültülmüş ebatlar kullanılmış olup, (20cm x 20cm) cm² başına düşecek toz miktarı eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$X_{gr} = \frac{A_k * X_{270}}{B_k} \quad (5.1)$$

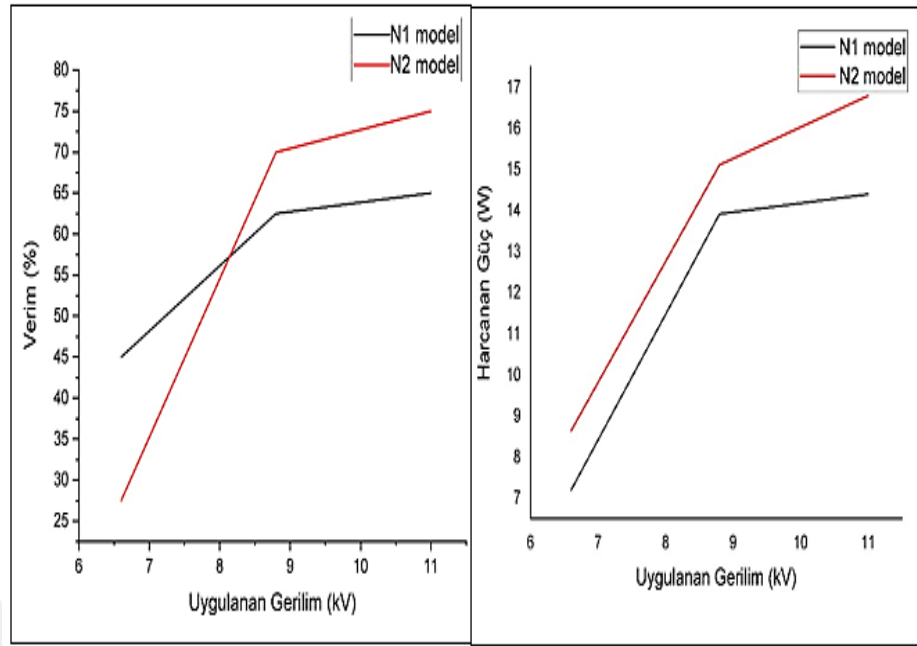
Burada A_k küçültülmüş yüzey alanı (cm²), B_k 270W'lık panel yüzey alanı (cm²), X_{270} 270W'lık panelin üzerine kasım ayında düşen tozun gr kütlesidir. Bu eşitlik ile 0,4gr hesaplanmıştır. Geleneksel (N1 model 17mm ızgaralı PCB) ve önerilen (N2 model 17mm ızgaralı PCB) model üzerine 0,4gr 300µm kalınlığında toz uygulanmıştır. 20x20cm plaket için toz temizleme verimliliği ve harcanan güç verileri; N1 model (Şekil 5.1.) ve N2 (Şekil 5.2.) model karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sırasıyla 1 Hz, 2 Hz ve 3 Hz için Şekil 5.3., Şekil 5.4. ve Şekil 5.5. ile verilmiştir:



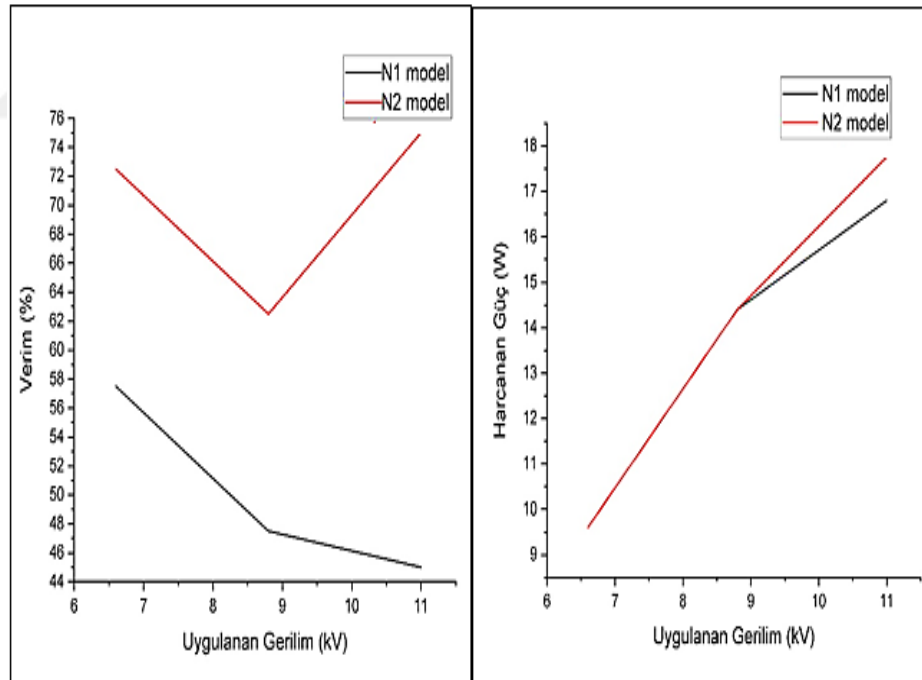
Şekil 5.1. N1 Geleneksel Yöntem 17mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz gözlemi



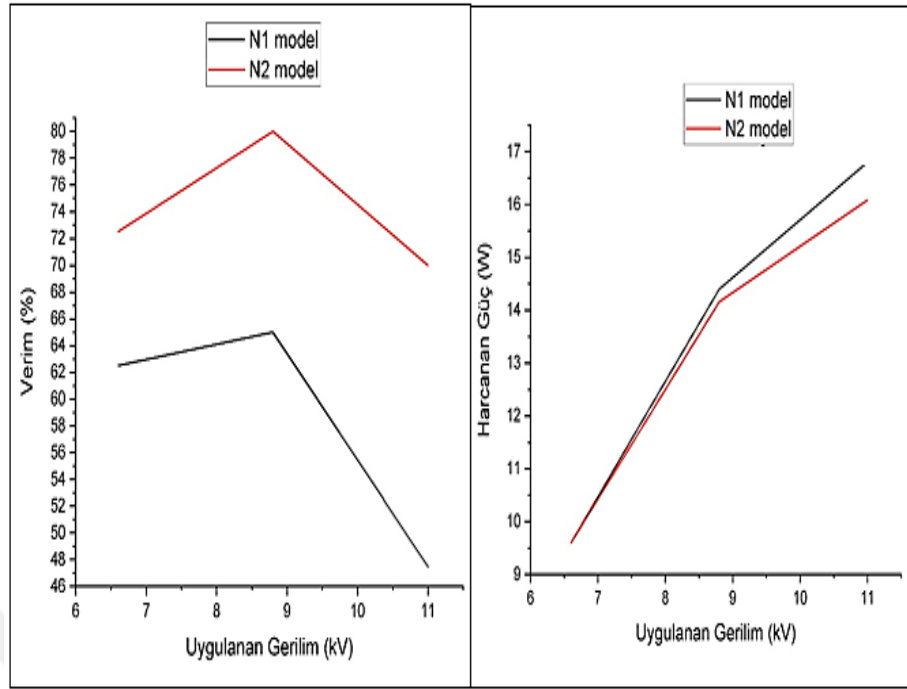
Şekil 5.2. N2 Önerilen Yöntem 17mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz



Şekil 5.3. 1Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi



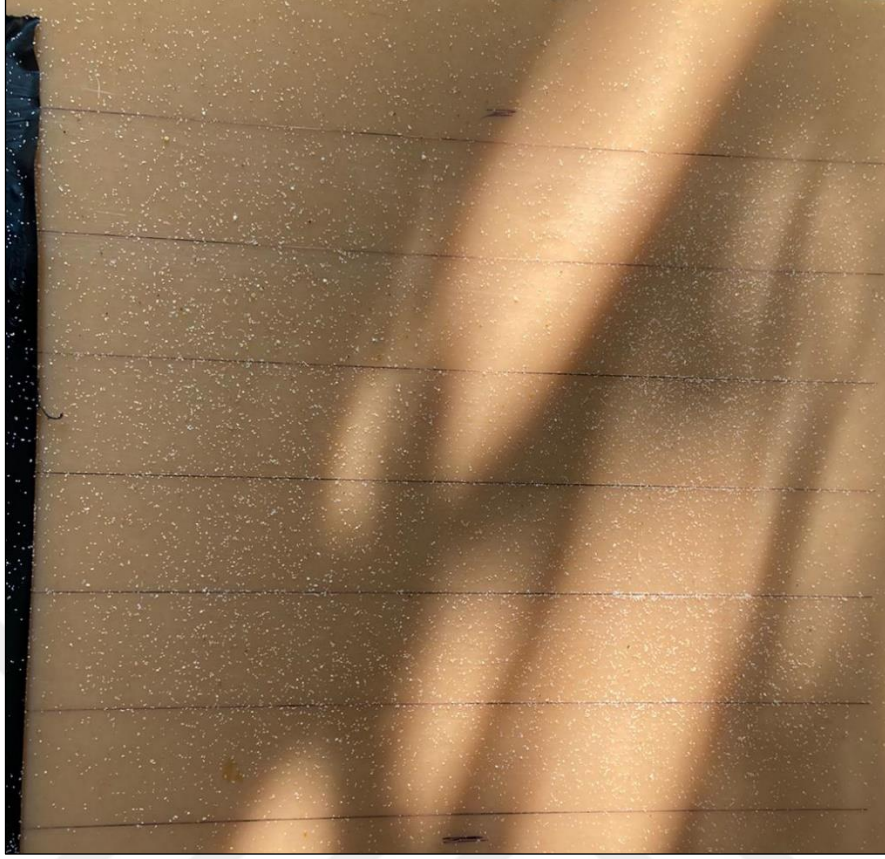
Şekil 5.4. 2Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi



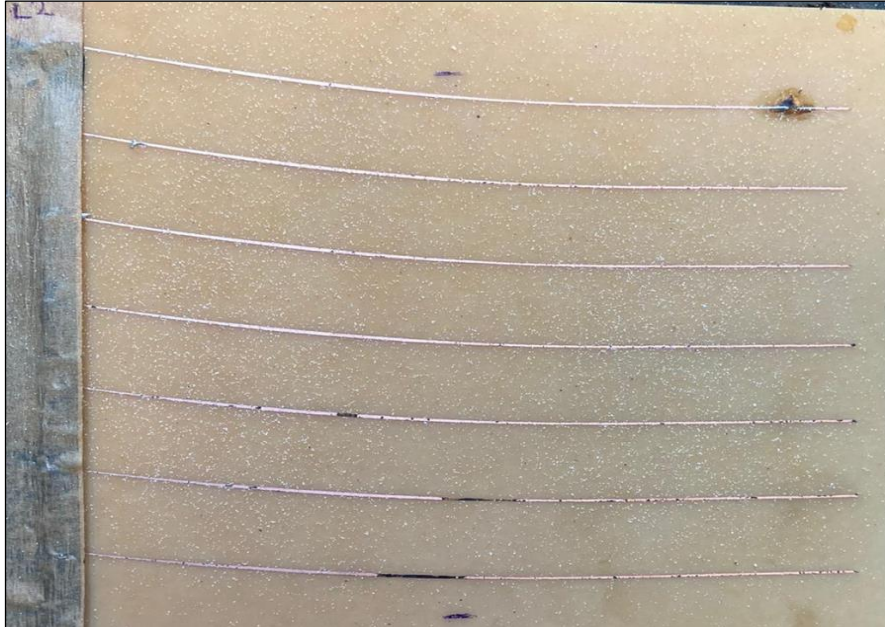
Şekil 5.5. 3Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi

Deneyde gerilim ve frekans artırılarak toz deneyi tekrarlandığında, frekans artışıyla gerilime bağlı olarak verim düşüklüğü gözlemlenmiştir. Frekansın yükseltilmesinin verime etki etmediği görülmüştür. Gerilim artmasıyla tüketilen akım artmakta olup temizleme veriminin yükseldiği de tespit edilen bir sonucu beraberinde getirmektedir. Yüksek gerilime bağlı olarak akım artmış ve 1Hz aralığının daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

Önerilen tasarım ve geleneksel tasarım; 20cmx20cm ve 20mm PCB olarak 100-300µm 0,40gr toz ile gerilim ve frekans uygulandı. 6,6kV-11kV gerilimde 1-3Hz frekansta işlem yapıldı. Şekil 5.6. ile Şekil 5.7. önerilen ve geleneksel tasarımlara ilişkin bakır plaka temizliği verimliliğine ilişkin plakaların yüzey görsellerine yer verilmektedir:

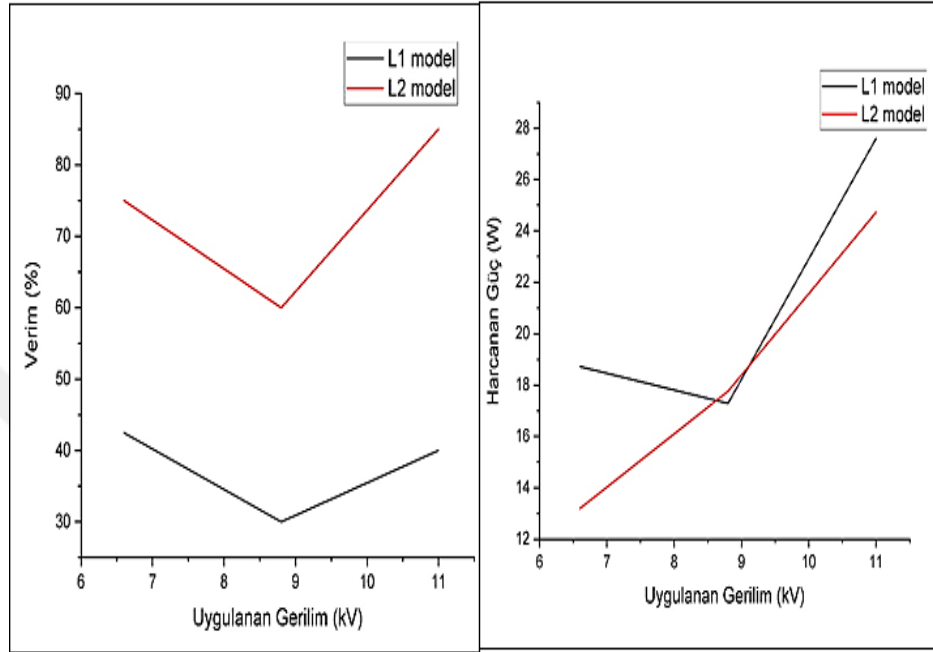


Şekil 5.6. L1 Geleneksel yöntem 20mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz

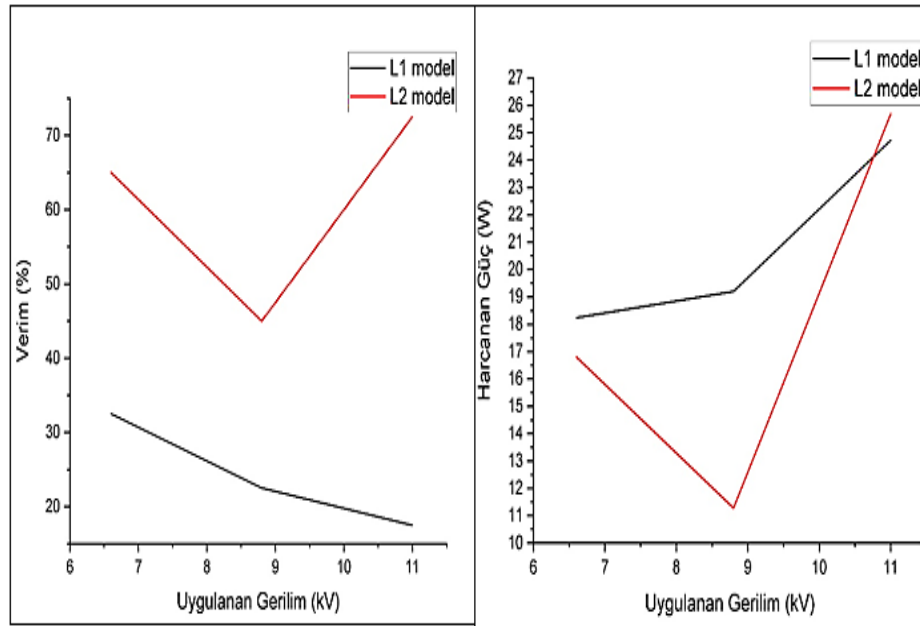


Şekil 5.7. L2 Önerilen yöntem 20mm ızgaralı 20x20cm 100-300µm toz

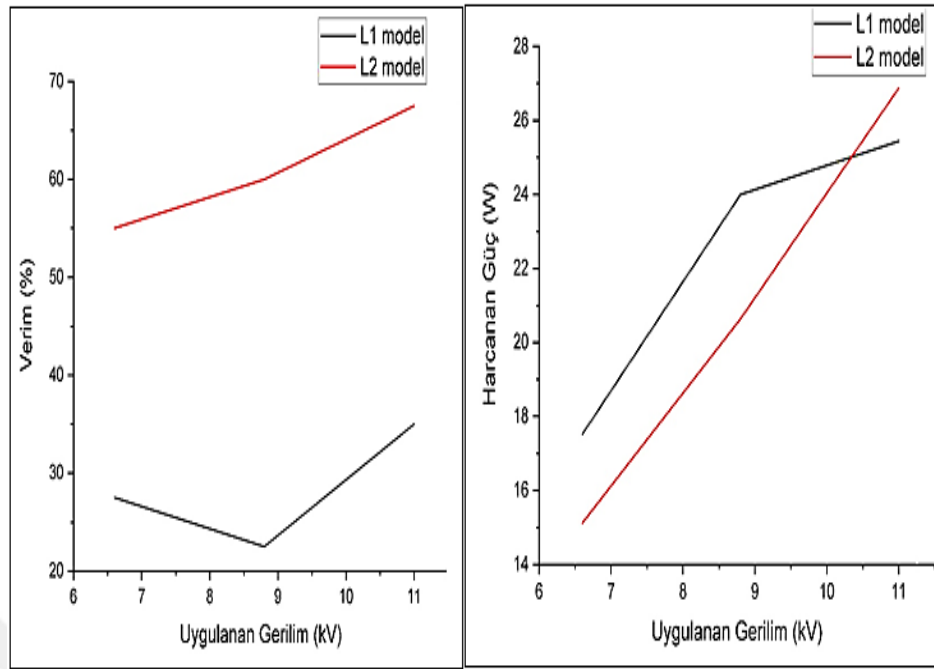
Temizleme işlemi 20mm ızgara geleneksel tasarımı 11kV gerilim ve 1Hz frekansta %40 verimli temizleme işlemi gerçekleştirildi. Şekil 5.8 , Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 'da bu gözlemlere ilişkin grafiklere yer verilmiştir:



Şekil 5.8. 1Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi



Şekil 5.9. 2Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi



Şekil 5.10. 3Hz frekans uygulama ile toz temizleme ve harcanan güç değişimi

20mm ızgara önerilen tasarım 11kV gerilim 1Hz frekansta %85 verimde temizleme işlemi gerçekleştirildi. Yapılan işlemler sonucunda 20mm ızgaralı 20cm x 20cm ve 20cm x 30cm önerilen tasarımda %85 ile %89 verimde temizlik sağlandı. Bu tasarımda 20cm x 20cm önerilen tasarım $1,03\text{ A} \times 24\text{ V} = 24,72\text{ W}$ güç tüketmekte olup 20cm x 30cm $1,33\text{ A} \times 24\text{ V} = 31,92\text{ W}$ güç çekerek 11kV 1Hz frekansta önerilen tasarım verimli olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın 3. Bölümü ve 3.2 alt başlığında yer alan Çizelge 3.14.'te verilen temizlik maliyet hesabı dikkate alındığında, geleneksel (traktör yardımıyla su ile temizleme işlemi) yöntemin kullanılması sonucu santral giderlerine büyük bir yük olmaktadır. Artan kur nedeniyle maliyetler gün geçtikçe artmakta ve su kullanılan santrallerde ise su israfına yol açmaktadır. Elektrostatik yöntem ile temizleme kullanıldığı zaman santral içerisindeki PV panel çıkışlarından beslenecek olan kartın elektriksel olarak GES santraline maliyeti; L2 kodlu 20cmx30cm'lik tasarım 4kanal(4pv panel) aktifleştirildiğinde 1 Hz frekans ve 11 kV gerilimde 1.33 A çekerek günde ortalama 8 saat çalışarak santralde temizlik işlemi gerçekleşmiş olacaktır. 1kanal (1 pv panel) 1Hz 11 kV çekilecek akım 0,33 A'dir. 8 saat çalışan devre 24 V gerilim ile $8 \times 24 \times 0,33 = 63,36\text{ Wh}$ enerji tüketecektir. 1 ayda $30 \times$

63,36=1.900,8 Wh olup 12 ayda 22.809,6 Wh enerji tüketecektir. 4800 adet panel bulunan santralde ve EPDK yönetmeliğine göre 0,71 kr/kWh olan birim fiyatlandırıldığında, $4800 \times 22,809 \text{ kWh} \times 0,71 \text{ kr/kW} = 77.735,04\text{TL}$ gider olacaktır. L2 tasarımı, L1 tasarımı ve traktör ile temizlemeye göre %50 daha az maliyetli olmaktadır. Ayrıca traktör maliyeti hesaba katılmamıştır. Elektrostatik yöntem ile temizleme su ve türevleri ile yapılan temizleme işlemine göre daha az maliyet ve önemli yaşam kaynağı olan sudan tasarruf yapılarak PV panel çıkış gücünden verim almaktadır.

5.2. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında; düşük maliyetli ve yüksek verimli elektrostatik temizleme sistemi sunulmuştur. Önerilen sistem PV panellerin çıkış gücü üzerindeki tozlanma etkisini azaltmaktadır. En kısa sürede düşük maliyetli yüksek verimlilikte temizlik yapmaya yönelik gerçekleştirilen bu çalışma ile gün geçtikçe değeri daha da artan hayat kaynağımız olan suyun Güneş enerjisi santrallerinde tüketimini azaltılması hedeflenmiştir. Böylece GES santrallerinde PV panel temizliğinde kullanılan su tasarruf edilmiş olacak ve su temizlik maliyeti ortadan kalkacaktır.

Kirlilik verilerinin Şanlıurfa ilinde bulunan güneş enerjisi santralinden alınması hem toz içeriği hem de toz boyutları açısından veri elde edilmesi için önemlidir. Buradan elde edilen veriler doğrultusunda kart üretimi yapılmıştır. Geleneksel model ve önerilen model panel yüzeyinden toz temizleme kabiliyeti bakımından karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının sağladığı yenilikçi katkılar sıralanabilir;

- Tasarlanan kart çok kanallı sisteme uygulanan çıkış dalga formu bakımından özgündür.
- Güneş panelinde oluşturulan yeni elektrot (ızgara) tasarımı panel ısınım miktarını etkilemeden ve panel yüzeyinde oluşan toz vb. tanecikleri temizleyebilecek özelliktedir.
- Piyasada bulunan geleneksel sistemlerden farklı olarak; düşük güç, düşük maliyetle çalışması aynı zamanda yer kaplamaması, yerli ve milli imkanlar ile geliştirilmiş olmasıdır.

- Elektrostatik yöntem ile temizleme sistemi kullanılarak ülkemizde gerçekleştirilen ilk çalışmadır.

5.3. Öneriler

Kirlilik verilerinin analitik ve deneysel yöntemle elde edilmesi, enerji kaybı ve içerik bakımından değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Toz kaynaklı kirliliğin mevsimsel geçişlerde değişmesinin yanı sıra GES’lerde önemli derecede kayıplar oluşturmakta ve temizlik maliyetinde artışa neden olduğu gösterilmiştir. Elektrostatik yöntem kullanılarak hem etkili toz temizliği hem de GES için geleneksel sulu temizleme yöntemine karşı uygun temizleme yöntemi olduğu gösterilmiştir. Geleneksel (sulu) temizleme yöntemi kullanılarak pv panellerin temizlenmesi işlemi 1MW’dan büyük güçlü santrallerde temizlik maliyetini arttırmak ile birlikte zaman ve su israfına yol açmaktadır. Günümüzde su kıtlığının ön plana çıktığı ve gelecekte de akarsuların tamamen kuruyacağı yapılan çalışmalarda mevcuttur. Aküzüm ve ark. (2010), çalışmalarında su kaynakları açısından Türkiye’nin su zengini ülke konumunda iken 2000’li yıllardan sonra su sorunu yaşayan ülkeler grubuna girdiğini belirtmişlerdir. Suyun kullanımı açısından su yasasının çıkarılmasını önermişlerdir.

Enerji atlasından alınan veriler ışığında Türkiye de mevcut kurulu güç 6.493MWe olduğu görülmektedir. Kayıtlı santral sayısı 39 lisanslı ve 550 lisanssız olmaz üzere toplam 589 adet GES bulunmaktadır. Temizlik maliyeti ve günümüz dünyasında hayat kaynağımız olan suyun tasarrufu açısından elektrostatik temizleme önerilir.

1MW güneş enerjisi santrali temizleme maliyeti yılda 2 kez yapıldığında 14.850,00 euro yapmaktadır. Kullanılan solüsyon ve saf su miktarı 395lt olup 12MW’lık güneş enerjisi santralinde bu miktar $12 \times 395 = 4.740$ lt kullanılmış olacaktır. Konya’da yapılacak olan 1.300 MW güneş enerjisi santralinde ise kullanılacak miktar hesaplanırsa $1300 \times 395 = 513.500$ lt olacaktır. Bu nedenle büyük güçteki santrallerde su ve zaman kaybına ayrıca suyun bulunmadığı uzay ortamı vb. yerlerde elektrostatik temizleme yapılması önerilir. Elektrostatik temizleme gelecekte önem kazanacak olup maliyet, zaman ve verim açısından ön planda olacaktır.

KAYNAKLAR

- ABBAS, K. K., AL-WATTAR, A. J. ve KASIM, N. K., 2010. New technique for treatment of the dust accumulation from pv solar panels surface. *Iraqi Journal of Physics*, 8 (12): 54-59.
- ABDERREZEK, M. ve FATHİ, M., 2017. Experimental study of the dust effect on photovoltaic panels energy yield. *Solar Energy*, 142: 308-320.
- AKCAN, E., KUNCAN, M., ve MİNAZ, M. R., (2020). PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemin modellenmesi ve simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18: 248-261.
- AKÜZÜM, T., ÇAKMAK, B., ve GÖKALP, Z. (2010). Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 3 (1): 67-74.
- AKYAZI, Ö., ŞAHİN, E., ÖZSOY, T., ve ALGÜL, M., 2019. Güneş paneli temizleme robotu tasarımı ve uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ekim 2019 Özel Sayı: 343-348.
- AL SHEHRİ, A., PARROTT, B., CARRASCO, P., AL SAİARİ, H., ve TAİE, I., 2016. Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass transmittance for pv modules applications. *Solar Energy*, 135: 317-324.
- ALAGÖZ, S., ve APAK, Y., 2020. Removal of spoiling materials from solar panel surfaces by applying surface acoustic waves. *Journal of Cleaner Production*, 253: 1-11.
- ALHARBİ, B., SHAREEF, M. M., ve HUSAIN, T., 2015. Study of chemical characteristics of particulate matter concentrations in Riyadh. Saudi Arabia. *Atmospheric Pollution Research*, 6 (1): 88-98
- ALİZADEHYAZDİ, V., BONTHRON, M., ve SPENKO, M., (2020). Optimizing electrostatic cleaning for dust removal on gecko-inspired adhesives. *Journal of Electrostatics*, 108: 103499
- ALTINTAŞ, M. VE ARSLAN, S., 2020. PVSyst İle Güneş Paneli Kirlik Etkilerinin İncelenmesi: Şanlıurfa Güneş Enerjisi Santrali Örneği, Adnan Hayaloğlu (Ed.). *Mühendislik Alanında Teori ve Araştırmalar içinde* (ss. 67-84), Gece Kitaplığı, Ankara.
- ALY, S. P., GANDHİDASAN, P., BARTH, N. ve AHZİ, S., 2015. Novel dry cleaning machine for photovoltaic and solar panels. In 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (pp. 1-6). IEEE.
- BİRİS, A. S., SANİNİ, D., SRİRAMA, P. K., MAZUMDER, P. K., SİMS, R. A. ve CALLE, C. I., Electrodynamic removal of contaminant particles and its applications. in Conf. Record 39 th IEEE ,IAS Annual Mtg., Seattle, WA, 2/1 (2004): 1283-1286.
- CALLE, C. I., BUHLER, C. R., MANTOVANİ, J. G., CLEMENTS, S., CHEN, A., MAZUMDER, M. K., ve NOWICKİ, A. W., 2004. Electrodynamic shield to remove dust from solar panels on Mars. In Proceedings of the 41st Space Congress, 27-30 April, Cilt I, Florida, s.202-206.
- CALLE, C. I., BUHLER, C. R., MCFALL, J. L., ve SNYDER, S. J., 2009. Particle removal by electrostatic and dielectrophoretic forces for dust control during lunar exploration missions. *Journal of Electrostatics*, 67 (2/3):89-92.

- CALLE, C. I., MCFALL, J. L., BUHLER, C. R., SNYDER, S. J., ARENS, E. E., CHEN, A. ve TRIGWELL, S., 2008. Dust particle removal by electrostatic and dielectrophoretic forces with applications to NASA exploration missions. In Proc. ESA Annual Meeting on Electrostatics. ESA Minneapolis, MN.
- CASANOVA, J. Z., PILIOUGINE, M., CARRETERO, J., BERNAOLA, P., CARPENA, P., MORA-LOPEZ, L. ve SIDRACH-CARDONA, M., 2011. Analysis of dust losses in photovoltaic modules, World Renewable Energy Congress, 8-13 May, Cilt I Malaga, s.2985-2992
- CHANCHANGI, Y. N., GHOSH, A., SUNDARAM, S., ve MALLICK, T.K., 2020. Dust and pv performance in nigeria a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21: 1-14.
- CHEN, E. Y. T., MA, L., YUE, Y., GUO, B., ve LIANG, H., 2018. Measurement of dust sweeping force for cleaning solar panels. Solar Energy Materials and Solar Cells, 179: 247-253.
- CHESNUTT, J. K., ASHKANANI, H., GUO, B., ve WU, C. Y., 2017. Simulation of microscale particle interactions for optimization of an electrodynamic dust shield to clean desert dust from solar panels. Solar Energy, 155: 1197-1207.
- COSTA, S. C., DİNİZ, A. S. A., ve KAZMERSKİ, L. L., 2016. A: Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: literature review update for 2012–2015. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 63: 33-61.
- COSTA, S. C., DİNİZ, A. S. A., ve KAZMERSKİ, L. L., 2018. B: Solar energy dust and soiling r and d progress: literature review update for 2016. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82: 2504-2536.
- ÇŞB Hava kirliliği izleme istasyonu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sürekli İzleme Merkezi Raporlama Çevrimiçi Filtreleme Sayfası .Erişim:12.05.2020. <https://www.havaizleme.gov.tr/>.
- DARWİSH, Z. A., KAZEM, H. A., SOPAİN, K., ALGHOUL, M. A. ve CHAİCHAN, M. T., 2013. Impact of some environmental variables with dust on solar photovoltaic(pv) performance: review and research status. International journal of Energy and Environment, 7 (1): 152-159.
- DURAN F., PV/T hibrit sistemlerin termodinamik ve performans analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Enerji Bilim Dalı, Yayınlanmamı Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- DÜNDAR, C., 2019. Büyük Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının İncelenmesi ve Türkiye'yi Etkileyen Toz Kaynak Bölgelerinin Belirlenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Elektrik Mühendisleri Odası (EMO), Erişim 18.03.2020
- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik. 28783 Sayılı Resmi Gazete. (2013,09. 02.)
- Enerji Atlas, Erişim: 21.01.2021 <https://www.enerjiatlas.com/gunes/>
- FAES, A., PETRİ, D., CHAMPLAUD, J., JONAS GEİSSBÜHLER, J., BADEL, N., LEVRAT, J. ROUSTOM, B., HESSLER-WYSER, A., WYRSCH, N., BALLİF, C., GETAZ, G.O., MCKARRİS, G. ve DESPEISSE, M., 2002. Field test and electrode optimization of electrodynamic cleaning systems for

- solar panels. Wiley Progress in Photovoltaics Prog Photovolt Res Appl, 27: 1020–1033.
- GENÇ, G., 2018. Fotovoltaik Panellerde Gölge ve Toz Etkisinin Analizi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 120s.
- GERÇEKOĞLU, H., 2020. PM2,5 nedir? neden tehlikelidir?, Kalp ve Damar Cerrahisi, Prof. Dr. Hakan Gerçekoğlu inceleme yazısı. Erişim:12.05.2020 <https://drhakangercekoglu.com/>
- GHAZİ, S., SAYIĞH, A., ve İP, K., 2014. Dust effect on flat surfaces—a review paper. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33: 742-751.
- GİRGİN, M. H., 2011. Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 mw’lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 223s.
- GODDARD W.A., BRENNER, D., LYSHEVSKI, S.E., ve LAFRATE, G.J., 2007. Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology, Washington DC-ABD.CRC Press.
- GUANGMING, W., DAN, L., GUANGJIAN, X., ve TIANLAN, Y., 2016. The mechanism study of dust removal with transparent interdigitated electrodes. Integrated Ferroelectrics, 171 (1): 1-7.
- HE, G., ZHOU, C., ve Lİ, Z., 2011. Review of self-cleaning method for solar cell array. Procedia Engineering, 16: 640-645 http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=100495 .
- <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx>
- HUDEMANNİ, M. G., JOSHI, G., UMayAL, R. M., ve REVANKAR, A., 2017. A comparative study of dust cleaning methods for the solar PV panels. Advanced Journal of Graduate Research, 1 (1): 24-29.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, (IEA) REPORT 2013. Erişim : 08.06.2020 <https://iea-pvps.org/wp->
- İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), 2014, <http://web.itu.edu.tr/~kaymak/images/pv.html> Erişim:09.08.2020
- JİANG, C.S., MOUTİNH, H.R., TO, B., XİAO, C., SİMPSON, L.J. ve AL-JASSİM, M.M., 2020. Long-lasting strong electrostatic attraction and adhesion forces of dust particles on photovoltaic modules. Solar Energy Materials and Solar Cells 204: 1-6.
- JİANG, J., LU, Y., YAN, X., ve WANG, L., 2020. An optimization dust-removing electrode design method aiming at improving dust mitigation efficiency in lunar exploration. Acta Astronautica, 166: 59–68
- KARGACIOĞLU T. ve DOÇ.DR. HOCAOĞLU, F., O., 2017. Sensör tabanlı otomatik güneş paneli temizleme sistemi prototipi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Afyon, 67s.
- KAWAMOTO, H., 2014. Sampling of small regolith particles from asteroids utilizing an alternative electrostatic field and electrostatic traveling wave. Journal of Aerospace Engineering, 27 (3): 631-635.
- KAWAMOTO, H., 2019. Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels. Journal of Electrostatics, 98: 11–16.
- KAWAMOTO, H., 2020. Improved detachable electrodynamic cleaning system for dust removal from soiled photovoltaic panels. Journal of Electrostatics, 107: 103481.

- KAWAMOTO, H., UCHIYAMA, M., COOPER, B. L., ve MCKAY, D. S., 2011. Mitigation of lunar dust on solar panels and optical elements utilizing electrostatic traveling-wave. *Journal of Electrostatics*, 69 (4): 370-379.
- KAWAMOTO, H., ve SHIBATA, T., 2015. Electrostatic cleaning system for removal of sand from solar panels. *Journal of Electrostatics*, 73: 65-70.
- KAWAMOTO, H., ve GUO, B., 2018. Improvement of an electrostatic cleaning system for removal of dust from solar panels. *Journal of Electrostatics*, 91: 28-33.
- KOHLİ, R., MITTAL, K., L., ve ANDREW W., 2011. Developments in surface contamination and cleaning methods for removal of particle contaminants. Elsevier Science, E- ISBN 9781437778861: 8-21.
- KÖKSAL, C.E., YILMAZ, A.G. ve ÇETİNTÜRK GÜRTEPE, İ., 2017. Temiz Hava Eylem Planları ve İzlenmesi, VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (1-3 Kasım 2017), Antalya.
- MAGHAMİ, M. R., HİZAM, H., GOMES, C., RADZİ, M. A., REZADAD, M. I., ve HAJİGHORBANİ, S., 2016. Power loss due to soiling on solar panel: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 1307-1316.
- MASUDA, S., WASHİZU, M. ve IWADARE, M., 1987. Separation of small particles suspended in liquid by nonuniform traveling field, *IEE Trans Ind. Appl*, 23: 474
- MAZUMDER, M. K., (2016). U.S. Patent No. 9,433,336. Washington, DC: U.S.A :Patent and Trademark Office.
- MAZUMDER, M. K., HORENSTEİN, M. N., JOGLEKAR, N. R., SAYYAH, A., STARK, J. W., BERNARD, A. A., ve GRIFFİN, A. C., 2017. Mitigation of dust impact on solar collectors by water-free cleaning with transparent electrodynamic films progress and challenges. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 7 (5): 1342-1353.
- MAZUMDER, M. K., SHARMA, R., BİRİS, A. S., ZHANG, J., CALLE, C., ve ZAHN, M., 2007. Self-cleaning transparent dust shields for protecting solar panels and other devices. *Particulate Science and Technology*, 25 (1):5-20.
- MAZUMDER, M., HORENSTEİN, M. N., STARK, J. W., GIROUARD, P., SUMNER, R., HENDERSON, B., ve SHARMA, R., 2013. Characterization of electrodynamic screen performance for dust removal from solar panels and solar hydrogen generators. *IEEE Transactions on industry applications*, 49 (4): 1793-1800.
- MEKHİLEF, S., SAİDUR, R. ve KAMALİSARVESTANİ, M., 2012. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (1): 2920-2925.
- MGM 2017'de Türkiye'de iklim durumu raporu. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, 2018.
- MGM 2018 yılı iklim değerlendirmesi raporu, Ankara :T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları. 2019.
- MGM, Toz taşınımı (kum ve toz fırtınaları) tahmini bilgi notu. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayınları, 2020.

- ONAT, B. SAHİN, Ü. A., ve AKYÜZ, T., 2012. Elemental characterization of PM2.5 and PM10 in dense traffic area in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 4 (1): 101–105.
- ORAL, B., R. H., ve GÜL, H., 2013. Adıyaman ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve kullanımı. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3 (2): 52-67.
- ÖZBEK, M., 2018. Dünden Bugüne İnsan. 1. Baskı İmge Kitapevi, İstanbul, 500s.
- ÖZDEL, K. (A.Ü. Gama MYO). Elektrik ve Enerji Bölümü Erişim, 2020. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61963/mod_resource/content/0/2.HAFTA.pdf
- ÖZTÜRK, H. H., Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler, Erişim: 06.06.2020 http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf
- PETROVIĆ, I., SİMİC, Z., ve VRAZI, M., 2013. Comparison of PV plant energy generation prediction tools with measured data. *Przeglad Elektrotechniczny*, 89 (6): 121-124.
- Resmi Gazete, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (DG=Değişiklik /RG = Resmi Gazete 23.08.2019 Tarih ve 30867 Sayılı RG)
- SAYYAH, A., HORENSTEIN, M.N. ve MAZUMDER, M.K., 2014. Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels. *Solar Energy*, 107: 576- 604.
- SHARMA, R., WYATT, C. A., ZHANG, J., CALLE, C. I., MARDESİCH, N., ve MAZUMDER, M. K., 2009. Experimental evaluation and analysis of electrodynamic screen as dust mitigation technology for future mars missions. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 45 (2): 591-596.
- SİMKO, M., FIEDELER, U., GAZSO, A., ve NENTWICH, M., 2011. How Nanoparticles Enter the Human Body and Their Effects There. Erişim 31.12.2020 (<http://hw.oeaw.ac.at/nanotrust-dossier>)
- SULAİMAN, S. A., SİNGH, A. K., MOKHTAR, M. M. M. ve BOU-RABEE, and M. A., 2014. The international conference on technologies and sustainability. *Energy Procedia*, 50: 50-56.
- ŞENGÜN, M. ve KIRANŞAN, K., 2012. Çöl Tozlarının Türkiye’de Doğal ve Beşeri Ortam Üzerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22 (2): 1-15.
- TAKTAK, F. ve ILI, M., 2018. Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik*, 3(1): 1-21.
- WHO Report (2019). Raises alarm about bad air in Turkish cities. p. 73-97.
- XU, L., SHI,H.,WANG , L., XIAO, W., LI, Q., ve GUO, J. The Efficiency Characteristic Of Electrostatic Dust Precipitation Using Solar Energy. Yunnan Energy Investment Information Industry Development CO.LTD, Kunming, 650500, China. 2020.
- YEGM. Yenilenebilir Enerji. Erişim:09.06.2020.
- YİLBAS, B. S., AL-QAHTANİ, H., AL-SHARAFİ, A., BAHATTAB, S., HASSAN, G., AL-AQEELİ, N., ve KASSAS, M., 2019. Environmental dust particles repelling from a hydrophobic surface under electrostatic influence. *Scientific reports*, 9 (1): 1-18.
- 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. 30700 Sayılı Resmi Gazete, (2019,14.02.)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Murat ALTINTAS

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	TES-İŞ Anadolu Lisesi, Eyyübiye, Şanlıurfa	2013
Üniversite	Harran Üniversitesi, Haliliye, Şanlıurfa	2017
Yüksek Lisans	Harran Üniversitesi, Haliliye, Şanlıurfa	2021

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017	Murat Altıntaş Müh. Elk. Ltd. Şti.	Yönetici
2019	Mual Müh. Elk. Mim. San. ve Tic. Ltd. Şti	Elk. Müh. ve Genel Müdür

UZMANLIK ALANI

YG İşletme sorumlu Müdür, Topraklama Ölçüm Yetkilisi, ENH çizim ve projelendirme

YABANCI DİLLER

İngilizce: Başlangıç seviyesi

Arapça: Orta seviye

YAYINLAR

1. ALTINTAŞ, M., ve ARSLAN, S., 2020. Yağmur Kaydırıcıların Güneş Panelleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. 4. Uluslararası Mersin Sempozyumu, 22-24 Ekim, Kitap 6, Mersin, s.326-338. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)
2. ALTINTAŞ, M., ve ARSLAN, S., 2020. Pvsyst İle Güneş Paneli Kirlilik Etkilerinin İncelenmesi: Şanlıurfa Güneş Enerjisi Santrali Örneği. Gece Kitaplığı, Ankara, 65s. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)

EKLER

EK 1. GES Sahasına Ait Resim ve Koordinat Bilgileri



Badıllı Ges Santrali Enerji Üretim Sahası



Araziye uygulanmış Badıllı GES yerleşkesi uydu görüntüsü

EK 2. Panele Ait Datasheet 1/2

CW Enerji®

CWT GÜNEŞ PANELİ

POLİKİSTAL ■ 60P (270 - 285 Wp)

CW ENERJİ

Yüksek Dönüşüm Verimliliği

Yüksek Panel Verimliliği Sayesinde, Yüksek Güç Çıkışı Garantili Eder.

Kendi Kendini Temizleyen ve Yansımayı Azaltan Cam

Cam Üzerindeki Özel Kaplama Yüzey Tozunu Azaltır.

Düşük Işınlımda Yüksek Verimlilik

Sabah ve Bulutlu Hava Koşullarında Dahil Yüksek Panel Verimliliği

Mükemmel Dayanım Kapasitesi

2400 Pa Rüzgar Yükü, 5400 Pa Kar Yüküne Karşı Dayanım

0~+5W Pozitif Güç Toleransı

Kolay Kurulum

588

The graph illustrates the performance guarantee of the CWT solar panels over a 25-year period. The Y-axis represents the percentage of power output, ranging from 0% to 100%. The X-axis represents time in years, from 0 to 25. Two lines are shown: a blue line for 'CWT degradation performance guarantee' and a grey line for 'Standard warranty guarantee'. The blue line starts at 97.5% at year 0 and decreases linearly to 80% at year 25. The grey line starts at 97.5% at year 0 and decreases linearly to 80% at year 10, then remains constant at 80% until year 25.

Yıl	CWT Degradasyon Performans Garantisi (%)	Standart Garanti (%)
0	97.5	97.5
10	90.0	90.0
25	80.0	80.0

25 Yıl Performans Garantisi

10 Yıl Malzeme ve İşçilik Garantisi

CWT285-60P 285 Wp

CWT280-60P 280 Wp

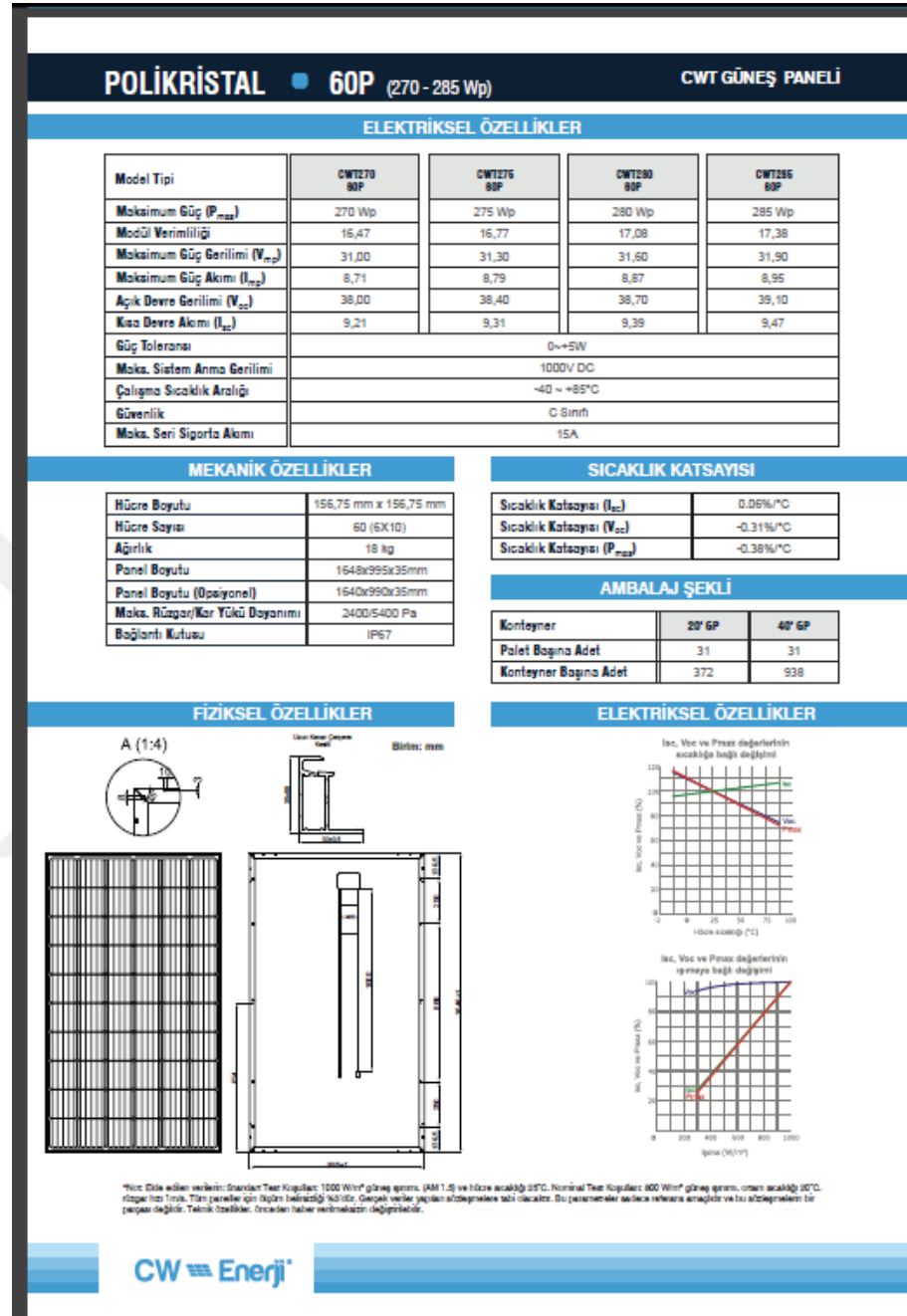
CWT275-60P 275 Wp

CWT270-60P 270 Wp

25
YIL

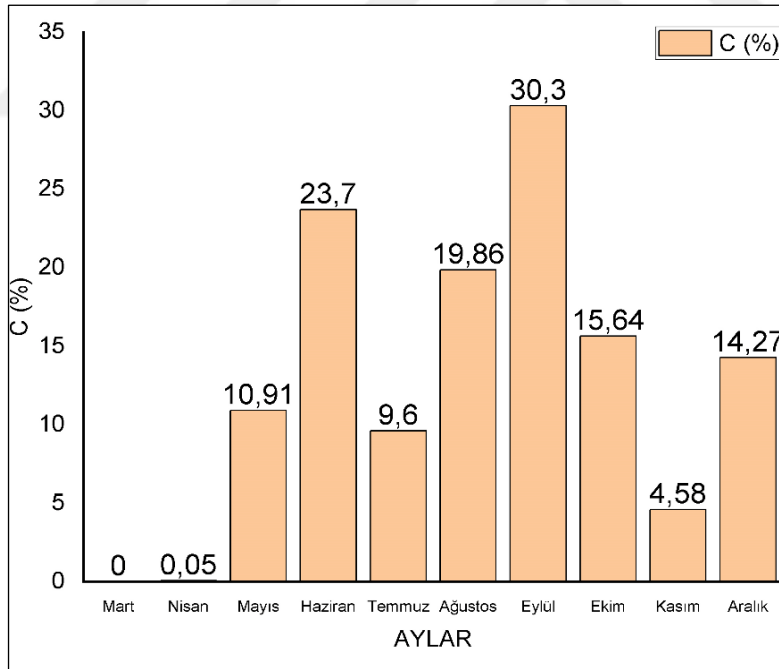
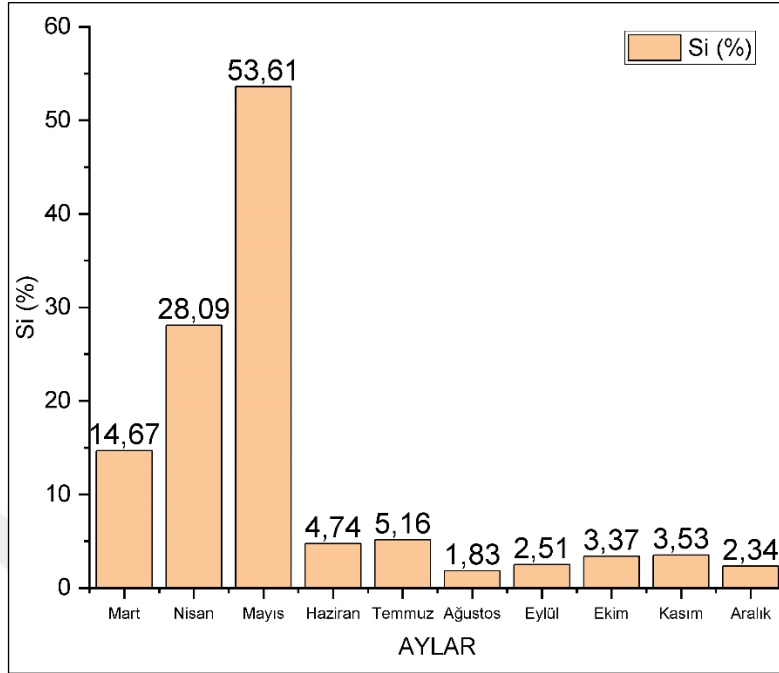
SİGORTALI
FOTOVOLTAYİK
PANEL GARANTİSİ

www.cw-enerji.com

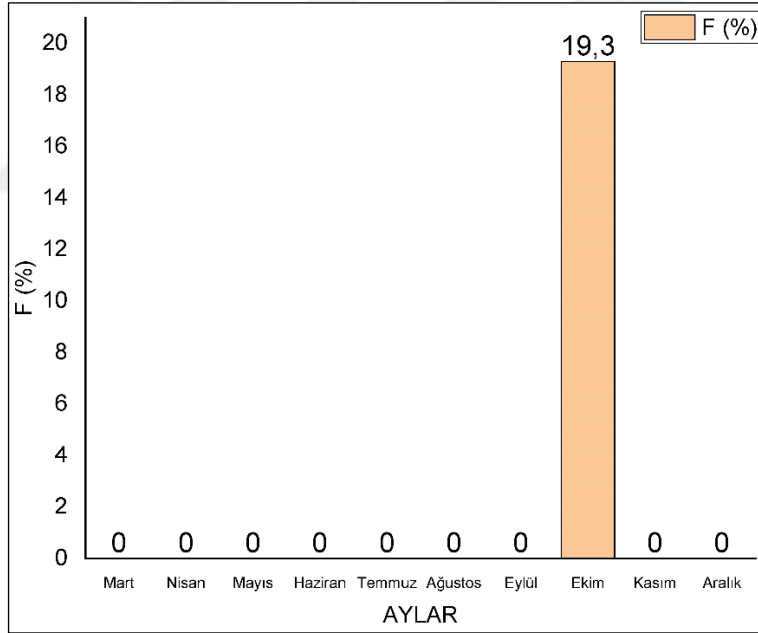
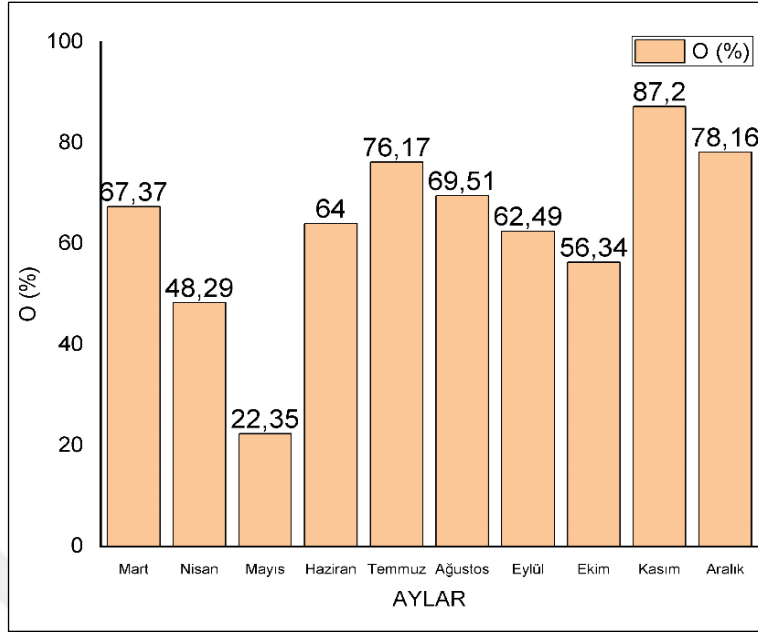




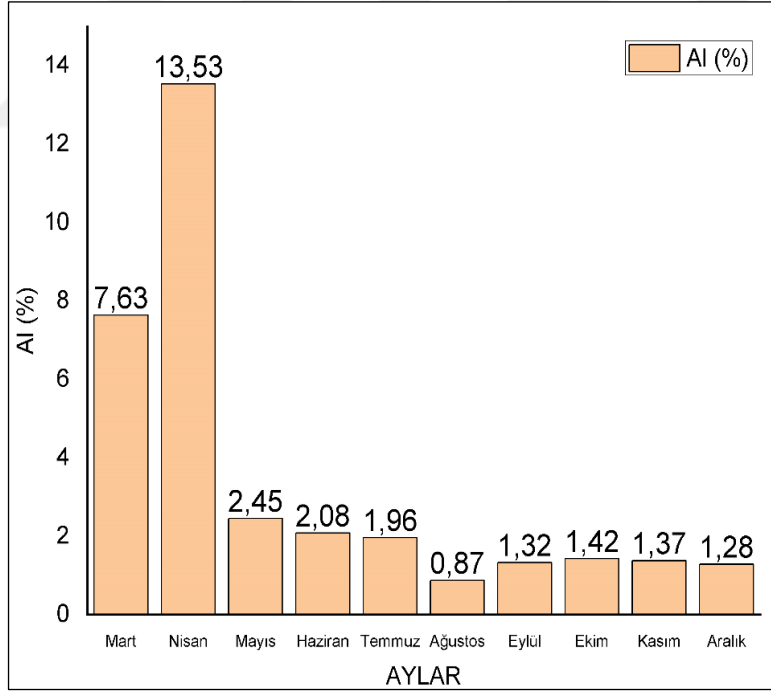
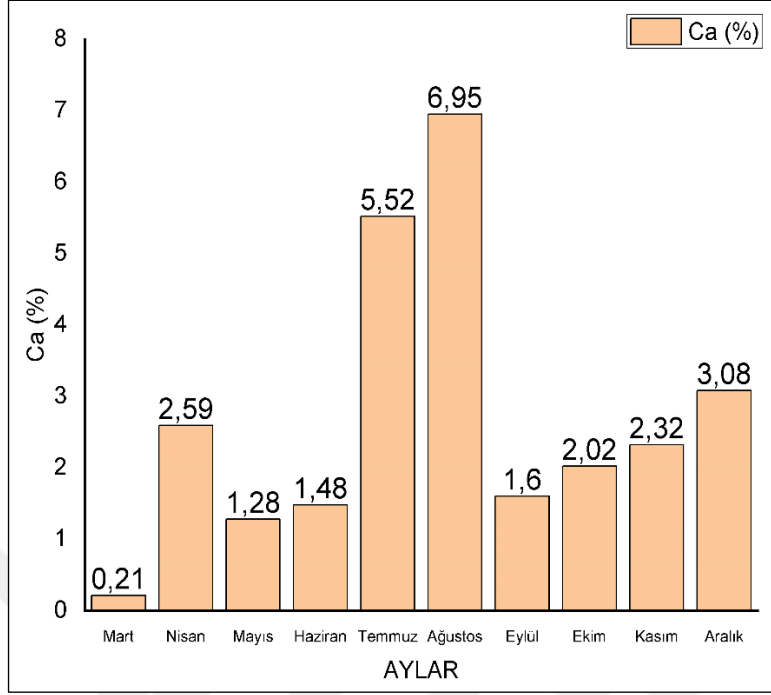
EK 4. Deney Seti Üzerinden Alınan Aylık Toz Verisi İçerisinde Bulunan Element Grafiği 1/3



Aylık Toz Verisi İçerisinde Bulunan Element Grafiği 2/3



Aylık Toz Verisi İçerisinde Bulunan Element Grafiği 3/3



EK 5. Aylık Toz Verisi Tanecik Çapı

