



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ
SİSTEMLERİNİN GÜÇ ÇIKIŞININ
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDE KAR
YAĞIŞININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Erman ERHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Erman ERHAN tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinin Güç Çıkışının Sürdürülebilirliği üzerinde Kar Yağışının Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 21/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr.Ali KAHRAMAN

Danışman

Dr.Öğr. Üyesi Mehmet Ali ANADOL

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Faruk KÖSE

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Erman ERHAN

Tarih:21.06.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN GÜÇ ÇIKIŞININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDE KAR YAĞIŞININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Erman ERHAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Mehmet Ali ANADOL

2019, 70 Sayfa

Jüri

**Prof.Dr.Ali KAHRAMAN
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Ali ANADOL
Dr.Öğr.Üyesi Faruk KÖSE**

Bu tez çalışması, kar yağışı ve buzlanma nedeniyle şebeke bağlantılı bir fotovoltaik tesisinin enerji üretim kayıplarının belirlenmesi ile ilgilidir. Kar yağışı ve buzlanmanın etkisi, taşıyıcı sistem üzerine yatay şekilde, 30° sabit eğim açısıyla güney yönünde montaj edilmiş, 36 mono kristal yapıları FV panelden ve iki ayrı dize girişine sahip hibrid inverterden oluşan bir FV sistem üzerinde incelenmiştir. Tesis alanı, büyük ölçekli FV tesis kurulumlarının gerçekleştirildiği öncelikli ve kar yağışlı bir bölgede (Türkiye, Konya) yer almaktadır. Kar yağışının etkisini değerlendirmek için şebeke ile bağlantıyı sağlayan hibrid inverterin dakikalık çözünürlükteki veri kayıtları kullanılmıştır. Tesisin iki dizesi tarafından üretilen gücün zaman içindeki değişimi, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırma için, tesis alanındaki dizelerden biri sürekli temizlenmiştir. Kaydedilen veri, tesis alanındaki diğer kar kaplı dizelerin beklenen enerji çıktısını belirlemek için kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonundan temin edilmiş bölgenin güneş ışınımı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı verileri, tesis alanında kaydedilmiş görüntülerle birlikte kar yağışının etkilerini doğru şekilde tanımlamak ve değerlendirmek için kullanılmıştır.

Sonuçlar, FV panellerin yüzey temizliğinin sistemin güç çıkışı üzerinde belirgin bir pozitif etkisinin olduğunu göstermiştir. Tümüyle kar örtüsü ile kaplanan panellerde günlük enerji kaybı %93'ü aşmaktadır. Yoğun kar yağışlı geçen aylarda, panellerin karla kaplı kalma süresine bağlı olarak, aylık üretim kaybı %18'i bulmaktadır. 2017 ve 2018 yılı üretim verileri değerlendirildiğinde tesisin toplam üretim kaybı, % 1 ila % 2 arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler:.Buzlanma, Hibrid inverter, Kar yağışı, Fotovoltaik

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SNOWFALL ON THE SUSTAINABILITY OF THE POWER OUTPUT OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SYSTEMS

Erman ERHAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Ali ANADOL

2019, 70 Pages

Jury

**Prof.Dr.Ali KAHRAMAN
Asst. Prof. Dr. Mehmet Ali ANADOL
Asst. Prof. Dr. Faruk KÖSE**

The purpose of this thesis study is to determine the energy production losses of a grid-connected photovoltaic plant due to snowfall and icing. The effect of snowfall and icing has been examined on a photovoltaic system consisting of a hybrid inverter with two separate array inputs and 36 mono-crystalline modules which are mounted on the supporting system horizontally in the south direction and at a constant tilt angle of 30 degree. The plant area is located in a priority and snowy region (Konya, Turkey) where large-scale photovoltaic system installations are carried out. In order to evaluate the effect of snowfall, the minute resolution data of the hybrid inverter which provides connection to the grid is used. The change over time of the power generated by the two arrays of the plant was examined comparatively. For comparison, one of the arrays was continuously cleared. The recorded data was used to determine the expected energy output of the array covered with snow. Besides, the solar irradiance, ambient temperature, relative humidity and wind speed data obtained from the meteorological station were used to accurately identify and evaluate the effects of snowfall with digital images recorded in the site area.

The results showed that surface clearing of modules had a significant positive effect on the power output of the system. In the array entirely covered with snow, the daily energy loss exceeds 93%. In the months of heavy snowfall, the monthly energy loss is 18% depending on time of being covered with snow of the modules. When the production data of 2017 and 2018 is evaluated, it is seen that the total energy loss of the plant varies between 1% and 2%.

Keywords: Icing, Hybrid inverter, Snowfall, Photovoltaic

ÖNSÖZ

Yaz ve kış aylarında güneşlenme süresine bağlı olarak FV tesislerin üretim ve kazancı büyük farklılıklar gösterir. Özellikle kış aylarında düşük güneşlenme süresine ek olarak ortaya çıkan kar yağışı ve buzlanma olayları, şebekeye enerji veren FV tesislerin güç üretiminde ciddi bir düşüşe neden olur. Tüm yıl boyunca kazancının düşmesini istemeyen yatırımcı, üretim kaybını kompanze etmek için belirlenen kapasitenin üzerinde kurulum yapar. Bu durum, bir yandan yatırım maliyetlerini arttırırken diğer yandan hava şartları normale döndüğünde şebekeye verilen gücün artmasına yol açar. Güç sistem yetkilileri, dağıtım şirketi ile imzalanan sözleşme gücünün aşılmasına izin vermediğinden kapasitesinin üzerinde sisteme güç sağlayan tesisler için yatırımcıya ödeme yapmaz ve yatırımcı kazanç kaybına uğrar. Bu nedenle enerji üretiminin ve kayıpların doğru tahmini, hem yatırımcı hem de işletme açısından son derece önemlidir.

Uygun arazi ve iklim koşulları, tüketicilerin elektrik fatura bedelini azaltma ve bedava elektrik enerjisi sağlama gayesi, müteşebbislerin bu sektörü bir ticaret ve kazanç kapısı olarak görmesi ve devlet teşvikleri sayesinde Konya ve civarındaki illerde güneş enerjisi tesislerinin daha fazla yaygınlaşması beklenmektedir. Bu bölgelerde kurulacak güneş enerjisi sistemlerinde kar yağışı sebebiyle meydana gelebilecek performans kayıplarının belirlenmesine ve ekonomik açıdan değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu tez çalışmasında sunulan sonuçların, tesis yatırımı yapacak müteşebbisleri, panel üreticilerini, kurulum yapan firmaları, mevcut tesis işletmecilerini ve araştırmacıları kar yağışı ve buzlanmanın etkileri hakkında teknik ve pratik açıdan bilgilendirmede fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Erman ERHAN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. KONYA İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİ	9
3.1.Küresel Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süresi	10
3.2.Kar Örtülü Gün Sayısı	13
3.3.Sıcaklık Değişimi.....	14
4. KAR YAĞIŞI VE BUZLANMANIN ETKİLERİ	15
4.1.Kar Yağışı ve Buzlanma ile Mücadele Metotları	16
4.1.1.Yüzey ısıtma sistemi	17
4.1.2.Kendi kendini temizleyen yüzey kaplamaları.....	20
4.1.3.Mekanik ve el ile kar temizleme metotları	22
4.1.4.Kimyasal çözücüler.....	24
5. MATERYAL VE YÖNTEM	26
5.1.Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Üretim Tesisi	26
5.1.1. Şebeke Bağlantılı Hibrid İnverter	27
5.1.2. Fotovoltaik Paneller	28
5.1.3. Akü Grubu ve Kritik Yük	28
5.2.Metodoloji.....	29
5.2.1. Meteorolojik Veri	30
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	32
6.1. Günlük Enerji Üretim Kayıpları	32
6.1.1. Kayıp periyodu (2 Ocak 2017 ile 5 Ocak 2017).....	32
6.1.2. Kayıp periyodu (8 Ocak 2017 ile 11 Ocak 2017).....	45
6.2. Aylık Enerji Üretim Kayıpları	58
6.3. Yıllık Enerji Üretim Kayıpları	63
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
7.1 Sonuçlar	64
7.2 Öneriler	65
KAYNAKLAR	66

EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	70



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

FV	Fotovoltaik
GES	Güneş Enerji Santrali
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi
STC	Standart Test Şartları
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Bölgesi
WMO	Dünya Meteoroloji Birliği



1. GİRİŞ

Türkiye'de elektrik enerjisi ihtiyacı, nüfus artışına paralel olarak her geçen yıl biraz daha büyümektedir. TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) verilerine göre bu enerji ihtiyacının 2023 yılına kadar her yıl yaklaşık % 6 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmının dışa bağımlı kaynaklardan temin edilmesi ve büyüme hızına devlet imkanları ile yetişebilmenin imkansızlığı karşısında, elektrik enerjisi arz ve talebinin dengeli bir şekilde karşılanabilmesi için geleceğe yönelik strateji ve yatırım planlamaları yapılarak enerji sektöründe 2023 yılı için büyüme hedefleri belirlenmiştir. Bu hedefler içinde yerli kaynaklara ağırlık verilerek birincil enerji kaynaklarının kullanım oranının artırılması, kurulu güç kapasitesinde 120 GW'a ulaşılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içindeki payının % 30'a çıkarılması ve özellikle güneş enerjisi santrallerinin (GES) kurulu güç kapasitesinin 5000 MW'a çıkarılması bulunmaktadır. Bu amaçla 2002 yılından itibaren aşamalı şekilde yürürlüğe giren yasal düzenlemeler neticesinde enerji üretim kaynaklarının çoğunluğu ve dağıtım sisteminin tamamının özelleştirilmesi gerçekleştirilmiştir (Anonymous1, 2018).

Yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumunda yürürlükteki yatırım modelleri, özel yatırımcı kuruluşların katılımını arttıran esas faktörlerden biridir. Yenilenebilir enerji tesis yatırımları kurulu güç değerine göre lisanslı, lisansız ve Yenilenebilir Enerji Kaynak Bölgesi (YEKA) modelinde inşa edilmekte ve işletilmektedir. Bu yatırım modellerinde kurulu gücü 1 MW'a kadar olan yenilenebilir enerji üretim tesisleri lisansız olarak, 1 MW ve üzeri yenilenebilir enerji üretim tesisleri lisanslı olarak ve ilan edilen YEKA bölgelerinde kurularak yenilenebilir enerji ekipmanı imalatı ve AR-GE faaliyetleri yürütme zorunluluğu bulunan yenilenebilir enerji üretim tesisleri olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu yatırım modelleri, yatırımın türüne ve kapasitesi bağlı olarak yatırımcısına tarife-besleme, alım garantileri vb. gibi uygun teşvikler sunmaktadır. 2020 yılı sonuna kadar faaliyete geçen lisanslı ve lisansız tesisler, üretilen elektriğin satın alınma garantisi altında 10 yıl süreyle destek tarifesinden (GES için 13.3 USD sent/kWh) faydalanmaktadır. Bununla birlikte, lisanslı olanlardan farklı olarak lisanssız projeler için yerli kullanım desteği sağlanmamaktadır. Destek tarifesine ek olarak verilen yerel içerik desteği, belirli bir üretim tesisi için başlangıç tarihinden itibaren beş (5) yıllık bir süre için verilmektedir. Ayrıca lisans sahiplerinin, güç tamamlanma tarihini takip eden ilk sekiz yıl için yıllık lisans ücreti ödemeleri gerekmektedir (Anonymous2, 2018).

Bugün geldiğimiz noktada yapılan mevzuat değişiklikleri ve fiyatlandırma tarifeleri sayesinde özellikle güneş enerjisine dayalı elektrik üretiminin kurulu güç içindeki payı oldukça artmıştır (Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2). Türkiye, 2017 yıl sonu itibariyle güneş enerjisinde kurulu güç kapasitesi bakımından şekil 1.1 ve şekil 1.2'de görüldüğü gibi Avrupa'da yedinci, dünya genelinde ise on üçüncü sıraya yerleşmiştir (Anonymous3, 2018).

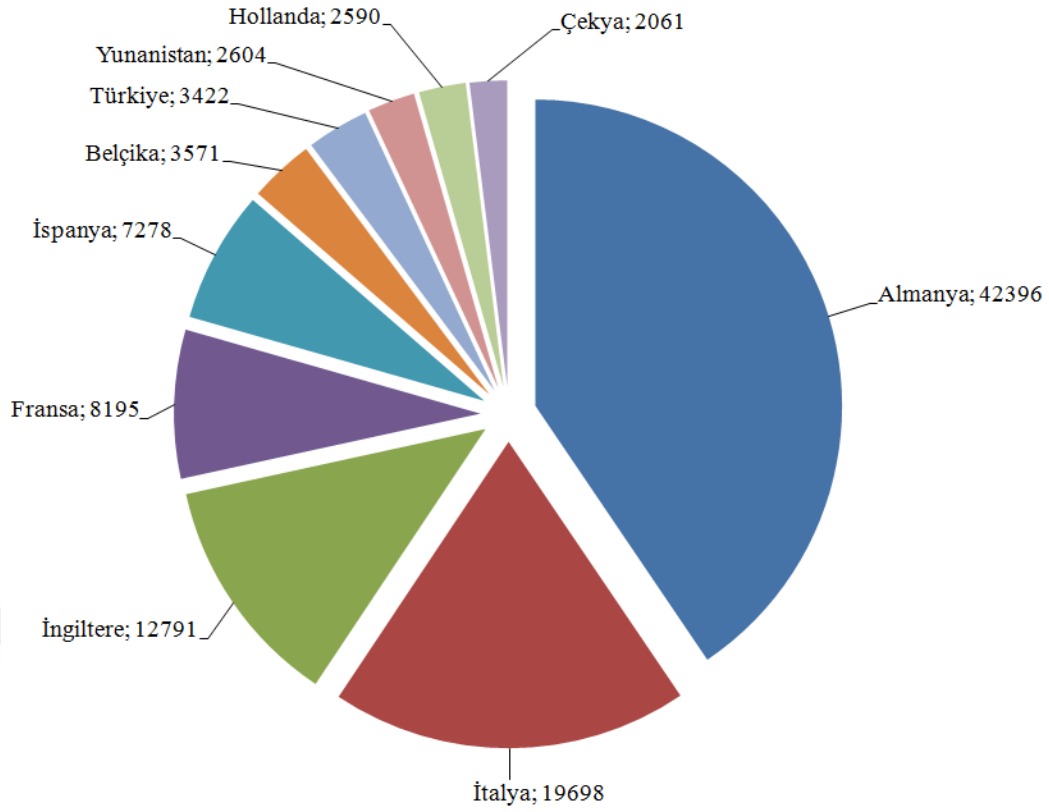
Çizelge 1.1. 2018 yılı Aralık sonu itibariyle kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı

YAKIT CİNSLERİ	KURULU GÜÇ (MW)	KATKI (%)	SANTRAL SAYISI ADET
FUEL-OİL + NAFTA + MOTORİN	294	0.3	11
YERLİ KÖMÜR(TAŞ KÖMÜRÜ + LİNYİT + ASFALTİT)	10,203.5	11.5	31
İTHAL KÖMÜR	8,793.9	9.9	11
DOĞALGAZ + LNG	22,437.8	25.3	251
YENİLEN.+ATIK+ATIKISI+PİROLİTİK YAĞ	738.8	0.8	127
ÇOK YAKITLILAR KATI+SIVI	697.1	0.8	22
ÇOK YAKITLILAR SIVI+D.GAZ	3,443.2	3.9	48
JEOTERMAL	1,282.5	1.4	48
HİDROLİK BARAJLI	20,536.1	23.2	118
HİDROLİK AKARSU	7,747.7	8.7	524
RÜZGAR	6,942.3	7.8	175
GÜNEŞ	81.7	0.1	9
TERMİK (LİSANSSIZ)	300.5	0.3	104
RÜZGAR (LİSANSSIZ)	63.1	0.1	74
HİDROLİK(LİSANSSIZ)	7.6	0.0	11
GÜNEŞ (LİSANSSIZ)	4,981.2	5.6	5,859
TOPLAM	88,550.8	100.0	7,423

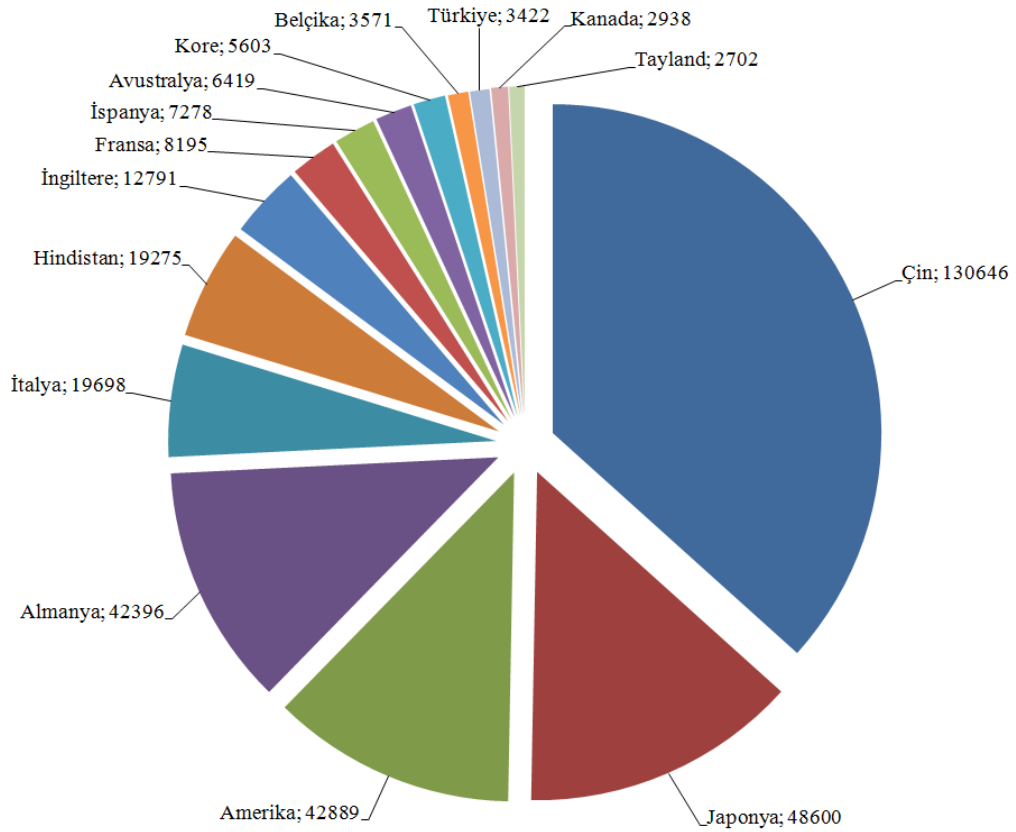
* http://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-01/kurulu_guc_aralik_2018.pdf

Çizelge 1.2. Yıllar içinde güneş enerjisi kurulu gücünün toplam kurulu güç içindeki oranı

YIL	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
GES Kapasitesi (MW)	7	12	19	40.2	248.8	832.5	3,420.7	5,062.9
Kurulu Güç (MW)	52,911.1	57,059.4	64,007.5	69,519.8	73,146.7	78,497.4	85,200	88,550.8
%	0.01%	0.02%	0.03%	0.06%	0.34%	1.06%	4.01%	5.71%



Şekil 1.1. 2017 yıl sonu itibariyle Avrupa'da güneş enerjisine dayalı kurulu güç (MW)



Şekil 1.2. 2017 yıl sonu itibariyle Dünya genelinde güneş enerjisine dayalı kurulu güç (MW)

Türkiye'nin 2018 yılı sonunda fotovoltaik(FV) güneş enerjine dayalı kurulu gücü 5062.9 MW seviyesine ulaşmıştır. Bu yatırımların toplam kurulu güç içindeki payı ise % 5.71'e yükselmiştir. Türkiye'de son iki yılda FV sektör yatırımları yaklaşık % 608.15 büyüme kaydetmiştir. Mevcut durum, Türkiye'nin 2023 yılı hedeflerine hali hazırda ulaşıldığını göstermektedir.

Ülkemizde fotovoltaik uygulamalara yönelik ilgi sürekli artmaya devam ederken, güç üretimini düşüren kar yağışı ve buzlanmanın neden olduğu kayıpların belirlenmesi ile ilgili herhangi bir çalışma şimdiye kadar yapılmamıştır. Kar yağışının etkileri, önceki performans ve kazanç tahmini çalışmalarında değerlendirmelere dahil edilmemiştir (Özçalık, 2015; Ekici, 2016). Bu araştırma eksikliği gidermek için fotovoltaik güneş enerjisi yatırımlarında öncelik verilen kar yağışlı bir bölge (Konya) çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Bu tez çalışması, FV paneller üzerinde biriken kar örtüsünün neden olduğu enerji ve performans kayıplarına dikkati çekmektedir. Bu çalışmada ilk olarak Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimi ve mevcut kaynakların kullanımı incelenmiş, büyüme hedefleri içinde yer alan fotovoltaik güneş enerjisi yatırımları için Konya'nın güneş enerji potansiyeline vurgu yapılmıştır. İkinci olarak, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin kar yağışı sebebiyle uğradığı güç ve performans kaybı araştırmaları incelenmiş, FV sistem üzerindeki kar birikmesi problemine halen tatmin edici bir çözüm bulunamadığı ve mevcut mücadele yöntemleri arasında genelleme yapılacak olursa ekonomik açıdan kar-zarar ilişkisinin ön plana çıktığı görülmüştür.

Bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak kar yağışının etkilerini değerlendirebilmek ve bölgesel kayıp tahmini yapabilmek için aynı hibrid inverterin iki ayrı dize girişi ve bu dizelere ait dakikalık çözünürlükteki veri kayıtları kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal metotlarla elde edilen çalışma sonuçlarını doğrulamak için kullanılan tesis üretim verileri, bu çalışmada doğrudan güç üretim kayıplarını belirlemek için kullanılmıştır. FV dizelerin tam ve kısmi gölgeli çalışmasına neden olan olaylar ve sonuçları, geniş ve kapsamlı şekilde ele alınmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Fotovoltaik sistem özellikleri ve mevsimsel değişiklikler, kurulumun yapıldığı yere göre değişiklik gösterdiğinden, kar yağışı ve buzlanmanın neden olduğu kayıpların belirlenmesine yönelik çabalar birçok ülkede devam etmektedir. Kaynak araştırması bölümü, önceki çalışmalara ait konuyla ilgili özet bilgiler içermektedir.

Ross, (1995); FV sistem ve bileşenleri üzerinden karın kaldırılmasına yönelik araştırmasını Kanada'da gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, yerdeki kar örtüsü üzerinden yansıyan güneş ışınlarını panelin arka yüzeyinde toplayacak bir düzeneğin panel yüzeyinde biriken kar ve buzun erimesine olan katkısını araştırmıştır.

Culver ve Jäger (1998); Avusturya'nın Alpler bölgesindeki FV güç tesisinin benzetimini yapabilmek için güvenli bir meteorolojik veri kümesi oluşturmayı amaçlamıştır. Bölgenin meteoroloji istasyonundaki ölçüm cihazları oldukça güvenilir olmasına rağmen sınırlı bilgisayar hafızası ve veri iletişimindeki kesilmeler nedeniyle veri kayıpları yaşanmıştır. Güvenli bir meteorolojik veri kümesi oluşturmak için gerçekçi olmayan verileri ayırmak ve hatalı veri boşluklarını doldurmak amacıyla bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Benzetim yoluyla elde edilen değerler, FV tesisinin enerji çıkışları ile karşılaştırılmıştır. Yüksek rakımlı yerlerde açık gökyüzü ve kar yansımaları yanında, düşük sıcaklık ve rüzgarın etkisiyle panellerin daha iyi soğuması tesisin güç çıkışına katkı sağlamıştır.

Becker ve ark. (2008); Almanya'da kar yağışının FV tesis üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla 28 derecelik açıyla güney yönünde monte edilmiş bir çatı sistemini incelemiştir. FV sistem, her biri 130 Watt çıkış gücüne sahip 7,812 çerçevesiz güneş panelinden oluşmaktadır. Kar birikmesi nedeniyle oransal yıllık verim düşmesine ait değerler % 0.3 ile % 2.7 arasında değişmektedir. Çalışmanın sonuç kısmı, FV panellerin performansı üzerindeki kar yağışının etkisinin nasıl azaltılacağı ile ilgili tavsiyeler içermektedir. İlerleyen zaman içinde araştırmacılar, bu çalışmanın önerileri doğrultusunda kar yağışının etkilerini belirleme çabalarını ilerletmiştir.

Marrion ve ark. (2009); kar yağışı ve buzlanmanın FV sistem ve ölçüm cihazları üzerindeki olumsuz etkilerini gösteren bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma, kar yağışı ve buzlanmanın pyranometre ile yapılan ölçümlere etkisini ortaya koymaktadır. Isıtmalı pyranometre tarafından kaydedilen veri ile karşılaştırıldığında aynı eğim açısına sahip ısıtmasız pyranometre, farklı günlerde % 44 ila % 58 arasında düşük ışınım ölçümü göstermiştir.

Wirth ve ark. (2010); kar yağışı sebebiyle meydana gelen FV sistem arızalarının ve enerji kaybının belirlenmesi için meteorolojik uydu verilerinin kullanımını araştırmıştır. Karşılaştırma yapılan uydu veri setlerinin güvenilirliği, farklı bölgelerdeki meteorolojik gözlem istasyonu verileri ile doğrulanmıştır.

Powers ve ark. (2010); kar yağışının neden olduğu enerji kaybını eğim açısına bağlı olarak değerlendirebilmek için bir FV test sistemini Amerika, California'da kurmuştur. Test sistemi, her biri 175 W gücünde, poli-Si panellerden oluşan üç çift panelin 0° , 24° ve 39° sabit eğim açıları ile dikey yönelimli şekilde montaj edilmesiyle oluşturulmuştur. Aynı eğim açısındaki panel çiftlerinden sadece biri temizlenirken, diğer panelin üzerindeki kar temizlenmeden bırakılmıştır. 0° , 24° ve 39° eğim açıları için yıllık üretimdeki kayıp, sırasıyla % 18, % 15 ve % 12 olarak tahmin edilmiştir.

Zengraf (2011); Çek Cumhuriyetinde her biri 32.4 kWh enerji üretme kapasitesine sahip yerden montajlı özdeş iki FV sistemden birinin üzerindeki kar örtüsünü çek-çek ile temizleyerek kazancı arttırmayı amaçlamıştır. Kar temizlenme faaliyeti, günde sadece bir defa yapıldığından paneller, genellikle kar örtüsü ile kaplı kalmıştır. Ayrıca, hafta sonu ve yılbaşı tatili boyunca da paneller üzerindeki kar örtüsü kaldırılmamıştır. Temizleme faaliyetinin yıllık verime katkısı % 1.4 olarak belirlenmiştir.

Townsend ve Powers (2011); FV enerji üretimi üzerinde kar yağışının etkisinin eğim açısına bağlı olarak modellenebileceğini göstermiştir. Model yardımıyla tahmin edilen yıllık değerler, 0° , 24° ve 39° eğim açısına sahip FV paneller için sırasıyla % 26, % 17 ve % 13 olarak belirlenmiştir.

Thevenard ve Pelland (2011); uzun vadeli FV sistem kazancı tahminlerindeki belirsizlikleri ortaya koymak için istatistiksel analiz çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, Kanada'nın Toronto Eyaletinde 10 MW gücünde bir AC fotovoltaik tesisin sistem danışman modeli (Solar Advisor Model-SAM) yazılımıyla simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda kar yağışı nedeniyle meydana gelen kayıplar % 1.5 olarak tahmin edilmiştir.

Andrews ve Pearce (2012); meteorolojik zaman serisi analizi kullanılarak bir model geliştirmiştir. Bu modelin katsayıları, Kanada'da daha önce kurulmuş bir referans test alanı ve iki büyük ticari FV tesisin tahmin edilen kar kaybı değerlerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Test alanından seçilen 10° , 20° , 40° ve 70° eğim açısına sahip panellerin kısa devre akımı ve FV tesislerin gücü, bilinen bir FV performans modeli yardımıyla tahmin edilmiştir. Kar yağışının neden olduğu kayıplar, ölçülen ve

tahmin edilen değerlerin farkı alınarak belirlenmiştir. Gerekli atmosferik parametreler referans test alanındaki ölçüm cihazlarından ve en yakın meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. Çalışmanın sonuçları düşük eğim açıları için günlük ve ortalama kayıp değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilebildiği göstermiştir.

Andrews ve ark.(2013); tesis alanındaki 5°, 10°, 15°, 20°, 40° ve 60°'lik eğim açısına ve farklı FV teknolojilerine sahip paneller üzerinde araştırma yapmıştır. Tesis alanından toplanan ölçüm değerleri ve panel performans verilerinin zaman serisinden karın panel yüzeyinden kalkma süresi ile kar yağışı kayıplarını elde etmek için bir metodoloji sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda kayıpların % 1-% 3 arasında değiştiği ve yüksek eğim açısına sahip panellerde albedo etkisi nedeniyle kazancın % 1 artabileceği görölmüştür. Dolayısıyla kar yağışı nedeniyle meydana gelen kayıpların, FV sistemde kullanılan teknolojiye ve eğim açısına bağlı olduğu, bir FV sistemin çevresindeki artan albedo etkisinin, özellikle yüksek eğim açılı sistemlerde verimi arttırabildiği bulunmuştur.

Marrion ve ark. (2013); kar yağışının neden olduğu kayıpları belirleyebilmek için Amerika'nın Wisconsin ve Colorado bölgelerindeki 15° ile 35° arasında değişen eğim açısına sahip altı farklı FV sistemden ve meteorolojik ölçümlerden faydalanarak bir model geliştirmiştir. FV sistemlerin saatlik dijital görüntülerinden panellerin kar dökme zamanı ile bölgenin panel düzlemine gelen ışınım ve hava sıcaklığı verileri arasında bir ilişki kurulmuştur. Benzer bir ilişkinin, yere veya çatıya montajlı FV sistemlerin eğim açısı ve karın kayma miktarı arasında da mevcut olduğu belirtilmiştir. Bu bağıntılardan faydalanarak FV sistemdeki kar kaplı ve temiz panel sayısı tahmin edilebilmektedir. Temiz panel sayısı üretilen enerjinin miktarını belirlemek için kullanılmaktadır. Geliştirilen model, karla kaplı panellerin enerji üretmediğini varsaymaktadır. Çalışma periyodu boyunca yıllık enerji kaybının farklı FV test bölgeleri için % 1 ila % 12 arasında değiştiği bulunmuştur.

Ryberg ve Freeman (2015); farklı sistem tasarımı ve kurulum alanlarında kar yağışından kaynaklanan FV sistem kayıplarını tahmin edebilmek amacıyla Marion ve ark. (2013) geliştirdiği modeli, küçük değişikliklerle Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarının SAM modeline uygulamıştır. Ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında yıllık enerji tahmini hataları, sabit açılı sistemler için % 75'e ve tek eksenli takip sistemi için % 36'ya kadar azaltılmıştır.

Heidari ve ark. (2015); FV paneller üzerinde biriken karın neden olduğu enerji kaybını montaj yeri ve eğim açısına bağlı olarak belirleyebilmek için Amerika, Calumet'de bir test sitesi kurulumu gerçekleştirmiştir. Tesis, her biri 140 W gúcündeki dört farklı eğim açısına (0° , 15° , 30° ve 45°) sahip yedi adet poli-Si panellerden oluşmaktadır. Panellerden dördü zemin seviyesinde 0° , 15° , 30° ve 45° açılarda monte edilmiştir. Diğer üç modül, 1.5 m'lik zemin açıklığı olan yükseltilmiş bir rafta 15° , 30° ve 45° açılarında montaj edilmiştir. Üretilen güç, panellerden ölçülen kısa devre akımı ve sıcaklık verisinin STC (Standart Test Şartları) şartlarına oranlanmasıyla tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, karla ilişkili enerji kayıplarının, engelsiz, yükseltilmiş üç panel için % 5 ila % 12 ve yere yakın montajlı eğimli paneller için % 29 ila % 34 arasında değiştiğini göstermiştir.



3. KONYA İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİ

Türkiye'de Orta Anadolu Bölgesi, hem ulaşım hem de enerji üretimi ve iletimi için merkezi bir konuma sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerjiyi enterkonnekte sistem üzerinden düşük kayıp-kaçak oranı ile büyük tüketim noktalarına ulaştırılması bölgenin konumu itibarıyla mümkündür. Bu özelliği sebebiyle Orta Anadolu Bölgesi, fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri ile elektrik üretimi için çok büyük bir potansiyele sahiptir. Konya, FV tesis kurulumu için öncelik verilen bölgeler arasında yer almaktadır. Bu bölge, yatırım teşvikleri ve destek mekanizmaları sayesinde fotovoltaik güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi için yatırım açısından en cazip yerlerden biri durumuna gelmiştir. Yasal düzenlemeler sonrası bölgede FV panel talebi her geçen gün artmaktadır. Üretici firmalar, bölgede kurulacak olan yeni FV güneş enerjisi yatırımları ve mevcut FV tesislerin panel ihtiyacını karşılayabilmek ve hızla çözüme kavuşturmak için üretim kapasitesini sürekli olarak arttırmaya çalışmaktadır. Bu gelişmeler, bölgede fotovoltaik güneş enerji sektörünün ve yatırımlarının ilerleyen yıllarda daha da artacağını göstermektedir.

Türkiye'de büyük FV sistem kurulumlarının gerçekleştirildiği Orta Anadolu Bölgesi yüksek küresel ışınım değeri, uzun güneşlenme süresi, ortalama kar örtülü gün sayısı ve sıcaklık değeri ile dikkati çekmektedir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de sırasıyla Türkiye ve Konya geneline ait aylık ortalama iklim verilerinin bir karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 3.1. Türkiye aylık ortalama iklim verilerinin dağılımı*

TÜRKİYE						
Aylar	Güneş Radyasyonu (2004-2018)	Güneşlenme Süresi (1985-2018)	Minimum Sıcaklık (1970-2018)	Maksimum Sıcaklık (1970-2018)	Ortalama Sıcaklık (1970-2018)	Toplam Yağış (1970-2017)
	kWh/m ² .gün	saat/gün	°C	°C	°C	mm
Ocak	2.183	3.3	-1.6	6.6	2.2	79.3
Şubat	2.839	4.2	-0.8	8.3	3.4	67.8
Mart	4.172	5.4	2.2	12.4	7	63.5
Nisan	5.269	6.7	6.5	17.8	12	58.4
Mayıs	6.343	8.2	10.5	22.6	16.6	48.6
Haziran	7.036	10	14.3	27.5	21.2	31.7
Temmuz	6.903	10.7	17.3	31	24.4	16.6
Ağustos	6.19	10.2	17.3	31.1	24.2	16.5
Eylül	4.995	8.6	13.4	27.3	20.1	25.9
Ekim	3.528	6.2	9.1	21.2	14.5	57.5
Kasım	2.512	4.6	4.1	14.2	8.6	70.9
Aralık	1.856	3	0.4	8.5	4.1	86.3
Yıllık	4.4855	6.75	7.7	19.1	13.2	623

*<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=parametrelerinTürkiyeAnalizi>

Çizelge 3.2. Konya aylık ortalama iklim verilerinin dağılımı*

KONYA						
Aylar	Güneş Radyasyonu (2004-2018)	Güneşlenme Süresi (1929-2018)	Minimum Sıcaklık (1929-2018)	Maksimum Sıcaklık (1929-2018)	Ortalama Sıcaklık (1929-2018)	Toplam Yağış (1929-2018)
	kWh/m ² .gün	(saat/gün)	°C	°C	°C	mm
Ocak	2.273	3.3	-4.2	4.6	-0.2	37.6
Şubat	3.037	4.7	-3.3	7	1.4	28.5
Mart	4.604	5.9	-0.2	11.8	5.6	28.9
Nisan	5.501	7.1	4.3	17.5	11.1	31.9
Mayıs	6.649	8.9	8.6	22.3	15.8	43.6
Haziran	7.192	10.6	12.6	26.6	20.1	25.5
Temmuz	7.132	11.6	15.8	30.1	23.5	6.3
Ağustos	6.283	11.2	15.6	30.2	23.2	4.6
Eylül	5.145	9.5	10.9	26	18.5	12.3
Ekim	3.729	7.2	5.9	20	12.5	30
Kasım	2.69	5.3	0.8	13	6.3	32
Aralık	2.129	3.2	-2.4	6.6	1.7	42.1
Yıllık	4.697	7.375	5.4	18	11.6	323.2

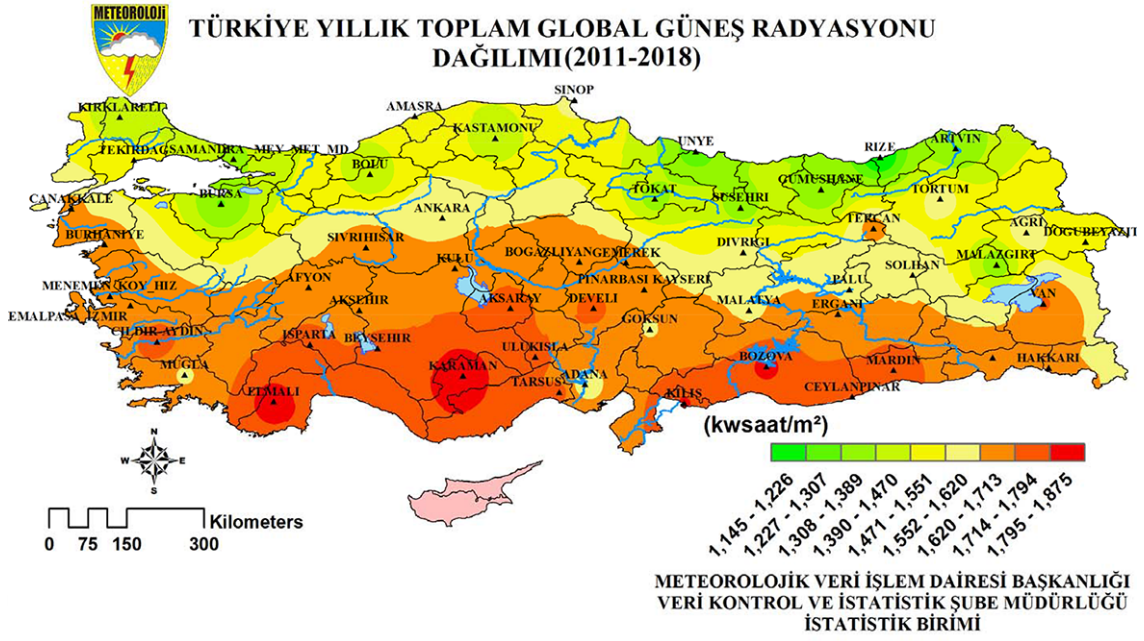
*https://www.mgm.gov.tr/kurumci/radyasyon_iller.aspx?il=konya

*<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KONYA>

3.1.Küresel Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süresi

Türkiye Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye yıllık toplam küresel güneş ışınımı dağılımı ve ortalama günlük toplam güneşlenme süresi sırasıyla şekil 3.1 ve şekil 3.2 'de verilmiştir. 2011-2018 yılları arasında Türkiye ortalama güneş ışınımı 1,583.5 kWh/m².yıl iken, Konya ve civarını içine alan 36. ve 39. kuzey paralelinin arasında kalan alanın (turuncu renk) yıllık küresel güneş ışınım değeri en az 1,620 kWh/m².yıl olmakla birlikte Türkiye ortalamasının üzerindedir. Benzer şekilde Türkiye'nin uzun yıllara dayalı (1985-2018) ortalama günlük toplam güneşlenme süresi yaklaşık 6.8 saat iken, Konya ve civarını içine alan bölgede (pembe renk), ortalama günlük güneşlenme süresi 7.3 saat'in üzerindedir (Anonim, 2018).

Şekil 3.3'de Meteoroloji Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu Konya iline ait güneş enerji potansiyeli haritası verilmiştir. Türkiye Güneş Radyasyon Dağılım haritaları için uydu tabanlı yarı dinamik bir model ile veri üretimi gerçekleştirilmektedir. Türkiye'nin 3,610 grid noktası için günlük olarak üretilen model çıktıları ile 2004-2016 yılları için 20 km çözünürlükte veri arşivi oluşturulmuştur. Verilerinin doğrulukları, 54 yer gözlem istasyonundan elde edilen ölçümler kullanılarak test edilmiştir. Model çıktılarının ortalama % 98 oranında güvenilir olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2017).

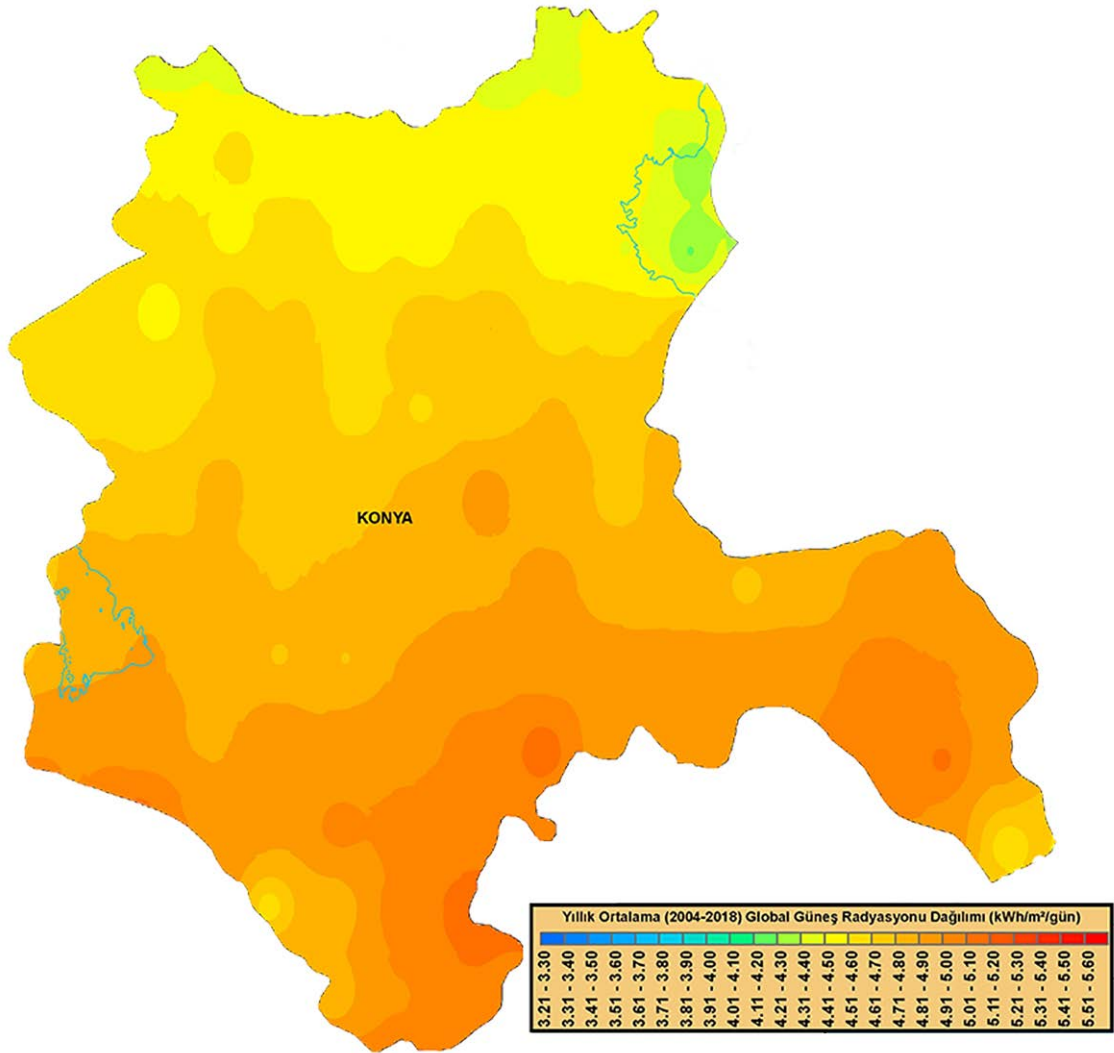


Şekil 3.1. Türkiye yıllık toplam küresel güneş ışınımı dağılımı



Şekil 3.2. Türkiye ortalama güneşlenme süresi dağılımı

Konya'da güneye yakın bölgelere doğru gidildikçe ışınlım değerlerinin arttığı görülmektedir. Özellikle Konya'nın Karapınar ilçesi, tarıma elverişli olmayan geniş arazi yapısı ve sahip olduğu yüksek küresel ışınlım değeri sebebiyle fotovoltaik güneş enerji yatırımları için en uygun bölgelerden biridir. Karapınar bölgesi fotovoltaik güneş enerji yatırımları için "Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi" olarak ilan edilmiştir.



Şekil 3.3. Konya ili güneş enerjisi potansiyeli¹

¹ https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=konya

3.2.Kar Örtülü Gün Sayısı

Şekil 3.4'de Türkiye ortalama yıllık kar örtülü gün sayısı verilmiştir. Ülke genelinde kar örtülü gün sayısı, bölgelere göre farklı ortalama değerler göstermektedir. Uzun yıllara dayalı meteorolojik ölçüm verilerine göre Doğu Anadolu Bölgesi, kar yağışının en çok etkili olduğu bölgemizdir. Bu bölgemizde karın yerde kalma süresi yıllık yaklaşık 100 günü bulmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede kurulacak FV tesislerin aylarca kar altında kalması muhtemeldir. Bu durum, Orta Anadolu Bölgesinde yılda ortalama 17.5-35.3 gün arasında değişmektedir.

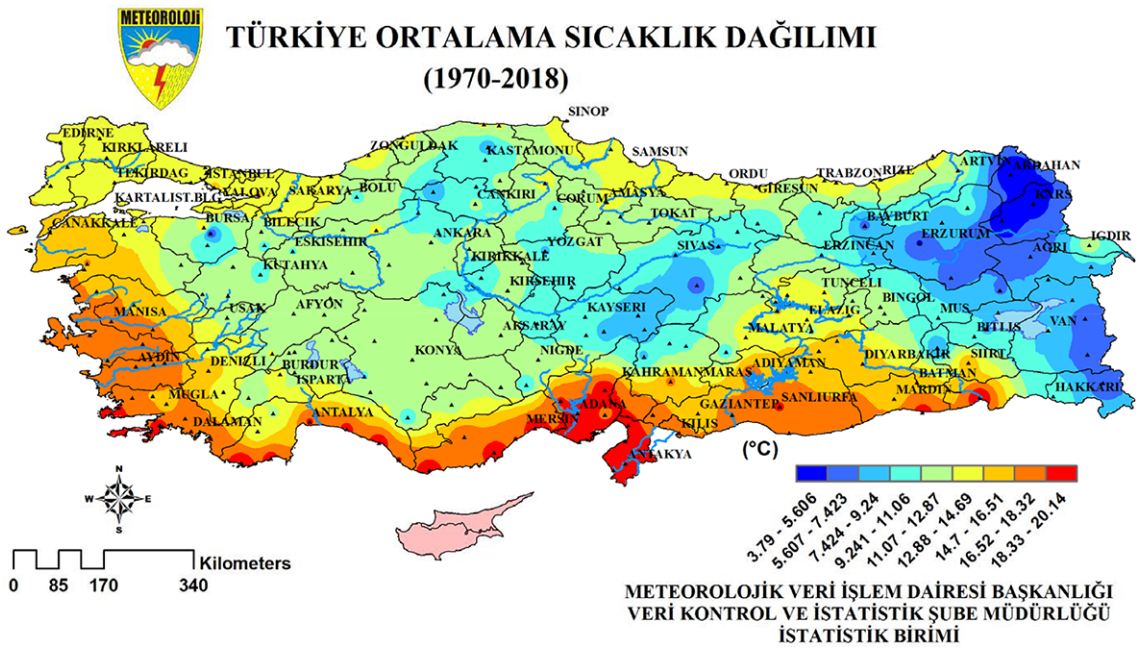
Her bölgenin farklı coğrafi konumu ve iklim özelliklere sahip olması yüzünden kar yağışının yaşandığı yerlerde kurulacak FV sistem için farklı kar kayıp değerleri elde edilir. Özellikle Konya ve civarında Kasım ayında başlayıp, bazen Mart sonuna kadar devam edebilen kar yağışları, bu bölgede kurulu FV tesislerden elde edilen kazancın azalmasına neden olabilir. Türkiye'de kar yağışı ve karın yerde kalma süresi üzerine yapılmış bir araştırmaya göre Konya'da kar yağışlı geçen gün sayısı yıllık 12 gün, kar kalınlığı yaklaşık 40cm ve karın yerde kalma süresi ise 21 gün olarak belirtilmiştir (Günel, 2013).



Şekil 3.4. Türkiye yıllık ortalama kar örtülü gün sayısı

3.3.Sıcaklık Değişimi

Türkiye genelinde mevsimlere bağlı olarak bölgesel sıcaklıklar aylar itibariyle farklılık göstermektedir. Konya ve civarını içine alan bölgede ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla en düşük $3.94\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $6.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve en yüksek $16.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Şekil 3.5'de verilen Türkiye'nin uzun yıllara dayalı ortalama sıcaklık dağılımı haritasına göre Konya ve civarını içine alan bölgenin ortalama sıcaklığı 11.07°C ile $12.87\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Bu sıcaklık ortalamalarına göre Konya ili ve civarı, FV tesislerin kurulumu için uygun bölgelerden biridir.



Şekil 3.5. Türkiye ortalama sıcaklık dağılımı

4. KAR YAĞIŞI VE BUZLANMANIN ETKİLERİ

Fotovoltaik güneş enerjisi tesislerinin kurulduğu bölgede düşük ortam sıcaklığı, panel düzlemine gelen güneş ışınımı miktarının fazla olması ve panel yüzeyinin temiz kalması, yüksek düzeyde güç çıkışı elde etmenin temel unsurudur. Üretici firma tarafından FV panel etiketinde standart test şartları için verilen parametreler, tesisin gerçek çalışma koşullarındaki performansını yansıtmaz. Çünkü fotovoltaik tesislerin gün içindeki elektrik enerjisi üretimi, bölgede sürekli değişen iklim ve çalışma ortamı koşullarından etkilenir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi kar yağışı ve buzlanma, bu olumsuz etkilerden biridir. FV güneş enerji sistemleri, kurulduğu bölgedeki şiddetli kış koşullarının yıkıcı ve zararlı etkilerine karşı fiziksel olarak dayanıklı şekilde yapılır. Ancak kar örtüsü, FV panellere güneş ışınımının ulaşmasını engeller. Dolayısıyla FV sistemin elektrik enerjisi üretimi ve kazancı düşer.



Şekil 4.1. Kar yağışının FV tesisler ve meteorolojik ölçüm cihazları üzerindeki olumsuz etkisi²

² <http://cdn2.hubspot.net/hubfs/360059/solar-panels-snow.png>
http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/02489/snow-solar_2489175k.jpg
http://www.essexham.co.uk/images/weather_sensorsnow.jpg
http://www.iac.ethz.ch/the-institute/research-focus/lab-and-field-work/_jcr_content/image.imageformat.lightbox.png

FV enerji santrallerinin ortalama enerji üretiminin tahmini, küresel ışınlam oranının tahmini yoluyla yapılabilmektedir (Chakraborty ve Sadhu, 2016). Özellikle kış mevsiminde meteorolojik ölçüm cihazlarının kar örtüsü ile kaplanması cihazlarının hatalı sonuçlar üretmesine (Marrion ve ark., 2009) ve veri kaybına yol açar (Culver ve Jäger, 1998). Günümüzde kar yağışı ve buzlanma nedeniyle ölçü aletlerinde yaşanan problemler, modern ölçü aletlerinin geliştirilmesi neticesinde aşılmıştır. Dünya Meteoroloji Birliği (WMO) tarafından onaylı meteorolojik ölçüm cihazlarında kar ve buz oluşumunu önlemek için ısıtma dirençleri ve uzaktan kablosuz veri okuma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sorun, ölçüm ve kayıt cihazlarında kayda değer şekilde azaltılmış fakat tümüyle ortadan kaldırılamamıştır.

FV güneş enerji sistemleri üzerinde kar yağışının etkilerini araştırma çalışmaları, Dünya'nın farklı coğrafi bölgelerinde gerçekleştirilmektedir. FV teknolojisi Kuzey Avrupa gibi yıllık güneş ışınlamı düşük ve Japonya, Kanada, Amerika gibi düzenli kar yağışı yaşanan ülkelerde oldukça fazla kullanılmaktadır (Heidari ve ark., 2015). FV güneş enerjisi sistemlerinin yaklaşık % 74'ü kar yağışı alan ülkelerde tesis edilmiştir (Adrews ve ark., 2012). Kar yağışına maruz kalan bölgelerde kurulu FV güneş enerji sistemlerinin kış mevsiminde kaydedilen performans kayıpları, kar ve buzlanmanın neden olduğu zararlı etkiye dikkati çekmektedir. Bununla birlikte FV panel yüzeyinden kar ve buzlanmanın temizlenmesi halen çözüm getirilememiş zorluklardan biridir. FV panel yüzeyinde toplanan kar ve buz ortadan kaldırırken diğer yandan enerji verimliliğini azaltmayacak metotlara ihtiyaç vardır.

4.1.Kar Yağışı ve Buzlanma ile Mücadele Metotları

Kar ve buzun kaldırılmasına yönelik çözümler, aktif ve pasif çözümler olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Aktif çözümler, kar ve buzun yüzeyde oluşumundan sonra kaldırılmasına yönelik yöntemlerdir. Bu yöntemler mekanik sıyırma, ısıtma işlemleri ve buz çözücü sıvıların kullanımı içerir. Pasif çözümler ise herhangi bir yüzeyin kullanımından önce kar ve buzun yapışmasını önleyecek veya kendi ağırlığı altında tabakalara ayrılmasına neden olabilecek işlemleri içerir. Aktif yöntemler halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Pasif yöntemlerin ise birkaç endüstriyel kullanımı bulunmaktadır. Pasif yöntemler, çok fazla enerji tüketen, üretmesi ve işletmesi pahalı olabilecek aktif yöntemlerden daha ucuz bir seçenektir. Bununla birlikte günümüzde, yüzeyinde buz veya kar birikmesini tamamen engelleyebilecek bilinen bir malzeme bulunmamaktadır (Fillion ve ark., 2014).

4.1.1.Yüzey ısıtma sistemi

Kar yağışı ve buzlanmanın önlenmesinde ilk akla gelen metotlardan biri kar ve buzlanmanın meydana geldiği yüzeyin ısıtılmasıdır. Yüzey ısıtma yöntemi, ısıtılacak alanın büyüklüğüne ve ısıtma süresine bağlı olarak sıcak hava, su veya yağ dolaştırılarak yada elektrikli kablolar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Yüzey ısıtma için tercih edilen bu yöntemler farklı ekonomik gerekçelerle değişik alanlarda uygulanmaktadır

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi karayolu ve havayolu kaplamalarının can ve mal güvenliği açısından kar ve buzlanmaya karşı ısıtılması, tüm dünyada uygulanmakta olan bir yöntemdir. Oslo Havalimanı'nda bazı kapı alanları ile uçak park alanlarını kar ve buzdan uzak tutmak için jeotermal ısıtmalı su sistemleri kullanılmaktadır. Chicago O'Hare Uluslararası Havalimanı'nda, karayolları üzerinde ısıtmalı yağ taşıyan gömülü borular bulunmaktadır. Boston Logan Uluslararası Havaalanı gibi büyük havaalanları terminal bölgeleri, dev kar eriticiler barındırmaktadır. Arkansas Üniversitesinde güneş enerjisiyle çalışan bir ısıtmalı pist projesi gerçekleştirilmiştir. Isıtılmış yollar, kar ve buzlanma sorununu tümüyle çözemese de kar temizleme süresini azaltarak seyahat aksaklıklarını en aza indirebilir (McCartney, 2014).



Şekil 4.2. Isıtılmış uçak pisti kaplaması³

³ https://si.wsj.net/public/resources/images/PJ-BT359_MIDSEA_GR_20140219163836.jpg
<http://blog.pfump.org/wp-content/uploads/2018/02/fussboden-768x432.jpg>

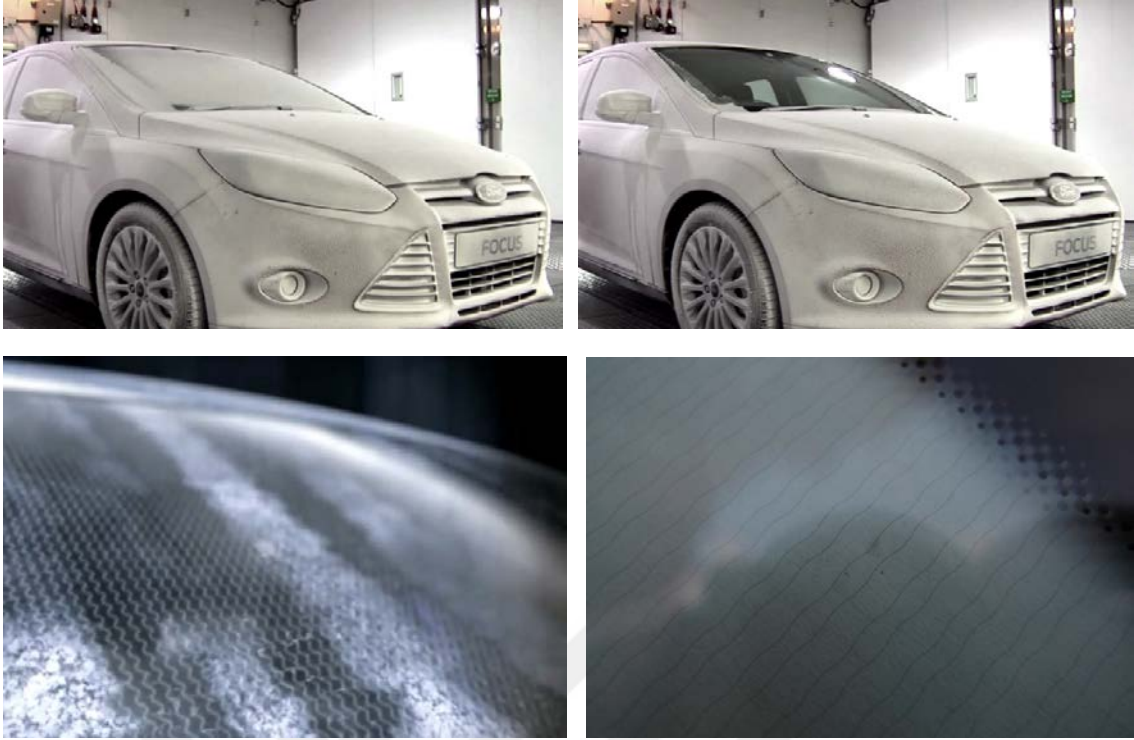
Çatılarda biriken kar ve buzlanmayı temizlemenin en kolay yollarından biri şekil4.3.'de görüldüğü gibi ısıtma kablolarıdır. Bu sistemler, tüm çatıyı ısıtmak ve temizlemek yerine en sorunlu bölgelere özellikle buz sarkıtlarının oluşması muhtemel olan çatı kenarları boyunca zikzak şekilde yerleştirilir. Isıtılmış kablolar ayrıca kare veya uzun metal plakalarla kaplanabilir. Genellikle bakır veya alüminyumun tercih edildiği bu plakalar, ısıtma etkisini arttırmaya ve yaymaya yardımcı olmaktadır. Açıkta kalan ısı kabloları plakaların altına yerleştirilenlerden daha az etkili olmaktadır. Ayrıca hasar görme olasılığı da daha yüksektir. Isıtma kabloları, çatıya kar veya buz birikmeye başladığında çalıştırılıp kar ve buz eritildikten sonra çatı kaplamasına zarar vermemek ve yangın riskini önlemek için kapatılmalıdır (Anonymous, 2017).



Şekil 4.3. Çatılarda kar ve buzlanmaya karşı ısıtma kabloları⁴

Elektrik akımı verilen saydam direnç telleri, şekil 4.4'de görüldüğü gibi çeşitli kara, hava ve deniz taşıtlarının camları üzerinde buz ve buğulanmayı çözmek için kullanılmaktadır. Bu tür camlarda ısıtma elemanı olarak, düşük kesit alanına ve yüksek direnç değerine sahip iletkenler kullanılır. Bu iletkenler, plastik ve şeffaf bir bağlayıcı üzerine döşenir. İki cam arasına alınan iletkenlerin ısı ve basınç altında laminasyonu yapılır. Bu yapı, çok ince ve hassas direnç tellerini dış ortamın etkilerinden koruyarak elektriksel izolasyon sağlamaktadır. Isıtma dirençlerinin dış dünya ile bağlantısı camın dış kenarından çıkarılan bağlantı soketleri vasıtasıyla sağlanır. Isıtma dirençleri için gerekli güç, araçlardaki 14VDC gerilime sahip akü veya akü grubu üzerinden temin edilmektedir.

⁴ <http://www.icedamcompany.com/wp-content/uploads/Heat-tape-installation-project-Edina-Minnesota-Ice-Dam-Company.jpg>
<http://www.victoryhomesltd.com/wp-content/uploads/heat-tape-for-roofs-heat-cable-options-the-technical-stuff-728x437.jpg>



Şekil 4.4. Isıtımlı otomotiv ön ve arka cam uygulaması⁵

Yüzey ısıtma teknolojilerinin fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri üzerinde uygulamaya geçmiş bir çalışma henüz bulunmamakla birlikte, literatürde konuyla ilgili geliştirilmiş patent örnekleri yer almaktadır. Bu çalışmalardan birinde Mckarris (2012), FV panel yüzeyine uygulanabilecek ince bir katman içine gömülmüş çeşitli geometrik şekillere sahip saydam veya mat iletken yol örnekleri içeren bir patent geliştirmiştir. Başka bir çalışmada Straten (2015), kar, don, dolu ve buz varlığını ortadan kaldırmak için çalıştırılan bir ısıtıcı ile donatılmış güneş paneli tasarımı sunmuştur. Tasarım, panel çerçevesi ve yalıtımlı arka yüzey yardımıyla güneş panelinin arka kısmında oluşturulan odacıklarda ısıtma dirençleri ile ısıtılan havanın doğal yollardan dolaşımını esas almaktadır.

⁵ http://2.ford.hr/gofurther/images/quick-clear_3.jpg
http://2.ford.hr/gofurther/images/quick-clear_2.jpg
<http://avtomotospec.ru/wp-content/uploads/2013/07/niti-nakalivaniya-lobovogo-stekla.jpg>

4.1.2.Kendi kendini temizleyen yüzey kaplamaları

Hidrofobiklik (su sevmez) ve kendi kendini temizleyen yüzeyler ilk kez doğada gözlenmiştir. Doğada bulunan biyolojik sistemleri yeniden oluşturma arzusu, literatürde bulunabilen gelişmiş işlevsel materyallerin veya cihazların geliştirilmesine yol açmıştır. Süperhidrofobik ve kendi kendini temizleyen yüzeyler, şekil 4.5'deki gibi bir Lotus yaprağını ve su üzerinde hızlı hareket eden ince bir yırtıcı böceğin bacağına taklit eder.



Şekil 4.5. Doğada bulunan hidrofobik yüzey örnekleri (Su patencisi -Water strider ve Lotus Bitkisi-Nelumbo Nucifera)⁶

Hidrofobikliğin değerlendirilmesi, suyun bir yüzeyle temas ettiği açının ölçülmesiyle yapılır. Çoğu doğal malzeme hidrofildir. Hidrofilik bir yüzey üzerindeki su damlası, mümkün olduğunca büyük bir yüzey kaplar ve böylece su temas açısı önemli derecede düşük olur. Su temas açısı 90° den büyük olan bir yüzeye genellikle hidrofobik, su temas açısı 140° den daha yüksek olan bir yüzey ultra hidrofobik ve çok yüksek su temas açısı olan yüzeyler, özellikle de 150° den büyük yüzeyler, süper hidrofobik yüzeyler olarak nitelendirilir.

Lotus çiçekleri çamurlu sularda bile kir ve kirlilikten etkilenmeyerek temiz kalabilir. 150° den daha büyük su temas açısı değerlerine ulaşan Lotus yaprağının "kendi kendini temizleyen" yüzeyi, hidrofobik ve pürüzlüdür. Yüzeyi, iki katmandan oluşur; mikro boyutlu pürüzlülüğe sahip alt tabakası, nano boyutlu pürüzlülüğe sahip hidrofobik kristal-loidli ikinci bir mumsu tabaka ile örtülüdür (Fillion ve ark., 2014).

⁶ <http://stephenornes.com/wp-content/uploads/2012/12/pondskater.jpg>
<https://www.shutterstock.com/video/clip-11405696-stock-footage-water-drops-on-the-lotus-leaf-nelumbo-nucifera-with-sound-lotus-effect.html>

Son birkaç yılda FV panellerde kar, buz, kir ve tozun toplanmasını önlemek için üzerinde çalışılan önemli metotlardan biri de kendini temizleyen pürüzsüz yüzeyler elde etme denemeleridir. Bu amaçla panel yüzeyine hidrofobik veya süperhidrofobik nano teknoloji ürünü koruyucu kaplamalar uygulanmaktadır. Andrews ve ark., (2013) hidrofobik yüzey kaplamaların kar dökme etkinliğini araştıran çalışmaları, FV panel yüzeyine uygulanan hidrodinamik kaplamaların kar temizliği üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını hatta bazı durumlarda bu kaplamaların karın dökülmesini engelleme eğiliminde olduğunu göstermiştir.

Günümüzde, FV güneş enerjisi sistemlerinin toz, kir, kar ve buz birikimi gibi performans azaltıcı iklim ve çalışma ortamı koşullarına karşı mikro ve nano teknoloji ürünü su tutmaz kaplamaların geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Fillion ve ark., (2014) süperhidrofobik kaplamalarla ilgili literatür araştırması, bu tür kaplamaların güneş enerjisi cihazlarının verimliliğini artırabileceğini ve zamanla etkinliğin bozulmasını önleyebilecek arzu edilen özellikleri göstermek üzere tasarlanabileceğini bildirmiştir.

Endüstriyel kullanım için bir yüzeyin hidrofobik kaplama ile kaplanmasında kullanılacak yöntem seçilirken, parasal maliyeti, basitliği ve büyük ölçekli imalat için bir prosese uygunluğu dikkate alınmalıdır. Güneş enerjisi endüstrisinde kullanılmak üzere etkili bir buza dirençli kaplama tasarımı, bir çok etkenin yanı sıra buza mukavemet özelliklerinin optimizasyonunu gerektirir. Tamamen optimize edilmiş bir süperhidrofobik kaplama, buz, kar, kir ve toz birikimini önleyerek güneş aygıtlarının verimliliğini korumak için büyük umut vaat etmektedir.

4.1.3.Mekanik ve el ile kar temizleme metotları

Günümüzde mevcut bina çatıları fotovoltaik (FV) sistemler, güneş kolektörleri, havalandırma ve güvenlik cihazları gibi çeşitli ürünleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu sistemler bina için hem güneş ışığı ve havalandırma hem de elektrik ve sıcak su temini sağlayarak yaşam kalitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Binaya entegre edilen veya binaya uygulanan fotovoltaik sistem kurulumlarında riskler, kar yükleri ve kar erimesinin oluşturduğu etkiler olarak ortaya çıkmaktadır.

Çatıda biriken kar örtüsü, binanın dış hava şartlarından iyi yalıtılmış olduğu anlamına gelir. Bununla birlikte binanın çatısı üzerinde biriken kar kaldırılmadığında çatının kenarlarında buz sarkıtları oluşturmaya başlar. Bu kar birikintileri ve buz sarkıtları, çatıya ek yükler getirerek hem bina hem de bileşenleri için şekil 4.6'da görüldüğü gibi yıkıcı sonuçlar doğurabilir.



Şekil 4.6. Kar ve buz birikintilerinin yıkıcı etkilerine ait örnekler⁷

Çatılarda sürtünmeyi azaltarak kar dökülmesini kolaylaştırabilecek çatı düzenlemeleri, büyük kar kütlelerinin beklenmedik bir şekilde çatıdan aşağı dökülmesiyle beraber istenmeyen zararlara yol açabilir. Çatıda biriken kar ve buzun kontrollü şekilde kürenmesi veya buz sarkıtlarının kırılması, binanın yakınındaki insan ve araçlar için güvenlik problemi oluştururken, temizleme işlemini yapan kişilerin çatıdan kayması veya merdivenden düşmesi gibi olası tehlikeler, yaralanma hatta ölümle bile sonuçlanabilir. Ayrıca bu işlem sırasında çatı malzemeleri ve yapısı da hasar görebilir.

⁷ <http://reconstruction380.com/wp-content/uploads/2015/10/roof-collapse.jpg>
http://www.northjersey.com/polopoly_fs/1.1278411.1424930031!/fileImage/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/box_780/022615-ts-solarpaneldown.jpg

Yerleşim bölgelerinden uzakta, özellikle kış mevsiminde zorlu ulaşım ve arazi şartları altında bünyesinde yüzlerce panel barındıran ve çok büyük alan işgal eden güneş çiftliklerindeki panellerin şekil 4.7'de görüldüğü gibi geleneksel yöntemlerle temizlenmesi hem ihtiyaç duyulan zaman hem de gerekli personel, ekipman veya makine miktarı nedeniyle büyük maliyetler gerektirdiğinden hemen hemen imkansızdır.

Mekaniksel temizleme metotları, yüzeyin çizilmesine ve panel verimliliğinin düşmesine neden olur. Ayrıca bu işlem sırasında panel ve bileşenlerinde oluşabilecek hasarlar üretici firmanın garanti kapsamı dışındadır. Mekanik temizleme faaliyetlerinin etkinliği, kullanılan insan gücü ve temizleme açısından değerlendirildiğinde büyük tesisler ve FV çatı uygulamaları için uygun bir metot olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Mekanik ve el ile güneş enerji sistemlerinin temizlenmesine ait örnekler⁸

⁸ http://www.jiuzhousolar.com/editor/attached/image/20161108/20161108151804_22492.jpeg
http://wildernessministries.ca/2016_files/vlb_images1/ron_blowing_snow_off_solar_panels_139.jpg
http://burningcutlery.com/solar/snow-2007dec/IMG_0898.JPG
<http://www.willmarforklift.com/wp-content/uploads/2017/02/ROOF-RAKE.jpg>

4.1.4. Kimyasal çözücüler

Karayolu ve havayolu taşımacılığı kış aylarında kar yağışı ve buzlanmadan en çok etkilenen ulaşım sektörüdür. Kar yağışı ve buzlanma nedeniyle araçların yol tutuşu ve kontrolü zorlaşır. Yolcular, karayolu ve havalimanlarında mahsur kalır. Kış mevsiminde karayollarında ve yaya kaldırımlarında şekil 4.8'de görüldüğü gibi süpürücü araçlar ile birlikte buz çözücü olarak tuz kullanılır. Ancak aşındırıcı özelliğinden dolayı uçaklara ve jet motorlarına zarar verebileceğinden havalimanlarında tuz yerine pistleri hızlı bir şekilde temizleyebilen kimyasal sıvılar kullanılır. Bu ekipmanlarla kar ve buzlanmanın temizlenmesi günlerce sürebilir ve gecikmelere neden olur. Dolayısıyla hava şartları uygun olsa bile ulaşım yapılamaz.



Şekil 4.8. Karayolları ve yaya kaldırımlarında kar ve buzlanma ile mücadele⁹

⁹ https://i.ytimg.com/vi/r0qp9Ru88_o/maxresdefault.jpg
<https://thenanfang.com/wp-content/uploads/2016/01/road-salt-02.jpg>
<http://www.northviewgroup.ca/wp-content/property-maintenance-images/industrial-snow-clearing-greater-toronto.jpg>
<http://p3.pstatp.com/large/594c000575d1913bff8d>

Çatıdaki kar veya buzu çatıya zarar vermeden temizlemenin en iyi yolu, şekil4.9'da görüldüğü gibi tuzsuz kimyasal çözücü tabletler kullanmaktır. Bu tabletler, az miktarda buzun temizlenmesinde nispeten ucuz ve kullanımı kolay olduğu için kısa vadeli bir çözüm olarak tercih edilmektedir. Bu uygulamanın olumsuz yanı, tabletleri yerleştirmek için düzenli olarak çatıya çıkmak zorunda olunmasıdır. Ayrıca buz tabletleri bahçe bitkilerinin zarar görmesine, çatıda ve/veya oluklarda kullanılan çivi ve vidaların aşınmasına ve binanın boyasının hasar görmesine neden olabilir (Anonymous, 2017).



Şekil 4.9. Çatılarda kar ve buzlanmaya karşı tuz tabletleri¹⁰

Kimyasal çözücü ve temizleyicilerin kullanıldığı alanlardan biride fotovoltaiik ve konsantre güneş enerjisi üretim tesisleridir. Güneş panellerinin özellikle kuş pisliği, toz ve kirlenmenin yoğun şekilde yaşandığı yerlerde sık sık temizlenmesi gerekir. Kimyasal çözücü ve temizleyicilerle panellerin temizlenmesi, gerekli kimyasal çözücü, su, personel, ekipman ve makine gerektirir. Bu ekipmanlarla panellerin temizlenmesi kış şartlarında çoğu zaman imkansızdır.

¹⁰ <https://i1.wp.com/www.metalroofs.org/wp-content/uploads/2016/12/Roof-Melt-Tablets.jpg?ssl=1>
<https://i2.wp.com/www.metalroofs.org/wp-content/uploads/2016/12/ice-melt-salt-pucks.jpg?ssl=1>

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1.Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Üretim Tesisi

Şebeke bağlantılı fotovoltaik elektrik enerjisi üretim tesisi ve güç sistem bileşenleri sırasıyla şekil 5.1 ve şekil 5.2'de görülmektedir. Fotovoltaik güneş enerjisi tesisi, iki dize olarak toplam 36 panel ile birlikte DC akımı, AC akıma dönüştüren bir hibrid inverter ve akü grubundan oluşmaktadır.

Tesis, Konya Teknik Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu arka bahçesinde yaklaşık 350 m² alan içine kurulmuştur. Panellerin en alt kenarının yerden yüksekliği, yaklaşık 70 cm ve panellerin kurulum alanı yaklaşık 60 m²'dir. Tesis, 38.029649 N enlemi ve 32.50487 E boylamında, deniz seviyesinden 1031 m yükseklikte yer almaktadır.



Şekil 5.1. Fotovoltaik enerji üretim tesisi

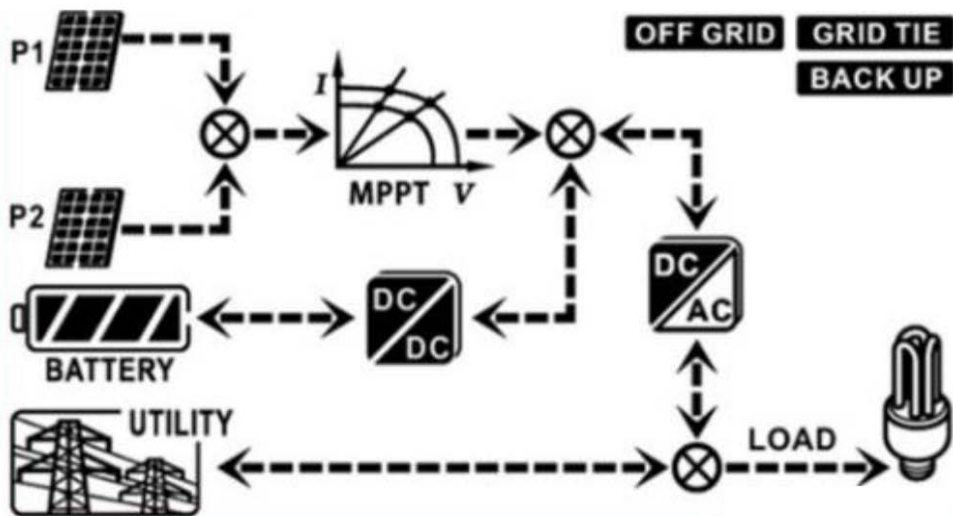


Şekil 5.2. Şebeke bağlantılı fotovoltaik tesisin güç sistem bileşenleri

5.1.1. Şebeke Bağlantılı Hibrid İnverter

İnverter, şebekeye bağlı mevcut FV tesisin temel bileşenidir. Panellerden elde edilen DC gücü, şebeke ile senkron çalışarak AC güce dönüştürmektedir. Bu temel görev, 10 kVA nominal güce sahip ABAX marka üç fazlı hibrit bir inverter kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Saf sinüs çıkış dalga şekline sahip hibrid inverter, mevcut enerji kaynağının durumuna göre şebeke bağlantılı (on-grid) ve şebekeden bağımsız (off-grid) olmak üzere iki temel çalışma durumu için farklı konfigürasyon seçenekleri sunmaktadır. Şekil 5.3, farklı sistem gereksinimlerine göre inverterin çalışma biçimlerini göstermektedir. Bu özellikler, kullanım amacına göre inverterin arayüz yazılımı ile devre dışı bırakılabilir veya etkinleştirilebilir. Farklı sistem gereksinimlerine göre inverterin çalışma biçimleri için inverter veri sayfasına bakılmalıdır

Kısmi gölgeleme veya bulutlanma olaylarının genel performans üzerindeki etkilerini azaltmak için hibrid inverter, iki ayrı dize girişi ile donatılmıştır. İnverterin kendine özgü bu yapısı, kar yağışının etkilerini aynı inverterin iki farklı dizesi üzerinde incelememize imkan vermektedir. İnverterin her bir dize girişinde birbirine seri olarak bağlanmış 18 panel bulunmaktadır. Bununla birlikte inverter, dizelerden maksimum güç çıkışı elde etmek için maksimum güç noktası takip sistemi (MPPT) ile donatılmıştır. Her dizedeki panel sayısı dolayısıyla dizelerin toplam çıkış gerilimi, inverterin MPPT çalışma gerilimini tüm yıl boyunca aşmayacak şekilde seçilmiştir. İnverter genel teknik özellikleri EK-1'de verilmiştir (Anonymous4, 2018).



Şekil 5.3. Farklı sistem gereksinimlerine göre inverterin çalışma biçimleri

5.1.2. Fotovoltaik Paneller

Tesisin kurulumunda kullanılan FV paneller, mono-kristal yapıya sahiptir. FV paneller, güney yönünde, yatay doğrultuda ve 30° sabit eğim açısıyla taşıyıcı sistem üzerine montaj edilmiştir. Tesisin kurulumunda Endüstriyel marka fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Panellerin teknik özellikleri, çizelge 5.1'de verilmiştir. Dizelerden biri, 18 adet M60-265 panelden oluşmaktadır. Diğer dize ise 8 adet M60-270A ve 10 adet M60-265 panelden oluşmaktadır. Fabrikada aynı üretim bandından çıkan paneller arasında 5W'lık fark bulunmaktadır. Bununla birlikte, bir panelden elde edilecek güçte 0 - % 3 arasında değişiklik olabileceği üretici firmanın panel etiketinde belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Endüstriyel marka M60-265 ve M60-270A mono-kristal yapılı fotovoltaik panel özellikleri (STC, 1000W/m²; 25°C; AM 1.5G)

Marka		M60-265	M60-270A
Maksimum Güç (0-3%)	P_{mp}	265W	270W
Panel kısa devre akımı	I_{sc}	8.664 A	9.301 A
Panel açık devre gerilimi	V_{oc}	38.55 V	39.05 V
Maksimum güç noktasındaki gerilimi	V_{mp}	31.24 V	31.3 V
Maksimum güç noktasındaki akımı	I_{mp}	8.482 A	8.626 A

5.1.3. Akü Grubu ve Kritik Yük

İnverter, FV sistemden elde edilen güç ile bir yandan akü grubunu şarj ederken diğer yandan çıkışındaki kritik AC yükü beslemektedir. Arta kalan güç, şebeke ile senkronize şekilde okulun elektrik tüketimini desteklemektedir. Akü grubu, birbirine seri şekilde bağlı 4 adet 12 V-200 Ah'lik, uzun ömürlü Deep Cycle jel tipi aküden oluşmaktadır. Akü grubu, şebekedeki elektrik kesintileri sırasında inverterin AC çıkışındaki kritik yükü beslemek için kullanılmaktadır. Kritik yük, tesisi aydınlatmak için kullanılan iki adet LED projektör lambası (Helios LMCP70W, Beyaz, 220VAC) ve üretim verilerini kaydetmek için kullanılan bir masaüstü bilgisayardır.

5.2. Metodoloji

Bu çalışmada kar yağışı ve buzlanmanın etkilerini değerlendirmek için şebeke ile bağlantıyı sağlayan hibrid inverterin dakikalık çözünürlükteki veri kayıtları kullanılmıştır. Güç sistem bileşenlerine ait işletme verileri(güç, gerilim, frekans vb.), deney düzeneği ve ölçüm cihazlarına gerek olmaksızın inverter yazılımı sayesinde hem görsel hem de sayısal biçimde elde edilmiştir. Bu veri, Ocak 2017'den başlayarak iki yıl süreyle yakından takip edilmiş ve tesisin iki dizesi tarafından üretilen gücün zaman içindeki değişimi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Kar yağışlı geçen günlerde dizelerden biri, her yarım saatte bir çek-çek ile sürekli temiz tutulmaya çalışılmıştır(Şekil 5.4). Diğer dize üzerinde biriken kar örtüsüne müdahale edilmemiştir. Bu kar örtüsünün dış ortamın etkisiyle panel yüzeyinden doğal yollarla kalkması beklenmiştir. Kar yağışının neden olduğu kayıp, temiz tutulan ve kar kaplı bırakılan FV dizelerin güç çıkışı karşılaştırılarak belirlenmiştir. Kar temizleme faaliyeti, tatil günlerinde ve hafta sonlarında da aksatılmadan sürdürülmüştür. Her dizeden elde edilen güç miktarını yorumlayabilmek ve temizleme faaliyeti sırasında harcanan süreyi belirleyebilmek için, her bir temizleme faaliyeti öncesi ve sonrası tesis alanın cep telefonu ile fotoğrafı çekilmiştir. Bununla birlikte, fotovoltaik sistem ve bileşenleri üzerinde biriken kar, hem kar yağışı sırasında hem de kar yağışı sonrasında rüzgarın etkisiyle çevreye dağılmakta ve ortamda farklı kar kalınlığı değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle, kar yağışı sonrası panellerdeki kar kalınlığı, bir kaç farklı noktadan düzenli olarak ölçülmüştür.

FV panel yüzeyinde oluşan kar ve buzu kaldırmak için uygulamada mekanik sıyırma, ısıtma işlemleri ve buz çözücü kimyasal sıvılar kullanılabilir (Fillion ve ark, 2014). Bu yöntemlerin her birinin kendine özgü dezavantajı olmakla birlikte uygulanabilirliği küçük ölçekli FV sistemlerle sınırlıdır. FV panelleri bilinen bu geleneksel yöntemlerle sürekli temiz tutmaya çalışmak oldukça güçtür. Temizleme sıklığının artırılması temizleme maliyetini arttıracaktır. FV sistemin yapısına zarar vermeden ve performansını azaltmadan üzerinde kar ve buzun toplanmasını önleyebilen bilinen pratik bir metot yoktur. Bu nedenle mekanik sıyırma metodu, diğer yöntemlere kıyasla daha çevre dostu ve az maliyetli olduğu için tercih edilmiştir. Bu metot, literatürdeki diğer çalışmalarda da kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 5.4. Fotovoltaik dizelerin çek-çek ile temizlenmesi

5.2.1. Meteorolojik Veri

Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin performans ve kayıplarını deneysel ve sayısal metotlarla değerlendirecek araştırmacılar için güncel ve güvenilir meteorolojik verilere ihtiyaç vardır. Meteorolojik bilgiler, yerel meteoroloji istasyonları veya test alanında kurulu ölçüm cihazlarından ve küresel çevre örgütlerinin erişime açık internet sitelerinden temin edilir.

Bu seçenekler arasında en güvenilir birincil veri kaynağı, Ulusal meteoroloji istasyonlarıdır. Veriler, meteorolojik uydu sistemleri ve yeryüzü gözlem istasyonlarındaki standartlara uygun şekilde kalibrasyonu yapılmış cihazlardan elde edilir. Bu verilerin doğruluğu, meteoroloji konusunda bilgi ve deneyime sahip personel tarafından uygun yöntem ve teknikler kullanılarak sürekli kontrol edilmektedir. Bununla birlikte, uydu ve yer gözlem istasyonu verilerini dolaylı yollarla internet üzerinden sunan WEB siteleri ve cep telefonu uygulamaları da bulunmaktadır. Bu veriler çoğunlukla bilgilendirme amaçlıdır ve düşük veri çözünürlüğüne sahiptir. Ayrıca bu siteler, detaylı veri için ücret talep etmektedir.

Diğer bir veri kaynağı, FV tesis alanına yerleştirilen meteorolojik ölçüm cihazlarıdır. Bu cihazlardan doğru ve güvenilir bilgi almak için araştırmacıların tesis alanında yer seçimini doğru yapması, ölçülecek nicelik ve kayıt sistemi hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Ayrıca bu cihazlar, yüksek maliyet dezavantajı yanında, belirli aralıklarla kalibrasyona ihtiyaç duyar.

Türkiye genelinde 2006 yılından sonra günlük güneşlenme şiddetlerini ölçen istasyonlar kaldırılarak otomatik ölçüm istasyonları kurulmaya başlanmıştır. Konya bölgesi ile ilgili meteorolojik veriler, mevcut 51 adet otomatik ölçüm istasyonu ile ölçülmektedir. Bu ölçüm istasyonları içinde küresel ışınım ölçümü yapan en yakın meteoroloji istasyonu, Meteoroloji 8. Bölge Müdürlüğüne bağlı Konya Bahri Dağdaş Meteoroloji İstasyonudur(istasyon no:18213). Tesis alanı ile ilgili gerekli atmosferik veriler (ışınım, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı) bu istasyondan dakikalık çözünürlükte temin edilmiştir. Bu ölçüm istasyonu, tesis alanı ile aynı enlemde (Enlem 37.8606 N, Boylam 32.5839 E ve Yükseklik 1,011m) ve test alanına yaklaşık 20 km mesafededir.

Büyük hava kütleleri çok hızlı değişen dinamik bir yapıya sahip değildir. Bu değerler, birbirine yakın bölgeler arasında bıçakla kesilmiş gibi bir anda büyük farklılıklar gösteremez. Dolayısıyla meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler, tesis alanındaki hava olaylarını küçük farklılıklarla ifade etmektedir. Literatürde bölgesel meteoroloji istasyonu verilerinin kullanıldığı çeşitli çalışmalarda benzer uzaklıktaki meteoroloji istasyonlarına ait veri kayıtları kullanılmıştır (Culver, 1998; Andrews, 2012).

Bu çalışmada sunulan ulusal meteoroloji istasyonu verileri, kar yağışı ve buzlanmanın tesis üzerindeki etkilerini açıklayabilmek ve bu etkileri inverter veri kayıtları ile ilişkilendirebilmek için kullanılmıştır. Bununla birlikte, kar yağışının etkili olduğu günlerde tesis ile ilgili gözlem ve incelemeler, tesis alanının belirli aralıklarla çekilen fotoğrafları, sonuçların yorumlanmasına imkan vermektedir. Fakat, üretim verileri ve hesaplanan kayıp değerleri, tümüyle inverter verilerine dayanmaktadır.

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Günlük Enerji Üretim Kayıpları

2017 ve 2018 yıllarını kapsayan çalışma periyodu içinde en çok kar yağışı, 2017 Ocak ayında meydana gelmiştir. Hem kar yağışı sırasında hem de kar yağışı sonrası buzlanmanın da etkisiyle uzun süre panellerin kar örtüsüyle kaplanması fotovoltaik tesislerin enerji üretimlerini düşürmektedir. 2 Ocak-5 Ocak 2017 ile 8 Ocak-11 Ocak 2017 tarihleri arasındaki farklı özelliklere sahip kar yağışının etkili olduğu bir kaç günlük periyot, değişen ortam ve çalışma şartlarını içerecek şekilde kar temizleme olaylarını karakterize etmek için örnek olarak seçilmiştir. Bu örnek periyot aralıkları, paneller üzerinde biriken kar örtüsünün neden olduğu parçalı ve tümüyle kar kaplı çalışmanın etkilerini ortaya koymaktadır. Temizlenen ve kar kaplı bırakılan dizelerin gün içindeki anlık güç değişimleri ile birlikte bölgedeki küresel ışınım, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Konya'da Ocak ayında gün doğumu ve gün batımı yaklaşık olarak sırasıyla sabah saat 08.00'de ve akşam saat 18.00'de (GMT+3) gerçekleşmektedir. Kış aylarında özellikle kar yağışı ve buzlanma olayları sabah erken saatlerde ulaşımı güçleştirmektedir. Bu nedenle, bazı günler kar temizleme faaliyeti sabah 1 saat geç başlamıştır. Sabah, her iki dize de kar örtüsüyle kaplı ve ışınım çok düşük olduğundan fotovoltaik hücrelere ulaşan gün ışığı panellerde güç üretimi için yetersizdir. Işınımın artmasıyla birlikte dizelerin çıkış gerilimi, MPPT devresinin çalışma değerine ulaştığında inverterde güç üretimi başlamıştır. Benzer şekilde, gün sonunda dize gerilimi MPPT devresinin çalışma sınırının altına düştüğünde dizelerde güç üretimi durmuştur. Ancak, sabah erken saatlerdeki mevcut ışınım ve üretilen güç oldukça düşük olduğundan hesaplanan kayıp değeri, gerçekte olması gerekenden biraz daha küçük çıkmış olabilir.

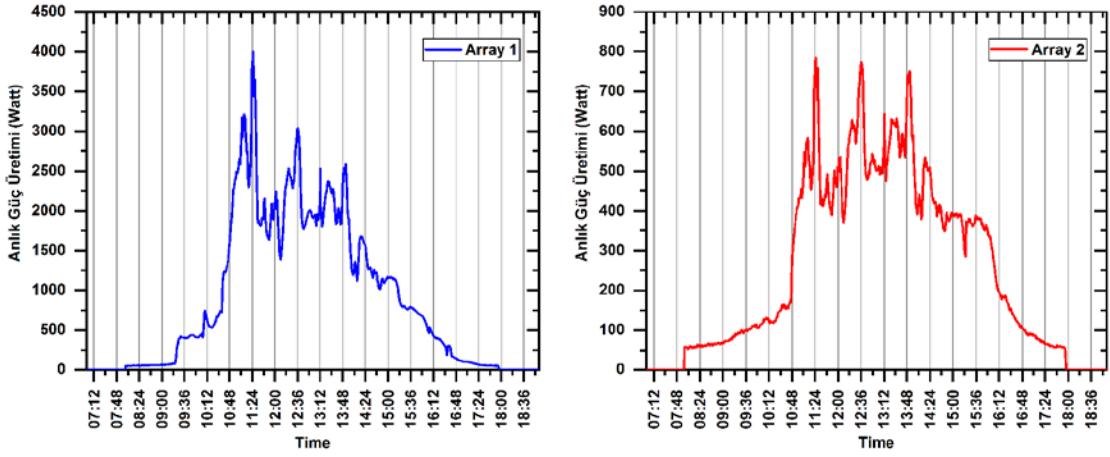
6.1.1. Kayıp periyodu (2 Ocak 2017 ile 5 Ocak 2017)

02.01.2017'de gece saatlerinde başlayan kar yağışı, gün içinde kısa süreli kar yağışı geçişleri şeklinde aralıklarla devam etmiştir. Kar yağışı sırasında hem dizelerin anlık güç üretimi hem de küresel ışınımda göze çarpan geniş ve derin dalgalanmalar meydana gelmektedir (şekil 6.1 ve şekil 6.2.) Bu durum, dizelerin güç çıkışının panel

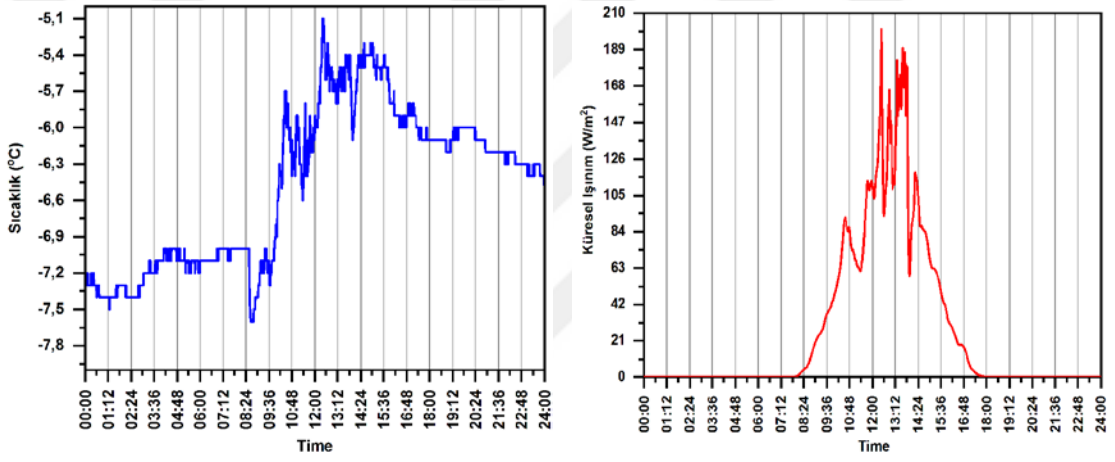
düzlemine gelen ışınım güçlü şekilde bağımlı olduğunu göstermektedir. Panel düzlemine gelen ışınım, bulut geçişi, kar ve buzlanma gibi sebeplerle engellendiğinde dizinin güç üretimi düşmektedir.

Sabah, paneller üzerindeki kar kalınlığı 2 cm olarak ölçülmüştür. Gün içinde meydana gelen hafif kar yağışları dize üzerindeki kar kalınlığında kayda değer artışlar oluşturmamıştır. Dizelerden biri, her yarım saatte bir temizlenerek gün boyu temiz tutulmaya çalışılmıştır. İlk temizleme faaliyeti, yaklaşık 09.15'de gerçekleştirilmiştir. Kar kaplı dizede 18 adet panelin sadece bir kişi tarafından temizleme süresi yaklaşık 14dk sürmüştür. Gün içinde ortalama temizleme süresi 5 dk olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla büyük FV üretim tesislerinde panellerin bu metotla temizlenmesi oldukça fazla zaman ve insan gücü gerektirecektir.

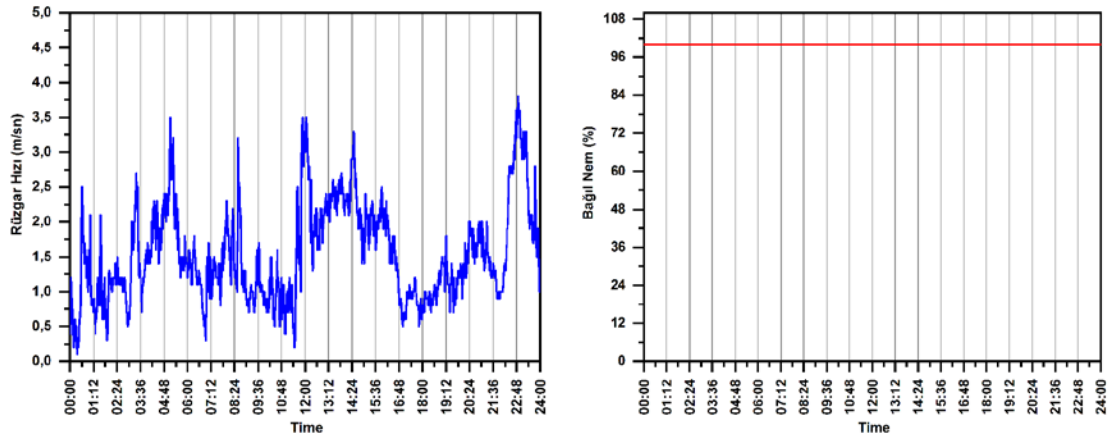
Bölgedeki sıcaklık, küresel ışınım, rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi şekil 6.2 ve şekil 6.3'de verilmiştir. Temizlenen dizinin güç üretimi ışınımdaki artışa bağlı olarak hızla yükselirken, diğer dizinin güç üretimi kar örtüsü nedeniyle çok düşük kalmıştır. Hava sıcaklığının gün boyu -5° C'nin altında seyretmesi ve düşük rüzgar hızı nedeniyle panellerin yüzeyinde biriken kar tabakası rüzgarla taşınmamış, kar tabakasında kırılma ve kayma meydana gelmemiştir. Kar tabakası, gün içinde artan ışınımın etkisiyle eriyerek azalmıştır. Çünkü kar tabakasının üst kısmı düşük ortam sıcaklığına maruz kalırken alt kısmı sıfır derecededir. FV hücrelere kadar ulaşan güneş ışınımı, kar tabakasının altındaki panel camını ve paneli ısıtmaktadır. Isınan cam kar tabakasını alttan eritmekte ve eriyen kar suları, eğimli panel yüzeyinden aşağı doğru kar tabakasının altından süzülerek akmaktadır. Eriyen kar suyu, panel üzerindeki kar yığınlarında kapilarite sebebiyle yükselerek yığının kütlesini arttırmaktadır. Kütlesi artan kar tabakası, yerçekimi ve eğimli panel yüzeyinin yardımıyla aşağı doğru kaymaktadır. Panel çerçeveleri, kar tabakalarının panel yüzeyinden dökülmesine engel olmaktadır. En geç eriyen kar örtüsü, aynı sıradaki panellerin alt kenarındaki kar birikintileridir. Panellerin en alt kenarında kalan çok az kar birikintileri bile tüm dizinin güç üretimini düşürmektedir. Gün sonunda tekrar başlayan hafif kar yağışı, panellerin üzerini yeniden kaplamıştır. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki durumunu gösteren tesis görüntüleri şekil 6.4'de verilmiştir. Dizelerin güç üretimi değerlendirildiğinde, gün içinde aralıklı kar yağışları ve dize üzerindeki çok az bir kar örtüsü, günlük % 72 oranında üretim kaybına neden olmuştur.



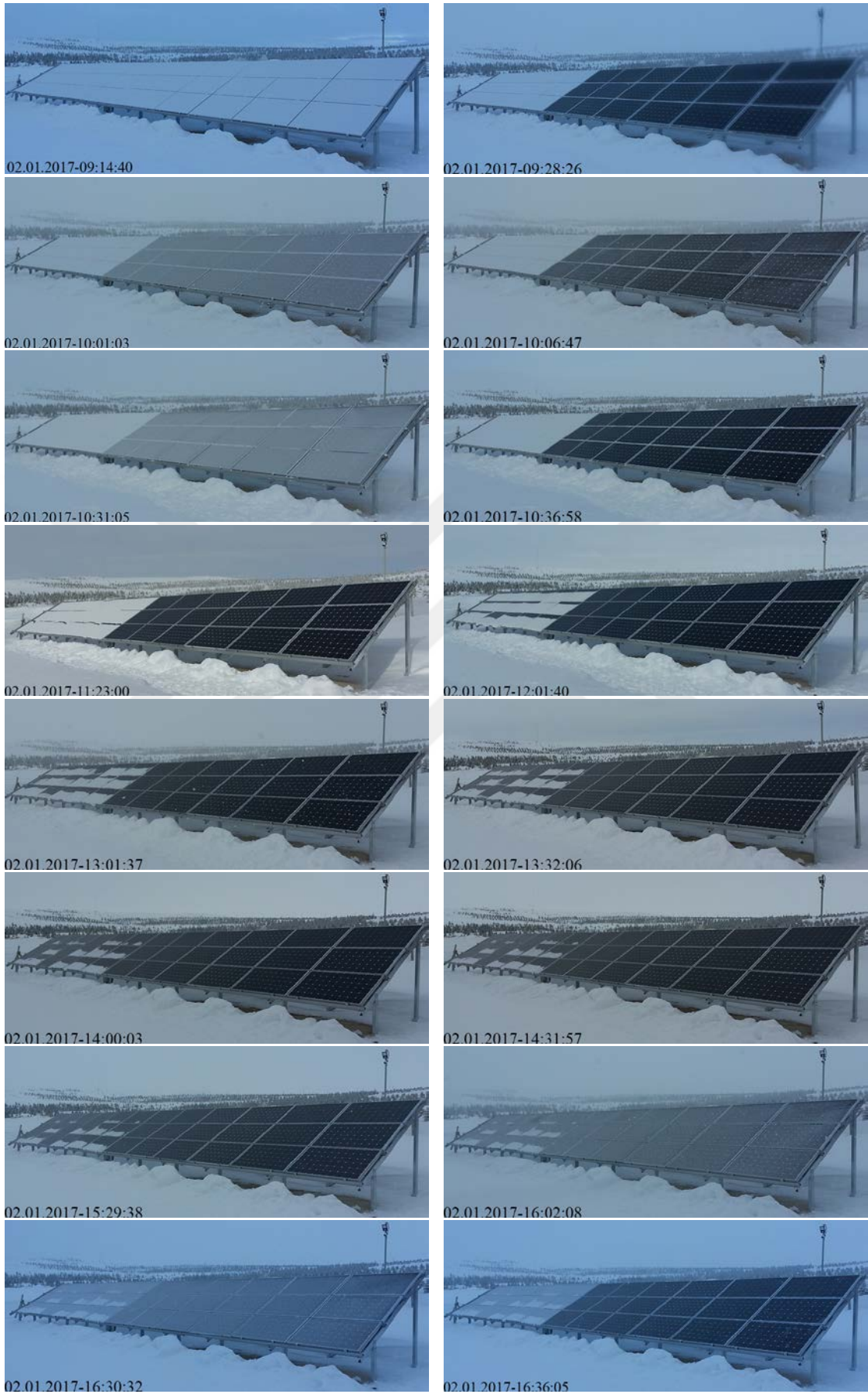
Şekil 6.1. FV dizelerin anlık güç üretimi (02 Ocak 2017)



Şekil 6.2. Işınım ve hava sıcaklığı değişimi (02 Ocak 2017)



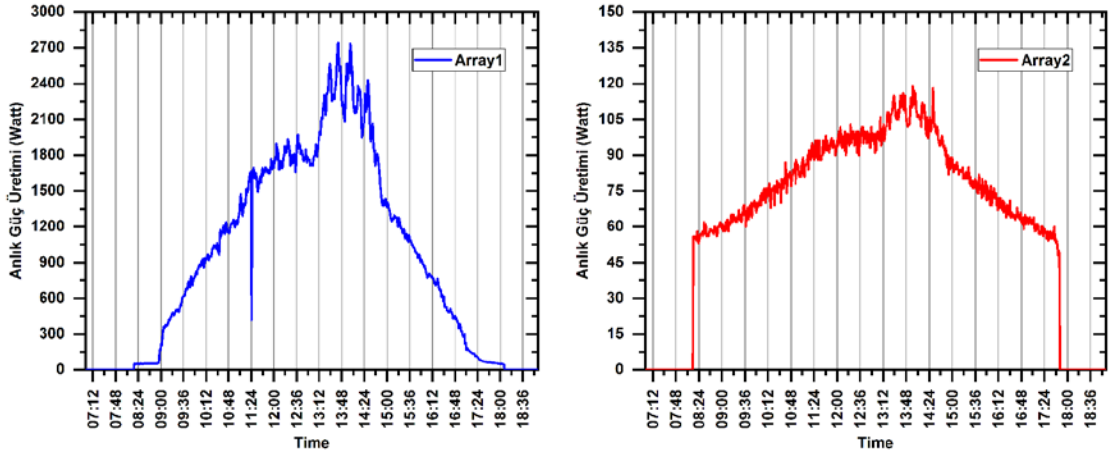
Şekil 6.3. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (02 Ocak 2017)



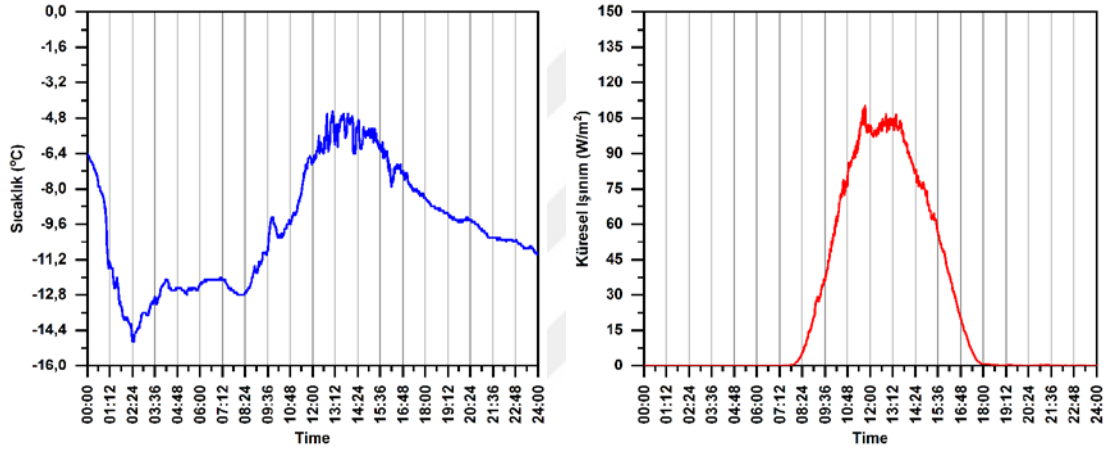
Şekil 6.4. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değimi (02 Ocak 2017)

02.01.2017'de akşam saatlerinde başlayan hafif kar yağışı, gece boyunca aralıklarla devam etmiştir. 03.01.2017 sabahı, tesisin tüm dizeleri karla kaplamıştır. Paneller üzerindeki kar kalınlığı 8.5 cm olarak ölçülmüştür. Kar örtüsü, önceki günde olduğu gibi gün doğumundan yaklaşık 1 saat sonra gecikmeli olarak, 08.50'da başlayan temizleme faaliyeti ile dize üzerinden kaldırılmıştır. Dizenin temizlenmesi yaklaşık 15dk sürmüştür. Diğer dize ise tüm gün kar örtüsü ile kaplı kalmıştır. Gün boyu herhangi bir kar yağışı olmadığından başka temizleme faaliyeti yapılmamıştır. Saat 13.00'de tuz gibi çok ince taneli bir kar yağışı başlamış fakat bu kar yağışı, dize üzerindeki kar miktarını değiştirmemiştir. Dizelerden elde edilen gücün gün içindeki anlık değişimi şekil 6.5'de verilmiştir. Temiz ve karla kaplı dizeler karşılaştırıldığında üretim değerleri arasında büyük bir farkın olduğu görülmektedir. Temizlenen dize tarafından üretilen güç, ışıınımdaki artışla birlikte yükselirken kar kaplı dizede kalın kar tabakası nedeniyle güç üretimi çok düşük seviyede kalmıştır. Fakat, kalın kar tabakasına rağmen üretilen enerji beklenildiği gibi sıfır olmamıştır. Bunun nedeni olarak, kar tabakasının gözenekli yapısından geçerek fotovoltaiik hücrelere ulaşan ışınının neden olduğu kanaati oluşmuştur. Çünkü her iki dizeye ait grafikler incelendiğinde gün ortasındaki kısa süreli kar yağışının şekil 6.6'da verilen ışınım eğrisinde oluşturduğu hafif dalgalanma, her iki dizenin güç üretim grafiğine yansımıştır.

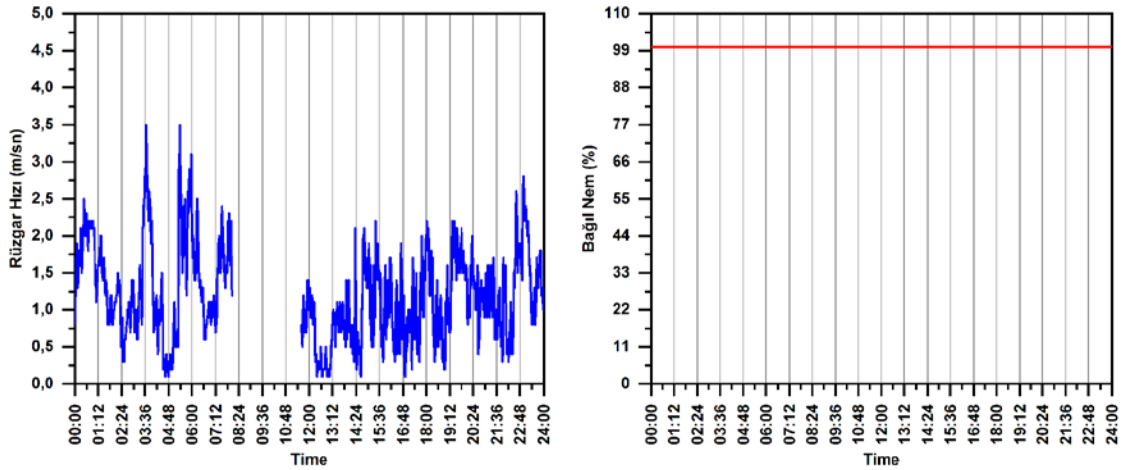
Bölgeye ait meteoroloji istasyonundan temin edilen sıcaklık, ışınım, rüzgar hızı ve bağıl nem değişkenlerinin gün içindeki değişimi şekil 6.6 ve şekil 6.7'de verilmiştir. 03.01.2017'de, gün boyu aralıklarla kar yağışlı geçen bir önceki günün aksine tüm gün kar yağışsız, sisli ve kapalı gökyüzü hüküm sürmüştür. Bu nedenle ışınım değeri, önceki güne oranla yaklaşık % 7 azalmıştır. Bununla birlikte temizlenen dize yaklaşık olarak önceki günle aynı üretim değerine ulaşırken tüm gün karla kaplı kalan dize, çok az üretim yapabilmiştir. Gece saatlerinde -15 °C'ye kadar düşen hava sıcaklığı, bir önceki günde olduğu gibi gün içinde tekrar -5 °C'ye kadar yükselmiştir. Rüzgar hızı, önceki güne benzer ortalamada seyretmiştir. Fakat meteorolojiden alınan rüzgar hızı verisinde kısa süreli bir veri kaybının olduğu görülmüştür. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki durumunu gösteren tesis görüntüleri şekil 6.8'de verilmiştir. Düşük ışınım ve düşük ortam sıcaklığı nedeniyle kar tabakasında erime veya kayma şeklinde büyük bir değişiklik meydana gelmemiştir. Sadece öğle saatlerinde kar tabakasında küçük bir kırılma görülmüş fakat meydana gelen açıklığın boyutunda bir değişiklik olmamıştır. Temizlenen ve kar kaplı bırakılan dizeler karşılaştırıldığında tüm gün kar örtüsü ile kaplı dizede kar tabakası, günlük % 93oranında üretim kaybına neden olmuştur.



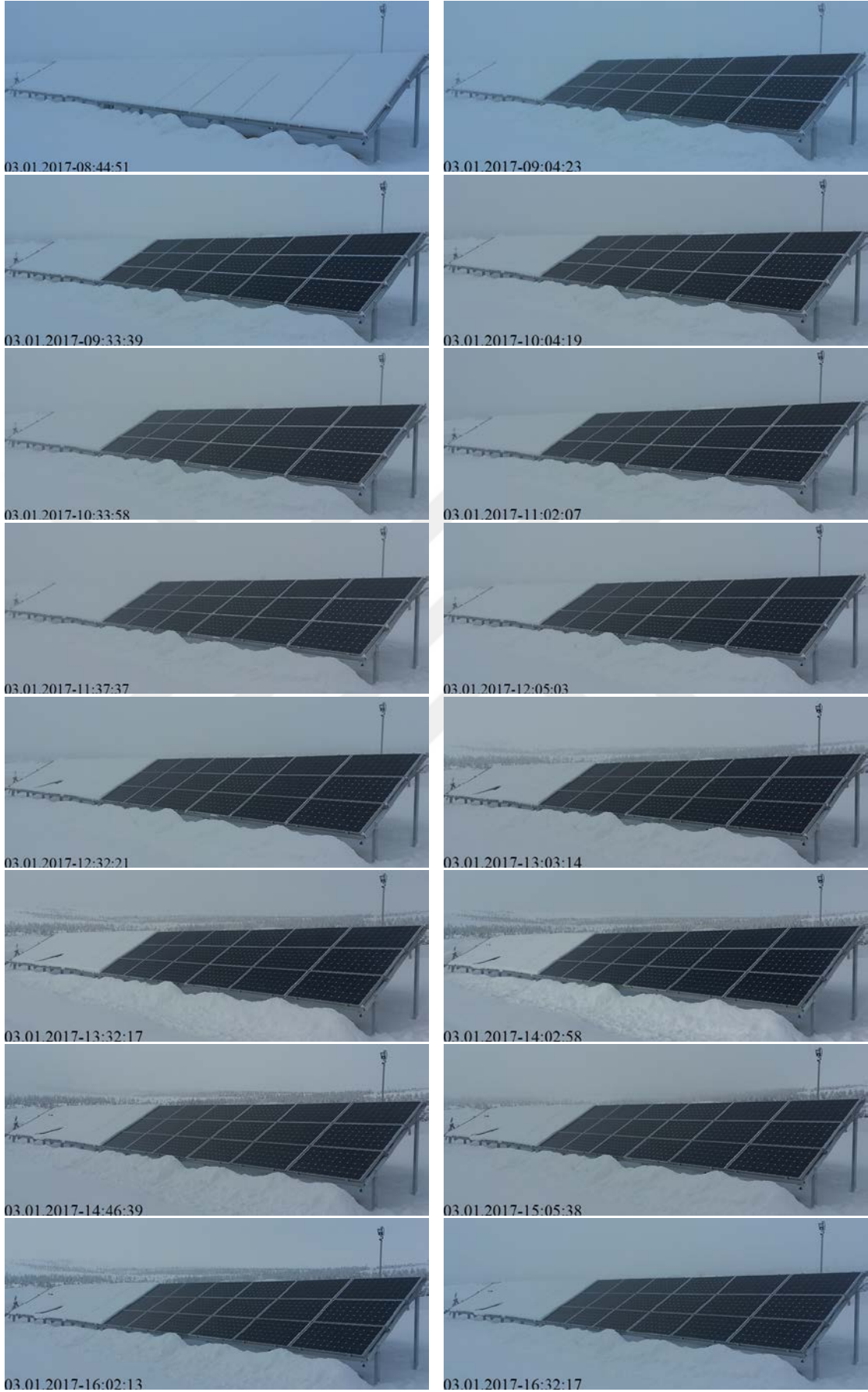
Şekil 6.5. FV dizelerin anlık güç üretimi (03 Ocak 2017)



Şekil 6.6. Işınm ve hava sıcaklığı değişimi (03 Ocak 2017)



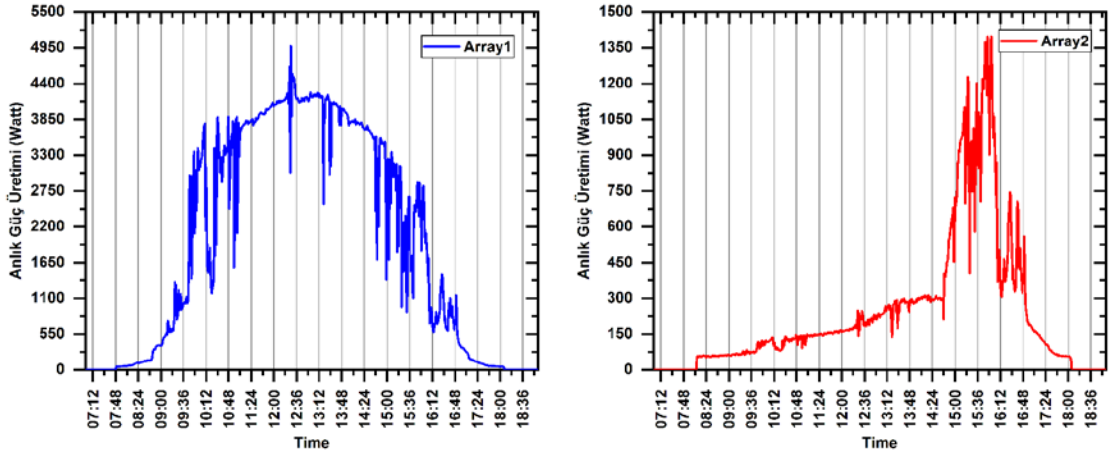
Şekil 6.7. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (03 Ocak 2017)



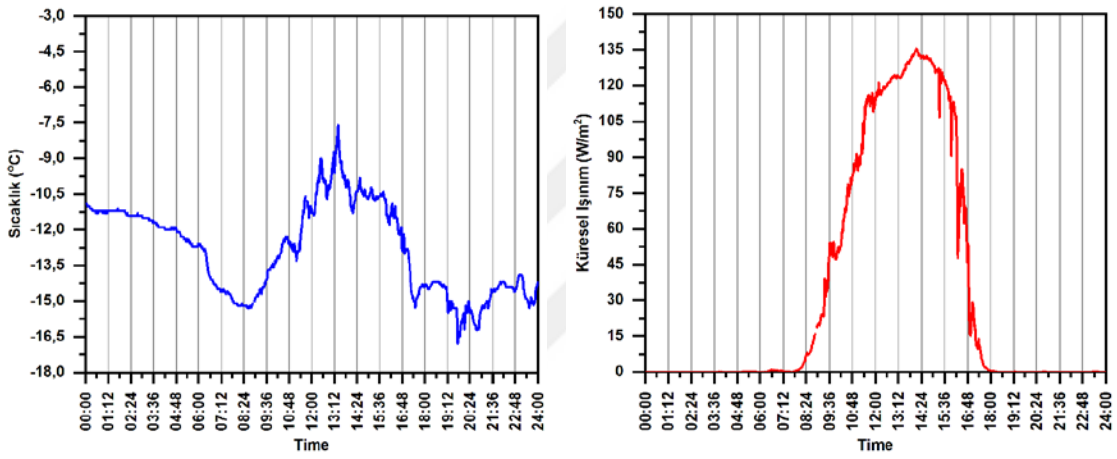
Şekil 6.8. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değimi (03 Ocak 2017)

04.01.2017'de gece saatlerinde herhangi bir kar yağışı olmadığından dizelerden biri, önceki günden kalma kar örtüsü ile güne başlamıştır. Sabah erken saatlerde kapalı ve sisli olan hava, yerini gün içinde güneşli ve az bulutlu bir havaya bırakmıştır. Gün boyu herhangi bir kar yağışı, dolayısıyla temizleme faaliyeti olmamıştır. Dizelerin anlık güç üretimi, şekil 6.9'da görülmektedir. Temiz bırakılan dizede güç üretimi, ışınımdaki artışla birlikte erken saatlerde yükselmeye başlamıştır. Diğer yandan kar örtüsüyle kaplı dizede güç üretimi, kar tabakasının kaydığı ana kadar giderek artan bir yükselme eğilimi göstermiştir. Kar tabakasının kaymasıyla birlikte güç üretimi hızla yükselmiştir. Kar yağışlı bir günden farklı olarak gün içindeki bulut geçişleri, dizelerin anlık güç üretiminde sık aralıklı dalgalanmalar meydana getirmiştir.

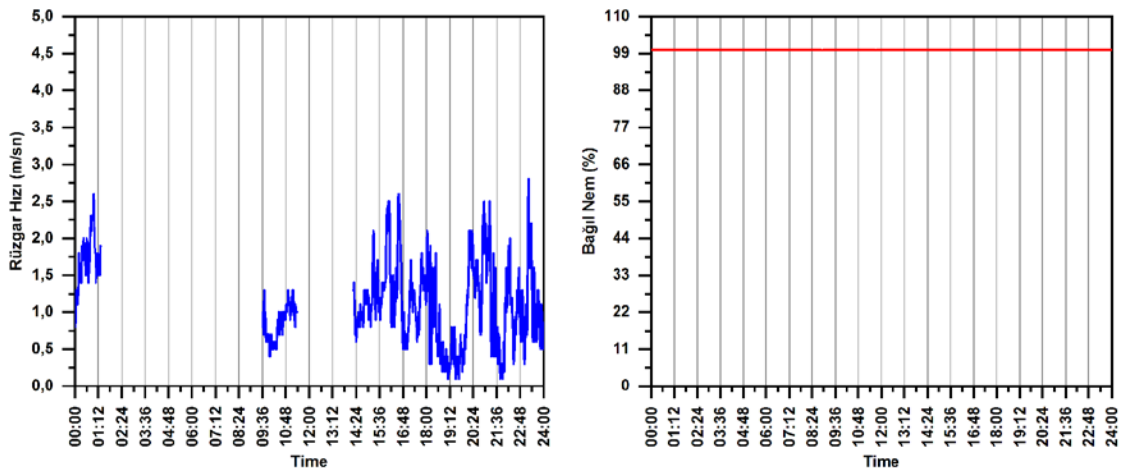
04.01.2017'de bölgedeki ortam sıcaklığı, ışınım, rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi şekil 6.10 ve şekil 6.11'de verilmiştir. Sabah saatlerinde -15 C°'i bulan düşük hava sıcaklığı, temiz bırakılan dize üzerinde ince bir buz tabakası oluşturmuştur. Bu buz tabakasını çek-çek ile temizlemek mümkün olmamıştır. Bununla birlikte düşük ortam sıcaklığı, kar kaplı dize üzerindeki kar tabakasının donmasına sebep olmuştur. Diğer günlerde olduğu gibi düşük hava sıcaklığı, gün boyu devam etmiştir. Düşük ortam sıcaklığına rağmen gün içinde ışınım değerinin yükselmesiyle birlikte panellerin yüzeyindeki kar ve buz tabakası erimeye başlamıştır. Temizlenmiş dizedeki panellerin yüzeyindeki buz tabakasının erimesi, saat 10.00'u bulmuştur. Diğer dizedeki kar örtüsü eridikçe dizedeki panellerin üst kenarı açılmaya başlamıştır. Eriyen kar suları, bir yandan eğimli panel yüzeyinden aşağı doğru kar tabakasının altından süzülerek akarken diğer yandan kar yığınlarında kapilarite sebebiyle yükselerek yığının kütlelerini arttırmıştır. Kütleli artan kar tabakası, yerçekimi ve eğimli panel yüzeyinin yardımıyla saat 14.00'de dize üzerinden kaymıştır. Ancak yerde biriken kar yığınları ve panel çerçeveleri, dize üzerindeki kar tabakasının dökülmesine engel olmuştur. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki durumunu gösteren tesis görüntüleri şekil 6.12'de verilmiştir. Meteorolojiden alınan rüzgar hızı ölçümlerinde büyük veri kayıpları olmasına rağmen bölgedeki rüzgar, önceki günlerde olduğu gibi düşük hızlarda seyretmiştir. Bu nedenle, kar tabakasının erimesinde rüzgar hızının çok büyük bir etkisinin olduğu düşünülmemektedir. Işınım miktarı, önceki iki güne oranla yaklaşık %30 artarken, buzlanmaya maruz kalan temiz dizenin enerji üretimi bulut geçişine bağlı dalgalanmalarla birlikte % 110 artmıştır. Parçalı kar örtüsüyle çalışan diğer dizeye rağmen günlük üretim kaybı, yaklaşık % 88 olarak hesaplanmıştır.



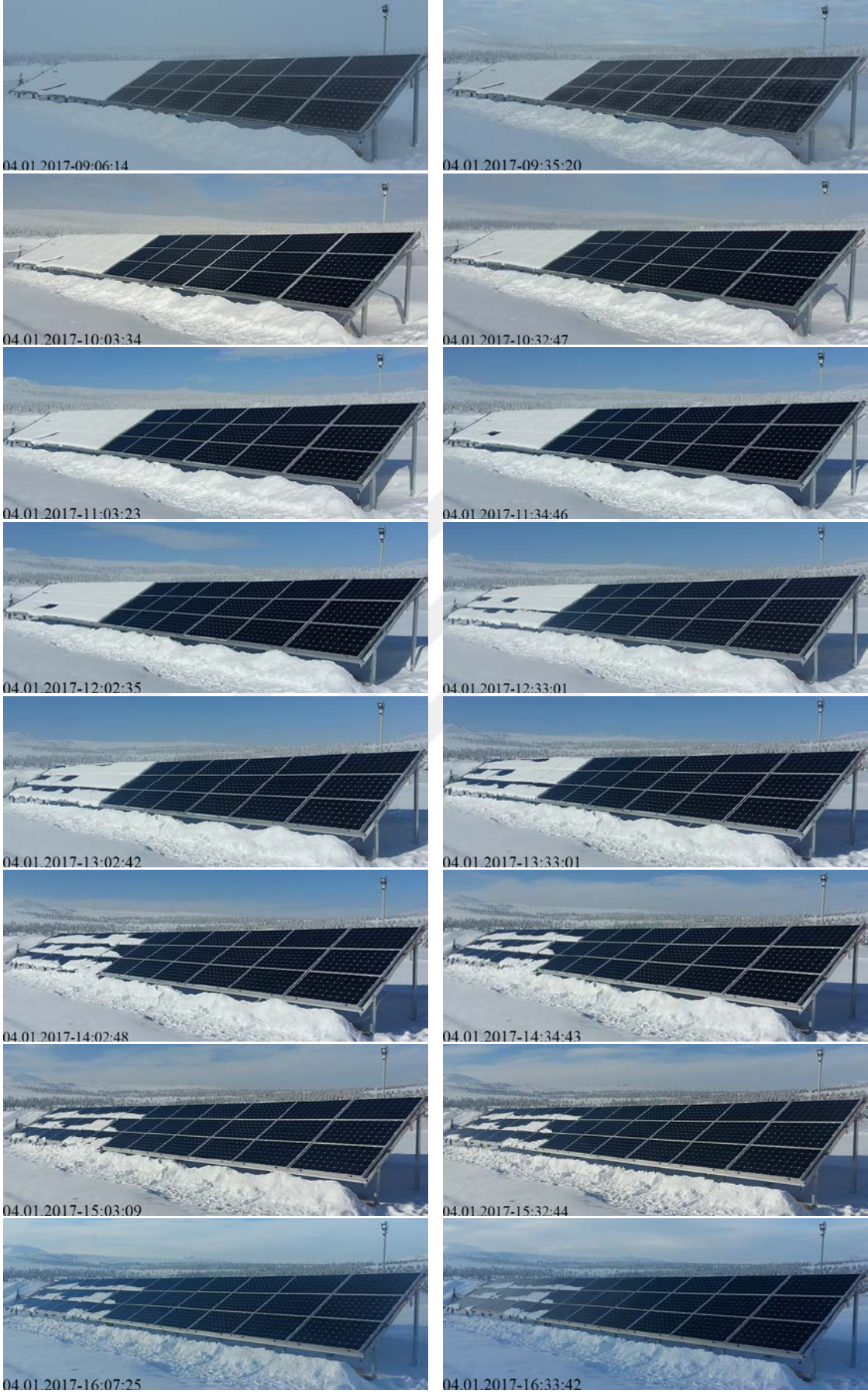
Şekil 6.9. FV dizelerin anlık güç üretimi (04 Ocak 2017)



Şekil 6.10. Işınmım ve hava sıcaklığı değişimi (04 Ocak 2017)



Şekil 6.11. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (04 Ocak 2017)

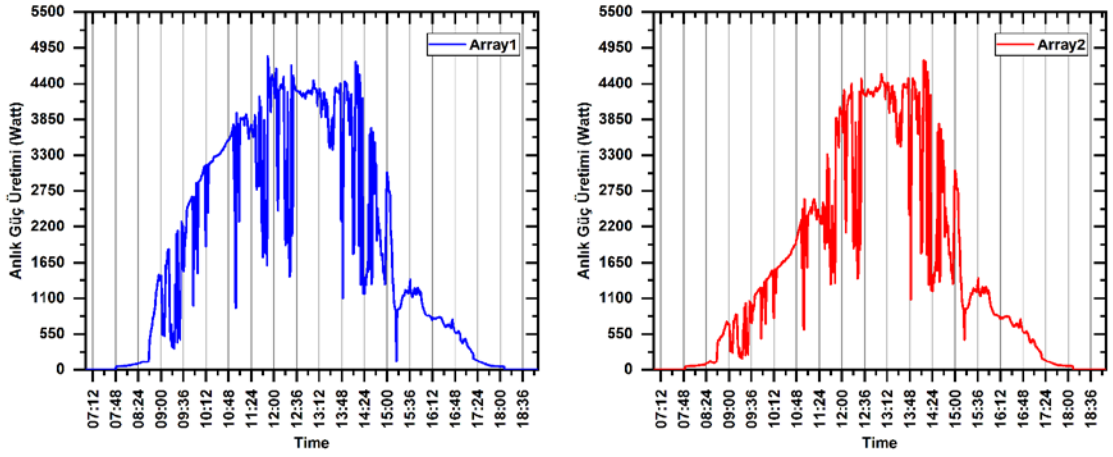


Şekil 6.12. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değimi (04 Ocak 2017)

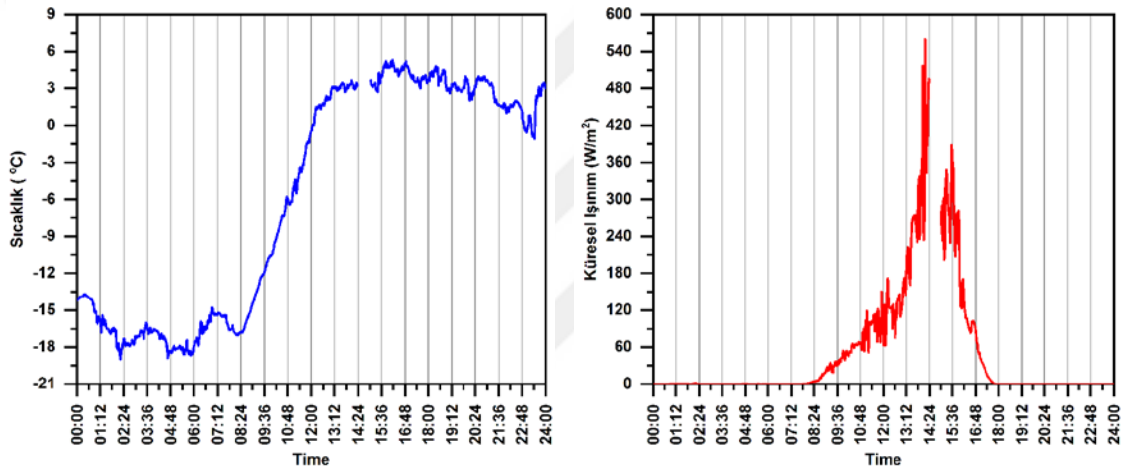
05.01.2017 önceki günden kalma, parçalı kar birikintilerinin tesisin güç üretimine etkisinin açıkça sergilendiği güneşli ve parçalı bulutlu bir gün olmuştur. Meteoroloji istasyonundan elde edilen ölçüm kayıtları, kısa süreli veri kaybı ile birlikte şekil 14ve şekil 15'de görülmektedir. Sabah -17 C°'ye kadar düşmüş olan hava sıcaklığı, gün içinde düzgün bir artış göstererek +5 C°'ye kadar yükselmiştir. Sabah panellerin yüzeyi bir önceki günde olduğu gibi buz tabakası ile kaplanmıştır. Gün boyunca rüzgar hızı ile birlikte ışıının ve hava sıcaklığının artması hem dizeler üzerindeki buz ve kar örtüsünü hem de dizeler arasındaki üretim farkını ortadan kaldırmaktadır. Işınım değeri bir önceki güne oranla % 40 artmış olmasına rağmen dizelerin güç üretimi, şekil 13'de görüldüğü gibi yoğun bulut geçişi sebebiyle istenilen seviyeye yükselememiştir. Parçalı kar örtüsüyle çalışmanın neden olduğu üretim kaybı, % 16 olarak belirlenmiştir.

Özellikle gece saatlerinde başlayan kar yağışı için panel temizliği yapılmadığından, güne kar örtüsü başlayan FV sistemde panel temizliği yapmak oldukça zordur. Çünkü, FV sistem üzerinde biriken kar örtüsü düşük hava sıcaklığının etkisiyle donmakta ve paneller üzerinde buz tabakası oluşmaktadır. Dizelerin gün içindeki durumunu gösteren tesis görüntüleri şekil 6.16'da verilmiştir.

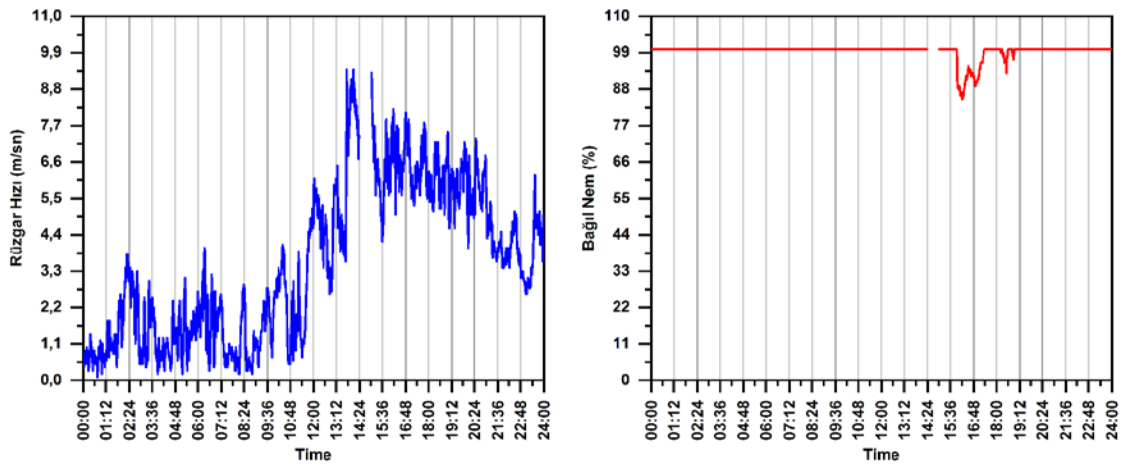
Kimyasal çözücüler, az miktarda kar ve buzun temizlenmesinde nispeten ucuz ve kullanımı kolay olduğu için kısa vadeli bir çözüm olarak tercih edilebilir. Ancak bu uygulamanın dezavantajı, aşındırıcı özelliğinden dolayı panel yapısının bozulmasına, taşıyıcı sistemde kullanılan vidaların aşınmasına, panel yüzeyinde tortu ve kalıntı bırakarak camın ışık geçirgenliğinin azalmasına neden olabilir. Bununla birlikte, bu çözücüler eriyen kar ve buzla birlikte toprağa ve yeraltı su kaynaklarına karışarak doğaya zarar verebilir. Diğer bir dezavantajı, kimyasal çözücü taşıyan araçların tesis alanına ulaştırılmasıdır. Bu araçların kar ve buz kaplı zeminde, paneller arasında ilerlemesi ve çalıştırılması bu tür bir uygulamayı güçleştirmektedir. Paneller üzerinde buzlanma, kış aylarında çok sık meydana gelir. Bu durum uygulama sıklığını ve kullanılan kimyasal çözücü miktarını, dolayısıyla temizleme maliyetini arttıracaktır.



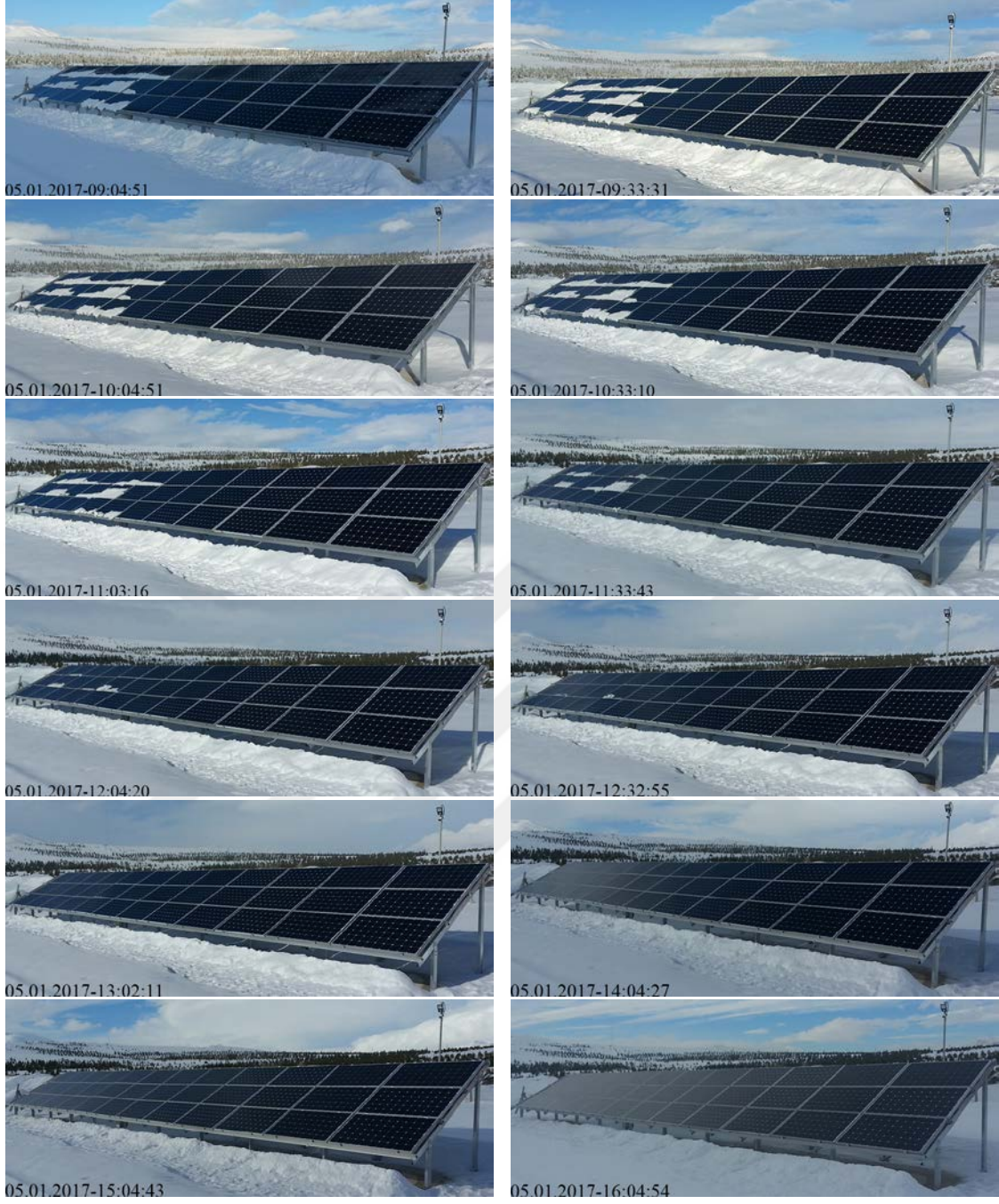
Şekil 6.13. FV dizelerin anlık güç üretimi (05 Ocak 2017)



Şekil 6.14. Işınmam ve hava sıcaklığı değişimi (05 Ocak 2017)



Şekil 6.15. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (05 Ocak 2017)

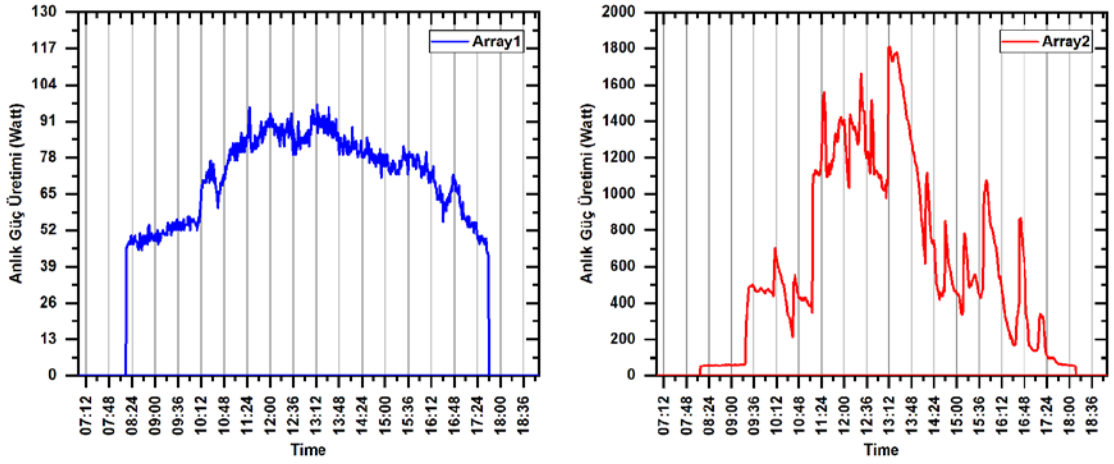


Şekil 6.16. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değimi (05 Ocak 2017)

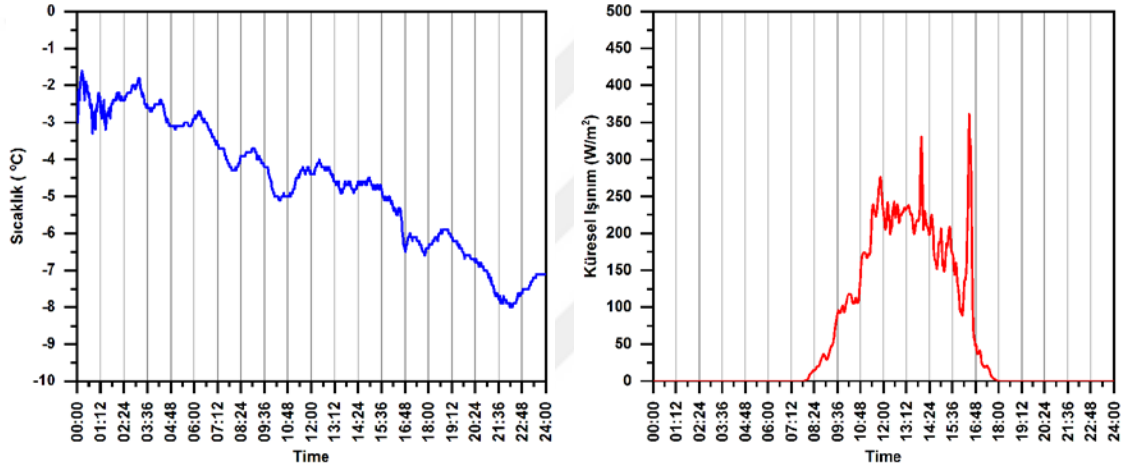
6.1.2. Kayıp periyodu (8 Ocak 2017 ile 11 Ocak 2017)

8 Ocak 2017'de gece saatlerinde başlayan kar yağışı, gün boyu aralıklarla devam etmiştir. Sabah paneller üzerinde biriken kar kalınlığı yaklaşık 6 cm olarak ölçülmüştür. İlk kar temizleme faaliyeti, 09.15'de gerçekleştirilmiş ve gün boyu her yarım saatte bir tekrarlanmıştır. Gün içinde rüzgarın etkisiyle tesisin ortasındaki paneller üzerinde biriken kar kalınlığı 12 cm'ye kadar çıkmıştır. Gün boyunca, 18 panelin çek-çek ile temizlenmesi bir kişi ile ortalama 7 dakika sürmüştür.

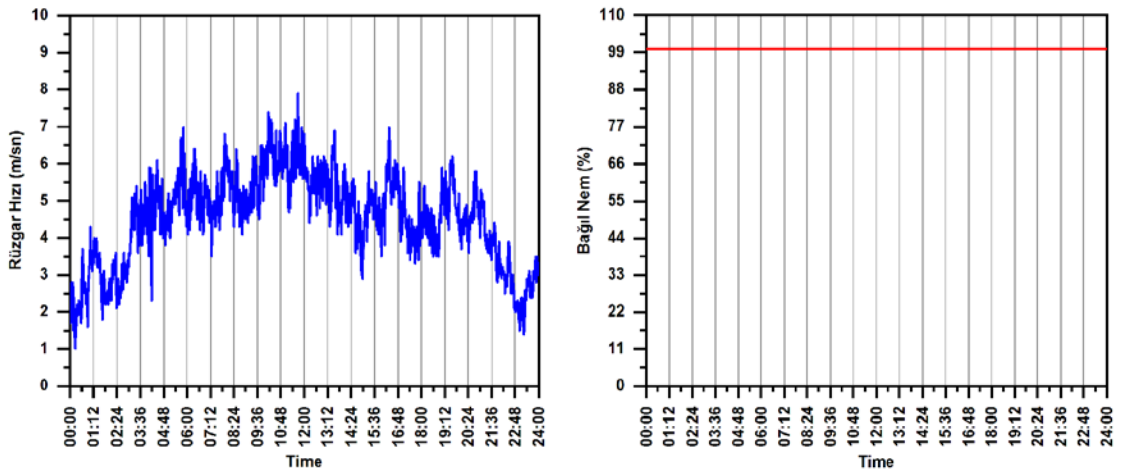
Dizelerin anlık güç üretimi şekil 6.17'de, bölgedeki atmosferik değişkenlere ait hava sıcaklığı, küresel ışınım, rüzgar hızı ve bağıl nem değişim grafikleri şekil 6.18 ve şekil 6.19'de verilmiştir. Kar temizleme faaliyeti öncesi ve sonrasında çekilen tesis görüntüleri şekil 6.20'de görülmektedir. Kar yağışlı günler tipik olarak çok bulutlu, dolayısıyla küresel ışınım miktarı oldukça düşüktür. Gün içinde hava sıcaklığı aşamalı olarak 0 °C'nin altına düşmektedir. Bölgedeki rüzgar hızı, kar yağışlı geçen diğer günlere oranla daha fazla ve ortalama 5 m/sn hızla esmektedir. Bu durum, paneller üzerinde dengesiz şekilde kar birikintilerine sebep olmaktadır. Tesisin orta kısmında yer alan paneller üzerinde, özellikle rüzgar alan kenar kısımdaki panellere kıyasla daha fazla kar toplanmaktadır. Hava sıcaklığı ve küresel ışınım değerinin düşük olması sebebiyle dize üzerinde biriken kar örtüsü erimeden ve dökülmeden kalmıştır. Kuvvetli esen rüzgarın dize üzerinde biriken kar tabakasının erimesine veya dökülmesine hiçbir katkısının olmadığı gözlemlenmiştir. Kar yağışı sırasında, küresel ışınım ve temizlenen dizelerin güç üretiminde kayda değer şekilde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Temizlenen panellerde güç üretimi hızla artmış, fakat küresel ışınımın düşük olması sebebiyle istenilen seviyeye yükselmemiştir. 8 Ocak 2017'de üretilen toplam enerji yaklaşık 7,243 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu enerjinin 703 Wh'i kar kaplı dize tarafından üretilirken temizleme faaliyetleri ile gün boyu temiz tutulmaya çalışılan dizede 6,540 Wh enerji üretimi gerçekleşmiştir. Kar kaplı dizelerin enerji üretimi beklenildiği gibi sıfır değildir. Bu dizedeki paneller tüm gün kar kaplı olmasına rağmen, panel düzlemine gelen ışınımın miktarı ve karın gözenekli yapısına bağlı olarak çok azda olsa güç üretimi gerçekleşmiştir. Temizlenen ve kar kaplı bırakılan dizelerin günlük üretimi karşılaştırıldığında güç kaybı, yaklaşık % 89 olarak hesaplanmıştır.



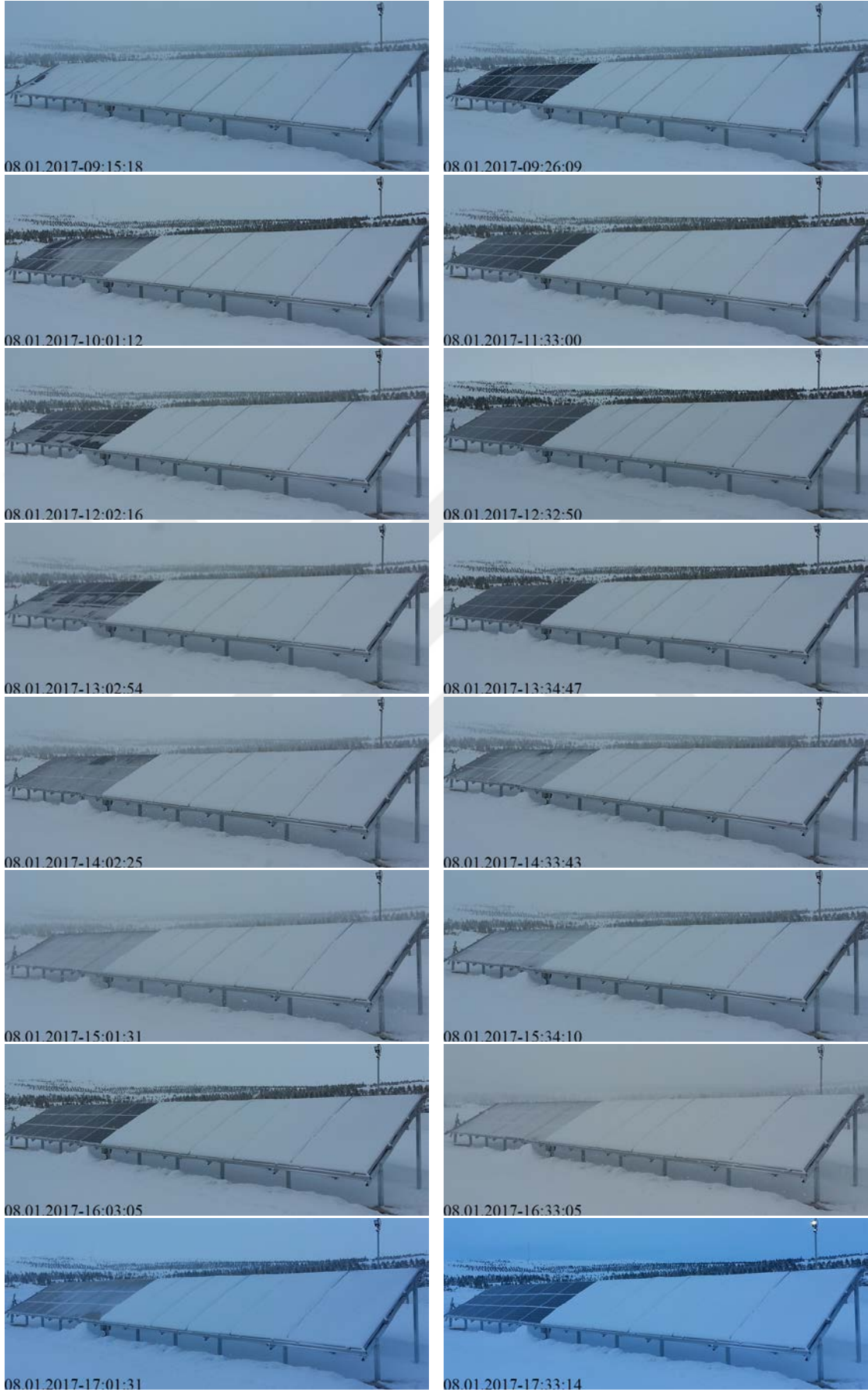
Şekil 6.17. FV dizelerin anlık güç üretimi (08 Ocak 2017)



Şekil 6.18. Işınım ve hava sıcaklığı değişimi (08 Ocak 2017)



Şekil 6.19. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (08 Ocak 2017)

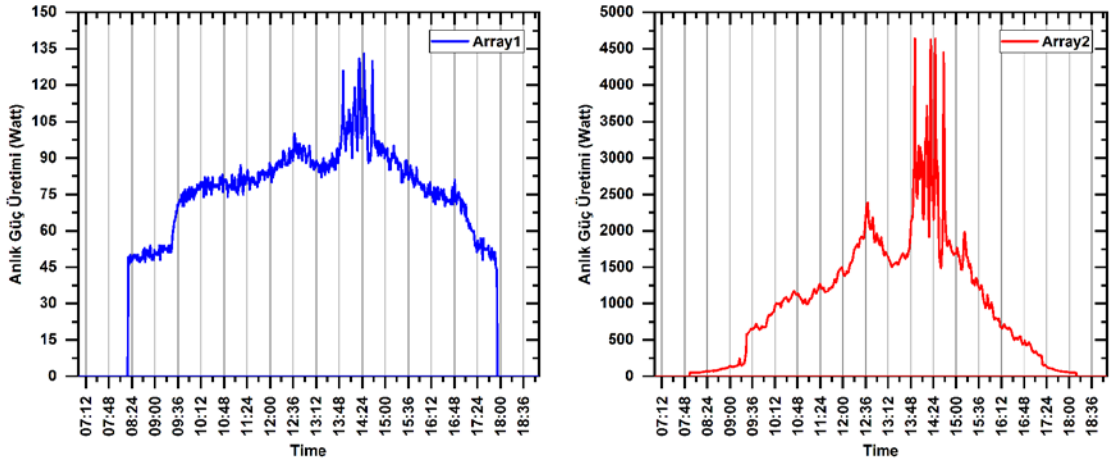


Şekil 6.20. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değimi (08 Ocak 2017)

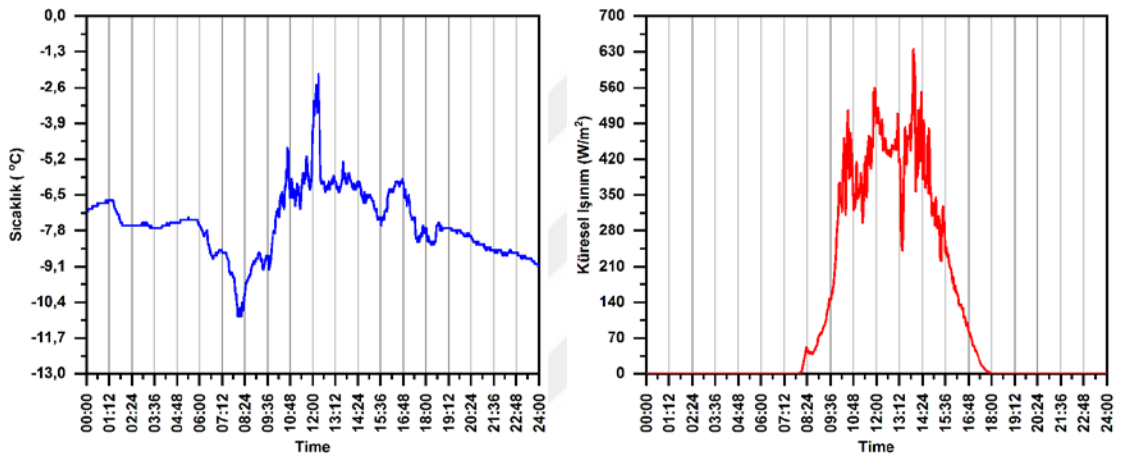
9 Ocak 2017'de, çok az bir kar yağışı, gece saatlerinde meydana gelmiştir. Bu kar birikintisi, sabah temizleme faaliyeti ile dize üzerinden kaldırılmıştır. Panellerin temizlenmesi, yaklaşık 5 dk sürmüştür. Gün içinde herhangi bir kar yağışı ve temizleme faaliyeti olmamıştır. Temizleme faaliyeti yapılmayan dize, bir önceki günden kalma kar örtüsü ile kaplı kalmıştır. Gece yağın kar yağışı, kar kaplı dize üzerindeki kar kalınlığında kayda değer bir değişiklik oluşturmamıştır

Dizelerin gün içindeki anlık güç üretiminin değişimi şekil 6.21'de verilmiştir. Meteoroloji istasyonundan elde edilen hava sıcaklığı, küresel ışınım, rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi grafikleri şekil 6.22 ve şekil 6.23'de görülmektedir. Bölgede gün içinde genellikle bulutlu bir gökyüzü hakim olmasına rağmen, kar yağışlı geçen önceki güne kıyasla iki katı küresel ışınım tespit edilmiştir. Gün içinde küresel ışınımında bulut geçişleri nedeniyle geçici dalgalanmalar olmuştur. Bu dalgalanmalar hem kar kaplı dizenin hem de temizlenen dizenin güç üretimine yansımıştır. Sabah erken saatte $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ düşen ortam sıcaklığı, gün aydınlanmaya başladıktan sonra bir miktar yükselmiştir. Fakat gün içinde ortam sıcaklığı, ortalama sıfırın altında $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak devam etmiştir. Gün içinde hava sıcaklığı kısa süreliğine $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ kadar çıkmıştır Bu sırada kar kaplı dizenin en üst kısmında küçük açılmalar oluşmaya başlamıştır. Bu durum, düşük ortam sıcaklığına rağmen kar tabakasının alt kısmında karın erimeye başladığını göstermektedir. Paneller üzerinde eriyen kar suyu ile kütlesi artan kar tabakası, eğimli panel yüzeyi ve yer çekiminin etkisiyle saat 14.00'de kırılmıştır. Temizlenen ve kar kaplı bırakılan dizelere ait tesis görüntüleri şekil 6.24'de görülmektedir. Panel çerçeveleri, kırılan kar tabakalarının panel yüzeyinden dökülmesine engel olmuştur. Parçalı kar örtüsü ile kaplı dize, kar yağışlı geçen bir önceki günle hemen hemen aynı miktarda güç üretirken, temizlenen dizede güç üretimi ışınımdaki artışa paralel olarak önceki günün iki katına yakın bir değerde güç üretmiştir Dolayısıyla parçalı kar örtüsü bulunan bir dize, kar örtüsünden kurtulmadıkça dizenin üretimi artmamaktadır. Çünkü, dizede birbirine seri şekilde bağlı bulunan panellerin çoğu tümüyle kar kaplı olduğundan dizenin toplam güç üretimi yükselememektedir.

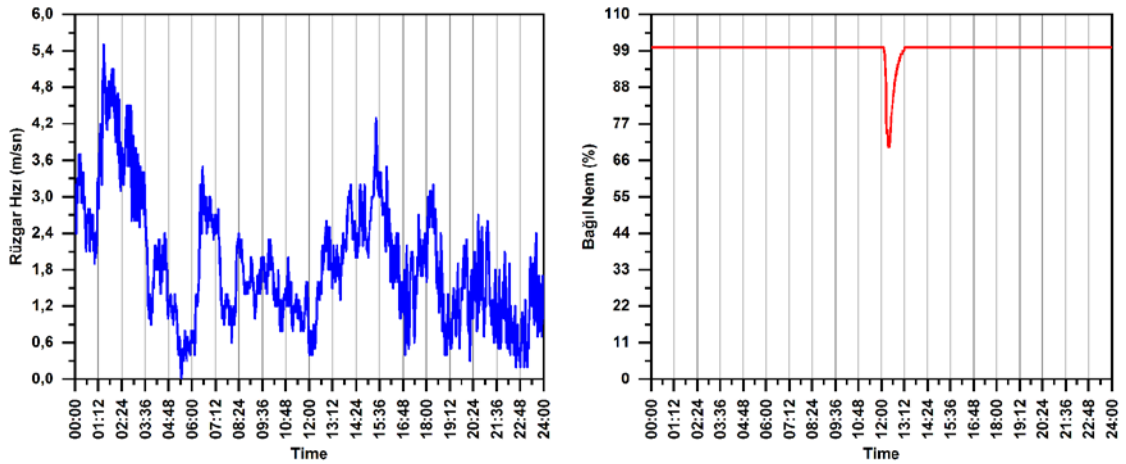
Gün boyunca üretilen toplam enerji, 11,910 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bunun 770 Wh'i kar kaplı dize tarafından ve 11,140 Wh'i temizlenen dize tarafından üretilmiştir. Günlük güç kaybı yaklaşık % 93 olarak hesaplanmıştır.



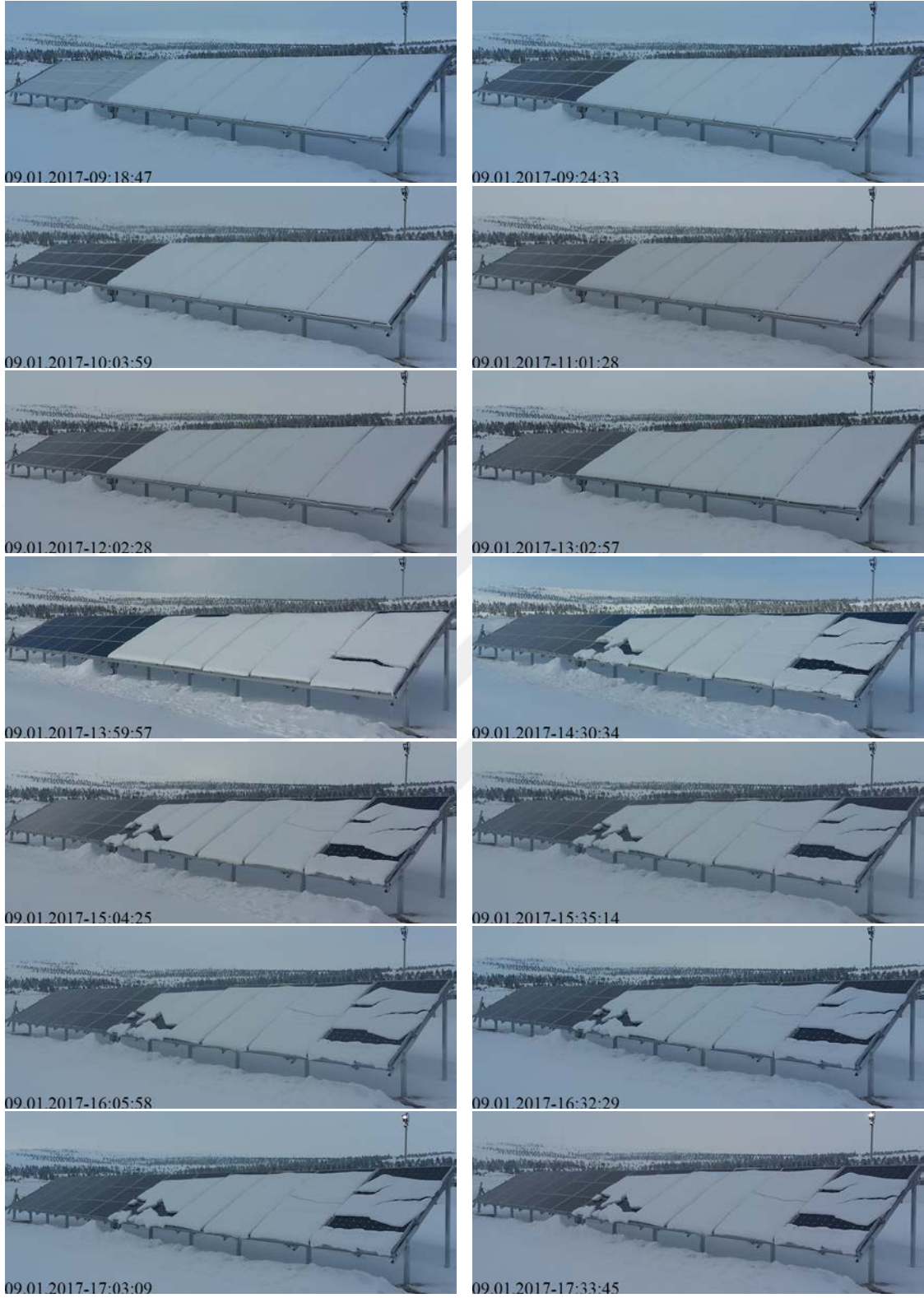
Şekil 6.21. FV dizelerin anlık güç üretimi (09 Ocak 2017)



Şekil 6.22. Işınım ve hava sıcaklığı değişimi (09 Ocak 2017)



Şekil 6.23. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (09 Ocak 2017)

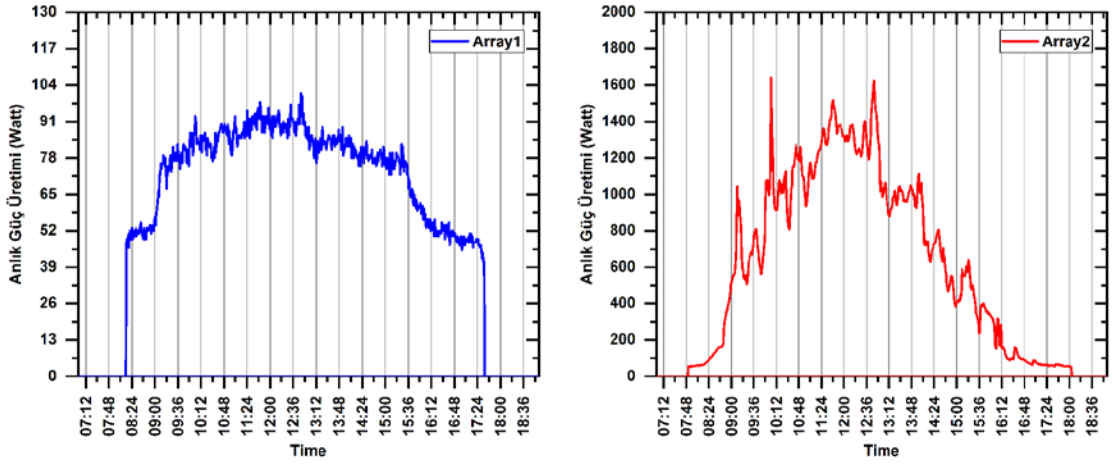


Şekil 6.24. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değişimi (09 Ocak 2017)

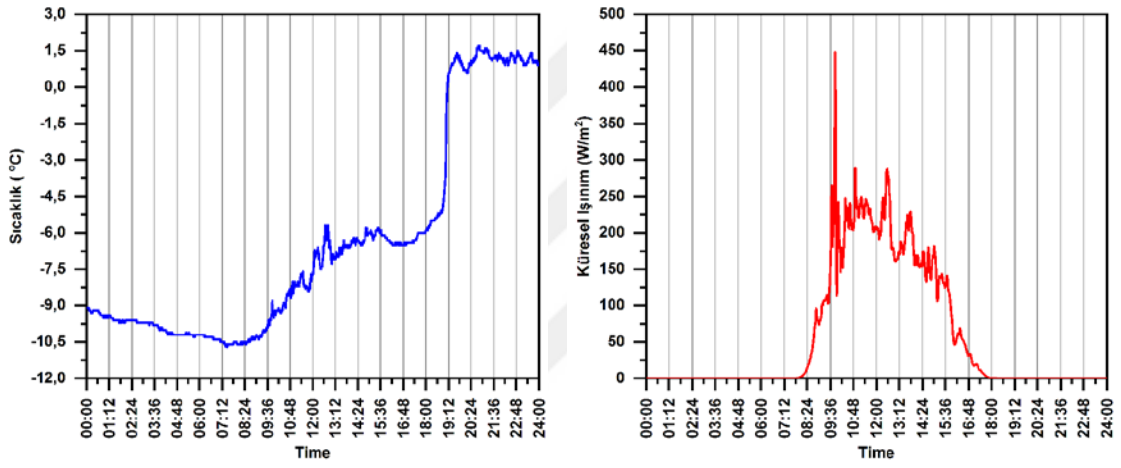
10 Ocak 2017'de özellikle öğleden sonra şiddeti giderek artan aralıklı kar yağışları meydana gelmiştir. Bu günün kar yağışlı geçen 08 Ocak 2017 gününden farkı, parçalı kar örtüsü ile çalışan sistem üzerine tekrar taze kar yağışının meydana gelmesidir. Kar yağışı nedeniyle gün boyu her yarım saatte bir kar temizleme faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Paneller üzerinde biriken kar kalınlığı 10 cm olarak ölçülmüştür. Tesisin ortasındaki paneller üzerinde biriken kar kalınlığı ise 16 cm'ye ulaşmıştır Gün boyunca, 18 panelin çek-çek ile temizlenmesi bir kişi ile ortalama 5 dakika sürmüştür.

Şekil 6.25, tesisteki dizelerin anlık güç üretimi değişimini göstermektedir. Meteoroloji istasyonundan elde edilen hava sıcaklığı, küresel ışıınım, rüzgar hızı ve bağıl nem değişim grafikleri şekil 6.26 ve şekil 6.27'de görülmektedir. Bölgedeki küresel ışıınım miktarı kar yağışlı geçen 08 Ocak 2017 ile hemen hemen aynı düzeyde ve oldukça düşüktür. Özellikle kar yağışı sırasında, küresel ışıınımda ve temizlenen dizelerin güç üretiminde kayda değer şekilde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Hava sıcaklığı, gece saatlerinden itibaren sabah gün doğumuna kadar azalarak -11 °C'ye kadar düşmüştür Gün içinde hava sıcaklığı diğer günlerde olduğu gibi sıfırın altında ve ortalama -6 °C'ye kadar yükselmiştir. Gün sonunda sıcaklık hızla yükselerek sıfırın üstünde 1,5 °C'ye ulaşmıştır. Gün içinde hava sıcaklığı ve küresel ışıınım değeri oldukça düşük olduğundan kar kaplı dize üzerinde biriken kar örtüsü erimeden ve dökülmeden kalmıştır. Temizlenen ve kar kaplı bırakılan dizelere ait tesis görüntüleri şekil 6.28'de görülmektedir

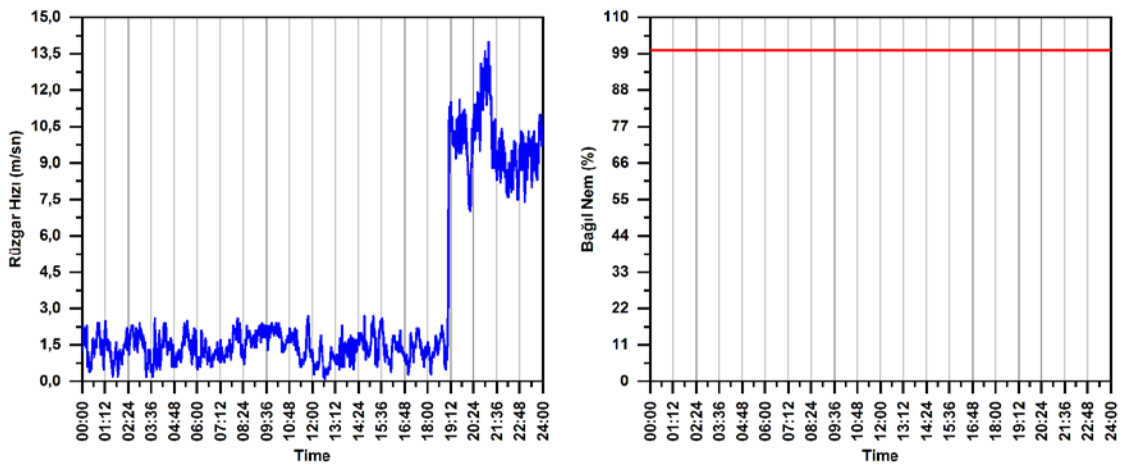
Temizlenen ve kar kaplı dizelerin güç üretimi, kar yağışlı geçen 8 Ocak ile karşılaştırıldığında hemen hemen aynı miktarda üretim gerçekleşmiştir. Üretilen toplam enerji 7,659 Wh olarak gerçekleşmiştir. Kar kaplı dize tarafından üretilen enerji, 725 Wh iken temizlenen dizenin toplam üretimi 6,934 Wh'dir. Kar kaplı dizede parçalı kar örtüsünün bulunması önceki günde olduğu gibi bu dizenin güç üretime katkı sağlamadığı görülmektedir. Bununla birlikte önceki günden farklı olarak, gün içinde parçalı kar örtüsü bulunan paneller tekrar kar ile kaplanmıştır. Günlük güç kaybı, temizlenen dize ile karşılaştırıldığında yaklaşık % 90 olarak hesaplanmıştır.



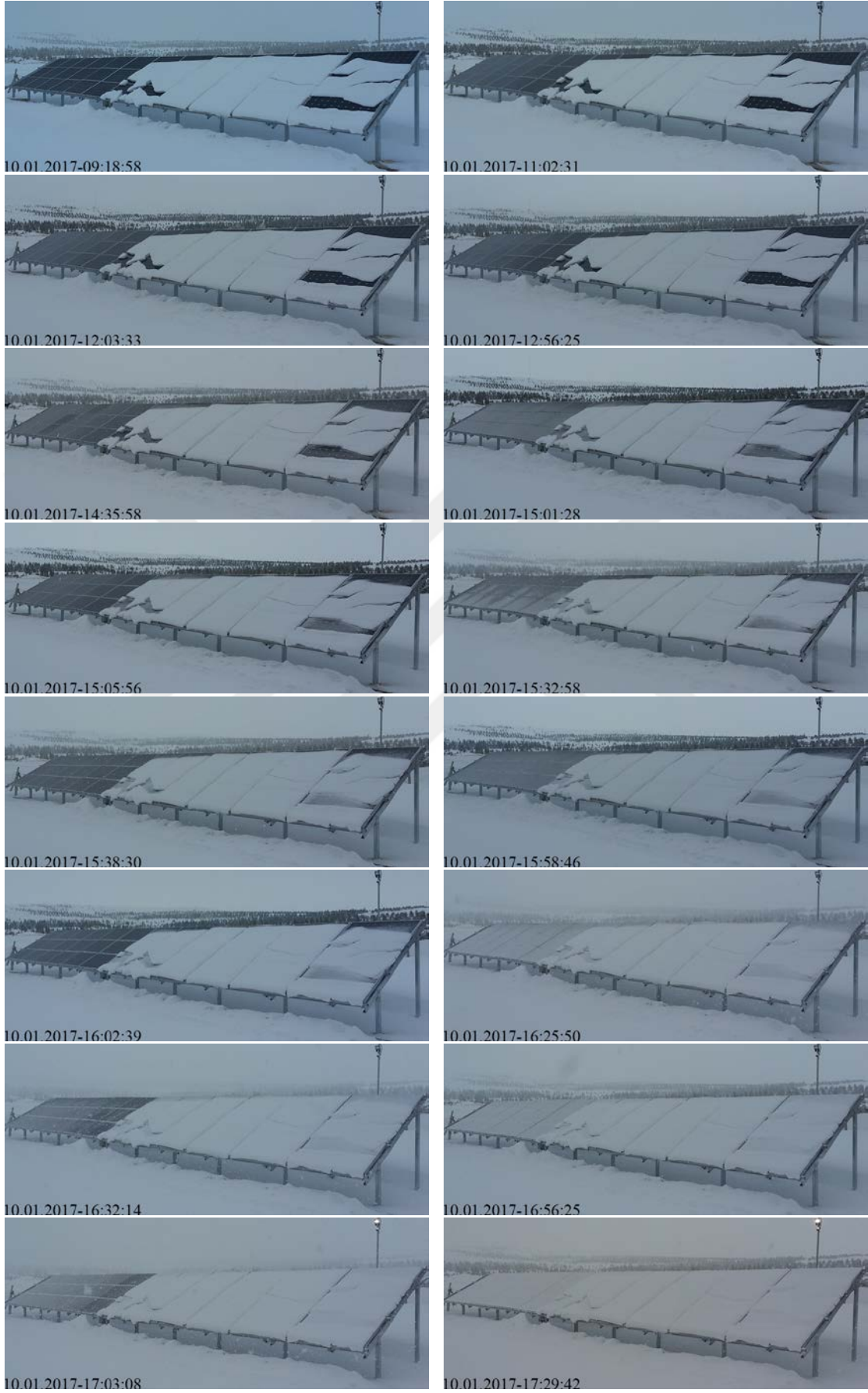
Şekil 6.25. FV dizelerin anlık güç üretimi (10 Ocak 2017)



Şekil 6.26. Işınım ve hava sıcaklığı değişimi (10 Ocak 2017)



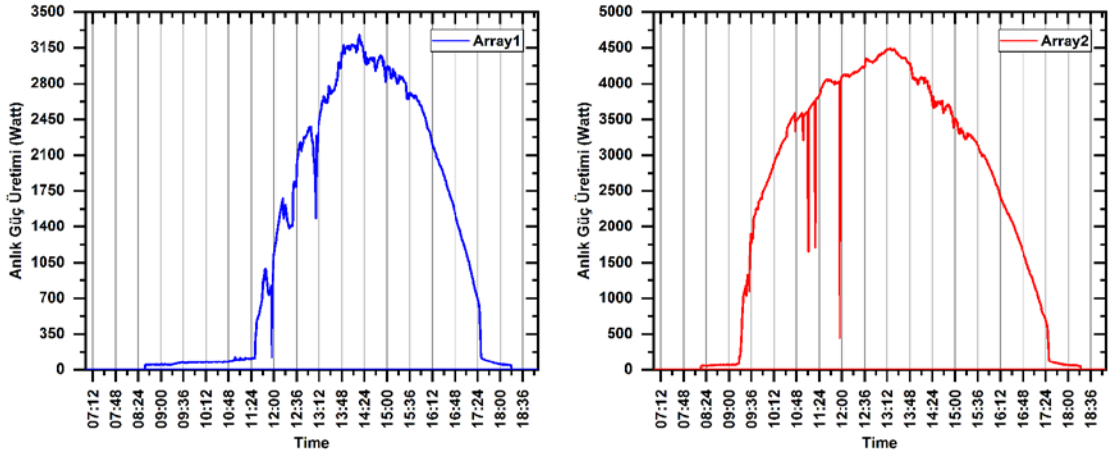
Şekil 6.27. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (10 Ocak 2017)



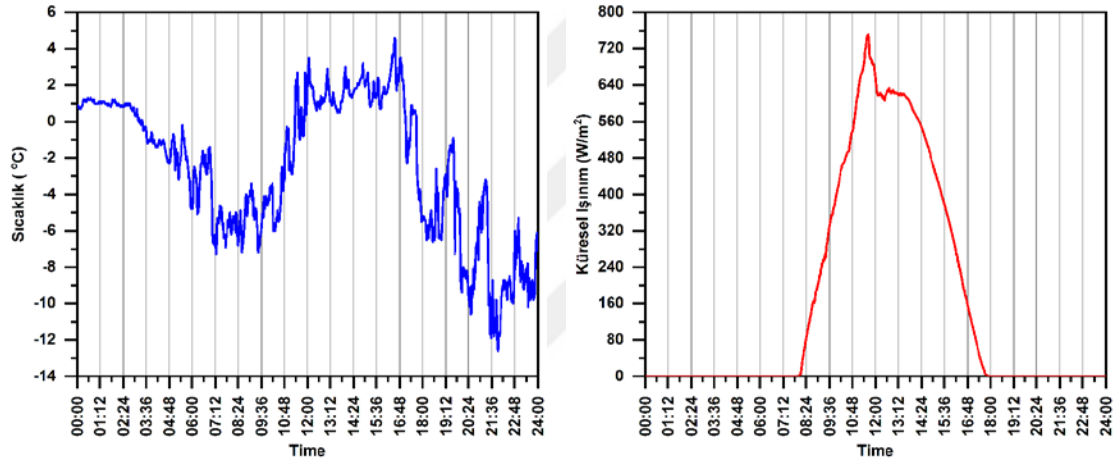
Şekil 6.28. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değimi (10 Ocak 2017)

11 Ocak 2017'de kar yağışsız, açık ve güneşli bir gökyüzü hakim olmuştur. Tüm paneller, gece saatlerindeki yoğun kar yağışı ile kaplanmıştır. Sabah erken saatte önceki günden temiz bırakılan paneller üzerinde 7 cm, yeni kar tabakası oluşmuştur. Önceki günden kar kaplı bırakılan paneller üzerindeki kar kalınlığı ise yeni karla birlikte 16cm'yi geçmiştir. Sabah temizleme faaliyeti 09.00'da başlamıştır. Panel yüzeyinde biriken kar tabakası, sabah -6 °C'ye kadar düşen ortam sıcaklığı sebebiyle donmuştur. Bu nedenle, panellerin temizlenmesi yaklaşık 35 dk sürmüştür.

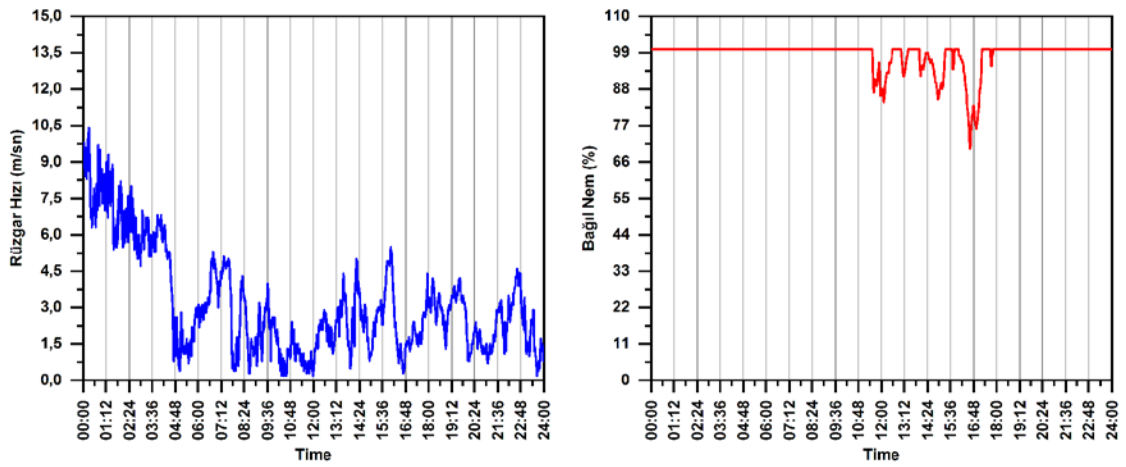
Gün boyunca dizelerden elde edilen gücün anlık değişimi şekil 6.29'da verilmiştir. Bölgedeki hava sıcaklığı, küresel ışınım, rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi şekil 6.30 ve şekil 6.31'de görülmektedir. Gün boyu devam eden açık ve güneşli gökyüzü nedeniyle dizelerin güç üretimi ve küresel ışınım değerleri, hemen hemen çan şekline düzgün ve birbirine benzer bir grafiğe sahiptir. Gece saatlerinde sıfırın altına düşen hava sıcaklığı, gün içinde tekrar yükselmeye başlamıştır. Gün ortasında hava sıcaklığı +2 °C'ye ulaşmıştır. Bölgedeki ortalama rüzgar hızı 2 m/sn'dir. Öğle saatlerine doğru ışınım ve hava sıcaklığındaki artış, dize üzerindeki kar örtüsünün erimesine ve kar örtüsünün tabaka halinde saat 10.30'da kaymasına sebep olmuştur. Dizelere ait tesis görüntüleri şekil 6.32'de görülmektedir. Panel çerçeveleri ve yerde biriken kar yığınları, dize üzerindeki kar tabakalarının dökülmesini zorlaştırmaktadır. Dizenin yere yakın alt kenarında bulunan panellerin en az iki hücre dizesi, kar yığınları ile kaplanmıştır. Dize üzerindeki kar yığınları nedeniyle dizenin güç üretimi saat 11.30'dan sonra yükselmeye başlamıştır. Paneller taşıyıcı sistem üzerine yatay konumda yerleştirildiğinden panellerin üzerindeki kar tabakaları azaldıkça gün ışığına maruz kalan hücre dizeleri sayesinde dizenin güç üretimi artmıştır. Kar yağışı alan bölgelerde panel montajı yapılırken paneller taşıyıcı sisteme yatay şekilde yerleştirilmeli, bölgenin kar yağışı alma miktarı dikkate alınmalı ve panellerin en alt kenarının zemin ile arasındaki mesafe arttırılmalıdır. Yerde biriken kar yığınları, temizlenmeyen panellerin en alt kenarının üstünü örtmeye 13 Ocak gününe kadar devam etmiştir. Gün boyunca üretilen toplam enerji 39,775 Wh olarak gerçekleşmiştir. Kar kaplı ve temizlenen dizeler tarafından üretilen günlük enerji, sırasıyla 13,340 Wh ve 26,435 Wh'dir. Günlük güç kaybı yaklaşık % 48 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.29. FV dizelerin anlık güç üretimi (11 Ocak 2017)



Şekil 6.30. Işınm ve hava sıcaklığı değişimi (11 Ocak 2017)



Şekil 6.31. Rüzgar hızı ve bağıl nem değişimi (11 Ocak 2017)



Şekil 6.32. Dizeler üzerindeki kar örtüsünün gün içindeki değişimi (11 Ocak 2017)

Çalışma periyodu içinde kar yağışlı ve kayıplı geçen günler değerlendirildiğinde genel olarak aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

FV tesislerde paneller, bölgenin coğrafi konumuna ve fiziki yapısına uygun olarak taşıyıcı sisteme yerden belirli bir yükseklikte ve uygun eğim açısıyla yerleştirilir. Fakat panel çerçevesi ve yerde biriken kar yığınları, panel yüzeyinden kayan karın dökülmesini güçleştirir. Kar tabakaları, panellerin en alt kenarında birikir. Bu tür kar birikintileri, hem panellerin hem de bu panellerin bağlı olduğu dizinin gölgeli çalışmasına yol açar. Bu durum, panelin yapısal özelliğinin bir sonucudur. Panel yüzeyinde biriken kar yığınlarının dökülmesini kolaylaştırmak için çerçevesiz FV paneller kullanmak (Becker, 2006) veya bölgenin kar yağışı alma miktarına bağlı olarak FV panelleri yerden belirli bir yükseklikte montaj etmek gerekir.

Bir panelden STC altında arzu edilen akım ve gerilimi elde etmek için paneli oluşturan fotovoltaiik hücreler, seri-paralel şekilde bağlantılarla birleştirilir. Panel çıkış gerilimini istenen seviyeye çıkarmak için fotovoltaiik hücreler birbirine seri şekilde bağlanır. Aynı sıradaki bir çok fotovoltaiik hücre diziyi oluşturur. Bir dizide seri bağlı tüm hücrelerin akımı aynıdır. Bu nedenle dizi akımını, en düşük akımlı fotovoltaiik hücre belirler. Panel çıkış akımını arttırmak için bir kaç dizi birbirine paralel şekilde bağlanır. Paralel dizilerde ise gerilimler birbirine eşittir. Diziler arasında oluşabilecek bir gerilim farkı, büyük gerilimli dizinin küçük gerilimli diziyi beslemesine yol açar. Bu durumu önlemek için diziler arasına by-pass diyotları yerleştirilir. FV paneller taşıyıcı sisteme dikey konumda yerleştirildiğinde panelin en alt kenarında biriken kar yığınları, panelin her dizisinde en az bir hücrenin gölgelenmesine dolayısıyla panelin üretiminin durmasına neden olur. FV panelleri taşıyıcı sisteme yatay şekilde yerleştirmek, gölgelenmeyen diğer dizilerin by-pass diyotları sayesinde üretime devam etmesini sağlayacaktır.

Kar yığınlarının dökülmesi kolaylaşmak için diğer bir çözüm önerisi, taşıyıcı sisteme montaj edilecek panellerin kış aylarında eğim açısının artırılmasıdır. Bu yöntem, bir yandan kar birikintilerinin dökülmesini kolaylaştırırken diğer yandan tesisten elde edilecek kazancı arttıracaktır. Çünkü yaz aylarında güneş ışınları yatay düzleme dik ve çok küçük bir açıyla gelirken, kış aylarında güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısı daha büyüktür. Eğim açısının artırılması güneş ışınlarının FV hücrelere ulaşmasını engelleyen kar yığınlarının dökülmesini ve güneş ışınlarının panel düzlemine dik gelmesini sağlayacaktır. Her iki durumda da panel performansı artacaktır. Bu yöntemin dezavantajlarından biri, mevsime bağlı olarak tesisteki

panellerin eğim açısının sürekli değiştirilmesini gerektirmesidir. Diğer bir dezavantajı, yüksek eğim açısına sahip panellerin arkadan esen kuvvetli kuzey rüzgarlarına daha fazla maruz kalmasıdır. Kuvvetli rüzgar, taşıyıcı sisteme ek yükler getirdiğinden panellerin zarar görmesini engellemek için tesisin daha dayanıklı ve sağlam yapılmasını gerektirir.

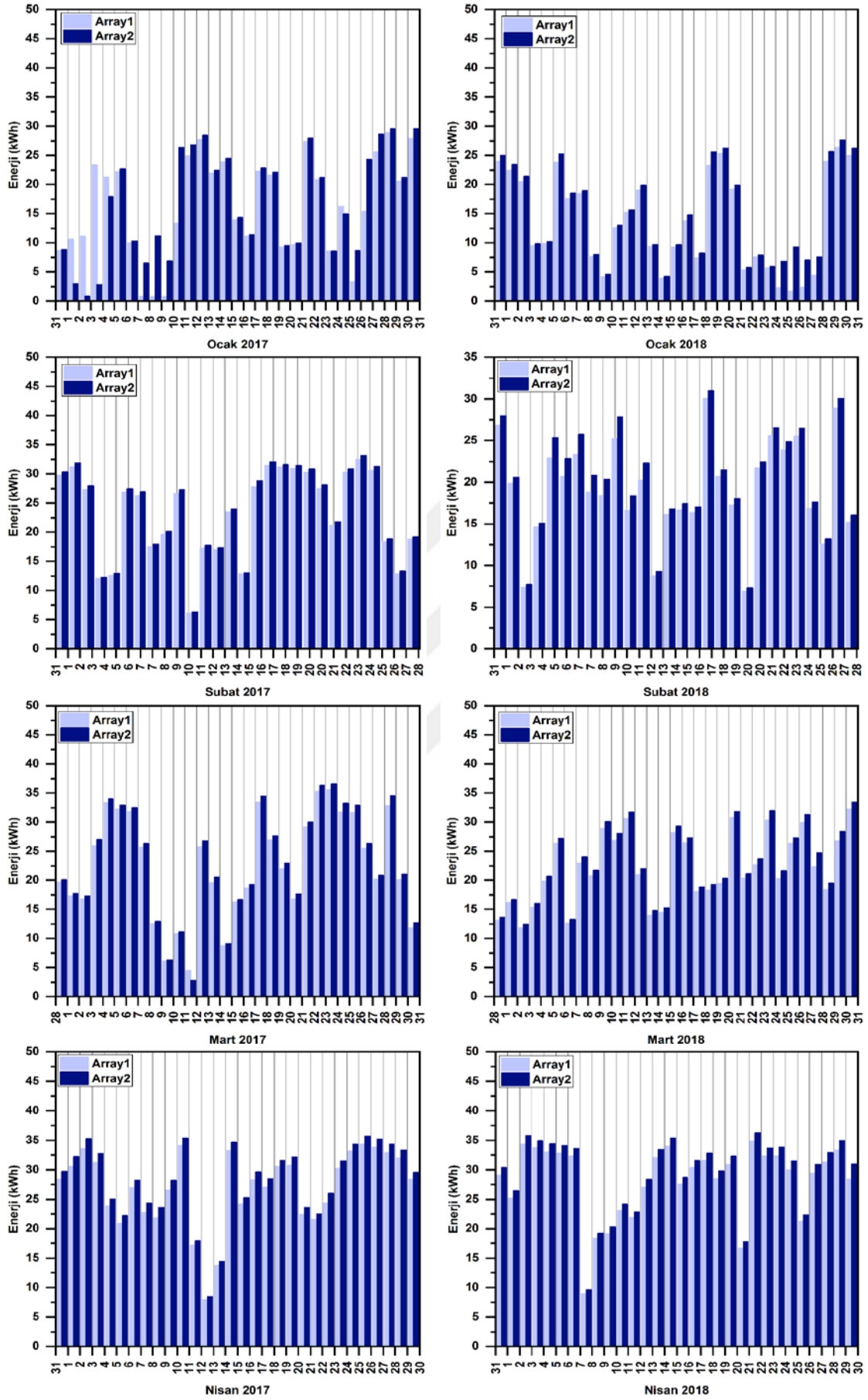
Son olarak gölgeli çalışmanın etkileri azaltmak için FV tesislerde merkezi tek bir inverter sistemi yerine bir çok dize inverter grubu veya panel düzeyinde üretim için mikro inverterler kullanılabilir.

6.2. Aylık Enerji Üretim Kayıpları

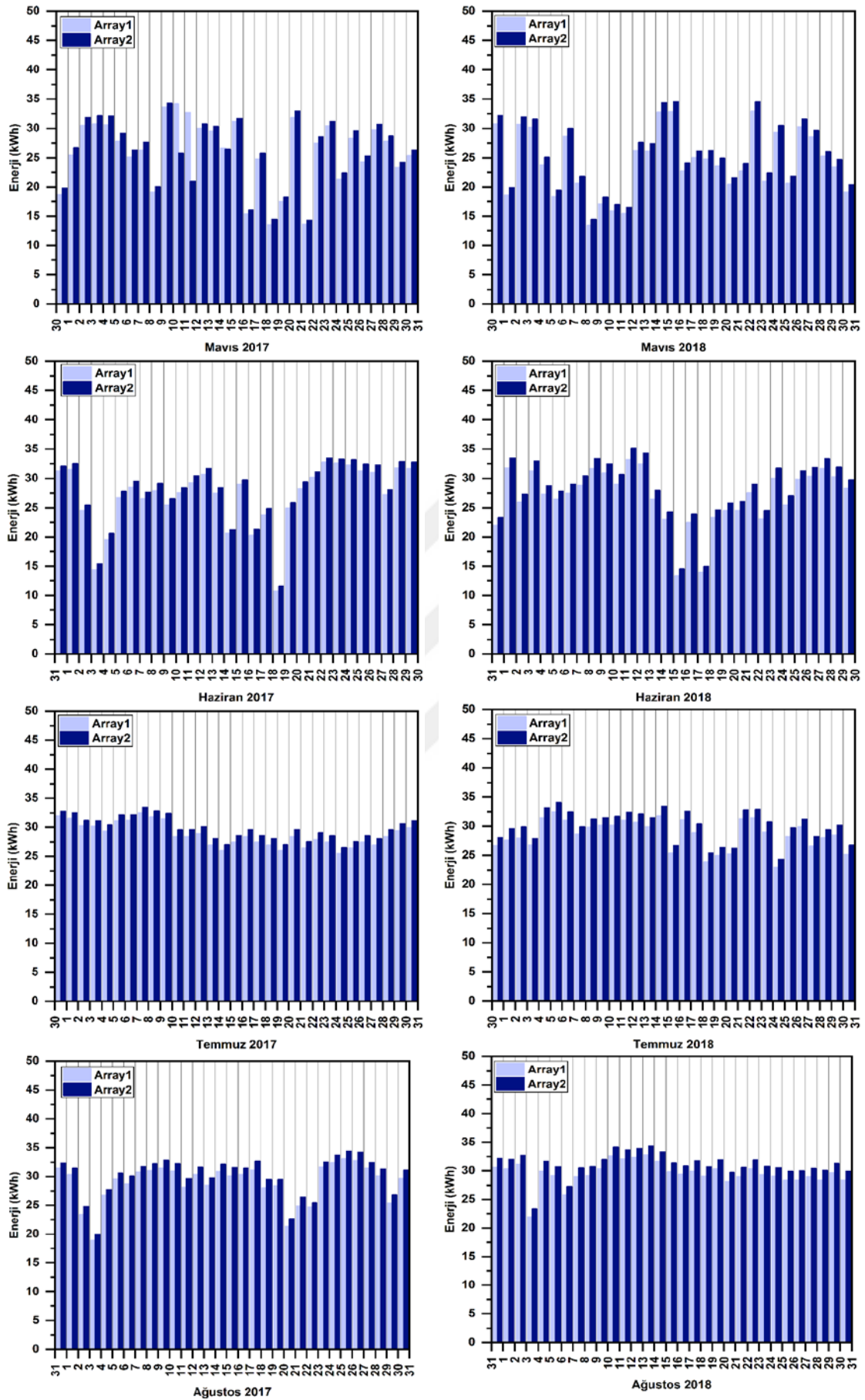
Şekil 6.33, şekil 6.34 ve şekil 6.35, son iki yılda tesisten elde edilen günlük enerji üretim sonuçlarını göstermektedir. Grafiklerde özellikle kış sezonu boyunca (Kasım-Mart) temizlenen ve kar örtüsü ile kaplı dizeleri ayırt etmek mümkündür. Kar temizleme faaliyetleri, temizlenen dizenin güç çıkışını arttırmaktadır. Bununla birlikte, parçalı veya tümüyle kar örtüsü ile kaplı dizedeki güç üretimi oldukça azalmaktadır. Dize üzerinde uzun süre kalan kar örtüsü ve buzlanma, dizeler arasındaki üretim farkını ve kayıpları artırmaktadır.

Çalışmanın ilk yılında (2017) en fazla kar yağışı 13 gün ile Ocak ayında meydana gelmiştir. 2016 Aralık ayı sonunda başlayan ve Ocak 2017'de devam eden kar yağışları ile birlikte maksimum toprak üstü kar yüksekliği 51 cm'e ulaşmıştır. Karın yerden kalkması Şubat ayı sonunu (53 gün) bulmuştur. Şubat ve Kasım ayları içinde herhangi bir kar yağışı meydana gelmezken Mart ve Aralık ayı içinde kar yağışı, sadece bir kaç günle sınırlı kalmıştır. 2017'de sıcaklığın -15°C 'nin altına düştüğü ve buzlanmanın etkiliği olduğu gün sayısı Ocak ve Şubat aylarında sırasıyla, 4 gün ve 3 gündür. Ocak, Mart ve Aralık aylarında meydana gelen kar yağışı ve buzlanma olayları, sırasıyla % 18, % 0.25 ve % 2.58 üretim kaybına neden olmuştur.

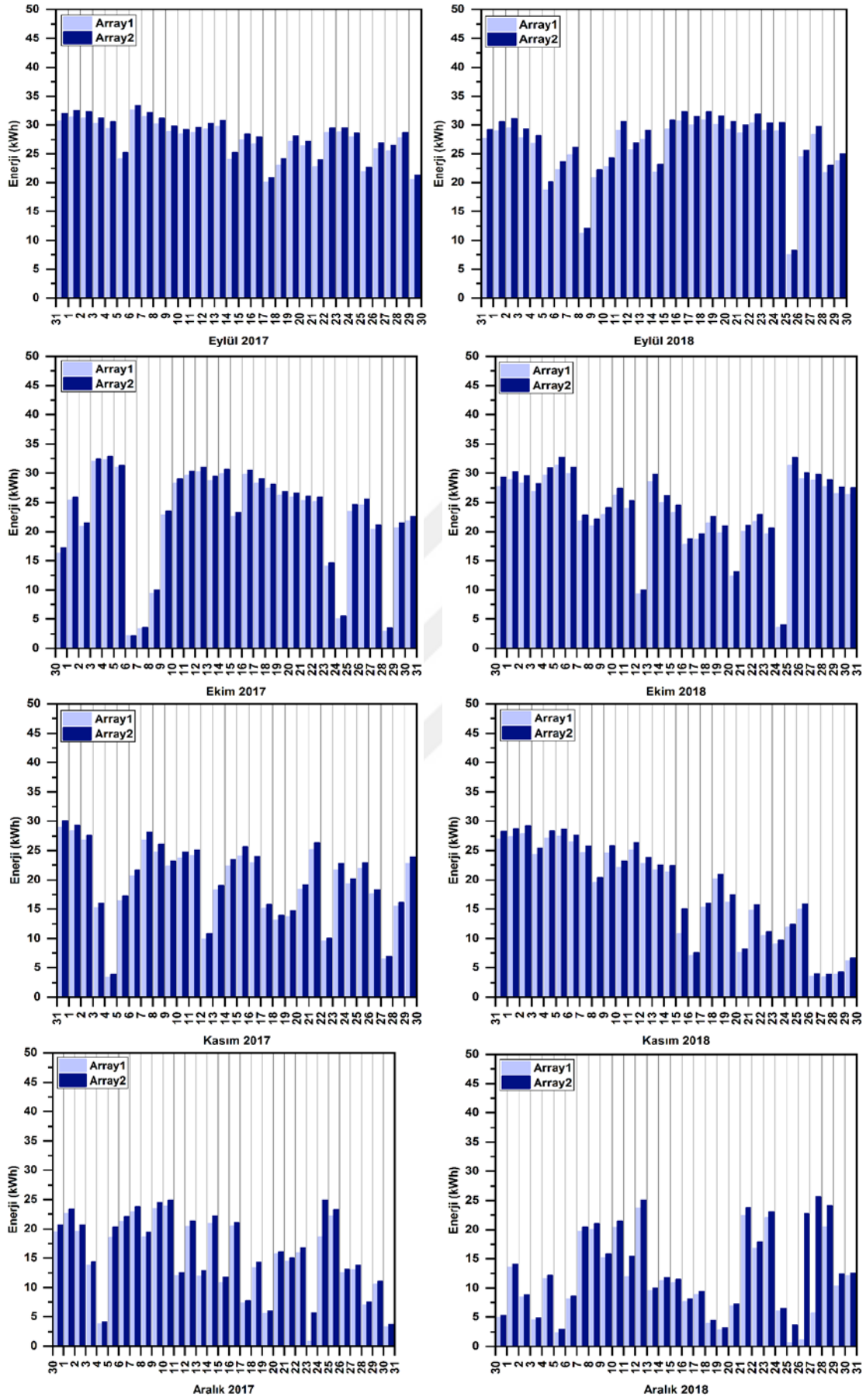
Çalışmanın ikinci yılında kar yağışlı geçen gün sayısı Ocak ve Aralık ayında 4 gün, Kasım ayında ise sadece 2 gündür. Yerdeki kar yüksekliği, Ocak ve Aralık ayında sırasıyla maksimum 10 cm ve 12 cm'dir. Bu değerler, bir önceki yıla göre oldukça düşüktür. Kar yağışı ve buzlanma, en fazla Aralık ayı sonunda etkili olmuştur. Ocak, Kasım ve Aralık aylarında meydana gelen kar yağışı ve buzlanma olayları, sırasıyla %5, % 1 ve % 13 üretim kaybına neden olmuştur.



Şekil 6.33. Son iki yılda FV sistemin aylık enerji üretimi (Ocak-Nisan)



Şekil 6.34. Son iki yılda FV sistemin aylık enerji üretimi (Mayıs-Ağustos)

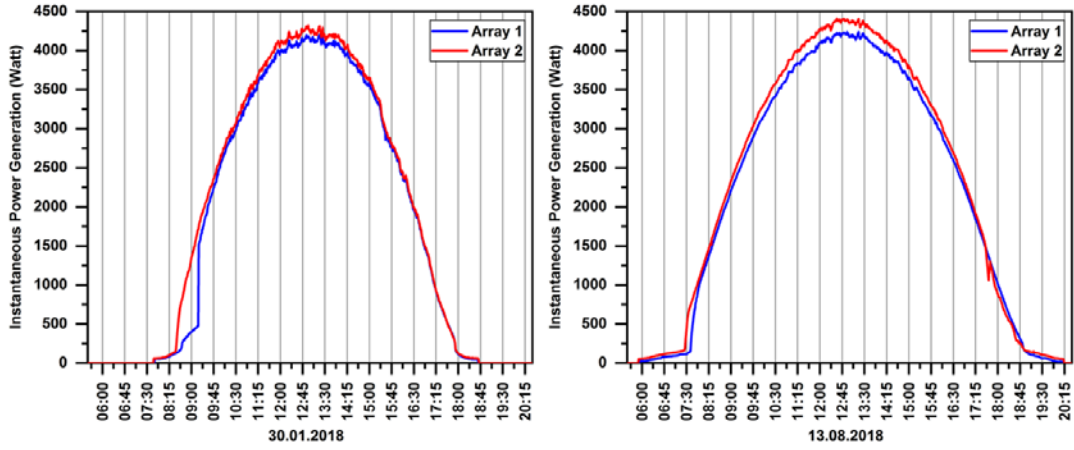


Şekil 6.35. Son iki yılda FV sistemin aylık enerji üretimi (Ekim-Aralık)

Tüm yıl boyunca dizelerin günlük üretim değerleri incelendiğinde iki dize arasında sürekli devam eden bir üretim farklılığının olduğu görülmektedir. Dizelerden biri, diğerine göre daha fazla enerji üretmektedir. İki dize arasındaki bu üretim farkı, tüm yıl boyunca devam etmektedir. Bu fark, nispeten düşük üretimin gerçekleştiği yağışlı ve bulutlu aylarda azalırken, güneşli ve açık havalı yaz aylarında artmaktadır. Dizeler arasındaki farkı belirlemek için dizelerin aylar içindeki günlük üretim değerleri incelenmiştir. Şekil 6.36, gökyüzünün açık ve bulutsuz olduğu bu sebeple dizelerin güç üretiminin düzgün bir dağılım sergilediği biri yaz, diğeri kış mevsimine ait iki farklı günün güç üretimini göstermektedir.

Dizeler arasındaki farkın nedenlerinden biri, gün doğumuyla birlikte tesisin mevcut okul binasının gölgesinde kalmasıdır. Bu etki, hem yaz hem de kış aylarında dizeler arasında fark oluşturmaktadır. Dizelerin sabah saatlerinde bu etkiden kurtulması mevsimine göre yaklaşık 1 ila 2 saati bulmaktadır. Bu sırada dizelerden biri, diğerine göre biraz daha fazla gölgelenmektedir. Nispeten uzun süre gölgeli kalan dizede üretim düşmektedir. Gölgeleme etkisi ile birlikte, hava sıcaklığının sıfırın altında $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düştüğü günlerde dizeler arasındaki fark artmaktadır. Çünkü sabah erken saatlerde panellerin yüzeyinde buzlanma meydana gelmektedir. Bu buz tabakası, daha uzun gölgeleme etkisi altındaki dizede daha geç erimekte ve dizenin güç üretimi düşmektedir.

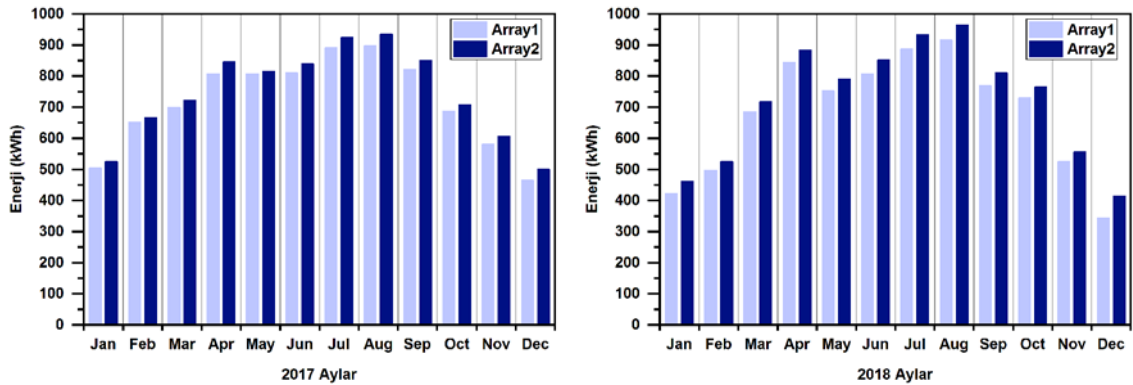
Dizeler arasındaki farkın en büyük nedenlerinden biri, her iki dizede kullanılan panellerin eşit miktarda güç üretmemesidir. Çünkü dizelerden birinde kullanılan 8 adet panel, 270W etiket değerine sahiptir. Fabrikada aynı üretim bandından çıkan panellerin güç çıkışları arasında 0 - % 3 arasında farklılık olabileceği üretici firmaların panel etiketinde belirtilir. Bu durum, karşılaştırma yapılan dizeler arasında küçük bir fark oluşturmaktadır. Bu fark, gün içinde sadece öğle saatlerinde daha belirgin hale gelmektedir. Dizeler arasındaki günlük üretim farkı, mevsimine göre % 2 - % 5 arasında değişmektedir. Dizelerin günlük üretimleri arasındaki fark ve kar yağışlı geçen günler bilinmektedir. Dolayısıyla dizelerin günlük enerji üretimi karşılaştırılırken fazla üretim yapan dize, bir kol saatine benzetilir. Saat, zamanı ölçmekte fakat belirli bir miktar fazla göstermektedir. Bu fark, kar yağışsız günlerde sabit kalmaktadır. Gerçek değer, ölçülen değerden bu fazlalığın çıkarılması ile bulunur. Böylece, kar yağışı ve buzlanmanın olmadığı günlerde dizeler arasında üretim kaybı oluşmaz. Kar yağışlı günlerde ise referans olarak kullanılan ve fazla üretim yapan dizenin güç üretimi, kar yağışsız günlerde elde edilen fark oranında azaltılır. Gölgelemenin neden olduğu üretim kaybı ise ihmal edilmiştir. Çünkü, dizelerin günlük üretimi içindeki payı oldukça düşüktür.



Şekil 6.36. Dizelerin güç üretiminin iki farklı mevsimde karşılaştırılması

6.3. Yıllık Enerji Üretim Kayıpları

Şekil 6.37, 2017 ve 2018 yılına ait FV dizelerin aylık üretim değerlerini göstermektedir. Sistem çıktıları, yıl içinde kar yağışı ile birlikte üretimi etkileyen buzlanma, sis, yağmur ve bulutluluk oranı gibi hava koşulları nedeniyle aydan aya farklılık göstermektedir. Mayıs ayı, bulutlu ve yağmurlu geçen gün sayısının en fazla olduğu aylardan biridir. Bulutluluk oranı, kar yağışı ve buzlanma, en fazla Ocak ve Aralık aylarında etkili olmaktadır. Son iki yılın üretim verileri arasında en belirgin farklılık, kar yağışının etkili olduğu aylarda meydana gelmektedir. 2018 yılı Ocak ve Şubat ayında yağmurlu veya kar yağışlı geçen gün sayısı ve üretim kaybı oldukça azdır. Fakat enerji üretimi, bir önceki yılın aynı dönemine göre daha düşük çıkmaktadır. Bu duruma, 2017 yılı Ocak ve Şubat ayı boyunca zemindeki kar örtüsünün neden olduğu düşünülmektedir. Zeminden yansıyan güneş ışınları, dizelerin güç üretimini arttırmıştır. Tesisin 2017 ve 2018 yılları için toplam enerji üretimi sırasıyla yaklaşık 17,500 kWh ve 16,900 kWh olarak gerçekleşmiştir. 2017 ve 2018 yılları için kar yağışı ve buzlanmanın neden olduğu yıllık üretim kaybı, sırasıyla % 1,3 ve % 1 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.37. Son iki yılda FV sistemin yıllık enerji üretimi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri, panel düzlemine gelen güneş ışınımına bağlı olarak elektrik enerjisi üreten yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş ışınlarının FV hücrelere ulaşmasını engelleyen dolayısıyla panellerin performansını düşüren bulut geçişi, toz birikimi, kuş pislikleri, kar ve buzlanma gibi çeşitli atmosferik ve çevresel faktörler FV sistemlerin güç çıkışını azaltmaktadır. Kış mevsiminde güneş ışınlarının panel düzlemine geliş açısının artması, yoğun bulutluluk oranı ve kısa güneşlenme süresine ek olarak kar yağışı ve buzlanma olayları, fotovoltaik sistemlerin güç çıkışındaki azalmanın nedenlerinden birkaçıdır.

FV sistem özellikleri ve mevsimsel değişiklikler, kurulumun yapıldığı ülkeye ve bölgeye göre farklılık göstermektedir. Dolayısıyla FV sistem üzerinde biriken kar örtüsünün neden olduğu kayıpları belirleme çalışmaları Dünya'nın bir çok ülkesinde devam etmektedir. Türkiye, büyük bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olmakla birlikte kış mevsiminde ülke genelinde kar yağışı görülmektedir. Ancak kar yağışının FV sistem performansına etkisi ile ilgili ülkemizde yapılmış herhangi bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin Türkiye ve Konya'da sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kullanıma uygun olup olmadığına karar vermeden önce yoğun kar yağışı alan bölgelerimiz başta olmak üzere FV tesis kurulumunun yapıldığı bölgelerde kar yağışı ve buzlanma olaylarının dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Konuyla ilgili gerçekleştirilecek araştırmalar, güvenilir enerji tahminlerinin yapılmasına, dolayısıyla yatırımcıya tesis alanı seçiminde ve maliyet analizleri konusunda fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Böylece, kar yağışlı bölgelerde tesis edilecek FV sistemler için kar dökülmesini kolaylaştıracak uygun eğim açısının ve FV panellerin kar örtüsü ile kaplı kaldığı sürenin belirlenmesi amacıyla gerçek çalışma ortamı koşullarında araştırmaların yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, FV enerji üretimini doğrudan etkileyen kar yağışı ve buzlanma nedeniyle şebeke bağlantılı bir FV sistemde meydana gelen üretim kayıplarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Değerlendirme için tesisin şebeke ile bağlantısını sağlayan hibrid inverterin dakikalık çözünürlükteki üretim verileri kullanılmıştır. Temizlenen ve kar kaplı bırakılan dizelere ait günlük, aylık ve yıllık üretim verileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmanın sonuçları, tümüyle kar kaplı bir dizede günlük üretim kayıplarının %93 gibi oldukça yüksek değerlere ulaşabileceğini göstermiştir. Düşük ışınım ve ortam sıcaklığı, kar birikintilerinin dize üzerinde uzun süre kalmasına ve buzlanmaya neden olmaktadır. Düşük hava sıcaklığına rağmen gün boyunca ışınım değerinin yükselmesi panel yüzeyindeki kar örtüsünün erimesine veya tabakalar halinde kaymasına sebep olmaktadır. Dizenin panellerinde biriken çok az bir kar örtüsü bile tüm dizenin performansını azalttığı görülmüştür. Kar tabakalarının kaymasını engelleyen panel çerçeveleri ve yerdeki kar yığınları, günlük kayıpların yüksek çıkmasında etkili olmuştur.

2017 ve 2018 yıllarını kapsayan değerlendirme sonuçları, mevcut tesis alanı için oldukça düşük çıkmıştır. Kar yağışı ve buzlanma nedeniyle aylık üretim kayıpları en fazla % 18, yıllık kayıplar % 1 ila % 2 arasında değişmektedir. Yerleşim bölgelerinden uzakta ve kendi mikro iklim özelliklerine sahip tesis alanları için farklı kar yağışı ve kayıp değerleri elde edilebilir. Kar yağışının neden olduğu kayıpların üretim ve kazanç tahminlerinde hesaba katılması yapılan analizlerin güvenilirliğini arttıracaktır. Bu nedenle, yoğun kar yağışı alan bölgelerde tesis edilecek FV sistemler için kar yağışı ve buzlanma problemine daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.

7.2 Öneriler

Büyük güneş santralleri ve erişimin kolay olmadığı çatı vb. yerlerde kullanılan fotovoltaik güneş panellerinin kar yağışı alan bölgelerde kullanımıyla ilgili yaşanan en büyük sorunlardan biri panellerin sık sık kardan temizlenmesi ihtiyacıdır. Kış aylarında FV paneller üzerinde biriken ve günlerce kalkmayan kar yığınları, tesisin güç üretimini durma noktasına getirebilmektedir. Bu nedenle, kar birikintilerinin panel yüzeyinden kaldırılması ve panel yüzeyinin sürekli temiz tutulması FV enerji üretiminin artırılması için son derece önemlidir. Büyük FV enerji üretim tesislerinde panellerin geleneksel yöntemlerle temizlenmesi oldukça fazla zaman ve insan gücü gerektirecektir. Dolayısıyla panellerin temizlenmesi ile elde edilen kazanç, kar temizleme maliyetlerini karşılamayabilir. Kış mevsiminde üretimi devam ettirmek ve FV panellerden kar birikintilerinin dökülmesini kolaylaştırmak için çerçevesiz FV paneller kullanmak, bölgenin kar yağışı alma miktarına bağlı olarak panellerin en alt kenarının yer ile arasındaki montaj yüksekliğini arttırmak, FV panelleri taşıyıcı sisteme yatay şekilde montaj etmek, panellerin eğim açısını arttırmak, merkezi inverter sistemi yerine dize veya mikro inverter sistemleri kullanmak bu soruna belirli oranda çözüm olabilir.

KAYNAKLAR

- Anadol, M.A., and Erhan, E. "Determination of Power Losses Occurring due to Snowfall based on Grid-Connected Inverter Data", *International Advanced Researches & Engineering Congress*, 16-18 November 2017, Osmaniye/TURKEY.
- Anonim, 2017, Türkiye Güneş Radyasyon Dağılımı, MGM Yayınları [online], <https://www.mgm.gov.tr/FILES/Haberler/2017/12.12.2017Guneslenme.pdf> [Ziyaret Tarihi 23.Mayıs 2019]
- Anonim, 2018, Türkiye Güneş Radyasyon Dağılımı, MGM Yayınları [online], <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=parametrelerinTurkiyeAnalizi> [Ziyaret Tarihi 23.Mayıs 2019].
- Andrews, R. W., & Pearce, J. M., 2012, "Prediction of energy effects on photovoltaic systems due to snowfall events", *38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference PVSC-2012*, Austin, TX, USA, 003386-003391.
- Andrews, R. W., Pollard, A., & Pearce, J. M., 2013, "A new method to determine the effects of hydrodynamic surface coatings on the snow shedding effectiveness of solar photovoltaic modules", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 113, 71-78.
- Andrews, R. W., Pollard, A., & Pearce, J. M. (2013). "The effects of snowfall on solar photovoltaic performance", *Solar Energy*, 92, 84-97.
- Anonymous, 2017, "Most Practical Ice Dam Prevention Products, Plus Costs" [online], <https://www.metalroofs.org/practical-ice-dam-prevention-products-costs/> [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Anonymous1, 2018, Presidency of the Republic of Turkey Investment Office-Invest in Turkey [online], <http://www.invest.gov.tr/en-US/sectors/Pages/Energy.aspx> [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Anonymous2, 2018, Presidency of the Republic of Turkey Investment Office-Invest in Turkey [online], "Turkey's Renewable Energy Market and Investment Opportunities", April 2018, <http://www.invest.gov.tr/tr-TR/infocenter/publications/Documents/YENILENEBILIR.ENERJI.SEKTORU.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Anonymous3, 2018, International Renewable Energy Agency-IRENA, "Renewable Energy Capacity Statistics 2018", March 2018 [online], http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2018.pdf, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Anonymous4, 2018, Voltronic Power Technology Corp. User's Manual. Taipei, Taiwan: [online], <http://www.voltronicpower.com/oCart2/files/manual/InfiniSolar-10KW-manual-20150130.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2018].

- Becker, G., Schiebelsberger, B., Weber, W., Vodermayr, C., Zehner, M., & Kummerle, G., 2006, "An approach to the impact of snow on the yield of grid connected PV systems", *Bavarian Association for the Promotion of Solar Energy*, Munich, 1-4.
- Culver, B.B., & Jäger, C., 1998, "Estimation of the energy output of a photovoltaic power plant in the Austrian Alps", *Solar energy*, 62(5), 319-324.
- Chakraborty, S., & Sadhu, P. K., 2016, "Mathematical Methodology to Predict Energy Generation of Grid Connected PV Power Plants in India" [online] *Current World Environment*, 11(1), 156.
http://www.cwejournal.org/pdf/vol11no1/Vol11_No1_p_156-166.pdf
 [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Ekici B.B., 2016, "Variation of photovoltaic system performance due to climatic and geographical conditions in Turkey". *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 24, 4693-4706.
- Fillion, R.M., Riahi, A.R., & Edrisy, A., 2014 "A review of icing prevention in photovoltaic devices by surface engineering". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 797-809.
- Günel, N., 2013, "Türkiye’de Kar Yağışı, Karın Yerde Kalma Süresi ve Daimi Kar Sınırı" [online], *Çevrimiçi Tematik Türkoloji Dergisi*, Yıl V, Sayı 1, <http://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex-1423866372.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Heidari, N., Gwamuri, J., Townsend, T., & Pearce, J. M., 2015, "Impact of snow and ground interference on photovoltaic electric system performance", *IEEE Journal of Photovoltaics*, 5(6), 1680-1685.
- Marion, B., Rodriguez, J., and Pruett, J., 2009, "Instrumentation for Evaluating PV System Performance Losses from Snow" [online], Preprint (No. NREL/CP-520-45380). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO. (United States), 1-6. <https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/45380.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Marion, B., Schaefer, R., Caine, H., & Sanchez, G., 2013, "Measured and modeled photovoltaic system energy losses from snow for Colorado and Wisconsin locations", *Solar Energy*, 97, 112-121.
- Mckarris, G., 2012, "Intelligent & self-cleaning solar panels" [online] Patent US20120285516 A1, Nov. 15, 2012.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/a5/6a/b2/64ab811e507c22/US20120285516A1.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Powers, L., Newmiller, J., & Townsend, T., 2010, "Measuring and modeling the effect of snow on photovoltaic system performance", *35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference PVSC- 2010*, 000973-000978.

- Ross, M.M.D., 1995. "Snow and ice accumulation on photovoltaic arrays: An assessment of the TN conseil passive melting technology", [online], report# EDRL 95-68 (TR), energy diversification research laboratory, CANMET. Natural Resources Canada, Varennes. <http://rerinfo.ca/documents/trPVSnowandRime.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Ryberg, D., and Freeman, J., 2015, "Integration, Validation, and Application of a PV Snow Coverage Model in SAM" [online], No.NREL/TP--6A20-64260, National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States),.1-21. <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68705.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Scott McCartney, (2014),"The Case for Heated Runways", [online], The Wall Streer Journal, <https://www.wsj.com/articles/winter-flight-canceled-how-about-heated-runways-1392852391>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Straten, G.A.V., 2015), "Heated Solar Panel System and Method",[online], Patent US20150021310A1, Jan. 22, 2015. <https://patentimages.storage.googleapis.com/c8/47/ba/1b48741f511291/US2015021310A1.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Thevenard D. and Pelland, S., 2011, "Estimating the Uncertainty in Long-Term Photovoltaic Yield Predictions" [online], <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2010-136.pdf>, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].
- Townsend, T., & Powers, L., 2011, "Photovoltaics and snow: An update from two winters of measurements in the sierra", *37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, PVSC-2011*, ,003231-003236.
- Wirth, G., Schroedter-Homscheidt, M., Zehner, M., and Becker, G., 2010, "Satellite-based snow identification and its impact on monitoring photovoltaic systems", *Solar energy*, 84(2), p.215-226.
- Yılmaz Ş, Özçalık HR., 2015, "Performance analysis of a 500-kWp grid-connected solar photovoltaic power plant in Kahramanmaraş",*.Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 23, 1946-1957.
- Zentgraf, E., 2011, "Studies on Clearing PV Modules from Snow Increasing Current Yields" [online],TEC-Institut für technische Innovationen, Waldaschaff, 1-10. http://www.tec-institut.com/pdf_download/studies-on-clearing-pv-modules-from-snow-increasing-solar-energy-yields.pdf, [Ziyaret Tarihi 04.Haziran 2018].

EKLER**EK-1 Hibrid İnverter Teknik Özellikleri**

RATED POWER	10,000 W
PV INPUT (DC)	
Maximum DC Power	14,850W
Nominal DC Voltage	720 VDC
Maximum DC Voltage	900 VDC
Working DC Voltage Range	300 VDC ~ 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range /Full Load MPP Voltage Range	350 VDC ~ 850 VDC /400 VDC ~ 800 VDC
Maximum Input Current	2*18.6 A
Isc PV (absolute maximum)	25 A
Max. inverter backfeed current to the array	0 A
GRID OUTPUT (AC)	
Nominal Output Voltage	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	184 - 265 VAC per phase
Output Frequency Range	47.5 ~ 51.5 Hz or 59.3~ 60.5Hz
Nominal Output Current	14.5 A per phase
Inrush Current	17 A per phase / 20ms
Maximum Output Fault Current / Duration	51 A per phase / 1ms
Maximum output Overcurrent Protection	51 A per phase
Power Factor Range	0.9 lead – 0.9 lag
AC INPUT	
AC Start-up Voltage	120-140 VAC per phase
Auto Restart Voltage	180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	170 - 280 VAC per phase
Nominal Frequency	50 Hz / 60 Hz
AC Input Power	10,000VA/10,000W
Maximum AC Input Current	40 A
Inrush Input Current	40 A / 1ms
BATTERY MODE OUTPUT (AC)	
Nominal Output Voltage	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Frequency	50 Hz / 60 Hz (auto sensing)
Output Waveform	Pure sine wave
Output Power	10,000VA/10,000W
Efficiency (DC to AC)	91%
BATTERY & CHARGER (Lead-acid / Li-ion)	
DC Voltage Range	40-60 VDC
Nominal DC Voltage	48 VDC
Maximum Battery Discharging Current	275 A
Maximum Charging Current	200 A
INTERFACE	
Communication Port	RS-232 / USB
Intelligent Slot	Optional SNMP, Modbus and AS-400 cards available
ENVIRONMENT	
Ingress Protection Rating	IP20
Operating Temperature	-10 to 55°C (Power derating above 50°C)
Humidity	0 90% RH (No condensing)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erman ERHAN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya / 15.09.1983
Telefon : + 90 551 705 59 18
Faks :
e-mail : ermanerhan@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mehmet Akif Ersoy Lisesi, Selçuklu, KONYA	2000
Üniversite	: Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	2014
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, KONYA	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014	TEVEKKÜL Plastik Kalıp A.Ş	Kalite Kontrol Sorumlusu
2015	ÇAĞLAYAN Plastik A.Ş	Üretim Planlama Sorumlusu
2017	AKADEMİ Ortak Sağlık Güvenlik Birimi	İş Güvenliği Uzmanı
2018	YÜKSELİŞ Ortak Sağlık Güvenlik Birimi	İş Güvenliği Uzmanı

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Cam ve Seramik Yüzeylerde Nano Film Uygulaması ve Yüzey Gerilimi Azaltılarak Hidrofobikliğin Artışı [2014,Cumhuriyet Üniversitesi]

Mehmet Ali Anadol and Erman Erhan, "Determination of Power Losses Occurring due to Snowfall based on Grid-Connected Inverter Data", *International Advanced Researches & Engineering Congress*, 16-18 November 2017, Osmaniye/TURKEY.