



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL FABRİKALARINDA Z TÜKETİM MODELİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNDE ENERJİ KALİTESİ ANALİZİ

FATİH KARADAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2022

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL FABRİKALARINDA ÖZ TÜKETİM
MODELİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNDE ENERJİ
KALİTESİ ANALİZİ

FATİH KARADAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatih KARADAĞ



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

TEKSTİL FABRİKALARINDA ÖZ TÜKETİM MODELİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNDE ENERJİ KALİTESİ ANALİZİ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

FATİH KARADAĞ

ÖZET

Ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli bakımından şanslı bir ülke konumundadır. Bununla birlikte güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi son yıllarda hızlı bir şekilde artmış ve artmaya devam etmektedir. Bu artışın ana nedenlerinden biri de öz tüketim modeli güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaşmasıdır. Öz tüketim modeli güneş enerjisi santralleri ile birlikte işletmeler kendi elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılarlarken fazla ürettikleri elektrik enerjisini de satabilmektedir. Ancak, bununla beraber öz tüketim modeli güneş enerjisi santrallerinde birtakım sorunlar da meydana gelebilmektedir. Bu sorunlardan en önemlisi enerji kalitesidir.

Bu çalışmada bir tekstil işletmesinde öz tüketim modeli güneş enerjisi santralinde enerji kalitesi (gerilim dengesizliği, kırpışma, harmonik) detaylı olarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; toplam harmonik bozulmanın gerilim harmoniği için % 5.91 olduğu, güneş enerjisi santrali devreye girdiğinde vektörel bozulmaların olduğu ve bazı invertörlerde hata kodlarının oluştuğu ve üretim performansının düştüğü gözlemlenmiştir. Üretim performansının iyileştirilmesi ve enerji kalitesindeki sorunların tespit edilerek iyileştirilmesi konusunda çözüm önerileri detaylı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Harmonik, Tekstil, Enerji Kalitesi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Nisan / 2022

Danışman: Doç. Dr. Furkan DİNÇER

Sayfa Sayısı: 61

**ENERGY QUALITY ANALYSIS IN SELF-CONSUMPTION SOLAR POWER
PLANT MODEL FOR TEXTILE FACTORIES
(M.Sc. THESIS)**

FATİH KARADAĞ

ABSTRACT

Our country is a lucky country in terms of solar energy potential. At the same time, electricity generation from solar energy has increased rapidly in recent years and continues to increase. One of the main reasons for this increasing is the widespread use of self-consumption model solar power plants. With the self-consumption model solar power plants, factories can sell the electrical energy they produce while meeting their own electrical energy needs. However, some problems may occur in self-consumption model solar power plants. The most important of these problems is energy quality.

In this study, the energy quality (voltage imbalance, flicker, harmonic) in a self-consumption model solar power plant in a textile business was analyzed and evaluated as detailed. According to the obtained results; it has been observed that the total harmonic distortion is 5.91% for the voltage harmonic, vectorial distortions occur when the solar power plant is activated, and error codes occur in some inverters and the generation performance decreases. Solution suggestions for improving production performance and identifying and improving energy quality problems are presented as detailed.

Keywords: Solar Energy, Harmonic, Textile, Energy Quality

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Electronics Engineering, April / 2022

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Furkan DİNÇER

Page Number: 61

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bana destek veren, yön gösteren ve çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam; Doç. Dr. Furkan DİNÇER'e, ayrıca çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan aileme ve değerli eşim Hatice Kübra KARADAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatih KARADAĞ



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Standart ve Yönetmelikler	12
3.2. TS EN 50160 Enerji Kalite Standardı	12
3.2.1. Frekans.....	12
3.2.2. Gerilim Genliği.....	13
3.2.3. Gerilim Dengesizliği.....	13
3.2.4. Gerilim ve Akım Harmoniği.....	13
3.2.5. Toplam Harmonik Bozulma (THB).....	13
3.2.6. Toplam Harmonik Bozulma (THB) Limit Değerler.....	13
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	14
4.1. Güç Kalitesi Ölçümleri	14
4.1.1. Monoblok Güç Kalitesi Ölçümleri	14
4.1.2. İnvertör AC Giriş Güç Kalitesi Ölçümleri-1	22
4.1.3. İnvertör AC Giriş Güç Kalitesi Ölçümleri-2	28
4.1.4. Mono Blok Üzerinde Güç Kalitesi Ölçümü	33
4.2. Güneş Enerjisi Santrali için Uzaktan İzleme Sistemi Verileri ve Değerlendirilmesi.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası.....	2
Şekil 1.2 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Işınım Değeri (kWh/m ²).....	3
Şekil 1.3 Ülkemizin Ocak 2022 tarihine kadar olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin yıllara göre kurulu güç değişimi	4
Şekil 3.1 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü ve Tesis için Kullanılan Ölçüm Bağlantısı Şeması.....	12
Şekil 4.1 PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı - Monoblok.....	14
Şekil 4.2 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı	15
Şekil 4.3 Gerilim Değeri Değişimleri.....	16
Şekil 4.4 Gerilim Harmonikleri (Güneş Enerjisi Santrali Devrede).....	16
Şekil 4.5 Gerilim Değerleri (Güneş Enerjisi Santrali Devrede)	17
Şekil 4.6 Vektörel Diyagram (Güneş Enerjisi Santrali Devrede).....	17
Şekil 4.7 Ölçülen Değerler (Güneş Enerjisi Santrali Devrede)	18
Şekil 4.8 Gerilim Harmonikleri (Şebeke).....	18
Şekil 4.9 Gerilim Değerleri (Şebeke)	19
Şekil 4.10 Vektörel Diyagram (Şebeke).....	19
Şekil 4.11 Ölçülen Değerler (Şebeke)	20
Şekil 4.12 Gerilim Değerleri ve Dalga Formlarının Karşılaştırması.....	20
Şekil 4.13 Güç Faktörü Değişimi	21
Şekil 4.14 Frekans Değişimi.....	21
Şekil 4.15 Toplam Harmonik Bozulma Oran Değerlerinin Değişimi	22
Şekil 4.16 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı (Tesis-2, İnvertör-2)...	23
Şekil 4.17 Gerilim Değerleri (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devrede).....	24
Şekil 4.18 Gerilim Harmonikleri (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devrede)	24
Şekil 4.19 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devrede)	25
Şekil 4.20 Vektörel Diyagram (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devrede)	25
Şekil 4.21 Gerilim Değerleri (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devre Dışı).....	26
Şekil 4.22 Vektörel Diyagram (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devre Dışı)	26
Şekil 4.23 Gerilim Harmonikleri ((Tesis-2, İnvertör-2, GES Devre Dışı)	27
Şekil 4.24 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devre Dışı)	27
Şekil 4.25 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı (Tesis-3 İnvertör-1)....	28
Şekil 4.26 Gerilim Değerleri (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devrede).....	29
Şekil 4.27 Gerilim Harmonikleri (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devrede)	30
Şekil 4.28 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devrede)	30
Şekil 4.29 Vektörel Diyagram (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devrede)	31
Şekil 4.30 Gerilim Değerleri (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devre Dışı).....	31
Şekil 4.31 Vektörel Diyagram (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devre Dışı)	32
Şekil 4.32 Gerilim Harmonikleri (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devre Dışı)	32
Şekil 4.33 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devre Dışı)	33
Şekil 4.34 Gerilim Değerleri Değişimi (Tesis-4 Monoblok).....	34
Şekil 4.35 Akım Değerleri Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	34
Şekil 4.36 Aktif Güç Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	35
Şekil 4.37 Kapasitif Yük Değişimi (Tesis-4 Monoblok).....	35
Şekil 4.38 Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	35
Şekil 4.39 3. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	36
Şekil 4.40 5. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	36
Şekil 4.41 7. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	36
Şekil 4.42 9. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	37
Şekil 4.43 Akım Harmoniği, thdI Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	37

Şekil 4.44 3. Akım Harmoniği, thdI Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	37
Şekil 4.45 5. Akım Harmoniği, thdI Değişimi (Tesis-4 Monoblok)	38
Şekil 4.46 Uzaktan İzleme Sisteminde Aktif Güç Değişimleri (İnvertör & İnvertör)	39
Şekil 4.47 HT PQA824 Güç Analizöründe Aktif Güç Değişimi	39
Şekil 4.48 10.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi.....	40
Şekil 4.49 12.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi.....	40
Şekil 4.50 15.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi.....	41
Şekil 4.51 23.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi.....	41
Şekil 4.52 27.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi.....	42



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 34,5 kV ve altındaki gerilim seviyesinde uygulanan gerilim harmonikleri sınır değerleri.....	14
--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V	: Volt
A	: Amper
Hz	: Hertz
kW	: 1000 Watt
I(L)	: Yük Akımı
THB	: Toplam Harmonik Bozulma
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
MW	: Megawatt
GES	: Güneş Enerjisi Santrali

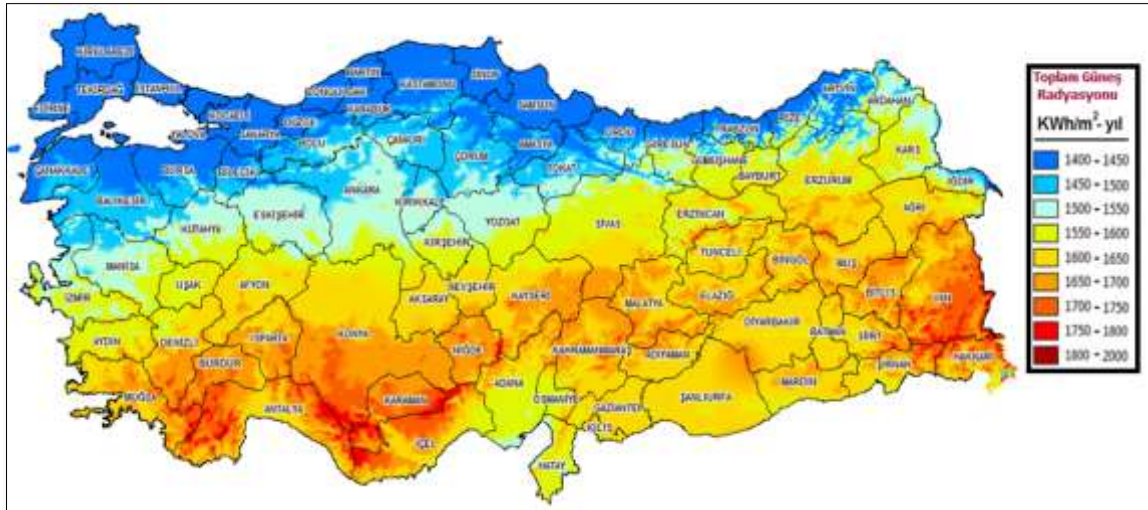




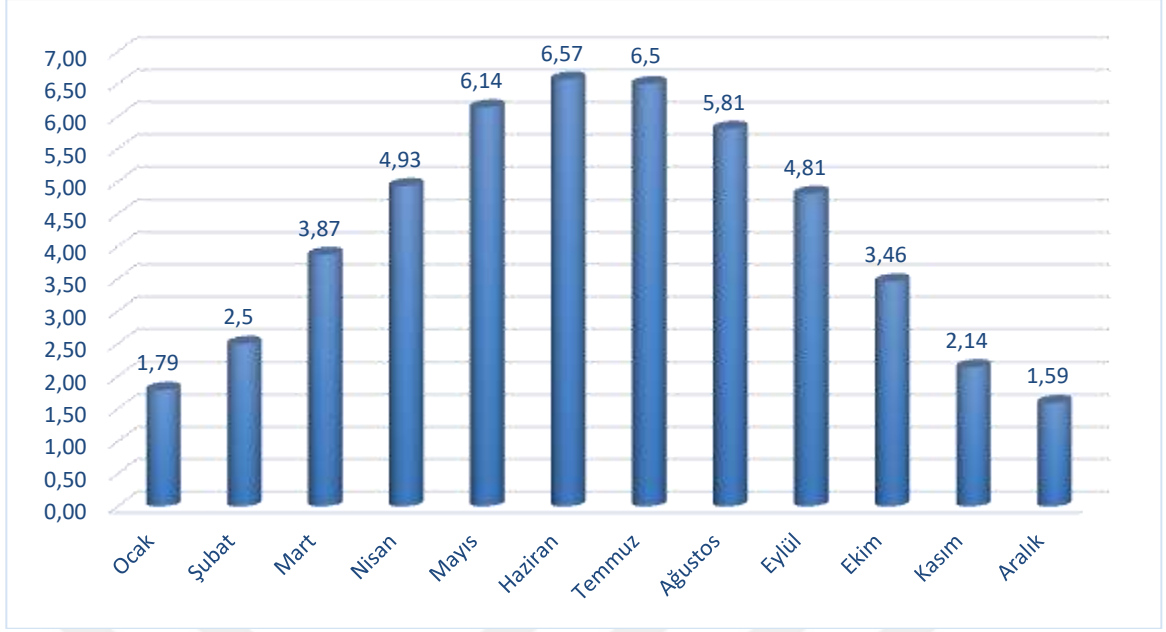
1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine olan talep hızlı bir şekilde artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip elektrik enerjisi üreten santrallere ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Yeni ve yenilebilir enerji kaynakları içerisinde en çok bulunan, sınırsız ve sürdürülebilir olan enerji kaynağı ise güneş enerjisidir. Güneş enerjisi sürdürülebilir, taşınabilir ve her lokasyonda kullanılabilen bir kaynaktır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisinin üretiminde fotovoltaik panellerden yararlanılmaktadır. Bu panellere güneş paneli de denmektedir. Fotovoltaik paneller ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Fotovoltaik hücre teknolojisinin gelişmesiyle birlikte fotovoltaik panellerin maliyetleri son 10 yılda hızlı bir şekilde düşmüştür. Bu sayede, günümüzde bu fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücü hızlı bir şekilde artmış ve artmaya devam etmektedir [2-4].

Ülkemiz bulunduğu konum itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin bir konumdadır. Güneş ışınım değeri ve güneşlenme süreleri bakımından özellikle gelişmiş olan ülkelere göre öncü konumdadır. Yıl boyunca ülkemizin güneşlenme süresi 2741,07 saattir (gün bazında ortalama toplamı 7,5 saattir). Ülkemizin ortalama olarak toplam ışınım değeri $1527,46 \text{ kWh/m}^2$ yıl (gün bazında ortalama toplamı $4,18 \text{ kWh/m}^2$) olarak belirlenmiştir [5]. Bu değerler ortalama değerler olup daha iyi bir güneş enerjisi santrali projeleri tasarlayarak daha yüksek üretim ve performans değerleri elde etmek mümkündür. Ülkemizin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası Şekil 1.1’de ve ülkemizde meydana gelen aylık ortalama radyasyon dağılım değerleri Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.1 Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası [5]

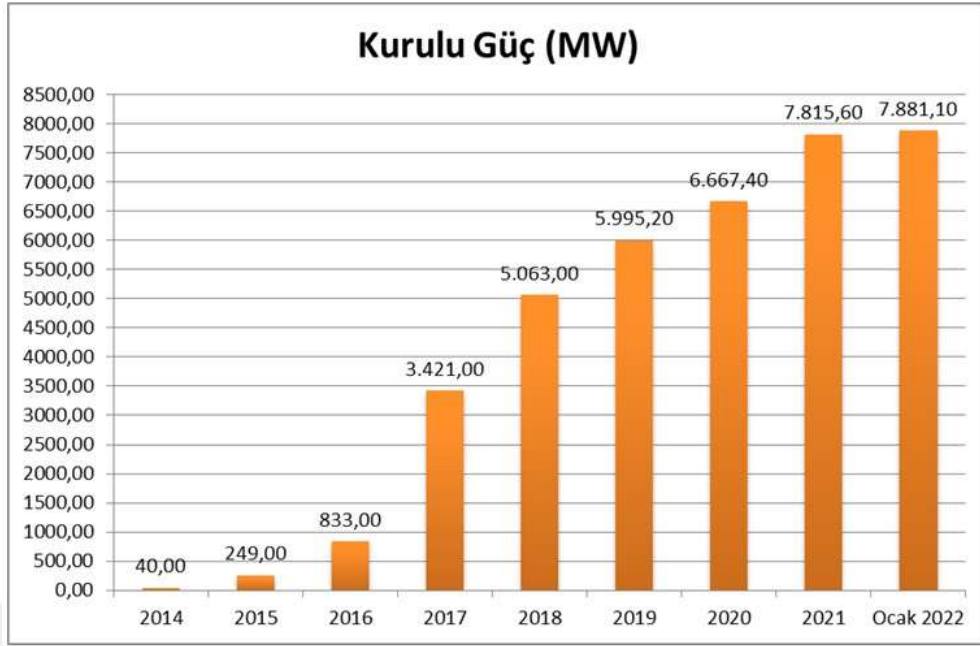


Şekil 1.2 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Işınım Değeri (kWh/m²) [5]

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi güneş panelleri veya fotovoltaik güneş hücreleri olarak isimlendirilen yarı iletken maddelerden üretilmektedir. Güneş panelleri güneşten gelen ışınları doğru akım elektriğine dönüştürebilen sistemlerdir. Güneş panellerinde kullanılan yarı iletken maddeler; kristal silisyum, galyum arsenit, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellür ve amorf silisyum gibi yarı iletken maddelerden oluşup, en çok kullanılan yarı iletken madde doğa da en çok bulunan silisyumdur. Güneş enerji santrallerinde polikristal güneş panelleri, monokristal güneş panelleri, monoperç güneş panelleri, ince film güneş panelleri, esnek güneş panelleri ve saydam güneş panelleri kullanılmaktadır. En çok kullanılan paneller ise son 5 yıldır özellikle polikristal güneş panelleri olurken günümüzde ağırlıklı olarak monoperç güneş panelleri kullanılmaktadır.

Polikristal güneş paneli fazla alan kaplayan ve verimliliği %15 civarında olan bir paneldir. Monokristal panele göre verimliliği daha azdır fakat havadaki ısı değişimlerinden monokristal panele göre daha az etkilenmektedir. Ayrıca monokristal panele göre fiyatı daha uygundur. Güneş enerji santrallerinde en çok kullanılan panel türü ise günümüzde monoperç güneş panelleridir. Paneller arasında en yüksek verime sahip olan monoperç güneş panelidir. Bu paneller de half-cut denilen yarı kesim teknolojisi ile üretilmektedir. Böylece daha az alanlarda daha fazla enerji üretilebilmektedir. Monoperç güneş panelinin verimliliği yaklaşık %21 civarındadır [6].

Ülkemiz güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda iyi bir konumda olmaktadır. Zamanla düşen maliyetlerle orantılı olarak kurulu güçlerde ciddi artış olmuştur. Ülkemizin Ocak 2022 tarihli güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için kurulu olan güç değerleri Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3 Ülkemizin Ocak 2022 tarihine kadar olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin yıllara göre kurulu güç değişimi [7]

Ülkemizdeki elektrik enerjisi üretim santrallerinin toplam kurulu güç değeri Ocak 2022 TEİAŞ Kurulu Güç Raporuna göre (Teiaş, 2022) 99.734,0 MW olup, bu santrallerin 8.482 adedi ve 7.881,1 MW'lık olan kısmı güneş enerjisi santrali sistemleri oluşturmaktadır. Enerji maliyetlerindeki artışlar ve güneş enerjisi santrali kurulum maliyetlerindeki düşüşler ile birlikte bu kurulu güç değerleri hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Güneş enerjisi santralleri kurulu gücü hızlı bir şekilde artarken enerji kalitesi konusunda çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Güneş enerjisi santralleri bulundukları bölgenin elektrik enerjisi tüketim durumu, bağlı bulundukları elektrik enerji dağıtım hatlarının karakteristik durumları, hat uzunluğu vb. faktörlere göre enerji kalitesi üzerinde çeşitli etkiler göstermektedir [8-10]. Bu etkenler genellikle; hatlarda gerilim yükselmesi, dalgalanma, fliker, ani geçişler vb. olarak üretici ve tüketiciler için sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, tekstil sektöründe öz tüketim modeli güneş enerjisi santralinde yaşanan enerji kalitesi sorununun meydana gelmesinden dolayı bu sorunun tespiti ve nasıl giderilmesi gerektiği konusunda detaylı analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu sorundan kaynaklı santralin üretim performansının düşmesi ve santral invertörlerinde yaşanan hataların nedenleri sorgulanmış ve çözüm önerisi sunulması amaçlanmıştır.

Öncelikle güneş enerjisi santralleri ve enerji kalitesi konularında yapılmış olan literatür çalışmaları taranmıştır. Ardından yaşanan bu sorunların tespiti ve çözümü için ölçüm metodu ve ölçümün nasıl gerçekleştirildiği konuları ile ilgili bilgiler materyal ve yöntem bölümünde sunulmuştur. Ölçüm metodunun belirlenmesinden sonra deneysel ölçümlere geçilmiş ve elde edilen ölçümler simülasyon programında işlenmiştir. Analiz çalışmalarında Topview 2.2.0.8. paket programı kullanılmıştır. Elde edilen bulgular detaylı olarak değerlendirilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kadifeci 2019 yılında yaptığı çalışmasında, üretim süreci boyunca her aşamasında güç kalitesinde bozulmaya yol açan hız kontrol ünitelerinin kullanıldığı kumaş boya fabrikasını incelemiştir. Kahramanmaraş ilinde bulunan bir kumaş boya fabrikasında 4 ayrı alçak gerilim çıkışlı trafoda 12 saatlik sürelerde ölçümler yapılmıştır. Bu trafoların beslediği yükler incelenmiş ve enerji kalitesindeki bozulma seviyeleri karşılaştırılmıştır. Meydana gelen bozulmalar incelenmiş ve kısa ve uzun vadede meydana gelecek aksaklıklar tespit edilmiştir [11].

Maraşlıoğlu 2018 yılında yaptığı çalışmasında, Kahramanmaraş'ta olan Open-End iplik Tesisinde bulunan trafoların sekonder kısmına ölçüm cihazı bağlayıp belli aralıklardaki ölçümleri kayıt altına almış, oluşan akım ve gerilim harmonik değerleri düzenli olarak kayıt altına alınıp ölçümde oluşan flickerlar da kayıt edilmiştir. Bozucu etkilerin şebekeye etkileri incelenmiş ve olumsuz sonuçların ortadan kaldırılması için gerekli çözümler sunulmuştur [12].

Nedimoğlu 2019 yılında yaptığı çalışmasında, şebekeye bağlı güneş enerji santrallerinin şebekedeki harmonik etkilerini ve bunu bağlı parametrelerini araştırmıştır. Fotovoltaik güneş enerjisi santrali Matlab/Simulink programında modellenip harmonik etkileri elde edilmiştir. Bu benzer santral gerçek güneş enerjisi santralinden alınan harmonik veriler ile karşılaştırılıp, kabul edilebilir bir hatayla doğru olduğu ispatlanan modellerle harmonikleri etkileyen parametreler araştırılmıştır. Santrallerde meydana gelen harmoniklerde sıcaklığın ve ışımanın etkisi incelenmiş olup oluşan harmoniklerin azaltılması için önerilerde bulunmuştur [13].

Tüfekçi 2018 yılında yaptığı çalışmasında, yenilenebilir enerji sistemlerinin denetim sisteminin cevabının gecikmeye uğraması, bozulmuş ve harmonik enerji üretimi gibi sorunları gidermeye yönelik çalışmalar yapılmış olup, oluşan sorunlar en düşük seviyeye getirilmiştir. Üretimi yapılan enerji, filtreler aracılığıyla daha düşük harmonik düzeylere düşürülmüştür. Sistemi denetleyen kısımda kıyaslamalar yapılarak en iyi çözüm yöntemi bulunmuştur [14].

Abbas 2021 yılında yaptığı çalışmasında, doğrusal olmayan yüklerin harmonik akım kompanzasyonu zamanında invertör tasarlayıp, açık döngü yöntemi yerine kapalı döngü yöntemi kullanmıştır. Bunun sayesinde fotovoltaik invertör kısmi harmonik akım kompanzasyonu yapabilecek, yani harmonik akımları sadece en fazla akım kapasiteleri dahilinde kompanze etmesine müsaade edilecektir. Güç kontrol algoritması oluşturulmuştur. Akımı sınırlamak için PI kontrolör kullanmıştır. İki güç karşılaştırılıp referans akımı elde edilmiştir. Bu sonuçlardan invertörün nominal akım kapasitesine uyulup eş vakitte şebeke güç kalitesi için iyileştirmeler yapılmıştır [15].

Baş ve ark. 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında, bir tekstil fabrikasında bulunan üç trafoda ölçümler yapıp kayıt altına alınmıştır. Bu kayıtlar neticesinde akım ve gerilim dalga şekillerinde bozulmalar gözlenmiş ve şebekede meydana gelen harmoniklerin

etkilerinin azaltılabilmesi için harmonikli kompanzasyonda oluşan güç kalitesi sorunlarının çözümüne ait çıkarım ve önerilerde bulunmuşlardır [16].

Keçecioğlu ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, Adıyaman ilinde bulunan bir güneş enerji santralinde şebeke bağlantılı noktaya bir şebeke analizörü bağlayarak sistemden alınan veriler bir hafta boyunca kayıt altına alınmıştır. Bu kayıt altına alınan verilerden fliker ve harmonik grafikleri elde edilerek bu grafiklerden çıkan sonuçlardan, Enerji Piyasa Düzenleme Kurumunun “Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği”ne uygunluğu araştırılıp standart değerlerin aşılması durumunda çözüm önerileri sunulmuştur [17].

Koçyiğit ve ark. yaptıkları çalışmalarında, belirledikleri bir tekstil endüstrisinde enerji kalitesizliği nedeniyle meydana gelen ekonomik kayıplar araştırılarak, Tesiste altı ay boyunca kalite ölçümleri sürekli olarak yapılmıştır. Bununla birlikte Tesiste oluşan zararlar, hatalı üretimler ve üretim kayıpları kayıt edilerek, enerji kalitesizliğinin olduğu zamanlarla birlikte endüstride meydana gelen üretim ve diğer kayıplar kıyaslanmıştır. Enerji kalitesizliğin oluşması tekstil endüstrisine çok fazla maddi zararlar meydana getirdiği tespit edilmiştir [18].

Sülü 2019 yılında yaptığı çalışmasında, fotovoltaik güç sistemlerinde enerji kaybına neden olan sebepleri sorgulayarak sistemin performansını, yaşam ömrünü ve ürettiği enerji miktarını etkileyen parametreler verimlilik adı altında incelenip, fotovoltaik enerji üretim santrallerinde verimlilik ve kayıpları bütünleştirmişlerdir. Önce güneş pillerinin eş devresi çıkartılıp nasıl elektrik ürettiği açıklanmış daha sonra güneş pilleri gruplandırılıp özellikleri açıklanarak verimlilikleri kıyaslanmıştır. Bir fotovoltaik güç santralini PVsyst simülasyon programı ile inceleyip performanslarını ortaya koyulmuştur. Panellerin üretim performanslarının simülasyon çıktı sonuçlarını karşılayıp karşılamadıkları belirlenerek oluşan farklılıkları minimize etmek için gerekenlerin analizi yapılmıştır. Son olarak performansı yüksek tutmak için gerekli önlemleri önermiştir [19].

Tepecik Esen 2020 yılında yaptığı çalışmasında, güneş enerji santralının şebekede bulunan güç kalitesi parametrelerinin oluşturduğu değişimleri belirlemek için farklı bölgelerden seçilen ölçüm noktalarına A sınıfı güç analizörü takarak belirli aralıklarda güç kalitesi parametreleri incelenmiştir. Güç analizörlerinin takılı bulunduğu ölçüm noktalarından alınan gerilim etkin değer değişimi, gerilim dengesizliği, harmonik ve fliker verileri, enerji maliyetini düşürmek ve enerji verimliliğini yükseltebilmek için dağıtım şirketlerinden, yenilenebilir enerji santraline, enerjinin üretildiği ve dağıtıldığı her alanda yararlanılabilen, birden fazla veriyi tek bir platformda sunan dijital enerji yönetim sistemi INAVITAS programı kullanılarak rapor edilmiştir. Yapılan incelemeler doğrultusunda sistemi olumsuz etkileyen parametrelerin şebekeye etkileri ve çözüm yolları belirlenmiş olup arızaları önlemek ve kısa sürede müdahale etmek için bir röle koruma elemanı kullanılmıştır [20].

Orucu 2020 yılında yaptığı çalışmasında, güç kalitesi analizörü ile endüstriyel bir Tesiste enerji kalitesi ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda, endüstriyel Tesiste enerji kalitesi profili çıkartılıp raporlaması yapılmıştır. Bu raporlamaların

sonucunda, iç şebekede bulunan harmonik bozulunun derecesini belirleyip, bozucu etkiye sahip yükleri yorumlayarak bozunum derecesine göre, web tabanlı bir yazılımla aktif harmonik filtre sistemi benzetimi yapılmıştır. Aktif harmonik filtre benzetimi çalışmasının sonucunda, endüstriyel Tesisin gerilim, akım ve frekans dalga formunda olan iyileştirmeleri raporlanmıştır [21].

Erdemir 2021 yılında yaptığı çalışmasında, Konya ve Karaman illeri içerisinde bulunan değişik rakımlarda beş farklı konum seçilmiştir. Ayrıca panel gücünün etkilerini incelemek için yedi parametre belirlenmiştir (dış hava sıcaklığı, ani rüzgar hızı, panel yüzey sıcaklığı, rüzgar yönü, dış hava bağıl nemi, rüzgar hızı ve ışıınım). Taşıma ve montaj kolaylığı için mobil bir deneysel çalışma seti tasarlanıp Eylül 2020 tarihinde farklı günlerde aynı zaman diliminde deneyler yapıp farklı konumlardaki parametrelerin dağılımları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın tamamlanmasının ardından bulunan verilere göre farklı parametrelerin panel gücü üretimindeki belirlemek için iki farklı yöntem (HIPR ve CWM) uygulanarak hassasiyet analizi gerçekleştirilerek çıkan sonuçlar farklı konumlar için karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Konya ve Karaman yöresinin önemli bir güneş enerjisi potansiyelinin olduğu ve ışıınım değerlerinin de panel verimliliğine önemli bir etkisi olduğunun ve diğer parametrelerinde etki derecesine göre sıralanması gerektiği tespit edilmiştir [6].

Gökçe 2020 yılında yaptığı çalışmasında, Adana Çukurova Üniversitesi kampüsündeki Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi binasına 8,6 Kw kapasitesinde on-grid bir güneş enerjisi santrali kurarak fotovoltaiik panellerin elektrik üretimini etkileyen faktörleri araştırmıştır. Fotovoltaiik panellerin üretim verileri, rüzgar hızı, güneş radyasyonu ve sıcaklık değerlerini ölçülmüş olup, panel sıcaklığı, üst yüzey tozu, gölgeleme, rüzgar hızı ve dönüştürücü kayıplarının etkilerini belirlemiştir. Sonuçta, rüzgar hızının artmasıyla elektrik üretiminin arttığını fakat dönüştürücü kaybı, panelin tozlanması ve gölgelenmesi nedeniyle elektrik üretiminde azalma olduğunu görmüştür [22].

Cangi 2019 yılında yaptığı çalışmasında, düşük ışıma seviyesindeki toplam harmonik bozunumunu ölçmüştür. Daha sonra bu THB değerini aktif filtre kullanıp standartlar çerçevesinde belirlenen değerlerin altına çekmek istemektedir. Güç kalitesi PV sistemler yüzünden çeşitli olumsuzluklara yol açmaktadır. Bundan dolayı üretilen enerjinin kalitesi bozulmakta olup PV sistemlerde sürekli arızalar meydana gelmektedir. Enerji kalitesini bozan en büyük etkenler düşük ışıma seviyesinde meydana gelene harmonik bileşenlerdir. Harmonik seviyesini belirlemek için kullanılan en önemli etken olan parametre toplam harmonik bozunum standartlarını belirlediği sınır değerlerin altına çekmeyi hedefleyip, bunun için aktif güç filtresi kullanmıştır [23].

Ergün 2016 yılında yaptığı çalışmasında, endüstriyel Tesislerin temel enerji kaynağından biri olan elektrik enerjisi kalitesinin Tesiste oluşan etkinin kullanılmakta olan ekipmanlar üzerinde meydana gelebilecek olumsuz etkilerin maliyet olarak ne kadarlık bir kayba sebep olacağının incelemesini yapmıştır. Yapılan incelemelerde enerji kalitesi ile ilgili görüşlerin açıklanması ve endüstriyel Tesislerden alınan ölçümlerin enerji kalitesi

doğrultusundan değerlendirilip, neden oldukları enerjinin maliyetini hazırlanan program sayesinde hesaplamıştır [24].

Yarar 2019 yılında yaptığı çalışmada, Necmettin Erbakan Üniversitesinde bulunan şebeke bağlantısına sahip 250 KW gücünde olan fotovoltaik sistem Matlab/Simulink ile modellenerek, sistemde oluşan harmonik analizi ile kısa devre testleri yapılmıştır. Ayrıca gerçek olan bir fotovoltaik sistemde analizleri yaparak sistemin şebekeye olan etkilerini gözlemlenmiştir. Yapılan bu analizler sayesinde simülasyon çalışmalarını karşılaştırarak, harmonik bozulmayla gücün arasında olan bağlantı tespit edilmiş ve bu harmonik bozulmalara varsayım yapılmıştır. Bu varsayım sonuçlarıyla yapılabilecek olan güç kalitesi iyileştirme çalışmalarını anlatılmıştır. Simülasyonla kısa devre arıza gerçekleştirip fotovoltaik sisteminin devreye olan etkisi incelenip, fotovoltaik sisteminin şebekede meydana gelen kısa devre arıza akımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Değişik ışınım değerleriyle yapılan kısa devre analizlerinin neticesinde kısa devre ile güç akımının yardımı arasında oluşan ilişki ortaya konulup, koruma sistemi üzerindeki neticeleri incelenmiştir [25].

Utma 2018 yılında yaptığı çalışmada, örnek bir mikro yapıda olan akıllı şebeke sistemini laboratuvar ortamında kurmuştur. Kurulan sistem, bir tüketici ve bunu besleyen rüzgar ve PV sistem ile şebekeyi kontrol eden bir mikrodnetleyici tabanlı yapıdan oluşmaktadır ve bunlar mikrodnetleyici ile sürekli olarak izlenmektedir. Sistemden sağlanan enerjiyi depolamak için batarya kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji sisteminin, bataryanın ve şebekenin gerilim değerleri mikrodnetleyiciye, gerilim bölücü devreler akım sensörleri aracılığıyla sağlanmaktadır. Mikrodnetleyiciye iletilen elektriksel bilgiler, kontrol algoritmasıyla değerlendirilmektedir. Sistem aracılığıyla üretilen fazla enerjiyi şebekeye aktarılıp, elektriksel değerlerin takibi anlık olarak yapılmaktadır. Bu uygulama neticesinde yenilenebilir enerji sisteminin kullanım seviyesi artırılmış olup enerji maliyeti de azaltılmıştır [26].

Kesenek 2018 yılında yaptığı çalışmada, Kahramanmaraş'ın Onikişubat ilçesinde bulunan ulusal şebekeye bağlı bir 5 MW'lık güneş enerji santralinin 01.01.2017 ile 31.01.2017 tarihleri arasında gerilim saptması ve harmoniklerin ölçümlerinin analizleri yapıp kayıt altına alınmıştır. Ölçüm Yöntemi ve Güç kalitesi yönetmelikleri ve ölçme standartları ile ilgili bilgiler verilir, harmonikler nedeni ile oluşabilecek olaylar açıklanmıştır. Yapılan analizler sonucunda yüklerin şebekede oluşturdukları sorunlar tespit edilip çözüm önerileri sunulmuştur [27].

Tekin 2019 yılında yaptığı çalışmada, şebekeye bağlı solar inverter ile şebekeye aktif güç sağlamanın yanı sıra şebekede meydana gelen reaktif güçleri bastırmak amaçlanmıştır. Bunu için Matlab/Simulink programında üç fazlı şebeke ve üç fazlı inverter tasarlayıp inverter ile şebeke birbirleriyle senkron olacak şekilde çalıştırılmıştır. Sistemin kontrolünde bulunan Parçacık Sürü Optimizasyonu-PI tipi kullanarak akım kontrolü sağlanmıştır. Tasarlanan sistemin aktif ve reaktif güçlerinin istenilen ölçülerde üretilmesinde ve sistemin kontrolünde çok başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca simülasyon çalışmaları deneysel çalışmalar ile desteklenmiştir [28].

Dinçer 2011 yılında yaptığı çalışmasında, fotovoltaik güneş panelinin enerji kazancına etki eden çevresel faktörler detaylıca incelenmiş ve çözümlenmesi için önerilerde bulunulmuştur. Enerji kazancına etki eden çevresel faktörlerinin fotovoltaik güneş paneline etkisini incelemek için Matlab/Simulink programını kullanarak fotovoltaik güneş panelinin eşdeğer devresini esas alıp ayrıntılı şekilde literatür çalışması yapmış ve fotovoltaik güneş panelinin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Oluşan matematiksel modele kıyasla Matlab/Simulink programında simülasyon ve modelleme çalışmaları yapılmıştır. Fotovoltaik güneş panelinin çalışma sıcaklığını etkileyen rüzgar hızı, hava sıcaklığı vb. parametrelerin etkileri incelenmiş, hem yüklü hem de yüksüz durumlar için karşılaştırmalar yapıp fotovoltaik güneş panelinin enerji kazancının artırılması yönünde farklı yöntemler sunulup önerilerde bulunulmuştur [29].

Yılmaz ve Dinçer 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında, büyük ölçekli fotovoltaik enerji santrallerinin inverter kapasitesi üzerindeki performansı incelenmiştir. Çeşitli ölçüm ve simülasyon yöntemleri ile farklı inverter tiplerinin performansı analiz edilmiştir. Gainesville, Florida'daki 43 aktif fotovoltaik santralden elde edilen ölçüm sonuçları ve Pvsyst yazılımı sayesinde elde edilen 39 simülasyon sonucu, invertör kapasitesinin performans üzerindeki etkisini ayrıntılı olarak analiz etmek için kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde mikro inverterlerin daha az enerji ürettiği ve daha fazla miktarda kayba neden oldukları, dizi inverterlerin orta miktarda enerji ürettiği ve orta kayıplara neden olduğu son olarak merkezi inverterlerin ise en yüksek miktarda enerji ürettiğini ve en az miktarda kayba neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu sebeple yüksek kapasiteli inverterlerin kullanımının büyük ölçekli enerji santrallerinin performanslarına olumlu katkı sağladığı anlaşılmıştır [30].

Yılmaz ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, Türkiye ve Almanya'da kurulan iki özdeş fotovoltaik panel sistemi analiz edilmiştir. Öncelikle kurulan bu özdeş fotovoltaik panel sistemlerinin deneysel sonuçlarını gösterilmiştir. Daha sonra deneysel sonuçları karşılaştırmak ve doğrulamak için kullanılan bu iki fotovoltaik panel sistemi sayısal olarak modellenmiştir, ayrıca oluşan bu veriler Pvsyst yazılım programı ile işlenmiştir. Oluşan sayısal sonuçlar, modelleme sisteminin performansının yüksek olduğunu göstermiştir, ayrıca kurulumdan önce geçici bir fotovoltaik panel sistemi olarak kullanılabileceği deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. Türkiye ve Almanya'nın güneş enerjisi kapasiteleri detaylı olacak şekilde analiz edilip tartışılmıştır [31].

Yılmaz ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, Kahramanmaraş ilinde bulunan bina çatılarının potansiyel değerleri çeşitli program ve yazılımlar neticesinde detaylı olacak şekilde hesaplanabilmektedir. Hesaplanarak bulunan bulgular , Kahramanmaraş ilinin bina çatılarına kurulabilecek fotovoltaik panellerin toplamının 430.348 MWp olduğu belirlenmiştir. Güvenlik faktörleri, eğitim, gölgeleme etkisi ve çatılarda gerekli kullanım alanı gibi parametrelerin analizleri hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu fotovoltaik panellerin kurulu gücü belirlenen bölge için yıllık olarak yaklaşık 694 GWh sağlayabilmektedir. Bu da CO2 emisyonunu büyük oranda azalttığını göstermişlerdir. Yapılan bu çalışmanın diğer bölgelere de örnek teşkil edebileceğini ve diğer bölgelere yapılabileceğini göstermişlerdir [32].

Yılmaz ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, Kahramanmaraş ili için en uygun paneli seçimini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Şebeke bağlantılı 3 kWp'lik üç ayrı fotovoltaik sistemi ile üç tip fotovoltaik panellerin analizleri yapılmıştır. Bu paneller ince film, monokristal ve polikristal silikon panellerdir. Kurulan bu panellerin her bir panel sisteminin maliyet analizi, kırılma noktaları, ürettiği enerji miktarı, yıllık gelirler, sistemin kapladığı alan ve her sistemin oluşturduğu toplam ağırlıkları değerlendirilip, bölgede güneş enerjisiyle üretilecek potansiyel enerji belirlenmiştir. Bir yıl süren enerji üretiminin akabinde ve 30 yıllık işletme süresinin tamamlanmasından sonra yatırımcılar için en fazla yıllık gelir ve en kısa kırılma noktası sağladığından en uygun panelin polikristal panel olduğu sonucuna varılmıştır [33].

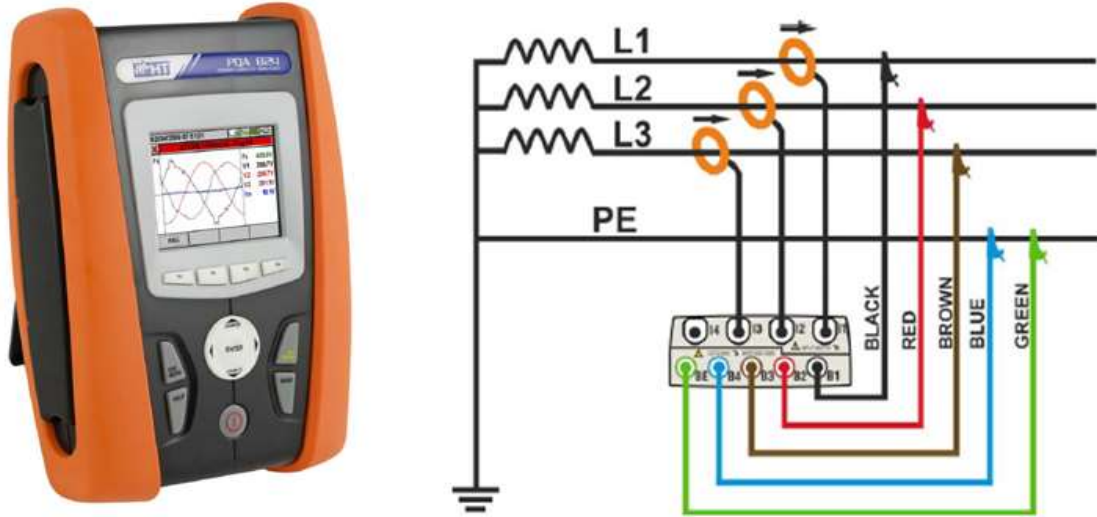
Yılmaz ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, herhangi bir lokasyonun geliş açısı değerleri ve güneş radyasyonu için teorik çalışmalar yapılarak, güneşi iki ekseninde takip eden sabit bir sistemde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Oluşturulan prototip 4,6 Kw gücünde bir fotovoltaik sisteme uyarlanıp, teorik veriler 4,6 kW gücünde olan fotovoltaik sistemden elde edilen verilerle tutarlılığı gösterilmiştir. Bu çalışmanın gelecekte fotovoltaik güç istasyonları için önemli bir rehber olduğu gösterilmiştir [34].

Kesler ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, gölgelendirme analizi araçları tanıtılarak, çevresel nedenlerden dolayı oluşan tıkanıklığın güneş enerjisi sisteminin kurulabileceği sahada gölgeleme etkilerini analiz etmek amacıyla yeni ve farklı bir cihaz geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle fotovoltaik panellerin güneş ışığına maruz kalma süreleri etkili bir şekilde ölçülebilmektedir. Ayrıca yapılan cihaz , Türkiye'de pilot bölge olarak Denizli ilinde kurulum alanında uygulamalı olarak anlatılmaktadır [35].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Enerjiye olan talebin hızla artmasıyla birlikte, enerjiye olan bağımlılık da artmaktadır. Farklı yapıdaki cihazların aynı şebekeden beslenmesinden kaynaklı enerjide kalite sorunları oluşabilmektedir. Elektrik enerjisi; üretim, iletim ve dağıtım şeklinde üç aşamadan geçtikten sonra tüketiciye ulaşmaktadır. Elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılmasında oluşan akım ve gerilimin tam sinüs olması beklenir. Enerji kalitesinin iyi olmasının en temel şartı bu kriterdir. İşletme Tesisinin şebekesine bağlanan yükler veya devre elamanlarının içerdiği lineer olmayan elemanlar, istenilen düzgün sinüs formuna olumsuz etkiler göstermektedir. Aslın üretim ile birlikte tüketim tarafında enerji formu ile oynanması ve değişikliklerin yapılması enerji sistemi üzerinde kalitenin bozulmasına yol açmaktadır. Çeşitli doğrultucu ve filtreler kullanılsa da tam sinüs dalgası üzerindeki dalgalanmalar, fliker gibi kırpışmalar kalite üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Günümüzde güç elektroniğinin gelişmesi ile birlikte bu tür cihazlar yaygın olarak kullanılmakta ve şebeke üzerinde etkiler bırakmaktadır. Bir sistemde akım veya gerilim dalga formlarında oluşan dalgalanmalara veya bozulmalara harmonik denir.

Elektrik sistemlerinde güç kalitesini ölçmek, kaydetmek ve analizini yapmak güç analizör cihazları sayesinde olmakta ve bizlere yeni fikirler sunmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen güç kalitesi ölçümünde kullanılan güç kalitesi analizörü HT PQA824 mobil tip güç kalitesi analizörüdür. Farklı tip ve markada güç analizörleri piyasada mevcuttur. Bu analizör cihazı büyük boyutlu verilerin kolay ve yüksek hızlarda analizine imkan veren Windows CE teknolojisiyle yapılmıştır. Analizör cihazı renkli grafik görsellerini, dokunmatik geniş ekranıyla en hassas kullanıcı için bile bütün istediklerini çok kolay karşılayabilecek biçimde tasarlanmıştır. İtalya menşeli cihaz olan HT PQA824 aynı zamanda 251 ölçüme kadar kayıt etme imkanı sunmaktadır. Bu cihaz gerilim, aktif-reaktif ve görünür güç kayıtları, dalga şekli analizi, gerilim dalgalanmalarının kaydı, flicker kaydı, akım, frekans geriliminde düşme, harmonik analizi (49. Harmoniğe kadar) ve aktif-reaktif enerji kaydı gibi ölçümleri yapabilmekte ve kayıt altına alabilmektedir. Bu cihaz ile kaydedilen verileri bilgisayar ortamına aktarmak mümkündür [36]. Şekil 3.1’de HT PQA824 güç kalitesi analizörü ve Tesis için kullanılan ölçüm bağlantısı şeması gösterilmektedir. Bu model şebekede meydana gelebilecek güç kalitesi olaylarını da kayıt edebilen yüksek örnekleme frekansına sahip bir güç kalitesi kaydedicisi ve enerji analizörüdür. HT PQA824, IEC 61000-4-30 Ed.3’e göre Class B sınıfı güçlü ve güvenilir bir analizördür.



Şekil 3.1 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü ve Tesis için Kullanılan Ölçüm Bağlantısı Şeması

3.1. Standart ve Yönetmelikler

Enerjinin üretilmesinden tüketilmesine kadar olan tüm süreçlerde harmonikler konusunda uyulması gereken kuralları belirleyen ulusal yönetmeliklerimiz ve uluslararası standartlar vardır. Bunlardan başlıcaları; Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, Elektrik Şebeke Yönetmeliği, EN 50160-1999 Standardı, IEC 61000-4-30 Standardı, IEEE Std 519-2014 Standardı şeklindedir [37]. Hizmet kalitesi yönetmeliği özellikle dağıtım Tesisleri ve tüketicilerle ilgili, şebeke yönetmeliği ise her seviyede iletim Tesisleriyle ilgili konuları ele almaktadır. EN 50160 şebeke enerji kalitesi konusunu ele alan Avrupa Standardı'dır. IEC 61000-4-30 standardı güç kalitesi parametrelerinin ölçümü ile ilgili kural ve teknikleri belirlemektedir. IEEE 519-2014 ise özellikle güç sistemlerinde harmonikler konusunu tüm yönleriyle ele alan standarttır. Ulusal yönetmeliklerimiz genellikle bu standartlar referans alınarak hazırlanmıştır. TS EN 50160 Enerji Kalite Standardı göz önünde bulundurulmuştur [37].

3.2. TS EN 50160 Enerji Kalite Standardı

3.2.1. Frekans

Elektrik enerjisinin gerilim frekansı açısından kaliteli olarak değerlendirilebilmesi için, TS EN 50160 standardına göre enterkonnekte sisteme bağlı sistemlerin besleme gerilimi anma frekansının normal çalışma şartları altında 1 yıl boyunca ölçülen ve 10 saniyelik ortalama değerlerinin % 99.5'i, şebeke frekansı 50 Hz'in $\pm$ % 1 (49.5 Hz-50.5 Hz) aralığında olmalıdır [38].

3.2.2. Gerilim Genliği

Elektrik enerjisinin gerilim genliği açısından kaliteli olarak değerlendirilebilmesi için, enterkonnekte sisteme bağlı sistemlerin besleme gerilim genliğinin normal çalışma şartları altında 1 hafta boyunca ölçülen ve 10 dakikalık ortalama değerlerinin % 95'i, şebeke gerilim genliğinin $\pm$ % 10, tamamının +% 10 - % 15 aralığında olması gerekmektedir [39].

3.2.3. Gerilim Dengesizliği

TS EN 50160 standardına göre elektrik enerjisinin dengeli bir gerilim olarak değerlendirilebilmesi için, besleme gerilimi negatif faz sıralı bileşenin 1 hafta boyunca ölçülen ve 10 dakikalık ortalama değerlerinin % 95'i, pozitif faz sıralı bileşenin % 2'sini aşmamalıdır [40].

3.2.4. Gerilim ve Akım Harmoniği

Elektrik enerjisi besleme gerilimi dalga şeklinin kaliteli olarak değerlendirilebilmesi için, 1 hafta boyunca ölçülen harmonik gerilimlerinin 10 dakikalık ortalama değerlerinin % 95'i izelge 1.1'de belirtilen değerlere eşit ya da daha az olmalıdır. Akım dalga değerlerinin ve şeklinin kaliteli enerji olarak değerlendirilebilmesi için ölçüm süresi boyunca ölçümü yapılan her bir akım harmoniğinin etkin değerinin gene yönetmeliklerce belirtilen standart değerlere eşit veya altında olmalıdır.

3.2.5. Toplam Harmonik Bozulma (THB)

Toplam harmonik bozulma (THB): Gerilim harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan ve dalga şeklindeki bozulmayı yüzde olarak ifade eder (3.1). U_h , harmonik bileşenlerin gerilim etkin değerleri (V), U_1 , Gerilimin kaynağının etkin değer (V) ifade eder [38-42].

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}}{U_1} \times 100 \quad (3.1)$$

3.2.6. Toplam Harmonik Bozulma (THB) Limit Değerler

Toplam Harmonik Bozulma (THB) Limit Değerler, izelge 1.1'de sunulmuştur. THB için sınır değer 34.5 kV'a kadar olan Tesislerde % 5 altında değerler güvenilir değer olarak kabul edilmektedir. THB için % 5'in üzerindeki değerler istenmeyen değer olarak ifade edilmektedir.. Ayrıca 3. harmonik % 5'in, 5. harmonik % 6 değerinin, 7. harmonik % 5'in altında olmalıdır. 9. harmonik için %1,5, 11. harmonik için %3,5, 13. harmonik için %3 oranları sınır değerlerdir.

Çizelge 3.1 34,5 kV ve altındaki gerilim seviyesinde uygulanan gerilim harmonikleri sınır değerleri [38, 42]

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'un Katları Olmayanlar		3'un Katları Olanlar			
Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1,5	4	% 1
11	% 3,5	15	% 0,5	6.....24	% 0,5
13	% 3	21	% 0,5		
17	% 2				
19	% 1,5				
23	% 1,5				
25	% 1,5				

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

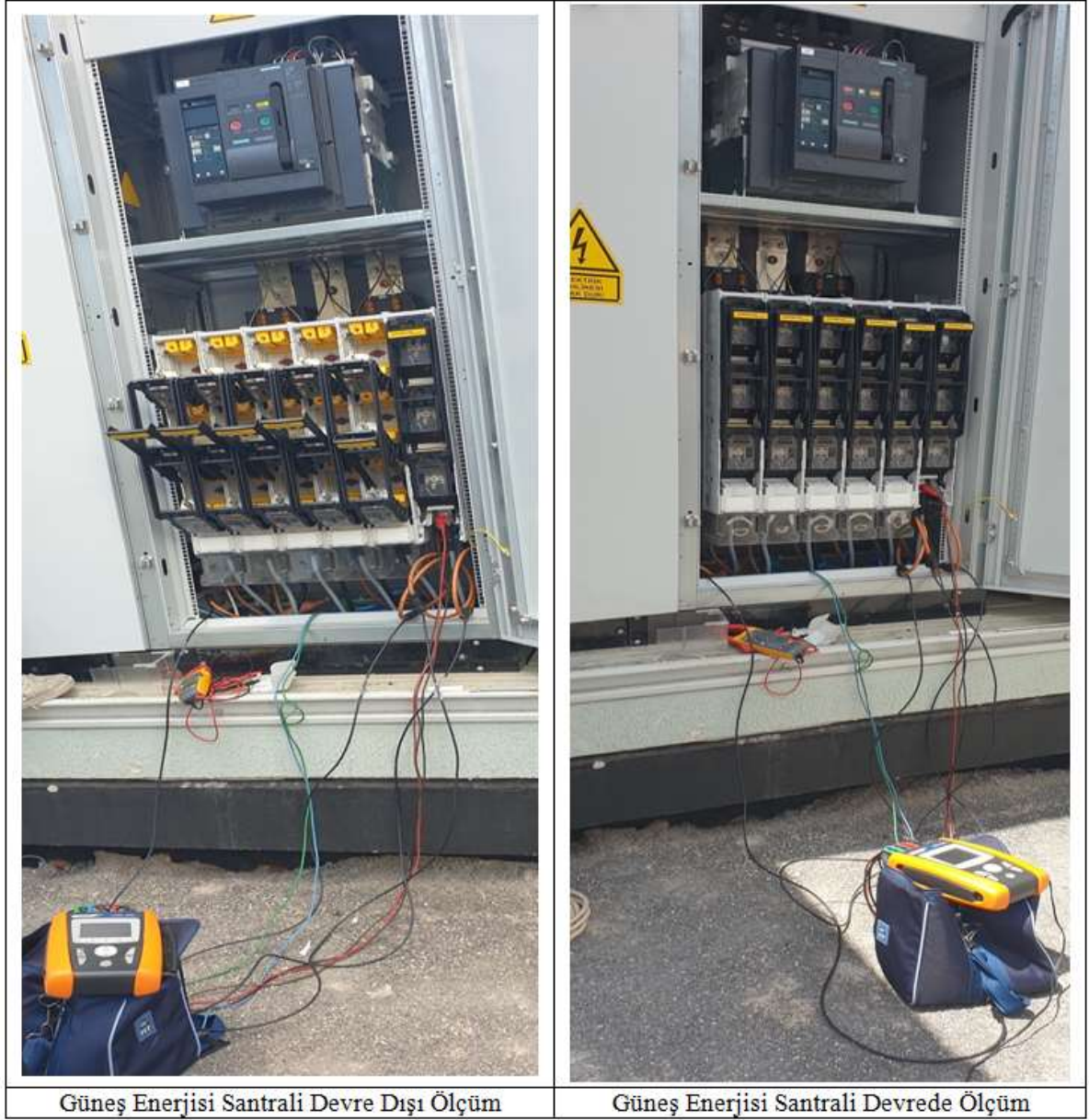
4.1. Güç Kalitesi Ölçümleri

4.1.1. Monoblok Güç Kalitesi Ölçümleri

Bu tez çalışmasında, 22.05.2021 saat 11:30 ile 27.05.2021 saat 15:00 arasında gerçekleştirilen ölçümlerde kayıt edilen veriler ile bilgisayar destekli sayısal analiz programlarında gerçekleştirilen analiz sonuçları ait değerler paylaşılmıştır. Analiz çalışmalarında Topview 2.2.0.8. paket programı kullanılmıştır. HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.2'de ise güneş enerjisi santralinin devre dışı olduğu ve güneş enerjisi santralinin devrede olduğu ölçümlerin bağlantı görüntüsü detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı - Monoblok



Şekil 4.2 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı

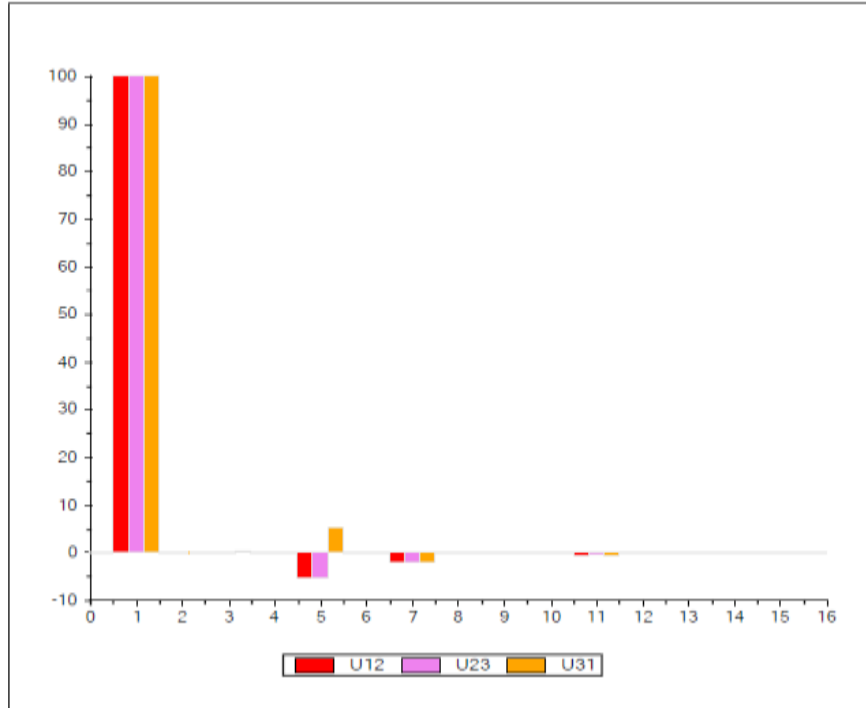
Bu çalışmada, 22.05.2021 saat 11:30 ile 27.05.2021 saat 15:00 arasında gerçekleştirilen ölçümlerde kayıt edilen veriler ile bilgisayar destekli sayısal analiz programlarında gerçekleştirilen analiz sonuçlarına ait değerler paylaşılmıştır. Ölçümler; TESİS-2, 3 ve 4 adlı Tesisler için yapılmıştır. Belirtilen bu üç Tesis de güneş enerjisi santralidir. Her bir santralin gücü 999 kWe şeklindedir. Analiz çalışmalarında Topview 2.2.0.8. paket programı kullanılmıştır. Şekil 4.2’de HT PQA824 güç kalitesi analizörü ölçüm bağlantısı – monoblok gösterilmiştir. Tesis çalışma gerilimi faz-faz 800 V AC olarak ölçülmüştür. Yükseltici bir trafo ile 800 V AC gerilim değeri, 31,5-33 kV seviyesine yükseltilmektedir.

Yapılan ölçümlerde, Toplam Harmonik Bozulma (THB)'nin yüksek olduğu görülmüştür. Gerilim Harmonik değeri güvenli değer olan % 5'in üzerinde ölçülmüştür. Gerilim Harmoniği için THB % 5.91 olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi santrali devredeyken gerilim değeri daha yüksek ve daha çok sapmalıdır. Şekil 4.3'te güneş enerjisi santrali devrede değil iken ve güneş enerjisi santrali devrede iken faz-faz arası (volt) ve sapma değerleri gösterilmiştir.

Güneş Santrali Devrede Değil				Güneş Santrali Devrede			
	Time	Faz-Faz Arası (Volt)	Sapma		Time	Faz-Faz Arası (Volt)	Sapma
1	25.05.2021 11:45:00	845,7	1,309	1	25.05.2021 11:55:00	849,6	2,564
2	25.05.2021 11:45:30	846,2	0,809	2	25.05.2021 11:55:30	849,9	2,264
3	25.05.2021 11:46:00	846,3	0,709	3	25.05.2021 11:56:00	849,9	2,264
4	25.05.2021 11:46:30	846,4	0,609	4	25.05.2021 11:56:30	850,7	1,464
5	25.05.2021 11:47:00	846,9	0,109	5	25.05.2021 11:57:00	851,6	0,564
6	25.05.2021 11:47:30	847,2	-0,191	6	25.05.2021 11:57:30	852	0,164
7	25.05.2021 11:48:00	847,2	-0,191	7	25.05.2021 11:58:00	852,6	-0,436
8	25.05.2021 11:48:30	847,4	-0,391	8	25.05.2021 11:58:30	853,5	-1,336
9	25.05.2021 11:49:00	847,4	-0,391	9	25.05.2021 11:59:00	853,9	-1,736
10	25.05.2021 11:49:30	847,8	-0,791	10	25.05.2021 11:59:30	854,8	-2,636
11	25.05.2021 11:50:00	848,6	-1,591	11	25.05.2021 12:00:00	855,3	-3,136
Ortalama		847,009		Ortalama		852,164	
Standart Sapma		0,78561446		Standart Sapma		1,9326255	

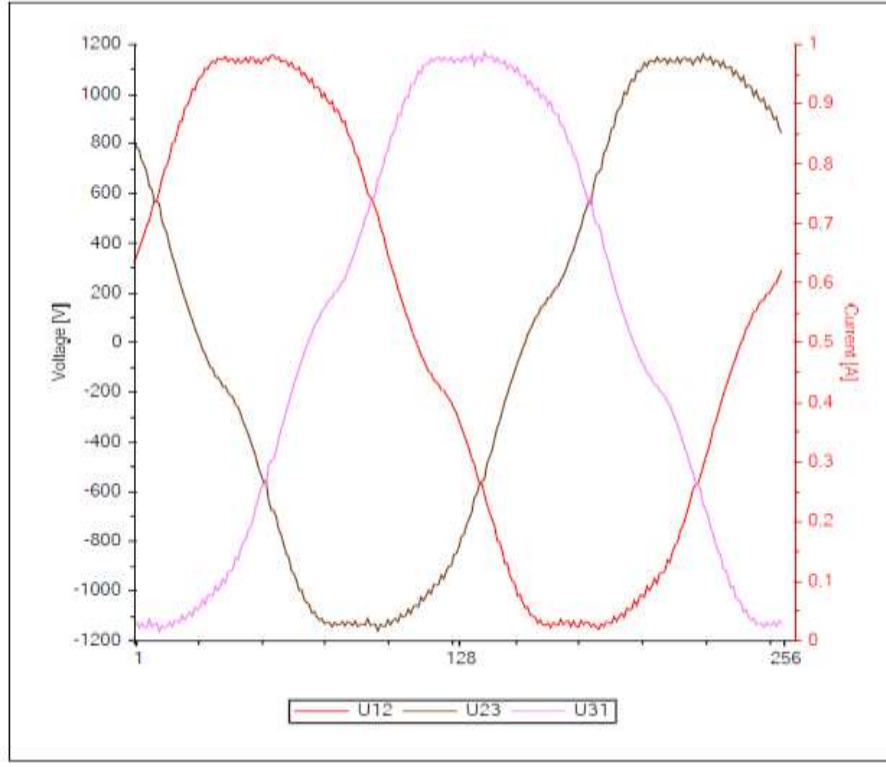
Şekil 4.3 Gerilim Değeri Değişimleri

Güneş enerjisi santrali devredeyken oluşan gerilim harmonikleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılabacağı üzere özellikle 5. Gerilim harmoniğinde bir yükseklik gözlemlenmiştir.



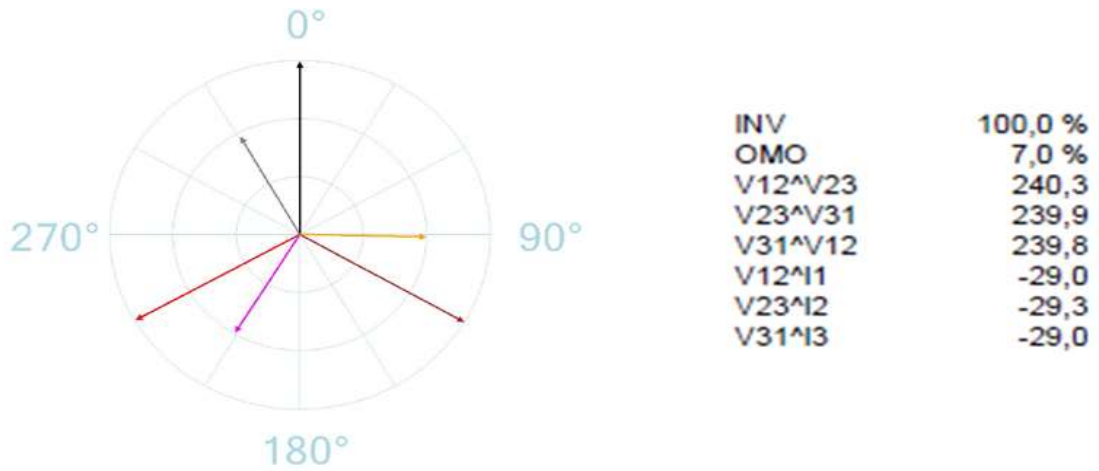
Şekil 4.4 Gerilim Harmonikleri (Güneş Enerjisi Santrali Devrede)

Yapılan ölçümlerde, Gerilim Harmoniği için THB güneş enerjisi santrali devredeyken daha değişken davranmaktadır. Güneş enerjisi santrali devredeyken oluşan gerilim değerleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Gerilim Değerleri (Güneş Enerjisi Santrali Devrede)

Güneş enerjisi santrali devredeyken oluşan vektör değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Elde edilen vektör diyagramına göre vektörel dağılımda bir sapma meydana geldiği gözlemlenmektedir.

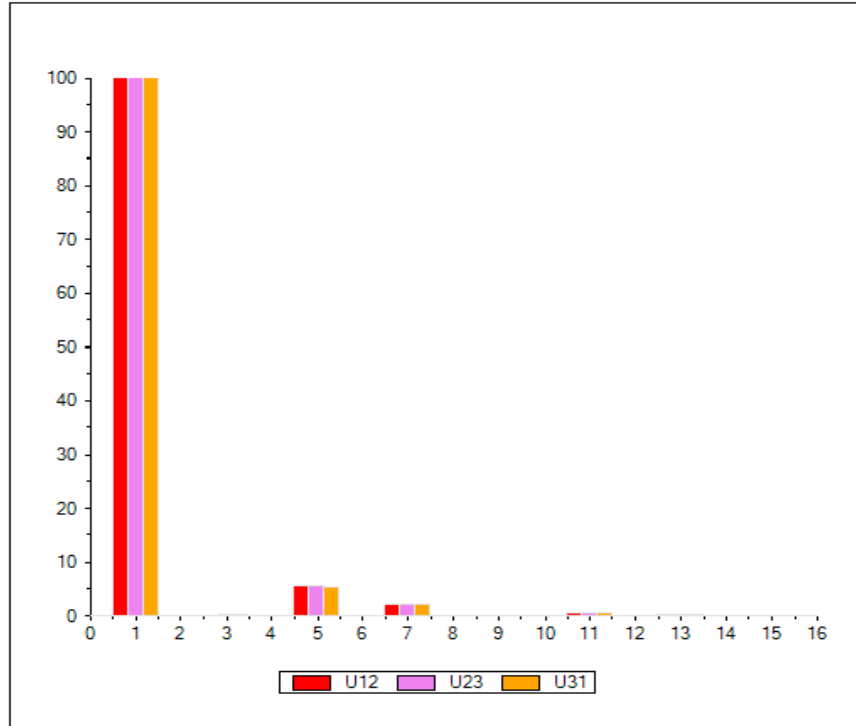


Şekil 4.6 Vektörel Diyagram (Güneş Enerjisi Santrali Devrede)

Güneş enerjisi santrali devredeyken Şekil 4.7’de bulunan 3 fazda akım ve gerilim değerleri ayrıca aktif ve reaktif güç değerleri ile güç faktörü değerleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Şebeke devrede iken oluşan gerilim harmonikleri ise Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

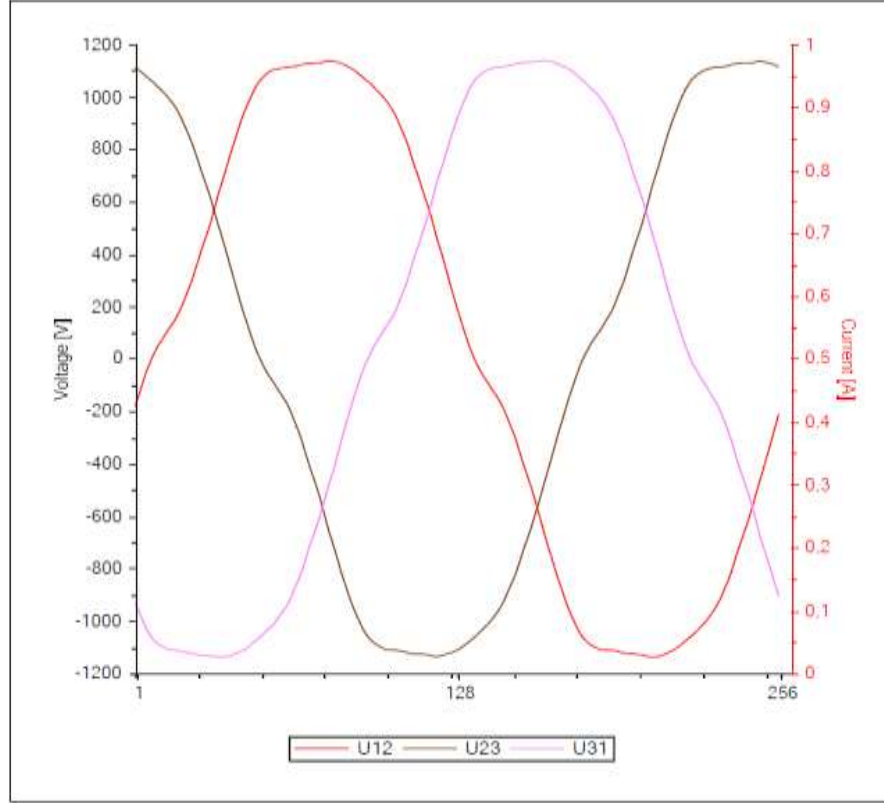
Phase 1		Phase 2		Phase 3	
Urms	S[kVA]	Urms	S[kVA]	Urms	S[kVA]
493,1	55,21	487,7	56,01	480,1	55,59
U12	P[kW]	U23	P[kW]	U13	P[kW]
839,05	54,79	837,71	55,60	842,12	55,18
Irms	Pf 1	Irms	Pf 2	Irms	Pf 3
111,9	0,99	114,8	0,99	115,8	0,99
Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]
1,60	6,83	1,45	6,76	1,31	6,78
Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf
5,85	-0,51	5,88	-0,49	5,70	1,00
Total					
Stot [kVA]	Qtot [kVAR]	Ptot [kW]	PFtot	dPFtot	Freq.
166,82	20,37	165,57	0,99	0,00	49,98

Şekil 4.7 Ölçülen Değerler (Güneş Enerjisi Santrali Devrede)

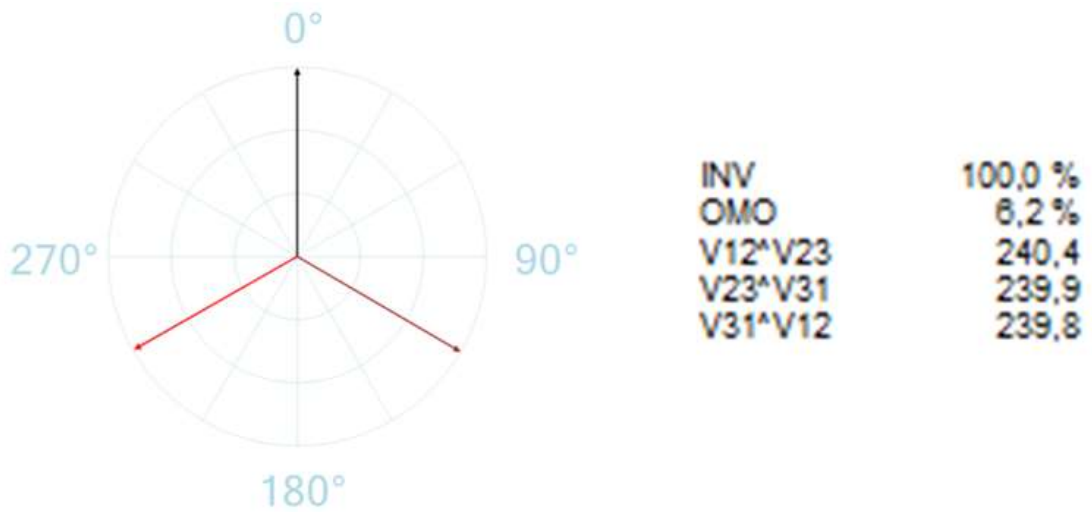


Şekil 4.8 Gerilim Harmonikleri (Şebeke)

Şebeke devrede iken Şekil 4.9'da gerilim değerlerinin sinüsoidal formu gösterilmiştir. Şekil 4.10'da ise şebeke devrede iken vektörel diyagram gösterilmiştir. Şebekenin mevcut durumunda saf sinüs dalgasının tam olarak olmadığı harmonik kirlilik barındırdığı gözlemlenmektedir. Ancak bu kirlilik güneş enerjisi santrali devreye girdiğinde artmakta ve dalga formundaki kırışmalar ölçüm grafiklerinden gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.9 Gerilim Değerleri (Şebeke)

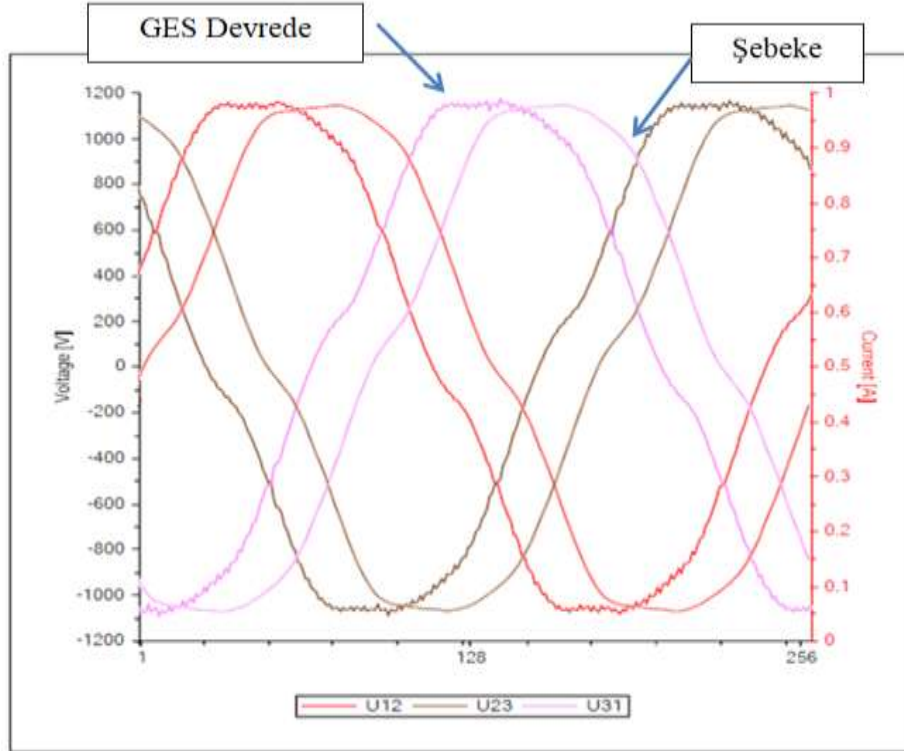


Şekil 4.10 Vektörel Diyagram (Şebeke)

Şebeke devrede iken Şekil 4.11’de bulunan 3 fazda akım ve gerilim değerleri ayrıca aktif ve reaktif güç değerleri ile güç faktörü değerleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Güneş santrali ve şebekede oluşan gerilim değerleri karşılaştırması Şekil 4.12’de sinüsoidal şekilde gösterilmiştir.

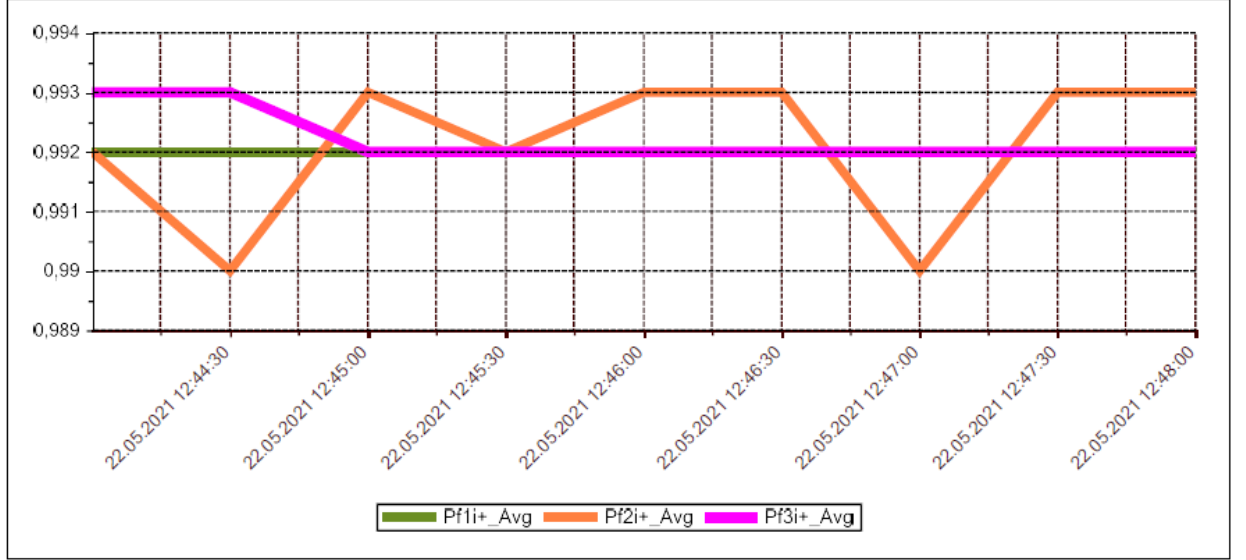
Phase 1		Phase 2		Phase 3	
U _{rms}	S[kVA]	U _{rms}	S[kVA]	U _{rms}	S[kVA]
497,0	0,00	495,2	0,00	455,2	0,00
U ₁₂	P[kW]	U ₂₃	P[kW]	U ₁₃	P[kW]
833,95	0,00	832,44	0,00	837,41	0,00
I _{rms}	Pf 1	I _{rms}	Pf 2	I _{rms}	Pf 3
0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf
5,82	0,00	5,91	0,00	5,72	0,00
Total					
Stot [kVA]	Q _{tot} [kVAR]	P _{tot} [kW]	Pf _{tot}	dPf _{tot}	Freq.
0,00	0,00	0,00	--	0,00	50,00

Şekil 4.11 Ölçülen Değerler (Şebeke)

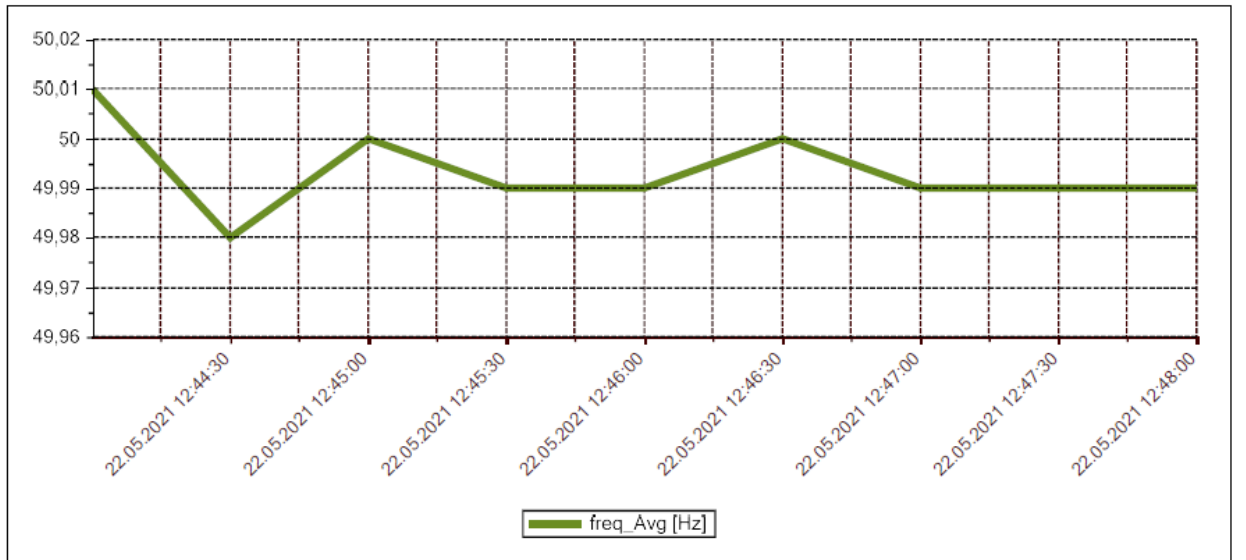


Şekil 4.12 Gerilim Değerleri ve Dalga Formlarının Karşılaştırması

22.05.2021 tarihinde ölçülen güç faktörü değerleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Ölçülen değerlere göre güç faktörünün 0,99 ile 0,993 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Güç faktörünün önemli ölçüde farklılık göstermediği görülmüştür. Ayrıca, yapılan ölçümlerde frekanstaki değişimler de Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Frekans değerlerinin de 50,01 Hz ile 49,98 Hz değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Frekans değerlerinin önemli ölçüde farklılık göstermediği görülmüştür.

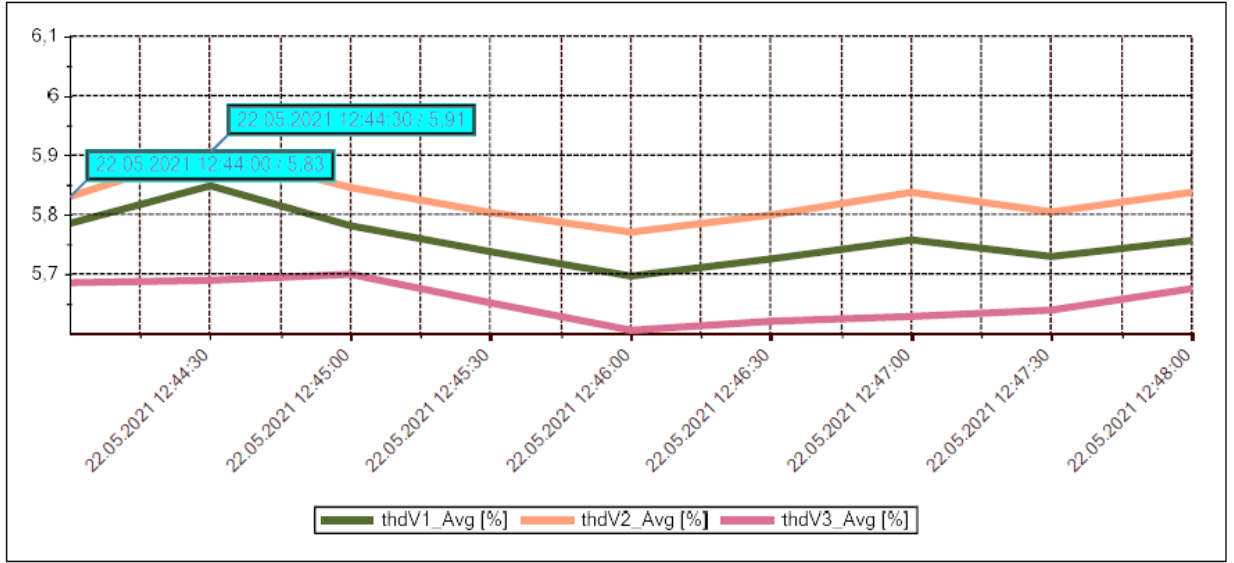


Şekil 4.13 Güç Faktörü Değişimi



Şekil 4.14 Frekans Değişimi

22.05.2021 tarihinde ölçülen toplam harmonik bozulma gerilim değerleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Ölçülen değer oranlarına göre toplam harmonik bozulmanın %5 ile %6 arasında değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu değerler, sınır değerinin hemen üzerinde olup istenmeyen ölçüdedir.

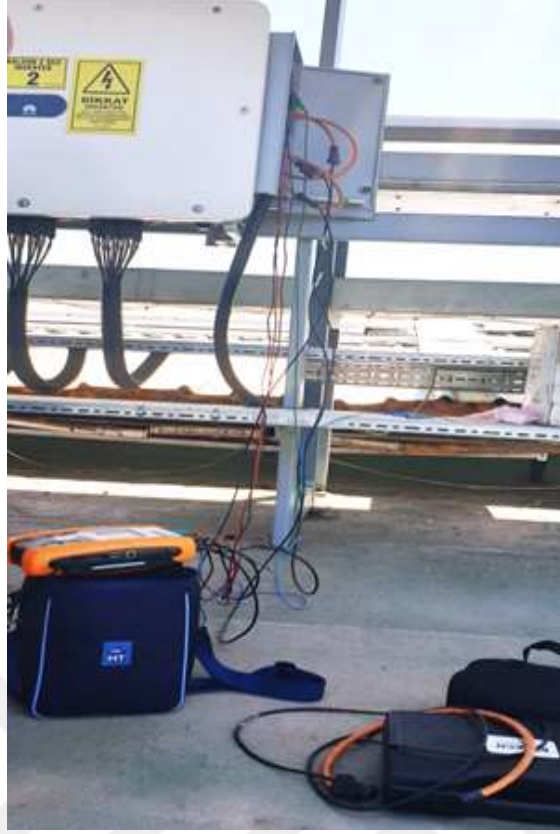


Şekil 4.15 Toplam Harmonik Bozulma Oran Değerlerinin Değişimi

4.1.2. İnvörtör AC Giriş Güç Kalitesi Ölçümleri-1

25.05.2021 Salı günü Tesis-2'ye ait İnvörtör-2'nin bağlantı noktasındaki Güç Kalitesi, HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü ile ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerde güneş enerjisi santrali devredeyken ve devre dışıyken enerji kalitesi parametreleri ayrı ayrı ölçülmüştür. İnvörtörlerin AC kablo uzunluğundan bağımsız değerlendirilmesi için AC bağlantı klemenslerinden ölçüm yapılmıştır. Şekil 4.16'da sorun belirtilmeyen yani hata kodları üretmeyen nominal bir invertör'ün HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü ile ölçümleri yapılmıştır.

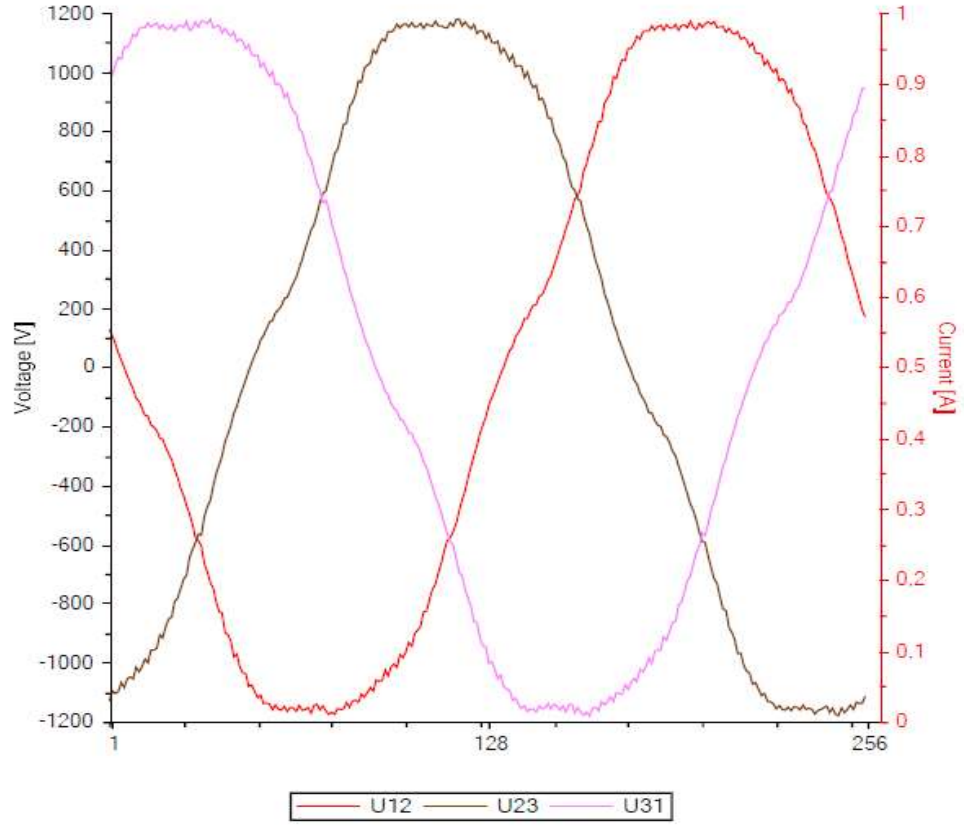




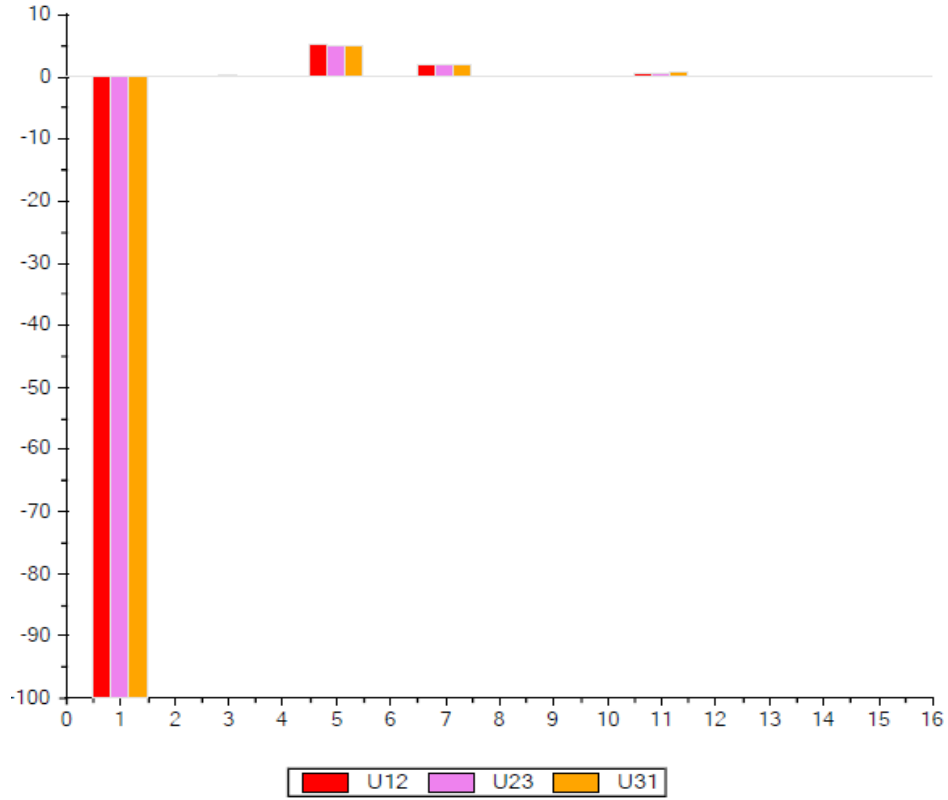
Şekil 4.16 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı (Tesis-2, İnvertör-2)

25.05.2021 Salı günü Tesis-2, İnvertör-2 klemenslerinden yapılan ölçümlerde; gerilim harmoniği için ortalama THB %5,22 olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi santrali devredeyken gerilim harmoniği için THB %5,231 ortalama ölçülmüştür. Güneş enerjisi santrali devrede değilken gerilim harmoniği için ortalama THB %5,225 olarak ölçülmüştür.

Gerilim Harmoniği için en yüksek ortalama THB %5,484, 5. Gerilim Harmoniği için en yüksek 42,79 volt olarak ölçülmüştür. Akım Harmoniği için en yüksek THB %15,96 ölçülmüştür. Faz-faz arası en yüksek gerilim 851 Volt değerinde ölçülmüştür. Tesis-2, İnvertör-2 için güneş enerjisi santrali devredeyken oluşan gerilim değerleri Şekil 4.17’de sinüsoidal şekilde gösterilmiştir. Tesis-2, İnvertör-2 için güneş enerjisi santrali devredeyken oluşan gerilim harmonikleri değerleri ise Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Gerilim Değerleri (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devrede)



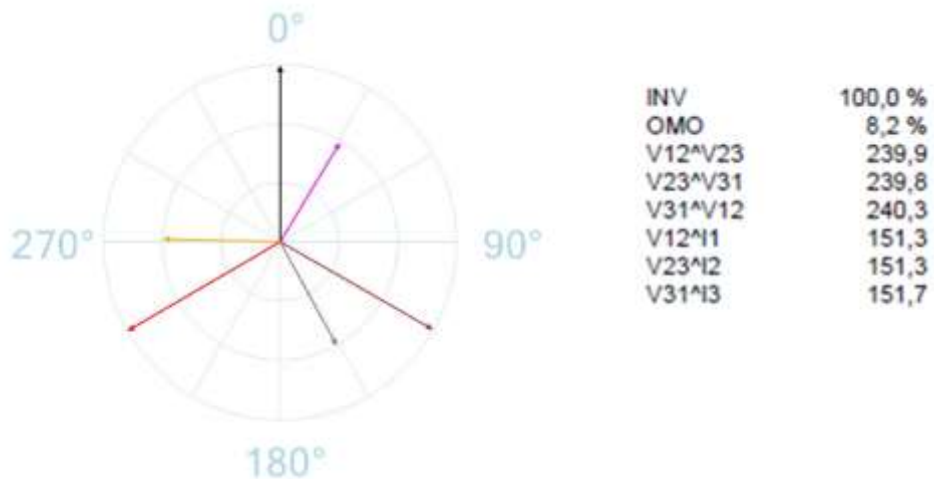
Şekil 4.18 Gerilim Harmonikleri (Tesis-2, İnvertör-2, GES Devrede)

Tesis-2, İnvörtör-2 için güneş enerjisi santrali devredeyken Şekil 4.19’da bulunan 3 fazda akım ve gerilim değerleri ayrıca aktif reaktif güç değerleri ile güç faktörü gösterilmiştir. Vektörel diyagramı ise Şekil 4.20’de sunulmuştur. Vektörel dağılıma göre vektörel bir bozulma gözlemlenmiş ve sapma görülmektedir.

Phase 1		Phase 2		Phase 3	
U _{ms}	S[kVA]	U _{ms}	S[kVA]	U _{ms}	S[kVA]
494,1	33,88	497,0	33,40	492,6	33,79
U ₁₂	P[kW]	U ₂₃	P[kW]	U ₁₃	P[kW]
851,85	-33,63	855,16	-33,18	851,89	-33,56
I _{ms}	Pf 1	I _{ms}	Pf 2	I _{ms}	Pf 3
68,6	-0,99	67,2	-0,99	68,6	-0,99
Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]
1,96	-4,08	1,89	-3,84	1,92	-3,94
Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf
5,39	0,52	5,23	0,48	5,37	-1,00

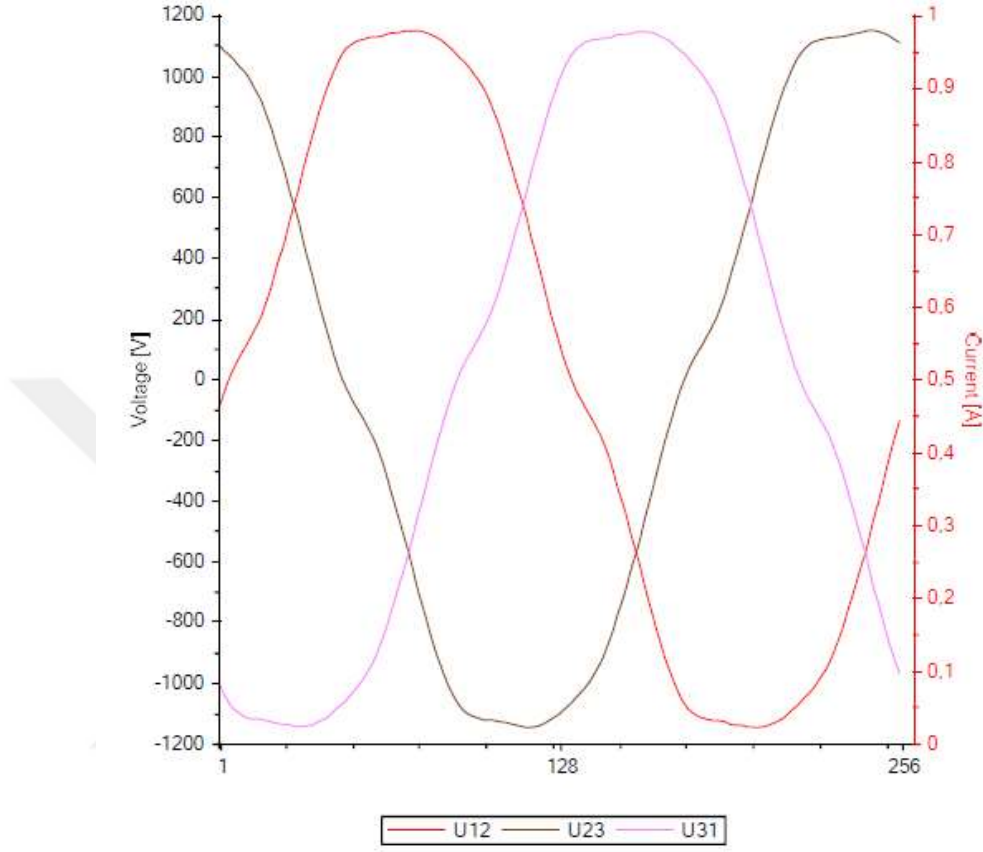
Total					Freq.
Stot [kVA]	Q _{tot} [kVAR]	P _{tot} [kW]	PF _{tot}	dPF _{tot}	
101,07	-11,86	-100,37	-0,99	0,00	50,00

Şekil 4.19 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-2, İnvörtör-2, GES Devrede)

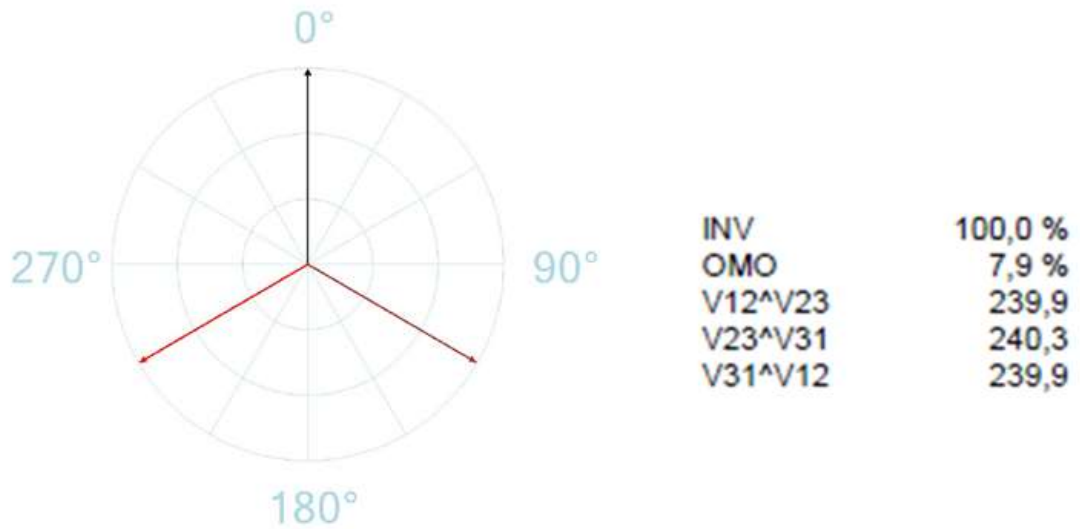


Şekil 4.20 Vektörel Diyagram (Tesis-2, İnvörtör-2, GES Devrede)

Tesis-2, İnvörtör-2 için güneş enerjisi santrali devrede değil iken gösterdiği akım ve gerilim değerleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Vektörel diyagramı ise Şekil 4.22’de sunulmuştur. Vektörel dağılıma göre vektörel bir bozulma gözlemlenmemiş ve sapma görülmemektedir.

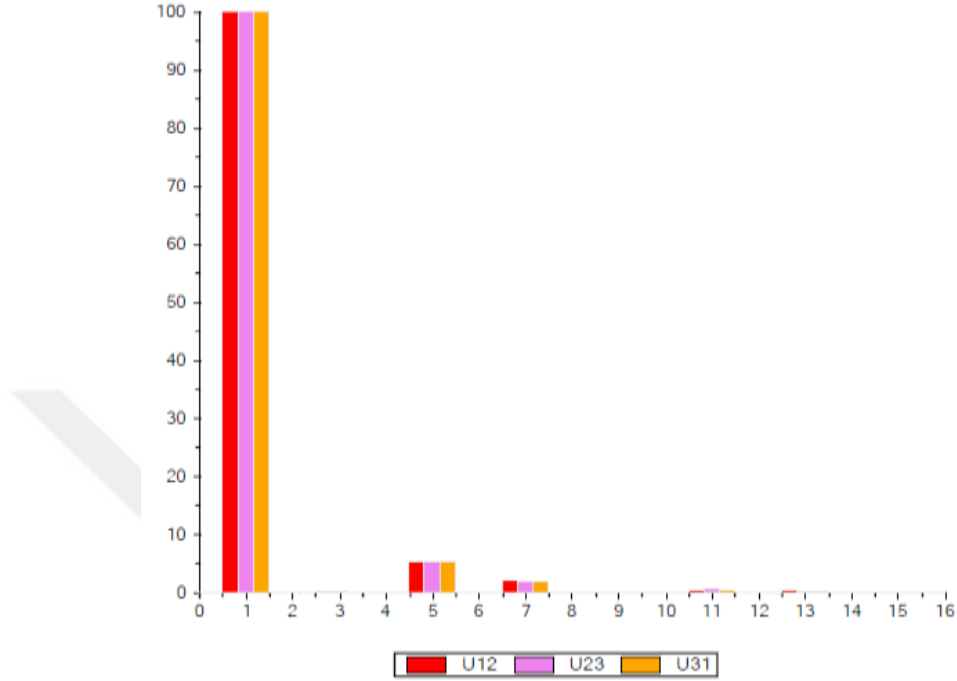


Şekil 4.21 Gerilim Değerleri (Tesis-2, İnvörtör-2, GES Devre Dışı)



Şekil 4.22 Vektörel Diyagram (Tesis-2, İnvörtör-2, GES Devre Dışı)

Tesis-2, İnvörtör-2 için güneş enerjisi santrali devrede değilken oluşan gerilim harmonikleri değerleri ise Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Şekil 4.24'te ise 3 fazda akım ve gerilim değerleri ayrıca aktif ve reaktif güç değerleri ile güç faktörü değerleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.23 Gerilim Harmonikleri ((Tesis-2, İnvörtör-2, GES Devre Dışı)

Phase 1		Phase 2		Phase 3	
U _{rms}	S[kVA]	U _{rms}	S[kVA]	U _{rms}	S[kVA]
469,5	0,00	484,7	0,00	505,2	0,00
U ₁₂	P[kW]	U ₂₃	P[kW]	U ₁₃	P[kW]
844,04	0,00	840,26	0,00	840,02	0,00
I _{rms}	Pf 1	I _{rms}	Pf 2	I _{rms}	Pf 3
0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf
5,69	0,00	5,72	0,00	5,72	0,00
Total					
Stot [kVA]	Q _{tot} [kVAR]	P _{tot} [kW]	Pf _{tot}	dPf _{tot}	Freq.
0,00	0,00	0,00	--	0,00	50,01

Şekil 4.24 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-2, İnvörtör-2, GES Devre Dışı)

25.05.2021 Salı günü Tesis-2 İnvörtör-2' İnvörtör klemenslerinden yapılan ölçümlerde, Gerilim Harmoniği için THB güneş enerjisi santrali devredeyken daha değişken davranmaktadır. Güneş enerjisi santrali devreye girdiğinde vektörel bozulma olmaktadır.

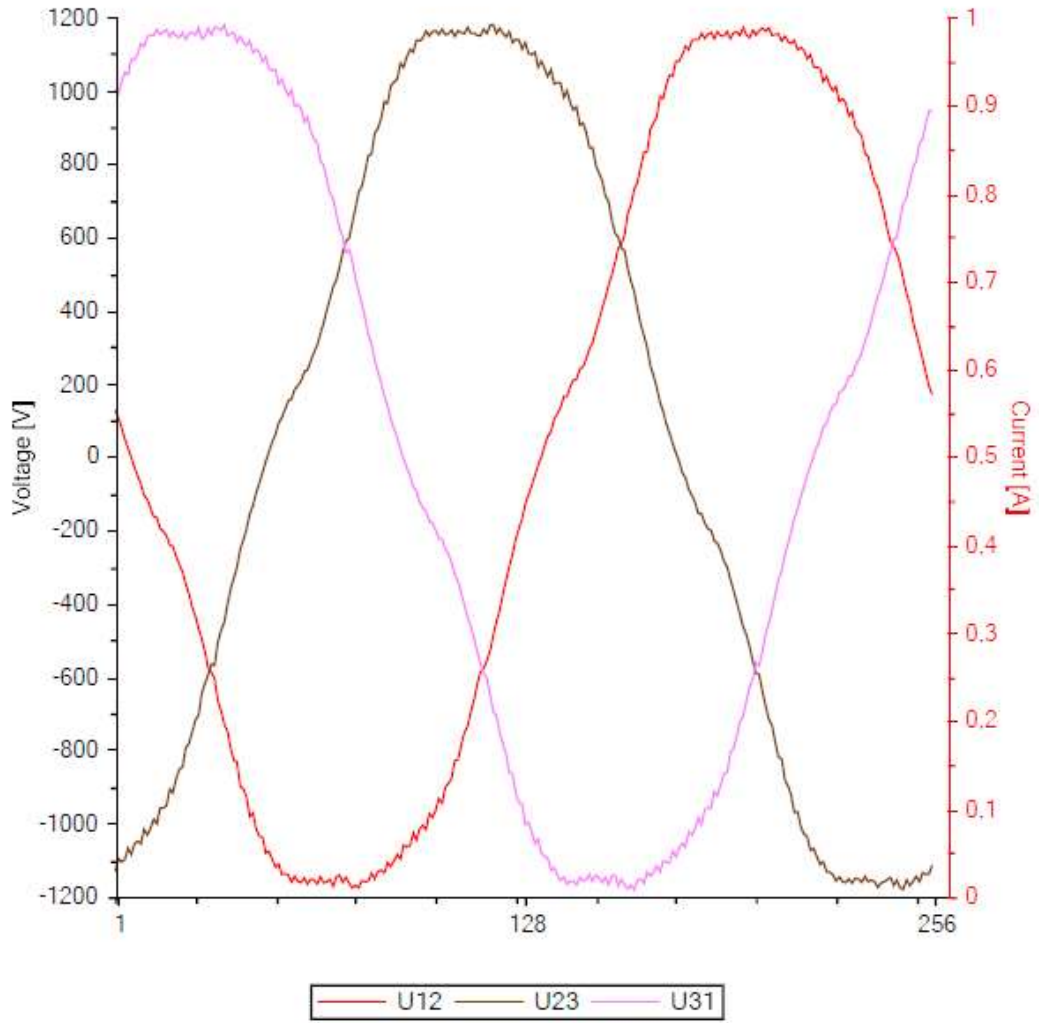
4.1.3. İnvörtör AC Giriş Güç Kalitesi Ölçümleri-2

25.05.2021 Salı günü Tesis-3 İnvörtör-1'in bağlantı noktasındaki güç kalitesi parametreleri, HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü ile ölçümlenmiştir. Ölçümlerde güneş enerjisi santrali devredeyken ve devre dışıyken enerji kalitesi değerleri ölçülmüştür. İnvörtörlerin AC kablo uzunluğundan bağımsız değerlendirilmesi için AC bağlantı klemenslerinden ölçüm yapılmıştır. Şekil 4.25'te Tesis-3 İnvörtör-1 için HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı şekilleri gösterilmiştir.

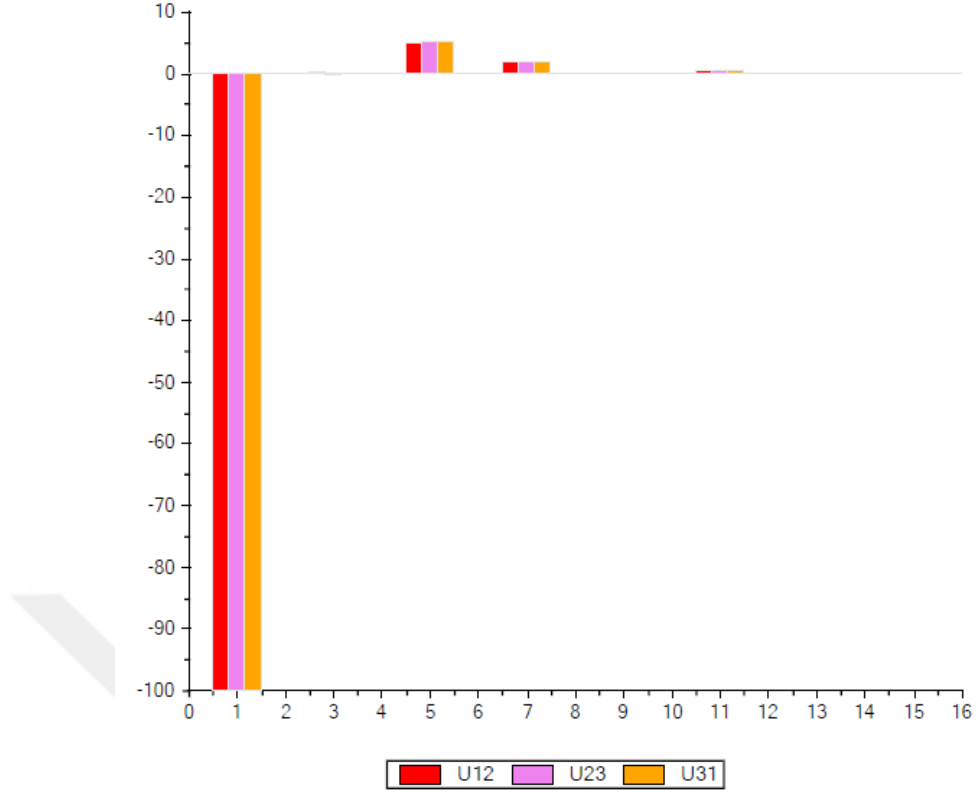


Şekil 4.25 HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü Ölçüm Bağlantısı (Tesis-3 İnvörtör-1)

25.05.2021 Salı günü Tesis-3, İnvörtör-1 klemenslerinden yapılan ölçümlerde, Gerilim Harmoniği için THB %5,597 ortalama ölçülmüştür. Güneş Enerjisi Santrali Devredeyken Gerilim Harmoniği için THB %5,507 ortalama ölçülmüştür. Güneş Enerjisi Santrali Devre değilken Gerilim Harmoniği için THB %5,605 ortalama ölçülmüştür. Gerilim Harmoniği için en yüksek THB %5,65 ölçülmüştür. Gerilim Harmoniği için en yüksek 45,04 Volt ölçülmüştür. Akım Harmoniği için en yüksek THB %13,31 ölçülmüştür. Faz faz arası en yüksek gerilim 856,8 Volt ölçülmüştür. Sorunlu bir invertörün güneş enerjisi santrali devrede iken oluşan gerilim ve akım değerleri Şekil 4.26'da sinüsoidal şekilde, Şekil 4.27'de ise güneş enerji santrali devredeyken gerilim harmonik değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Gerilim Değerleri (Tesis-3, İnvörtör-1, GES Devrede)



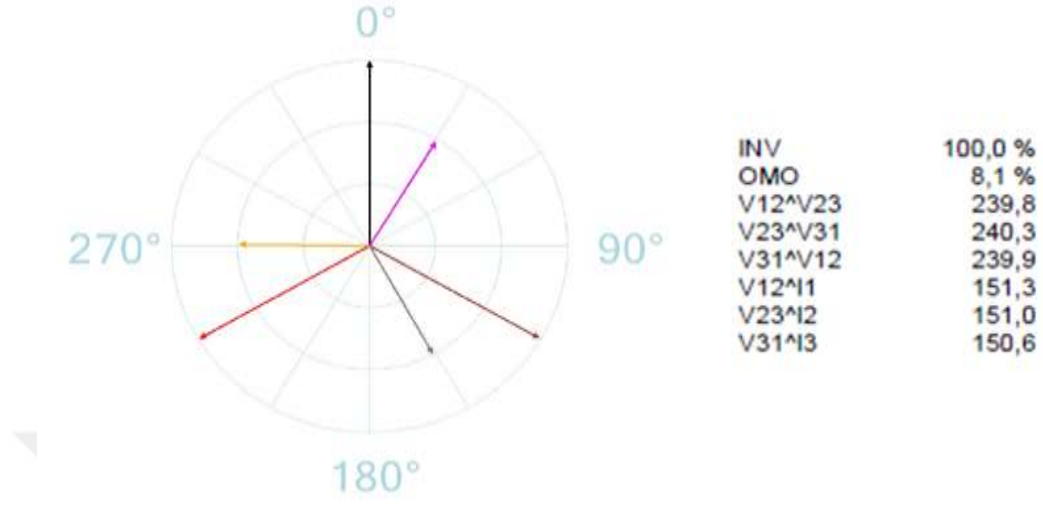
Şekil 4.27 Gerilim Harmonikleri (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devrede)

Tesis-3, İnvertör-1 için güneş enerjisi santrali devredeyken Şekil 4.28’de bulunan üç fazda akım ve gerilim değerleri ayrıca aktif ve reaktif güç değerleri ile güç faktörü değerleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Phase 1		Phase 2		Phase 3	
Urms	S[kVA]	Urms	S[kVA]	Urms	S[kVA]
490,1	41,21	496,6	41,19	499,6	41,95
U12	P[kW]	U23	P[kW]	U13	P[kW]
857,41	-40,95	853,93	-40,92	853,35	-41,69
Irms	Pf 1	Irms	Pf 2	Irms	Pf 3
84,3	-0,99	83,1	-0,99	83,8	-0,99
Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]
1,50	-4,62	1,72	-4,71	1,70	-4,64
Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf
5,30	0,52	5,43	0,49	5,46	-1,00
Total					
Stot [kVA]	Qtot [kVAR]	Ptot [kW]	PFtot	dPFtot	Freq.
124,35	-13,96	-123,56	-0,99	0,00	49,96

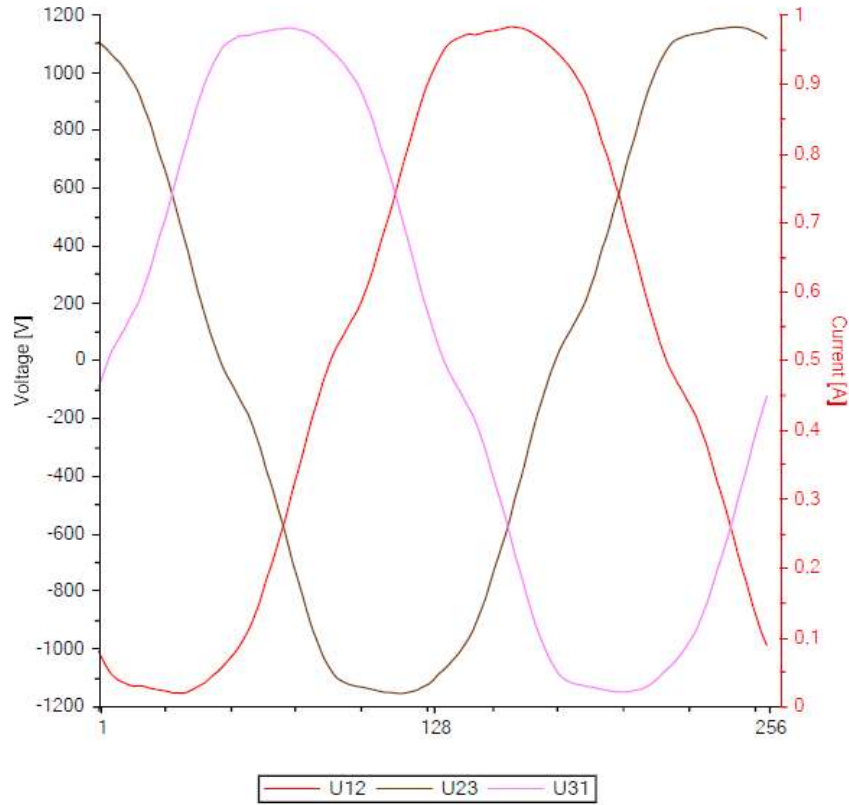
Şekil 4.28 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-3, İnvertör-1, GES Devrede)

Tesis-3, İnvörtör-1 için güneş enerjisi santrali devredeyken vektörel diyagramı Şekil 4.29’da sunulmuştur. Vektörel dağılıma göre vektörel bir bozulma gözlemlenmiş ve sapma görülmektedir.



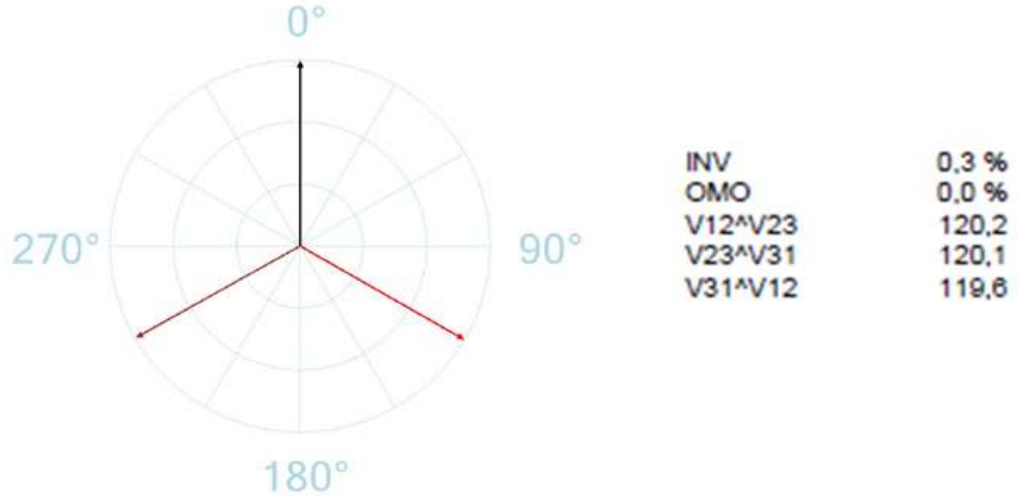
Şekil 4.29 Vektörel Diyagram (Tesis-3, İnvörtör-1, GES Devrede)

Tesis-3, İnvörtör-1 için güneş enerjisi santrali devrede değil iken gösterdiği akım ve gerilim değerleri Şekil 4.30’da gösterilmiştir.

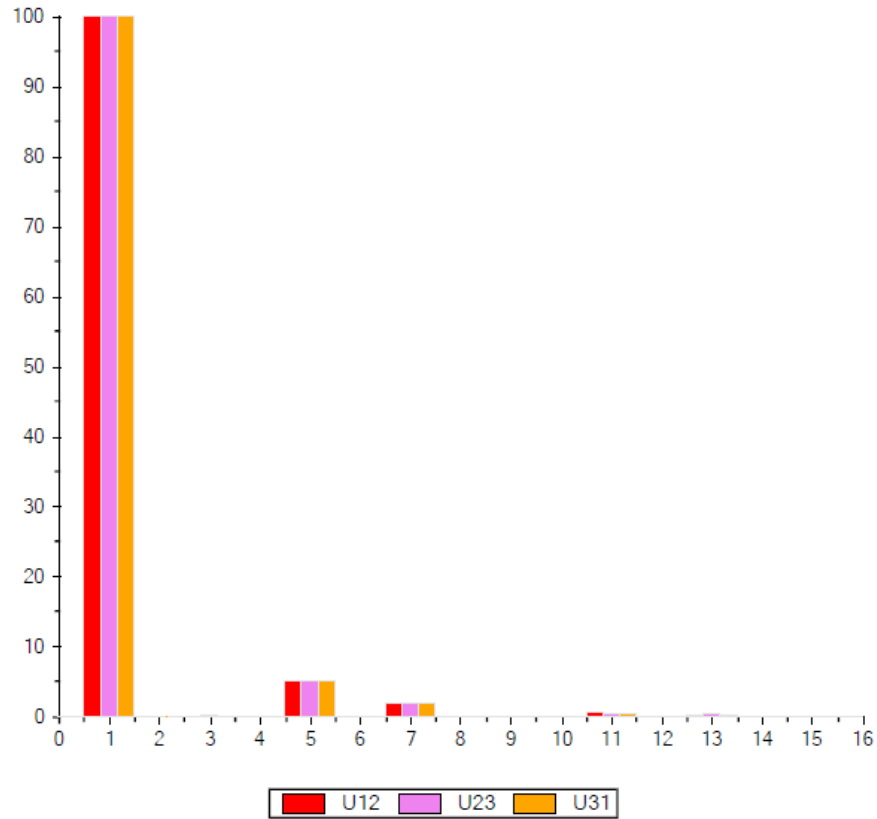


Şekil 4.30 Gerilim Değerleri (Tesis-3, İnvörtör-1, GES Devre Dışı)

Tesis-3, İnvörtör-1 için güneş enerjisi santrali devrede değil iken oluşan değerler ve vektör diyagramı Şekil 4.31’de gösterilmiştir. Vektörel dağılıma göre vektörel bir bozulma gözlemlenmemiş ve sapma görülmemektedir. İnvörtörün güneş enerji santrali devrede değil iken gerilim harmonik değerleri Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31 Vektörel Diyagram (Tesis-3, İnvörtör-1, GES Devre Dışı)



Şekil 4.32 Gerilim Harmonikleri (Tesis-3, İnvörtör-1, GES Devre Dışı)

Tesis-3, İnvörtör-1 için güneş enerjisi santrali devrede değil iken Şekil 4.33'te bulunan üç fazda akım ve gerilim değerleri ayrıca aktif ve reaktif güç değerleri ile güç faktörü değerleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Phase 1		Phase 2		Phase 3	
U _{rms}	S[kVA]	U _{rms}	S[kVA]	U _{rms}	S[kVA]
458,9	0,00	525,4	0,00	483,9	0,00
U _{L12}	P[kW]	U _{L23}	P[kW]	U _{L13}	P[kW]
845,68	0,00	849,33	0,00	844,64	0,00
I _{rms}	Pf 1	I _{rms}	Pf 2	I _{rms}	Pf 3
0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]	Thd(I)	Q[kVAR]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf	Thd(U)	dPf
5,44	0,00	5,38	0,00	5,48	0,00
Total					
Stot [kVA]	Q _{tot} [kVAR]	P _{tot} [kW]	Pf _{tot}	dPf _{tot}	Freq.
0,00	0,00	0,00	--	0,00	49,99

Şekil 4.33 Üç Faz için Ölçülen Değerler (Tesis-3, İnvörtör-1, GES Devre Dışı)

Tesis-3, İnvörtör-1 klemenslerinden yapılan ölçümlerde, Gerilim Harmoniği için THB güneş enerjisi devredeyken daha değişken davranmaktadır. Güneş enerjisi santrali devreye girdiğinde vektörel bozulma olmaktadır.

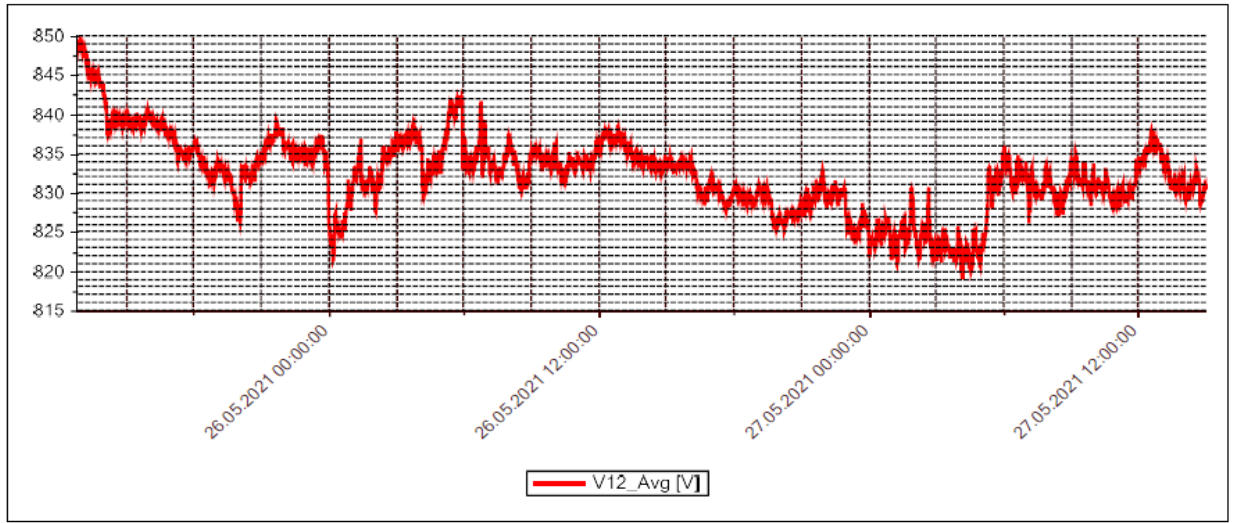
Tesis-2, İnvörtör-2 klemenslerinden yapılan ölçümlerde, Gerilim Harmoniği için THB %5,22 ortalama ve TESİS-3 İnvörtör 1' İnvörtör klemenslerinden yapılan ölçümlerde, Gerilim Harmoniği için THB %5,597 ortalama ölçülmüştür. Sorun yaşayan TESİS-3 İnvörtör 1' İnvörtör de, Gerilim Harmoniği için THB değeri, sorun yaşamayan TESİS-2 İnvörtör 2'e göre daha yüksektir.

Tesis-3, İnvörtör-1 klemenslerinden yapılan ölçümlerde, gerilim harmoniği için THB değeri, sorun yaşanmadığı belirtilen Tesis-2, İnvörtör-2 klemenslerinden yapılan ölçümlere göre %0,377 daha yüksektir.

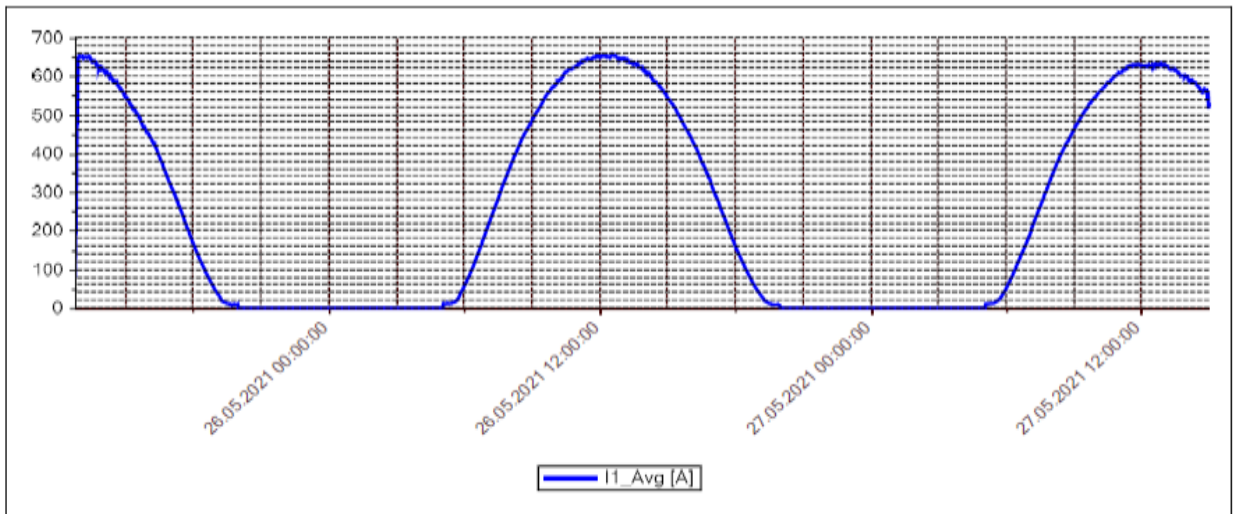
4.1.4. Monoblok Üzerinde Güç Kalitesi Ölçümü

25.05.2021 Salı günü saat 12:47 ile 27.05.2021 Perşembe günü saat 14:59 zaman aralığında Tesis-4 Monoblok Ana termik manyetik şalter üzerinde güç kalitesi parametreleri, HT PQA824 Güç Kalitesi Analizörü ile ölçülmüştür. Şekil 4.34-4.36'da sırasıyla Tesis-4 için ölçülen gerilim, akım ve aktif güç değerlerinin değişimi verilmiştir. Gerilim değerlerinin ortalama 830 VAC değerlerinde olduğu görülmektedir. Akım

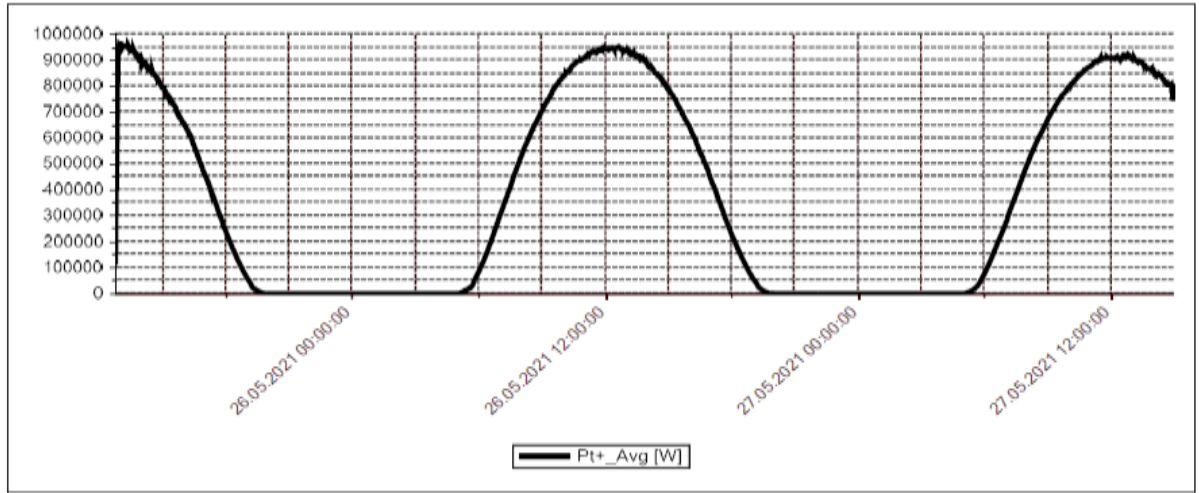
değerleri ise güneş ışınımına bağlı olarak öğle vakitlerinde 650 A civarlarında olup gün batımına doğru düşmektedir. Aynı şekilde akıma bağlı olarak da güç değerleri de değişmiştir. Gerilim seviyesi yaklaşık aynı kalsa da akım değeri düştüğünden güç de düşmüştür. Tesis-4 Monoblok üzerinde yapılan ölçümlerde, gerilim harmoniği için ortalama THB % 6.081, en yüksek THB % 6.676 olarak ölçülmüştür. 5. gerilim harmoniği için en yüksek 50.91 Volt, akım harmoniği için en yüksek THB % 306.9 olarak ölçülmüştür. Faz-faz arası en yüksek gerilim ise 849.9 Volt olarak ölçülmüştür. Şekil 4.37’de kapasitif yük değeri, Şekil 4.38’de gerilim harmonik değeri, thdV, Şekil 4.39’da 3. gerilim harmonik değeri, thdV, Şekil 4.40’ta 5. gerilim harmonik değeri, thdV, Şekil 4.41’de 7. gerilim harmonik değeri, thdV ve Şekil 4.42’de 9. gerilim harmonik değeri, thdV, ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.43’te akım harmonik değeri, thdI, Şekil 4.44’te 3. akım harmonik değeri, thdI, ve Şekil 4.45’te 5. akım harmonik değeri, thdI ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



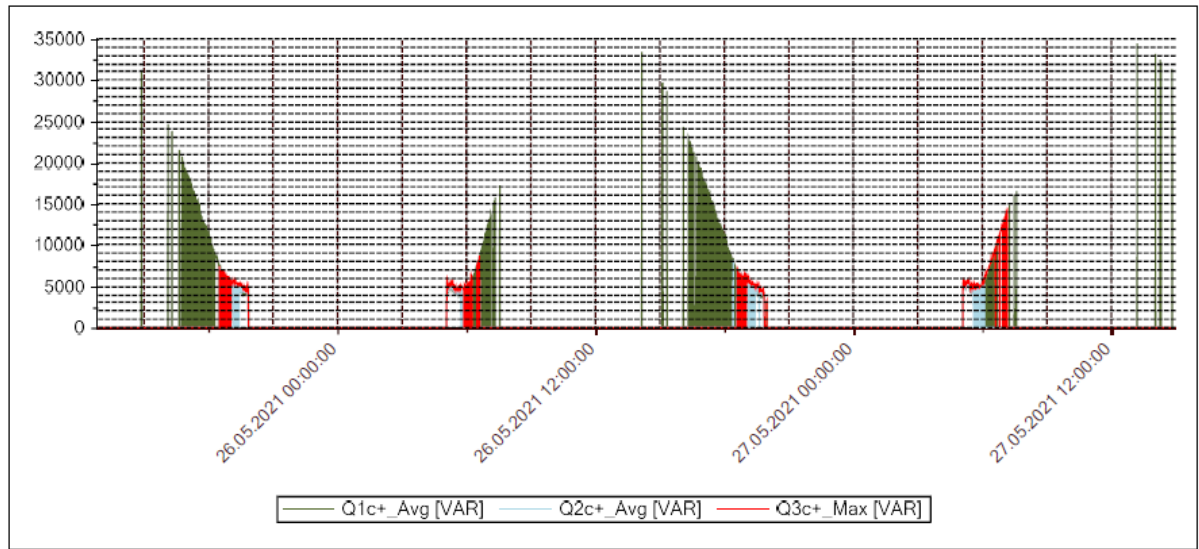
Şekil 4.34 Gerilim Değerleri Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



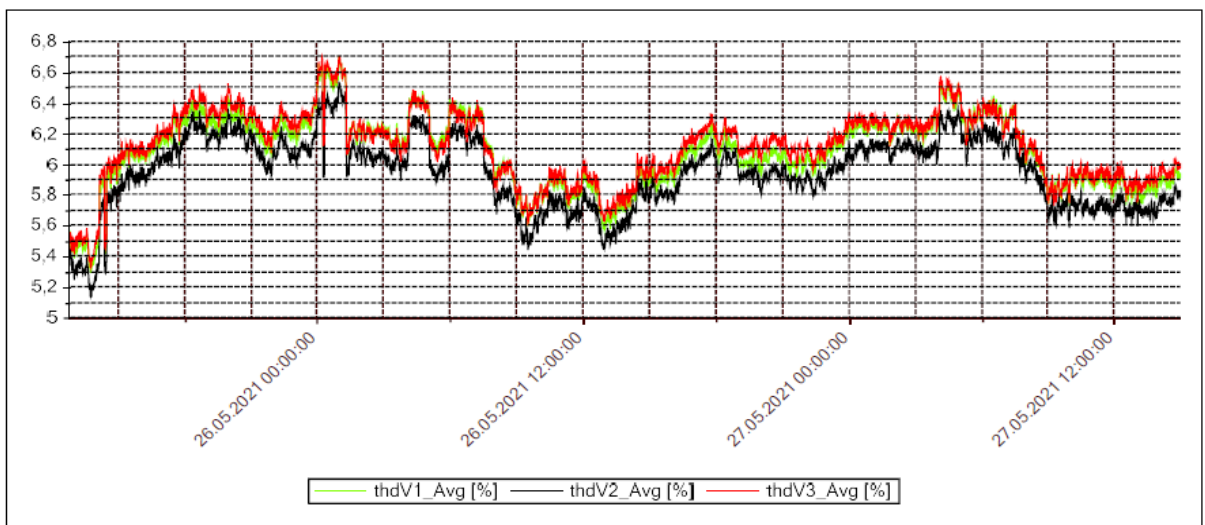
Şekil 4.35 Akım Değerleri Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



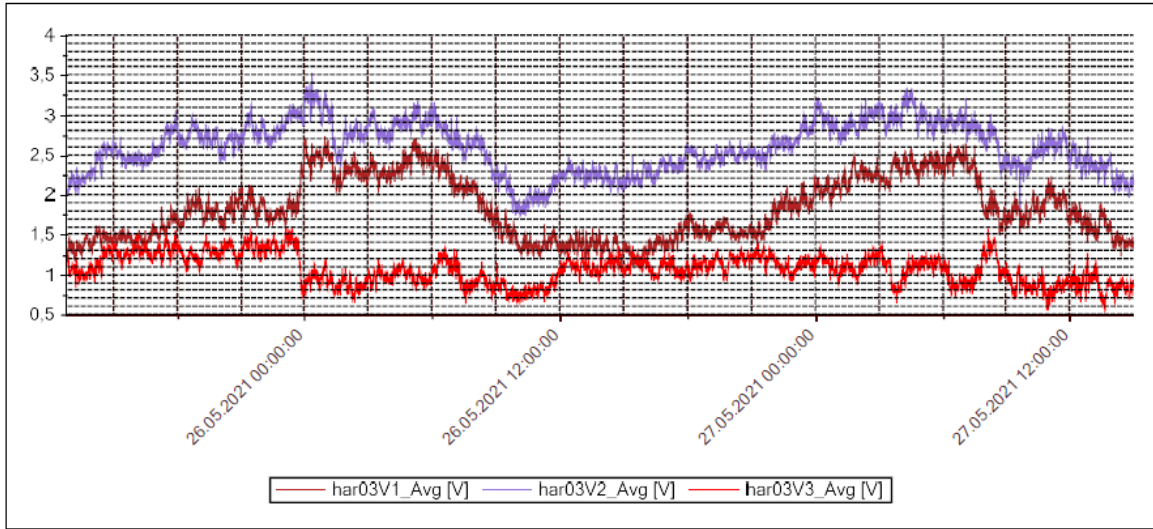
Şekil 4.36 Aktif Güç Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



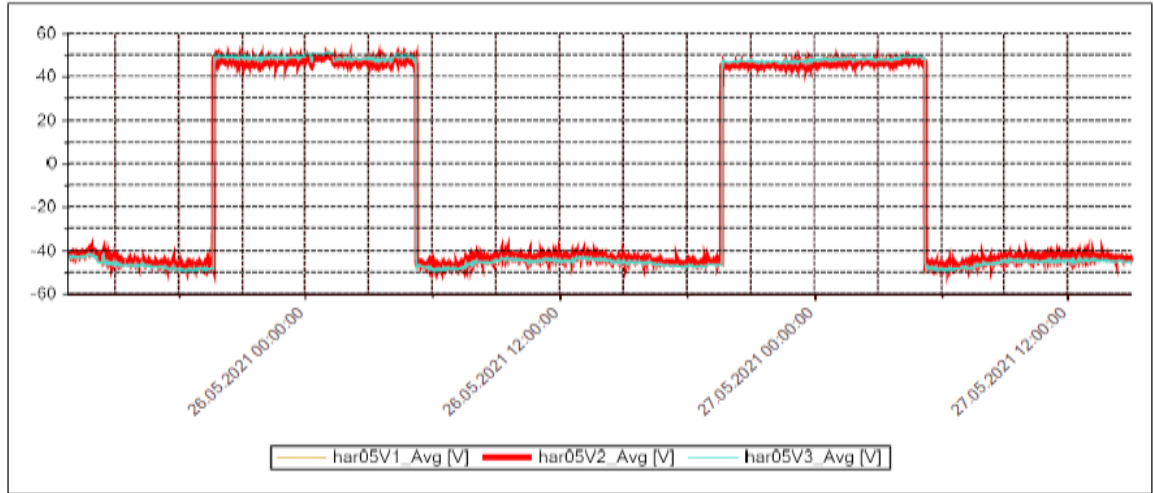
Şekil 4.37 Kapasitif Yük Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



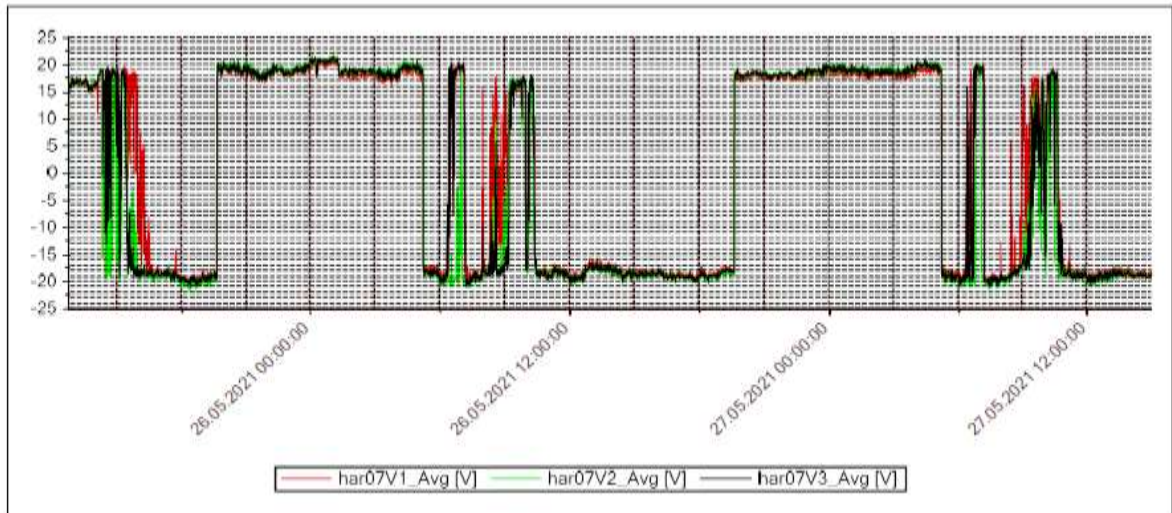
Şekil 4.38 Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



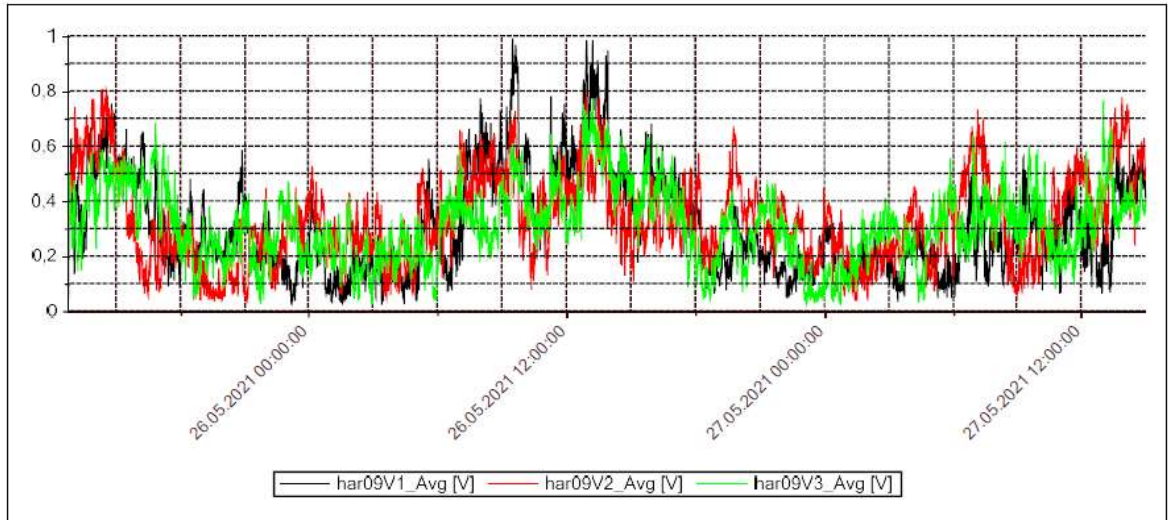
Şekil 4.39 3. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



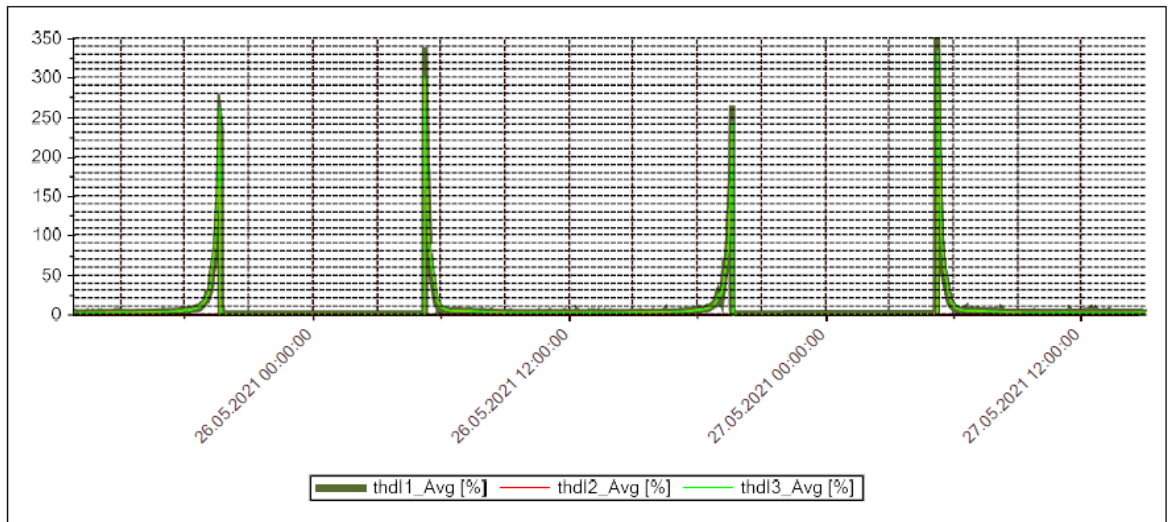
Şekil 4.40 5. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



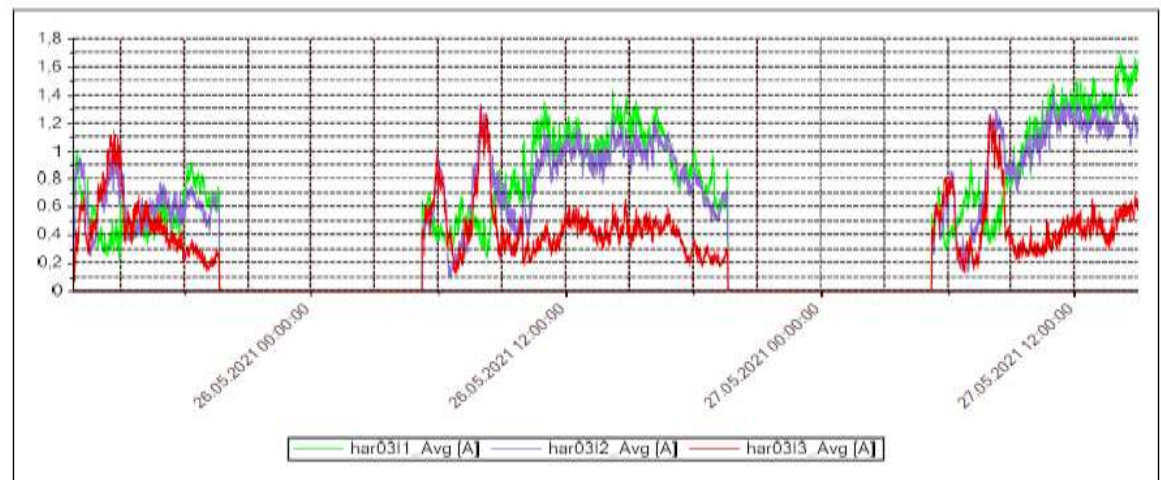
Şekil 4.41 7. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



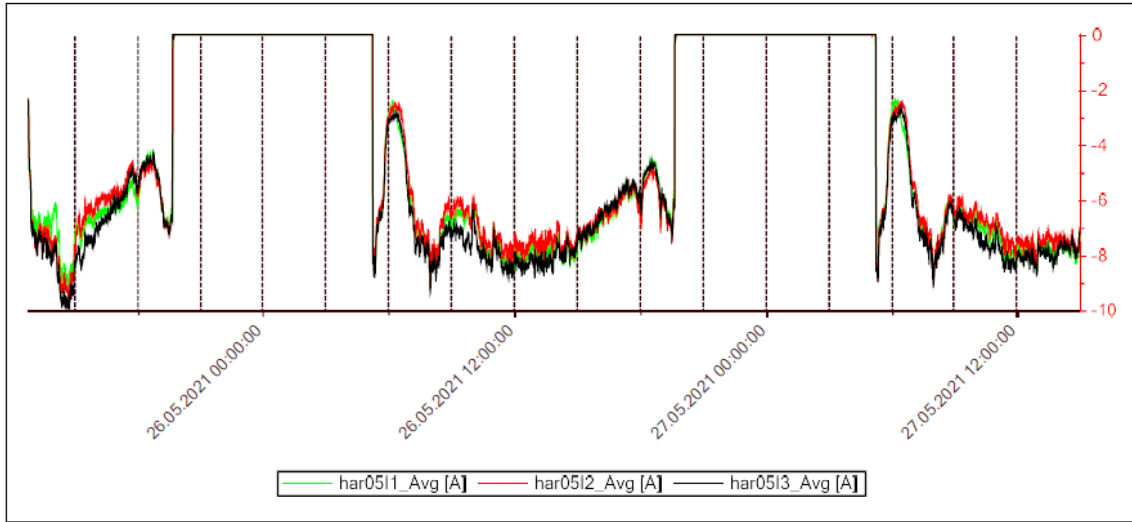
Şekil 4.42 9. Gerilim Harmoniği, thdV Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



Şekil 4.43 Akım Harmoniği, thdI Değişimi (Tesis-4 Monoblok)



Şekil 4.44 3. Akım Harmoniği, thdI Değişimi (Tesis-4 Monoblok)

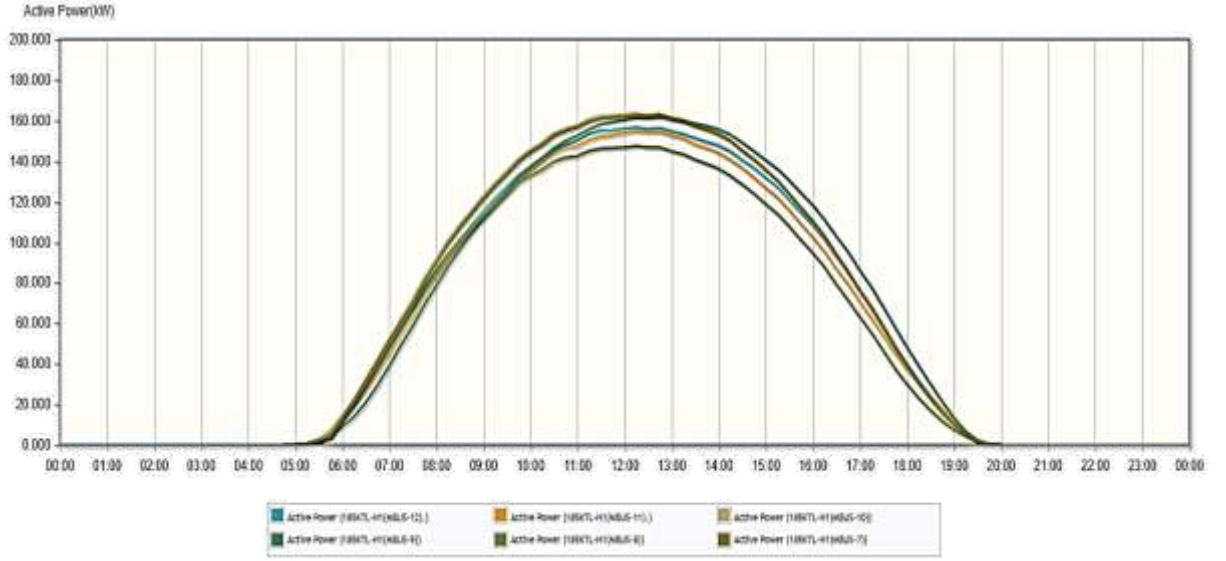


Şekil 4.45 5. Akım Harmoniği, thdI Değişimi (Tesis-4 Monoblok)

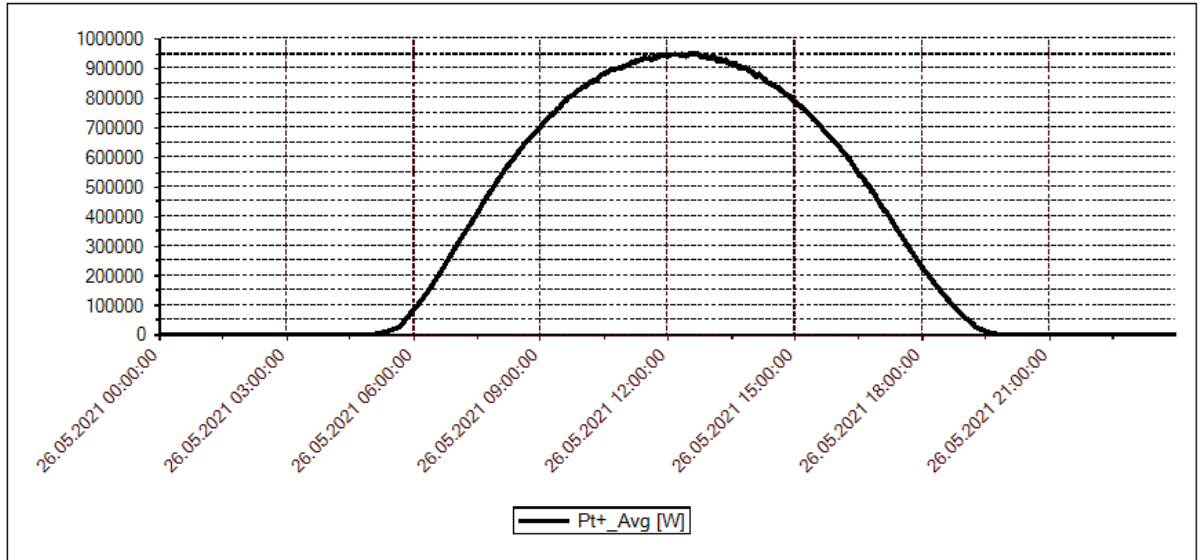
Güneş ışınımının özellikle iyi olduğu ve bulutlanmanın olmadığı, havanın açık olduğu durumlarda dahi aktif güç parazit oluşturur şekilde dalgalanma meydana getirmiştir. Bu parazitlenme büyük önem teşkil etmektedir. Mevcut yatırımı yapılan güneş enerjisi santralinin daha az enerji üretmesi, üretilen enerjinin stabil olmamasına neden olmaktadır. Aynı zamanda invertörler ve şalt ekipmanlarının ömrünün de azalmasına neden olmaktadır. Bu durum direkt olarak enerji kalitesinden kaynaklanmakta olup özellikle 5. gerilim harmoniklerinden kaynaklanmıştır. Bu durumun nedeni; ölçümü yapılan güneş enerjisi santrallerinin bağlantı noktasında çok sayıda tekstil işletmesi bulunmaktadır. Bu tekstil işletmeler aynı hat kolu üzerlerinden beslenmektedir. Hepsinde değişken frekans konvertörlü motor sürücüleri bulunmaktadır. Bu işletmeler mevcut şebekeyi kirletmekte, kirlenen bu şebekeden güneş enerjisi santralleri de zarar görmektedir. Aynı bağlantı noktasında çok sayıda tekstil işletmesinin öz tüketim güneş enerjisi santralleri de bulunmaktadır.

4.2. Güneş Enerjisi Santrali için Uzaktan İzleme Sistemi Verileri ve Değerlendirilmesi

Şekil 4.46'da ve Şekil 4.47'de gösterilen uzaktan izleme sistemi ve HT PQA824 ile ölçülen aktif güç değerleri görülmektedir. Hem invertörlere ait uzaktan izleme sisteminden alınan hem de HT PQA824 güç analizöründen alınan veriler karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Bu veriler değerlendirildiğinde verilerin uyumlu olarak örtüştüğü gözlemlenmiştir.



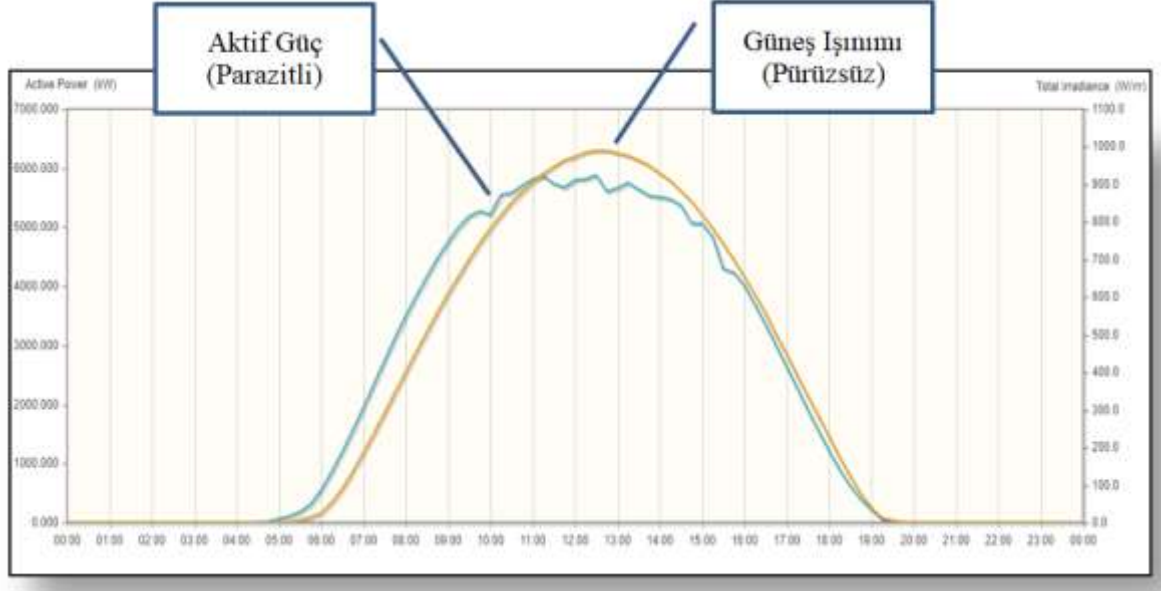
Şekil 4.46 Uzaktan İzleme Sisteminde Aktif Güç Değişimleri (İnvertör & İnvertör)



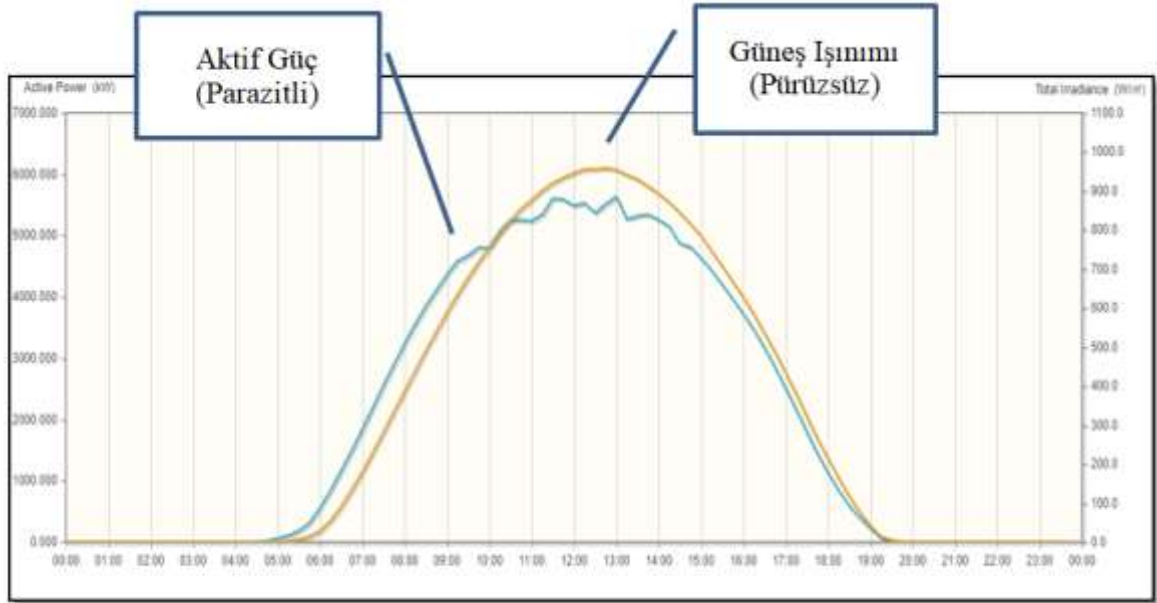
Şekil 4.47 HT PQA824 Güç Analizöründe Aktif Güç Değişimi

Uzaktan izleme sisteminde tüm güneş enerjisi santrallerinin aktif güç değişimi ve güneş ışıınım değerleri karşılaştırıldığında, güneş ışıınımında dalgalanma olmamasına rağmen aktif güçte dalgalanma görülmektedir. Şekil 4.48; 10.05.2021 tarihindeki aktif güç değişimini, Şekil 4.49; 12.05.2021 tarihindeki aktif güç değişimini, Şekil 4.50; 15.05.2021 tarihinde aktif güç değişimi, Şekil 4.51; 23.05.2021 tarihinde Aktif güç değişimi, Şekil 4.52; 27.05.2021 tarihindeki aktif güç değişimlerini göstermektedir. Buradaki dalgalanmalar enerji kalitesinde meydana gelen sorunlardan ötürü kaynaklanmaktadır. Farklı tarihlerde güneş ışıınımın iyi olduğu günlerde ölçümler yapılarak karşılaştırma yapılması sağlanmıştır. Güneş ışıınımının özellikle iyi olduğu bulutlanmanın olmadığı, havanın açık olduğu durumlarda dahi aktif güç parazit oluşturur şekilde dalgalanma

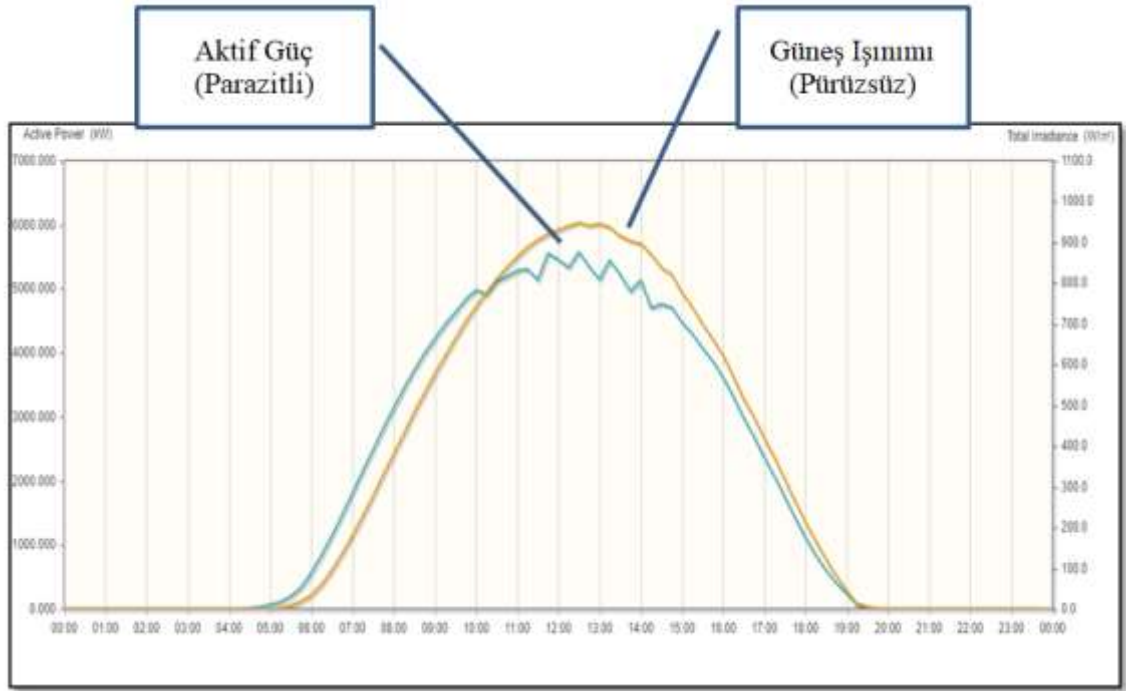
meydana getirmiştir. Bu durum enerji kalitesinden kaynaklanmakta olup özellikle 5. gerilim harmoniklerinden kaynaklanmıştır. Bu durumun nedeni; ölçümü yapılan güneş enerjisi santrallerinin bağlantı noktasında çok sayıda tekstil işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmeler mevcut şebekeyi kirletmekte, kirlenen bu şebekeden güneş enerjisi santralleri de zarar görmektedir.



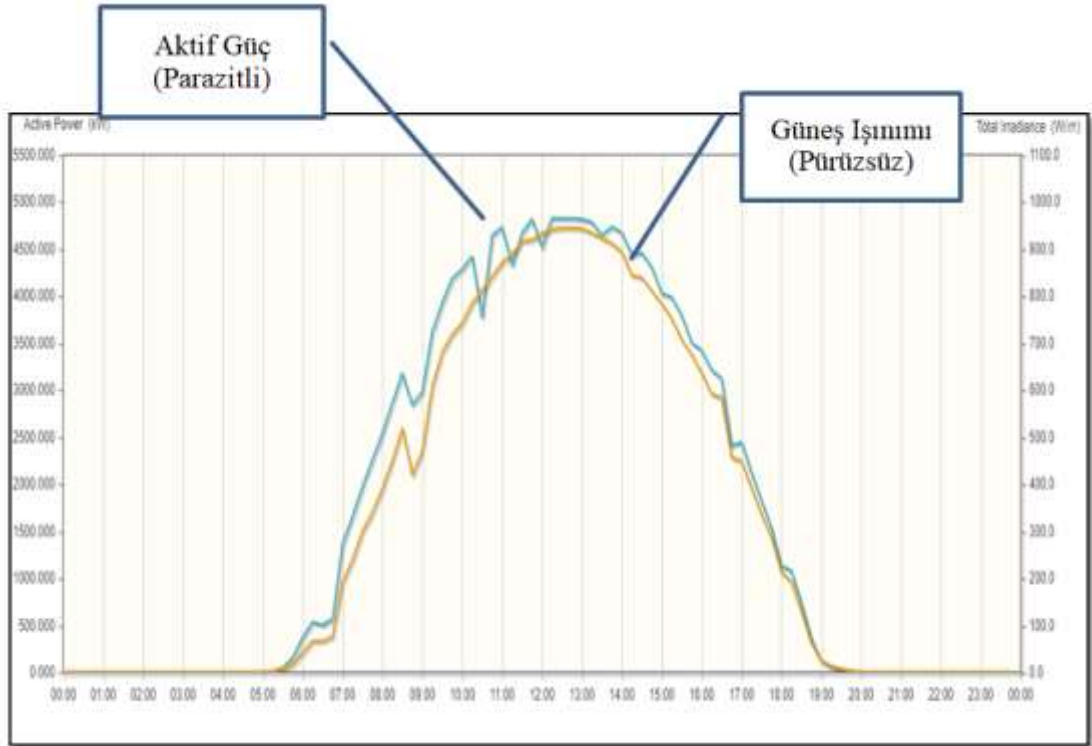
Şekil 4.48 10.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi



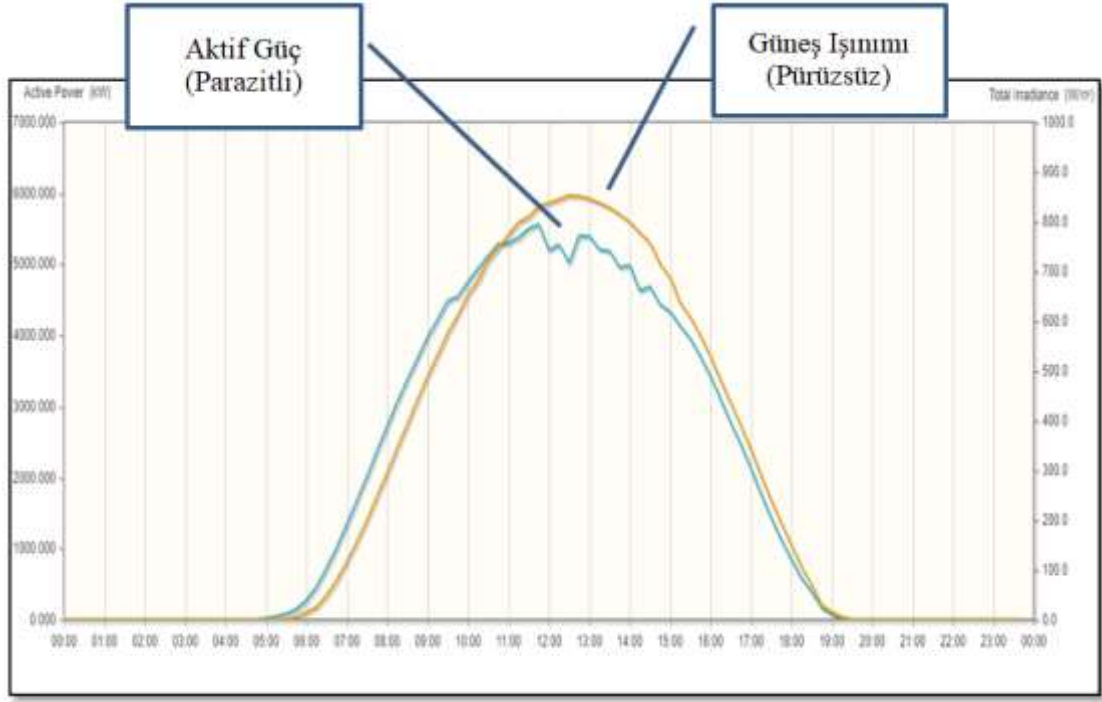
Şekil 4.49 12.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi



Şekil 4.50 15.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi



Şekil 4.51 23.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi



Şekil 4.52 27.05.2021 Tarihinde Aktif Güç Değişimi

Uzaktan izleme sisteminde tüm güneş enerjisi santrallerinin aktif güç değerleri değişimi ve güneş ışınlamı değerleri karşılaştırıldığında, güneş ışınlamında dalgalanma olmamasına yani havanın açık ve bulutsuz durumuna rağmen aktif güçte dalgalanma görülmektedir. Buradaki dalgalanmalar direkt olarak enerji kalitesindeki sorundan kaynaklanmakta olup gerilim harmoniklerinin yüksek olmasından ötürüdür. Uzaktan izleme sisteminde 15 farklı invertörde çok sayıda hata kodlarına rastlanılmıştır.

Uzaktan izleme sistemi, 01.03.2021 tarihinden itibaren incelendiğinde yaklaşık 2 aylık süre zarfında, invertörlerde 1800 adetten fazla “Abnormal Residual Current” hatası verildiği gözlemlenmiştir. Özellikle bu hataların yaklaşık yarısı Tesis-3 adlı güneş enerjisi santralinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Farklı bir güneş enerjisi santralinde çok az görülen bu hata, diğer santrallerde yaklaşık olarak her santral başı için 300 kere gözlemlenmiştir. İnvertörlerin bu kadar çok hata kodu üretmesi enerji üretim performansını düşürmüştür. Aynı zamanda invertörün ekonomik ömrünü azaltmaktadır.

Uzaktan izleme sistemi ve HT PQA824 ile yapılan ölçümlerde enerji kalitesinden dolayı güneş enerjisi santrallerinin üretiminin düştüğü tespit edilmiştir. Sorunların çok yaşandığı söylenen invertörlerde harmonik bozulmanın daha yüksek olduğu yapılan detaylı deneysel ölçümlerle tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fotovoltaik tabanlı dağıtılmış enerji üretim sistemlerinin şebekeye bağlanması durumunda, güneş ışınımındaki değişimlerin şebekedeki harmonik kaynaklı etkilerinin göz önünde bulundurulması, güç sistemi planlaması ve güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde arazi tipi tekil güneş enerjisi santrallerinin yanında büyük elektrik enerjisi tüketimleri olan sanayi tesislerinin de öz tüketim modeli güneş enerjisi santrallerini kurması ile birlikte enerji kalitesi noktasında çeşitli sorunlar meydana gelmeye başlamıştır. Özellikle tekstil işletmelerinde frekans konvertörlü motor sürücülerin çokça kullanılması ve diğer makineler mevcut elektrik şebekesindeki enerji kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Aynı enerji nakil hattı üzerinde çok sayıda tekstil işletmesi bulunması ve aynı zamanda bu işletmelerin öz tüketim modeli güneş enerjisi santralleri kurması mevcut olan şebekedeki kirliliği arttırmış ve enerji kalitesi noktasında sorunları beraberinde getirmiştir. Yaşanan sorunların tespiti ve çözüm önerileri için böyle bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

26.05.2021 Çarşamba günü uzaktan izleme sistemi ve HT PQA824 ile ölçülen aktif güç değerleri örtüşmektedir. Uzun ölçüm sürecinde uzaktan izleme sisteminde görülen dalgalanmalar bulunmamaktadır. 25.05.2021 Salı günü saat 12:47 ile 27.05.2021 Perşembe günü saat 14:59 zaman aralığında Tesis-4 Monoblok için yapılan ölçümlerde, gerilim harmoniği için THB % 6.081 olarak ölçülmüştür. Gerilim harmoniği için en yüksek THB % 6.676, 5. gerilim harmoniği için en yüksek 50.91 Volt, akım harmoniği için en yüksek THB % 306.9, faz-faz arası en yüksek gerilim 849.9 Volt olarak ölçülmüştür.

Tesis-4 Monoblok için ölçülen gerilim, akım ve aktif güç değerlerinin değişimi verilmiştir. Gerilim değerlerinin ortalama 830 VAC değerlerinde olduğu görülmektedir. Akım değerlerinin ise güneş ışınımına bağlı olarak öğle vakitlerinde 650 A civarlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu değer gün batımına doğru düşmektedir. Aynı şekilde akıma bağlı olarak da güç değerleri de değişmiştir. Gerilim seviyesi yaklaşık aynı kalsa da akım değeri düştüğünden güç de düşmüştür.

25.05.2021 Salı günü Tesis-3, İnvertör-1 AC giriş klemenslerinden yapılan ölçümlerde, gerilim harmonik değeri için THB güneş enerjisi devredeyken daha değişken davranmaktadır. Güneş enerjisi santrali devreye girdiğinde vektörel bozulma olmaktadır. Tesis-2, İnvertör-2 AC giriş klemenslerinden yapılan ölçümlerde, gerilim harmoniği için THB % 5.22 ve Tesis-3, İnvertör-1 AC giriş klemenslerinden yapılan ölçümlerde, gerilim harmoniği için THB % 5.597 olarak ölçülmüştür. Sorun olarak karşılaşılan Tesis-3, İnvertör-1 AC giriş klemenslerinde, gerilim harmoniği için THB değeri, sorun yaşanmadığı belirtilen Tesis-2, İnvertör-2'ye göre daha yüksektir.

AC giriş klemenslerinden yapılan ölçümlerde, sorun yaşadığı belirtilen Tesis-3, İnvertör-1'de, gerilim Harmoniği için THB değeri, sorun yaşanmadığı belirtilen Tesis-2, İnvertör-2'ye göre % 0.377 daha yüksektir. Gerilim Harmoniği için THB % 5.597 ortalama olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi santrali devredeyken gerilim harmoniği için THB % 5.507 olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi santrali devrede değilken gerilim harmoniği için

THB % 5.605 olarak ölçülmüştür. Gerilim harmoniği için en yüksek THB % 5.65, 5. gerilim harmoniği için en yüksek 45.04 Volt, akım harmoniği için en yüksek THB % 13.31, faz-faz arası en yüksek gerilim 856.8 Volt olarak ölçülmüştür.

Tesis-2, İnvertör-2 AC giriş klemenslerinden yapılan ölçümlerde, gerilim harmoniği için THB güneş enerjisi santrali devredeyken daha değişken davranmaktadır. Güneş enerjisi santrali devreye girdiğinde vektörel bozulma olmaktadır. Gerilim Harmoniği için THB % 5.22, güneş enerjisi santrali devredeyken gerilim harmoniği için THB % 5.231 olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi santrali devre değilken gerilim harmoniği için THB % 5.225 ortalama ölçülmüştür. Gerilim Harmoniği için en yüksek THB % 5.484, 5. gerilim harmoniği için en yüksek 42.79 volt, akım harmoniği için en yüksek THB % 15.96, faz faz arası en yüksek gerilim 851 Volt ölçülmüştür.

Genel itibariyle yapılan ölçümlerde, gerilim harmoniği için THB güneş enerjisi santrali devredeyken daha değişken davranmaktadır. Güneş enerjisi santrali devreye girdiğinde vektörel bozulma olmaktadır. Güneş enerjisi santralleri invertörleri mevcut durumda % 3 değerinin altında harmonik üretirler. Yapılan ölçümlerde, toplam harmonik bozulmanın yüksek olduğu görülmüştür. Gerilim harmoniği güvenli değer olan % 5'in üzerinde ölçülmüştür. Bu değer enerji kalitesi için sınır değer oranıdır. Gerilim harmoniği için THB % 5.91 olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisi santrali devredeyken gerilim değeri daha yüksek ve daha çok sapmalıdır.

Uzaktan izleme sisteminde ise tüm güneş enerjisi santrallerinin aktif güç değişimi ve güneş ışıınım değerleri karşılaştırıldığında, güneş ışıınımında dalgalanma olmamasına rağmen aktif güçte dalgalanma görülmektedir. Buradaki dalgalanmalar direkt olarak enerji kalitesindeki kirlilikten kaynaklanmaktadır. Şebekedeki 5. gerilim harmonik değeri sınır değerindeyken, güneş enerjisi santrallerinin de devreye girmesi ile bu sınır değeri aşılmaktadır. Uzaktan izleme sistemi ve HT PQA824 güç analizörü ile yapılan ölçümlerde enerji kalitesinden dolayı güneş enerjisi santralinin üretiminin düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle sorunların çok yaşandığı söylenen invertörlerde harmonik bozulmanın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ek olarak; uzaktan izleme sistemi, 01.03.2021 tarihinden itibaren incelendiğinde invertörlerde 1800 adetten fazla "Abnormal Residual Current" hatası verildiği gözlemlenmiştir. Özellikle bu hataların yaklaşık yarısı Tesis-3 adlı güneş enerjisi santralinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Farklı bir güneş enerjisi santralinde çok az görülen bu hata, diğer santrallerde yaklaşık olarak her santral için 300 kere gözlemlenmiştir. İnvertörlerin çokça "abnormal residual current" hatası vermesi izolasyon empedansı ile ilgili sorun olduğunu açık bir şekilde göstermektedir. İzolasyon empedansının çok düşmesi artık akım hatasını meydana getirmektedir. Bundan ötürü üretim kaybı da yaşanmaktadır. Harmonik filtre yapılması ve özellikle 5. gerilim harmoniğinin düşürülmesi sistem için sorunları çözeceği tespit edilmiştir. Ayrıca toprak izolasyon empedansı da takip edilmelidir. Bu hataların bu kadar çok üretilmesi enerji üretiminde performansın düşmesine neden olmuştur. Aynı zamanda İnvertörlerin ekonomik ömürlerini de azaltmaktadır.

Güneş ışıınınının özellikle iyi olduğu ve bulutlanmanın olmadığı, havanın açık olduğu durumlarda dahi aktif güç değeriinde parazit oluşturur şekilde dalgalanma meydana geldiği analiz edilmiştir. Bu durum enerji kalitesinden kaynaklanmakta olup özellikle 5. gerilim harmoniklerinden kaynaklanmıştır. Bu durumun nedeni; ölçümü yapılan güneş enerjisi santrallerinin bağlantı noktasında çok sayıda tekstil işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmeler mevcut şebekeyi kirlletmekte, kirlenen bu şebekeden güneş enerjisi santralleri de zarar görmektedir. Aynı bağlantı noktasında çok sayıda tekstil işletmesi bulunmaktadır. Bu güneş enerjisi santrallerinde üretilen enerji tüketilmeden direkt olarak şebekeye verilmektedir. 5. gerilim harmoniğinin yüksek olmasının ana nedeni olarak tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Kahraman G, 2019. Türkiye’de Kentleşmenin Enerji Tüketimi ve Karbon Salınımı Üzerine Etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3): 1559 – 1566.
- [2] Rüstemli S, Ates M, 2012. Measurement and Simulation of Power Factor using PIC16F877. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 88(6): 290-294.
- [3] Rüstemli S, Cengiz MS, Dinçer F, 2013a. Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1): 30–38.
- [4] Rüstemli S, Dinçer F, Unal E, Karaaslan M, Sabah C, 2013b. The analysis on sun tracking and cooling systems for photovoltaic panels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22: 598-603.
- [5] Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası ve Aylık Ortalama Radyasyon Değeri <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim Tarihi: 08.02.2022)
- [6] Erdemir F, 2021. Konya ve Karaman Bölgesinde Fotovoltaik (PV) Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Parametrelerin Duyarlılığının Deneysel Olarak Araştırılması. Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 73s.
- [7] Ülkemizin Ocak 2022 tarihine kadar olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin yıllara göre kurulu güç değişimi. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> (Erişim Tarihi: 2.03.2022)
- [8] Akkurt F, Taşdemir B, 2021. Muhtelif Altyapı Ürünleri Üreten Bir Döküm Fabrikasının Enerji Etüdü. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1): 512 – 525.
- [9] Dikili K, Kopaç M, Erdoğan B, Topuz A, 2021. Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralinde Enerji ve Ekserji Analizi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 2268 – 2277.
- [10] Gemci A, 2018. Kahramanmaraş Şehir Merkezi Dağıtım Şebekesinin Enerji Kalitesi Yönünden İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 73s.
- [11] Kadifeci A, 2019. Kumaş Boya Tesislerinde Enerji Kalitesinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 77s.
- [12] Maraşlıoğlu B, 2018. OPEN-END İplik Tesislerinde Enerji Kalitesinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 73s.

- [13] Nedimoğlu E, 2019. Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrallerinin Harmonik Etkilerinin Araştırılması. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 77s.
- [14] Tüfekçi A, 2018. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Harmonik Analizi. Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 115s.
- [15] Abbas R, M, J, 2021. Harmonic Currents In Photovoltaic System. Istanbul Aydın University Institute of Graduate Studies Yüksek Lisans Tezi: 44s.
- [16] Baş Z, Yılmaz A,S, Zıba S, 2017. Tekstil Makinelerinin Harmonik ve Güç Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(1), 2017
- [17] Keçecioglu Ö, F, Tekin M, Gani A, Açıkgöz H, Gemci A, Şekkeli M, 2015. Bir Güneş Enerji Santralının Elektrik Şebekesindeki Güç Kalitesi Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 2015
- [18] Koçyiğit F, Yanıkoğlu E, Yılmaz A,S, Bayrak M,. Bir Tekstil Endüstrisinde Enerji Kalitesi Ölçümleri ve Enerji Kalitesizliğinin Tesise Maliyeti. https://www.emo.org.tr/ekler/9912e032e87bd7e_ek.pdf (Erişim Tarihi: 03.03.2022)
- [19] Sülü M, 2019. Fotovoltaik Güç Santrallerinde Enerji Kaybı ve Verimlilik Entegrasyonu. Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 93s.
- [20] Tepecik Esen K, 2020. Güneş Enerji Santralının Elektrik Şebekesi Güç Kalitesine Etkisinin Belirlenmesi ve Röle Koordinasyon Analizi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 87s .
- [21] Orucu E, 2020. Endüstriyel Tesislerde Aktif Harmonik Filtre Uygulaması İle Elektrik Güç Kalitesinin Düzenlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 81s.
- [22] Gökçe İ, 2020. Fotovoltaik (PV) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 112s.
- [23] Cangi H, 2019. Düşük Işıma Seviyesinde PV Sistemlerde Harmoniklerin Analizi ve Emilinasyonu. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi: 132s.
- [24] Ergün H, Ö, 2016. Endüstriyel Tesislerde Enerji Kalitesinin Maliyeti. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 127s.
- [25] Yazar N, 2019. Bir Güneş Santralının Elektrik Şebekesine Entegrasyonunda Güç Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 95s.

- [26] Utma A, 2018. Mikro Şebekeler İçin Akıllı Bir Enerji Yaönetim Sistemi Tasarımı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 73s.
- [27] Kesenek M, 2018. Güneş Enerji Santralinin Ulusal Şebekeye Entegrasyon Etkilerinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 71s.
- [28] Tekin M, 2019. Elektrik Şebekelerindeki Reaktif Güçlerin Fotovoltaik Sistemlerle Bastırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi: 112s.
- [29] Dinçer F, 2011. Çevresel Faktörlerin Güneş Paneline Etkisinin Matlab/Simulink Programında Modellenmesi ve Simülasyonu. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 73s.
- [30] Yılmaz Ş, Dinçer F, 2017. Impact of inverter capacity on the performance in large-scale photovoltaic power plants – A case study for Gainesville, Florida. Renewable and Sustainable Energy Reviews 79 (2017) 15-23
- [31] Yılmaz Ş, Özçalık H, R, Dinçer F, 2015. Assessment and analysis on numerical and experimental performance of the photovoltaic systems for Germany and Turkey. Journal of Renewable and Sustainable Energy 7, 053114 (2015)
- [32] Yılmaz Ş, Özçalık H, R, Dinçer F, 2015. Remote detection and assessment of solar energy potential analysis based on available roof surface area: case study in Kahramanmaras, Turkey. Journal of Applied Remote Sensing 9(1), 097698 (2015)
- [33] Yılmaz Ş, Özçalık H, R, Kesler S, Dinçer F, Yelmen B, 2015. The analys is of different PV power systems for the determination of optimal PV panels and system installation - A case study in Kahramanmaras, Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 52 (2015) 1015–1024
- [34] Yılmaz Ş, Özçalık H, R, Doğmuş O, Dinçer F, Akgöl O, Karaaslan M, 2015. Design of two axes sun tracking controller with analytically solar radiation calculations. Renewable and Sustainable Energy Reviews 43 (2015) 997–1005
- [35] Kesler S, Kıvrak S, Gürleyen H, Dinçer F, Yılmaz Ş, Özçalık H, R, 2015. A Low Cost Shading Analyzer and Site Evaluator Design to Determine Solar Power System Installation Area. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume 2015, Article ID 126373, 9 pages
- [36] Sarı M, 2017. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünün Enerji Kalitesinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 106s.
- [37] Ünlüsoy, B., 2019. Enerji Kalitesi, TS EN50160 Standardı ve Ülkemizdeki Uygulamaları”, Schneider Elektrik San. ve Tic. A.Ş., İstanbul.

[38] Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 2021. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-6730/elektrik--sebeke-> (Erişim Tarihi: 22.03.2022)

[39] Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/09/20060912-4.htm> (Erişim Tarihi: 23.03.2022)

[40] Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği, 2022. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat> (Erişim Tarihi: 23.03.2022)

[41] Maraşlıoğlu B, 2018. Open-End İplik Tesislerinde Enerji Kalitesinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi: 73s.

[42] Kürker F, Taşaltın R, Karadağ K, 2018. Elektrik Tesisinde Harmonik İncelemesi ve Harmonik Filtreli Kompanzasyon. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3 (3): 43-51.