



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ULUSAL
ŞEBEKEYE ENTEGRASYON ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

MUSTAFA KESENEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ULUSAL
ŞEBEKEYE ENTEGRASYON ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

MUSTAFA KESENEK

Bu tez,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mustafa KESENEK tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ULUSAL ŞEBEKEYE ENTEGRASYON ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 27/06/2018 tarihinde oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ (DANIŞMAN)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Böl.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Mahit GÜNEŞ (ÜYE)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Böl.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali ÖZÇELİK (ÜYE)

Teknik Bilimler MYO Elektrik ve Enerji

Gaziantep Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Mustafa KESENEK



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:2016/5-6 YLS

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.

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ULUSAL ŞEBEKEYE ENTEGRASYON ETKİLERİNİN İNCELENMESİ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Mustafa KESENEK

ÖZET

Enerji, yeryüzünde hayatın devamlılığı için önemli unsurlardan biri ve etkinliğini insanlık tarihinin her döneminde koruyan bir ihtiyaçtır. Günümüzde sanayileşme ile enerji kaynaklarına sahip olmak daha da önem kazanmıştır. Bunun yanı sıra yeni enerji kaynakları aramak ve eldeki kaynakları daha verimli kullanmak gerekmektedir. Elektrik enerjisine gelince, diğer enerji türlerine dönüşümünün kolay ayrıca temiz olması nedeni ile en çok tercih edilen ve ihtiyaç duyulan enerji türüdür. Bu enerji türü kullanılırken kalite yönünden verimli olması dikkate alınmalıdır.

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte güç elektroniği elemanlarının kullanımının artması güç kalitesi problemlerini (harmonik, kırpışma (flicker), gerilim dengesizliği, tranzient vb.) artırmaktadır. Bu güç elektroniği esaslı elemanların, hem konutlardaki ev eşyaları, klimalar, floresan lambalar vb. hem de endüstri alanında kullanılan hız kontrol cihazları, kesintisiz güç kaynakları gibi cihazlarda kullanımının artması güç kalitesi parametrelerinin daha fazla gündeme gelmesine sebep olmaktadır.

Elektrik enerjisi kalitesini artırmak için öncelikle bozucu etkilerin ve bunların kaynaklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu da sürekli ve doğru bir enerji kalitesi analizi ve görüntülemesi ile mümkün olabilecektir. Bu çalışmada güneş enerji santralinin ulusal şebekeye entegrasyon etkileri incelenip değerlendirilmiştir. Ölçümü yapılan güneş enerji santrali, harmonik ve gerilim sapsması yönünden analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yüklerin şebeke üzerinde oluşturduğu sorunlar tespit edilip çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi, Harmonik, , Harmonik Bozunumu, EN50160, Gerilim Sapsması

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran / 2018

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Sayfa sayısı: 58

**THE STUDY OF SOLAR POWER PLANT'S İNTEGRATION EFFECTS ON
NATIONAL NETWORK
(M.Sc. THESIS)**

MUSTAFA KESENEK

ABSTRACT

Energy is one of the most important elements for the continuity of life on earth and a need that protects its activity in every period of human history. Today, industrialization and energy resources have become more of an issue. Besides, it is necessary to search for new energy sources and to use the resources at hand more efficiently. As for electricity energy, it is the most preferred and required type of energy with the reason that the conversion to other energy types is easy and clean. Being efficient in terms of quality must be taken in consideration while using this type of energy.

With the development of technology in recent years, the increase in the use of power electronic elements has increased the problems of power quality (harmonic, flicker, and voltage imbalances, transient). With the increasing use of these power-based elements in both household items, air conditioners, fluorescent lamps, etc. and in the industrial applications such as speed control devices, uninterruptible power supplies, etc., cause the power quality parameters to become more of a question.

In order to increase the electric energy quality, firstly the destructive influences and their sources must be determined. This will be possible by continuous and accurate analysis of energy quality and imaging. In this study, the integration effects of the solar power plant in the national grid have been examined and evaluated. The measured solar power plant was analyzed for harmonic and voltage deviation. As a result of the analyzes carried out, the problems that the loads on the network have been detected and solution suggestions are presented.

Key words: Power Quality, Harmonic, Harmonic Distortion, EN50160, Voltage Imbalances

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric-Electronic Engineering, June / 2018

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa ŞEKKELİ

Page Numbers: 58

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐması sűresince engin bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıĐım ve çalıŐmamın her aŐamasında saĐladıĐı bilimsel katkılardan dolayı Doç. Dr. Mustafa ŐEKKELİ' ye, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandıĐım tűm bűlűm hocalarıma, tűm çalıŐmalarım sűresince deĐerli gűrűŐ ve fikirlerini benimle paylaŐan Uzman Ahmet Gani'ye ve AraŐ. Gűr. Mustafa TEKİN' e teŐekkűr ederim.

Son olarak, bu gűnlere gelmemde her tűrlű maddi ve manevi desteklerini gűrdűĐűm aileme ve eŐim Pelin KESENEK'e sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. DÜNYADA ENERJİ DURUMU	3
2.1 Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Durumu	3
3. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ	5
3.1 Güneş panelleri	6
3.1.1 Kristal Silikon güneş panelleri	9
3.1.2 İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)	11
3.2 İnvörtör	12
3.3 Mekanik taşıyıcı sistem	15
4. GÜÇ KALİTESİ YÖNETMELİKLERİ VE ÖLÇME STANDARTLAR	16
4.1. Harmonik Açısından Tanımlanan Teknik Kalite Limitleri	19
5. MATERYAL VE METOT	24
5.1. Materyal	24
5.1.1 Güneşlenme	24
5.2. Ölçme Ekipmanları Düzenekleri	24
5.2.1 General settings menüsü (Genel ayarlar menüsü)	28
5.2.2 Real Time values menüsü (Gerçek zaman değerler menüsü)	28
5.2.3 Analyzer settings menüsü (Analizör ayarları menüsü)	29
5.2.4 Recording settings menüsü	29
5.2.5. Meter information menüsü	30
5.2.6. Recording result menüsü	31
5.3. Analizör PC Arayüz Programı Topview Software	31
5.4. Ölçüm Yerleri Hakkında Bilgi	35
6. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİ VE ENERJİ KALİTESİ	36

Sayfa No

6.1. Elektrik Dağıtım ve İletim Sisteminin Genel Yapısı.....	36
6.1.1. Elektrik dağıtım sistemlerinin şekilleri.....	36
6.2 Elektrik tesislerinde harmonikler ve kavramlar	38
6.3. Enerji Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	42
6.3.1. Harmonikler.....	42
6.3.2. DC bileşen.....	44
6.3.3. Gerilim dengesizliği.....	44
6.3.4. Gerilim dalgalanması.....	45
6.3.5. Elektromanyetik girişim (EMI).....	45
6.3.6. Geçici olaylar (Transient).....	45
6.3.7. Çentik (Notch).....	45
6.3.8. Gürültü.....	45
7. ÖLÇÜM NOKTALARI PARAMETRELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ.....	46
7.1. Harmonik Ölçümler.....	46
7.1.1. Bir günlük harmonik ölçümler	46
7.1.2. Bir haftalık harmonik ölçümler	49
7.1.3. Bir aylık harmonik ölçümler	51
7.2. Gerilim Sapması Ölçümleri	54
8. SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 2015 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları	3
Şekil 2.2 Küresel elektrik üretiminde yenilenebilir enerji oranı	4
Şekil 3.1 Panel oluşumu	6
Şekil 3.2 Monokristal ve polikristal güneş paneli yapısı	7
Şekil 3.3 Fotovoltaik güç sistemlerinde kullanılan üç farklı ince film teknolojisini; CdTe/CdS, CIGS ve a-Si güneş pilleri.....	8
Şekil 3.4 Örnek GES sistemi	9
Şekil 3.5 1 MWe gücündeki merkezi invertör.....	14
Şekil 3.6 30 kWe gücündeki dizi invertör.....	15
Şekil 5.1 PQA824 analizörün ön panel görünümü	25
Şekil 5.2 PQA824 analizörün giriş terminal görünümü.....	26
Şekil 5.3 PQA824 analizörün çıkış bağlantı terminali görünümü	26
Şekil 5.4 PQA824 analizör başlangıç ekranı görünümü	27
Şekil 5.5 PQA824 analiz konfigürasyon ekranı görünümü.....	27
Şekil 5.6 PQA824 ana menü ekranı görünümü	27
Şekil 5.7 PQA824 genel ayarlar menü ekranı görünümü	28
Şekil 5.8 PQA824 real time values ekranı görünümü.....	28
Şekil 5.9 PQA824 analyzer settings ekranı görünümü	29
Şekil 5.10 PQA824 recording settings ekranı görünümü.....	30
Şekil 5.11 PQA824 Kayıt bekleme ve çalışma durumu ekranı görünümü	30
Şekil 5.12 PQA824 meter information ekranı görünümü	31
Şekil 5.13 PQA824 recording result ekranı görünümü.....	31
Şekil 5.14 Topview ana ekranı görünümü	32
Şekil 5.15 Topview data analysis ekranı görünümü	32
Şekil 5.16 Topview data analysis grafik seçim ekranı görünümü.....	33
Şekil 5.17 Topview data analysis tablo seçim ekranı görünümü	33
Şekil 5.18 Topview data analysis flicker grafik ekranı.....	34

Sayfa No

Şekil 5.19 Topview data analysis harmonik grafik ekranı görünümü	34
Şekil 5.20 5 MW GES'e ait 2017 yılı ocak ayı elektrik fatura bilgisi	35
Şekil 6.1 Türkiye enterkonnekte şebekesi(teiaş kaynak)	36
Şekil 6.2 Dallı (radyal) şebeke	37
Şekil 6.3 Halka (ring) şebeke	38
Şekil 6.4 Doğrusal olmayan bir elemanın akım-gerilim eğrisi.....	39
Şekil 6.5 Sinüs şekilli gerilim ve akım fonksiyonları.....	39
Şekil 6.6 Harmonikli ve harmoniksiz sinüs eğrileri	40
Şekil 7.1 Şebeke yük grafiği.....	46
Şekil 7.2 3.harmoniğin günlük ölçüm değerleri	47
Şekil 7.3 5.harmoniğin günlük ölçüm değerleri	48
Şekil 7.4 7.harmoniğin günlük ölçüm değerleri	48
Şekil 7.5 11.harmoniğin günlük ölçüm değerleri	48
Şekil 7.6 Günlük toplam harmonik değişimi.....	49
Şekil 7.7 3.harmoniğin haftalık ölçüm değerleri	50
Şekil 7.8 5.harmoniğin haftalık ölçüm değerleri	50
Şekil 7.9 7.harmoniğin haftalık ölçüm değerleri	50
Şekil 7.10 11.harmoniğin haftalık ölçüm değerleri	51
Şekil 7.11 Toplam harmonik bozunumu haftalık ölçüm değerleri.....	51
Şekil 7.12 3.harmoniğin aylık ölçüm değerleri	52
Şekil 7.13 5.harmoniğin aylık ölçüm değerleri	52
Şekil 7.14 7.harmoniğin aylık ölçüm değerleri	53
Şekil 7.15 11.harmoniğin aylık ölçüm değerleri	53
Şekil 7.16 Toplam harmonik bozunumu aylık ölçüm değerleri	53
Şekil 7.17 Bir günlük gerilim sapması ölçüm değerleri.....	54
Şekil 7.18 Bir haftalık gerilim sapması ölçüm değerleri.....	54
Şekil 7.19 Bir aylık gerilim sapması ölçüm değerleri.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Temel frekans aralıkları.....	17
Çizelge 4.2. Gerilim harmonikleri için sınır değerler	20
Çizelge 4.3 Akım harmonikleri için maksimum yük akımına (IL) göre sınır değerler	20
Çizelge 5.1 Kahramanmaraş ilinin radyasyon ve günlük güneşlenme süreleri.....	35



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V	: Volt
A	: Amper
Hz	: Hertz
OG	: Orta Gerilim (Volt)
AG	: Alçak Gerilim (Volt)
kW	: 1000 Watt
kVA	: 1000 Volt Amper
RMS	: Etkin Değer (Root Mean Square)
I(L)	: Yük Akımı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
Plt	: İki saatlik zaman aralığı boyunca ölçülen (12 ardışık ölçüm) Pst değerlerinden formül uyarınca hesaplanan flicker şiddeti endeksi
Pst	: 10 dakikalık periyodlarla ölçülen flicker şiddeti endeksi
THB(V)	: Gerilim harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan ve dalga seklindeki bozulmayı ifade eden değer
THB(I)	: Akım harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan ve dalga seklindeki bozulmayı ifade eden değeri
TTB	: Akım harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, maksimum yük akımına (IL) oranı olan ve dalga seklindeki bozulmayı ifade eden değer
GES	: Güneş Enerji Santralini
LÜY	: Lisansız Elektrik Üretim Yönetmeliği

1.GİRİŞ

Yeryüzünde elektrik enerjisine olan talep insan ve sanayileşmeye bağlı olarak günden güne artış göstermektedir. Talepteki bu artışın karşılanabilmesi için yeni yatırımlarla birlikte verimliliğin artmasına ve enerji tasarrufuna da özen gösterilmesi gerekmektedir. Bu yolla doğada sınırlı olan enerji kaynakları daha verimli bir şekilde kullanılabilir.

Elektrik enerjisi; ısıya, ışığa veya mekanik enerjiye dönüştürülerek hayatımızın her alanında kullanılmaktadır. Bu dönüşümün verim oranındaki artış, enerjinin daha az kayıpsız kullanılmasını sağlayacaktır. Verimlilik, enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar olan tüm aşamalarda maksimum düzeyde değerlendirilmesi, enerji kayıplarının azaltılması, üretim süreçlerine yeni teknolojilerin başarı ile adapte edilerek kalite ve performansın artırılması olarak tanımlanabilir [1]. Ülkelerin gelişmişlik düzeyi kişi başına düşen enerji tüketimlerinin yanı sıra, enerjiyi verimli kullanmaları ile de doğrudan ilişkilidir.

Elektrik enerjisini verimli kullanmak, enerjiyi üreten, ileten ve dağıtımını gerçekleştiren kurum veya kuruluşların en büyük amaçlarından biridir. Elektrik enerjisinin daha verimli ve en az kayıpla kullanabilmesi, güç kalitesini en yüksek seviyeye çıkarmak ile mümkündür. Güç kalitesi kavramı birçok parametreyi içermektedir. Bu kavramların en başında harmonikler, gerilim sapsması ve fliker gelmektedir. Harmoniklerin yaptığı bozulma sonucunda gerilim ve akımda yaratmış olduğu nonsinüzoidal dalga şekli; transformatör, motor, iletkenler ve cihazların aşırı ısınmaları gibi çok çeşitli problemlere neden olmaktadır. Bunun yanı sıra kompanzasyon sistemlerinde aşırı reaktif yüklenmeye ve dielektrik malzemelerinin delinmesine, cihazların kullanım sürelerinin azalması gibi sonuçlara sebep olabilmektedirler. Bozucuların kaynak frekansındaki değişimler, gerilimin genliğinde kısa ya da uzun süreli değişikliklere yol açarak gerilimin dalga şeklini bozar. Bahsedilen sebeplerden dolayı, güç kalitesi problemi hem elektrik güç sistemleri hem de ulusal ekonomi için bir tehdit oluşturmaktadır [2]. Güç kalitesi sorunlarını tespit etmek ve gerekli önlemleri almak için son yıllarda birçok araştırma makalesi yayınlanmıştır. Bu makaleler hem alçak gerilim hem de orta gerilim seviyesinde yapılan incelemeleri içermektedir.

Güç kalitesi parametreleri ulusal ve uluslararası standartlar baz alınarak hazırlanan yönetmeliklerle kontrol edilmektedir. 11 Mayıs 2017 tarihinde son hali çıkarılan “Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği” [3] dağıtım şirketleri,

görevli tedarik şirketleri ve Dağıtım sistemini kullanan gerçek veya tüzel kişiler tarafından uyulması gereken kurallar ile uygulamaya ilişkin usul esaslar belirlenmiştir. Güç kalite parametreleri genellikle gerilimle ilişkilendirilirken, harmonikler değerlendirilirken gerilim sapması da ön planda tutulduğundan bu çalışmada gerilim sapması ile ilgili verilerin ölçümleri de yapılmıştır.

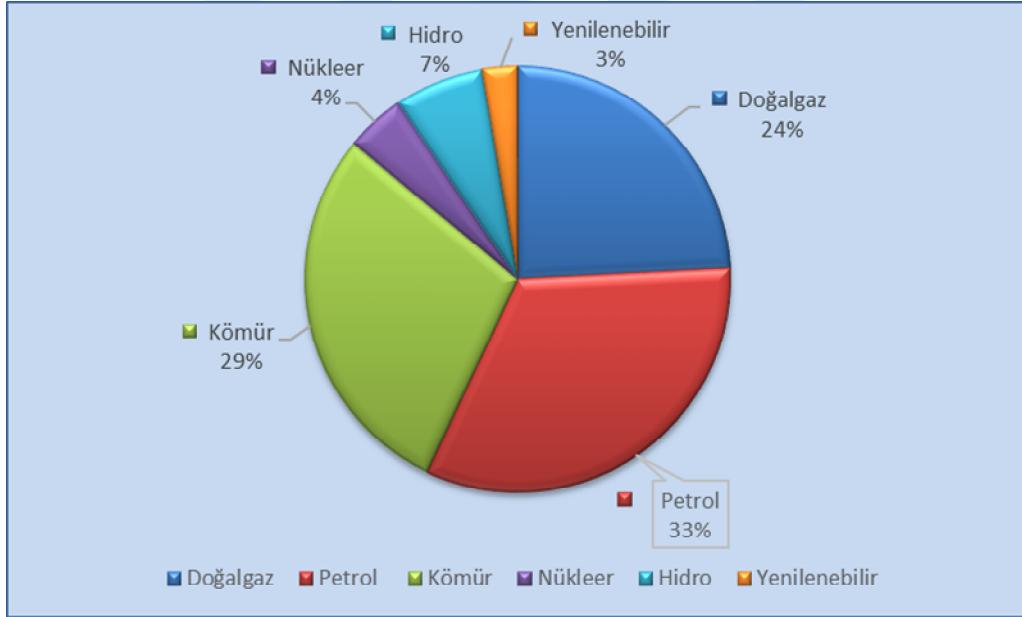
Bu çalışmada Kahramanmaraş ili Onikişubat ilçesinde bulunan şebekeye bağlı 5 MW'lık bir GES'in orta gerilim seviyesinden 01.01.2017-31.01.2017 tarihleri arasında gerilim sapması ve harmoniklere ilişkin verilerin ölçümleri yapılmış ve ölçümlerin sonuçları kaydedilmiştir. Ölçüm Materyali ve Yöntemi ve Güç Kalitesi Yönetmelikleri ve Ölçme Standartları hakkında bilgi verilmiş olup, harmoniklerin oluşması ve harmonikler nedeni ile oluşabilecek olaylar da açıklanmıştır.

Elde edilen bulgu kısmında ise güç kalitesini oluşturan parametrelere ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç bölümünde ise değerlendirme yapılan ölçümler için genel bir durum analizi yapılmış ve meydana gelen olumsuzlukları gidermek için gerekli çözüm önerileri sunulmuştur.

2. DÜNYADA ENERJİ DURUMU

Dünyada hızla artan nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak dünyanın ve ülkemizin enerji ihtiyacı her geçen gün daha da artmaktadır.1970’li yıllarda oluşan petrol krizinin ardından enerjinin önemi dünyada daha iyi anlaşılmıştır.1970’li yıllardan itibaren ülkeler enerji kaynaklarının çeşitlendirmesi ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması noktasında önemli adımlar atmıştır. 2000’li yıllara gelindiğinde alternatif enerji kaynaklarının bulunması için arama çalışmaları büyük oranda artış göstermiştir. Son yıllarda özellikle enerji ithal eden ülkeler enerji arzını sürekli kılmak adına çeşitli politikalar bulma arayışı içine girmişlerdir.

Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitlerinin çoğu birincil enerji kaynaklarından kullanılmaktadır. 2015 yılı BP Energy Outlook to 2035 verilerine göre Elektrik enerjisi tüketiminde en büyük paya sahip olan birincil enerji kaynakları sırasıyla; petrol (%33) kömür(%29), doğal gaz (%24) hidrolik (%7) nükleer (%4) ve yenilenebilir (%3) olarak gerçekleşmiştir[4]. (Şekil 2.1)

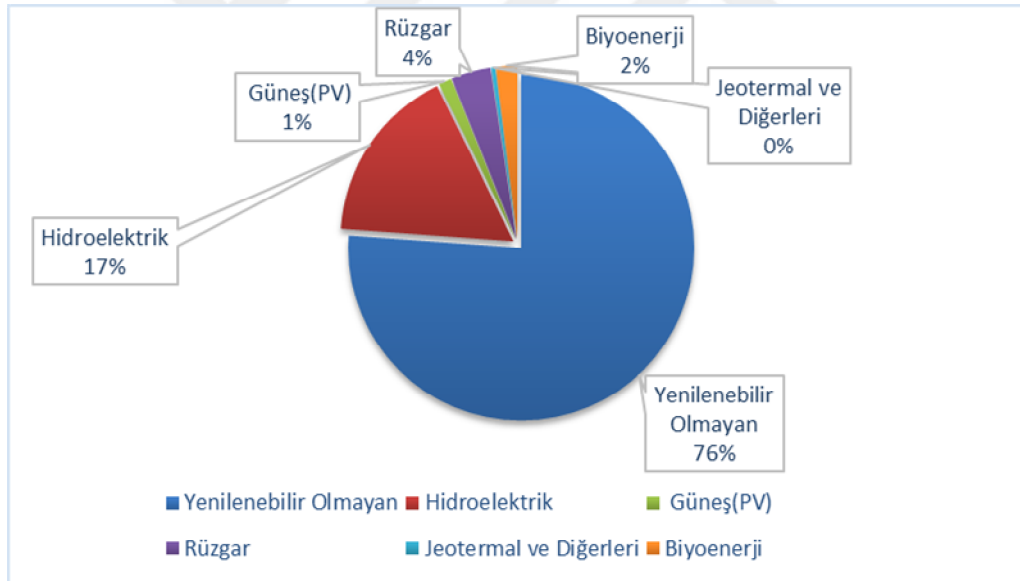


Şekil 2.1 2015 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları

2.1 Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Durumu

Dünyada yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisidir. Yenilenebilir enerji, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını yerli kaynaklarla karşılayarak dışa bağımlılıklarının

azaltılması, kaynakları çeşitlendirerek sürdürülebilir enerji kullanımının sağlanması ve enerji tüketimi neticesinde çevreye verilen zararların en aza indirilmesi açısından son derece önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerjiyi “doğal kaynaklardan elde edilebilen ve kendini sürekli yenileyebilen bir enerji kaynağı” olarak tanımlamak mümkündür.[1] Yenilenebilir enerjiyi diğer enerji türlerinden ayıran en önemli fark kendini doğal yollarla yenileyebilmesi ve tükenmemesidir. Yenilenebilir enerji alanında yapılan yatırımlar, ARGE çalışmaları ve teknolojik gelişmeler sayesinde “doğal enerji” olarak da adlandırabileceğimiz yenilenebilir enerjinin dünya enerjisi nihai üretim ve tüketimindeki oranları fosil yakıtlara göre günden güne artış göstermektedir. Yenilenebilir enerjinin dünya elektrik üretimindeki önemi her geçen gün artmaktadır. Toplam küresel elektrik üretiminin yüzde 23,7’si yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Bu oranın yüzde 16,6’lık kısmı hidroelektrik santralleri, yüzde 3,7’si rüzgar, yüzde 2’lik kısmı biyoenerji, yüzde 1’i fotovoltaik güneş sistemleri ve yüzde 0,4’ü ise jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Küresel elektrik üretiminde yenilenebilir enerji oranı

Diğer taraftan fosil yakıtların başını çektiği yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının küresel elektrik üretimindeki üstünlükleri devam etmektedir. Bu üstünlüğü azaltmak adına özellikle kurulum maliyetleri ve fiyat rekabeti noktasında yenilenebilir enerji çeşitlerinin teşvik edilmesi oldukça önemlidir.

3. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Günümüzde güneş ışınlarından yararlanmak için pek çok teknoloji geliştirilmiştir. Güneş enerjisinden yararlanmak için birçok araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. [12-15] Güneş enerjisi doğrudan ışık veya ısı enerjisi olarak kullanıldığı gibi, elektrik üretiminde de farklı yöntemler için önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Güneşten elektrik üretiminde, ekonomik olarak yapılabilir fotovoltaik güneş enerjisi ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi adında iki farklı yöntem bulunmaktadır.

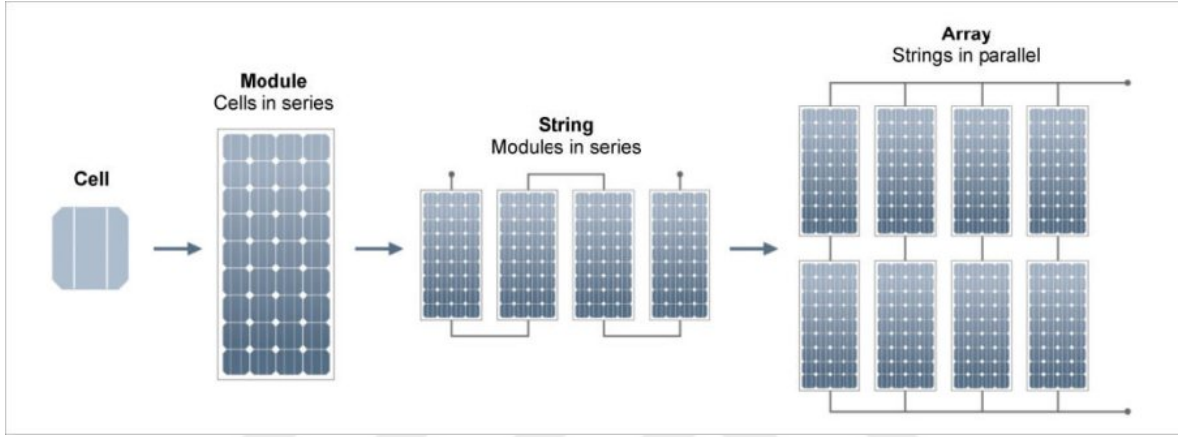
Fotovoltaik etki denilen yöntem ile güneş panelleri içerisinde bulunan teknolojisine göre farklı tip yarı iletken yapılmış tabakaların içerisinde foton olarak adlandırılan güneş ışınının geçmesi sonucunda, alt ve üst tabakaların arasında bir elektrik alanı meydana getirilir bu elektrik alan, alt ve üst tabakalar arasında iletimin başlamasını sağlayarak elektrik üretir. Bu sayede, güneş enerjisi, herhangi ara basamak kullanmadan doğrudan elektrik enerjisinde dönüştürülmüş olur.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi yönteminde ise, güneş ışınları parabolik aynalar veya büyük yansıtıcı yüzeyler vasıtasıyla tek bir bölgede odaklanır. Daha sonrasında, bu bölgeden yağ veya su gibi ısı sığası yüksek maddeler geçirilerek ısı transferi sağlanır. Transfer edilen ısı enerjisi türbin vasıtasıyla mekanik enerjiye ve jeneratörle de elektrik enerjisine dönüştürülerek güneş enerjisinin elektrik enerjisinde dönüştürülme işlemi tamamlanır. Bu işlemler esnasında bir pompa, ısı dönüştürücü, türbin, vana, odaklama motorları ve yansıtıcı yüzey temizleyicileri gibi birçok mekanik parça kullanılır. Bu nedenle sistemi kurmak uzun sürmekte ve bakım masrafları yüksek olmaktadır.

Mekanik ve hareketli parçaların çokluğunun getirdiği ek bakım yüklerinin yanında güneş enerjisinin ısı ve hareket enerjisine dönüştükten sonra elektriğe çevrilmesinin getirdiği verim kayıpları, günümüzde fotovoltaik yöntemden sağlanan verimlerin gerisinde kalmaktadır. Bunun sonucunda ucuzlayan fotovoltaik sistem ekipmanlarının da katkısıyla, fotovoltaik kurulumlar, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerini çok geride bırakmış ve tüm odağın bu alana yönelmesine yol açmıştır.

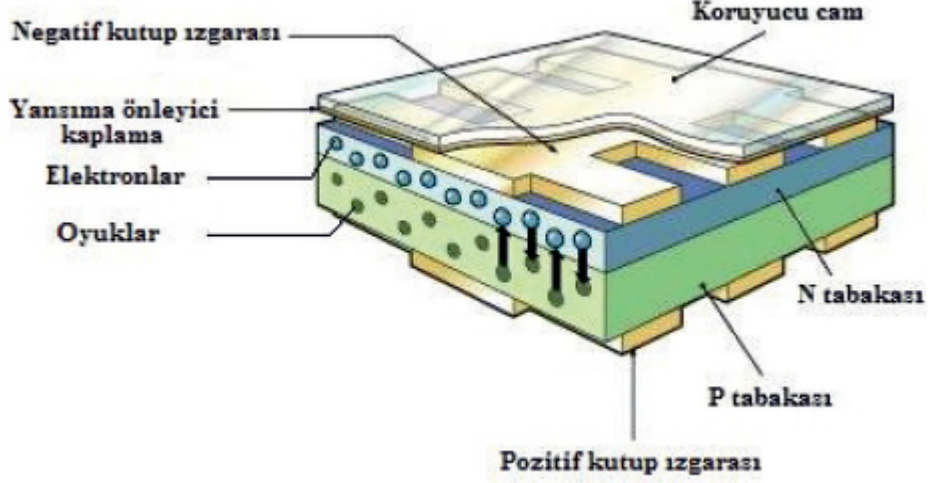
3.1 Güneş Panelleri

Güneş panelleri kalınlıkları mikron metreyle ölçülecek kadar ince birçok solar hücreden oluşur. Teknolojisine göre şekilleri ince uzun şeritler, kare, dikdörtgen veya daireseldir. Tek bir fotovoltaiik hücreden elde edilecek enerji az olacağından teknolojiye göre hücreler seri bağlanarak, ya da üretim esnasında paralel dilimler oluşturularak güneş panelleri oluşturulur. Paneller birleştirilerek güneş panelleri dizisini meydana getirmektedir.



Şekil 3.1 Panel oluşumu

En yaygın fotovoltaiik panel çeşitlerinden polikristal ve monokristal paneller, dünyada çokça bulunan silikon (silisyum) adı verilen elementlerden yapılır. Hammaddesi sıkça bulunan ve ucuz bir malzeme olmasına rağmen işleme süreci çok zahmetli ve pahalıdır. Bu teknolojilerde her hücre pozitif ve negatif katmanlardan oluşur. Güneş panelleri üzerinde bulunan hücreler fotonları absorbe ederek açığa çıkan elektronların hareket edip akım oluşturmasını sağlar. Güneş hücrelerinin üst tabakaları çatlamaların, kırılmaların ve enerji kayıplarının önlenmesi için yansımayı önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Bu kaplamaların altında ise N tipi ve P tipi yarı iletken maddeler bulunur.

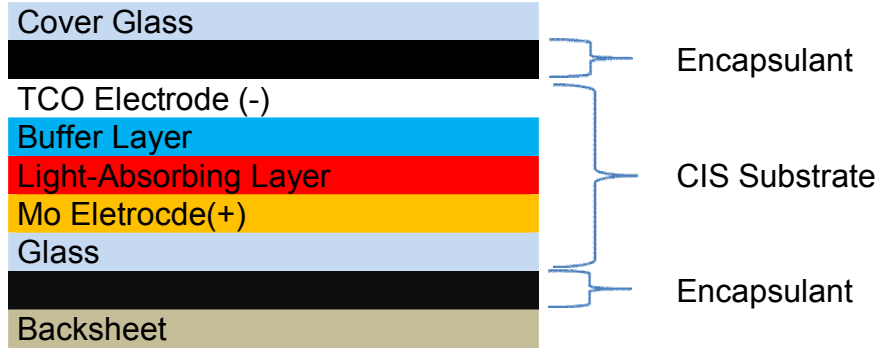


Şekil 3.2 Monokristal ve polikristal güneş paneli yapısı

Monokristal ve polikristal bir güneş pilinin çalışma prensibi;

- Güneş pili üzerine düşen güneş ışığı fotovoltajik hücreler tarafından emilir.
- Güneş pilinde çok elektrona sahip P tipi yarı iletken madde ve az elektrona sahip N tipi yarı iletken madde bulunur
- Güneş pili üzerine düşen Güneş ışığı P tipi yarı iletken madde üzerinden elektron koparır
- Enerji kazanan elektronlar N tipi yarı iletken maddeye doğru hareket ederler
- Bu tek yönlü sabit elektron akışı doğru akımı (DC) yaratır. Elektronlar kurulan devreler boyunca hareket etmek suretiyle farklı alanlarda kullanılır ve P tipi yarı iletken maddeye geri döner.

Hücre için kullanılan yarıiletkenler, ince film ekipmanlarında farklı bileşiklerden oluşturulur ve çok ince bir katman olarak uygulanır. Polikristal ve monokristal güneş panellerindeki uygulamalar gibi hücreler birbirine seri olarak bağlanmaz. Buna ek olarak Üretim süreçleri daha basit ve üretim için gereken malzeme miktarı çok düşüktür. Teknolojik olarak çok farklı ekipmanlar ve özel süreçler gerektiren yeni nesil ince film panellerinin yapımı için her panel tipine özel ekipman geliştirilmiştir.



Şekil 3.3 Fotovoltaik güç sistemlerinde kullanılan üç farklı ince film teknolojisi; CdTe/CdS, CIGS ve a-Si güneş pilleri

Polikristalin ve monokristalin hücre yapısına benzer şekilde ince film hücrelerde de şekilde gösterilen tabakalar arasındaki etkileşim elektrik akımına neden olur.

Kısaca özetlemek gerekirse,

- Güneş ışığı hücre üzerine ve fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilir. Güneş pilinde çok elektrona sahip TCO yarı iletken tabaka ve az elektrona sahip Mo tipi yarı iletken madde bulunur.
- Güneş ışığı TCO tipi yarı iletken maddeden elektron koparır
- Enerji kazanan elektronlar MO tipi yarı iletken maddeye doğru akarlar.

Fotovoltaik paneller, tek başlarına düşük miktarlarda enerji ürettikleri için, güneş santrallerinde birçok panel birbirine seri bağlanarak diziler oluşturulmakta oluşturulan dizilerin paralel bağlantısı ile 10 kW güç mertebelerinden 5 MW güç mertebelerine ulaşabilmektedir. Bu anlamda modüler olan santraller çok kolay bir şekilde ölçeklendirilebilmekte, oluşturulacak güç blokları çoğaltılarak büyük güçlere erişim sağlanabilmektedir. Sağlanan bu avantaj santral kurulumlarında uygulamanın kolaylığı ve hata yapma riskinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Fotovoltaik (PV) Güneş Santrali Sistemi:

- Fotovoltaik (PV) Panel,
- Mekanik taşıyıcı sistem,
- Solar inverter,
- OG bağlantı ekipmanları,
- OG/AG Koruma röleleri
- Solar kablo,

- AG kablo ve dağıtım panoları
 - Haberleşme, uzaktan izleme sistemlerinden,
- oluşmaktadır. Güneş tarlası kurulumunda enerji depolama ihtiyacı bulunmadığından üretilen enerji doğrudan sisteme verilir solar panel, invertör ve mekanik taşıyıcı sistem maliyeti oluşturan ana ekipmanlardır.



Şekil 3.4 Örnek GES sistemi

Güneş santrallerinde kullanılan güneş panelleri 2 kategoriye ayrılır.

1. Kristal Silikon Güneş Panelleri(c-Si ve mc-Si)
2. İnce Film Güneş Panelleri(aSi, CdTe, CIS veya CIGS)

3.1.1 Kristal Silikon güneş panelleri

Günümüz koşullarında panel bazında güneş enerjisi çevrim verileri %14-18.5 arasında değişen kristalin güneş panelleri, güneş enerji kurulumlarında en büyük Pazar payına sahiptir bunun en büyük nedeni olarak, büyük güçlerde (>1MW) güneş santrali kurulumlarının gerçekleşmeye başladığı 2000'li yıllar ve sonrasında özellikle Avrupa gibi

arazinin kısıtlı ve pahalı, sıcaklıkların nispeten düşük ve devlet teşviklerinin yüksek olduğu yerlerde, birim alandan en çok enerji üretebilen teknoloji olması, hazır hücreleri birleştirerek modül üretebilen fabrikaların düşük maliyetlerle kurulabilmesi, ilk kurulumların ve ilk yatırımlarının bu teknoloji üzerine yapılmasını sayabiliriz. Zamanla üretim metotlarının iyileştirilmesi, farklı malzemelerin farklı fabrikalarda üretilmesi ve birleştirilebilmesi gibi üretim kolaylıkları, fabrika yatırımlarının maliyetlerinin düşmesine, bu da Çin kaynaklı üretimlerin artmasına ve panel fiyatlarının düşmesine neden olmuştur. Böylece, rekabetçi fiyatlarla ürünlerin piyasaya sunulmasına ve kurulumların hızlanmasına katkı sağlanmıştır.

Kristalin panel satışları, 2014 verilerine göre tüm fotovoltaik panel satışlarının %85'ini oluşturmaktadır. Bu payın başlıca nedeni olarak, santral alanı anlamında yüksek verimleri sağlayan ve ilk uygulamalarda bu nedenle tercih edilen yöntem olmasının yanında hazır hücre alınarak panel yapımı şeklinde gerçekleştirilen üretimlerin yatırım maliyetlerinin düşük olması sayesinde bu alanda birçok firmanın faaliyet göstermesine olanak tanınması olarak sıralanabilir. Kristal panellerde genel olarak 10 yıllık işçilik, 25 yıllık lineer üretim düşümü garantisini sunulmaktadır.

Kristal paneller, kullanılan kristal yapısına göre Monokristal (c-Si veya SiN) ve polikristal (mc-Si) olarak ikiye ayrılabilir.

i. Monokristal (c-Si, SiN)

- Verimleri %16-18 arasındadır,
- Verimlerinin yüksek olması nedeniyle, özellikle alan kısıtlı olan projelerde, ayrıca estetik görüntüsü nedeniyle mimari projelerde tercih edilebilir.
- 2-3 yıl öncesine kadar düşük sıcaklık katsayısı nedeniyle sıcak bölgelerde ve yüksek zayıf ışık verimi nedeniyle de nemli bölgelerde tercih edilmekteyken, fiyat dezavantajı ve polikristal panellerinin bu avantaj sayılan hususlarda da gelişim göstermesi nedeniyle ticari geniş ölçekli projelerde ilk alternatif olmaktan çıkmıştır.
- Daha çok saflaştırılmış kristal ihtiyacı nedeniyle üretim süreçleri daha karmaşık ve daha pahalıdır.

ii. Polikristal (Poly-Si)

- Verimleri %14-16 arasındadır,
- Kristal yapıları tam homojen olmadığından üretim süreçleri daha basittir,

➤ Polikristal güneş panellerinin maliyeti monokristal güneş panellerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için bu tip güneş panelleri en sık üretilen güneş panelleridir.

3.1.2 İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)

İnce film güneş panelleri, güneş yatırımlarının gerçekleştiği ilk yıllarda verim oranlarının düşük olması sonucu aynı kurulu güç için kristal panellere göre ortalama 1.5 kat alan gereksinimi nedeniyle pazarda polikristal ve monokristalin gerisine düşmüştür. Ayrıca dönemdeki en yaygın ince film uygulaması olan amorf silikon uygulamalarında karşılaşılan güçlükler nedeniyle maliyetleri uygun olmasına rağmen santral için gereken alanın kolaylıkla sağlanabileceği, kristal panellere göre daha küçük olan sıcaklık katsayısı ile daha fazla üretim yapılabilen yüksek sıcaklıklara sahip çöl tipi bölgelerde uygulanabilmiştir. Son yıllarda CdTe ve CIS tabanlı güneş panelleri ile yüksek verimler yakalanmış a-Si ile yaşanan verim kaybı problemlerinin de ortadan kalkması sebebiyle Pazar payında büyük artış yaşanmıştır. Son yıl verilerine göre %10 Pazar payına sahip olan yeni nesil ince film paneller, ekonomik olarak uygulanabilir polikristal panellerin sahip oldukları %15 verim seviyelerini yakalamış durumdadır. İnce film panel çeşitlerine detaylı bakılacak olunursa,

iii. Amorf Silikon(a-Si)

- Verimleri %8-10 arasındadır teorik olarak a-Si'nin %27'lik bir verimi vardır.
- İlk üretilen ince film panel türüdür ve bu nedenle de ülkemizde ince film denildiğinde ilk düşünülen türdür
- 5 yıl gibi ekonomik ömrüne nazaran kısa sayılabilecek bir sürede %21 lere yakın verim kaybı oluşmaktadır.
- Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerekmektedir. Fakat üretim süreci ucuz olduğu için panel fiyatları uygun olmaktadır.
- Üretim yaşanan kayıplar nedeniyle, uygun fiyatta olmasına rağmen tercih edilmemekte, üreticileri de yıllar içerisinde üretimlerini durdurmaktadır.

iv. Kadmiyum Tellürid(CdTe)

- 1 santimetre karede % 21'lik panel bazında %15'lik bir verime ulaşmıştır.
- Üretim maliyeti düşüktür.
- Hücre için temperli cam kullanımını gerektirir.

➤ Son nesillerde güç düşümü problemleri ve topraklama gereksinimi tamamen giderilmiştir.

➤ Sağladıkları düşük sıcaklık katsayısı ile özellikle yüksek sıcaklıklara sahip bölgelerde yüksek enerji getirisi sağlamaktadır.

v. *CIS (Copper İndium(di)selenide, Bakır indiyum diselenyum)*

➤ 1 santimetre karede % 20.9 panel bazında %14.66 bir verime ulaşmıştır.

➤ Cam veya esnek yüzey kullanılabilir.

➤ Artmakta olan bir Pazar payına sahiptir.

➤ Diğer ince film panellere göre daha pahalı üretim süreci bulunmaktadır.

➤ Kristalin panellerde yaşanan ışık yaşlanması yerine ışık nedeniyle performans artışı bulunmaktadır.

➤ Düşük ışıkta verimliliği en yüksek panel türüdür.

3.2 İnvvertör

İnvvertör bir fotovoltaik sistemin en önemli bileşenlerinden biridir. Görevi doğru akım formundaki elektrik enerjisini (DC), elektrik şebekesinin formu olan alternatif (AC) çevirmektedir.

İnvvertör, santral yatırımının ortalama %10'u civarında bir maliyet olmakla beraber, tüm güç aktarımının bu sistem bileşeni üzerinden yapılması nedeniyle aktarımın en verimli şekilde yapılması için kullanılacak panellere uygun bir invvertör seçimi çok önem arz etmektedir.

İnvvertör seçiminde önemli faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tepe, CEC veya Avrupa verimliliği
- Giriş gerilim aralığı
- Çıkış gerilim aralığı
- Maksimum çevrim gücü
- Uygulamanın yapılacağı ülkedeki bağlantı şartları uygunluğu
- Koruma özellikleri
- Dış ortam Koruma Sınıfı (IP Sınıfı)
- Ek önlem gerekliliği (Ek bağlantı kutusu, Combiner Box gibi)
- Standartlara uyumluluğu

Güneş santrallerinde, ihtiyaca yönelik olarak dizi invertörler ya da merkezi invertörler kullanılmaktadır.

Merkezi invertörlü bir çözüm durumunda, invertör gücü 250 kW ile birkaç MW arasında değişmektedir. Bu güçleri sağlamak için birçok panel dizileri çeşitli kombinasyonlarda invertöre bağlanmaktadır. Bu yapıda AC kablolama ihtiyacı minimuma indirgenip, DC kablolama yaparak, büyük miktarda güç daha yüksek gerilimde invertöre taşınabilmektedir.

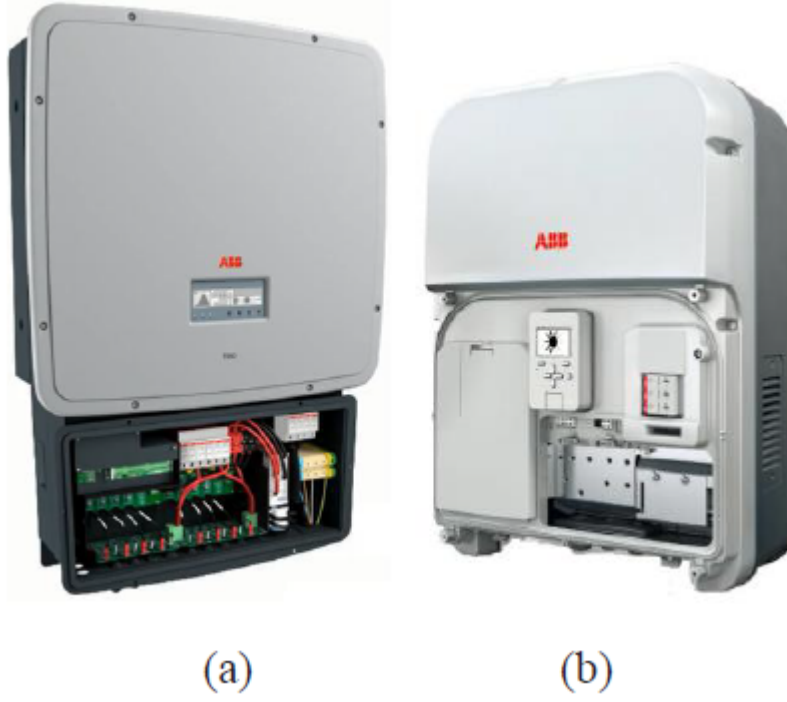
Diğer yandan String (Dizi) invertörlerin sahada toplanarak ayrıca Saha Dağıtım Panolarının yapılması bu panellerde kullanılacak olan koruma ekipmanları ile ana dağıtım panosunda bulunması gereken kablo koruma ekipmanlarının da merkezi invertörlü bir çözümde yer almayacağını düşündüğümüzde maliyete önemli katkıda bulunmaktadır. Bu avantajının yanında ise, çok geniş bir yüzeyde çok sayıda panelin birbirine bağlanması, birçok panelin beraber kullanımı sonucu elde edilecek enerji tek panelden elde edilebilecek olana oranla azalmaktadır. Ayrıca, sabah ve akşam saatlerinde paneller ışık seviyesinin azlığı sebebiyle daha az gerilim üretecek ve invertör giriş gerilim aralığının kısıtlı olması nedeniyle bu saatlerde enerji üretilmeyecektir. Tüm sayılan bu olumsuzluklara rağmen, merkezi invertörlerin çevrim verimleri ve Avrupa verimleri daha yüksek olmaktadır. Bu artı verim farkı ile panel uyumsuzluğundan kaynaklı verim düşümü ile sabah erken saatlerdeki ve akşam geç saatlerdeki enerji kayıpları önemli oranda dengelenmektedir.

Dizi invertörler, 1 ile 10 arasında güneş paneli dizilerinin bir invertöre bağlanması durumunda kullanılmaktadır. Güçleri 1 kW ile 50 kW arasında değişen dizi invertörler, 1 MW'a kadar olan projelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu invertörlerde çoğunlukla 2 ya da daha fazla bağımsız maksimum gün noktası takibi sağlamakta, bu da farklı noktalarda bulunan panel dizilerinin maksimum güç noktası takip verimi artırmaktadır.



Şekil 3.5 1 MW'e gücündeki merkezi invertör

Dizi invertörlerde yaşanacak olası bir arıza durumunda, çok sayıda invertör kullanıldığı için santral genelinde enerji kaybı nedeniyle etkilenme oranı düşük olmakta ve âdetin fazla olması nedeniyle yedek bulundurma maliyetleri düşük kalmaktadır. Bu nedenle santrale tek bir merkezi invertör koyulması durumuna göre, arıza durumunda merkezi invertör santralin tamamının üretim kaybına yol açacağı için daha küçük bölümlendirme yapılabilen dizi invertör seçmek daha az riskli olacaktır. Bununla birlikte dizi invertörün merkeziye göre daha geniş giriş gerilimi aralığına sahip olması özelliği ve ayrıca gün içinde erken devreye girme ve gün sonunda geç devreden çıkma özellikleri sayesinde ek enerji üretimi sağlanabilecektir. Fakat bu avantajlarının yanında, tüm sahaya AG kablolama yapılması, saha dağıtım panolarının konulması ve merkezi invertöre göre daha düşük verimde olması enerji kayıpları yaşanmasına neden olacaktır. Bu nedenle invertör seçimi saha ve proje büyüklüğü bazında yapılmaktadır.



Şekil 3.6 30 kW'e gücündeki dizi invertör

3.3 Mekanik Taşıyıcı Sistem

Maliyeti, yatırımın ortalama %10'luk kısmına karşılık gelen mekanik taşıyıcı sistem, santralin omurgası görevini görmekte, üretimin sağlandığı panellerin doğru şekilde desteklemesi için doğru mekanik taşıyıcı sistem kullanımı büyük önem arz etmektedir.

Mekanik taşıyıcı sistemin doğru belirlenmesinde dikkate alınması gereken hususlar;

- Panel ağırlıklarının yanı sıra gelebilecek rüzgâr, kar ve deprem yüklerine karşı dayanım
- Dış ortam koşullarına karşı dayanım
- Çakma uygulanacaksa toprak koşullarına karşı dayanım
- Panellerin önerilen destek noktalarından bağlantı yapılmasını sağlayacak tasarım
- Saha uygulaması ve montajının en az sürede yapılmasını sağlayacak tasarım
- Mümkün olan en az özel malzeme gereksinimi

Tüm bu kriterleri sağlayan bir mekanik sistem kullanılması durumdan panellerin sağlığı santralin üretimi de güvence altına alınmış olacaktır.

4. GÜÇ KALİTESİ YÖNETMELİKLERİ VE ÖLÇME STANDARTLAR

Üretilen elektrik enerjisinin ana kriter olarak gerilim üzerinde bir etki edeceği düşünüldüğünde, güç kalitesi üzerinde yapılan çalışmaların çoğunun gerilime dayandığı görülmektedir. Şebekeden çekilen akım yüke bağlı olarak değişkenlik göstereceğinden, akımın dalga formu üzerinde tahmin yapılamamaktadır. Kısa devre olaylarında benzer şekilde akımdaki büyük değişimler gerilimi etkilese de buradaki temel kriter gerilimde oluşan değişimlerdir. Bu nedenle gerilim dalga şekli ve etkin değer, standartlar ve tanımlamalar yapılırken temel kıstas olarak değerlendirilmektedir.

Hem tüketiciyi hem de üreticiyi ilgilendiren bir konu olan Güç kalitesi ile ilgili standartlar iki grup altında incelenir. Birinci gruba dâhil olan standartlar IEC 61000-2-5:1995 IEC 61000-2-5:1995: 'Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 2: Environment, section 5': Classifications of Electromagnetic Environments Descriptions of the Environments ve EN 50160:2000 BS EN50160:2000: 'Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems', BRITISH STANDART INSTITUTION, 2000 gibi cihazı veya ürünü temelli standartlardır. Bu standartlar cihaz veya ürünün uyumluluk sınırlarını belirlemeye yardımcı olur.

Orta ve Alçak gerilim dağıtım şebekeleri için güç kalitesi limitlerinin belirlendiği en önemli standart, EN50160 olarak adlandırılan standart olup, pek çok ülkede çevirileri yapılarak kullanılmakta ve ulusal yönetmeliklere temel teşkil etmektedir [10]. EN50160 standardı ile dağıtım şirketleri tarafından müşterilere sağlanan elektrik enerjisinin gerilim kalitesi tanımlanmakta ve dağıtım lisansı olan şirketlerin elektrik sağlayıcısı olduğu müşterilerine karşı sorumluluklarını ortaya koymaktadır. CENELEC tarafından kabul edilen EN50160 standardı baz alınarak hazırlanan, 11 Mayıs 2017 tarihinde son hali çıkarılan "Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği" dağıtım şirketleri, görevli tedarik şirketleri ve Dağıtım sistemini kullanan gerçek veya tüzel kişiler tarafından uyulması gereken kurallar ile uygulamaya ilişkin usul esaslar belirlenmiştir.

Bu yönetmelikte, güç kalitesini etkileyen parametreler arasında en çok inceleneni harmonikler, Doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan jeneratörlerden dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde, ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biri olarak

tanımlamıştır. Bu bölümde yönetmeliklerde geçen bazı tanımlar ve bunlarla ilgili teknik verilere yer verilecektir.

Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği EN50160' a dayandırılmaktadır. Bu yönetmelikte bazı ifadelerin tanımları aşağıda verilmiştir.

Alçak Gerilim (AG) : AG: Etkin şiddeti 1000 Volt ve altındaki gerilim seviyesini,

Orta Gerilim (OG) : Etkin şiddeti 1000 Voltun üstünden 36 kV' a kadar olan (36 kV dâhil) gerilim değerlerine denir.

Frekans: Sistemdeki alternatif akımın Hertz olarak ifade edilen bir saniyedeki çevrim sayısını, Sistem frekansı, 28/05/2014 tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen sınırlar içerisinde TEİAŞ tarafından kontrol edilir. [3]. Normal işletme şartlarında 10 sn boyunca ölçülen temel frekansın ortalama değeri aşağıdaki çizelge 4.1' de gösterilen aralıklar içerisinde olabilir;

Çizelge 4.1. Temel frekans aralıkları

Enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı sistemler için	<input type="checkbox"/> 50 Hz \pm % 1 (49,5 Hz....50,5 Hz) bir yılın 99,5'i boyunca,
	<input type="checkbox"/> 50 Hz + % 4 / - % 6 (47 Hz....52 Hz) her zaman (% 100)
Enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı olmayan sistemler için (örneğin bazı adalardaki besleme sistemleri)	<input type="checkbox"/> 50 Hz \pm % 2 (49 Hz....51 Hz) bir haftanın %95'i boyunca,
	<input type="checkbox"/> 50 Hz \pm % 15 (42,5 Hz....57,5 Hz) her zaman (% 100)

İletim: Elektrik enerjisinin gerilim seviyesi 36 kV üzerindeki elektrik tesisleri ve şebekesini

Kalite faktörü: Kalite göstergelerine ilişkin olarak belirlenecek hedef değerler ile gerçekleştirmeler arasındaki farkın dağıtım sistemi gelir tavanına etkisini belirleyen yüzdesel değerine denir.

Flicker: Yükteki dalgalanmalar nedeniyle ortaya çıkan ve aydınlatma armatürlerinde kırışıma yol açan 50 Hz altındaki gerilim salınımlarını,

THB(Toplam Harmonik Bozulma): Gerilim harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan ve dalga şeklindeki bozulmayı yüzde olarak ifade eden ve aşağıda belirtilen denklem 2.2.' deki formül uyarınca hesaplanır.

$$THB_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}}{U_1} \times 100 \quad (2.2)$$

THB_v (THD_v) : Toplam gerilim harmonikleri bozulması.

U_h : Gerilim harmonik bileşenlerinin etkin değerleri (V).

U_1 : Ana bileşen gerilim etkin değeri (V).

Elektrik dağıtımı ve perakende satışına ilişkin hizmet kalitesi yönetmeliğinde teknik kaliteyi şöyle ifade edilmiştir. Teknik kalite, dağıtım sisteminin kullanıcıların elektrik enerjisi talebini; gerilimin frekansı, genliği, dalga şekli ve üç faz simetrisi açısından kabul edilebilir değişim sınırları içerisinde kesintisiz ve kaliteli bir şekilde karşılayabilme kapasitesidir [3]. Teknik kalite açısından gerilim seviyesinin ülke çapında standardizasyonunu sağlamaya yönelik usul ve esaslar, Enerji Piyasası Düzenleme kurulu kararı ile uygulamaya geçirilir. Standardizasyonu sağlamaya yönelik düzenlemeler uygulamaya konuluncaya kadar, dağıtım sistemi için izin verilen ve şebekede kullanılan nominal orta gerilim seviyeleri 34,5; 33; 31,5; 15,8; 10,5 ve 6,3 kV' dir. AG seviyesi ise faz-faz arası 400 V; faz-nötr arası 230 V' dur.

Teknik kalite yönünden sistem frekansının kontrolü 28/05/2014 tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen sınırlar içerisinde TEİAŞ tarafından kontrol edileceği belirtilmiştir.

Yönetmelikte Teknik Kaliteyi tanımlarken [3],

- 1) Gerilim etkin değerleri (genlik) açısından,
- 2) Gerilim dengesizlikleri açısından,
- 3) Harmonikler açısından, (Gerilim ve Akım Harmonikleri için Ayrı Ayrı Olmak Üzere)
- 4) Flicker açısından değerlendirme yapmıştır.

Dağıtım şirketlerinin sunduğu elektrik enerjisinin kalitesi, gerilim etkin değerleri kararlı durumlarda TS EN 50160:2011 standardında tanımlanan aşağıdaki değerlere uygun olmalıdır [10].

➤ AG seviyesi için; ölçüm periyodu boyunca ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının, en az % 95'i nominal etkin gerilim değerinin en fazla \pm % 10'u

kadar, tamamı ise nominal etkin gerilim değerin en fazla + % 10 - % 15 aralığında değişmelidir.

➤ OG seviyesi için; ölçüm periyodu boyunca TS EN 61000-4-30'da tanımlanan ölçüm periyodu boyunca (kesintisiz bir hafta) ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az % 99'u beyan etkin gerilim değerinin + % 10'nu aşmamalı, yine bu ortalamaların en az %99'u beyan etkin gerilim değerinin - % 10'nun altına düşmemelidir. Ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının hiçbiri beyan etkin gerilimin \pm % 15'lik sınırlarının dışında olmamalıdır. Dağıtım şirketinin gerilim regülasyonuna ilişkin performansı, esas olarak bağlantı noktasından veya dağıtım şirketinin uygun görmesi durumunda tüketici tesisi tarafındaki herhangi bir noktadan ölçülür. TEİAŞ ile herhangi bir dağıtım şirketi arasında bir anlaşmazlığın ortaya çıkması ve taraflar arasında çözümlenememesi halinde anlaşmazlığın çözümü konusunda kurul arabuluculuk yapar.

Diğer bir teknik kalite problemi olan gerilim dengesizlikleri de bu yönetmelikte konu edilmiştir. Enterkonnekte şebekelerin en büyük sorunlarından biride gerilim dengesizliğidir. Ülkemizdeki şehirleşmeye bağlı olarak talep artışının hızlı ve plansız olması sebebiyle tesis edilen elektrik dağıtım şebekeleri yetersiz kalabilmektedir. Bu durum trafo merkezlerinden çıkan fiderlerin fazlarında dengesiz dağılımlara neden olmaktadır. Elektrik dağıtım şebekesinin işletilmesinde, AG seviyesi için kararlı durumlarda gerilim dengesizlikleri TS EN 50160:2011 standardında tanımlanan değerlere uygun olmalıdır. Gerilim dengesizlikleri yönetmelikte de şu sınır değerlere uygun olması gerektiği belirtilmiştir:

➤ Ölçüm periyodu boyunca ölçülen gerilim negatif bileşeni etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'inin pozitif bileşenlere oranı en fazla % 2 olmalıdır.

➤ Tek fazlı veya iki fazlı yüklerin beslendiği noktalarda bu oran % 3'e kadar çıkabilir.

4.1. Harmonik Açısından Tanımlanan Teknik Kalite Limitleri

Dağıtım şirketleri, TS EN 50160:2011 standardında açıklanan ve çizelge 4.2' de gösterilen gerilim harmonik sınır değerlerine uymak zorundadır. Çizelge 4.2' de değerler her bir gerilim harmoniğinin ana bileşene göre oransal değerlerini ifade eder. Ölçüm yapılan periyod boyunca ölçülen her bir gerilim harmoniği etkin değerinin 10'ar dakikalık

ortalaması en az % 95'i, çizelge 4.2' de verilen değerlerden küçük veya bunlara eşit olmalıdır.

Bununla birlikte, THB değeri (40. harmoniğe kadar değerler dâhil) en fazla % 8 olarak uygulanır. Dağıtım şirketinin gerilim harmoniklerine ilişkin performansı, AG ve OG seviyesi için bağlantı noktasından ölçümler esas olarak alınır.

Reaktif enerji bedeli uygulanan tüketicilere IEEE Std.519-1992 standardında ya da bunun revizyonlarında belirtilen aşağıdaki harmonik sınır değerlerine uymak zorunluluğu vardır. Ölçüm süresi boyunca ölçülen her bir akım harmoniğinin etkin değerinin ve TTB'nin 3'er saniyelik ortalamalarının I_L ' e göre oransal değerleri çizelge 4.3' de verilen değerlerden küçük veya bu değerlere eşit olmalıdır. Kullanıcının akım harmoniklerine ilişkin performansı, AG ve OG seviyesi için bağlantı noktasından ölçülür.

Çizelge 4.2. Gerilim harmonikleri için sınır değerler

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				

Çizelge 4.3 Akım harmonikleri için maksimum yük akımına (IL) göre sınır değerler

Tek Harmonikler						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerlerin %25'i ile sınırlandırılmıştır.

Harmonik bozulmaya sebep olan tüketiciye, dağıtım şirketi tarafından mevcut durumun düzeltilmesi için alçak gerilim kullanıcısı ise en fazla 60 iş günü, orta gerilim kullanıcısı olması durumunda ise en fazla 120 iş günü süre verilir. Aboneye yapılan

bildirimde, verilen sürenin sonunda durumun düzeltilmemiş olduğu tespiti halinde bağlantısının kesileceği tebligatla bildirilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin elektrik üretimi amaçlı kullanılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, güvenilir, ekonomik ve kaliteli bir biçimde ekonomiye kazandırılması, çevrenin korunması ve bu sektörün geliştirilmesi adına ve ayrıca piyasadaki elektrik üretimine ilişkin belgelendirmeler hususunda kullanılan yönetmelikleri içermektedir.

Elektrik piyasasında 14.03.2013 tarihli 6446 sayılı elektrik piyasası kanununun 14 üncü maddesi kapsamında, tüketicilerin, elektrik ihtiyaçlarının tüketim noktasına en yakın üretim tesislerinden karşılanması, arz güvenliğinin sağlanmasında küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve etkin kullanımının sağlanması, elektrik şebekesinde meydana gelen kayıp miktarlarının düşürülmesi amacıyla lisans alma ile şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilecek gerçek veya tüzel kişilere Lisansız Enerji Üretimi faaliyet hakkı verilmiştir.

Her gerçek ve tüzel kişi lisansız olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak kuracakları elektrik üretim tesislerini lisansız elektrik üretimindeki kurulu güç limitinin azamı 1 MW'e gücünde kurulabilir ve sisteme en fazla 1 MWe olarak bağlanabilir.

Ayrıca Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının desteklenmesi, amaçlı kullanımının artırılması, bu kaynakların ekonomik, güvenilir ve kaliteli olarak ekonomiye kazandırılması amacı ile Mülga 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (14.03.2013 Değişik; 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu) çerçevesinde 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerji Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun 18.05.2005 tarih ve 25819 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Bağlantısı yapılan her proje, ürettiği elektrik enerjisini YEKDEM(Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması) kapsamında belirlenen bedeller ile satabilmekte ve bu satış işlemi kamu tarafından ilgili kanun ve yönetmelikler ile garanti altına alınmaktadır.

Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretimine ilişkin Yönetmelik kapsamında tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarının tüketim noktasına en yakın üretim tesislerinden karşılanması, arz güvenliğinin sağlanmasında küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve etkin kullanımının sağlanması, elektrik şebekesinde

meydana gelen kayıp miktarlarının düşürülmesi amacıyla lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilecek gerçek veya tüzel kişilere uygulanacak usul esasların belirlenmesidir.

Bu anlamda 03.10.2013 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan ‘‘ *Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretimine ilişkin Yönetmelik*’’ kapsamında tesislerin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

Yönetmelik bu usul ve esaslara ilişkin başvuru ve başvuru değerlendirilmesi, elektrik enerjisinin sisteme verilmesi, arazi temini, üretim tesisi devri, şebeke işletmelerinin hak ve yükümlülükleri ve tesis denetlenmesi ne ilişkin usus esaslar üzerinedir.

Elektrik aboneliği olan herkes, her gerçek veya tüzel kişi lisansız elektrik üretim tesisi kurabilir. Bu kişilerin kendi uhdelelerinde en az bir tüketim tesisi, yani aboneliğin bulunması gerekir. Aboneliği olmayan kişiler, lisansız elektrik üretim tesisi kuramaz.

Lisansız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamında üretim yapmak isteyen firmalar için izlenecek süreç sırasıyla aşağıdaki gibidir.

➤ Lisansız Elektrik Üretim Yönetmeliği (LÜY) LÜY Madde 7/ Fıkra 1 ‘de yer alan belgeler ile birlikte İlgili Şebeke işletmecisine başvuru yapılır

➤ Tüm başvurular toplu halde takip eden ayın ilk 20 günü içerisinde ilgili şebeke işletmecisi tarafından değerlendirilir.

➤ Kendisine alternatif bağlantı görüşü verilen başvuru sahibi ilgili şebeke işletmecisine,1 ay içerisinde bağlantı görüşünü kabul ettiğini yazılı olarak bildirir.

➤ İlgili şebeke işletmecisi tarafından ‘‘Bağlantı Anlaşmasına Çağrı Mektubu’’ verilir.

➤ Çağrı mektubunu alan kişiler 270 gün içinde LÜY Madde 9 Fıkra 3 ‘de yer alan belgeler ile şebeke işletmecisine bağlantı anlaşması yapmak için başvuruda bulunur.

➤ Sunulan belgelerin eksiksiz olması halinde 30 gün içinde bölge dağıtım lisansız sahibi tüzel kişi ile bağlantı anlaşması imzalanır.

➤ Üretim tesisi kurulduktan sonra Bakanlık veya Bakanlığın yetkilendirdiği kurum tarafından geçici kabul yapılması ve akabinde 1 ay içinde Sistem Kullanım Anlaşması Yapılıp, üretim tesisi devreye alınır.

➤ TEİAŞ tarafından maksimum kapasite tahsis edilmiş trafo merkezi için herhangi bir neden ilave kapasite tahsis edilmesi veya yeni işletmeye alınan trafo merkezinde kapasite oraya çıkması halinde, İlgili Şebeke İşletmecisi ile TEİAŞ arasında sistem kullanım anlaşması imzalanmasına müteakiben bahse konu kapasite her yıl nisan, ağustos ve aralık aylarının birinci iş günü TEİAŞ tarafından kendi internet sayfasında ayrıca ilan edilir. İlgili kapasitelere ilişkin başvurular, ancak ilan tarihinden itibaren üç ay sonra alınmaya başlanır.



5. MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

5.1.1 Güneşlenme

Kahramanmaraş ilinin ortalama güneş radyasyonu ve günlük güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı Çizelge 5. 1 'de verilmiştir. Kahramanmaraş ilinde ortalama güneşlenme radyasyonu 3,67 kWh/m²-gün, ortalama güneşlenme süresi 7,14 h/gün'dür. Bu iki değer de Türkiye ortalamasının üstündedir.

Çizelge 5.1 Kahramanmaraş ilinin radyasyon ve günlük güneşlenme süreleri(2016 yılı)[11]

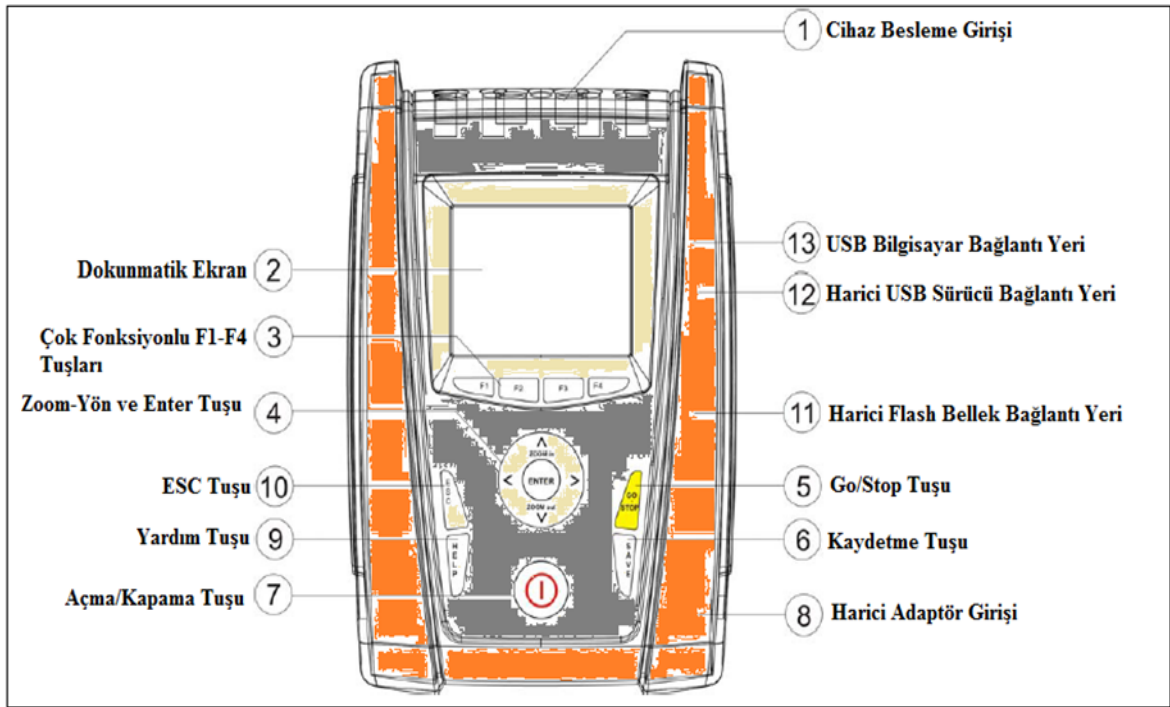
Aylar	ORTALAMA RADYASYON (kWh/m ² -gün)		ORTALAMA GÜNEŞLEME SÜRESİ (h/gün)	
	Türkiye	Kahramanmaraş	Türkiye	Kahramanmaraş
Ocak	1.79	1.99	4.11	4.21
Şubat	2.50	2.58	5.22	5.47
Mart	3.87	4.17	6.27	6.61
Nisan	4.93	5.09	7.45	7.85
Mayıs	6.14	6.29	9.10	9.57
Haziran	6.57	6.81	10.81	11.43
Temmuz	6.50	6.77	11.31	12.07
Ağustos	5.81	6.00	10.70	11.43
Eylül	4.81	5.06	9.23	10.13
Ekim	3.46	3.78	6.87	7.55
Kasım	2.14	2.4	5.15	5.56
Aralık	1.59	1.81	3.75	3.86
Ortalama	4.18	4.40	7.49	7.98

5.2. Ölçme Ekipmanları Düzenekleri

Güç analizör cihazları Elektrik sistemlerinde güç kalitesinin ölçülmesi, kaydedilmesi ve analiz edilmesinde yeni yaklaşımlar sunar. Ölçümler sırasında HTITALIA PQA824 güç analizör modeli kullanılmıştır. Bu cihaz IEC / EN61010-1 şartları esas alınarak tasarlanmıştır. Windows CE teknolojisi ile tasarlanan cihaz büyük boyutlu verilerin kolay ve yüksek hızlarda analizine olanak sağlamaktadır. Analizör, renkli grafik görselleri ve dokunmatik ekranı sayesinde en zorlu kullanıcının bile tüm taleplerini kolaylıkla karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. İtalya menşeli HTITALIA PQA824 cihazı aynı anda 251 ölçüme kadar kayıt edebilme imkânı sağlamaktadır. PQA824 cihazı şu ölçümleri yaparak kayıt altına almaktadır; Akım, gerilim, frekans geriliminde düşme,

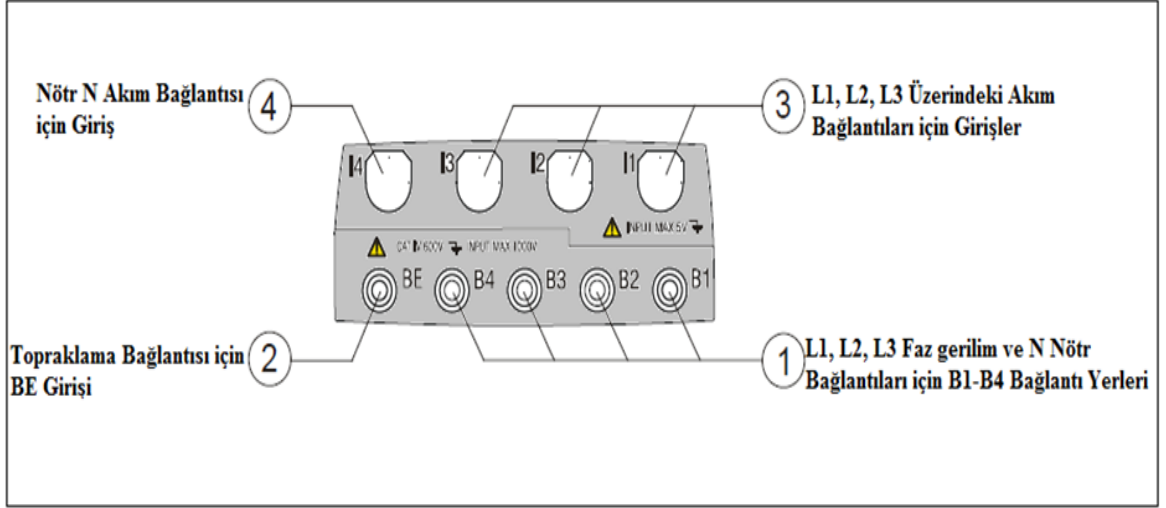
harmonik analizi(49. Harmoniğe kadar), gerilim dalgalanmalarının kaydı, dalga şekli analizi, aktif ve reaktif enerji kaydı, aktif-reaktif ve görünür güç kayıtları, flicker kaydı. Cihaz ayrıca bu verileri bilgisayara aktarma imkânı sağlar.

.PQA824 cihazının teknik detayları daha sonra yapılacak araştırmalarda ve uygulamalarda faydalı olacağı düşünülerek detaylandırılmıştır. Şekil 5.1'de PQA824 analizörünün ön panel görünümü verilmiştir ve tuş fonksiyonlarının tanımları gösterilmektedir.



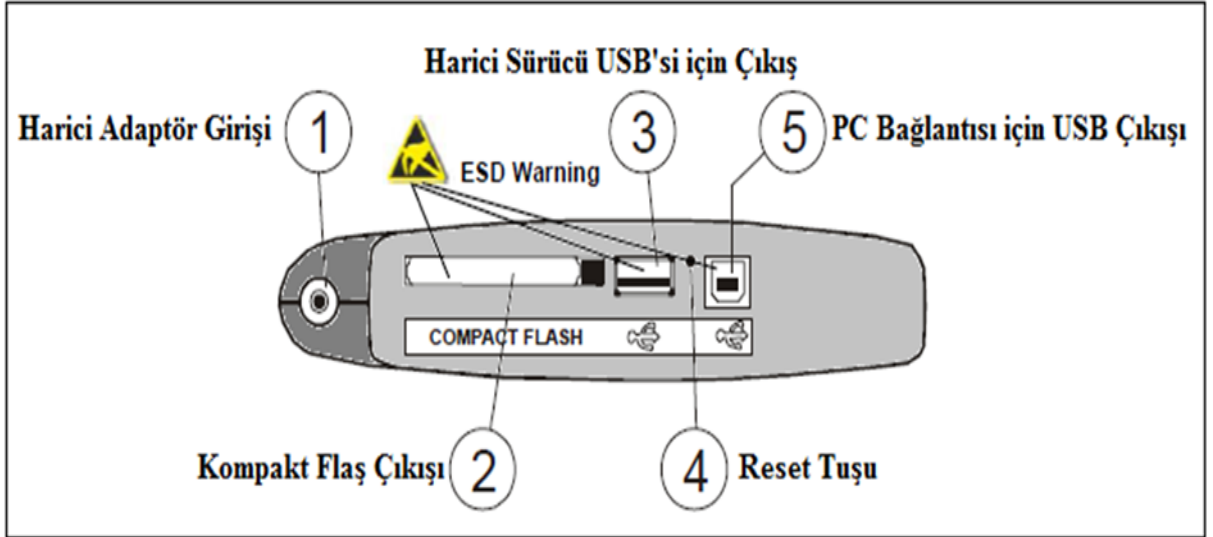
Şekil 5.1 PQA824 analizörünün ön panel görünümü

Şekil 5.2 PQA824 analizörünün giriş terminali görünümünü ve bağlantı noktalarının tanımlarını göstermektedir.



Şekil 5.2 PQA824 analizörün giriş terminal görünümü

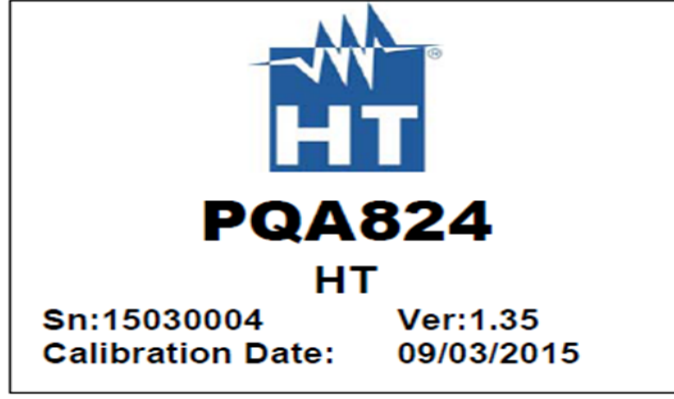
Şekil 5.3 PQA824 analizörünün çıkış bağlantı terminali görünümünü ve bağlantı noktalarının tanımları göstermektedir.



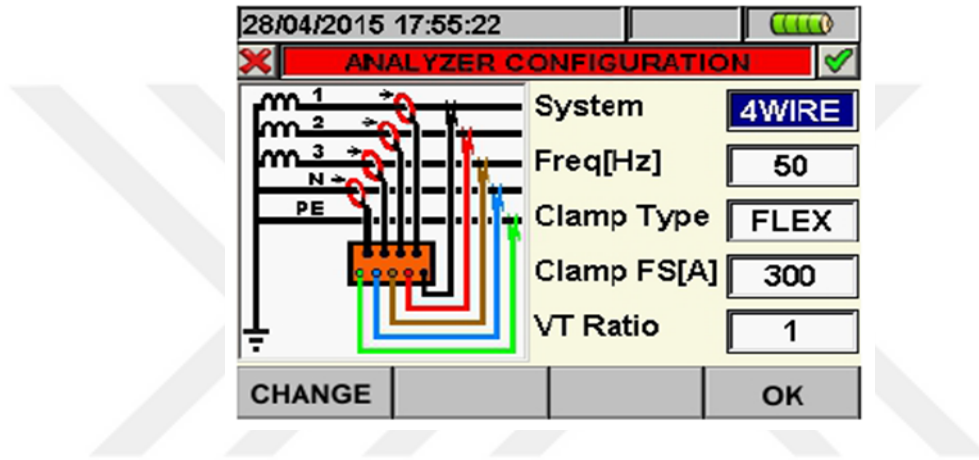
Şekil 5.3 PQA824 analizörünün çıkış bağlantı terminali görünümü

Açma / kapama düğmesine basarak üniteyi açtığımızda, Şekil 5.4'teki başlangıç ekranı birkaç saniye için görüntülenir. Burada (model kodu ve üretici adı hariç) görebilirsiniz: Ürün seri numarası, sürüm numarası ve kalibrasyon tarihi.

Bu ekrandan sonra, en son kullanılan konfigürasyonu gösteren Şekil 5.5'deki analiz konfigürasyon ekranı görüntülenir. Bu durumda, kullanıcı F1 tuşuna basarak gerçek konfigürasyonu değiştirip değiştirmeyeceğine karar verebilir veya F4 tuşuna basarak genel menüye doğrudan erişebilir.

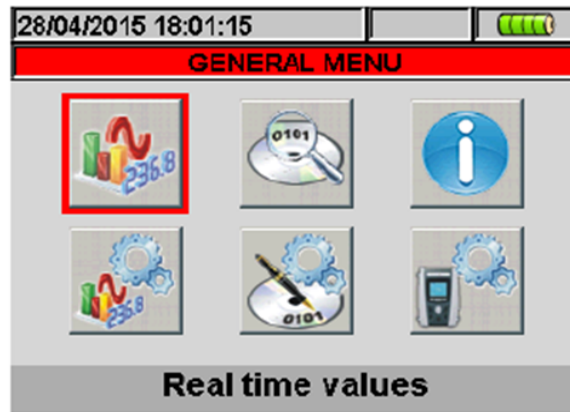


Şekil 5.4 PQA824 analizör başlangıç ekranı görünümü



Şekil 5.5 PQA824 analiz konfigürasyon ekranı görünümü

10 saniye içinde herhangi bir işlem yapılmazsa, cihaz otomatik olarak genel menü ekranına geçer. Cihazın genel menü ekran görünümü şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 PQA824 ana menü ekranı görünümü

Seçilen bölüm, cihaz ekranında kırmızı çerçeve içinde görüntülenir ve seçilen menünün başlığı, ekranın altında görüntülenir. Cihazın ana menüsünde aşağıdaki öğeler mevcuttur.

5.2.1 General settings menüsü(Genel ayarlar menüsü)

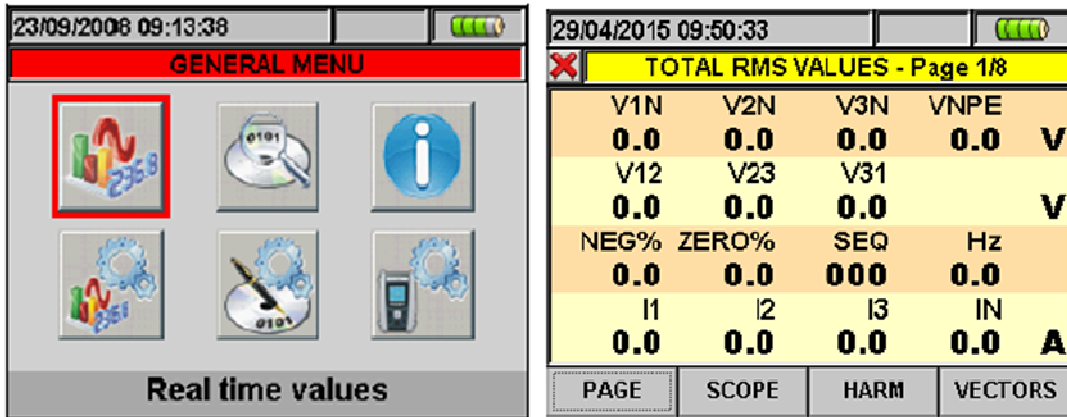
Genel menü ekranında kırmızı çerçeve şekil 3.7a' da gösterilen menü üzerine getirilir ve şekil 3.7b' de gösterilen ekran menüsü açmak için enter tuşuna basılır. Bu bölümde dil, şifre koyma, tarih/saat, ekran parlaklığı, otomatik güç kapalı etkinleştirme/ devre dışı bırakma , tuş basma sesi ve hafıza tipi ayarları yapılabilmektedir.



Şekil 5.7 PQA824 genel ayarlar menü ekranı görünümü

5.2.2 Real Time values menüsü (Gerçek zaman değerler menüsü)

General menü ekranında kırmızı çerçeve şekil 5.8a' da gösterilen menü üzerine getirilir ve şekil 5.8b'de gösterilen ekran menüsünü açmak için enter tuşuna basın.



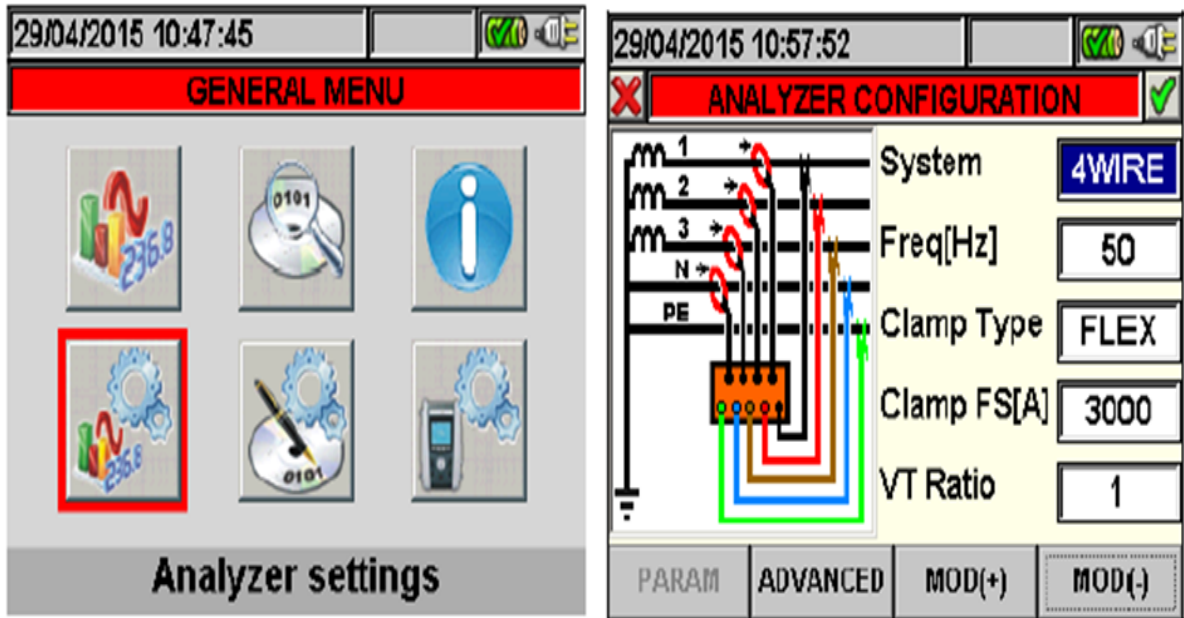
Şekil 5.8 PQA824 real time values ekranı görünümü

Real time values menüsünde bir tek faz için toplam elektriksel parametreler, AC TRMS voltajları, akımları, voltaj ve akım dalgaları, toplam Flicker değerleri, gerilim ve

akım harmonikleri her biri için 49. bileşene kadar, her bir voltaj ve akımın her bir temel sinyal ve vektörel diyagramları vb. gösterilmektedir.

5.2.3 Analyzer settings menüsü (Analizör ayarları menüsü)

General menü ekranında kırmızı çerçeve şekil 5.9a' daki gösterilen menü üzerine getirilir ve ve şekil 5.9b'de gösterilen ekran menüsünü açmak için enter tuşuna basılır. Ölçüm cihazının kurulum bağlantılarına göre basit ve gelişmiş yapılandırmaları tanımlamaya izin veren analiz cihazı ayarları bölümü. Analizör ayarları bölümünde, son işlem sırasında kullanıcı tarafından seçilen bağlantı şekli ekranda gösterilir: burada bağlantı türü seçimi yapılarak ölçümlerin hangi şekilde yapılacağı cihaza tanımlanmış olur. Araştırma ölçümlerinin alınması esnasında şekil 5.9b' de gösterilen 3 faz 4 telli ölçüm şekli kullanılmıştır. Analizör birçok bağlantı kombinasyonunu sunmaktadır.



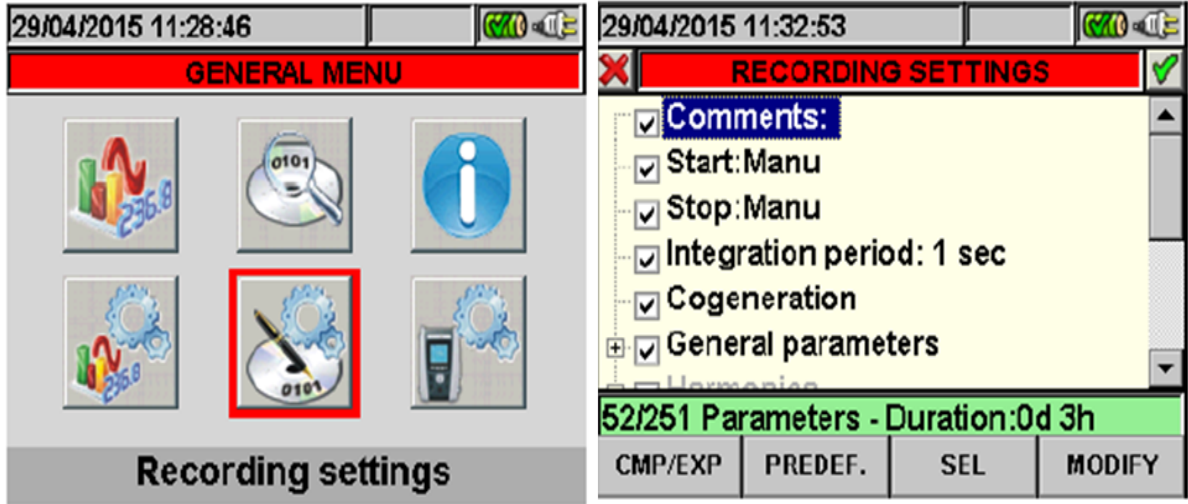
(a)

(b)

Şekil 5.9 PQA824 analyzer settings ekranı görünümü

5.2.4 Recording settings menüsü

Genel menü ekranında kırmızı çerçeve şekil 5.10a' daki gösterilen menü üzerine getirilir ve enter tuşuna basılarak şekil 5.10b' de gösterilen ekran menüsü açılır. Bu bölümde analizör, "dokunmatik ekran" göstergesi sayesinde kayıtların başlatılması ve durdurulmasına, kayıt için 251 adet parametre seçiminin gerçekleştirilmesine, analizin gerçekleştirilebileceği türden detayların tanımlanmasına izin verir.



(a)

(b)

Şekil 5.10 PQA824 recording settings ekranı görünümü

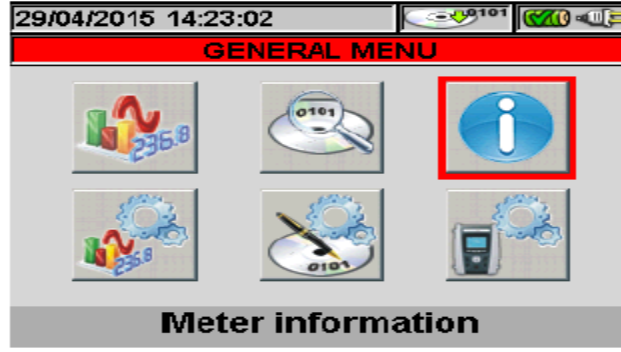
Bu ekran menüsü, detayları istenen verileri, seçenekleri kullanarak veya alt seçeneklere seçerek kayıt esnasında değerlerin kayıt edilmesi olanağı sunar. Bu kısımda hangi türden verilerin (harmonic, fliker, vb...) kayıt edileceği ve kayıt periyodu belirlenir. Kayıt işlemi GO/STOP tuşuna basılarak etkinleştirilir veya devre dışı bırakılır. Analizörün kayıt bekleme ve çalışma durumu şekil 5.11’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.11 PQA824 kayıt bekleme ve çalışma durumu ekranı görünümü

5.2.5. Meter information menüsü

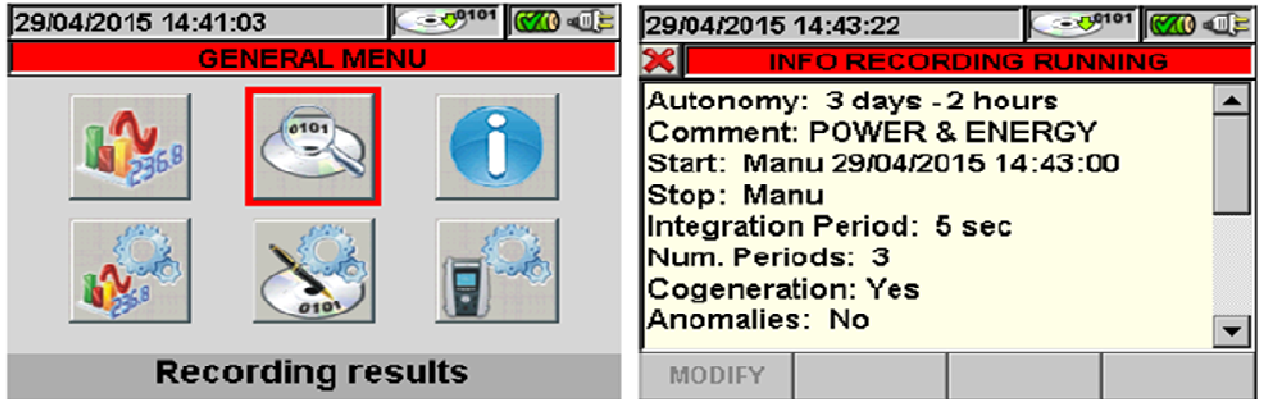
Genel menü ekranında kırmızı çerçeve şekil 5.12’ deki gösterilen menü üzerine getirilir ve enter tuşuna basılarak analizör ile ilgili genel bilgilere (seri numarası, dâhili yazılım ve yazılım bırakma vb.) erişime izin veren cihaz bilgi bölümüdür.



Şekil 5.12 PQA824 meter information ekranı görünümü

5.2.6. Recording result menüsü

Genel menü ekranında kırmızı çerçeve şekil 5.13a’ daki gösterilen menü üzerine getirilir ve enter tuşuna basılarak şekil 5.13b’ de gösterilen ekran menüsü açılır. Bu bölümde analizörün: Gün/Saat cinsinden otonomisini, periyodunu, kayıt başlama ve bitiş tarihi vb... kayıt bilgilerini göstermektedir.



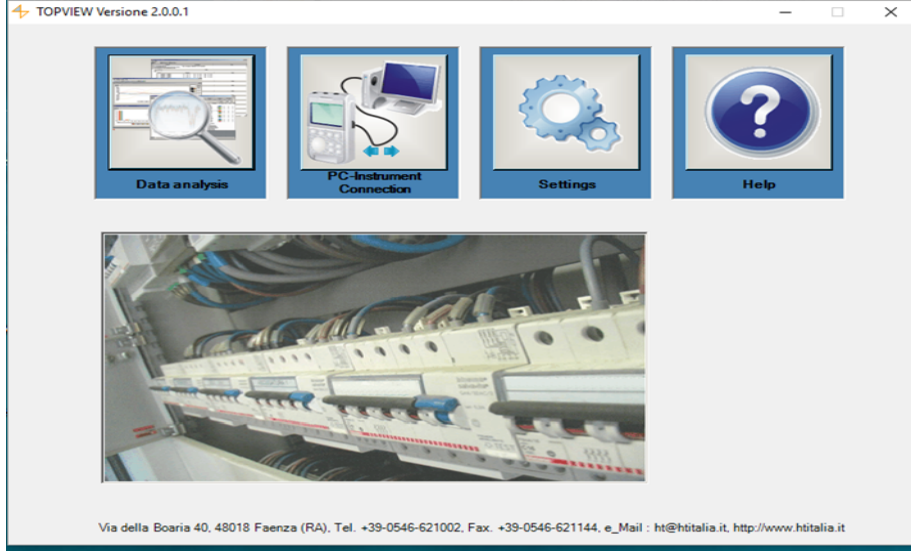
(a)

(b)

Şekil 5.13 PQA824 recording result ekranı görünümü

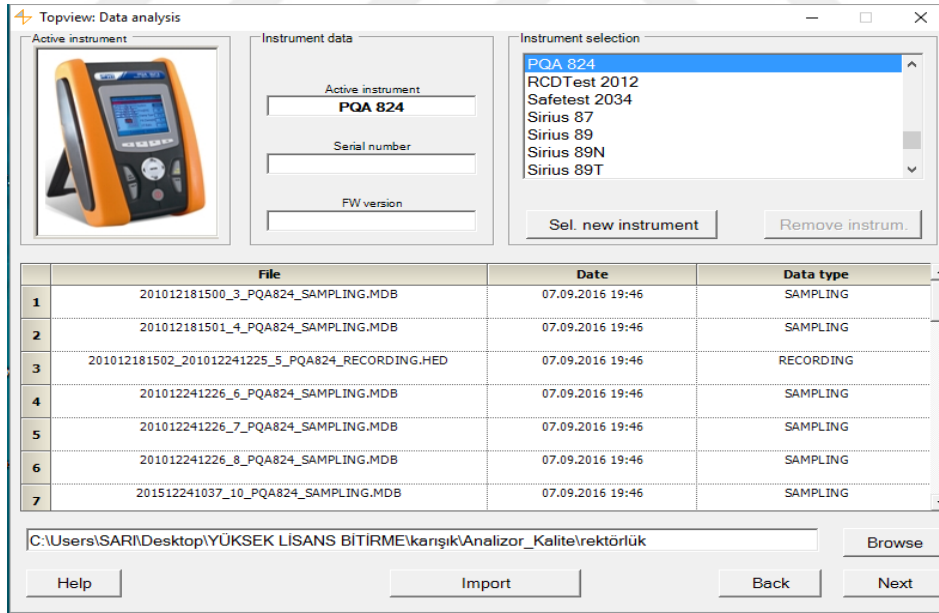
5.3. Analizör PC Arayüz Programı Topview Software

Analizörün arayüz programı olarak kullanılan Topview yazılımı, güvenlik kontrolleri ve testleri, güç kalitesi analizörleri ve kombine enstrümanlarla ölçülen sonuçları yönetebilen çok özellikli bir uygulama programıdır. PQA82x analizör ile birlikte verilen Windows 98 / ME / 2000 / NT / XP / Vista platformlarında mevcut olan profesyonel TOPVIEW yazılımı, güç kalitesi analizörü (PQA82x) tarafından kaydedilen verilerin bilgisayar aktarılmasını ve incelenmesi sunmaktadır. Topview programını bilgisayarda yükleyip açtığımızda karşımıza şekil 5.14’ deki ekran çıkacaktır.



Şekil 5.14 Topview ana ekranı görünümü

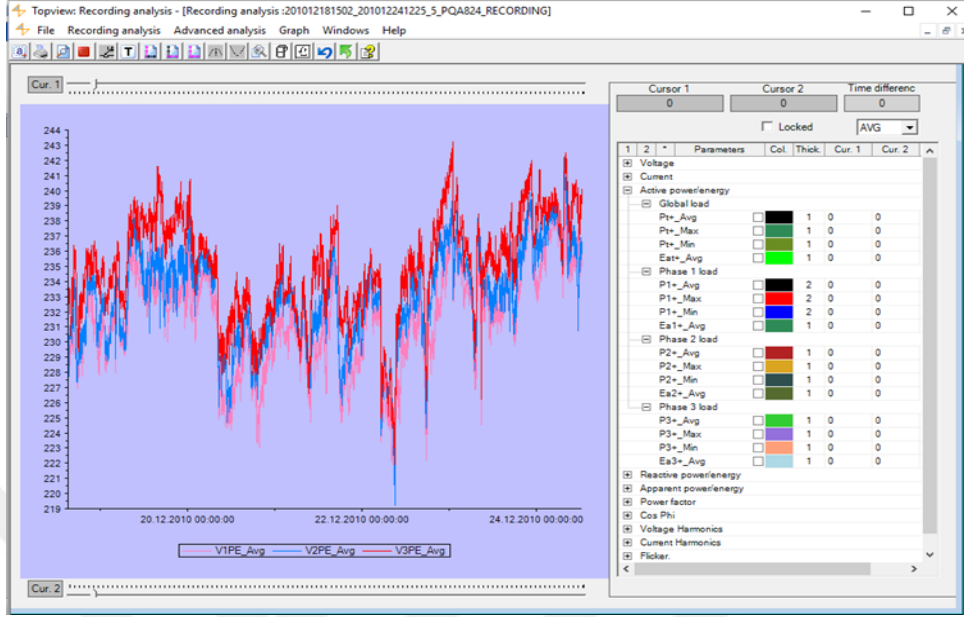
Şekil 5.14’ deki çıkan ekranda bilgisayarımızdaki kayıtlı verileri incelemek istiyorsak data analysis seçeneği seçilerek şekil 5.15’ deki ekran açılacaktır. Bu kısımda verileri ölçümünde kullanmış olduğumuz cihazın seri numarası seçilerek kayıtlı dosya açılabilir.



Şekil 5.15 Topview data analysis ekranı görünümü

Data analiz kısmında kaydedilen verilerin penceresi açılarak grafik görüntüleri, XLS ve PDF dosyaları dışı aktarma imkânı vermektedir. Bu kısımda kayıtlı dosya açılarak ağaç seçim tipi yapılı menüsü ile kaydedilen verilerin penceresinden istenilen veriler grafik

olarak görüntülenebilmektedir. Şekil 5.16' da gösterildiği gibi birden fazla verileri aynı grafik üzerinde görme ve yorumlama olanağı sunmaktadır.



Şekil 5.16 Topview data analysis grafik seçim ekranı görünümü

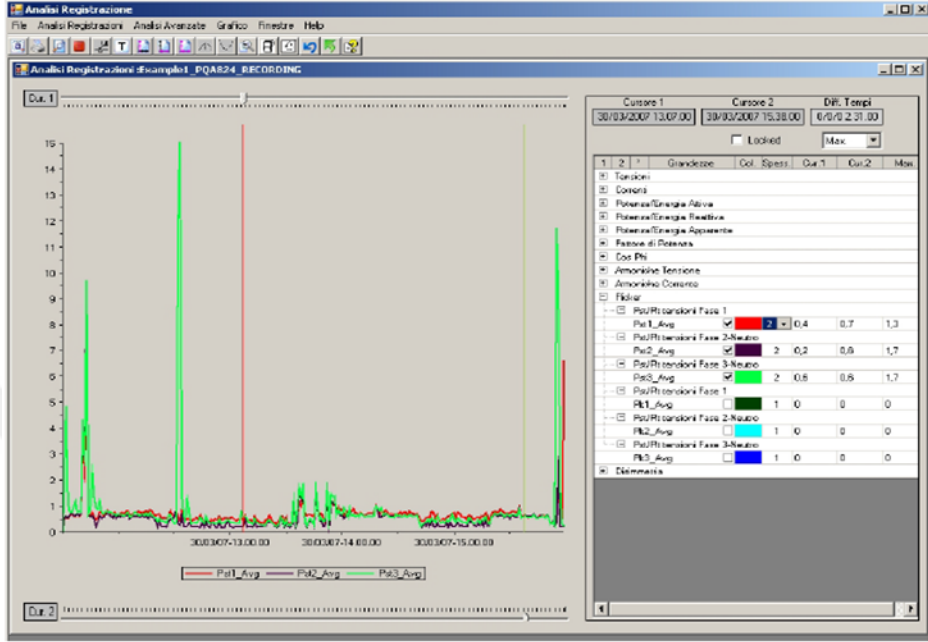
Kaydedilen tüm verilerin sayısal değerleri, hangi periyotta kaydedilmesi istenilmişse gerçek zamanlı olarak tüm veriler sütunlara ayrılarak kaydedilir ve şekil 5.17'de gösterilmiştir. Bu kısımda istediğimiz verinin istenilen zaman aralığında seçimi yapılarak XLS veya PDF olarak raporlanabilir.

The screenshot shows the 'Complete channel table' window in Topview data analysis software. It displays a table with the following columns: Time, V1PE_Avg, V1PE_Max, V1PE_Min, V2PE_Avg, V2PE_Max, V2PE_Min, V3PE_Avg, V3PE_Max, V3PE_Min, V12_Avg, and V12_Min. The table contains 32 rows of data, representing time intervals from 18.12.2010 15:02:00 to 18.12.2010 15:31:00.

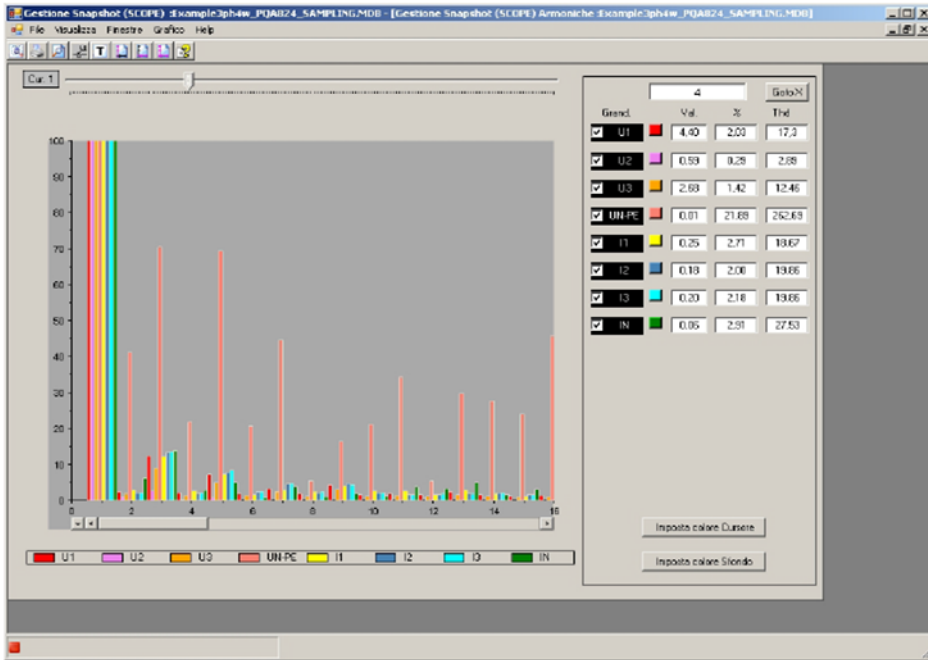
Time	V1PE_Avg	V1PE_Max	V1PE_Min	V2PE_Avg	V2PE_Max	V2PE_Min	V3PE_Avg	V3PE_Max	V3PE_Min	V12_Avg	V12_Min
1 18.12.2010 15:02:00	230.4	230.8	229.9	228.2	228.7	227.7	232.5	233	231.8	400.4	
2 18.12.2010 15:03:00	230.7	231.1	230.2	228.2	228.8	227.6	232.2	232.7	231.8	400.6	
3 18.12.2010 15:04:00	230.4	230.8	230	228.4	228.9	227.8	232.1	232.7	231.4	400.3	
4 18.12.2010 15:05:00	230.5	231	229.8	228.6	229.2	228	232.7	233.2	231.9	400.9	
5 18.12.2010 15:06:00	230.7	231.1	230.2	228.9	229.5	228.2	232.7	233.1	231.1	401.4	
6 18.12.2010 15:07:00	229.7	231	228.4	230.3	231.3	228.6	233	233.4	232.2	401.4	
7 18.12.2010 15:08:00	228.9	229.6	227.2	230.4	231	228.8	232.5	233	231.2	400.4	
8 18.12.2010 15:09:00	229	229.7	228.8	230.6	231.2	228.5	232.3	233.1	230.1	400.5	
9 18.12.2010 15:10:00	229.5	230.7	227.4	230.1	231	228.7	232.7	233.4	231.2	400.9	
10 18.12.2010 15:11:00	230.4	230.9	229.2	228.7	229.2	227.4	233	233.4	232	401.2	
11 18.12.2010 15:12:00	230.2	230.7	229	229.1	230.6	227.7	232.8	233.2	231.8	401.1	
12 18.12.2010 15:13:00	230.1	230.7	228.5	228.1	228.9	226.7	232.5	232.9	231	400.5	
13 18.12.2010 15:14:00	230.4	230.9	228.6	227.7	228.2	226.4	232.8	233.3	231.4	401	
14 18.12.2010 15:15:00	230.4	231.2	229.2	228.5	229.9	226.7	233.1	233.6	232.3	401.4	
15 18.12.2010 15:16:00	229.5	229.9	229.1	229.6	230	229	233.5	234	233.2	401.3	
16 18.12.2010 15:17:00	229.6	230	229.1	230	230.6	229.1	233.4	233.9	233.1	401.3	
17 18.12.2010 15:18:00	229.6	230.2	228.6	229.9	230.3	229.3	233.2	233.6	232.3	401.2	
18 18.12.2010 15:19:00	229.8	230.3	228.6	230.4	231.1	229.4	233.3	233.6	232.3	401.6	
19 18.12.2010 15:20:00	229.7	230.3	228.7	230.5	230.8	229.9	233.4	233.7	232.9	401.5	
20 18.12.2010 15:21:00	229.6	229.9	229.2	230.4	230.9	230	233.4	233.7	232.8	401.2	
21 18.12.2010 15:22:00	229.4	229.9	227.7	229.9	230.4	228.5	233.3	233.8	231.5	400.9	
22 18.12.2010 15:23:00	229.1	229.8	227.4	229.2	229.7	227.7	233.5	233.9	232.2	400.7	
23 18.12.2010 15:24:00	228.9	229.5	227.3	229.2	229.7	227.8	233.6	234.1	232.1	400.6	
24 18.12.2010 15:25:00	228.8	229.3	227.1	229.3	230.4	227.9	233.2	233.8	231.9	400.3	
25 18.12.2010 15:26:00	228.4	229.5	226.5	230.4	231.2	228.7	232.8	233.5	231.4	400.1	
26 18.12.2010 15:27:00	228.8	229.7	227.2	230.3	231	229	232.6	233.2	231.2	400.2	
27 18.12.2010 15:28:00	229.1	229.8	227.5	230.5	231.3	228.8	232.7	233.4	231.1	400.6	
28 18.12.2010 15:29:00	229.6	230.3	229	231.1	231.6	230.4	233.1	233.4	232.5	401.4	
29 18.12.2010 15:30:00	229.5	230.1	227.8	231.1	231.8	229.5	233	233.7	231.6	401.2	
30 18.12.2010 15:31:00	229.3	229.7	227.5	230.6	231.1	229.2	233.2	233.8	231.8	401.4	
31 18.12.2010 15:32:00	229.5	230	228.4	230.2	230.5	229.6	233.6	234	232.6	401.4	
32 18.12.2010 15:33:00	229.4	230.1	228.1	230.1	230.6	229.7	233.5	234	232	401	

Şekil 5.17 Topview data analysis tablo seçim ekranı görünümü

10 μ s çözünürlüklü gerilim anormalliklerinin (sarkması, şişmesi) sayısal ekranı işlemi hem XLS hem de PDF formatındaki dosyalara doğrudan aktarılabilir. Voltajın sayısal ve grafiksel flicker ekranı (Şekil 5.18) ve 49. Dereye kadar gerilim ve akım harmonik analizinin histogram grafikleri(Şekil 5.19) elde edilebilir.



Şekil 5.18 Topview data analysis flicker grafik ekranı



Şekil 5.19 Topview data analysis harmonik grafik ekranı görünümü

5.4. Ölçüm Yerleri Hakkında Bilgi

Ölçümlerimizi Kahramanmaraş ili Onikişubat ilçesinde bulunan 5 MW'lık bir GES'in orta gerilim seviyesinde bulunan akım gerilim ölçü hücresinde yapılmıştır. Ölçümler mevcut şebekenin güç kalitesi yönünden nasıl etkilediğini düşündüğümüz 5 Megawatt'ı oluşturan 1 Megawatt'lık GES'in monoblok beton köşkünün içerisinde bulunan akım gerilim ölçü hücresinde yapılmıştır.

Kahramanmaraş ili Onikişubat ilçesinde bulunan 1 MW'lık güneş enerji santralinin elektrik aboneliği ve şebeke toplam sözleşme gücü 1000 kVA' dır. Güneş enerji santralinin enerji izleme sisteminden alınan Şekil 5.20' de 1 MW'lık GES aboneliğine ait 2017 yılı ocak ayı toplam elektrik üretim ve tüketim faturası yer almaktadır. Aboneliğin 1 Ocak 2017-31 Ocak 2017 tarihleri arasındaki toplam üretimi 80 552,00 kW.h' dır. 2017 yılı ocak ayı ortalama tüketimi ise 1098,00 kW.h' dir.

TESİS	KURULU GÜÇ(Kw)	VERİŞ(kWh)	ÇEKİŞ(kWh)	TARİFE BİRİM FİYATLARI(TL)			FATURA BEDELLERİ			
				GÜÇ BEDELİ	DAĞ.BD.	OSB DAĞ. BDL.	GÜÇ BEDELİ	VERİŞ	ÇEKİŞ	TOPLAM(TL)
1 MW GES	1000	80052	1098	0,84223	0,00567	0,00853	842,23	453,89484	9,36594	1305,49078

Şekil 5.20 5 MW GES'e ait 2017 yılı ocak ayı elektrik fatura bilgisi

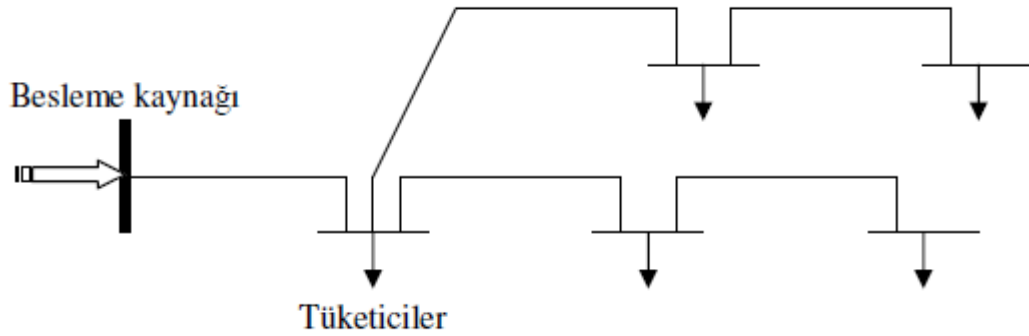
göre genellikle iki şekilde kurulur. Bunlar dallı şebekeler ve ring şebekelerdir [5]. Bu şebeke türlerinin her birinin diğerine göre üstünlükleri ve zayıf yanları vardır.

Dağıtım sistemi planı su koşullar dikkate alınarak hazırlanır:

- Talep tahminleri esas alınarak talebin karşılanması,
- Teknolojik gelişmelere ve talepteki değişimlere karşı esneklik,
- Hizmetin kalitesi,
- Düşük maliyetle yüksek hizmet kalitesinin sağlanması,
- Teknik kayıp, kaçak ve bedelsiz tüketim oranları,
- İletim sistemi yatırım planı ile eşgüdümün sağlanması [6].

vi. *Dallı (Radyal) şebeke:*

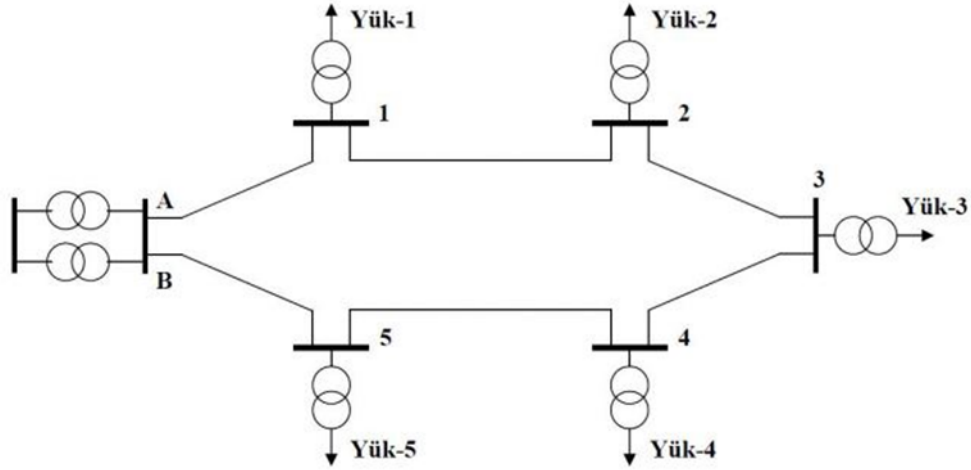
Şekil 6.2’de gösterilen dallı şebekelerin tesisi ve işletmesi kolay olup genellikle gelişime açık olan bölgelerde ve işletmelerde kurulurlar [5]. Bu şebekenin dezavantajı, arızanın meydana geldiği yerden ilerideki bütün tüketicilerde bu arızadan etkilenmesidir. Bu sebepten dallı şebekenin, enerji kalitesinin kesintisiz ulaşımı yönünden yeterince güvenilir olmadığı açıktır. Bu tür şebeke şekli ile beslenen tüketicilerin enerji kalitesini sağlamak için kesintisiz enerji kaynakları veya küçük jeneratörler kullanarak sağlanabilir.



Şekil 6.2 Dallı (radyal) şebeke

vii. *Halka (Ring) şebeke:*

Bu şebeke tipinde tüketiciler dallı şebekedeki gibi tek kaynaktan ancak iki farklı iletim hattından beslenir. Halka (ring) şebekede enerji, daha güvenilir ve kesintisiz bir şekilde iletilmesi sağlanır. Arıza oluşması halinde en yakın baradaki koruma elemanları çalışarak ilgili hattı devre dışı bırakırlar. Bu durumda normalde kapalı olan bir anahtar açılır ve sistem, aynı kaynaktan beslenen iki bağımsız dallı şebeke gibi çalışır [5]. Şekil 6.3’ de halka şebeke görülmektedir.



Şekil 6.3 Halka (ring) şebeke

6.2 Elektrik tesislerinde harmonikler ve kavramlar

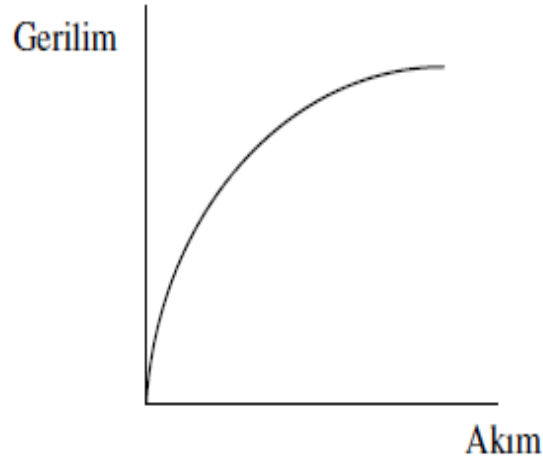
Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği'nde harmoniklerin tanımı şu şekilde verilmektedir: Doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan jeneratörlerden dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biri [6].

Alternatif akım tesislerinde akım ve gerilim dalga formlarının tam sinüs fonksiyonu şeklinde olması arzulanır. Bu dalga şekli koşulu, elektrik enerjisinin kalitesini belirleyen ana faktörlerdendir. Bunun için şebeke sinüzoidal bir kaynakla beslenmeli ve lineer yüklerle yüklenmelidir. Fakat elektrik enerjisi sistemine bağlı bulunan doğrusal olmayan yükler (şekil 4.11), çektikleri doğrusal olmayan akımlar ile akımda harmonikler meydana getirmekte ve bu harmonikli akım ise tüm sistemi dolaştığı için gerilimde de harmoniklerin oluşmasına neden olmaktadır. Harmonikler sistemde kayıplara, arızalara ve rezonans olaylarına neden olmaktadır. Temel frekanstan farklı frekans değerlerine sahip akım ve gerilim sinyallerinin elektrik dağıtım sistemlerinde oluşmasına harmonik bozunuma adı verilir [7].

Sinüs şeklinde olan periyodik gerilim ve akım fonksiyonları zamana bağlı olarak sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

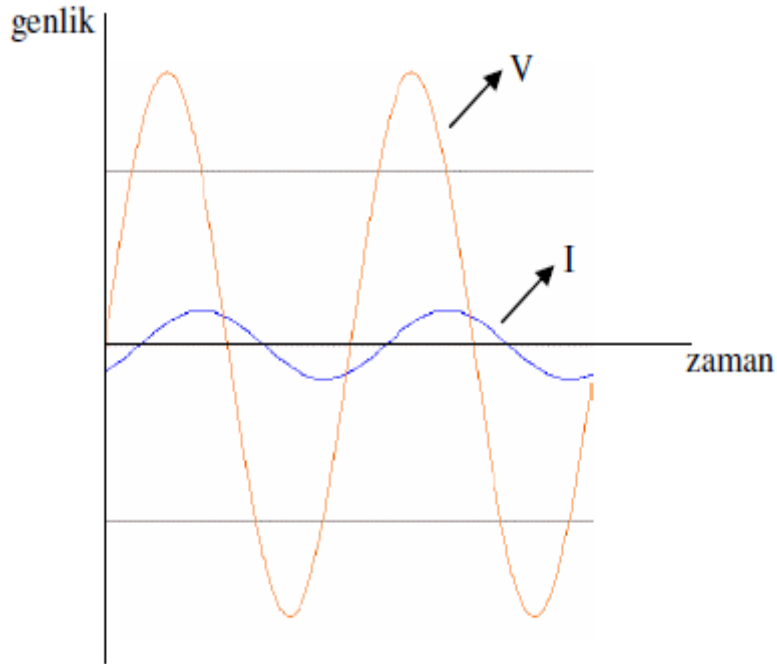
$$v(t) = V \sin(\omega t) \quad (4.14)$$

$$i(t) = I \sin(\omega t \pm \phi) \quad (4.15)$$



Şekil 6.4 Doğrusal olmayan bir elemanın akım-gerilim eğrisi

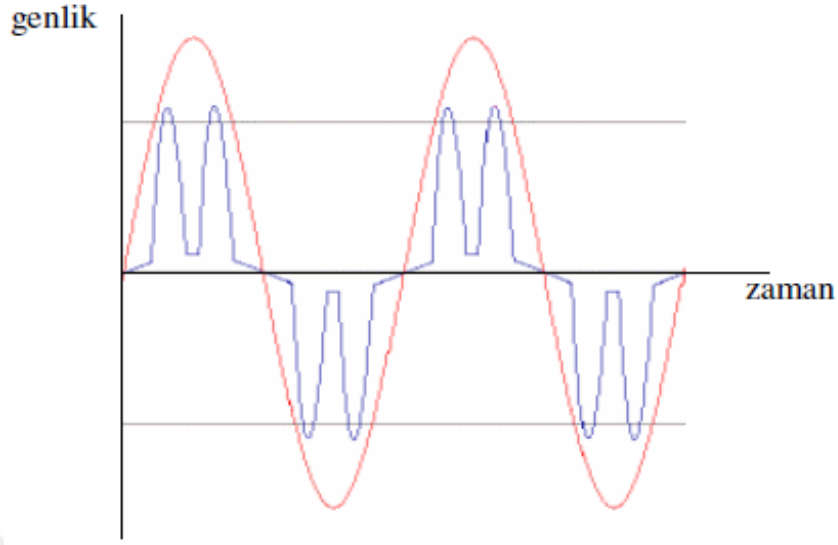
Burada ω , periyodik dalganın açısal hızı, ϕ ise akım ve gerilim dalgalarının arasındaki faz farkıdır. Denklem 4.14 ve 4.15’ de verilen saf sinüs şekilli fonksiyonlar şekil 4.12’deki gibi gösterilebilir.



Şekil 6.5 Sinüs şekilli gerilim ve akım fonksiyonları

Harmonik bozunma sonucunda şekil 4.13’deki gibi ifade edilen bir akım veya gerilim fonksiyonunun şeklinde değişiklikler meydana gelir. Fakat fonksiyon periyodik olma özelliğini kaybetmez.

Fonksiyon denklemi denklem 4.14' deki gibi ifade edilmez. Bu sebepten dolayı Fransız matematikçi Jean Fourier'in bulduğu Fourier serisi açılımını kullanmalıyız.



Şekil 6.6 Harmonikli ve harmoniksiz sinüs eğrileri

Fourier açılımına göre, sinüs şekilli olmayan periyodik bir fonksiyon, ayrı ayrı sinüs fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilebilir. Ani bozulmuş bir dalga, sinüs şekilli bileşenlerinin toplamı olarak yazılabilir.

Denklem 4.14 Fourier serisi ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir [8] :

$$v(t) = V_0 + V_1 \sin(\omega t) + V_2 \sin(2\omega t) + V_3 \sin(3\omega t) + \dots + V_n \sin(n\omega t) + \dots \quad (4.15)$$

Denklem 4.15'te V_0 , dalganın DC bileşeni ve V_1, V_2, \dots, V_n ise denklemde birbirini izleyen bileşenlerin tepe değerleridir. Bu ifadeler periyodik dalganın harmonikleri olarak da anılır. Temel bileşen (veya 1. harmonik) frekansı f ise, 2. Harmoniğin frekansı $2f$, 3. harmoniğin frekansı $3f$ ve n . harmoniğin frekansı ise nf olur [8] .

Harmoniklerle çalışırken frekansların yerine harmonik numaraları üzerinden gitmek bize büyük kolaylıklar sağlayabilir. Çünkü frekans, ülkeye ve yapılan uygulamaya göre değişiklik gösterebilir. Örneğin ABD'nde temel frekans 60 Hz iken Avrupa ülkeleri ve Türkiye'de 50 Hz'tir.

Denklem 4.15' te belirtilen ifade, aşağıdaki gibi daha basit olarak yazılabilir:

$$v(t) = V_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t) \quad (4.16)$$

Denklem 4.16' da a_k ve b_k ile belirtilen katsayılar, her bir harmonik frekansın tepe değerini ifade eder ve $k = 1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır [8] :

$$VHD_v = \frac{V_n}{V_1} a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(t) \cdot \cos(kt) dt \quad (4.17)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(t) \cdot \sin(kt) dt \quad (4.18)$$

Harmonik büyüklüğü sınırlanmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu, gerilim ve akım için sırasıyla;

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (4.19)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (4.20)$$

İfadelerinden yararlanılarak bulunur. Görüldüğü gibi THD, alternatif akım veya gerilimdeki harmoniklerin etkin değerleri kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan ve dalga şeklindeki bozulmayı ifade eden değerdir [6]. Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga şekli için THD sıfırdır. Benzer şekilde n. harmonik mertebesindeki gerilim ve akım için tekil harmonik bozunumları ise sırasıyla şöyle tanımlanır [9]:

$$VHD_v = \frac{V_n}{V_1} \quad (4.21)$$

$$IHD_i = \frac{I_n}{I_1} \quad (4.22)$$

Harmonik bozunumlarını belirlemek için çoğunlukla kullanılan iki yöntem vardır. Bunlardan biri temel frekansın harmonik bozunumunu % 100 olarak kabul eden IEEE standardıdır. Diğer yöntem olan IEC standardında ise dalga şeklinin toplam etkin değeri

dikkate alınır. Harmonik hesaplamalarında bastan sona kadar aynı yöntemi kullanmak şartıyla bu iki yöntemden hangisinin kullanıldığının bir önemi yoktur.

6.3. Enerji Kalitesini Etkileyen Faktörler

6.3.1. Harmonikler

Enerji sistemlerinde harmonikler yeni karşılaşılan bir durum değildir. Özellikle yarı iletken elemanların ve büyük güçlü doğrusal olmayan elemanların kullanımının artması ile dağıtım sistemlerinde karşılaşılan harmonik bileşenlerin hem sayısı hem de büyüklükleri artmıştır.

Bir elektrik dağıtım sisteminin harmonik bileşenlerinin ortaya konması ve analizinin yapılabilmesi için sistemdeki harmonik kaynakları aşağıdaki gibi üç genel gruba ayrılabilir [9]:

➤ Sisteme dağılmış çok sayıda küçük güçlü doğrusal olmayan elemanlar. Bu gruptaki harmonik kaynakları, çoğu alçak gerilim cihazının (televizyon, bilgisayar vb.) besleme kaynağı durumundaki bir fazlı köprü diyotlu doğrultuculardır.

➤ Büyük güçlü, karakteristiği sürekli ancak düzensiz olarak değişen doğrusal olmayan yükler. Bu gruptaki harmonik kaynaklarının başlıca örneği, yüksek gerilimli şebekeye doğrudan bağlanan, ancak gücü MW mertebesinde olan ve genellikle yeterli bir filtre sistemi ile donatılmayan ark fırınlarıdır.

➤ Büyük güçlü statik konvertörler ve enerji sistemlerindeki güç elektroniği devreleri. Bu gruptaki büyük güçlü konvertörlerin ve güç elektroniği devrelerinin gerek kontrol sistemlerinin çok karmaşık olması gerekse güçlerinin büyük olması nedeniyle incelenmeleri zordur. Ayrıca konvertörlerin çalışması sırasında üretilen harmonik bileşenleri güç kaynağını olumsuz etkilemektedir.

Buna göre, elektrik dağıtım sistemlerinde harmoniklere sebep olan doğrusal olmayan elemanlar, şu şekilde sıralanabilir:

- Bilgisayarlar, konvertörler, kontrol devreleri, elektronik balastlar ve kesintisiz güç kaynakları gibi yarı iletken elemanların kullanıldığı cihazlar.
- Jeneratörler, motorlar ve transformatörler gibi demir çekirdeği olan cihazlar.
- Gaz deşarjı prensibiyle çalışan lambalar.
- Anahtarlamalı güç kaynakları.
- Kaynak makineleri, ark fırınları.

Bu harmonik kaynaklarının bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Konvertörler (Kontrollü Doğrultucular):

Enerji sistemlerindeki harmonik kaynaklarından biride, üç ve bir fazlı hat komütasyonlu konvertörlerdir. Doğru gerilimli iletim sistemleri, aküler ve fotovoltaik sistemler, hat komütasyonlu konverterler üzerinden beslenirler. Üç fazlı ideal (dengeli) konvertörler, bir fazlı olanlara göre daha avantajlıdır, çünkü üç fazlı konverterlerde 3 ve 3'ün katı olan harmonikler (3, 9, 15, ...) üretilmez.

Genel olarak konvertörlerin ürettikleri harmonik bileşenler $n = k.p \pm 1$ ile ifade edilir. Burada k 1, 2, 3, ... gibi tamsayıları p ise 6, 12, 18, ... şeklinde darbe sayısını belirtmektedir. Konvertörün darbe sayısı arttıkça düşük dereceli harmonik bileşenlerin ortaya çıkması önlenir.

Transformatörler:

Demir nüvenin mıknatıslanma karakteristiğinin lineer olmamasından kaynaklı, transformatörler ve bobinler gibi demir çekirdeği bulunan sargılar, şebekelerdeki en önemli harmonik üreteçleridir. Bunun sebebi, manyetik devredeki doymadan dolayı, manyetik devreden geçen akım ile oluşan akı arasında lineer bir bağıntı olmamasıdır.

Transformatörler sürekli olarak enerji altında olduklarından sistemde harmonik akımlarının dolaşmasına sebep olarak harmonik bozunumuna yol açarlar.

Jeneratörler:

Sistemdeki en doğal harmonik üretici elemanlar jeneratörlerdir. Senkron jeneratörlerin harmonik üretmesi; çıkık kutbun alan şeklinden, manyetik direncin oluklara bağlı olmasından, ana devrenin doyuma varmasından, kaçak akımlardan ve sık aralıklarla ve simetrik olmayan boşluklarla yerleştirilen sönüm sargılarından kaynaklanmaktadır. Dönen makineler, makine hızının ve endüvi oluk sayısının fonksiyonu olan harmonikleri üretirler. Bunu önlemek için oluk şekli, sargı yapısı, uyarma sargısı ve kutuplar gibi kısımlarda uygun yapısal önlemler alınır ve jeneratör amortisman sargısı ile donatılır. Ayrıca senkron jeneratörlerin oluşturduğu harmonikler, jeneratörün gücü 1 MVA' dan büyük olmadığı sürece dikkate alınmaz.

Gaz Deşarjı Prensibi ile Çalışan Aydınlatma Elemanları:

Tüp içinde bulunan gazın deşarj olması prensibine dayanarak geliştirilen aydınlatma ürünleri (civa buharlı ve sodyum buharlı lambalar, floresan lambalar), nonlinear olmayan akım-gerilim karakteristiğine sahip olduklarından dolayı harmonik üretirler. Bina ve çevre aydınlatmasında sıkça kullanılan bu tip aydınlatma ürünleri tek sayılı harmoniklerin seviyesini ve sistemi önemli ölçüde etkiler.

Statik VAR Kompanzatorler:

Enerji sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonu amacıyla kullanılan tristör kontrollü reaktör içeren statik VAR kompanzatorler, içerdikleri doğrusal olmayan elemanlar nedeniyle doğrusal olmayan uç karakteristiğine sahiptir. Bu sebeple sisteme harmonik bileşenleri verirler.

Bilgisayarlar ve Elektronik Balastlar:

Gün geçtikçe hayatımızın her alanında daha çok kullanım alanı bulan elektronik sanayi, dağıtım şebekelerinde harmoniklerin artmasına sebep olmaktadır. Elektronik cihazlarda kullanılan yarıiletken elemanların akım-gerilim karakteristiklerinin doğrusal olmamasından ötürü harmonik bozulması da söz konusu olmaktadır.

Bilgisayarların doğrusal olmayan yük karakteristikleri, sistemde anormal gerilim düşümleri, nötr iletkeninin aşırı yüklenmesi ve hat gerilim bozunmaları gibi bozucu etkilere neden olabilmektedir.

Aydınlatmada kullanılan elemanlardan elektronik balastlar da önemli birer harmonik üreticisidirler. Filtreli ve filtresiz olarak imal edilen bu balastların filtreli türlerinde harmonik etkinliği yok sayılır. Filtresiz balastlarda ise en çok görülen harmonikler 3., 5., 7. ve 9. bileşenlerdir. Çok sayıda elektronik balastlı aydınlatma armatürü kullanılan tesislerde enerji kalitesini sağlamak için harmonik filtreli kompanzasyon kurulmalıdır.

6.3.2. DC bileşen

DC bileşen, güç elektroniği temelli dönüştürücülerin simetrik olmayan çalışmalarından kaynaklanmaktadır. DC bileşen, transformatörlerde doymaya, topraklama elektrotlarında ve bağlantı elemanlarında elektrolitik aşınmaya neden olmaktadır.

6.3.3. Gerilim dengesizliği

Gerilim dengesizliği, üç fazlı sistemde akım ve gerilimin yüzde olarak ortalamasından maksimum sapmasıdır.

6.3.4. Gerilim dalgalanması

Gerilim dalgalanması, ANSI C84.1 tarafından genliği belirlenen 0.9-1.1 pu değerleri arasındaki gerilim bölgesinde kalan gerilim değişimleridir. Bu gerilim değişimleri sistematik ya da rastgele olabilmektedir.

6.3.5. Elektromanyetik girişim (EMI)

Genliği 100 μ V ile 100 V arasında, frekansı ise 10 kHz ile 1 GHz arasında değişen küçük enerjili bozucu bir dalgadır. Elektromanyetik dalga yayan cihazlardan kaynaklanmaktadır. Bunlar; motor sürücü devreleri, anahtarlamalı dönüştürücüler ve güç kaynaklarıdır.

6.3.6. Geçici olaylar (Transient)

Geçici olaylar, çok kısa (birkaç milisaniye) süren gerilim yapısındaki bozulmalara denir. Şiddetleri yüksektir ve yükselmeleri hızlı olur. Geçici olayların çoğu yıldırımlardan, büyük yüklerden ve reaktif yüklerden dolayı meydana gelmektedir.

6.3.7. Çentik (Notch)

Çentik, güç elektroniği elemanlı dönüştürücülerde akımın bir fazdan diğer faza komutasyonu sırasında güç elemanın ilettime girmedeki gecikmesinden dolayı oluşan anlık kısa devreden kaynaklanmaktadır.

6.3.8. Gürültü

Gürültü, faz iletkenlerini 200kHz'den daha küçük spektral genişliğe sahip işaretler ile yükleyen veya nötr hattında istenmeyen elektriksel işaretlerdir.

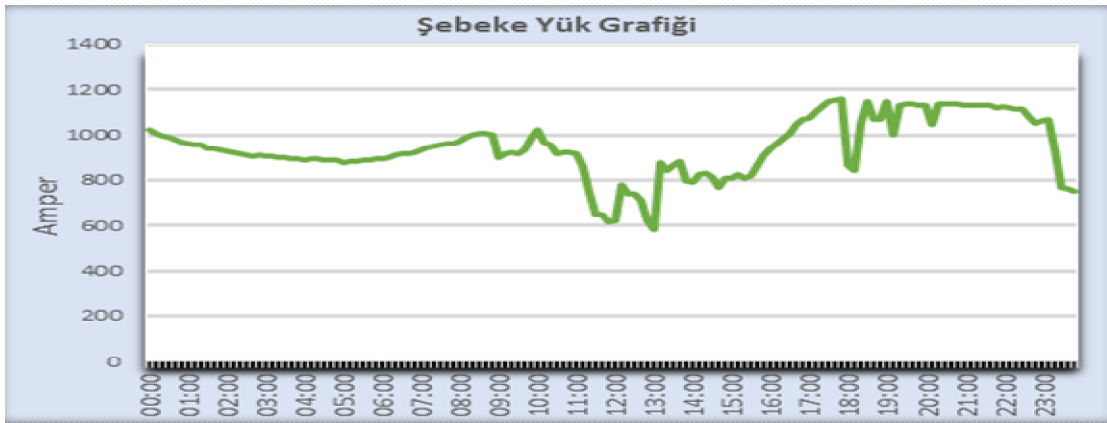
7. ÖLÇÜM NOKTALARI PARAMETRELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ

Bu bölümde, şebekeye bağlı 5 MW'lık GES'in orta gerilim seviyesinden 01.01.2017-31.01.2017 tarihleri arasında alınan veriler değerlendirilmiştir. Değerlendirme, harmonik ve gerilim sapması açısından yapılmıştır. Harmonik ve gerilim sapmasının bir günlük, bir haftalık ve bir aylık grafikleri oluşturulmuştur. Böylece enterkonnekte şebekeye bağlı GES'lerin şebekeyi gerilim sapması ve harmonik açısından nasıl etkilediği incelenmiştir. Çalışmada 3, 5, 7, 11. harmonikler dışında kalan harmonik değerleri çok küçük olduğu için dikkate alınmamıştır.

7.1. Harmonik Ölçümler

7.1.1. Bir günlük harmonik ölçümler

Çalışmanın bu bölümündeki grafikler, GES'ten 16.01.2017 tarihinde onar dakikalık aralıklarla alınan verilerden elde edilen grafiklerdir. Şebekedeki yük akışını gösteren Şekil 7.1 harmonik değişiminin değerlendirilmesine yardımcı olması amacıyla verilmiştir. Şekil 7.1 incelendiğinde sistem akımının öğle 12:00-13:00 arasında en düşük (600 A) değerine düştüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca saat 17:00'dan sonra tüketimin arttığı açıkça görülmektedir.



Şekil 7.1 Şebeke yük grafiği

Şekil 7.2-3-4-5-6' da sırasıyla 3, 5, 7, 11. harmonikler ve THB değerleri görülmektedir. Bu grafiklere göre; 3. harmoniğin gün boyunca, orta gerilim seviyesi için sınır değer olan, %3'ü aşmadığı görülmektedir. 3. harmoniğin, gece saatlerinde en düşük değerlerde iken maksimum değerine öğle saatlerinde ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu

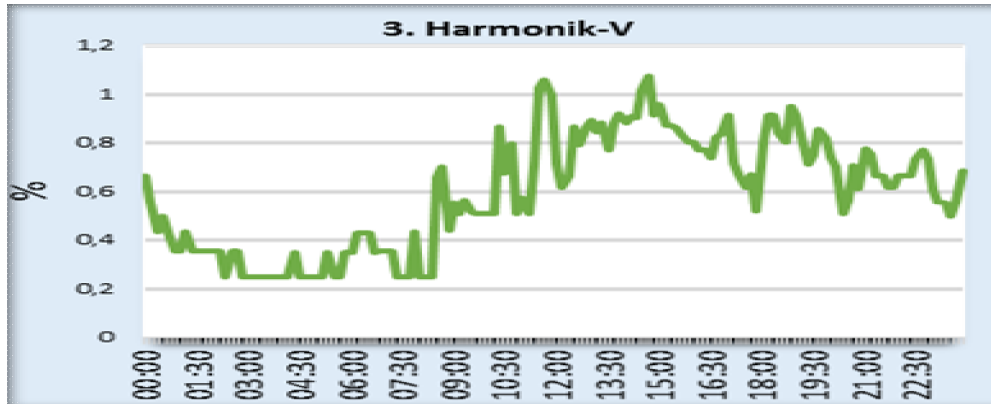
harmoniğin maksimum değerine öğle saatlerinde ulaşmasına GES'in neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü GES en yoğun enerji üretimini o saatlerde yapmaktadır.

5. harmoniğin, gün boyu genel olarak sınır değeri (%3) aştığı görülmektedir. Sadece gündüz 08:00 ile 13:30 arası %3'ün altına düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni Şekil 7.1'teki yük grafiği incelendiğinde anlaşılmaktadır. Yani 5. Harmoniğin sınır değerin altına düştüğü saatler yükün minimum olduğu saatlerdir. Buradan da yükteki azalmanın 5. Harmonikteki azalmaya neden olduğu anlaşılmaktadır.

7. harmoniğin ise; GES'in devrede olmadığı saatlerde (18:00-07:00) %0,5 gibi küçük değerlerde seyrettiği gün içinde, GES'in devrede olduğu saatlerde, ise %2'lere kadar ulaştığı ama sınır değeri geçmediği görülmektedir.

11. harmoniğin 5. Harmoniğe paralel bir eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu harmonik maksimum %1'lik bir değere ulaştığı için sınır değerlerde kalmıştır.

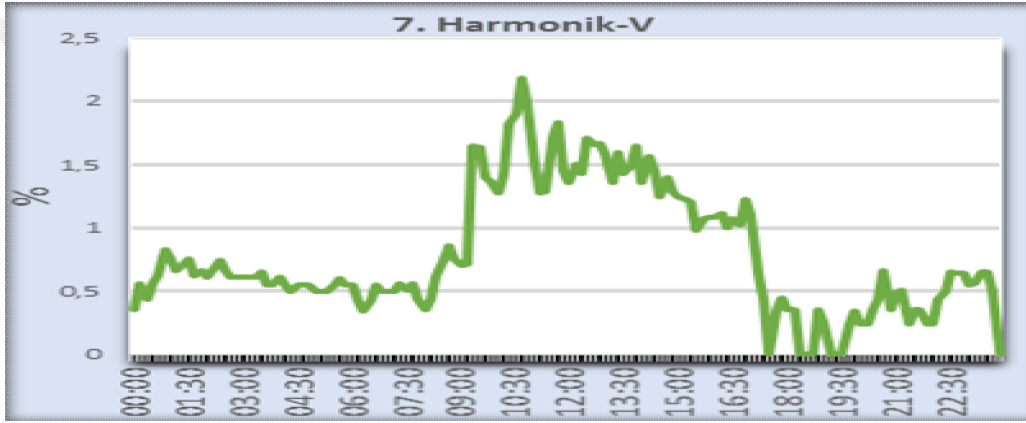
THB'ye ait grafik incelendiğinde; gün içinde genel olarak %3-%4 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Sistemde 5. Harmonik baskın olduğu için 5. Harmonikte olduğu gibi 08:00-13:30 arası THB'de de bir düşüş söz konusudur. Ancak THB orta gerilim için sınır değer olan %5'i geçmemiştir.



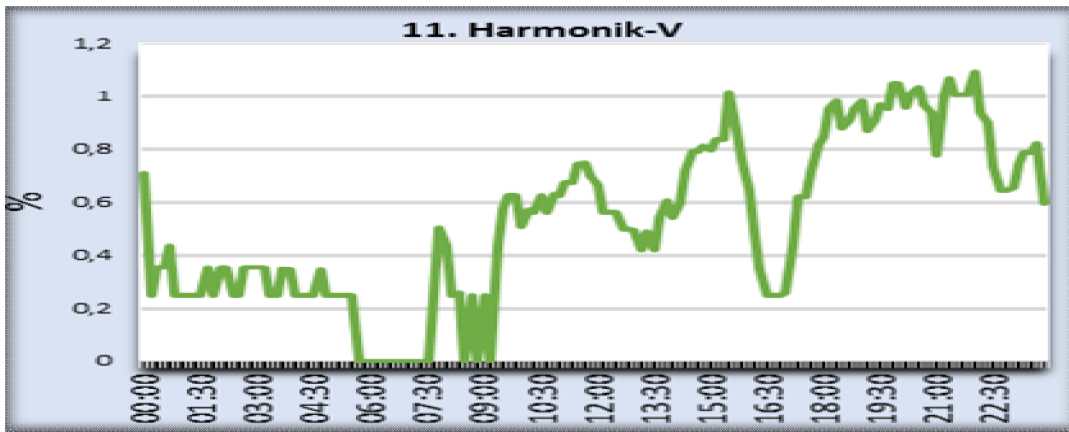
Şekil 7.2 3. harmoniğin günlük ölçüm değerleri



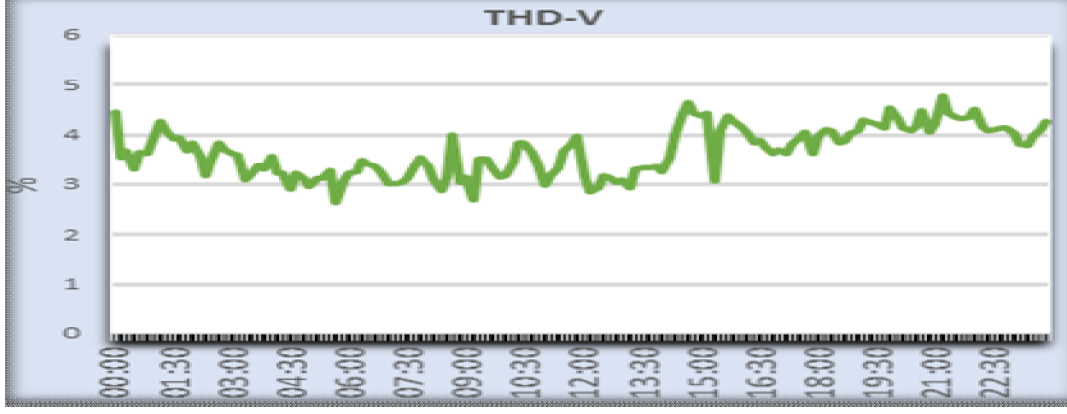
Şekil 7.3 5. harmoniğin günlük ölçüm değerleri



Şekil 7.4 7.harmoniğin günlük ölçüm değerleri



Şekil 7.5 11.harmoniğin günlük ölçüm değerleri



Şekil 7.6 Günlük toplam harmonik değişimi

7.1.2. Bir haftalık harmonik ölçümler

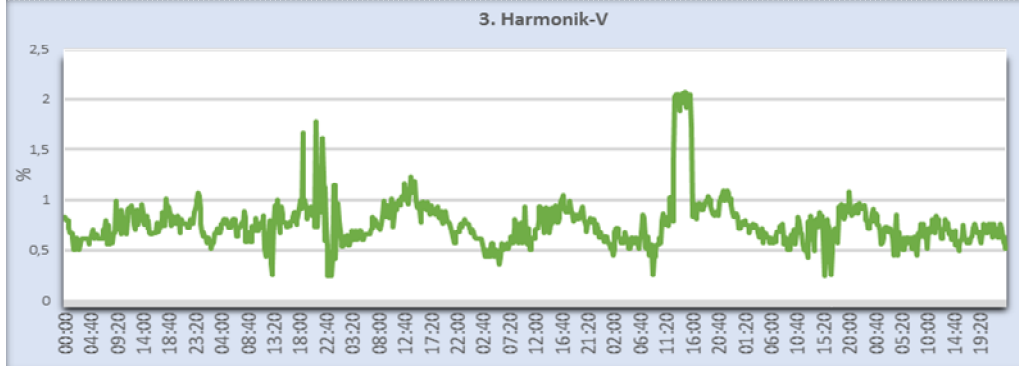
Bu bölümünde şebekeden 01.01.2017-07.01.2017 tarihleri arasında alınan bir haftalık verilerden elde edilen grafikler değerlendirilmiştir. Şekil 7.7-8-9-10-11'de sırasıyla 3, 5, 7, 11. harmonikler ve THB değerleri görülmektedir. 3. harmoniğe ait grafiğe bakıldığında; 3. Harmonik bazı ani iniş çıkışların dışında genel olarak %0,5-%1 arasında değişmektedir. Dolayısıyla 3. Harmonik bir haftalık ölçümler için de standartları sağlamaktadır. Bir günlük ölçümlerde de görüldüğü gibi bir haftalık ölçümlerde de 3. Harmoniğin GES'in devrede olduğu saatlerde (07:30-18:00) artış eğilimi gösterdiği 3. Harmonik grafiğinden anlaşılmaktadır.

Bir haftalık ölçümler için 5. Harmonik grafiği incelendiğinde; 5. Harmoniğin orta gerilim için sınır değeri olan %3'lük değeri birçok kere aştığı görülmektedir. Bir günlük ölçümlerde olduğu gibi şebeke akımının azaldığı zamanlarda 5. Harmoniğin de azalma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. 5.harmoniğin standartlarda belirtilen, bir haftalık ölçümlerin %95'inin sınır değeri aşmama, şartını sağlamadığı grafikten anlaşılmaktadır. Bazı günlerde 5. Harmoniğin %8, %7 gibi değerlere ulaştığı görülmektedir.

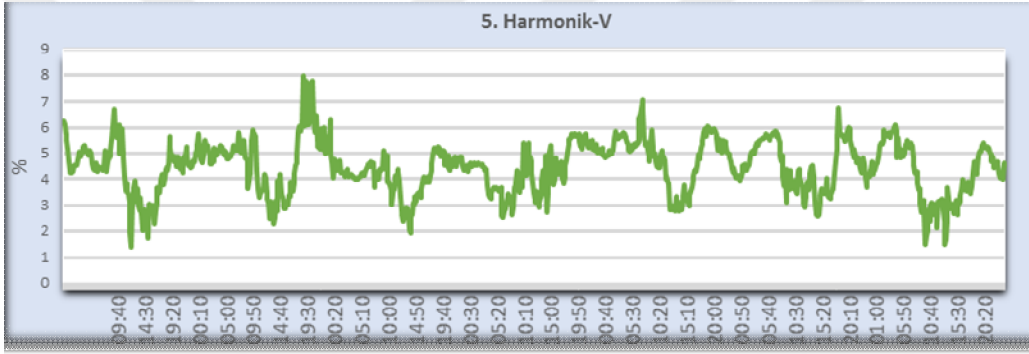
Bir haftalık 7. Harmonik grafiği incelendiğinde; 3. Harmonikte olduğu gibi 7. Harmoniğin de GES'in devrede olduğu saatlerde yükseliş gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak 7. Harmoniğin standartlarda tanımlanan sınır değeri olan %3'ü hiçbir zaman aşmadığı görülmektedir. 7. Harmoniğin bir haftalık periyot içinde maksimum %2,5'lik değere ulaştığı gözlemlenmektedir.

11. harmoniğe ait bir haftalık grafiğe bakıldığında; GES ile alakalı bir artış azalış ilişkisi görülmemektedir ve 11. Harmoniğin bir hafta boyunca standartlarda tanımlanan sınır değerler içinde kaldığı gözlemlenmektedir.

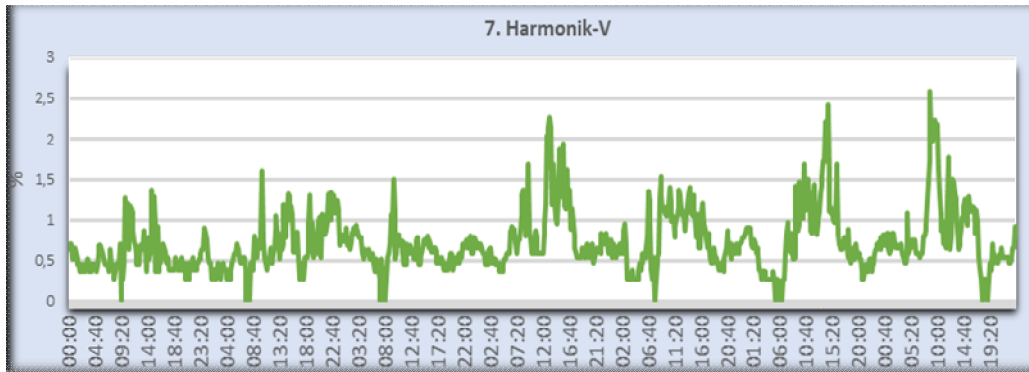
THB'ye ait bir haftalık grafik ele alındığında; 5. harmoniğe paralel olarak THB'nin de sınır değerin (%5) dışına çıktığı görülmektedir.



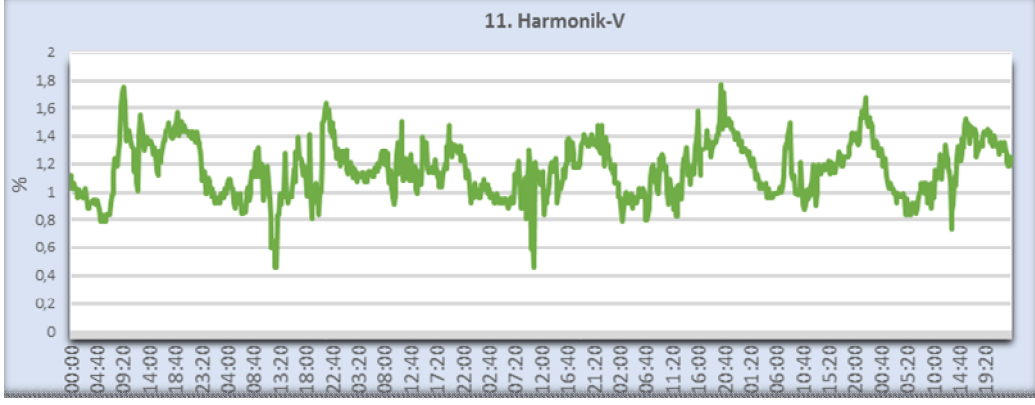
Şekil 7.7 3. harmoniğin haftalık ölçüm değerleri



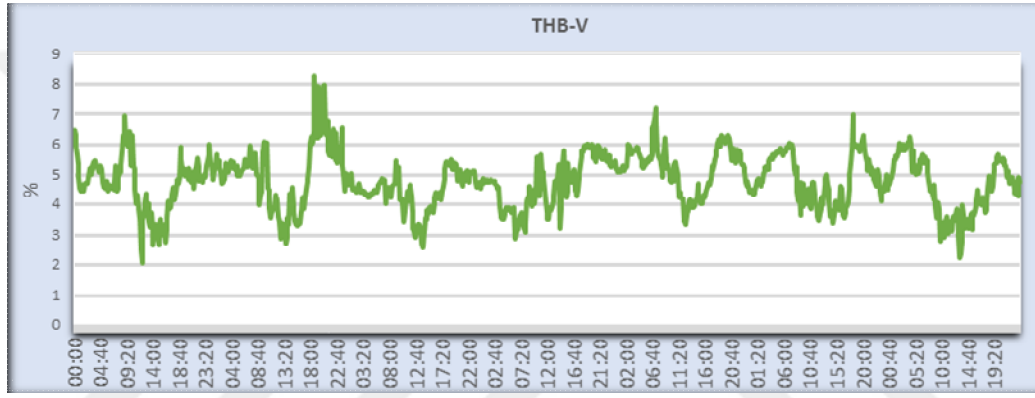
Şekil 7.8 5. harmoniğin haftalık ölçüm değerleri



Şekil 7.9 7. harmoniğin haftalık ölçüm değerleri



Şekil 7.10 11.harmoniğin haftalık ölçüm değerleri



Şekil 7.11 Toplam harmonik bozunumu haftalık ölçüm değerleri

7.1.3. Bir aylık harmonik ölçümler

Bu bölümünde şebekeden 01.01.2017-31.01.2017 tarihleri arasında alınan bir aylık verilerden elde edilen grafikler değerlendirilmiştir. Şekil-7.12-13-14-15-16'da sırasıyla 3, 5, 7, 11. harmonikler ve THB değerleri görülmektedir.

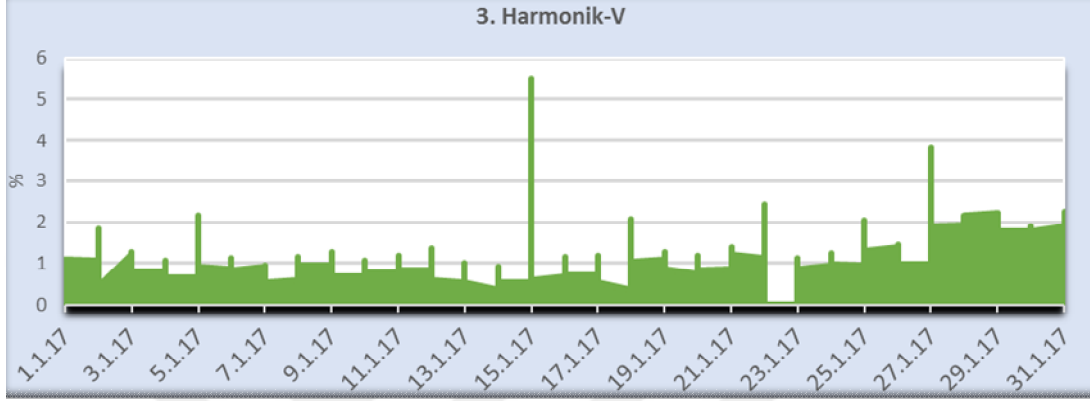
3. harmonik için oluşturulan alan grafiğinden; 30 gün boyunca 3. Harmoniğin sadece 2 defa sınır değeri geçtiği anlaşılmaktadır. Genel olarak 3. Harmoniğin bir ay boyunca %1 civarında olduğu ancak bazı günlerde %2 seviyelerinde seyrettiği anlaşılmaktadır.

5. harmoniğin ise genel olarak %5 seviyelerinde seyrettiği anlaşılmaktadır. Bu durumda 5. Harmoniğin standart değeri (%3) geçtiği gözlemlenmektedir.

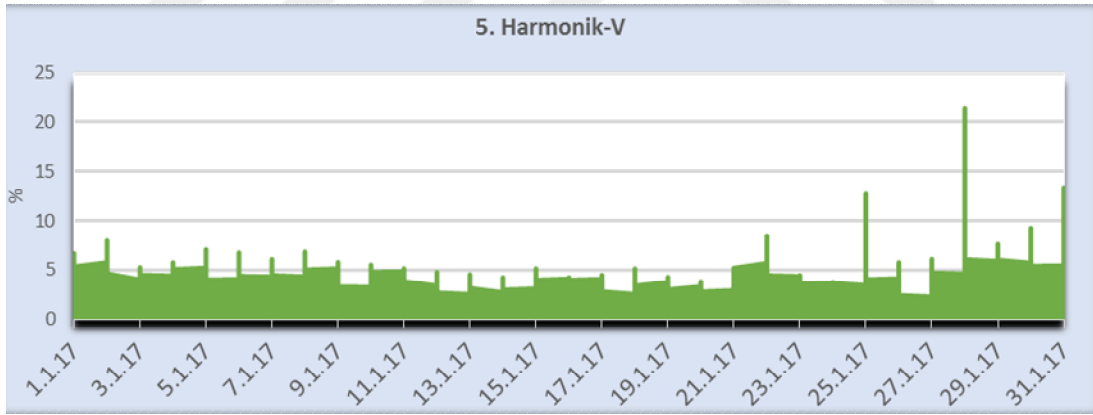
7. harmonik grafiğinden; bu harmoniğin genel olarak %1'in altında olduğu ancak bazı günlerde %2'lere kadar yükseldiği anlaşılmaktadır ve çok nadir de olsa %3'lük sınır değeri aştığı görülmektedir. Ama bu sınır aşmaları çok kısa süreli olduğundan 7. Harmoniğin standartlara uygunluğuna etki etmemektedir.

11. harmoniğin genel olarak bir ay boyunca %1-%1,5 aralığında, standartlara uygun olduğu grafikten anlaşılmaktadır.

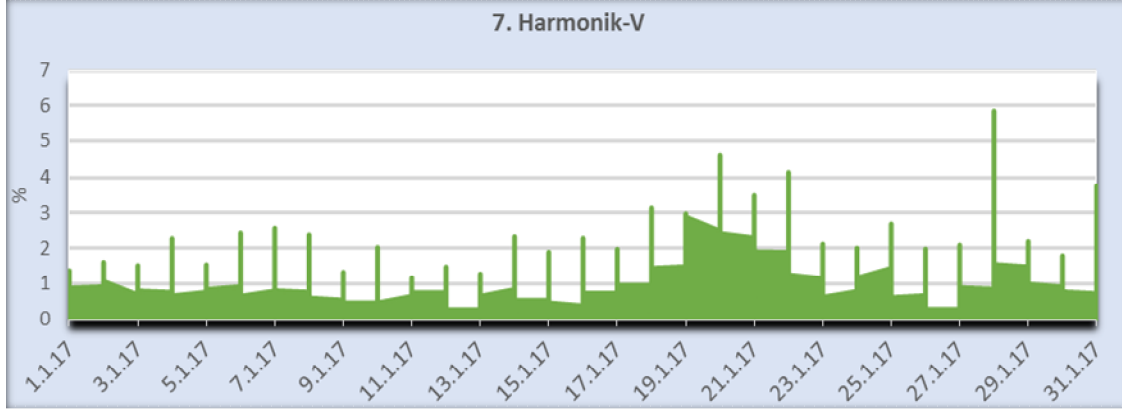
Bir aylık THB değerine gelindiğinde; bu parametrenin genel olarak %5'in üstünde olduğu hatta bazı günlerde çok kısa süreliğine %13, %23 gibi değerlere kadar yükseldiği anlaşılmaktadır. Bu da THB'nin standartlara uygun olmadığını göstermektedir.



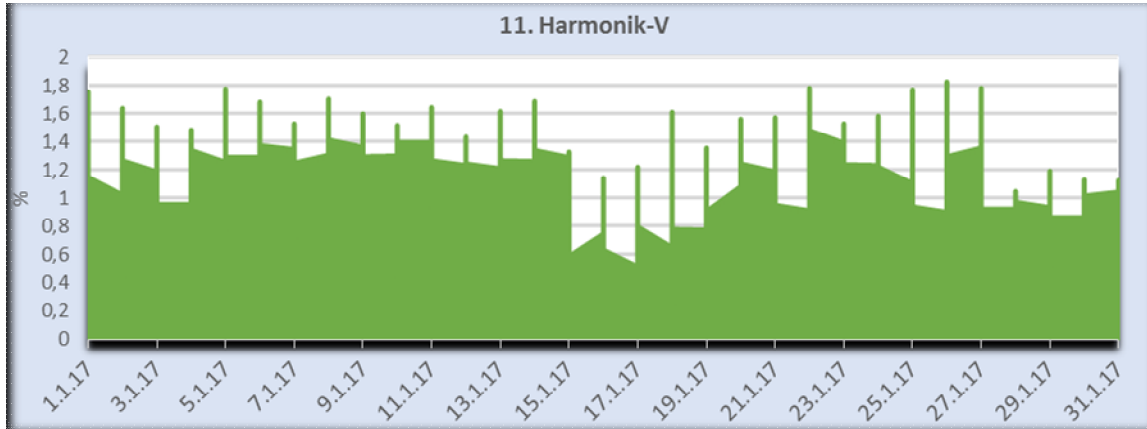
Şekil 7.12 3.harmoniğin aylık ölçüm değerleri



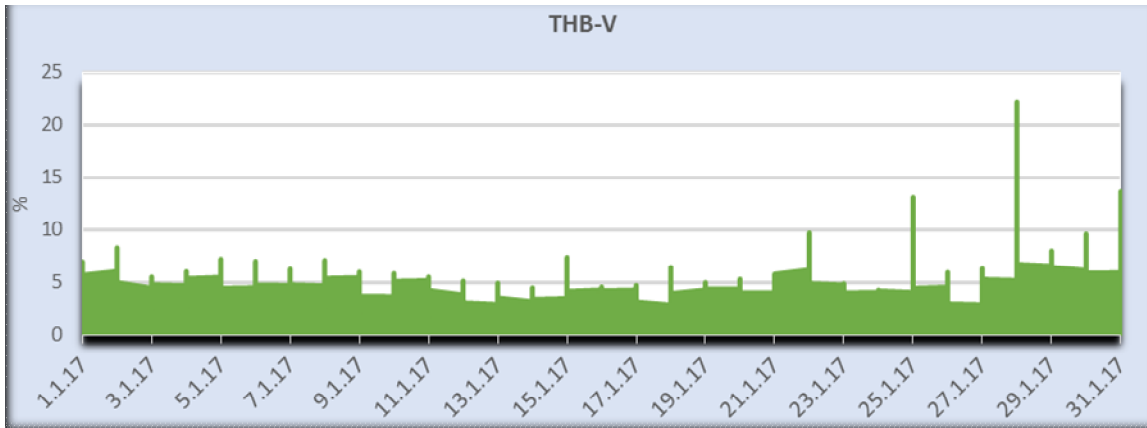
Şekil 7.13 5.harmoniğin aylık ölçüm değerleri



Şekil 7.14 7.harmoniğin aylık ölçüm değerleri



Şekil 7.15 11.harmoniğin aylık ölçüm değerleri

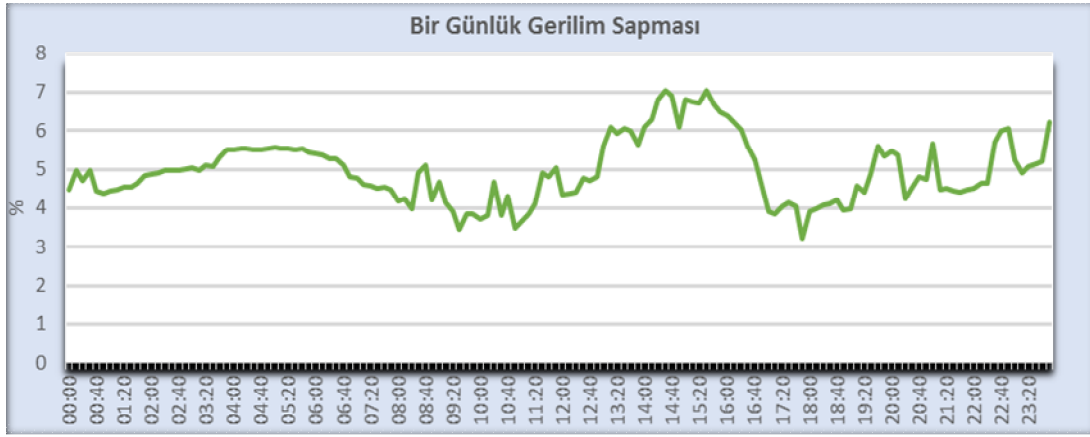


Şekil 7.16 Toplam harmonik bozunumu aylık ölçüm değerleri

7.2. Gerilim Sapması Ölçümleri

Bu bölümde şebeke geriliminde meydana gelen sapsmaları görmek için bir günlük, bir haftalık ve bir aylık ölçümlerden elde edilen üç ayrı grafik olan Şekil 7.17-18-19'da incelenmiştir.

Bir günlük grafikten; GES'in devreye girerken ve devreden çıkarken sistem geriliminde %1'lik bir değişime neden olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla GES'in sistemde yapmasına müsaade edilen %3'lük değişimi aşmayarak sınır değerlerde kaldığı görülmektedir ve şebekenin de şebeke için sınır değer olan %10'luk sapsmayı aşmadığı anlaşılmaktadır. Bir haftalık ve bir aylık grafiklere bakıldığında; sistem geriliminin kısa süreli gerilim çökmesi hariç sınır değer (%10) altında kaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 7.17 Bir günlük gerilim sapsması ölçüm değerleri



Şekil 7.18 Bir haftalık gerilim sapsması ölçüm değerleri



Şekil 7.19 Bir aylık gerilim sapması ölçüm değerleri



8. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, enterkonnekte sisteme bağlı 5 MW'lık bir GES'in orta gerilim seviyesinden şebekeye bağlanmasıyla şebeke harmoniği ve gerilim sapmasını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Araştırma kapsamında GES'in şebekeye bağlandığı noktadan 01.01.2017-31.01.2017 tarihleri arasında elektriksel veriler alınmıştır. Alınan bu verilerden bir günlük, bir haftalık ve bir aylık harmonik ve gerilim sapması grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu grafiklerin yorumlanması ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

➤ Bir günlük grafiklerin incelenmesi sonucunda; 3, 7 ve 11. Harmoniklerin gün boyu standartlardaki sınır değerlere uygun olduğu anlaşılmıştır. 3 ve 7. Harmoniklerin, gece saatlerinde en düşük değerlerde iken gündüz saatlerinde (GES'in devrede olduğu saatler) maksimum değerlerini gösterdiği anlaşılmıştır. 5. harmoniğin ise genel olarak sınır değeri aştığı; ancak sistemde yükün azaldığı zaman aralığı olan 08:00-13:30 arasında en düşük değerini aldığı görülmüştür. THB'nin gün boyu sınır değer olan %5'in altında olduğu gözlemlenmiştir.

➤ Bir haftalık grafiklerin incelenmesi sonucunda; 3, 7 ve 11. Harmoniklerin hafta boyu standartlarda tanımlanan sınır değerlere uygun olduğu anlaşılmıştır. 3 ve 7. Harmoniklerin hafta boyu gündüz saatlerinde (GES'in devrede olduğu saatler) en yüksek değerleri gösterdiği görülmüştür. 5. harmoniğin hafta boyu genel olarak sınır değerleri aşarak standartlara uymadığı gözlemlenmiştir. THB'nin ise 5. harmoniğe paralel olarak hafta boyu genel olarak sınır değerleri aştığı görülmüştür.

➤ Bir aylık grafiklerin incelenmesi sonucunda; haftalık grafiklerle paralel sonuçlar gösterdiği anlaşılmıştır.

➤ Şebeke gerilim sapmasının standartlarda tanımlanan sınır değerlerde kaldığı anlaşılmıştır. GES, gerilim sapmasını devreye girerken ve devreden çıkarken %1'lik sapmaya uğratmıştır; ama standartlar (%3) dahilinde kalmıştır.

➤ Çalışmanın nihayetinde; GES'lerin 3 ve 7. Harmonikler üzerinde etkili olduğu; ancak bu harmoniklerin sınır değerleri aşmasına neden olacak kadar etkilemediği anlaşılmıştır. İncelenen şebekenin ise; 5. Harmonik ve THB açısından standartlara uygun olmadığı ve aktif filtreleme yönteminin yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Gerilim sapması açısından ise şebekenin ve GES'in standartları sağladığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Özkaya, M., Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, Yedinci baskı, 27-39 s. (1998).
- [2] Çağlar, M., “Dünya ve Türkiye’de Enerji Verimliliği’ ne Bakışımız”, İTÜ Enerji Çalıştayı, İstanbul 34-37 (2007).
- [3] Elektrik Dağıtım Ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, Resmi Gazete, 21 Aralık 2012 tarih ve 28504 sayılı (2012).
- [4] Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Seta Raporu Sayı: 197 (2017)
- [5] Küçük, S., Enerji Dağıtım Çözümlü Problemler, TÜPRAS Yayınları, Kocaeli (2003).
- [6] Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, EPDK, Ankara (2003).
- [7] Dugan, R., McGranaghan, M., Santoso, S., Beaty, W., Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill, New York (2002).
- [8] Sankaran, C., Power Quality, CRC Press, New York (2002).
- [9] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O., Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul (2003).
- [10] TSE TS EN 50160 Standardı – Ankara (2011).
- [11] www.yegm.gov.tr (Erişim Tarihi: 02.04.2018)
- [12] Keçecioğlu, Ö.F., Tekin, M., Gani, A., Açıkgöz, H., Gemci, A., & Şekkeli, M. “Bir Güneş Enerji Santralinin Elektrik Şebekesindeki Güç Kalitesi Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi,” *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 18, no. 2, pp. 17–0, Dec. 2015.
- [13] Tekin, M., Keçecioğlu, Ö. F., Yıldız, C., Gani, A., Açıkgöz, H., Kesenek, M., & Şekkeli, M. Investigation of The Effects of Renewable Energy Sources on Interconnection Network. Presented at the 2nd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, 2017.
- [14] Tekin, M., Keçecioğlu, Ö. F., Gani, A., Açıkgöz, H., Yıldız, C., & Şekkeli, M. Kahramanmaraş’ın Geleneksel ve Yenilenebilir Kaynaklı Elektrik Üretiminde Türkiye deki Rolü. Presented at the 10th International Clean Energy Symposium, 2016.
- [15] Tekin, M., Keçecioğlu, Ö. F., Yıldız, C., Karadöl, İ., Gani, A., & Şekkeli, M. Modeling The Solar Power Plants in Terms of Effects Over The Electricity Network. Presented at the 4 th International Conference Computational and Experimental Science and Engineering, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mustafa KESENEK
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.08.1987, Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (344) 300 12 98
Faks : 0 (344) 300 12 56
e-posta : mustafa.kesenek@tedas.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ /Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2017
Lisans	KSÜ./ Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2010
Lise	Kahramanmaraş Lisesi	2004

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2012	MET Enerji Üretim Anonim Şirketi	Koordinatör Mühendis
2012-2014	Akedaş Yatırım Planlama ve Proje Tesis Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi
2014-2016	TEDAŞ Genel Müdürlüğü Akedaş Bölge Koordinatörlüğü	Elektrik Mühendisi
2016	TEDAŞ Genel Müdürlüğü Akedaş Bölge Koordinatörlüğü	Bölge Koordinatörü
2016	TEDAŞ Genel Müdürlüğü Göksu Bölge Müdürlüğü	Bölge Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Tekin, M., Keçecioğlu, Ö. F., Yıldız, C., Gani, A., Açıkgöz, H., Kesenek, M., & Şekkeli, M. (2017). Investigation of The Effects of Renewable Energy Sources on Interconnection Networks. *Pressacademia*, 5(1), 410–419.

Hobiler

Mühendislik bilimleri, Basketbol, Yüzme, Futbol, Masa tenisi, Kitap okuma