

TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN GÜÇ KALİTESİNE ETKİSİ

Bilal ŞİMŞEK

GES Proje Müdürü

TEDAŞ Genel Müdürlüğü, Ankara, TÜRKİYE

e-posta: bilal.simsek@tedas.gov.tr

Dr. Erdal BİZKEVELCİ

Alstom Renewable Power, Ankara, TÜRKİYE

e-posta: erdal.bizkevelci@gmail.com

ÖZET

Alçak ve orta gerilim seviyesinden sisteme bağlanmakta olan Dağıtık Enerji Santrallerinin (DES) sayısının hızla artmasıyla güç dağıtım sistemleri çift yönlü enerji akışına açık hale gelmiş, dağıtım sistemindeki gücün kalitesi sadece tüketimden değil üretimden de etkilenmeye başlamıştır. Merkezi elektrik santrallerinde güç kalitesi problemlerini denetlemek için gerekli bütçe santral maliyetine oranla küçüktür. Öte yandan iletim sistemi, merkezi santraller ve tüketici arasında bir tampon bölge görevi yaptığından problemleri çözmek için ilave bir alan sağlar. Küçük güçlü ve küçük bütçeli DES'lerde ise santral maliyeti düşük olduğu için güç kalitesi ölçüm ve takip sisteminin oransal maliyeti çok yüksektir. Bu nedenle DES'lerin olası güç kalitesine olumsuz etkileri henüz kurulum aşamasında öngörülmeli ve önlenmelidir. Kaynak ile tüketici arasındaki son bağlantı katmanını teşkil eden elektrik dağıtım sisteminde oluşacak güç kalitesi problemleri son kullanıcıyı doğrudan etkileyeceğinden, dağıtım sistemi işletmecilerine ve DES sahiplerine büyük sorumluluk düşmektedir.

Bu çalışmada, "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin" yürürlüğe girmesiyle önü açılan "Dağıtık Enerji Santralleri" nin olası güç kalitesi problemleri ve şebeke üzerindeki etkileri incelenecektir. Bu inceleme yapılırken Türkiye'de en hızlı yayılıma sahip olan GES'ler ön planda tutulacak ve bağlantı kapasitesinin artırılmasının ne şekilde mümkün olacağı sorgulanacaktır.

Çalışmanın giriş kısmında Türkiye'de lisanssız elektrik sektörünü domine eden lisanssız GES lerin son durumu, kurulu güçleri ve coğrafi dağılımları incelenerek genel bir durum değerlendirmesi yapılacaktır. İkinci kısımda ise yüksek oranlı bir PV yayılımının önündeki en büyük engel olan güç kalitesi problemleri ele alınacaktır. Son bölümde ise GES'lerin güç kalitesi performansının en önemli aktörü olan eviricilerin rolü vurgulanarak bu alanda kullanılacak uluslararası standartlardan bahsedilecektir.

Anahtar kelimeler — Dağıtık enerji santralleri, yenilenebilir enerji, fotovoltaik güneş elektrik santralleri, güç kalitesi, dağıtık enerji santrallerinin sisteme entegrasyonu, PV evirici.

1. GİRİŞ

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim içerisindeki payının 2023 yılında en az % 30 düzeyinde olması hedeflenmiştir [1]. Avrupa Birliği ülkelerinin hedefi ise 2020'de % 20 yenilenebilir enerji üretimidir [2], [3]. Bu hedefe ulaşmakta dağıtık ve yenilenebilir kaynaklı enerji santrallerinin tabana yayılması büyük önem

taşımaktadır. Bu şekilde fosil yakıtlara ve dış kaynaklara bağımlılık azalacağı gibi, iletim ve dağıtım kayıpları da en aza indirgenecektir. Türkiye'de [6] ve [7]'nin yürürlüğe girmesiyle başlayan ve Eylül 2015 itibarıyla 175 MW'a ulaşan GES'lerin hızlı yükselişi bu anlamda ümit vericidir. Ancak 72 GW olan toplam Türkiye kurulu gücü içerisindeki GES payının % 0.25 olduğu göz önüne alınırsa, sürecin daha da hızlanmasının ve GES'lerin

önündeki teknik bariyerlerin mühendislik çözümleri ile azaltılmasının zorunlu olduğu sonucuna varılır. Bu çalışmada önce lisanssız enerji santrallerinin Türkiye'deki son durumu ve coğrafi dağılımı incelenerek konunun ölçeği tespit edilecektir. Daha sonra yüksek oranlı bir PV yayılımının önündeki en büyük engel olan güç kalitesi problemleri ele alınarak lisanssız GES'lerin dağıtım sistemi güç kalitesi üzerine etkileri ve performans sınır koşulları ele alınacaktır. Son bölümde ise GES'lerin güç kalitesi performansının baş aktörü olan DC/AC eviricilerin performans kriterleri ilgili standartlar ışığında incelenecek ve dünyadaki diğer ülkelerdeki uygulamalara değinilecektir.

2. TÜRKİYE'DE LİSANSIZ ELEKTRİK ÜRETİMİ

Kaynağı ne olursa olsun, elektrik sistemine dağıtım sisteminden bağlanan küçük güçlü santraller "Dağıtık Enerji Santralleri (Distributed Generation veya Dispersed Generation)" (DES) olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de 1 MW'tan küçük ve yenilenebilir kaynaklı santrallerin lisanssız olarak üretim yapma hakkı nedeniyle DES'ler genellikle "Lisanssız Elektrik Santrali (LES)" olarak kurulmaktadır. Kaynaklarına ve güçlerine göre santrallerin DES ve LES sınıflandırmaları [4]'de verilmiştir.

Tablo 1'de TEİAŞ verilerine dayanarak Ağustos 2015 itibarıyla Türkiye kurulu gücü

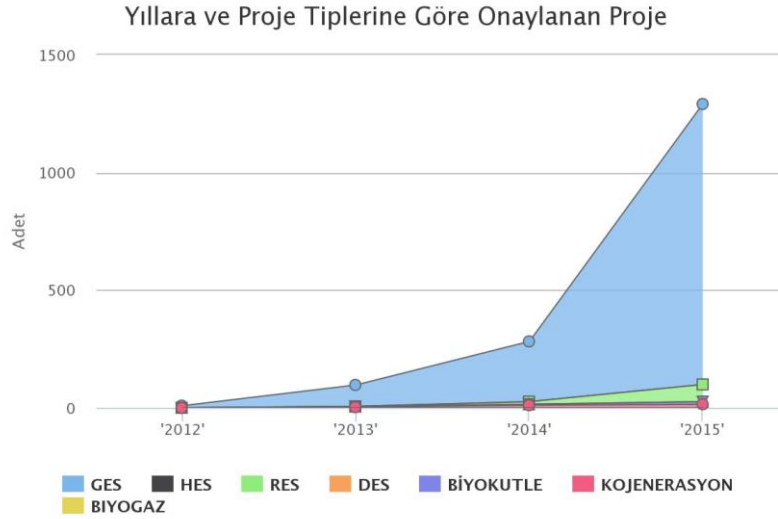
ve bu gücün santral kaynaklarına dağılımı verilmiştir [5]. Bu tablodan görüldüğü üzere Türkiye'de GES oranı halen % 0.2 seviyesindedir ve çok düşüktür. Şekil 1'de ise onaya sunulan lisanssız GES projelerinin yıllara göre artışı görülmektedir. Henüz değer olarak istenen orana sahip olmasa da bu artış hızı ümit vericidir. Tablo 2'de devreye alınan LES'lerin içerisinde GES'lerin % 81 gibi yüksek bir oranına sahip olduğu görülmektedir. Eylül 2015 itibarıyla Türkiye'de Lisanslı GES'lerin henüz devreye girmediği düşünülürse, toplam GES kurulu gücünün 175 MW olduğu söylenebilir. Projesi onaylanan ve yapım aşamasında olan GES'lerin toplam gücü ise 1.25 GW'tır. Bu durumda 2016 yılında Türkiye GES kurulu gücünün GW mertebesine ulaşacağı öngörülebilir.

Tablo 1 ve Tablo 2'deki veriler ışığında kurulu güç açısından Lisanssız Enerji Santralleri (LES) içerisinde ilk sırada yer alan GES'lerin sistem üzerindeki etkilerinin daha baskın olacağı görülmektedir. Bu nedenle çalışmada LES'lerin dağıtım sistemi güç kalitesi üzerindeki etkileri incelenirken özellikle GES'lere odaklanılmıştır. GES'lerin sayıca ve kapasite olarak yoğunlaştığı bölgelerde güç kalitesi üzerine etkileri daha belirgin olacağından ilk olarak GES'lerin Türkiye'deki dağılımı detaylı bir şekilde incelenecektir.

Tablo 1 Türkiye kurulu gücünün santral kaynaklarına dağılımı (Ağustos 2015)

<i>Yakıt Cinsleri</i>	<i>Kurulu Güç (MW)</i>	<i>Katkı %</i>	<i>Santral Sayısı</i>
<i>Fuel-Oil + Asfaltit + Nafta + Motorin</i>	766.3	1.1	16
<i>Taş Kömürü + Linyit</i>	8,729.4	12.1	25
<i>İthal Kömür</i>	6,064.2	8.4	8
<i>Doğalgaz + LNG</i>	21,511.3	29.9	235
<i>Yenilen. + Atık + Atık Isı + Piroolitik Yağ</i>	317.0	0.4	65
<i>Çok Yakıtlılar Katı + Sıvı</i>	657.8	0.9	7
<i>Çok Yakıtlılar Sıvı + D.Gaz</i>	3,883.8	5.4	38
<i>Jeotermal</i>	523.6	0.7	16
<i>Hidrolik (Barajlı)</i>	17,971.5	25.0	88
<i>Hidrolik (Akarsu)</i>	7,226.1	10.1	449
<i>Rüzgar</i>	4,052.4	5.6	103
<i>Güneş (Lisanssız)</i>	155.0*	0.2	252*
<i>Toplam</i>	71,858.5	100.0	1,302

* Eylül 2015 itibarıyla lisanssız GES kurulu gücü 175 MW'a sayısı ise 273'e ulaşmıştır.

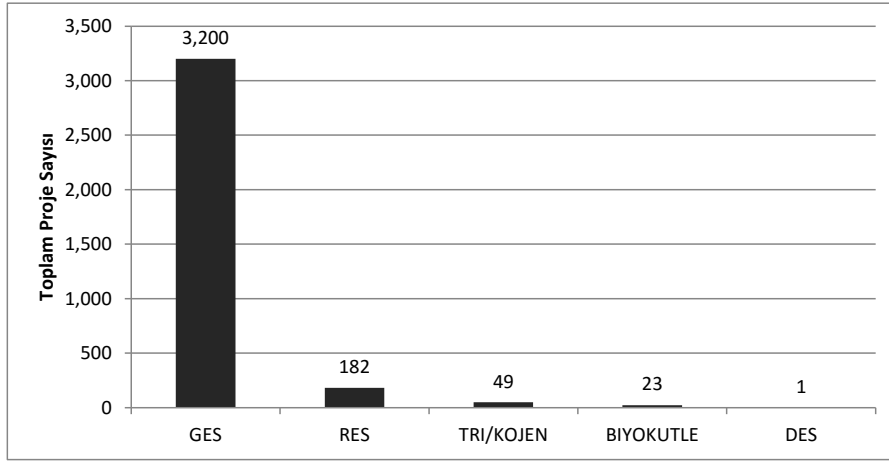


Şekil 1 Onaya sunulan projelerin enerji kaynaklarına göre yıllara dağılımı

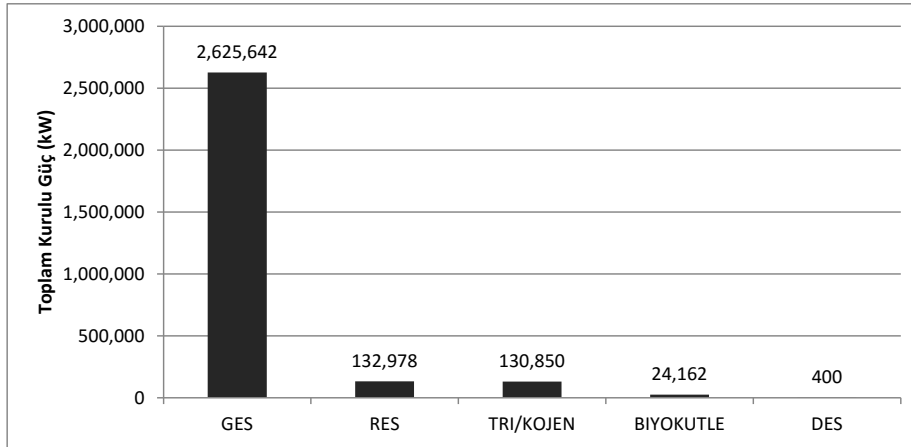
Halen faaliyette olan GES'lerin toplam kurulu güç ve sayısı Tablo 2'de verilmiştir. Ağustos 2012'de başlayan LES kurulum sürecinde onaya sunulan projelerin enerji kaynaklarına göre dağılımı Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Dağılımlar incelendiğinde, GES'lerin Lisanssız Elektrik Santralleri içerisinde hem sayı (% 93) hem de güç açısından (% 90) oldukça baskın olduğu görülmektedir (Tablo 3, Tablo 4). Tablo 5'de Türkiye genelinde onaylanan LES projelerinin enerji kaynaklarına göre dağılımı sunulmuştur. LES'ler içerisindeki yüksek oranına rağmen devreye alınmış olan 175 MW gücündeki GES, 72,000 MW olan Türkiye kurulu gücünün yalnızca % 0.25'ini oluşturmaktadır.

Tablo 2 Eylül 2015 itibarıyla devreye alınan GES'lerin toplam LES'lere oranı

	<i>Adet</i>	<i>Güç (kW)</i>	<i>Güç (%)</i>
GES	273	174,214	% 81
Diğer	19	39,716	% 19
Toplam	292	213,930	% 100



Şekil 2 Eylül 2015 itibarıyla onaya sunulan LES projelerinin enerji kaynaklarına göre dağılımı



Şekil 3 Eylül 2015 itibarıyla onaya sunulan LES projelerinin enerji kaynaklarına göre dağılımı

Tablo 3 Onaya sunulan LES'lerin enerji kaynaklarına göre dağılımı (Güç, %)

<i>Tip</i>	<i>Toplam Kurulu Güç (kW)</i>	<i>Güç Yüzde (%)</i>
GES	2,625,642	90.10%
RES	132,978	4.56%
Tri/Kojen	130,850	4.49%
Biyokütle	24,162	0.83%
DoES	400	0.01%
Toplam	2,914,032	100.00%

Tablo 4 Onaya sunulan LES'lerin enerji kaynaklarına göre dağılımı (Adet)

<i>Tip</i>	<i>Proje Adedi</i>	<i>Adet Yüzde (%)</i>
GES	3,200	92.62%
RES	182	5.27%
Tri/Kojen	49	1.42%
Biyokütle	23	0.67%
DoES	1	0.03%
Toplam	3,455	100.00%

Tablo 5 Türkiye genelinde onaylanan LES projelerinin enerji kaynaklarına göre dağılımı (09/2015)

<i>Tip</i>	<i>Proje Sayısı</i>	<i>Toplam Kurulu Güç (kW)</i>	<i>Güç Yüzde (%)</i>
GES	1,498	1,253,987	88.84%
Tri/Kojen	29	78,432	5.56%
RES	82	58,795	4.17%
Biyokütle	17	20,375	1.44%
Toplam	1,626	1,411,589	100.00%

LES'ler bir dağıtım şirketi hüviyetinde olan OSB'ler içerisinde de kurulabilmektedir. Mevcut müracaatlar içerisinde OSB sınırları içerisinde kalan LES'lerin oran ve dağılımları Tablo 6'da verilmiştir. Halen onaya sunulan projelerin kurulu güç açısından % 96'sı dağıtım şirketleri sınırları içerisinde kalmaktadır. OSB sınırları içerisinde kurulan santraller incelendiğinde GES'lerin bu bölgelerde de baskın olduğu görülür.

Tablo 7'da onaya sunulan projelerin Dağıtım Şirketi ve OSB'lere dağılımı verilmiştir. Dağıtım Şirketi sınırları içerisinde kalan LES'ler açısından Meram EDAŞ % 26 ile önemli bir orana sahiptir. OSB'ler arasında ise Kayseri OSB % 1.25 ile ilk sıradadır. Bu oran tüm OSB'ler içerisinde onaya sunulan projelerin % 34'ünü teşkil etmektedir.

Tablo 6 Onaya sunulan LES'lerin adet ve güç olarak Dağıtım Şirketi ve OSB'ler arasında bölüşümü

<i>Dağıtım Şirketi/OSB</i>	<i>Tip</i>	<i>Kurulu Güç (kW)</i>	<i>Kurulu Güç (%)</i>	<i>Adet</i>	<i>Adet (%)</i>
<i>Dağıtım Şirketi</i>	GES	2,537,513	87.08%	3,083	89.23%
	RES	131,626	4.52%	178	5.15%
	Tri/Kojen	115,626	3.97%	47	1.36%
	Biyokütle	23,912	0.82%	22	0.64%
	DES	400	0.01%	1	0.03%
<i>Dağıtım Şirketi Toplam</i>		2,809,077	96.40%	3,331	96.41%
<i>OSB</i>	GES	88,129	3.02%	117	3.39%
	Tri/Kojen	15,224	0.52%	2	0.06%
	RES	1,352	0.05%	4	0.12%
	Biyokütle	250	0.01%	1	0.03%
<i>OSB Toplam</i>		104,955	3.60%	124	3.59%
<i>Genel Toplam</i>		2,914,032	100.00%	3,455	100.00%

Tablo 7 Onaya sunulan GES projelerinin Dağıtım Şirketi ve OSB'lere dağılımı

<i>Dağıtım Şirketi/OSB</i>	<i>Proje Sayısı</i>	<i>Proje Sayısı (%)</i>	<i>Kurulu Güç (kW)</i>	<i>Kurulu Güç (%)</i>
<i>MERAM EDAŞ</i>	829	25.91%	707,543	26.95%
<i>TOROSLAR EDAŞ</i>	360	11.25%	336,223	12.81%
<i>OSMANGAZİ EDAŞ</i>	295	9.22%	267,122	10.17%
<i>AYDEM</i>	348	10.88%	233,009	8.87%
<i>AKDENİZ EDAŞ</i>	229	7.16%	190,357	7.25%
<i>AKEDAŞ EDAŞ</i>	210	6.56%	185,587	7.07%
<i>KAYSERİ CİVARI</i>	191	5.97%	180,108	6.86%
<i>BAŞKENT EDAŞ</i>	190	5.94%	149,878	5.71%
<i>FIRAT EDAŞ</i>	102	3.19%	85,745	3.27%
<i>GEDİZ EDAŞ</i>	125	3.91%	75,717	2.88%
<i>ÇAMLİBEL EDAŞ</i>	40	1.25%	34,113	1.30%
<i>ULUDAĞ EDAŞ</i>	38	1.19%	23,812	0.91%
<i>DİCLE EDAŞ</i>	31	0.97%	20,361	0.78%
<i>YEŞİLIRMAK EDAŞ</i>	30	0.94%	18,165	0.69%
<i>ARAS EDAŞ</i>	13	0.41%	10,741	0.41%
<i>VANGÖLÜ EDAŞ</i>	17	0.53%	10,336	0.39%

<i>Dağıtım Şirketi/OSB</i>	<i>Proje Sayısı</i>	<i>Proje Sayısı (%)</i>	<i>Kurulu Güç (kW)</i>	<i>Kurulu Güç (%)</i>
BOĞAZICI EDAŞ	18	0.56%	3,859	0.15%
SAKARYA EDAŞ	6	0.19%	2,706	0.10%
TRAKYA EDAŞ	7	0.22%	1,757	0.07%
AYEDAŞ	4	0.13%	374	0.01%
Dağıtım Şirketleri Toplam	3,083	96.34%	2,537,513	96.64%
KAYSERİ OSB	40	1.25%	39,874	1.52%
KAYSERİ İNCESU OSB	9	0.28%	9,000	0.34%
ANTALYA OSB	7	0.22%	5,550	0.21%
KAYSERİ MİMAR SİNAN OSB	10	0.31%	4,869	0.19%
DİYARBAKIR OSB	4	0.13%	3,526	0.13%
ADANA HACI SABANCI OSB	3	0.09%	3,000	0.11%
DEMİRTAŞ OSB BURSA	4	0.13%	2,672	0.10%
ADIYAMAN OSB	3	0.09%	1,770	0.07%
KARAMAN OSB	4	0.13%	1,655	0.06%
KONYA OSB	2	0.06%	1,411	0.05%
İZMİR ATATÜRK OSB	2	0.06%	1,338	0.05%
GAZİANTEP OSB	2	0.06%	1,330	0.05%
MANİSA OSB	3	0.09%	1,323	0.05%
TOKAT OSB	2	0.06%	1,180	0.04%
ANTAKYA OSB	2	0.06%	1,170	0.04%
BALIKESİR OSB	1	0.03%	1,000	0.04%
KIRKLARELİ OSB	1	0.03%	980	0.04%
KAHRAMANMARAŞ OSB	1	0.03%	938	0.04%
AFYONKARAHİSAR OSB	1	0.03%	670	0.03%
ADANA OSB	1	0.03%	620	0.02%
ŞANLIURFA I. OSB	1	0.03%	510	0.02%
AYDIN OSB	1	0.03%	500	0.02%
SAMSUN OSB	1	0.03%	489	0.02%
İZMİR K.PAŞA OSB	1	0.03%	467	0.02%
GEBKİM OSB	1	0.03%	465	0.02%
ANKARA OSB	2	0.06%	427	0.02%
ŞANLIURFA II. OSB	1	0.03%	310	0.01%
SALİHLİ OSB	1	0.03%	280	0.01%
BURDUR OSB	1	0.03%	260	0.01%
MERZİFON OSB	1	0.03%	221	0.01%
KADİRLİ OSB	1	0.03%	200	0.01%
BAŞKENT OSB	2	0.06%	107	0.00%
MALATYA OSB	1	0.03%	15	0.00%
OSB Toplamı	117	3.66%	88,129	3.36%

<i>Dağıtım Şirketi/OSB</i>	<i>Proje Sayısı</i>	<i>Proje Sayısı (%)</i>	<i>Kurulu Güç (kW)</i>	<i>Kurulu Güç (%)</i>
GENEL TOPLAM	3,200	100.00%	2,625,642	100.00%

Tablo 8 ve Tablo 9’da onaya sunulan ve kabulü yapılan LES projelerinin illere göre dağılımı verilmiştir. Devreye alınan projeler gözönüne alındığında Kayseri ilinin 49 MW kurulu güçle % 28’lik bir payla ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Onaya sunulan toplam proje kurulu gücünde ise Konya 435 MW ve % 17’lik payla ilk sıradadır.

Tablo 10 ve Tablo 11’de onaya sunulan, onaylanan ve devreye alınan LES’lerin dağılımı kW ve yüzde olarak sunulmuştur.

Tablo 8 Eylül 2015 itibarıyla onaya sunulan LES’lerin illere göre dağılımı (kW)

<i>İl</i>	<i>GES</i>	<i>RES</i>	<i>Tri/Kojen</i>	<i>Biyokütle</i>	<i>DES</i>	<i>İl Toplamı</i>
ADANA	60,148		12,957	1,560		74,665
ADIYAMAN	89,408					89,408
AFYON	103,328					103,328
AKSARAY	52,350			400		52,750
AMASYA	1,549	2,800				4,349
ANKARA	121,446		8,560			130,006
ANTALYA	85,233		21,679			106,912
AYDIN	52,830	750	3,054			56,634
BALIKESİR	4,896	22,525				27,421
BARTIN	250					250
BATMAN	2,998		530			3,528
BİLECİK	84	50				134
BİNGÖL	3,000					3,000
BİTLİS	6,898					6,898
BURDUR	56,312					56,312
BURSA	14,446	4,000		272		18,718
ÇANAKKALE	8,143	37,472				45,615
ÇANKIRI	3,999					3,999
ÇORUM	16,736	500	400			17,636
DENİZLİ	98,667			483		99,150
DİYARBAKIR	7,136					7,136
DÜZCE	990					990
EDİRNE	1,400	11,360				12,760
ELAZIĞ	33,891		1,560			35,451
ERZİNCAN	762					762
ERZURUM	9,979					9,979
ESKİŞEHİR	58,405					58,405
GAZİANTEP	119,434		2,022			121,456
HATAY	7,474	1,750				9,224

<i>İl</i>	<i>GES</i>	<i>RES</i>	<i>Tri/Kojen</i>	<i>Biyokütle</i>	<i>DES</i>	<i>İl Toplamı</i>
<i>ISPARTA</i>	56,462		12,000			68,462
<i>İSTANBUL</i>	4,233	5,690	34,969		400	45,293
<i>İZMİR</i>	41,791	11,811		500		54,102
<i>KAHRAMANMARAŞ</i>	96,887		8,682			105,569
<i>KARABÜK</i>	671					671
<i>KARAMAN</i>	52,599			950		53,549
<i>KASTAMONU</i>	200			250		450
<i>KAYSERİ</i>	235,251	6				235,257
<i>KIRIKKALE</i>	23,846					23,846
<i>KIRKLARELİ</i>	1,337	800				2,137
<i>KIRŞEHİR</i>	20,588			500		21,088
<i>KİLİS</i>	24,591					24,591
<i>KOCAELİ</i>	2,181		2,100	315		4,596
<i>KONYA</i>	434,457	500	1,286	250		436,493
<i>KÜTAHYA</i>	31,979		1,234			33,213
<i>MALATYA</i>	48,540			3,037		51,577
<i>MANİSA</i>	37,335	800	1,235	1,000		40,370
<i>MARDİN</i>	300					300
<i>MERSİN</i>	97,870		10,924	6,020		114,814
<i>MUĞLA</i>	82,011	1,250				83,261
<i>MUŞ</i>	2,000					2,000
<i>NEVŞEHİR</i>	46,992					46,992
<i>NİĞDE</i>	104,623					104,623
<i>ORDU</i>		5				5
<i>OSMANİYE</i>	34,025	2,000		200		36,225
<i>SAKARYA</i>			4,300			4,300
<i>SAMSUN</i>	589	14,050				14,639
<i>SIİRT</i>	680					680
<i>SİVAS</i>	21,014					21,014
<i>ŞANLIURFA</i>	13,298			450		13,748
<i>ŞIRNAK</i>	296					296
<i>TEKİRDAĞ</i>		9,903		2,000		11,903
<i>TOKAT</i>	180	2,100		2,295		4,575
<i>TUNCELİ</i>	329					329
<i>UŞAK</i>	73,997		3,358	1,200		78,555
<i>VAN</i>	1,438					1,438
<i>YALOVA</i>		800				800
<i>YOZGAT</i>	13,099	1,805				14,904
<i>ZONGULDAK</i>		250		2,480		2,730
GENEL TOPLAM	2,627,882	132,978	130,850	24,162	400	2,916,272

Tablo 9 Eylül 2015 itibarıyla devreye alınan LES'lerin illere göre dağılımı (kW)

<i>İl</i>	<i>GES</i>	<i>Tri/Kojen</i>	<i>Biyokütle</i>	<i>RES</i>	<i>DES</i>	<i>İl Toplamı</i>
<i>ADANA</i>	3,126	8,294	1,560			12,980
<i>ADİYAMAN</i>	1,570					1,570
<i>AFYON</i>	1,500					1,500
<i>AKSARAY</i>						0
<i>AMASYA</i>						0
<i>ANKARA</i>	15,444	8,560				24,004
<i>ANTALYA</i>	4,899	5,939				10,838
<i>AYDIN</i>	1,650					1,650
<i>BALIKESİR</i>	1,728			250		1,978
<i>BARTIN</i>	250					250
<i>BATMAN</i>						0
<i>BİLECİK</i>	84					84
<i>BİNGÖL</i>	0					0
<i>BİTLİS</i>	898					898
<i>BURDUR</i>	5,425					5,425
<i>BURSA</i>	966					966
<i>ÇANAKKALE</i>	0					0
<i>ÇANKIRI</i>	0					0
<i>ÇORUM</i>	0					0
<i>DENİZLİ</i>	16,243		483			16,726
<i>DİYARBAKIR</i>	702					702
<i>DÜZCE</i>	0					0
<i>EDİRNE</i>	493					493
<i>ELAZIĞ</i>	999					999
<i>ERZİNCAN</i>	0					0
<i>ERZURUM</i>	0					0
<i>ESKİŞEHİR</i>	2,768					2,768
<i>GAZİANTEP</i>	4,143					4,143
<i>HATAY</i>	516			250		766
<i>ISPARTA</i>	4,319					4,319
<i>İSTANBUL</i>	351	1,600				1,951
<i>İZMİR</i>	7,766					7,766
<i>KAHRAMANMARAŞ</i>	5,778					5,778
<i>KARABÜK</i>	671					671
<i>KARAMAN</i>	2,823					2,823
<i>KASTAMONU</i>	0					0
<i>KAYSERİ</i>	48,977					48,977
<i>KIRIKKALE</i>	0					0
<i>KIRKLARELİ</i>	0					0

<i>İl</i>	<i>GES</i>	<i>Tri/Kojen</i>	<i>Biyokütle</i>	<i>RES</i>	<i>DES</i>	<i>İl Toplamı</i>
<i>KIRŞEHİR</i>	0					0
<i>KİLİS</i>	240					240
<i>KOCAELİ</i>	1,225					1,225
<i>KONYA</i>	10,434					10,434
<i>KÜTAHYA</i>	0					0
<i>MALATYA</i>	5,286		2,400			7,686
<i>MANİSA</i>	2,156		0			2,156
<i>MARDİN</i>	0					0
<i>MERSİN</i>	4,749					4,749
<i>MUĞLA</i>	1,072					1,072
<i>MUŞ</i>	0					0
<i>NEVŞEHİR</i>	1,972					1,972
<i>NİĞDE</i>	9,680					9,680
<i>ORDU</i>						0
<i>OSMANİYE</i>	900					900
<i>SAKARYA</i>		4,300				4,300
<i>SAMSUN</i>	489					489
<i>SİİRT</i>	0					0
<i>SİVAS</i>	1,056					1,056
<i>ŞANLIURFA</i>	500					500
<i>ŞIRNAK</i>						0
<i>TEKİRDAĞ</i>						0
<i>TOKAT</i>			2,295	100		2,395
<i>TUNCELİ</i>	18					18
<i>UŞAK</i>	0		1,200			1,200
<i>VAN</i>	348					348
<i>YALOVA</i>						0
<i>YOZGAT</i>						0
<i>ZONGULDAK</i>			2,480			2,480
<i>GENEL TOPLAM</i>	174,214	28,693	10,418	600	0	213,925

Tablo 10 Onaya sunulan, onaylanan ve devreye alınan LES'lerin dağılımı (kW) (Eylül 2015)

<i>Tip</i>	<i>Onaya Sunulan Proje (kW)</i>	<i>Onaylanan Proje (kW)</i>	<i>Reddedilen Proje (kW)</i>	<i>Kabul Aşamasındakiler (kW)</i>	<i>Kabulu Tamamlananlar (kW)</i>
GES	2,625,642	1,253,987	857	39,225	174,214
Tri/Kojen	130,850	78,432	2,004	17,905	28,693
Biyokütle	24,162	20,375	0	950	10,418
RES	132,978	58,795	0	2,286	600
DES	400	0	0	0	0
GENEL TOPLAM	2,914,032	1,411,589	2,861	60,366	213,925

Tablo 11 Onaya sunulan, onaylanan ve devreye alınan LES'lerin dağılımı (%) (Eylül 2015)

<i>Tip</i>	<i>Onaya Sunulan Güç (%)</i>	<i>Onaylanan Güç (%)</i>	<i>Kabul Aşamasında Reddedilen Güç (%)</i>	<i>Kabul Aşamasındaki Güç (%)</i>	<i>Kabulu Tamamlanan Güç (%)</i>
GES	90.10%	88.84%	29.94%	64.98%	81.44%
Tri/Kojen	4.49%	5.56%	70.06%	29.66%	13.41%
Biyokütle	0.83%	1.44%	0.00%	1.57%	4.87%
RES	4.56%	4.17%	0.00%	3.79%	0.28%
DES	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
GENEL TOPLAM	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

TEİAŞ tarafından açıklanan TM kapasitelerinin ve onaya sunulan projelerin illere göre dağılımı Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12 TEİAŞ tarafından açıklanan TM kapasitelerinin ve müracaatların illere göre dağılımı

<i>İller</i>	<i>Tahsis Edilen Kapasite (MW)</i>	<i>Maksimum Kapasite (MW)</i>
ADANA	151	326
ADİYAMAN	112	122
AFYON	137	164
AKSARAY	89	99
AMASYA	23	39
ANKARA	143	186
ANTALYA	135	247
AYDIN	78	128
BALIKESİR	61	94
BARTIN		

<i>İller</i>	<i>Tahsis Edilen Kapasite (MW)</i>	<i>Maksimum Kapasite (MW)</i>
BATMAN		
BİLECİK		
BİNGÖL	23	23
BİTLİS		
BURDUR	70	73
BURSA	32	68
ÇANAĞKALE	96	136
ÇANKIRI		
ÇORUM	35	52
DENİZLİ	125	147
DİYARBAKIR	7	30
DÜZCE		
EDİRNE	5	10
ELAZIĞ	121	131
ERZİNCAN		
ERZURUM		
ESKİŞEHİR	72	127
GAZİANTEP	288	324
HATAY	88	110
ISPARTA	615	621
İSTANBUL	1,217	1,250
İZMİR	123	178
KAHRAMANMARAŞ	118	167
KARABÜK		
KARAMAN	83	83
KASTAMONU		
KAYSERİ	275	295
KIRIKKALE	40	52
KIRKLARELİ		
KIRŞEHİR	58	70
KİLİS	22	22
KOCAELİ	100	315
KONYA	530	632
KÜTAHYA	36	56
MALATYA	83	107
MANİSA	79	87
MARDİN		
MERSİN	118	182
MUĞLA	102	131
MUŞ		

<i>İller</i>	<i>Tahsis Edilen Kapasite (MW)</i>	<i>Maksimum Kapasite (MW)</i>
NEVŞEHİR	39	69
NİĞDE	76	76
ORDU		
OSMANIYE	61	65
SAKARYA	36	36
SAMSUN	12	14
Siirt		
SİVAS	49	63
ŞANLIURFA	37	60
ŞIRNAK		
TEKİRDAĞ	5	30
TOKAT		
TRABZON		
TUNCELİ		
UŞAK	72	72
VAN	22	24
YALOVA		
YOZGAT	23	23
ZONGULDAK		
GENEL TOPLAM (MW)	5,922	7,416

3. GES'LERİN DAĞITIM SİSTEMİ GÜÇ KALİTESİNE ETKİLERİ

Konvansiyonel dağıtım sisteminde güç kalitesini etkileyen tek faktör yük tarafı iken dağıtık enerji santrallerinin (DES) bulunduğu bir sistemde üretim tarafı da belirleyici bir Tablo 13 Konvansiyonel ve modern dağıtım sistemi yapıları

faktör haline gelmiştir (Tablo 13). Bu durumda dağıtım sistemi güç kalitesi problemini hem yükler hem de santraller açısından ayrı ayrı ele alıp, daha sonra bütüncül bir yaklaşımla yorumlamak ve yönetmek gerekecektir.

<i>Dağıtım Sistemi</i>	<i>Tüketim Tesisi</i>	<i>Dağıtık Enerji Santrali</i>	<i>Güç Kalitesi</i>
Pasif (Konvansiyonel)	Var	Yok	$f(Tuketim)$
Aktif (Modern)	Var	Var	$f(Tuketim, Uretim)$

Bu bölümde öncelikle LES'lerin uymakla yükümlü olduğu "Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmeliğin uygulanmasına dair tebliğ" ve "Elektrik piyasasında dağıtım sisteminde

sunulan elektrik enerjisinin tedarik sürekliliği, ticari ve teknik kalitesi hakkında yönetmelik" ilgili kısımları kısaca özetlenerek pasif dağıtım sisteminden aktif dağıtım sistemine geçişin sorumlulukları ne şekilde etkilediği

açıklanacaktır [8], [9]. Daha sonra GES'lerin güç kalitesi üzerindeki etkileri ve lisanssız enerji santrallerinin yükümlülükleri üzerinde durularak uluslararası standard ve

uygulamalardan örnekler verilecektir. [8]'de tanımlanan GES'lerin sorumlu olduğu güç kalitesi parametreleri Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14 Aktif bir dağıtım sisteminde güç kalitesi sorumluluk matrisi

<i>Parametre</i>	<i>İlgili Elektriksel Büyüklük</i>	<i>Sorumlu</i>
<i>TTB</i>	Toplam Talep (Akım) Bozuşması (Harmonik)	GES
ΔV	Gerilim Düşümü/Yükselmesi	GES
<i>Fliker</i>	Gerilim Salınımı ($f < 50$ Hz)	GES
<i>DC Akım Enjeksiyonu</i>	DC Akım (Amper veya % I_{nom})	GES

Tablo 15 Pasif bir dağıtım sistemi için tanımlanan teknik kalite sorumluluk matrisi

<i>Güç Kalitesi Parametresi</i>	<i>İlgili Elektriksel Büyüklük</i>	<i>Sorumlu</i>
f	Frekans	TEİAŞ
ΔV	Gerilim Düşümü	Dağıtım Şirketi
$V-/V+$	Gerilim Dengesizliği	Dağıtım Şirketi
<i>THB</i>	Gerilim Bozuşması	Dağıtım Şirketi
<i>TTB</i>	Talep (Akım) Bozuşması	Tüketici
<i>Fliker</i>	Gerilim Salınımı ($f < 50$ Hz)	Tüketici

[9]'da ise Dağıtım Sistemi kullanıcılarının talep ettiği enerjinin nitel ve nicel özellikleri tanımlanarak bunların devamlılığını sağlayacak yetki ve sorumluluklar belirlenmiştir. Bu yönetmelik dağıtım sisteminde dolaşan gücün kalitesini belirlediği için güç kalitesi asgari koşulları tanımlayan bir zemindir. Bu yönetmelikte teknik kalite parametreleri Tablo 15'de verildiği gibi sınıflandırarak sorumluluk matrisi tanımlanmıştır. Tablo 14 ve Tablo 15 karşılaştırıldığında şu sonuçlar ortaya çıkar:

Akım harmonik bozuşması sorumluluğu kullanıcıya ve ilgili fidere bağlı GES sahibine,

Gerilim Düşümü/Yükselmesi ($\square V$) sürekli çalışmada dağıtım şirketine, devreye girip çıkma nedeniyle ise ilgili fidere bağlı GES sahibine,

Düşük frekanslı gerilim salınımı ($f < 50$ Hz) flicker sorumluluğu kullanıcıya ve ilgili fidere bağlı GES sahibine,

DC akım enjeksiyonu ilgili fidere bağlı GES sahibine ve tüketicilere aittir. Aynı fidere birden fazla GES'in bağlı olması durumunda herbir bağlantı noktasında ölçüm yapılarak güç kalitesi bozulmasının kaynağı tespit edilebilir. Ölçümler yapılırken fidere bağlı diğer santrallerin kapalı olması gerekir.

[9] uyarınca tanımlanan güç kalitesi parametrelerinin kabul edilebilir sınırlar

$$T=n.(7 \times 24)=n.168 \quad n=1,2,3...(1)$$

3.1 Akım Harmonikleri

Doğrusal yükler ideal sinüs gerilimine sahip şebekeden tam süzölmüş düzgün sinüs akımı çeker. Ancak yaygınlaşan güç elektroniği uygulamaları ve sistemdeki manyetik çekirdekli cihazlar gibi doğrusal olmayan yükler sistemden bozulmuş sinüs formunda akım çeker. Dalga şekli ne kadar bozuk olursa olsun periyodik bütün dalga şekillerinin Fourier serisi ile ifade edilebileceği hatırlanacak olursa Fourier açılımındaki temel bileşen haricindeki bileşenlerin bozulmanın şekil ve miktarını belirleyeceği söylenebilir. Diğer bir deyişle yüksek harmoniklerin genliği ne kadar büyükse dalga şekli o denli bozulmuş ve sinüsten uzaklaşmıştır. Şekil

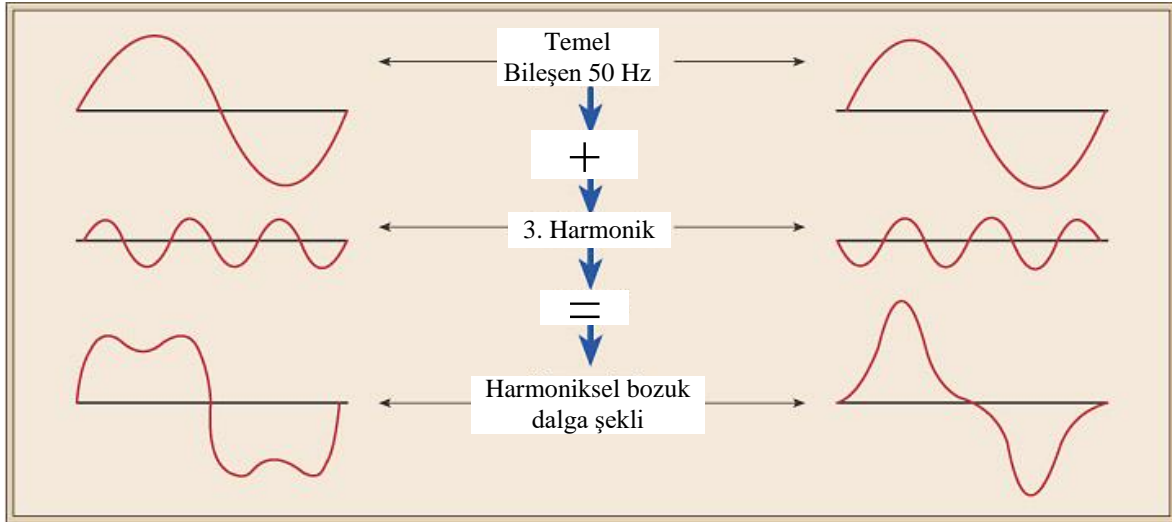
içerisinde olup olmadığına IEC 61000-4-30'da tanımlanan bir haftalık kesintisiz ölçüm periyodu (ve tam katları) boyunca kayıt alınarak bakılır [13]. IEC 61000-4-30 Annex-B'de gerilim değişimi, harmonik, kırpışma (flicker) gibi birçok güç kalitesi parametresinin hafta içi ve hafta sonu değerlerinin değişkenlik göstereceği vurgulanarak ölçümlerin tam hafta (168 saat) ve katlarını kapsaması zorunlu kılınmıştır.

4'de bozuşmaya 3. harmoniğin etkisi sembolik olarak gösterilmiştir. Şekil 5'de ise bozuk bir dalga şeklinin yüksek frekanslı harmonik bileşenlerine ayrıştırılması gösterilmiştir. Harmonik bozulmanın şiddetini belirleyen iki faktörden bahsedebiliriz:

Temel bileşen dışında sıfırdan farklı yüksek frekanslı harmoniklerin sayısı,

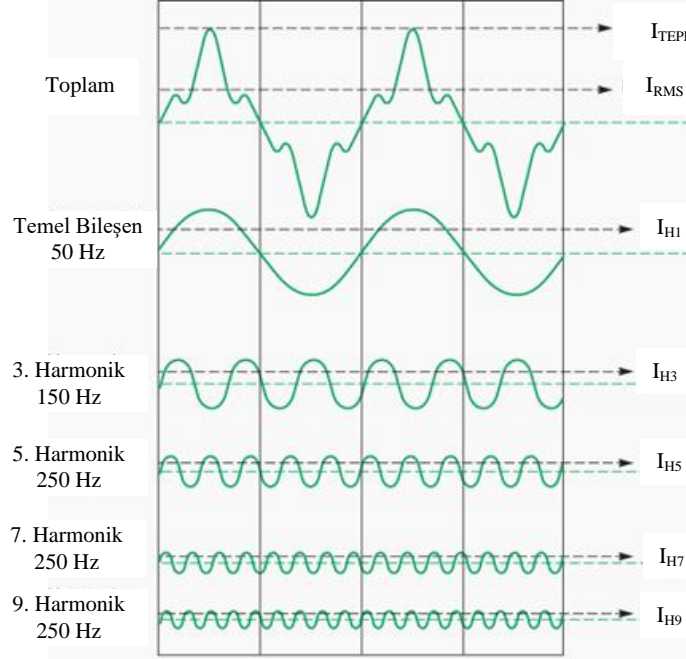
Temel bileşen dışındaki yüksek frekanslı harmoniklerin genliği,

Türkiye'de GES'lerin uymakla yükümlü olduğu akım harmonik sınır değerleri Tablo 16'da verilmiştir [8]. Bu değerler BS EN 50438 ve IEC 61000-3-2 ile uyumludur.



Şekil 4 Üçüncü harmoniğin akım dalga şekline bozucu etkisi

Bozuşmanın izin verilen sınırların üzerinde olduğunun tespit edilmesi halinde dağıtım şirketi gerekli önlemleri alma hakkına sahiptir. GES'in izin verilen sınırların ötesinde harmonik bozuşmaya neden olduğunun tespit edilmesi halinde devreye girmesinden yıllar sonra bile dağıtım şirketi gerekli önlemlerin alınmasını isteyebilir. Böyle bir durumda çözüm genellikle basit olmaz ve GES'in güç kalitesi performansını belirleyen temel bileşen eviricilerin değişimine varacak kadar ciddi tedbirlerle karşı karşıya kalınabilir. Bu nedenle kullanılacak eviricilerin verileri iyi incelenmeli ve ilgili standartları karşılamayan ürünler kullanılmamalıdır. Güç kalitesi kriterlerini sağlamak ve dağıtım sistemine bozucu etkileri enaza indirmek için PV eviricilerde aranabilecek standartlar son bölümde incelenecektir.



Şekil 5 Bozuk dalga şeklinin harmoniklere ayrıştırılması

Tablo 16 Faz akımı ≤ 16 A olan ve AG seviyesinden bağlanan tesisler için akım harmonikleri

Harmonik No	2	3	5	7	9	11	13	$15 \leq n \leq 39$
Sınır	1,08	2,3	1,14	0,77	0,4	0,33	0,21	0,15 ^a (15/n)

^a % 50 veya en yüksek ve en düşük arasında orta noktaya yakın diğer beyan edilen değerler.

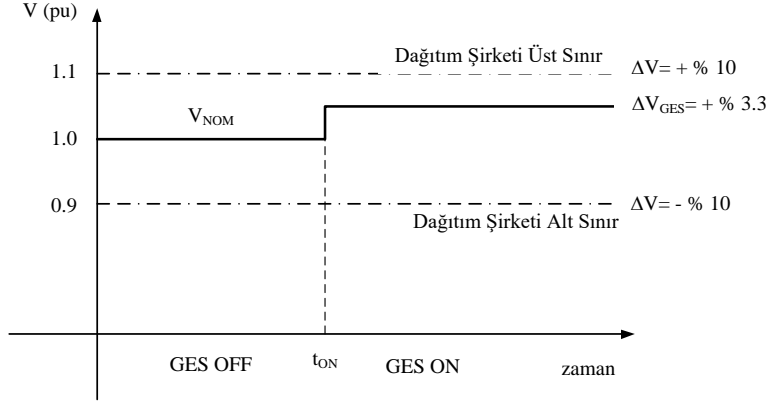
3.2 Gerilim Dalgalanması (V)

Türkiye'de GES'lere uygulanan gerilim değişimi sınır değerleri Tablo 17'de görülmektedir. [8]. Bu değerler IEC 61000-3-3 ile uyumludur [15]. Daha önce belirtildiği gibi sürekli çalışma koşullarında gerilim

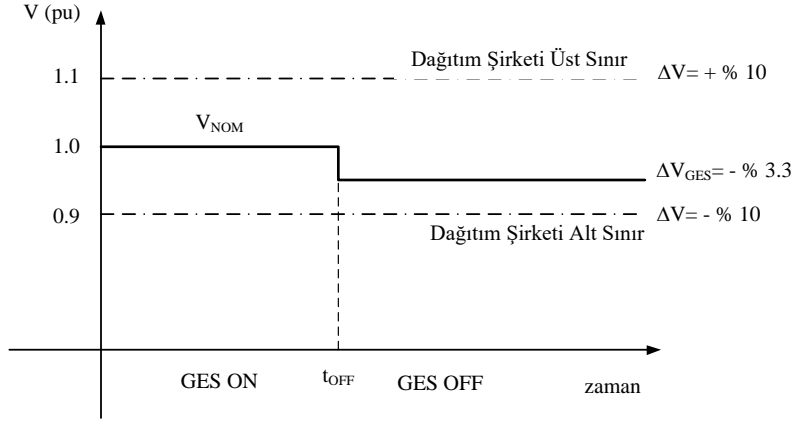
değişimi sorumluluğu dağıtım şirketine ait olup yalnızca devreye girip çıkma nedeniyle oluşan gerilim düşümü ve yükselmesi sorumluluğu GES'e aittir. Şekil 6 ve Şekil 7'de dağıtım şirketi ve GES için izin verilen gerilim değişim aralıkları verilmiştir.

Tablo 17 Türkiye’de uygulanan gerilim düşümü/yükselmesi sınır değerleri (IEC 61000-3-3)

	Maksimum Değer (%)
GES Devreye Girerken	±3.3
GES Devreden Çıkarken	±3.3



Şekil 6 GES devreye girerken oluşturabileceği en büyük gerilim yükselmesi



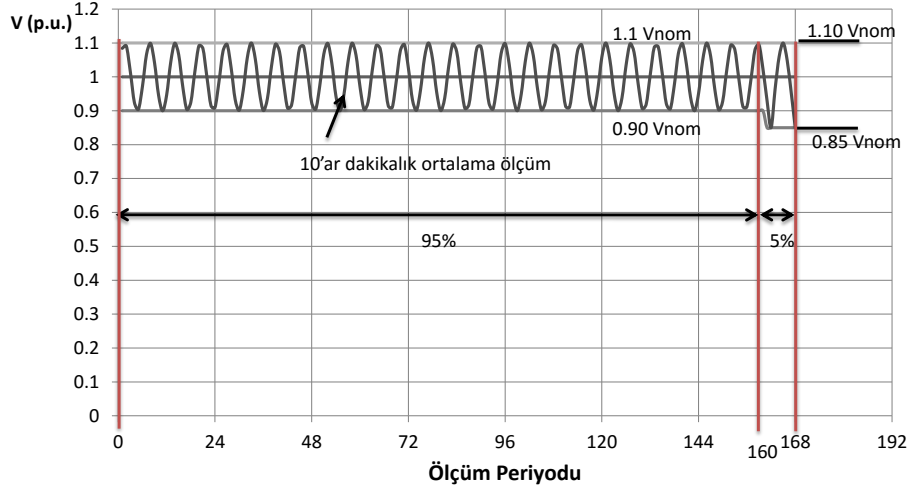
Şekil 7 GES devreden çıkarken oluşturabileceği en büyük gerilim düşümü

Yönetmelik gereği dağıtım şirketi haftalık ölçüm periyodunun % 95'i boyunca gerilimi $\pm\% 10$ aralığında tutmalıdır (Şekil 8) [9]. İşletme gerilimi sözkonusu % 10'luk bandın alt veya üst sınırına yakın iken GES'in devreye girip çıkması, gerilimin kabul edilen sınırların dışına çıkmasına neden olabilir. Bu olasılık Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir. GES izin verilen sınırlar dahilinde gerilim değişimi yarattığı halde toplamda gerilim değişimi işletme koşullarının dışına taşmıştır.

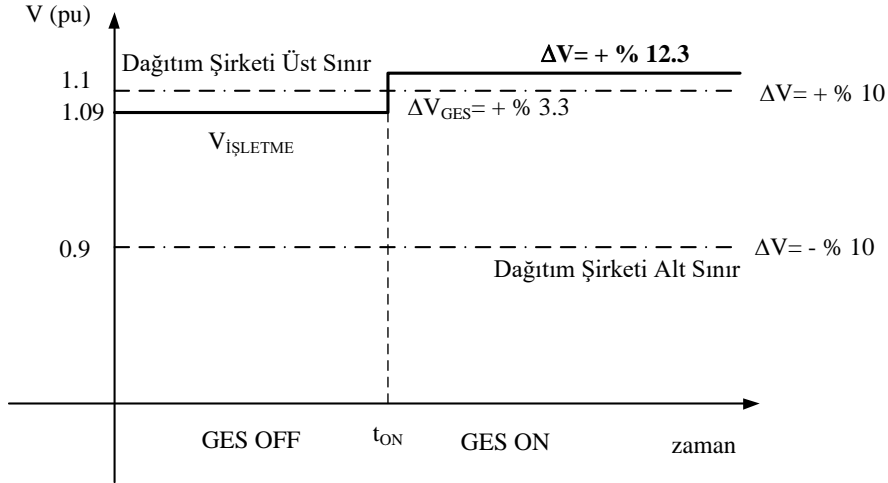
Bunu engelleyebilmek için GES içeren dağıtım şebekesinde gerilim dalgalanma aralığı daha dar tutulmalıdır. Aynı fidere bağlı GES'lerin sayısının ve gücünün artması durumunda gerilimi kontrol altında tutmak daha da zorlaşabilir. Böyle bir senaryo ile karşılaşmamak için daha sıkı bir izleme ve kontrol sistemi ile daha fazla dağıtım hattı yatırımı gerekir. Bu risk özellikle gerilim düşümü probleminin olduğu uzun havai hatlarda belirginleşir. Hat sonu gerilimini

makul değerlerde tutmak için hat başı geriliminin yüksek olması, fiderdeki GES'in devreye girmesiyle gerilim üst değerinin aşılmasına neden olabilir. Hat sonu geriliminin düşük olması ise fiderdeki bir GES'in devreden çıkmasıyla gerilimin işletme

koşullarının altına düşmesine neden olur. Bu tip fiderler için yapılacak analizlerin güvenilirliğini artırmak için geriye yönelik uzun süreli gerilim ve yük profili kayıtlarının olması büyük yarar sağlar.



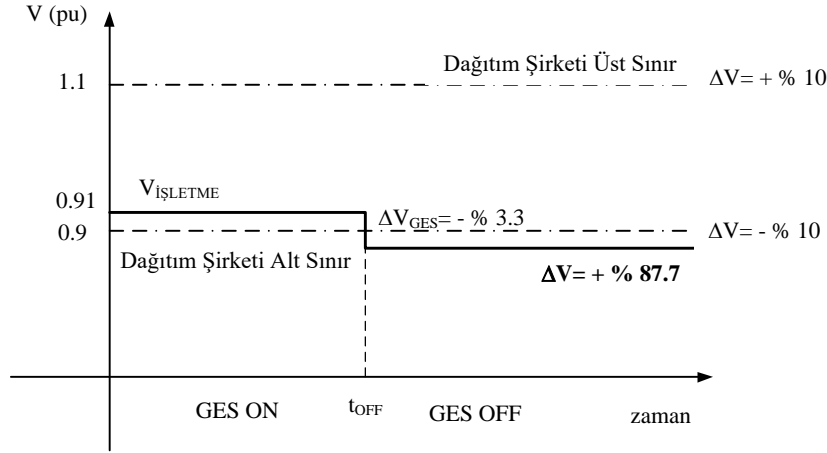
Şekil 8 Ölçüm periyodu boyunca kabul edilebilir gerilim seviyesi değişiklikleri



Şekil 9 GES'in devreye girmesiyle işletme geriliminin üzerine çıkılması

Gerilimin kabul edilebilir sınırlar dışına çıkmaması için bağlanacak GES'lerin en kötü durum analizleri yapılarak özellikle uzun ve kırsal hatlarda gerilim dalgalanması değerlerine bakılmalıdır. En kötü durum analizleri minimum üretim-maksimum yük ve maksimum üretim-minimum yük koşullarını

içermelidir. [22]'de benzeri bir çalışmada Türkiye OG fiderlerinin gerilim profilleri modellenmeye çalışılarak bağlanabilecek DES'lere ilişkin bağlantı kısıtları incelenmiştir.



Şekil 10 GES'in devreden çıkmasıyla oluşan işletme geriliminin altına düşülmesi

Dağıtım sistemindeki gerilimin bütün noktalarında izin verilen sınırlar içerisinde kalması dağıtım şirketi sorumluluğundadır. Yukarıda bahsedilen gerilim değişimine etkileri nedeniyle dağıtım şirketlerinin GES müracaatlarında bağlantı noktasını değiştirebilir. Yapılacak inceleme sonucuna göre en yakın noktadan bağlantı izni alınabileceği gibi müstakil fider tesis edilmesi talebiyle de karşılaşılabılır. Bu nedenle GES arazisi belirlenirken yakınından bir dağıtım fiderinin geçmesi, sözkonusu fidere bağlanabilmek için gerek koşuldur ancak yeter koşul olarak değerlendirilmemelidir.

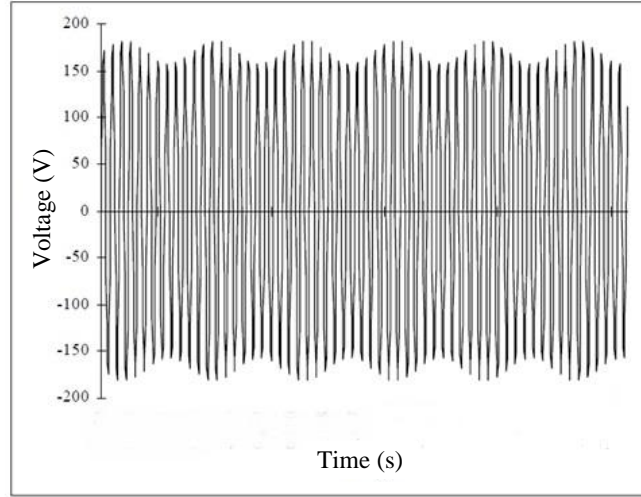
3.3 Kırpışma (Flicker)

Normal koşullarda 50 Hz sistem frekansında temiz bir sinüs dalgası şeklinde olması gereken şebeke gerilimi, çeşitli nedenlerle daha düşük frekanslarda salınımına başlayabilir (Şekil 11).

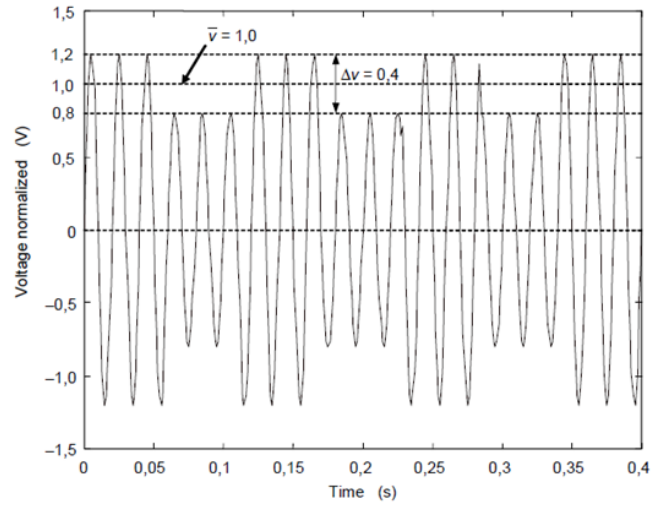
Kırpışma elektrik motorlarının devirlerinde ve akkor flamanlı lambaların ışığında

dalgalanmaya, manyetik çekirdekli cihazlarda uğultuya sebep olur. Sabit değerdeki gerilim düşümü veya yükselmesinde ise cihazlar nominal değer dışında çalışırlar ancak buradaki gibi hissedilir bir yavaş dalgalanma sözkonusu değildir. Sistemdeki ani değişen yükler nedeniyle kırpışmayı tümünden yok etmek olanaksızdır ancak insanlar üzerindeki psikolojik ve fizyolojik açıdan olumsuz etkileri nedeniyle belli sınırlar içerisinde tutulmalıdır.

Kırpışmanın yapısını daha iyi anlamak için dalga şeklinin kısaca incelenmesi gerekir. Şekil 12'de tipik bir kırpışma dalga şekli görülmektedir. Burada 50 Hz'lik ve ortalaması 1.0 p.u. olan bir dalga şekli üzerinde etkili olan bir kırpışma görülmektedir [19]. Kırpışmanın genlik değeri 0.4 p.u. iken frekansı 8.8 Hz'dir. Görüldüğü kırpışma sistem frekansından daha yavaş değişir ve simetrik olması durumunda gerilimin ortalama (averaj) değerini değiştirmez.



Şekil 11 Voltaj salınımı (Flicker)



Şekil 12 Tipik bir kırışma dalga şekli

$V_{ortalama} = 1.0 \text{ p.u}$

$\Delta V = 0.4 \text{ p.u.}$

$\%(\Delta V / V_{ortalama}) \times 100 = \% 40$

$f_{flicker} = 8.8 \text{ Hz}$

Saniyedeki değişim sayısı = 17.6

Kırpışmanın başlıca nedenleri şunlardır:

Elektriksel olarak çalkantılı, dalgalanan yükler,

Transformatör kademe değişimleri,

Kaynak tarafındaki işletimsel değişimler,

Ani yük değişimleri,

Sanayi bölgelerinde ark ocakları,

Soft starter içermeyen sürekli dur kalk çalışan motorlu cihazlar.

Şekil 12 incelendiğinde kırpışmanın etkisini belirleyen iki parametresi olduğu görülür:

Gerilimin değişim miktarı,

Meydana gelen değişimin frekansı,

Kırpışma şiddeti zamansal olarak iki farklı parametre ile değerlendirilir:

PST: Kısa dönem kırpışma şiddeti. 10 dakikalık ölçüm ile belirlenir.

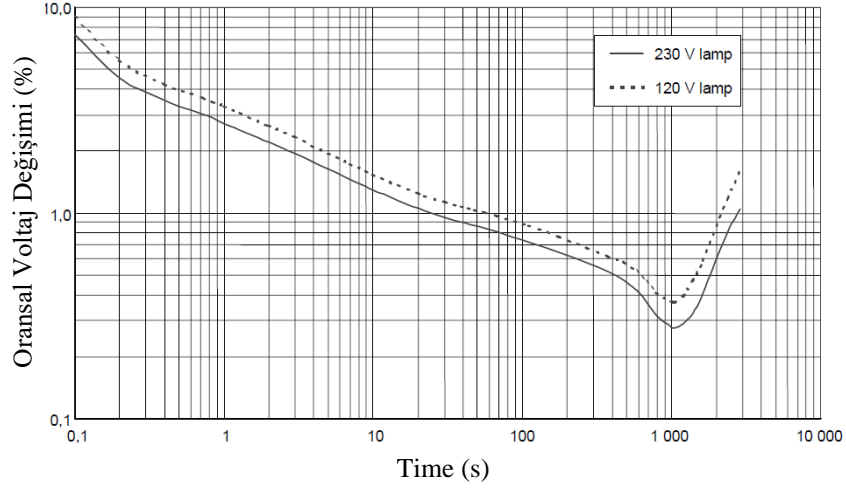
PLT: Uzun dönem kırpışma şiddeti. Ardışık 12 adet 10 dakikalık PST kullanılarak 2 saat için aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \times \sum_{i=1}^{12} P_{STi}^3}$$

PST'nin ardışık 12 değeri IEC 61000-4-15'de tanımlanmıştır [19]. Şekil 13'de 1.0 şiddetindeki kısa dönem kırpışma şiddeti eğrisi verilmiştir [12].

Türkiye'de GES'ler ve tüketiciler için uygulanan kırpışma sınır değerleri Tablo 18'de tanımlanmıştır ([8], [9]). GES için verilen değerler [15] ile, tüketici için verilen değerler [12] ile uyumludur. Görüldüğü gibi GES bağlantı noktasındaki koşulu sağlayan dağıtım sistemi kullanıcısı, tüketiciler için tanımlanan sınırın da içerisinde kalmaktadır.

[9] uyarınca tüketici IEEE Std.1453-2004 ve IEC 61000-2-2 standardlarında belirtilmiş olan Tablo 18'deki sınır değerlere uymak zorundadır [17]. Fliker şiddeti, "Pst ve Plt" göstergeleri aracılığıyla ve TS EN 61000-4-15'e uygun flikermetreler ile ölçülür [18]. Fliker etkisine ilişkin olarak bu sınırlardan birinin aşılması durumunda, dağıtım şirketi; fliker etkisine neden olan müşteriye durumun düzeltilmesi için en fazla 120 iş günü süre tanır. Tüketicieye yapılan bildirimde, verilen sürenin sonunda durumun düzeltilmemiş olmasının tespiti halinde bağlantısının kesileceği bildirilir. Verilen sürenin sonunda, kullanıcı tarafından kusurlu durumun giderilmemesi halinde, kullanıcının bağlantısı kesilir. Bu maddeye göre dağıtım şirketi, hem üretim hem de tüketim tesisi olan GES'lerin bağlantı noktasında yapacağı ölçümler uyarınca uygunsuzluk durumunda GES'i devre dışı bırakabilir. Böylesine ağır bir sonuçla karşılaşmamak için GES'in tasarım ve kurulumu sırasında aynı bağlantı noktasından beslenen diğer yükler de dikkate alınmalı, eğer bir tüketim tesisi komşuluğunda kurulmuşsa, sadece GES'in değil yüklerin de kırpışmaya neden olup olmadığı irdelenmelidir. Özellikle endsütriyel tüketim noktaları olan OSB'lerin komşuluğunda ve fabrika civarına kurulan GES'ler için bu konu büyük önem taşır.



Şekil 13 Alçak gerilim şebekesinde 1.0 şiddetindeki kırışıma şiddeti eğrisi

Tablo 18 Türkiye’de uygulanan fliker sınır değerleri

	<i>GES (IEC 61000-3-3)</i>	<i>Tüketici (IEC 61000-2-2)</i>
P_{ST}	≤ 1.00	≤ 1.00
P_{LT}	≤ 0.65	≤ 0.80

3.4 DC Akım Enjeksiyonu

Dağıtım sistemine alçak gerilim seviyesinden bağlanan PV GES’lerin eviricilerinin sisteme DC akım verme olasılığı vardır. PV sistemlerde transformatör kullanımı açısından 3 tip evirici vardır:

- Yüksek frekans transformatörlü,
- Alçak frekans (50 Hz) transformatörlü,
- Transformatörsüz

Farklı ülkelerde eviricinin tipine göre farklı DC akım enjeksiyon sınırları tanımlanmıştır [23]. Tablo 19’da bazı ülkelerde kullanılan standartlar ve sınır değerler verilmiştir. IEEE

Std 1547’de ve IEEE Std. 929’da bu değer bütün evirici tipleri için nominal akımın % 0.5’i ile sınırlandırılmıştır [11]. AC alçak gerilim şebekesine enjekte edilen DC akımlar dağıtım transformatörü çekirdeğini doyuma götürerek hem gerilim dalga şeklini bozar hem de transformatör kayıplarını yükseltirler. Evirici üreticileri DC akımı sınırlamak için izolasyon transformatörü kullanmak, DC akım duyargası ile enjeksiyon miktarını ölçmek ve gerekirse eviriciyi kapatmak gibi yöntemler kullanırlar. Türkiye’de IEEE Std. 929’da tanımlanan değerler kullanılmaktadır [21].

Tablo 19 Farklı ülkelerde DC akım enjeksiyon sınırları ve ilgili standartlar

Ülke	Standard	İzin verilen maksimum DC akım (Transformatörsüz)	İzin verilen maksimum DC akım (Transformatörsüz)
Türkiye	IEEE 929-2000	Evirici nominal akımının % 0.5'i	Evirici nominal akımının % 0.5'i
ABD	IEEE 929-2000	Evirici nominal akımının % 0.5'i	Evirici nominal akımının % 0.5'i
Avustralya	AS 4777.2	5 mA	5 mA
Almanya	DIN VDE 126	-	1000 mA
İspanya	RD 1663/2000	-	-
Japonya	Tech. Guidline for Grid Interconnection	Evirici nominal akımının % 1'i	Evirici nominal akımının % 1'i
İngiltere	ER G83/1	-	5 mA

3.5 Dağıtım Sistemindeki Güç Kalitesini Etkileyen Diğer Faktörler

3.5.1 Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği GES'lerin tanımlanmış güç kalitesi parametrelerinden birisi değildir ve GES'lerin bu açıdan bir sorumluluğu yoktur. Ancak gerilim dengesizliği diğer güç faktörü parametrelerini dolaylı olarak etkiler. Gerilim dengesizliğini alçak gerilim seviyesinde kontrol altında tutmak dağıtım

şirketi sorumluluğundadır. Orta gerilim seviyesinde ise dengesizlik kontrolü zorunlu değildir. [9] AG seviyesi için gerilim dengesizliklerini TS EN 50160:2001 standardı uyarınca sınırlamıştır [16]. Buna göre üç fazlı yükler için ölçüm periyodunun en az % 95'inde dengesizlik % 2'yi geçmemelidir. Cihazlarla etkileşim olasılığı nedeniyle TS EN 50160:2001'de yalnızca negatif bileşen dikkate alınmıştır.

$$(Gerilim\ Dengesizliği)_{3\phi\ yük} = \left(\frac{V_{negatif\ bileşen}}{V_{pozitif\ bileşen}} \right)_{max} \leq \% 2 \quad (2)$$

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

$$(Faz\ Dengesizliği)_{1\phi\ veya\ 2\phi\ yük} = \left(\frac{V_{negatif\ bileşen}}{V_{pozitif\ bileşen}} \right)_{max} \leq \% 3 \quad (3)$$

Dağıtım Şirketi alçak gerilim seviyesinde dengesizliği izin verilen sınırlar içerisinde tutabilmek için bağlanacak GES'lerin fazlara dağılımını inceleyebilir. Örneğin A fazından beslenen bütün kullanıcıların güneye bakan çatılarına kurduğu GES'lerin monofaze eviricilerle sisteme enerji vermesi, B ve C fazlarından beslenen diğer kullanıcıların ise çatılarının kuzeye bakması nedeniyle GES kurmaması durumunda bu problem gözlenebilir. Yine üç fazlı bir dağıtım trafosu üzerinden sisteme bağlanan ve çok sayıda monofaze eviriciyle üretim yapan GES'lerde üretilen gücün fazlara dengeli dağılımına dikkat edilmelidir.

3.5.2 Gerilim Harmonik Bozuşması

Tablo 15'de görüldüğü üzere sistemdeki gerilim harmonik bozuşması yönetmelik gereği dağıtım şirketi sorumluluğundadır ve diğer dağıtım sistemi kullanıcıları gibi GES'lerin bu konuda yükümlülüğü yoktur [9].

3.5.3 Güç Faktörü (pf)

Güç faktörü GES'in kurulduğu noktadaki hat ve yük karakteristikleri, belli kombinasyonlarda güç faktörü düzeltimini zorunlu kılabilir. Bu nedenle MW mertebesindeki GES'lerde tasarım aşamasında güç faktörü açısından sorun yaşamamak için tesiste kompanzasyon altyapısının varlığı ve gerekliliği irdelenmelidir. GES'in birim güç faktöründe çalışması durumunda TEİAŞ'tan çekilen reaktif güç sabit kalırken aktif gücün azalması ve bunun sonucunda Dağıtım Şirketinin taahüt ettiği güç faktörü sınırlarının dışına taşması

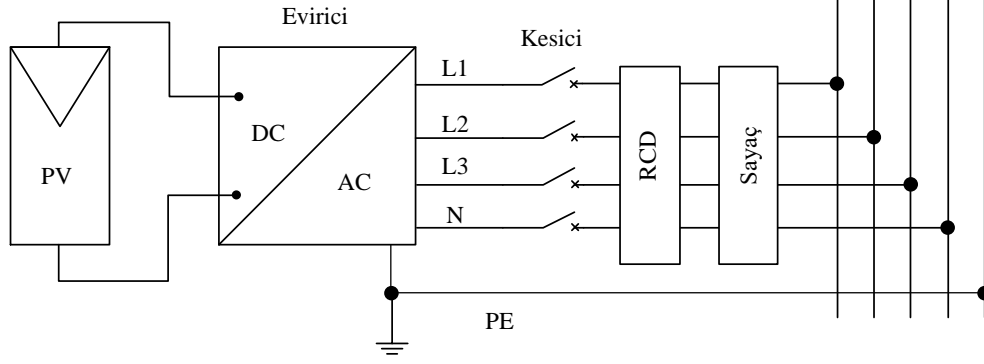
olasılık dahilindedir. Öte yandan reaktif güç sistem gerilimi ile doğrudan ilişkili olduğu için yetersiz veya aşırı kompanzasyon güç kalitesi parametrelerinden V 'yi etkiler.

4. GES EVİRİCİ STANDARTLARI

GES'lerin şebeke bağlantı yapısı temel olarak Şekil 14'de görüldüğü gibidir. Jeneratör konumundaki DC PV ile AC şebeke arasında evirici tampon görevi görmektedir. Bu nedenle GES'lerin güç kalitesi performansında anahtar rol eviricilerdedir. Doğru seçilmiş bir evirici, GES yaşam döngüsü boyunca güç kalitesinin en büyük güvencesidir. Eviricilerin güç kalitesini artırmak konusunda kullanıcının yapabileceği fazla birşey yoktur. Bu nedenle eviricinin ilgili standartları sağlaması yaşam boyu göstereceği performansın en önemli göstergesidir. Bu bölümde PV eviricilerde aranacak standartlara değinilerek kullanıcının seçim sürecinde kullanabileceği bir referans oluşturulmaya çalışılacaktır.

Evirici standartları temel olarak aşağıdaki gibi gruplanabilir [24]:

- Güvenlik (Safety),
- Etkilenmezlik, bağışıklık (Immunity),
- Emisyon,
- Elektromanyetik uyumluluk (EMC),
- Şebeke gerilim izleme,
- Şebeke frekans izleme,
- Şebeke kaybı (LoM).



Şekil 14 Tipik bir PV GES sistemi

Yukarıdaki herbir grup için uygulanabilecek standartlar Tablo 20, Tablo 21, Tablo 22, Tablo 23, Tablo 24, Tablo 25, Tablo 26, Tablo 27 ve Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 20 PV eviriciler için geçerli güvenlik standartları

<i>Standard No</i>	<i>Standard Adı</i>
IEC 62109-1 (EN 62109-1)	Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 1: General requirements
IEC 62103 (EN 50178)	Electronic equipment for use in power installations
AS 3100	Approval and test specification - General requirements for electrical equipment
UL 1741	Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources
IEEE 1547	Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems

Tablo 21 PV eviriciler için geçerli etkilenmezlik (immunity) standartları

<i>Standard No</i>	<i>Standard Adı</i>
IEC 61000-6-1 (EN 61000-6-1)	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-1: Generic standards - Immunity for residential, commercial and light-industrial environments
IEC 61000-6-2 (EN 61000-6-2)	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments

Tablo 22 PV eviriciler için geçerli emisyon standartları

<i>Standard No</i>	<i>Standard Adı</i>
IEC 61000-6-3 (EN 61000-6-3)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments
IEC 61000-6-4 (EN 61000-6-4)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments
EN 55022/CISPR 22	Information Technology Equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement

Tablo 23 PV eviriciler için geçerli elektromanyetik uyumluluk standartları- Harmonikler

<i>Standard No</i>	<i>Standard Adı</i>
IEC 61000-3-2 (EN 61000-3-2)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)
IEC 61000-3-12 (EN 61000-3-12)	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and ≤ 75 A per phase
IEC 61727	Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface
AS 4777	Grid Connections of Energy Systems via Inverters
UL 1741	Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources
IEEE 1547	Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems

Tablo 24 PV eviriciler için geçerli EMC uyumluluk standartları- Voltaj salınımı ve kırpışma

<i>Standard No</i>	<i>Standard Adı</i>
IEC 61000-3-3 (EN 61000-3-3)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection
IEC 61000-3-11 (EN 61000-3-11)	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-11: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems - Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection

Tablo 25 PV eviriciler için geçerli şebeke voltajı izleme standartları

<i>Standard No</i>	<i>Kullanan Ülke</i>	<i>Alt sınır</i>	<i>Üst Sınır</i>	<i>Açma Zamanı</i>
IEC 61727	Uluslararası (IEC)	% 50	% 135	0.1s / 0.05s
		% 85	% 110	2s
EN 50438	Bazı Avrupa ülkeleri	% 85	% 115	1.5s/0.5s
AS 4777	Avusturalya	% 80	% 112.5	2s
UL 1741	A:B:D	% 50	% 120	0.16s
		% 88	% 110	2s
PV 501	G. Kore	% 50	% 120	0.16s
		% 88	% 110	2s
VDE0126-1-1	Almanya	% 80	% 115	0.2s
RD 1663	İspanya	% 90	% 110	0.5 s
Enel Guida	İtalya	% 80	% 120	0.2 s/ 0.1 s
PPC Guideline	Yunanistan	% 80	% 115	0.5 s
G83/1-1	Birleşik Krallık	% 90	% 115	5 s

Tablo 26 PV eviriciler için geçerli şebeke frekansı izleme standartları

<i>Standard No</i>	<i>Kullanan Ülke</i>	<i>Alt sınır</i>	<i>Üst Sınır</i>	<i>Açma Zamanı</i>
IEC 61727	Uluslararası (IEC)	-1 Hz	+1 Hz	0.2 s
EN 50438	Bazı Avrupa ülkeleri	-3 Hz	+1 Hz	0.5 s
AS 4777	Avusturalya	-5 Hz	+5 Hz	2 s
UL 1741	A:B:D	-0.7 Hz	+0.5 Hz	0.16s
PV 501	G. Kore	-0.3 Hz	+0.3 Hz	2s
VDE0126-1-1	Almanya	-2.5 Hz	+0.2 Hz	0.2s
RD 1663	İspanya	-1 Hz	+1 Hz	0.5s
Enel Guida	İtalya	-0.3 Hz	+0.3 Hz	0.1s
PPC Guideline	Yunanistan	-0.5 Hz	+0.5 Hz	0.5s
G83/1-1	Birleşik Krallık	-3 Hz	+0.5 Hz	5s

Tablo 27 PV eviriciler için geçerli şebeke kaybı izleme standartları ve yöntemleri

<i>Standard No</i>	<i>Kullanan Ülke</i>	<i>İzleme Metodu</i>	<i>Açma Zamanı</i>
IEC 61727	Uluslararası (IEC)	RLC Osilatör	2 s
EN 50438	Bazı Avrupa ülkeleri	-	-
AS 4777	Avusturalya	RLC Osilatör	2 s
UL 1741	A:B:D	RLC Osilatör	2 s
PV 501	G. Kore	RLC Osilatör	0.5 s
VDE0126-1-1	Almanya	RLC Osilatör	5 s
RD 1663	İspanya	RLC Osilatör	2 s
Enel Guida	İtalya	RLC Osilatör	5 s
PPC Guideline	Yunanistan	RLC Osilatör	5 s
G83/1-1	Birleşik Krallık	RLC Osilatör/ RoCoF	5 s

Tablo 28 PV eviriciler için geçerli DC akım enjeksiyon sınırları ve ilgili standartlar

<i>Standard No</i>	<i>Kullanan Ülke</i>	<i>Maksimum DC Akım</i>
IEC 61727	Uluslararası (IEC)	% 1
EN 50438	Bazı Avrupa ülkeleri	-
AS 4777	Avusturalya	% 0.5
UL 1741	A:B:D	% 0.5
PV 501	G. Kore	% 0.5
VDE0126-1-1	Almanya	1 A
RD 1663	İspanya	-
Enel Guida	İtalya	% 0.5
PPC Guideline	Yunanistan	% 0.5
G83/1-1	Birleşik Krallık	20 mA

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada sayı ve kurulu güçleri son dönemde hızla artmakta olan PV GES'lerin dağıtım sistemi güç kalitesi üzerine etkileri ve yükümlü oldukları sınır değerler ele alınmıştır. GES'lerin sistem üzerindeki etkileri kurulu güçleri ile doğru orantılı olduğu için önce güncel veriler kullanılarak Türkiye'deki mevcut GES kurulu gücü ve önümüzdeki yıllardaki artış eğilimi hakkında fikir verilmeye çalışılmıştır. Tablolar

incelendiğinde GES'lerin diğer DES'ler içerisinde önemli bir yer tuttuğu ve sistem üzerindeki etkilerinin diğer santrallere göre daha baskın olacağı görülmüştür. Türkiye'nin 72,000 MW olan toplam kurulu gücü ile karşılaştırıldığında 175 MW olan GES'lerin % 0.25 ile güç kalitesi üzerinde büyük bir etki yapması beklenmemektedir. Ancak 2016 yılı itibarıyla GW mertebesine ulaşması ve önümüzdeki yıllar içerisinde ivmelenerek artması beklenen GES'lerin dağıtım sistemi

güç kalitesi üzerindeki etkileri tartışılarak şimdiden hızlı yayılımının önü açılmalıdır. Problemler Türkiye dağıtım sistemi özelinde değerlendirilerek farklı ülke uygulamalarından hangilerinin Türkiye'ye uyarlanabileceği, maksimum yayılım için özgün bağlantı kriterleri gerekip gerekmediği mühendislik çalışmaları ışığında irdelenmelidir.

Mevcut GES kurulu gücünün dağılımı incelendiğinde, bazı şehir ve dağıtım bölgelerinin coğrafi ve iktisadi nedenlerden dolayı diğerlerine göre daha hızlı bir yayılıma sahip olduğu görülmüştür. Bu bölge ve illerin karakteristik verileri kullanılarak yapılacak simülasyon çalışmaları, olası problemlerin öngörülmesini kolaylaştıracaktır. Bu simülasyonlarda dağıtım sisteminin verileri kadar, yük akışı, yük profilleri, gerilim düşümü ve durum kestirimi çalışmaları da büyük önem taşımaktadır. Hızlı yayılım olan bölgelerde sistem izleme ve olay kaydetme çalışmalarının başlaması, az yoğun diğer bölgelerin izleyeceği yolu belirlemek açısından önemlidir. Bu analiz ve simülasyon çalışmaları, geriye yönelik gerçek veriye ihtiyaç duyduğundan sanayi, yerleşim, ticari ve kırsal alanlarda tipik fiderler seçilerek hali hazırdaki yük profilleri ve güç kalitesi figürlerinin kaydedilmesi büyük yarar sağlayacaktır. Gerçek verilere dayalı bağlantı senaryoları, kurulacak GES'lerin dağıtım sistemi güç kalitesi üzerindeki etkilerini ve olası problemleri daha gerçekçi ve detaylı bir şekilde ortaya koyacaktır. Bu çalışmaların Türkiye iletim ve dağıtım sisteminin özneliklerini içerecek şekilde yaygınlaştırılması, gerek TM'lerin gerekse AG ve OG fiderlerin teknik değerlendirmelere dayalı bağlantı kapasitelerinin ortaya konmasında önemli rol oynayacaktır.

Güç kalitesi problemine GES'lerin olumsuz katkı yapmaması için DC ve AC sistem arasında tampon bölge görevi yapan ve üretilen DC gücü şebekede kullanılabilir AC

forma dönüştürmekle görevli eviriciler anahtar rol oynamaktadır. Bu nedenle evirici seçimi sürecinde fiyat, temin ve kurulum hızından çok ilgili standartlara uyup uymadığı titizlikle sorgulanmalıdır. Eviricilerin uymakla yükümlü kılındığı standartlar GES kurulum sürecinin önünde bir engel olarak değil, GES yaşam döngüsü sürecinde maliyeti azaltıcı bir tedbir olarak değerlendirilmelidir. Zira 35-40 yıl gibi uzun sürelerle yayılacak santral yaşam sürecinde evirici kaynaklı güç kalitesi problemlerinin çözüm maliyetleri, - sadece donanım yenileme ve servis giderlerini değil enerji satış kayıplarını da içereceği için- kısa vadedeki kurulum maliyetlerinden çok daha yüksek değerlere ulaşabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] "Elektrik enerjisi piyasası ve arz güvenliği stratejisi belgesi," Yüksek Planlama Kurulu, karar no.2009/11, 18 Mayıs 2009.
- [2] "An energy policy for Europe," Commission of the European Communities, COM (2007) 1, Brussels, 2007.
- [3] "A European strategic energy technology plan (SET-Plan)," Commission of the European Communities, COM (2007) 723, Brussels, 2007.
- [4] B. Şimşek, E. Bizkevelci, "Fotovoltaik güneş elektrik santrallerinin alçak gerilim şebekesine bağlantı esasları," EMO, III. ETUK, Kasım 2013, İzmir.
- [5] TEİAŞ internet sayfası, www.teias.gov.tr.
- [6] "Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun," Resmi Gazete, sayı.25819, Kanun no. 5346, 18 Mayıs 2005.

- [7] “Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik,” EPDK, Resmi Gazete, sayı.28783, 02 Ekim 2013.
- [8] “Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmeliğin uygulanmasına dair tebliğ,” EPDK, Resmi Gazete, sayı.28783, 02 Ekim 2013.
- [9] “Elektrik piyasasında dağıtım sisteminde sunulan elektrik enerjisinin tedarik sürekliliği, ticari ve teknik kalitesi hakkında yönetmelik,” Resmi Gazete, sayı.27052, Kasım 2008.
- [10] “Requirements for micro-generating plants to be connected in parallel with public low-voltage distribution networks,” BS EN 50438, 2013.
- [11] “Interconnecting distributed resources with electric power systems,” IEEE Std. 1547.2, 2008.
- [12] “Electromagnetic Compatibility (EMC)- Part 2-2, Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems,” BS EN 61000-2-2, 2002.
- [13] “Electromagnetic Compatibility (EMC)- Part 4-30, Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods,” IEC 61000-4-30, 2015.
- [14] “Electromagnetic Compatibility (EMC)- Part 3-2, Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase),” IEC 61000-3-2, 2014.
- [15] “Electromagnetic Compatibility (EMC)- Part 3-3, Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection,” IEC 61000-3-3, 2013.
- [16] “Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks,” TS EN 50160, 2010.
- [17] “Electromagnetic Compatibility (EMC)- Testing and measurement techniques-Flickermeter- Functional and design specifications,” IEEE Std.1453, 2011.
- [18] “Electromagnetic Compatibility (EMC)- Part 4-15, Testing and measurement techniques-Flickermeter- Functional and design specifications,” TS EN 61000-4-15, 2010.
- [19] “Electromagnetic compatibility (EMC)– Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications,” IEC 61000-4-15, 2010.
- [20] “Photovoltaic (PV) systems- Characteristics of the utility interface,” IEC 61727, 2004.
- [21] “Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems,” IEEE Std. 929, 2000.
- [22] M. Altin, E. U. Oguz, E. Bizkevelci, B. Simsek, “Distributed generation hosting capacity calculation of MV distribution feeders in Turkey,” Proc. in IEEE PES, ISGT-Europe, Oct. 2014.
- [23] Salas, V, M. Alonso Abella, E. Olias, F. Chenlo, A. Barrado, “DC current injection into the network from PV inverters of < 5 kW for low-voltage small grid-connected PV systems,” Science Direct, Solar Energy Materials and Solar Cells, 2007.
- [24] “Standards for solar inverters,” SMA, 2011.