

Türkiye Elektrik İletim Şebekesinde 2015 Yılı Güç Kalitesi Analizi

2015 Annual Power Quality Analysis of Turkish Electrical Transmission Grid

Veli Durmuş¹, Mustafa Avşar¹, Süleyman Taşkent¹, Cuma Ali Mantas¹

¹Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), TR 06490, Ankara, Türkiye
veli.durmus@teias.gov.tr, mustafa.avsar@teias.gov.tr, suleyman.taskent@teias.gov.tr, cumaali.mantas@teias.gov.tr

Özet

Teknolojinin günümüzde geldiği noktada enerjinin sürekli, kesintisiz ve temiz bir şekilde kullanıcılara iletilmesi önemli bir konudur. Türkiye’de iletim şebekesinin sahibi ve operatörü konumuyla TEİAŞ da bu benzersiz görevi yerine getirirken son yıllarda güç kalitesine gereken önemi vermektedir. Geliştirilen AR-GE projesiyle üretilen Güç Kalitesi Çözümleyicileri ile kurulan Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi, belirlenmiş noktalardan 365 gün ölçüm yapmaktadır. Bu ölçümlerin sonucunda iletim şebekesine aktarılan gücün genel bir kalite fotoğrafının çekilmesi amacıyla yıllık veriler derlenmiş ve istatistikler çıkarılmıştır. Her bir güç kalitesi parametresi için bozucu etkilerin hangi tür kullanıcılardan geldiği incelenmiştir. Hazırlanan bu raporla sistemin kalite durumu görülmüş ve bundan sonra yapılabilecek iyileştirme çalışmaları için bir ön çalışma niteliğini almıştır.

Abstract

Considering the point that technology has reached nowadays; continuous, uninterrupted and clean transmission of energy to users is an important subject. As being owner and operator of the transmission grid in Turkey, TEİAŞ has been giving due importance to power quality in recent years while carrying out this unique mission. National Power Quality Monitoring Center which was founded with Power Quality Analysers that was produced by an R&D Project, takes measurements from specified points for 365 days. As a result of these measurements for the purpose of taking a general quality photo of the power transferred to transmission grid, annual data was derived and some statistics was made. For each power quality parameter from which type users disturbing effects comes was studied. By this report, the quality condition of system was seen and this became a preparatory work for mitigation studies that may be done in the future.

1. Giriş

Güç kalitesini tanımlamak için bir güç kalitesi probleminin ne olduğunu açıklamak gerekecektir. Güç Kalitesi problemi, kullanıcıların ekipmanında bozukluk veya yanlış işleyişe sebep olan gerilim, akım veya frekans sapmalarında açığa çıkan herhangi bir güç problemidir. Aslında güç kalitesi terimi çoğu durumda gerilim kalitesini işaret etmektedir. Teknik olarak güç bir enerji iletimi değeridir ve gerilim ve akımın çarpımıyla orantılıdır. Hâlbuki güç sağlama sistemi sadece gerilimin kalitesini kontrol edebilir; değişik yükler tarafından çekilecek akımlar üzerinde bir kontrolü yoktur. Dolayısıyla

güç kalitesi alanındaki standartlar besleme geriliminin belli limitler arasında kalmasını sağlamaya yöneliktir [1].

Güç kalitesi problemlerini çözmek ve engellemek için artan ihtiyaca sebep olan faktörler; güç kalitesine hassas ekipmanların kullanımının artması, güç kalitesi problemleri üreten ekipmanların kullanımının artması ve şebekenin enterkonnekteliğinin artması şeklinde sıralanabilir [2].

2015 yılı güç kalitesi analizinde gerilim dalga şeklindeki bozukluk olan harmonikler, gerilim dalgalanması sonucu açığa çıkan kırışma ve fazlar arasındaki gerilim dengesizliği gibi kararlı durum güç kalitesi parametreleri incelenmiştir. Bu parametrelere ait 01.01.2015 ve 31.12.2015 arası dönemi kapsayan fider başına 10 dakikalık 52560 adet ham veri ile çalışılmıştır. Bu verilere her bir faz için 95. yüzdellik formülü uygulanmış ve açığa çıkan değerlerden en kötü durumun gözlemlendiği faz seçilmiştir. En kötü durumdaki faza ait değerler Elektrik Şebeke Yönetmeliğindeki uyumluluk limitleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca fiderlere ait gerilim ve akım RMS değerleri gibi nicelikler incelenerek hatalı veri gönderdiği anlaşılan fiderler 2015 yılı raporuna dâhil edilmemiştir.

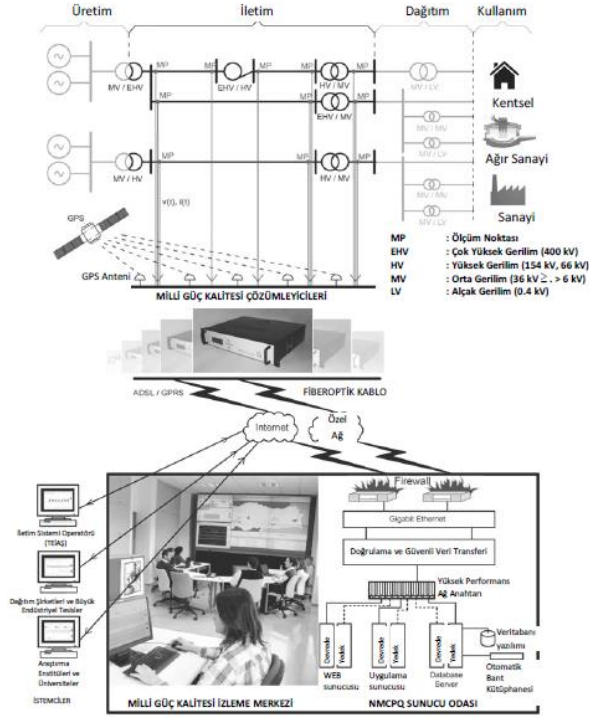
2. Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi ve Ölçüm Sistemi

Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi TEİAŞ'ın Ankara'daki Genel Müdürlük T Blok binasında konumlandırılmıştır. Proje TÜBİTAK ve bilimsel olarak destek veren üniversiteler (ODTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi) ile birlikte 2006'da başlamış olup 2009 yılı başlarında devreye alınmıştır. Proje kapsamında kurulan Güç Kalitesi izleme sistemi Türkiye'nin iletim sistemi operatörü olan Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'ne (TEİAŞ) aittir. Bu sistemin amacı Elektrik Şebeke Yönetmeliği Güç Kalitesi Parametreleri Sınır Değerleri'nde belirtilmiş olan limitlere uyumluluğun izlenmesi ve kontrol edilmesidir. Aynı zamanda, elektriğin hem üretilmesi hem de tüketilmesinin izlenmesini de sağlayacaktır. Ayrıca sistem, PQ+ çözümleyicilerine geniş-alan fazör ölçüm özelliğinin de sağlanmasıyla Türkiye Elektrik İletim Sistemi ile ENTSO-E Avrupa Kıtası Senkron Bölgesi'nin (Avrupa Şebekeleri Elektrik İletim Sistemi İşletmecileri) bağlantı sürecini de desteklemektedir.

Ülke çapında gerçek zamanlı Güç Kalitesi izleme yeteneğine sahip sistem ile hâlihazırda bağlı bulunan 868 Güç Kalitesi Çözümleyicileri ile toplamda 1531 fider izlenmektedir (Maksimum fider izleme kapasitesi $2 \times 868 = 1736$ fider). Sistemin zamanla tüm iletim sistemini kapsayacak şekilde genişletilmesi planlanmakta olup, raporlama ve analiz yetenekleri konusunda geliştirmeler planlanmaktadır. Güç

Kalitesi İzleme Sistemi genel olarak 3 temel alt sistemden oluşmaktadır:

1. Ülke çapında yaygın kurulmuş çok amaçlı Güç Kalitesi çözümleyiciler
2. Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi
3. Güç Kalitesi veri toplama ve analiz yazılım paketi



Şekil 1. Güç Kalitesi İzleme Sistemi yapısı

2.1. Ölçüm Sistemi

Türkiye'nin Milli Güç Kalitesi Projesi kapsamında geliştirilen Milli PQ+ çözümleyici, 2 fider (2 x 3 x 2 = 12 kanal) için üç faz anlık gerilim ve akım verilerini toplayan ve toplanan veriler üzerinde gerçek zamanlı analizler yapan çok amaçlı bir çözümleyicidir. Her iki fider için 3 faz gerilim, 3 faz akım olmak üzere 25,6 kHz örnekleme hızının toplamda 12 adet dalga şeklinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu da 50 Hz'lik sinyal için bir periyotta 512 örnekleme karşılık gelmektedir. Ülke çapında dağıtık vaziyette bulunan Güç Kalitesi çözümleyicileri fiderlerden almış olduğu verileri GPS tabanlı bir senkronizasyon sistemi ile senkronize olarak örneklendirmektedir.

Millî Güç Kalitesi İzleme Merkezi ile dağıtık olarak bulunan Güç Kalitesi çözümleyicileri arasındaki haberleşme genellikle ADSL modem üzerinden sağlanmaktadır. Bazı durumlarda şebekede bulunan fiber optik ağ kullanılmaktadır.

2.2. Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi (National Monitoring Center for Power Quality- NMCPQ)

TEİAŞ Genel Müdürlük binasında bulunan Güç Kalitesi İzleme Merkezi sistemi genel olarak, PQ+ çözümleyicileri tarafından ölçülen güç kalitesi verilerinin alınıp saklandığı ve bu verilere ulaşım ve bunların analizlerini sağlayan analiz paketlerinin bulunduğu uygulamalar içeren bir sistemdir. Donanımsal olarak verilerin toplandığı veri tabanı sunucusu, yazılımların çalıştığı uygulama sunucusu ve internet üzerinden

yayın yapabilmek amacıyla bir web sunucusundan oluşmaktadır. Ayrıca sistemin acil durumlardan kurtarılmasına yönelik yedekleme birimleri de bulunmaktadır(Şekil 1).

2.3. Güç Kalitesi veri toplama ve analiz yazılım paketi

Güç Kalitesi veri toplama ve analiz yazılım paketi hâlihazırda 3 alt birimden oluşmaktadır:

1. Uzaktan izleme, analiz ve raporlama arabirimi
2. Gerçek zamanlı izleme arabirimi
3. Yönetim arabirimi

Bu uygulamalara ayrı ayrı programlarla ulaşılabildiği gibi hepsine ulaşılabilen tek bir ara yüz de mevcuttur.

Ayrıca GKÇ Takip Uygulaması adı verilen bir web uygulaması ile de Güç Kalitesi Çözümleyicilerinin durumunun izlenmesi sağlanmıştır.

GKÇ İstemci uygulaması ile çözümleyicilerin belirlenen zaman aralıkları için uzaktan izlenmesi ve RMS sorgulamaları, Olay verileri sorgulaması ile analizi ve ham verilerin elde edilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında raporlama özelliği sayesinde çözümleyici cihazlarından alınan ham veriler işlenerek belirlenebilen zaman aralıkları için ilgili grafikler ve hesaplanmış veriler ile belli bir rapor formatı altında raporlama yapılabilmektedir. Bu rapor Microsoft Word formatında alınabilmektedir.

Gerçek Zamanlı İzleme Arabirimi sayesinde mevcut PQ çözümleyicilerin ve PMU özelliği bulunan bazı çözümleyicilerin anlık olarak da takip edilebilmesi mümkündür. Bu uygulama ile cihazlarda o andaki güç parametrelerinin 3 saniyelik ortalamaları gösterilmektedir. Ayrıca PMU (Phasor Measurement Unit) özelliği bulunan cihazlardan 0.1 saniye hassasiyetinde veri alınabilmesi mümkündür.

Yönetim arabirimi PQ veri tabanında ilgili PQ çözümleyicilerin mevcut bilgilerini güncelleme ve silinmesinin kontrolünü sağlamaktadır. Ayrıca arabirim sistem kullanıcı bilgilerinin ve PQ+ çözümleyicileri, fiderler, trafo merkezleri ve TEİAŞ yönetim bölgeleriyle ilgili bilgilerin eklenmesi, güncellenmesi ve silinmesini sağlamaktadır[3].

3. Güç Kalitesi Yıllık Raporu

3.1. Gerilim Harmonikleri

Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nde harmonik, 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 sinüsoidal bileşenlerin her biri olarak tanımlanmaktadır[4]. TEİAŞ, Türkiye elektrik iletim sisteminin operatörü olarak harmonik gerilimlerden sorumludur. Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nde harmonik gerilim değeri, bozulmaya uğramış gerilim dalga şeklindeki harmonik bileşenlerin etkin değeri olarak ifade edilmektedir[4].

Harmonikler genel anlamda sinüzoidal olmayan kaynaklardan ve lineer olmayan yüklerden kaynaklanmaktadır. Gelişen elektronik teknolojisiyle sık kullanılan güç elektroniği cihazları, ark ocakları, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullandığı sistemler, doyma bölgesine ulaşmış elektrik makinalarının ürettiği akımlar, kesintisiz güç kaynakları vb. birçok sistem şebekenin harmoniklerinin yükselmesine neden olmaktadır.

Harmoniklerin sonuçlarından sistem operatörü olarak TEİAŞ ve sistem kullanıcıları farklı şekillerde etkilenmektedir. Harmonik etkilerine TEİAŞ açısından bakıldığında

transformatörlerde kayıpların artması, yalıtım zorlamaları ve ek ısınmadan kaynaklı olarak teçhizat ömürlerinin kısalması ile bakım-onarım ve işçilik masraflarının artması sonuçlarını doğurmaktadır.

Sistem kullanıcıları da sistemdeki harmoniklerin zararlarından farklı şekillerde etkilenmektedir. Harmonikler döner makinaların güçlerinde ek kayıplara neden olmakta, motorların verimini ve momentini düşürmekte, kompanzasyon sistemlerini etkilemekte, hassas dijital aletlerin yanlış çalışmasına neden olmakta ve farklı frekanslarda oluşacak rezonanslar yüksek kapasitif akımların çekilmesine neden olmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, 2015 yılı içerisinde harmonik gerilimler yönünden sağlıklı verilerin alınabildiği ve çalışmaya dâhil edilen toplam fider sayısı 1370'dir. Bu 1370 fider 2. Harmonik, 3. Harmonik, 5. Harmonik, 7. Harmonik, 11. Harmonik ve Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortion) yönünden incelenmiştir.

Yapılan incelemede fiderlerin Elektrik Şebeke Yönetmeliği Ek-7'de yer alan Güç Kalitesi Parametreleri Sınır Değerleri kısmında belirtilmiş limitlerin içerisinde olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Güç Kalitesi Parametreleri Sınır Değerleri kısmında harmonik gerilim limitleri, planlama ve uyumluluk olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu çalışmada kararlı durum güç kalitesi analizleri yapıldığı için uyumluluk limitleri esas alınmıştır.

Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nin İletim şekli ve dalga kalitesi başlıklı 9. Maddesinin 3. fıkrasında limitlere uygunluk aranması ölçüm periyodunun %5'inden daha uzun bir süre için tanımlanmıştır[4]. Bundan dolayı, veriler alındıktan sonra 95. yüzde birlik hesabı yapılmış ve verilerin %5'lik aşma kısmı işleme dâhil edilmemiştir.

Harmonik gerilimler açısından bakıldığında Elektrik Şebeke Yönetmeliği'ndeki limitler 400 kV gerilim seviyesi, 154 kV gerilim seviyesi ve 154 kV altı gerilim seviyesi olarak kısımlara ayrılmış ve her bir gerilim seviyesindeki harmonik katları için ayrı ayrı limitler belirlenmiştir.

1370 fiderin gerilim seviyelerine göre ayrılmış hâli aşağıdaki Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo 1. Harmonik gerilim analizi yapılan fiderlerin gerilim seviyelerine göre ayrılmış sayı adetleri.

Gerilim Seviyesi	Fider Adedi
400 kV	383
154 kV	576
154 kV altı	411
Toplam	1370

Türkiye elektrik iletim şebekesinde 2015 yılı güç kalitesi analiz raporunda harmonik gerilim incelenmesi için elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler hâlinde özetlenmiştir:

- 2. harmonik gerilimlerde herhangi bir gerilim seviyesinde limit aşımı oluşmamıştır.
- 3. harmonik gerilimlerinden 400 kV seviyesindeki 64 adet fider, 154 kV gerilim seviyesindeki 195 fider ve 154 kV'nin daha altı gerilim seviyelerinde 23 fider limitleri aşmıştır.
- 5. harmonik gerilimlerinden 400 kV seviyesindeki 12 adet fider, 154 kV gerilim seviyesindeki 12 fider ve 154 kV'nin daha altı gerilim seviyelerinde 6 fider limitleri aşmıştır.

- 7. harmonik gerilimlerinden 400 kV seviyesindeki 11 adet fider, 154 kV gerilim seviyesindeki 17 fider limitleri aşmışken 154 kV'un altı gerilim seviyelerinde ise 7. Harmonik limitlerini aşan fider bulunmamaktadır.
- 11. harmonik gerilimlerinden 400 kV seviyesindeki 9 adet fider, 154 kV gerilim seviyesindeki 6 adet fider limitleri aşmış, 154 kV'un altı gerilim seviyelerinde ise 11. Harmonik limitlerini aşan fider bulunmamaktadır.
- Toplam Harmonik Bozulma verileri incelendiğinde, 400 kV seviyesindeki 39 adet fider, 154 kV gerilim seviyesindeki 16 fider ve 154 kV'un daha altı gerilim seviyelerinde 16 fider limitleri aşmıştır.

Elde edilen veriler ışığında özellikle 3. Harmonik gerilimlerde limit aşımı oranlarının yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Öyle ki, 3. Harmonik gerilimleri göz önüne alındığında 400 kV seviyesi için toplam fiderlerin %16,71'i, 154 kV seviyesi için %33,85'i ve 154 kV altı seviyelerde de %5,59'u limitlerin üzerindedir.

Üçüncü harmonik gerilimden sonra daha yüksek oranlı çıkan diğer harmonik seviyeleri 5. ve 7. harmonik seviyeleridir. Bilindiği üzere 6-pulse çalışan elektrik cihazları 5. ve 7. harmonik seviyelerinin artmasında ana etkenlerdendir.

Toplam Harmonik Bozulma, diğer tüm harmonik seviyelerinden aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır[4].

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}}{U_1} \times 100 \quad (1)$$

Toplam harmonik bozulmanın diğer tüm harmoniklerle doğrudan ilişkili olduğu (1) numaralı formülde görülebilmektedir. Veriler incelendiğinde toplam harmonik bozulmanın limiti aştığı tüm fiderlerde en az bir harmonik daha limitleri aşmıştır. Fakat diğer harmoniklerin limit aştığı her fiderde toplam harmonik bozulma limiti aşılmamıştır.

Harmonik verileri bölgesel bazda incelendiğinde de önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bilindiği üzere Türkiye'nin batısında Rüzgâr Enerjisi Santralleri(RES), doğusunda ise Hidroelektrik Santraller(HES) yoğunluktadır. RES'lerin fazlaca olduğu İzmir, Manisa, Çanakkale, Balıkesir ve Bursa illerini kapsayan TEİAŞ 2. Ve 3. Bölge Müdürlüklerine ait veriler incelendiğinde limiti aşan 45 fiderin 23'ü RES'lere ait fiderlerdir. Geriye kalan fiderlerin büyük bölümü de diğer türlerdeki enerji santrallerine ve Organize Sanayi Bölgeleri'ne ait fiderlerdir.

3.2. Kırpışma(Fliker)

Kırpışma, parlaklığı veya tayfsal dağılımı zamanla dalgalanan bir ışıksal uyarı tarafından indüklenen görsel algılamanın değişkenliğinin gösterimidir. Kırpışmaya sebep olan elektromanyetik olay gerilim dalgalanmaları iken, kırpışma eski tip lambalardaki etkidir. Uluslararası kırpışma ölçer kırpışma şiddetini nitelemek için Pst ve Plt olarak iki nicelik tanımlar. Kısa dönemi ifade eden Pst, her bir 10 dakikalık periyot için elde edilmiş bir değerdir. Uzun dönemi ifade eden Plt ise her bir 2 saatlik periyot için elde edilmiş bir değerdir. Kırpışma ile ilişkili gerilim kalitesi kriteri genelde Pst ve/veya Plt üzerinden belirtilir. Plt tipik olarak 12'li ardışık Pst değerleri gruplarından türetilir. Uzun dönem fliker şiddeti kısa

dönem fliker değerleri kullanılarak aşağıdaki formül uyarınca hesaplanır [5].

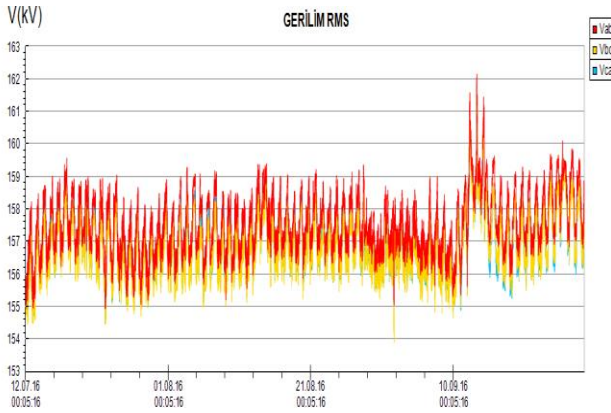
$$P_{It} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} P_{stj}^3} \quad (2)$$

Güç kalitesi ölçüm periyodu boyunca gerçekleşen geçici olaylar ve kısa süreli kesinti, gerilim çukuru, gerilim tepesi gibi durumlara ait veriler süzülükten sonra kısa dönem fliker değerlerinin, en az %95'i Tablo 2'de verilen değerlerden veya %99'u bu değerlerin 1,5 katından küçük ya da 1,5 katına eşit olmak zorundadır[4]. Bu tablodaki limitler fliker planlama sınır değerleridir. Bu limitler aynı zamanda uyumluluk sınır değerleri olarak da kabul edilmektedir.

Tablo 2. Yönetmelikte belirtilmiş fliker limitleri

Gerilim Seviyesi (V)	Fliker Şiddeti	
	P _{st} (Kısa Dönem)	P _{It} (Uzun Dönem)
V > 154 kV	0,85	0,63
35 kV < V ≤ 154 kV	0,97	0,72
1 kV < V ≤ 35 kV	1,0	0,8

Normal koşullarda 50 Hz sistem frekansında temiz bir sinüs dalgası şeklinde olması gereken şebeke gerilimi, çeşitli nedenlerle daha düşük frekanslarda salınma başlayabilir. Bu tür salınımlara sebep olabilecek kullanıcılar ark ocağı veya kaynak makinesi gibi ani ve aşırı yük çeken sanayi tesisleridir. Aşağıdaki grafik ülkemizdeki bir ark ocağına ait Gerilim RMS salınımlarını göstermektedir.



Şekil 2. Bir ark ocağına ait gerilim RMS salınımları grafiği

Kırışma elektrik motorlarının devirlerinde ve akkor flamanlı lambaların ışığında dalgalanmaya, manyetik çekirdekli cihazlarda uğultuya sebep olur. Sabit değerdeki gerilim düşümü veya yükselmesinde ise cihazlar nominal değerinde çalışırlar ancak buradaki gibi hissedilir bir yavaş dalgalanma söz konusu değildir. Sistemdeki ani değişen yükler nedeniyle kırışmayı tümenden yok etmek olanaksızdır ancak insanlar üzerindeki psikolojik ve fizyolojik açıdan olumsuz etkileri nedeniyle belli sınırlar içerisinde tutulmalıdır. Gerilim dalgalanması probleminin çözümü, dalgalanmanın frekansında bir değişim meydana getirmektir. Bir ark ocağı için, çözüm genellikle ark ocağına verilen reaktif gücün miktarını kontrol ederek gerilim dalgalanmasının frekansını

düzenleyen maliyetli fakat etkili statik VAR kompanzator (SVC) kullanmaktır[2].

2015 yılı boyunca elde edilen Güç Kalitesi verilerinin değerlendirildiği çalışmada kırışma ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 3. Fliker limitlerinin aşılma sayıları ve oranları

Gerilim Seviyesi	Toplam Fider Sayısı	Pst Limiti Aşanlar	Pst Limiti Aşan %	Plt Limiti Aşanlar	Plt Limiti Aşan %
154kV altı	204	36	17,65%	76	37,25%
154kV	481	78	16,22%	172	35,76%
400 kV	339	45	13,27%	107	31,56%
Toplam	1024	159	15,53%	355	34,67%

Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezine veri gönderen tüm fiderlerden hatalı kırışma verisi gönderen fiderler süzülükten sonra geriye kalan toplam 1024 fider incelenmiştir. Plt limitini aşan fider sayısı tüm gerilim seviyelerinde Pst limitini aşanlardan fazladır. Hâlbuki fiderler tek tek incelendiğinde sadece Plt limitinin aşıldığı durumlarda limitin aşılma miktarı küçük seviyelerdedir. Hem Pst hem de Plt limitinin aşıldığı durumlarda daha büyük aşım söz konusudur. Bu tip fiderler genellikle sanayi veya demir-çelik kullanıcılarına aittir.

TEİAŞ Bölge Müdürlükleri bazında oluşturulan istatistiklerde ulaşılan sonuçlar ise şunlardır:

- Ülkemizde demir-çelik sanayinin en yoğun olduğu alan, 18. Bölge Müdürlüğü (Adana) sınırları içerisinde olduğundan, en yüksek yüzde ile Pst limit aşımının olduğu yer burasıdır. Bu bölgedeki fiderlerin %72'sinde uyumluluk seviyeleri geçilmiştir.
- Diğer bölgelere nispeten daha yüksek yüzdelere sahip olan 2. (Bursa), 3. (İzmir) ve 4. Bölge (İstanbul Anadolu) Müdürlüklerinde sırasıyla %28, %28 ve %33 oranında Pst limit aşımı gerçekleşmiştir.
- Sınırları içerisinde ark ocağı bulunan 10. (Samsun) ve 11. Bölge (Kayseri) Müdürlüklerindeki fiderlerin sırasıyla %11 ve %14'ünde Pst limitleri aşılmıştır.
- Değerlendirmeye aldığımız toplam 1024 fiderin 159 unda kısa dönem kırışma uyumluluk limitleri aşılmıştır. Bu sayı tüm ülkedeki %15,53 lük bir oranı ifade etmektedir.

Yukarıda bahsi geçmeyen Bölge Müdürlüklerinde bu değerlerden çok daha düşük yüzdelere elde edilmiştir.

3.3. Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği genel olarak 3 fazlı olan elektrik şebekesinde fazlardaki gerilim genliklerinin ve faz açılarının birbirine eşit olmaması durumu ve fazların birbirlerine göre maksimum sapmasını ifade eder. Literatürde gerilim dengesizliğinin hesaplanabilmesi için akım ve gerilim değerleri, pozitif faz bileşeni, negatif faz bileşeni ve sıfır faz bileşeni olarak üç parçaya ifade edilmektedir. Dengesizlik hesaplanırken gerilim IEC standardı tanımlamalarında dengesizliğin ölçüsü olarak, negatif faz sırasının pozitif faz sırasına oranı verilmiştir. Bu nedenle gerilim dengesizliğinden

bahsederken NFS tabiri de sıkça kullanılır. Genel olarak NFS, gerilimin 3 faz içinde dengede olmadığı durumlarda sıfırdan farklı bir değer alır[6].

Gerilim dengesizliğine sebep olan bazı etmenler vardır. Bu sebeplerden önemli ikisi dengesiz yükler (tek faz motorlar, trafolar ve tek faz ark ocakları) ve şebekenin kendi içerisindeki empedans dengesizliğidir. Dengesiz yükler ile kastedilen 3 fazlı sisteme bağlanan yüklerin her faza eşit ve dengeli şekilde dağıtılmaması ve bunun sonucunda fazlardan çekilen akımların farklı oluşudur. Örnek olarak raylı sistemlerde tek faz veya iki fazlı yüklerin 3 fazlı şebekede dengesiz dağılması verilebilir. İkinci sebepten oluşan dengesizlik etkisi ise diğerine oranla daha azdır. Çünkü empedans değişikliği ortalaması genellikle daha düşük bir etki yaratırken, yüklerin dengesizliği büyük yapılandırılmalar sonucuyla veya bir dizi yük dağıtım ihmallerinden meydana gelir. Aynı şekilde havai hatlarda da devredeki faz iletkenlerinin birbirlerine karşı ya da toprak iletkenlerine karşı asimetrisinden kaynaklanan yapısal dengesizlikler de gerilim dengesizliğinde önemli rol oynar. İletkenlerin öz empedansları ve karşılıklı empedanslarının gösterdiği farklılıklar devre boyunca faz akımlarında ve fazlar arası gerilimlerde dengesizliğe yol açacaktır.

Gerilim dengesizliği, iletim ve dağıtım sistemlerinde ve bunlara bağlı çalışan 3 faz jeneratör ve motorlarda NFS akımları meydana getirir. Bu akımlar ısınma etkisiyle makine ömürlerinin kısalmasına ve koruma cihazlarının çalıştırılmasına sebep olmaktadır. Hatta bu dengesizlik 3 faz cihazların çalışmalarında olumsuz etkiye sebep olurken, bunları korumak için devreye girecek doğrultucu ve eviricilerin harmonik akım üretmesine sebep olabilir. Bu nedenle dengesizliğin bazı kontroller ve önleyici çalışmalarla kontrol altında tutulması gerekir. Bu faaliyetler yük akışının her üç fazda da dengeli hale getirilme çalışmaları ile sağlanır. Örneğin; raylı sistemlerde tek faz ya da iki fazlı sistemin hat boyunca enerjisini hat üzerindeki farklı fazlardan almasıyla dengesizlik düşürülebilir. Bunun gibi havai hatlarda oluşabilecek dengesizlik de hat boyunca belirli aralıklarda devrelerdeki fazların transpoze edilmesiyle dengeli hale getirilebilir. İletim sisteminde de bu transpozisyon yapılmak suretiyle uzun enerji nakil hatlarında gerilim dengelenmektedir.

Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nde gerilim dengesizlikleri için belirlenen bazı limitler bulunmaktadır. Yönetmelik'te 12. Maddenin 1'inci fıkrasında aşağıdaki şekilde bir ibare yer almaktadır[4]:

“Normal işletme koşullarında; iletim sistemi elemanlarının planlı olarak devre dışı olması durumunda, güç kalitesi ölçüm periyodu boyunca 3 saniye çözünürlükle ölçülen şebeke temel frekansındaki gerilim negatif bileşeni etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'inin şebeke temel frekansındaki gerilim pozitif bileşenlere oranı

- 400 kV gerilim seviyesinde %1'i;
- 154 kV seviyesinde %1,5 ve
- 154kV altı gerilim seviyelerinde %2 oranını aşmamalıdır.

TEİAŞ'ın onayı ile bu oran tek fazlı veya iki fazlı yüklerin beslendiği noktalarda 400 kV gerilim seviyesinde %1,4'e, 154 kV seviyesinde %2'ye kadar çıkabilir.”

Bu limitler planlama seviyesi limitleri olup uyumluluk seviyelerinde de aynı değerler kabul edilir.

Bu bilgiler ışığında, 2015 yılı için Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi tarafından oluşturulan raporda Türkiye İletim

Sistemi'nde güç kalitesi çözümleyicileri ile takip edilebilen bağlı tüm fiderler limit aşmaları konusunda incelenmiştir. Yapılan incelemede gerilim dengesizliği bakımından sağlıklı veri gelen 1344 fiderin gerilim seviyelerine göre dağılımı Tablo 4'teki gibidir.

Tablo 4. Mevcut Sistemde gerilim seviyelerine göre fider sayıları

	400 kV	154 kV	<154kV	Toplam
Fider Sayısı	399	574	371	1344

Mevcut Şebeke Yönetmeliği'ne göre belirlenen gerilim dengesizliği limitleri çerçevesinde yapılan incelemede, bu fiderlerden limitlerin üstünde olanlar ise gerilim seviyesine göre hem sayısal olarak hem de oransal olarak Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Mevcut sistemde gerilim seviyelerine göre limit aşımı miktarları ve oranları

	400 kV	154 kV	<154kV	Toplam
Fider Sayısı	399	574	371	1344
Limiti Aşan Fider Sayısı	43	36	7	86
Limiti Aşan Fider Oranı (%)	10,78	6,27	1,89	6,40

Bu limit aşımalarının bazıları incelendiğinde; örnekte bahsedilen raylı sistemler gibi dengesiz yüklenmelerin olduğu merkezlerde dengesizlik değerlerinin limitlerin üstünde çıktığı (dengesizlik 95inci yüzde birlik değeri: 24,83) gözlenmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Gerilim dengesizliğinin limitlerin üstünde seyrettiği bir merkez (DDY raylı sistemleri fideri)

Raylı sistemlerde oluşan dengesizliklerin genel olarak gerilim faz genliklerinin birbirlerinden farklı olmasından kaynaklandığı Şekil 3'ten görülmektedir. Bunun yanında gerilim faz açılarının da dengeli (aralarında 120 derece açı olacak şekilde) olmamasından kaynaklı olarak da dengesizliğe yol açtığı örnekler görmek mümkündür. Örnek olarak Şekil 4'te bir rüzgar enerji santralının fazlar arası genliklerinin

yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen dengesizlik değeri yüksek çıkmıştır. Bu durumda oluşan dengesizlik faz açıları arasında bir sapma olduğunu gösterir.

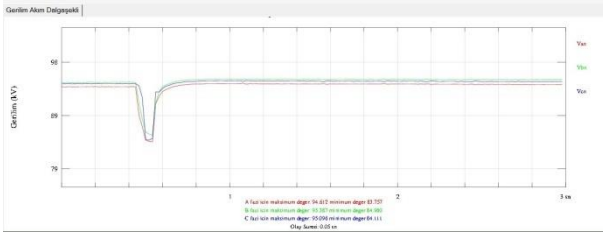


Şekil 4. Faz açısı dengesizliğinden kaynaklı bir gerilim dengesizliği limit aşımı (RES fideri)

Gerilim dengesizliği örneklerinde daha önce de bahsedildiği gibi genel olarak sistemin dengesini bozucu yüklenmeler şunlardır: Fazların dengeli kullanılmaması (raylı sistemler), aşırı akım çeken merkezler (demir çelik, sanayi bölgeleri), güç elektroniği cihazlarının kullanıldığı merkezlerdeki (RES fiderleri) bozucu etkilerdir.

3.4. Güç Kalitesi Olayları

Güç kalitesi açısından ele alındığında olay tanımlaması gerilim çukuru, gerilim tepesi ve kısa süreli gerilim kesintisini kapsamaktadır. Gerilim çukuru gerilimdeki kısa süreli azalmadır. Gerilim çukuru 8 milisaniye(yarım periyod) ile 1 dakika arasında gerilimin 50 Hz'deki karesel ortalama(rms) gerilim değerinin yüzde 10'u ile yüzde 90'ı arasındaki azalmayı ifade etmektedir[2]. TEİAŞ Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi'ne veri gönderen güç kalitesi çözümleyicilerinden alınan bir örnek gerilim çukuru grafiği Şekil 5'te görülmektedir.

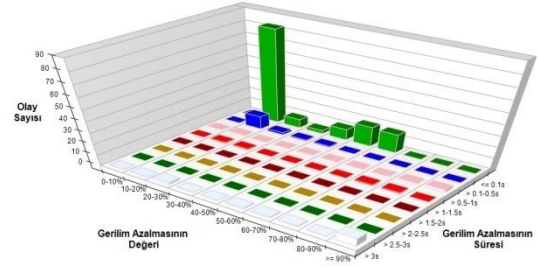


Şekil 5. 154 kV seviyesinde görülen bir gerilim çukuru

Gerilim çukurunun en önemli nedeni sistemdeki arızalardır. Ayrıca büyük güçlü motorların, kondansatör gruplarının devreye alınması, transformatörün enerjilendirilmesi, yüklerdeki ani artışlar da gerilim çukuruna sebebiyet verebilmektedir[7].

Bir nokta için gerilim çukuru analizi yapılacağı zaman standartlar üç ana nicelik üzerinde durmaktadır: ilgili noktada meydana gelen gerilim çukuru sayısı, bu gerilim çukurlarının ne kadar süre ile devam ettiği, ve çukur esnasında gerilimin nominal gerilimin yüzde kaçına düştüğü.

2015 yılı güç kalitesi analizinde bir RES fiderinden alınan ve bahsedilen parametreleri gösteren bir gerilim çukuru grafiği Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Gerilim çukuru süresi, sayısı ve gerilim azalmasının bir arada görüntülenmesi

TS EN 50160 standardında kullanıcıları gerilim çukurlarına karşı önlem alabilmeleri için Tablo 6'da gösterilen şema düzenlenmiştir. Bu tabloda gerilim çukuru karakteristiklerine göre kullanıcıların seçeceği cihazların uyacağı standartlar gösterilmektedir[8].

Tablo 6. Gerilim çukuru parametrelerine göre cihaz seçimi

Artık Gerilim u %	Süre t ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELL A1	CELL A2	CELL A3	CELL A4	CELL A5
$80 > u \geq 70$	CELL B1	CELL B2	CELL B3	CELL B4	CELL B5
$70 > u \geq 40$	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5
$40 > u \geq 5$	CELL D1	CELL D2	CELL D3	CELL D4	CELL D5
$5 > u$	CELL X1	CELL X2	CELL X3	CELL X4	CELL X5

Gerilim tepesi veya geçici aşırı gerilim, nominal gerilimin %110'unu aşan ve 1 dakikadan daha kısa süren gerilim değişimleridir. Gerilim tepeleri, elektrik şebekesinde gerilim çukurlarına göre daha az sıklıkla meydana gelmektedir. Tek faz-toprak arızaları gerilim tepelerine sebep olabilmektedir. Kesintiler ise bir veya daha fazla fazda gerilimin nominal gerilimin %10'undan daha aşağı bir değere düşmesini ifade etmektedir[2].

Güç kalitesi olayları ile ilgili önemli bir konu ulusal veya uluslararası hiçbir standardın güç kalitesi olaylarının sayısına veya süresine herhangi bir limit getirmemiş olmasıdır. Tüm bozucu etmenler sınırlansa dâhi sistemin doğası gereği tek faz-toprak ya da faz-faz kısa devre arızası sonucunda olaylar meydana gelebilmektedir. Bundan dolayı bir yandan iyileştirme çalışmaları yapılırken, öte yandan sistem kullanıcılarının ortak bağlantı noktalarındaki mevcut güç kalitesi olay sıklığını bilmesi ve teçhizatlarını bu değerlere göre temin etmesi önemli bir noktadır.

2015 yılı için yapılan çalışmada, gerçekleşen olayların TEİAŞ Bölge Müdürlükleri'ne göre fider başına düşen ortalama olay sayıları Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. 2015 yılında gerçekleşen olayların gerilim seviyelerine göre fider başına düşen ortalama sayıları

	2015 Yılı Boyunca Fider Başına Düşen Olay Sayıları								
	380kV fiderleri			154 kV fiderleri			154 kV altı fiderler		
	Çukur Kısa Süreli	Tepe Kısa Süreli	Kesinti Kısa Süreli	Çukur Kısa Süreli	Tepe Kısa Süreli	Kesinti Kısa Süreli	Çukur Kısa Süreli	Tepe Kısa Süreli	Kesinti Kısa Süreli
İstanbul Avrupa Yakası Bölge Müdürlüğü	197.2	47.9	2.3	278.5	15.6	2.0	188.1	36.8	41.2
Bursa Bölge Müdürlüğü	1021.6	9.7	426.1	210.6	5.4	20.4	310.8	44.2	86.8
İzmir Bölge Müdürlüğü	109.0	8.9	47.0	90.7	4.1	10.8	851.3	10.1	388.2
İstanbul Anadolu Yakası Bölge Müdürlüğü	201.2	4.3	0.5	200.9	0.7	1.9	85.5	14.3	16.9
Sakarya Bölge Müdürlüğü	180.7	39.9	2.2	123.0	1.4	0.4	205.2	24.5	46.4
Kütahya Bölge Müdürlüğü	186.9	3.9	3.8	127.2	1.8	3.0	32.0	2.8	0.8
Isparta Bölge Müdürlüğü	119.5	29.5	3.3	684.5	5.5	36.0	460.3	18.0	51.7
Ankara Bölge Müdürlüğü	266.2	12.5	3.6	731.1	21.1	27.7	218.4	33.6	97.7
Konya Bölge Müdürlüğü	523.9	8.1	90.9	288.3	24.5	3.0	62.1	66.1	1.9
Samsun Bölge Müdürlüğü	189.9	5.1	3.6	162.4	7.3	2.0	22.8	1.8	1.8
Kayseri Bölge Müdürlüğü	274.4	18.2	19.5	151.0	1.6	2.6	102.0	16.6	13.0
Gaziantep Bölge Müdürlüğü	183.6	7.4	16.8	405.6	7.0	15.8	350.0	32.5	27.8
Elazığ Bölge Müdürlüğü	235.5	12.5	65.8	221.2	2.6	3.6	1416.0	23.0	509.3
Trabzon Bölge Müdürlüğü	298.4	9.0	8.8	3153.4	3.5	1192.8	16.6	0.9	0.3
Erzurum Bölge Müdürlüğü	262.0	78.5	5.0	193.3	4.6	199.3	3.6	4.2	2.3
Batman Bölge Müdürlüğü	285.7	9.0	2.6	351.8	4.6	181.9	437.2	35.1	93.2
Van Bölge Müdürlüğü	254.3	9.7	5.7	1061.4	20.4	15.6	0.0	0.0	0.0
Adana Bölge Müdürlüğü	78.1	4.2	3.2	225.4	36.1	9.8	258.1	3.8	47.5
Antalya Bölge Müdürlüğü	210.4	3.1	3.4	162.7	7.5	38.9	0.0	0.0	0.0
Edirne Bölge Müdürlüğü	210.9	7.4	0.7	766.0	22.0	115.4	44.8	13.7	13.5
Denizli Bölge Müdürlüğü	70.0	2.7	0.2	81.6	4.6	2.2	69.5	6.9	51.3
Kastamonu Bölge Müdürlüğü	151.8	2.2	5.4	27.0	0.2	0.8	0.3	1.3	0.7

4. Sonuçlar

Elektrik şebekesi, elektrik enerjisinin üretiminden başlanarak iletim ve dağıtım sistemleri aracılığıyla son kullanıcıya aktarılmasıyla bir bütündür. Elektrik şebekesinin kirletilmesi yukarıda farklı bölümlerde tekraren bahsedildiği üzere şebekeye bağlı bütün kullanıcıları etkilemektedir.

Yapılan bu çalışma ile iletim şebekesinin güç kalitesi açısından bir yıllık verileri incelenerek iletim şebekesinin güç kalitesi açısından genel görünümü ele alınmıştır. Sonuçlar şaşırtıcı değildir. Demir-çelik endüstrisinin yoğun olduğu bölgelerde kırışma sayıları yüksektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yoğunlaştığı coğrafyalar incelendiğinde sisteme verilen harmonikler dikkat çekicidir. Büyük güçlerde dengesiz yüklenmenin olduğu fiderlerde gerilim dengesizliği değerleri yüksek çıkmaktadır.

Öte yandan Türkiye enerji sektörüne yaptığı yatırımlar artarak devam etmektedir. TEİAŞ Planlama ve Stratejik Yönetim Dairesi Başkanlığı'nın hazırladığı Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu'na göre 2019 yılında rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulu güç toplamının 5941 MW'a ulaşması beklenmektedir. Ayrıca 2015 yılı itibarıyla sisteme henüz lisanslı güneş enerjisi santrali bağlanmadığı için bu çalışmada güneş enerjisi santrallerinden bahsedilememiştir. 2019 yılına gelindiğinde lisanslı ve lisanssız güneş enerjisi

santrallerinin toplam kurulu gücünün 3040 MW'a ulaşması beklenmektedir[9]. Yine inşası devam eden Yüksek Hızlı Tren(YHT) hatlarının önümüzdeki yıllarda devreye girmesinin gerekli çalışmaların yapılmadığı takdirde güç kalitesine olumsuz yönde etki edeceği açıktır.

Güç kalitesi açısından gelecek yıllara bakıldığında aydınlatma teknolojisinin gelişmesiyle kırışma konusundaki endişeler azalmaktadır. Bahsedilen yatırımlar nedeniyle gerilim dengesizliği ve gerilim harmonikleri ise dikkatle takip edilmesi gereken güç kalitesi parametreleridir.

Sistem kullanıcıları, planlamalarını Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nde belirtilen planlama sınır değerlerini aşmayacak şekilde yapmalı, ortak bağlantı noktalarında mevcut güç kalitesi verilerine göre teçhizatlarını seçmelidir. İletim sistemi kullanıcıları Elektrik Şebeke Yönetmeliği Madde-9, 11, 12 ve 13'te belirtildiği üzere gerilim harmonikleri, kırışma, faz dengesizliği ve akım harmoniklerini sürekli ve kesintisiz bir şekilde kaydedebilecek IEC 61000-4-30 A sınıfı standardına uyumlu ölçüm aletlerini tesis ve işletmekle yükümlüdürler[4].

TEİAŞ, şebeke yönetmeliği limitlerini belirlemekte ve kullanıcıların bu uyumluluk limitleri içerisinde çalışmalar yaptığını takip etmek için sistemi izlemektedir. Öte yandan gerilim çukurlarını, gerilim tepelerini ve kısa süreli gerilim kesintilerini de izlemektedir. Bu parametrelerin ulusal veya uluslararası herhangi bir limiti tanımlanmamıştır. TEİAŞ'ın

sistem operatörü olarak rolü, kullanıcılardan gelecek şikâyetlere göre makul tavsiyelerde bulunmak ve bu parametrelerin değişim eğilimini takip etmektir.

Sistem kullanıcılarının güç kalitesine bozucu etkilerini azaltmak için yapılacak iyileştirme çalışmalarını ivedilikle yapması kullanıcılara kaliteli ve sürekli elektrik sunulabilmesi için önemlidir.

5. Kaynaklar

- [1] Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., Beaty, H. W., Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, USA, 2003
- [2] Kennedy, B. W., Power Quality Primer, McGraw-Hill, USA, 2000
- [3] Demirci, T., Kalaycıoğlu, A., Küçük D., et al., Elektrik İletim Sisteminin Elektriksel Büyüklüklerini ve Güç Kalitesini Ülke Çapında Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi, IET Generation Transmission & Distribution, 5, 540-550, 2011
- [4] Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 6. Versiyon, Değişiklik tarihi: 30/07/2016. 28/5/2014 Tarihli ve 29013 sayılı mükerrer Resmi Gazete.
- [5] IEC/TR 61000-3-7:2008, Electromagnetic compatibility (EMC), Limits — Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems, 2008.
- [6] IEC 61000-4-30: 'Testing and measurement techniques — power quality measurement methods'. Edition 1.0, 2003 — 2.
- [7] İnan, E., Alboyacı, B., Güç Kalitesi Monitör Ölçümleri Tabanlı Gerilim Çukur Sıklık İndeksleri, EMO, http://www.emo.org.tr/ekler/ee012cf33e44c68_ek.pdf, son erişim Eylül 2016.
- [8] TS EN 50160:2010, Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, 2010.
- [9] Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu, TEİAŞ, Ankara, Temmuz 2015, <http://www.teias.gov.tr/>