

GÜÇ KALİTESİ MONİTÖR ÖLÇÜMLERİ TABANLI GERİLİM ÇUKUR SIKLIK İNDEKSLERİ

(¹)Elif İNAN

(²) Bora ALBOYACI

(^{1,2})Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, 41380, Kocaeli, Türkiye
inan@kocaeli.edu.tr, alboyaci@kocaeli.edu.tr

Özet

Yapılan çalışma, kısa süreli gerilim çukuru değerlendirmesinde IEEE-P1564 Taslağı'nda tanımlanan gerilim çukur sıklık tablosu ve indekslerinin Türkiye Sistemi için oluşturulmasını kapsamaktadır. Hem tüm sistem hem de tek bir nokta için oluşturulabilecek olan bu sıklık tablo ve indeks verileri yıllık veya aylık tabanda oluşan çukur sıklık değerlerini genlik ve zaman olarak içerdiğinden tüketicilere, dağıtım firmaları ve sistem planlayıcılarına bilgi sağlamaktadır. Çukur olayına duyarlı noktaların belirlenmesi, bu noktaların güçlendirilmesi için uygulanabilecek yöntemlerin değerlendirilmesi ve sistem beslemelerinin ona göre ayarlanması indekslerden edinilen bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilebilir. Bu amaçla, MGKP (Milli Güç Kalitesi Projesi) kapsamında Türkiye Sistemi'ne yerleştirilen güç kalitesi monitörlerinden 1. Bölge için 1 yıllık veri kaydı gerçekleştirilmiş, verilerin değerlendirilmesiyle çukur sıklık tablo ve indeksleri oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gerilim Çukuru, Çukur Sıklık İndeksi, Güç Kalitesi Monitörü.

1. Giriş

Kısa süreli gerilim çukuru en önemli güç kalitesi sorunlarından biridir. Özellikle kaynak veya sistemdeki bozulmalara karşı hassasiyeti yüksek olan IGBT, MOSFET gibi güç elektroniği tabanlı elemanların sağladıkları avantajlar nedeniyle kullanımlarındaki artışla hem tüketiciler hem de sistem operatörleri için önemi her geçen gün artan gerilim çukuru IEC Standardında, elektrik sisteminde bir noktada gerilim değerinde, 0.5 periyot ile birkaç saniyelik zaman aralığında, ani azalma olarak tanımlanır. IEEE Standardına göre ise sistemin temel frekansında gerilimin RMS değerinde 0.1-0.9 pu. genlik aralığında, zamanı 0.5 periyot ile 1 dakika arasında olan azalmadır [1,2]. Gerilim çukurunun en önemli nedeni sistemdeki arızalardır. Ayrıca büyük güçlü motorların, kondansatör gruplarının devreye alınması, transformatörün enerjilendirilmesi, yüklerdeki ani artış da gerilimde çukura sebebiyet verebilir. Gerilim çukurunun temel karakteristikleri, olay sırasında arta kalan gerilimi ifade eden gerilim genliği ve zamandır [3].

Çukur karakteristikleri, sınıflandırılmaları, farklı bölgelerdeki değişimleri kaynakça da ayrıntılı olarak ele alınarak bu konunun iletim ve dağıtım firmaları, endüstriyel tesis ve konut tüketicileri açısından önemi vurgulanmaktadır [4,5,6,7]. Gerilim çukuru tanımlanması, karakterize edilmesi, değerlendirilmesi her güç sistemi için sistem yapısı ve parametrelerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bunların tek payda da toplanabilmesi gerek diğer sistemlerle kıyaslama yapılabilmesi gerekse uygun çözüm yöntemlerinin belirlenmesini sağlayacağından bu konuda, diğer güç sistem konularında olduğu gibi, standartlaştırmalara gidilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Genellikle karakterize etme ve cihaz hassasiyetinin belirlenmesine yönelik olan standartlar günümüzde, gerilim çukurunun sistemde değerlendirmesini kolaylaştıran çukur sıklık tablosu ve indekslerinin belirlenmesine kaymaktadır. Kaynakçada bu konuyla ilgili çalışmalar yer almaktadır[8,9].

MGKP ile Türkiye Sistemi'ne yerleştirilen güç kalitesi monitörleri, çoğunlukla arızaların yol açtığı gerilim çukurunun özellikle iletim seviyesinde önemini açıkça ortaya koymuş olmasına karşın, sisteme ait çukur sıklık tablo ve indeks belirlenmesini içeren bir çalışmanın henüz var olmaması, hem teknik hem de ekonomik anlamda en uygun çözüm yönteminin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Çukur değerlendirmesini daha anlaşılır hale getirmek amacıyla Türkiye Sistemi'nde rastgele seçilen noktalara ait bir çukur indeks belirlemesi gerçekleştirilmiştir. 2006 yılında başlatılan ve TEİAŞ(Türkiye Elektrik İletim A.Ş.), TÜBİTAK ve üç üniversitenin ortak çalışmasıyla yürütülen MGKP kapsamında Türkiye İletim ve Dağıtım Sistemi'nde belirli noktalara güç kalitesi monitörleri yerleştirilmiştir. Sistemin 1. Bölge'sinden rastgele seçilen bazı noktalar için oluşturulan sıklık tablosu ve indeksleri ile güç kalitesini arttırmak ve hem sistem planlayıcılarına hem de tüketicilere ekonomik ve güvenilirlik açısından en uygun çukur azaltma yönteminin belirlenmesi ve yöntemin sistem genelinde değerlendirilmesinin yapılabilmesi, en doğru noktaya uygulanması konularında destek sağlanması hedeflenmektedir.

2. Standartlarda Gerilim Çukur Değerlendirmesi İçin Kullanılan Tanımlamalar

Kısa süreli gerilim çukurunun herhangi bir güç sistemindeki şiddetinin bilinmesi sistemin daha kaliteli ve güvenilir olması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla standartlarda belirli bir bölgede veya tüketicide çukur değerlendirmesine olanak sağlayan RMS(etkin gerilim değeri) değişim indeksleri tanımlanmaktadır. Gerilim değişimine duyarlı cihazların tasarım aşamasında üreticilere yarar sağlayan bu indekslere ait hesaplamalar IEEE P1564 Standardı'nda tüketiciler ve elektrik firmaları için verilmektedir[9]. Bu indeksler oluşturulurken RMS değişiminin oluşma sıklığı, çukur genlik ve zamanı dikkate alınmaktadır.

2.1. Gerilim Çukur Kümülatif Tablosu

IEEE P1564 Standardında çukur değerlendirilmesinde tanımlanan gerilim çukur tablosu, çukur sıklığını genlik ve zamana göre gruplandırmaktadır. Güç kalitesi monitörlerinden alınan çukur sayılarının

zaman dilimlerine göre gruplandırılmasıyla oluşturulan bu tablo sistemdeki tek bir nokta için gerçekleştirilebileceği gibi tüm sistem veya ilgilenilen bölgedeki tüm noktalar için de gerçekleştirilerek daha genel bir değerlendirme yapılabilir. Ancak bu çalışmada, başlangıç adımı olarak tek bir nokta ve hat için oluşturularak sağlayacağı değerlendirme kolaylığı ve gerekliliği vurgulanmaktadır.

1. Bölge'de yer alan 30 kilometre uzunluğundaki Alibeyköy-Beykoz hattı için güç kalitesi monitörlerinden alınan bir yıllık -Nisan09-Mart10 aralığı- rapor verilerinden çukur sayıları genlik ve zaman için oluşturulmuştur. Alınan veriler ilk olarak Tablo 1'deki formata getirilmiştir. Tablo 1 belirtilen genlik ve süreye ait tüm hat için çukur sayılarını içermektedir. Tablo 1'deki genlik çukur genliğini, yani olay sırasında arta kalan gerilim genliği, değil olay sırasındaki gerilimdeki düşme miktarını ifade ettiğinden çukur genliği olarak Tablo 1'deki değerlerin %100 genlikten olan farkı alınmalıdır. Buna göre hattın kilometresi başına oluşturulan çukur sıklıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Alibeyköy-Beykoz hattında bir yıl süresince oluşan çukur sayısının genlik-zaman değerleri

TOPLAM	<= 0.1 s	> 0.1-0.5 s	> 0.5-1 s	> 1-1.5 s	> 1.5-2 s	> 2-2.5 s	>2.5-3 s	> 3 s
0-10%	2	0	0	0	0	0	0	0
10-20%	45	11	3	0	0	0	0	0
20-30%	30	2	0	0	0	0	0	0
30-40%	20	7	0	0	0	0	0	0
40-50%	9	4	0	0	0	0	0	1
50-60%	7	1	0	0	0	0	0	0
60-70%	3	1	0	0	0	0	0	0
70-80%	2	0	0	0	0	0	0	0
80-90%	0	2	0	0	0	0	0	0
>=90%	0	0	0	0	0	0	0	6

Tablo 2: 30 kilometre uzunluğundaki Alibeyköy-Beykoz hattında bir yılda kilometre başına oluşan çukur sıklığının genlik-zaman değerleri

TOPLAM	<= 0.1 s	> 0.1-0.5 s	> 0.5-1 s	> 1-1.5 s	> 1.5-2 s	> 2-2.5 s	>2.5-3 s	> 3 s
80-90%	1,50	0,37	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70-80%	1,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60-70%	0,67	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-60%	0,30	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
40-50%	0,23	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30-40%	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-30%	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10-20%	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0-10%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20

Gerilim çukur sıklık, süre ve genlik dağılımından sıklık kümülatif tablosunun elde edilmesi mümkündür. Tablo 3 Alibeyköy-Beykoz hattının çukur kümülatif tablosunu vermektedir. Tablo 3 incelendiğinde, Alibeyköy-Beykoz hattında, %70 ve

%70'in altında 0.5 ile 1 saniye süreli 1 yıllık kilometre başına çukur sıklığının 0.23 olduğu görülür. Yani bu hattın beslenen nokta veya noktalar bir yıl boyunca toplamda %70 ve %70'in altında 0.5 ile 1 saniye süreli 0.23x30km=7 değeri kadar çukura maruz kalacaktır.

Tablo 3: Alibeyköy-Beykoz hattının bir yıllık çukur kümülatif dağılımı

TOPLAM	<= 0.1 s	> 0.1-0.5 s	> 0.5-1 s	> 1-1.5 s	> 1.5-2 s	> 2-2.5 s	> 2.5-3 s	> 3 s
90%	5,13	1,27	0,33	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
80%	3,17	0,80	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
70%	2,10	0,73	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
60%	1,20	0,50	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
50%	0,73	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
40%	0,47	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
30%	0,33	0,27	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
20%	0,27	0,27	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
10%	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

2.2. Gerilim Çukur İndeksleri

Gerilim çukur karakteristikleri, bir yıllık veya aylık süreyle, belirli bir bölgede kaydedilen olaylardan hesaplanabilir. RMS değişiminin genlik veya genlik-zaman değerlendirmesine ilişkin IEEE Std.P1564'te yer alan indeksler aşağıda verilmiştir [10].

SARFI-X (Sistem Ortalama RMS Sıklık İndeksi): Tek bir nokta için, değerlendirme zamanı süresince yani ölçüm alınan zaman boyunca, X ve X etkin gerilim genliğinden daha az genlikli çukurun ortalama sayısını ifade etmektedir. Örnek olarak, SARFI-90, 0.9pu gerilim genliği ve altındaki ortalama çukur sayıları anlamına gelmektedir. SARFI-X, X eşik gerilim değerini baz almaktadır. Olası X gerilim genlik değerleri, 90, 80, 70, 50 ve 10'dur. Bu değerler standartlaşmamakla birlikte, 90, 80 ve 70 Bilgi Teknolojisi Cihaz kullanma kılavuzunda önerilen düşük gerilim sınırları, 50 motor kontaktörleri için tipik kesme genliği ve 10 IEEE P1159 Standardı'ndaki tanımla kesinti, olduğundan bunlara göre yapılan bir değerlendirmenin yeterli doğruluğu sağlayacağı düşünülmektedir.

SIARFI-X (Sistem Ani Ortalama RMS Sıklık İndeksi): X ve X genliğinden daha az genlikli ve zamanı 100-500 milisaniye aralığında olan çukur olaylarının ortalama sayısını göstermektedir. SIARFI-X, X=10 için değerlendirilmemektedir. Bunun nedeni IEEE Std. 1159'da kesinti için ani zaman kategorisinin tanımlanmamasıdır.

SMARFI-X (Sistem Anlık Ortalama RMS Sıklık İndeksi): X ve X genliğinden daha genlikli, zamanı 0.5-3 saniye aralığında olan çukur ve 0.1-3 saniye aralığında olan kesinti olaylarının sayısını ifade etmektedir.

STARFI-X (Sistem Geçici Ortalama RMS Sıklık İndeksi): X ve X genliğinden daha az genlikli, zamanı 3-60 saniye aralığında olan çukurların ortalama sayısını göstermektedir.

Türkiye Sistemi 1. Bölgesi için güç kalitesi monitörlerinden elde edilen bir yıllık çukur sayılarından 400kV, 154kV ve 36kV gerilim seviyeleri için süre ve genliklerine bağlı olarak belirtilen indeksler elde edilmiştir. Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da sırasıyla 400kV, 154kV ve 36kV için yıllık verilerden hesaplanarak bir aya indirgenmiş olan indeks değerleri verilmiştir. İndeks değerlendirmesi için nokta seçilirken her üç veya en az iki gerilim seviyesinde monitöre bağlı olmalarına dikkat edilmiştir. Tablolardan görüldüğü gibi artan gerilim seviyesiyle indeks değerleri diğer bir ifadeyle çukur sıklık sayıları artmaktadır. Bunun nedeni iletim seviyesinden orta gerilim dağıtım seviyesine doğru karmaşıklaşan sistemdeki noktaların birbiriyle etkileşiminin artması, yüksek gerilimdeki her olay daha alçak gerilim seviyelerinde etkili olurken tersinin her zaman mümkün olmaması ve dağıtım sistemindeki tüketicilerin arıza oranını arttırmasıdır.

3. Sonuçlar

Kısa süreli gerilim çukurunun önemi hem tüketiciler hem de sistem planlayıcıları açısından, yaygınlaşan hassas güç elektroniği tabanlı cihazların kullanımıyla, her geçen gün artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak tüm dünyada çukur değerlendirmesi için ortak bir dil kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmakta bunun getirisi de gerilim çukurunun standartlaştırılması olmaktadır.

Tablo 4: 400kV gerilim seviyesi için indeksler

	X	SARFI-X	SIARFI-X	SMARFI-X	STARFI-X
ALİBEYKÖY	90	11,85	11,08	0,23	0,54
	80	7,31	6,77	0,00	0,54
	70	4,85	4,31	0,00	0,54
	50	1,69	1,23	0,00	0,46
	10	0,46	---	0,00	0,46
ZEKERİYAKÖY	90	11,31	10,92	0,08	0,31
	80	6,46	6,15	0,00	0,31
	70	4,46	4,15	0,00	0,31
	50	1,62	1,31	0,00	0,31
	10	0,08	---	0,00	0,08

Tablo 5: 154kV gerilim seviyesi için indeksler

	X	SARFI-X	SIARFI-X	SMARFI-X	STARFI-X
MASLAK	90	12,85	12,54	0,23	0,08
	80	7,77	7,46	0,23	0,08
	70	4,54	4,31	0,15	0,08
	50	2,23	2,08	0,08	0,08
	10	0,08	---	0,00	0,08
DAVUTPAŞA	90	13,15	12,23	0,54	0,38
	80	6,54	5,92	0,23	0,38
	70	3,00	2,46	0,23	0,31
	50	1,62	1,23	0,15	0,23
	10	0,46	---	0,23	0,23
ZEKERİYAKÖY	90	13,92	12,77	0,69	0,46
	80	7,92	6,85	0,62	0,46
	70	4,46	3,46	0,54	0,46
	50	1,77	1,31	0,23	0,23
	10	0,46	---	0,23	0,23

IEEE P1564 Taslağı'nda, gerilim çukur sıklık değerlendirmesi için çukur sıklık tablosu ve genlik-zaman değişimini temel alan çukur indeksleri tanımlanmaktadır. Türkiye Sistemi'nde MGKP kapsamında yerleştirilen güç kalitesi monitörlerinin bir yıllık gözlenmesi sonucu sistemde gerilim çukurunun öneminin anlaşılmasını sağlamış, değerlendirmenin güç mühendisleri ve tüketiciler için daha anlaşılır hale getirilmesi amacıyla bir yıllık çukur sayısı verilerinden sistemin 1. Bölgesi'nde yer alan 400kV gerilim seviyesindeki Alibeyköy-Beykoz hattına ait çukur sıklık ve kümülatif tabloları oluşturulmuştur. Ayrıca, aynı bölgede yer alan noktalardan iletim ve orta gerilim dağıtım seviyelerinde monitörlerin yer aldığı noktalar için SARFI, SIARFI, STARFI ve SMARFI indeksleri farklı çukur genlikleri için elde edilmiştir. Çukur kümülatif tablosu ilgili hattın beslediği noktalarda

farklı genlik değerleri için ne kadar süreyle kaç tane çukura maruz kalacağı bilgisini sağlayarak, sistem planlamasının bu durum dikkate alınarak değerlendirilmesini ve tüketicilerin cihaz gerilim duyarlılıklarına göre besleme noktalarının seçimini sunar. Farklı nokta ve gerilim seviyeleri için elde edilen çukur indeksleri iletim seviyesinden orta gerilim dağıtım seviyesine doğru çukur sıklığının arttığını ortaya koymakta bu da olaya ait azaltıcı yöntemlerin iletim seviyesinde uygulanmasının daha çarpıcı sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

Tablo 6: 36kV gerilim seviyesi için indeksler

	X	SARFI-X	SIARFI-X	SMARFI-X	STARFI-X
DAVUTPAŞA TRFA	90	19,62	17,92	1,00	0,69
	80	9,92	8,54	0,77	0,62
	70	6,23	5,00	0,62	0,62
	50	3,38	2,54	0,31	0,54
	10	1,31	---	0,85	0,46
MASLAK TRFB	90	17,77	16,46	0,69	0,62
	80	9,77	8,85	0,38	0,54
	70	5,92	5,23	0,23	0,46
	50	3,23	2,85	0,08	0,31
	10	0,85	---	0,62	0,23
ZEKERİYAKÖY TRFI	90	21,15	16,85	4,08	0,23
	80	8,08	6,85	1,00	0,23
	70	5,54	4,38	0,92	0,23
	50	2,08	1,46	0,38	0,23
	10	0,31	---	0,08	0,23

4. Kaynaklar

- [1] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 2-8: Environment - Voltage Dips and Short Interruptions on Public Electric Power Supply Systems with Statistical Measurement Results IEC-6100-2-8; 2002.
- [2] Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159-1995.
- [3] Bollen M.H.J, "Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions" 2000.
- [4] Caramia P., Carpinelli G., Di Perna C., Varilone P., Verde P., "Fast Probabilistic Assessment of Voltage Dips in Power Systems", 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Stockholm, İsveç, Haziran 2006.
- [5] Bollen M.H.J., Tayjasajant T., Yalcinkaya G., "Assessment of the number of voltage sags experienced by a large industrial customer", IEEE Transaction on Industry Applications, Nov/Dec 1997.
- [6] Khera P.P., Dickey K.C., "Analysis and mitigation of voltage disturbances at an industrial customer's corporate campus", IEEE Transactions on Industry Application, vol.34, no.5, pp. 893-896, Sep/Oct 1998.
- [7] Inan, E., "Ulusal Elektrik Şebekesinde Kısa Süreli Gerilim Düşümlerinin İncelenmesi için Bir

- Uygulama*”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005
- [8] Nikolovski S., Klačić Z., Kraus Z., Slipac G., “*Online Power Quality Measurements and Voltage Sag Analysis*”, Universities Power Engineering Conference, UPEC 1-4 Sep. 2008.
- [9] Brooks D.L., Dugan R.C., Waclawiak M., Sundaram A., “*Indices for Assessing Utility Distribution System RMS Variation Performance*”, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 13, no 1, , pp 254-259, January 1998
- [10] *Voltage Sag Indices Task Force Meeting*, IEEE Std. 1564-2000