

Farklı Gürültü Değerlerine Sahip Gerilim Düşümü Sinyallerinin Hızlı Fourier Dönüşümü ile Harmonik ve Toplam Harmonik Bozulum Değerlerinin İncelenmesi

Düvgün AKMAZ^{1*}, Harun GÜLAN²

^{1,2} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye

*¹ dakmaz@munzur.edu.tr, ² hgulan@munzur.edu.tr

(Geliş/Received: 15/09/2022;

Kabul/Accepted: 29/09/2023)

Öz: Gerilim düşümü sinyali en temel Güç Kalitesi (GK) bozulumu olaylarından biridir. Normal gerilim değerinin 0.1-0.9 p.u. birim değerinde (per-unit) düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu GK bozulumu sinyali sistemdeki hassas cihazların zarar görmesine yol açabilmektedir. Bu yüzden gerilim düşümü sinyalinin detaylı analizinin yapılması gereklidir. Harmonik analizi ve Toplam Harmonik Bozulum (THB) değerleri bu sinyalin belirlenmesi ve detaylı olarak incelenmesi için kullanılır. Bu çalışmada farklı gürültü değerlerine sahip gerilim düşümü sinyalinin harmonik büyüklükleri ve THB değerleri incelenmiştir. Harmonik büyüklükleri ve THB değerlerinin hesaplanması için Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) kullanılmıştır. Gürültüde meydana gelen değişiklik ile birlikte sinyalin farklı zaman aralıklarındaki harmonik dağılımları ve toplam harmonik bozulumu değerlerinde değişiklik gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Gerilim düşümü, gürültü, harmonik analizi, hızlı fourier dönüşümü, toplam harmonik bozulumu.

Investigation of Harmonic and Total Harmonic Distortion Values of Voltage Sag Signals with Different Noise Values by Fast Fourier Transform

Abstract: The voltage sag signal is one of the most basic Power Quality (PQ) disturbance events. It is defined as a 0.1-0.9 p.u. per-unit decrease in the normal voltage value. This PQ disturbance signal can cause damage to sensitive devices in the system. Therefore, a detailed analysis of the voltage sag signal is necessary. Harmonic analysis and Total Harmonic Distortion (THD) values are used to determine and analyze this signal in detail. In this study, harmonic magnitudes and THD values of the voltage sag signal with different noise values were investigated. Fast Fourier Transform (FFT) was used to calculate harmonic magnitudes and THD values. It is observed that the harmonic distributions and total harmonic distortion values of the signal at different time intervals change with the variation in noise.

Key words: Voltage sag, noise, harmonic analysis, fast fourier transform, total harmonic distortion.

1. Giriş

Günümüzde sanayileşmenin artması nedeniyle doğrusal olmayan yüklerin, güç elektroniği elemanlarının ve röle/koruyucu cihazların kullanımları artmıştır. Bu tür ekipmanların /cihazların artan uygulamaları, gerilim, akım ve frekans sinyallerinde istenmeyen sapmaların ana kaynağıdır [1]. Bu güç sinyallerinde normal değerlerden herhangi bir sapma, Güç Kalitesi (GK) bozuklukları olarak kabul edilir. GK sorunları, koruyucu elektrikli ve elektronik cihazların arızalanmasına, bilgisayar dosyalarının zarar görmesine, bellek arızasına ve otomatik sistemin öngörülemeyen çalışmalarına neden olabilir [1]. Bu yüzden GK bozulmalarının doğru tespiti, analizi, segmentasyonu ve sınıflandırılması gereklidir.

Literatürde birçok çalışma GK olaylarının farklı amaçlı analizleri için geliştirilmiştir. Akmaz. [2]' de Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) (Çoklu Çözünürlük Analiz), K en yakın komşu algoritması ve kazanç oranı özellik seçme algoritmasını kullanarak GK bozulmalarını sınıflandırmıştır. Heydt ve ark. [3]' te Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) kullanarak GK bozulmalarını analiz etmiştir. Samanta ve ark. [4]'te Kesirli Fourier Dönüşümüne (KFD) ve Aşırı Öğrenme Makinesine (AÖM) dayalı bir yöntemi GK bozulmalarının sınıflandırılması için geliştirmiştir. Çalışmada KFD sinyal işleme aracı olarak kullanılırken, AÖM ise sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır. Akmaz. [5]' te Stockwell Dönüşümü, ONE-R özellik seçme yöntemi ve Rastgele Orman (RO) algoritmasını kullanarak GK bozulmalarını sınıflandırmıştır. Sekar ve ark. [6]' da evrişimli sinir ağlarını kullanarak GK bozulmalarını sınıflandıran bir yöntem geliştirmiştir. Akmaz. [7]' de GK bozulmalarının analiz edilmesi için örnek seyreltme/yaklaşık türev yöntemine dayalı olan yeni bir sinyal işleme yöntemi geliştirmiştir. Önerilen sinyal işleme yönteminin ADD' ye göre GK bozulumu sinyallerini daha detaylı ve daha hızlı analiz edebildiği belirtilmiştir. Aynı zamanda çalışmada geliştirilen sinyal işleme yöntemi ve Destek Vektör Makinesi (DVM) ile GK bozulmaları

* Sorumlu yazar: dakmaz@munzur.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-4183-6424, ² 0000-0002-0779-7935

sınıflandırılmıştır. Çalışma sonuçları, geliştirilen sınıflandırma yönteminin hem sentetik sinyallerde hem de gerçek zamanlı sinyallerde başarılı olduğunu göstermiştir. Naderian ve ark. [8]'de gabor transformu ve DVM kullanarak GK bozulumlarını sınıflandıran bir yöntem geliştirmiştir. Akmaz. [9]'da yaklaşık türevi kullanarak GK bozulumlarını belirleyen ve arıza başlangıç/arıza bitiş zamanlarını bulan bir yöntem geliştirmiştir. Yöntem hem gürültü içeren sentetik sinyallerde hem de IEEE gerçek zamanlı sinyallerinde test edilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Abdelsalam ve ark. [10]'da kalman filtresini ve karar ağacını, GK bozulumlarının belirlenmesi ve sınıflandırılması için kullanmıştır. Geliştirilen yöntem sentetik sinyallerde ve deneysel şartlarda test edilmiştir. Samanta ve ark. [11]'de hızlı zaman-zaman dönüşümü ve optimize edilmiş olasılıksal sinir ağını, GK bozulumlarının belirlenmesi ve sınıflandırılması için kullanmıştır. Yukarıda belirtilen çalışmaların dışında bazı hibrit yöntemler de GK bozulumu sinyallerinin incelenmesi ve sınıflandırılması için geliştirilmiştir. Hibrit yöntemlerde birden fazla yaklaşım/yöntem birlikte uygulanmaktadır. Gao ve ark. [12]'de uyarlamalı dalgalık eşik gürültü giderme ve derin inanç ağı/AÖM'ye dayalı bir hibrit yöntem geliştirmiştir. Benzetim ve deneysel sonuçlar ile yöntemin etkinliği doğrulanmıştır. Balakrishnan ark. [13]'de güç sistemindeki iletim hattı arızalarını tespit etmek ve sınıflandırmak için hibrit bir teknik önermiştir. Önerilen yaklaşımda doğrusal diskriminant analizi ve mürekkepbalığı optimize edici öğrenme süreci tabanlı RO algoritması birlikte kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen çalışmaların dışında literatürde birçok farklı çalışma geliştirilmiştir. Bu çalışmaların gürültüye karşı duyarlılıkları, işlem kolaylıkları gibi birçok farklı özelliklerin detaylı analizleri [1,14,15]'te bulunabilir.

Gerilim düşümü en temel GK bozulumlarından biridir. Aynı zamanda bu GK bozulumu sistemlerde istenmeyen arızalara da yol açabilmektedir. Bu yüzden [2-13]'ten farklı olarak ayrıca literatürde gerilim düşümünü inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Hubbard ve ark. [16]'da sinyallerin birinci ve ikinci türevini kullanarak gerilim düşümü sinyalini analiz eden bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmada gürültü etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Meena ve ark. [17]'de gerilim düşümü ve gerilim yükselmesini belirleyen bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada her örnekte güncellenen (Root Mean Square-RMS) karekök ortalama gerilim değerini ölçerek, gerilim düşümü ve gerilim yükselmesinin tespiti için değiştirilmiş bir kayan pencere algoritması uygulanmıştır. Latran ve ark. [18]'de ADD kullanılarak gerilim düşümü/yükselmesini belirleyen bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem sonuçları ile dq dönüşümü, HFD gibi farklı yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır. Bastos ve ark. [19]'de iki bitişik sürgülü pencere arasındaki mutlak RMS gerilim farkını hesaplayarak bu anları çok az gecikmeyle bulan bir yöntemi gerilim düşümü/yükselmesi olayları için geliştirmiştir. Djokić ve ark. [20]'de gerilim düşümü sinyalini karakterize eden detaylı bir çalışma tamamlamıştır. Literatürden görüldüğü gibi farklı yaklaşımlar ve farklı analizler gerilim düşümü GK sinyali için geliştirilmiştir [16-20]. Gerilim düşümü sinyalinin doğru analiz edilmesinde harmonik analizi ve Toplam Harmonik Bozulum (THB) değerleri kullanılmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak sentetik olarak üretilmiş bir gerilim düşümü sinyalinin farklı gürültü değerleri için harmonik analizi yapılmış ve THB değerleri incelenmiştir. HFD farklı zaman aralıklarında gerilim düşümü sinyalinin harmonik analizini yapmak için kullanılmıştır. MATLAB programı ise yazılımların uygulanması için bu çalışmada kullanılmıştır.

2. Gerilim Düşümü Güç Kalitesi Bozulumu

Gerilim düşümü, hassas ekipmanı etkileyebilen en yaygın GK olaylarından biridir. Rölelerin birçok kez çalışmasını ve tüm sistemin gereksiz yere kapanmasına neden olabilir [17]. Gerilim düşümü nominal güç frekansında 0,1p.u. ile 0,9 p.u. arasında besleme geriliminde düşüş olarak tanımlanır [17].

Gerilim düşümünün matematiksel formülleri Denklem (1)-(4)'te verilmiştir [7]:

$$v(t) = [1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))] \sin(2\pi * 50t + \varphi) \quad (1)$$

$$0.1 \leq \alpha \leq 0.9 \quad (2)$$

$$-\pi \leq \varphi \leq \pi \quad (3)$$

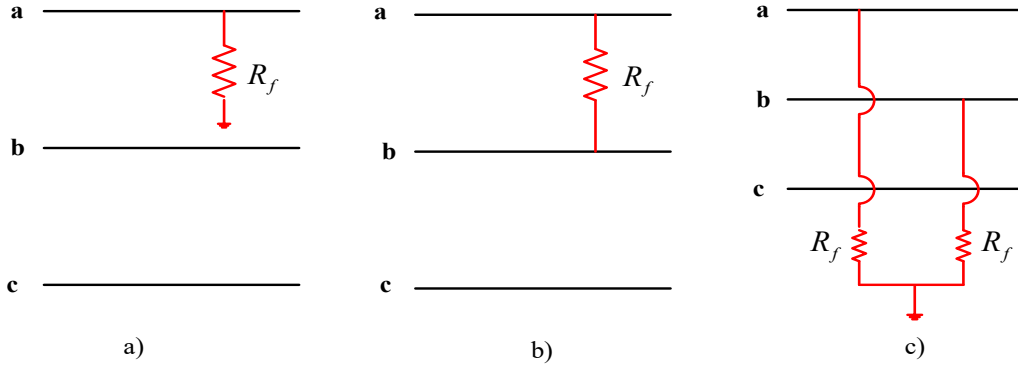
$$T \leq t_2 - t_1 \leq 9T \quad (4)$$

Burada α gerilim çökmesinin p.u. cinsinden değeridir. φ sinyalin faz açısı değeridir. t_1 arızanın başlangıç zamanı iken t_2 arıza bitiş zamanıdır.

Gerilim düşüm sinyalinin farklı nedenleri bulunmaktadır. Bu nedenler aşağıda sıralanmıştır:

- Tek faz, iki faz ve iki faz toprak arızası gibi kısa devre arızaları gerilim düşümüne yol açabilmektedir [7]. Arıza tipine göre kısa devre arızaları sonrası bazı fazlarda gerilim düşümü olurken bazı fazlarda ise gerilim yükselmesi oluşabilmektedir. Şekil 1' de bazı kısa devre arızaları gösterilmiştir.

- Sistem empedansında ani artış [17].
- Motorların çalıştırılması gibi durumlar da gerilim düşümüne neden olabilmektedir [21].



Şekil 1. Kısa devre arızaları a) tek faz b) iki faz c) iki faz toprak kısa devre arızası.

Yukarıda görüldüğü gibi birçok farklı nedenden dolayı gerilim düşümü GK sinyali güç sistemlerinde meydana gelebilmektedir.

3. Güç Sistemlerinde Gürültü ve Harmonik Kavramları

Genel olarak, bir güç dağıtım sisteminde gürültünün mevcut olduğu varsayılır. Bu nedenle GK problemlerini incelerken beyaz Gauss gürültünün göz önünde bulundurulması gerekir [9]. Sinyal Gürültü Oranı (SGO) Denklem 5 ile ifade edilmektedir.

$$SGO = 10 \cdot \log(P_s/P_n) \text{ dB} \quad (5)$$

Burada P_s sinyal gücüdür ve P_n gürültüden kaynaklanan güçtür. P_s ve P_n Denklem 6 ve Denklem 7 kullanılarak tanımlanabilir:

$$P_s = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [x(k)]^2 \quad k=1,2,3,\dots,N \quad (6)$$

$$P_n = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [x_n(k)]^2 \quad k=1,2,3,\dots,N \quad (7)$$

Burada $x(k)$ gürültüsüz temiz sinyal verisidir, $x_n(k)$ gürültü sinyali verisidir ve N verinin uzunluğudur [9].

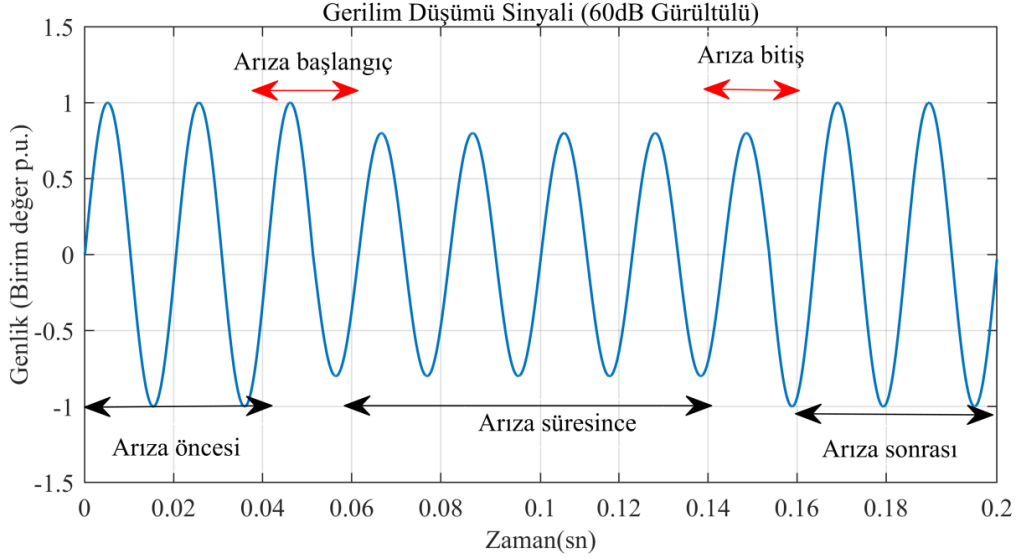
Bir harmonik, temel güç frekansının katlarındaki frekansa sahip sinüzoidal dalga şekli olarak tanımlanmaktadır [22,23]. Doğrusal olmayan özelliklere sahip yükler sonucunda harmonik akımlar ve gerilimler meydana gelmektedir [24,25]. Harmonik miktarının artması akım ve gerilim dalga formlarının bozulmasına yol açmaktadır. Güç sistemlerinde gerilim ve akım dalgalarındaki bozulma miktarını ifade etmek için THB terimi kullanılmaktadır [22,23]. THB harmoniklerin efektif değerlerinin toplamının, temel bileşenin efektif değerine oranı olarak tanımlanmaktadır. Gerilim sinyalinin THB değeri Denklem 8' deki gibi hesaplanmaktadır [26].

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} v_n^2}}{v_1} \quad (8)$$

4. Uygulama

Bu çalışmada 12.8 kHz örnekleme frekansına sahip ve 10 periyot uzunluğunda bir gerilim düşümü sinyali sentetik olarak üretilmiştir. Şekil 2' de 60dB gürültüye sahip gerilim düşümü sinyali görülmektedir. Burada arıza

başlangıç zaman 0.05 sn olarak seçilirken arıza bitiş zamanı ise 0.15 sn olarak belirlenmiştir. 0.2 p.u. değerinde bir gerilim düşüm değeri uygulanmıştır. Sinyalin faz açısı sıfır olarak seçilmiştir.



Şekil 2. Gerilim düşümü sinyali.

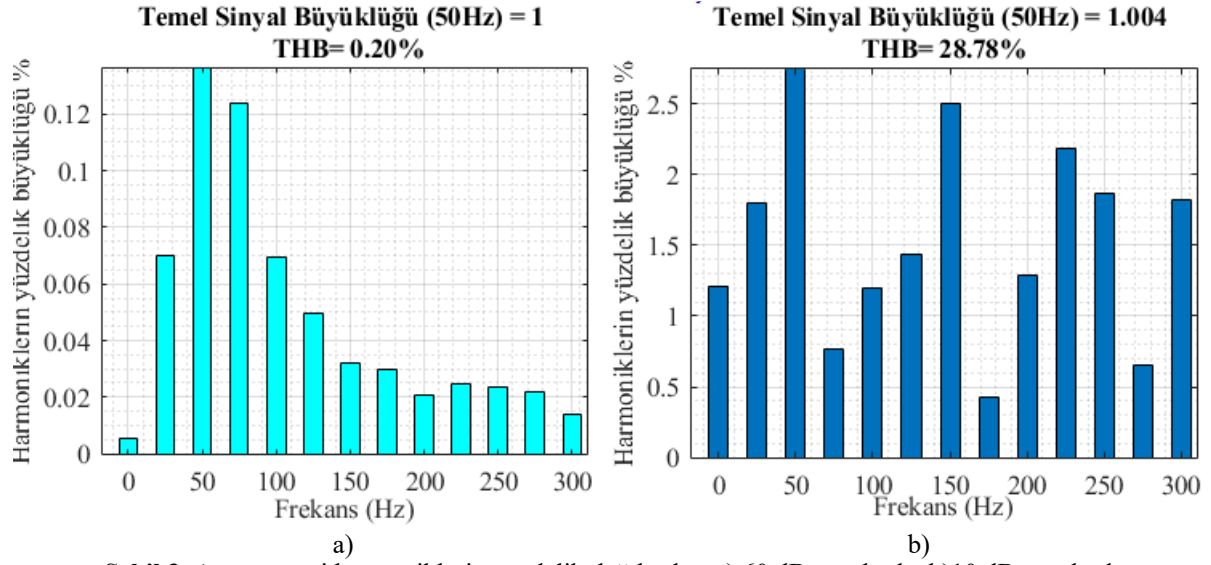
Sinyalin 0-0.04 sn arası arıza öncesi, 0.04-0.06 sn arası arıza başlangıcı, 0.06-0.14 sn arası arıza sırasında, 0.14-0.16 sn arası arıza bitiş ve 0.16-0.2 sn arası ise arıza sonrası olarak tanımlanmıştır.

Tablo 1. Gerilim düşümü sinyalinin farklı gürültü seviyeleri ve farklı zaman aralıklarında toplam harmonik bozulum değerleri %

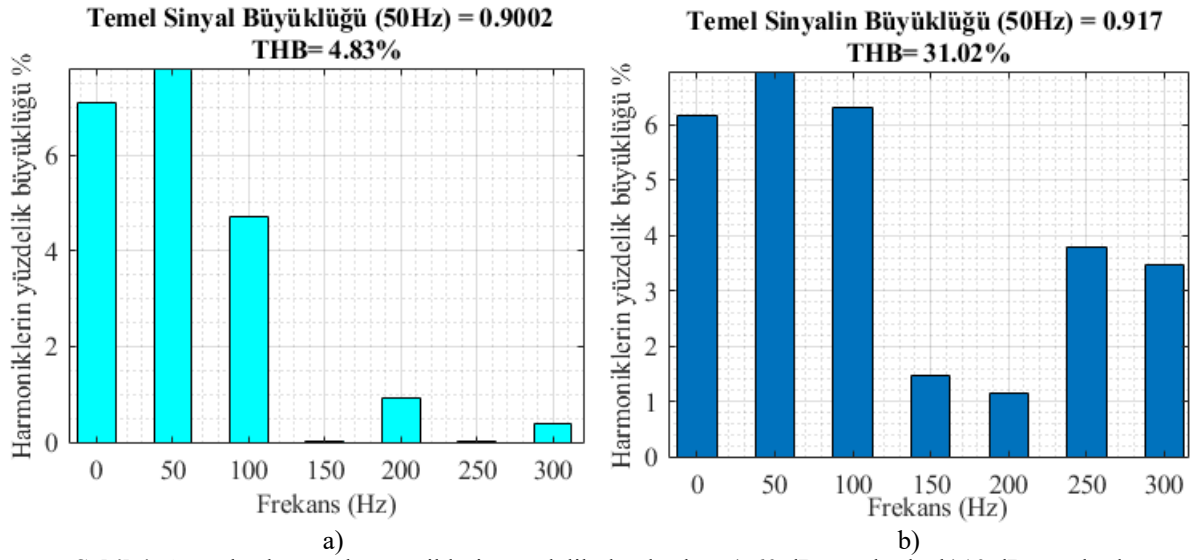
Gürültü Değeri (dB)	Arıza öncesi	Arıza başlangıç	Arıza süresince	Arıza bitiş	Arıza sonrası
60	0.2	4.83	0.33	4.85	0.19
50	0.34	4.86	0.48	4.88	0.32
40	0.98	5.09	1.14	4.88	0.90
30	2.83	5.82	3.51	6.01	2.72
20	8.97	11.62	11.18	11.40	8.73
10	28.78	31.02	36.39	31.6	28.46

Sinyalli incelemek için beş farklı zaman diliminin THB değerleri incelenmiştir. Bunlar sırası ile arıza öncesi, arıza başlangıç anı, arıza sırasında, arıza bitiş anı ve arıza sonrasıdır. Detaylı bir analiz yapabilmek için sinyale sırası ile 60-50-40-30-20-10 dB gürültü değeri eklenmiştir. Bu gürültü aralığı birçok farklı çalışmadan (20-50dB) daha geniş seçilmiştir [4,6,7]. Tablo 1' de farklı gürültü değeri ve farklı zaman aralıkları için elde edilen THB değerleri gösterilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi gürültü değerinin yükselmesi THB' değerinin oldukça artmasına yol açmaktadır. Örneğin 60 dB gürültüde en büyük THB değeri %4.85 iken, 10 dB gürültüde en büyük THB değeri %36.39 olmuştur. Bu değerler gürültünün THB değerini değiştirmekte oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

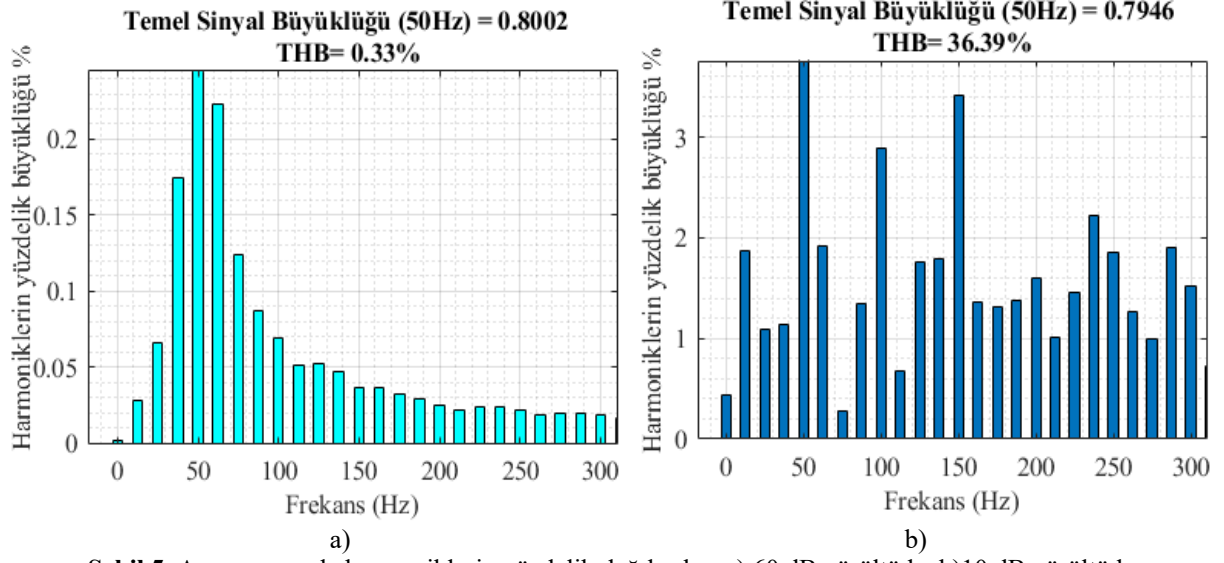
Aynı zamanda gürültünün harmoniklerin yüzdelik dağılımlarına etkisini görmek için 60dB ve 10dB gürültü içeren gerilim düşmesi sinyalleri karşılaştırılmıştır. Şekil 3- Şekil 7 arasında sırası ile arıza öncesi, arıza başlangıç anı, arıza sırasında, arıza bitiş anı ve arıza sonrası için 60 ve 10 dB' gürültüdeki gerilim düşümü sinyalinin harmoniklerin yüzdelik dağılımları görülmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi gürültü, harmoniklerin yüzdelik dağılımlarını oldukça değiştirmektedir. Örneğin Şekil 3 a)'dan görüldüğü gibi 60dB gürültüde 3. harmoniğin (150Hz) yüzdelik büyüklüğü yaklaşık olarak %0.03 iken Şekil 3 b)'den görüldüğü gibi 10dB gürültüde 3. harmoniğin (150Hz) yüzdelik büyüklüğü yaklaşık olarak %2.5 olmuştur. Aynı zamanda Şekil 3-Şekil 7'den görüldüğü gibi harmoniklerin yüzdelik dağılımları da gürültü etkisiyle değişmektedir.



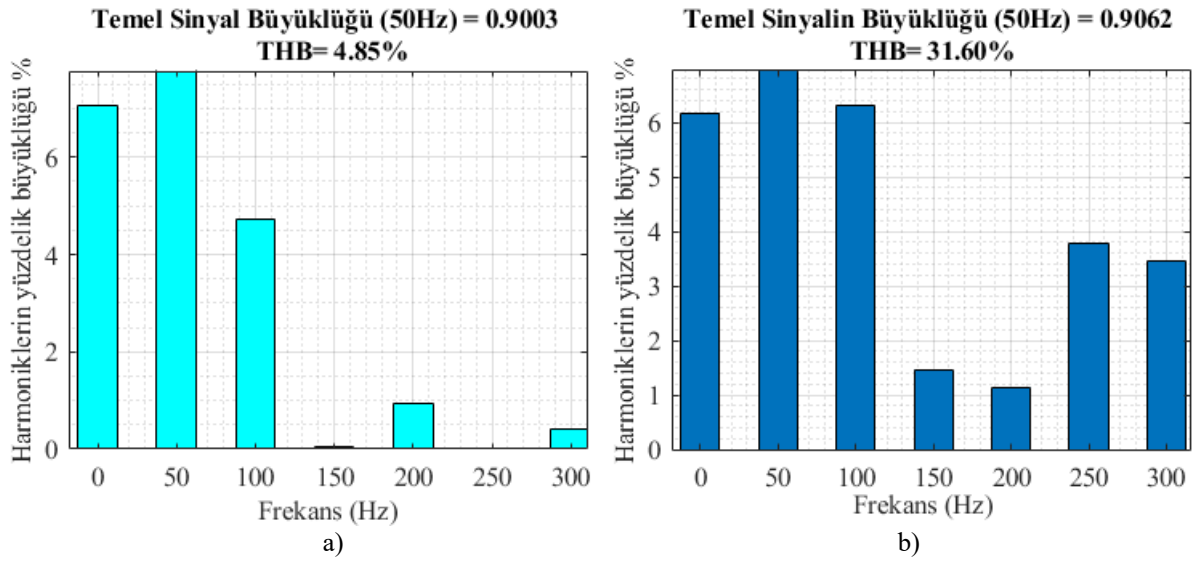
Şekil 3. Arıza öncesi harmoniklerin yüzdelik dağılımları a) 60 dB gürültüde b)10 dB gürültüde.



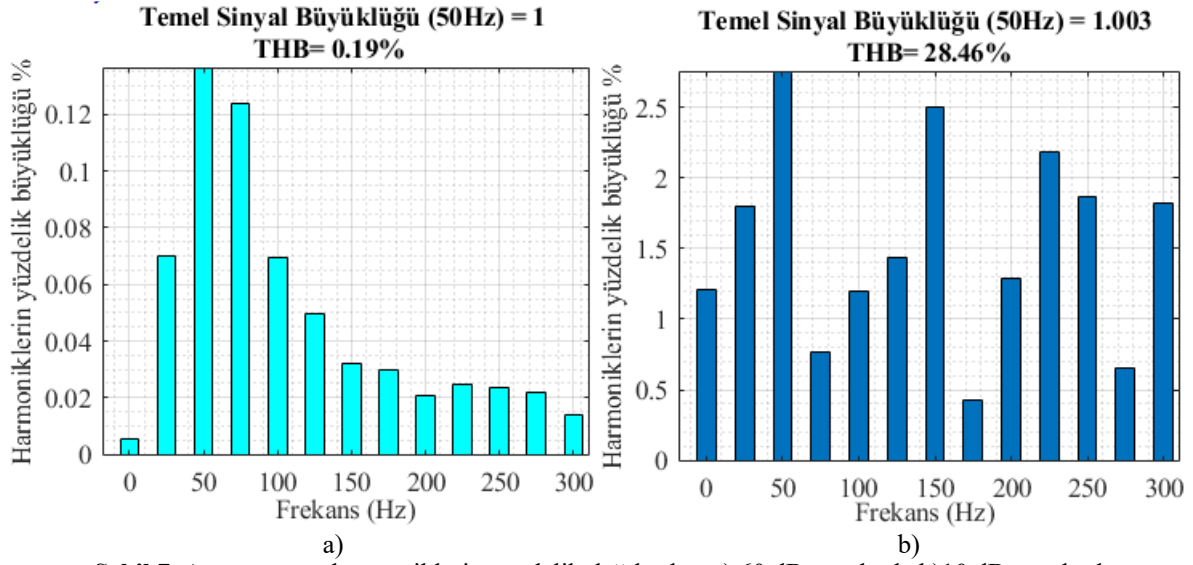
Şekil 4. Arıza başlangıcı harmoniklerin yüzdelik dağılımları a) 60 dB gürültüde b)10 dB gürültüde.



Şekil 5. Arıza sırasında harmoniklerin yüzdeler dağılımları a) 60 dB gürültüde b) 10 dB gürültüde.



Şekil 6. Arıza bitişinde harmoniklerin yüzdeler dağılımları a) 60 dB gürültüde b) 10 dB gürültüde.



Şekil 7. Arıza sonrası harmoniklerin yüzdeler dağılımları a) 60 dB gürültüde b) 10 dB gürültüde.

Yukarıda belirtilen benzetim koşullarının dışında birçok farklı benzetim gerçekleştirilmiştir. Bu benzetimlerde Farklı faz açıları ($\pi/2, \pi/3$), farklı gerilim düşümü değerleri (0.4, 0.8 p.u) göz önünde bulundurulmuş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir

*Gürültü THB değerlerini etkilemektedir.

*Gürültü aynı zaman aralıkları için gerilim düşümü sinyalinin harmonik yüzde dağılımlarını etkilemektedir.

5. Sonuçlar

Gerilim düşümü sinyali en temel güç kalitesi bozulumu sinyallerinden biridir. Bu yüzden gerilim düşümü sinyalinin analiz eden birçok farklı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda gerilim düşümü sinyalinin belirlenmesi, segmentasyonu ve sınıflandırılması gibi birçok farklı amaç bulunmaktadır. Bu çalışmada ise farklı gürültü değerlerine sahip olan gerilim düşümü sinyalinin farklı zaman aralıkları için harmonik dağılımları ve toplam harmonik bozulumu değerleri incelenmiştir. Benzetim sonuçları gürültünün yükselmesi ile birlikte sinyalin farklı zaman aralıklarındaki harmonik dağılımları ve toplam harmonik bozulumu değerlerinin arttığını göstermiştir. Bu durum gerilim düşümü sinyalinin tanımlanması ve analizini zorlaştırabilmektedir. Gürültünün giderilmesinde farklı gürültü azaltma yöntemleri kullanılabilir. Gelecek çalışmalarda farklı gürültü giderme yöntemlerinin başarısı farklı şartlar altındaki gerilim düşümü sinyali için test edilebilir. Gürültü giderme sonrası harmonik dağılımları ve toplam harmonik bozulumu değerleri de incelenebilir. Aynı zamanda benzer çalışmalar gerilim yükselmesi, harmonik gibi farklı güç kalite bozulumu sinyalleri içinde test edilebilir.

Kaynaklar

- [1] Mishra M. Power quality disturbance detection and classification using signal processing and soft computing techniques: A comprehensive review. *Int. Trans. Electr. Energy Syst* 2019; 29(8): e12008.
- [2] Akmaz D. Güç Kalitesi Olaylarının Dalgacık Dönüşümü, K-En Yakın Komşu Algoritması ve Kazanç Oranı Özellik Seçme Yöntemi Kullanılarak Tanınması. *International Journal of Innovative Engineering Applications* 2022; 6(1): 42-47.
- [3] Heydt GT, Fjeld PS, Liu CC, Pierce D, Tu L, Hensley G. Applications of the windowed FFT to electric power quality assessment. *IEEE Trans. Power Delivery* 1999; 14(4): 1411-1416.
- [4] Samanta IS, Rout PK, Mishra S. An optimal extreme learning-based classification method for power quality events using fractional Fourier transform. *Neural Comput. Appl.* 2021; 33: 4979-4995.
- [5] Akmaz D. Stockwell Dönüşümü. ONE-R Özellik Seçme Yöntemi ve Rastgele Orman Algoritması ile Güç Kalitesi Bozulumu Sinyallerinin Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 34(1): 267-276.
- [6] Sekar K, Kanagarathinam K, Subramanian S, Venugopal E, Udayakumar C. An improved power quality disturbance detection using deep learning approach. *Math. Probl. Eng.* 2022.
- [7] Akmaz D. A new signal processing approach/method for classification of power quality disturbances. *Digital Signal Process* 2022; 130: 103701.
- [8] Naderian S, Salemnia A. Method for classification of PQ events based on discrete Gabor transform with FIR window and T2FK-based SVM and its experimental verification. *IET Gener. Transm. Distrib* 2017; 11(1): 133-141.

- [9] Akmaç D. Approximate-derivative-based signal-processing method to segment power-quality disturbances. *IET Gener. Transm. Distrib* 2020; 14(21): 4835-4846.
- [10] Abdelsalam AA, Abdelaziz AY, Kamh MZ. A generalized approach for power quality disturbances recognition based on Kalman filter. *IEEE Access* 2021; 9: 93614-93628.
- [11] Samanta IS, Rout PK, Mishra S, Swain K, Cherukuri M. Fast TT transform and optimized probabilistic neural network-based power quality event detection and classification. *Electr. Eng.* 2022; 104(4): 2757-2774.
- [12] Gao Y, Li Y, Zhu Y, Wu C, Gu D. Power quality disturbance classification under noisy conditions using adaptive wavelet threshold and DBN-ELM hybrid model. *Electr. Power Syst. Res.* 2022; 204: 107682.
- [13] Balakrishnan P, Gopinath S. A new intelligent scheme for power system faults detection and classification: A hybrid technique. *Int. J. Numer. Modell. Electron. Networks Devices Fields* 2020; 33(5): e2728.
- [14] Granados-Lieberman D, Romero-Troncoso RJ, Osornio-Rios RA, Garcia-Perez A, Cabal-Yepez E. Techniques and methodologies for power quality analysis and disturbances classification in power systems: a review. *IET Gener. Transm. Distrib* 2011; 5(4): 519-529.
- [15] Saxena D, Verma K, Singh S. Power quality event classification: an overview and key issues. *International journal of engineering, science and technology* 2010; 2(3): 186-199.
- [16] Hubbard SJ, Collins ER. Uses of signal derivatives in analysis voltage sags. In : 2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power 2004; pp. 531-536.
- [17] Meena P, Rao KU, Ravishankar D. A modified simple algorithm for detection of voltage sags and swells in practical loads. In: 2009 International Conference on Power Systems 2009; pp. 1-6.
- [18] Latran MB, Teke A. A novel wavelet transform based voltage sag/swell detection algorithm. *Int. J. Electr. Power Energy Syst* 2015; 71: 131-139.
- [19] Bastos AF, Lao KW, Todeschini G, Santoso S. Accurate identification of point-on-wave inception and recovery instants of voltage sags and swells. *IEEE Trans. Power Delivery* 2018; 34(2): 551-560.
- [20] Djokić SŽ, Milanović JV, Rowland SM. Advanced voltage sag characterisation II: point on wave. *IET Gener. Transm. Distrib* 2007; 1(1): 146-154.
- [21] Henderson RD, Rose PJ. Harmonics: the effects on power quality and transformers. *IEEE Trans. Ind. Appl* 1994; 30(3): 528-532.
- [22] Phipps JK, Nelson JP, Sen PK. Power quality and harmonic distortion on distribution systems. *IEEE Trans. Ind. Appl* 1994; 30(2): 476-484.
- [23] Subjak JS, Mcquillkin JS. Harmonics-causes, effects, measurements, and analysis: an update. *IEEE Trans. Ind. Appl* 1990; 26(6): 1034-1042.
- [24] Kürker F. Doğrusal olmayan yük bulunan tesislerde güç faktörüne toplam harmonik bozulmanın etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 9(16): 219-235.
- [25] Kürker, F. Performing power quality analysis of different LED lamps. *Turkish Journal of Electromechanics and Energy* 2022;7(1):32-40.
- [26] Bozabalı M, Üç Fazlı Sistemlerde Paralel Aktif Güç Filtre Tasarımı ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya 2009.