

İşaret İşleme ve Bilgi Kuramı Temelli Fliker Analizi

Flicker Evaluation Based on Signal Processing and Information Theory

Murat Silsüprü¹, Belgin Emre Türkay¹

¹Elektrik Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
silsupur@itu.edu.tr, turkayb@itu.edu.tr

Özet

Günümüzde elektrik şebekeleri değişen yük karakteristikleri ve farklı üretim birimlerinin şebeke bağlantıları nedeniyle önceki dönemlerden farklı olarak daha aktif bir şebeke yapısına dönüşmüştür. Özellikle doğrusal olmayan yüklerin şebekelerde kullanımlarının yaygınlaşması ve yerel üretim birimlerinin hızlı bir şekilde sistem bağlantılarının yapılması sonucu çift yönlü yük akışlarının da olması güç sistemlerinde koruma koordinasyon ve güç kalitesi konularına olan önemi artırmıştır. Güç kalitesi, hem yönetmelik ve standartlar açısından mevzuata dayalı olarak hem de sistem kullanıcı üzerindeki etkileri nedeniyle üzerinde daha çok durulması gereken bir hal almıştır. Gerilim düşümü, gerilim yükselmesi, harmonikler ve fliker yaygın olarak görülen güç kalitesi bozukluklarıdır. Bu bozukluklar arasında fliker, sistem üzerindeki etkileri ve mevcut ölçüm yöntemleri açısından daha kritik bir güç kalitesi bozukluğudur. Fliker ölçümü IEC 61000-4-15 standardında tanımlanan bir yöntemde dayanmaktadır. Bu yöntemde sadece gerilim referansı alınıp buna göre bir değerlendirme yapılmaktadır. Ancak bu yöntem yükün ve şebekenin etkisini değerlendirebilmek için her zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle fliker analizi için yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmamızda fliker analizi için Matlab Simulink ortamında oluşturulan model üzerinden elde edilen benzetim verileri kullanılarak işaret işleme ve bilgi kuramına dayanan yaklaşımlar önerilmiştir.

Abstract

Electric power systems has transformed into active networks because of different load characteristics and integration of various kind of distributed generation units. The topics such as protection coordination and power quality is getting more important, due to the widespread use of nonlinear loads and system integration of widely distributed renewables which caused bi-directional load flow. According to the local regulations and standards, and the effects to the system users, the power quality should be well understood. In addition to power quality disturbances such as sag-swell and harmonics, flicker is one of the critical power quality phenomenon seen nowadays due to existing measurement method and the effects to power systems. Flicker measurement is performed using a flicker meter defined in IEC 61000-4-15. This meter receives only voltage signal and flicker severity is obtained accordingly. But, the result of this meter is not sufficient to evaluation of flicker effect of the load and remaining power

systems. So, new approaches are required to for flicker evaluation. In this paper, new approaches are introduced based on signal processing and information theory by using simulation data generated by a model in Matlab Simulink..

1. Giriş

Güç sistemleri gerek üretim, iletim ve dağıtım tesislerindeki yeni işletme özellikleri gerekse yük karakteristiklerinin değişmesinden dolayı daha karmaşık ve yönetilmesi zor bir hal almaktadır. Güç sistemlerinin bu değişen yapısı daha önceleri çok ön planda olmayan konular üzerinde hassasiyetle durulmasını gerektirmektedir. Bu konulardan birisi de güç kalitesidir. Harmonikler, gerilim düşümleri ve yükselmeleri, gerilim dengesizliği ve fliker günümüz elektrik şebekelerinde sıklıkla görülen güç kalitesi problemlerindedir. Bu problemler arasında fliker hem kaynak tespiti hem de etkilerinin ortaya konulup değerlendirilmesi açısından en kritik olanıdır. Fliker'in insan yaşamına etkilerinin yanında tesislerdeki ekipmanlar üzerindeki etkileri dolayısıyla analizinin doğru bir şekilde yapılabilmemesi etkilerini giderici önlemlerin uygulanması büyük önem arz etmektedir.

Fliker ölçümü için IEC 61000-4-15 standardında tanımlanan fliker metre kullanılmaktadır. Bu ölçüm yönteminde gerilim işareti giriş olarak alınıp değerlendirildikten sonra çıkışta anlık fliker şiddeti, kısa dönem fliker ve uzun dönem fliker değerleri elde edilmektedir [1]. Söz konusu standartta tanımlanan fliker metre sadece gerilim işareti ile ilgilendiğinden fliker kaynak tespiti için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle literatürde kaynak tespiti için farklı yöntemler önerilmiştir. IEC 61000-4-15 standardında tanımlanan fliker ölçüm yönteminde gerilim işareti ile birlikte akım işaretini de kullanarak fliker gücü tanımı yapılmıştır [2]-[7]. Güç değerinin işaretine bağlı olarak kaynak yeri tespit edilemeye çalışılmıştır. Güç işareti negatif ise kaynak ölçüm noktasının gerisinde, işaret pozitif ise kaynak ölçüm noktasının yukarısında yani şebekeden gelmektedir. Güç yöntemine ilave olarak enerji değerine dayanan analiz yöntemi de sunulmuştur [8]. Bu yöntemlerde kaynak tespiti için temel bir fikir vermekle birlikte ortaya çıkan güç kalitesi probleminde kaynak ve şebekenin ne oranda sorumlu olduğunu tespit etmede yeterli olmamaktadır. Sorumluluk oranının belirlenmesi konusunda bireysel yük akımları ve yük akımlarının reaktif güç bileşeni ile şebeke empedansına dayalı yöntemlerde literatürde tanıtılmıştır [9-10]. Ancak bu çalışmalarda aynı baradaki bireysel yük akımları kullanılıp dağıtık yapıdaki kaynaklar incelenmediği ve önerilen yöntemlerde şebeke empedansının sabit kaldığı

gibi varsayımlar yapıldığı görülmüştür. Literatürdeki mevcut çalışmalara bakıldığında fliker etkisinin daha doğru bir şekilde analizi için yeni çalışmalar gerekmektedir. Bu çalışmalarda işaret işleme yöntemleri ve bilgi kuramına dayalı yöntemler kullanılabilir.

İşaret işleme yöntemlerini kullanan bilgi kuramına dayalı yöntemler biyomedikal mühendisliği alanında yaygın bir şekilde kullanılmıştır [11-15]. Kalp atış oranı, beyin ritimleri ve ses işaretleri giriş işareti olarak analiz edilip kalp krizi, Alzheimer, epilepsi gibi hastalıkların tespiti bilgi kuramı temelli yöntemlerle mümkün kılınmıştır. Fliker işareti de yukarıda verilen işaretlere benzer karakteristiğe sahip olduğundan bilgi kuramı yaklaşımı fliker analizi için de kullanılabilir. Bu makalemizde Matlab Simulink ortamında oluşturulan model bir güç sistemi üzerinden alınan veriler dalgacık dönüşümü ile işlenip bilgi kuramına dayanan dalgacık enerji entropi değerleri elde edilmiştir.

2. Bilgi Kuramı

Bilgi kuramı 20. Yüzyılın başlarında R. V. L. Hartley and Claude E. Shannon'un fikirleri üzerine inşa edilmiştir. Özellikle Shannon tarafından geliştirilen rassal değişkenlerin ve süreçlerin entropisi fikri bilgi kuramının başlangıcı olarak kabul edilmektedir.

1924 yılında Harry Nyquist "Certain Factors Affecting Telegraph Speed" isimli bir makale yayınlamıştır. Bu makalesinde akım değerleri ile telgraf hızı arasındaki ilişkiyi açıklığa kavuşturmuştur. Nyquist, sembollerin (birbirini izleyen akım değerleri) sabit bir hızda gönderilmesi durumunda iletişim hızı W 'nin mevcut farklı semboller veya akım değerlerinin sayısı olarak ifade edilen m ile arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi tanımlamıştır [16].

$$W = K \log m \quad (1)$$

Burada K sabit bir değerdir ve her bir saniyede ne kadar birbirini izleyen akım değeri gönderildiğine bağlı bir değerdir.

1928 yılında R. V. L. Hartley "Transmission of Information" isimli makalesini yayınlamıştır ve bilginin ölçümünü tanımlayan ilk kişidir. Bir mesajın her bir sembolü için s olasılıklı bir seçim olduğunu düşünelim. l sembolü bir mesaj olması durumunda s^l mesaj ayırt edilebilir. Hartley, mesajın bilgisi miktarını ayırt edilebilir mesajların sayısının logaritması olarak tanımlamıştır [17].

$$H = \log s^l = l \log s \quad (2)$$

1948 yılında Shannon "The Mathematical Theory of Communication" isimli bir makale yayınlamıştır ve günümüz bilgi kuramının temellerini oluşturmuştur. Shannon bilgiyi olasılık kuramı ile birlikte tanımlayan ilk kişidir. Shannon bir X olayının $H(X)$ bilgi içeriğini $P\{X\}$ olasılığına bağlı olarak aşağıdaki formülde tanımlamıştır.

$$H(X) = \log \frac{1}{P\{X\}} = -\log P\{X\} \quad (3)$$

Shannon'un bilgi miktarı ölçümü entropi kavramına atıfta bulunur. X , P olasılık dağılımına ve X örnek uzayına sahip bir olasılıksal bir deney olsun. $x_i \in X$ olmak üzere x_i sonucunun

olasılığı p_i olsun. Bu durumda ortalama bilgi miktarı veya belirsizlik eşitlik (3)'teki gibi tanımlanır [17].

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (4)$$

3. Dalgacık Dönüşümü ve Dalgacık Entropi

3.1. Dalgacık Dönüşümü

Kısa zamanlı Fourier dönüşümü işaretin zaman-frekans ilişkisi hakkında bilgi verirken dalgacık dönüşümü işaretin zaman-ölçek bilgisini vermektedir. Dalgacık dönüşümünde kısa zamanlı Fourier dönüşümünden farklı olarak analizde kullanılan pencereler sabit değildir ve bu pencereler hem ölçeklenir hem de ötelenir. Ölçekleme dalganın genişletilip daraltılmasına, öteleme ise zaman ekseninde dalganın kaydırılmasına karşılık gelmektedir. Dalgacık dönüşümünde ana dalgacık adı verilen fonksiyon ile incelenecek işaretin zaman-ölçek gösterimi sağlanır. [18].

Dalgacık dönüşümü seçilen $\Psi(t)$ ana dalgacık fonksiyonunun ötelenmesi ve ölçeklenmesi ile eşitlik (5)'teki gibi tanımlanır.

$$W_x(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi_{a,b}(t) dt \quad (5)$$

Burada a ve b sırasıyla ölçekleme ve öteleme parametreleridir.

Ölçekleme ve öteleme parametreleri $a = a_0^m$ ve $b = nb_0 a_0^m$, olmak üzere ayrıık değerler aldığı zaman ayrıık dalgacık dönüşümü aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$DWT x(m, n) = \sum x(k) \Psi_{m,n}(k) \quad (6)$$

Burada $m, n \in Z$, $a_0 > 1$ ve $b_0 > 0$ şeklindedir. Ayrıık ana dalgacık fonksiyonu $\Psi_{m,n}(k)$ eşitlik (7)'teki gibi tanımlanır.

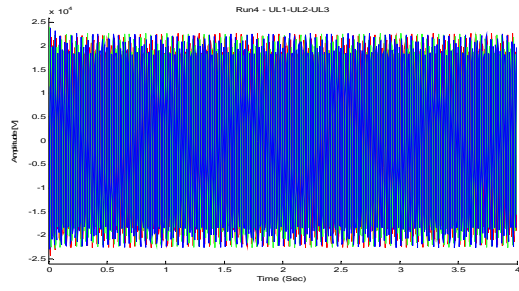
$$\Psi_{m,n}(k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \Psi \left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m} \right) \quad (7)$$

Mallat, ayrıık dalgacık dönüşümünü yapmak için Çoklu Çözünürlük Analizi olarak adlandırılan (ÇÇA) etkin bir algoritma geliştirmiştir [19]. Bu algoritmada, işaret alçak geçirgen ve yüksek geçirgen süzgeçlerle ifade edilen alt bantlara ayrıştırılmaktadır. Düşük frekans alt bandı yaklaşımlar Cai, yüksek frekans alt bandı detaylar C_d olarak adlandırılmaktadır.

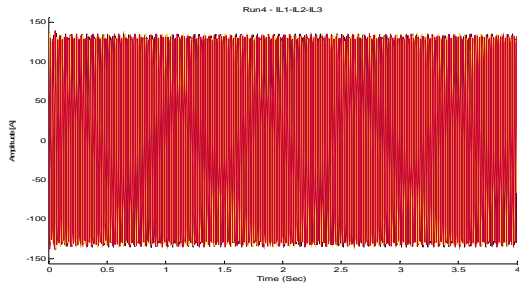
3.2. Dalgacık Enerji Entropi

Dalgacık enerji entropi değeri Shannon'un bilgi entropisi ve dalgacık dönüşümünün bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Dalgacık dönüşümünü kullanarak j ayrıştırma ölçeğinin dalgacık enerjisi aşağıdaki gibi tanımlanır.

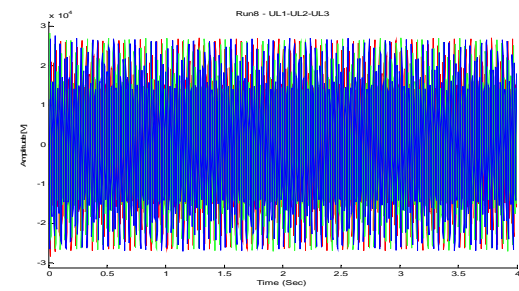
$$E_j = \sum_k^N |D_j(k)|^2 \quad (8)$$



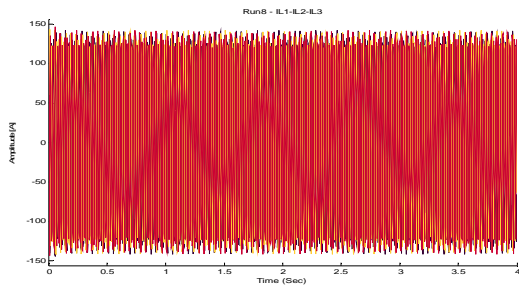
Şekil 4. Model 1 – Run 4 Gerilim



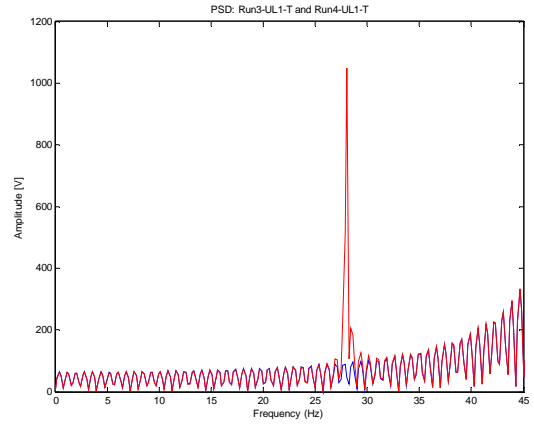
Şekil 5. Model 1 – Run 4 Akım



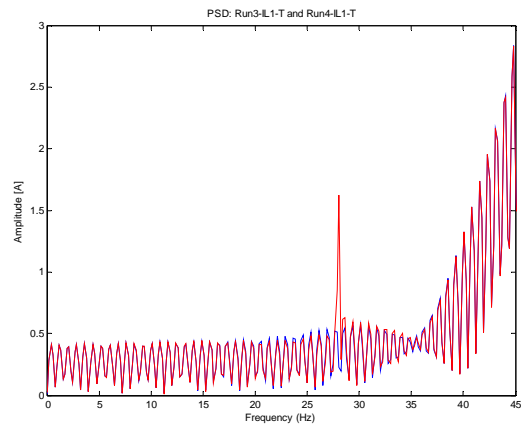
Şekil 6. Model 1 – Run 8 Gerilim



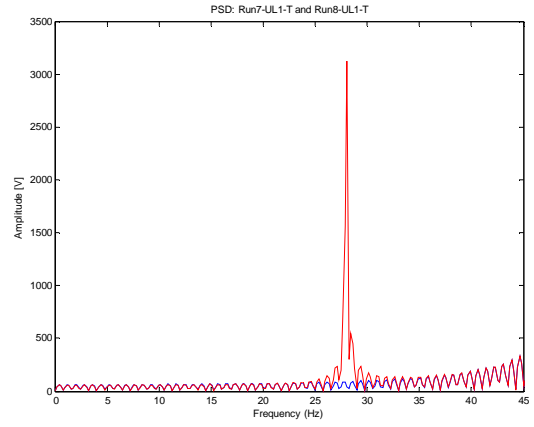
Şekil 7. Model 1 – Run 8 Akım



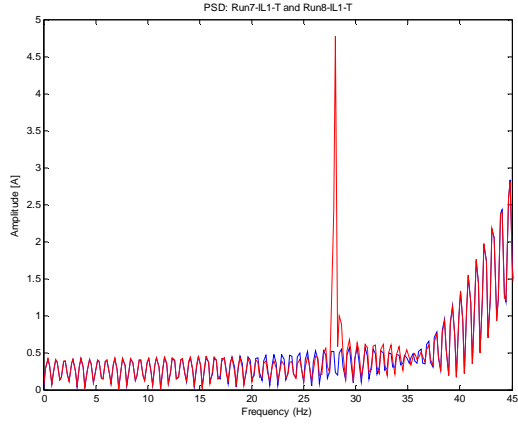
Şekil 8. Model 1 – Run 3 ve Run 4 Gerilim PSD



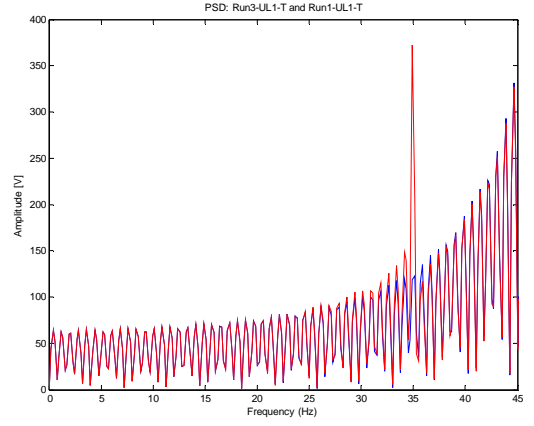
Şekil 9. Model 1 – Run 3 ve Run 4 Akım PSD



Şekil 10. Model 1 – Run 3 ve Run 8 Gerilim PSD

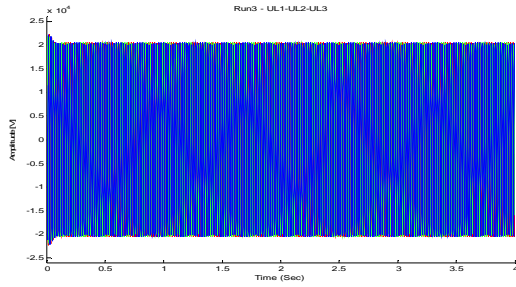


Şekil 11. Model 1 – Run 3 ve Run 8 Akım PSD

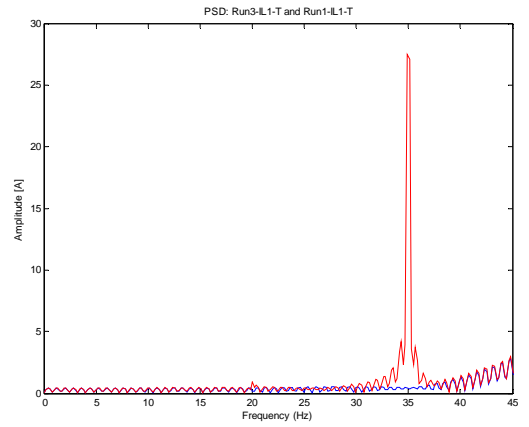


Şekil 14. Model 1 – Run 3 ve Run 1 Gerilim PSD

Kaynakta fliker etkisi yok iken değişken yükün fliker etkisini incelemek için ise Run 1 ve Run 3 çalışma durumları karşılaştırılabilir. Şekil 13'ten yük devreye girdiği durumda gerilimde oluşturduğu fliker etkisi genlik modülasyonu olarak görülebilmektedir. Değişken yükte 35Hz'de oluşturulan genlik modülasyonu şekil 15'te ve yükün etkisi ile ortak bağlantı noktasında gerilim işaretinde oluşan genlik modülasyonu şekil 14'te güç spektrum yoğunluklarından net bir şekilde görülebilmektedir.

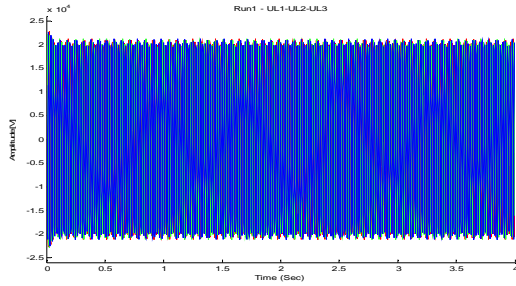


Şekil 12. Model 1 – Run 3 Gerilim

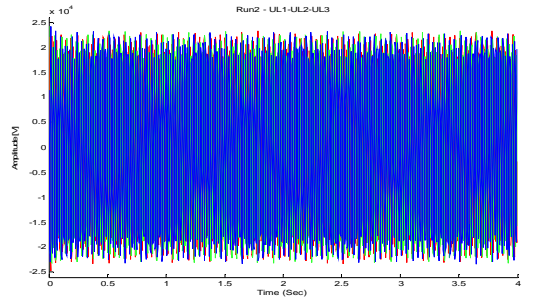


Şekil 15. Model 1 – Run 3 ve Run 1 Akım PSD

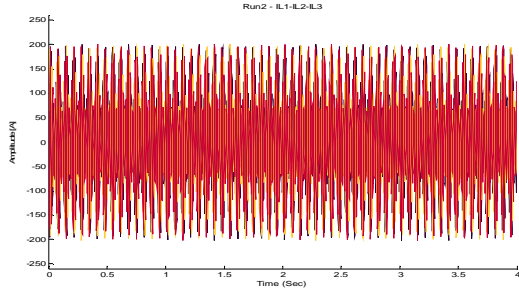
Değişken yükün devrede olduğu ve kaynakta fliker etkisinin mevcut olduğu Run 2 ve Run 6 durumlarına ilişkin gerilim ve akım dalga formları ve güç spektrum yoğunlukları ise aşağıdaki şekillerde (Şekil 16 – Şekil 23) verilmektedir.



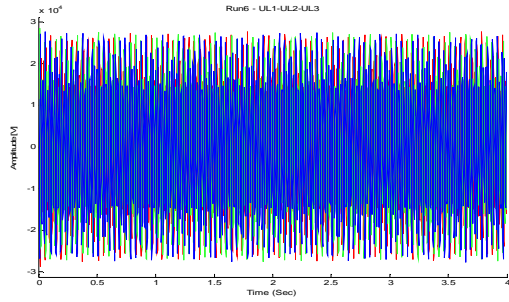
Şekil 13. Model 1 – Run 1 Gerilim



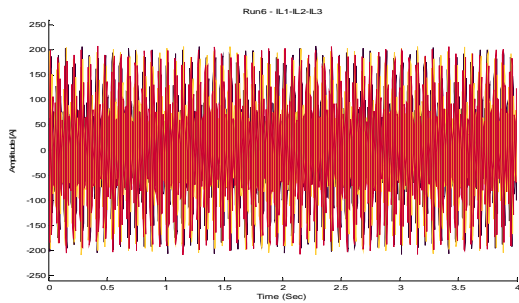
Şekil 16. Model 1 – Run 2 Gerilim



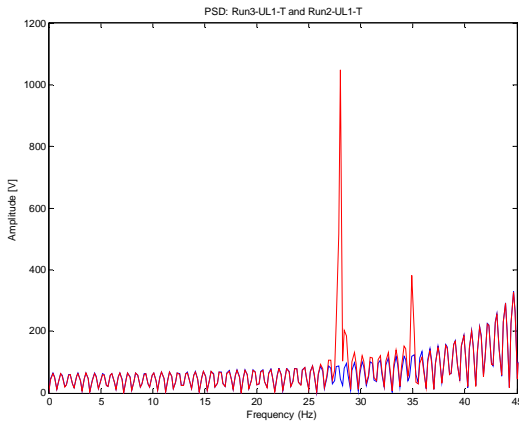
Şekil 17. Model 1 – Run 2 Akım



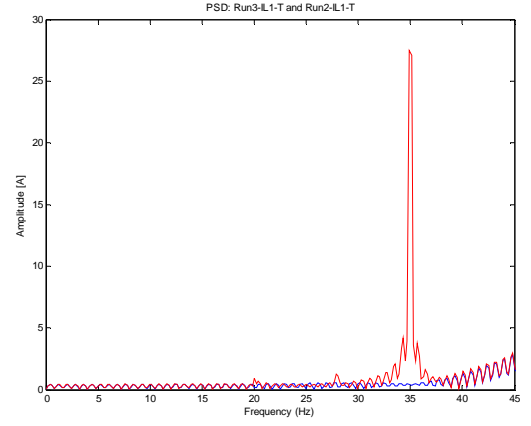
Şekil 18. Model 1 – Run 6 Gerilim



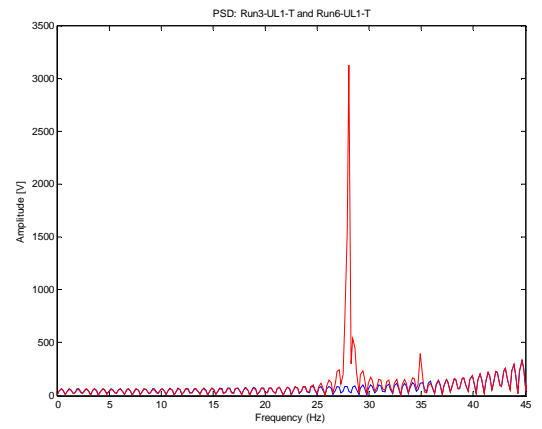
Şekil 19. Model 1 – Run 6 Akım



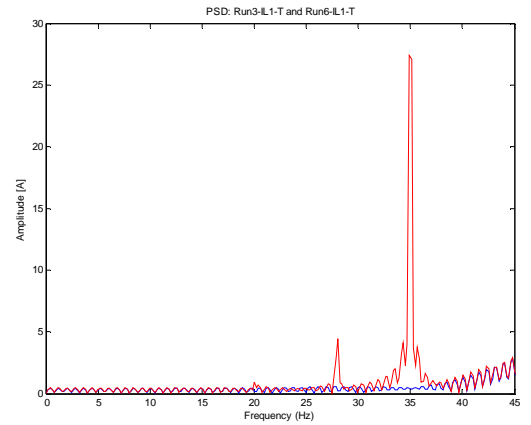
Şekil 20. Model 1 – Run 3 ve Run 2 Gerilim PSD



Şekil 21. Model 1 – Run 3 ve Run 2 Akım PSD



Şekil 22. Model 1 – Run 3 ve Run 6 Gerilim PSD



Şekil 23. Model 1 – Run 3 ve Run 6 Akım PSD

Şekil 20’de kaynakta 28Hz’de mevcut fliker etkisi ve değişken yükte 35Hz’de oluşturulan genlik modülasyonu sonucu ortak bağlantı noktasındaki gerilim üzerindeki etkisi net bir şekilde görülmektedir. Kaynak genlik modülasyonunun dolayısıyla fliker etkisinin artırılması sonucu akım işaretinde ortaya çıkan 28Hz bileşeni güç spektrum yoğunluğu üzerinden Şekil 23’te şekil 22’ye oranla daha net bir şekilde görülmektedir.

Benzer yaklaşımlarla benzetim model 2 için aynı işlem sırası uygulandığında değişken yükte 35Hz'de daha büyük genlikte oluşturulan genlik modülasyonu sonucu ortak bağlantı noktasındaki gerilim fliker etkisinin arttığı görülmüştür.

4.1. Çoklu Çözünürlük Dalgacık Analizi

Dalgacık analizinde Haar, Morlet, Coiflet, Symlet and Daubechies gibi dalgacık fonksiyonları kullanılmaktadır. Bunlar arasından uygulamamız için en uygun olan 4 seviyeli Daubechies (Db4) seçilerek kullanılmıştır. İlgilenilen fliker frekans aralığını içine alacak şekilde 9 seviyeli dalgacık analizi Db4 fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. Tablo 1'de 9 seviyeli analiz için frekans alt bantları gösterilmektedir.

Tablo 1. Çoklu Çözünürlük Analizi Frekans Alt Bantları

Yaklaşımlar	Frekans Alt Bantları (Hz)	Detaylar	Frekans Alt Bantları (Hz)
Ca ₁	0 – 6250	Cd ₁	6250 – 12500
Ca ₂	0 – 3125	Cd ₂	3125 – 6250
Ca ₃	0 – 1562,5	Cd ₃	1562,5 – 3125
Ca ₄	0 – 781,25	Cd ₄	781,25 – 1562,5
Ca ₅	0 – 390,625	Cd ₅	390,625 – 781,25
Ca ₆	0 – 195,3125	Cd ₆	195,313 – 390,625
Ca ₇	0 – 97,656	Cd ₇	97,656 – 195,313
Ca ₈	0 – 48,828	Cd ₈	48,828 – 97,656
Ca ₉	0 – 24,414	Cd ₉	24,414 – 48,828

Analizlerde L1 fazına ilişkin örneklenmiş gerilim ve akım değerleri kullanılmıştır. Bu değerleri çoklu çözünürlük dalgacık analizinde kullanarak her bir seviyedeki dalgacık katsayıları elde edilmiştir ve bu katsayılar dalgacık entropi hesabında kullanılmıştır.

4.2. Dalgacık Enerji Entropi (DEE) Hesabı

Benzetim Model 1 ve Benzetim Model 2 için çoklu çözünürlük analizinden elde edilen dalgacık katsayıları kullanılarak bölüm 3.2'deki verilen hesaplama ile DEE değerleri Tablo 2 ve Tablo 3'de gösterildiği gibi elde edilir.

Tablo 2. DEE Değerleri

	Run1_IL1	Run1_UL1	Run3_IL1	Run3_UL1
Model 1	0,3992	0,4409	0,2433	0,4424
Model 2	0,5539	0,4401	0,2433	0,4424

Tablo 3. DEE Değerleri (Devam)

	Run4_IL1	Run4_UL1	Run8_IL1	Run8_UL1
Model 1	0,2453	0,5091	0,274	1,022
Model 3	0,2453	0,5091	0,274	1,022

İşaret içeriğindeki farklı frekansların mevcudiyeti yüksek dalgacık enerji entropi değerlerinin ortaya çıkmasını sağlar. Tablodan da görüldüğü üzere değişken yükün devre dışı olduğu durumda (Model 1 Run3_IL1) DEE değeri 0,2433 iken yükün devreye girdiği durumda (Model 1 Run1_IL1) DEE değeri 0,3992 olmaktadır. Değişken yükün genliğinin

artması durumunda (Model 3 Run1_IL1) DEE değeri de artarak 0,5539 olmaktadır.

Bununla birlikte değişken yükün devre dışı olduğu ve sadece kaynak tarafında farklı değerlerde gerilim genlik modülasyonu olduğu durumlara ilişkin sonuçlar da incelenebilir. Değişken yükün devre dışı olduğu durumda (Model 1 Run3_IL1) DEE değeri 0,2433 iken, kaynak gerilim genlik modülasyonu 0,1 pu iken (Model 1 Run4_IL1) DEE değeri 0,2453, kaynak gerilim genlik modülasyonu 0,3 pu iken (Model 1 Run8_IL1) DEE değeri 0,274 olmaktadır. Buradan da yükün fliker neden olan bir değişken yük karakteristiği olmamasına rağmen şebekede fliker olması durumunda yük akımında fliker bileşeninin olacağı görülmektedir.

Yukarıda verilen örnek değerlerden de görüldüğü üzere fliker analizi ile ilgili bilgiler DEE değerlerinden elde edilip detaylı analizler için kullanılabilir.

5. Sonuçlar

Fliker ölçümü IEC 61000-4-15 standardında tanımlanan bir fliker metreye göre yapılmaktadır. Bu fliker metre sadece gerilim işaretini işleyip gerilim ile ilgili çıkışlar sağladığından dolayı mevcut fliker etkisine yükün ve şebekenin ne oranda neden olduğu ve her birinin bu güç kalitesi bozukluğunda ne derece sorumlu olduğu net bir şekilde yorumlanamamaktadır. Bu nedenle fliker ile ilgili ilave analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu makalede fliker etkisini farklı açılardan inceleyebilmek için çoklu çözünürlük dalgacık analize ve bilgi kuramına dayanan bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler farklı çalışma koşulları için benzetim ortamında elde edilip bu verilerden dalgacık entropi değerleri hesaplanmıştır. Yük ve şebeke tarafında farklı genliklerde fliker etkisinin olması kendisini doğrudan dalgacık enerji entropi değerlerinde göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar bilgi kuramına dayalı dalgacık enerji entropi yönteminin uygulanması incelenecek işaretin içeriğine ilişkin önemli bilgiler vereceğini göstermektedir. Yükün ve şebekenin fliker sorumluluk katkısı ortak bağlantı noktasından alınacak işaretlerin içeriğindeki bu bilginin detaylı analizlerde kullanılması ile ayrı ayrı elde edilebilecektir.

6. Kaynaklar

- [1] Flickermeter — Functional and design specifications, IEC Std. 61000-4-15, 2011.
- [2] Axelberg, P. G. V., Bollen, M. H. J. ve Gu I. Y. H., "A measurement method for determining the direction of propagation of flicker and for tracing a flicker source", *18th International Conference on Electricity Distribution*, 2005, 505-508.
- [3] Axelberg, P. G. V. ve Bollen M. H. J., "An algorithm for determining the direction to a flicker source", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 21, no.2, 775-760, 2006.
- [4] Axelberg, P. G. V., Bollen, M. H. J. ve Gu I. Y. H., "Trace of Flicker Sources by Using the Quantity of Flicker Power", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 23, no.1, 465-471, 2008.
- [5] Poormonfaredazimi M., Moghadam H., ve Doroudi A. "A Novel method to trace flicker sources", *Proceedings*

of 17th Conference on Electrical Power Distribution Networks (EPDC), 2012, 1-7.

- [6] Jamaludin, N. F., ve Abidin, A. F., "Flicker power algorithm based on Fast Fourier Transform (FFT) demodulation", *IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, 2013, 252-257.
- [7] Jamaludin, N. F., ve Abidin, A. F., "The used of Fast-Fourier Transform (FFT) demodulation for flicker source identification", *2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference*, 2014, 537-542.
- [8] Payam, A. F., Dehkordi, B. M., Sadri M. S., ve Moallem, M., "An Energy Method for Determination of Flicker Source at the Point of Common Coupling", *EUROCON 2007 - The International Conference on Computer as a Tool*, 2007, 1615-1620.
- [9] Shao, Z., Wu, D., Zhang, R., ve Kang, J., "Application of Flicker Source Location System in Fujian Grid", *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 2010.
- [10] Altıntaş, E., Salor, Ö., Çadırcı, I., ve Ermiş, M., "A New Flicker Contribution Tracing Method Based on Individual Reactive Current Components of Multiple EAFs at PCC", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 46, no.5, 1746-1754, 2010.
- [11] Malarvili M. B., Rankine, L., Mesbah, M., ve Boashash, B., "Time- frequency based renyi entropy of heart rate variability for newborn seizure detection," *9th International Symposium on Signal Processing and Its Applications*, 2007, 1-4.
- [12] Staudinger, T., ve Polikar, R., "Analysis of complexity based EEG features for the diagnosis of Alzheimer's disease," *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC*, 2011, 2033-2036.
- [13] Scalassara, P. R. et. al, "Analysis of voice pathology evolution using entropy rate," *Tenth IEEE International Symposium on Multimedia*, 2008, 580-585.
- [14] Henriquez, P. et. al, "Characterization of healthy and pathological voice through measures based on nonlinear dynamics," *IEEE Trans. Audio, Speech, Language Process.*, vol. 17, no. 6, 1186-1195, 2009.
- [15] Thakor, N. V., Paul, J., Tong, S., Zhu, Y., ve Bezerian A., "Entropy of brain rhythms: normal versus injury EEG," *Proceedings of the 11th IEEE Signal Processing Workshop on Statistical Signal Processing*, 2001.,261-264.
- [16] Pierce, J. R., *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals & Noise*, New York, USA: Dover Publication, 1980.
- [17] M. Uro. *Basics Concepts in Information Theory*. [Çevrimiçi]. Mevcut: <http://www-public.tem-tsp.eu/~uro/cours-pdf/poly.pdf>
- [18] Gopinath, R. A., ve Burrus, C. S., *Wavelets: A Tutorial in Theory and Applications, Volume 2*, Boston: Academic Press, 1992.
- [19] Mallat, S. G., "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mech. Intelligent*, vol. 11, no.7, 674-693, 1989.
- [20] Wang, S., Bi, T., ve Jia, K., "Wavelet entropy based fault detection approach for MMC-HVDC lines," *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2015, 1-5.