

Güç Kalitesi Bozulmalarının Sınıflandırılmasında Dalgacık Dönüşümüyle Enerji Dağılımına Dayalı Özelliklerin İncelenmesi

Murat Uyar¹

Selçuk Yıldırım²

Muhsin T. Gençoğlu³

^{1,2}Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğt. Fak., Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fak., Fırat Üniversitesi, 23119 Elazığ

¹e-posta: muyar@firat.edu.tr

²e-posta: syildirim@firat.edu.tr

³e-posta: mtgencoglu@firat.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada dalgacık dönüşümü kullanılarak güç kalitesi bozulmalarına ait işaretlerin analizi gerçekleştirilmiştir. Önce dalgacık dönüşümünün verilen bir işaretteki bozulmaları belirleme yeteneği incelenmiştir. Daha sonra işaret hakkında önemli bilgiler içeren dalgacık katsayıları işareti temsil eden özellik vektörü olarak ele alınmıştır. Dalgacık dönüşümünün her ayrıştırma seviyesinden enerji dağılıma dayalı bir yöntem ile özellikler çıkarılmıştır. İşaretlerin genlik, frekans ve sürelerine bağlı olarak enerji dağılımlarındaki farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntemle çıkarılan özelliklerin bozulmanın türünü ayırt edebileceği bir kümeleme işlemiyle görsel olarak verilmiştir. Ayrıca işareti temsil eden veri boyutunun bu özellikler sayesinde azaldığı görülmüştür.

1. Giriş

İdeal üç fazlı alternatif akım kaynağından elde edilen gerilim, genlikleri yaklaşık olarak aynı değerde ve aralarında 120° faz farkı olan sinüs şeklinde sürekli bir gerilimdir. Gerilimin beklenen bu ölçütlerin dışına çıkması enerji kalitesinin düşük olduğu anlamına gelir [1]. Harmonikler, gerilim dalgalanmaları, gerilim çökmeleri, gerilim sıçramaları, anlık gerilim kesintileri gibi güç sistemlerinde meydana gelebilecek akım veya gerilim bozulmaları, elektrik enerjinin düşük kaliteli olmasına, neden olmaktadır. Bu güç kalitesi bozulmaları; tüketicinin kullandığı cihazların arızalanması, endüstride kullanılan akım veya gerilim dengesizliğine duyarlı mikroişlemciler gibi bazı cihazların zarar görmesi gibi sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Güç kalitesini düzeltmek için gerekli önlemler alınmadan önce, bu tür bozulmaların kaynakları ve sebepleri bilinmelidir. Özellikle bozulmanın türü doğru bir şekilde sınıflandırılırsa yük altında bozulmanın etkilerini tanımlanabilir, bozulmanın kaynağını analiz edilebilir ve böylece uygun çözüm yöntemleri geliştirilebilir [2].

İşaret işleme yöntemlerindeki gelişmelere bağlı olarak güç kalitesi izleme, bu tür problemlerin analizi için etkin bir süreç olmuştur. Fakat alternatif akım güç sistemlerindeki güç kalitesini bozan kaynakların sayısının artmasıyla çok sayıda verinin analiz edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece bozulmaların türünü otomatik olarak sınıflandırmak için gerekli verilerin sıkıştırılması ve kümelenebilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için, güç kalitesi izleme sisteminden elde edilen işaretler uygun bir işaret işleme yöntemiyle güç kalitesi bozulması belirlenmeli, daha sonra bozulmanın türü ayırt edilmelidir.

Bu çalışmada, güç kalitesi bozulmalarını tespit etmek ve onları birbirinden ayırt edebilecek özellikleri çıkarmak için, literatürde birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılan dalgacık dönüşüm yöntemi incelenmiştir. Bu yöntemin, güç kalitesi problemlerinin analizi için oldukça başarılı olduğu söylenebilir.

2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Son yıllarda dalgacık dönüşümü güç kalitesi problemlerinin analizi için yeni bir zaman-frekans dönüşüm yöntemi olarak önerilmiştir [3-5]. Dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümü gibi durağan ve durağan olmayan işaret analizinde kullanılan ve bir işareti farklı ölçeklerdeki çözünürlük seviyelerinde tek bir fonksiyonu genişleterek ayrıştıran, önemli bir matematiksel yöntemdir. Dalgacık dönüşümünü Fourier dönüşümünden, ayıran en önemli özellik, Fourier dönüşümünden bir işaretin frekans bilgisi elde edilirken dalgacık dönüşümünden, verilen bir işaretin aynı anda hem zaman hem de frekans temsilinin elde edilmesidir [6]. Bu nedenle dalgacık dönüşümünün güç kalitesindeki bozulmalarını belirleyebilme ve onlara ait özellikleri çıkarmada önemli üstünlükleri vardır.

Dalgacık dönüşümü sürekli ve ayrık olmak üzere iki farklı şekilde incelenir. Sürekli dalgacık dönüşümünde ölçeklendirme ve dalgacık fonksiyonu parametrelerinin sürekli olarak değişiminden dolayı her bir ölçek için dalgacık katsayılarının hesaplanması zor ve zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle ayrık dalgacık dönüşümü daha sık kullanılmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) ile işaret belli sayıda ölçeklere ayrılır.

Verilen bir $f(t)$ işaretinin J seviye ayrık dalgacık dönüşümü, hem ölçekleme hem de dalgacık fonksiyonu terimleriyle aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

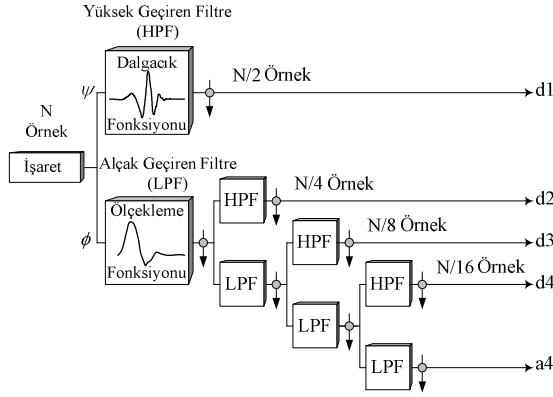
$$f(t) = \sum_n a_J(n) \phi(t-n) + \sum_n \sum_{j=0}^{J-1} d_j(n) 2^{j/2} \psi(2^j t - n) \quad (1)$$

Burada a_J , J seviye ölçekleme katsayısını, d_j , j seviye dalgacık katsayısını, $\phi(t)$, ölçekleme fonksiyonunu, $\psi(t)$ dalgacık fonksiyonunu, J dalgacık dönüşümün en yüksek seviyesini ve t zamanı temsil eder. Çok çözünürlük ayrışımında, ölçekleme fonksiyonu ve dalgacık fonksiyonu farklı çözünürlük seviyelerinde işareti ayrıştırmak için kullanılır. Dalgacık fonksiyonu ayrıştırılmış işaretin ayrıntı katsayılarını (d_j), ölçekleme fonksiyonu ise yaklaşık katsayılarını (a_j) oluşturacaktır.

$$a_{j+1}(n) = \sum_k h(m-2n) a_j(n) \quad (2)$$

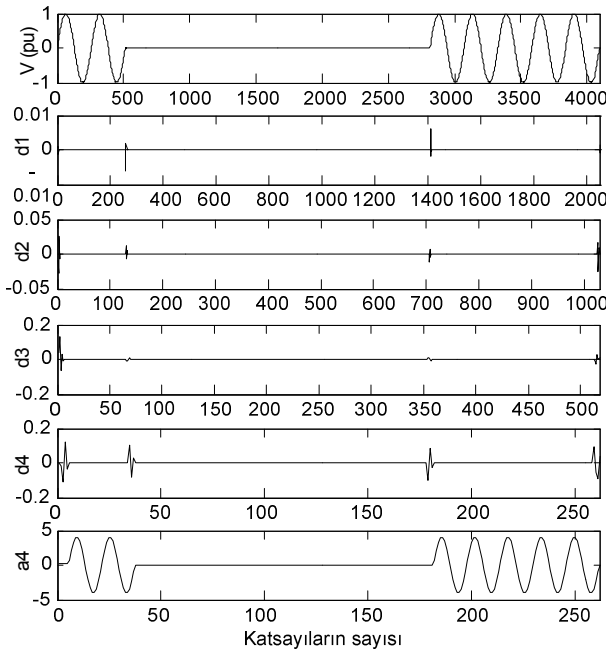
$$d_{j+1}(n) = \sum_m g(m-2n) a_j(n) \quad (3)$$

Burada h ve g sırasıyla alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin filtre katsayılarıdır. Şekil 1 bir işaretin 4 seviyeli çok çözünürlük ayrışımını göstermektedir. Burada a_s , en düşük frekans bandının yaklaşık seviyesi ve $d1-d4$ ise yüksek frekans bantlarının ayrıntı seviyeleridir. Her frekans bandı ayrı bir şekilde analiz edilebilir ve yeni bir sinyali incelemek etmek için yeniden birleştirilebilir.



Şekil 1: 4 seviyeli çok çözünürlük ayrışımı

Şekil 2’de anlık gerilim kesintisi olayı çok çözünürlük ayrışımıyla dört seviye için gerçekleştirilmiştir. $a4$ temel frekans bileşeni içeren yaklaşık seviyesi ve $d1-d4$ yüksek frekanslı ayrıntı seviyeleridir. Sinyalde süreksizlik olduğu anda ayrıntı seviyelerindeki katsayıların aniden değiştiği görülmektedir. Bu katsayılardaki değişim bir eşik değeri ile karşılaştırılarak bozulmanın başladığı ve sona erdiği tespit edilebilir. Dalgacık dönüşümüyle yapılan ayrıştırma işleminde Daubechies 4 (db4) dalgacığı kullanılmıştır.



Şekil 2: Anlık gerilim kesintisi dalga şekli ve 4 seviyeli çok çözünürlük ayrışımı

3. Enerji Yöntemiyle Özellik Çıkarımı

Parseval teoremine göre, $I\Omega$ 'luk direnç üzerinden akan akım ayrık bir $f(n)$ işareti olarak düşünüldüğünde, direncin üzerinde harcanan enerji frekans bölgesinde Fourier dönüşümünün spektrum katsayılarının karelerinin toplamına eşittir.

$$\frac{1}{N} \sum_n |f(n)|^2 = \sum_k |c_k|^2 \quad (4)$$

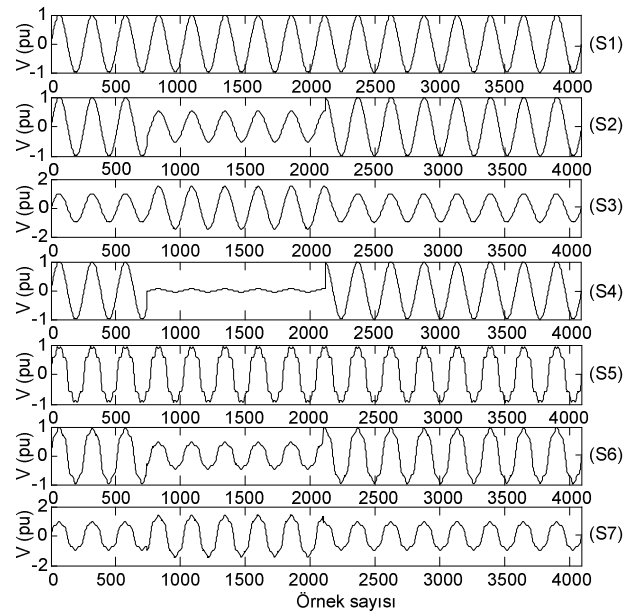
Burada N örnek sayısını ve c_k Fourier dönüşümünün spektrum katsayılarını temsil eder. Bu teoremi ADD'ye uygulamak için denk.(1) ve (4)'den yararlanarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{1}{N} \sum_t |f(t)|^2 = \frac{1}{N_J} \sum_k |a_J(k)|^2 + \sum_{j=L}^J \left(\frac{1}{N_j} \sum_k |d_j(k)|^2 \right) \quad (5)$$

Böylece, denk.(5)'den ADD ile bozuk işaretin enerjisi elde edilir. Denk.(5)'in sağındaki ilk terim ayrıştırılmış işaretin yaklaşık seviyesini, ikinci terim ise ayrıştırılmış işaretin ayrıntı seviyelerini belirtmektedir. Bozuk işaretin ayrıntı seviyelerinin enerji dağılımını veren ikinci terim güç kalitesi bozulmalarına ait özellikleri çıkarmak için kullanılacaktır.

4. Uygulamalar

Farklı güç kalitesi bozulmalarını sınıflandırmak için, referans olarak normal sinüs gerilimi (S1), gerilim çökmesi (S2), gerilim sıçraması (S3), anlık gerilim kesintisi (S4), harmonik (S5), harmonikli gerilim çökmesi (S6) ve harmonikli gerilim sıçraması (S7) dalga şekilleri, [7-8]'de verilen cebirsel denklemler ve kontrol parametrelerinden faydalanılarak Matlab'da üretilmiştir. Güç kalitesi bozulmalarına ait dalga şekilleri Şekil 3'de verilmiştir. İşaretlerin örnekleme frekansı 12.8 kHz ve 16 periyot olarak belirlenmiştir. Her bir bozulma işareti 10 seviye olarak db4 dalgacık filtresi ile ayrıştırılarak denk.(5)'deki ayrıntı seviyelerine ait enerji dağılımları elde edilmiştir. Dalgacık dönüşümünün çok çözünürlük ayrışımındaki frekans bantlarının aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.



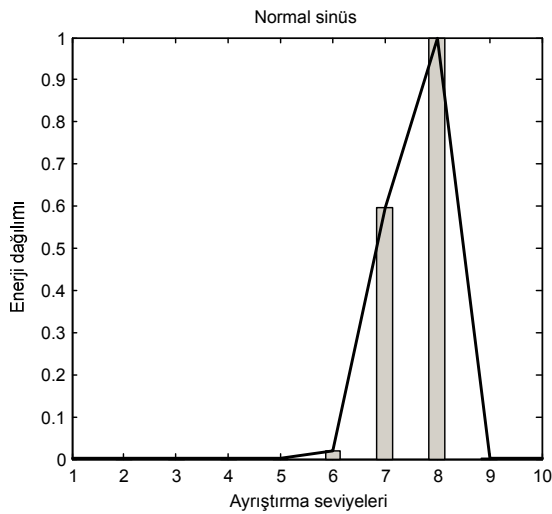
Şekil 3: Güç kalitesi bozulmalarına ait dalga şekilleri

Şekil 3-10, referans olarak belirtilen normal sinüs geriliminin yanında 6 farklı güç kalitesi bozulmasının 10 seviye ayrınıtı değerlerinin enerji dağılımını göstermektedir. Şekil 3-10'da görüldüğü gibi bozuk işaretlerin enerji dağılımlarından üç farklı sonuç ortaya çıkarılmıştır.

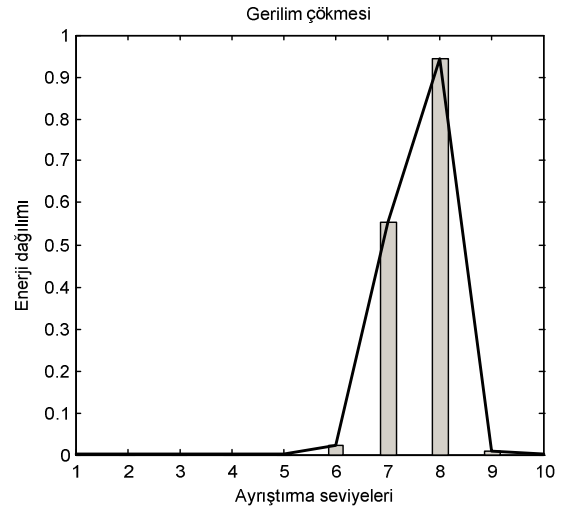
- S2, S3 ve S4 işaretlerinin frekansında herhangi bir değişim olmadığı için, Tablo 1'e göre temel frekans bileşenine yakın seviye değeri olan 6., 7. ve 8. seviyelerde enerji değerleri artmıştır. Fakat, S1 referans işaret ile karşılaştırıldığında S2 ve S4 işaretinin özellikle 8. seviye enerji değerinde belirgin azalış, S3 işaretinin 8. seviyesinde ise belirgin bir artış gözlenmiştir.
- S5, S6 ve S7 işaretlerinin içerisinde yüksek frekanslı bileşenler bulunduğu için temel frekansa yakın enerji seviyelerindeki artışın yanında, 4. ve 5. seviyelerdeki enerji dağılımlarında da bir farklılık görülmektedir. Tablo 1'e göre özellikle 5. seviyede, 5. ve 7. harmoniklerin bulunması bu seviyenin enerji değerini arttırmıştır.
- Gerilim dalgalanması gibi, 25 Hz'den az, düşük frekanslı güç kalitesi bozulmaları 9. ve 10. seviyelerdeki enerji dağılımlarından kolayca ayırt edilebilir.

Tablo 1: Çok çözünürlük ayrışımındaki frekans bant aralıkları

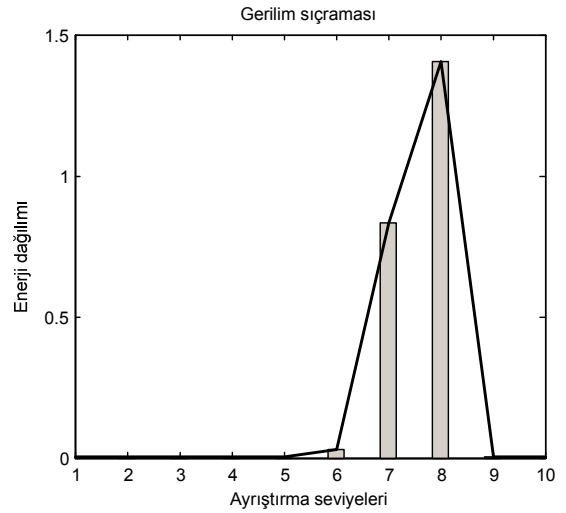
Ayrıştırma seviyeleri	Frekans aralığı (Hz)
d1	3200-6400
d2	1600-3200
d3	800-1600
d4	400-800
d5	200-400
d6	100-200
d7	50-100
d8	25-50
d9	12.5-25
d10	6.25-12.5
a10	0-6.25



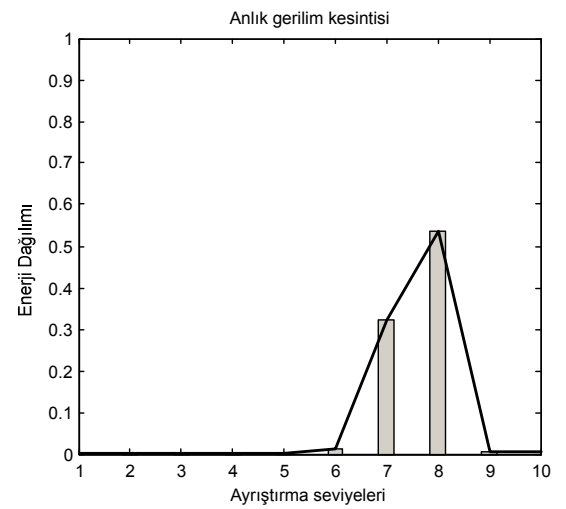
Şekil 4: Normal sinüs geriliminin enerji dağılımı



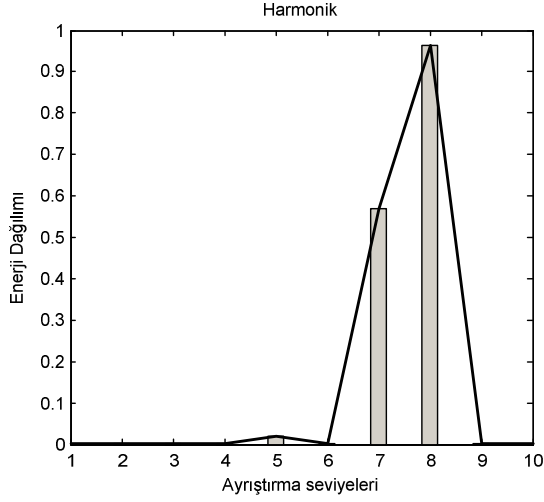
Şekil 5: Gerilim çökmesi işaretinin enerji dağılımı



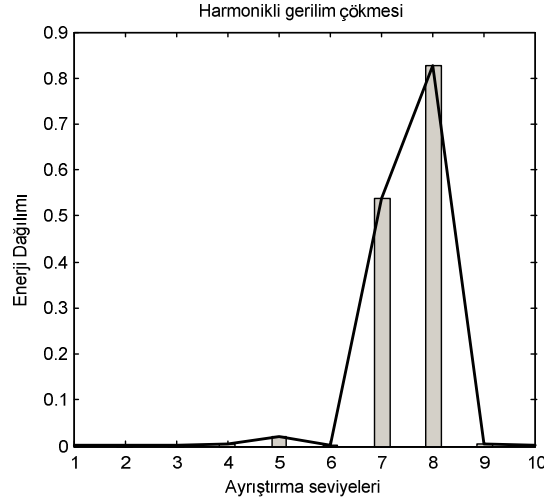
Şekil 6: Gerilim sıçraması işaretinin enerji dağılımı



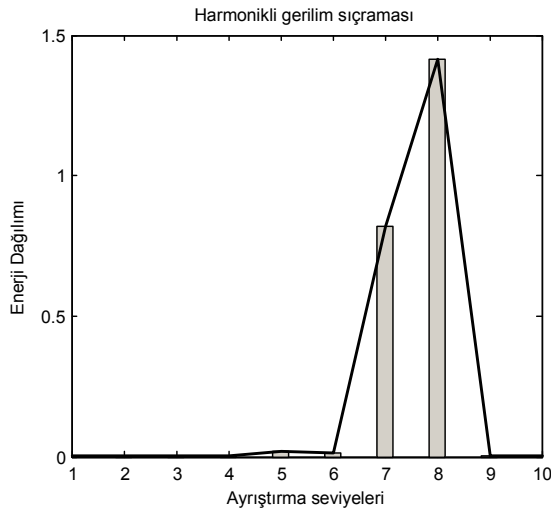
Şekil 7: Anlık gerilim kesintisi işaretinin enerji dağılımı



Şekil 8: Harmonik işaretinin enerji dağılımı



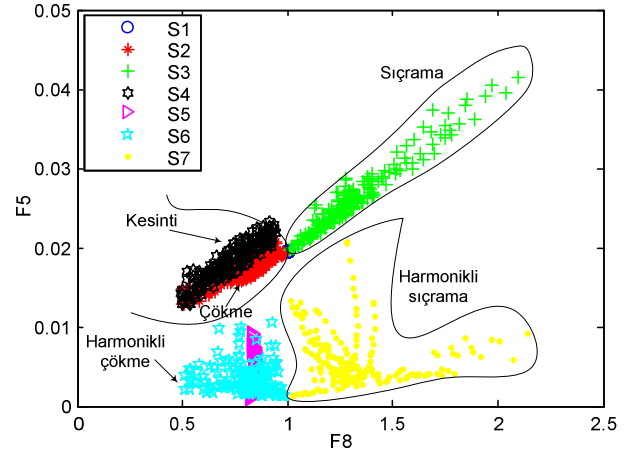
Şekil 9: Harmonikli gerilim çökmesinin enerji dağılımı



Şekil 10: Harmonikli gerilim sıçramasının enerji dağılımı

Her bir seviyenin özellikleri F1, F2,...,F10 olmak üzere, çok çözünürlük ayrışımıyla çıkarılan özelliklerin, ayırt edebilme yeteneğinin daha iyi görülebilmesi için F5-F8 özellikleri ile veri kümeleme işlemi yapılmıştır. Bunun için her bozulma grubundan 200 tane farklı işaret IEEE 1159 [9] standartlarına göre rasgele parametrelerle oluşturulmuştur.

Enerji dağılım grafiklerine göre F5 ve F8 en belirgin ayırt edici özellikler olduğu görülmüş ve bu özellikler için kümeleme işlemi Şekil 11' de verilmiştir. Görüldüğü gibi temel frekanslı sınıflarla (S1, S2, S3, S4), yüksek frekans bileşeni içeren sınıflar (S5, S6, S7) birbirinden tam olarak ayrılmıştır. Sadece bu iki özellik ile bile S3 ve S7 sınıfları tam olarak ayırt edilebilmektedir. Standartlara göre S2 sınıfının en alt sınırı $\geq \%10$ ve S4 sınıfının ise üst sınırı $\leq \%10$ olması, bu değerlere yakın seçilen parametreler için bu iki sınıfın tam olarak ayrılmadığı görülmüştür. S5 ve S6 sınıfı ise diğer özellik kombinasyonlarıyla tam olarak ayrılabilir. Güç kalitesi bozulmaları arasındaki bazı özellik kombinasyonlarının ayırt edebilme yeteneği Tablo 2'de verilmiştir. Tablo içerisindeki “ * ” sembolü belirtilen özelliklerle sınıfların birbirinden tam olarak ayırt edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 11: F5 ve F8 özelliklerinden elde edilen kümeleme

Tablo 2: Güç kalitesi bozulmaları arasındaki özellik kombinasyonlarının ayırt edebilme yeteneği

Sınıf	Özellik kombinasyonları									
	F1 F3	F2 F3	F4 F5	F4 F6	F4 F7	F4 F8	F5 F7	F5 F8	F6 F8	F7 F8
S1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
S2										
S3			*	*	*	*	*	*	*	
S4										
S5	*	*		*						*
S6			*							
S7					*	*	*	*	*	

5. Sonuçlar

Bu çalışmada güç kalitesindeki bozulmaları sınıflandırmak için ayrık dalgacık dönüşümü ve enerji dağılımına dayalı özellik çıkarım yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen özellikler ile farklı türden bir çok bozucu işaret görsel olarak birbirinden

ayrıt edilebilir ve veri boyutu çok düşük değerlere indirilebilir. Güç kalitesi bozulmaları için kümeleme işlemiyle yapılan sınıflandırma, en uygun özelliklerin seçilmesinde ayrıt edici bilgiler verebilir. Bu özellikler sayesinde, akıllı sistemlere dayalı yöntemler ile bozulmanın türü daha rahat bir şekilde sınıflandırılabilir.

6. Kaynakça

- [1] Gargoom, A.M., Ertugrul, N., Soong, W.L., A comparative study on effective signal processing tools for optimum feature selection in automatic power quality events clustering, Industry Applications Conference, Fourtieth IAS Annual Meeting, 1, 52–58, 2005.
- [2] Gunther, W. G., Mehta, H., A survey of Distribution System Power Quality-Preliminary Results, IEEE Trans. On Power Deliv. 10, (1), 322-329, 1995.
- [3] Santoso, S., Powers, E.J., Grady, W.M., Hofmann, P., Power quality assessment via wavelet transform analysis, IEEE Trans. on Power Deliv. 11, (2), 924–930, 1996.
- [4] Gaouda, A.M., Salama, M.M.A., Sultan, M.R. Chikhani, A.Y., Power quality detection and classification using wavelet-multiresolution signal decomposition, IEEE Trans. on Power Deliv. 14, (4), 1469–1476, 1999.
- [5] Gaing, Z.L., Wavelet-based neural network for power disturbance recognition and classification, IEEE Trans. on Power Deliv. 19, (4), 1560–1568, 2004.
- [6] Strang, G., Nguyen, T., Wavelets and filter banks, Wellesley-Cambridge Press, 1996.
- [7] Abdel-Galil, T.K., Kamel, M., Youssef, A.M., El-Saadany, E.F., Salama, M.M.A., Power quality disturbance classification using the inductive inference approach, IEEE Trans. on Power Deliv. 19, (4), 1812–1818, 2004.
- [8] He, H., Starzyk, J.A., A self-organizing learning array system for power quality classification based on wavelet transform, IEEE Trans. on Power Deliv. 21, (1), 286–295, 2006.
- [9] IEEE Std. 1159, IEEE Recommend Practice for Monitoring Electric Power Quality, 1995.