

Türkiye Elektrik İletim Sisteminde Harmonik Bozulma ve Kırpışma Parametrelerinin Oluşturulan Güç Kalitesi Veritabanı Yapısıyla Değerlendirilmesi

Assessment of Harmonic Distortions and Flicker in the Turkish Electricity Transmission System Based on the Developed Database Architecture

D. Küçük¹, Ö. Salor¹, M. Güder¹, T. Demirci¹, Y. Akkaya², I. Çadırcı^{1,3}, M. Ermiş⁴

1. Güç Elektronik Grubu, TÜBİTAK-UZAY, Ankara
2. Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
3. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi
4. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Özet

Bu bildiri, Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nin ülke çapına yayılmış 172 transformatör merkezinde, IEC-61000-4-30 standardına göre yapılmış güç kalitesi (GK) ölçümlerinin değerlendirilmesi sunulmuştur. 601 ölçüm noktasından bir hafta boyunca toplanan veriler özel tasarlanmış bir veritabanına aktarılmıştır. Veritabanı yeni bir GK modeli üzerine kurulmuştur ve görsel sorgu arayüzü, harita arayüzü ve doğal dil arayüzü olmak üzere üç arayüz içermektedir. Bu arayüzler kullanılarak, harmonik bozulma ve kırpışma açısından ülke genelinde değerlendirmeler yapılmış ve GK sorunu olan noktalar ortaya çıkarılmıştır. Harita arayüzü sayesinde önerilen çeşitli değerlendirme yöntemlerinin sonuçlarının ülke genelindeki dağılımı çıkarılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kırpışma, Harmonik Bozulma, Güç Kalitesi Veritabanı.

Abstract

This paper describes the power quality (PQ) assessments based on the PQ data collected according to the IEC-61000-4-30 Standard at 172 transformer substations of the Turkish Electricity Transmission System distributed all over the country. PQ measurements collected at the 601 measurement points for a period of one week are managed by a customized database architecture. The database is based on a novel PQ data model which can be accessed through a visual query interface, a map interface, and a natural language interface. Through the interfaces of this database, the overall PQ status of measured points, which represent the general behavior of the transmission system, have been assessed and problematic points in terms of harmonic distortion and flicker have been determined and presented quantitatively. Some PQ assessment methods

have been proposed and their applications on the PQ data have been displayed employing the map interface.

Keywords: Flicker, Harmonic Distortion, Power Quality Database.

1. Giriş

Endüstriyel güç tüketiminin gün geçtikçe önem kazandığı günümüzde, bu tür tüketimin getirdiği güç kalitesi sorunlarının tespiti ve çözülmesi de güç sistemlerinin sağlıklı işlemesi için kaçınılmaz hale gelmiştir. Buna bağlı olarak güç kalitesinin izlenmesi ve problemlerin tespiti ile ilgili son yıllarda yapılmış pek çok çalışma vardır. Yakın zamana kadar belli bir coğrafya üzerinde güç kalitesini izleyen bir çok dağıtık güç kalitesi izleme sistemi geliştirilmiştir [1-5]. Bu sistemler elektrik iletim ya da dağıtım sistemlerinin belli bir bölgesindeki güç kalitesini izlemek amacıyla üretilmişlerdir. Bu çalışmada anlatılan sistemin önceden yapılan çalışmalara göre farkı ülke genelinde iletim sisteminin güç kalitesi fotoğrafını göz önüne sermek için yapılmış bir çalışma olmasıdır. Türkiye Elektrik İletim Sisteminin ülke geneline dağılmış 172 transformatör merkezinde, Milli Güç Kalitesi Projesi¹ kapsamındaki Mobil Ölçüm Alt Projesi için üretilen mobil güç kalitesi ölçüm cihazları ile yapılan bir haftalık ölçümler sonucunda IEC-61000-4-30 standardına göre güç kalitesi parametreleri depolanmış [6-7] ve bu veriler değerlendirme amacına yönelik tasarlanan bir veritabanına aktarılmıştır. Bu veritabanı altyapısı sayesinde ülke genelinde iletim sisteminin güç kalitesinin değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Bu bildiri Türkiye genelinde özellikle harmonik bozulma ve kırpışma değerlendirmelerine yer verilmiştir. Çeşitli ölçüm yöntemleri önerilmiş ve denenmiş, değerlendirme sonuçları ülke genelindeki yük dağılımları ile

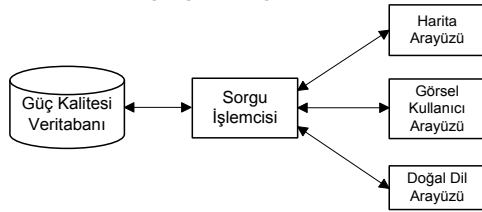
¹ <http://www.guckalitesi.gen.tr>

ilişkilendirilmiş ve buna bağlı güç kalitesi problemleri ortaya konmuştur.

2. Güç Kalitesi Veritabanı

Mobil Ölçüm Alt Projesi kapsamında yapılan ölçümlere ait veriler DVD ve kaset gibi medyalarda saklanmaktaydılar. Verilerin bu şekilde saklanmaları aşağıdaki problemleri ortaya çıkarmaktaydı:

- Ölçüm verisinin boyutunun çok büyük olması verinin yönetimini zorlaştırmaktaydı.
- Medyaların bozulma olasılıkları bulunduğu verilerin kaybedilme olasılıkları mevcuttu.
- Veriler medyalarda saklandıklarından sisteminin tamamı ile ilgili genel bilgileri çıkarmak zordu.



Şekil 1. Güç kalitesi veritabanı yapısı.

Bu problemleri ortadan kaldırmak ve verilere etkili ve verimli bir biçimde erişebilmek için bir güç kalitesi veritabanı ile birbirleriyle entegre edilmiş üç arayüzden oluşan bir veritabanı mimarisi geliştirildi. Bu arayüzler Şekil 1'de gösterildiği gibi görsel kullanıcı arayüzü, harita arayüzü ve doğal dil arayüzüdür.

Güç kalitesi veritabanı, güç kalitesi verileri için önerilen yeni bir kavramsal modeli temel almaktadır. Bu kavramsal model kullanılarak gerçek veritabanının oluşturulması için PostgreSQL veritabanı yönetim sistemi kullanılmıştır. Mobil ölçüm verilerini oluşturulan bu veritabanına aktarabilmek için bir aktarım programı geliştirilmiş ve bu program kullanılarak 172 transformator merkezindeki toplam 601 ölçüm noktasına ait ölçüm verileri veritabanına aktarılmıştır.

Görsel kullanıcı arayüzü, güç kalitesi veritabanındaki verilere erişilebilmesi için çeşitli yetenekler sunan bir arayüzdür. Bu arayüz vasıtasıyla güç kalitesi verilerini görüntülemek, verilerle ilgili istatistiksel bilgileri tablo ve çubuk ya da pasta grafikleri olarak göstermek ve daha önceden ölçülmüş noktalarla ilgili hazırlanan raporlara erişmek mümkündür. Şekil 2'de görsel kullanıcı arayüzü üzerinde Türkiye'deki şehirler için akım harmoniği problemlerine sahip noktaların dağılımı gösterilmiştir.

Güç kalitesi veritabanının bir diğer arayüzü olan harita arayüzü, tüm ülkenin koordinat verisi üzerine kurulmuştur ve tabakalar halinde ülkeleri, şehirleri, gölleri ve transformator merkezlerine ait yapıları içermektedir. Bu arayüz ile güç kalitesi problemleri ve verileri Türkiye haritası üzerinde uygun renklerle görüntülenmektedir.

Son olarak doğal dil arayüzü ile kullanıcılar güç kalitesi veritabanına kendi doğal dillerinde ifade ettikleri sorguları iletebilmektedirler. Arayüz şu anda İngilizce ve Türkçe dillerini desteklemektedir.

3. Güç Kalitesi Verilerinin Değerlendirilmesi

Değerlendirmeler Türkiye Elektrik İletim Sisteminde 601 ölçüm noktasından elde edilen bir haftalık güç kalitesi parametreleri üzerinde yapılmıştır. Akım ve gerilim harmonikleri ve kırpışma, harita uygulaması kullanılarak Türkiye genelinde değerlendirilmiştir.

3.1 Harmonik Bozulma Değerlendirmeleri:

Harmonik değerlendirmelerinde, IEC-61000-4-7 standardında önerildiği gibi gerilim ve akım için sınır değerlerinin [8] geçildiği zaman yüzdesi, tüm ölçüm zamanının %5'inin geçtiği durumda ölçümün yapıldığı nokta problemler olarak düşünülmektedir. Harita üzerinde ölçüm noktalarının zamanın ne kadarında sınırın üzerinde olduğu gösterilmiş ve %5'in altında kalan noktalar beyazla işaretlenmiştir.



Şekil 2. Görsel kullanıcı arayüzünde akım harmoniği problemlerine sahip noktaların dağılımı.

Şekil 3-7'de akım ve gerilimin 2., 3., 5., 7. harmonikleri, toplam harmonik bozulma (THD) ve toplam talep bozulumu (TDD) değerlendirmeleri verilmiştir. Haritaların hepsinde ilk seviye % 0-5 aralığında seçildiği için beyazla gösterilen noktalar harmonik açısından hiç sorun barındırmayan transformator merkezlerine aittir. Şekilleri bakarak, şu değerlendirmeler yapılabilir:

- Şekil 3-7'ye göre, akım harmonikleri genellikle gerilim harmoniklerinden daha problemlidir. Türkiye genelinde en büyük sorunun 5. harmonikte olduğu gözlenmektedir.
- Şekil 3'teki harita, Şekil 8'dekiyle karşılaştırılınca, 2. akım harmoniği problemleri genellikle ağır sanayiye besleyen transformator merkezlerinde bulunduğu göze çarpmaktadır.
- Akım ve gerilimde en baskın harmonik 5. olduğu için, THD ve TDD problemlerinde de 5. harmoniğin öne çıktığı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. Bir haftalık ölçümlerde 2. harmonik (a) akımın ve (b) gerilimin sınırı geçtiği zaman yüzdesi.

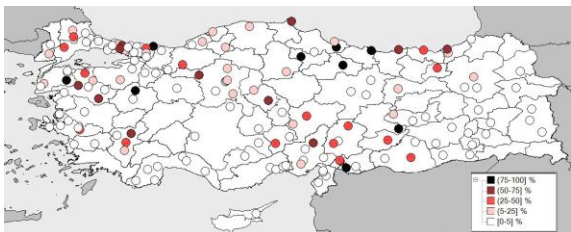


(a)

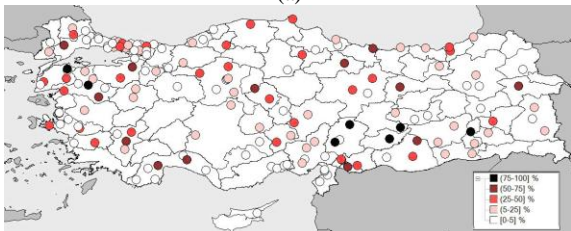


(b)

Şekil 4. Bir haftalık ölçümlerde 3. harmonik (a) akımın ve (b) gerilimin sınırı geçtiği zaman yüzdesi.



(a)



(b)

Şekil 5. Bir haftalık ölçümlerde 5. harmonik (a) akımın ve (b) gerilimin sınırı geçtiği zaman yüzdesi.



(a)

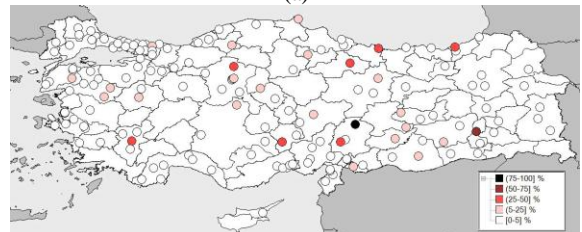


(b)

Şekil 6. Bir haftalık ölçümlerde 7. harmonik (a) akımın ve (b) gerilimin sınırı geçtiği zaman yüzdesi.

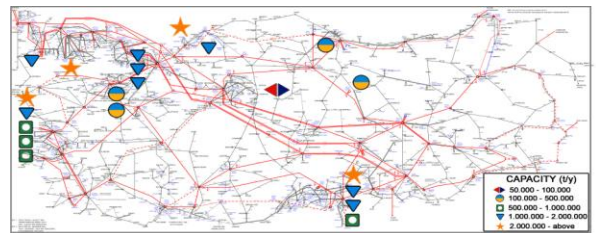


(a)



(b)

Şekil 7. Bir haftalık ölçümlerde (a) TDD'nin ve (b) THD'nin sınırı geçtiği zaman yüzdesi.



Şekil 8. Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nde demir-çelik endüstrisinin dağılımı.

3.2 Kırpışma Değerlendirmeleri

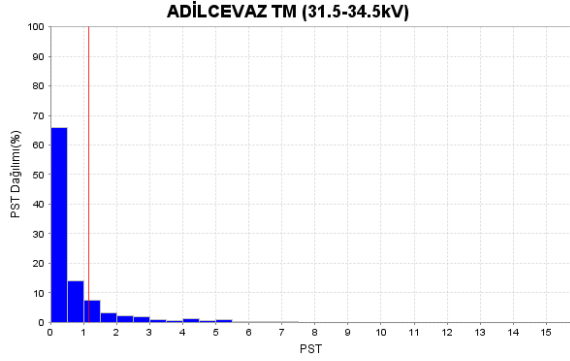
Kırpışma değerlendirmeleri iki şekilde ele alınmıştır. İlk harmonik değerlendirmelerinde olduğu gibi yönetmeliklerde tanımlanan ve IEC 61000-4-15 standardında tanımlanan yöntemle göre hesaplanmış kırpışma sınırlarının geçildiği zamanın bütün ölçüm zamanına oranıdır. Bu şekilde değerlendirmede, sınırın ne kadarının geçildiği bilgisi bulunmamaktadır. İkinci değerlendirme şekli de kırpışma yüzdesinin ne kadar geçildiği ile ilgilidir. Bu iki değerlendirmeyi birlikte yapabilmek için, her ölçüm

noktasının kısa dönemli kırışma (P_{st}) değerlerinin bir haftalık ölçüm süresi boyunca dağılımları çıkartılmıştır. P_{st} sınırları her gerilim seviyesi için farklı olduğundan, 380 kV, 154 kV ve 34.5 kV gerilim seviyeleri için ayrı ayrı dağılımlar çıkartılmıştır. 34.5 gerilim seviyesi için örnek bir kırışma dağılım şekli Şekil 9'da gösterilmiştir. Dikey eksen bir hafta boyunca ilgili P_{st} değerinin ölçüm süresinin yüzde kaçında gözlendiğini belirtmektedir, yatay eksen ise 0.5 aralıkla değişen P_{st} değerlerini vermektedir. Grafikteki dikey çizgi yönetmeliklerde 34.5 kV gerilim seviyesi için tanımlanmış sınır değeridir.

İlk tür değerlendirme, dikey sınır çizgisinin sağında kalan alanın, eğrinin altında kalan alanın tamamına bölümünden elde edilen alan olacaktır, çünkü dikey eksen zaman yüzdesini vermektedir. Bu şekilde yapılan değerlendirmeyi,

$$K_{P_{st}} = \frac{N_k}{N} \quad (1)$$

şeklinde ifade edebiliriz.



Şekil 9. Adilcevaz 34.5 kV fiderinde bir hafta boyunca ölçülen kısa dönem kırışma değerinin (P_{st}) dağılımı.

Burada N , ölçüm boyunca bir-dakikalık kırışma değerlerinin sayısını (idealde tam bir hafta süren ölçümler için bu sayı 10080'dir), N_k ise sınırı geçenlerin sayısını vermektedir ve böylece $K_{P_{st}}$ yukarıda bahsedilen oran hesabına denk gelmektedir. $K_{P_{st}}$ değeri sıfır ile bir arasında değişen bir değerdir ve bir bütün ölçülen kırışma değerlerinin sınırı geçtiği anlamına gelmektedir.

İkinci tür değerlendirme için sınırı geçen P_{st} değerlerinin miktarları yerine, değerlerin kendileri oranlanmaktadır ve bu da $K_{P_{st}}$ 'nin P_{st} değerleriyle ağırlıklandırılarak hesaplanması anlamına gelmektedir. Buna göre, yeni değerlendirme oranı şöyle hesaplanmaktadır:

$$K_{P_{st,w}} = \frac{\sum_{k=1}^N P_{st,k}}{\sum_{k=1}^N P_{st,k}} \quad (2)$$

Bu oranlamada $P_{st,limit}$ yönetmeliklerde belirtilen sınır P_{st} değeri, bir hafta boyunca ölçülen bir dakikalık P_{st} sayısını göstermektedir.

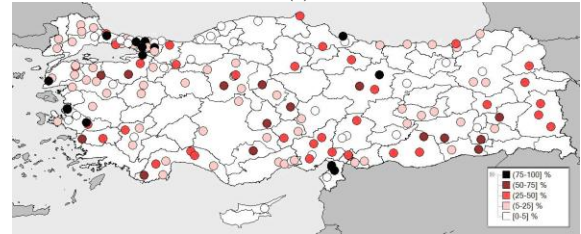
Her iki şekilde hesaplanan kırışma değerlendirmeleri harita uygulamaları üzerinde gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır. Kırışma sınırları 380 kV, 154 kV ve 34.5 kV için farklı oldukları için gerilim seviyeleri ayrılarak harita uygulaması kullanılmıştır. Şekil 10-11'de elde edilen

haritalardan 154 kV ve 34.5 kV gerilim seviyeleri için $K_{P_{st}}$ ve $K_{P_{st,w}}$ değerlerinin aralıkları harita üzerinde verilmiştir. Her gerilim seviyesi için iki tür değerlendirme şekli karşılaştırıldığında, P_{st} değerlerinden doğrudan hesaplanan $K_{P_{st,w}}$ oranının, problemli noktaları haritada daha belirgin şekilde ortaya koyduğu görülmektedir. Kırışma probleminin daha çok ağır sanayi bölgelerinde olduğu gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, $K_{P_{st,w}}$ oranının Şekil 8'de görülen demir ve çelik endüstrisi dağılımını harita üzerinde daha iyi yansıttığı görülmektedir. $K_{P_{st}}$ oranı sınırın aşıldığı süre hakkında bilgi vermekte, $K_{P_{st,w}}$ oranı ise sınırın aşıldığı miktarın oranını vermektedir. Kırışma değerlendirme açısından ikisi de önem taşımaktadır.

Transformatör merkezleri için çıkartılan bir haftalık kırışma dağılımları incelendiğinde dört çeşit dağılım tipi olduğu gözlenmiştir. Bu dağılım tipleri Şekil 12'de verilmiştir. Dağılım tiplerinin genellikle aynı tür yükleri besleyen ölçüm noktalarında gözlenmiş olması ortaya koymuştur ki, kırışma dağılım eğrilerine bakarak, bir transformatör merkezinin ne tür yüklerle karşı karşıya olduğu kestirilebilmektedir.

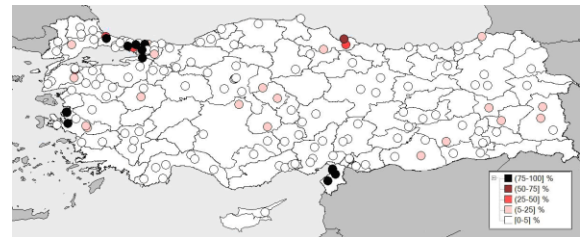


(a)

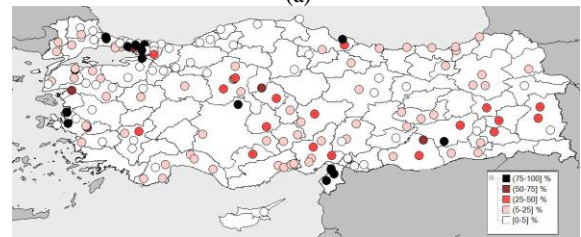


(b)

Şekil 10. 34.5 kV gerilim seviyesinde bir haftalık ölçümlerden elde edilen (a) $K_{P_{st}}$, (b) $K_{P_{st,w}}$ oranları.



(a)



(b)

Şekil 11. 154 kV gerilim seviyesinde bir haftalık ölçümlerden elde edilen (a) $K_{P_{st}}$, (b) $K_{P_{st,w}}$ oranları.

Şekil 12’de sol üstte verilen Tip-1 dağılım Türkiye genelinde en çok gözlenen ve kırışma açısından sorunun olmadığı, P_{st} değerinin zamanın % 95’inden uzun süreyle $P_{st} = 1$ değerinin altında bulunduğu durumdur. Bu tür dağılım büyük çoğunlukla kentsel yükleri besleyen transformatör merkezlerinde gözlenmiştir. Tip-2 dağılım oldukça az gözlenmiş olup genellikle ağır sanayiye besleyen merkezlerin primer taraflarında gözlenmiştir. Tip-3 yapısı itibariyle ilginçtir, çünkü iki Gaus eğrisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tip dağılımın hepsi ark-ocağı fabrikalarını besleyen merkezlerin sekonder tarafında gözlenmiştir. Ark-ocaklarındaki hurdanın ergitme aşamalarındaki yüksek ve değişken akım çekilmesine bağlı olarak ortaya çıkan gerilimdeki salınımların ve dengesizliğin kırışmayı arttırdığı bilinmektedir. Bu nedenle genellikle $P_{st} = 8$ ortalamasında ortaya çıkan Gaus tepesinin ergitme aşamalarına ait olduğu kanısına varılmıştır. $P_{st} = 1.5$ ortalama civarındaki Gaus tepesi ise ark ocağının akım çekmediği zamanlarda devrede olan haddehane ya da pota ocağı gibi fabrikaların çalışmakta olan diğer kısımların yük dağılımından kaynaklanmaktadır. Ağır sanayiye besleyen transformatör merkezinin sekonderinde Tip-3 olarak ortaya çıkan dağılımın, primerlerine Tip-2 olarak yansıdığı görülmektedir. Tip-4 dağılımı gözlenen transformatör merkezlerinin ise üretim santrallerinin (ağırlıklı olarak da hidroelektrik üretim santrallerinin) yakınında olduğu görülmüştür. Şekil 13’te dört tip dağılımın harita üzerinde gözlemlendiği merkezler ve Tablo 2’de gözlemlendiği ölçüm noktalarının sayısı gösterilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yurt çapında yapılmış olan bir haftalık güç kalitesi ölçümleri, oluşturulan bir veritabanı yapısı yardımıyla incelenmiş ve önerilen çeşitli değerlendirme yöntemleri kullanılarak veritabanının harita uygulamasıyla güç kalitesi ile ilgili olarak Türkiye Elektrik İletim Sistemi’nin genel bir fotoğrafı çekilmeye çalışılmıştır. Güç kalitesi verilerinin incelenmesi, istenilen istatistiklerin çıkarılması ve elektrik iletim sistemi üzerindeki genel dağılımların gözlenmesi ancak bir veritabanı yapısının oluşturulmasıyla mümkün olmuştur. Bu altyapı, çok daha fazla verinin toplanmakta olduğu Türkiye genelinde iletim sistemine yerleştirilmekte olan kalıcı monitörlerin verilerini değerlendirmek için de kullanılacağından dolayı, bir ön hazırlık çalışması niteliğindedir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Türkiye Elektrik İletim Sistemi’nin genelinde, ilgili yönetmeliklere göre, hem akım hem de gerilimde 5. harmonik problemi olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında, ağır sanayi yüklerini besleyen transformatör merkezlerinde 2. akım harmoniği sorunu göze çarpmaktadır. Bir çok ölçüm noktasında THD sınırlarının geçilmemesine rağmen, TDD sınırlarının geçildiği görülmüş ve bu gözlemin ışığında yönetmeliklerdeki sınırlara öneriler yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, üretim santrallerinin (özellikle

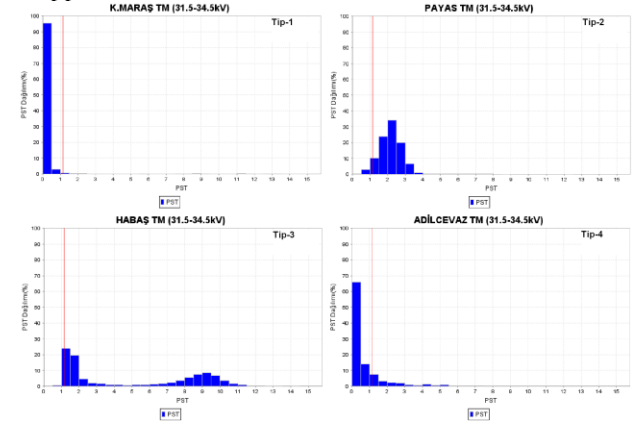
hidroelektrik santrallerinin) yakınındaki ve ağır sanayi yüklerini besleyen transformatör merkezlerinde ayrı ayrı ve tipik dağılım yapıları olan kırışma sorunları tespit edilmiştir. Kırışma değerlendirmeleri sonucunda, dört ana tip kırışma dağılımı gözlenmiş ve buradan yola çıkılarak transformatör merkezlerindeki kırışma dağılım eğrisi incelenerek ne tür yüklerin beslendiğinin kestirilebileceği sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür

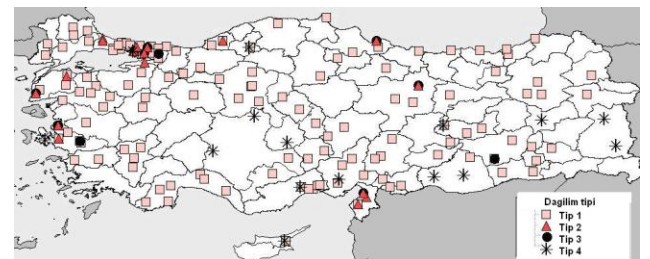
Bu araştırma ve geliştirme çalışması 105G129 numaralı “Güç Kalitesi Milli Projesi”nin Milli Güç Kalitesi İzleme Alt Projesi kapsamında yürütülmüştür. Yazarlar TÜBİTAK’ın Kamu Araştırmaları Grubu’na (KAMAG) projeyi desteklediği için teşekkür eder.

6. Kaynakça

- [1] Byman, B., Yarborough, T., Carlsfeld, R.S., “Using Distributed Power Quality Monitoring for Better Electrical System Management”, IEEE Trans. on Industry Applications, 2000, vol. 36, no.5, pp.1481-5.
- [2] Castaldo, D., Gallo, D., Landi, C., “Power Quality Analysis: a Distributed Measurement System”, Proc. IEEE Bologna PowerTech Conf., 2003, Italy.
- [3] Cristaldi, L., Ferrero, A., Salicone, S. “A Distributed System for Electric Power Quality Measurement”, IEEE Trans. on Inst. and Meas., 2002, vol.51, no.4, pp. 776-81.



Şekil 12. Ölçüm noktalarında gözlenen bir haftalık kırışma dağılımı çeşitleri.



Şekil 13. Kırışma dağılımlarının elektrik iletim sisteminde buldukları noktalar.

Tablo 2. Kırışma dağılım tiplerinin gözlemlendiği ölçüm noktaları sayısı.

P_{st} Dağılımı	Gerilim Seviyeleri (kV)			Toplam
	34.5	154	380	

Tipleri				
1	116	115	33	264
2	8	19	1	28
3	12	1	0	13
4	12	10	2	24
Toplam	148	145	36	329

- [4] Won, D.J., Kim, J.M., Moon, S.I., Seo, J.C., Choe, J.W., "A New Algorithm to Locate Power-Quality Event Source with Improved Realization of Distributed Monitoring Scheme", IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, vol.21, no.3, pp. 1641-7.
- [5] Divan, D., Brumsickle, W., Eto, J., "Assessing I Grid(TM) web-based monitoring for power quality and reliability benchmarking", Lawrence Berkeley National Laboratory. Paper LBNL-52736, April 30, 2003.
- [6] Ozdemirci, E., Akkaya, Y., Boyrazoglu, B., "Mobile Monitoring System to Take PQ Snapshots of Turkish Electricity Transmission System", Proc. of Inst. and Meas. Tech. Conf., May 1-3 2007, Poland.
- [7] Salor, Ö., Buhan, S., Unsar, Ö., "Mobile Monitoring System to Take Nationwide PQ Measurements on Electricity Transmission Systems", Measurement Journal, vol. 42, 2009, pp. 501-15.
- [8] Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, 2004.