

# Güç Kalitesi Çalışmalarında Bilgisayar Mühendisliğinin Rolü

## The Role of Computer Engineering in Power Quality Studies

Dilek Küçük

Güç Elektroniği Bölümü  
TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü  
dilek.kucuk@uzay.tubitak.gov.tr

### Özet

Güç kalitesi elektrik mühendisliğinin önemli araştırma konularından biridir. Elektriksel gücün kalitesindeki bozulmaların tüketiciler üzerindeki önemli etkilerinden dolayı bu alanda yapılan çalışmalar artış göstermektedir. Elektrik sisteminin üretim, iletim ve dağıtım alt sistemlerinde güç kalitesinin uygun şekilde değerlendirilebilmesi için alt sistemlerin uygun noktalarından uygun çözünürlükte güç kalitesi verisinin elde edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, güç kalitesi verilerinin gerçek zamanlı olarak ölçülmesi, taşınması, depolanması, sunulması ve analiz edilmesi gibi bilgisayar mühendisliğiyle ilgili konular güç kalitesi çalışmalarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu makalede, güç kalitesi uygulamalarında bilgisayar mühendisliğinin rolü incelenmiştir. Konuya donanımdan ziyade yazılım yönünden yaklaşan bu makale, hem bu alanda çalışan araştırmacılar için hem de ilgili sistemler üzerindeki gerçek deneyimlere dayandığından uygulayıcılar için önemli bir rehber olması açısından anlamlıdır.

Anahtar kelimeler: güç kalitesi, güç kalitesi uygulamaları, bilgisayar mühendisliği

### Abstract

Power quality is an important research topic of electrical engineering. There is a rise in the research on this topic as distortions in the quality of the electrical power have significant impact on the consumers. In order to properly assess the power quality in the generation, transmission, and distribution subsystems of the overall electrical system, power quality data with appropriate resolution should be obtained at the appropriate points of these subsystems. Therefore, topics related to computer engineering, such as real-time measurement, transfer, storage, presentation, and analysis of power quality data, constitute an important part of the power quality studies. In this paper, the role of computer engineering in power quality studies is reviewed. The paper, which approaches the topic more from the software aspects instead of the computer hardware, is significant as an important guide for researchers studying the topic as well as for practitioners since it is based on genuine experiences with related applications.

Keywords: power quality, power quality applications, computer engineering

### 1. Giriş

Elektriksel güç hayatımızın her alanına etki etmektedir. Elektriksel güç kalitesi, güç kalitesi parametreleri adı verilen bir seri parametre üzerinden değerlendirilmektedir [1]. Söz konusu güç kalitesi parametreleri arasında frekans, akım ve gerilim harmonikleri ve kırıma ile birlikte tepe, çukur ve kesinti gibi güç kalitesi olayları da yer almaktadır.

Tüketmekte olduğumuz gücün kalitesindeki bozulmalar, önemli elektronik aletlerin bozulmalarına veya çalışamaz duruma gelmelerine neden olmaktadır. Ayrıca kırıma parametresinin belirli sınır değerlerin üzerine çıkmasının insan psikolojisi üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenlerle, güç kalitesi üzerine bozucu etkisi olan kaynakların tespit edilmesi için özellikle güç kalitesi izleme ve analiz uygulamalarının gerekliliği ortaya çıkmıştır. En genel ifadeyle güç kalitesi izleme ve analiz sistemleri; önceden tespit edilmiş olan ölçüm noktalarında (transformatör merkezleri, fiderler gibi) güç kalitesi parametrelerini uygun çözünürlükte hesaplayan, elde edilen güç kalitesi verilerini ilgili kullanıcılara (karar verici yetkililer gibi) sunan ve veriler üzerinde çeşitli analizler yapılmasına imkân sağlayan uygulamalardır. Literatürde çeşitli özelliklere sahip birçok güç kalitesi izleme ve analiz uygulaması raporlanmıştır ve halen raporlanmaktadır [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Güç kalitesi izleme ve analiz uygulamaları ve benzeri uygulamalar genel olarak aşağıdaki işlevleri gerçekleştirmektedirler:

- Güç ve güç kalitesi parametrelerinin hesaplanması (ölçülmesi)
- Ölçülen verilerin analiz için veri merkezine taşınması
- Verilerin merkezde depolanması ve yönetilmesi
- Verilerin ilgili kullanıcılara sunulması ve raporlanması
- Büyük boyutlara ulaşan verilerin karar verme süreçlerine katkıda bulunacak yönde değerlendirilmesi

Yukarıda sıralanan maddelerinin tümü esas olarak çeşitli bilgisayar mühendisliği konularıyla örtüşmektedir. Açık olarak ifade etmek gerekirse; ilk işlev, gerçek zamanlı veri işleme konusuyla, ikinci işlev bilgisayar ağları, üçüncü işlev veritabanı modelleme ve yönetme, dördüncü işlev veri

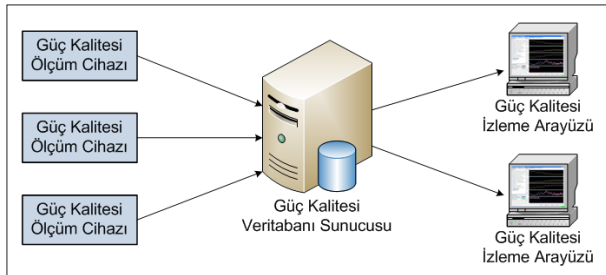
görselleştirme, son işlev de veri madenciliği, bulanık mantık ve uzman sistemler gibi konularla yakından ilişkilidir. Güç kalitesi çalışmaları ile bilgisayar mühendisliği konularının bu şekilde önemli seviyede üst üste oturmasından dolayı biz bu makalede güç kalitesi çalışmalarında bilgisayar mühendisliğinin rolünü inceledik. Ayrıca mevcut durumdaki problemlerden ve bunların olası çözümlerinden de bahsettik. Bu incelememiz sırasında güç kalitesi izleme ve analiz sistemleri gerçekleştirirken edindiğimiz deneyimlerimizden faydalandık. Dolayısıyla, bu makale hem ilgili araştırmacılar hem de uygulayıcılar için önemli bir rehber kaynak görevi görecektir. Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde genel bir güç kalitesi izleme ve analiz sistemi mimarisi verdikten sonra güç kalitesi çalışmalarında bilgisayar mühendisliğinin rolünü detaylı olarak inceledik. Bu bölümde ayrıca mevcut problemlerden, bunlar için olası çözüm önerilerinden ve ileri araştırma konularından da bahsettik. 3. bölümde ise çalışmamızı özetledikten sonra çıkardığımız sonuçları sunduk.

## 2. Güç Kalitesinde Bilgisayar Uygulamaları

Bu bölümde, güç kalitesi çalışmalarında bilgisayar mühendisliği uygulamalarından, dolayısıyla bilgisayar mühendisliğinin bu çalışmalardaki rolünden detaylı olarak bahsedilecektir. Güç kalitesi çalışmalarında bilgisayar mühendisliğinin rolü bir önceki bölümde bahsedilen güç kalitesi izleme ve analiz sistemleri üzerinden incelenmiştir. Bu sistemler ilgili çalışmaların büyük bir bölümünü kapsamakta olduğundan inceleme genel olma özelliğini korumaktadır. Bu nedenle ilk alt bölümde çok genel bir güç kalitesi izleme ve analiz sistemi mimarisi ve işleyiş şekli temel olarak verilmiştir. İkinci alt bölümde ise bu işleyişin çeşitli aşamalarında bilgisayar mühendisliğinin rolü konusunda detaylı incelemeler sunulurken mevcut sorunlardan ve olası çözüm yollarından bahsedilmiş son alt bölümde ise konuyla ilgili ileri araştırma konuları sunulmuştur.

### 2.1. Genel Bir Güç Kalitesi İzleme ve Analiz Sistemi Mimarisi

Şekil 1'de genel bir güç kalitesi izleme ve analiz sistemi mimarisi verilmiştir. Sistem esas olarak güç ve güç kalitesi ölçüm cihazlarından, ilgili ölçüm verilerinin saklanacağı veritabanına ait sunucuların tutulduğu bir veri merkezi ve son olarak kullanıcılar için geliştirilmiş olan arayüz uygulamalarından oluşmaktadır.



Şekil 1: Genel bir güç kalitesi izleme ve analiz sistemi mimarisi.

Bu tip sistemler genel olarak aşağıdaki akışa uygun olarak işlemektedir:

- Güç kalitesi ölçüm cihazları ilgili ölçüm noktalarına monte edildikten sonra düzenli olarak güç ve güç kalitesi parametrelerini belirli bir çözünürlükte hesaplayarak bu verileri güç kalitesi veritabanı sunucusuna gönderir ve veriler ilgili veritabanında depolanır.
- Güç kalitesi izleme arayüzü uygulamaları vasıtasıyla da yetkili kullanıcılara ilgili güç kalitesi verileri sunulur. Bu uygulamalar vasıtasıyla sunucuda bu veriler üzerine yapılmış daha kapsamlı analiz sonuçlarına ve üretilmiş raporlara da erişilebilir.

Bir sonraki alt bölümde detaylı olarak anlatılacağı gibi bu örnek mimariden çok daha farklı birçok alternatif sistem mimarisi tasarlanabilir ve gerçekleştirilebilir. Ancak bu mimarinin ve benzerlerinin birçok çalışmada temel alınmaları nedeniyle mimari özellikle dikkate değer olduğundan işleyiş anlatmak için kullanılmıştır.

Güç kalitesinde bilgisayar mühendisliği uygulamalarının detaylarına geçmeden önce şunu vurgulamak gerekir ki, güç kalitesi izleme ve analiz sistemlerinin tasarım ve gerçekleştirimi konusu esas olarak güç elektroniği ve sayısal sinyal işleme konularında çalışan elektrik-elektronik mühendislerinin uzmanlık alanıdır. Örneğin, ilgili uluslararası standartlara [9, 10, 11, 12] ve [13, 14] gibi ilgili ulusal yönetmeliklere uygun olarak güç kalitesi ölçüm algoritmalarının ortaya çıkarılması, daha sonra ölçülen güç kalitesi verilerinin değerlendirilmesi ve yorumlanması konuları bu kapsamda yer almaktadır. Ancak bu ölçüm ve değerlendirme algoritmalarının verimli bir şekilde gerçekleştirimi ile birlikte ölçülen verilerin taşınması, depolanması, yönetilmesi ve uygun şekilde sunulması büyük ölçüde bilgisayar mühendisliğinin konularına girmektedir. Dolayısıyla büyük ölçekli güç kalitesi izleme ve analiz sistemlerinin ortaya çıkarılabilmesi için elektrik-elektronik ve bilgisayar mühendisleri birlikte çalışması yerinde olacaktır. Alt bölümlerde detaylandırılacağı üzere bu çalışmamızda, güç kalitesi izleme ve analiz sistemlerinin tasarım ve gerçekleştiriminde bilgisayar mühendisliğinin konularıyla örtüşen alanlara yer verilmiş, bu alanlar incelenmiştir.

### 2.2. Güç Kalitesi Çalışmalarında Bilgisayar Mühendisliği Uygulama Alanları

Güç kalitesi çalışmalarındaki birçok aşama bilgisayar mühendisliği konularıyla örtüşmektedir. Bu nedenle, ilgili aşamalarda bu konulardaki gelişmeler takip edilmeli ve uygun şekilde gerçekleştirilmekte olan sistemlere entegre edilmelidir.

Biz bu makalede, güç kalitesi çalışmalarında bilgisayar mühendisliğinin rolünü incelerken beş ana başlık üzerinde ilerledik: güç kalitesi ölçümleri, ölçüm verilerinin taşınması, verilerin depolanması/yönetilmesi ve son olarak verilerin değerlendirilmeleri. Bu konularla ilgili detaylar aşağıdaki alt bölümlerde sunulmuştur.

#### 2.2.1. Güç Kalitesi Ölçümleri

Güç ve güç kalitesi ölçümleri, ilgili izleme ve analiz sisteminin ihtiyaçları doğrultusunda belirlenmiş olan belirli bir örnekleme oranında ölçüm noktasına ait akım ve gerilim değerlerinin sürekli olarak örneklenmesini ve elde edilen veri kullanılarak güç kalitesi ölçümleriyle ilgili standartlarda [9,

10, 11, 12] ve [13, 14] gibi ilgili yönetmeliklerde belirtilen şekilde güç ve güç kalitesi parametrelerinin hesaplanmasını ve güç kalitesi olaylarının tespit edilmesini kapsamaktadır.

Güç kalitesi ölçümleri çok yüksek boyuttaki verinin sınırlı bir zamanda işlenmesini gerektirdiğinden zaman anlamında kritik bir aşamadır. Bu nedenle ölçümleri gerçekleştiren cihazın işlemci hızının yüksek olması gereklidir. Eğer ölçümlerin kesinliğinin yüksek olması isteniyorsa kullanılacak ve dolayısıyla işlenecek örnek sayısı da oldukça yüksek olacaktır. Eğer bu gibi durumlarda örnek sayısı bir işlemcinin sınırlı bir zaman aralığında işleyebileceği miktardan fazla olursa, birden fazla işlemci kullanılmalı ve ölçüm uygulamasına paralel işlem yapma yeteneği kazandırılmalıdır. Örneğin değişik fazlara ait akım ve gerilim verilerine ait hesaplamalar paralel olarak gerçekleştirilebilir ve böylelikle daha yüksek kesinlikte ölçüm sonuçları elde edilebilir.

### 2.2.2. Verilerin Taşınması

Eğer ölçülen güç ve güç kalitesi verilerinin cihaz üzerinde tutulması planlanmıyorsa, yani veriler Şekil 1'de sunulan mimaride olduğu gibi merkezi bir veritabanında tutulacaksa, verilerin cihazlardan ilgili veritabanına taşınması da dikkate alınması gereken bir aşama olarak ortaya çıkmaktadır. Verilerin ilgili cihazlarda depolanmaları yerine merkezi bir veritabanında tutulmaları (ek bir işlem olarak veri taşınmasını gerektirmesine rağmen) özellikle aşağıdaki iki nedenden ötürü tercih edilesidir:

- Güç kalitesi ölçüm cihazları, yaygınlaştırılmalarının imkân dahilinde olabildiğince düşük maliyetli olarak üretilmeleri gereken cihazlardır. Cihazlarda ölçüm verilerinin sürekli olarak tutulması bu cihazların oldukça yüksek boyuta sahip depolama birimlerine sahip olmalarını gerektirecek, bu durum da cihazların maliyetini oldukça arttıracak ve yaygınlaştırılmalarını olumsuz yönde etkileyecektir.
- Her bir ölçüm noktasına ait verinin ayrı ayrı ilgili cihazlar üzerinde tutulmaları, tüm ölçüm noktalarına ait veriler üzerinden genel çıkarımlar yapılmasını imkânsız hale getirmese bile oldukça zorlaştırıcaktır.

Veri taşınması konusuyla ilgili olarak öncelikle verinin ölçümünden hemen sonra merkezi veritabanına gönderilmesinin ne kadar kritik olduğu hesaba katılarak kullanılacak ağ altyapısı belirlenmelidir. Örneğin ölçüm verileri elektrik sisteminin kontrolünde de kullanılacaksa olabildiğince erken ve kayıpsız olarak merkeze ulaştırılmalıdır. Ayrıca, seçilecek ağ altyapısının bant genişliği de verinin taşınması sırasında kullanılacak formatı belirleyecektir. Eğer bant genişliği düşükse veriler sıkıştırılmış ve/veya ikili formatta gönderilmelidir.

Literatürde taşınacak verinin formatı konusunda önerilen COMTRADE [15] ve PQDIF [16] gibi bazı standartlar mevcuttur. Verilerin bu standartlara uyan diğer uygulamalar tarafından da işlenebilir olması için bu formatlar kullanılabilir veya ilgili verilerin veritabanında depolandıktan sonra bu formatlarda dışarı aktarılabilmesine olanak sağlanabilir.

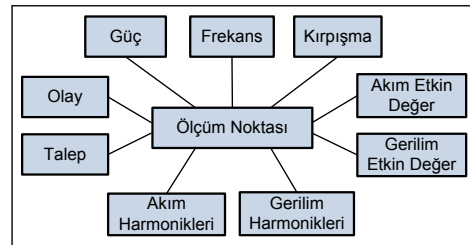
Veri taşınırken dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da verinin güvenliğidir. Verilerin taşınması sırasında bunlara

erişilmesi ihtimaline karşılık taşıma işlemi sırasında veri şifrelenmelidir. Bunun için de uygun bir Secure Socket Layer (SSL) kütüphanesi kullanılabilir.

### 2.2.3. Verilerin Depolanması ve Yönetilmesi

Veri merkezine taşınan güç ve güç kalitesi verilerinin uygun bir kavramsal modelleme sonrasında oluşturulmuş güç kalitesi veritabanında depolanması ve yönetilmesi gereklidir. Bu konuda yapılmış ilk ve önemli çalışmalardan biri [2]'de anlatılmıştır. Güç kalitesi verileri ölçüm noktası bilgisinden dolayı uzaysal (spatial) ölçüm zamanı bilgisinden dolayı da zamansal (temporal) niteliktedir. Veritabanının kavramsal modeli oluşturulurken bu durum ve güç kalitesi parametrelerinin ve olaylarının birbirleri arasındaki ilişkileri dikkate alınmalıdır. Olası veritabanı sorgularının tatmin edici süreler içerisinde karşılanması için gerekli dizin yapılarının da oluşturulabilmesi için bu sorguların tipleri dikkatle incelenmelidir.

Şekil 2'de güç kalitesi verileri için kullanılacak temel bir kavramsal model bir sınıf diyagramı olarak sunulmuştur. [17] çalışmasında önerdiğimiz modelin bir benzeri olan bu modelin merkezinde tüm güç ve güç kalitesi parametre sınıflarının ilişkilendirilmiş olduğu *Ölçüm Noktası* sınıfı yer almaktadır. Modelde bu sınıf dışındaki tüm sınıflar güç kalitesiyle ilgili alana özgü bilgileri modellemek üzere eklenmişlerdir. Ayrıca şekilde gösterilmemiş olsa da tüm verilerin zaman bilgisi ilgili sınıfta modellenmektedir. Sunulan model oldukça genel olarak verilmiştir; modelde şu anda yer almayan alanla ilgili diğer bilgiler için de uygun sınıflar eklenebilir.



Şekil 2: Güç kalitesi verileri için örnek bir kavramsal veritabanı modeli.

İdeal durumda güç ve güç kalitesi verileri kesintisiz olarak insan müdahalesine gerek duymadan sürekli olarak ölçülmeli ve taşınmalıdır. İlgili standartlarla [9, 10, 11, 12] uyumlu olarak güç ve güç kalitesi verileri; 10-çevrimlik (cycle), 3 saniyelik, 10 dakikalık veya 2 saatlik ortalamalar gibi çeşitli çözünürlüklerde hesaplanmış olabilir. Eğer çözünürlüğün yüksek olması talep ediliyorsa, örneğin veriler 10-çevrim bazında ortalamalar şeklinde alınırsa, 50 Hz frekanslı olan ülkemizin elektrik sisteminde bu durumda her bir güç ve güç kalitesi parametresi için saniyede 5 adet ölçüm verisi elde edilmeye olacaktır ve bu durum uzun vadede her bir ölçüm noktası için oldukça yüksek boyutlarda verinin veritabanında saklanmasını gerektirecektir. Sahaya monte edilen ölçüm cihazı sayısı arttıkça saklanacak verinin miktarı daha da artacaktır.

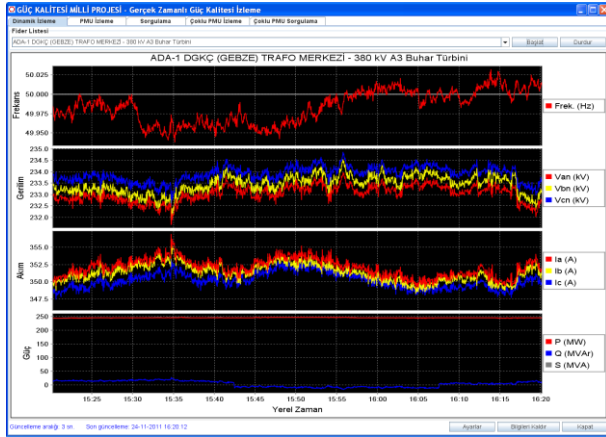
Örnek olarak, Güç Kalitesi Milli Proje'sinde [18] bir ölçüm noktasında güç ve güç kalitesi parametrelerinin her biri için 10 dakikalık ortalamalar şeklinde 3 faz ölçüm yapılmaktadır.

Akım ve gerilim harmoniklerinin ve ara harmoniklerinin 40. bileşenine kadar hesaplandığı bu durumda, bir ölçüm noktası için bir güne ait tüm ilgili veri için yaklaşık 700KB depolama alanı gerekmektedir. Bu şekilde 300 ölçüm noktasına ait bir günlük verinin toplam miktarı 210MB, bir yıllık veri miktarı da yaklaşık 77GB olmaktadır. Eğer ölçümler 10 dakikalık yerine 3 saniyelik ortalamalar olarak hesaplanıp depolanmak istenirse yine 300 nokta için günlük veri miktarı 42GB, yıllık veri miktarı da 15.4TB olacaktır. Dolayısıyla, ölçümlerde kullanılacak çözünürlük hem depolama kapasitesinin belirlenmesini hem de bir önceki bölümde değinilen bant genişliği cihazı ile veri merkezi arasındaki bant genişliğini belirleyecektir. Örnek olarak 300 nokta için 3 saniyelik ortalamaların hesaplanması durumunda, cihazlar için yükleme bant genişliği en az 13Kb/sn, veri merkezi için de indirme bant genişliği en az 4Mb/sn olmalıdır.

Verilerin sorgulanması sırasında, uygun dizin yapılarının eklenmesi durumunda bile bazı sorguların uzun sürelerde karşılanması olasılığına karşılık sık sorgulanan ve sorgulanması muhtemel olan verilerin daha hızlı okuma yapılabilen (hafıza gibi) medyalarda saklanması uygun olacaktır.

#### 2.2.4. Verilerin Sunulması ve Raporlanması

Güç kalitesi veritabanında saklanan güç ve güç kalitesi verilerinin sunumu ve raporlanması ilgili çalışmaların önemli aşamalarından biridir. Verilerin sunulması ve raporlanması için geliştirilen izleme arayüzü uygulamaları karar verici pozisyonundaki yetkililer için oldukça değerli bilgilerin istenen şekillerde gösterimine imkân sağlayarak elektrik sisteminin yönetimine ve kontrolüne katkı verebilecektir.

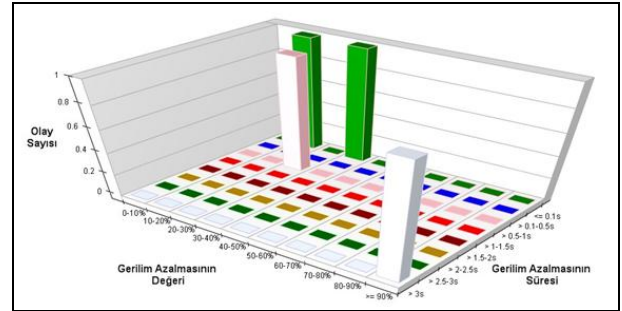


Şekil 3: Güç Kalitesi Milli Projesi - gerçek zamanlı güç kalitesi izleme arayüzü.

Güç ve güç kalitesi verileri, zamansal nitelikte oldukları için ilgili verilerin sunulmasında zaman-dizisi grafikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Çoğunlukla, ilgili veriler statik zaman-dizisi grafikleri şeklinde veya anlık değerleri de içeren ve veriler geldikçe güncellenen dinamik zaman-dizisi grafikleriyle gösterilmektedir. Şekil 3'te bu tip bir veri sunumuna örnek olarak Güç Kalitesi Milli Projesi [18] kapsamında geliştirdiğimiz gerçek zamanlı güç kalitesi izleme arayüzünün dinamik izleme amacıyla kullanılan ekranının bir görüntüsü sunulmuştur.

Zaman dizisi grafikleri dışındaki alternatif veri sunumu olasılıkları şunlardır:

- Veriler üzerinde yapılan istatistiksel değerlendirme sonuçlarının çubuk/pasta grafikleri şeklinde gösterilmesi. Örneğin, uygun bir kümeleme (clustering) işleminden sonra oluşan kümeleri sunmada bu gösterim şekli uygun olacaktır.
- Özellikle güç kalitesi olay bilgileri (tepe, çukur, kesinti ve dengesizlik gibi) belirli zamanlarda meydana gelen olağan dışı durumları ifade ettikleri için, bu bilgilerin elektrik sisteminin haritası üzerinde gösterilmesi uygun olacaktır. Yine olay bilgilerinin birbirleriyle yer ve zaman bakımından ilişkileri, ciddiyetleri ve sistem üzerine dağılımları değişik renklendirmelerle harita üzerinde gösterilebilir. Ayrıca ilgili olaylar; türleri, süreleri, gerilim düşüş veya yükseliş miktarı gibi kriterlerin değişik kombinasyonları kullanılarak 3 boyutlu çubuk grafikler olarak sunulabilir. Şekil 4'te [8] çalışmasında anlatılmış olan yine Güç Kalitesi Milli Projesi kapsamında geliştirmiş olduğumuz uzaktan izleme, analiz ve raporlama arayüzünün ürettiği örnek bir olay dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 4: Güç Kalitesi Milli Projesi - uzaktan izleme, analiz ve raporlama arayüzü tarafından üretilen örnek olay dağılım grafiği.

Güç ve güç kalitesi verilerinin sunumu dışında veri üzerinde çeşitli değerlendirmeler (bir sonraki başlık altında detaylandırılacağı gibi) yapıldıktan sonra bunların sonuçlarının grafikler ve diğer gösterimler şeklinde uygun raporlar olarak otomatik bir şekilde elde edilebilmesi özelliği de ilgili güç kalitesi izleme ve analiz sistemlerine faydalı olacak özelliklerden biridir.

#### 2.2.5. Verilerin Değerlendirilmesi

Sürekli ölçülen güç kalitesi verileri ile tespit edilen güç kalitesi olaylarından elektrik sisteminin yönetimi sırasında karar verme süreçlerinde yararlanılması amacıyla bu veriler üzerinde kapsamlı değerlendirmeler yapılmalıdır. Bu bağlamda, uzun süre kaydedilen bu veriler üzerinde yapılacak değerlendirmeler özellikle aşağıdaki problemlerin çözümüne yardımcı olacaktır:

- Güç kalitesi bozulmalarının yoğunlukta olduğu bölgelerin ve bu bozulmaların karakteristiğinin (olay tipleri, harmoniklerde ve kırışmada sınır aşımaları gibi) tespiti. Ölçüm noktalarının ve bölgelerin bu karakteristiklere göre kümelendirilmeleri ve sınıflandırılmaları.



- Karşılaşılan güç kalitesi olaylarının mevcut standartlarda belirlenen ana sınıflar dışında daha detaylı ve anlamlı alt sınıflara ayrılabilmesi. Ayrıca bir ölçüm noktasında tespit edilen bozucu etkiye sahip bir olayın bağlı olduğu hat üzerinde de benzer olaylara yol açabilmesi nedeniyle olayların elektrik sistemi içerisinde yayılma örüntülerinin (pattern) belirlenmesi.

Yukarıdaki sorunları çözmeye amacıyla ilgili verilerin değerlendirilmesi sırasında çeşitli veri madenciliği teknikleri ile bulanık mantık ve uzman sistemler kullanılabilir. Örneğin, bölgelerin güç kalitesi karakteristiklerine veya olayların çeşitli özelliklerine göre gruplandırılabilmesi için veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri olarak bilinen kümeleme ve sınıflandırma algoritmaları (karar ağaçları, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, karar destek makineleri gibi) kullanılabilir. Bulanık mantık ile bölgelerin ve olayların küme ve/veya sınıflara aitliği belirlenirken kısmi aitlik durumları bu bölge ve olaylara atanacak 0-1.0 arası değişen bulanık üyelik değerleri ile temsil edilebilir. Uzman sistemler kullanılarak ise yeni ölçüm sonuçlarının bu sistemlerin kuralları yoluyla kümelenmeleri ve sınıflandırılmaları sağlanabilir. İlgilenen okuyucular bu konu üzerinde hazırlanmış inceleme çalışmalarına [19, 20] başvurabilirler. Bu tekniklerin kullanımıyla elde edilecek kapsamlı sonuçlar elektrik sisteminin yönetiminde, sorunların önceden tahmininde ve ilgili karar verme süreçlerinde yardımcı olacaktır.

### 2.3. İleri Araştırma Konuları

Bu makalede incelenmiş olan güç kalitesi çalışmalarında bilgisayar mühendisliği uygulamaları konusunda aşağıda listelenmiş olan ileri araştırma konuları mevcuttur:

- Bölüm 2.2.3'te belirtildiği gibi güç kalitesi veritabanı/veritabanları çok fazla miktarda veri içerebilmektedir. Bu verilere uygun sürelerde erişilebilmesi için sıkça sorgulanan veriler dikkate alınarak verilerin yerleşimi düzenlenmelidir. Örneğin [8] çalışmasında anlattığımız üzere, geliştirdiğimiz güç kalitesi izleme sisteminde daha yeni verilerin hafızada oluşturulmuş bir veritabanında ayrıca tutulması sağlanmış, böylelikle zamansal olarak daha yeni verilerin sorgu sonuçlarının uygun sürelerde dönmesi amaçlanmıştır. Bu yöntem farklı veri yerleşimi kararları verilerek (işletim sistemlerinin hafıza yönetiminde kullandıkları önbellekleme (caching) mekanizmalarına benzer şekilde) kullanılabilir. Dolayısıyla, bu konuda kullanıcıların ihtiyaçları da dikkate alınarak daha detaylı çalışmalar yapılmalı ve optimal veri yerleşimi sağlanmalıdır. Bunun dışında, veritabanı Şekil 1'de gösterdiğimiz şekilde merkezi olabileceği gibi ilgili güç kalitesi izleme ve analiz sisteminin özelliklerine göre dağıtık da olabilir. Değişik veritabanı mimarilerinin denenip kullanıcı ihtiyaçlarına ve altyapıya en uygun olanının tespit edilip kullanılması yine önemli bir araştırma konusudur.
- Bölüm 2.2.5'te anlatılan veri değerlendirme yöntemleri uygulanırken, eğer bu uygulamalar tek bir izge (thread) üzerinden çalıştırılırsa, ilgili verilerinin miktarının fazla olması nedeniyle değerlendirme işlemleri çok uzun sürelerde tamamlanacaktır. Bu nedenle özellikle veri madenciliği uygulamaları çalıştırılırken paralel olarak

birden fazla makineden oluşan bilgisayar kümeleri (cluster) üzerinde MapReduce [21] gibi dağıtık hesaplamayı destekleyen yazılım altyapılarının kullanılması bu alandaki bir diğer önemli ileri araştırma konusudur. Ayrıca, yine verilerin değerlendirilmesi sırasında çeşitli veri madenciliği/makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılmaları ve başarımlarının kıyaslanarak en uygun yöntemlerin ilgili sistemlerde kullanılması da önemli araştırma konularından biridir.

### 3. Sonuçlar

Elektriksel güç kalitesi, elektrik mühendisliğinin çok çeşitli ekonomik etkileri olan önemli bir araştırma alanıdır. Bu konuda yapılmış çalışmalar incelendiğinde, özellikle güç kalitesi izleme ve analiz sistemleri ile güç kalitesi verilerinin değerlendirilmesi konuları üzerine olan çalışmaların yoğun bir şekilde bilgisayar mühendisliği konularıyla ilişkili oldukları görülmektedir. Dolayısıyla bilgisayar mühendisliği konuları ve uygulamaları, güç kalitesi çalışmaları için oldukça fazla önem arz etmektedir. Bu makalede, güç kalitesi çalışmalarında bilgisayar mühendisliğinin rolü incelenmiştir. Makalenin ana hatlarını, bu alandaki bilgisayar mühendisliğinin yoğun olarak ihtiyaç duyulduğu, güç ve güç kalitesi ölçümleri, ölçüm verilerinin taşınması, verilerin depolanması ve yönetilmesi, sunulmaları ve son olarak geniş kapsamlı bir şekilde değerlendirilmeleri konuları oluşturmaktadır. Şunu da belirtmek gerekir ki, bu inceleme bilgisayar donanımı yerine daha çok yazılım yönünden konuyu incelemektedir. İncelememiz sırasında alanda uygulama geliştirirken kendi karşılaştığımız sorunlara ve bunların çözüm yollarına da yer verdik. Son olarak da bu incelemenin üzerine ileri araştırma konusu olarak iki önemli noktaya değindik: güç kalitesi verileri için optimal veritabanı mimarilerinin uygulamanın ihtiyaçlarına göre tespit edilmesi ve ilgili verilerin etkili ve verimli bir şekilde değerlendirilebilmeleri için dağıtık hesaplama altyapılarının kullanılması. Yaptığımız inceleme bilgisayar mühendisliğinin güç kalitesi uygulamalarında çok önemli bir rolü olduğunu bir kez daha göstermiştir. Bu doğrultuda, bilgisayar mühendisliği alanındaki akademisyen ve uygulayıcıların güç kalitesi çalışmalarında daha etkin ve daha fazla yer almaları, bu çalışmaların niteliklerinin artmasına ve kapsamlarının genişletilerek karar verici yetkililere daha faydalı olmalarına imkân sağlayacaktır.

### 4. Kaynaklar

- [1] Bollen, M. H. J. "What is Power Quality?". *Electric Power Systems Research*, 66, 5-14, 2003.
- [2] Dabbs, W. W., Sabin, D. D., Grebe, T. E., Mehta, H., "Probing Power Quality Data". *IEEE Computer Applications in Power*, 7, 8-14, 1994.
- [3] Byman, B., Yarborough, T., Schnorr Von Carolsfeld, R., Van Gorp, J., "Using Distributed Power Quality Monitoring for Better Electrical System Management" *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36, 1481-1485, 2000.
- [4] Leou, R-C., Chang, Y-C., Teng, J-H. "A Web-based Power Quality Monitoring System", *Power Engineering Society Summer Meeting*, 2001.
- [5] Divan, D., Luckjiff, G., Brumsickle, W., Freeborg, J., Bhadkamkar, A. "I-Grid: Infrastructure for Nationwide

- Real-time Power Monitoring", *IEEE IAS Annual Meeting*, 2002.
- [6] Matz, V., Radil, T., Ramos, P., Serra, A.C. "Automated Power Quality Monitoring System for On-line Detection and Classification of Disturbances," *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2007.
- [7] Chan, S-Y., Teng, J-H., Chen, C-Y., Chang, D., "Multi-functional Power Quality Monitoring and Report-back System", *Electrical Power and Energy Systems*, 32, 728-735, 2010.
- [8] Demirci, T., Kalaycıoğlu, A., Küçük, D., Salor, Ö., Güder, M., Pakhuylu, S., Atalık, T., İnan, T., Çadırcı, I., Akkaya, Y., Bilgen, S. ve Ermiş, M. "Nationwide Real-Time Monitoring System for Electrical Quantities and Power Quality of the Electricity Transmission System". *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5, 540-550, 2011.
- [9] IEC 61000-4-15, Testing and Measurement Techniques - Flickermeter - Functional and Design Specifications, 2002.
- [10] IEC 61000-4-30, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and Measurement Techniques - Power Quality Measurement Methods, 2003.
- [11] IEC 61000-4-7, Testing and Measurement Techniques - General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto, 2003.
- [12] IEEE 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1992.
- [13] Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği. <http://www.epdk.gov.tr/web/elektrik-piyasasi-dairesi/elektrik-iletim-sistemi-arz-guvenilirligi-ve-kalitesi-yonetmeliği>.
- [14] Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği. <http://www.epdk.gov.tr/web/elektrik-piyasasi-dairesi/24>.
- [15] IEEE Std C37.111-1999. IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems, 1999.
- [16] IEEE Std 1159.3-2003. IEEE Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data (PQDIF), 2003.
- [17] Küçük, D., İnan, T., Salor, Ö., Demirci, T., Akkaya, Y., Buhan, S., Boyrazoğlu, B., Ünsar, Ö., Altıntaş, E., Haliloğlu, B., Çadırcı, I. ve Ermiş, M. "An Extensible Database Architecture for Nationwide Power Quality Monitoring". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 32, 559-570, 2010.
- [18] Güç Kalitesi Milli Projesi. <http://www.guckalitesi.gen.tr>.
- [19] Anis Ibrahim, W.R., Morcos, M.M. "Artificial Intelligence and Advanced Mathematical Tools for Power Quality Applications: A Survey". *IEEE Transactions on Power Delivery*, 17, 668-673, 2002.
- [20] Singh, G. K. "Power System Harmonics Research: A Survey". *European Transactions on Electrical Power*, 19, 151-172, 2009.
- [21] MapReduce - Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/MapReduce>.