KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK BELİRLİ GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN ANALİZİ

FATİH ÇETİN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK BELİRLİ GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN ANALİZİ

FATİH ÇETİN

Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN **Danışman, Kocaeli Üniv.**	**.....**
Prof.Dr. Ayşen BASA ARSOY **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	**.....**
Dr. Öğr. Üyesi İ. Gürsu TEKDEMİR **Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniv.**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.01.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca alanım ile ilgili araştırma, öğrenme ve uygulama süreçlerinde bulunurken yanımda olan, bilgi birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli tez danışmanım Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN'e, öğrenmenin sürekliliğine inanan ve parçası olmaktan mutluluk duyduğum Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ailesine bana kattıklarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan, sevgisini ve desteğini her an hissettiğim sevgili eşime, hayatım boyunca üzerimde emeği çok büyük olan anneme, babama ve değerli kardeşime saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ayrıca bu süreçte yanımda olan tüm sevdiklerime tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Ocak – 2021 Fatih ÇETİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Tez Çalışmasının Amacı 3
1.2. Geçmişte Yapılmış Çalışmalar 4
1.3. Tez Çalışmasının Katkısı 5
2. GÜÇ KALİTESİ VE PROBLEMLERİ 7
2.1. Güç Kalitesi Tanımı 7
2.2. Güç Kalitesi Problemleri 7
2.2.1. Geçici olaylar 8
2.2.2. Kısa süreli gerilim değişimleri 8
2.2.3. Uzun süreli gerilim değişimleri 8
2.2.4. Dengesizlik 9
2.2.5. Dalga şekli bozuklukları 10
2.2.6. Gerilim dalgalanmaları 10
2.2.7. Frekans değişimleri 10
2.3. Güç Kalitesi İzleme Sistemlerinin Genel Değerlendirilmesi 13
3. NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ 14
3.1. Nesnelerin İnterneti Teknolojisi ve Kullanımı 14
3.1.1. IoT ekosisteminin genel bileşenleri 14
3.2. Nesnelerin İnterneti (IoT) Mimarisi 15
3.3. IoT Sistemlerinde Haberleşme Protokolleri 16
3.4. IoT Sistemlerinde Mesajlaşma Protokolleri 17
3.4.1. Mesaj kuyruk telemetri ulaştırma protokolü (MQTT) 17
3.4.2. Sınırlı uygulama protokolü (CoAP) 18
3.4.3. Gelişmiş mesaj kuyruklama protokolü (AMQP) 19
3.4.4. Hiper metin transfer protokolü (HTTP) 19
3.5. IoT Mesajlaşma Protokollerini Karşılaştırılması 20
3.6. IoT Ekosisteminde Bulut Bilişim ve Platformlar 21
4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM VE UYGULAMA 23
4.1. Gerçekleştirilen Sistemin Mimarisi 23
4.2. Kullanılan Ekipmanlar 24
4.2.1. Enerji analizörü 25
4.2.2. Tek kartlı mini bilgisayar 25
4.2.3. Dönüştürücü 26
4.3. Kullanılan Yöntemin Anlatımı 26
4.4. Sistem Haberleşme Topolojileri 27

4.5. Gerçekleştirilen Uygulama Yapısı ve Çalışma Mantığı 29
4.6. Belirli Güç Kalitesi Problemlerinin Sözde Kod İfadeleri 32
4.6.1 Düşük gerilim ve aşırı gerilim hesaplaması 33
4.6.2. Dengesizlik 34
4.6.3. Bulut tabanlı sunuculara entegrasyon 36
4.7. Gerçekleştirilen Sistem ve Uygulama Testleri 37
4.8. Mevcut Sistem ile Gerçekleştirilen Sistemin Karşılaştırması 42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 45
KAYNAKLAR 47
EKLER 50
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 55
ÖZGEÇMİŞ 56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Uzun süreli gerilim değişimleri 9
Şekil 2. 2. GKP temsili dalga gösterimleri 11
Şekil 3. 1. Katmanlı IoT mimari şeması 16
Şekil 3. 2. MQTT yapısı 18
Şekil 3. 3. CoAP yapısı 18
Şekil 3. 4. AMQP yapısı 19
Şekil 4. 1. Gerçekleştirilen sistem mimarisi 24
Şekil 4. 2. PAC 3200 cihazı 25
Şekil 4. 3. RPi tek kartlı bilgisayar 26
Şekil 4. 4. Modbus RTU veri paketi 27
Şekil 4. 5. Gerçekleştirilen uygulamanın akış diyagramı 29
Şekil 4. 6. Modbus altyapısı ile güç parametrelerinin okunması 30
Şekil 4. 7. Modbus haberleşme altyapısında hata oluşması durumu 31
Şekil 4. 8. Gerçekleştirilen uygulamanın yapısal görünümü 32
Şekil 4. 9. Algoritmanın sunuculara gönderdiği veri paketi 37
Şekil 4. 10. Faz gerilimleri - ölçüm zaman grafiği 38
Şekil 4. 11. Faz akımları – ölçüm zamanı grafiği 39
Şekil 4. 12. Frekans değeri – ölçüm zamanı grafiği 39
Şekil 4. 13. Gerilim dengesizliği oranları – ölçüm zaman grafiği 40
Şekil 4. 14. Akım dengesizliği oranları – ölçüm zamanı grafiği 41
Şekil 4. 15. Aşırı gerilim oranları - ölçüm zamanı grafiği 42

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1. IEE std. 1159-2009 göre GKP süreleri ve genlikleri.....12
Tablo 3. 1. IoT sistemlerinde haberleşme protokolleri 16
Tablo 3. 2. IoT mesajlaşma protokollerini karşılaştırılması.....20
Tablo 3. 3. IoT platformlarının desteklediği mesajlaşma protokolleri 22
Tablo 4. 1. Çalışmada kullanılan ekipmanlar.....24
Tablo 4. 2. PAC 3200 enerji analizöründen okunan modbus adres değerleri 28
Tablo 4. 3. Mevcut sistem ekipmanları.....43
Tablo 4. 4. Gerçekleştirilen sistem ekipmanları 43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

I_{Dmax}	:	Maksimum akım dengesizliği eşik değeri oranı, (%)
I_{Dmin}	:	Minimum beklenen akım dengesizliği oranı, (%)
I_{dsiz}	:	Akım dengesizliği oranı, (%)
I_{L1}	:	L_1 fazına ait akım değeri, (A)
I_{L1dsiz}	:	L_1 fazına ait akım dengesizliği oranı, (%)
I_{L2}	:	L_2 fazına ait akım değeri, (A)
I_{L2dsiz}	:	L_2 fazına ait akım dengesizliği oranı, (%)
I_{L3}	:	L_3 fazına ait akım değeri, (A)
I_{L3dsiz}	:	L_3 fazına ait akım dengesizliği oranı, (%)
N_G	:	Nominal gerilim değeri, (V)
V_{Dmax}	:	Maksimum gerilim dengesizliği eşik değeri oranı, (%)
V_{Dmin}	:	Minimum beklenen gerilim dengesizliği oranı, (%)
V_{dsiz}	:	Gerilim dengesizliği oranı, (%)
V_{L1}	:	L_1 fazına ait gerilim değeri, (V)
V_{L1dsiz}	:	L_1 fazına ait gerilim dengesizliği oranı, (%)
V_{L2}	:	L_2 fazına ait gerilim değeri, (V)
V_{L2dsiz}	:	L_2 fazına ait gerilim dengesizliği oranı, (%)
V_{L3}	:	L_3 fazına ait gerilim değeri, (V)
V_{L3dsiz}	:	L_3 fazına ait gerilim dengesizliği oranı, (%)

Kısaltmalar

ANSI	:	American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü)
AMQP	:	Advanced Message Queuing Protocol (İleri Mesaj Kuyruk Protokolü)
CoAP	:	Constrained Application Protocol (Sınırlı Uygulama Protokolü)
EPRI	:	Electric Power Research Institute (Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü)
GKP	:	Güç Kalitesi Problemleri
HDMI	:	High Definition Multimedia Interface (Yüksek Çözünürlüklü Çoklu Ortam Arayüzü)
HTTP	:	Hyper Text Transfer Protocol (Hiper Metin Transfer Protokolü)
IEC	:	International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IT	:	Information Technologies (Bilişim Teknolojileri)

ITU	:	International Telecommunication Union (Uluslararası Telekominikasyon Birliği)
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IoT	:	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
MQTT	:	Message Queue Telemetry Transport (Mesaj Kuyruk Telemetri Ulaştırma Protokolü)
NEMA	:	National Electrical Manufacturers Association (Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği)
PLC	:	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrol)
RMS	:	Root Mean Square (Ortalama Karekök)
RPi	:	Raspberry Pi
USB	:	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)

NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK BELİRLİ GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN ANALİZİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, belirli güç kalitesi problemlerinin analizinde Nesnelerin İnterneti teknolojisi kullanılarak ihtiyaca uygun olacak şekilde düşük maliyetli, kolay uygulanabilir ve verilerin ileri analiz uygulamalarına hizmet edebilir yapıda depolanması üzerine bir sistem yaklaşımı ve uygulama gerçekleştirilmiştir.

Çalışma içerisinde güç kalitesini bozan geçici olaylar, kısa süreli gerilim değişimleri, uzun süreli gerilim değişimleri, dengesizlik, dalga şekli bozuklukları, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri anlatılmıştır. Güç kalitesi problemlerine neden olan bu durumları en aza indirebilmek için sistemler üzerinde daha fazla ölçüm noktasından veri almak ve bu verileri anlamlandırmak gerekir. Bu noktada ortaya çıkan zorlukları bertaraf etmek için Nesnelerin İnterneti ve Bulut Bilişim teknolojilerinden yararlanılmış ve bu teknolojiler ilgili başlıklar altında anlatılmıştır. Nesnelerin İnterneti ekosistemi, mimarisi, haberleşme ve mesajlaşma protokolleri incelenerek kullanılan sistem topolojisi kapsayıcı bir şekilde anlatılmıştır.

Çalışmada Nesnelerin İnterneti teknolojisi kullanılarak belirli güç kalitesi problemlerinin analizini gerçekleştirilen sistem ve uygulama açıklanmış olup kullanılan ekipmanların özellikleri, cihazlar arası haberleşme altyapısı ve problem analizlerinde kullanılan algoritmanın hayata geçirilmesindeki uygulama sözde kodlar aracılığıyla anlatılmıştır.

Gerçekleştirilen IoT tabanlı sistem yaklaşımı ile mevcutta yaygın kullanılan güç kalitesi izleme sistemi karşılaştırılmış ve değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

Gerçekleştirilen sistem ve uygulamanın prototip olarak gerçeklenmesi üzerine çalışma yürütülmüş ve detaylı olarak anlatılmıştır. Prototip yapının test edilmesi amacıyla belirli süreli ölçümler ile tespit edilen güç kalitesi problemi sonuçları irdelenmiş ve ileriye dönük geliştirmeler üzerine yürütülebilecek araştırma alanları anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulut Tabanlı Sistemler, Enerji Analitiği, Güç Kalitesi Problemleri, Nesnelerin İnterneti, Verimlilik.

ANALYSIS OF SPECIFIC POWER QUALITY PROBLEMS WITH USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY (IOT)

ABSTRACT

Within the scope of this thesis study, a system and an implementation were realized with low-cost suits the needs, easily applicable and for the storage of specific power quality problems in a structure that can serve data science applications by using Internet of Things technology.

Transients, short duration RMS variations, long duration RMS variations, imbalance, waveform distortion, voltage fluctuations and power frequency variations are explained in this thesis. To minimize these situations that cause power quality problems, it is necessary to take data from more measurement points on the systems and interpret of these data. IoT and Cloud Computing technologies have been used to overcome the arisen difficulties and these technologies are described under the relevant headings. By examining the IoT ecosystem, architecture, communication and messaging protocols, the used system topology is explained in a comprehensive manner.

In the study, the system and implementation that analyzes specific power quality problems using IoT technology are explained. The properties of used equipment, the communication infrastructure between devices and implementation of the algorithm used in problem analysis are explained via pseudo codes.

The implemented IoT-based system approach and currently widely used power quality monitoring systems have compared and evaluated.

The implemented system and application have been realized as a prototype. To test the prototype structure, with the specific time measurements, the results of the detected power quality problem have examined, and forward-looking research areas have explained.

Keywords: Cloud-Based System, Energy Analytics, Power Quality Problems, Internet of Things, Efficiency.

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler her alanda değişime neden olurken güç sistemlerine bağlı yük karakteristiklerini de değiştirmektedir. Bu yük karakteristiklerine bakıldığında yarı iletken teknolojisine sahip güç elektroniği ekipmanları, sürücüler, doğrusal olmayan yükler vb. güç sistemlerinde bozucu etkiye sebebiyet verirler. Bu bozucu etkiler güç kalitesi problemlerini oluşturur. Güç kalitesi problemleri sistem verimliliğinin düşmesine, ekipman ömrünün azalmasına, enerji kayıpları ve arıza sıklığının artması gibi olumsuz durumlara neden olmaktadır. Bu olumsuz durumlardan dolayı endüstride arızalar ve üretim kayıpları yaşanmakta olup doğrudan finansal kayıplar oluşmaktadır.

Güç kalitesi olaylarına bağlı olarak oluşan bu problemlerin getirdiği olumsuz durumları en aza indirmek adına yıllar içinde çeşitli izleme sistemleri ve bu sistemlere bağlı farklı uygulamalar geliştirilmiştir. Teknolojik ilerlemelerle birlikte nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim (cloud computing) ve makine öğrenmesi (machine learning) gibi kavramların hayatımıza girmesi ile güç kalitesi problemlerinin çözümüne yönelik farklı sistem kurguları ve analiz uygulamaları oluşturulabilmektedir. Bu tez çalışmasında IEEE vb. kuruluşların standartlarında tanımladığı belirli güç kalitesi problemlerini ihtiyaca uygun olacak şekilde düşük yatırım maliyetleri ile tespit edebilmek; problemi oluştuğu anda o ana ait okunabilen diğer güç parametreleri ile birlikte kayıt altına alabilmek; tüm bunları yaparken bu verilerin kolay erişilebilir olması ve makine öğrenmesi, yapay zekâ ile büyük veri uygulamalarında kullanımına dönük şekilde depolanması üzerine bir sistem ve uygulama gerçekleştirilmektedir.

Bölüm 1'de tez çalışmasının genel amacı anlatılmakta, geçmişte yapılmış çalışmalar kronolojik bir zaman dilimine göre ifade edilmekte ve tez çalışmasının literatüre olan katkısı ortaya konmaktadır.

Bölüm 2'de güç kalitesi kavramının tanımı ve güç kalitesi problemlerinin neler olduğu anlatılmaktadır. IEEE 1159-2009 standardının tanımladığı güç kalitesi olayları ifade edilmektedir. Bu güç kalitesi problemleri anlatılırken oluşturduğu olumsuz etkiler de

ortaya konmaktadır. Güç kalitesi izleme sistemleri genel olarak değerlendirilmekte olup nesnelerin interneti teknolojisine dayalı sistemler ifade edilmektedir.

Bölüm 3'te nesnelerin interneti teknolojilerinin kullanım alanları verilmektedir. IoT ekosistemindeki cihazların özellikleri, IoT mimarisi, haberleşme ve mesajlaşma protokolleri anlatılmaktadır. IoT mesajlaşma protokollerinin karşılaştırmaları yapılarak en efektif protokolün belirlenmesine yönelik incelemelerde bulunulmaktadır. Son olarak bulut bilişim ve IoT platformları anlatılmaktadır.

Bölüm 4'te, tez konusu üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisini kullanarak belirli güç kalitesi problemlerini analiz etmek için kullanılan ekipmanlar, gerçekleştirilen sistem ve uygulama detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Gerçekleştirilen sistem ve uygulama test edilerek test sonuçları paylaşılmaktadır.

Bölüm 5'te tez konusu çerçevesinde oluşturulan sonuçlar ve geliştirmeye dönük alanlar için önerilere yer verilmektedir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Güç kalitesi problemleri sistem verimliliğinin düşmesine, ekipman ömrünün azalmasına, enerji kayıplarının ve arıza sıklığının artmasına neden olur. Güç kalitesi problemlerine endüstri sektörü özelinde bakıldığında üretimin durması, koruma-koordinasyon hatalarının oluşması, sürücülerin devreden çıkması, motorların beklenen performansta çalışamaması gibi güç kalitesi problemlerine dayalı durumlar hem üretim hem de finansal kayıplara neden olmaktadır.

Güç kalitesi problemlerinin minimuma indirilebilmesi için güç parametrelerinin sürekli izlenmesi ve doğru bir şekilde anlamlandırılması gereklidir. Fabrikalarda güç parametrelerinin takibinde otomasyon sistemlerinden isteğe bağlı gelen veriler veya enerji izleme sistemleri tarafından alınan veriler kullanılmaktadır. Fakat bu tip izleme altyapılarının çoğu güç parametrelerinin kullanıcı inisiyatifi ile takip edilmesi üzerine kurgulanmış olup sonuç üretme konusunda sınırlı bir çıktıya sahiptirler.

Aynı zamanda güç kalitesi problemlerini tespit ederek kayıt altına alan sistemler maliyetli ve uygulama açısından da bazı zorlukları bünyesinde barındırır. Bu tez çalışmasının amacı elektriksel güç parametrelerini değerlendirerek belirli güç kalitesi problemlerin ihtiyaca uygun olacak şekilde düşük maliyetli bir sistem ile tespit edilmesi, belirli güç kalitesi problemleri oluştuğu anda problemin ne olduğunun ve gerekli parametrelerin kayıt altına alınması ile veriler üzerinden makine öğrenmesine yönelik analizler yapılabilecek şekilde depolanması olarak belirtilebilir. Bu kapsamda Nesnelerin İnterneti teknolojisi kullanılarak IoT tabanlı bir sistem ve uygulama hayata geçirilerek belirtilen amaçlar gerçekleştirilmiştir.

1.2. Geçmişte Yapılmış Çalışmalar

Aşağıda literatürde yapılan çalışmalara kronolojik sıraya göre yer verilmektedir.

Alvani (2011), çalışmasında akım ve gerilim değerlerini lokal bir bilgisayarda toplayarak Lab VIEW ve C tabanlı bir yazılım ile sinyal analizi yapmakta ve böylece belirli harmonik değerlerini tespit eden bir çözüm sunmaktadır [1].

Yingkayun (2012), gömülü bir donanım tasarımı ile güç parametrelerini gösteren ve enerji kesintisini belirten bir sistem tasarlamakta olup lokal bir ağ üzerinden görüntüleme sağlamaktadır [2].

Erhan (2013), çalışmasında IEEE 1159-2009 standardına göre gerilim çentiği tespit eden algoritma geliştirerek güç kalitesi probleminin tespiti üzerine çalışma yürütmektedir [3].

Yıldırım (2015), doktora çalışmasında hem donanımsal hem de yazılımsal ürün geliştirerek web tabanlı olarak güç kalitesi izleme sistemi ortaya koymaktadır. Bu çalışmada verilerin toplandığı sunucu lokal bir alanda olup web üzerinden erişim ile izleme yapılmaktadır [4].

Leccese (2016), Raspberry-Pi'ye dayalı yeni bir güç kalitesi enstrümanı geliştirerek harmonik analizi yapan bir çözüm ortaya sunmaktadır. Elde edilen veriler lokal bir sunucuda toplanmaktadır [5].

Akash (2017), tarım için IoT tabanlı sıcaklık ve nem izleme sistemi tasarlamaktadır. Bu çalışmada Raspberrry Pi 3B mini bilgisayar ile okunan sıcaklık ve nem verisi bulut ortamına akarılarak veri takibi yapılmaktadır [6].

Atmoko (2017), ESP8266 wifi modül aracılığıyla ortamdan okuduğu verileri MQTT aracılığıyla bulut ortamına aktarmaktadır [7].

Khandel (2018), IoT tabanlı güç tüketimi izleme ve kontrol sistemi tasarımı yaparak bu verileri internet üzerinden blynk sunucusuna iletmektedir [8].

Lawrence (2019), gerçekleştirdiği çalışmada Raspberry Pi ve ESP32 wifi modül kullanımı ile açık kaynak kodlu ekonomik SCADA sistemi tasarımı ortaya koymaktadır. [9].

Tübitak MAM (2019), TEİAŞ için güç kalitesi izleme sistemi tasarlamış ve gerçek zamanlı güç kalitesi izleme yazılımı ile akım, gerilim, güç faktörü gibi parametreleri gerçek zamanlı olarak izleyebilmektedir [35].

Yurduseven (2020), güç kalitesi parametrelerinin belirli standartlara uygun ölçüm yapabilmesi ve güç kalitesi problemlerini tespit etmeye yönelik algoritma geliştirmektedir [10].

Gunawan (2020), Nesnelerin İnterneti teknolojisini kullanarak güç faktörü ölçümü ile belirli analizler gerçekleştirmekte ve uzaktan izleme ile birlikte aynı zamanda veri depolama işlemi yapmaktadır [11].

1.3. Tez Çalışmasının Katkısı

Bu tez çalışması ile IEEE ve NEMA gibi kuruluşların standartlarında tanımladığı belirli güç kalitesi problemlerinin ihtiyaca uygun düşük yatırım maliyetleri ile tespit ederek, uygun formatta depolayabilen bir sistem yapısı ve uygulama literatüre kazandırılmış olacaktır. Yüksek maliyetli yatırımlar içeren, çevresinden bağımsız çalışan ve enerji analitiğine imkân sağlamayan sistem yaklaşımları yerine ihtiyaca uygun, kolay ölçeklenebilir, düşük maliyetli ve ileriye dönük veriye dayalı analitiklerin yapılabileceği Nesnelerin İnternetine dayalı sistem yaklaşımı ve uygulama literatüre kazandırılmaktadır.

Günümüzde hızla gelişen Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Bulut Bilişim teknolojilerinin güç kalitesi problemlerini çözmeye yönelik şekilde kullanımı, enerjinin verimli kullanımı ve finansal kayıpların minimuma indirilmesi adına anahtar bir yaklaşım olmaktadır.

IoT teknolojisi kullanımı ile veriye odaklı güç kalitesi analizleri sayesinde belirli bir zaman periyodunun sonunda yapay zekâ uygulamaları ile verilerden daha fazla katma değerli sonuçlar çıkarılmak mümkün olabilecektir.

2. GÜÇ KALİTESİ VE PROBLEMLERİ

2.1. Güç Kalitesi Tanımı

Güç kalitesi, elektrik şebekeleri tarafından sağlanan elektrik enerjisinin ölçülen veya hesaplanan parametre değerlerinin ulusal ve uluslararası standart otoriteleri tarafından belirlenmiş limit değerler içinde olup olmaması durumu olarak tanımlanabilir.

Kapsayıcı bir diğer güç kalitesi tanımı ise enerjinin sürekli olması, gerilim ve frekansın sabitliği, güç faktörünün bire yakınlığı, faz gerilimlerinin dengeli olması, akım ve gerilimdeki harmoniklerin belirli değerlerde olması gibi kriterlerin göz önüne alınmasıdır [12].

Güç kalitesi kavramı elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve son kullanıcı tarafından kullanımına kadar her alanda titizlikle ele alınması gereken sistemsel bir yaklaşımı ifade etmektedir.

2.2. Güç Kalitesi Problemleri

Teknolojideki gelişim ve değişime bakıldığında kaliteli enerji tedariği ve kullanımı bir gereksinimdir. Yarı iletken teknolojisine sahip devreler, değişken hız sürücüleri, ark fırınları, lineer olmayan yükler vb. ile sistemde meydana gelen olası arızalar güç kalitesinde bozulmalara sebebiyet verirler. Bu bozucu etkiler güç kalitesi problemlerini meydana getirir.

Sistem üzerinde meydana gelen bu güç kalitesi bozulmalarını tanımlamak adına IEEE, IEC, ANSI, CBEMA, EPRI gibi çalışma grupları farklı standartlar oluşturmuşlardır [13]. Dünyada güç kalitesi çalışmalarında genellikle IEEE ve IEC standartları tercih edilmektedir. Güç kalitesi alanında IEEE 1159 ve IEC 61000 standartları güç kalitesine bağlı olayları ve buna bağlı diğer etkileri tanımlayan sektörde kullanımı yaygın standartların başında gelmektedirler. Bu tez çalışmasında güç kalitesi problemlerine neden olan olayların anlamlandırılmasında çoğunlukla IEEE std 1159-2009 standardı dikkate alınmıştır.

Güç kalitesi olaylarının kategorize edilmiş tipik spektral içerikleri, süreleri ve genlik değerleri Tablo 2.1'de belirtilmiştir [14]. Bu güç kalitesi olayları geçici olaylar, kısa süreli RMS değişimleri, uzun süreli RMS değişimleri, dengesizlik, dalga şekli bozuklukları, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri olarak ifade edilir [15].

2.2.1. Geçici olaylar

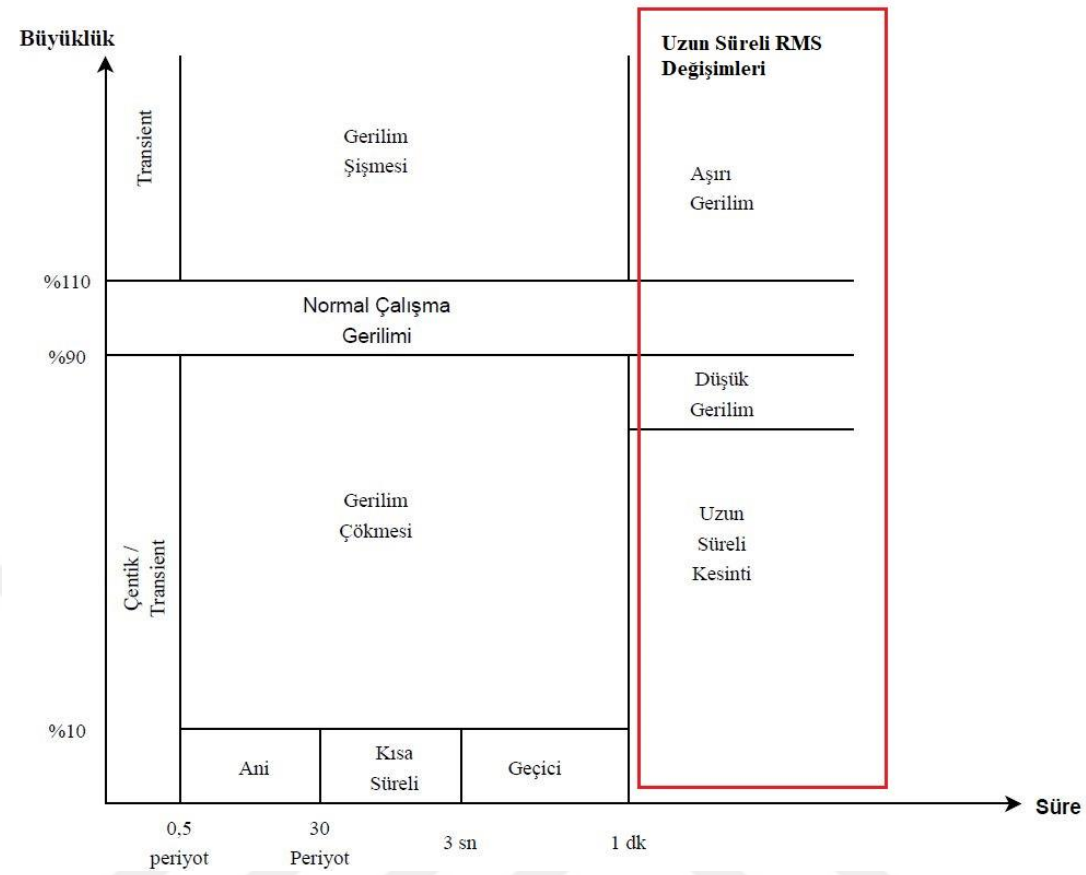
Geçici olaylar darbesel ve salınımlı olarak ikiye ayrılır. Geçici olaylar güç sisteminde meydana gelen kısa süreli durumlar olup bu zaman zarfında gerilim ve akımda çok büyük artışlar oluşturdukları için güç kalitesi açısından sorun teşkil ederler. Darbesel olaylarda anlık olarak yüksek gerilimler oluşmakta olup yıldırım darbe gerilimi bu olaya örnek verilebilirken salınımlı durum için kondansatör grubunun anahtarlaması veya transformatörlerin devreye alınması örnek olarak verilebilmektedir [16].

2.2.2. Kısa süreli gerilim değişimleri

Kısa süreli gerilim değişimleri gerçekleşme sürelerine göre ani, kısa süreli ve geçici olarak tanımlanır. Gerilim çökmesi, gerilim şişmesi ve kesinti olarak sınıflandırılmaktadır. Gerilim çökmesi, 0.5 periyot ile 1 dakika arasında gerilimin 0.1 pu ile 0.9 pu arasında bir değerde olması durumu olarak ifade edilebilir. Gerilim şişmesi ise 0.5 periyot ile 1 dakika arasında gerilim değerinin 1.1 pu - 1.8 pu arasında bir değerde olması durumu olarak ifade edilir. Kesinti, 1 dakikadan kısa sürede gerilimin değerinin 0.1 pu'nun altına inmesi durumudur.

2.2.3. Uzun süreli gerilim değişimleri

Uzun süreli gerilim değişimleri düşük gerilim, aşırı gerilim ve uzun süreli kesintiyi kapsamaktadır. Düşük gerilim, 1 dakikadan uzun süre boyunca nominal gerilimin etkin değerinin 0.8 pu ile 0.9 pu arasında bir değerde olması durumudur. Aşırı gerilim ise 1 dakikadan uzun süre boyunca nominal gerilimin etkin değerinin 1.1 pu ile 1.2 pu arasında bir değerde olması durumudur. Uzun süreli gerilim değişimleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Uzun süreli gerilim değişimleri

2.2.4. Dengesizlik

Gerilim dengesizliği, hat veya faz gerilim büyüklüklerinin farklı olması veya faz açılarının denge şartlarını sağlamaması ile oluşur. Gerilim dengesizliğini hesaplamak için iki farklı yol vardır. Bunlardan biri gerilim ortalamalarını ortalamadan en büyük sapmaya bölmek, diğer yol ise ters (veya sıfır) dizi bileşenin doğru dizi bileşenine oranını hesaplamaktır [16].

Gerilim dengesizliği tek fazlı büyük yükler (endüksiyon fırınları vb.) ile üç fazlı sistemlerde bir fazlı yüklerin fazlara eşit dağıtılmamasından meydana gelmektedir [14]. Gerilim dengesizliğinin oluşturduğu problemlerin başında asenkron motorların aşırı ısınmaları ve bu sebepten oluşan arızalar gelmektedir.

2.2.5. Dalga şekli bozuklukları

Dalga şekli bozuklukları, temel frekanstaki gerilim ya da akımın ideal bir sinüs dalgasından sapması olarak tanımlanır. Dalga şekli bozuklukları; DC bileşen, harmonikler, ara harmonikler, çentik ve gürültü olarak sıralanır.

DC bileşen, bir alternatif güç sisteminde doğru akım veya gerilimin var olması durumudur. DC bileşen oluşumuna sebep olan yükler yarım dalga doğrultuculara benzer karakteristikte davranan yüklerdir.

Harmonikler, besleme sisteminin temel çalışma frekansının tam sayı katları olan frekanslara sahip sinüsoidal gerilimler veya akımlardır. Harmonikler, güç sistemi elemanlarının zarar görmesine ve devre dışı kalmasına neden olmakla birlikte motor, transformatör, kondansatör gibi ekipmanlar da ilave kayıplara neden olurlar. Ara harmonikler ise sinüzoidal gerilim veya akımın tam katları arasında kalan frekans değerine sahip harmoniklerdir.

Gerilim çentiği, üç fazlı kontrollü veya kontrolsüz doğrultucuların neden olduğu gerilimde yaşanan bozulma olarak tarif edilir ve bu bozulma farklı fazlar üzerindeki diyot veya tristörlerin faz geçişleri sırasında iletim -kesime girmesinden dolayı oluşan komütasyon olayıdır [3].

Gürültü, geniş bir bant aralığında olan ve her bir periyotta istenmeyen minimal değişkenlikler barındıran bozucu bir etkidir.

2.2.6. Gerilim dalgalanmaları

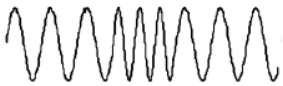
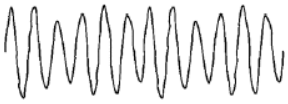
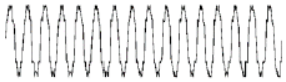
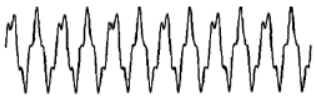
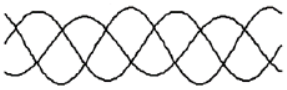
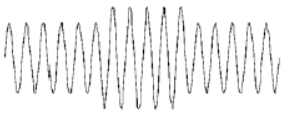
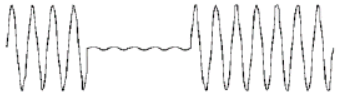
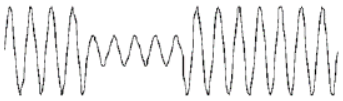
Gerilim dalgalanmaları nominal gerilim değerinin sınır değerlerin dışında rastlantısal olarak meydana gelen değişimlerdir. Gerilim dalgalanmaları oluşturan yaygın ekipmanlara örnek olarak değişken hızda görev yapan sürücüler, ark fırınları ve hadde sistemleri verilebilir.

2.2.7. Frekans değişimleri

Sistem temel frekansının belirli oranda sapması sonucu frekans değişimleri meydana gelir. Güç sisteminin temel frekansının nominal değerinden sapması olarak tanımlanır. Sistem frekansı, besleme sistemindeki senkron generatörlerin dönme hızları ile

bağlantılı olduğundan yük ile üretim arasında dinamik dengenin değişimine bağlı olarak değişir. Frekans değişiminin miktarı ve süresi, yükün özelliklerine ve generatör kontrol sisteminin yük değişimine verdiği tepkiye göre değişmektedir.

Şekil 2.2'de GKP temsili dalga gösterimleri verilmiştir [13].

Frekans Değişimleri		**Gerilim Dalgalanmaları**	
Gürültü		**Çentik**	
Harmonikler		**Ara Harmonikler**	
Gerilim Dengesizliği		**DC Bileşeni**	
Gerilim Şişmesi		**Kesinti**	
Geçici Olaylar		**Gerilim Çökmesi**	

Şekil 2. 2. GKP temsili dalga gösterimleri

Tablo 2.1'de IEEE 1159-2009 standardına göre güç kalitesine neden olan problemlerin süreleri ve genlikleri belirtilmiştir.

Tablo 2. 1. IEE std. 1159-2009 göre GKP süreleri ve genlikleri [15]

Kategori	Frekans Aralığı	Tipik Süre	Tipik Gerilim Genliği (per unit)
1. Geçici olaylar			
1.1 Darbesel			
1.1.1 Nanosaniye	5 ns yükselme	<50 ns	
1.1.2 Mikrosaniye	1 µs yükselme	50 ns-1 ms	
1.1.3 Milisaniye	0,1 ms yükselme	>1 ms	
1.2 Salınımsal			
1.2.1 Düşük frekanslı	<5 kHz	0,3-50 ms	0-4 pu
1.2.2 Orta frekanslı	5-500 kHz	20 µs	0-8 pu
1.2.3 Yüksek frekanslı	0,5-5 MHz	5 µs	0-4 pu
2. Kısa süreli RMS değişimleri			
2.1 Ani			
2.1.1 Gerilim Çökmesi		0,5-30 per.	0,1-0,9 pu
2.1.2 Gerilim Şişmesi		0,5-30 per.	1,1-1,8 pu
2.2 Kısa süreli			
2.2.1 Kesinti		0,5 per.-3 s	<0,1 pu
2.2.2 Gerilim çökmesi		30 per.-3 s	0,1-0,9 pu
2.2.3 Gerilim şişmesi		30 per.-3 s	1,1-1,4 pu
2.3 Geçici			
2.3.1 Kesinti		>3 s-1 dk	<0,1 pu
2.3.2 Gerilim Çökmesi		>3 s-1 dk	0,1-0,9 pu
2.3.3 Gerilim şişmesi		>3 s-1 dk	1,1-1,2 pu
3. Uzun süreli RMS değişimleri			
3.1 Devamlı kesintiler		>1 dk	0,0 pu
3.2 Düşük gerilim		>1 dk	0,8-0,9 pu
3.3 Aşırı gerilim		>1 dk	1,1-1,2 pu
3.4 Aşırı akım		>1 dk	
4. Dengesizlik			
4.1 Gerilim		sürekli hal	%0,5-2
4.2 Akım		sürekli hal	%1,0-30
5. Dalga Şekli Bozuklukları			
5.1 DC bileşen		sürekli hal	%0-0,1
5.2 Harmonikler	0-9 kHz	sürekli hal	%0-20
5.3 Ara harmonikler	0-9 kHz	sürekli hal	%0-2
5.4 Çentik		sürekli hal	
5.5 Gürültü	Geniş bant	sürekli hal	%0-1
6. Gerilim dalgalanmaları	<25 Hz	kesintili	%0,1-7 %0,2-2 Pst (fliker indeksi)
7. Frekans değişimleri		<10 s	±0,10 Hz

2.3. Güç Kalitesi İzleme Sistemlerinin Genel Değerlendirilmesi

Endüstriyel işletmeler ve enerji tüketimi yoğun olan binalarda farklı başlıklar altında sistem ihtiyacına göre güç parametreleri izlenmekte ve güç kalitesine yönelik izleme sistemleri oluşturulmaktadır. Fakat bu izleme sistemlerinin yüksek bir bölümü yazılımsal altyapısının mevcutta yapıldığı zamanın teknolojisini barındırması ve yazılımsal güncellemelerin zorluğu sebebiyle uygulama anlamında eksik kalmakta veya geçerliliği yitirmektedir. İzleme sistemlerinden alınan verilerin kullanıcılar tarafından izlenerek analiz edilmeye çalışılması sistemin tam olarak efektif bir şekilde kullanılamadığını göstermektedir. Aynı zamanda güç kalitesinde iyileştirme çalışmaları kapsamında endüstriyel işletmelere ait güç sistemlerinde arıza sıklığı gösteren noktalar için belirli zaman aralıklarında taşınabilir güç kalitesi ölçüm cihazları ile yapılan ölçüm sonuçları üzerinden yorumlama ve arıza analizleri yapılmakta fakat uzun süreli durumlarda, şartlardaki değişkenlikler nedeniyle sonuçlar sürdürülebilir olmamaktadır.

Değişen güç kalitesi standartları, yük profilleri ve teknolojik gereksinimlere bakıldığında lokalde yalnız başına çalışan güç kalitesi izleme sistemlerine farklı bir yaklaşım ile bakılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu gereklilikler göz önüne alındığında güncel teknolojilere entegre olabilen, hızlı erişilebilir ve güncellenebilir sistem yaklaşımları hayata geçirilmelidir. Ölçülen verileri otomatik olarak en az insan müdahalesi ile faydalı bilgi haline dönüştürmek ve analiz etmek günümüz teknolojisi ile mümkündür [17].

İzleme sistemleri tasarlanırken iki önemli başlık dikkate alınmaktadır. Bunlardan ilki sistemin donanımsal ihtiyacı (ölçüm cihazı, izleme ekipmanları, kablolama vb.) iken ikincisi ise verilerin toplanması ve analizi için gerekli yazılımsal gereksinimlerdir [18]. Güç kalitesi izleme sistemlerinin değerlendirilmesinde incelenmesi gereken maddeler; ilk yatırım maliyeti, saha donanımları ile yazılımsal altyapının haberleşme esnekliği, veri izleme ekipmanlarının donanımsal ve yazılımsal olarak güncellenebilirliği, veri yönetim kolaylığı, sisteme uzaktan erişim imkânı, problem analiz yetenekleri, sisteme müdahale edilebilirlik, verilerin farklı platformlar ile ortak çalışabilirliği ve sistemin güncellenebilme kolaylığı olarak sıralanabilmektedir.

3. NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ

3.1. Nesnelerin İnterneti Teknolojisi ve Kullanımı

Nesnelerin interneti farklı iletişim protokolleri sayesinde birbiriyle haberleşebilen veri işleme yeteneğine sahip cihazların oluşturduğu küresel bir ağdır [19]. Nesnelerin interneti kavramı ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından kullanılmıştır.

Nesnelerin İnterneti (IoT) dünyasında bir IoT cihazının temel özellikleri sıralanacak olursa; bulunduğu ortamdan veri toplayabilme, kablolu/kablosuz ağ teknolojileri ile etkileşim kurabilme ve internet üzerinden erişilebilme en temel niteliklerdir [20].

3.1.1. IoT ekosisteminin genel bileşenleri

Bir IoT ekosistemi belli temel bileşenleri bünyesinde barındırır. Bu bileşenler; veriyi oluşturan sensörler, veriyi işleyen veya ileten mikrodenetleyiciler, verinin bulut tabanlı sistemlere aktarılmasını sağlayan haberleşme teknolojileri ve bulut bilişim teknolojileri olarak tanımlanabilir. İlgili bileşenleri kısaca tanımlayacak olursak;

- Sensörler:
  Fiziksel ortam değişkenlerini algılayarak işlenebilen ve elektriksel sinyallere dönüştüren öğeler olarak tanımlanabilir. Günümüzde birçok farklı sensör çeşidi olup örnek olarak sıcaklık, nem, basınç, titreşim sensörleri verilebilir.
- Mikroişlemciler (CPU) ve mikrodenetleyiciler:
  IoT ekosisteminde mikroişlemciler ve mikrodenetleyiciler verinin okunması, işlenmesi veya iletimi konusunda görev alan ekipmanlardır. Bu alanda Raspberry Pi veya Ardunio kartları örnek olarak verilebilir.
- Haberleşme teknolojileri:
  Nesneler arasında haberleşme ihtiyaca özgü farklı teknolojilerle sağlanmaktadır. Haberleşme teknolojilerinin seçiminde iletim mesafesi, teknolojinin uygulanacağı alan, maliyet, enerji tüketimi gibi birçok farklı başlık yer almaktadır. Örnek olarak wifi veya hücresel ağlar verilebilir.

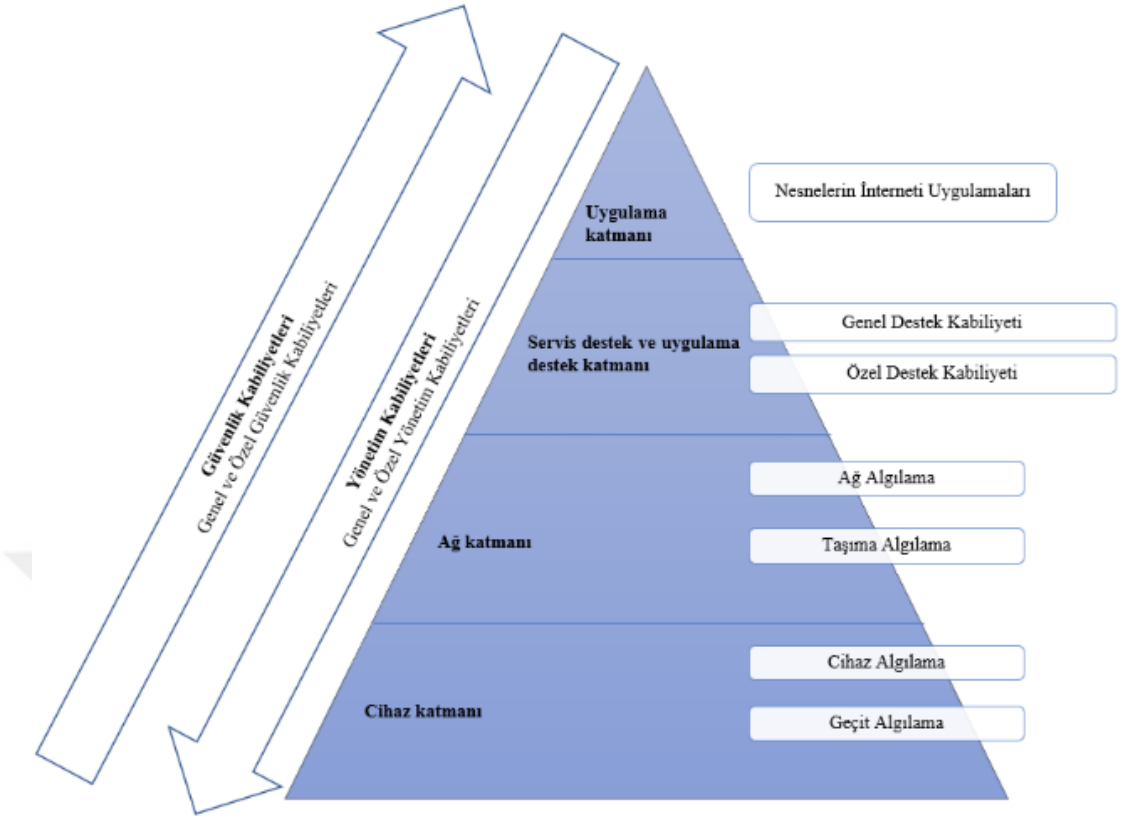
- Bulut bilişim teknolojileri:
  IoT ekosisteminde bulut bilişim, verilerin kabul edilebilir sürelerde işleneceği, depolanacağı ve uzaktan yönetileceği bir yapı sunmaktadır.

3.2. Nesnelerin İnterneti (IoT) Mimarisi

Literatüre bakıldığında Nesnelerin İnterneti ekosisteminde önerilmiş modeller "James-Smit Genel Amaçlı Mimari Model" ve "ITU Genel Amaçlı Mimari Model" adlı iki mimariyi temel alır [19]. IoT mimarisini anlamak adına ITU tarafından 2012 yılında ortaya konan beş katmanlı mimari incelenmiştir. İncelenen bu model cihaz katmanı, ağ katmanı, servis ve uygulama destek katmanı, uygulama katmanı ve yönetim katmanlarından oluşmaktadır [21].

Cihaz katmanı fiziksel çevreden verilerin toplandığı ve algılandığı katmandır. Ağ katmanı toplanan verilerin güvenli bir şekilde servis ve uygulama destek katmanına aktaran katman görevindedir. Ağ katmanında veri RFID, 3G, GSM, Wifi, Bluetooth, CAN bus vb. gibi çeşitli kablosuz veya kablolu teknolojilerle aktarılır.

Servis ve uygulama destek katmanı iki farklı yetenekten oluşmaktadır. Bunlardan biri veri işleme veya veri depolama gibi IoT uygulamaları tarafından kullanılabilen ortak yetenekler olup diğeri ise çeşitli diğer uygulamaların isteklerini karşılayan hizmetleri sunan yeteneklerdir. Uygulama katmanı son kullanıcının görmek istediği anlamlı çıktıların ve analizlerin sunulduğu katmandır. Örneğin enerji tüketim verilerine ihtiyaç duyan bir son kullanıcıya tüketilen enerji değerlerini sunan katman uygulama katmanıdır. Son katman olan yönetim katmanı ise tüm sistemi denetleyen ve takip eden sistem etkinliklerini ve hizmetlerini yöneten aynı zamanda güvenlik ve gizlilik konularında korumayı hedefleyen katmandır [21]. Şekil 3.1'de katmanlı IoT mimari şeması gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Katmanlı IoT mimari şeması

3.3. IoT Sistemlerinde Haberleşme Protokolleri

IoT sistemlerinde haberleşme protokolleri kablolu ve kablosuz altyapıya bakılarak sınıflandırılabilmektedir. Haberleşme protokolleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3. 1. IoT sistemlerinde haberleşme protokolleri

Nesnelerin İnterneti (IoT) Haberleşme Protokolleri								
Kablosuz Haberleşme					**Kablolu Haberleşme**			
WPAN	**WLAN**	**Cellular**	**LPWAN**	**Satellite**	**Ethernet**	**DSL**	**Fiber Optic**	**PLC**
Z-Wave	Wifi	WiMAX	Sigfox	LEO	802.3x	HDSL	PON	UNBPLC
Bluetooth		2G (GSM)	LoRa	MEO		ADSL	AON	NBPLC
ZigBee		2.5 G (GPRS)	LoRaWAN	GEO		VDSL	BPON	BBPLC
WirelessHart		3G					GPON	
ZigBee Pro		3.5G					EPON	
		4G					SONET/SDH	
		5G					WDM	

3.4. IoT Sistemlerinde Mesajlaşma Protokolleri

IoT sistemlerinde birçok mesajlaşma protokolleri mevcuttur. Bunlardan bazıları HTTP, MQTT, CoAP, AMQP, XMPP, DDS, vb. olup birçok farklı ihtiyaca özgü protokol bulunmaktadır. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılanlar arasında MQTT, CoAP, AMQP ve HTTP bulunmaktadır.

3.4.1. Mesaj kuyruk telemetri ulaştırma protokolü (MQTT)

MQTT, istemci/sunucu mimarisinde dayalı hafif bir mesajlaşma protokolüdür. IBM tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bu protokol kolay uygulanabilir yapıdadır. Yüksek donanım gereksinimlerine ihtiyaç duymadan kullanılabilmesi nedeniyle IoT ekosisteminde yaygın olarak kullanılır.

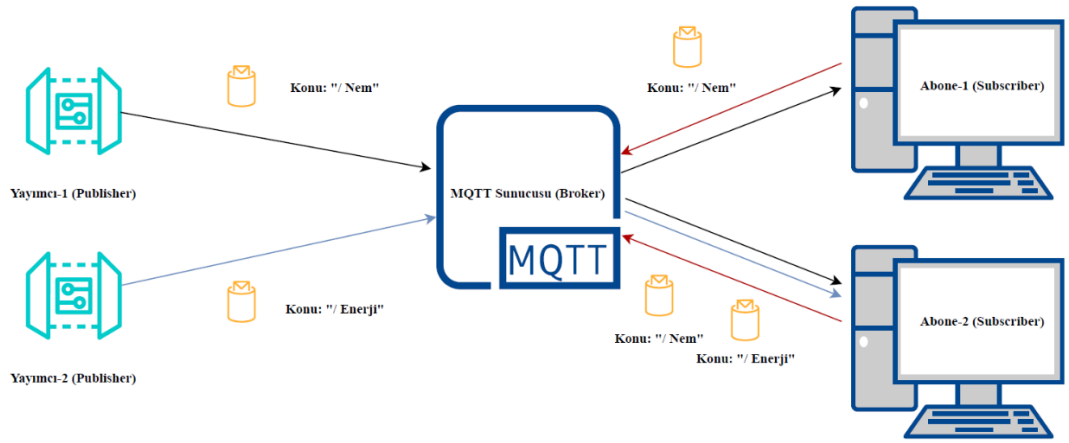
MQTT protokolü IoT cihazlarının işlemci kapasitesi, düşük bant genişliği gibi sınırlı kaynaklarını dikkate alacak şekilde tasarlanmış olup bulut sistemine bağlantı için TCP/IP altyapısını kullanmaktadır.

MQTT protokolünde 3 temel bileşen ön plana çıkmaktadır. Bu bileşenler yayımcı (publisher), abone (subscriber) ve sunucu (broker) olarak ifade edilebilir. Yayımcının görevi veriyi sunucuya göndermektir. Abonenin görevi gelen veriyi alan hedef kullanıcıdır. Sunucu ise yayımcı ile abone arasında konuya göre verinin doğru adrese ulaşmasını sağlayan yapıdır.

Sunucu yayımcıdan gelen verileri depolar, filtreler ve abonelere iletir [20].

MQTT haberleşme altyapısının önemli bir özelliği ise 3 farklı servis kalitesi desteğinin olmasıdır. Servis kalitesi-0 (QoS 0), yayımcının sunucuya mesajı en fazla 1 defa gönderdiği, mesajın ilgili hedefe ulaşılması için bir kontrol olmadan ve herhangi bir sunucuda depolanmadan gerçekleştiği servis kalitesi durumdur. Servis kalitesi-1 (QoS 1) mesajın en az 1 kez iletileceğini garanti eden servis durumudur. Servis kalitesi-2 (QoS 2) mesajın kesinlikle 1 defa iletileceğini garanti eder ve en güvenilir servis kalitesi durumudur. QoS 2'de aynı mesajın iki kez iletilmesini önlemek için gerekli işlevsel mekanizmaya sahiptir.

Şekil 3.2'de MQTT yapısı gösterilmektedir.



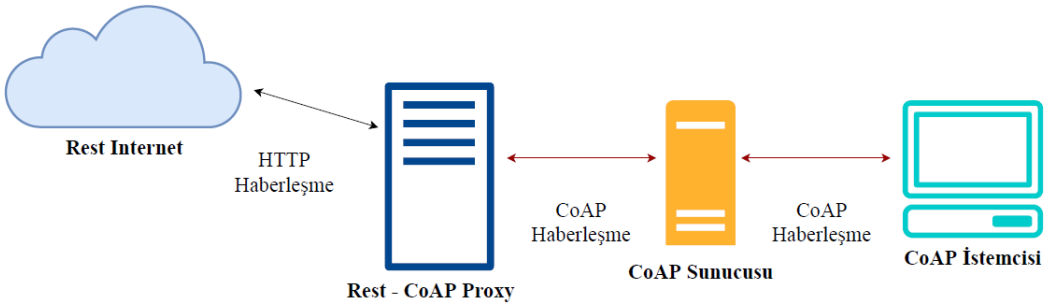
Şekil 3. 2. MQTT yapısı

3.4.2. Sınırlı uygulama protokolü (CoAP)

CoAP, IETF (Internet Engineering Task Force – İnternet Mühendisliği Görev Gücü) CoRE çalışma grubu tarafından oluşturulan uygulama katman protokolüdür. CoAP basit proxy'ler aracılığıyla HTTP ve RESTful Web ile birlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır [22].

CoAP iletişim yapısı, istemci ve sunucu bileşenlerinden oluşmakta olup istemci REST metodlarına benzeyen GET, POST, PUT, DELETE gibi CoAP metodları sayesinde sunucu ile iletişim kurmaktadır [20]. Mesajın tipine bağlı olarak sunucu da istemciye cevap gönderebilmektedir. CoAP, ulaşım katmanı olarak UDP protokolünü ve güvenlik iletişim için ise Datagram Transport Layer Security (DTLS) kullanır [23].

Şekil 3.3'te CoAP yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. 3. CoAP yapısı

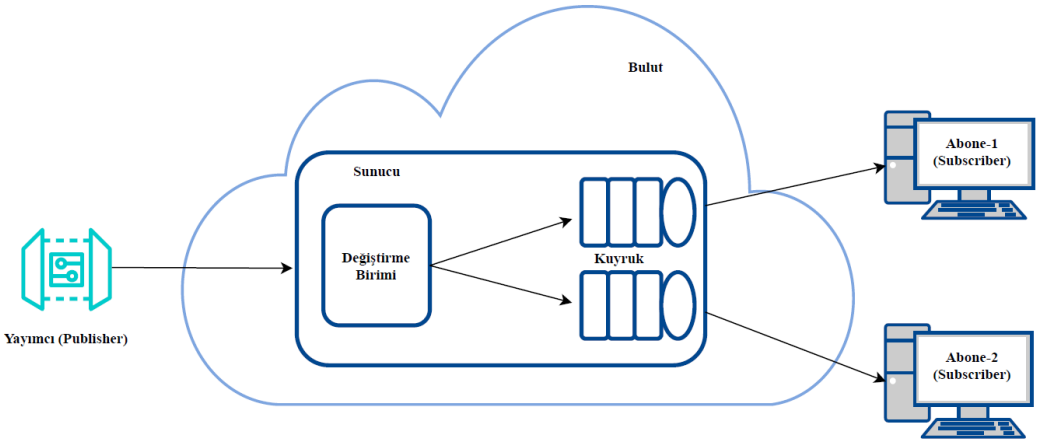
3.4.3. Gelişmiş mesaj kuyruklama protokolü (AMQP)

AMQP, güvenlik ve birlikte çalışabilirlik odaklı olarak geliştirilmiş 2012 yılında OASIS tarafından standartlaştırılmış bir protokoldür. AMQP protokolü ulaştırma katmanı olarak TCP kullanmakta ve güvenlik olarak SSL/TLS desteği sunmaktadır.

Farklı platformlara sahip sistemlerde mesajlaşma ve birlikte çalışabilmek için geliştirilmiştir. Çalışma yapısına bakıldığında yayımcı tarafından gönderilen mesaj değiştirme birimine iletilir. Değiştirme birimi tanımlanmış belirli koşullara göre ilgili mesajı kuyruğa yönlendirir. Kuyruklar sayesinde mesajlar abonelere ulaşır.

Mesajlar, mesaj kuyrukları tarafından saklanarak abone veya istemcilere iletilebilmektedir [24].

Şekil 3.4'te AMQP yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. 4. AMQP yapısı

3.4.4. Hiper metin transfer protokolü (HTTP)

HTTP, web tabanlı olarak veri iletişimi için kullanılan uygulama düzeyinde bir protokoldür. IETF ve W3C tarafından 1997 yılında ortak bir şekilde geliştirilmiştir [26].

HTTP, RESTful Web mimarisini destekler. HTTP, ulaştırma katmanı olarak TCP kullanmaktadır.

HTTP ile çok sayıda küçük veri paketi web üzerinden aktarılabilir fakat protokol ek yükleri nedeniyle ağ kaynak kullanımı zorlamakta ve gecikmelere neden olabilmektedir [27].

3.5. IoT Mesajlaşma Protokollerini Karşılaştırılması

İncelenen MQTT, CoAP, AMQP ve HTTP protokollerinin belirli özelliklere göre karşılaştırılması Tablo 3.2'de verilmektedir [33].

Tablo 3. 2. IoT mesajlaşma protokollerini karşılaştırılması [33]

Kriter	MQTT	CoAP	AMQP	HTTP
Tanıtılma Yılı	1999	2013	2003	1991
Standartlaştırma Yılı	2013	2014 (halen)	2014	1997
Mesajlaşma Modeli	yayın / abone	istek / yanıt	istek / yanıt yayın / abone	istek / yanıt
Mimarisi	ağaç	ağaç	yıldız	istemci / sunucu
Taşıma	TCP (MQTT-S: UDP)	UDP	TCP	TCP
Ağ Katmanı	IPv4 veya IPv6	IPv6	IPv4 veya IPv6	IPv4 veya IPv6
M2M Haberleşmesi	mevcut	mevcut	mevcut	mevcut değil
Asenkron Mesajlaşma	mevcut	mevcut	mevcut	mevcut değil
Haberleşme Kapsamı	Cihazdan Buluta	Cihazdan Cihaza	Cihazdan Cihaza Cihazdan Buluta Buluttan Buluta	Cihazdan Buluta Buluttan Buluta
Güvenlik	TLS	DTLS, IPSec	SASL / TLS	TLS üzerinden HTTPS
Maks. Mesaj Boyutu	256 MB	64 KB (UDP)	belirsiz	belirsiz

3.6. IoT Ekosisteminde Bulut Bilişim ve Platformlar

Bulut bilişim, bilgi işlem kaynaklarının (ağlar, sunucular, depolama, uygulama ve hizmetler) paylaşıldığı bir alana minimum efor ile ve hızlı şekilde talep modeli üzerinden ağ erişiminin sağlandığı bir yapıdır [25]. Bulut bilişimde farklı bağımsız noktalardaki güçlü sunucular tek bir sunucu gibi davranarak internet bağlantısı üzerinden kullanıcılara hizmet sağlarlar.

Nesnelerin İnterneti doğası gereği üretilen verilerin internet ortamında depolanacağı, işleneceği ve görselleştirileceği ortamlara gereksinim duyar. Veri üreten ekipmanların oluşturduğu Nesnelerin İnterneti ekosisteminde toplanan büyük verilerin kabul edilebilir sürelerde işleneceği, depolanacağı ve uzaktan yönetileceği bir mimari oluşturabilmek için bulut bilişim teknolojileri kullanılmaktadır.

Bu noktada Microsoft, Amazon Web Services, IBM, Google Cloud gibi bulut hizmeti sağlayıcıları kullanıcıların talep ettiği ihtiyaçları hızlıca sunabilme kapasitesine sahip olmaktadır.

Bulut hizmeti sağlayıcıları sundukları farklı servisler ile verilerin karşılanması, diğer hizmetlere yönlendirilmesi, verilerin analiz edilmesi, depolanması ve izlenmesi adına hizmetler sunarlar. Makine öğrenimi veya büyük veri analizine yönelik uygulamaların geliştirilmesi ve önceden hazırlanmış kütüphanelerin kullanılmasına yönelik hizmetler de mevcuttur.

IoT uygulamalarının bulut tabanlı olarak kontrol ve izlenmesine yönelik, Azure, Watson, AWS IoT, Google IoT, ThingSpeak gibi çok sayıda IoT platformları vardır [20]. IoT platformlarının mesajlaşma protokolleri araştırıldığında MQTT protokolünün kullanımının tercih edildiği görülmekte olup Tablo 3.3'te platformların desteklediği mesajlaşma protokolleri gösterilmektedir. Azure IoT Hub platformu mesajlaşma protokolü olarak HTTP (S), MQTT, WebSocket üzerinden MQTT, AMQP ve WebSocket üzerinden AMQP desteğine sahiptir. Google IoT Core ve IBM Watson IoT, HTTP (S) ve MQTT mesajlaşma protokolü desteğine sahiptir. AWS IoT Core ise HTTP (S), MQTT ve WebSocket ilgili protokollerini desteklemektedir.

Tablo 3. 3. IoT platformlarının desteklediği mesajlaşma protokolleri

IoT Platform	Mesajlaşma Protokolü
Azure IoT Hub	HTTP(S), MQTT, WebSocket üzerinden MQTT, AMQP, WebSocket üzerinden AMQP
Google IoT Core	HTTP(S), MQTT
IBM Watson IoT	HTTP(S), MQTT
AWS IoT Core	HTTP(S), MQTT, WebSocket üzerinden MQTT, WebSocket

4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM VE UYGULAMA

Güç kalitesi problemlerini anlamlandırmak adına IEEE 1159 ve NEMA MG standartlarında yer alan tanımlamalardan yararlanılmıştır. Tez çalışmasında belirli güç kalitesi problemlerinin analizi üzerinde durulmuştur. Uygulaması gerçekleştirilen belirli güç kalitesi problemleri uzun süreli gerilim değişimlerinden kaynaklanan aşırı gerilim ve düşük gerilim olayları ile gerilim dengesizliği olaylarıdır. Gerçekleştirilen sistem ile ifade edilmek istenen IoT tabanlı sistem olup tez çalışmasının ana kapsamında yer almaktadır. Uygulama ise IoT tabanlı sistemde GKP'nin tespiti için hayata geçirilen python programlama dili ile kodlanmış olan yapıyı ifade etmektedir.

4.1. Gerçekleştirilen Sistemin Mimarisi

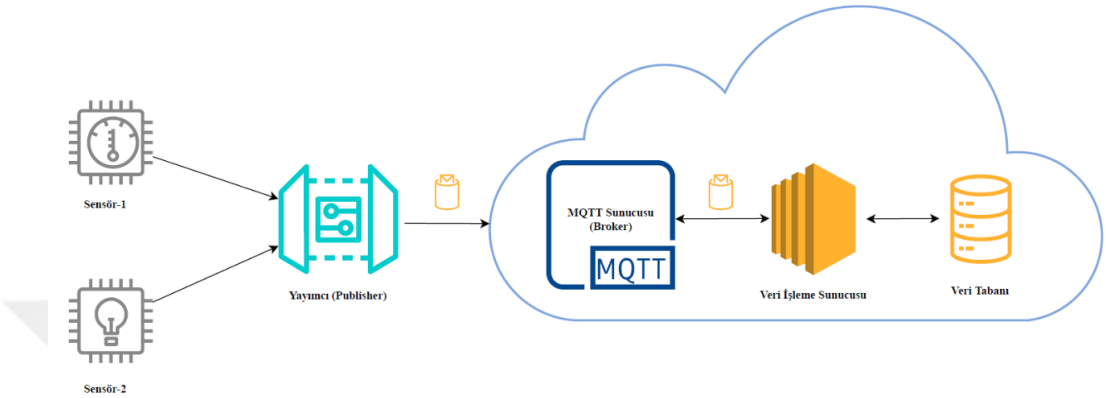
Analiz yapılması planlanan izleme noktası için tasarlanan sistem bileşenleri IoT mimarisi göz önünde bulundurularak yapılandırılmıştır. Güç kalitesi problemlerinin tespit edilmek istendiği noktada güç parametrelerini ölçümlemek adına enerji izleme cihazı konumlandırılır. Enerji izleme cihazı veya enerji sayacı elektriksel güç parametrelerini ölçümleyen ekipman olup tasarlanan mimarideki temel görevi algılayıcı olarak görev almasıdır.

Şekil 4.1'de gösterilen mimaride, enerji izleme cihazı veriyi üreten sensörler (sensör-1 veya sensör-2) bölgesinde yer almaktadır.

Yayımcı olarak adlandırılan ekipman, güç parametrelerini ölçümleyen enerji izleme cihazından verileri belirli protokol vasıtasıyla alarak analiz uygulamasını çalıştıran, hesaplama işleminin yapıldığı ekipmandır. Bu ekipman, gömülü sisteme sahip ve belirli haberleşme protokolleri ile bulut tabanlı sunuculara bağlantıyı gerçekleştirebilen IoT nesnesini ifade etmektedir.

IoT nesnesi üzerinde çalışan analiz uygulaması sürekli olarak güç kalitesi problemi olup-olmadığı ile ilgili işlemler gerçekleştirir. Analiz sonucunda tespit edilen güç kalitesi problemi belirli aralıklar ve koşullarla verileri bulut tabanlı sunuculara iletmektedir.

Bulut tabanlı sunucu altyapısı sayesinde veri depolanabilir, görüntülenebilir veya veriler üzerinden farklı analizler gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen sistem mimarisinin genel mimarisi içinde yer alan her ekipman ve uygulanan işlemler ile analizler çalışmanın ilgili bölümlerde detaylı olarak aktarılmaktadır.



Şekil 4. 1. Gerçekleştirilen sistem mimarisi

4.2. Kullanılan Ekipmanlar

Çalışmada güç kalitesi problemlerini analiz etmek için gerekli ekipmanlar; enerji ölçüm cihazı/enerji sayacı/enerji analizörü, gömülü sisteme sahip olan tek kartlı bir mini bilgisayar ve enerji ölçüm cihazı ile mini bilgisayar arasındaki bağlantısı sağlayan RS485/USB dönüştürücü olarak sıralanır. Tablo 4.1'de çalışmada kullanılan ekipmanlar belirtilmiştir.

Tablo 4. 1. Çalışmada kullanılan ekipmanlar

Kullanılan Ekipman	Adet
PAC 3200 enerji analizörü	1
Raspberry Pi 3B + mini bilgisayar	1
Dönüştürücü	1

Çalışmada kullanılan enerji analizörünün hali hazırda üstünde ethernet portu mevcut olup cihazdan Modbus TCP haberleşme altyapısı ile veri okunduğunda dönüştürücü kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır.

4.2.1. Enerji analizörü

Enerji analizörleri ölçüm noktasındaki akım ve gerilim işaretlerini sayısallaştırarak akım, gerilim, güç, enerji gibi okunabilir ve hesaplanabilir anlamlı değerlere dönüştürerek gösterirler. Tez çalışmasında PAC 3200 adında bir enerji analizörü kullanılmıştır. PAC 3200, fazlar arası 690 V'a kadar gerilim ölçümü yapabilirken, akımı ise akım trafoları aracılığıyla ölçmektedir. Aynı zamanda bu ölçümler ile birlikte aktif enerji, kapasitif enerji, indüktif enerji, THD_I vb. değerleri hesaplamakta ve göstermektedir. PAC 3200'ün üstünde 1 adet dijital giriş ve çıkış bulunmakta olup haberleşme üzerinden bu giriş ve çıkışlar kullanılabilmektedir. Haberleşme altyapısı olarak Modbus RTU ve Modbus TCP'yi destekler. Modbus RTU haberleşme için cihazın arkasına bir modül takılmakta ve bu modül üzerinden haberleşme kurulmaktadır. Modbus TCP haberleşme için ise cihazın üzerinde bulunan ethernet girişi ile fiziksel haberleşme gerçekleştirilebilir. Şekil 4.2'de PAC 3200 cihazının görseli paylaşılmaktadır.

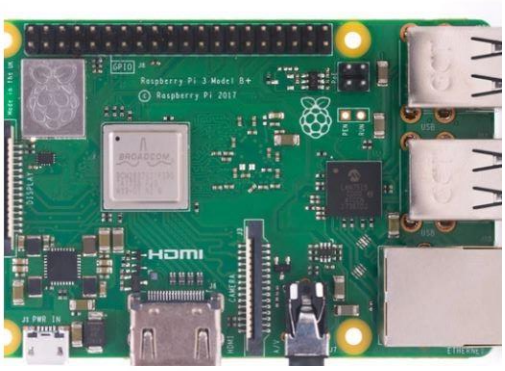


Şekil 4. 2. PAC 3200 cihazı

4.2.2. Tek kartlı mini bilgisayar

Raspberry Pi, Raspberry Pi Foundation tarafından geliştirilen kredi kartı boyutunda tek kartlı bir bilgisayardır [28]. Tek kartlı mini bilgisayar RPi olarak kısaltılabilir. RPi'ler modellerine göre ortalama 5 dolar ile 35 dolar arasında fiyatlandırması olan düşük maliyetli ve mini bilgisayarlardır. Çalışmada Raspberry Pi 3B+ kullanılmıştır. RPi kartı, Cortex A-53 (ARMv8) işlemcili, 1 GB LPDDR2 SDRAM sahip hem kablolu hem de kablosuz olarak internete bağlanabilen çok yönlü bir ekipmandır. Çeşitli işletim sistemlerini çalıştırabilen RPi'de genellikle Debian tabanlı Raspberry

Pi OS ya da Ubuntu kullanılmaktadır. RPi modelinde 4 adet USB 2.0 bağlantı noktası ve HDMI port çıkışı bulunmaktadır. Şekil 4.3'te RPi tek kartlı bilgisayarın görseli paylaşılmaktadır.



Şekil 4. 3. RPi tek kartlı bilgisayar

4.2.3. Dönüştürücü

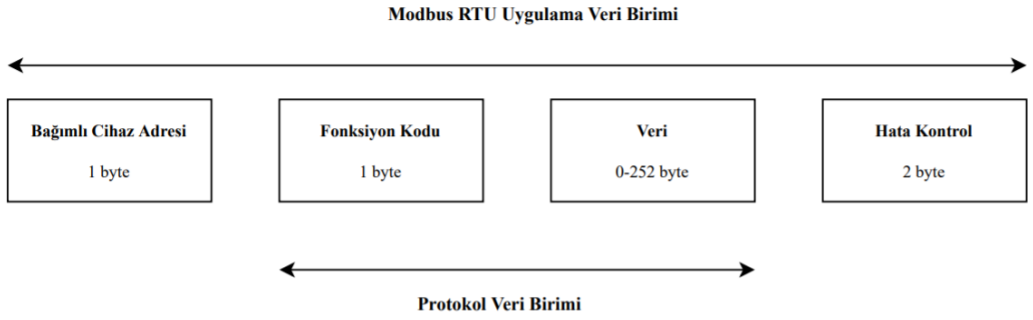
RS 485 haberleşme girişlerinden alınan veriyi USB üzerinden aktarmaya yarayan elektronik karttır. Çalışmada Modbus RTU altyapısı üzerinden veri okuma işlemi yapıldığında RS485/USB dönüştürücü kullanılmaktadır.

4.3. Kullanılan Yöntemin Anlatımı

Çalışmada gerçekleştirilen sistem yapısı ve uygulama ile uzun süreli RMS değişimlerinden kaynaklanan güç kalitesi problemleri olan düşük gerilim, aşırı gerilim problemleri ile gerilim ve akım dengesizliği problemleri oluşması durumunda problem anında okunan güç kalitesi parametreleri (akım, gerilim vb.) ile ilgili problemin bilgileri bulut tabanlı sunuculara gönderilmektedir. Çalışmada ilgili ölçüm noktasındaki elektrik parametrelerini okumak amacıyla PAC 3200 enerji analizörü, dönüştürücü kart ve RPi tek kartlı bilgisayar kullanılmıştır. Gerçekleştirilen uygulama Python programlama dili kullanarak kodlanmıştır. Bu uygulamada belirli güç kalitesi problemlerini analiz etmek için tasarlanmış olup problem anında okunmakta olan güç parametrelerini de kullanır. Böylece problemin anlık olarak tespitinin yanında probleme ilişkin ipuçları sunan daha fazla veriyi de içinde barındırır. Gerçekleştirilen uygulama ile yakalanan probleme ilişkin verilerin bulut tabanlı sunuculara aktarılarak hatalar analiz edilir.

4.4. Sistem Haberleşme Topolojileri

PAC 3200 cihazı 50'den fazla güç parametresini (akım, gerilim, enerji, vb.) gösteren enerji analizörüdür. PAC 3200 enerji analizörü Modbus RTU/TCP ve Profibus DP haberleşme protokollerini desteklemektedir. PAC 3200'den verilerin okunmasında Modbus RTU haberleşme protokolü kullanmaktadır. Modbus RTU, Modbus ailesinde yer alan ve Modicon tarafından 1979 yılında tasarlanan açık erişim protokolü olup endüstriyel haberleşmede yaygın olarak kullanılır [29]. Modbus versiyonlarına bakıldığında Modbus RTU, ASCII ve Modbus TCP/IP olarak ayrı altyapıları içinde barındırır. Çalışmada Modbus RTU haberleşme altyapısı kayıt (register) okumak için kullanılır. Modbus RTU haberleşme protokolü alt yapısında ana cihaz (master) ve bağımlı cihaz (slave) arasındaki iletişim sorgu-yanıt metodu ile sağlanmaktadır. Ana cihazın gönderdiği sorguya bağımlı cihaz cevap vermektedir [29]. Çalışmada ana cihaz olarak RPi kullanılmakta olup bağımlı cihaz olarak PAC 3200 enerji analizörü kullanılmaktadır. RPi, verileri okumak için USB 2.0 çıkışını kullanır. RS485/USB çevirici kart ile PAC 3200'ün RS 485-A ve 485-B uçlarından alınan sinyal RPi'ye aktarılır. Şekil 4.4'te Modbus RTU veri paketi gösterilmiştir.



Şekil 4. 4. Modbus RTU veri paketi

Modbus RTU haberleşmede bağımlı cihaz adresi için 1 byte, fonksiyon kodu için 1 byte, veri alanı için 0-252 byte ve hata kontrol için ise 2 byte'lık yer ayırarak toplamda 256 byte'lık bir veri paketi oluşturulur [36].

Modbus haberleşmede veriyi iletmekte olan cihaz, ilgili veriyi başlangıcı ve sonu belli olan bir yapıda yerleştirir ve RTU modunda veri alanları en az 3,5 karakterlik bekleme süresi ile ayrılmaktadır. Tüm mesajın bir yapı mekanizması karakter akışı üzerine

kurulu olduğu için eğer iletilen iki karakter arasında 1,5 karakter süreden daha fazla zaman geçerse mesaj hata olarak algılanır ve alıcı tarafından kabul edilmemektedir. Bu nedenle modbus mesajlarının iletiminde başlangıç ve bitiş sürelerine dikkat edilmelidir [36].

Aynı zamanda RPi ile PAC 3200 arasındaki veri alış-verişi ethernet altyapısı kullanılarak Modbus TCP metodu ile de okunmaktadır. Çalışmada RPi aracılığıyla PAC 3200 hem Modbus RTU ile hem de Modbus TCP ile ayrı ayrı olarak başarılı bir şekilde okunmuştur.

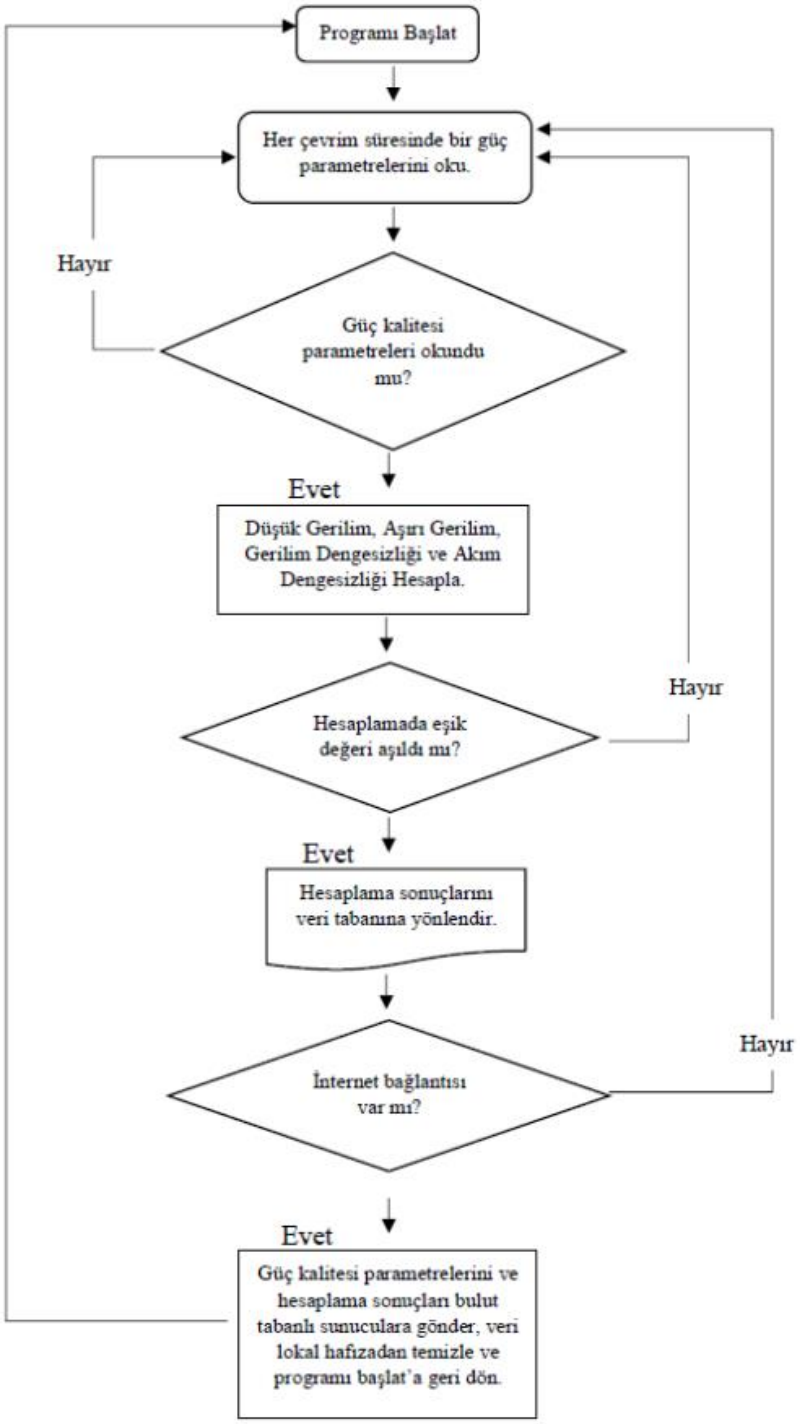
Tablo 4.2'de RPi üzerinde çalışan ve geliştirilen algoritma ile 23 adet modbus adres kaydı devamlı olarak okunmaktadır. Algoritmada modbus adres kayıtlarının okunmasında açık kaynak kodlu pymodbus kütüphanesi kullanılmaktadır. Pymodbus kütüphanesi asenkron iletişim çekirdeği için modbus protokol uygulamasıdır.

Tablo 4. 2. PAC 3200 enerji analizöründen okunan modbus adres değerleri

Ofset	Adres Sayısı	Parametre	Format	Birim	Değer Aralığı
1	2	Gerilim_L1-N	Float	V	-
3	2	Gerilim_L2-N	Float	V	-
5	2	Gerilim_L3-N	Float	V	-
7	2	Gerilim_L1-L2	Float	V	-
9	2	Gerilim_L2-L3	Float	V	-
11	2	Gerilim_L3-L1	Float	V	-
13	2	Akım_L1	Float	A	-
15	2	Akım_L2	Float	A	-
17	2	Akım_L3	Float	A	-
43	2	THD-R Gerilim_L1	Float	%	0…100
45	2	THD-R Gerilim_L2	Float	%	0…100
47	2	THD-R Gerilim_L3	Float	%	0…100
49	2	THD-R Akım_L1	Float	%	0…100
51	2	THD-R Akım_L2	Float	%	0…100
53	2	THD-R Akım_L3	Float	%	0…100
55	2	Şebeke Frekansı	Float	Hz	45…65
801	4	Aktif Enerji	Double	Wh	1.0e+12
817	4	İndüktif Enerji	Double	Varh	1.0e+12
825	4	Kapasitif Enerji	Double	Varh	1.0e+12
37	2	Güç Faktörü_L1	Float	-	0…1
39	2	Güç Faktörü_L2	Float	-	0…1
41	2	Güç Faktörü_L3	Float	-	0…1
69	2	Toplam Güç Faktörü	Float	-	0…1

4.5. Gerçekleştirilen Uygulama Yapısı ve Çalışma Mantığı

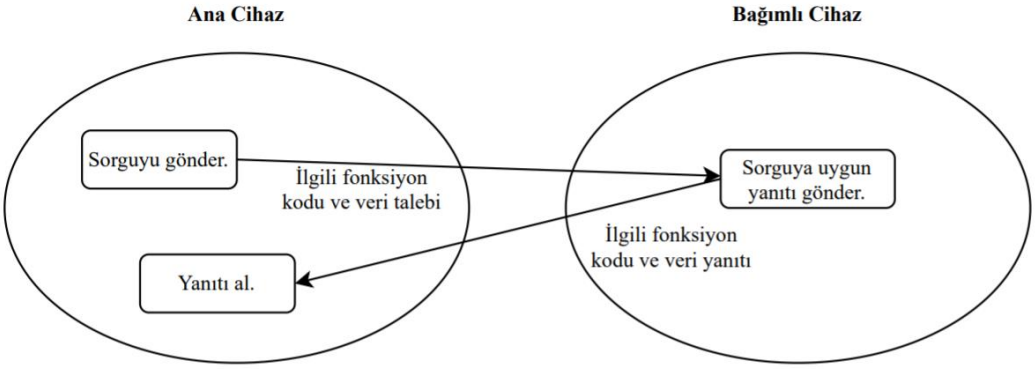
Gerçekleştirilen uygulamanın akış diyagramı Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4. 5. Gerçekleştirilen uygulamanın akış diyagramı

Algoritma programı başlat komutu ile başlar. Her bir çevrim süresinde bir güç parametrelerini (akım, gerilim, enerji, vb.) okur. Güç parametrelerinin okunma durumunu kontrol eder ve eğer hata yok ise düşük gerilim, aşırı gerilim, gerilim dengesizliği ve akım dengesizliğinin analiz edildiği bölüme geçer. Bu bölümde analiz edilen hesaplamaların çıktıları eşik değerler vasıtasıyla kontrol edilir. Eğer eşik değer geçildi ise hesaplama sonuçları ilgili veri tabanına kaydedilir, eşik değer geçilmedi ise döngü sürekli kendini tekrarlar. Böylece tespit edilen problem ve elde edilen veriler doğrudan bulut tabanlı sunucularda kayıt altına alınır.

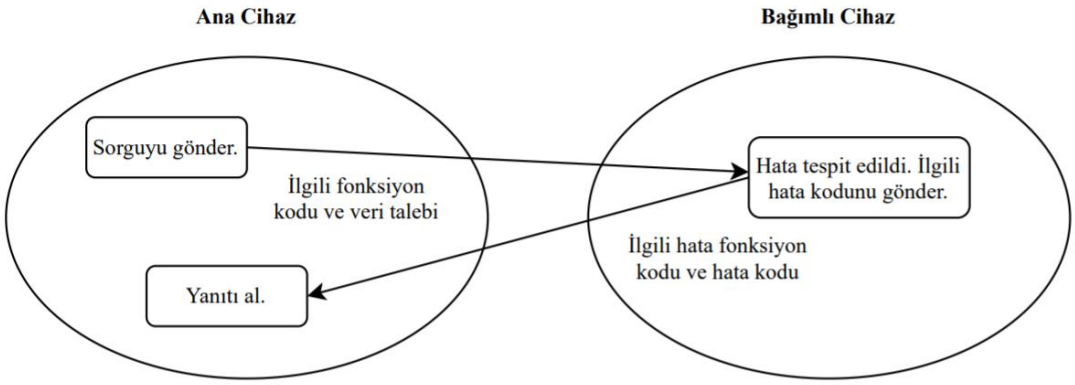
RPi cihazı ile modbus haberleşme altyapısını kullanarak güç parametrelerini okunmakta ve veri iletimi sağlanmaktadır. Ana cihaz olarak görev alan RPi sorguyu gönderme görevini üstlenmektedir. Sorguyu gönderirken ilgili fonksiyon kodu ve veri talebi paketini oluşturarak bağımlı cihaza iletir. Bağımlı cihaz olan PAC sorguya uygun yanıtı ilgili fonksiyon kodu ile birlikte bir paket olarak ana cihaza geri göndermektedir. Ana cihaz ise bağımlı cihazdan gelen yanıtı alarak işleme sokmaktadır. Hatasız bir durumda veri iletimi Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4. 6. Modbus altyapısı ile güç parametrelerinin okunması

İlgili güç parametreleri okunurken ana cihaz olan RPi, güç parametrelerini okuyacağı bağımlı cihaza gönderdiği sorguda bir hata olması durumunda bağımlı cihaz hatalı fonksiyon kodunu ve mesajını ana cihaza geri göndermektedir. Şekil 4.7'de gösterilen hatalı mesaj durumunda ana cihaz, hata koduna sahip olmaktadır. Bu sayede veri haberleşmesinde hata olması durumu RPi'de kontrol edilerek gerçekleştirilen uygulamada bu hata durumu kontrol edilmekte ve hata olmaması durumunda okunan veriler bir sonraki basamak olan düşük gerilim, aşırı gerilim vb. hesaplamaların

yapıldığı bloğa geçmektedir. Hata olması durumunda ise sorgu-yanıt döngüsü tekrarlanmaktadır.



Şekil 4. 7. Modbus haberleşme altyapısında hata oluşması durumu

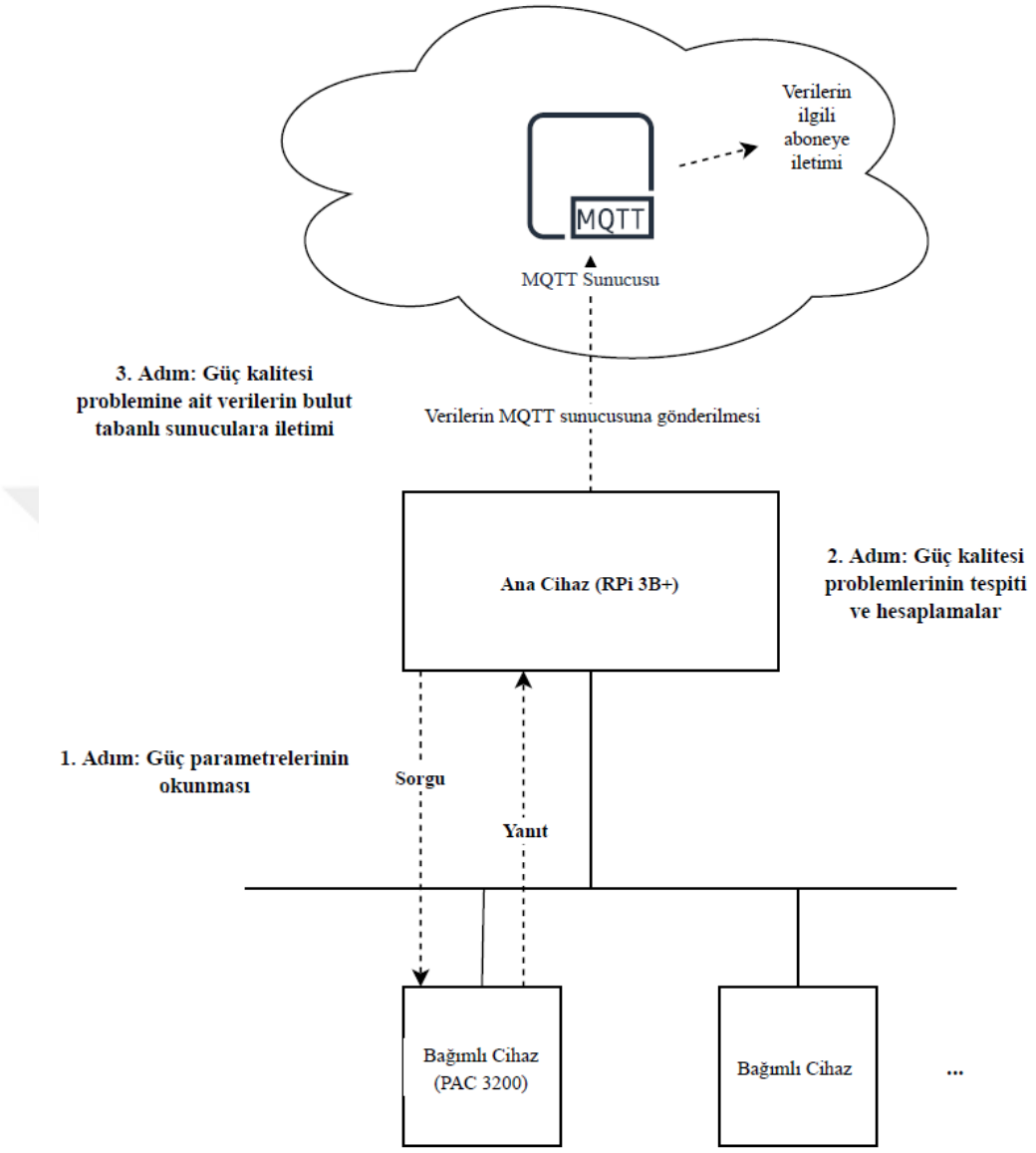
Şekil 4.8'de gerçekleştirilen uygulamanın yapısal görünümü verilmektedir. Uygulama adımları ifade edildiğinde, 1. adımda güç parametrelerinin okuması işlemi gerçekleştirilir. İlgili okuma işlemi Modbus altyapısının gerekliliklerine uygun olacak şekilde ayarlanır.

Daha sonrasında 2. adımda sürekli okunan güç parametreleri üzerinden belirli güç kalitesi problemlerine yönelik analiz işlemleri gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen uygulama ile güç kalitesi problemleri oluştuğunda oluşan hatanın oranı da hesaplanarak 3. adıma hazırlık yapılır.

En son adım olan 3. adımda RPi içerisinde tespit edilen güç problemleri MQTT haberleşme altyapısını kullanarak verileri bulut tabanlı sunuculara iletir. MQTT haberleşme yapısında RPi yayımcı görevini üstlenerek MQTT sunucuna veriyi iletir. MQTT altyapısının bir diğer özelliği ise servis kalitesi (QoS) kullanımı ile verinin aboneye iletimini belirli koşullarda garanti etmesidir.

Verinin doğru adrese ulaşmasını sağlayan MQTT sunucu ilgili veriyi abonelere iletmekte aracıdır. Bu noktada aynı konu (topic) özelinde abonelik gerçekleştiren tüm aboneler veriyi karşılayabilmektedir.

Şekil 4.8'de gerçekleştirilen uygulamanın adımları sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 4. 8. Gerçekleştirilen uygulamanın yapısal görünümü

4.6. Belirli Güç Kalitesi Problemlerinin Sözde Kod İfadeleri

Çalışmada belirli güç kalitesi problemleri olarak tanımlanan uzun süreli RMS değişimlerinden kaynaklanan düşük gerilim, aşırı gerilim ve dengesizlik başlığı altında ele alınan gerilim dengesizliği ve akım dengesizliği problemlerini analiz eden analiz algoritması sözde kod (pseudo code) aracılığıyla açıklanmaktadır.

4.6.1 Düşük gerilim ve aşırı gerilim hesaplaması

IEEE'nin 1159-2009 standardında belirtilen uzun süreli RMS değişimleri kaynaklı düşük gerilim problemi; güç frekansında nominal gerilim seviyesinin 1 dakikadan fazla süre boyunca %80 ile %90 arasında bir değer alması, aşırı gerilim problemi ise; güç frekansında nominal gerilim seviyesinin 1 dakikadan fazla süre boyunca %110 ile %120 arasında bir değer alması olarak tanımlanmaktadır [14]. Geliştirilen algoritmada düşük ve aşırı gerilim hesabını sözde kod (pseudo code) aracılığıyla aşağıdaki gibi açıklanır. Sözde kod açıklamalarında bir çevrim süresi 1 sn. olarak referans alınmıştır.

Düşük gerilim hesabının sözde kod aracılığıyla davranışı;

Bu algoritma uzun süreli RMS değişimlerinden kaynaklanan düşük gerilim probleminin analizinde kullanılmaktadır.

V_{L1}: L1 fazına ait gerilim değerini, V_{L2}: L2 fazına ait gerilim değerini, V_{L3}: L3 fazına ait gerilim değerini göstermektedir.

N_G: nominal gerilim değerini tanımlamakta olup kullanıcı tarafından ölçüm analiz noktasına uygun olacak şekilde girilen değerdir.

1. V_{L1}, V_{L2}, V_{L3} ve nominal gerilim değerini (N_G) oku.
2. Eğer V_{L1} değerleri (N_G x 0,9) değeri ile (N_G x 0,8) değerleri arasında veya bu değerlere eşitse,
3. Düşük gerilim sayacına +="1" yaz ve her döngüde koşul sağlanıyorsa sayacı "+1" arttır.
4. Eğer düşük gerilim sayacı 60 değerine eşitse düşük gerilim değerine ($V_{L1} – N_G$) x 100 / N_G) işleminin mutlak değerini yaz ve düşük gerilim sayacı sıfırlanana kadar her döngüde bir veri tabanına bu değeri kaydet.
5. Eğer V_{L1} değerleri (N_G x 0,9) değeri ile (N_G x 0,8) değerleri arasında değilse düşük gerilim sayacına "0" ata ve düşük gerilim değerine "0" ata.
6. V_{L2}, V_{L3} değerleri içinde V_{L1} için gerçekleştirilen döngünün aynısını tekrarla.
7. Bu döngüyü her değer okuma çevrim süresi boyunca tekrarla.

Sözde kod aracılığıyla anlatımda hesaplama yapısı mantığı sembolize edilerek anlatılmaktadır.

Aşırı gerilim hesabının sözde kod aracılığıyla davranışı;

Bu algoritma uzun süreli RMS değişimlerinden kaynaklanan aşırı gerilim probleminin tespitinde kullanılmaktadır.

VL1: L1 fazına ait gerilim değerini, VL2: L2 fazına ait gerilim değerini, VL3: L3 fazına ait gerilim değerini göstermektedir.

N_G: nominal gerilim değerini tanımlamakta olup kullanıcı tarafından ölçüm analiz noktasına uygun olacak şekilde girilen değerdir.

1. V_{L1}, V_{L2}, V_{L3} ve nominal gerilim değerini (N_G) oku.
2. Eğer V_{L1} değerleri (N_G x 1,1) değeri ile (N_G x 1,2) değerleri arasında veya bu değerlere eşitse,
3. Aşırı gerilim sayacına +="1" yaz ve her döngüde koşul sağlanıyorsa sayacı "+1" arttır.
4. Eğer aşırı gerilim sayacı 60 değerine eşitse aşırı gerilim değerine ($V_{L1} - N_G$) x 100 / N_G) işleminin mutlak değerini yaz ve aşırı gerilim sayacı sıfırlanana kadar her döngüde bir veri tabanına bu değeri kaydet.
5. Eğer V_{L1} değerleri (N_G x 1,1) değeri ile (N_G x 1,2) değerleri arasında değilse aşırı gerilim sayacına "0" ata ve aşırı gerilim değerine "0" ata.
6. V_{L2}, V_{L3} değerleri içinde V_{L1} için gerçekleştirilen döngünün aynısını tekrarla.
7. Bu döngüyü her değer okuma çevrim süresi boyunca tekrarla.

4.6.2. Dengesizlik

Çalışmada gerilim dengesizliği analizinde üç fazın gerilim ortalamasının maksimum sapma değerinden yararlanılır. Bu yöntemde gerilim dengesizliğinin miktarı maksimum sapma oranı ile ölçülür ve hesaplanır [30]. $V_{dengesizlik\%}$ olarak ifade edilen gerilim dengesizliği oranı hesaplama analizi NEMA MG standardına göre ifade edilmektedir. NEMA MG standardında gerilim dengesizliğinin %1'i aşmaması önerilmekte olup yükün özelliklerine göre bu oranın etki değerinin değiştiği belirtilmektedir [31].

Gerilim dengesizliği çoğunlukla üç fazlı sistemlerde bir fazlı yüklerin fazlara eşit dağıtılmamasından kaynaklanmaktadır.

$$V_{dengesizlik\%} = 100 \times \frac{\text{Ortalama gerilim değerinden maksimum sapma}}{\text{Ortalama gerilim değeri}}$$

Akım dengesizliği analizi içinde benzer bir yöntem ile üç fazın akım ortalamasının maksimum sapma değerinden yararlanılır. Bu yöntemde de akım dengesizliği miktarı maksimum sapma oranı hesaplanmaktadır. Akım dengesizliği için doğrudan bir standart bulunmamakla birlikte yükün özelliklerine göre önerilen farklı sınır değerler mevcuttur [32].

$$I_{dengesizlik\%} = 100 \times \frac{\text{Ortalama akım değerinden maksimum sapma}}{\text{Ortalama akım değeri}}$$

Gerilim-akım dengesizliğinin sözde kod (pseudo code) aracılığıyla davranışı;

Bu algoritma gerilim ve akım dengesizliklerinin analizinde kullanılmaktadır.

V_{L1}: L1 fazına ait gerilim değerini, V_{L2}: L2 fazına ait gerilim değerini, V_{L3}: L3 fazına ait gerilim değerini göstermektedir.

I_{L1}: L1 fazına ait akım değerini, I_{L2}: L2 fazına ait akım değerini, I_{L3}: L3 fazına ait akım değerini göstermektedir.

V_{Dmin}: minimum beklenen gerilim dengesizliği oranını gösterir. V_{Dmax}: maksimum gerilim dengesizliği eşik değeri oranını gösterir. I_{Dmin}: minimum beklenen akım dengesizliği oranını gösterir. I_{Dmax}: maksimum akım dengesizliği eşik değerini gösterir.

1. V_{L1}, V_{L2}, V_{L3}, I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} değerlerini oku.
2. V_{L1}, V_{L2}, V_{L3} gerilim değerlerinin aritmetik ortalamasını al ve ortalama gerilim değerine bu değeri yaz.
3. V_{L1} değeri ile ortalama gerilim değeri arasındaki farkın mutlak değerini al, ortalama gerilim değerine böl, 100 ile çarp ve $V_{L1dsiz\%}$ değerine yaz.
4. V_{L2} değeri ile ortalama gerilim değeri arasındaki farkın mutlak değerini al, ortalama gerilim değerine böl, 100 ile çarp ve $V_{L2dsiz\%}$ değerine yaz.
5. V_{L3} değeri ile ortalama gerilim değeri arasındaki farkın mutlak değerini al, ortalama gerilim değerine böl, 100 ile çarp ve $V_{L3dsiz\%}$ değerine yaz.

6. $V_{L1dsiz\%}$, $V_{L2dsiz\%}$, $V_{L3dsiz\%}$ değerlerinden en büyük olanını $V_{dsiz\%}$ değerine yaz.
7. Eğer $V_{dsiz\%}$ değişkeni V_{Dmin} ile V_{Dmax} değeri arasında ise aynı işlemi döngü boyunca tekrarla değilse $V_{dsiz\%}$ değişkenin diğer okunan tüm güç kalitesi parametreleri ile birlikte veri tabanına yaz.
8. I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} akım değerlerinin aritmetik ortalamasını al ve ortalama akım değerine bu değeri yaz.
9. I_{L1} değeri ile ortalama akım değeri arasındaki farkın mutlak değerini al, ortalama akım değerine böl, 100 ile çarp ve $I_{L1dsiz\%}$ değerine yaz.
10. I_{L2} değeri ile ortalama akım değeri arasındaki farkın mutlak değerini al, ortalama akım değerine böl, 100 ile çarp ve $I_{L2dsiz\%}$ değerine yaz.
11. I_{L3} değeri ile ortalama akım değeri arasındaki farkın mutlak değerini al, ortalama akım değerine böl, 100 ile çarp ve $I_{L3dsiz\%}$ değerine yaz.
12. $I_{L1dsiz\%}$, $I_{L2dsiz\%}$, $I_{L3dsiz\%}$ değerlerinden en büyük olanını $I_{dsiz\%}$ değerine yaz.
13. Eğer $I_{dsiz\%}$ değişkeni I_{Dmin} ile I_{Dmax} değeri arasında ise aynı işlemi döngü boyunca tekrarla değilse $I_{dsiz\%}$ değişkenin diğer okunan tüm güç kalitesi parametreleri ile birlikte veri tabanına yaz.
14. Bu döngüyü her değer okuma çevrim süresi boyunca tekrarla.

4.6.3. Bulut tabanlı sunuculara entegrasyon

Hesaplanan verilerin veri tabanına kaydedilmesi için açık kaynak kodlu nesne-ilişkisel işlem yapan PostgreSQL veri tabanı yönetim sistemi kullanılmıştır. PostgreSQL Kaliforniya Üniversitesi Berkeley Bilgisayar Bilimi departmanı tarafından geliştirilmiş olup açık kaynak kodlu ücretsiz bir veri tabanı yönetim sistemidir [34]. Uygulamada yakalanan güç kalitesi problemleri PostgreSQL veri tabanına yazılır. Algoritma her çevrim süresinde bir internet bağlantısının var olup-olmadığını kontrol ederek internet bağlantısı var ise Mesaj Kuyruk Telemetri Ulaştırma Protokolü (MQTT) protokolü aracılığıyla RPi ile bulut tabanlı sunucular arasında veri akışı sağlar. Gerçekleştirilen uygulamada ilk veri transferi denemeleri HTTP komutları kullanılarak yapılmış ancak MQTT protokolünün sisteme entegrasyonu ile MQTT protokolünün daha kullanışlı olduğu görülerek bu protokol üzerinden ilerlenmiştir. Ek-A ve Ek-B'de görüleceği üzere test işlemleri sırasında MQTT sunucusuna iletilen veriler MQTT.fx programı aracılığıyla izlenmiştir. Veri paketleri JavaScript Nesnesi Gösterimi (JSON) formatında olup okunabilir bir yapıda iletilir. JavaScript Nesnesi

Gösterimi hafif bir veri değişim formatı olduğundan veri iletimini kolaylaştıran bir yapısı vardır. Şekil 4.9'da algoritmanın sunuculara gönderdiği veri paketi gösterilmiştir. Ek-C'de JavaScript Nesnesi gösterimine ait bir veri paketi örneği mevcuttur.


```
{
    "Kayit": [
        {
            "gerilim_l1n": "231.322021484",
            "gerilim_l2n": "230.694091797",
            "gerilim_l3n": "230.584442139",
            "akim_l1": "2.06985521317",
            "akim_l2": "2.06956362724",
            "akim_l3": "2.06924748421",
            "akim_dengesizligi": "0.0148803615094",
            "gerilim_dengesizligi": "0.0961659151791",
            "frekans_degeri": "49.9947509766",
            "guc_faktoru_l1": "0.171137407422",
            "guc_faktoru_l2": "0.165669575334",
            "guc_faktoru_l3": "0.187258318067",
            "yuksek_gerilim_degeri_l1": "12.7086711381",
            "yuksek_gerilim_degeri_l2": "12.9456257369",
            "yuksek_gerilim_degeri_l3": "12.9870029664",
            "thd_akimi_l1": "6.07288503647",
            "thd_akimi_l2": "5.12700462341",
            "thd_akimi_l3": "7.44227266312",
            "toplam_aktif_enerji": "4.48641014099",
            "toplam_guc_faktoru": "0.174773827195",
            "toplam_induktif_enerji": "5.68814992905",
            "toplam_kapasitif_enerji": "0.91361361742",
            "gerilim_l1_l2": "400.120300293",
            "gerilim_l2_l3": "399.488769531",
            "gerilim_l3_l1": "400.010864258",
            "zaman": "2020-01-08 20:51:40"
        },
```


Şekil 4. 9. Algoritmanın sunuculara gönderdiği veri paketi

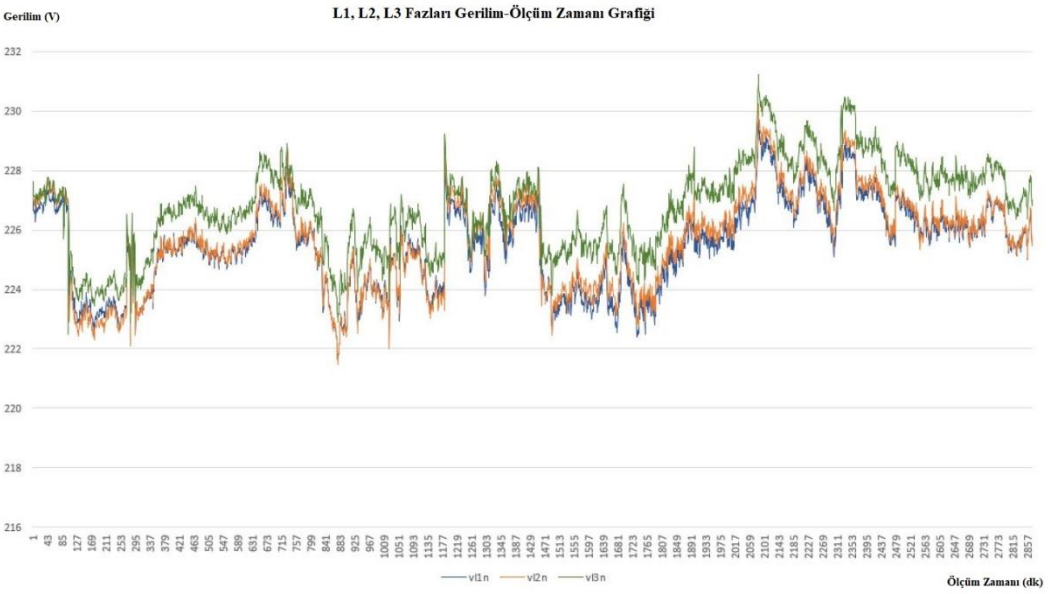
4.7. Gerçekleştirilen Sistem ve Uygulama Testleri

Yapılan çalışmada Python programlama dili ile RPi üzerinde düşük gerilim, aşırı gerilim ve akım-gerilim dengesizliklerinden kaynaklanan güç kalitesi problemlerini tespit eden ve sistemin ilgili güç parametreleri ile kayıt altına alınmasını sağlayan IoT tabanlı bir prototip sistem ve uygulama ile test edilmiştir.

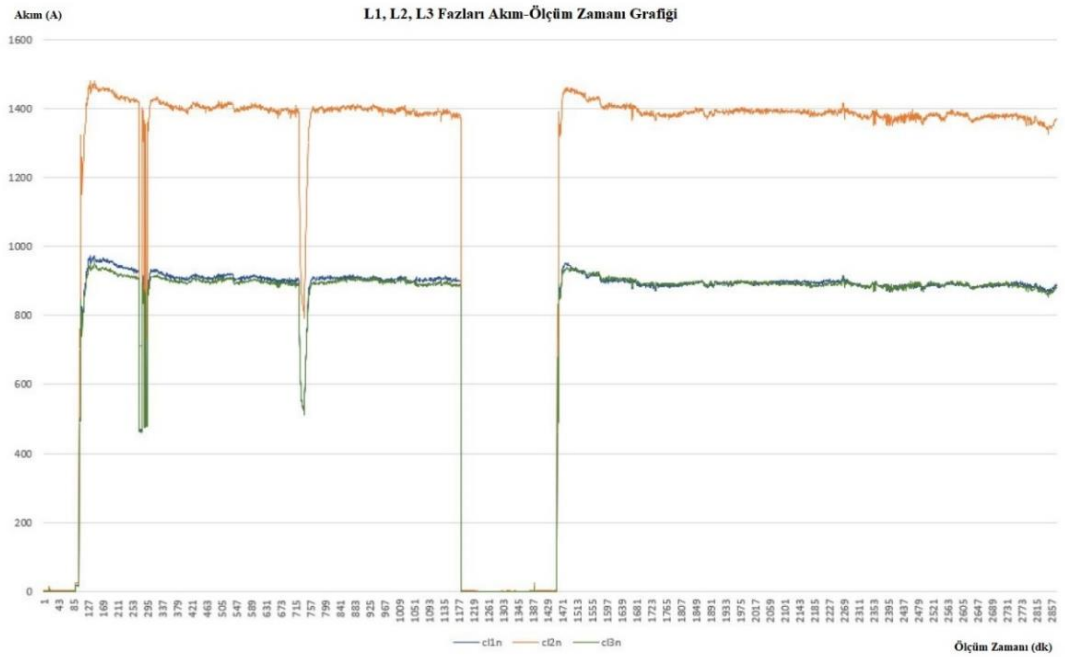
Test işlemi 2500 kVA gücündeki trafodan beslenen elektrik panosunda maksimum akım kesme kapasitesi 2500 A olan 3 kutuplu otomatik şalterin çıkışında test edilmiştir. İlgili panoya bağlanan PAC 3200 enerji analizöründen RPi aracılığıyla veriler alınmış ve buluttaki sunuculara aktarılmıştır. Test işlemi 48 saatlik bir periyot boyunca yapılarak her bir dakikada bir buluttaki sunuculara veriler göndermiştir.

Test verileri grafik haline getirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Şekil 4.10'da test işleminde her bir L1, L2, L3 fazı için gerilim ölçüm değerleri gösterilmiştir. Tüm fazlar incelendiğinde gerilim değeri 221,71 V ile 231,22 V arasında değişkenlik göstermiştir.

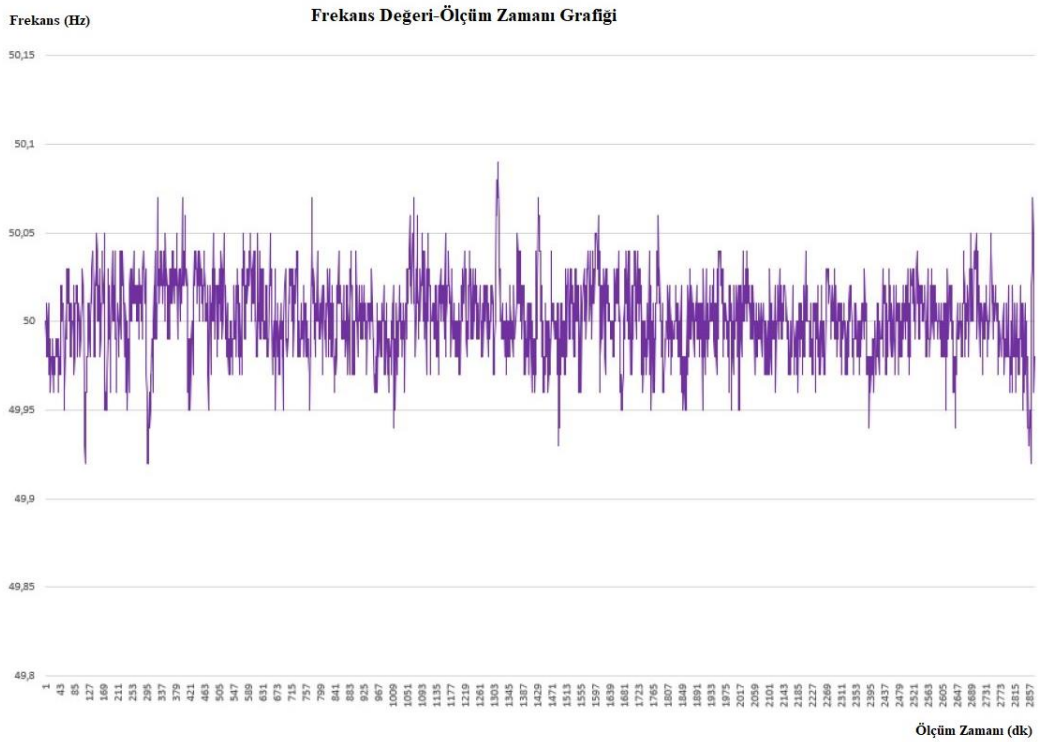
Şekil 4.11'de her bir L1, L2, L3 fazı için akım ölçüm değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.12'de frekans ölçüm değerleri gösterilmiştir. Frekans değeri 49,92 Hz ile 50,09 Hz arasında salınım göstermiştir.



Şekil 4. 10. Faz gerilimleri - ölçüm zaman grafiği



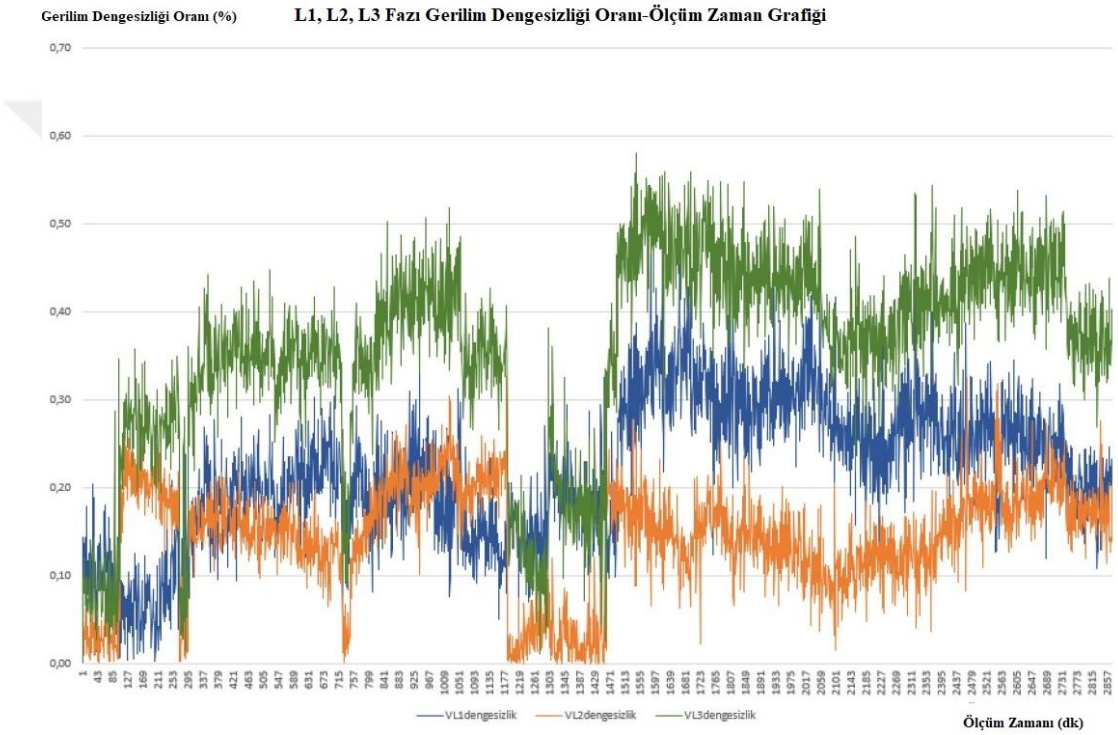
Şekil 4. 11. Faz akımları – ölçüm zamanı grafiği



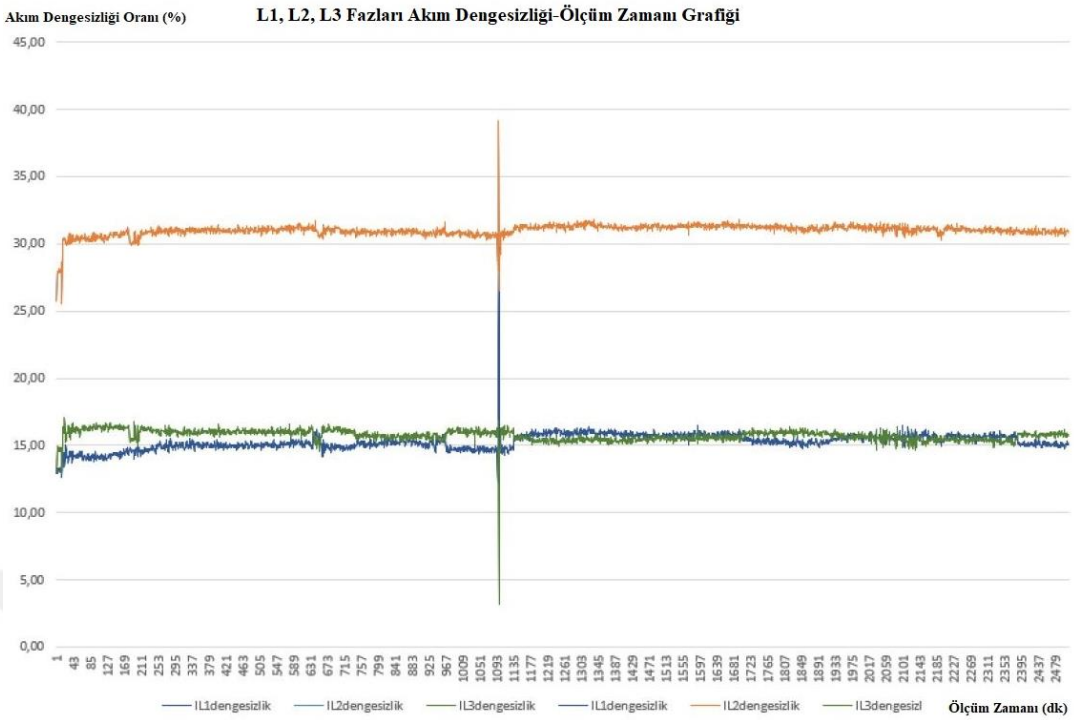
Şekil 4. 12. Frekans değeri – ölçüm zamanı grafiği

Şekil 4.13'te L1, L2 ve L3 fazlarında gerilim dengesizliği verileri grafikte gösterilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde sistemde gerilim dengesizlik oranları %1'in altında olduğu görülmektedir. İncelenen verilere göre gerilim dengesizliği probleminin görülmediği söylenebilir. Şekil 4.14'te L1, L2 ve L3 fazlarında akım dengesizliği

verileri grafikte gösterilmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde sistem normal çalışma durumunda L1 ve L3 fazlarının akım dengesizliği önerilen sınır eşik değeri içinde (%30) olduğu saptanmıştır. L2 fazı incelendiğinde akım dengesizlik oranının olması gereken sınırın üstünde olup %30,02 ile %31,81 değerleri değiştiği görülmektedir. Sistem, 48 saatlik periyotta incelendiğinde belirli periyotlarda devam eden akım dengesizliği problemi kayıtları mevcuttur. Akım dengesizliği probleminin tespit edildiği anda diğer güç parametreleri de kayıt altına alınmış ve grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 4. 13. Gerilim dengesizliği oranları – ölçüm zaman grafiği



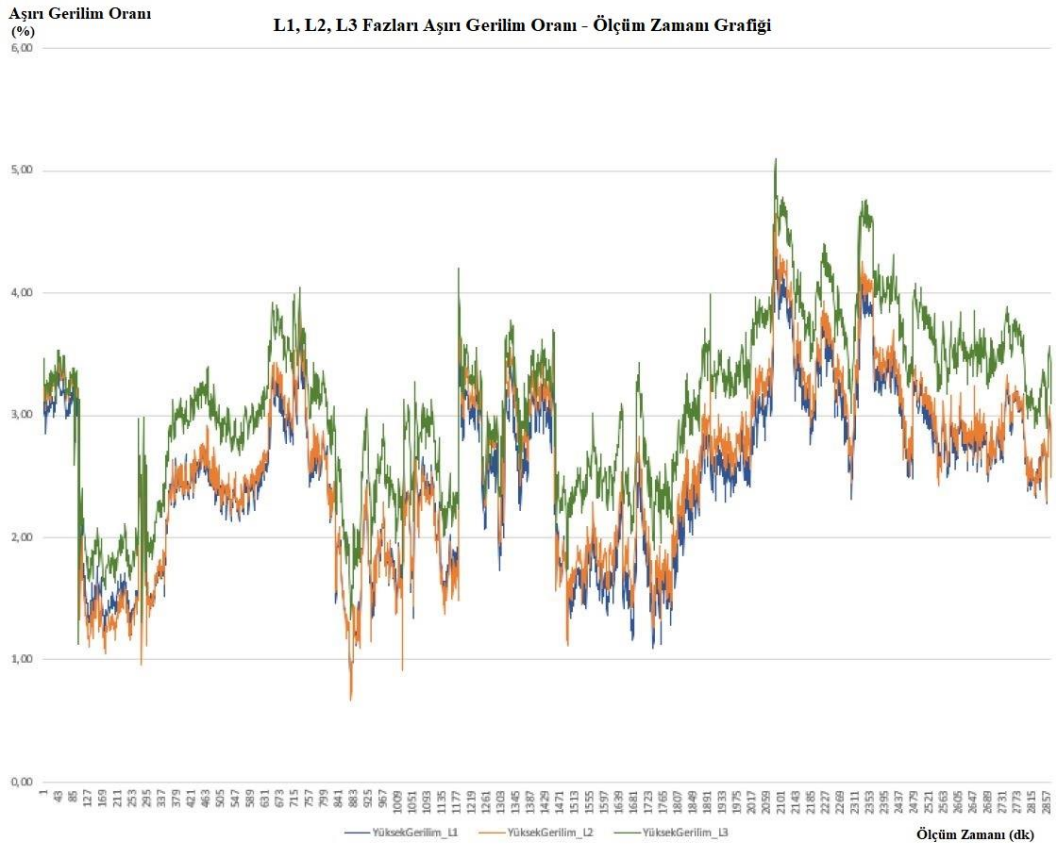
Şekil 4. 14. Akım dengesizliği oranları – ölçüm zamanı grafiği

Şekil 4.15'te her bir faz için aşırı gerilim analizine göre oluşmuş oranlar grafikte gösterilmiştir. Şekil 4.15'te veriler incelendiğinde çalışma gerilimi %110'un üstüne çıkmamış olduğu görülmektedir. En yüksek ölçülen aşırı gerilim oranı L3 fazında %5,10 değerinde olup bu değerin karşılığı nominal gerilimin %105,10'una denk gelmektedir.

Sistemden alınan ölçüm değerlerinde nominal gerilim değerinin altında bir ölçüm alınmamıştır ve bu sebeple düşük gerilim tespit edilmemiştir.

Sistemde N_G ile belirtilen nominal gerilim değeri, uygulamada değişken olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple analizi gerçekleştirilmek istenen farklı bir izleme noktasında nominal gerilim değeri değişkenlik gösteriyorsa sistem içerinden bu değer rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Bu sayede her bir izleme noktası için ayrı ayrı uygulama yazmaya ihtiyaç duyulmadan ilgili değişken değiştirilebilmektedir.

Uygulamada izleme noktasına ait tüm veriler yapının daha iyi aktarılması adına ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Bu noktada izleme noktasından olabildiğince fazla veri alınarak gösterim işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4. 15. Aşırı gerilim oranları - ölçüm zamanı grafiği

4.8. Mevcut Sistem ile Gerçekleştirilen Sistemin Karşılaştırması

Mevcut sistemin geneline bakıldığında topoloji, hali hazırdaki enerji analizörlerinin PLC aracılığıyla okunması ve okunan verilerin mevcut bir sunucuda kaydedilmesi üzerine konumlanmıştır. Mevcut sistemde sadece gerilim, akım ve enerji değerleri okunmaktadır. Bu değerler üzerinden güç kalitesi problemlerine yönelik doğrudan analizler gerçekleştirilmemektedir. Gerçekleştirilen IoT tabanlı sistemde ise hali hazırdaki enerji analizörleri RPi aracılığıyla okunup belirli güç kalitesi problemleri analiz edilerek belirli çıktılar bulut tabanlı bir sisteme aktarılmaktadır. Gerçekleştirilen sistemde tesiste lokal bir sunucu bulunmamaktadır.

Tesis içinde mevcut sistemin uygulanmasında oluşan maliyetler Tablo 4.3'te verilmiştir. Oluşan maliyetler, hali hazırda sahada bulunan enerji izleme cihazlarından (izleme noktaları) veri okunacak şekilde hesaplanmıştır. Enerji izleme cihazlarının hali hazırda sahada çalışır olduğu ve ilgili haberleşme alt yapısının mevcut olduğu göz önünde bulundurulmaktadır.

Tablo 4. 3. Mevcut sistem ekipmanları

Mevcut sistem ekipmanları
PLC CPU
Güç Kaynağı - 24 VDC
Endüstriyel PC
PLC CPU - Endüstriyel PC arası kablo (100 m)
Toplam Fiyat: 1667 Euro

Gerçekleştirilen IoT tabanlı sistem ekipmanları incelendiğinde Tablo 4.4'te belirtilen ekipmanlar mevcut sistemin ihtiyacını karşılayacak şekilde hesaplanmaktadır.

Tablo 4. 4. Gerçekleştirilen sistem ekipmanları

Gerçekleştirilen sistem ekipmanları
Raspberry Pi 3 Model B+
Güç Kaynağı - 5 VDC
IoT Bulut Platformu Lisans Bedeli - (Yıllık)
Toplam Fiyat: 881 Euro

Mevcut sistem ekipmanları ile oluşan yapı için gerekli ilk yatırım maliyeti 1667 Euro'dur.

Gerçekleştirilen IoT tabanlı sistem ekipmanları göz önüne alındığında, aynı yapı için gerekli ilk yatırım maliyeti 881 Euro'dur.

Karşılaştırılan sistemler için ilk yatırım maliyetleri incelendiğinde, mevcut sisteme göre gerçekleştirilen IoT tabanlı sistemin %47,15 oranında daha ekonomik olduğu söylenebilir. Ancak gerçekleştirilen sistemde IoT bulut platformuna ödenen tekrarlayan yıllık ücretler nedeniyle, belirli bir süre sonra mevcut sistem ekipmanlarına göre toplam maliyet unsuru artış göstermektedir. Bu noktada değerlendirme yapılırken ihtiyaçlar ve farklı başlıkları içeren noktalar da göz önünde bulundurulmalıdır.

İlgili değerlendirme noktalarına bakıldığında mevcut sistemin gerçekleştirilen sisteme göre avantajları yıllık tekrarlayan maliyetlerin olmaması ve doğrudan endüstriyel donanımlar içermesi olarak ifade edilebilir. Diğer bir yandan, gerçekleştirilen IoT tabanlı uygulamanın mevcut sisteme göre avantajları ise sistemin farklı IT platformları

ile ortak çalışabilmesi, uzaktan yönetilebilmesi, güncellenebilme yeteneklerinin artması, verilerin istenilen doğrultuda yönetilebilmesi ve depolanabilmesi olarak ifade edilebilir.

Güç kalitesi izleme uygulamalarından alınacak çıktıların artırılabilmesi için gelişen teknolojilerin mevcut yapılara entegrasyonu sağlanmalıdır. Bu noktada makine öğrenmesi, yapay zekâ uygulamaları ve büyük veri analizleri ihtiyaç duyulan teknolojileri bünyesinde barındırır. Gerçekleştirilen çalışmada daha fazla katma değerli uygulamaları hayata geçirmek için IT tabanlı yeteneklerin, nesnelerin interneti ve bulut tabanlı teknolojilerin mevcut sistemlere adaptasyonu giderek önem kazanmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında IEEE ve NEMA gibi kuruluşların standartlarında tanımladığı belirli güç kalitesi problemlerinin tespit edilmesi ve analizine yönelik, ihtiyaca hizmet eden düşük yatırım maliyetli, verileri uygun formatta depolayabilen bir sistem yapısı ve bu yapının uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Standartlarda tanımlanan belirli güç kalitesi problemlerini ihtiyaca uygun olacak şekilde düşük yatırım maliyetleri ile tespit edebilmek; problemi oluştuğu anda o ana ait okunabilen diğer güç parametreleri ile birlikte kayıt altına alabilmek; tüm bunları yaparken bu verilerin kolay erişilebilir olması ve makine öğrenmesi, yapay zekâ ile büyük veri uygulamalarında kullanımına dönük şekilde bulut tabanlı olarak depolamak güç kalitesi problemlerinin azaltılmasına ve buna bağlı olarak sistemlerde operasyonel verimliliğin artmasına imkan sağlamaktadır.

Tez çalışmasında güç kalitesi kavramının ve güç kalitesi problemlerinin tanımlanmasına yönelik çalışma yürütülmüştür. IEEE 1159-2009 standardının tanımladığı güç kalitesi olayları detaylı bir şekilde incelenmiştir. İzleme sistemlerinin güç kalitesi problemlerinin çözümüne yönelik uzun vadeli özellikleri değerlendirilmiş ve Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim teknolojilerinin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik yeni yaklaşımlar getirdiği görülmüştür.

Nesnelerin İnterneti teknolojisini daha iyi anlamak adına çalışmalar yürütülmüştür. IoT ekosistemi ve genel mimarisi, haberleşme ve mesajlaşma protokolleri irdelenerek tez konusu üzerine getirilen yaklaşımlar ortaya konulmuştur.

Nesnelerin İnterneti teknolojisini kullanarak belirli güç kalitesi problemlerini analiz etmek için kullanılan ekipmanlar, gerçekleştirilen sistem ve uygulama detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Uygulama içerisinde yer alan uzun süreli gerilim değişimleri altında yer alan aşırı gerilim, düşük gerilim, gerilim dengesizliği ve akım dengesizliği analizleri sözde kod

aracılığıyla ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Aynı zamanda geliştirilen sistemin prototipi ve ilgili uygulama belirli süre zarfında test edilmiş ve test sonuçları değerlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen IoT tabanlı sistem yapısı ile mevcutta test yapılan sistem karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda %47,15 oranında daha düşük ilk yatırım maliyeti ile belirli güç kalitesi problemlerinin tespit edilebileceği görülmüştür. Gerçekleştirilen sistemde IoT bulut platformuna ödenen tekrarlayan yıllık ücretler nedeniyle, belirli bir süre sonra mevcut sistem ekipmanlarına göre toplam maliyet unsuru artış göstermektedir. Bu noktada ihtiyaçlara özgü ve aynı zamanda farklı başlıkları içeren değerlendirme noktaları göz önünde bulundurularak sistem uygulamaları gerçekleştirilmelidir.

Güç kalitesi problemlerinin oluştuğu anda problemin tespitini yapabilmek ve oluşan çıktıları bulut tabanlı sistemler ile buluşturabilmek; ilerleyen dönemlerde makine öğrenmesi ve yapay zekâ uygulamaları sayesinde problemlerin tespitini daha hızlı ve ekonomik hale getirebilecek çalışmaların önünü açacaktır. Özellikle endüstride ve binalarda bu tip veriye dayalı iyileştirme çalışmalarının hayata geçirilmesi, sistem verimliliklerinin artışına, buna bağlı olarak maliyet optimizasyonu sağlanmasına ve uzun vadeli yatırımların mühendislik yaklaşımı ile yapılmasına daha fazla olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Alvani A. S., Rashidi R., Design and Constructıon Monitoring System Parameters of Power Quality, *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE),* 2010, **3**(7), 92-99.

[2] Yingkayun K., Premrudeepreechacharn S., Watson N. R., Higuchi K., Power Quality Monitoring System Based on Embedded System with Network Monitoring, *Scientific Research and Essays,* 2012, **7**(11), 1280-1292.

[3] Erhan K., Gerilim Çentiği Tespiti İçin Yeni Bir Algoritma Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 335833.

[4] Yıldırım Ö., İnternet Tabanlı Güç Kalitesi İzleme Sisteminin Donanımsal ve Yazılımsal Olarak Gerçekleştirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2015, 405946.

[5] Leccese F., Cagnetti M., Di Pasquale S.,Giarnetti S., Caciotta M., A New Power Quality Instrument Based on Raspberry-Pi, *Electronics,* DOI:10.3390/electronics5040064.

[6] Akash, A. B., IoT-based Temperature and Humidity Monitoring System for Agriculture, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET),* 2017, **6**(7), 12756-12761.

[7] Atmoko R. A., Riantini R., Hasin M. K., IoT Real Time Data Acquisition Using MQTT Protocol, *Journal of Physics: Conference Series,* DOI: 10.1088/1742-6596/853/1/012003.

[8] Khandel H., Pandey S., Reynolds D., IoT Based Power Consumption Monitoring and Controlling System, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET),* 2018, **5**(07), 2211-2218.

[9] Aghenta, L. O., Iqbal T., Design and Implementation of a Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Using ESP32 with OLED, Thingsboard and MQTT Protocol, *AIMS Electronics and Electrical Engineering,* 2019, **4**(1), 57–86.

[10] Yurduseven E., Güç Kalitesi Parametrelerinin IEC 61000-4-30 Sınıf A Standardına Uygun Şekilde Ölçülmesi İçin Algoritma Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020, 632960.

[11] Gunawan T. S., Anuar M. H., Kartiwi M., Janin Z., Design of Power Factor Meter Using Internet of Things for Power Factor Improvement, Remote Monitoring and Data Logging, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2019, **17**(2), 700-709.

[12] Dugan, R.C., Mcgranaghan, M.F., Beaty H.W., Santoso S., Electrical Power Systems Quality, 2nd ed., McGraw-Hill Education, New York, 2012.

[13] Erişti B., Güç Kalitesi Problemlerini Gerçek Zamanlı Olarak Belirleyen FPGA Tabanlı Akıllı Tanıma Sistemi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2015, 405928.

[14] Kumar P., A Review of Power Quality Problems, Standards and Solutions, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2017, **4**(1), 1765-1775.

[15] IEEE 1159-2009, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, New York, 2009.

[16] Akpınar K.N, Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi Sorunları Üzerine Melez Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2018, 530029.

[17] Lev-Ari, H., Stanković, A. M., Lin, S., Application of Staggered Undersampling to Power Quality Monitoring, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2000, **15**(3), 864–869.

[18] Khan A.K., Monitoring Power for the Future, *Power Engineering Journal*, 2001, **15**(2), 81-85.

[19] Öztürk E., Nesnelerin İnterneti İçin Genel Amaçlı Yeni Bir Mimari Modelin Önerilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2018, 492432.

[20] Bayılmış C., Küçük K., IoT Haberleşme Protokolleri, Editörler: Çölkesen T.R, Uğurkaya C., Nesnelerin İnterneti Teori ve Uygulamaları, 1st ed., Papatya Bilim Yayınevi, İstanbul, 156, 2019.

[21] ITU-T Y.2060, Overview of the Internet of Things, *International Telecommunication Union*, Geneva, 2013.

[22] Naik N., Choice of Effective Messaging Protocols for IoT Systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP, *IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE),* DOI: 10.1109/SysEng.2017.8088251.

[23] Ludovici A., Moreno P., Calveras A., TinyCoAP: A Novel Constrained Application Protocol (CoAP) Implementation for Embedding RESTful Web Services in Wireless Sensor Networks Based on TinyOS, *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2013, **2**(2), 288-315.

[24] Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aledhari M., Ayyash M., Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015, **17**(4), 2347-2376.

[25] NIST 800-145, The NIST Definition of Cloud Computing, *National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, 2011.

[26] Han N. S., Semantic Service Provisioning for 6lowpan: Powering Internet of Things Applications on Web, Ph.D. dissertation, Institut National des T´el´ecommunications, 2015.

[27] Yokotani T., Sasaki Y., Comparison with HTTP and MQTT on Required Network Resources for IoT, *2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, DOI: 10.1109/ICCEREC.2016.7814989.

[28] Nayyar A., Puri V., Raspberry Pi- A Small, Powerful, Cost Effective and Efficient Form Factor Computer: A Review, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2015, **5**(12), 720-737.

[29] Ádámkó É., Jakabóczki G., Szemes P. T., Proposal of a Secure Modbus RTU Communication with Adi Shamir's Secret Sharing Method, *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 2018, **64(**2), 107-114.

[30] Pillay P., Manyage M., Definitions of Voltage Unbalance, *IEEE Power Engineering Review*, 2001, **21**(5), 50-51.

[31] NEMA MG-1, Motors and Generators, *National Electrical Manufacturers Association*, Rosslyn, 1993.

[32] Arghavani H., Peyravi M., Unbalanced Current-Based Tariff, *24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED)*, DOI: 10.1049/oap-cired.2017.0129.

[33] Al-Masri E., Kalyanam K., Batts J., Kim J., Singh S., Vo T., Yan C., Investigating Messaging Protocols for the Internet of Things (IoT), *IEEE Rapid Review*, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2993363.

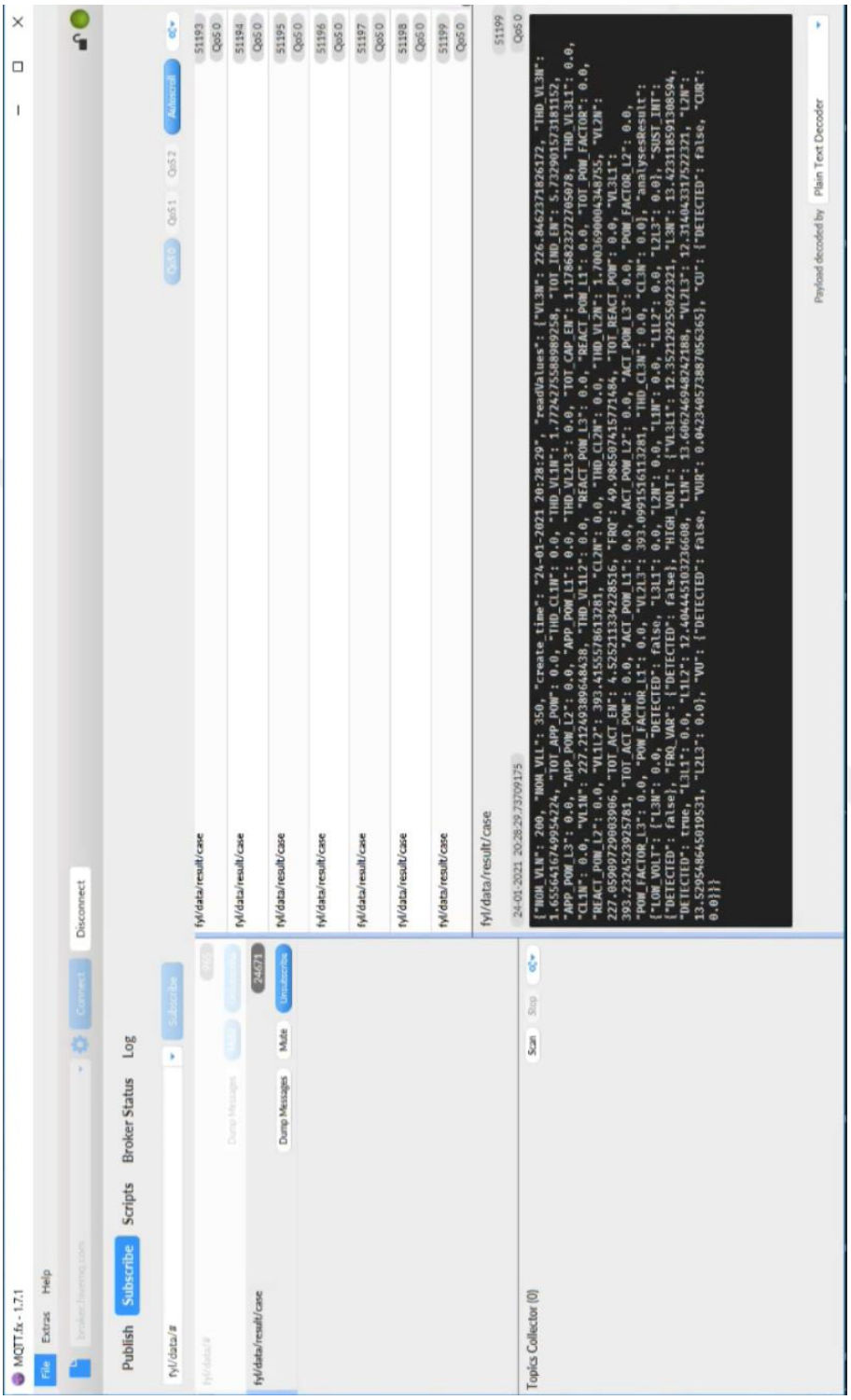
[34] https://www.postgresql.org/files/documentation/pdf/10/postgresql-10-A4.pdf (Ziyaret Tarihi: 10.03.2020).

[35] https://ee.mam.tubitak.gov.tr/sites/images/ee_mam/gkc_brosur_tr.pdf (Ziyaret tarihi: 16.12.2020).

[36] Akkaya Ş., FPGA Tabanlı Modbus Ağ Geçidi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 389317.

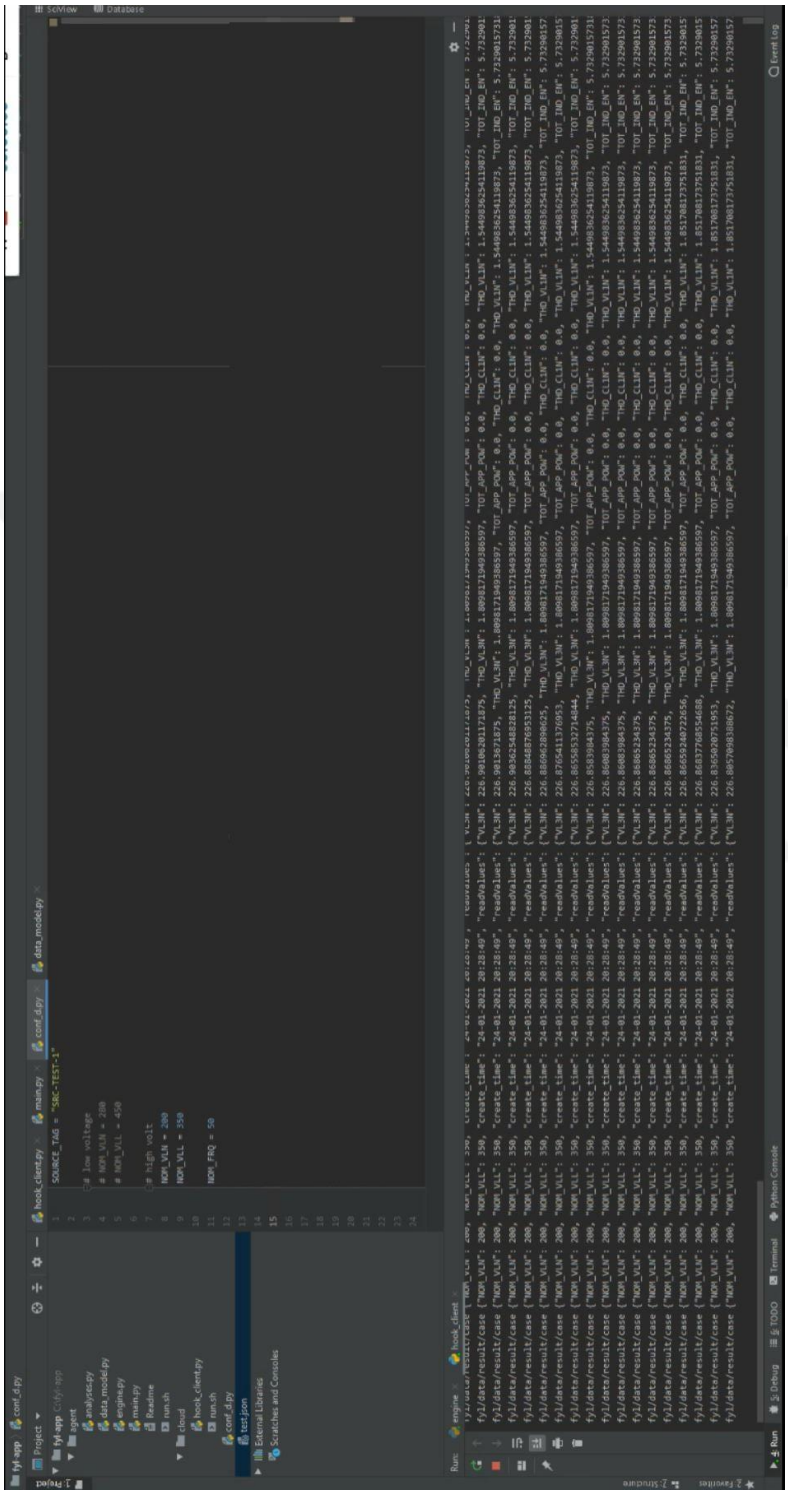
EKLER

Ek-A



Şekil A.1. MQTT.fx ekranlarında iletilen verinin görünmesi

Ek-B



Şekil B.1. Test ekranlarında veri gösterimi

Ek-C


```
{
 "NOM_VLN": 280,
 "NOM_VLL": 450,
 "create_time": "19-01-2021 16:00:25",
 "readValues": {
  "VL3N": 224.42129516601562,
  "THD_VL3N": 0.0,
  "TOT_APP_POW": 0.0,
  "THD_CL1N": 0.0,
  "THD_VL1N": 1.5954476594924927,
  "TOT_IND_EN": 5.732901573181152,
  "APP_POW_L3": 0.0,
  "APP_POW_L2": 0.0,
  "APP_POW_L1": 0.0,
  "THD_VL2L3": 0.0,
  "TOT_CAP_EN": 1.1679325103759766,
  "THD_VL3L1": 0.0,
  "CL1N": 0.0,
  "VL1N": 224.8441925048828,
  "THD_VL1L2": 0.0,
  "REACT_POW_L3": 0.0,
  "REACT_POW_L1": 0.0,
  "TOT_POW_FACTOR": 0.0,
  "REACT_POW_L2": 0.0,
  "VL1L2": 389.2243347167969,
  "CL2N": 0.0,
  "THD_CL2N": 0.0,
  "THD_VL2N": 1.675475835800171,
  "VL2N": 224.64749145507812,
  "TOT_ACT_EN": 4.525208950042725,
  "FRQ": 50.00149917602539,
  "TOT_REACT_POW": 0.0,
  "VL3L1": 389.0322570800781,
  "TOT_ACT_POW": 0.0,
  "ACT_POW_L1": 0.0,
  "ACT_POW_L2": 0.0,
  "ACT_POW_L3": 0.0,
  "POW_FACTOR_L2": 0.0,
  "POW_FACTOR_L3": 0.0,
  "POW_FACTOR_L1": 0.0,
  "VL2L3": 388.8608093261719,
  "THD_CL3N": 0.0,
  "CL3N": 0.0
 },
 "analysesResult": {
  "UNDER_VOLTAGE": {
   "L3N": 19.849537440708705,
```

```
      "DETECTED": true,
      "L3L1": 13.548387315538195,
      "L2N": 19.768753051757812,
      "L1N": 19.698502676827566,
      "L1L2": 13.50570339626736,
      "L2L3": 13.58648681640625
    },
    "OVER_VOLTAGE": {
      "L3N": 0.0,
      "DETECTED": false,
      "L3L1": 0.0,
      "L2N": 0.0,
      "L1N": 0.0,
      "L1L2": 0.0,
      "L2L3": 0.0
    },
    "VU": {
      "DETECTED": false,
      "VUR": 0.04760472483822705
    },
    "CU": {
      "DETECTED": false,
      "CUR": 0.0
    }
  }
}
```

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Çetin F.**, Yörükeren, N. (2020). Belirli Güç Kalitesi Problemlerinin Nesnelerin İnterneti Teknolojileri ile Tespiti ve Bulut Tabanlı Sunuculara Entegrasyonu, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8 (4), 2321-2336. DOI: 10.29130/dubited.689757.

ÖZGEÇMİŞ

Orta öğrenimini Bilecik ili Bozüyük ilçesinde tamamladı. 2012 yılında Bartın Hasan Sabri Çavuşoğlu Fen Lisesi'nden mezun oldu. Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden 2017 yılında mezun oldu. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine 2017 yılında başladı. 2017 yılından beri Siemens San. ve Tic. A.Ş'de Elektrik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.