MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİDE UZAKTAN ERİŞİMİ KOLAYLAŞTIRABİLECEK ÖZGÜN BİR İZLEME ARAYÜZÜ VE DONANIMININ GELİŞTİRİLMESİ

ERKAN DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
(TÜRKÇE) ANABİLİM DALI
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

İSTANBUL, 2023

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİDE UZAKTAN ERİŞİMİ KOLAYLAŞTIRABİLECEK ÖZGÜN BİR İZLEME ARAYÜZÜ VE DONANIMININ GELİŞTİRİLMESİ

ERKAN DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
(TÜRKÇE) ANABİLİM DALI
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

İSTANBUL, 2023

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Erkan DEMİR'in "Endüstride Uzaktan Erişimi Kolaylaştırabilecek Özgün Bir İzleme Arayüzü ve Donanımının Geliştirilmesi" başlıklı tez çalışması, 25 Nisan 2023 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ (Danışman)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Ulvi BAŞPINAR (Üye)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Erbil AKBAY (Üye)
Haliç Üniversitesi ..... (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …… tarih ve ……. sayılı kararı ile Erkan DEMİR'in Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN PURE AND APPLIED SCIENCES

Erkan Demir, a Master of Science student of Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, defended his thesis entitled "A Novel Monitoring Dashboard and Hardware Implementation Simplifying the Remote Access in Industry", on April 25, 2023 and has been found to be satisfactory by the jury members.

Jury Members

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ (Advisor)
Marmara University ..... (SIGN).....

Assist. Prof. Ulvi BAŞPINAR (Jury Member)
Marmara University ..... (SIGN).....

Assist. Prof. Erbil AKBAY (Jury Member)
Haliç University ..... (SIGN).....

APPROVAL

Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences Executive Committee approves that Erkan DEMİR be granted the degree of Master of Science in Department of Electrical-Electronics Engineering, Electrical-Electronics Engineering Program on …….. (Resolution no: ……).

Director of the Institute
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başvuru yapmamda değerli yorumları ve yönlendirmeleri ile öncülük eden Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. A. Fevzi BABA'ya, tez çalışmamda değerli katkılarını ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ'a, yüksek lisans boyunca aldığım derslerle ufkumu genişleten ve farklı bakış açıları kazanmamı sağlayan değerli öğretmenlerime teşekkürü borç bilirim.

Bu süreçte sağladıkları destek ve motivasyon için değerli eşim ve aileme teşekkür ederim.

Nisan 2023 **Erkan DEMİR**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iv
ABSTRACT v
SEMBOLLER vi
KISALTMALAR vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ ix
1. GİRİŞ 1
2. BENZER ÇALIŞMALAR 2
2.1. Literatürdeki Kaynak Araştırması 2
2.2 Geliştirilen Uygulamanın Literatüre Katkısı 5
3. UZAKTAN İZLEME VE KONTROL PANELİ GELİŞTİRİLMESİ 7
3.1. Endüstride Uzaktan Erişim Modeli 7
3.1.1 Geliştirilen İzleme ve Kontrol Paneline Ait Bileşenleri 10
3.1.1.1. Donanım Bileşenleri 10
3.1.1.2. Raspberry Pi 10
3.1.1.3. Hız Kontrol Cihazı 11
3.1.1.4. Yazılım Bileşenleri 11
3.2. Haberleşme Protokolleri 12
3.2.1. Modbus TCP haberleşme protokolü 12
3.3. Bulut Sistemler 14
3.3.1. Microsoft Azure Platformu 14
4. UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ 17
4.1. Sistemin Çalıştırılması 17
4.1.1 Geliştirilen Uzaktan İzleme ve Kontrol Paneline Ait Web Arayüzü 19
4.1.2 Web Arayüzünün Tasarımı 23
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 30
5.1. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler 30
KAYNAKLAR 31

ÖZGEÇMİŞ 35

ÖZET

ENDÜSTRİDE UZAKTAN ERİŞİMİ KOLAYLAŞTIRABİLECEK ÖZGÜN BİR İZLEME ARAYÜZÜ VE DONANIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Teknolojinin büyük bir hızla geliştiği günümüzde gelişime uyum sağlayabilmek, üretim tesislerinde değişen teknolojinin süreçlere dahil edilebilmesini sağlamak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Endüstri tesislerinde bugüne kadar benimsenen çözüm tekniklerini kullanmakta ısrarcı olmak, günümüzde değişen hızlı tüketim ihtiyaçlarını karşılama noktasında yetersiz kalınmasına ve sorunlar yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu tezde önerilen hem donanım hem de yazılım bileşenlerinden oluşan sistemin amacı ülkemizdeki tesislerin bakım ve arıza giderme süreçlerinin iyileştirilmesi, üretimin hızlandırılması ve kaliteli üretimin artırılması adına teknoloji temelli ürünlerin geliştirilerek problem çözme ve sistem gelişimi için gerekli olan yeteneklerin cihazlara veya makinelere kazandırılmasını sağlamaktır. Bu tez çalışmasında endüstri tesislerinde kullanılan cihazların ve makinelerin bulut tabanlı sistemler üzerinden uzaktan erişimini sağlayabilecek nesnelerin interneti (IoT) tabanlı bir haberleşme modülü geliştirilerek, özgün bir iletişim ağı oluşturulması hedeflenmiştir. Böylelikle saha personeline uzaktan destek ile katkı sağlanarak öğrenme düzeyinin iyileştirilmesi ve nihai hedef olan ‘‘problem çözme’’nin gerçekleştirilmesi de sağlanabilecektir. Bu çalışmada örnek bir uygulama olarak, endüstriyel tesislerde motor yolverme için kritik öneme sahip olan değişken frekanslı hız kontrol cihazları ile uzaktan izleme ve kontrol süreci ele alınarak hayata geçirilmiştir. Sonrasında bu işlem, ülkemizin önemli tesislerinde test edilerek projeye olan ihtiyaç ve çözüm önerisi pekiştirilecektir. Bu çalışma, gelecekte birçok mevcut başka projeye temel oluşturmakla birlikte; yeni projeler oluşturmaya da esin kaynağı olacaktır.

ABSTRACT

A NOVEL MONITORING DASHBOARD AND HARDWARE IMPLEMENTATION SIMPLIFYING THE REMOTE ACCESS IN INDUSTRY

In today's world where technology is developing with a great speed, it is getting harder day by day to adapt and include changes on new technology to the processes in facilities. Insisting on using the solution techniques adopted so far in industrial facilities will cause insufficiency and problems in meeting the changing fast consumption needs of today. The aim of the proposed thesis is to improve the maintenance and troubleshooting processes of the facilities, to accelerate the production and to increase the quality of production by developing technology-based materials and to provide the devices or machines with the skills required for problem solving and system development in our country. The proposed thesis aims to create a unique communication network by providing remote access of devices and machines used in industrial facilities through cloud-based systems by producing internet of things (IoT) based communication module, improving the learning level by contributing to the field personnel with remote support, and realizing the ultimate goal of "problem solving". With this project, remote monitoring and control will be provided with a variable frequency speed controller, which is critical for motor driving in industrial facilities, and the concept of the need for the project will be reinforced by testing in important facilities of our country. The project will be the basis for many existing projects and will also inspire new projects.

SEMBOLLER

A : Amper

Hz : Hertz

KB : Kilobayt

ms : Mili saniye

rpm : Revolution per minute

sn : Saniye

V : Voltaj

KISALTMALAR

IDE **:** Integrated Development Environment

IoT : Internet of Things

IIoT : Industrial Internet of Things

IP : Internet Protocol

IT : Information Technology

MCC : Motor Control Center

MQTT : Message Queuing Telemetry Transport

MSTP : Multiple Spanning Tree Protocol

RTC : Real Time Clock

RTU : Remote Terminal Unit

TCP : Transmission Control Protocol

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition

VPN : Virtual Private Network

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Endüstriyel uzak erişimin genel yapısı 8

Şekil 3.2 Endüstriyel saha ekipmanlarına uzaktan erişim 8

Şekil 3.3 Tez çalışmasında geliştirilen ürün ile endüstriyel saha ekipmanları arasında uzaktan veri iletişimi 9

Şekil 4.4 Sistem yapısı 17

Şekil 4.5 Geliştirilen ürün ile hız kontrol cihazının Ethernet bağlantısı ile birbirine bağlanması 20

Şekil 4.6 Geliştirilen ürüne ait kullanıcı web arayüzünün açılış sayfası 21

Şekil 4.7 Web arayüzünde manuel bağlantı seçeneği 21

Şekil 4.8 Geliştirilen ürüne ait kullanıcı web arayüzünde manuel bağlantı seçeneği, slave bağlantısı mevcut değil 22

Şekil 4.9 Geliştirilen ürüne ait kullanıcı web arayüzünde manuel bağlantı seçeneği, slave bağlantısı mevcut 22

Şekil 4.10 DM1 hız kontrol cihazı dahili web arayüzü 23

Şekil 4.11 Geliştirilen ürüne ait web arayüzü 24

Şekil 4.12 Geliştirilen ürüne ait web arayüzünde "*Parameters*" sekmesi 25

Şekil 4.13 "*Parameters*" sekmesinde yeni bir cihaz ekleme 25

Şekil 4.14 "*Parameters*" sekmesinde cihaz ayarları görüntüleme ve değiştirme 26

Şekil 4.15 "*Parameter Items*" sekmesinde kayıtlı parametrelerin görüntülenmesi ve değiştirilmesi 26

Şekil 4.16 "*Home*" sekmesinde kayıtlı cihaza bağlantı kurulması 27

Şekil 4.17 "*Home*" sekmesinde kayıtlı cihaza bağlantı kurulması ve parametrelerin görüntülenmesi 28

Şekil 4.18 Geliştirilen uygulamanın web arayüzündeki bağlantı durum bayrakları 29

Şekil 4.19 Buluta gönderilen verilerin ve bağlı cihazların anlık durumu 29

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 DM1 modeli hız kontrol cihazına ait temel register adresleri ve parametreleri (Eaton, 2023). 13

Tablo 3.2 DG1 modeli hız kontrol cihazına ait temel register adresleri ve parametreleri (Eaton, 2023). 14

Tablo 3.3 pyModbusTCP'de desteklenen Modbus fonksiyon kodları (Python, 2023) . 14

Tablo 3.4 Microsoft Azure temel ve standart katmanlarda desteklenen özellikler..... 16

Tablo 3.5 Microsoft Azure temel katman fiyatlandırma seçenekleri 16

Tablo 3.6 Microsoft Azure standart katman fiyatlandırma seçenekleri..... 16

Tablo 4.7 Hız kontrol cihazları etiket bilgisi 18

Tablo 4.8 Microsoft Azure IoT Hub bağlantısı için MQTT parametreleri..... 19

1. GİRİŞ

Teknolojik değişimin en büyük öznelerinden biri olan Endüstri 4.0, tüm çalışma alanlarında varlığını hissettirmekte ve yeni uygulamaların farklı sektörlerde hayat bulmasına sebep olmaktadır. Endüstri 4.0, endüstriyel üretim alanlarında gelişimi hızlandıracak ileri otomasyon ve makine öğreniminde meydana gelebilecek pek çok gelişimi ve yeniliği ifade etmektedir. Üretkenliği ve verimliliği artırmakla birlikte, israfı ve işletme maliyetlerini azaltarak üretim tesislerinde çok sayıda fayda sağlamak için önemli fırsatlar da sunmaktadır (Demir vd, 2020). Buradaki temel soru Endüstri 4.0 ile ortaya çıkan dijital gereksinimlere ayak uydurması gereken endüstriyel tesislerin bu değişim rüzgarından nasıl etkileneceğidir. Dördüncü Sanayi Devrimi olarak da nitelendirilen günümüz devrimi önceki devrimler gibi, yaşamı kolaylaştırmayı ve yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Endüstri 4.0, nesnelerin interneti (IoT) ile endüstride kullanılan cihazların ağ alt yapısı ile izlenip kontrol edilmesine odaklanmaktadır (İleri, 2020). Teknolojik gelişmeler, endüstriyel alanlardaki problemlerin içeriğini ve çözüm yollarının çeşitliliğini önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu çalışma ile Endüstri 4.0 sayesinde endüstriyel tesislerdeki risk analizine çok yönlü bir bakış açısı geliştirerek uzaktan erişim problemlerinin çözümü amaçlanmıştır.

2. BENZER ÇALIŞMALAR

Daha önce yapılan çalışmalarda hız kontrol cihazlarının uzaktan erişimi ve kontrolüne yeterince odaklanılmadığı görülmüştür. Bu tür cihazların sektördeki önemi göz önüne alındığında, bu tez çalışmasının olumlu etkisi açıktır ve bu nedenle bu tez çalışmasında, endüstriyel tesisler için hız kontrol cihazlarının uzaktan izlenmesi ve yönetimine odaklanılmıştır.

2.1. Literatürdeki Kaynak Araştırması

Sistemleri uzaktan izleme ve yönetmenin, işletme maliyetlerini düşürmekten sistem kullanıcılarının deneyimini iyileştirmeye kadar birçok faydası vardır. Örneğin uzaktaki bir tesiste sorunları ele almak veya kontrolleri gerçekleştirmek için yerel bir destek ekibi bulunmadığında, uzaktan bağlantı sadece değerli değil, birçok durumda gereklidir. Ting vd. (2022) önerdikleri sistem ile sahadan sensör verilerini toplayarak su motorunun uzaktan açılıp kapanması için kullanıcıya bildirimde bulunarak önerdikleri sistemin bitkilerin sulanması sürecini yönetebilen, verimli ve oldukça güvenli bir uygulama olduğunu deneysel sonuçlarla ortaya koymaktadır. Sicard vd. (2022) önerdikleri çalışmada ise makine parçalarının durumunun izlenmesi için IoT teknolojisinin avantajlı olduğunu bildirmekle birlikte, bir IoT tabanlı durum izleme sisteminin üretim hacmini artırmaya, bakımla ilgili maliyetleri düşürmeye ve karar vermeye yardımcı olabileceğini göstermişlerdir. Magadan vd. (2022) önerdikleri çalışmada, elektrik motorlarının endüstrideki önemine vurgu yaparak elektrik motorlarıyla çalışan ekipmanlarda öngörülemeyen arızaların yüksek ekonomik kayıplara yol açabileceğini ve bu sebeple ekipman bakımının zorunlu hale gelebileceğinden bahsetmiştir. Önerdikleri çalışmada elektrik motorlarını gerçek zamanlı olarak izlemek için tasarlanmış endüstriyel nesnelerin interneti sisteminin tasarımını, uygulamasını ve test edilmesini anlatmışlardır. Ayrıca bu sistemin çalışma anormalliklerini tespit etmek için kullanılabileceğini ve kestirimci bakım modellerinin oluşturulmasının önünü açacağından da bahsetmişlerdir. Jayanthi vd. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada ilgili saha personeline uzaktan veri paylaşımını daha kolay ve basit hale getirilebilmeyi hedeflemiştir. Shukla vd. (2022) önerdikleri çalışmada makinelerde kullanılan motorların durumunun izlenmesinin önemine vurgu yaparak ve IoT teknoloji kullanarak sıcaklık, akım, gerilim ve titreşim gibi motor parametrelerine kablosuz olarak erişmeyi ve tüm bu parametrelerin makine kullanıcısı tarafından her yerden analiz edilebileceğinden ve herhangi bir arıza durumunda kullanıcıya uyarı

verilmesinden bahsetmişlerdir. Ayrıca nesnelerin interneti makine öğrenimi ile birleştirildiğinde motorlarda oluşan hataların sınıflandırılmasına ve önceden tahmin edilmesine yardımcı olabileceğinden de bahsetmişlerdir. Lecesse vd. (2014) yaptıkları çalışma ile yolun tipik olarak tehlikeli olduğu ve ölümlü kazaların sıklıkla meydana geldiği kırsal alanlardaki kavşakları aydınlatarak sürücüler için iyi bir gece görüşü sağlayan yol güvenliği sorununu çözmek için bir çözüm önermişlerdir. Ek olarak piyasada var olan tüm yeni teknolojileri bir araya getirmek ve sistemi web sitesi üzerinden takip etmek için tasarlanan bu faydalı uygulamanın eski teknolojiye göre ne kadar faydalı olduğunu göstermek için ekonomik analiz de yapmışlardır. Leccisi vd. (2020) yaptıkları çalışmada ise kamu aydınlatma sisteminin teknik ve tüketim verilerini toplamayı, yönetmeyi ve işlemeyi amaçlayan bir IoT uygulama projesi sunmuşlardır. Petrioli vd. (2019) sundukları çalışmada İHA'nın tekerlekleri üzerindeki frenleme etkisinin etkinliğini artırmak ve iniş sırasında İHA'nın nispeten sınırlı alanlarda durmasını sağlamak için yerel yol durumu verilerinin uçağa iletildiği bir IoT sistemi önermişlerdir. Potturi vd. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada birçok uygulamada yaygın olarak kullanılan indüksiyon motorunun çeşitli yöntemlerle uzaktan izlenmesini ve kontrolünü araştırmış ve güvenilir, esnek, hatasız ve verimli çalışmasını sağlamak için birçok parametresinin her türlü uygulama alanında sürekli izlenmesinin gerektiğini söylemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada tarım alanlarında elektrik kesintilerinin üretime olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için IoT tabanlı izleme ve kontrolün önemine de değinmişlerdir. Şen vd. (2017) sundukları çalışmada ise, IoT tabanlı izleme sayesinde üretim süreci aksatılmadan ekipmanlara yapılması gereken bakım veya arızalı cihaz değişimi mümkün olabilecek en az aksaklıkla gerçekleştirilebilmektedir. Khan vd. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada, bir kablosuz ağ üzerinden üç fazlı motorun akım değerlerinin okunmasını ve gerçek zamanlı izlenmesini içeren bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem sayesinde veriler kaydedilip izlenebilmekte ve ardından bulut depolamaya aktarılabilmektedir. Bahizad vd. (2020) gerçekleştirdiği çalışmada IoT sistemlerindeki siber güvenlik risklerine vurgu yaparak güvenliği artırmak ve riskin etkisini azaltmak için bir ağdaki cihaz sayısı faktörünün dikkate alınması üzerinde durmuşlardır. Abdullin vd. (2020) gerçekleştirdikleri çalışmada akıllı üretim ve endüstri 4.0 olarak bilinen yeniliklerin modern işletmeler için kestirimci bakımı zorunlu kılarken aynı zamanda endüstriyel nesnelerin interneti (IIoT) gibi gerekli teknolojilerin sağlanması gerektiğini

savunmuşlardır. Collaizi vd. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada web tabanlı uygulamalar ve mobil cihazların gelişmesiyle tarımsal sulama sistemlerinin uzaktan kumandası ve geri bildirimi uygulamasının giderek daha fazla benimsendiğini ve bununla birlikte işletme yönetim süresinin ve tarım alanlarına ulaşım gibi diğer kaynak harcamalarının azalmasını sağladıklarını belirtmişlerdir. Nguyen-Hoang vd. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada endüstriyel cihazların bulut bağlantısı için yazılım ve donanım çözümü geliştirerek endüstriyel IoT ağ geçidi adı verilen bir prototip ile SCADA çözümlerine alternatif bir yaklaşım sunmuştur. Nagpal vd. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada, mevcut kurulu mekatronik sistemlerde akıllı fabrika kavramının uygulanmasını ve dünyanın herhangi bir yerinden haberleşme ağı ile bu sistemlerde yeralan sensörlerin ve eyleyicilerin durumlarının gerçek zamanlı olarak izlenebilmesini ve kontrol edilebilmesini tartışmışlardır. Benzi vd. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada, endüstri 4.0 ve IIoT çerçevesinde akım, elektrik gücü, motor torku ve hızı vb. gibi enerji tüketimiyle doğrudan ilgili ölçülen veya hesaplanan değerlerin tüm tesiste gerçek zamanlı kontrol ve teşhis amaçlı izlenmesi ile tesis verimliliğinin nasıl ele alınabileceğini ve ilgili iyileştirmelerin nasıl sağlanabileceğini göstermişlerdir. Jagtab vd. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada, IoT tabanlı ölçüm uygulanmasının dahil edildiği bir endüstri tesisinde enerji tüketimini azaltmaya nasıl yardımcı olduğu gösterilmiş ve IoT kullanımıyla enerji yönetim sistemine daha fazla veri dahil edilerek tesis yöneticilerinin enerjiyi daha verimli kullanması sağlanmıştır. Jasim (2020) gerçekleştirdiği çalışmada, tarımın önemine vurgu yaparak IoT tabanlı akıllı bir sulama sistemi ile zamandan, kullanılan sudan ve işçi gücünden tasarruf edilebileceğini vurgulamışlardır. Niedermaier vd. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada, IIoT ağını daha güvenli hale getirmek için ağdaki cihazların periyodik olarak taranmasına dayalı bir yaklaşım sunmuştur. US 2018/0320684 A1 nolu patent başvurusunda (2018), hız kontrol cihazını doğru bir şekilde kontrol eden kontrollü bir kapalı döngü sistemi oluşturmak için sensörlerin bir pompalama sistemine entegre edildiği, uzaktan izlemeye izin vermek için performans verilerinin internete aktarıldığı, pompa ekipmanları için kestirimci bir izlemenin sağlandığı ve gerektiğinde uyarılar veya bakım taleplerinin gönderildiği bir yapı sunulmaktadır.

Tesislerde duruş sürelerinin, özellikle planlanmamış arıza sürelerinin azaltılması ve kritik bir arıza durumunda sorun çözümünün hızlandırılması, üretkenliği artırmanın, kayıpları

en aza indirmenin ve ekipman etkinliğini artırmanın önemli birer parçasıdır. Makinelerin mevcut durumu bu faktörler üzerinde büyük bir etkiye sahip olsa da makinenin düzgün çalışmasının nasıl sağlanacağı üreticinin öncelikli meselesidir. Ancak, her makinenin durumunu manuel olarak kontrol etmek yüksek maliyetli ve zahmetli bir iştir ve daha da önemlisi gecikmeye neden olabilir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen uzaktan izleme ve bulut yönetimi uygulaması bu gibi eksikliklerin ortadan kaldırılmasını kolaylaştırmak hedeflenmiştir. 7/24 gerçek zamanlı uzaktan makine durumu izlemeyi etkinleştirmek planlanmamış arıza sürelerine karşı müdahale için en iyi uygulamadır ve ekipman verimliliğini de artırabileceği öngörülmektedir. Uzak erişim teknolojileri, sistem veya cihaz hakkında erken bilgi sağladıkları için analiz ve test maliyetleri açısından da olumlu bir katkıya sahiptir (İleri, 2020).

Bu bilgiler ışığında, bu tezde bir fabrikada yer alan bir motorun yerel olarak kurulmuş bir ağ geçidi kullanılarak bulut sunucusu üzerinden bir hız kontrol cihazı aracılığı ile izlenmesi ve kontrol edilmesi konusu ele alınmıştır.

Hız kontrol cihazları, bir fabrikada motor yolverme teknolojisi açısından en iyi yönetimi sağlayan endüstriyel ekipmanlardan biridir, birçok endüstriyel operasyonun önemli bir parçasıdır ve operasyonları gerçekleştirmek için gereken zamanı ve kaynakları azaltan, bölgedeki ekipman ve kullanıcıların güvenliğini artıran, elektrik maliyetlerini düşüren ve motorların ömrünü uzatan bir dizi fayda sağlar. Bu sebeple hız kontrol cihazlarının uzaktan izlenmesi ve yönetimi, endüstriyel tesisler için çok önemli bir uygulama haline gelmiştir. Nenelerin interneti (IoT), endüstriyel operasyonlar üzerinde artan bir etkiye sahiptir ve bu teknoloji hız kontrol cihazlarının yetenekleriyle birleştiğinde, endüstriyel tesislerde günlük işlemlerin gerçekleşmesi için olumlu yönde etkiye sahip olacağı düşünülmektedir.

2.2 Geliştirilen Uygulamanın Literatüre Katkısı

Uzaktan erişim alt yapısı sayesinde kullanıcılar, makine ve ekipmanların koşullarını her yerden izleyebilirler. Teknik ekip uyarıları daha hızlı alır, bu da sorunlara hızla yanıt verebilecekleri ve zaman alıcı gecikmeler olmadan çözüm üretebilecekleri anlamına gelir. Geliştirilen alt yapıda sunulan birden fazla erişim noktası sayesinde verilere ve programlara birden çok arayüzden erişim imkânı sunulmuştur. Bu sayede tesislerdeki

vardiya değişikliklerinin, görev paylaşımının ve ekip operasyonlarının daha sorunsuz çalışması sağlanacaktır. Gerçek zamanlı izleme sayesinde internete bağlı cihazlarla, teknik ekip her zaman mevcut olan en güncel veriye sahip olabilecektir. Bu bilgilerin kaydedilmesi ve paylaşılmasıyla ilgili gecikmeler azalırken üreticilerin daha verimli süreçler gerçekleştirmesine yardımcı olabilecektir. Tüm bunlara ek olarak endüstriyel nesnelerin interneti (IIoT) yapay zekâ ile birleştirildiğinde, motorların veya hız kontrol cihazlarının çalışmasındaki anormallikler izlenerek; bakımın ne zaman yapılması gerektiği veya arızanın ne kadar yakın olacağı tahmin edilebilecektir. Bu sayede gelecek için iyileştirici sonuçlar alınması öngörülmektedir (İleri, 2020).

Tesislerdeki farklı operasyonların teknik özellikleri ve ihtiyaçları için özel olarak tasarlanmış görsel arayüzler ve donanımlar üretilebilir. Endüstriyel tesislerdeki ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak geliştirilen bu tez çalışmasında, birçok farklı tesiste yer alan hız kontrol cihazı markası ve modelinden bağımsız olacak şekilde geniş bir ürün yelpazesini destekleyecek özellikte bir arabirim donanımı oluşturulmuştur.

3. UZAKTAN İZLEME VE KONTROL PANELİ GELİŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışması ile endüstrideki uzaktan erişim problemleri göz önünde bulundurularak kolay bir erişim ve güvenli bir haberleşme alt yapısı kurulması hedeflenmiştir.

3.1. Endüstride Uzaktan Erişim Modeli

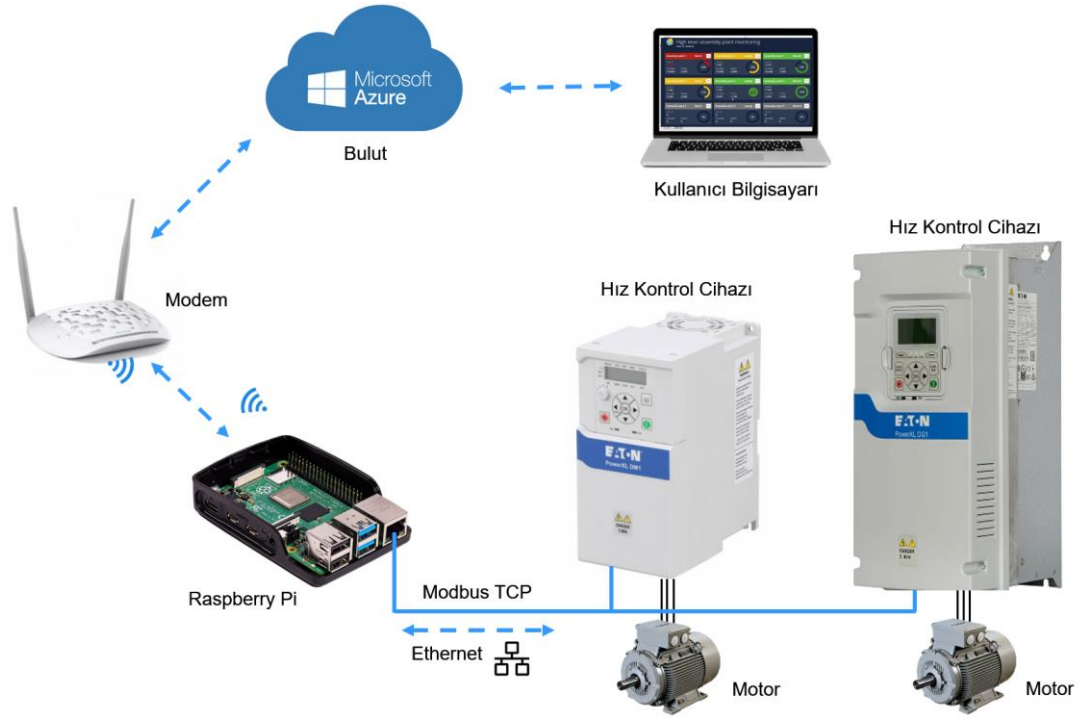
Günümüzde birçok endüstriyel cihaz endüstriyel haberleşme altyapıları ile birlikte Ethernet portuna da sahiptir. Ancak bu cihazların uzaktan erişilebilmesi için internet sağlayıcı modem üzerinde birtakım yazılım ve donanım ayarlarının yapılması gerekmektedir. Bu tür ayarların yapılabilmesi için uzman IT bilgisi gerekmekle birlikte, internet portunun açılması durumunda da bu defa siber saldırılara maruz kalmamak için güvenlik seviyesinin yükseltilmesi gerekmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı endüstriyel cihazların internete erişimi ya istenilmez ya da IT departmanı tarafından yükseltilen güvenlik seviyesinden dolayı cihazların uzaktan erişimi kısıtlanarak sorunlar yaşanmasına sebep olur. Bu tez çalışması sayesinde geliştirilen ürün ile bu zorlukların önüne geçilerek hem kolay bir erişim hem de güvenli bir haberleşme alt yapısı kurulması hedeflenmiştir.

Şekil 3.1'de gösterildiği gibi farklı yerleşim alanlarında bulunan saha cihazları ile bulut sunucuları arasında sorunsuz güvenli bir iletişim sağlanarak sahada elde edilen veriler buluta düzenli olarak aktarılabilmektedir. Bu sayede gerçek zamanlı izleme ve kestirimci bakım için ideal bir veri tabanı oluşturulabilecektir.

Bu tez çalışmasında geliştirilen ürünün önemli bir özelliği, saha ekipmanları ve sistemlerle endüstriyel haberleşme seçenekleri aracılığıyla iletişim kurma yeteneğine sahip olmasıdır. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi tez çalışmasında geliştirilen ve Raspberry Pi üzerinde çalışan yazılım Modbus TCP endüstriyel haberleşme protokolünü kullanarak cihazlardaki veya sistemlerdeki veriyi izleme, toplama ve ekipmanları kontrol etmek için kullanılmaktadır. IoT ağ geçidi olarak kullanılabilecek olan bu ürün, sahadaki endüstriyel ekipmanlardan verileri toplar ve bu bilgilerin web aracılığıyla izlenebildiği buluta yükler.



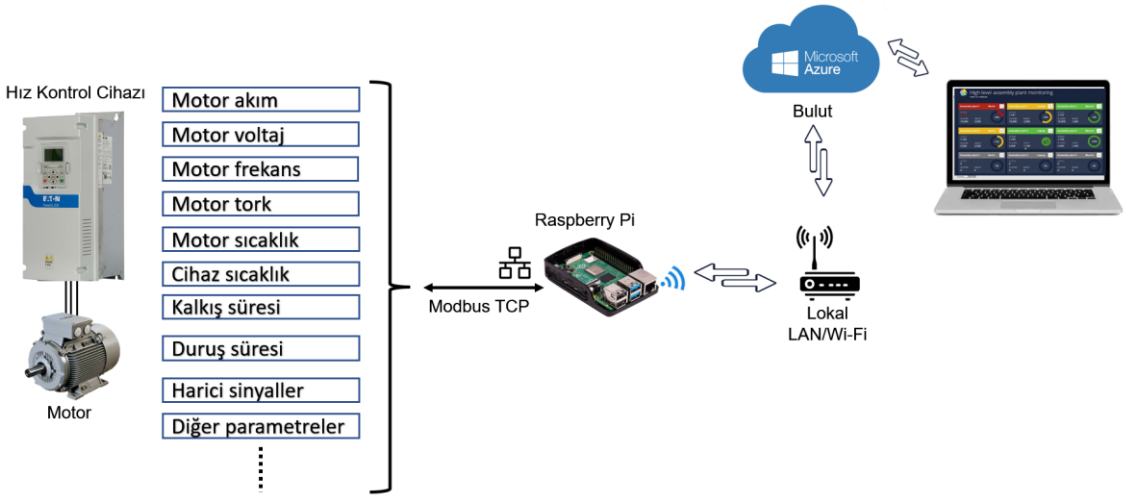
Şekil 3.1 Endüstriyel uzak erişimin genel yapısı



Şekil 3.2 Endüstriyel saha ekipmanlarına uzaktan erişim

Bu tez, uzaktan izleme sürecini basitleştirmeyi, veriye dayalı ve teknoloji tabanlı bir endüstri stratejisi oluşturmayı ve kullanıcıların daha hızlı hizmet vermesine veya almasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Tez çalışmasında geliştirilen ürün ile endüstriyel cihazların bulut ile güvenilir bir şekilde bağlantı kurması sağlanmıştır. Bu sayede cihazlar buluta bağlanarak, uzaktan uzman desteği ile olası kayıpları önleme konusunda erken müdahale edilmesi ve öngörülemeyen üretim kesintilerini önlemek için anında harekete geçilmesi hedeflenmiştir. Bu durumda, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi cihazların anlık durumu ve cihaza ait tüm değişkenleri izlemek ve değiştirmek için tez

çalışmasında geliştirilen ürün cihazlara endüstriyel haberleşme ağı ile bağlanır, bu sayede cihazlara ait veriler geliştirilen ürün aracılığıyla hücresel yönlendiriciye kablosuz veya kablolu olarak gönderilir ve gerçek zamanlı hücresel bağlantı ile güvence altına alınır. Sonunda veriler, uzaktan kontrol için yüksek güvenlikli bulut platformuna gönderilir ve depolanır. Bir bilgisayar veya mobil bir cihaz ile bulut sunucusunun web arayüzüne erişim sağlanarak saha verileri anlık olarak izlenebilir ve değiştirilmek istenen veriler kumanda edilerek çift yönlü haberleşme sağlanmış olur. Güncel şifreleme algoritmaları kullanılarak web sunucusunun arayüz sayfasına giriş şifreli olarak tasarlanmıştır. Bu sayede sadece yetkilendirilmiş kullanıcılar tarafından erişim sağlanarak verilerin güvenliği sağlanmıştır.



Şekil 3.3 Tez çalışmasında geliştirilen ürün ile endüstriyel saha ekipmanları arasında uzaktan veri iletişimi

Uzaktan erişim yeni bir kavram olmamakla birlikte pandemi döneminde birçok işletmenin temel ihtiyacı haline gelmiştir. Günümüzde yaygın olarak tercih edilen iki farklı tip uzak erişim teknolojisi bulunmaktadır: 1) lokal ağ üzerinden direkt erişim, 2) sanal özel ağ (Virtual Private Network, VPN) yazılımları veya donanımları ile erişim. Uzun zamandır internet sağlayıcı modemler üzerinde port yönlendirme ile uzak erişimler sağlanmakta idi. Ancak port yönlendirme kendi içinde önemli bir güvenlik zafiyeti içerirken bir tesiste kritik cihazlara uzak erişim çözümü olarak sunmak hiç de mantıklı olmayacaktır. Port yönlendirmenin sahip olduğu güvenlik zafiyetini bertaraf etmek için geliştirilen sanal özel ağ yazılımlarının kullanımında ise uzman bilgisi gerektiren konfigürasyon zorluğu ve karmaşık VPN ayarları gibi konular temel IT bilgisine sahip

kullanıcılar için başlıca sorunlar olmuştur. Geliştirilen hazır konfigürasyonlu VPN donanımları sayesinde kullanıcılar karmaşık VPN ayarlarını yapmaktan kurtarılmış ve saha cihazlarına bağlantılar bir nebze kolaylaştırılmıştır. Bu donanımlar sayesinde saha ekipmanları ve bu ekipmanlara ait arayüz yazılımları arasında VPN tünel kurularak güvenli bağlantı kurulması sağlanmıştır. VPN donanımları ile gerçekleştirilen bağlantı aktif, canlı bir bağlantı olduğu için düşük bant genişliğine sahip internet sağlayıcılarda veya düşük hızlı internet esnasında bağlantı kopmaları veya veri kayıpları yaşanabilmektedir. Endüstride yaygın olarak kullanılan motor yolverme teknolojilerinin en gelişmişi olan hız kontrol cihazlarına yönelik özel olarak geliştirilen bu ürün sayesinde kullanıcıların güvenli sunucular aracılığı ile herhangi bir arayüz yazılımı veya kurulumu gerektirmeden ve en önemlisi veri kayıpları yaşanmadan uzaktan erişim sağlamaları hedeflenmektedir. Bu aşamada sunucu ile saha ekipmanı arasında yer almak üzere geliştirilen ürün her türlü olumsuz bağlantı durumunda veriyi kendi üzerinde tutmaya devam edecek ve bu sayede veri kayıplarının önüne geçebilecektir.

3.1.1 Geliştirilen İzleme ve Kontrol Paneline Ait Bileşenleri

Tez çalışmasında geliştirilen ürün bileşenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Elektronik donanım
- Elektronik donanıma ait yazılım
- Saha ekipmanları (Modbus TCP haberleşme protokolüne sahip hız kontrol cihazları ve endüstriyel motorlar)
- Modem
- Bulut sunucusu
- Web arayüzü
- İzleme donanımı (bilgisayar veya mobil akıllı cihazlar)

3.1.1.1. Donanım Bileşenleri

3.1.1.2. Raspberry Pi

Başlangıçta proje ürünün elektronik donanımı olarak; ekonomik yapısı ile fazla kaynak harcamadan yazılım geliştirmeye imkân tanıyan Raspberry Pi donanımı kullanılmıştır. Tez sonunda genel hatlarıyla hedeflendiği gibi sağlıklı çıktılar edinilmesi ve üretim için

yeterli maddi kaynakların elde edilmesi durumunda ise kendi öz donanımız tasarlanarak tüketici ürünü haline getirilmesi hedeflenmektir.

3.1.1.3. Hız Kontrol Cihazı

Sektörde hali hazırda kullanılan birçok farklı üretici firmaya ait hız kontrol cihazları bulunmakta ve bunlar birbirinden farklı parametreleri ve haberleşme ayarlarını kullanmaktadırlar. Tüm bu farklılıklar göz önünde bulundurularak sektörde yaygın olarak bilinen markaların farklı modellerine ait tüm ayarlar geliştirilen ürün içerisinde önceden tanımlı hale getirilerek, kurulum ve kullanım kolaylığı sağlanmasına dikkat edilmiştir. Farklı marka ve model cihazların geliştirilen ürün üzerinde önceden tanımlanması sayesinde kullanıcıların karmaşık parametre ayarlarını bilmelerine ve uğraşmalarına gerek kalmadan pratik bir şekilde saha ekipmanına uzaktan erişim bağlantısının kurulması sağlanabilmektedir. Tez sürecinin uygulama aşamasında Eaton firmasına ait DM1 ve DG1 modeli hız kontrol cihazları kullanılmıştır. Bu iki farklı model cihaz sahip olduğu dahili haberleşme protokolleri ile proje çalışmalarına esneklik katmıştır. Her iki model cihazın sahip olduğu dahili haberleşme protokolleri aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:
Modbus RTU, Modbus TCP, Ethernet IP, BACnet MSTP ve BACnet IP

3.1.1.4. Yazılım Bileşenleri

Tez çalışmasında geliştirilen ürüne ait yukarıda bahsedilen tüm özellikler elektronik donanım üzerinde geliştirilen yazılım sayesinde sağlanmıştır. Yazılımın hızlı bir şekilde geliştirilip prototip denemelerin yapılabilmesi için yaygın olarak kullanılan yazılım geliştirme editörü olan Visual Studio kullanılmıştır.
Visual Studio, Microsoft'un sunduğu entegre bir geliştirme ortamıdır (IDE). Mobil uygulamalar, web uygulamaları, web hizmetleri ve donanım yazılımları dahil olmak üzere bilgisayar programları geliştirmek için kullanılır. Visual Studio, 36 farklı programlama dilini destekler ve kod düzenleyici ile hata ayıklayıcının, dile özgü yöntemlerle neredeyse tüm programlama dillerini (değişen derecelerde) desteklemesine olanak tanır. Dahili olarak desteklenen diller arasında C, C++, C++/CLI, Visual Basic .NET, C#, F#, JavaScript, TypeScript, XML, XSLT, HTML ve CSS bulunur. Ayrıca tüm bunlara ek olarak yaygın olarak kullanılan Python, Ruby, Node.js ve M gibi yazılım

dilleri de editöre eklenebilmektedir. Visual Studio'nun en temel sürümü olan Community sürümü ücretsiz olarak sunulmaktadır (Wikipedia, 2023).

Bunlara ek olarak ücretsiz kullanıma sunulan ve geniş bir kütüphaneye sahip olan Python programlama dili ile birlikte Python'da Qt kütüphanesi olarak PyQt5 modülü kullanılmıştır. Bu kütüphane Python versiyon 3.7 veya üstünde kullanılabilmektedir. PyQt5 birden fazla pencereli arayüze sahip programlar geliştirmek için kullanılan esnek bir Qt kütüphanesidir. Qt tasarım gelirştime arayüzü sayesinde uzun kodlara sahip programlar yazmadan çok daha esnek ve kullanışlı arayüzler hızlı bir şekilde tasarlanarak Python uygulamasına eklenebilmektedir (Python, 2023).

3.2. Haberleşme Protokolleri

3.2.1. Modbus TCP haberleşme protokolü

Modbus, endüstride PLC'ler ile endüstriyel cihazlar arasında veri iletişim protokolü olarak kullanılmak üzere Modicon tarafından 1979 yılında geliştirilmiştir. Modbus haberleşme protokolü günümüzde endüstride yaygın olarak kullanılmakla birlikte standart bir iletişim protokolü haline gelmiştir. Modbus, açık bir şekilde yayınlanması, lisans gerektirmemesi ve endüstriyel uygulamalara yönelik geliştirilmesinden dolayı endüstriyel ortamlarda kullanılan popüler bir iletişim protokolüdür. Diğer iletişim protokolleri ile karşılaştırıldığında kurulumu ve kontrolü diğerlerine göre daha kolaydır ve iletilecek verinin formatına çok az kısıtlama getirir (Wikipedia, 2023).

Tez çalışmasında geliştirilen ürünü ve uygulama yazılımını test etmek için Modbus TCP slave olarak iki adet hız kontrol cihazı kullanılmıştır. Kullanılan DM1 modeli hız kontrol cihazının parametreleri Tablo 3.1'de, DG1 modeli hız kontrol cihazının parametreleri ise Tablo 3.2'de gösterilmiştir (Eaton, 2023). Geliştirilen yazılımda bu parametrelere erişmek için Python'da pyModbusTCP kütüphanesi kullanılmıştır. pyModbusTCP Python uygulamalarında ModbusServer'ın ModbusClient nesnesindeki register'lara kolayca erişmesini sağlamaktadır. pyModbusTCP kütüphanesinin desteklediği Modbus fonksiyon kodları Tablo 3.3'te gösterilmiştir (Python, 2023).

Tablo 3.1 DM1 modeli hız kontrol cihazına ait temel register adresleri ve parametreleri (Eaton, 2023).

Modbus ID Numarası	Parametre No	Açıklama
ID 1	M1.1	Çıkış frekansı
ID 24	M1.2	Frekans referansı
ID 2	M1.3	Motor hızı
ID 3	M1.4	Motor akımı
ID 6	M1.7	Motor voltajı
ID 7	M1.8	DC-link voltajı
ID 8	M1.9	Cihaz sıcaklığı
ID 101	P1.1	Minimum frekans
ID 102	P1.2	Maksimum frekans
ID 103	P1.3	Kalkış zamanı
ID 104	P1.4	Duruş zamanı
ID 486	P1.6	Motor etiket akımı
ID 489	P1.7	Motor etiket devri
ID 487	P1.9	Motor etiket voltajı
ID 488	P1.10	Motor etiket frekansı
ID 141	R11	Lokal frekans referansı

Tablo 3.2 DG1 modeli hız kontrol cihazına ait temel register adresleri ve parametreleri (Eaton, 2023).

Modbus ID Numarası	Parametre No	Açıklama
ID 1	M1	Çıkış frekansı
ID 24	M2	Frekans referansı
ID 2	M3	Motor hızı
ID 3	M4	Motor akımı
ID 6	M7	Motor voltajı
ID 7	M8	DC-link voltajı
ID 8	M9	Cihaz sıcaklığı
ID 583	M43	RTC pil durumu
ID 101	P1.1	Minimum frekans
ID 102	P1.2	Maksimum frekans
ID 103	P1.3	Kalkış zamanı
ID 104	P1.4	Duruş zamanı
ID 486	P1.5	Motor etiket akımı
ID 489	P1.6	Motor etiket devri
ID 487	P1.8	Motor etiket voltajı
ID 488	P1.9	Motor etiket frekansı
ID 141	R12	Lokal frekans referansı

Tablo 3.3 pyModbusTCP'de desteklenen Modbus fonksiyon kodları (Python, 2023)

Tür	Fonksiyon İsmi	Fonkisyon Kodu	ModbusClient fonksiyonu
Bit	Read Discrete Inputs	2	read_discrete_inputs()
	Read Coils	1	read_coils()
	Write Single Coil	5	write_single_coil()
	Write Multiple Coils	15	write_multiple_coils()
Register	Read Input Registers	4	read_input_registers()
	Read Holding Registers	3	read_holding_registers()
	Write Single Register	6	write_single_register()
	Write Multiple Registers	16	write_multiple_registers()

3.3. Bulut Sistemler

3.3.1. Microsoft Azure Platformu

Azure platformu, Microsoft tarafından hizmete sunulan, bulut tabanlı çözümleri hayata

geçirmek için tasarlanmış birçok uygulama ve hizmeti içerisinde barındıran bir bulut hizmetidir. Bu platform sayesinde kullanıcılar tarafından tercih edilen uygulamalar ve hizmetler bulutta çalıştırılarak uzaktan yönetilebilir duruma gelir.

Azure IoT Hub ise sahadaki cihazlara bağlantıyı sağlayan ve Azure platformunun bir aracı olarak bulutta barındırılan bir çözüm aracıdır. IoT cihazlarından gelişmiş güvenlik özellikleri ile veri alıp göndermeyi sağladığı gibi IoT uygulama geliştirme sürecini de basite indirgemeyi hedeflemektedir. IoT hub platformu, IoT uygulamalarında hub ile cihazlar arasında veri alma ve göndermeyi sağlayacak çift yönlü iletişimin etkinleştirilmesine yardımcı olan ve yönetilebilen merkezi bir ileti hizmetidir.

Azure IoT Hub platformu, bir cihazın buluta güvenli bir şekilde bağlanmasını sağlayan ve cihazdan buluta, buluttan cihaza veri göndermek için kullanılan IoT uygulamalarında iş akışının bir parçasıdır. Bununla birlikte IoT cihazlarının buluttan yönetilmesini ve depolama veya depolanmış veriyi işleyip analiz etme amacıyla yüksek hacimli cihaz verilerinin buluta alınmasını sağlayan bir hizmet de sunmaktadır.

Cihazdan buluta ve buluttan cihaza çift yönlü veri iletimi ile bağlı cihazlar arasında güvenli bir biçimde komut ve bildirimler gönderilebilmekte ve alındı bildirimi ile iletinin teslim durumu kontrol edilebilmektir.

IoT Hub'a bağlanan cihazların her birine farklı kimlik ve kimlik bilgileri verilerek cihazdan buluta ve buluttan cihaza gönderilen iletilerin güvenliği ve gizliliğinin korunması sağlanabilmektedir. Ayrıca belirli cihazları seçip gerekli olduğunda bu cihazların bağlantısı kesilerek erişim hakları iptal edilebilmektedir.

Microsoft Azure platformunda IoT hub'a bağlı katman seçimi, kullanılacak bulut özellikleri, günlük kaç ileti gönderileceği ve aylık ödeme miktarına bağlı olarak değişmektedir. Tablo 3.4'de temel ve standart katmana ait özellikler gösterilmiştir (Microsoft, 2023). Sunduğu cihaz başına kimlik, MQTT protokol desteği, cihazdan buluta ve buluttan cihaza ileti gönderme özelliklerinden dolayı uygulamamızda kullanılmak üzere "standart katman" seçilmiştir. Ayrıca Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da temel ve standart katmanın Microsoft tarafından sunulan fiyatlandırma seçenekleri gösterilmiştir. Uygulamamızda test ve geliştirme amaçlı olarak günlük 8000 iletinin yeterli olacağı düşünülerek standart katmanın sunduğu ücretsiz seçenek tercih edilmiştir. Standart katmanın ücretsiz sürümü, IoT hub'a 500 cihazın bağlanmasına ve günde en fazla toplam

8000 iletinin gönderilmesine imkân sunmaktadır. Her bir Azure aboneliği ise toplamda bir adet IoT hub oluşturmamıza olanak tanımaktadır.

Tablo 3.4 Microsoft Azure temel ve standart katmanlarda desteklenen özellikler

Özellik	Temel	Standart / Ücretsiz
Cihazdan buluta telemetri	Kullanılabilir	Kullanılabilir
Cihaz başına kimlik	Kullanılabilir	Kullanılabilir
İleti yönlendirme, event grid tümleştirmesi	Kullanılabilir	Kullanılabilir
HTTP, AMQP, MQTT protokolleri	Kullanılabilir	Kullanılabilir
DPS desteği	Kullanılabilir	Kullanılabilir
İzleme ve tanılama	Kullanılabilir	Kullanılabilir
Cihaz akışları önizleme	Kullanılamıyor	Kullanılabilir
Buluttan cihaza ileti gönderme	Kullanılamıyor	Kullanılabilir
Cihaz yönetimi, cihaz ikizi, modül ikizi	Kullanılamıyor	Kullanılabilir
IoT edge	Kullanılamıyor	Kullanılabilir

Tablo 3.5 Microsoft Azure temel katman fiyatlandırma seçenekleri

Sürüm Türü	IoT Hub birimi başına aylık fiyat	IoT Hub birimi başına toplam ileti sayısı/gün	İleti ölçüt boyutu
B1	$10	400.000	4 KB
B2	$50	6.000.000	4 KB
B3	$500	300.000.000	4 KB

Tablo 3.6 Microsoft Azure standart katman fiyatlandırma seçenekleri

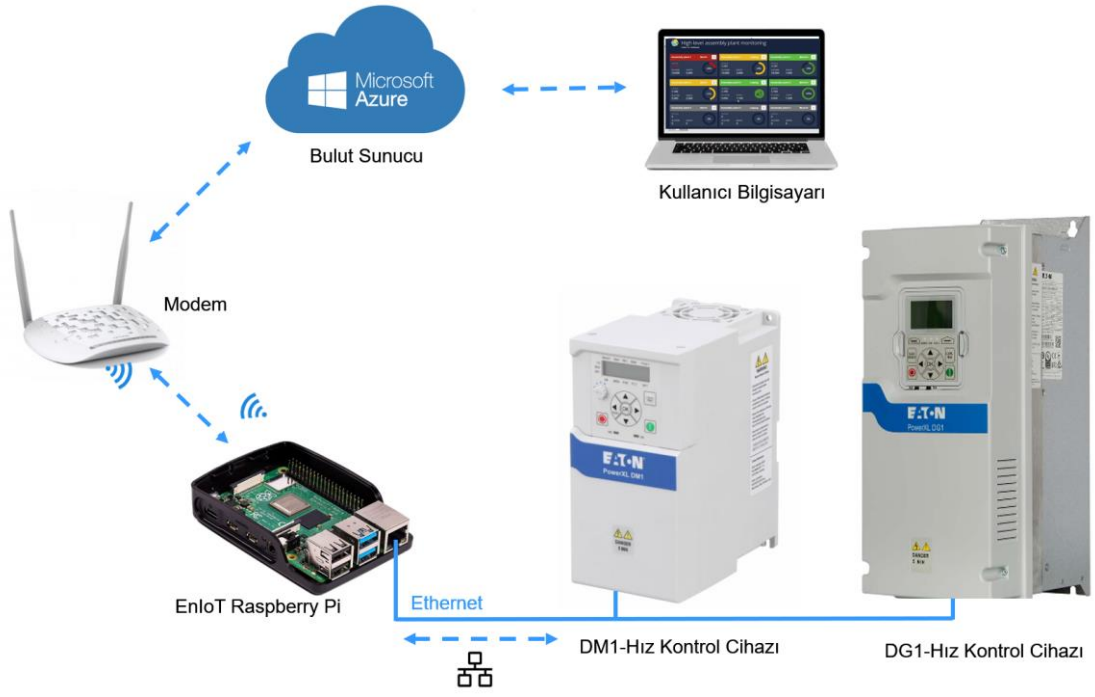
Sürüm Türü	IoT Hub birimi başına aylık fiyat	IoT Hub birimi başına toplam ileti sayısı/gün	İleti ölçüt boyutu
Ücretsiz	Ücretsiz	8.000	0,5 KB
S1	$25	400.000	4 KB
S2	$250	6.000.000	4 KB
S3	$2.500	300.000.000	4 KB

4. UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Tez çalışmasında geliştirilen yazılım ve donanımın çalışma şekli detaylı bir şekilde aşağıda anlatılmaktadır.

4.1. Sistemin Çalıştırılması

Şekil 4.4'de gösterildiği gibi sahada bulunan hız kontrol cihazı ve IoT ağ geçidi olarak geliştirilen ürün her iki cihazda bulunan dahili Ethernet portu ile birbirine bağlanmıştır ve cihazlar bu port üzerinden Modbus TCP protokülü ile iletişim kurmaya başlarlar. Bu çalışmada kullanılan hız kontrol cihazlarının etiket bilgileri Tablo 4.7'de verilmiştir. Hız kontrol cihazına ait temel parametre adreslerinin listesi geliştirilen ürününe ait yazılım üzerinde önceden tanımlanarak kayıtlı hale getirilmiştir. Ayrıca parametre listesi gerektiğinde kullanıcı tarafından istenildiği şekilde değiştirilerek güncellenebilecek şekilde bir web arayüzü geliştirilmiştir. Web arayüzünde görüntülenen parametreler belirlenen süre aralığında sürekli olarak iki yönlü bir şekilde okunur veya yazılır. Tüm bu parametreler internet sağlayıcı modem aracılığı ile bulut sunucusuna gönderilir. Hız kontrol cihazına ait parametrelerin okunma ve yazılma sıklığı internet sağlayıcının hızına ve şebeke yoğunluğuna göre değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 4.4 Sistem yapısı

Bir cihazın IoT Hub ile bağlantı kurma yöntemi aşağıda verilmiştir:

Microsoft Azure portalında oluşturulan ücretsiz bir hesap ile bulut sunucusunda IoT hub açılarak sistemin sunduğu ücretsiz uygulamalara erişim sağlanır.

Tablo 4.7 Hız kontrol cihazları etiket bilgisi

Model	Güç	Çıkış Akımı	Giriş Voltajı	Çıkış Frekansı
DM1-323D0EB-S20S-EM	1,1 kW	4,8 A	200-240 VAC	0-400 Hz
DG1-342D2FB-C21C	1,1 kW	3,3 A	380-500 VAC	0-400 Hz

IoT hub'da oluşturulan her cihaz için cihaza özel kimlik verisi oluşturulur. İstenildiğinde bu kimlik verisi değiştirilebilir. Sahadaki cihazın IoT hub'a güvenli bir erişim sağlaması için sistemin sunduğu cihaza özel belirlenen kimlik verisi kullanılır. Böylelikle sadece sistemde tanımlı olan cihaz geliştirilen uygulama sayesinde IoT hub'a erişebilir.

Bir IoT cihazını IoT hub'a bağlamak için yaygın olarak MQTT protokolü kullanılır. MQTT protokolü ilk kez kullanıldığında petrol ve gaz sektöründeki uygulamalar için geliştirilmişti. Uygulayıcılar, uydu üzerinden petrol boru hatlarının durumunu izlemek için en düşük seviyede bant genişliğine sahip ve çok az enerji tüketen bir iletişim protokolüne ihtiyaç duyuyordu. Bu sebeple günümüze kadar geliştirilen bu protokol IoT uygulamalarında da yaygın olarak tercih edilmektedir (Amazon, 2023).

MQTT uygulaması, veri iletimi için uygulanan işlemler sırasında çok az uğraş ile minimum düzeyde kod gerektirir. MQTT protokolü ayrıca çok fazla IoT cihazıyla iletişimi güvenli bir şekilde sağlayabilmek için dahili özelliklere sahiptir. Bu sebeple MQTT protokolünü kullanarak IoT uygulamalarında birçok cihazla güvenli ve hızlı bağlantı kurulabilir. Düşük bant genişliğinde yüksek gecikmelere sahip, güvenilir olmayan hücresel ağ üzerinden bağlantı kurulduğunda, MQTT, IoT cihazlarının bulutla tekrar bağlantı kurma süresini kısaltır ve farklı seviyelerdeki güvenlik hizmetleri ile güvenli bağlantı kurmayı sağlar.

MQTT bağlantı noktası olarak 8883 portunu kullanır, ancak bu bağlantı noktası genellikle birçok kurumsal iletişim ağlarında engellenmiştir. Bu durumda iletişim ağı güvenlik duvarında ise 8883 numaralı bağlantı noktasının açılması gerekir. Eğer bu açma işlemi yapılamıyorsa web yuvaları (WebSockets) üzerinden MQTT protokolünün kullanılması

gerekecektir. Web yuvaları üzerinden MQTT protokolü, iletişim ağlarında çoğunlukla her daim açık olan 443 numaralı bağlantı noktası üzerinden iletişim kurar.

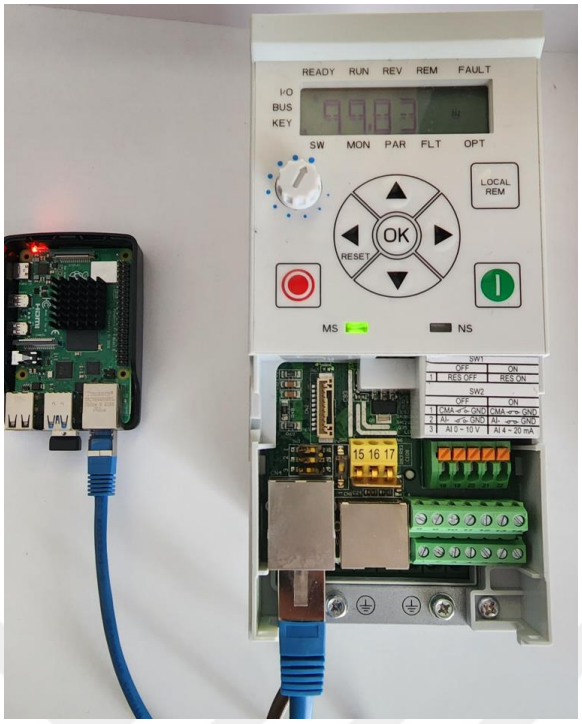
Tablo 4.8'de desteklenen her dil için kod örneklerine yer verilmiştir, ayrıca bu tablo MQTT veya web yuvaları üzerinden MQTT protokolü kullanılarak IoT Hub bağlantısını kurmak için kullanılacak parametreyi gösterir (Microsoft, 2023).

Tablo 4.8 Microsoft Azure IoT Hub bağlantısı için MQTT parametreleri

Dil	MQTT protokol parametresi	WebSockets üzerinden MQTT protokol parametresi
Node.js	azure-iot-device-mqtt. Mqtt	azure-iot-device-mqtt. MqttW'ler
Java	IotHubClientProtocol. MQTT	IotHubClientProtocol.MQTT_WS
C	MQTT_Protocol	MQTT_WebSocket_Protocol
C#	TransportType. Mqtt	MQTT başarısız olursa TransportType.Mqtt, WebSockets üzerinden MQTT'ye geri döner. MQTT'yi yalnızca WebSockets üzerinden belirtmek için TransportType.Mqtt_WebSocket_Only kullanılır
Python	MQTT'i varsayılan olarak destekler	İstemciyi oluşturmak için çağrısına websockets=True eklenir

4.1.1 Geliştirilen Uzaktan İzleme ve Kontrol Paneline Ait Web Arayüzü

Şekil 4.5'de gösterildiği gibi Raspberry Pi ile hız kontrol cihazı arasında dahili ethernet portları üzerinden Ethernet kablosu ile bağlantı yapıldıktan sonra cihazlara enerji verilir. Şekil 4.6 ve 4.7'de gösterildiği üzere bu çalışmada geliştirilen ürün için tasarlanan web arayüzünde manual bağlantı seçeneği ile hız kontrol cihazına olan bağlantının durumu ve parametrelerin değerleri kontrol edilebilir.



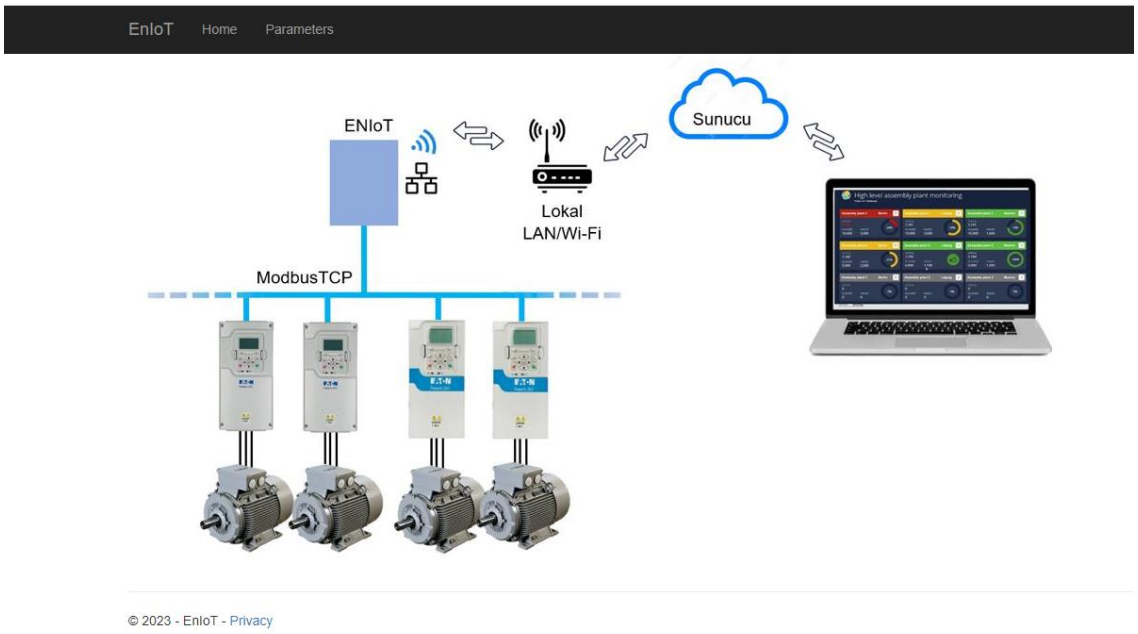
Şekil 4.5 Geliştirilen ürün ile hız kontrol cihazının Ethernet bağlantısı ile birbirine bağlanması

Geliştirilen ürün ve hız kontrol cihazı arasında başlangıçta bağlantı testinin yapılması için web arayüzünde Şekil 4.7'de gösterilen "*Home*" sekmesine gidilerek, manual bağlantı testi yapılabilir. Bunun için bağlantı kurulması istenen slave hız kontrol cihazının IP adresi, ModbusTCP port numarası, slave ID numarası, ofset adresi ve okunacak parametre adedi yazılarak "*Connect*" butonuna basıldığında bağlantı kontrolü yapılabilecektir. Bağlantı kurulamadığında web arayüzünde Şekil 4.8'de gösterildiği gibi hata mesajı görüntülenerek kullanıcı uyarılacaktır. Bağlantı kurulduğunda ise ilgili parametre numaraları ve değerleri Şekil 4.9'da gösterildiği gibi görüntülenecektir. Tüm parametreler anlık olarak okunabilecek ve değişikliğe uygun olan parametrelerin değerleri ise istenildiğinde değiştirilebilecektir.

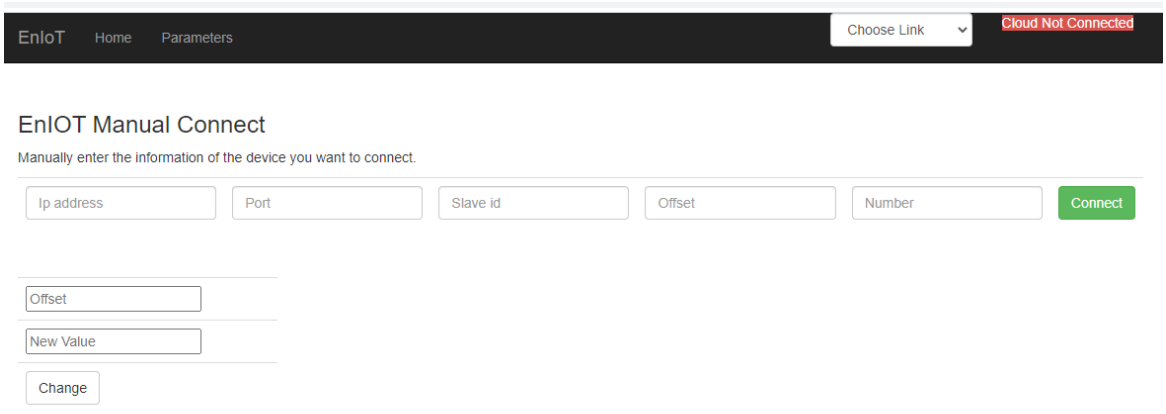
Parametrelerin anlık değerleri hız kontrol cihazının kendi lokal ekranından veya lokal bağlantı esnasında Şekil 4.10'da görüldüğü gibi DM1'in dahili web arayüzünden kontrol edilebilmektedir. Bu sayede geliştirilen uygulamanın doğru değerleri okuyup okumadığı kolaylıkla teyit edilebilecektir.

Geliştirilen uygulama üzerinde hız kontrol cihazına ait parametrelerin okunma sıklığı standart olarak 1 sn olarak ayarlanmıştır. Yapılan testlerde bu süre 100 ms'ye kadar

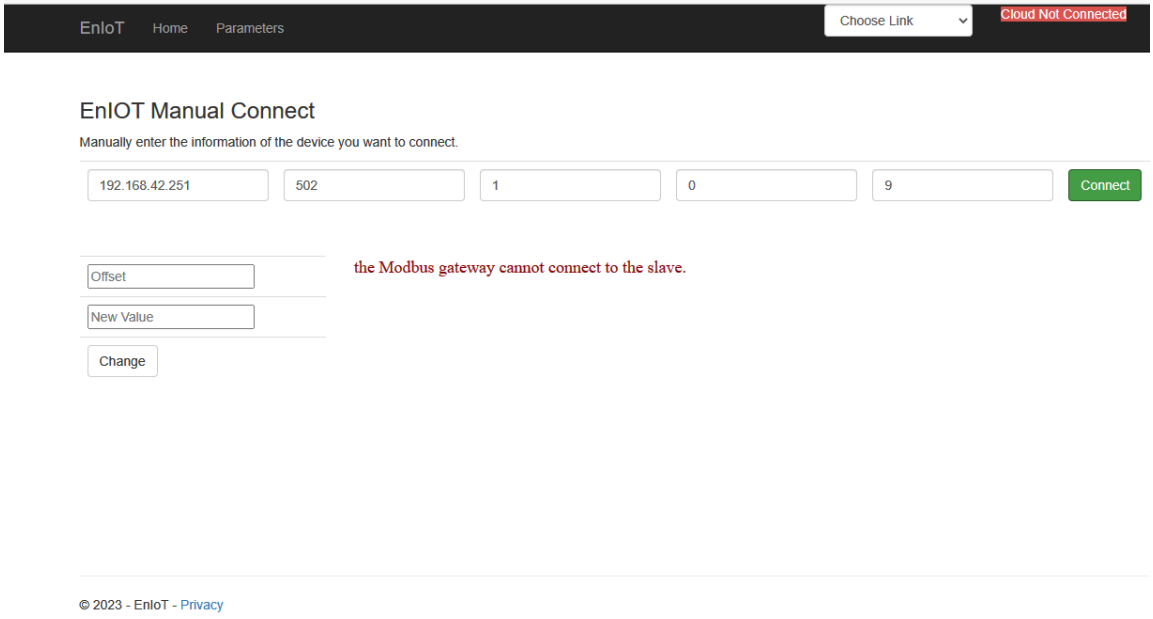
düşürülebilmektedir. Ancak tüm verilerin internete gönderilmesi esnasında internet hızı ve kullanılan bant genişliği de dikkate alındığında bu sürenin 3 ile 5 sn arasında olmasının daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Çünkü geliştirilen yazılım lokal bağlantıda hız kontrol cihazından 100 ms'de bir veri okuyabilse de internet hızı yavaş olduğunda bu veriler web arayüzüne internet hızına ve şebeke yoğunluğuna bağlı olarak ancak 3 sn ve daha uzun sürede ulaşabilmektedir. Bu durumda parametrelerin okunma sıklığı olarak çok fazla kısa süre tanımlanmasına gerek olmayacaktır.



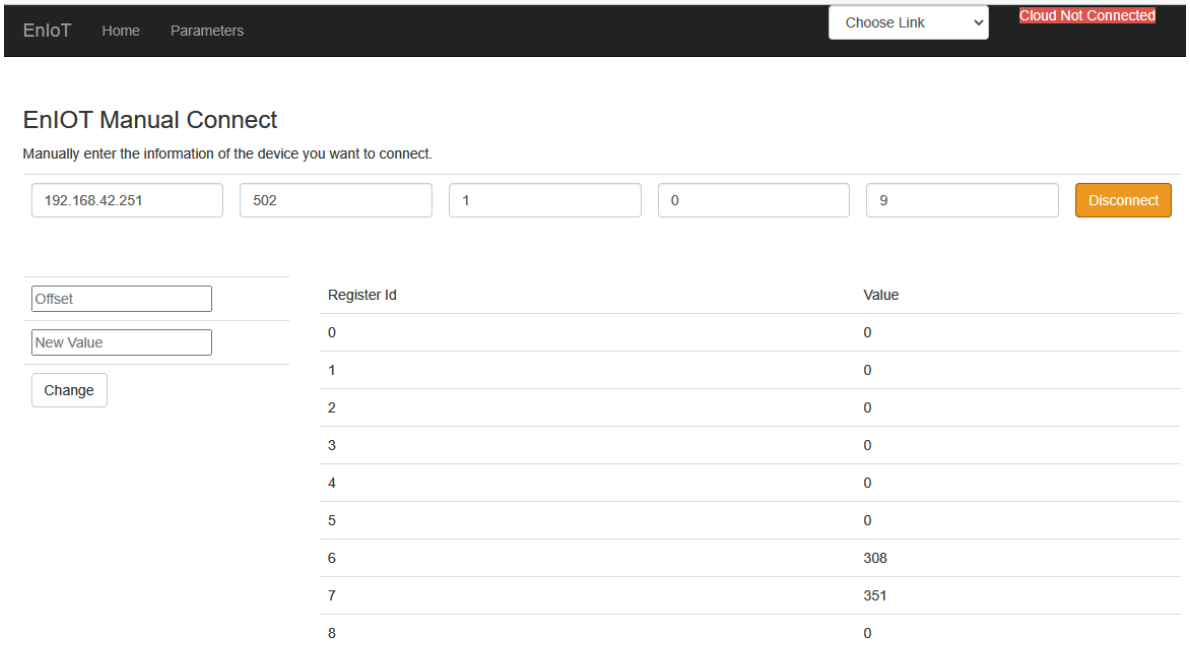
Şekil 4.6 Geliştirilen ürüne ait kullanıcı web arayüzünün açılış sayfası



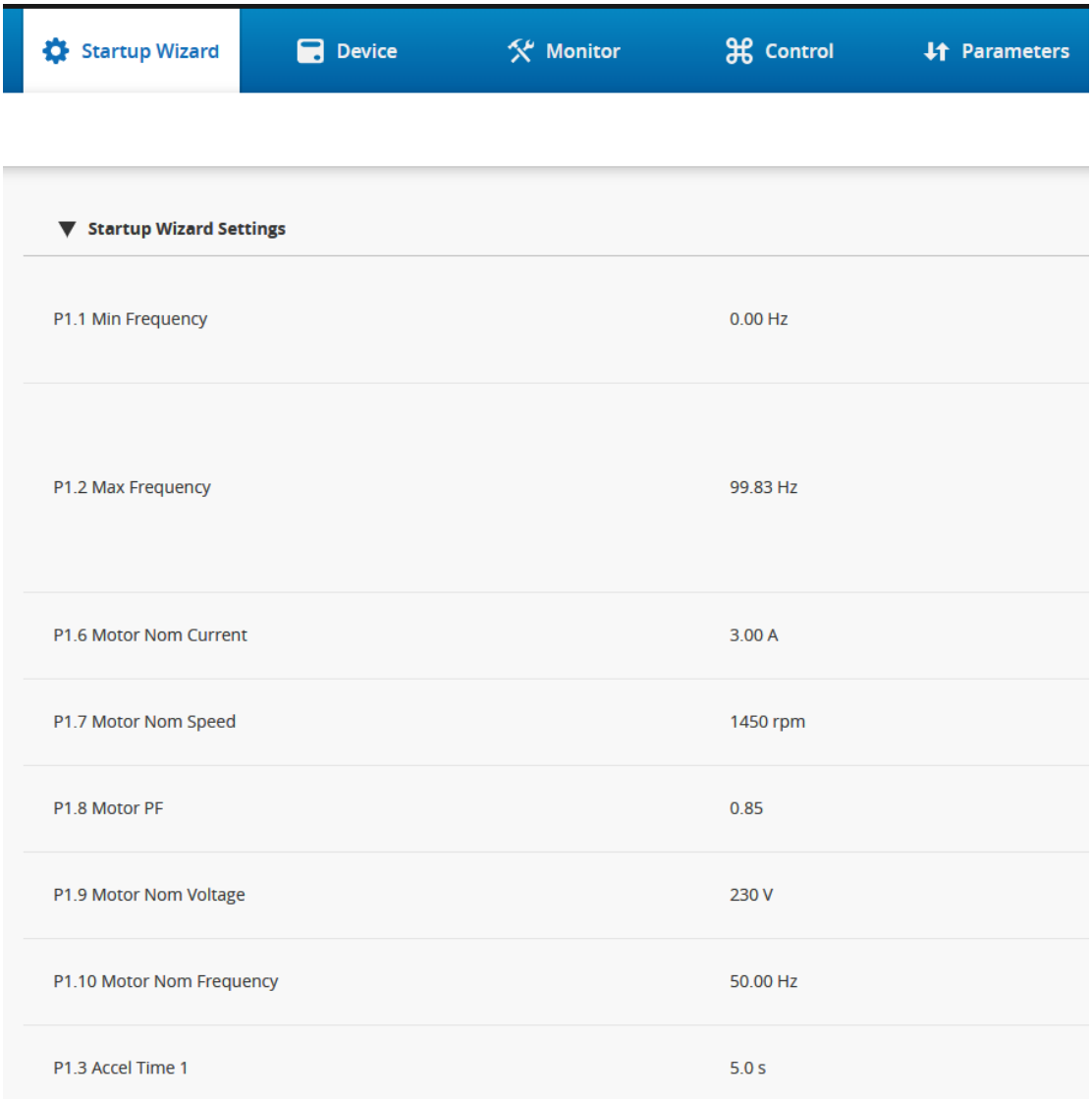
Şekil 4.7 Web arayüzünde manuel bağlantı seçeneği



Şekil 4.8 Geliştirilen ürüne ait kullanıcı web arayüzünde manuel bağlantı seçeneği, slave bağlantısı mevcut değil



Şekil 4.9 Geliştirilen ürüne ait kullanıcı web arayüzünde manuel bağlantı seçeneği, slave bağlantısı mevcut



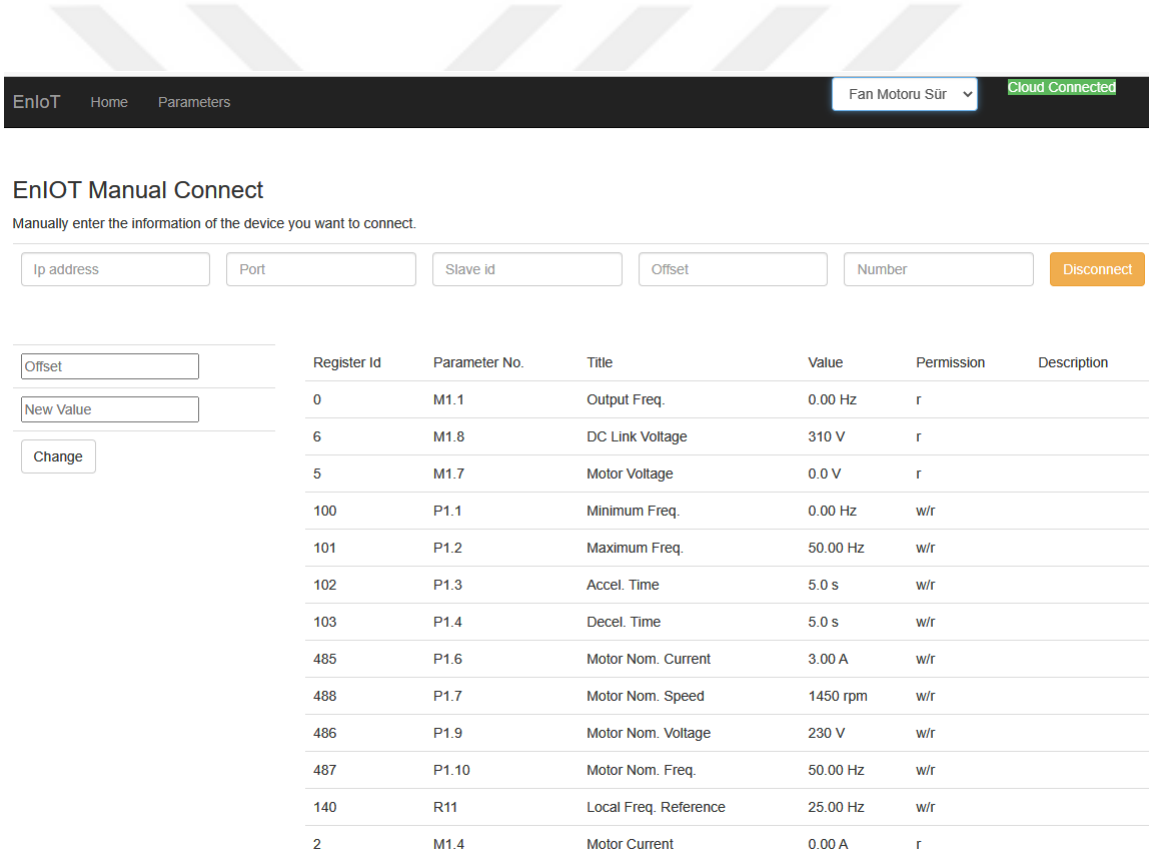
Şekil 4.10 DM1 hız kontrol cihazı dahili web arayüzü

4.1.2 Web Arayüzünün Tasarımı

Tez uygulamasının internetten erişilebilen web arayüzünü tasarlamak ve geliştirmek için Visual Studio yazılım platformu üzerinde .Net yazılım çerçevesi kullanılmıştır. .Net, Windows, Linux ve macOS işletim sistemleri için ücretsiz ve açık kaynaklı bir bilgisayar yazılımı çerçevesidir. Uygulamamızda kullanılmasının en temel özelliklerinden biri ise sadece tarayıcıda değil bilgisayarda da bağımsız bir şekilde çalışabilmesidir. Diğer bir önemli özelliği ise uygulama üzerinde çalışırken uygulamaya hız ve esneklik katmasıdır.

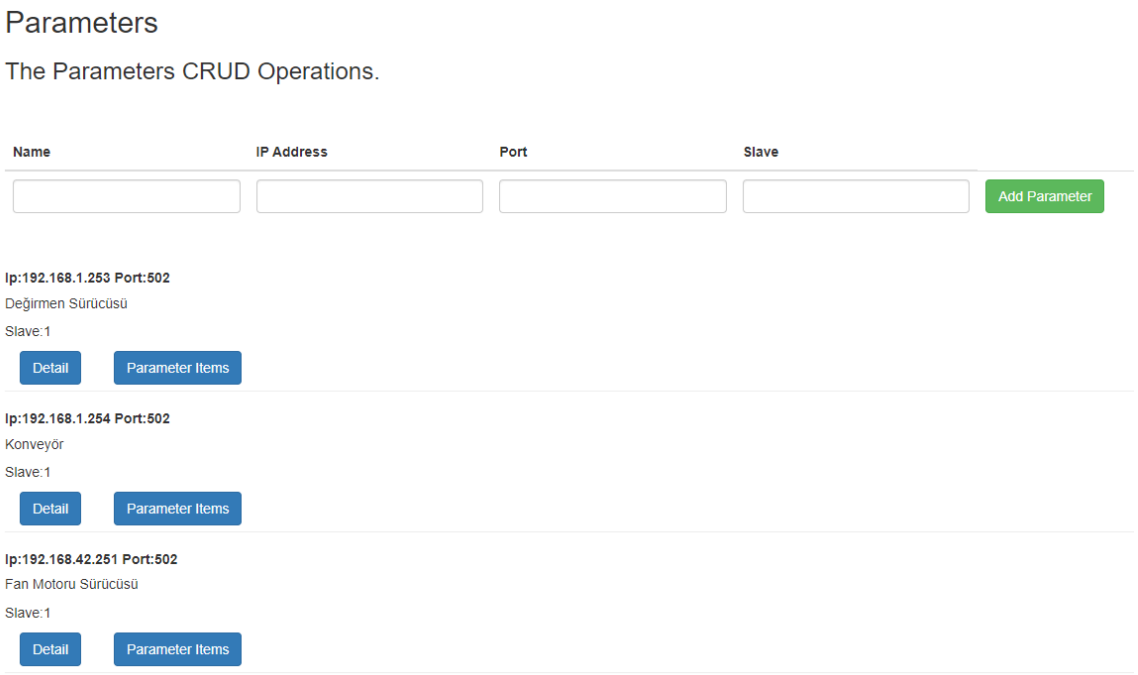
Raspberry pi üzerinde çalıştırılan uygulama yazılımı hız kontrol cihazından okuduğu tüm parametreleri önce IoT hub'a gönderir. Hub'a ulaşan tüm veriler anlık olarak uygulamanın web arayüzünde görüntülenir. Şekil 4.11'de gösterildiği gibi hız kontrol

cihazına ait parametrenin numarası, Modbus register adresi, parametrenin açıklaması, parametrenin anlık değeri, yazma veya okuma izni ve kullanıcı tanımına ait bilgiler ilgili sütünlarda görüntülenmektedir. Parametrenin anlık değerleri cihaz arayüzünde tanımlandığı üzere hızlı bir şekilde yenilenmektedir. Değeri değiştirilebilen yani yazma izni bulunan veya sadece okunabilen parametreler "*Permission*" sütununda gösterilmektedir. Bu sayade web arayüzü kullanıcısı hangi değerleri değiştirebildiğini rahatlıkla görüntüleyebilecek ve "*Title*" sütününda yazılan parametrenin açıklaması sayesinde de ilgili parametrenin ne anlama geldiğini ilk bakışta görebilecektir. Bu sayede kullanıcı karmaşık kullanım kılavuzlarında parametre açıklamalarını aramaya gerek duymadan hızlıca müdehale etme şansını elde edecektir.



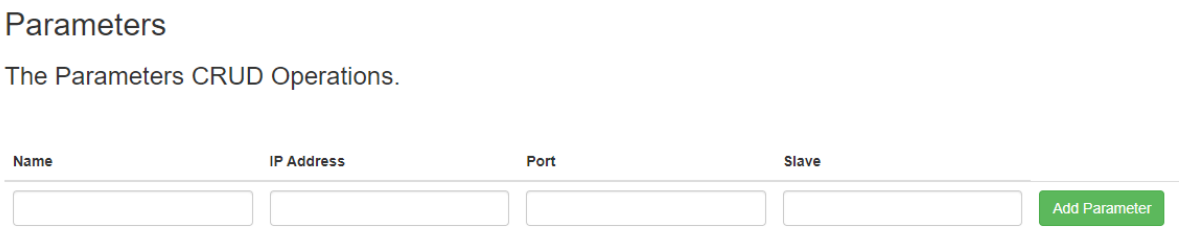
Şekil 4.11 Geliştirilen ürüne ait web arayüzü

Kullanıcı web arayüzünde Şekil 4.12'de gösterilen "*Parameters*" sekmesinde önceden tanımlı veya kaydedilmiş cihaz ayarlarını görüntüleyebilir ve istenildiğinde yeni bir cihaz bağlantısı tanımlayabilir.



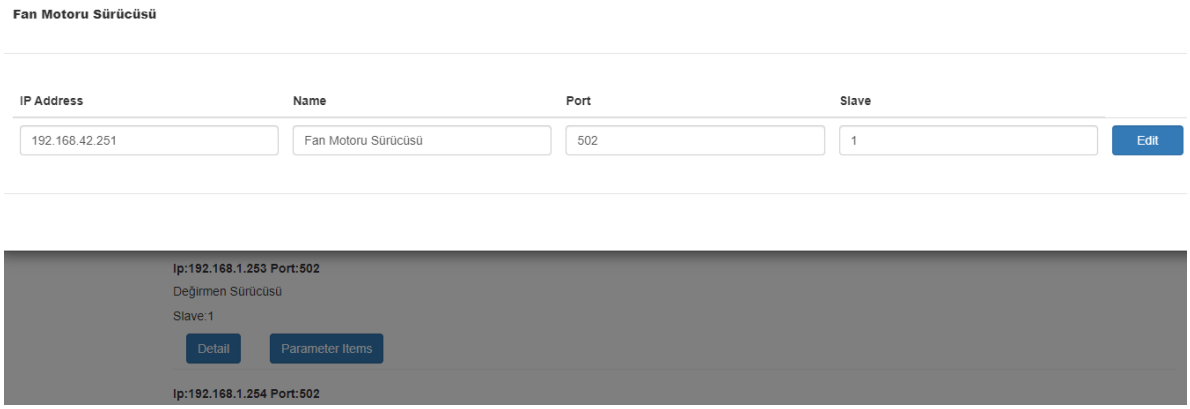
Şekil 4.12 Geliştirilen ürüne ait web arayüzünde "*Parameters*" sekmesi

Yeni bir cihaz bağlantısı eklenmesi istenildiğinde Şekil 4.13'de gösterilen ilgili alanlar doldurularak "*Add Parameter*" butonu tıklandığında ekleme işlemi tamamlanır.



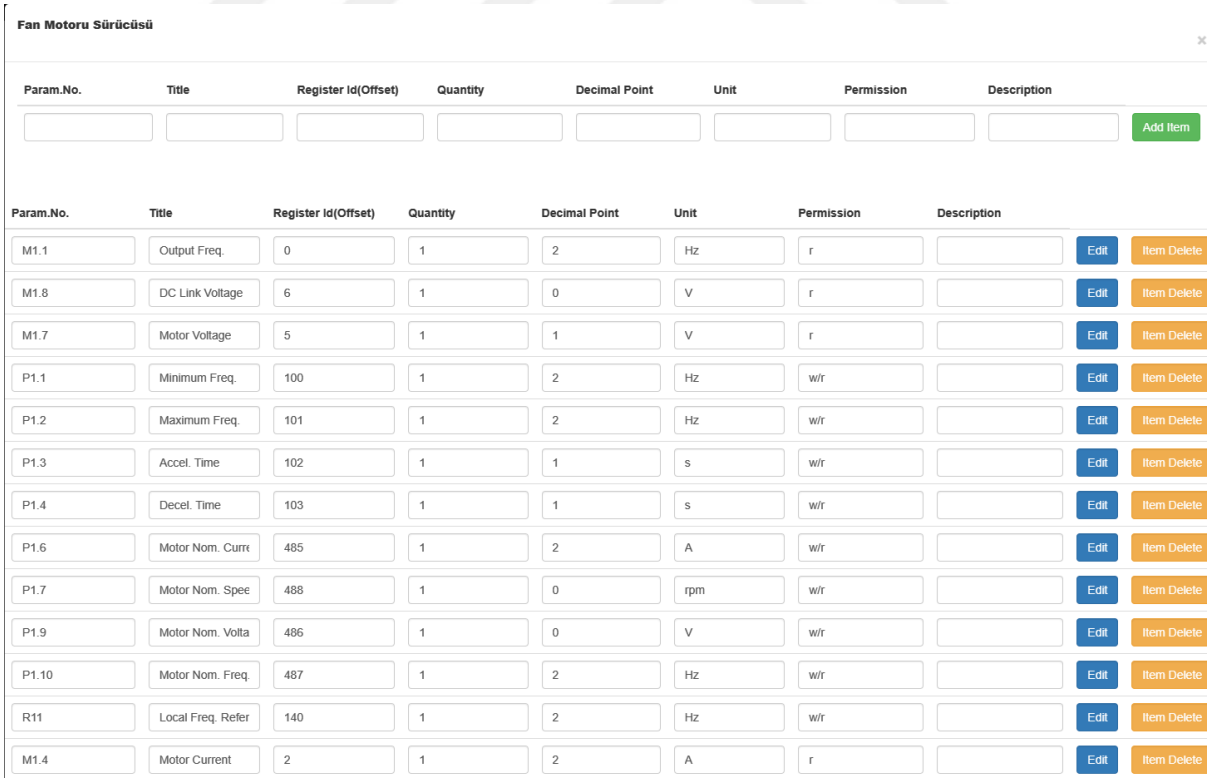
Şekil 4.13 "*Parameters*" sekmesinde yeni bir cihaz ekleme

Parameter sekmesinde "*Paramater Items*" veya "*Detail*" butonlarına tıklanarak kayıtlı cihazların ayarları görüntülenebilir veya istenildiğinde Şekil 4.14'de gösterildiği gibi değiştirilebilir.



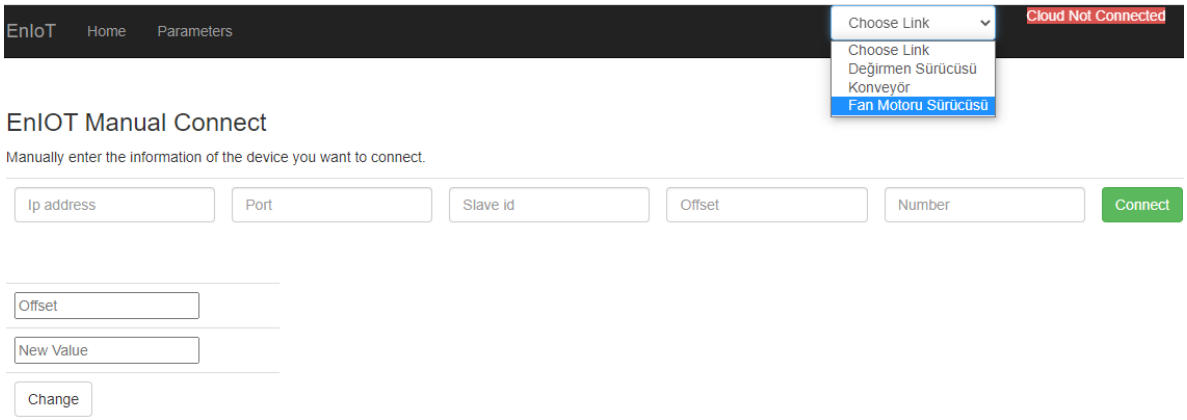
Şekil 4.14 "*Parameters*" sekmesinde cihaz ayarları görüntüleme ve değiştirme

Kullanıcı değiştirmek istediği cihaza ait parametre listesini ilgili cihaz bölümünde "*Parameters Items*" butonuna tıklayarak Şekil 4.15'te gösterildiği gibi listeleyip görüntülüyebilir ve kolayca değiştirebilir. Değiştirmek istediği değeri pencerede ilgili alanlara yazdıktan sonra "*Edit*" butonuna tıklayarak yazılan yeni değerin sisteme kayıt edilmesini sağlayacaktır, veya istenildiğinde "*Item Delete*" butonuna basarak ilgili parametreyi silebilecektir.



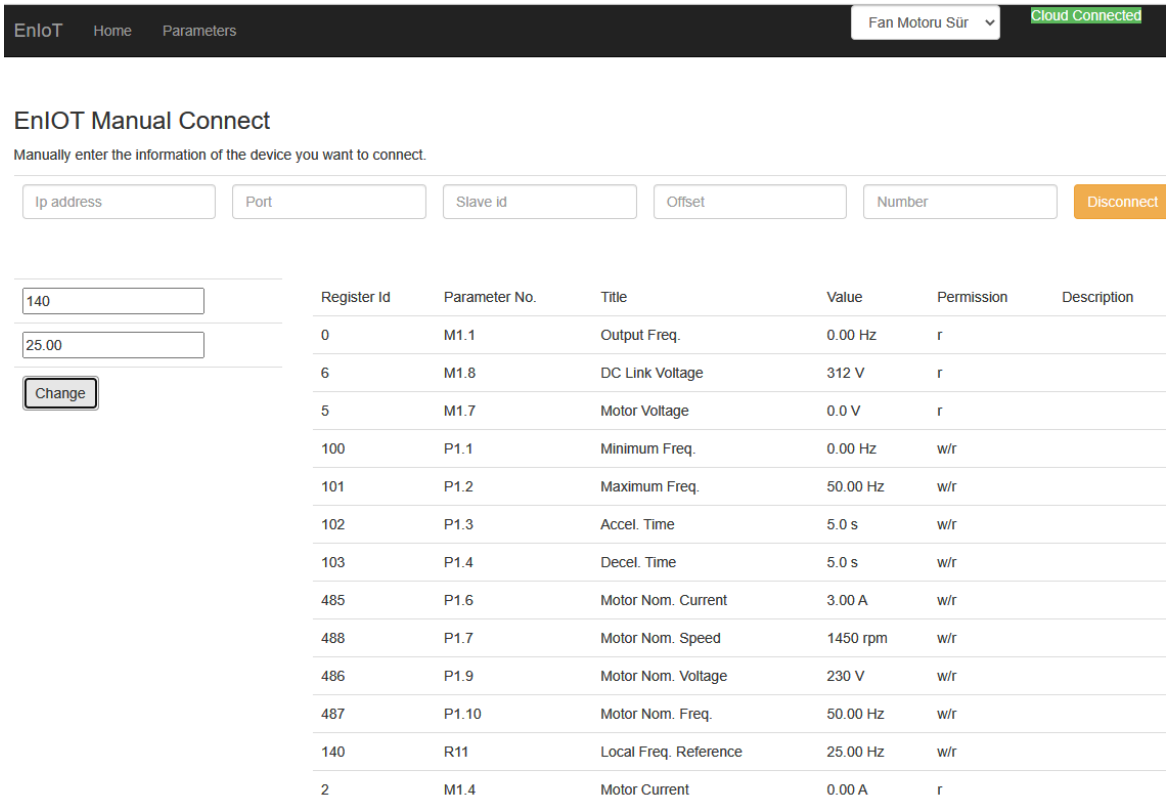
Şekil 4.15 "*Parameter Items*" sekmesinde kayıtlı parametrelerin görüntülenmesi ve değiştirilmesi

Kullanıcı web arayüzünde Şekil 4.16'da gösterildiği gibi Home sekmesinde kayıtlı cihaz seçimini yapılarak ilgili cihaza bağlantı kurulmasını kolayca sağlanabilir.



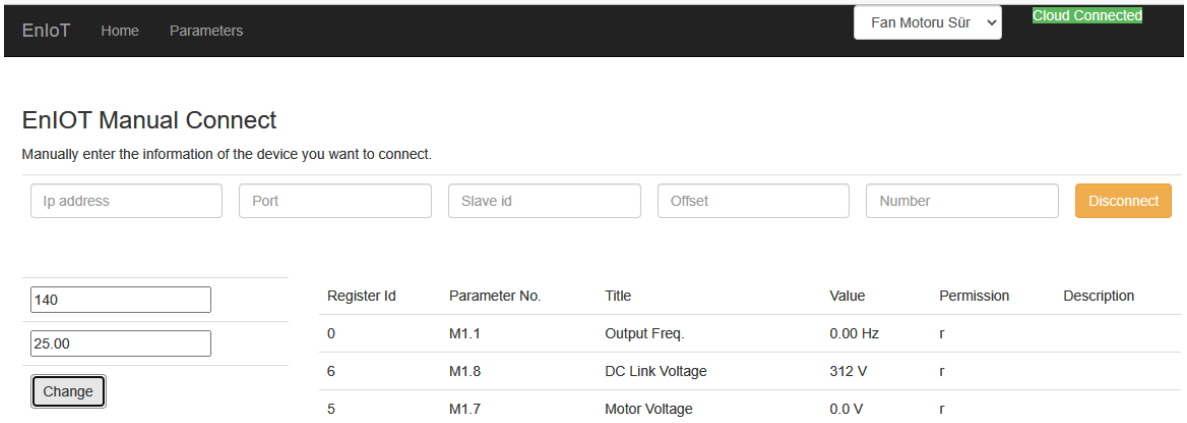
Şekil 4.16 "*Home*" sekmesinde kayıtlı cihaza bağlantı kurulması

Bağlantı kurulan cihaz parametreleri ve değerleri Şekil 4.17'de gösterildiği gibi ekranda görüntülenecektir. Kullanıcı yazma izni olan parametrenin register Id adresini "*Offset*" bölümüne, cihaza göndermek istediği yeni değeri ise "*New Value*" bölümüne yazdıktan sonra "*Change*" butonuna tıklayarak yeni değerin hız kontrol cihazına gönderilmesini sağlayacaktır. Gönderilen bu yeni değer anlık olarak tekrar okunarak web arayüzünde görüntülenecektir. Bu sayede yazılan yeni değerin cihaza ulaştığı görüntülenebilecektir.



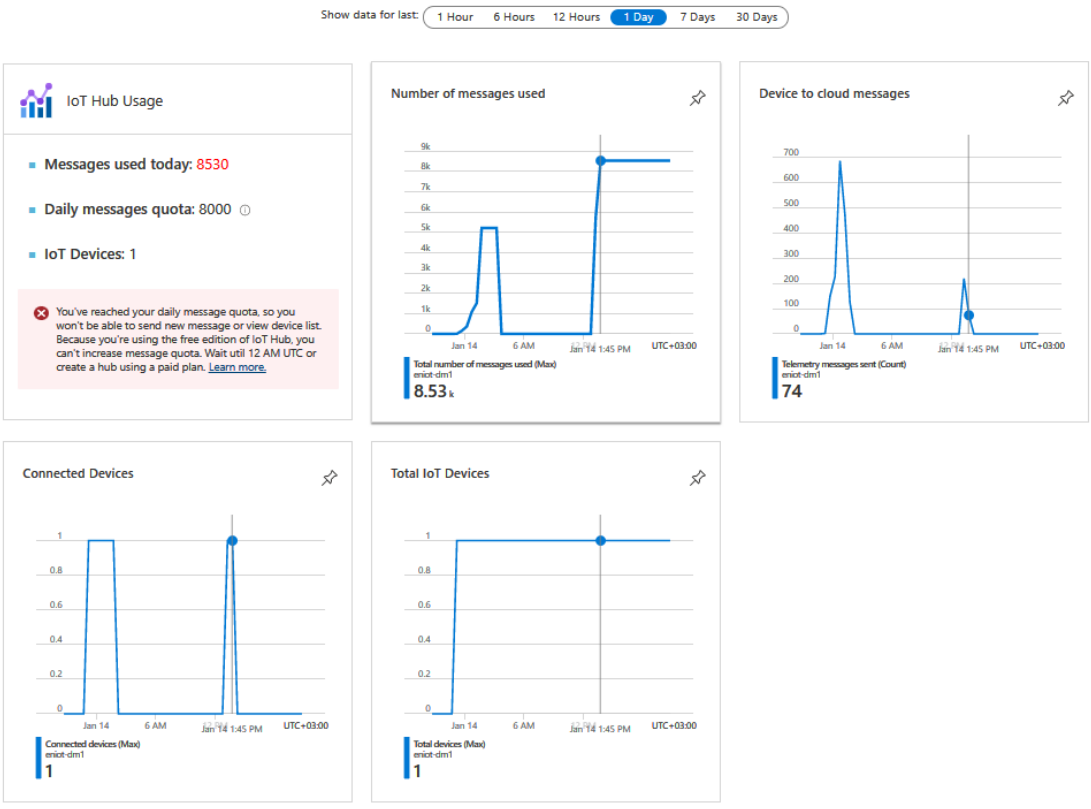
Şekil 4.17 "*Home*" sekmesinde kayıtlı cihaza bağlantı kurulması ve parametrelerin görüntülenmesi

Web arayüzünde bulunan ilgili durum bayrakları cihaz ve bulut sunucusu ile kurulan bağlantıyı göstermektedir. Bu sayede bağlantı kurulmak istendiğinde bu bayraklar izlenerek bağlantının durumu kontrol edilebilecektir. Şekil 4.18'de gösterildiği gibi hız kontrol cihazı ile uygulama yazılımı arasında ModbusTCP haberleşme bağlantısı kurulması durumunda "*Disconnect*" butonu aktif olacaktır. Yine aynı şekilde uygulama yazılımı ile bulut sunucusu arasında bağlantı kurulduğunda da "*Cloud Connected*" bayrağı yeşil yanarak bilgi verecektir.



Şekil 4.18 Geliştirilen uygulamanın web arayüzündeki bağlantı durum bayrakları

Geliştirilen yazılım ile sahadaki hız kontrol cihazları arasında başarılı bir şekilde ModbusTCP haberleşmesi kurulduktan sonra hız kontrol cihazı üzerinden alınıp toplanan veriler IoT hub aracılığıyla buluta gönderilir. Şekil 4.19'da gösterildiği gibi IoT hub'a bağlı olan her bir cihaz tarafından buluta gönderilen tüm verilerin bir analizi ve bağlı olan cihaz sayısı Azure platformunda görüntülenebilmektedir.



Şekil 4.19 Buluta gönderilen verilerin ve bağlı cihazların anlık durumu

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada örnek bir uygulama olarak, endüstriyel tesislerde motor yol verme için gerekli olan değişken frekanslı bir hız kontrol cihazının uzaktan izleme ve kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir.

Endüstriyel sahadaki cihazlara uzaktan erişim sayesinde kullanıcılar makine ve ekipmanların durumunu her yerden izleyebilirler. Bu sayede uzman teknik ekipler daha erken uyarılır, bu da sorunlara hızla yanıt verebilecekleri ve zaman alıcı gecikmeler olmadan çözüm bulabilecekleri anlamına gelir. Geliştirilen ürün ile çoklu erişim noktaları üzerinden veri ve cihazlara erişim sağlanabilmektedir. Ayrıca fabrikadaki vardiya değişimleri, görev paylaşımı ve ekip operasyonları daha akıcı hale gelecektir. Uzaktan destek sayesinde özellikle gece vardiyalarında ihtiyaç duyulan uzman personele erişim kolaylığı sağlanacaktır. İnternete bağlı cihazlarla gerçek zamanlı izleme sayesinde, teknik ekip her zaman mevcut olan en son verilere sahip olacaktır. Bu, üreticilerin bilgiyi kaydetme ve paylaşmadaki gecikmelerini azaltırken daha verimli süreçler uygulamasına yardımcı olabilir.

Bu çalışma, hali hazırda çalışılan birçok projeye temel oluştururken, yeni projelerin oluşturulması için de ilham kaynağı olacağı kanaatindeyiz.

5.1. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Geliştirilen ürünün endüstride son kullanıcı hizmetine sunulması, kullanımının yaygınlaştırılması ve bu alandaki ilginin artırılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda bir prototip üretmek ve ardından da faydalı model başvurusu yapmak amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Abdullin, V. V., Shnayder, D. A., Khasanov, A. R., & Tselikanov, D. F. (2020, November). IIoT-Based Approach to Industrial Equipment Condition Monitoring: Wireless Technology and Use Cases. In 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC) (pp. 399-406). IEEE.

Amazon (2023). "https://aws.amazon.com/what-is/mqtt/?nc1=h_ls" / Erişim: 15 Ocak 2023.

Bahizad, S. (2020, August). Risks of Increase in the IoT Devices. In 2020 7th IEEE International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)/2020 6th IEEE International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud (EdgeCom) (pp. 178-181). IEEE.

Benzi, F., Bassi, E., Marabelli, F., Belloni, N., & Lombardi, M. (2019, September). IIoT-based Motion Control Efficiency in Automated Warehouses. In 2019 AEIT International Annual Conference (AEIT) (pp. 1-6). IEEE.

Colaizzi, P. D., O'Shaughnessy, S. A., & Lamm, F. R. (2018, February). Web/smart phone based control and feedback systems for irrigation systems. In Proc. 30th Annual Central Plains Irrigation Conf (pp. 199-208).

Demir, E., Yildiz, K., Demir, O., & Ulku, E. E. (2020, October). Computer Vision Based Intelligent 3D CNC Machines. In 2020 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) (pp. 1-6). IEEE.

Eaton (2023). "https://www.eaton.com/content/dam/eaton/technicaldocumentation/mn/powerxl-dm1-application-manual-mn040049en.pdf" / Erişim: 10 Ocak 2023.

İleri, Y., & Furat, M. (2020). A Roadmap for Digitalization of Industrial Processes Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Special Issue), 349 357.

Jagtap, S., Rahimifard, S., & Duong, L. N. (2019). Real-time data collection to improve energy efficiency: A case study of food manufacturer. Journal of food processing and preservation, e14338.

Jayanthi, G., Arunachalam, S., Praveen, K., & Unni, K. P. (2018, February). Cost effective SCADA for remote monitoring and control for effective process automation using HMI. In 2018 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS) (pp. 342-346). IEEE.

Jasim, A. M. (2020). An IOT Based Smart Agricultural Field Monitoring and Irrigation System. Journal of Global Scientific Research (ISSN: 2523-9376), 1, 307-316.

Khan, T. A., Shaikh, F. A., Khan, S., & Siddiqui, M. F. (2019, August). Real-Time Wireless Monitoring for Three Phase Motors in Industry: A Cost-Effective Solution Using IoT. In 2019 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA) (pp. 1-5). IEEE.

Leccese, F., Cagnetti, M., & Trinca, D. (2014). A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a ZigBee sensor network and WiMAX. Sensors, 14(12), 24408-24424.

Leccisi, M., Leccese, F., Moretti, F., Blaso, L., Brutti, A., & Gozo, N. (2020, June). An iot application for industry 4.0: a new and efficient public lighting management model. In 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (pp. 669-673). IEEE.

Nagpal, C., Upadhyay, P. K., Hussain, S. S., Bimal, A. C., & Jain, S. (2019, December). IIoT Based Smart Factory 4.0 over the Cloud. In 2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE) (pp. 668-673). IEEE.

Nguyen-Hoang, P., & Vo-Tan, P. (2019, September). Development an open-source industrial IoT gateway. In 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT) (pp. 201-204). IEEE.

Niedermaier, M., Fischer, F., Merli, D., & Sigl, G. (2019, September). Network scanning and mapping for IIoT edge node device security. In 2019 International Conference on Applied Electronics (AE) (pp. 1-6). IEEE.

Magadán, L., Suárez, F. J., Granda, J. C., & García, D. F. (2022). Low-Cost Industrial IoT System for Wireless Monitoring of Electric Motors Condition. Mobile Networks and Applications, 1-10.

Microsoft (2023). “https://azure.microsoft.com/tr-tr/pricing/details/iot-hub/” / Erişim: 15 Ocak 2023.

Microsoft (2023). “https://docs.microsoft.com/tr-tr/azure/iot-hub/iot-hub-mqtt-support#connecting-to-iot-hub” / Erişim: 15 Ocak 2023

Petritoli, E., Leccese, F., & Cagnetti, M. (2019, June). Takagi-Sugeno Discrete Fuzzy Modeling: An IoT Controlled ABS for UAV. In 2019 II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4. 0&IoT) (pp. 191-195). IEEE.

Potturi, S., & Mandi, R. P. (2018, November). Critical Survey on IOT Based Monitoring and Control of Induction Motor. In 2018 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD) (pp. 1-6). IEEE.

Python (2023). “https://pypi.org/project/PyQt5/” / Erişim:15 Ocak 2023.

Python (2023). “https://pymodbustcp.readthedocs.io/en/latest/quickstart/index.html#overview-of-the-package” / Erişim: 15 Ocak 2023.

Rosca, F., & Rahman, T. (2021). U.S. Patent No. 10,920,769. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Shukla, A., Shukla, S. P., Chacko, S. T., Mohiddin, M., & Fante, K. A. (2022). Monitoring of Single-Phase Induction Motor through IoT Using ESP32 Module. Journal of Sensors, 2022.

Sicard, B., Alsadi, N., Spachos, P., Ziada, Y., & Gadsden, S. A. (2022, June). Predictive Maintenance and Condition Monitoring in Machine Tools: An IoT Approach. In 2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS) (pp. 1-9). IEEE.

Şen, M., & Kul, B. (2017, September). IoT-based wireless induction motor monitoring. In 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET) (pp. 1-5). IEEE.

Ting, L., Khan, M., Sharma, A., & Ansari, M. D. (2022). A secure framework for IoT-based smart climate agriculture system: Toward blockchain and edge computing. Journal of Intelligent Systems, 31(1), 221-236.

Wikipedia (2023). “https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus” / Erişim: 14 Ocak 2023.

Wikipedia (2023). “https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio” / Erişim: 08 Nisan 2023.

ÖZGEÇMİŞ

Araştırma ve geliştirmede ilgi alanları arasında; endüstriyel otomasyon, endüstriyel yazılım, akıllı MCC çözümleri, dijital dönüşüm, nesnelerin interneti, PLC'ler, dokunmatik ekranlar, hız kontrol cihazları, enerji verimliliği, elektrikli araçlar, uzaktan erişim ve CNC makineleri bulunmaktadır.