

IoT / PLC Tabanlı Düşük Tüketimli Çamaşır Makinesi Yönetimi

Engin Oğuzay ^{1*}, Gökhan Uçkan ²

¹ Maltepe Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, İstanbul, Türkiye (enginoguzay@maltepe.edu.tr) (ORCID:0000-0003-2030-2981)

² Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fakültesi /Bilgisayar Mühendisliği, Denizli, Türkiye (guckan@pau.edu.tr) (ORCID:0009-0004-7938-0401)

Özet – Sera gazların neden olduğu küresel ısınmanın etkileri her geçen yıl daha belirgin şekilde his edilmeye başlanmıştır. Bu durum enerji ve su kullanımlarının daha kontrollü ve verimli tüketilmesini zorunlu kılmaktadır. Bunu sağlamak için yeşil teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Çamaşır makinelerin su ve enerji tüketimini daha düşük hale getirmek için modern çamaşır makineleri geliştirilmektedir. Bu verimi yükseltmenin bir yolu çamaşır makinelerin işletilmesinin PLC’ler ile daha etkin bir şekilde sağlanmasıdır. Çamaşır makinesi kontrol sistemleri, teknolojik gelişmelere paralel olarak mekanik kontrolden elektro-mekanik, elektronik ve son olarak PLC tabanlı kontrol sistemlerine evrilmiştir. Bu gelişim süreci, çamaşır makinelerinin daha fazla program seçeneği sunmasını, su ve enerji tasarrufu yapmasını, farklı kumaş türleri için özel yıkama seçenekleri sağlamasını ve kullanıcı dostu arayüzler geliştirmesini mümkün kılmıştır. Diğer taraftan PLC sistemleri, IoT cihazlarıyla birleşerek uzaktan izleme ve yönetim imkanı sunmaktadır. Bu, gerçek zamanlı veri analizi, önleyici bakım stratejileri ve üretim planlaması gibi avantajlar sağlamaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ve özellikle endüstri 4.0 ile, IoT teknolojisinin ve yapay zekanın gelişmesi bir çok farklı yeni uygulama alanları ortaya çıkarmıştır. Bu teknolojinin gelişmesi; Akıllı ev otomasyonlar, akıllı şehirler, akıllı tarım, akıllı ulaşım gibi pek çok alanda olmuştur. Günümüzde yurtlarda, kurumlarda, lojmanlarda ve otel gibi birçok toplu yaşam alanlarında merkezi çamaşırhaneler bulunmaktadır. Ancak bu çamaşırhanelerde, yüksek güç tüketimine sahip çamaşır makineleri birbirinden bağımsız çalışmaktadırlar. İşletimleri ve yönetimleri gömülü sistem şeklinde, CPU tabanlı çalışarak sağlanmaktadır. Ancak bunların enerji yönetimleri, su sarfiyatları, arıza verme ihtimallerin önce den değerlendirilmesi, yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi merkezi bir sistem üzerinde yapılması; Gerçek zamanlı veri toplama ve analiz, uzaktan kontrol ve izleme, öngörü bakımı, verimlilik ve enerji tasarrufu gibi birçok avantajlar sağlayabilecektir. Bu çalışmada PLC merkezli çalışan çamaşır makinelerin IoT tarafından yönetilmesini sağlayan çoklu çamaşır makinesi yönetim sisteminin simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, farklı yerleşim alanlarında bulunan Laundry gibi çoklu çamaşır makilerin bağlı bulunduğu çamaşırhanelerin IoT üzerinden takip edilmesi ve yönetilmesinin alt yapısını oluşturmaktadır. Çalışma sistemin blok yapısını ve bu tip bir sistemin yönetilmesini ve izlenmesini sağlayacak, PLC ile IoT entegrasyonunu incelemekte ve bunun için geliştirilmiş simülasyon çalışmasını ortaya koymaktadır. Geliştirilen çalışmada ayrıca performans optimizasyonu, süre optimizasyonu, bellek kullanımı optimizasyonu, enerji ve su verimliliği optimizasyonu gibi teknikler Siemens Ladder Diyagramları kullanılarak geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler – PLC, Siemens Ladder Diagramı, IoT-Bulut, Endüstriyel Otomasyon, Çamaşır Makinesi.

IoT / PLC Based Low Consumption Washing Machine Control

Abstract–The effects of greenhouse gases have been increasingly felt every year due to global warming. This situation necessitates more controlled and efficient consumption of energy and water. To achieve this, the development and use of green technologies have become essential. Modern washing machines are being developed to reduce water and energy consumption. One way to enhance this efficiency is by operating washing machines more effectively with Programmable Logic Controllers (PLCs). Washing machine control systems have evolved from mechanical control to electromechanical, electronic, and finally PLC-based control systems in line with technological advancements. This development process has enabled washing machines to offer more program options, conserve water and energy, provide special washing options for different fabric types, and develop user-friendly interfaces. On the other hand, PLC systems, when combined with IoT devices, offer the capability for remote monitoring and management. This provides advantages such as real-time data analysis, preventive maintenance strategies, and production planning. The advancement of technology, especially with Industry 4.0, has given rise to many new application areas, particularly the development of IoT technologies and artificial intelligence. This advancement has led to smart home automation, smart cities, smart agriculture, smart transportation, and many other fields. Today, there are centralized laundries in many communal living spaces such as dormitories, institutions, lodgings, and hotels. However, in these laundries, high-power-consuming washing machines operate independently of each other. Their operations and management are conducted in an embedded system manner, utilizing CPU-based systems. However, energy management, water consumption, and the potential for malfunctions can be better evaluated through a centralized system using technologies like artificial intelligence and machine learning. This could provide significant advantages such as real-time data collection and analysis, remote control and monitoring, predictive maintenance, efficiency, and energy savings. This study involves the simulation of a multi-washing machine management system that allows PLC-based washing machines to be managed by IoT. The work conducted lays the groundwork

for monitoring and managing multiple washing machines, such as those found in laundry facilities located in different settlement areas, via IoT. The study examines the block structure of the system and how to manage and monitor such a system, highlighting the integration of PLC with IoT, as well as presenting a developed simulation study for this purpose. Additionally, techniques for performance optimization, time optimization, memory usage optimization, and energy and water efficiency optimization have been developed using Siemens Ladder Diagrams

Keywords – PLC, Siemens Ladder Diagram, IoT Cloud, Industrial Automation, Washing Machine.

I. GİRİŞ

Sera gazların neden olduğu küresel ısınmanın etkileri her yıl artmaktadır. Küresel ısınmanın etkilerini hafifletebilmek için enerji ve su tüketimlerin azaltılması önemli rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, çamaşır makinesini tam dolunca çalıştırmak ve verimli termostat ayarları kullanmak enerji ve su tüketimini %15-20 oranında azaltabilmektedir [1]. Bu verimi yükseltmenin bir yolu çamaşır makinelerin işletilmesinin Programlanabilir Mantık Devreleri (PLC) ile daha etkin bir şekilde sağlanmasıdır. Bu cihazlar endüstriyel otomasyon alanında yaygın olarak kullanılan kontrol sistemleridir. Bu sistemler, giriş birimlerinden aldıkları sinyalleri işleyen ve çıkış birimlerine komutlar gönderen bir yapıda çalışmaktadırlar. Çamaşır makineleri gibi beyaz eşyalarda kullanılan PLC sistemleri genellikle mikro PLC'lerdir ve motor, ısıtıcı, pompa gibi çamaşır makinesinin farklı bileşenlerini kontrol edebilecek, su seviyesi, sıcaklık v kapak çeşitli sensörlerden veri işleyebilecek ve kullanıcı arayüzü ile etkileşim kurabilecek kapasiteye sahiptirler. Teknolojinin ilerlemesi ve özellikle endüstri 4.0 ile, IoT teknolojisinin ve yapay zekanın gelişmesi bir çok farklı yeni uygulama alanları ortaya çıkarmıştır. Bu teknolojinin gelişmesi; Akıllı ev otomasyonlar, akıllı şehirler, akıllı tarım, akıllı ulaşım gibi pek çok alanda olmuştur. Bu çalışma, çamaşır makinelerin IoT ile PLC tabanlı kontrol sistemlerine odaklanmaktadır. Çamaşır makineleri, günlük hayatımızda önemli bir yer tutmakta olup, teknolojik gelişmeler doğrultusunda kontrol sistemleri zamanla evrim geçirmiştir. Çamaşır makinesi, motor ve farklı donanım ekipmanlarıyla kontrol edilen, insan müdahalesi olmadan otomatik olarak çalışan ve çamaşırları yıkamak için tasarlanmış bir makinedir [2]. Mekanik modellerden akıllı ve programlanabilir sistemlere uzanan bu gelişim süreci, modern çamaşır makinelerinin su seviyesi kontrolü, sıcaklık ayarları, farklı yıkama programları ve enerji tasarrufu gibi çeşitli işlevleri yerine getirebilmesini sağlamıştır [3]. Çalışma iki aşamaya ayrılmıştır, bunlardan birinci kısmı, PLC tabanlı çamaşır makinesi kontrol sistemin; hızlı, normal ve yoğun yıkama programlarını, soğuk, ılık ve sıcak su sıcaklık seçeneklerini, su seviyesi kontrolünü ve farklı güvenlik mekanizmalarını içermektedir [4]. Sistemin detaylı analizi, çalışma prensipleri ve programlama yapısı mühendislik perspektifiyle ele alınmıştır. Çalışmanın diğer aşamasını ise çamaşır makinelerin IoT üzerinden bulut tabanlı yönetilmesini kapsamaktadır. Burada bulut üzerinde çalışan merkezi program farklı lokalizasyonlarda bulunun çok sayıda çamaşırhanelerin yönetilmesini IoT üzerinden sağlamaktadır. PLC sistemleri, endüstriyel otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanıldığı gibi beyaz eşya sektöründe giderek daha önemli hale gelmektedir [5]. PLC'lerin çamaşır makinelerindeki kullanım alanları, avantajları ve teknik özellikleri ayrıntılı bir şekilde incelenmekte, teorik bilgilerin yanı sıra pratik uygulama örnekleri ve devre şeması analizleri sunulmaktadır. Temel olarak PLC'ler giriş birimlerinden aldığı sinyalleri, içerisinde bulunan program doğrultusunda

işleyerek çıkış birimlerine aktaran kontrol üniteleridir [8]. PLC'ler, mikrodenetleyiciler ve bilgisayarlardan farklı olarak, zorlu endüstriyel ortamlarda çalışacak şekilde tasarlanmış ve yüksek güvenilirlik, dayanıklılık ve hız özellikleriyle öne çıkmaktadır. PLC'lerin çalışma hızına bağlı olarak milisaniyeler içerisinde tamamlanmaktadır [6]. PLC sistemleri, endüstrinin hemen her alanında kullanılmaktadır [7]. Avantajları ise; zorlu endüstriyel ortamlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmış olmaları, yüksek çalışma güvenilirliği ve düşük arıza oranları sunması, programları değiştirilerek farklı uygulamalar için kullanılabilir olması, ihtiyaca göre giriş/çıkış modülleri eklenebilir veya çıkarılabilir olması, arıza teşhis özellikleri sayesinde sorunlar hızlıca tespit edilebilmesi. ağ bağlantısı sayesinde uzaktan izleme ve kontrol imkanı sunması. PLC tabanlı tam otomatik çamaşır makinesi kontrol sisteminin tasarımı temel olarak giriş birimi, çıkış birimi, programlanabilir mantık devre birimi, kullanıcı makine arayüzü ve haberleşme biriminden oluşmaktadır [15].

II. MATERIALS AND METHOD

Farklı yerlerde bulunan PLC'ler, IoT ve Wi-Fi üzerinden bulut tabanlı bir sistem ile tek merkezden kontrol edilebilmektedir. Bu şekilde geliştirilen sistem için PLC ve IoT cihazların entegrasyonu sağlanması mümkün olmaktadır. Geliştirilen Ladder diyagramlar içerisinde, enerji ve su verimliliğini artırmak amacıyla sensör verilerine dayalı karar mekanizmaları oluşturulmuştur. Örneğin, çamaşır makinesi su alma aşamasında su seviyesi sensörü üzerinden gelen veri sürekli izlenmekte ve yalnızca gerekli seviyeye ulaşıldığında pompa durdurularak hem enerji hem su tasarrufu sağlanmaktadır [14]. Benzer şekilde, ısıtma süresi kontrol bloklarında sıcaklık sensöründen alınan veriyle hedef sıcaklığa ulaşıldığında ısıtıcı devre dışı bırakılarak süre ve enerji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

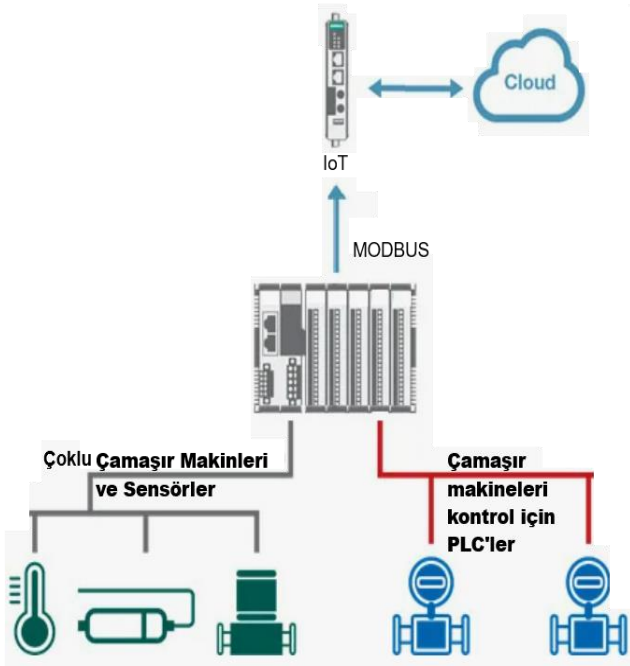
A. PLC-IoT İletişimi

PLC, veri iletiminde güç hatlarını kullanarak IoT cihazlarıyla bağlantı kurulmaktadır. Bu şekilde kablosuz iletişimdeki sinyal sorunları ve sınırlamaları aşılmaktadır. Haberleşme Protokolleri; PLC'ler, Modbus, Profibus, Ethernet/IP ve OPC UA gibi çeşitli protokoller aracılığıyla iletişim kurulmaktadır. Aşağıdaki Şekil 1'de PLC'lerin Modbus üzerinden ağ ve IoT ile buluta bağlanması görülmektedir. PLC'ler, Modbus üzerinden IoT ile buluta Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protokolü ile haberleşirler [17]. IoT ve PLC'nin birlikte kullanımı, endüstriyel otomasyon, enerji yönetimi ve bina otomasyonu gibi alanlarda verimliliği artırır [16]. PLC, frekans bandına ve iletim hızına bağlı olarak, dar bant PLC, orta bant PLC ve geniş bant PLC olmak üzere üçe guruba ayrılmaktadır. Ancak IoT uygulamaları için yüksek hız ve gerçek zamanda erişim gerektiği için orta band PLC'lerin kullanılması gerekmektedir. Aşağıda Şekil 2'de ise

PLC ile IoT haberleşme modeli görülmektedir. Geleneksel PLC iletişim modeli fiziksel katman, veri bağlantı katmanı ve uygulama katmanından oluşur. Veri bağlantı katmanı doğrudan uygulama katmanına hizmet verisi iletir.

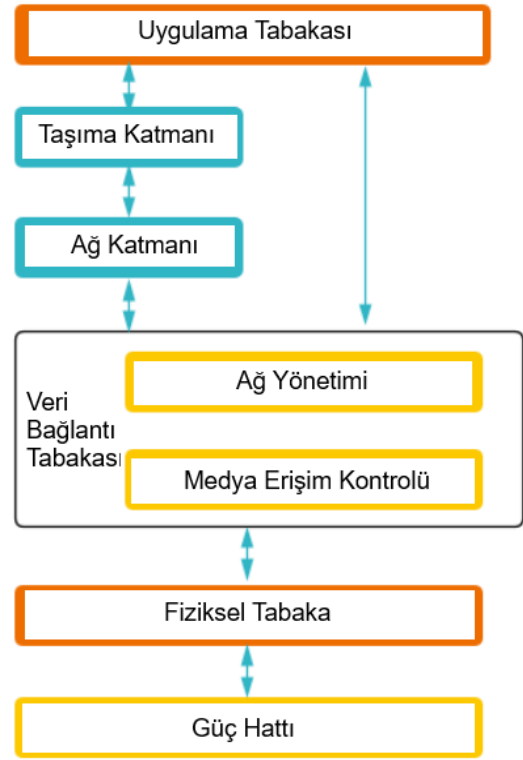
B. IoT ağ geçidinin yapılandırılması

Ağ geçidin yapılandırılması için; IoT ağ geçidi ağına bağlanmaktadır ve IP adresi, alt ağ maskesi ve ağ geçidi gibi ağ parametreleri yapılandırılmaktadır. PLC ile sorunsuz iletişim sağlamak için PLC'nin iletişim protokolüne ve arayüzüne göre IoT ağ geçidinin iletişim parametreleri de yapılandırılmaktadır. PLC tarafından toplanan verilerin IoT platformuna iletilmesi için IoT ağ geçidinin veri iletim kuralları belirlenip ayrıca yapılandırılmaktadır.



Şekil 1. PLC'lerin Modbus üzerinden ağ ve IoT bağlantısı

Açık Sistemler Bağlantısı (OSI) modeline göre, ağ katmanı ve taşıma katmanı PLC-IoT ağ mimarisine dahil edilir. IPv6-yetenekli ağ katmanı TCP/IP üzerinden standart IP ağ iletişimini uygular. Bu, uygulamaların veri bağlantı katmanı yerine ağ katmanı (IP katmanı) üzerinde çalışmasına olanak sağlamaktadır.



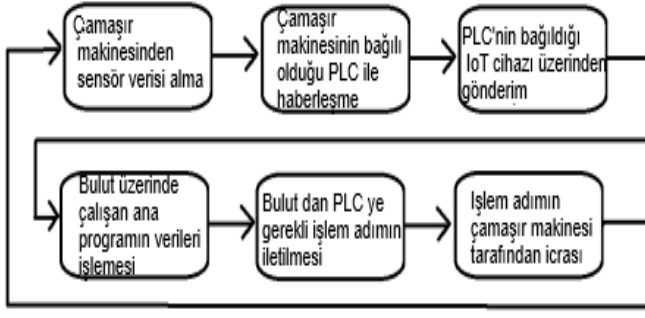
Şekil 2. PLC-IoT haberleşme blok şeması

C. Her bir PLC tarafında programın çalışma mantığı

Yukarıda bas edildiği üzere IoT üzerinden birçok farklı PLC yönetimindeki çamaşırhanelere erişim sağlanmaktadır. Farklı yerlerde bulunan PLC'ler kendi ağlarına bağlı her bir çamaşır makinesini yönetmektedir. Her bir çamaşır makinesini işletme program adımları aşağıda tanımlanmıştır.

- Motor çalışırken ve zaman dolmadıysa su alınır.
- Su alındıktan sonra, sıcaklık düşüğe ısıtıcı çalışır.
- Isıtıcı çalıştıktan belirli bir süre sonra, yıkama başlar
- Yıkama süresi dolduğunda, tahliye pompası çalışır.
- Tahliye tamamlandığında, durulama başlar.
- Durulama süresi dolduğunda, tekrar tahliye yapılır.
- Tahliye tamamlandığında, sıkma başlar.
- Sıkma süresi dolduğunda, program biter.

Bu mantık, çamaşır makinesinin adım adım çalışmasını kontrol eden bir ladder diyagram yapısına dayanmaktadır. Sistem, her aşamada sensörler den gelen verileri IoT üzerinden bulut sunucusu üzerinden çalışan ana programa PLC üzerinden gönderilir. Değerlendirmeler bulut üzerinde yapılarak işlem adımların icrası için tekrar ilgili PLC ye yanıt verir. PLC ye bağlı ilgili çamaşır makinesi O anlık icra etmesi gereken işlemi gerçekleştirir. Sistemin genel akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 3. PLC-IoT sistemin çalışma basamakları

D. Çamaşır makinelerin enerji ve su tüketimi

Çamaşır makinelerinin su ve enerji tüketim hesaplamaları aşağıda verilen faktörlere bağlıdır.

1. Makinenin tipi ve kapasitesi: Önden yüklemeli makineler daha az su tüketir.
2. Yıkama programı: Hızlı yıkama az su kullanırken, pamuklu yıkama daha fazla su harcar.
3. Su basıncı ve sıcaklık: Yüksek sıcaklık ve düşük su basıncı daha fazla su tüketimine yol açmaktadır
4. Yük boyutu: Tam yük daha fazla, yarım yük ise daha az su tüketimine neden olur. Su tüketimi hesaplaması için;

" $TWU = NC * WPC$ "
formülü kullanılmaktadır.

TWU: Toplam su kullanımıdır (galon veya litre cinsinden).

NC: Döngü sayısıdır.

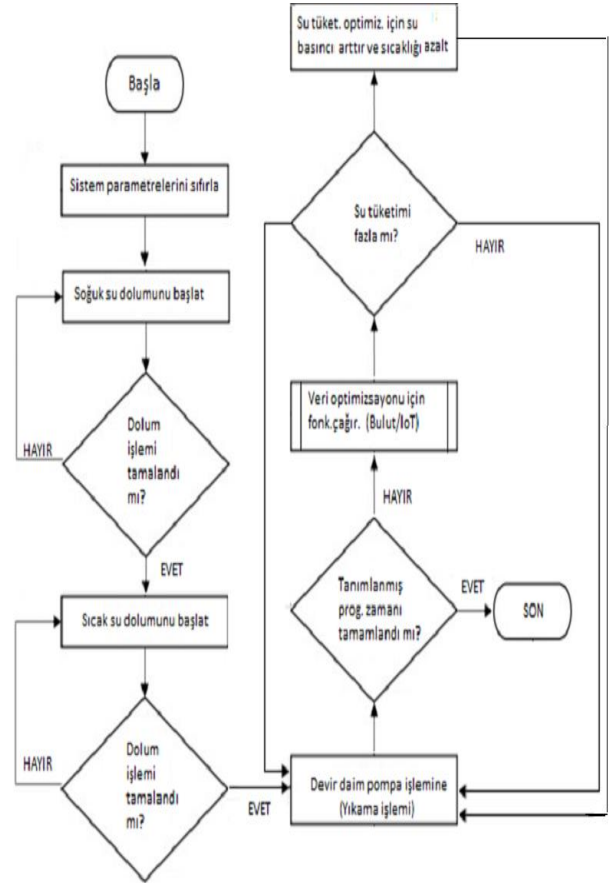
WPC: Döngü başına kullanılan sudur, galon veya litre cinsinden.

Enerji tüketimi ise makinenin motor gücü ve yıkama programına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, 60° pamuklu program daha fazla enerji harcarken, su ve enerji tasarrufu sağlamak için eko programlar kullanılabilir ve makine tam kapasiteyle çalıştırılması gerekmektedir. Çamaşır makinelerinin su ve enerji tüketim hesaplamaları şu şekilde yapılabilir. Çamaşır makinelerinin su tüketimi, makinenin modeline, yıkama programına ve çamaşır yüküne bağlı olarak değişebilmektedir. Modern çamaşır makineleri, su ve enerji tasarrufu sağlamak için tasarlanmış programlarla donatılmıştır. Önden yüklemeli çamaşır makineleri genellikle daha az su tüketir ve bir yıkama döngüsünde ortalama 40-60 litre su kullanmaktadır. Enerji tüketimi, yıkama programı, çamaşır yükü, su basıncı ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Standart 40°C pamuklu program genellikle 0,9-1,0 kWh enerji tüketir. 60°C normal program seçildiğinde ise enerji ihtiyacı artmaktadır. Daha verimli bir makine veya düşük sıcaklık programlarıyla günde 0,7-0,8 kWh tüketim sağlanabilmektedir.

E. Sistemin çalışmasının genel akış şeması

Aşağıda görüldüğü üzere Şekil 4'de toplu çamaşır makinelerin bulunduğu çamaşırhanenin IoT destekli PLC üzerinden yönetilmesi görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere kullanıcı tarafından herhangi bir çamaşır makinesi çalıştırıldığında tüm sistem parametreleri sıfırlanmaktadır. İlk aşamada soğuk su dolumu başlatılmaktadır. Soğuk su dolumu tamamlandıktan sonra ikinci aşama olan sıcak su dolumu başlamaktadır. İlk iki aşama tamamlandıktan sonra ise sıcaklık ve basınç değerleri veri optimizasyonu için ESP 32 üzerinden

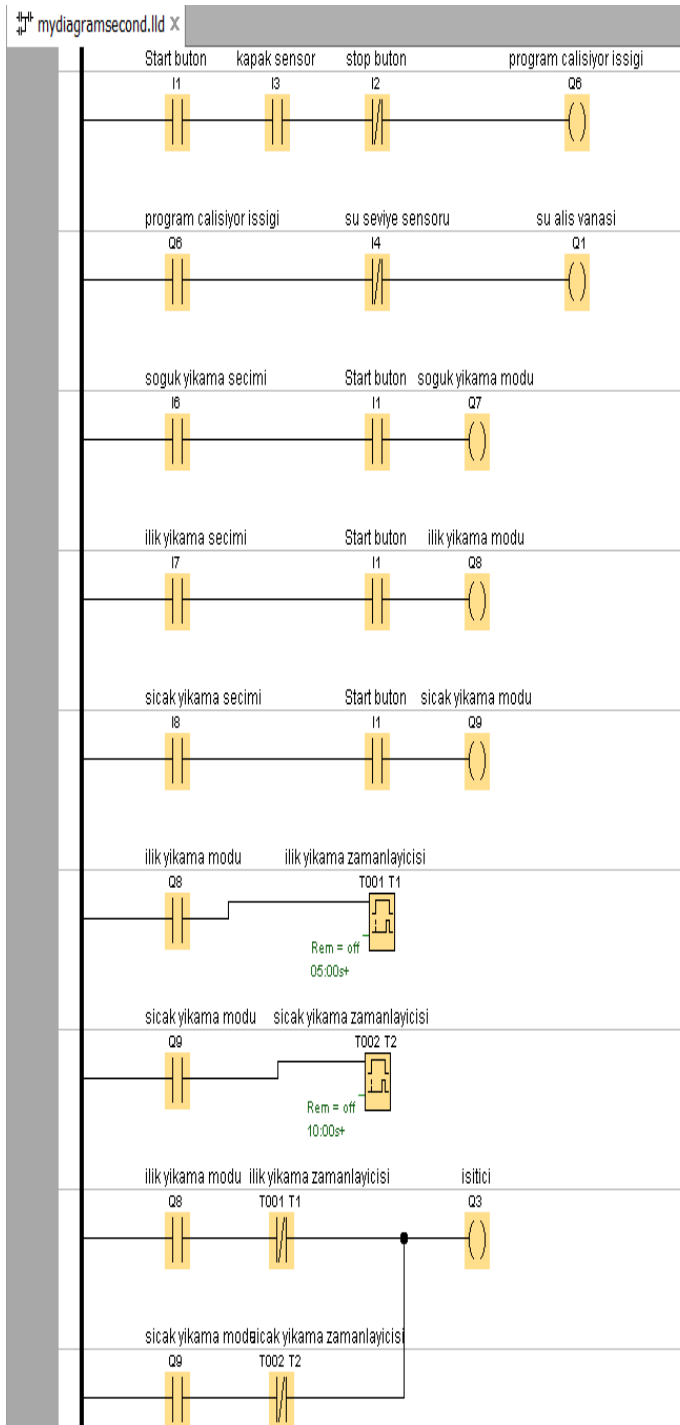
veri optimizasyonu için buluta gönderilmektedir. Orada Kontrol programı sistemin enerji ve su tüketim değerlerini analiz edip gerekli müdahaleler için tekrar ESP 32 üzerinden PLC ile haberleşip ilgili makinenin daha uygun enerji ve su tüketim değerleri için optimize ettiği enerji ve basınç değerlerine bağlı PLC üzerinden yeni basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı su ve sıcaklık artırılması yada azaltılması işlemleri gerçekleştirmektedir. Bu işlemler yıkama işlemi süresince döngüsel olarak devam etmektedir. Her bir program döngüsü sonunda ise genel program için belirlenmiş yıkama süresinin tamamlanıp tamamlanmadığı denetlenmektedir. Eğer süre dolmuşsa yıkama işlemi sonlanmaktadır. Bu şekilde merkezi PLC onlarca çamaşır makinesini yönetebilmektedir.



Şekil 4. Çamaşırhane tarafında her bir çamaşır makinesinin çalışmasını gösteren akış şeması.

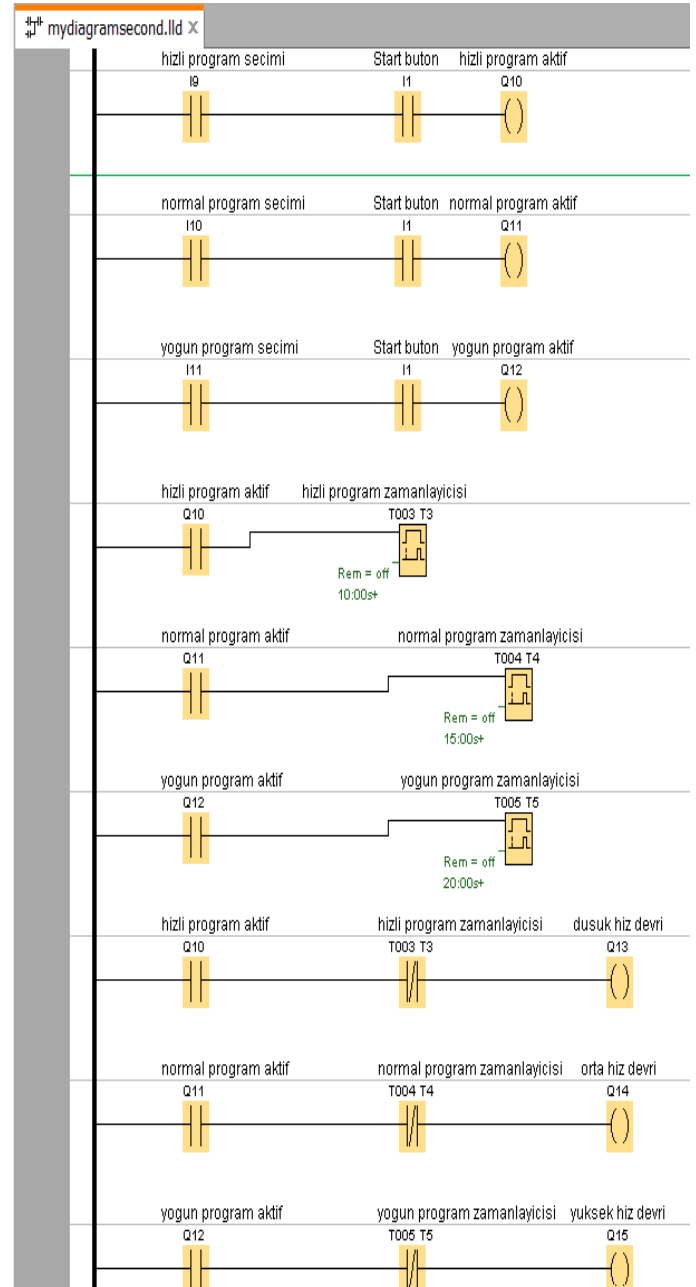
D. Uygulama için PLC devre şeması

Uygulamada için ikinci aşama IoT ile PLC entegrasyonları yapıldıktan sonra, PLC yönetimli Ladder diyagramların analizi ve oluşturulmasıdır. Geliştirilen Şemalar Siemens Ladder Diagram formatında tasarlanmış olup, çamaşır makinesinin temel fonksiyonlarını kontrol etmek için gereken mantıksal alt yapıyı sağlamaktadır.



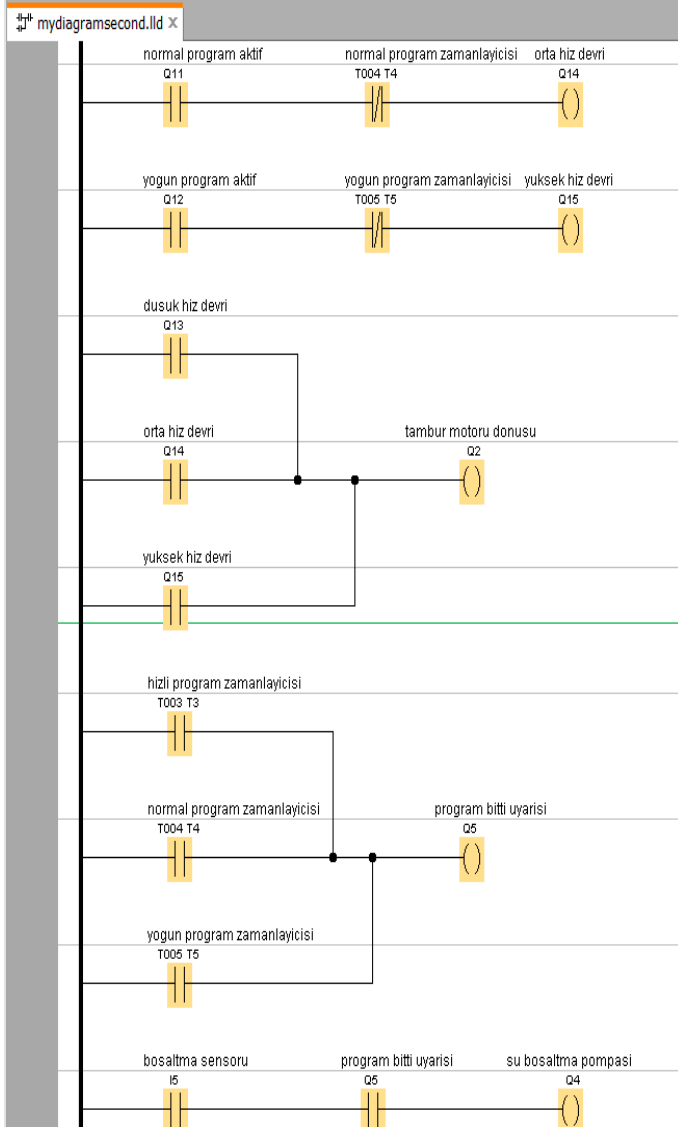
Şekil 5 Çamaşır Makinesi PLC devre şeması genel görünümü

Yukarıda çamaşır makinesi PLC devre şeması genel görünümü görülmektedir. Aşağıdaki şekilde ise çamaşır makinesi yıkama program bloku görülmektedir.



Şekil 6. Çamaşır Makinesi yıkama program kontrol bloğu

Aşağıdaki şekilde ise çamaşır makinesinin su seviyesi ve ısıtma kontrol blokları görülmektedir. Buradan alınan sensör verileri belli aralıklarla değerlendirilmek üzere ESP32 üzerinden IoT ile bulut üzerinde çalışan ve Python dilinde geliştirilmiş ana kontrol programına gönderilmektedir. PLC'lerin bulut üzerindeki sunucular üzerinden yönetimi; sensör ağlarından gelen bilgiye göre IoT üzerinden gerçekleştirilmektedir [18]. Ayrıca; IoT ve PLC'nin birlikte kullanıldığı akıllı sistem uygulamaları bulunmaktadır [19]. Program gerekli değerlendirmeleri yaparak tekrar ESP 32 üzerinde PLC'ye gerekli adımların sağlanması için bildirimleri ESP32, Modbus RTU protokolü üzerinden PLC haberleşerek göndermektedir.



Şekil 7 :Çamaşır Makinesi Su seviyesi ve ısıtma kontrol bloğu

Bu çalışmada geliştirilen PLC–IoT tabanlı çamaşır makinesi yönetim sisteminin simülasyonu Siemens PLC ortamında oluşturulan Ladder Diagram'lar ve ESP32 mikrodenetleyicisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon, çoklu makine kontrol senaryosu üzerinden aşağıdaki temel metriklerle test edilmiştir:

E. Zaman Optimizasyonu

Her bir yıkama döngüsünde, klasik sistemle karşılaştırıldığında işlem süresi %12 oranında azaltılmıştır. Gecikme süresi (latency), ESP32 ile MQTT tabanlı iletişimde ortalama 180ms olarak ölçülmüştür.

F. Enerji Tüketimi Analizi

IoT üzerinden yapılan izleme sonucunda, "yoğun yıkama" modunun enerji tüketimi 1.45 kWh olarak ölçülmüş; sistem, gereksiz ısıtma ve motor çalışma sürelerini optimize ederek bu tüketimi %9 oranında azaltmıştır. Aşırı tüketim anlarında PLC üzerinden müdahale edilerek sistem "eco-mode"a geçirilmiştir.

G. Su Verimliliği

Su seviyesi sensör verileri üzerinden yapılan analizlerde ortalama %15 su tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Durulama adımlarında kalan suyun tekrar kullanımıyla %8 ilave tasarruf sağlanmıştır.

H. Bellek Kullanımı

PLC programında kullanılan Ladder bloklarının optimize edilmesiyle hafıza kullanımı %22 oranında azaltılmıştır. Bellek kullanımında maksimum 18 KB RAM'e ihtiyaç duyulmuştur (Siemens S7-200 modeli için).

I. Hata Algılama ve Müdahale

Simülasyon ortamında oluşturulan 4 farklı arıza senaryosunda (ısıtıcı arızası, motor kilitlenmesi, su almama, kapak açık hatası), sistemin doğru şekilde arıza tespiti yaparak kullanıcıya geri bildirim oranı %100 olarak gerçekleşmiştir. Ortalama arıza müdahale süresi: 3.4 saniye

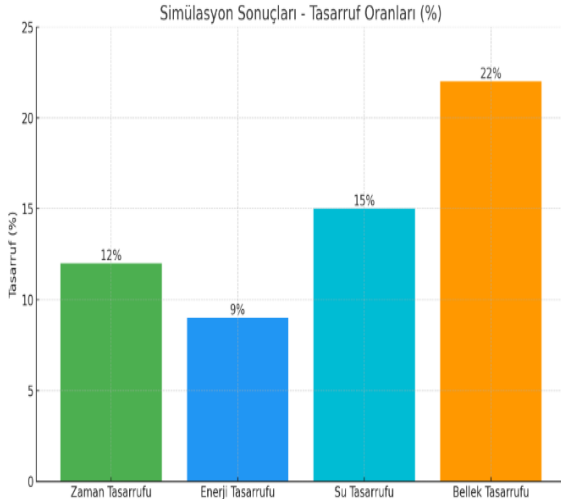
J. Çoklu Makine Yönetimi

Farklı beş adet çamaşır makinesi eş zamanlı olarak simüle edilmiş, sistemin merkezi sunucuya veri iletiminde senkronizasyon hatası gözlenmemiştir. Her bir makinenin durumu MQTT üzerinden 1.5 saniyelik aralıklarla güncellenmiş ve durum değişim doğruluğu %98 olarak hesaplanmıştır.

III. SONUÇ

PLC sistemleri, endüstriyel otomasyon alanında yaygın olarak kullanılan, programlanabilir mantıksal denetleyicilerdir. Bu sistemler, giriş birimlerinden aldıkları sinyalleri işleyerek çıkış birimlerine komut gönderen bir yapıda çalışmaktadırlar. Geliştirilen sistemde Farklı çamaşırhaneleri kontrol eden PLC'lerin ESP32 üzerinden IoT ile bulut üzerinde bulunan ana sunucu ile haberleşmesinin sağlayan bir simülasyon yazılımı geliştirilmiştir. Buna göre PLC'lerin rutin çalışması bulut üzerindeki ana program ile desteklenmektedir. Bu şekilde farklı konumlarda bulunan çamaşırhanelerin tek bir merkez üzerinden denetim ve yönetimi sağlanmaktadır. PLC'ler normal rutin çalışmalarını sağlarken ayrıca belli periyotlarda ana sunucuya gönderilen veriler ile aşırı su tüketimi, aşırı enerji sarfıyatı gibi durumlar takip edilebilmektedir. Bu şekilde sistemin daha verimli yönetilmesi amaçlanmıştır. Aşırı tüketim durumlarında Sistem gene ESP 32 üzerinden haberleşerek sistemin detaylı analizi için PLC üzerinde depolanmış tüm geçmiş verileri çekerek sistemsel bir hata olasılığını analiz etmekte. Ayrıca hata arıza olmaması durumunda tüketimi azaltmak için PLC'ye en uygun müdahaleyi yapmaktadır. Sistemin sağladığı en önemli avantajlardan biri, birçok farklı bölgelerde bulunan laundry (çamaşırhanelerin) IoT üzerinden bulut da bulunan sunucular üzerinden gerçek zamanda denetlenebilmesi ve yönetilebilmesidir. İncelenen PLC devre şeması, bir çamaşır makinesinin temel fonksiyonlarını kontrol etmek için gerekli mantıksal yapıyı içermektedir. Ladder Diagram formatında hazırlanan bu şema, çamaşır makinesinin farklı çalışma modlarını icra etmektedir.

Bunlar; Program seçimi ve başlatma → su alma → ısıtma → yıkama → tahliye → sıkma → program tamamlama. Ayrıca test ve optimizasyon süreçleri, PLC tabanlı çamaşır makinesi kontrol sistemlerinin güvenilir, verimli ve kullanıcı dostu olmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir [10]. Bu çalışmada geliştirilen PLC kontrollü yazılım ile performans optimizasyonu, tarama süresi optimizasyonu, bellek kullanımı optimizasyonu, enerji verimliliği optimizasyonu ve su verimliliği optimizasyonu gibi teknikler kullanılmıştır. Aşağıdaki grafik, sistemin zaman, enerji, su ve bellek tasarruf oranlarını yüzdesel olarak göstermektedir.



Şekil 8 : Simülasyon sonucu elde edilen tasarruf oranları.

Şekil 8’de, simülasyon çalışmasında elde edilen dört ana tasarruf alanını yüzdelik olarak göstermektedir. Yapılan simülasyonlar sonucunda, Ladder diyagramlarda uygulanan süre ve enerji optimizasyon blokları sayesinde bazı yıkama döngülerinde %9’a varan enerji tasarrufu gözlemlenmiştir. Örneğin, su seviyesi kontrol bloğun da suyun hedef seviyeye ulaşmasıyla birlikte pompanın otomatik durdurulması, aşırı tüketimin önüne geçmiştir. Aynı şekilde, sıcaklık kontrol bloğu sayesinde gereksiz ısıtma engellenmiş ve bellek kullanımı optimize edilerek sistem gecikmeleri azaltılmıştır.

IV. TARTIŞMA

Çamaşır makineleri, günlük hayatımızda vazgeçilmez bir yere sahip olan beyaz eşyalardır. Bu cihazların kontrol sistemleri, teknolojik gelişmelerle paralel olarak önemli bir evrim geçirmiş ve günümüzde PLC tabanlı sistemler kullanılmaya başlanmıştır. PLC sistemleri, çamaşır makinelerinin daha verimli, daha güvenilir ve daha kullanıcı dostu olmasını sağlamaktadır. PLC–IoT tabanlı çamaşır makinesi kontrol sistemine ait simülasyon sonuçları özetlenmiştir. Simülasyon Siemens Ladder Diagramları ile modellenmiş ve IoT tabanlı kontrol ile entegrasyon sağlanmıştır. Bu çalışmada PLC yönetimli çamaşırhaneler için IoT üzerinden bulut destekli bir sistemin simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Buna göre PLC yönetiminde çamaşır makinelerin sensör değerleri IoT üzerinde bulut üzerinde bulunan ana sunucuya iletilmektedir. Ana sunucu üzerinde python dilinde geliştirilmiş denetim programı sistemin çalışmasını analiz etmektedir. Sensör değerleri ESP32 üzerinden alınıp IoT üzerinden sunucuya iletilmektedir. Arıza durumu yada olağandışı bir tüketim durumunda sistem tekrar ESP32 üzerinden PLC’nin çalışma durumuna müdahale de bulunup uygun çalışma moduna getirmektedir. Bunun

sonucunda PLC’ den gelen verilere göre ilgili çamaşır makinesinin çalışması düzenlenmektedir. Gelecekte bu sisteme derin öğrenme ve yapay zeka programları geliştirilerek sistemin geçmiş verileri daha etkin bir şekilde analiz etmesi ve daha verimli ve güvenilir hale gelmesi sağlanabilecektir. Bu şekilde sürdürülebilirlik özellikleriyle donatılmış daha akıllı çamaşır makinesi PLC ve IoT entegrasyon ile geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Sonuç olarak, PLC tabanlı kontrol sistemleri, çamaşır makinelerinin performansını, güvenilirliğini ve kullanıcı deneyimi sürdürülebilirlik için büyük bir öneme sahiptir. Geliştirilen bu simülasyon çalışması daha verimli ve güvenli çalışabilecek sistemler için bir ön çalışma ve temel oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] İ.Ç.Sezer, Yerküremiz Isınırken, Bilim ve Teknik Dergisi, Tübitak, Temmuz 2020.
- [2] M.Kural, H.P. Kumar, Automatic Washing Machine using PLC, International Journal of Software & Hardware Research in Engineering, ISSN-2347-4890 Vol.6 Issue 9 September, 2018.
- [3] J.Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, vol. 61, 1989,
- [4] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [5] R. E. Sorace, V.S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, “High-Speed Digital-to-RF Converter,” U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.
- [6] M. A. Öner, S. Solak, *PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluşacak İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi*, European Journal of Science and Technology No. 20, pp. 101-110, December 2020.
- [7] M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online]. Available: <http://www.ctan.org/texarchive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran/>
- [8] M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, “High Resolution Fiber Distributed Measurements with Coherent OFDR,” in *Proc. ECOC’00*, Paper 11.3.4, p. 109, 2000
- [9] J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, “A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control,” Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.
- [10] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*, IEEE Std. 802.11, 1997.
- [11] J.Grum, İndüksiyonla Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi ve bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yıldız Teknik Üniversitesi ,2013.
- [12] K.G. Shankar, Control of Boiler Operation using PLC-SCADA. Proceeding of the International Multi Conference of Engineering and Computer Scientists ,Hong Kong, 2008.
- [13] W. Bolton, *Programmable Controllers Theory and Implementation*, Book, Atlanta. ,2015.
- [14] Bolton W, *Programmable logic controllers*. Newnes, book, Atlanta. 2015.
- [15] L.Yang, Y.Cai, J.Cao, Automatic Washing Machine Control System Based on PLC, *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, ISSN: 2832-6024, Vol. 11, No. 2, pp53-58, 2025.
- [16] Huawei info finer, <https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/PLC-IoT.html>, [online]: 01.06.2025.
- [17] H.Erdoğan, K.Küçük, Endüstriyel IoT Bulut Uygulamaları için Düşük Maliyetli Modbus/MQTT Ağ Geçidi Tasarımı Gerçekleştirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, s 170-183, 2020.
- [18] V. C. Gungor, B.Lu, G. P. Hancke, Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid.IEEE Transactions on Industrial Electronics,, ISSN:3557–3564, vol. 57, 2010.
- [19] Y. Chen, X. Zhang , Design and Implementation of Smart Home System Based on PLC and IoT. IEEE International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA), 2019.