



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NESNELERİN İNTERNETİ (IoT) TABANLI TRANSFORMATÖR  
İZLEME SİSTEMİ**

**OKAN YAMAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. YUNUS BİÇEN**

**DÜZCE, 2019**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NESNELERİN İNTERNETİ (IoT) TABANLI TRANSFORMATÖR  
İZLEME SİSTEMİ**

Okan YAMAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Yunus BİÇEN

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Yunus BİÇEN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ali ÇALHAN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇİLLİYÜZ

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 11/06/2019

## **BEYAN**

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

11 Haziran 2019

Okan YAMAN

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı danışman hocam Doç. Dr. Yunus BİÇEN' e içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve Bektaş DOĞAN başta olmak üzere bütün arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez süresince yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen değerli hocam Muhammet YAKUT' a ve çalıştığım kurum olan Selim Yürekten Meslek Lisesin' deki öğretmen arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sürecinde transformatör temininde yardımcı olan MEK-PA firmasına teşekkür ederim.

**11 Haziran 2019**

**Okan YAMAN**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1. GİRİŞ.....                                                     | 1  |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI.....                                        | 3  |
| 2.1. TRANSFORMATÖR İZLEME SİSTEMLERİNDE BİLİMSEL ÇALIŞMALAR ..... | 3  |
| 2.2. FİRMALARIN İZLEME SİSTEMLERİ AR-GE ÇALIŞMALARI .....         | 6  |
| 2.3. DÜŞÜK MALİYETLİ İZLEME SİSTEMİ ÇALIŞMALARI .....             | 8  |
| 3. ÖNERİLEN TRANSFORMATÖR İZLEME SİSTEMİ TASARIMI.....            | 9  |
| 3.1. DONANIM VE ALGILAYICI YAPILARI .....                         | 9  |
| 3.2. İZLEME SİSTEMİ ALGORİTMASI VE ARAYÜZ YAPILARI.....           | 16 |
| 3.2.1. Akış Şeması .....                                          | 20 |
| 3.2.2. ThingSpeak Görsel Arayüz Yapısı .....                      | 22 |
| 3.2.3. PushingBox Mesaj Bildirim Uygulaması .....                 | 24 |
| 3.2.4. Tahmini Ömür Hesabı.....                                   | 26 |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....                                      | 33 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                        | 38 |
| 6. KAYNAKLAR .....                                                | 40 |
| 7. EKLER .....                                                    | 45 |
| 7.1. EK-1: ÖMÜR HESABI ALGORİTMA KODLAMA YAPISI.....              | 45 |
| 7.1. EK-1: ÖMÜR HESABI ALGORİTMA KODLAMA YAPISI (DEVAM).....      | 46 |
| 7.2. EK-2: OMİK YÜKLER.....                                       | 47 |
| 7.3. EK-3: SENSÖR BAĞLANTI NOKTALARI .....                        | 48 |
| 7.4. EK-4: TRANSFORMATÖR YAĞI TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....             | 49 |
| 7.5. EK-5: SD KARTA DEPOLANAN VERİLER.....                        | 50 |
| 7.6. EK-6. THINGSPEAK MOBİL İZLEME VERİLERİ.....                  | 51 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                    | 52 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. Arduino Mega 2560 mikrodenetleyici geliştirme kartı. ....       | 10 |
| Şekil 3.2. Sensörler-1 a) DS18B20 b) DHT11 c) Termokupl ve entegresi. .... | 12 |
| Şekil 3.3. Sensörler-2 a) AC SCT-013 akım b) Yağ seviye. ....              | 13 |
| Şekil 3.4. Akım sensörü filtre yapısı [51]. ....                           | 14 |
| Şekil 3.5. Modüller-1 a) SD kart b) RTC (DS3231) c) Wi-Fi (ESP-07). ....   | 15 |
| Şekil 3.6. Modüller-2 a) 4-20mA/0-5V dönüştürücü b) Röle. ....             | 15 |
| Şekil 3.7. Donanım a) LCD b) Uyarı lambaları c) Güç kaynağı. ....          | 16 |
| Şekil 3.8. Transformatör izleme sistemi blok diyagramı. ....               | 17 |
| Şekil 3.9. Transformatör izleme sistemi tasarımı. ....                     | 18 |
| Şekil 3.10. Pano iç şeması. ....                                           | 19 |
| Şekil 3.11. Pano kapak şeması. ....                                        | 20 |
| Şekil 3.12. İzleme sistemi akış şeması. ....                               | 21 |
| Şekil 3.13. ThingSpeak görsel arayüzü. ....                                | 23 |
| Şekil 3.14. ThingSpeak mobil görsel arayüzü. ....                          | 23 |
| Şekil 3.15. PushingBox senaryo arayüzü. ....                               | 25 |
| Şekil 3.16. PushingBox bilgisayar ve mobil uyarı arayüzü. ....             | 26 |
| Şekil 3.17. Ömür kaybı hesaplama algoritması [59]. ....                    | 29 |
| Şekil 3.18. Ömür kaybı algoritma kodlama yapısı. ....                      | 32 |
| Şekil 4.1. Tasarlanan prototip deney sistemi. ....                         | 34 |
| Şekil 4.2. Sensör verileri. ....                                           | 35 |
| Şekil 4.3. Pano yapısının önden görünüşü. ....                             | 37 |

## KISALTMALAR

|       |                                                                                                   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| API   | Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface)                                  |
| ARM   | Acorn RISC Makinesi (Acorn RISC Machine)                                                          |
| DGA   | Çözülmüş gaz analizi (Dissolved Gas Analysis)                                                     |
| GPRS  | Genel Paket Radyo Servisleri (General Packet Radio Services)                                      |
| GSM   | Küresel Mobil Haberleşme Sistemi (Global System for Mobile Communications)                        |
| HST   | En sıcak nokta sıcaklığı (Hot Spot Temperature)                                                   |
| IEEE  | Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers) |
| IEC   | Uluslararası Elektronik Komisyon (International Electrotechnical Commission)                      |
| ID    | Kimlik (identification)                                                                           |
| IDE   | Yazılım Geliştirme Editörü (Integrated Development Environment)                                   |
| IOT   | Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)                                                         |
| IP    | İnternet Protokolü (Internet Protokol)                                                            |
| LCD   | Sıvı Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)                                                       |
| PLC   | Programlanabilir Lojik Kontrol (Programmable Logic Controller)                                    |
| PWM   | Sinyal Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)                                              |
| RTD   | Direnç Sıcaklık Dedektörü (Resistance Temperature Detector)                                       |
| SCADA | Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama (Supervisory Control and Data Acquisition)              |
| SD    | Hafıza Kartı (Secure Digital)                                                                     |
| UFH   | Ultra Hızlı Frekans (Ultra Fast Frequency)                                                        |
| Wi-Fi | Kablosuz İnternet (Standard For Wireless Fidelity)                                                |

## SİMGELER

|          |                                            |
|----------|--------------------------------------------|
| A        | Amper                                      |
| cm       | Santimetre                                 |
| dk       | Dakika                                     |
| $F_{AA}$ | Yaşlanma ivmesi (IEEE'ye göre)             |
| k        | Yıl indisi                                 |
| L        | Yıllık yalıtkan ömür kaybı katsayısı       |
| $L_y$    | Yalıtım ömrü katsayısı                     |
| $L_{yk}$ | Toplam ömür kaybı katsayısı (k yıla kadar) |
| MHz      | Megahertz                                  |
| ms       | Milisaniye                                 |
| $N_{60}$ | Saatlik zaman döngüsü                      |
| $N_{24}$ | Günlük zaman döngüsü                       |
| $N_{30}$ | Aylık zaman döngüsü                        |
| $N_{12}$ | Yıllık zaman döngüsü                       |
| RT       | Kalan ömür (Remaining life)                |
| $RT_k$   | Kalan lineer servis ömrü                   |
| sn       | Saniye                                     |
| T        | Yıllık zaman                               |
| $T_b$    | Toplam bağıl ömür kaybı                    |
| $T_y$    | Toplam geçen zaman                         |
| VA       | Volt Amper                                 |
| $\Omega$ | Ohm                                        |



## ÖZET

### NESNELERİN İNTERNETİ (IoT) TABANLI TRANSFORMATÖR İZLEME SİSTEMİ

Okan YAMAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yunus BİÇEN

Haziran 2019, 51 sayfa

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi izleme sistemlerinde akıllı sistem çözümlerini de beraberinde getirmiştir. Akıllı teknolojiler ile birlikte transformatörlerdeki farklı parametrelerin uzaktan izlenmesi, analiz edilmesi, transformatör hakkında bilgi edinilip gerekli önlemlerin önceden alınması ve operatörlerin uyarılması olanaklı hale gelmiştir. Bu tez çalışmasında Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı bulut sistemi ile düşük maliyetli modüler bir sistem tasarımı hedeflenmiştir. Sistemde kullanımı kolay olan, açık kaynak kodlu Arduino Mega 2560 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Modüler sistem tasarımı ile sensörlerden alınan sargı sıcaklığı, yağ sıcaklığı, ortam sıcaklığı, akım ve yağ seviyesi gibi parametreler izlenmiştir. Sürekli izlenen parametrelerin yanı sıra sargı sıcaklığından yola çıkarak IEEE standardına uygun şekilde transformatörün yalıtım yaşlanma düzeyi hesaplanmış ve buna bağlı olarak kalan servis ömrü kestirilmiştir. Sensörlerden alınan ve hesaplanan değerlerin kablosuz modül ile ThingSpeak web arayüzüne gerçek zamanlı olarak aktarılması sağlanmıştır. Diğer taraftan aynı veriler hafıza kartına zaman bilgisi ile kaydedilmiş ve tasarlanan sistem üzerindeki ekranda gösterilmiştir. Opsiyonel olarak kullanılan 4-20mA/0-5V dönüştürücü modül ile farklı sensörlerin sisteme entegrasyonu olanaklı hale getirilmiştir. Sensörlerden alınan parametrelerin değişimlerine göre başka bir aygıtın kontrolünün sağlanması için röle modülü kullanılmıştır. Ücretsiz bir platform olan Pushingbox uygulaması sisteme entegre edilerek sensörden alınan verilerin kritik değer aralıklarında veya kritik değer aşımalarında tanımlı olan mobil cihaza ve bilgisayara uyarı mesajı gönderilmesi sağlanmıştır. Tasarlanan modüler yapıyı sistem prototip deney transformatörü için denemiştir.

**Anahtar sözcükler:** Transformatör, Nesnelerin interneti (IoT), İzleme, Ömür tahmini

## ABSTRACT

### INTERNET OF THINGS (IoT) BASED TRANSFORMER MONITORING SYSTEM

Okan YAMAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronics  
And Computer Engineering,  
Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yunus BİÇEN

June 2019, 51 pages

Nowadays, thanks to the rapid development of technology it has brought smart system solutions in monitoring systems. With this intelligent technology, different parameters in transformers can be monitored and analyzed remotely. These analyzes provide information about the transformer and allow the necessary measures to be taken in advance and to warn the user. In this thesis, a modular system design which supports the Internet of Things-based (IoT) low cost cloud system is aimed. The easy-to-use Arduino Mega 2560 micro controller card that supports multiple analog and digital inputs / outputs is used in the system. Parameters such as ambient, oil and environment temperatures, current and oil levels which are taken from sensors through modular system design are monitored. While the Standard parameters are being monitored, there remaining service life of the transformer is calculated from the winding temperature. The data received from the sensors is intended to be transferred to the ThingSpeak web interface in real time, which is compatible with the wireless module. On the other hand, it is ensured that the sensor data is recorded in real time on the memory card and displayed on the screen on the designed system. With the optional 4-20mA / 0-5V module, the integration of sensors with 4-20mA output of different types is facilitated. Relay is used to control another device according to the parameters received from the sensors. Data which are taken from sensor are ensured the described mobile device and computer at critical value limit or overrun to be sent a warning message by integrating Pushing Box application, a free platform, into the system. The designed modular system is used in the prototype experiment transformer.

**Keywords:** Transformer, Internet of things (IoT), Monitoring, Life estimation

# 1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun sürekli artması, enerji ihtiyacının da artmasına neden olmaktadır. Transformatörler, enerjinin taşınmasında ve dağıtılmasında büyük öneme sahiptirler. Transformatörler nominal işletme koşullarında devrede oldukları sürece çeşitli arızalarla karşılaşmaktadır. Bu arızalar; ani olarak gerçekleşebilecek kısa devre akımları, yıldırım düşmesi sonucu oluşabileceği gibi çevresel ya da tüketiciden kaynaklı da olabilmektedir. Transformatörlerde aşırı yüklenmeye bağlı olarak meydana gelen sargı sıcaklığındaki artışlar izolasyon yağının ısınmasına neden olmaktadır. Isınan yağ ise çözünerek, yalıtım kâğıdının yaşlanmasına yol açıp arızalanmasına neden olabilmektedir. Bu arızalar transformatörün kalan ömrünü azaltmaktadır ya da tamamen devre dışı kalmasına neden olmaktadır. Bu arızaların bir kısmı transformatör üzerinde bulunan koruyucu donanımlarla önlenebilmektedir. Uzun vadede oluşabilecek arızalar ise belirli periyodik bakımlarla önlenmeye çalışılmaktadır. Periyodik bakımlar yapılırken transformatörün farklı koşullarda çalıştırılması arızanın tam olarak bilinmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi nedenler transformatör arızalarının ya da servis ömrünün daha doğru tahmin edilmesini gerekli kılmaktadır. Maliyetleri yüksek olan güç transformatörleri için bakım planlamalarının doğru yapılması, arızaların önceden belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Servis ömrünün belirlenmesi için farklı yöntem ve analizler yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden birisi de sargılarda oluşan sıcaklığa göre servis ömrünün tahmin edilmesidir. Servis ömrünün tahmini, en sıcak nokta sıcaklığı (HST) temel alınarak yapılır [1].

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle beraber akıllı şebeke uygulamalarına talep giderek artış göstermektedir. Geliştirilen teknoloji ile yeni donanım ve yazılımlarla akıllı şebeke sistemlerine yatırımlar artmaktadır. Bu yatırımlar, güçlü firmalar önderliğinde transformatör teknolojilerinde artmaya devam etmektedir. Bu teknolojik gelişmelere paralel olarak farklı donanımlarla ve yazılımlarla izleme sistemleri geliştirilmektedir. Geliştirilen sistemler ile transformatörler çevrimiçi izlenmekte (transformatör devrede iken) veya çevrimdışı (transformatör devre dışı iken) analiz edilmektedir. Transformatör devrede değilken yapılan analizler, bakım testleri işlemleri uzun sürebilmektedir. Bu süreç içerisinde elektrik enerjisinin olmaması ise üretim ve tüketim açısından önemli bir

sorunu teşkil etmektedir. Akıllı sistemlerin kullanılması ile birlikte enerjinin çevrimiçi izlenmesi, analiz edilmesi, arıza belirtilerinin önceden bilinmesi, kontrol edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması kolaylaşmaktadır. Bu sistemler transformatöre entegre edilerek transformatörün servis durumu hakkındaki parametreler anlık olarak alınmaktadır. Bu sistemlerle birlikte transformatörün servis ömrünün uzatılarak daha uzun süre devrede aktif olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Transformatör sektöründe farklı modüler yapıda izleme sistemleri güçlü firmalar önderliğinde geliştirilmekte ve üretilmektedir. Son yıllarda kablosuz internetin yaygınlaşması ve bulut sistemlerindeki gelişmeler ile istenilen parametreler uzaktan izlenebilir hale gelmiştir. Bulut sistemini destekleyen yeni nesil izleme sistemlerinden birisi olan IoT tabanlı uygulamalar transformatör izleme sistemlerine entegre edilmektedir [2]. Bununla birlikte IoT tabanlı destekleyen farklı uygulamalar geliştirilmektedir [3], [4]. Bu uygulamalardan birisi olan ThingSpeak web arayüzü ile transformatörlerin parametrelerinin çevrimiçi izlenmesi daha kolay hale gelmektedir [5], [6]. Bu sistem ile birlikte transformatörlerin uzaktan izlenebilmesi, parametrelerin analiz edilmesi, gerekli önlemlerin alınması, kontrol edilmesi ve diğer izleme sistemlerine göre maliyeti düşük olması gibi avantajları vardır.

Bu tez çalışmasında sektördeki transformatör izleme sistemleri ürünlerinden maliyeti daha düşük olan ve IoT tabanlı çalışan bir sistem önerilmiştir. Önerilen izleme sisteminde yağ, sargı ve ortam sıcaklığı; akım, yağ seviyesi gibi sensör verileri anlık olarak Liquid Crystal Display (LCD) de gösterilmektedir. Sensör verileri gerçek zaman modülü sayesinde hafıza kartına zaman bilgisi ile birlikte kaydedilmektedir. Aynı zamanda ThingSpeak arayüzü ile her sensör parametresi uzaktan mobil cihazdan ya da bilgisayardan izlenebilmektedir. Sistemdeki sensörlerden farklı tipte 4-20 mA çıkışı olan sensörler de dönüştürücü modül sayesinde kolayca sistemde kullanılmaktadır. Bu sayede farklı parametrelerin opsiyonel olarak izlenmesi desteklenmiştir. Sensörlerden alınan verilerin kritik değer aşımalarında uyarı mesajı için ek bir donanım gerektirmeyen PushingBox uygulaması kullanılmaktadır [7]. Bu uygulama ile uyarı bildirim mesajları mobil cihazdan ya da bilgisayardan alınabilmektedir. Bu sistemde aynı zamanda transformatörlerde HST parametresini referans alarak Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) standartlarında tahmini servis ömrü hesabı yapılabilmektedir. Hesaplanan servis ömrü saatlik, günlük, aylık ve yıllık bazdaki değişimleri ThingSpeak web arayüzü ile izlenebilmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Elektrik enerji tüketiminin hızla artışı transformatör ihtiyacını da arttırmaktadır. Yüksek maliyetlerle üretilmiş transformatörlerin arıza yapmadan hizmette kalması enerjinin iletilmesi ve dağıtılması için çok önemlidir. Çünkü transformatörlerin servis dışı kalması sanayi üretiminin yavaşlayacağı hatta durabileceği anlamına gelmektedir. Sanayi kuruluşları için transformatörler daha da önemli hale gelirken transformatörlerin güvenli olarak sürekli çalışması istenilmektedir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı transformatörlerin izlenmesi günümüzde gerekli hale gelmektedir. Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi akıllı sistemlerin gelişmesinin önünü açmaktadır. Akıllı sistemlerdeki bu gelişmeler transformatör izleme sistemlerine entegre edilmektedir. Bununla birlikte transformatörlerin servis durumu hakkında daha hızlı ve güvenilir bilgi edinilebilmektedir. Bu bölümde günümüzde son yıllarda yapılan transformatör izleme sistemlerinde akademik çalışmalara, firmaların geliştirdiği izleme sistemlerine, akıllı çözüm önerilerine değinilmiştir ve son olarak düşük maliyetli izleme sistemleri araştırılmıştır.

### 2.1. TRANSFORMATÖR İZLEME SİSTEMLERİNDE BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Transformatör izleme sistemlerine duyulan ihtiyaçla beraber akademik çalışmalarda bu alanda sürekli yeni çözüm önerileri sunulmaktadır. Bu çözüm önerileri arızaların tanımını daha doğru hale getirmektedir ve bu arızalar önlenmektedir. Transformatör izleme sistemleri üzerine yapılan ilk akademik çalışmalar 1985'te T. D. Poyser ve arkadaşları tarafından yayınlanan bir makalede ortaya atılmıştır. Yapılan bu çalışmada transformatörlerin standart sıcaklık parametreleri ve kağıt yalıtımı bilgileri izlenmiştir [8]. O zamandan günümüze kadar farklı izleme teknolojileri ve farklı parametreleri ayrı ayrı izleyen sistemler geliştirilmiştir.

Transformatör izleme ve arıza teşhis konusunda yalıtım kağıdının yaşlanması ve izolasyon yağının durumu diğer etkenlere göre daha çok bilgi vermektedir. 1950'li yıllara kadar izolasyon yağı ve yalıtım durumu hakkında fazla durulmamıştır. Bu yıllardan sonra

yarıiletken teknolojisinin gelişmesine paralel olarak yağ içindeki gazın analiz edilerek arızalarla ilişkilendirilmeye yönelik birçok farklı yöntem geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde M. Duval'ın ortaya koyduğu Duval Üçgeni diğer yöntemlerin önüne geçmeyi başarmıştır. M. Duval tarafından geliştirilen yöntem yağın içerisindeki çözünmüş gaz analizlerini içermektedir. Bu yöntem ile transformatörde meydana gelen arızalar diğer yöntemlere göre daha doğru şekilde tespit edilebilmektedir [9]. Günümüzde çözünmüş gaz analizleri yağ içerisinde numune alınarak laboratuvar ortamında (offline) ya da transformatör devrede iken (online) yapılabilmektedir. Yağ içerisindeki numunenin hatasız bir şekilde alınması ve en kısa sürede laboratuvara götürülmesi analizlerin doğruluğu açısından önemlidir. Laboratuvar ortamında yapılan analizler transformatör devrede iken (online) yapılan analizlere göre bir dezavantaj oluşturmaktadır [10]. Transformatör içerisindeki yağ ile birlikte diğer parametrelerin (sıcaklık, akım, gerilim vb.) izlenmesi için de modüler yapıda sistemler geliştirilmiştir. Thomas Leibfried izleme sisteminde geliştirdiği bu modüler yapıya benzer olan C. Donald ve arkadaşlarının yaptıkları bu çalışmaları desteklemektedir [11], [12]. Farklı parametrelerin birbiri ile olan ilişkilerini anlamak ve arızaların daha doğru tespiti için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan Sunghyun Kim ve arkadaşları sıcaklığa bağlı olarak dielektrik özelliğinin yıllara göre nasıl değiştiğini analiz etmişlerdir [13].

Günümüzde transformatörlerin izlenmesi konularında elektronik teknolojisinin ve ağ yapılarının gelişmesiyle beraber modern izleme sistemleri geliştirilmektedir. Klasik izleme sistemlerinde genellikle PLC (Programmable Logic Controller) tabanlı Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama (SCADA) görsel arayüzü olan sistemler kullanılmaktadır. Kowshik S.G yaptığı çalışmada PLC modülüne ek olarak direnç temelli sıcaklık ölçer (RTD) modülü ekleyerek sargı sıcaklığını ölçmektedir. Sargı sıcaklığının kritik değerleri aştığında soğutma fanını aktif hale getiren arıza önlemeye ve soğutmaya yönelik bir izleme sistemi tasarlamışlardır [14]. Başka bir çalışma olan Neethu NM. ve arkadaşlarının geliştirdiği PLC tabanlı izleme sistemi tasarımında transformatörlerden alınan bazı parametreler uzaktan grafiksel olarak izlenebilir ve aynı zamanda Küresel Mobil Haberleşme Sistemi (GSM) tabanlı çalışan modülleri sayesinde kontrol edilebilmektedir [15]. Güç transformatörleri için S. Nunoo ve arkadaşları; aşırı ısınma, aşırı gerilim ve buşing durumlarının uzaktan izlenmesi, bakım planlamalarının doğru yapılması için PLC ve SCADA tabanlı transformatör izleme sistemi yapmışlardır [16]. Modern transformatör izleme teknolojilerinde ise elektronik kart temelli tasarım

teknolojileri daha çok tercih edilmektedir. Tercih nedeni olan modern izleme sistemlerinin klasik yöntemlerle yapılan izleme ve bakımlara göre daha masraflı olması, daha fazla yer kaplaması, ek modüle gereksinim duymasıdır. Modern izleme sistemlerinde S. Dharanya ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sensörlerden alınan verilerin Acorn RISC Machine (ARM) tabanlı işlemci teknolojisi ile gerçek zamanlı olarak uzaktan izlenmesini ve kontrol edilmesini destekleyen sistem geliştirmişlerdir [17]. Yine buna benzer bir çalışma olan W. Chunming ve arkadaşının yaptığı çalışmada ARM tabanlı mikroişlemci kullanarak Genel Paket Radyo Servisi (GPRS) modülü ile belirli parametreleri (akım, frekans, yağ sıcaklık vb.) izlemişlerdir [18]. Singh J. ile birlikte arkadaşı tarafından “ Distribution Transformer Monitoring for Smart Grid in India “ adlı çalışmada GPRS internet hizmetini kullanarak DTMS adını verdikleri izleme sistemi tasarımında izleme ve veri toplama ünitesi, görsel arayüzü ve analiz modüllerini ayrı ayrı tasarlayarak izleme sistemi geliştirmişlerdir [19]. Kablosuz ZigBee modülünden yararlanan Rajendhar. P. ve çalışma arkadaşları ZigBee kablosuz modülü kullanarak sensörlerden akım, gerilim, sıcaklık gibi aldıkları verileri mobil uygulama ile izlenmesini destekleyen ve gerektiğinde soğutma kontrolünü sağlayan sistem tasarlamışlardır [20]. Başka çalışmada J. R. Guardarrama ve arkadaşları dağıtım transformatörleri için ZigBee tabanlı ARM Cortex A8 işlemcisini kullanarak gerçek zamanlı olarak uzak mesafeden izlenebilen transformatör izleme sistemi tasarlamışlardır [21].

Bunların haricinde günümüzde internet kullanımının hızla yaygınlaşmasıyla IoT tabanlı uygulamalar sayesinde birçok parametrenin izlenebilir ve kontrol edilebilir olması izleme sistemlerini bu teknolojiye yöneltmiştir. IoT teknolojisinin gelişmesiyle beraber kablosuz modemler de fiziksel olarak küçülerek gelişmeye devam etmektedir. Bu gelişmeler transformatör izleme sistemlerinin de daha kolay izlenebilir, kontrol edilebilir ve izleme maliyetlerinin daha düşük olmasına olanak sağlamaktadır. Rijo J. T ve arkadaşı IoT tabanlı SCADA sistemli güç dağıtım otomasyonu yapmışlardır. Bu sistemle 3G/4G haberleşme teknolojisini kullanarak transformatörden alınan akım, gerilim, güç, yağ sıcaklığı gibi parametreleri bulut sistemi kullanarak SCADA otomasyonu ile izlemişlerdir [22]. Başka bir uygulamada ise Mehdi B. ve çalışma arkadaşları transformatör içindeki sargı titreşimlerini matematiksel modelleme ile analiz etmişler ve pratik uygulamada sonuçları anlık olarak bulut sistemine göndermeyi başarmışlardır. Bu sayede gelecekteki transformatör arızalarının önceden bilinmesini amaçlamışlardır [23]. Bir diğer çalışmada

ise L. Yuezhong ve arkadaşları IoT tabanlı çalışan sistemde transformatörden alınan akım, gerilim, harmonik, HST parametreleri ile uzaktan izlenebilir bir sistem tasarlamışlardır. Bu izleme sisteminde GPRS haberleşmeden alınan veriler ARM tabanlı bir mikroişlemci ile analiz edilmektedir. Son olarak alınan parametreler ile “BP Sınır Ağı” adı altında geliştirilen algoritma sayesinde verilere dayalı arıza teşhisi yapmışlardır [24].

Son yıllarda kullanımı daha çok artan fiber optik sensörler ile birçok parametre daha hassas ölçülebilmektedir. Transformatörlerde HST ve yağ içindeki nem miktarı gibi parametreler fiber optik sensörler ile ölçülerek daha doğru arıza tespiti ve kalan servis ömrü hesabı yapılabilmektedir. W. Zhang ve arkadaşı yaptığı çalışmada fiber optik kullanarak yağın içerisindeki nem miktarını ölçmüşlerdir. Deneysel sonuçlarda diğer tekniklerden daha iyi bir sonuç elde etmişlerdir [25]. Yine benzer bir çalışmayı Deba K. M ve arkadaşı polimer optik sensör kullanarak yağ içerisindeki nemin sıcaklıkla değişimini incelemiştir. Sonuç olarak sensörün çıkışındaki gerilimin nem ile doğrusal değiştiğini ve yağın içindeki nemin gerçek zamanlı izlenebilir olduğunu saptamışlardır [26]. Diğer bir çalışmada ise Marcel N. ve arkadaşları fiber optik sensör kullanarak güç transformatörlerinde HST parametresini izlemişlerdir. Ölçüm sonuçlarının parazitlerden etkilenmemesi için Kalman Filtresi kullanmışlardır. Ölçüm sonuçlarını LabVIEW tabanlı SCADA sistemi ile izlemişlerdir [27]. Farklı bir diğer çalışmada ise Maximilian F. ve arkadaşları yağın içerisindeki hidrojen gazını fiber optik sensör kullanarak ölçmüşlerdir. Örnekleme aralıkları yıllık olduğu için yavaş olan tepkinin transformatör çevrimiçi izleme uygulamalarında bir sorun teşkil etmediğini belirlemişlerdir [28].

## **2.2. FİRMALARIN İZLEME SİSTEMLERİ AR-GE ÇALIŞMALARI**

Transformatörlerin izlenen parametrelerin sayısının artması transformatörün sağlık durumu hakkında daha iyi sonuç vermektedir. Birçok önemli parametrenin izlenmesi, analiz edilme ihtiyacı yüksek sermaye gerektirmektedir. Bunu yapan ve sektörle buluşturan güçlü firmalar çeşitli ürünler geliştirmektedirler. ABB firması, TEC adını verdiği mikroişlemci tabanlı çalışan, kullanımı kolay olan, bakım gerektirmeyen, fiber optik sensör teknolojisini kullanan transformatör izleme sistemi üretmiştir. Bu ürün yağ sıcaklığını, yağın içindeki nemi ve kademe değiştirici gibi birçok transformatörün kritik öneme sahip parametrelerini SCADA sistemi ile izlemektedir. Aynı zamanda yüklenme koşullarını ve neme bağlı yaşlanma hesabını yapabilmektedir [29]. SIEMENS firması



SITRAM TDCM isimli izleme sistemi geliştirmiştir. Bu izleme sisteminde buşing donanımının servis durumu, yağın çözünmüş gaz analizi ve karşılaştırmalı analiz yapılabilmesi bu sistemi ön plana çıkarmaktadır [30]. GE firması tarafından geliştirilen üründe çözünmüş gaz analizi (DGA) alanında birden fazla çözüm önerisi sunulmaktadır [31]. MR firması ise klasik izlenen parametrelerin yanında International Electrotechnical Commission (IEC) ve IEEE standartlarını temel alarak gerçek zamanlı tahmini aşırı yüklenmeyi hesaplayabilen, yük altında kademe değiştiriciyi izleyebilen, gerçek zamanlı DGA yapabilen ve farklı özellikte geliştirdikleri modüler sistemler tasarlamışlardır. Ayrıca tasarladıkları sistemi farklı tipteki transformatörler için entegre edebilecek ürünler geliştirmişlerdir [32]. QMTS firmasının geliştirdiği ürün ise diğer ürünlerden farklı olarak birçok analog ve dijital giriş/çıkış biriminin olması, fiber optik sensörler ile verilerin alınması, IEC ve IEEE standartlarını benimsemeleri avantaj oluşturmaktadır [33]. KONCAR firmasının yaptığı izleme sistemi tasarımında standart izlenen parametreler ile trend analiz yapılmaktadır. Bunun yanında otomatik rapor oluşturarak izolasyon kağıdının yaşlanmasını ve ömrünü hesaplayabilen ürün geliştirmişlerdir [34]. Yine başka bir transformatör izleme ve kontrol sistemi olan a-eberle'nin geliştirdiği sistem sayesinde kısmı deşarj, DGA, HST, kademe değiştiricilerin konumu ve buşing durumu gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir [35]. MITRAS firmasının güç transformatörleri için geliştirdiği sistemde bazı parametreleri kablosuz olarak izleyebilen ve kötü hava ya da işletme koşullarında çalışabilen sistem dikkat çekmektedir [36]. Bir başka firma olan DIMRUS firması güç transformatörleri için tasarladığı izleme sisteminde her parametrenin ayrı olarak izlendiği modüller üretmiştir. Bu modüllerin SCADA sistemi ile izlenmesi desteklenmiştir [37]. KOLEKTOR firmasının geliştirdiği izleme sistemi; buşing, HST, kısmı deşarj, yağ içindeki nem ve gaz analizi, aşırı yüklenme, soğutma sistemleri ve kademe değiştirici gibi parametreleri izleyebilmektedir [38]. MTE firmasının geliştirdiği izleme sistemi tasarımında ise Duval Üçgeni temelli DGA, kademe değiştirici konumu ve buşing durumu ve opsiyonel olarak verilen kısmı deşarjlar fiber optik teknolojisi ile izlenebilmektedir [39].

Dünya çapında farklı firmalar transformatör izleme sistemleri konusunda çeşitli ürünler geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu ürünler, bu sektörün önemini ve ileriki yıllarda bu alandaki yatırımların hızla artacağını göstermektedir. Ülkemizde ise bu sektör henüz yeni gelişmektedir.

### 2.3. DÜŞÜK MALİYETLİ İZLEME SİSTEMİ ÇALIŞMALARI

Transformatör izleme sistemi teknolojisinin gelişmesiyle birlikte daha düşük maliyetli, daha küçük yapılı, kritik parametrelerin izlenebildiği sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Son yıllarda kablosuz modüllerinin maliyetinin giderek düşmesi ile IoT tabanlı destekleyen izleme sistemleri geliştirilmektedir. Bu sistemler günümüzde genellikle standart parametrelerin izlenebildiği sistemlerdir. Bu bağlamda R. R. Pawar ve çalışma arkadaşları dağıtım transformatörleri için izleme sistemi geliştirmişlerdir. Bu izleme sisteminde PIC16F4550 mikrodenetleyicisini kullanarak transformatörlerin akım, gerilim, sıcaklık ve titreşim gibi parametrelerini tasarladıkları arayüz ile GSM tabanlı olarak izlemişlerdir [40]. M. Poongothai ve arkadaşları ise maliyeti düşük olan ESP8266 kablosuz modül, Arduino Uno mikrodenetleyici ile verileri izlemişler ve röle modülü kullanarak sistem kontrolü sağlamışlardır [41]. H. Jamal ve arkadaşları dağıtım transformatörleri için akım, gerilim parametrelerini ThinkSpeak web arayüzü ile izlemişlerdir [6]. Bunlardan farklı olarak S. Tenbohlen ve çalışma arkadaşı, Ultra Hızlı Frekans (UFH) sensörü ile güç transformatörleri için kısmi deşarj izlemişlerdir [42]. Q.G. Wang ve arkadaşı yeraltındaki kuru tip transformatörlerin akım, gerilim, sıcaklık, kısmi deşarj gibi parametrelerini gerçek zamanlı izlemişlerdir. Ayrıca HST parametresi ile Arrhenius yaşlanma modelini kullanarak transformatörün sağlığı hakkında bilgi almışlardır [43]. Y. Kabalcı ve arkadaşı tarafından yenilenebilir enerji sistemlerinin akım, gerilim ve güç verilerini Xbee kablosuz modül ile mikrodenetleyici tabanlı, uzaktan izleyebilen sistem geliştirmişlerdir [44].

Literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi transformatörlerin çeşitli parametreleri gerçek zamanlı izlenerek arızalarının önlenmesi ve bakım planlamalarının doğru yapılması amaçlanmıştır. Önerilen tez çalışmasında ise IoT teknolojisi kullanılarak standart parametrelerin gerçek zamanlı izlenmesi, hafıza kartına kaydedilmesi, ek donanıma gereksinim duymadan kritik değer aralıkları ve aşımaları için uyarı bildirimini sağlandığı ve tasarlanan algoritma ile birlikte tahmini servis ömrünün hesaplandığı düşük maliyetli, geliştirilmesi mümkün olan modüler bir sistem tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda tasarlanan sistemin açık kaynak kod yapısı ile geliştirilmesi de mümkündür.

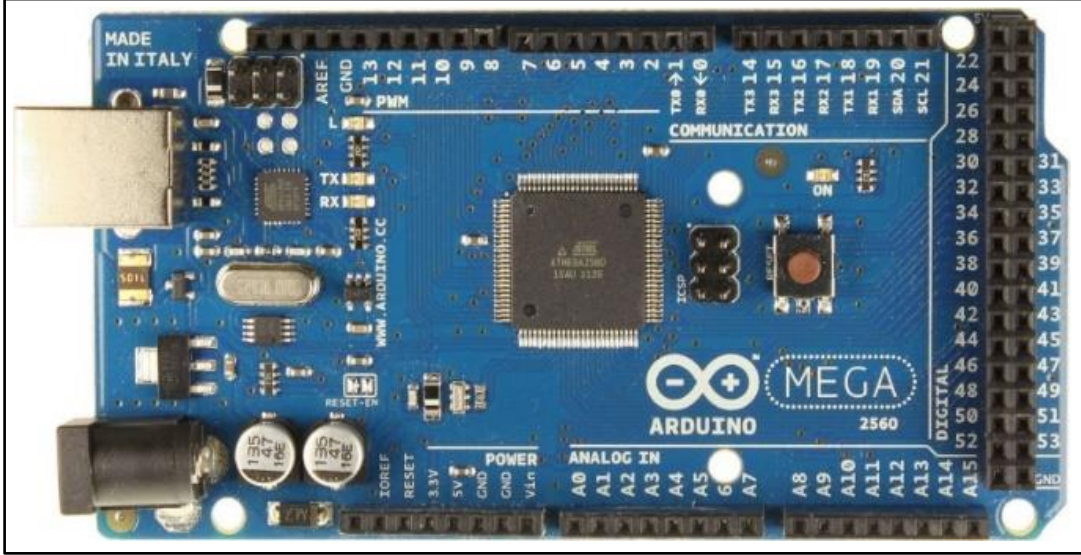
### **3. ÖNERİLEN TRANSFORMATÖR İZLEME SİSTEMİ TASARIMI**

Transformatör izleme sistemlerinde elektronik kart tasarımıyla geliştirilen sistemlerin bakımlarının diğer sistemlere göre düşük olması avantaj sağlamaktadır. Literatüre bakıldığında standart parametrelerin yanında diğer parametrelerin de IoT tabanlı izlenebildiği sistemlerin geliştirildiği görülmektedir. IoT tabanı sayesinde birçok parametre gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Bu bölümde transformatör izleme sistemi tasarımında kullanılan donanımı, izleme sistemi akış şemasını, arayüz yapılarını ve tahmini servis ömrü hesabını içermektedir.

#### **3.1. DONANIM VE ALGILAYICI YAPILARI**

Transformatör izleme sisteminde, maliyeti düşük, kullanımı kolay olan Atmel firmasının geliştirmiş olduğu açık kaynak kodlu Arduino mikrodenetleyici geliştirme kartı kullanılmıştır. Arduino Yazılım Geliştirme Editörü (IDE) "Processing", Arduino programlama dili ise "Wiring" tabanlıdır [45]. Program kod yapısı C diline benzemektedir. Kodlar Arduino IDE derleyicisinde yazılmıştır. Arduino mikrodenetleyicisinin birçok çeşidi olmakla beraber geliştirilmiş özelliklerinden dolayı Arduino Mega 2560 modeli kullanılmıştır.

Arduino Mega 2560'ta 16 tane analog giriş, 54 tane dijital giriş / çıkış pini vardır. Bunlardan 15 tane pini Sinyal Genişlik Modülasyonu (PWM) çıkışı olarak kullanılabilir. Mikrodenetleyici kartın üzerinde bulunan 3,3V ve 5V besleme çıkışları mevcuttur. Giriş / çıkış pin başına 40mA akım verebilmektedir. Çalışma gerilimi 5V'tur. Besleme giriş sınırları 6-20V arasındadır. USB bağlantısı ve Vin pini ile harici dc güç kaynağı ile beslenebilmektedir. Üzerinde 16 MHz kristal osilatör bulunmaktadır. Kablosuz İnternet (Wi-Fi) haberleşmesi için Tx ve Rx pinleri kullanılmaktadır. Ayrıca TWI ve SPI haberleşmeyi destekleyen dijital pinleri de mevcuttur. Yazılan programa reset atamak için üzerinde reset butonu vardır [46]. Aşağıdaki Şekil 3.1'de Arduino Mega 2560 mikrodenetleyici geliştirme kartı görülmektedir.



Şekil 3.1. Arduino Mega 2560 mikrodnetleyici geliştirme kartı.

Tez çalışmasında yağ sıcaklığını ölçmek için dijital sıcaklık sensörü olan DS18B20 kullanılmıştır. Sensörün 3 adet bağlantı kablosu bulunmaktadır. Bunlar 5V/GND besleme ve data uçlarıdır. Yağ alt ve yağ üst sıcaklığını ölçmek için bu sensörlerden iki adet kullanılmıştır. Şekil 3.2’de DS18B20 sıcaklık sensörü gösterilmektedir. Bu sensörün özellikleri arasında 9-bit ve 12-bit seçilebilir çözünürlük seçimi, -55°C ile 125°C çalışma, 0,5°C ölçüm hassasiyeti, veri hızının ise maksimum 750 ms olması ve tek veri kablosu ile birden fazla aynı tip sensörden ölçümü alması vardır [47]. Maliyetinin düşük, kullanımının kolay, kablolu yapısının sıvıya dayanıklı olması tercih nedeni olmuştur.

Transformatörlerin içerisindeki yağın sıcaklığının bilinmesi önemli bir parametredir. Sargılardaki sıcaklığın artması yağ sıcaklığını da arttırmaktadır. Bununla birlikte transformatör tankındaki yağ zamanla eskimeye ve çözünmeye başlamaktadır. Çözünmeye başlayan yağın nemi artmaya başlamaktadır. Nem, kâğıt izolasyonu tarafından emilerek yalıtımı yıpratmaya neden olmaktadır. Bu da transformatörün erken arızalanmasına ya da ömrünün kısalmasına neden olmaktadır.

Yağlı transformatörlerin nominal çalışma koşullarında yağ sıcaklığı 85°C’ye çıkabilmektedir. Yağ sıcaklığının 100°C üzerine çıkması durumunda yalıtımı eskitmeye ve transformatörün servis ömrünü kısaltmaya başlamaktadır. Sensör üst sıcaklığı kritik değer olan 105°C geçtiğinde bilgisayar ve cep telefonundan operatöre bilgi mesajı vermektedir. Aynı zamanda tehlikeli değere ulaştığında soğutma fanını devreye alacak kod yapısı genişletilebilmektedir.

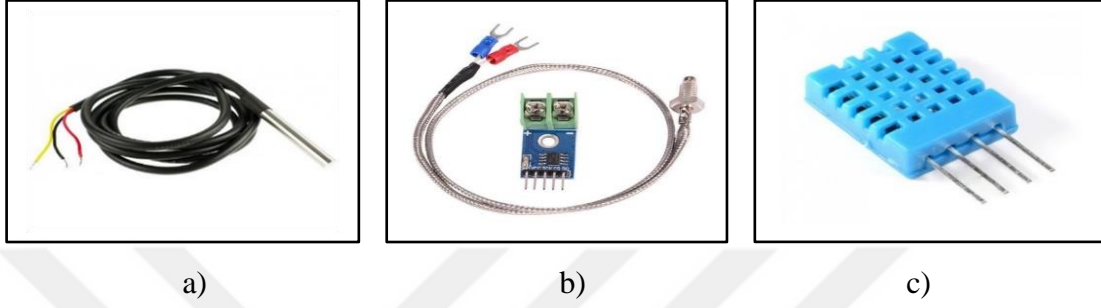
Transformatörler için bir diğer önemli parametre ise HST'nin doğru bilinmesidir. Bu parametre transformatörün yaşlanmasında önemli etkiye sahiptir. HST bilgisi günümüzde karmaşık denklemlerle hesaplanarak ya da sensörler ile doğrudan ölçülerek alınabilir. HST parametresi doğru bilinirse IEEE standartlarında servis ömrü daha doğru hesaplanabilmektedir. Günümüzde HST parametresi fiber optik sensörler ile daha hassas olarak alınabilmektedir. Ancak fiber optik sensör maliyetlerinin yüksek olması bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Termokupl endüstriyel sanayide en çok kullanılan sensör tiplerinden birisidir. Tez çalışmasında sargı sıcaklığını ölçmek için k tipi termokupl tercih edilmiştir. K tipi termokupl 0,25°C'lik hassasiyetle 800°C'e kadar ölçüm yapabilmektedir. Termokuplu mikrodenetleyicide kullanabilmek için analog dijital dönüştürücüye ihtiyaç vardır. Bu noktada MAXIM firmasının ürettiği MAX6675 entegresi ile veriler yüksek hassasiyetle kolay bir şekilde alınabilmektedir. Entegre 5V ile beslenmektedir. Ayrıca 12-bit ADC çözünürlüğe sahip olup SPI protokolü ile Arduino mikrodenetleyici kartıyla kolay haberleşebilmektedir [48]. Şekil 3.2'de termokupl ve MAX6675 entegresi görülmektedir.

HST parametresi 110°C'yi geçtiğinde sargıları yalıtan selülozik yapının özelliğini kaybetmesi süreci de hızlanmaktadır ve buna bağlı olarak transformatörlerin servis ömürleri ciddi miktarlarda azalmaktadır. Bu sıcaklık artışı tehlikeli durumlar oluşturabilmektedir. Bu durumlardan korunmak için transformatörlerin HST parametresinin izlenmesi ve kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu durumun çözümü için geliştirilen sistemde yüklenme durumuna göre HST değeri 110°C'ye kadar izin verilebilir işletim sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. HST değeri 110°C ile 130°C arasında sürekli kalması yaşlanma hızını arttırmaya başladığı için operatöre önlem alınması için bilgisayar ve mobil haberleşme aygıtına uyarı mesajı yollanmaktadır. Aynı zamanda pano üzerinde bulunan sarı lamba ile uyarı verilmektedir. 130°C üzerindeki sıcaklıklar ciddi tehlike oluşturmaktadır. Bu durumda benzer şekilde operatöre uyarı mesajı gitmekle beraber 30 dakika boyunca operatör bir girişimde bulunmazsa pano üzerinden sistemin açma yapmasını sağlayan röle aktive edilebilmektedir. Aynı zamanda bu durum için pano üzerindeki kırmızı lamba aktif olmaktadır. İstenildiği takdirde bu kontrol zaman aralıkları değiştirilebilmektedir.

Çevresel ve işletme durumları transformatörlerin çalışmasını ve performansını etkilemektedir. Bu koşullardan birisi de hava sıcaklığıdır. Hava sıcaklığının belirli değerlerin üzerine çıkması ve transformatörün yüklenme durumuna göre soğutma

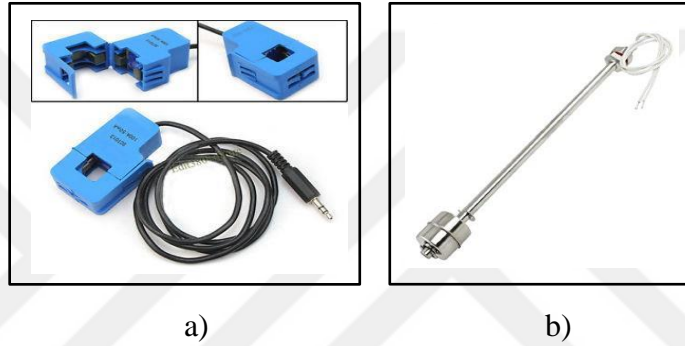
fanlarının çalışması istenilebilmektedir. Dış ortamın sıcaklığını ölçmek için DHT11 dijital sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Bu sensör 3,3-5V çalışma gerilimde ve ortalama 0,2-1mA aralığında çalışmaktadır. Ayrıca 8 bit çözünürlüğe sahip ve 1°C hata payı ile 0-50°C arasında ölçüm yapabilmektedir [49]. Bu sensörün maliyeti düşük ve kullanımı kolaydır. Ortam sıcaklığının yanında ortam nemini de ölçülebilir. Şekil 3.2’de DHT11 dijital sıcaklık sensörü görülmektedir.



Şekil 3.2. Sensörler-1 a) DS18B20 b) DHT11 c) Termokupl ve entegresi.

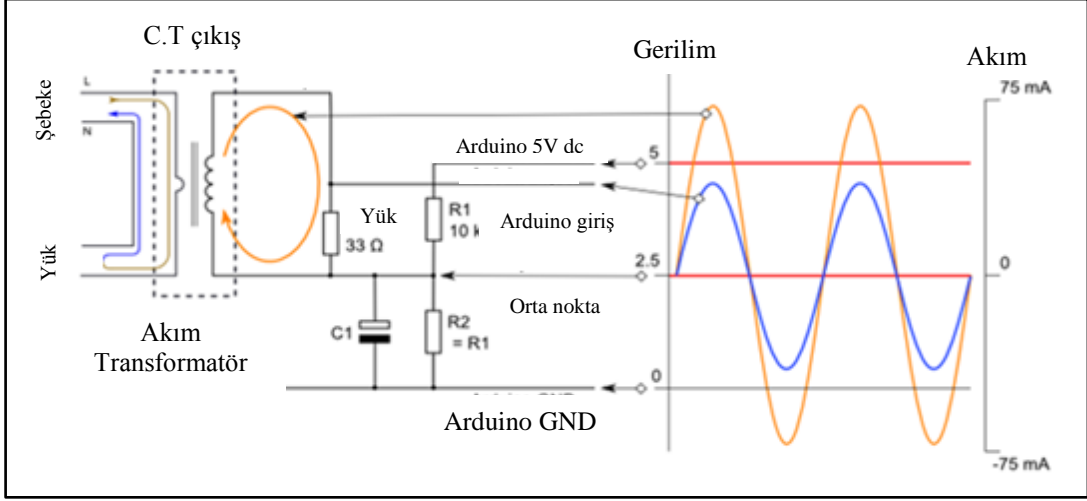
Transformatör yükünün artmasıyla sargıların sıcaklığı da artmaya başlamaktadır. Isınan sargılar transformatör içerisindeki yağın da sıcaklığını arttırmaktadır. Aşırı yüklenme veya diğer arızalardan kaynaklı yağın ısınmasıyla transformatör tankının iç basıncı da artmaktadır. Tank iç basıncının kontrolü iyi yapılmaz ise bu durum transformatörün tankından yağ sızmasına ve hatta patlamaya bile yol açabilmektedir. Bu gibi tehlikeli durumlardan korunmak için tankın içerisindeki basıncın ölçülmesi ve gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Diğer bir önemli husus ise yağ seviyesinin belirli bir düzeyde olması gerektiğidir. Bu düzeyin kritik değerlerin altına inmesi durumunda ise operatör bilgilendirilmelidir. Tez çalışmasında transformatörün içerisindeki yağın seviyesini ölçmek için yağ seviye sensörü kullanılmıştır. Bu yağ seviye sensörü, şamandıralı yapısı ile manyetik alan prensibine göre seviye ölçümü yapmaktadır. Uygulamada sensörün direnç değişiminden yararlanılarak ölçüm alınmıştır. Sensörün boyu 50cmdir [50]. Kullanımı ve montajı kolaydır. Şekil 3.3’te yağ seviye sensörü görülmektedir. Farklı tip yağlı transformatörlerde yağ seviyesi ve sınır değerler farklılık gösterebilir. Tez çalışmasında prototip olarak kullanılan yağ seviyesinin maksimum değeri 17 cm olarak kabul edilmiştir. Tasarlanan sistem ile yağ seviyesinin belirlenen sınır değerinin dışına çıkması durumunda operatöre uyarı mesajı gönderebilecek şekilde yazılım ayarlanabilmektedir.

Transformatörden çekilen akım sekonder tarafından ölçülmektedir. Çekilen akımı anlık olarak ölçmek için pratik uygulamalarda pens ampermetre kullanılmaktadır. Tez çalışmasında ikincil sargıdan geçen akımı ölçmek için YHDC firmasının geliştirmiş olduğu AC SCT-013 isimli akım sensörü kullanılmıştır. Bu sensör akım transformatörü içermektedir ve 100A'ya kadar çıkan alternatif akımları ölçebilmektedir. Akım transformatörünün çevrim oranı 100A:0,05A'dır. Çevrim oranına göre sensör çıkışında 50mA vermekte ve kullanılan mikrodenetleyici ile uyumlu çalışmaktadır [51]. Sensör %3'lük hata payı ile ölçüm yapmaktadır. Sensörün düşük maliyetli olması, pratik kullanımı ve kelepçeli yapısı sayesinde kolay montajının yapılması tercih nedeni olmuştur. Şekil 3.3'te akım sensörü görülmektedir.



Şekil 3.3. Sensörler-2 a) AC SCT-013 akım b) Yağ seviye.

Dışarıdan gelecek elektriksel parazitlere karşı akım sensörünün çıkışında kondansatör ve dirençlerden oluşan filtre oluşturulmuştur. Bu sayede daha doğru ölçümler alınabilmektedir. Ayrıca akım sensörünün ölçüm doğruluğu pens ampermetre ile karşılaştırılmıştır. Yapılan testlerde %2'lik bir hata payı gözlemlenmiştir. Şekil 3.4'te yapılan filtrenin devre şeması verilmiştir.

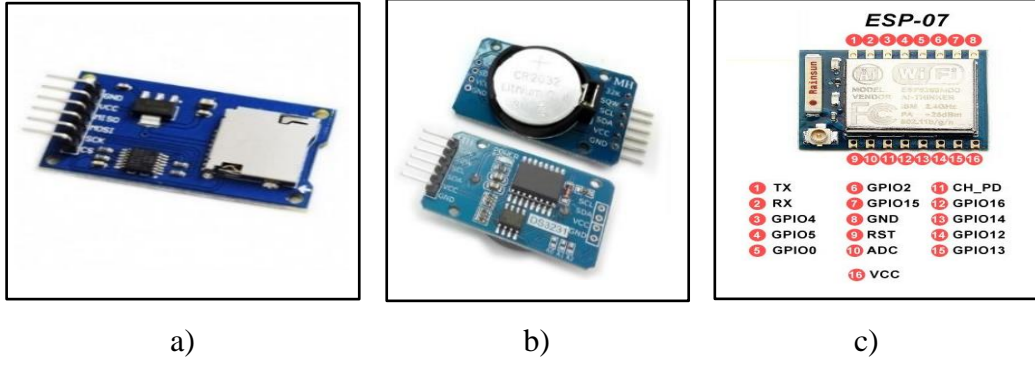


Şekil 3.4. Akım sensörü filtre yapısı [51].

Transformatörlerin geçmişi hakkındaki bilgilerin saklanması, analiz edilmesi; sonraki bakım planlamalarını yapmak ve servis durumunu öğrenmek için önemlidir. Bilgilerin saklanması hafıza kartlarıyla yapılabildiği gibi günümüzde kullanımı yaygınlaşan bulut sistemleriyle de yapılabilmektedir. Tez çalışmasında sensörlerden alınan verileri depolamak için Secure Dijital (SD) modülü kullanılmıştır. SD kart modülü mikrodenetleyici kart ile uyumlu çalışmaktadır. SPI haberleşme protokolü ile kolayca yazma ve okuma işlemleri yapılabilmektedir. Kullanılan mikro SD kart modülü 5V gerilimle çalışmaktadır. Sensör verilerinin zaman parametresi ile birlikte kaydedilmesi için ise RTC modülü olan DS3231 kullanılmıştır [52], [53]. Bu modülün yılda bir dakikalık hata payı vardır. Şekil 3.5'te hafıza kartı ve zaman modülü görülmektedir.

Transformatör izleme sistemlerinde IoT tabanlı geliştirilen tasarımlarda Wi-Fi modülleri önem kazanmıştır. Hızla gelişen teknoloji ile Wi-Fi modül fiyatları düşmüş ve daha küçük boyutlarda üretilmeye başlanmıştır. Sensörden alınan verilerin kablosuz olarak IoT tabanıyla uyumlu olarak çalışan ThingSpeak web arayüzüne gönderebilmesi için Wi-Fi modülüne ihtiyaç vardır. Uygulamada Espressif Systems firması tarafından üretilen ESP8266 modül; IoT tabanlı uygulamaları desteklemesi, maliyetinin düşük olması, pratik uygulamalarda kolayca kullanılabilmesi, düşük güç tüketimine sahip olması ve küçük yapılı olması sebebiyle tercih nedeni olmuştur. Bu modül 3,3V ile beslenmektedir. Modülün birçok farklı serisi vardır. Bu serilerden ESP8266-07 serisi kullanılmıştır. Bu modelde ise harici anten bağlanılarak çekim gücü artırılabilir. Tx ve Rx pinleri ile veriler ThingSpeak web sayfasına gönderilmektedir [54]. Şekil 3.5'te ESP8266-07 modül ve anten görülmektedir.

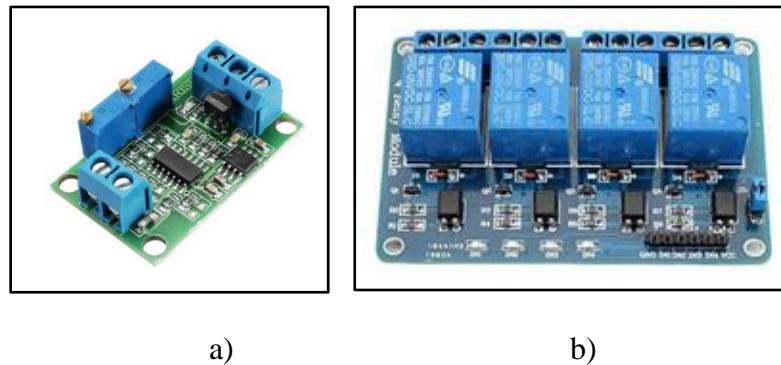




Şekil 3.5. Modüller-1 a) SD kart b) RTC (DS3231) c) Wi-Fi (ESP-07).

Tasarlanan modüler izleme sisteminde farklı tip 4-20mA çıkış veren sensörlerin mikrodenetleyici ile kullanılabilmesi için devre tasarlamaktan daha kolay olan dönüştürücü modül tercih edilmiştir. Dönüştürücü modül sayesinde 4-20mA çıkış veren sensörler 0-5V gerilimine dönüştürülerek mikrodenetleyicide kullanılabilir. Tez çalışmasında ihtiyaç halinde kullanılabilmesi için bir adet dönüştürücü modül yerleştirilmiştir. Farklı tipte 4-20mA çıkış veren birden fazla sensör için opsiyonel olarak ayrıca dönüştürücü modül yeri ayrılmıştır. Şekil 3.6'da dönüştürücü modül görülmektedir.

İzleme sisteminde sensörlerden alınan parametrelerin kritik değer aşımalarında kontrolünün sağlanabilmesi için Arduino ile uyumlu röle modülü yerleştirilmiştir. 4'lü olan bu modül tasarlanan yapı içerisinde 4 röle yetersiz gelirse opsiyonel olarak ek modüllerin montajının yapılabileceği şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.6'da kullanılan röle modülü görülmektedir.



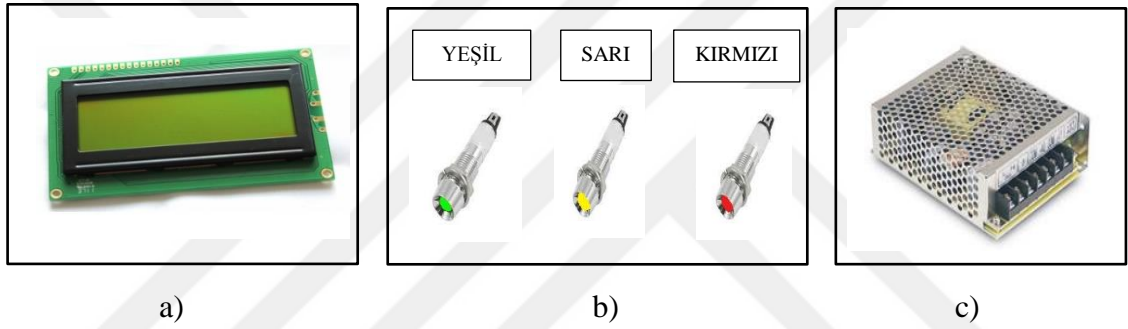
Şekil 3.6. Modüller-2 a) 4-20mA/0-5V dönüştürücü b) Röle.

Transformatör izleme sisteminde ayrıca sensörlerden alınan değerler pano üzerinde bulunan ekrandan görülebilmektedir. Günümüz uygulamalarında sıkça kullanılan LCD tercih edilmiştir. LCD de 20 sütun ve 4 satır karakter yazılabilmektedir. LCD de 16 pin

bulunmaktadır. Bu LCD 5V besleme gerilimi ile çalışmaktadır. Şekil 3.7’de LCD görülmektedir.

Transformatör izleme sisteminde kritik değer aralıklarının ve aşımalarının bildirilmesi için tasarlanan pano yapısının üzerinde üç adet lamba vardır. Bunlar yeşil, sarı ve kırmızı renktedir ve 12V gerilimde çalışmaktadır. Yeşil lamba izleme sisteminin çalıştığında, sarı lamba kritik değer aralıklarında, kırmızı lamba ise kritik değerler aşıldığında aktif hale gelir. Kullanılan uyarı lambaları Şekil 3.7’de görülmektedir.

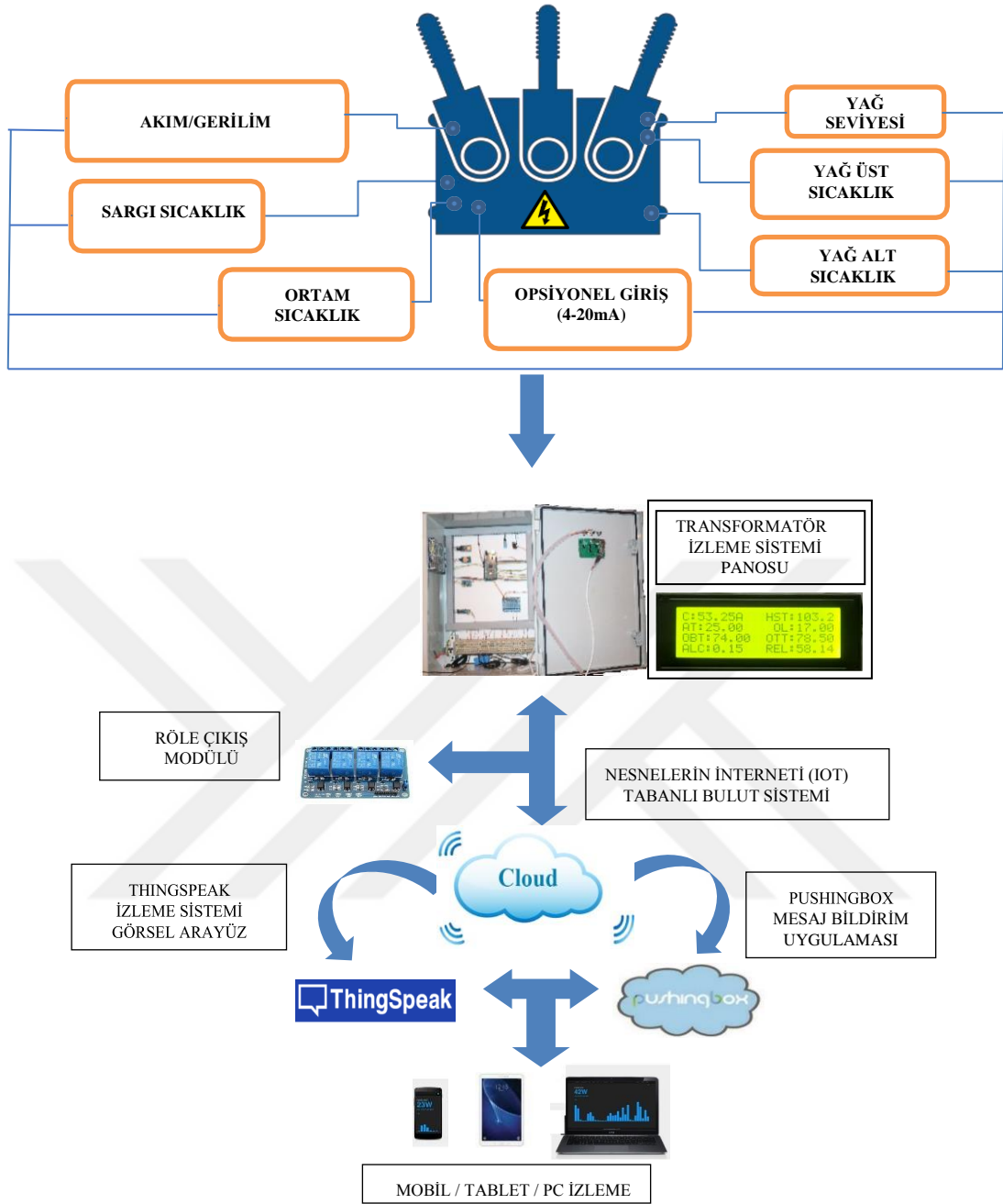
Tasarlanan sistemi beslemek için harici bir güç kaynağı kullanılmıştır. Güç kaynağı (AC/DC) 50W gücünde olup 5V için 6A ve 12V için 2A akım verebilmektedir. Şekil 3.7’de güç kaynağı görülmektedir.



Şekil 3.7. Donanım a) LCD b) Uyarı lambaları c) Güç kaynağı.

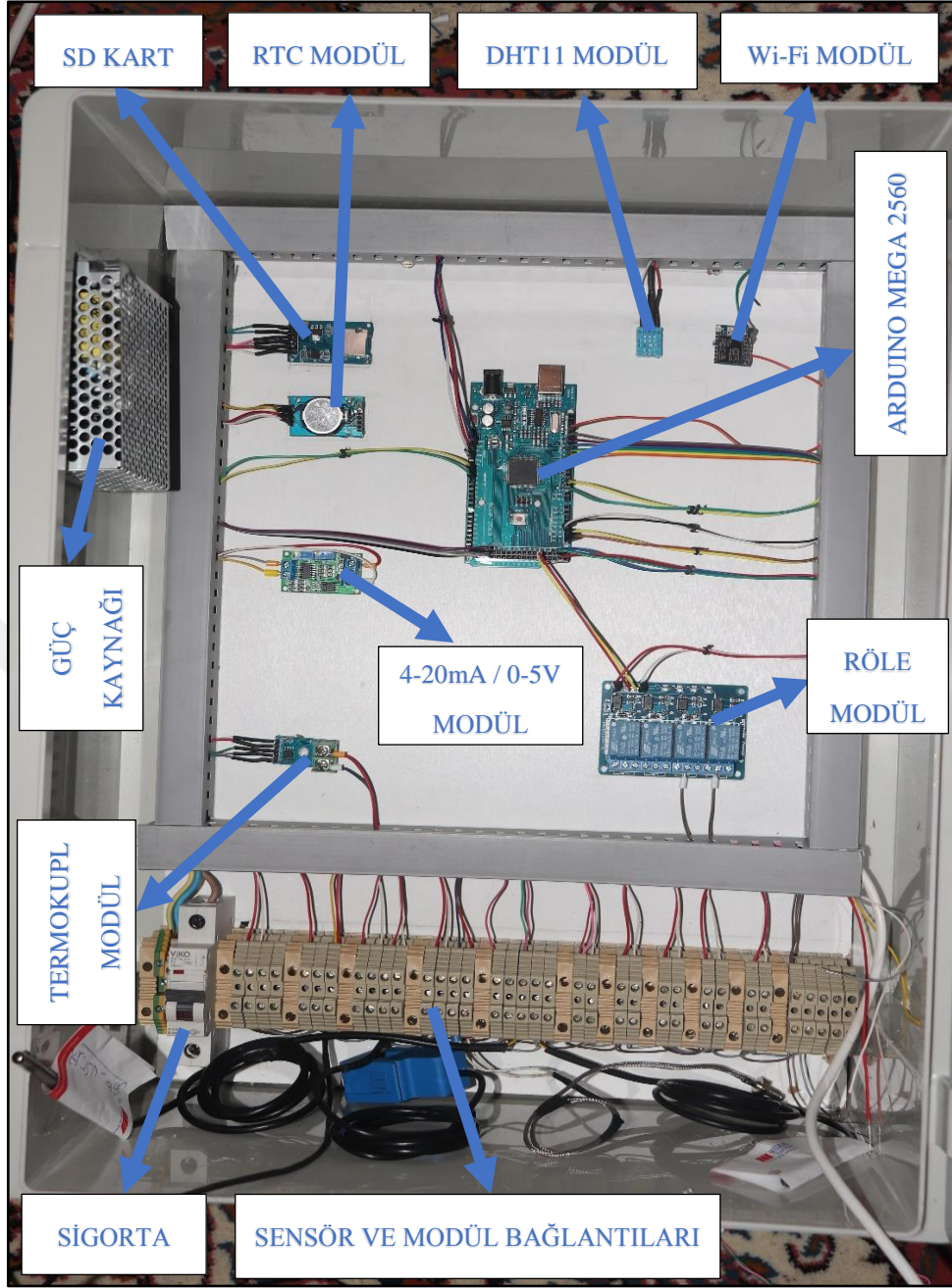
### 3.2. İZLEME SİSTEMİ ALGORİTMASI VE ARAYÜZ YAPILARI

Bu bölümde transformatör izleme sistemi için tasarlanan modüler sistemin blok diyagram yapısı, akış şeması, IoT tabanlı ThingSpeak görsel arayüzü ve PushingBox mesaj bildirim uygulaması anlatılmıştır. Akış şeması ile geliştirilen program yapısının nasıl çalıştığı anlaşılmaktadır. Görsel arayüz yapısında ise ThingSpeak web arayüzünün kullanımı hakkında bilgi verilmiştir. PushingBox uygulamasında ise sensör parametrelerinin kritik değer aralıklarında ve kritik değer aşımalarında operatörü bilgilendirmek için oluşturulan senaryo bildirimlerinin nasıl oluşturulduğu anlatılmıştır. IoT tabanlı bu uygulamalar ile operatör transformatörün sağlık durumu hakkında bilgilere kolayca ulaşabilmektedir. Geliştirilen izleme sisteminin amacının anlaşılması için Şekil 3.8’de transformatör izleme sistemi blok diyagramı verilmiştir. Bu blok diyagramında transformatörden hangi parametrelerin alındığı ve bu parametrelerin IoT tabanıyla nasıl ilişkilendirildiği gösterilmiştir. Şekil 3.9’da ise tasarlanan modüler yapılı pano tasarımı görülmektedir.

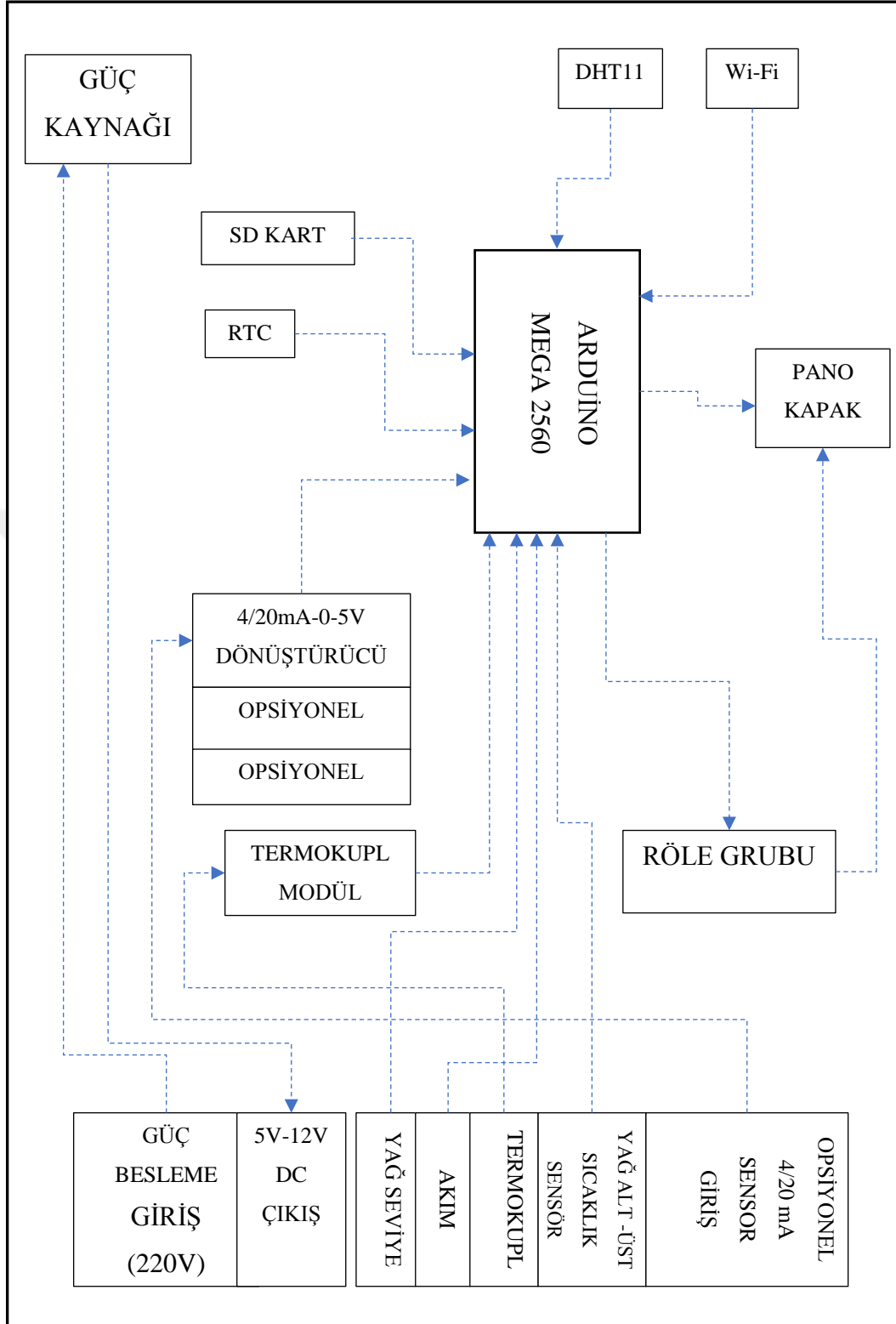


Şekil 3.8. Transformatör izleme sistemi blok diyagramı.

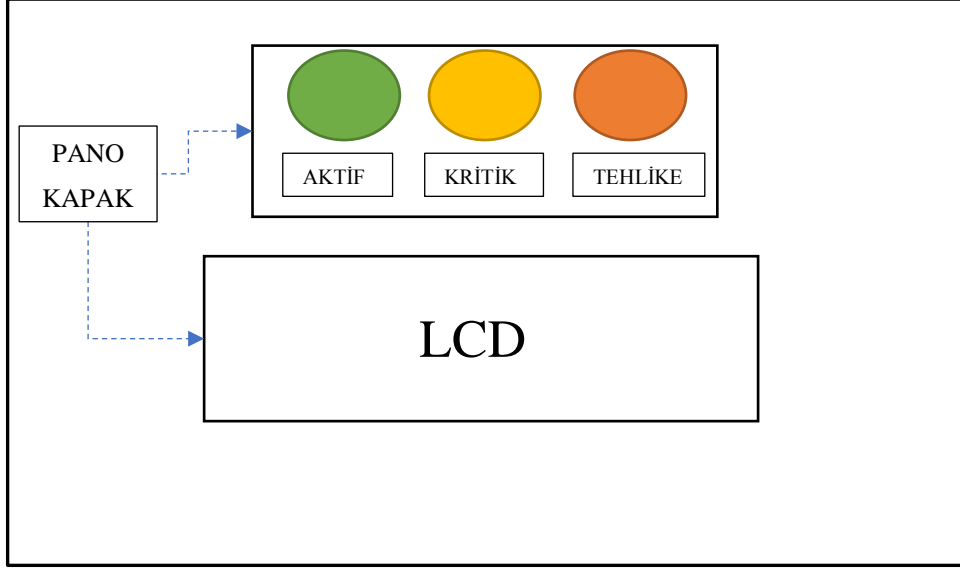
Şekil 3.9’da gösterilen transformatör izleme sisteminde pano içerisine yerleştirilen donanım yapıları görülmektedir. Şekil 3.10’da pano iç tasarım şeması ve Şekil 3.11’de pano kapak şeması gösterilmektedir. Bu panoda sensör girişleri, modül beslemeleri için bağlantı terminalleri ve ayrıca tasarlanan sistemin başlatılması veya kapatılması için otomatik sigorta konulmuştur. Panonun ebatları 40×50×20 cm’dir. Panonun ön yüzüne sensör parametrelerinin ve hesaplanan değerlerin gösterildiği LCD ile uyarı lambalarının montajı yapılmıştır. Pano yapısının oldukça sade ve kullanışlı bir yapıda olması amaçlanmıştır.



Şekil 3.9. Transformör izleme sistemi tasarımı.



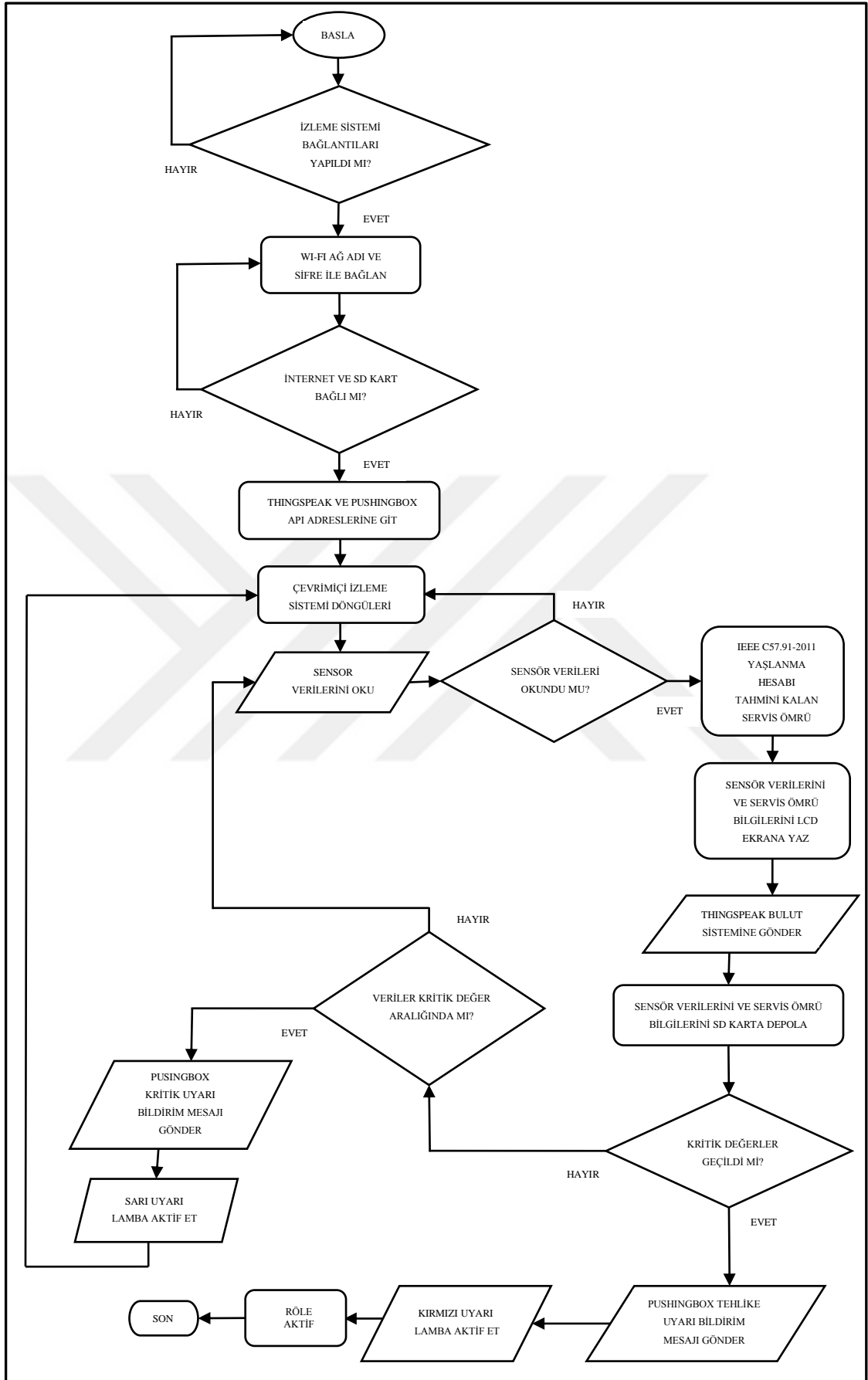
Şekil 3.10. Pano iç şeması.



Şekil 3.11. Pano kapak şeması.

### 3.2.1. Akış Şeması

Akış şeması, bilgisayar aracılığı ile farklı programlama dillerinde yazılan programın işlem adımlarının farklı geometrik şekillerle gösterilmesidir. Programın çalışma mantığı akış şeması ile kolayca anlaşılabilir. Arduino mikrodenetleyici kartı ile geliştirilen programın yapısı Şekil 3.12’de verilen akış şeması ile daha iyi anlaşılabilir. Akış şeması programda yapılacak yazılım güncellemeleri ile değiştirilebilir.



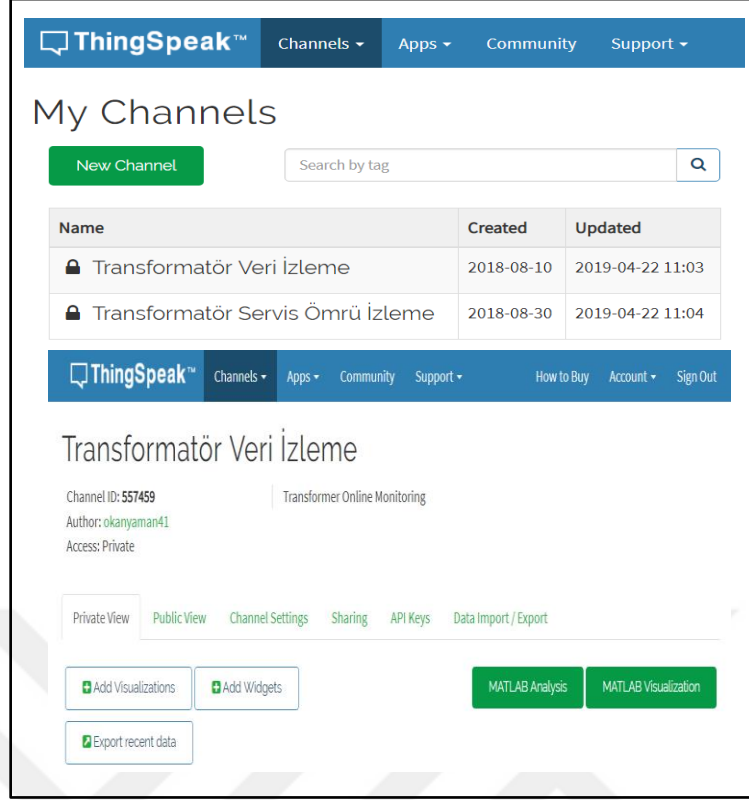
Şekil 3.12. İzleme sistemi akış şeması.

### 3.2.2. ThingSpeak Görsel Arayüz Yapısı

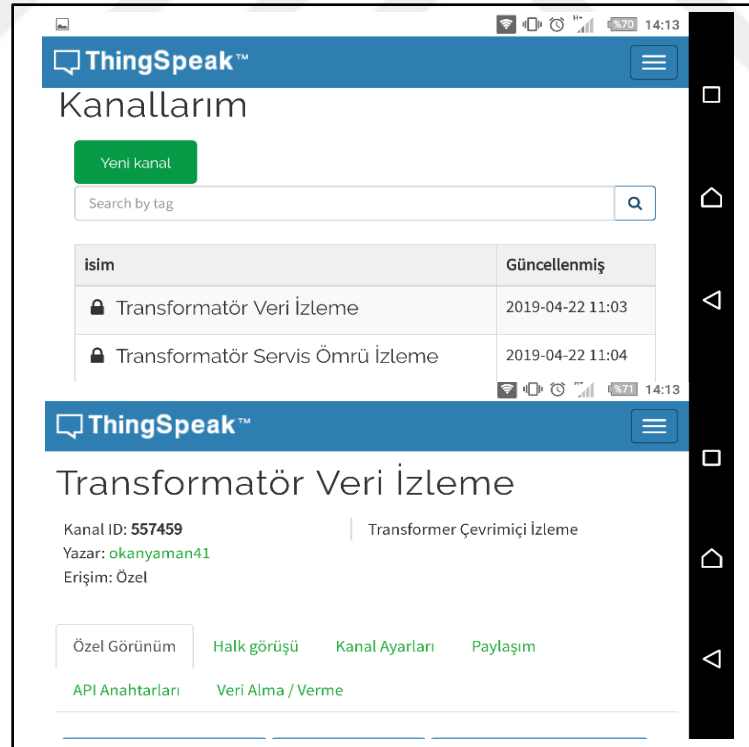
Günümüz internet teknolojisinin giderek gelişmesi farklı sektörlerin de ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Son yıllarda trend olan IoT teknolojisi ile farklı kontrol ve izleme sistemleri tasarlanmıştır. IoT teknolojisi, merkezi cihazlar ile çevresel cihazlar arasında akıllı bir ağ oluşturmaktadır. Bu ağ yapısı otomobil, medikal, akıllı ev gibi sektörlerde entegre edilebilmektedir. 2015 yılında Vision Mobile şirketinin yaptığı araştırmada, gelecekte IoT teknolojisinin 2020 yılında akıllı cihazların sayısının 50 milyara ulaşacağı ön görülmektedir [55].

Yapılan bu tez kapsamında IoT teknolojisini destekleyen ve Arduino mikrodenetleyici geliştirme kartı ile uyumlu olan ESP8266 Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Sensörden alınan parametrelerin ve ömür tahmini hesabının İnternet Protokolünü (IP) destekleyen Wi-Fi modülü ile ThingSpeak web arayüzüne gerçek zamanlı aktarımı sağlanmaktadır. ThingSpeak web arayüzünde sensörlerden alınan parametrelere erişim, her kullanıcıya özel olarak tanımlanmış bir kimlik (ID) adresi ile gerçekleşmektedir. ID adresinin içerisinde birden fazla Uygulama Programlama Arayüzü (API) oluşturularak sensör parametreleri izlenebilmektedir. Ayrıca her bir API içerisinde en fazla 8 adet sensör bilgisi gösterilmektedir. ID adresi diğer kullanıcılar da erişimine açılırsa transformatörlerin konumu ve sensörlerin değerleri rahatlıkla görüntülenebilir. Tez çalışmasında ThingSpeak arayüzünde ID adresi alınıp bu adresin içerisinde 2 adet API anahtarı açılmıştır. Bunlar transformatör veri izleme ve servis ömrü izleme için kullanılmıştır. Transformatör izleme sisteminde gerçek zamanlı alınan sargı, yağ alt-üst ve ortam sıcaklığı; yağ seviyesi, sargı akımı değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.13'de ThingSpeak bilgisayar arayüzü ve Şekil 3.14'de ThingSpeak mobil arayüzü görülmektedir.





Şekil 3.13. ThingSpeak görsel arayüzü.



Şekil 3.14. ThingSpeak mobil görsel arayüzü.

### 3.2.3. PushingBox Mesaj Bildirim Uygulaması

Literatürde, operatöre bilgi vermek için kullanılan uyarı bildirim mesaj sistemleri olarak genellikle GSM/GPRS teknolojisi kullanılmıştır. GPRS, başta cep telefonları gibi mobil ağlarda şebeke üzerinden şifreli veri alış-verişi yapabilen bir ağ teknolojidir. Aynı zamanda internete kolay bir şekilde erişim sağlamaktadır. Bu teknolojinin kullanılması ek donanım ve maliyetini beraberinde getirmektedir. Tez çalışmasında ek donanım gerektirmeyen, pratik uygulamalarda verimli çalışabilen, kullanımı kolay olan PushingBox uygulaması tercih edilmiştir.

PushingBox, IoT tabanlı çalışan ve API çağrılarına dayalı mesaj gönderebilen bir bulut sistemidir [56]. Program çalışma mantığı açısından ThingSpeak platformuna benzemektedir. Bu uygulamanın ücretsiz bir platform olması diğer sistemlere göre avantaj oluşturmaktadır. Bulut sistemi sayesinde sensör parametrelerinin kritik değer aralıklarında ve kritik değer aşımalarında gerçek zamanlı olarak uyarı mesajları gönderilmektedir. Bu bildirimler bilgisayar ve mobil cihazdan görülebilmektedir. Tez çalışmasında her sensör parametresi için PushingBox uygulamasında farklı senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar ile her sensör parametresinden uyarı mesajı alınabilmektedir. Şekil 3.15'te PushingBox uygulamasının arayüzü ve oluşturulan senaryolar daha iyi anlaşılmaktadır. Şekil 3.16'da ise örnek olarak verilen bilgisayar ve mobil uyarı mesajları görülmektedir.

pushingbox yaman41okan@gmail.com

gösterge paneli Benim servislerim Senaryolarım Ayarlar API yardım et

## Senaryolar

Bir senaryo oluşturun veya bir cihaz ekleyin

Yeni Senaryo'nuzun veya Notifon'un Cihaz Kimliği'nizin adını girin ("h" ile başlayan)

"New mail in the mailbox" or "h1234567890ABCDE" Ekleme

### Sanal senaryolarınız

Önceden oluşturulmuş tüm senaryolarınızı burada bulabilirsiniz. Eylem eklemek için Yönet'i tıklayın.


| Senaryo adı                  | DeviceId         |                                                            |
|------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|
| Demo senaryosu               | v6373B303F9AE05B | <span>Ölçek</span> <span>yönetme</span> <span>silme</span> |
| Transformer Çevrimiçi İzleme | v5A1E334D3355371 | <span>Ölçek</span> <span>yönetme</span> <span>silme</span> |
| Transformer Çevrimiçi İzleme | v929595191A6CAC4 | <span>Ölçek</span> <span>yönetme</span> <span>silme</span> |
| Transformer Çevrimiçi İzleme | v2B9ABE7571920C0 | <span>Ölçek</span> <span>yönetme</span> <span>silme</span> |
| Transformer Çevrimiçi İzleme | vA33F0D8BFC1EBC5 | <span>Ölçek</span> <span>yönetme</span> <span>silme</span> |
| Transformer Çevrimiçi İzleme | v86ACFEEB5C5EDCD | <span>Ölçek</span> <span>yönetme</span> <span>silme</span> |
| Transformer Çevrimiçi İzleme | v1E733633634A89F | <span>Ölçek</span> <span>yönetme</span> <span>silme</span> |

## Senaryolar

### Transformer Online İzleme

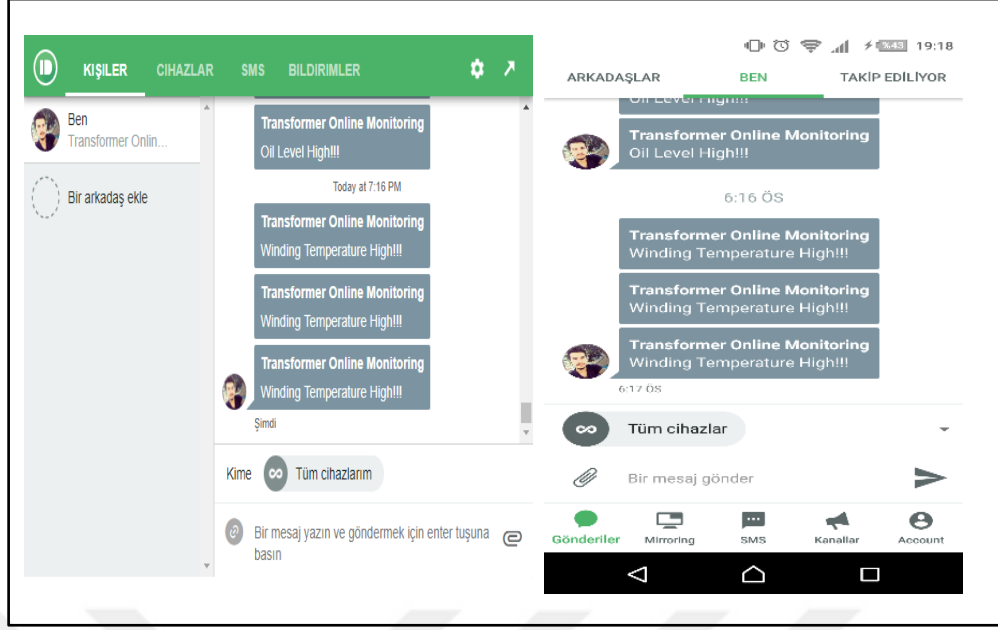
Yeniden Adlandır

DeviceID: v929595191A6CAC4 Devre dışı bırakmak Test Senaryosu

 OKAN YAMAN **Başlık** : Transformer Online İzleme **Mesajı** : Sargı Sıcaklığı Yüksek !!! Düzenle silme

Geri Bir Eylem ekle

Şekil 3.15. PushingBox senaryo arayüzü.



Şekil 3.16. PushingBox bilgisayar ve mobil uyarı arayüzü.

### 3.2.4. Tahmini Ömür Hesabı

Transformatörlerin arıza olasılıklarının önceden bilinmesi ve servis ömrü tahmini konularında yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Yaşlanmanın doğru tahmin edilmesi ile öngörülebilir bakım planlamaları daha kolay yapılmakta ve arıza nedenleri daha doğru analiz edilmektedir. IEC' nin raporunda önem derecesine göre dört parametre ele alınmıştır. Bu parametreler ile arızaların zamana göre nasıl değiştiğini saptamışlardır [57]. Literatür incelendiğinde farklı parametrelerin birbiri arasındaki etkileşimleri de dikkate alınarak farklı yaşlanma algoritmaları ve yöntemler geliştirilerek kalan tahmini servis ömrü üzerine çalışmalar yapılmaktadır. İzolasyonun yaşlanması ve kalan servis ömrü tahmini için en önemli parametrelerin başında HST parametresi bilinmesi gelmektedir. IEEE ve IEC İzolasyon yalıtımının yaşlanma hesabını standartlaştırmıştır [58], [59]. Bu standartlardan başka yaşlanma modelleri de geliştirilmiştir. N. K. Aryanil ve arkadaşları Arrhenius yaşlanma modelini kullanarak transformatörün fiziksel ve elektriksel karakteristiklerini incelemişlerdir. Hızlandırılmış termal yaşlanma hesabını farklı sıcaklık altında gerçekleştirerek yağ renginin fiziksel olarak değiştiğini ve yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça yağ izolasyonun ömrünün kısaldığını saptamışlardır [60]. Bir diğer çalışmada ise güç transformatörlerinin kalan servis ömrünü gelecek yüklenme durumlarını tahmin ederek hesaplamaya çalışmışlardır [61].

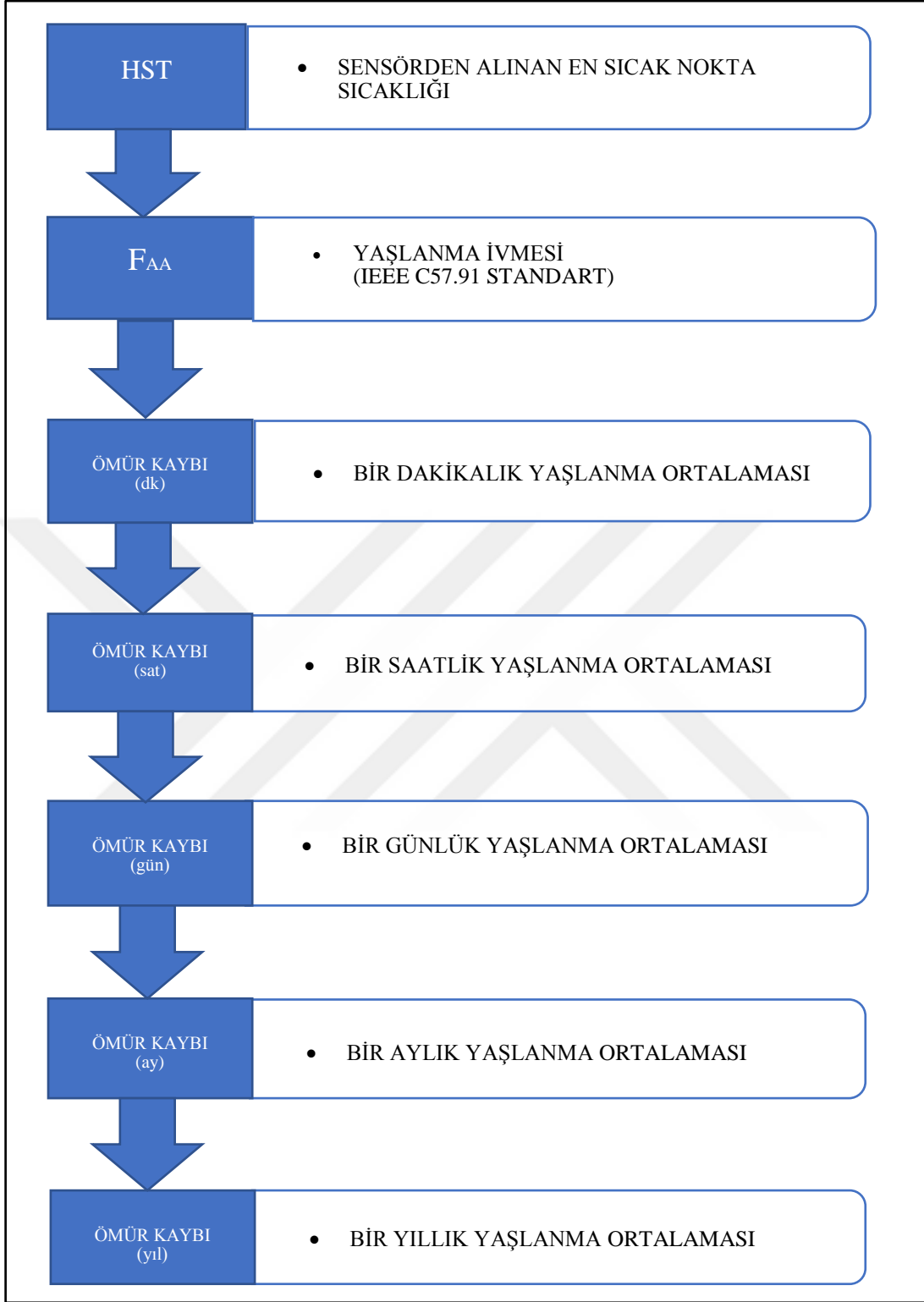
Önemli bir çalışma olan yağ içinde çözünen gazlardan (hidrojen, metan ve karbon monoksit) yola çıkarak transformatörün kullanım geçmişi analiz edilerek yaşlanması

hakkında bilgi edinilmiştir [62]. Yaşlanma hesabında sıcaklık parametresinin yanında mekanik, elektriksel özellikleri ve yağ içerisinde çözünen gazların analizi gibi değişkenlerin etkilerini de hesaba katarak yaşlanma modeli geliştirilmiştir [63]. Tahmini servis ömrü hesabında transformatörün yaşlanmasında en büyük etkiyi yapan sıcaklık, nem, oksijen gibi parametreleri kullanarak transformatörün kalitesini yani polimerizasyon derecesini kullanarak geliştirilen matematiksel model ile furan analizini ilişkilendirilerek gerçekleştirilmiştir [64]. Kuru tip transformatörün yaşlanmasında yüksek ortam sıcaklıkları ve HST parametresi kullanılmıştır. Bu parametreleri kullanarak geliştirilen algoritmanın bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmıştır [65]. Farklı bir bakış açısıyla ele alınan çalışmada ise tekrarlanan yıldırım darbelerinin izolasyonu etkileyerek yaşlanmayı nasıl etkilediğini araştırılmıştır [66]. Kalan tahmini ömür hesabında parçacık filtreleme yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde yüklenme geçmişi ve sıcaklık gibi doğrusal olmayan parametreleri kullanılarak durum-uzay modelinin parçacık filtreleme ile çözülebileceği gösterilmiştir [67]. S. Attestog ve arkadaşları elektromanyetik ve termal modeli kullanarak dağıtım transformatörlerinin yaşlanmasını modellemişlerdir. Bu modelde sıcaklık artışı, ortam sıcaklığı ve soğutmanın yaşlanma üzerine etkisini incelenmiştir [68]. Güç transformatörleri için ömür tahmininde bulanık mantığa dayalı bir model geliştirilmiştir. Bu model gerçek zamanlı verileri kullanarak hesaplama yapabilmektedir [69]. Yaşlanma hesabında sensörlerden alınan parametrelere göre kümülatif hareketli ortalamayı baz alarak model geliştirilmiştir. Bu model ile farklı ortam sıcaklıklarında ve aşırı yüklenme altında transformatörlerin daha hızlı yaşlandığını analiz edilmiştir [70]. Bayes parçacık filtreleme yöntemi kullanarak transformatörlerin ömrünü tahmin etmiştir. Bu yöntem ile bazı parametrelerin bilinmediği veya belirsiz olduğu çevresel ya da işletim koşullarını tahmini olasılığının simülasyonu yapılarak ömür tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu modelde aynı zamanda HST ve yüklenme eğrileri de dikkate alınmaktadır [71].

Bu tez çalışmasında kullanılan yöntem ise IEEE-C57.91 standart ısı yaşlanma modelidir. Bu standarda göre transformatörlerin tasarım ömrü HST değeri  $110^{\circ}\text{C}$  de olduğu varsayımıyla 20,55 yıl olarak tanımlanmıştır. Yine bu standarda göre güç transformatörleri için HST değeri  $110^{\circ}\text{C}$  de yaşlanma ivmesi 1 olarak tanımlanırken,  $130^{\circ}\text{C}$  de ise bu ivme 6,9842 olarak tanımlanmaktadır. Bu standart kullanılarak sargı sıcaklığından alınan gerçek zamanlı verilere göre transformatörün tahmini ömür hesabı yapılmıştır [58], [72]. Tahmini ömür hesabında saniyelik periyottan elde edilen toplam

verilerin ortalaması alınarak dakika periyoduna tek değer olarak ötelenmektedir. Dakikalık periyottan elde edilen verilerin toplamının ortalaması ise saatlik periyoda ötelenmektedir. Yine aynı şekilde saatlik elde edilen verilerin toplamının ortalaması günlük tek değer olarak ötelenmektedir. Bu şekilde devam eden işlemlerden saniyelik olarak hesaplanan ömür kaybı yıllığa kadar ötelenerek transformatörün yıllık periyottaki yaşlanma katsayısı hesaplanabilmektedir [59]. Ömür kaybının hesaplandığı algoritma Şekil 3.17’de görölmektedir. IEEE standartlarındaki yaşlanma formülü kod yapısına dönüştürülerek hesaplama yapılmıştır. Yaşlanma ivmesi hesabı için kullanılan Denklem (3.1)’de verilmiştir. Transformatörün kalan servis ömrünü hesaplamak için kullanılan denklem ise Denklem (3.3)’de verilmiştir.





Şekil 3.17. Ömür kaybı hesaplama algoritması [59].

$$F_{AA} = e^{\left[ \frac{15000}{383} - \frac{15000}{HST+273} \right]} \quad (3.1)$$

Bu denklemde  $F_{AA}$  belirli sıcaklıktaki ömür kaybını, HST ise en sıcak nokta sıcaklığını ifade etmektedir. Formül Arduino derleyicisinden Şekil 3.18’de görüldüğü gibi kodlanmıştır.

Transformatörün servis ömrünü etkileyen etmenlerin başında yüklenme koşullarına göre değişen sıcaklık değerleri gelir. Servis ömrü hesabı yapılırken sabit sıcaklık baz alınarak hesaplama yapılması gerçekçi sonuçlar alınmamaktadır. Bu tez çalışmasında sıcaklık doğrudan ölçülerek anlık sıcaklık değişimlerine bağlı olarak servis ömrü hesaplanmaktadır. Anlık sıcaklık değişimleri öteleme algoritması ile aşağıdaki Denklem (3.2)’deki gibi hesaplanabilmektedir.

$$L = \frac{1}{T} \int_0^T F_{AA} dt \quad (3.2)$$

Belirli bir periyottaki servis ömrü biliniyorsa, kalan servis ömrünü bulmak kolaydır. Klasik yaklaşımla Denklem (3.3)’den kalan izolasyon ömrü hesaplanabilmektedir.

$$RT = 20,55_{yıl} - (L \times T) \quad (3.3)$$

Formülde verilen  $20,55_{yıl}$ , izolasyon tasarım ömrünü;  $L$ , yıllık ömür kaybı katsayısını;  $T$ , yıllık zamanı ifade etmektedir.  $RT$  ise kalan yalıtım ömrüdür.  $RT$  hesaplanırken transformatörlerin sabit ve nominal sıcaklıkta çalıştığı kabul edilmektedir. Transformatörlerin değişken işletim koşullarında çalıştığı düşünüldüğünde bu yaklaşım yıllık bazda hesaplandığında doğru sonuç vermemektedir. Bu yüzden kalan lineer servis ömrü yıllık bazda Denklem (3.4)’de verilen formül ile hesaplanabilmektedir.

$$RT_k = \frac{20,55_{yıl} - k \times L_{yk}}{L_{yk}} \quad (3.4)$$

Burada verilen  $RT_k$  kalan lineer servis ömrünü,  $k$  yıl indisini,  $L_{yk}$  ise k yıla kadar olan toplam ömür kaybı katsayısını ifade etmektedir.  $L_{yk}$  Denklem (3.8)’de verildiği gibi hesaplanabilmekte ve bu formül kod yapısına dönüştürülerek kalan izolasyon ömrü yıllık bazda hesaplanabilmektedir.

$$T_b = \sum_{n=1}^{N_{12}} \sum_{n=1}^{N_{30}} \sum_{n=1}^{N_{24}} \sum_{n=1}^{N_{60}} F_{AA} \times \Delta t_n \quad (3.5)$$



$$T_y = \sum_{n=1}^{N_{12}} \sum_{n=1}^{N_{30}} \sum_{n=1}^{N_{24}} \sum_{n=1}^{N_{60}} \Delta t_n \quad (3.6)$$

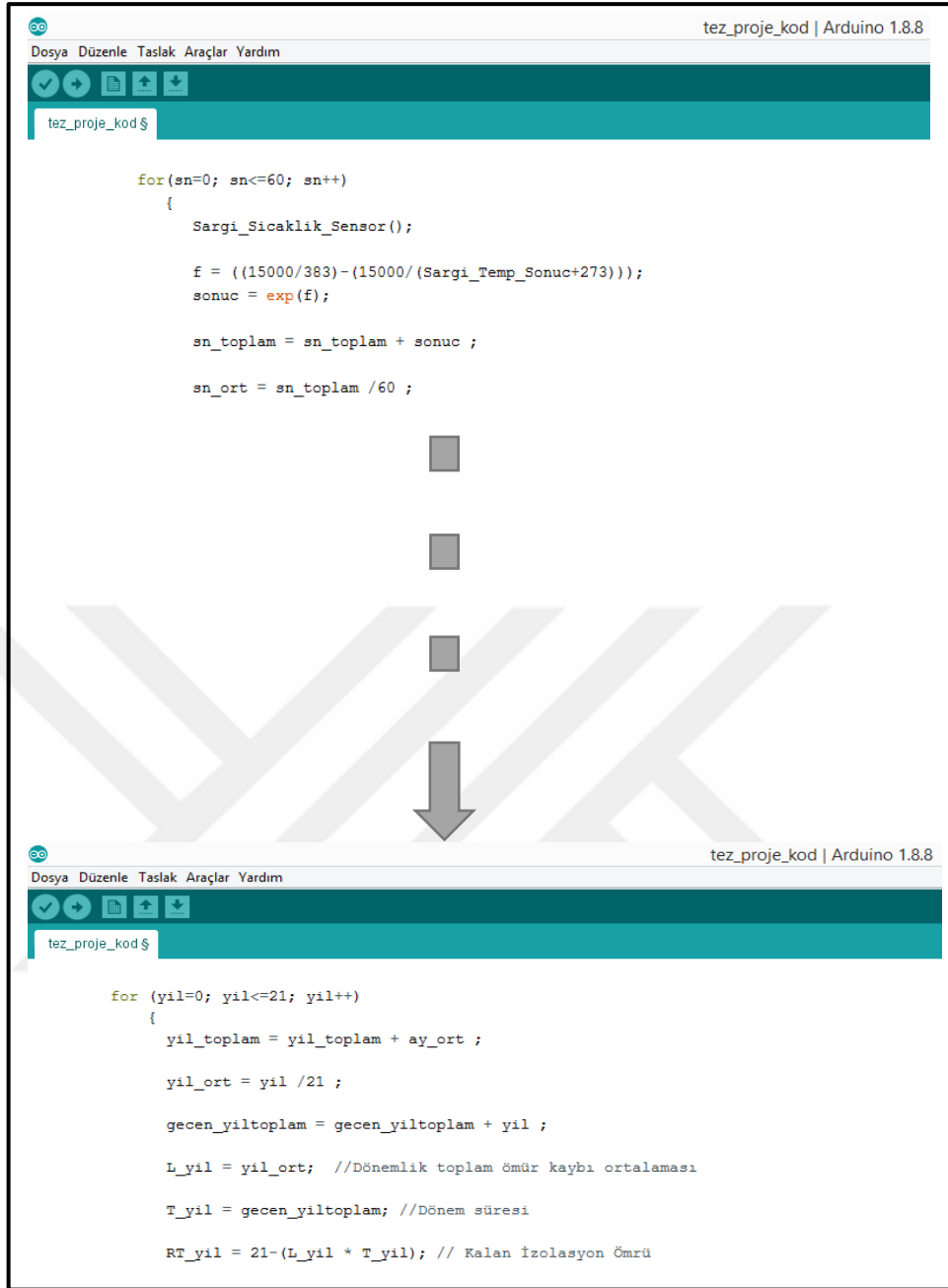
$$L_y = \frac{T_b}{T_y} \quad (3.7)$$

Denklem (3.5) ve Denklem (3.6)'da verilen  $N$  indisler; dakikadan yıla kadar olan zamanları ifade etmektedir.  $T_b$  toplam bağıl ömür kaybını ve verilen  $T_y$  ise geçen toplam zamanı ifade etmektedir.  $L_y$  belirli bir zaman (yıl) için yalıtım ömür kaybı katsayısını vermekte ve Denklem (3.7)'de görülmektedir. Bu formül sayesinde saniyelik periyotta hesaplanan ömür kayıpları yıllık periyoda kadar ötelenebilmektedir.

$$L_{yk} = \frac{L_1 \times T_{12} + L_2 \times T_{12} + L_3 \times T_{12} \dots L_k \times T_{12}}{k \times T_{12}} \quad (3.8)$$

Buradaki  $k$  yıl indisini,  $L_{yk}$  ise transformatörün  $k$  yılına kadar olan toplam ömür kaybının ortalamasını ifade etmektedir.[49], [6], [73].

Tez çalışmasında transformatörün kalan servis ömrü Şekil 3.18'de verildiği gibi kod yapısına dönüştürülmüştür. Bu sayede servis ömrünün yüklenmeye bağlı olarak değişimi izlenebilmektedir. Bir kısmı Şekil 3.18'de gösterilen kod yapısının tamamı EK-1'te verilmiştir.



```
for(sn=0; sn<=60; sn++)
{
  Sargi_Sicaklik_Sensor();

  f = ((15000/383)-(15000/(Sargi_Temp_Sonuc+273)));
  sonuc = exp(f);

  sn_toplam = sn_toplam + sonuc ;

  sn_ort = sn_toplam /60 ;
}

for (yil=0; yil<=21; yil++)
{
  yil_toplam = yil_toplam + ay_ort ;

  yil_ort = yil /21 ;

  gecen_yiltoplam = gecen_yiltoplam + yil ;

  L_yil = yil_ort; //Dönemlik toplam ömür kaybı ortalaması

  T_yil = gecen_yiltoplam; //Dönem süresi

  RT_yil = 21-(L_yil * T_yil); // Kalan İzolasyon Ömrü
```

Şekil 3.18. Ömür kaybı algoritma kodlama yapısı.

Transformatör servis ömür hesapları anlık olarak ThingSpeak görsel arayüzü ile izlenebilmektedir. Bunun ile birlikte hesaplanan servis ömrü değerleri hafıza kartında da depolanmaktadır. Bu sayede kaydedilen veriler ilerleyen zamanlarda analiz için kullanılabilir.

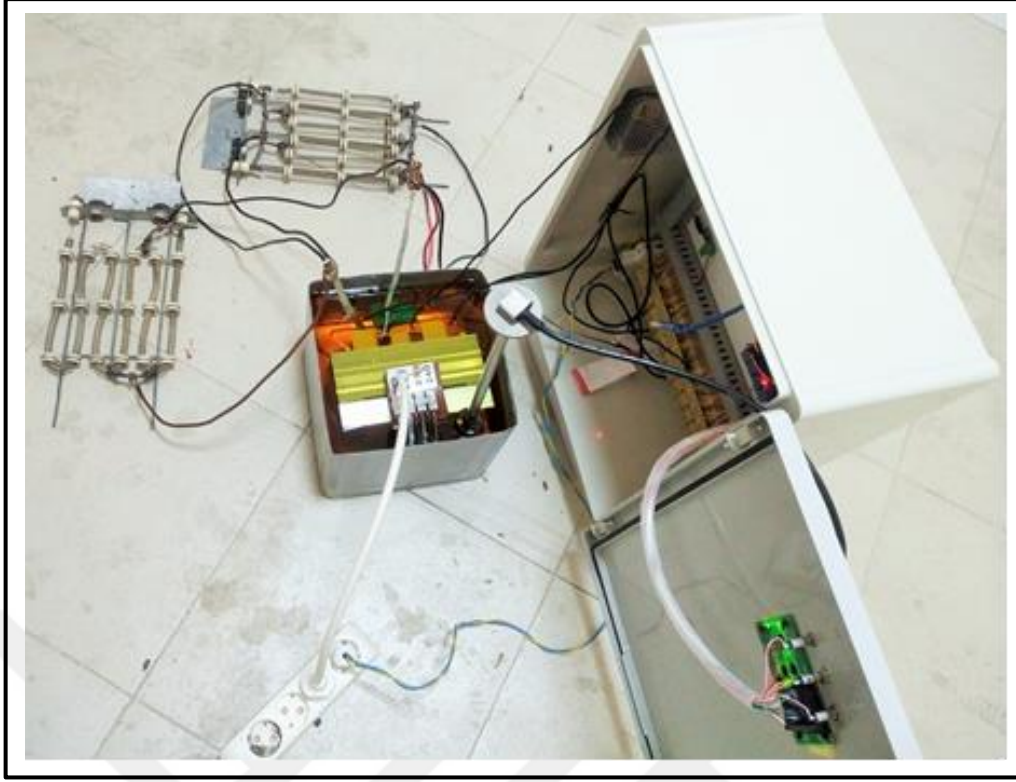
#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney aşamasında güç transformatörlerinin profesyonel olarak laboratuvar ortamında kurulması ve testlerinin gerçekleştirilmesi maliyet, yasal izinler ve iş güvenliği açısından oldukça zordur. Bu tez çalışmasında geliştirilen transformatör izleme sisteminin testi için küçük boyutlu, güvenlik riski çok daha az olan, maliyeti ve güç değeri düşük bir prototip deney transformatörü kullanılmıştır. Deneyde kullanılan bütün sensörler deney transformatörü ile uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Deney transformatörü 1000VA gücündedir. Devreye alınmadan önce giriş ve çıkış gerilimleri 230V/28V olarak ölçülmüştür. Transformatör tam yüklenme altında 35,7A akım vermektedir.

Tasarlanan deney sisteminde transformatörün yağ içerisine kolayca daldırılabilmesi için yüksek sıcaklığa dayanıklı bir kazan yapısı oluşturulmuştur. Daha sonra içerisine transformatör yerleştirilerek transformatör mineral yağı eklenmiştir.

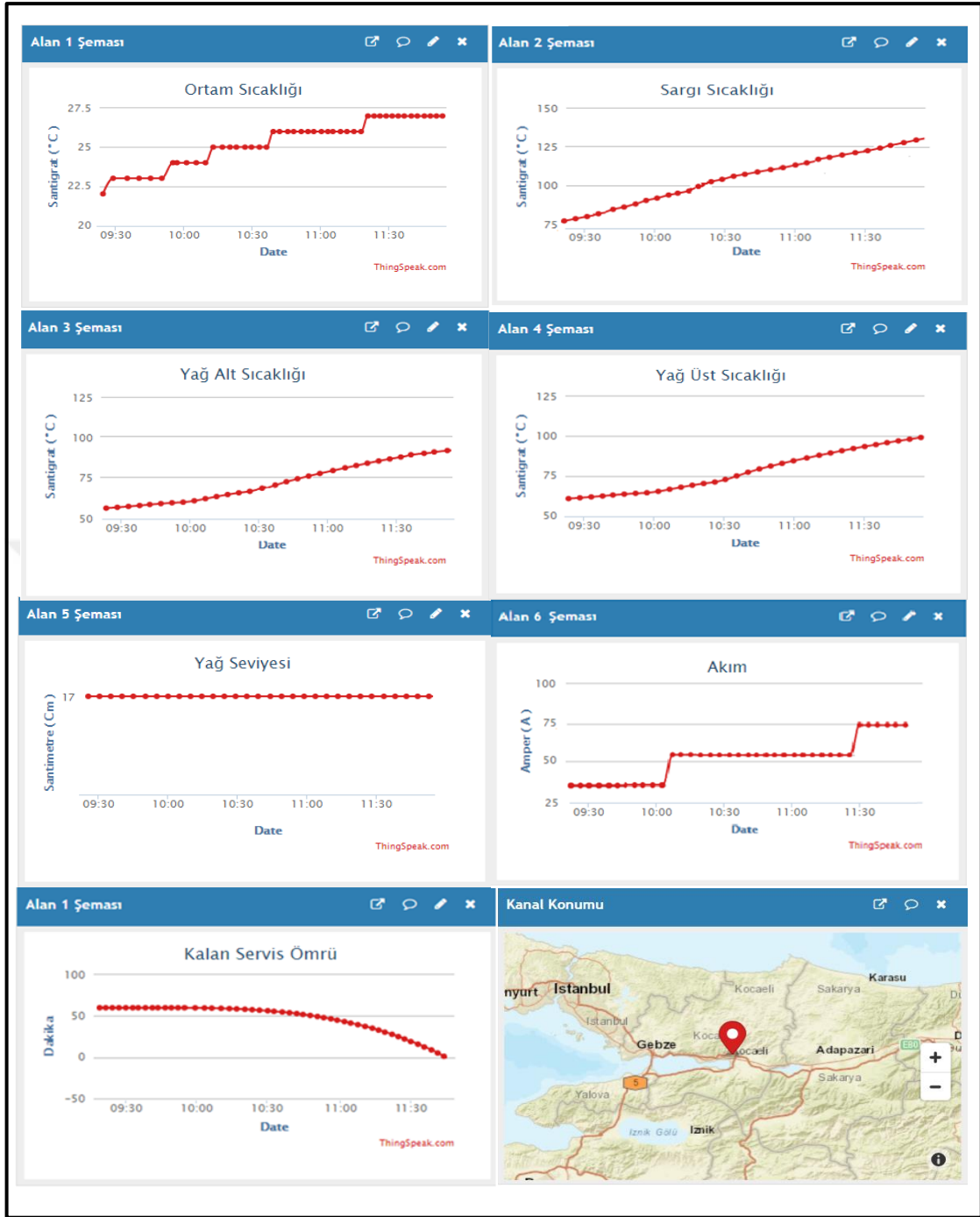
Farklı güce sahip iki adet omik yük kullanılmıştır. Bu omik yükler üç kademeli olarak devreye alınmıştır. Bu omik yüklerin her birinin direnci  $0,5\Omega$ 'dur. Direnç değeri az olan omik yük transformatör tarafından daha fazla akım çekmekte ve sargı sıcaklığını daha hızlı arttırmaktadır. Bu yükler Ek-2 de verilmiştir.

Geliştirilen izleme sisteminde yer alan akım sensörü kelepçeli yapısı sayesinde kolayca sekonder çıkışına bağlanmıştır. HST parametresini doğrudan ölçmek için kullanılan termokupl, sargı ile nüve arasına yerleştirilmiştir. Yağ alt sıcaklık sensörü, yağ tankının tabanına, yağ üst sıcaklık sensörü yağın üst kısmına yakın olan noktaya ve yağ seviye sensörü transformatörün yan tarafına yerleştirilmiştir. Tasarlanan prototip deney sistemi Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Tasarlanan prototip deney sistemi.

Sistem çalıştırılmadan önce tasarlanan yükler üç kademeli olarak ayarlanmıştır. Bu yükler sırasıyla ortalama 30A (840W), 52A (1456W) ve 75A (2100W) akım çekmektedir. Tasarlanan sistem, sensörlerin testleri yapıldıktan sonra aktif hale getirilmiştir. Prototip deney düzeneği farklı yük kademelerinde, geliştirilen panoya bağlı olarak toplam 150 dakika aktif olarak çalıştırılmıştır. Sensörlerden alınan sargı, yağ alt-üst, ortam sıcaklığı; akım ve yağ seviyesi verileri Wi-Fi modül ile ThingSpeak platformuna gönderilerek bilgisayardan izlenmiştir. Alınan veriler aynı zamanda tasarlanan pano üzerinde bulunan LCD'de sürekli olarak izlenmiştir. Sensörlerden alınan veriler ile çizilen grafikler ThingSpeak arayüzünde Şekil 4.2'deki gibi görülmektedir.



Şekil 4.2. Sensör verileri.

Deney sonucunda sensörlerden alınan verilere bakıldığında ortam sıcaklığının, omik yüklerin oluşturduğu ısı enerjisiyle zamanla arttığı görülmektedir. DHT11 sıcaklık sensörünün  $1^{\circ}\text{C}$  çözünürlüğünden dolayı ortam sıcaklığı basamak şeklindedir. Uygun koşulların sağlanması için deneyden önce prototip yükler ile birlikte belli bir süre çalıştırılmıştır. Bu yüzden sargı sıcaklığı grafikte görüldüğü gibi yaklaşık  $78^{\circ}\text{C}$ 'den başlamıştır. Çünkü düşük sargı sıcaklıklarında kalan servis ömrü ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu yüzden sistem bu sıcaklıktan sonra devreye alınmıştır. Sistemde sargı

sıcaklığının, transformatörün zamanla yüklenmesine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Sargı sıcaklığının artması transformatör nüvesinin sıcaklığını da arttırmaktadır. Artan sıcaklık, yağ sıcaklığının da yükselmesine neden olmaktadır. Çalıştırılan sistemde izolasyon yağının viskozitesi düşük ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Bu yüzden yağ seviyesinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. İzolasyon yağının özellikleri EK-4'te verilmiştir.

Günümüzde transformatörlerin servis ömür hesapları yıllık periyotlarda yapılmaktadır. Prototip olarak geliştirilen deney sisteminde verilerin bir yıl boyunca izlenmesi gerektiğinden dolayı çalışma kapsamında bu zorluğu aşmak ve algoritmanın doğru çalıştığını göstermek amacıyla geliştirilen algoritmanın tahmini servis ömrü saatlik periyotta hesaplatılmıştır. Alınan veriler incelendiğinde sargı sıcaklığının 110°C altında yaşlanma katsayısı düşük olduğu için kalan servis ömründeki değişim sınırlı kalmıştır. 110°C'den sonra HST değerinin hızla artması yaşlanma katsayısını daha da çok arttırmaktadır. Yaşlanma katsayısının hızla artması kalan servis ömrünü hızla azaltmaktadır. Kalan servis ömrünün azalması Şekil 4.2'de verilen grafikte görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi sargı sıcaklığının 110'nin üzerine çıktığı her 1°C'de dahi servis ömrü ciddi anlamda azalmaktadır. Bu artış eğer uzun süreli olursa transformatörün erken arızalanmasına ve hatta ciddi boyutlarda oluşabilecek zararlara yol açabilmektedir. Bu yüzden sargı sıcaklığının düzenli olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi büyük öneme sahiptir.

Tasarlanan pano üzerindeki LCD'den okunan, sensörlerden alınan veriler, tahmini ömür katsayısı ve kalan servis ömrü sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.3'te tasarlanan pano yapısının ön yüzü görülmektedir.



Şekil 4.3. Pano yapısının önden görünüşü.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak literatürde bahsedildiği gibi transformatör izleme sistemlerinin geliştirilmesi için firmaların ürün geliştirmesi ile akademik çalışmalar hızla devam etmektedir. Sektörde firmaların kullanmış olduğu transformatörlerde HST, yağ ve ortam sıcaklığı; yüklenme durumu, DGA, kısmı deşarjları, kademe değiştirici pozisyonu ve buşing durumları izlenmektedir. Bazı firmalar önemli parametreler için ayrı modüler yapıda sistemler ve transformatörlerin servis ömrünü kestirmek için yaşlanma modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen bütün bu transformatör izleme sistemleri bu sektörün önemini göstermektedir.

Bu tez kapsamında geliştirilen transformatör izleme sistemi, modüler donanım olarak ve açık kaynak kodlu yazılım ile tasarlanmıştır. Tasarlanan prototip sistem ile transformatörden sargı, yağ ve ortam sıcaklığı; sargı akımı gibi parametreler sensörlerle anlık olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler Wi-Fi modülü ile birlikte ThingSpeak web arayüzüne gönderilerek mobil cihaz ya da bilgisayardan izlenmiştir. Ölçülen parametreler aynı zamanda pano üzerinde bulunan LCD de gösterilmiş ve SD karta gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte IEEE standartlarında kalan servis ömrü hesaplanmış ve uzaktan izlenmiştir. Sistemde kullanılan Wi-Fi modülü, transformatörün manyetik alanından etkilenmemiş ve verileri sağlıklı olarak göndermiştir. Tasarlanan sistemin, literatürde bahsedilen izleme sistemlerine göre maliyetinin oldukça düşük olması ve modüler yapının genişletilebilir olması ise bu sistemi avantajlı hale getirmiştir. Sistem yazılımının açık kaynak kodlu olması bir diğer avantajdır. Ayrıca 4-20mA/0-5V dönüştürücü modülü ile farklı tipteki sensörler sisteme entegre edilebilmektedir. Bununla birlikte izlenecek parametreler opsiyonel olarak arttırılabilmektedir. Bu sayede daha fazla izlenen parametreler ile transformatörün servis ömrü hakkında daha iyi bilgi edinilebilmektedir.

Geliştirilen transformatör izleme sistemi, uygulamada sektör ile entegre edilirse birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar;

- Transformatörlerin sürekli izlenerek bakım planlamalarının daha doğru oluşturulması,



- Arızalar nedeniyle meydana gelebilecek ekonomik zararın en aza indirilmesi,
- İnsan ve diğer canlıların güvenliğini artırılması,
- Transformatörlerin servis ömrünün uzatılması,
- Çevrimiçi izleme ile plansız elektrik kesintilerin önüne geçilmesidir.

İnternet hizmetinin yaygınlaşması, sistemin IoT tabanlı gelişmesinde tercih nedeni olmuştur. IoT teknolojisine paralel olarak geliştirilen GPRS/GPS, Sigfox ve LoRas gibi farklı haberleşme sistemleri kullanılarak izleme sistemleri üzerine çalışmalar yapılabilir.

Transformatörlerin üretim aşamalarında, arızalarının önlenmesinde ve tespit edilebilmesinde, servis ömrünün daha da uzatılabilmesinde ve analizlerin daha doğru yapılabilmesinde yapay zeka teknolojisi üzerine çalışmaların yapılması düşünülmektedir.

Prototip olarak geliştirilen transformatör izleme sisteminin sektöre entegrasyonu için IoT tabanlı izleme sistemi daha da geliştirilmelidir. Çünkü izleme sisteminin IoT tabanlı olması izlenebilirliği kolaylaştırmaktadır. Bu sayede transformatörlerin izlenmesi, kontrol ve analiz edilmesi daha hızlı ve pratik olmaktadır.

Bir sonraki aşamada tasarlanan izleme sisteminin daha da geliştirilmesi düşünülmektedir. Geliştirilmesi düşünülen sistemde mevcut sistemde kullanılan modüllerin tek bir sistemde bütünleşmiş, daha küçük boyutlu, her bir transformatörün eş zamanlı olarak birden fazla sistemle izlenmesini destekleyen, maliyeti düşük, endüstride kullanılabilecek şekilde elektronik kart tasarımının yapılması planlanmaktadır. Planlanan bu çalışmalar sayesinde transformatör izleme sistemleri alanında aktif olarak kullanılması hedeflenmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] *Loading guide for oil-immersed power transformers*, International Electrotechnical Commission IEC 60354, 1991.
- [2] K. Chooruang and K. Meekul, "Design of an IoT Energy Monitoring System," *16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, Bangkok, Thailand, 2019, pp. 1-4.
- [3] R. Aburukba, "Role of Internet of Things in the Smart Grid Technology," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 229–233, 2015.
- [4] C. Mohandass, G. Tamilselvan, V. Logesh, S. Suresh, L. Sakthivel, and R. Nagarajan, "Transmission Line Fault Monitoring and Identification System by Using Internet of Things," *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 9–14, 2017.
- [5] Anonim, (2019, 6 Mart), *ThingSpeak*, [Online]. Erişim: <https://thingspeak.com>
- [6] H. Jamal, M. F. Nadeem Khan, A. Anjum, and M. K. Janjua, "Thermal Monitoring and Protection for Distribution Transformer Under Residential Loading Using Internet of Things," *IEEE Global Conference on Internet of Things*, Alexandria, Egypt, 2019, pp. 1–6.
- [7] Anonim, (2019, 6 Mart). *PushingBox*, [Online]. Erişim: <https://www.pushingbox.com>
- [8] Poyser T. D., Yannucci D. A., Templeton J. B., Lenderking B. N., "On-line monitoring of power transformers," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 104, no. 1, pp. 47-48, 1985.
- [9] Duval M., "Dissolved gas analysis: it can save your transformer," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 5, no. 6, pp. 22-27, 1989.
- [10] Z. Wang, X. Yi, X. Wang, S. Li, J. V. Hinshaw, and J. Noakhes, "Comparison between online and laboratory measurements of fault gases for mineral oil and natural ester," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 5, no. 2, pp. 173–181, 2013.
- [11] Leibfried T., "Online monitors keep your transformers in service," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 11, no. 3, 36-42, 1998.
- [12] D. Chu and A. Lux, "On-Line Monitoring of Power Transformers and Components : A Review of Key Parameters," presented at Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference, Cincinnati, OH, ABD, 1999.
- [13] S. Kim, Y. Kim, J. Yang, S. Kwon, and S. Park, "Degradation level monitoring sensor for insulating oil of power transformer using capacitive high aspect ratio of electrodes" *13th International Conference on Solid-state Sensors*, Seoul, Korea, 2005, pp. 5-9.
- [14] B. N. Lenderking *et al.*, "Smart transformer using PLC and SCADA," *IEEE*

*Computer Applications in Power*, vol. 6, no. 6, pp. 43–48, 2016.

- [15] A. Das, N. Premsey, T. Kalady, and T. Kalady, “Smart transformer using PLC and SCADA,” *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 3, no. 6, pp. 149–155, 2016.
- [16] S. Nunoo and E. K. Mahama, “Investigation into Remote Monitoring of Power Transformers using SCADA,” *International Journal of Energy Engineering*, vol. 3, no. 6, pp. 213–219, 2014.
- [17] S. Dharanya, M. Priyanka, R. Rubiti and A. Ummakeswari,” Real Time Monitoring and Controlling Of Transformers,” *Journal of Artificial Intelligence*, Tamil Nadu, India, pp. 1-10, 2012.
- [18] C. Wu and Q. Geng, “The transformer station remote monitoring system based on ARM/GPRS network,” presented at 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications, Wuhan, China, pp. 1–4, 2010.
- [19] J. Singh and S. Aggarwal, “Distribution Transformer Monitoring for smart grid in India,” *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems*, Mullana, Haryana, India, pp. 1–6, 2016.
- [20] P. Rajendhar, P. P. Kumar, and R. Venkatesh, “Zigbee based wireless system for remote supervision and control of a substation,” *International Conference on Innovative Research In Electrical Sciences (IICIRES)*, Nagapattinam, India, 2017, pp. 3–6.
- [21] J. R. Guardarrama, R. C. S. Freire, and O. H. Areu, “A Proposed Wireless System to Real Time Monitoring in Power Transformer,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 4, pp. 1570-1574, 2016.
- [22] R. J. Tom and S. Sankaranarayanan, “IoT based SCADA integrated with Fog for power distribution automation,” *12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, Chennai, India, 2017, pp. 1-4.
- [23] M. Bagheri, A. Zollanvari, and S. Nezhivenko, “Transformer Fault Condition Prognosis Using Vibration Signals over Cloud Environment,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 9862–9874, 2018.
- [24] L. Yuezhong, Y. Xiaoqiang, and Z. Piaoxia, “Research on On-Line Monitoring and Fault Recognition Technology of Intelligent Power Transformer Based on the Internet,” *Chinese Automation Congress (CAC)*, Xi'an, China, 2018, pp. 4227–4231.
- [25] W. Zhang and D. J. Webb, “PMMA based optical fiber bragg grating for measuring moisture in transformer oil,” *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 28, no. 21, pp. 2427–2430, 2016.
- [26] D. K. Mahanta and S. Laskar, “Water Quantity-Based Quality Measurement of Transformer Oil Using Polymer Optical Fiber as Sensor,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 4, pp. 1506–1512, 2018.
- [27] M. Nicola, C. I. Nicola, M. Duță, D. Sacerdoțianu, and I. Hurezeanu, “System for monitoring of hot spot temperature of power transformer windings using fiber optic sensors, Kalman Filter and SCADA integration,” presented at International Conference on Development and Application Systems (DAS), Sucueva, Romania,

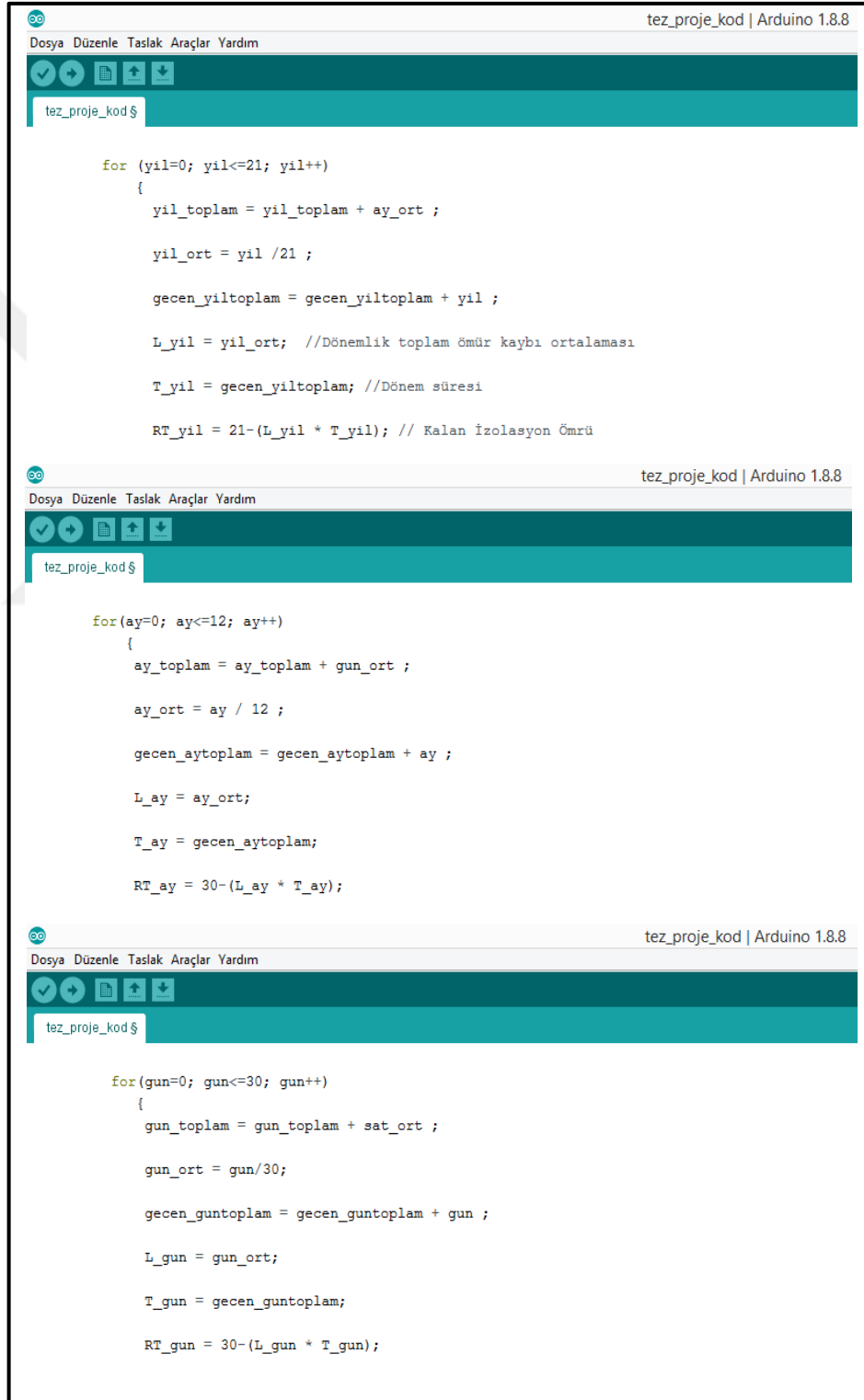
- pp. 99–104, 2018.
- [28] M. Fisser, R. A. Badcock, P. D. Teal, and A. Hunze, “High sensitivity fiber optic sensor for hydrogen detection in gas and transformer oil,” *IEEE Sensors Journal*, submitted for publication.
- [29] Anonim, (2018,7 Ocak). [Online]. Erişim:  
<https://new.abb.com/products/transformers/transformer-components/measurement-and-safety-devices/monitoring-systems>
- [30] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
<https://www.energy.siemens.com/us/en/services/power-transmission-distribution/transformer-lifecycle-management/transformer-monitoring-diagnostic-system.htm>
- [31] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
<http://www.gegridsolutions.com/MD.htm>
- [32] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
[https://www.reinhausen.com/desktopdefault.aspx/tabid-250/1858\\_read-4698/](https://www.reinhausen.com/desktopdefault.aspx/tabid-250/1858_read-4698/)
- [33] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
<https://www.qualitrolcorp.com/products/transformer-monitors/intelligent-transformer-monitors/qtms-qualitrol-transformer-monitoring-system/>
- [34] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
[https://www.koncar-institut.hr/hr/?solution\\_group=transformer-monitoring](https://www.koncar-institut.hr/hr/?solution_group=transformer-monitoring)
- [35] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
<https://www.a-eberle.de/en/product-groups/voltage-regulation/devices/tmm>
- [36] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
<https://www.mistrasgroup.com/how-we-help/monitoring/transformers/>
- [37] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim: [https://dimrus.com/tdm\\_e.html](https://dimrus.com/tdm_e.html)
- [38] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online].  
Erişim: <https://www.kolektor.com/en/electricalpower>
- [39] Anonim, (2018, 7 Ocak). [Online]. Erişim:  
<http://www.mteturkey.com/mte-enerji-tcu-transformator-izleme-sistemi.html>
- [40] R. R. Pawar, P. A. Wagh, and S. B. Deosarkar, “Distribution transformer monitoring system using Internet of Things (IoT),” *IEEE International Conference on Computational Intelligence in Data Science*, Chennai, India, 2018, pp. 1–4.
- [41] M. Poongothai, P. M. Subramanian, and A. Rajeswari, “Design and implementation of IoT based smart laboratory,” *5th International Conference on Industrial Engineering and Applications*, Singapore, 2018, pp. 169–173.
- [42] S. Tenbohlen, M. Beltle, and M. Siegel, “PD monitoring of power transformers by UHF sensors,” *International Symposium on Electrical Insulating Materials*, Stuttgart, Germany, 2017, pp. 303–306.
- [43] Q. G. Wang, Z. Q. Ding and P. Wang., “Condition monitoring and reliability

- analysis of underground transformers,” *IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration*, Beijing, China, 2017, pp. 1–5.
- [44] Y. Kabalci and E. Kabalci, “Akıllı Şebekeler için Kablosuz Enerji İzleme Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 137–145, 2017.
- [45] Anonim, (2019, 28 Nisan). *Arduino*, [Online]. Erişim: <http://www.arduino.cc>
- [46] Anonim, (2019, 28 Nisan). *Arduino Mega 2560 Specifications*, [Online]. Erişim: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- [47] Varışlı İ., (2019, 28 Nisan), *DS18B20-1Wire İletişim*, [Online]. Erişim: [320volt.com/wp-content/uploads/2019/01/DS18B20.pdf](http://320volt.com/wp-content/uploads/2019/01/DS18B20.pdf).
- [48] Anonim, (2019, 28 Nisan). *What is MAX6675*, [Online]. Erişim: <https://www.best-microcontroller-projects.com/max6675.html>
- [49] Arduinopedia, (2019, 6 Mart). *How to DHT11*, [Online]. Erişim: <https://www.arduinopedia.com/arduino-ile-dht11-sicaklik-venem-sensoru-kullanimi/>
- [50] Seta Teknik Elektrik, (2019, 6 Mart). *Yağ Seviye Sensörü*, [Online]. Erişim: [https://www.tekneelektrikmalzemeleri.com/yakit\\_seviye\\_sensoru.php](https://www.tekneelektrikmalzemeleri.com/yakit_seviye_sensoru.php)
- [51] Anonim, (2019, 6 Mart). *Open Energy Monitor*, [Online]. Erişim: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors>
- [52] Anonim, (2019, 6 Mart). *What is SD Card Module*, [Online]. Erişim: <https://lastminuteengineers.com/arduino-micro-sd-cardmodule-tutorial/>
- [53] Ravi, (2019, 28 Mart). *What is DS3231 RTC Module*, [Online]. Erişim: <https://www.electronicshub.org/arduino-ds3231-rtc-module-tutorial/>
- [54] Robotistan, (2019, 28 Mart). *ThingSpeak Kullanımı*, [Online]. Erişim: <https://maker.robotistan.com/esp8266-dersleri-2-thingspeake-sicaklik-yollama/>
- [55] VisionMobile, (2018, 10 Ocak), *IoT Report*, [Online]. Erişim: <http://www.visionmobile.com/reports>
- [56] F. Azzola, (2019, 28 Mart). *How to use Arduino and Pushbullet*, [Online]. Available: <https://www.survivingwithandroid.com/2018/01/implement-iot-notification-system-using-arduino-pushbullet.html>
- [57] *Evaluation and qualification of electrical insulation systems*, International Electrotechnical Commission IEC-60505, 2011.
- [58] *Guide for loading mineral-oil-immersed transformers*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE-C57.91, 1995.
- [59] Y. Biçen, F. Aras, and H. Kirkici, “Lifetime estimation and monitoring of power transformer considering annual load factors,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 21, no. 3, pp. 1360–1367, 2014.
- [60] I. M. Y. Negara, N. K. Aryani, D. A. Asfani, D. Fahmi, R. Jauhari, and M. Wahyudi, “Analysis of physical and electrical characteristics of transformer oil,” presented at International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, Surabaya, Indonesia, pp. 139–143, 2017.

- [61] P. A. A. F. Wouters, A. Van Schijndel, and J. M. Wetzer, "Remaining lifetime modeling of power transformers: Individual assets and fleets," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 27, no. 3, pp. 45–51, 2011.
- [62] N. Moodley and C. T. Gaunt, "Low Energy Degradation Triangle for power transformer health assessment," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 24, no. 1, pp. 639–646, 2017.
- [63] M. Perkins, L. Pettersson N., L. Fantana, and T.V. Oornnen, "With Specific Application To Nuclear Power Station Generator Transformers," *Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference*, Cincinnati, OH, ABD, pp. 685–690, 1999.
- [64] W. D. A. G. Hillary *et al.*, "A tool for estimating remaining life time of a power transformer," *3rd International Multidisciplinary Engineering Research Conference*, Moratuwa, Sri Lanka, 2017, pp. 373–378.
- [65] I. Soltanbayev, R. Sarmukhanov, S. Kazymov, T. Otelgen, and M. Bagheri, "Automated dry-Type transformer aging evaluation: A simulation study," *Proceedings: International Siberian Conference on Control and Communications*, Astana, Kazakhstan, 2017, pp. 1–6.
- [66] Y. Li *et al.*, "Insulation performance of aging transformer winding under transient impulse," *19th IEEE International Conference on Dielectric Liquids*, Manchester, UK, 2017, pp. 1–4.
- [67] S. Li *et al.*, "On Particle Filtering for Power Transformer Remaining Useful Life Estimation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 6, pp. 2643–2653, 2018.
- [68] S. Attestog and H. Van Khang, "Electromagnetic and Thermal Modelling for Calculating Ageing Rate of Distribution Transformers," *International Conference on Electrical Machines and Systems*, Jeju, Korea, 2018, pp. 1720–1725.
- [69] S. Forouhari and A. Abu-Siada, "Application of adaptive neuro fuzzy inference system to support power transformer life estimation and asset management decision," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.*, vol. 25, no. 3, pp. 845–852, 2018.
- [70] M. Mahoor, A. Majzoobi, Z. S. Hosseini, and A. Khodaei, "Leveraging sensory data in estimating transformer lifetime," *North American Power Symposium (NAPS)*, Morgantown, West Virginia, United States, 2017.
- [71] V. M. Catterson, "Prognostic modeling of transformer aging using Bayesian particle filtering," *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Des Moines, IA, USA, 2014, pp. 413–416.
- [72] Bicen Y., Aras F., Ismailoglu H., A realistic method for remaining service life prediction of power transformer, *12th Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, Istanbul, Turkey, 2012, pp. 10-14.
- [73] Y. Biçen, "Güç transformatörlerinde izleme ve arıza önleme odaklı sisteminin geliştirilmesi," Doktora Tezi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2012.

## 7. EKLER

### 7.1. EK-1: ÖMÜR HESABI ALGORİTMA KODLAMA YAPISI



```
tez_proje_kod | Arduino 1.8.8
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
tez_proje_kod $

for (yil=0; yil<=21; yil++)
{
    yil_toplam = yil_toplam + ay_ort ;

    yil_ort = yil / 21 ;

    gecen_yiltoplam = gecen_yiltoplam + yil ;

    L_yil = yil_ort; //Dönemlik toplam ömür kaybı ortalaması

    T_yil = gecen_yiltoplam; //Dönem süresi

    RT_yil = 21-(L_yil * T_yil); // Kalan İzolasyon Ömrü
}

tez_proje_kod | Arduino 1.8.8
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
tez_proje_kod $

for(ay=0; ay<=12; ay++)
{
    ay_toplam = ay_toplam + gun_ort ;

    ay_ort = ay / 12 ;

    gecen_aytoplam = gecen_aytoplam + ay ;

    L_ay = ay_ort;

    T_ay = gecen_aytoplam;

    RT_ay = 30-(L_ay * T_ay);
}

tez_proje_kod | Arduino 1.8.8
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
tez_proje_kod $

for(gun=0; gun<=30; gun++)
{
    gun_toplam = gun_toplam + sat_ort ;

    gun_ort = gun/30;

    gecen_guntoplam = gecen_guntoplam + gun ;

    L_gun = gun_ort;

    T_gun = gecen_guntoplam;

    RT_gun = 30-(L_gun * T_gun);
}
```

## 7.1. EK-1: ÖMÜR HESABI ALGORİTMA KODLAMA YAPISI (Devam)

```
tez_proje_kod | Arduino 1.8.8
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
tez_proje_kod$

for(sat=0; sat<=24; sat++)
{
    sat_toplam = sat_toplam + dk_ort ;

    sat_ort = sat/24 ;

    gecen_sattoplam = gecen_sattoplam + sat ;

    L_sat = sat_ort;

    T_sat = gecen_sattoplam;

    RT_sat = 24-(L_sat * T_sat);
}

tez_proje_kod | Arduino 1.8.8
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
tez_proje_kod$

for(dk=0 ; dk<=60 ; dk++ )
{
    dk_toplam = dk_toplam + sn_ort ;

    dk_ort = dk_toplam/60 ;

    gecen_dktoplam = gecen_dktoplam + dk ;

    L_dk = dk_ort; //Dönemlik toplam ömür kaybı ortalaması

    T dk = gecen dktoplam; //Dönem süresi
}

tez_proje_kod | Arduino 1.8.8
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
tez_proje_kod$

for(sn=0; sn<=60; sn++)
{
    Sargi_Sicaklik_Sensor();

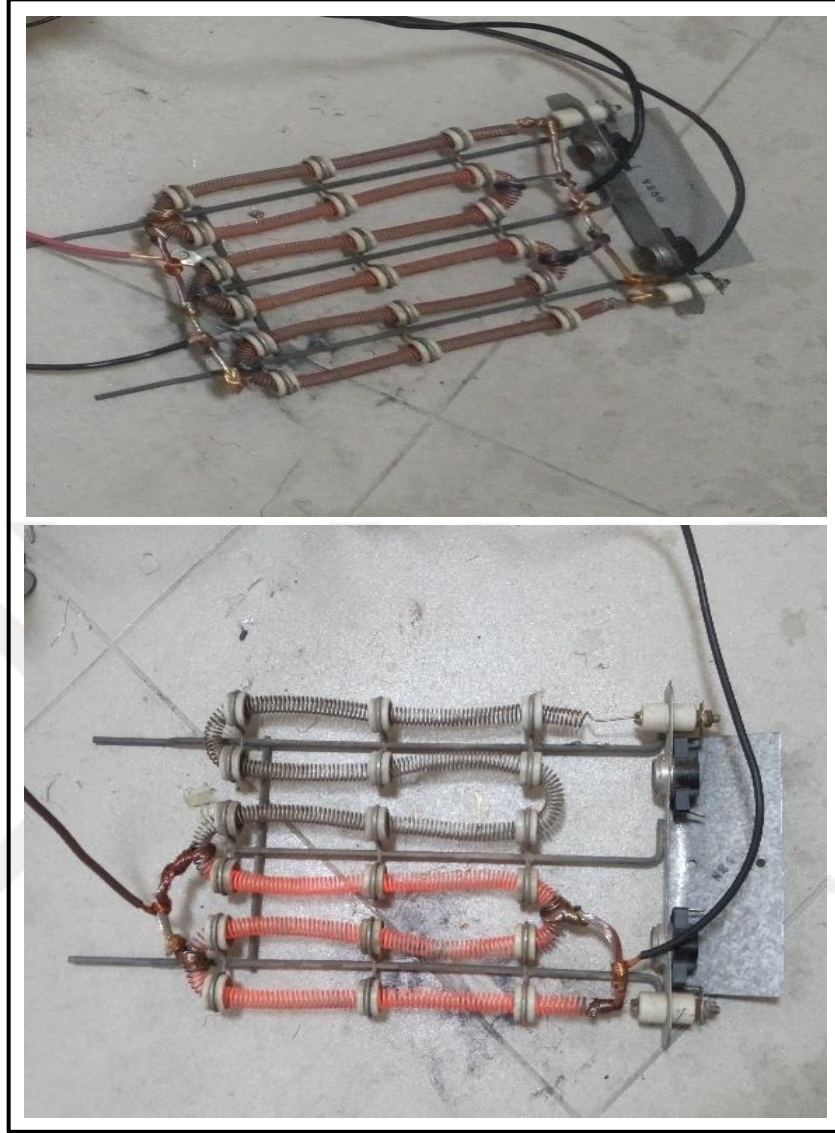
    f = ((15000/383)-(15000/(Sargi_Temp_Sonuc+273)));
    sonuc = exp(f);

    sn_toplam = sn_toplam + sonuc ;

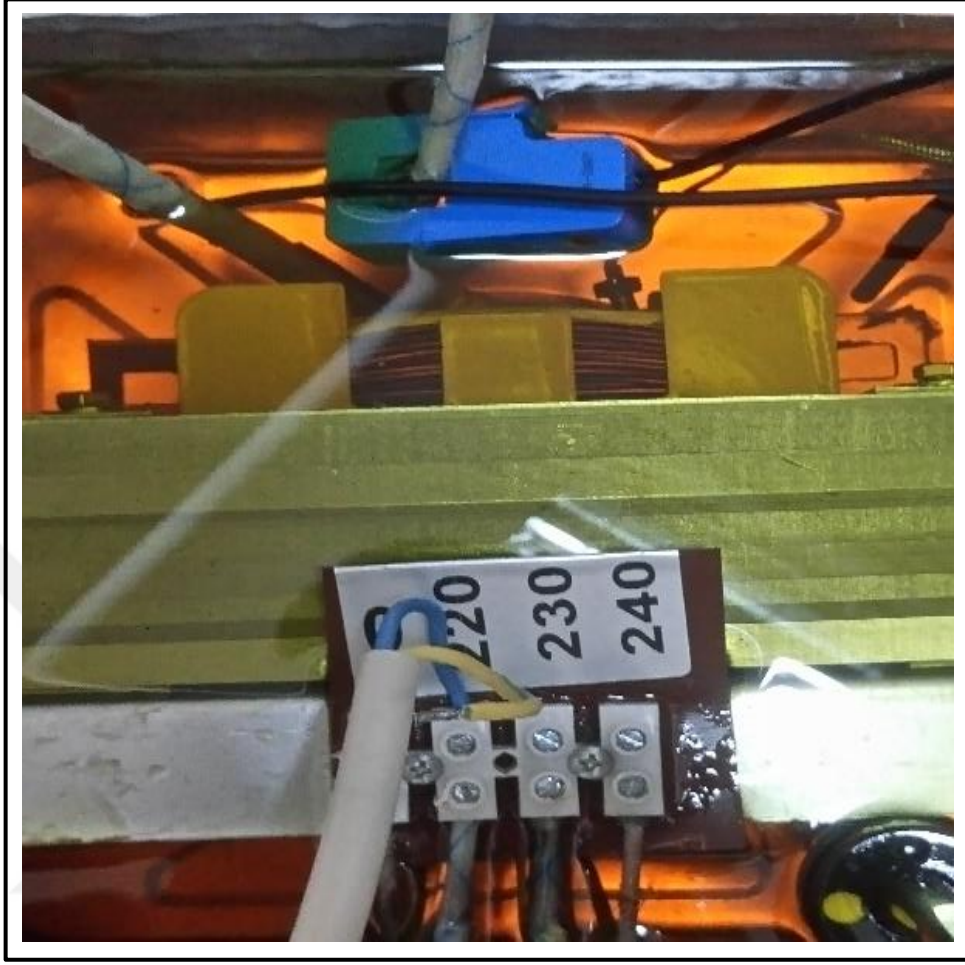
    sn_ort = sn_toplam /60 ;
}
```



## 7.2. EK-2: OMİK YÜKLER



### 7.3. EK-3: SENSÖR BAĞLANTI NOKTALARI



#### 7.4. EK-4: TRANSFORMATÖR YAĞI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

**İZOLASYON YAĞI 10 (TRAFO YAĞI)**

Özel olarak rafine edilmiş mineral yağlar ile hazırlanan naftenik esaslı bir izolasyon sıvısıdır. Çok düşük sıcaklıklarda dahi akışkanlığını korur.

Tratolarda, transformatörlerde, yağlı şalterlerde ve kapasitörlerde başan ile kullanılır.

| LİSANS NO        |  |
|------------------|--|
| MYG/399-3.00359  |  |
| MARKA TESCİL NO  |  |
| 2004 38744       |  |
| GTİP NO          |  |
| 3403.19.10.00.00 |  |
| TSE NO           |  |
|                  |  |
| TSE BELGE NO     |  |
|                  |  |

| TEKNİK ÖZELLİKLERİ            |       |
|-------------------------------|-------|
| Kinematik Viskozite (40°C cS) | 9,450 |
| Parlama Noktası (°C)          | 146,0 |
| Akma Noktası (°C)             | -50   |

SARJ NO/BATCH NO: 151580

NET: 15 Kg

TEKNİK KODLARI: S2425, S2956, S3739, S61

## 7.5. EK-5: SD KARTA DEPOLANAN VERİLER

| Sensör_Verileri - Not Defteri |            |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
|-------------------------------|------------|--------|----------|--------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|---------|------|----------|-----------|---------|------|---------|
| Dosya                         | Düzen      | Birim  | Görünüm  | Yardım |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:00:50 | AT:    | 24.50 C | HST : | 107.50 C | OBT : | 77.00 C | OTT : | 83.50 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.01 C | ALC: | 0.51 DK |
| REL :                         | 53.15 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:02:32 | AT:    | 24.50 C | HST : | 108.25 C | OBT : | 78.00 C | OTT : | 84.25 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.51 C | ALC: | 0.61 DK |
| REL :                         | 52.35 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:04:16 | AT:    | 24.50 C | HST : | 108.75 C | OBT : | 79.00 C | OTT : | 85.00 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.36 C | ALC: | 0.71 DK |
| REL :                         | 51.84 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:06:07 | AT:    | 24.50 C | HST : | 109.25 C | OBT : | 79.50 C | OTT : | 85.50 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.17 C | ALC: | 0.84 DK |
| REL :                         | 50.66 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:08:49 | AT:    | 24.50 C | HST : | 109.75 C | OBT : | 80.25 C | OTT : | 86.50 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 51.89 C | ALC: | 0.97 DK |
| REL :                         | 49.39 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:10:32 | AT:    | 24.50 C | HST : | 110.00 C | OBT : | 81.50 C | OTT : | 87.00 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.22 C | ALC: | 1.12 DK |
| REL :                         | 48.53 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:12:20 | AT:    | 24.50 C | HST : | 110.25 C | OBT : | 82.00 C | OTT : | 88.25 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.51 C | ALC: | 1.29 DK |
| REL :                         | 46.53 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:14:08 | AT:    | 24.50 C | HST : | 110.75 C | OBT : | 82.50 C | OTT : | 90.00 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.98 C | ALC: | 1.46 DK |
| REL :                         | 44.23 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:16:51 | AT:    | 24.50 C | HST : | 111.50 C | OBT : | 83.00 C | OTT : | 90.75 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.27 C | ALC: | 1.65 DK |
| REL :                         | 43.23 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:18:33 | AT:    | 24.50 C | HST : | 112.75 C | OBT : | 84.25 C | OTT : | 91.25 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.72 C | ALC: | 1.85 DK |
| REL :                         | 41.41 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:20:17 | AT:    | 24.50 C | HST : | 113.25 C | OBT : | 85.00 C | OTT : | 92.00 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.61 C | ALC: | 2.05 DK |
| REL :                         | 39.46 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:22:00 | AT:    | 24.50 C | HST : | 114.00 C | OBT : | 85.75 C | OTT : | 93.00 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.95 C | ALC: | 2.27 DK |
| REL :                         | 37.19 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:24:53 | AT:    | 24.50 C | HST : | 115.25 C | OBT : | 86.50 C | OTT : | 93.50 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.49 C | ALC: | 2.51 DK |
| REL :                         | 35.19 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:26:38 | AT:    | 24.50 C | HST : | 120.75 C | OBT : | 87.00 C | OTT : | 94.00 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 52.32 C | ALC: | 2.77 DK |
| REL :                         | 31.20 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:28:28 | AT:    | 24.50 C | HST : | 121.25 C | OBT : | 87.50 C | OTT : | 94.50 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 74.97 C | ALC: | 3.06 DK |
| REL :                         | 30.38 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:30:14 | AT:    | 24.50 C | HST : | 122.00 C | OBT : | 88.25 C | OTT : | 95.00 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 75.11 C | ALC: | 3.37 DK |
| REL :                         | 27.77 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:32:57 | AT:    | 25.00 C | HST : | 123.25 C | OBT : | 89.00 C | OTT : | 95.50 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 74.71 C | ALC: | 3.72 DK |
| REL :                         | 25.00 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |
| TARİH :                       | 02.04.2019 | SAAT : | 11:34:49 | AT:    | 25.00 C | HST : | 124.25 C | OBT : | 90.50 C | OTT : | 96.25 C | OL : | 17.00 Cm | Current : | 73.30 C | ALC: | 4.12 DK |
| REL :                         | 22.09 DK   |        |          |        |         |       |          |       |         |       |         |      |          |           |         |      |         |

## 7.6. EK-6. THINGSPEAK MOBİL İZLEME VERİLERİ



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Okan Yaman  
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.05.1995 / KOCAELİ  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : yaman41okan@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan                                           | Okul/Üniversite                         | Mezuniyet Yılı |
|-----------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|
| Y. Lisans | Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği | Düzce Üniversitesi                      | 2019           |
| Lisans    | Elektrik Elektronik Mühendisliği               | Gaziosmanpaşa Üniversitesi              | 2017           |
| Lise      | Elektrik Elektronik Teknolojisi                | Körfez Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi | 2012           |