

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**DAR BANT NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANAN ORMAN
YANGIN RİSKİ TESPİTİ VE UYARI SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Oktay GÜVEN

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**DAR BANT NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANAN ORMAN
YANGIN RİSKİ TESPİTİ VE UYARI SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Oktay GÜVEN
(705091017)**

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Lutfiye DURAK ATA

HAZİRAN 2019

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705091017 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Oktay GÜVEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DAR BANT NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANAN ORMAN YANGIN RİSKİ TESPİTİ VE UYARI SİSTEMİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Lutfiye DURAK ATA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Behçet Uğur TÖREYİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet SERBES
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **12 Haziran 2019**





Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Öncelikle, tez danışmanım olmayı anlayışla kabul ettiği ve deneyimleri ile beraber fikirlerini esirgemedi bana yol gösterdiği için değerli hocam Sayın Prof. Dr. Lütfiye DURAK ATA'a; tez çalışmamın planlanmasında ve araştırılmasında katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Behçet Uğur TÖREYİN'e; çalışmamda bana yardımcı olan İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Orman Yangınlarıyla Mücadele Şube Müdürü Sayın İkram ÇELİK'e; bu çalışmanın hazırlanması sırasında tezimi destekleyen Ericsson Telekomünikasyon A.Ş. başta olmak üzere çalışma arkadaşım Sayın Serkan ULAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Sayın Şehnaz GÜVEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Mehmet Oktay GÜVEN
Elektronik ve Haberleşme Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|-------------|
| ÖNSÖZ | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| KISALTMALAR | xi |
| ÇİZELGE LİSTESİ | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ | xv |
| ÖZET | xvii |
| SUMMARY | xix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Tezin Amacı | 3 |
| 1.2 Literatür Araştırması | 3 |
| 1.3 Hipotez | 9 |
| 2. DAR BANT NESNELERİN İNTERNETİ (NB-IOT) | 11 |
| 2.1 Nesnelerin İnterneti Hakkında Genel Bilgi | 11 |
| 2.2 Dar Bant Nesneler İnterneti (NB-IoT) Teknik Özellikleri..... | 12 |
| 3. ORMAN YANGIN UYARI SİSTEMİ NB-IOT ALGILAYICI VE BULUT MİMARİSİ | 17 |
| 3.1 Sistem için Gerekli Donanımlar | 17 |
| 3.1.1 Telit SC872-A GNSS modülü..... | 17 |
| 3.1.2 Aosong AM2301 sıcaklık ve bağıl nem algılayıcısı | 18 |
| 3.1.3 Quectel BC95 NB-IoT modülü | 19 |
| 3.1.4 10HS toprak nemi algılayıcısı | 20 |
| 3.1.5 Güneş enerji panelli akıllı kuş kafesi | 21 |
| 3.1.6 PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi | 21 |
| 3.2 Algılayıcı ve Bulut Mimarisi..... | 22 |
| 4. YANGIN RİSKİ TESPİTİ VE MİMARİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ | 35 |
| 4.1 Algılayıcı ve Bulut Mimarisinin Gerçekleşmesi | 35 |
| 4.2 Orman Yangın Riski Tespit Yöntemleri | 45 |
| 4.3 Orman Yangın Riski Yöntemlerinin Analiz ve Sonuçları..... | 47 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 53 |
| KAYNAKLAR | 55 |
| EKLER | 59 |
| ÖZGEÇMİŞ | 63 |

KISALTMALAR

| | |
|-------------------|---|
| 3GPP | : 3rd Generation Partnership Project |
| AVHRR | : Advanced Very High Resolution Radiometer |
| CCD | : Charge-Coupled Device |
| CoAP | : Constrained Application Protocol |
| DTLS | : Datagram Transport Layer Security |
| eMTC | : enhanced MTC |
| ETSI | : European Telecommunications Standards Institute |
| EC-GSM-IoT | : Extended Coverage GSM IoT |
| GNSS | : Global Navigation Satellite System |
| GSM | : Global System for Mobile communications |
| ICT | : Information And Communications Technology |
| IETF | : Internet Engineering Task Force |
| IR | : Infrared |
| IP | : Internet Protocol |
| LWM2M | : Lightweight M2M |
| LoRA | : Long Range |
| LPWAN | : Low Power Wide Area Networks |
| LTE | : Long Term Evolution |
| M2M | : Machine-to-Machine |
| MCL | : Maximum Coupling Loss |
| MAC | : Medium Access Control |
| MQTT | : Message Queue Telemetry Transport |
| MTC | : Machine Type Communications |
| mMTC | : Massive Machine Type Communications |
| NB-IoT | : Narrowband Internet Of Things |
| NDVI | : Normalized Difference Vegetation Index |
| NOAA | : National Oceanic and Atmospheric Administration |
| OMA | : Open Mobile Alliance |
| OTA | : Over-the-Air |
| PDCP | : Packet Data Convergence Protocol |
| PRB | : Physical Resource Block |
| RLC | : Radio Link Control |
| SMOS | : Soil Moisture and Ocean Salinity |
| TCP | : Transmission Control Protocol |
| TLS | : Transport Layer Security |
| UART | : Universal Asynchronous Receiver-Transmitter |
| UDP | : User Datagram Protocol |
| VWC | : Volumetric Water Content |
| SIG | : Special Interest Group |
| WSN | : Wireless Sensor Networks |



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|-----------|
| Çizelge 2.1 : NB-IoT, Sigfox ve LoRa için temel teknik özellikleri [23]. | 13 |
| Çizelge 2.2 : NB-IoT Bağımsız Bant(B), Bant İçi (I) ve Koruyucu Bant (K) pil ömürleri[19] | 15 |
| Çizelge 2.3 : Uygulama, güvenlik, taşıma, IP ve radyo protokolü içeren NB-IoT paket tanımları [19]..... | 15 |
| Çizelge 3.1 : SC872-A GNSS modülü teknik özellikleri [24]..... | 18 |
| Çizelge 3.2 : AM2301 algılayıcı teknik özellikleri [25]..... | 18 |
| Çizelge 3.3 : Quectel BC95 NB-IoT modülü teknik özellikleri [26]. | 19 |
| Çizelge 3.4 : 10HS toprak nemi algılayıcısı teknik özellikleri [27]. | 20 |
| Çizelge 3.5 : Güneş paneli ve gizleme kutusu teknik özellikleri..... | 21 |
| Çizelge 3.6 : PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi teknik özellikleri [28]..... | 22 |
| Çizelge 4.1 : Yangın esnasında algılayıcı 1'den gelen tüm veriler. | 41 |
| Çizelge 4.2 : Yangın esnasında algılayıcı 2'den gelen tüm veriler. | 42 |
| Çizelge 4.3 : Yangın esnasında algılayıcı 3'den gelen tüm veriler. | 43 |
| Çizelge 4.4 : Yangın esnasında algılayıcı 4'den gelen tüm veriler. | 44 |
| Çizelge 4.5 : Algılayıcı 1 güvenilirlik test sonuçları. | 50 |
| Çizelge 4.6 : Algılayıcı 2 güvenilirlik test sonuçları. | 51 |
| Çizelge 4.7 : Algılayıcı 3 güvenilirlik test sonuçları. | 51 |
| Çizelge 4.8 : Algılayıcı 4 güvenilirlik test sonuçları. | 51 |
| Çizelge 4.9 : Kontrollü yangın testi sonuçları. | 52 |
| Çizelge 4.10 : Son 20 veri BHO güvenilirlik testi sonuçları. | 52 |
| Çizelge 4.11 : Son 40 veri BHO güvenilirlik testi sonuçları. | 52 |



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1 : Türkiye 2010-2017 arası yanan orman alanları [4]. | 4 |
| Şekil 1.2 : Türkiye 2010-2017 oluşan yangın sayıları [4]. | 4 |
| Şekil 1.3 : İstanbul Bölgesi 2004-2017 arası yangın sayıları ve yanan alan [4]. | 5 |
| Şekil 1.4 : Türkiye’de orman yangınları çıkış saatlerinin gün içindeki dağılımı [12]. | 6 |
| Şekil 1.5 : Sıcaklık, bağıl nem ve yakıt nemi ilişkisi [12]. | 6 |
| Şekil 1.6 : İstanbul Bölgesi sıcaklık değerleri dağılımı [4]. | 8 |
| Şekil 2.1 : M2M teknolojisinden IoT'ye [19]. | 11 |
| Şekil 2.2 : Hücresel IoT bağlantılarının sayısı [22]. | 12 |
| Şekil 2.3 : LPWAN Standartları [23]. | 12 |
| Şekil 2.4 : NB-IoT çalışma modları [19]. | 14 |
| Şekil 2.5 : IoT protokol kümesi [19]. | 16 |
| Şekil 3.1 : SC872-A GNSS modülü [24]. | 17 |
| Şekil 3.2 : AM2301 sıcaklık ve bağıl nem algılayıcısı [25]. | 18 |
| Şekil 3.3 : Quectel BC95 NB-IoT modülü [26]. | 19 |
| Şekil 3.4 : 10HS toprak nemi algılayıcısı [27]. | 20 |
| Şekil 3.5 : Güneş enerji panelli kuş kafesi: (a) önden görünüm. (b) arkadan görünüm | 21 |
| Şekil 3.6 : PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi [28]. | 22 |
| Şekil 3.7 : Akıllı kuş kafesi algılayıcı son kullanıcı veri akışı. | 23 |
| Şekil 3.8 : MPLAB X IDE program ana ekranı. | 23 |
| Şekil 3.9 : Akıllı kuş kafesi algılayıcı akış şeması. | 24 |
| Şekil 3.10 : İnterval süresine göre ayırık devre güç tüketimi. | 25 |
| Şekil 3.11 : İnterval süresine göre toplam devre güç tüketimi. | 26 |
| Şekil 3.12 : İnterval süresine göre pil ömrü gün ilişkisi. | 26 |
| Şekil 3.13 : Bulut mimarisi. | 27 |
| Şekil 3.14 : Son kullanıcı ön panel arayüzü. | 28 |
| Şekil 3.15 : Son kullanıcı grafiksel detay arayüzü. | 28 |
| Şekil 3.16 : Son kullanıcı olay yönetim arayüzü. | 29 |
| Şekil 3.17 : Son kullanıcı artırılmış gerçeklik arayüzü. | 29 |
| Şekil 3.18 : Azalan pil seviyesi alarmları. | 30 |
| Şekil 3.19 : Lokasyon değişim alarmı. | 30 |
| Şekil 3.20 : Düşük kapsama alanı alarmları. | 31 |
| Şekil 3.21 : Algılayıcı arıza alarmı. | 31 |
| Şekil 3.22 : Kritik bağıl nem değişimi alarmı. | 32 |
| Şekil 3.23 : Kritik sıcaklık değişim alarmı. | 32 |
| Şekil 3.24 : Kritik yangın risk alarmı. | 33 |
| Şekil 3.25 : Yüksek sıcaklık alarmları. | 33 |
| Şekil 4.1 : Algılayıcı konumları ve uzaklıkların genel gösterimi. | 35 |
| Şekil 4.2 : 1 ve 3 nolu algılayıcıların konumu. | 36 |
| Şekil 4.3 : 2 ve 4 nolu algılayıcıların konumu. | 36 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.4 : Algılayıcı 1 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi. | 37 |
| Şekil 4.5 : Algılayıcı 2 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi. | 37 |
| Şekil 4.6 : Algılayıcı 3 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi. | 38 |
| Şekil 4.7 : Algılayıcı 4 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi. | 38 |
| Şekil 4.8 : Sıcaklık ve bağıl nem değişimi yüksek alarmları. | 38 |
| Şekil 4.9 : 20 km göz hizası ön panel görüntüsü. | 39 |
| Şekil 4.10 : 500 m göz hizası ön panel görüntüsü. | 39 |
| Şekil 4.11 : Kural tabanlı sistemin oluşturduğu alarmlar. | 39 |
| Şekil 4.12 : Yangın süresince toprak nemi değişimi. | 40 |
| Şekil 4.13 : Güven aralığı (confidence interval) grafiği [29]. | 46 |
| Şekil 4.14 : Yangın risk indeksi 20 veri BHO değişimi. | 48 |
| Şekil 4.15 : Yangın risk indeksi 30 veri BHO değişimi. | 48 |
| Şekil 4.16 : Yangın risk indeksi 40 veri BHO değişimi. | 49 |
| Şekil 4.17 : Yangın risk indeksi 50 veri BHO değişimi. | 50 |
| Şekil A.1 : Akıllı kuş kafesi kontrol devresi. | 60 |
| Şekil A.2 : Akıllı kuş kafesi NB-IoT modül devresi. | 61 |

DAR BANT NESNELERİN İNTERNETİ TEKNOLOJİSİ KULLANAN ORMAN YANGIN RİSKİ TESPİTİ VE UYARI SİSTEMİ

ÖZET

Ormanlar, su rejimini düzenleme, toprak koruma ve çevre kirliliğini önleme gibi hayati fonksiyonlarının yanında, biyolojik çeşitliliğin korunmasındaki yeri de son derece önemli olan vazgeçilmez doğal kaynaklarımızdır. Ormanların yönetimine dair en önemli konu, doğal veya beşeri nedenlere bağlı olarak yangından dolayı meydana gelen tükenmedir. İnsan ve çevresel faktör kaynaklı orman yangınları doğal yaşamı, ekolojik dengeyi ve bizzat insan yaşamını tehdit etmektedir. Orman yangınlarının tespiti ve önlenmesi, birçok ülkenin karşılaştığı gerçek bir sorundur. Türkiye’de 1988 ile 2017 arasında 63724 orman yangını kayıt edilmiş ve 319.848 ha’lık alanın yandığı gözlemlenmiştir.

Yangın tehlikesi genel olarak, yangın çıkabilecek yerlerdeki sabit ve değişken çevre faktörlerinin (topografik özellikler, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri) durumları ile açıklanır. Yangın tehlikesini etkileyen faktörlere bağlı olarak, mevcut şartlar altında oluşabilecek muhtemel bir yangın potansiyelinin belirlenmesi Yangın Tehlike Oranı olarak tanımlanır. Orman yangınlarıyla mücadelede bilinmesi gereken en önemli konulardan birisi, bir yerdeki yangın çıkma olasılığı ile çıkan bir yangının nasıl bir davranış sergileyeceğidir. Yangın çıkma olasılığını ve sergileyeceği davranışı belirleyen faktörlerin başında sıcaklık, bağıl nem, toprak nem, rüzgar yönü ve hızı gelmektedir. Yangın risk tespiti yöntemlerinde en çok kullanılan yöntemler meteorolojik risk indeksleridir. Ayrıca toprak neminin, bitkilerin aktif bir şekilde büyüdüğü vejetasyon mevsimi boyunca orman yangınlarının oluşmasında önemli bir faktör olduğu görülmüştür.

Orman yangını tespiti birçok ülkede temel bir sorun olduğundan, orman yangınlarını izlemek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. En geleneksel yöntemlerden biri, yüksek noktalarda bulunan gözetleme kuleleridir. Teknolojinin gelişmesi ve algılayıcı maliyetlerinin azalması ile birden fazla algılayıcı kaynağının kullanılması, erken yangın algılama sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Örnek olarak telsiz algılayıcı ağlar ile sıcaklık, nem, basınç, duman ve güneş ışınımı gibi farklı türdeki verileri toplamak ve iletmek mümkündür.

Bu tezde, orman yangınlarının erken tespit edilebilmesi için sıcaklık, bağıl nem ve ölü toprak örtüsü nemini ölçebilen ve arazi şartlarında düşük güç tüketimi ile çalışabilecek akıllı algılayıcılardan oluşan, yüksek hizmet kalitesi ve düşük gecikme süresi sunan NB-IoT teknolojisini kullanan bir ağ sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemden alınan ve orman yangınlarının başlangıcında önemli rol oynayan hava sıcaklığı ve bağıl nem parametrelerinden oluşturulmuş meteorolojik yangın riski indeksi formülü ile yangın tespiti yapılmıştır. Yangın riski indeks değerleri ve Bollinger bantları metodunun kullanılmasıyla erken yangın tespiti yapılabildiği görülmüştür. Geliştirilen

sistemin kontrollü yangın alanı testi ve güvenilirlik testi hata oranı sonuçlarına bakıldığında başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

İlerleyen çalışmalarda sistemimiz tarafından toplanan veriler ile orman yangın riskini etkileyen toprak türü, rüzgar ölçümleri gibi diğer faktörler dahil edilerek kapsam genişletilebilir.



FOREST FIRE RISK DETECTION AND WARNING SYSTEM USING NARROWBAND INTERNET OF THINGS

SUMMARY

Forests are our natural resources that are significantly important for saving the biological diversity besides their functions such as regulation of water regime, soil conservation, and preventing environmental pollution. The most significant issue about forest conservation is the extinction caused by the fire resulting from natural forces or human acts. Natural fire disasters cause many injuries and deaths every year. In Turkey, in Aegean and Mediterrean regions, high temperatures especially in July and August pose a serious danger when they merge with the low humidity. In addition to this, the statistics show that the main cause of wildfires is human action due to the growing need for fields. For instance, in Turkey, almost 63724 forest fires were registered between 1988 and 2017 which destroyed about 319.848 hectare of forest. The risk of fire is generally linked anthropogenic causes, vegetation, topography and weather. Wildfires caused by humans or environmental factors threaten the natural life, ecological balance and especially human life. As the statistics are analyzed, it is seen that forest fires in our country have various reasons, but in the future, there may occur a serious increase in the number of fires caused by humans because of the upcoming increase in the population of our country.

The most important issue that must be acknowledged to manage wildfires is the possibility of a fire in a specific area and the possible behavior of the fire in that specific area. Temperature, relative humidity, soil humidity, wind direction and flame speed are the primary factors that determine the fire possibility and behavior. Because of the flame speed of wildfires, firefighters must act in the first 6 minutes after the fire begins. Therefore, early detection of forest fires is the most important issue for firefighters. Since forest fire monitoring and detection is a major problem in many countries, various techniques have been developed to monitor forest fires. Traditionally, observation towers at high points are used to monitor wildfires. With the invention of new technologies such as; charge-coupled device cameras, infrared detectors, satellite systems and UAV-based imaginary, forest fire monitoring and methods are increased. Additionally, using wireless sensor networks makes it possible to collect and transmit different types of data such as temperature, humidity, pressure, smoke and solar radiation. Advanced technologies must be developed to achieve success in combating forest fires.

In this study, we propose to develop a network system using narrowband Internet of Things (NB-IoT) technology, which provides high quality of services and low latency, consisting of smart sensors that can collect required data with low power consumption in the harsh geographical conditions. The Internet of Things, named as IoT, is helping industries to connect anything with everything virtually. The evolution of the IoT means that there is an urgent need for a low power way to connect thousands of devices in field. IoT holds an enormous potential for creating economic gains through

improved efficiency, differentiation and new business models for companies and bringing benefits for societies through improved well-being, convenience and safety.

Different technologies have been developed to fulfil low power wide area (LPWA) requirements. In recent years, support for large volumes of devices has been enabled by the Massive IoT technologies NB-IoT deployed on top of LTE networks. NB-IoT is a new radio access technology which reuses technical components from LTE to facilitate operation within an LTE carrier. Cellular IoT use cases will have differing connectivity requirements. NB-IoT supports three modes of operation such as stand-alone, in-band, and guard-band, to support maximum flexibility of deployment. It offers long range and power efficiency solution with low prices. NB-IoT operates in a narrow spectrum that helps to support extreme coverage and high uplink capacity. The 200 kHz is divided into channels as narrow as 3.75 kHz during narrow spectrum deployment. In addition to coverage enhancements, it is designed to offer low latency communication with long battery lifetime. Finally, NB-IoT has been designed to support of Massive Number of Devices. This segment primarily includes wide-area use cases, connecting massive numbers of low-complexity, low-cost devices with long battery life and relatively low throughput.

To identify the current possibility of a fire by looking the natural and other factors causing a fire is defined as Fire Risk Index. Various meteorological forest fire risk indexes are proposed to forecast the risk of fire occurrence. The mostly preferred indices used for the wildfire researches are Angström index, Nestrov index, Drouet and Sol numerical risk index, Canadian Forest Fire Weather index, Portugal Fire index and meteorological risk index. The meteorological Portugal Fire risk index is the simple and practical method based on relative humidity and temperature values to identify fire risk. Besides, it is observed that soil types, soil moisture, precipitation, wind direction and speed are the significant factors causing wildfires in growing seasons.

In this thesis, to detect wildfires early, a network has been developed with NB-IoT technology, which consists of smart sensors to measure temperature, relative humidity and soil moisture besides providing high quality of services, low latency with low power consumption. NB-IoT circuit is placed into a bird nest to collect data about soil moisture, relative humidity, temperature, location and NB-IoT signal strength. The bird nest is self-sufficient and can harvest solar energy to run the NB-IoT circuit. The IoT data is stored by cloud-based IoT manager and be subject to analysis and real-time alerts.

Fire risk detection has been successfully performed by using the formula of meteorological fire risk index with evaluation of temperature and relative humidity values that are provided by the system. Fire risk index values and Bollinger bands were used to determine early fire detection. Considering the controlled fire environment and system verification tests, it has been seen that the developed system works successfully with very low error rate. This solution is designed to prevent a disaster (forest fire) that could lead to loss of a significant number of natural resources.

In this study, it has been observed that the developed system can transfer data approximately for 42 days if the time period is arranged as 60 minutes for data transfer. If the time period is arranged as 5 minutes, by using 200 mA power per day, the device can transfer data for approximately 11 days without any recharging. It has been seen that by receiving solar energy for 5 hours a day, the battery of the device is charged

up to 1250 mA/h. Considering these data, it can be said that the device can work successfully for years in hard conditions thanks to its low energy consumption.

For the future work, sensor types can be extended to assess fire risk more realistic. Furthermore, the data collected by our system can be extended with other fire factors such as soil type, precipitation wind direction and speed.



1. GİRİŞ

Ormanlar, su rejimini düzenleme, toprak koruma ve çevre kirliliğini önleme gibi hayati fonksiyonlarının yanında, biyolojik çeşitliliğin korunmasındaki yeri ile de son derece önemli olan vazgeçilmez doğal kaynaklarımızdır [1].

Ekosistemin akciğerleri olarak adlandırılan ormanlar, yaşamın oksijen ve karbondioksit temellerini koruyan tek doğal dengeleyicidir. 4 milyar hektardan fazla alana sahip orman sistemleri, yağış ve yer altı sularını düzenleyerek, erozyonu ve toprağın bozulmasını engeller. Dünyadaki tüm canlı türlerinin neredeyse üçte ikisine yaşam alanı sağlar. Ormanlar ve ağaçlar hem insanlara hem de gezegene hayati katkılarda bulunur. Temiz hava ve suyu sağlar, biyolojik çeşitliliği koruyarak iklim değişikliğine cevap verir [2].

Küresel ısınmaya bağlı olarak, artan sıcaklıklar ve azalan yağış, daha fazla ormansal atık oluşmasına neden olur ve bu da doğal yangın meydana gelme riskini artırır. Ayrıca, dikkatsizlikten veya kişisel çıkarılardan kaynaklanan insan kaynaklı yangınlar ormanları tehdit etmeye devam etmektedir [3].

Ormanların yönetimine dair en önemli konu, doğal veya beşeri nedenlere bağlı olarak yangından dolayı meydana gelen tükenmedir. İnsan ve çevresel faktör kaynaklı orman yangınları doğal yaşamı, ekolojik dengeyi ve bizzat insan yaşamını tehdit etmektedir. Yangın tehlikesi genel olarak, yangın çıkabilecek yerlerdeki sabit ve değişken çevre faktörlerinin (topografik özellikler, yanıcı madde özellikleri ve hava halleri) durumları ile açıklanır [4]. Yangın tehlikesini etkileyen faktörlere bağlı olarak, mevcut şartlar altında oluşabilecek muhtemel bir yangın potansiyelinin belirlenmesi yangın tehlike oranı olarak tanımlanır [5].

Orman Yangınlarıyla mücadelede bilinmesi gereken en önemli konulardan birisi, bir yerdeki yangın çıkma olasılığı ile çıkan bir yangının nasıl bir davranış sergileyeceğidir. Yangın çıkma olasılığını ve sergileyeceği davranışı belirleyen faktörlerin başında, ölü toprak örtüsü nem değeri gelmektedir [6].

Özellikle orman ekosistemlerinde, mineral toprak üzerinde yatan ve çoğunluğunu bitkisel artıkların oluşturduğu organik madde tabakasına ölü örtü denmektedir. Ölü örtü, alt tabakada bulunan otlar, çayır bitkileri, çeşitli çalılar, enkaz, kesim artıkları, ağaç, ağaççık vb. maddeler, orman yangınlarındaki yanıcı maddeleri oluşturur [7].

Türkiye’de 1988 ile 2017 arasında 63724 orman yangını kayıt edilmiş ve 319.848 ha’lık alanın yandığı gözlemlenmiştir. İstanbul ili özelinde ise 2004 ile 2017 arasında tespit edilmiş 2115 yangın oluşmuş ve 1.142 ha’lık bir alanın yandığı kayıt altına alınmıştır. [4]. Başka coğrafyalardan da örnek vermek gerekirse, yalnızca Kaliforniya eyaletinde (ABD), 2018 yılında yaklaşık 6.284 orman yangını ile 876.147 ha’lık alanın yandığı kaydedilmiştir. Son beş yılda, yangın olaylarının ortalaması 5.756 olmuştur [8].

Orman yangınlarının yayılma hızından dolayı yangın müdahale ekiplerinin yangın başladıktan sonra ortalama 6 dakika içinde bu tehdidin farkında olmalıdır. Bu nedenle, yangınla mücadelede, özellikle orman yangını sıklığı yüksek olan bölgelerde, erken tespit çok önemlidir. Yayılma yönünü ve yangınların hızını tahmin etmek de yangınları söndürmede kritik öneme sahiptir. Orman yangını tespiti birçok ülkede temel bir sorun olduğundan, orman yangınlarını izlemek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. En geleneksel yöntemlerden biri, yüksek noktalarda bulunan gözetleme kuleleridir. Ne yazık ki, bu yöntemin insan gözlemlerinin güvenilirliğinden dolayı sınırlamaları vardır. Örneğin, CCD kameralar ve kızılötesi (IR) dedektörler, uydu sistemleri ve görüntüler, telsiz algılayıcı ağları ve insansız hava aracı tabanlı orman yangını algılama sistemi ve izleme teknolojileri vardır [9]. CCD kameralarda ve kızılötesi dedektör tabanlı sistemlerde, CCD kameraları ve IR dedektörleri yangın ve duman gibi herhangi bir anormal olayı algılamak ve bir kontrol merkezine rapor vermek için kulelerin üzerine kuruludur [10]. Fakat, böyle bir sistemin doğruluğu arazinin, günün zamanının ve diğer çevresel koşulların etkilerine büyük ölçüde bağlıdır.

Uydu sistemlerini kullanarak görüntülerin alınması 1 ila 2 gün sürdüğü için erken yangın tespitinin bu sistemler ile yapılması düşünülemez.

Teknolojinin gelişmesi ve algılayıcı maliyetlerinin azalması ile birden fazla algılayıcı kaynağının kullanılması, erken yangın algılama sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Son zamanlarda, orman yangınlarını izlemek ve tespit etmek için telsiz algılayıcı ağlarının kullanımını düşünen bazı öneriler yayınlanmıştır [11].

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, ormanlarda dar bant nesnelere internet (NB-IoT) teknolojisini kullanan düşük maliyetli akıllı algılayıcılar aracılığıyla erken orman yangını tespiti ve uyarı sistemi oluşturan bir ağ yaratmaktır. NB-IoT ile kapsama alanındaki yangını düzenli aralıklarla sezmek ve bir yangın anında yangın müdahale ekiplerine uyarı sinyali göndermek planlanmaktadır. Ayrıca, yangın tehlike oranını etkileyen ve önemli faktörlerden olan bağıl nem (nisbi nem), hava sıcaklığı ve ölü toprak örtüsü neminin ölçülmesi, ölçülen bu değerler ile olası yangın risk tespitinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

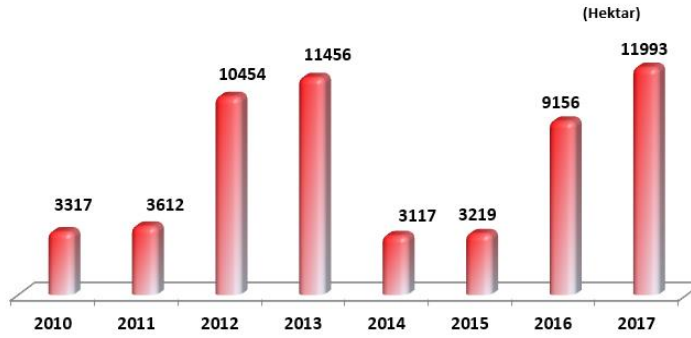
Ormanlar, insanlığa gıda, yakıt, barınak, temiz hava ve su, ilaç, gelir kaynağı, istihdam, dinlenme, peyzaj gibi maddi-manevi birçok ekonomik, ekolojik, sosyokültürel faydalar sunan doğal kaynaklardır. Literatürde orman yangınlarının karakterleri ve çevresel etkilerle ilişkisi, orman yangınlarının önlenmesi ve tespit edilmesi üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Literatür araştırmasında teze katkı sağlayacağı belirlenen çalışmaların kısa değerlendirilmeleri aşağıda paylaşılmıştır.

Orman yangını; serbest yayılma eğiliminde olan ve ormanda yaşama birliği içinde bulunan, yanabilen canlı ve cansız bütün varlıkları yakarak yok eden ateştir. Yangınlar; örtü, tepe ve toprak yangını olmak üzere 3 farklı şekilde oluşur. Örtü yangını; orman toprağının üzerinde yer alan ibre, dal, kesim artıkları, ot, funda ve diri örtünün yanmasıyla ortaya çıkar ve meşcerenin asli ağaç türlerine nadiren zarar verir. Havanın rutubetli olduğu zamanlarda ve kış aylarında tepe yangınlarına zor dönüşür. Tepe yangını; meşceredeki asli ağaç türleri başta olmak üzere meşcerenin tümüne zarar verir. Ağaçların tepelerini de yakarak ilerleyen yangın türüdür. Tepe yangını denildiğinde; toprak yüzeyindeki yanıcı maddeler dahil olmak üzere meşceredeki tüm unsurların yanması anlaşılmalıdır. Toprak yangını; sazlık ve bataklıklar gibi orman toprağı üzerinde ve altında (kök kısmında) turbalardan oluşan yangınlardır [11].

Çeşitli ülkelerde orman yangınlarının etkilediği alanın büyüklüğü, ülkenin toplam ormanlık alanı, çıkan yangın sayısı ve orman yangınlarıyla kaybedilen alanlarla ilişkilidir. Bazı ülkeler için 100 ha yanan orman alanı büyük kabul edilirken bazı ülkelerde ise 500 ha yanan orman alanı büyük olarak kabul edilmektedir [3].

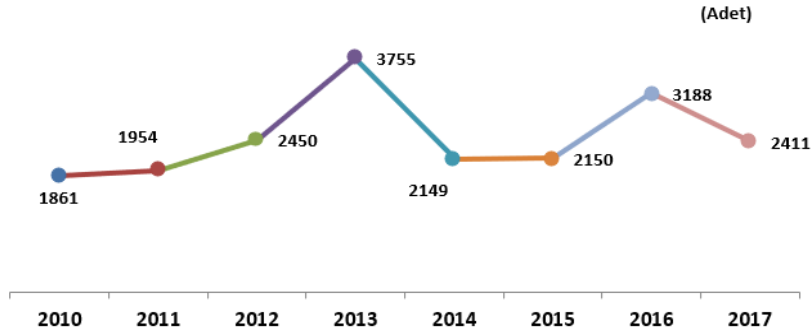
Her yıl ortalama 4.000 orman yangının yaşandığı Türkiye, yangın açısından riskli Akdeniz ülkelerinden biridir. Akdeniz ve Ege sahillerinden İstanbul'a kadar uzanan ve ülke ormanlarımızın yarısına karşılık gelen 12 milyon hektar büyüklüğündeki kıyı bandı, özellikle yaz aylarında orman yangınları açısından tehdit altındadır. Türkiye’de 2010 ile 2017 arasında çıkan orman yangın alanı Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Şekil 1.2’de ise 2010 ile 2017 arasında çıkan orman yangın sayısı gösterilmiştir [4].

Yanan Orman Alanları, 2010-2017



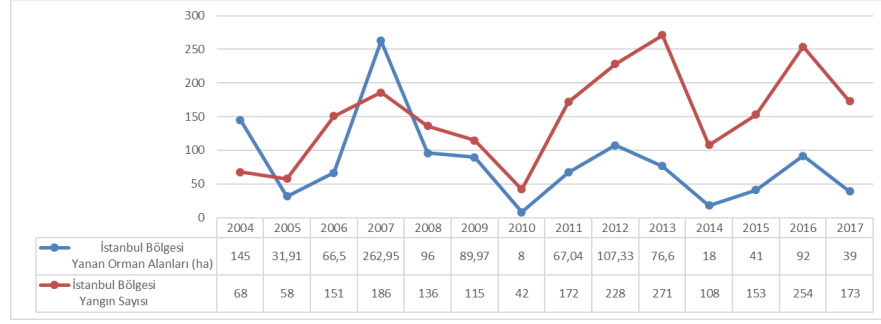
Şekil 1.1 : Türkiye 2010-2017 arası yanan orman alanları [4].

Yangın Sayıları, 2010-2017



Şekil 1.2 : Türkiye 2010-2017 oluşan yangın sayıları [4].

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü verilerine göre oluşan ve yanan alan verileri ise Şekil 1.3’de gösterilmiştir.

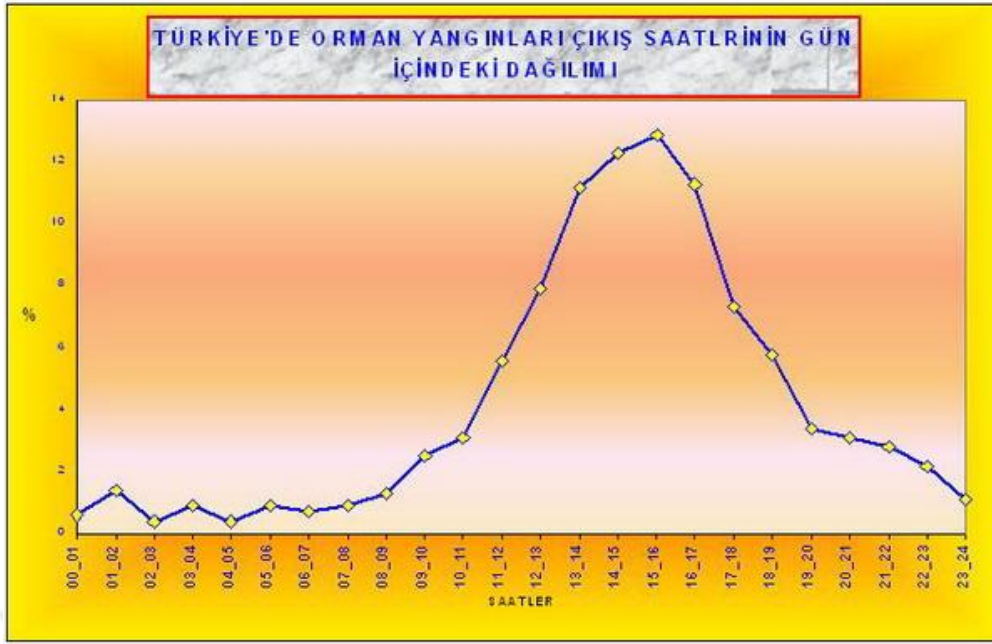


Şekil 1.3 : İstanbul Bölgesi 2004-2017 arası yangın sayıları ve yanan alan [4].

Herhangi bir sıcaklıktaki havanın taşıdığı su buharının, aynı sıcaklıkta taşıyabileceği azami su buharına oranına bağıl nem denir ve % ile ifade edilir. Yanıcı maddenin nemi; bağıl nemdeki değişimlere benzer şekilde mevsimsel, günlük, bakı, yükseklik, sıcaklık ve rüzgara bağlı değişiklikler gösterir. Mevsimsel değişime bakıldığında, kış mevsiminde düşük hava sıcaklığı ve yağışlardan dolayı yanıcı maddelerin nem içerikleri çok yüksektir. Yaz mevsiminde ise, yağış azlığı ile yüksek sıcaklık nedeniyle yanıcı maddenin nem içeriği çok düşük seviyededir. Öğle saatlerinde ise yanıcı maddenin nem içeriği minimum seviyededir. Bu an, yangın için en tehlikeli zaman dilimidir [12]. Bağıl nemin % 20'nin altına düştüğü durumlar yangınla mücadele eden ekipler için kritik öneme sahiptir [4].

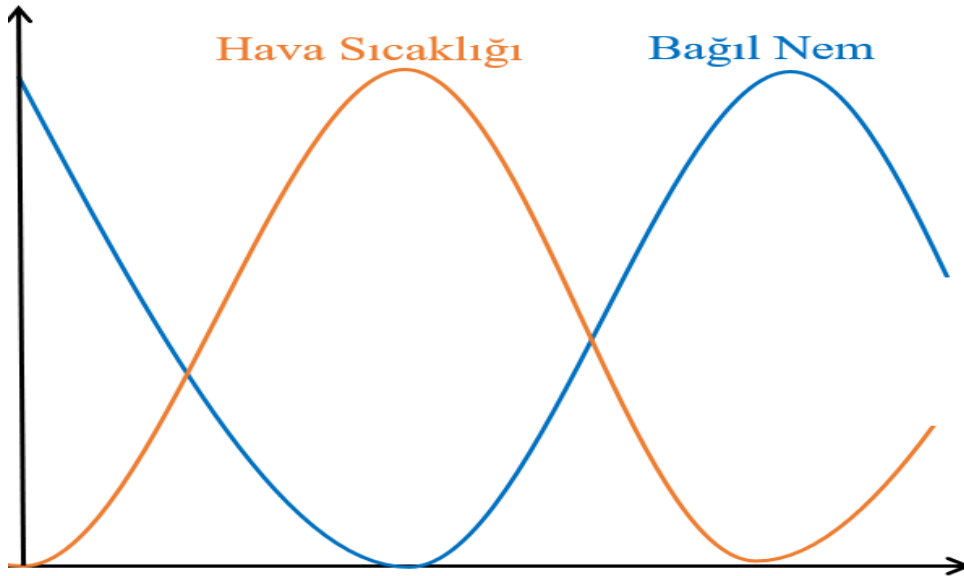
Sıcaklık, orman yangınlarında en önemli meteorolojik faktörlerden biridir. Yanıcı madde hem direkt hem de endirekt yollarla ısınarak tutuşmaya hazır hale gelir. Sıcaklık 30 °C'yi geçtiği zamanlar orman yangınları açısından tehlikeli zamanlardır. Şekil 1.4'de görülebileceği gibi Türkiye'de orman yangınlarının yoğun anlamda yaşandığı saat aralıkları 14:00 – 16:30 olarak paylaşılmıştır [12].

Orman yangınları ile mücadelede, meteorolojik faktörlerin yangın ile olan ilişkisinin iyi bilinmesi, yangınla mücadele edenlere büyük kolaylıklar getirebilir [12].



Şekil 1.4 : Türkiye’de orman yangınları çıkış saatlerinin gün içindeki dağılımı [12].

Şekil 1.5 incelendiği zaman, havanın sıcaklığının maksimum olduğu zamanlarda, havanın bağıl nemi de en düşük oranlardadır. Buna bağlı olarak yanıcı maddenin nem içeriği de biraz gecikmeli olarak değişmektedir.



Şekil 1.5 : Sıcaklık, bağıl nem ve yakıt nemi ilişkisi [12].

Toprak nemi yanma sırasında çok önemli bir unsurdur. Toprak üzerindeki ölü örtü ve toprak nemli ise toprağın ısınması azalmaktadır. Toprak neminin %20 olduğu koşullarda yapılan bir yakmada yüzey sıcaklığının 538 °C kadar çıktığı, 1 cm'lik derinlikteki toprak içinde ise sıcaklığın sadece 82 °C'a ulaştığı gözlenmiştir. 3 cm'lik derinlikte ise kayda değer bir değişme olmadığı belirtilmektedir. Nemli toprak tabakalarında yapılan ısı transferi denemeleri sonuçları incelendiği zaman, nemli toprak tabakalarında, yangın sırasında sıcaklık suyu buharlaştıracak noktaya kadar çıkamamaktadır. Yapılan ölçme sonuçlarına göre yangından hemen sonra 1-2 cm'lik toprak tabakasında toprak neminin yangın öncesine göre düştüğü buna karşılık 3 ve 4 cm'lik derinliklerde artma gösterdiği görülmüştür [7].

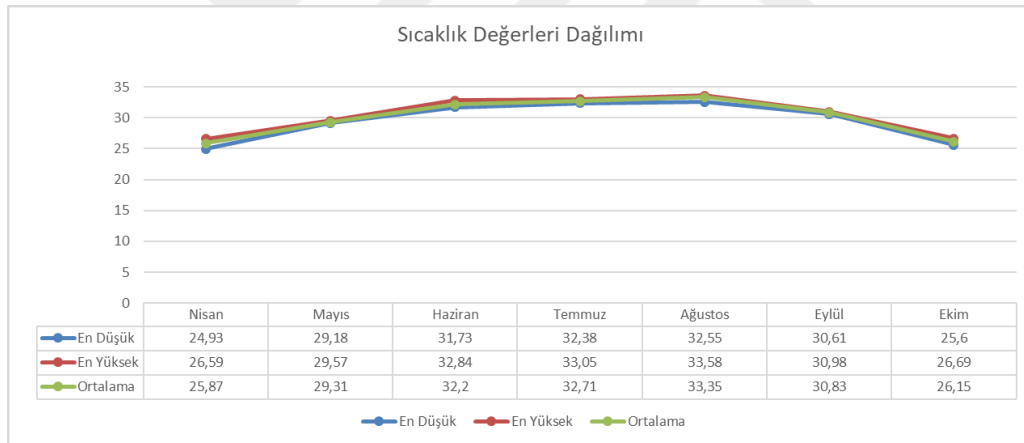
Toprak nemi, bitkilerin aktif bir şekilde büyüdüğü vejetasyon mevsimi boyunca orman yangınlarının oluşmasında önemli bir faktördür. Ancak bitkilerin çoğunun ölü veya uykuda olduğu kış mevsimi içerisinde toprak neminin önemi azalmaktadır. Kış mevsiminde ortaya çıkan büyük boyutta yangınlar, küçük boyutlu yangınlara göre daha düşük seviyedeki toprak neminde meydana geldiği görülmüştür. Buna karşılık vejetasyon mevsimindeki büyük boyutlu yangınlar, yüksek toprak nemi koşulları altında dahi oluşmaktadır [13].

2010 ile 2014 yılları arasında çekilen Toprak Nemi ve Okyanus Tuzluluğu (SMOS) uydu görüntülerinin analizleri sonucunda; uzaktan algılanan toprak nemi ve modellenmiş toprak yüzey sıcaklığına dair veriler, İber Yarımadası'ndaki kuraklık tespiti ve yangın riski değerlendirmesinde önemli değişkenler olarak görülmüştür. Yaz mevsimindeki sıcaklık ve toprak nemi arasındaki ilişki dikkate alınarak oluşturulan erken uyarı sistemleri sayesinde olası orman yangınlarının önüne geçilebilir [14].

[15]'teki çalışmada birinci algoritma sıcaklık, nem ve ışık algılayıcılar ile donatılmış devreleri ve eşik metodunu kullanmaktadır. İkinci algoritma, devrelerin sadece sıcaklık ve nem sensörlerini kullandığını varsayan Dempster-Shafer teorisine dayanmaktadır. Bir yangın meydana geldiğinde bağıl nem hızlıca düşerken sıcaklığın hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Değerlendirmeler her iki metodun da orman yangınlarını başlangıç seviyelerinde tespit edebildiğini göstermiştir. Her iki algoritma da algılayıcılar direkt güneş ışığına maruz kaldığında yanlış pozitif sonuç verdiğini raporlamıştır.

[16]'te insansız hava aracı tabanlı orman yangını algılama ve izleme yöntemi önerilmiştir. Potansiyel yangını sırayla tespit etmek ve izlemek için medyan filtreleme, renk uzayı dönüşümü, otsu eşik segmentasyonu, morfolojik işlemler ve damla sayıcı uygulanır. İç laboratuvar ortamında bir insansız hava aracı kullanarak yangının algılanması ve izlenmesi için çeşitli ön deney grupları gerçekleştirilir. Deneysel test sonuçları, görüntülerde orman yangını tespitinde “a” Lab renk modelinin kullanılmasıyla üstün performans elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca çalışma sonucu olarak; bir yangın meydana geldiğinde bağıl nem hızlıca düşerken sıcaklığın hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

İstanbul ili özelinde sıcaklık değişimi incelendiğinde; aylık ortalama sıcaklık eğrisinin yangın sezonu olan Nisan-Ekim periyodu içerisindeki seyrine bakıldığında, en sıcak ayın 33,17 °C ile Ağustos ayı olduğu görülür. Ayrıca Nisan ayından Ağustos’a kadar sıcaklıkta sürekli bir artma, Ağustos ayından itibaren de sürekli bir azalma Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 : İstanbul Bölgesi sıcaklık değerleri dağılımı [4].

Orman yangını ve su baskınlarının değerlendirilmesi ve izlenmesi için meteorolojik NOAA / AVHRR uydusundan alınan görüntülerin işlenmesi amaçlanmıştır. NOAA / AVHRR'den alınan görüntülerde normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) uygulamasının, orman yangınlarının ve su baskınlarının tespitinde etkili sonuçlar verdiği ortaya konmuştur [17].

Yapılan araştırmalarda, yangın risk tespiti yöntemlerinde en çok kullanılan yöntemler Angström indeksi, Nesterov indeksi, Drouet ve Sol numerik risk indeksi, Kanada iklim yangınları indeksi, Portekiz yangın indeksi ve meteorolojik risk indeksleridir [30].

Bir diğer yöntem ise telsiz algılayıcı ağlar ile yangın tespitidir. Telsiz algılayıcı ağlar ile sıcaklık, nem, basınç, duman ve güneş ışınımı gibi farklı türdeki verileri toplamak ve iletmek mümkündür. Toplanan veriler analiz edilebilir ve yangın çıkması durumunda karar vermek için kullanılabilir. Bu ağ türünün doğası gereği bazı önemli sorunlar ve kısıtlamalar mevcuttur. Örneğin, enerji tüketimi, tüm orman alanının uzun vadeli ve sürekli bir gözetimi hedeflerken önemli bir sorun haline gelmektedir. Bu sebeple düşük güç tüketen geniş ağ şebekeleri (LPWAN), uzun mesafe (LoRa) ve Sigfox teknolojileri tercih edilmektedir.

[8]'de; orman yangınlarının yayılma özelliklerinden dolayı yangın müdahale ekiplerinin yangın başladıktan sonra 6 dakika içinde bu tehdidin farkında olması gerektiği belirtilmiştir. Bahsi geçen LPWAN, LoRa ve Sigfox teknolojileri doğası gereği yüksek gecikme süresi ve düşük hizmet kalitesi (QoS) sunmaktadır [18]. Bu sebeplerden dolayı erken yangın tespiti gibi kritik öneme sahip kullanım senaryo ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır.

1.3 Hipotez

Orman yangınlarının tespiti ve önlenmesi, birçok ülkenin karşılaştığı gerçek bir sorundur. Literatürde orman yangınlarının analizini yapmak, tespit etmek ve olası yangın risk oranını hesaplamak için farklı yöntemler önerilmiştir. Bu tezde, orman yangınlarının erken tespit edilebilmesi için sıcaklık, bağıl nem ve ölü toprak örtüsü nemini ölçebilen ve arazi şartlarında düşük güç tüketimi ile çalışabilecek akıllı algılayıcılardan oluşan, yüksek hizmet kalitesi ve düşük gecikme süresi sunan NB-IoT teknolojisini kullanan bir sistem geliştirilecektir. Akıllı algılayıcılardan aldığımızı verilerin, operatörlerin var olan kapsama alanlarını kullanarak iletilmesi ile sağlanacaktır. İletilen bu veriler bulut ortamında toplanarak, yazılımlar aracılığıyla arayüzlere aktarılacaktır. Tasarlanan arayüzlere internet aracılığıyla, bilgisayar, telefon, tabletlerden ulaşılabilecektir. Sistem üzerinden raporlar ve tanımlı değişkenler görülebilecek, konfigürasyon işlemleri yapılabilecektir. Amacımız, ölçülen değerler ile orman yangınları arasındaki ilişkileri tespit etmek ve yangın risk uyarı yöntemi oluşturmaaktır.

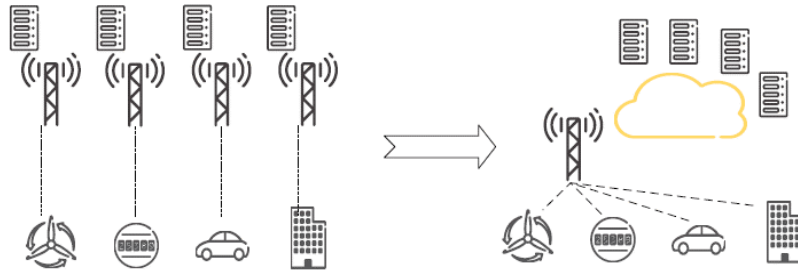
Gerçekleştirilecek sistem ile yangının başladığı alanın konum bilgilerinin anlık paylaşımı planlanmaktadır. Sistemimiz yangın müdahale ekipleri yangın yayılmadan, yangına daha hızlı müdahale edebilmesinde katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Kullandığı uzun ömürlü güneş enerji panelleri enerji tasarrufu yapmamıza olanak sağlayacaktır. Önerilen ağ sisteminin, orman yangınlarının tespiti ve önlenmesinde etkili bir şekilde kullanılabileceğini varsayıyoruz.



2. DAR BANT NESNELERİN İNTERNETİ (NB-IOT)

2.1 Nesnelerin İnterneti Hakkında Genel Bilgi

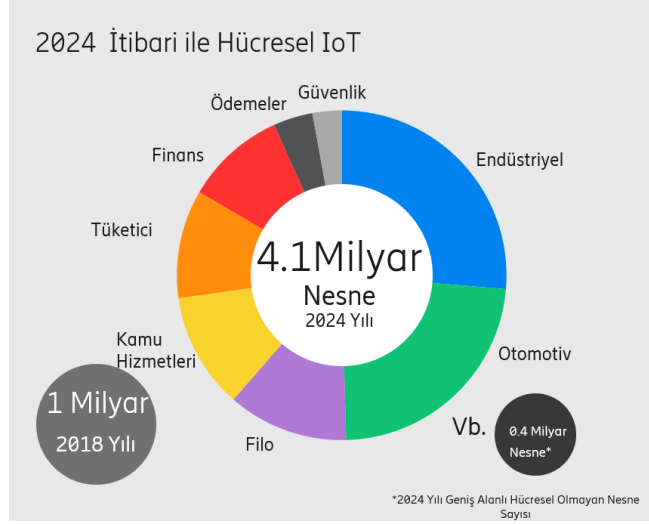
IoT olarak adlandırılan nesnelerin interneti, bilgi ve iletişim teknolojisi (ICT) endüstrisindeki nesnelerin diğer nesnelerle iletişime geçebilme vizyonunu temsil eder [19]. Şekil 2.1’de gösterilem nesnelerin interneti (IoT) tek bir tanımlamaya sahip değildir, ancak adından da anlaşılacağı gibi, cihazları birbiriyle ve internet ortamına bağlamanın bir yoludur.



Şekil 2.1 : M2M teknolojisinden IoT'ye [19].

Başka bir deyişle, IoT fiziksel nesnelere ağıdır. Gelecekte milyarlarca nesnenin, insan müdahalesi olmadan bilgileri algılayabildiği, duyabildiği, görebildiği, iletebildiği, düşünebildiği ve paylaşabileceği, kamuya açık ya da özel internet protokolü (IP) ağları ile bütünleştiği bir dünya öngörülmektedir. Günümüzde Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee vb. gibi telsiz teknolojiler, IoT uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [20].

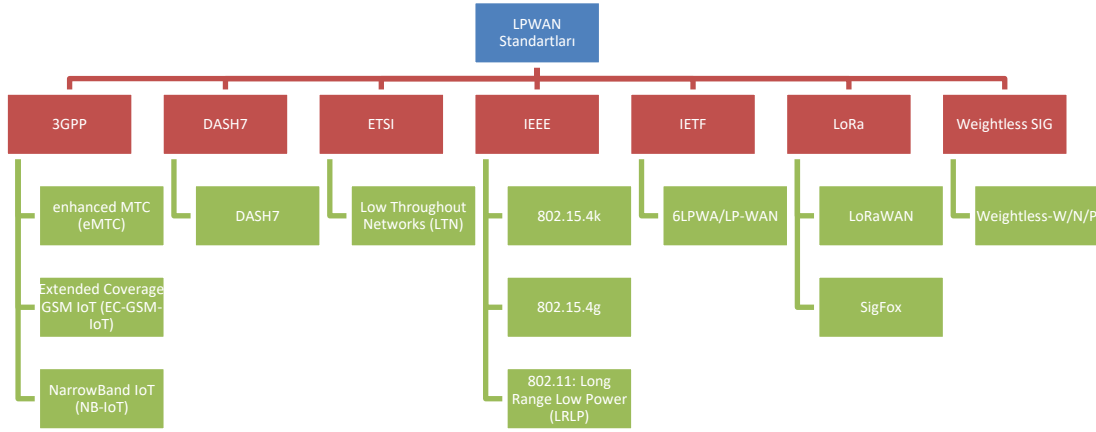
Cisco, 2020 yılına kadar 12 milyar cihazın iletişim halinde olacaklarını tahmin etmektedir [21]. Ericsson, 2024 yılında bu sayının 33.9 milyara ulaşacağını tahmin etmektedir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi 2024 yılında, 5G’nin de hayatımıza girmesi ile birlikte hücresel IoT bağlantı sayısının 4.1 milyara ulaşmasını beklemektedir [22].



Şekil 2.2 : Hücresele IoT bağlantılarının sayısı [22].

2.2 Dar Bant Nesnelere İnterneti (NB-IoT) Teknik Özellikleri

IoT projelerinin ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli kurumlar, konsorsiyumlar tarafından LPWAN teknolojileri ve standartları geliştirilmektedir. Şekil 2.3'de geliştirilen LPWAN standartları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : LPWAN Standartları [23].

NB-IoT, 3GPP tarafından geliştirilen ve Haziran 2016'da 3GPP Sürüm 13'ün bir parçası olarak standardize edilmiş bir özelliktir.

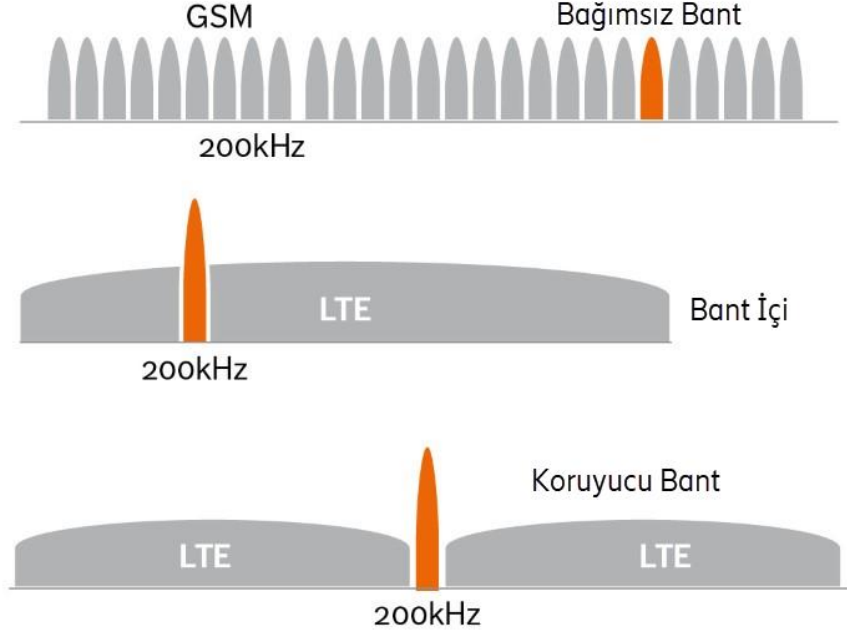
GSM'e kıyasla 20 dB kapsama avantajı, tek bir pil şarjında 12-15 yıl çalışma, düşük cihaz maliyeti ve LTE ile aynı güvenlik düzeyinde mevcut hücresel şebeke altyapısı ile uyumluluk sunmak üzere tasarlanmıştır [23]. Adından da anlaşılacağı gibi tüm sistem dar bir spektrumda, sadece 180 kHz ile başlayarak belirli bant aralığında çalışabilir özelliktedir. 180 kHz bant genişliği, 3.75 kHz aralıkta kanallara ayrılmıştır. Fakat 200 kHz bandının kullanılması önerilmektedir, bunun nedeni iki telekom operatörünün arasında bir GSM taşıyıcısının boş bırakılması gerekmektedir. Bu sayede geniş kapsama alanları ve yukarı yönde (uplink) yüksek kapasite sağlanmaktadır.

NB-IoT, hücrede çok sayıda cihazı desteklemeyi amaçlayan ultra düşük maliyetli yoğun makine tipi iletişim (mMTC) için tasarlanmıştır [19]. Çizelge 2.1'de NB-IoT, Sigfox ve LoRa teknolojilerinin teknik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : NB-IoT, Sigfox ve LoRa için temel teknik özellikleri [23].

| | Sigfox | LoRa | NB-IoT |
|---------------------------|--------------|---------------|----------------|
| Kapsama | 160 dB | 157 dB | 164 dB |
| Teknoloji | Özel ağ | Özel ağ | LTE Sinyali |
| Spektrum | Lisanssız | Lisanssız | Lisanslı |
| | Evet | Evet | Hayır |
| Çıkış gücü kısıtlamaları | (14dBm=25mW) | (14dBm=25mW) | (23dBm=200mW) |
| Aşağı bağlantı veri hızı | 0.1 kbps | 0.3 – 50 kbps | 0.5 – 200 kbps |
| Yukarı bağlantı veri hızı | 0.1 kbps | 0.3 – 50 kbps | 0.3 – 180 kbps |
| Pil ömrü (200 bayt/gün) | 10+ yıl | 10+ yıl | 15+ yıl |
| | | | <\$7(2017) |
| Modül maliyeti | <\$10 (2016) | <\$10 (2016) | <\$2(2020) |
| Güvenlik | Düşük | Düşük | Yüksek |

Şekil 2.4'de gösterildiği gibi; NB-IoT, bağımsız çalışan (standalone), bant içi (in-band) ve koruyucu bant (guard band) olmak üzere üç çalışma modunu desteklemektedir [19]. Bağımsız çalışma modu; mevcutta kullanılan GSM spektrumlarını yeniden yapılandırarak NB-IoT taşıyıcı hücrelerini IoT için ayırmamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bant içi modu ile LTE fiziksel kaynak bloklarından birini (physical resource block, PRB) kullanarak mevcut LTE ağlarını kullanmamıza olanak sağlamaktadır. Koruyucu bant modunda ise LTE koruyucu bantlarının kullanımı ile mevcut LTE ağlarını üzerinden nesnelerin iletişimi sağlanabilmektedir.



Şekil 2.4 : NB-IoT çalışma modları [19].

NB-IoT'nin 3GPP Sürüm 13'teki ilk fizibilite çalışması sırasında 60.680 cihaz / km²'lik yükü kaldırabilecek bir sistem tasarlamak amaçlanmıştır. Fakat sonrasında 5G gereksinimini de karşılaması gerektiğine karar verildi ve 3GPP Sürüm 14'te 1.000.000 cihaz / km²'lik bir yükün kaldırılabilmesi kararlaştırıldı. NB-IoT avantajlarından bir diğeri ise uzun pil ömrü sunmasıdır.

Çizelge 2.2'de cihazların bağımsız çalışan, bant içi ve koruyucu bant modlarında 2 ve 24 saatlik raporlamalar sonucunda tükettikleri pil ömrü paylaşılmıştır. Ayrıca 2 ve 24 saatlik raporlamalar esnasında aşağı yönde paket boyutu 65 bayt, yukarı yönde paket boyutu ise 50 ve 200 bayt gönderimler yapılan senaryolarda üç mod için pil ömürleri hesaplanmış ve paylaşılmıştır [19].

Çizelge 2.2'dan anlaşılacağı gibi cihazın 164 dB MCL(Maximum Coupling Loss)'de olduğu 2 saatlik raporlama aralığının çok agresif bir hedef olduğu belirlenmiş ve ortalama pil ömrünün 1.3 yıl kadar sürdüğü hesaplanmıştır.

Çizelge 2.2 : NB-IoT Bağımsız Bant(B), Bant İçi (I) ve Koruyucu Bant (K) pil ömürleri[19]

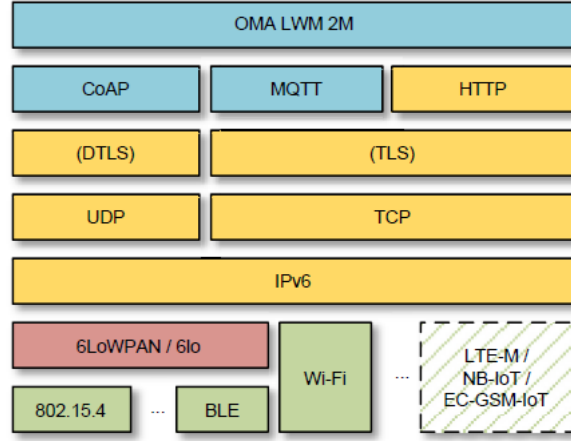
| Raporlama Aralığı (saat) | DL Paket Boyutu (bayt) | UL Paket Boyutu (bayt) | Pil Ömrü (yıl) | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|----------------|------|------|------------|------|------|------------|------|------|
| | | | 144 dB MCL | | | 154 dB MCL | | | 164 dB MCL | | |
| | | | B | K | I | B | K | I | B | K | I |
| 2 | 65 | 50 | 22,2 | 22,1 | 22,1 | 13 | 12,6 | 12,3 | 3 | 2,7 | 2,6 |
| | | 200 | 20 | 20 | 20 | 7,9 | 7,8 | 7,7 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| 24 | | 50 | 36,2 | 36,1 | 36,1 | 33 | 32,8 | 32,6 | 19,3 | 18,4 | 18 |
| | | 200 | 35,6 | 35,6 | 35,6 | 29 | 28,9 | 28,7 | 11,8 | 11,5 | 11,3 |

Çizelge 2.3’de NB-IoT için varsayılan paket büyüklüğü tanımları belirtilmiştir.

Çizelge 2.3 : Uygulama, güvenlik, taşıma, IP ve radyo protokolü içeren NB-IoT paket tanımları [19]

| Türü | UL Rapor Boyutu (bayt) |
|------------------|------------------------|
| Application Data | 20 |
| CoAP | 4 |
| DTLS | 13 |
| UDP | 8 |
| IP | 40 |
| PDCP | 5 |
| RLC | 2 |
| MAC | 2 |
| Toplam | 94 |

Şekil 2.5’de mavi alanlar IoT uygulama protokollerini, sarı alanlar IP bağlantı protokollerini, yeşil alanlar telsiz bağlantıları ve kırmızı alan ise IPv6 tabanlı çalışan sistemlerin IoT adaptasyon katmanını göstermektedir. Araştırmalar sonucunda, NB-IoT hücreli IoT çözümü güvenilir ve öngörülebilir hizmet performansı sağlamaktadır. Ayrıca NB-IoT ile radyo kaynakları yönetilebilir, girişim koordine edilebilir, düşük gecikme sürelerinde yüksek hizmet kalitesi verilebilmektedir.



Şekil 2.5 : IoT protokol kümesi [19]

NB-IoT'un dezavantajı ise IoT servis sağlayıcılarının yani telekom operatörlerinin spektrum lisans maliyetidir. Bir diğer dezavantaj ise, IoT servis sağlayıcılarınca yetersiz kapsama alanı kaynaklı bağlantı sorunlarının yaşanabileceğidir.

3. ORMAN YANGIN UYARI SİSTEMİ NB-IOT ALGILAYICI VE BULUT MİMARİSİ

Tezin bu bölümünde, orman yangın uyarı sistemi için gerekli olan donanımlar ile algılayıcı ve bulut mimarisinden bahsedilmektedir.

3.1 Sistem için Gerekli Donanımlar

Sistemin çalışabilmesi için gerekli donanımlar GPS modülü, sıcaklık ve bağıl nem algılayıcısı, NB-IoT modülü, toprak nemi algılayıcısı, güneş enerji panelli akıllı kuş kafesi ve mikrodenetleyiciden oluşmaktadır.

3.1.1 Telit SC872-A GNSS modülü

Şekil 3.1’de gösterilen GNSS anten alıcısı GNSS teknolojisini kullanan entegre bir modüldür.



Şekil 3.1 : SC872-A GNSS modülü [24].

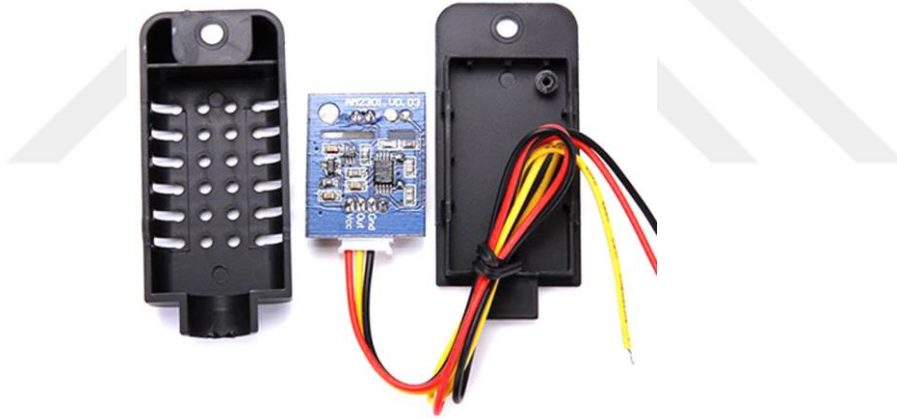
SC872-A GNSS modülü teknik özellikleri Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 : SC872-A GNSS modülü teknik özellikleri [24].

| Adı | Değeri |
|------------------------------|--|
| Mikrodenetleyici | Mediatek MT3333 |
| Çalışma Gerilim Aralığı (V) | 3,3 - 5 |
| Sıcaklık Aralığı (°C) | -20 ile 60 |
| Frekans Bantları | GPS L1, GLONASS L1, QZSS L1, Galileo E1 |
| Elektriksel Arabirim | UART |
| Merkez Frekans Aralığı (MHz) | 1575 ile 1608 |
| Maksimum Güç Tüketimi (mA) | 32 |
| Konumsal Hassasiyet (m) | 3 |

3.1.2 Aosong AM2301 sıcaklık ve bağıl nem algılayıcısı

Şekil 3.2’de sıcaklık ve bağıl nem algılayıcısı devresi gösterilmiştir. AM2301, sıcaklık ve bağıl nemini ölçebilen bir algılayıcıdır [25].



Şekil 3.2 : AM2301 sıcaklık ve bağıl nem algılayıcısı [25].

AM2301 algılayıcı teknik özellikleri Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.2 : AM2301 algılayıcı teknik özellikleri [25].

| Adı | Değeri |
|------------------------------|------------|
| Çalışma Gerilimi Aralığı (V) | 3,3 - 5 |
| Sıcaklık Aralığı (°C) | -40 ile 80 |
| Maksimum Güç Tüketimi (µA) | 500 |
| Sıcaklık Hassasiyet (°C) | ± 0.5 |
| Bağıl Nem Hassasiyet (%) | ±3 |

3.1.3 Quectel BC95 NB-IoT modülü

Şekil 3.3’de gösterilen Quectel BC95, son derece düşük güç tüketimi ile yüksek performanslı NB-IoT modülüdür. Mobil şebeke operatörlerinin ağlarına NB-IoT radyo protokolünü (3GPP Rel.13) kullanarak veri aktarmaktadır [26].



Şekil 3.3 : Quectel BC95 NB-IoT modülü [26].

Quectel BC95 NB-IoT modülü teknik özellikleri Çizelge 3.3’de görülmektedir.

Çizelge 3.3 : Quectel BC95 NB-IoT modülü teknik özellikleri [26].

| Adı | Değeri |
|------------------------------|---|
| Çalışma Gerilimi Aralığı (V) | 3,1 - 4,2 |
| Sıcaklık Aralığı (°C) | -35 ile 75 |
| Frekans Bantları | Band8, Band5, Band20, Band28 |
| Frekans Aralığı (MHz) | 758 - 960 |
| İletim Gücü (dBm) | 23dBm |
| İletim Gücü Hassasiyeti (dB) | ± 2dB |
| Maksimum Güç Tüketimi (mA) | 250 |
| Derin Uyku Güç Tüketimi (µA) | 5 |
| USIM Arayüzü | Class B USIM card: 3.0V |
| İnternet Protokol Desteği | Pv4/IPv6/UDP/CoAP |
| Veri İletim Desteği | Tek ton 15kHz/3.75kHz alttaşıyıcı: 21.25kbps(DL)/15.625kbps (UL) |
| Anten Arayüzü | 50Ω empedans kontrollü anten pedine bağlı |
| Boyutu(mm) | 23,6 x 19,9 x 2,2 |
| Ağırlık (g) | 1,8 |

3.1.4 10HS toprak nemi algılayıcısı

Şekil3.4’de toprak nem algılayıcısı gösterilmiştir. 10HS toprak nemi algılayıcısı, toprağın hacimsel su içeriğini doğru ve uygun bir şekilde izlemenizi sağlar [27].



Şekil 3.4 : 10HS toprak nemi algılayıcısı [27].

10HS toprak nemi algılayıcısı teknik özellikleri Çizelge 3.4’de görülmektedir.

Çizelge 3.4 : 10HS toprak nemi algılayıcısı teknik özellikleri [27].

| Adı | Değeri |
|------------------------------|---|
| Çalışma Gerilimi Aralığı (V) | 3 - 15 |
| Sıcaklık Aralığı (°C) | -40 ile 50 |
| VWC Aralığı (%) | 0 – 57 (0–0.57 m ³ /m ³) |
| VWC Hassasiyeti (%) | 3 |
| Kablo Uzunluğu (m) | 5 ile 40 |
| Boyutu(cm) | 16 x 3,3 x 0,8 |

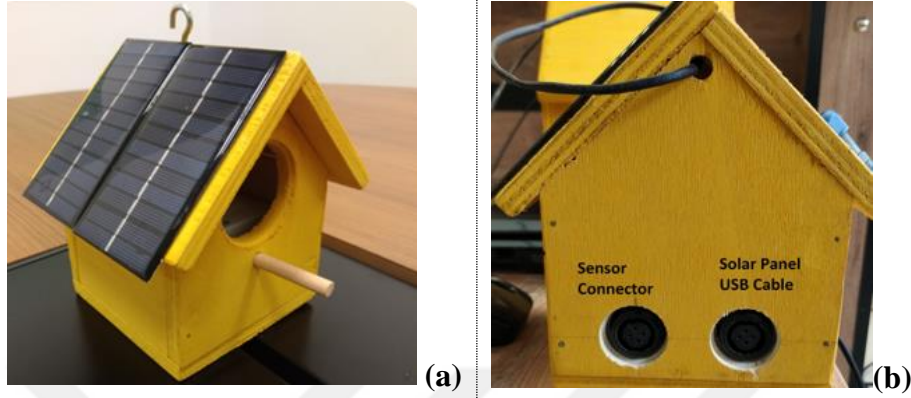
10HS toprak nemi algılayıcısından gelen verilerin kalibrasyonu aşağıdaki formül ile yapılarak, hacimsel su içeriği hesaplanmaktadır [27].

$$VWC = 2.97 \times 10^{-9} \times \alpha^3 - 7.37 \times 10^{-6} \times \alpha^2 + 6.69 \times 10^{-3} \times \alpha - 1.92 \quad (3.1)$$

İfadede geçen α algılayıcıdan ölçülen değer (mili Volt) değeridir. VWC ise hacimsel su içeriğini (volumetric water content), temsil etmektedir.

3.1.5 Güneş enerji panelli akıllı kuş kafesi

Şekil 3.5’de güneş enerji panelli kuş kafesi gösterilmiştir. Birleştirilen donanımlar, güneş enerji paneli ile donatılmış kuş kafeslerine gizlenmiştir.



Şekil 3.5 : Güneş enerji panelli kuş kafesi: (a) önden görünüm. (b) arkadan görünüm
Güneş enerji panelli kuş kafesi teknik özellikleri Çizelge 3.5’de görülmektedir.

Çizelge 3.5 : Güneş paneli ve gizleme kutusu teknik özellikleri.

| Adı | Değeri |
|------------------------------|------------|
| Çalışma Gerilimi Aralığı (V) | 4,5 - 6 |
| Sıcaklık Aralığı (°C) | -40 ile 70 |
| İç ve Dış Mekan Desteği | IP67 |

Cihaz, Solar/USB soketi takılı değilken çalışmamaktadır. 5 V ile beslenerek cihaz şarj edilebilir, pil dolduğunda şarj akımı otomatik olarak kesilmektedir. Dolu pil düzeyi gerilimi 4.2 V’dir. Sistem pil düzeyi 3.7 V altına düştüğü zaman yayın yapmayı kesmektedir.

3.1.6 PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi

Şekil 3.6’da kullanılan mikrodenetleyici gösterilmiştir. PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi, analog, çekirdek bağımsız (Core Independent Peripherals) ve iletişim çevrebirimlerine (Communication Peripherals) sahip, düşük güç ile çalışan bir mikrodenetleyicidir. Çip üzerinde bulunan giriş/çıkışlar, çevre birimlerinin bağlantısını artırmakta olup dış bileşenlere gereksinimi azaltır ve kod alanı kazandırır.



Şekil 3.6 : PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi [28].

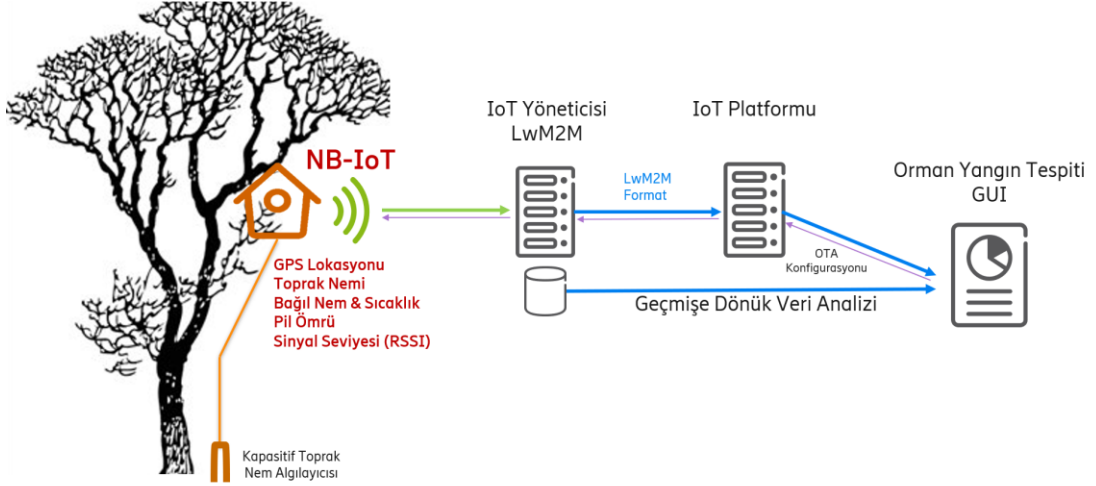
PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi teknik özellikleri Çizelge 3.6’de görülmektedir.

Çizelge 3.6 : PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi teknik özellikleri [28].

| Adı | Değeri |
|------------------------------|-----------------------|
| Mikrodenetleyici | PIC16(L)F15355 |
| Çalışma Gerilimi Aralığı (V) | 1.8 - 3.6 |
| Sıcaklık Aralığı (°C) | -40 ile 85 |
| Program Belleği Tipi | Flash |
| Program Hafızası Boyutu (KB) | 14 |
| CPU Hızı (MHz) | 32 |
| SRAM (KB) | 1 |
| Yakalama/Karşılaştırma/PWM | 2 Yakalama, 4 PWM |
| Çevrebirimleri | |
| Zamanlayıcı | 2 x 8-bit, 1 x 16-bit |
| Karşılaştırıcı Sayısı | 2 |
| Pin Sayısı | 28 |
| Düşük Güç Özelliği | Var |
| Derin Uyku Güç Tüketimi (nA) | 50 |
| Güç Tüketimi (µA) | 32 |

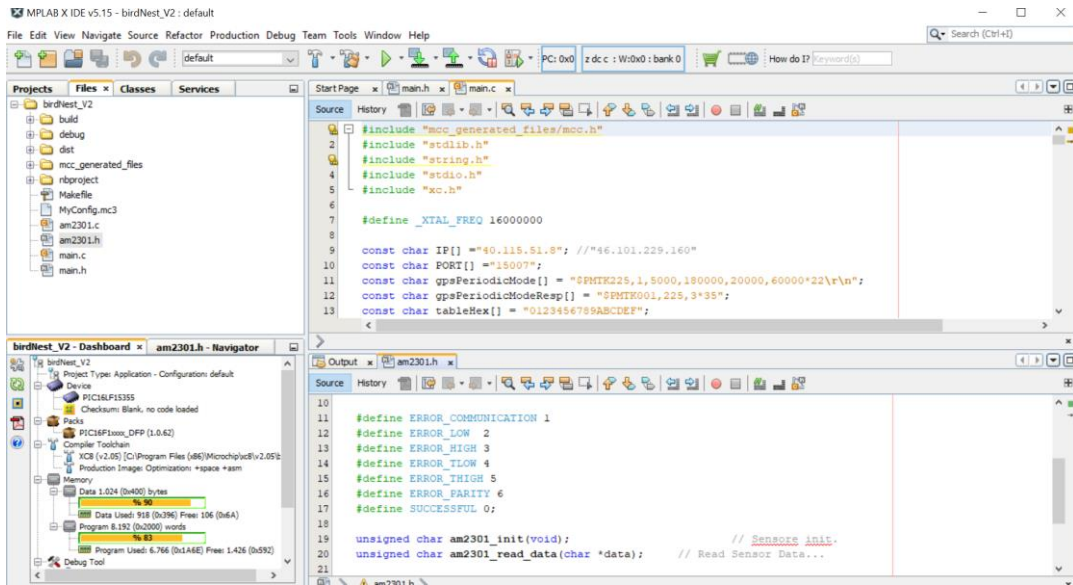
3.2 Algılayıcı ve Bulut Mimarisi

Ölü toprak nemi, bağıl nem ve sıcaklık ölçümlerini NB-IoT üzerinden iletimini sağlayan sistemin genel yapısı Şekil 3.7’de görülmektedir.

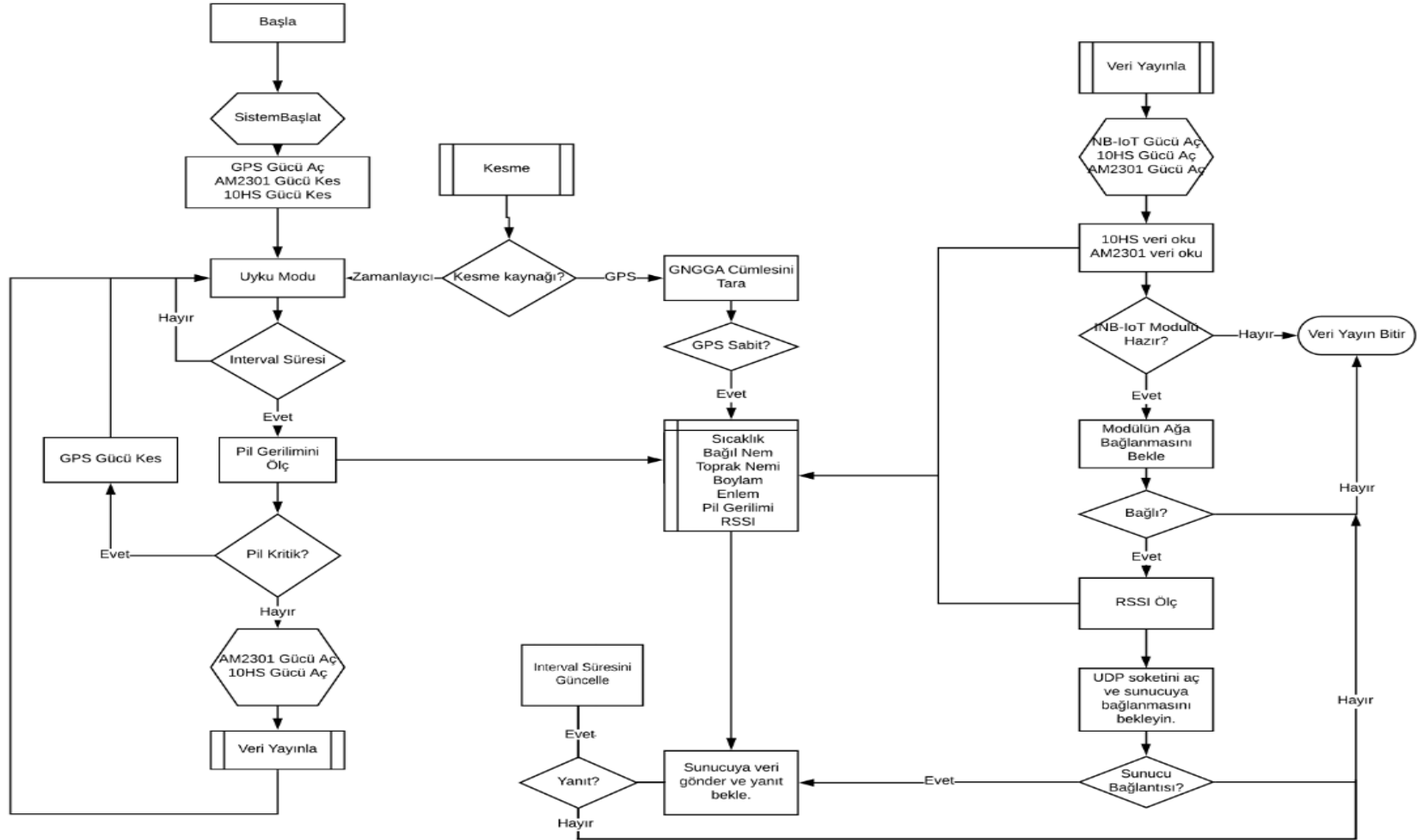


Şekil 3.7 : Akıllı kuş kafesi algılayıcı son kullanıcı veri akışı.

Sistem mimarisi genel olarak; NB-IoT sinyalinin olduğu bölgelere yerleştirilen akıllı kuş kafesleri, akıllı kuş kafeslerine bağlanan algılayıcılar, gönderilen verilerin saklanması, işlenmesi ve yönetimi imkanı sağlayan bulut teknolojilerinden oluşmaktadır. Sistemin çalışması için önerilen algoritma C dilinde oluşturulan kod ile PIC16(L)F153555 mikrodenetleyicisine işlenmiştir. Şekil 3.8’de MPLAB X IDE editöründe oluşturulan program ana ekranı görülmektedir. Akıllı kuş kafesi çalışma algoritması ise Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : MPLAB X IDE program ana ekranı.

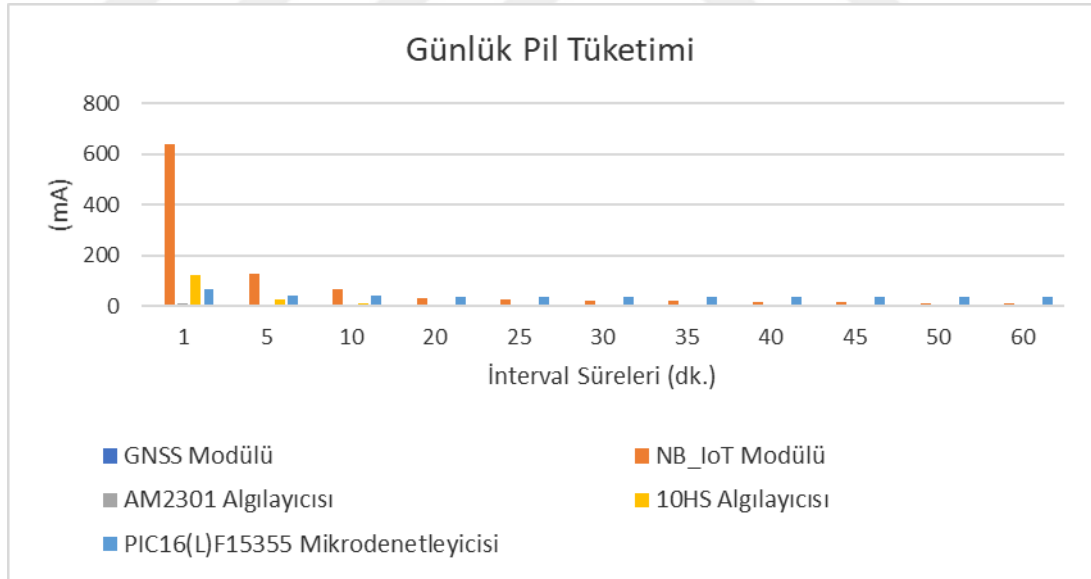


Şekil 3.9 : Akıllı kuş kafesi algılayıcı akış şeması.

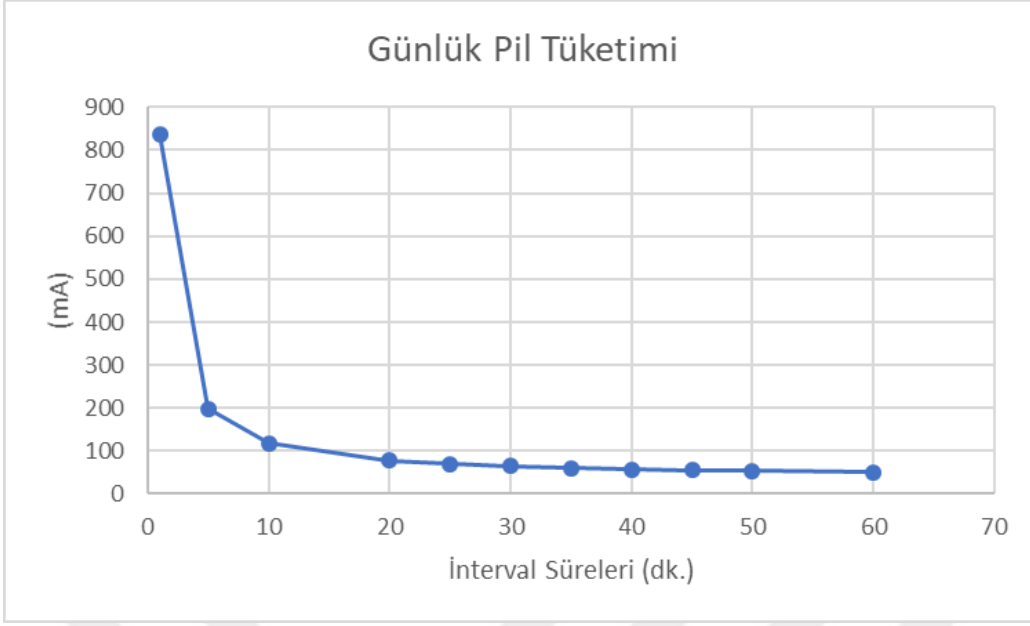
PIC16(L)F15355 mikrodenetleyicisi, algılayıcılardan aldığı sıcaklık ve bağıl nem ve toprak nemini, GNSS modülünden alınan lokasyon bilgilerini ve BC95 NB-IoT modülünden okuduğu sinyal seviye bilgilerini, yine NB-IoT modülünü kullanarak bulut ortamına iletmektedir.

Cihaz, son kullanıcının bulut mimarisinde belirlediği zaman aralıkları (interval) boyunca uyku modunda beklemektedir. İnterval süresi bittikten sonra aktifleşen cihaz pil güç seviyesini kontrol eder. Pilden ölçülen gerilim ile mikrodenetleyici üzerinde var olan referans gerilimi karşılaştırılarak pil güç seviyesi belirlenir. Pil güç seviyesi 3.7 V değerinin altında ise cihaz tekrar uyku moduna girmektedir, 3.7 V değerinin üstünde ise algılayıcılara besleme yapılır ve anlık veriler okunur.

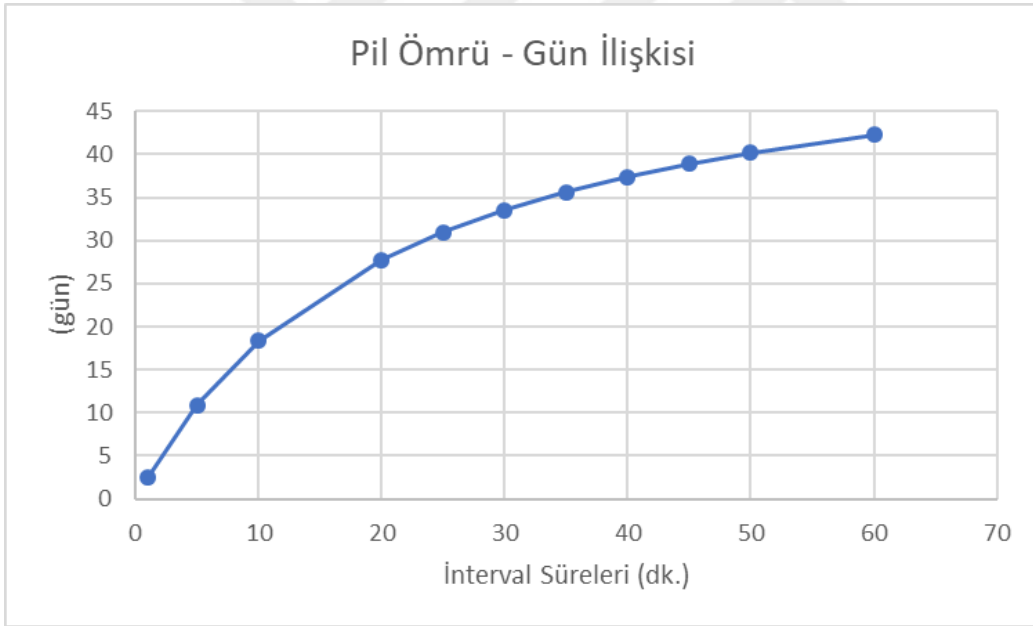
Sıcaklık, bağıl nem ve toprak nemi verileri algılayıcılar üzerinden, sinyal seviye (RSSI) değeri ise NB-IoT modül üzerinden okunur. Lokasyon verileri GNSS modülü üzerinden alınmaktadır. Mikrodenetleyici, kaydedilen bu verileri UART seri haberleşme portunu kullanarak NB-IoT modülü üzerinden bulut mimarisine gönderir. Yapılan ölçümler sonucu cihazın farklı interval sürelerinde harcadığı pil tüketimi Şekil 3.10 ile Şekil 3.12 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : İnterval süresine göre ayırık devre güç tüketimi.



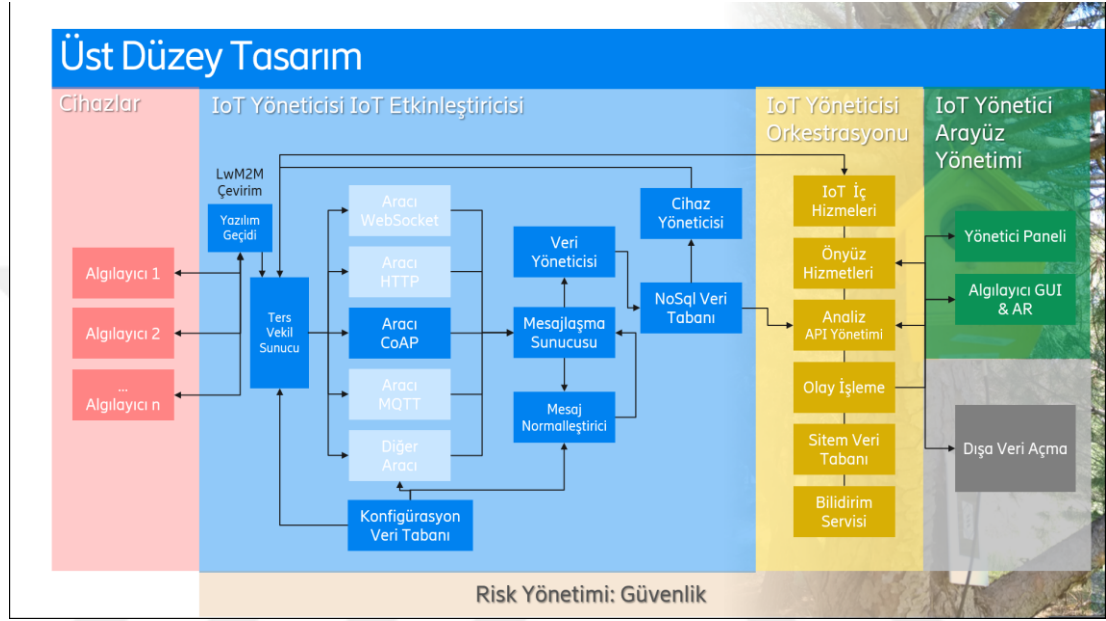
Şekil 3.11 : İnterval süresine göre toplam devre güç tüketimi.



Şekil 3.12 : İnterval süresine göre pil ömrü gün ilişkisi.

Kullanılan bulut mimarisi ise genel hatlarıyla Şekil 3.13'te belirtilmiştir. IoT yönetim mimarisi orkestrasyon mantığı ile çalışan alt sistemlerden oluşmaktadır. Cihazlara iki yönlü yazma ve okuma işlemlerini gerçekleştiren uygulama programlama arayüzlerini (API) yöneten katman IoT İç Hizmetleri katmanıdır.

IoT Yönetici ise grafik arayüzler veya API üzerinden ulaşan tüm sistemlere geçit işlevi yapan katmandır. IoT yöneticisine gelen herhangi bir veriyi önceden tanımlanmış kurallar bazında değerlendiren ve kural sonucuna göre tanımlı aksiyonu almak için ilgili katmana yönlendiren katman ise Olay İşleme katmanıdır. Bildirim Servisi ise IoT yöneticisinin herhangi bir durumda e-mail üzerinden haberleşmesi gereken noktalarda hizmet veren e-mail gönderim alt sunucusudur.



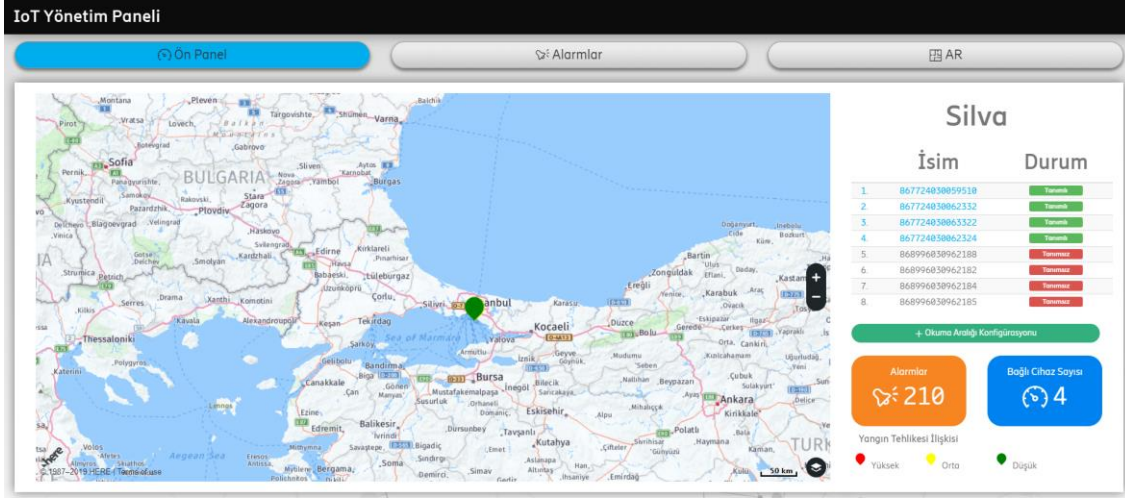
Şekil 3.13 : Bulut mimarisi.

Bulut sistemine gelen veriler LwM2M yazılım geçidinde (SW Gateway) mimarinin anlayabileceği bir formata çevrilmektedir.

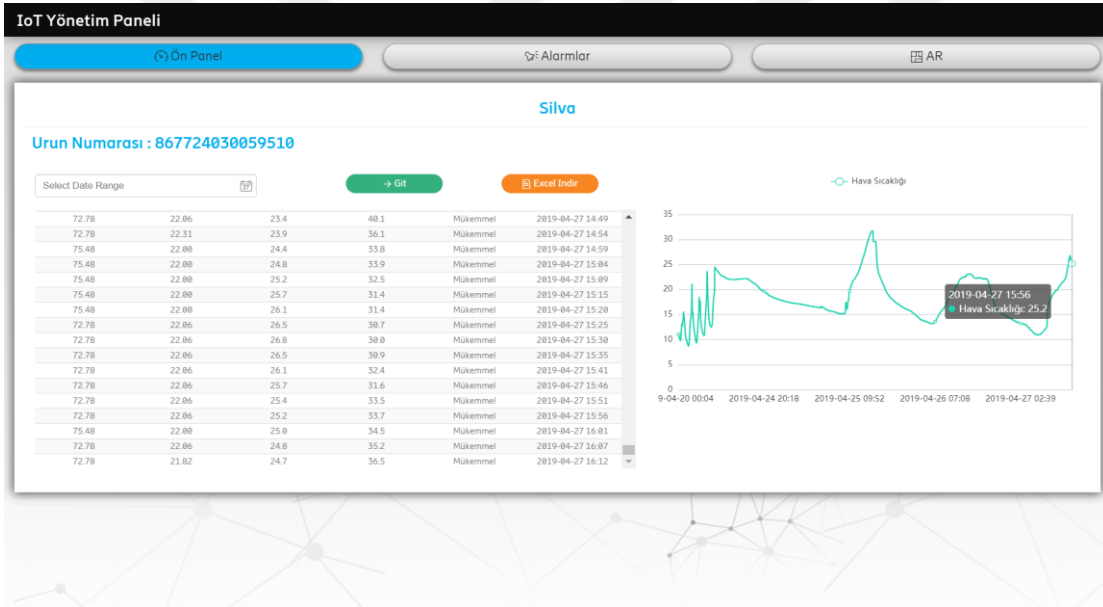
Anlamlı veriler sonrasında CoAP protokolü üzerinden mesajlaşma sunucularına gönderilmektedir. Art arda gelen bu mesajlar bir normalleştirme sürecinden geçirilerek NoSQL veritabanı ile işlenmektedir.

Sonrasında ise veriler Şekil 3.14'te gösterilen son kullanıcıların eriştiği ön panele ve analitik API yönetim sistemlerine iletilmektedir.

Şekil 3.15'te geçmişe dönük veri analizlerinin yapılmasını sağlayan analitik API yönetim sistemi tarafından oluşturulan sonuç gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Son kullanıcı ön panel arayüzü.

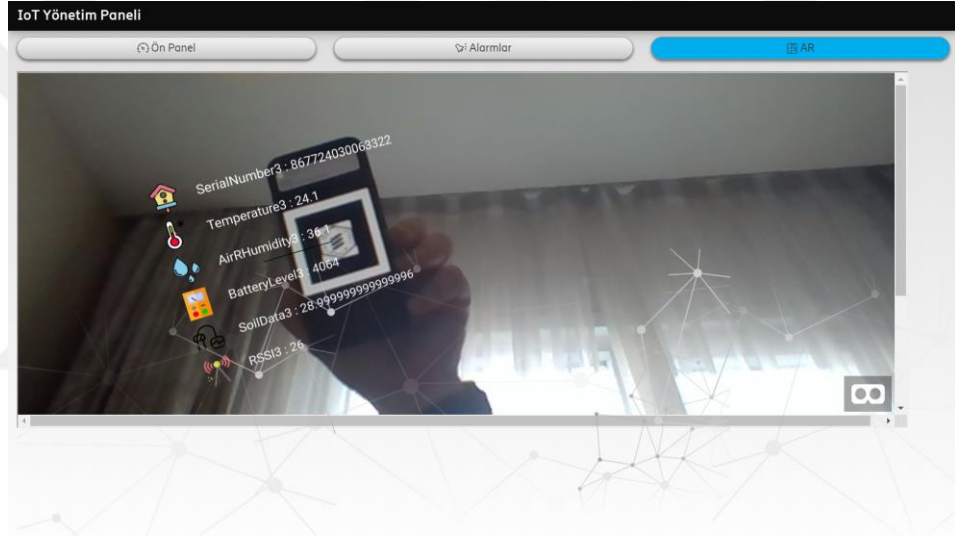


Şekil 3.15 : Son kullanıcı grafiksel detay arayüzü.

Şekil 3.16'da gösterilen olay işleme (event MGT) sistemini kullanarak belirlediğimiz eşik değerlere göre olaylar yaratılmıştır. Arabirim yönetimi (interface management) ise son kullanıcıların ulaşabildiği artırılmış gerçeklik grafiksel kullanıcı arabirimi (GUI) ve 3. şahıs (3rd party) servislerin kullanıldığı kısımdır. Şekil 3.17'de ise son kullanıcı artırılmış gerçeklik sonucu gösterilmiştir.

| ID | Tarih | Kuafesi ID | Alarm |
|----|------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 2019-04-19 9:46 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 2 | 2019-04-19 11:33 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 3 | 2019-04-19 11:37 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 4 | 2019-04-19 11:37 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 5 | 2019-04-19 11:37 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 6 | 2019-04-19 11:37 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 7 | 2019-04-19 11:42 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 8 | 2019-04-19 11:42 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 9 | 2019-04-19 11:47 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 10 | 2019-04-19 12:22 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 11 | 2019-04-19 12:22 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 12 | 2019-04-19 12:27 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 13 | 2019-04-19 12:27 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 14 | 2019-04-19 13:13 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 15 | 2019-04-19 13:19 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 16 | 2019-04-19 13:39 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 17 | 2019-04-19 14:00 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 18 | 2019-04-19 14:00 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 19 | 2019-04-19 14:02 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 20 | 2019-04-19 14:27 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 21 | 2019-04-19 14:28 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 22 | 2019-04-19 14:34 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 23 | 2019-04-19 14:34 | 867724030063322 | Bağı nem farkı yüksek |
| 24 | 2019-04-25 18:18 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 25 | 2019-04-25 18:19 | 867724030063322 | Yüksek sıcaklık |
| 26 | 2019-04-25 18:19 | 867724030063322 | Yüksek sıcaklık |
| 27 | 2019-04-25 18:23 | 867724030063322 | Yüksek sıcaklık |
| 28 | 2019-04-25 18:18 | 867724030063322 | Yüksek sıcaklık |
| 29 | 2019-04-25 18:34 | 867724030063322 | Yüksek sıcaklık |
| 30 | 2019-04-25 18:41 | 867724030063322 | Yüksek sıcaklık |

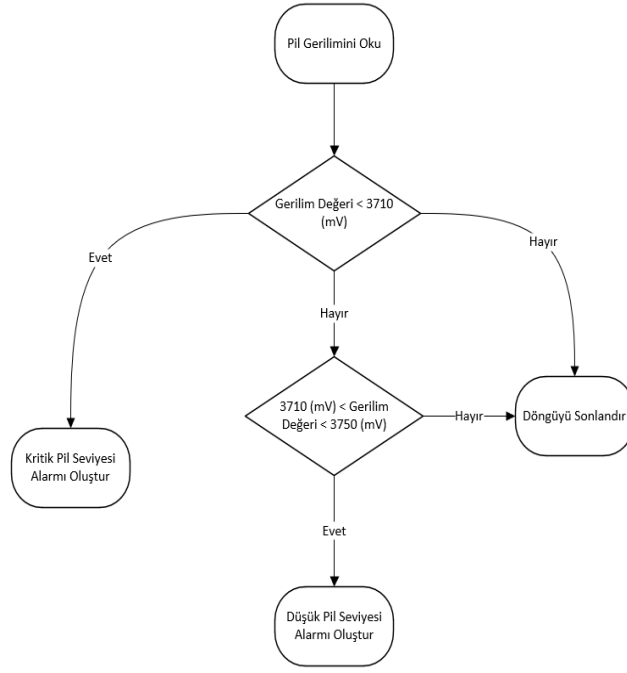
Şekil 3.16 : Son kullanıcı olay yönetim arayüzü.



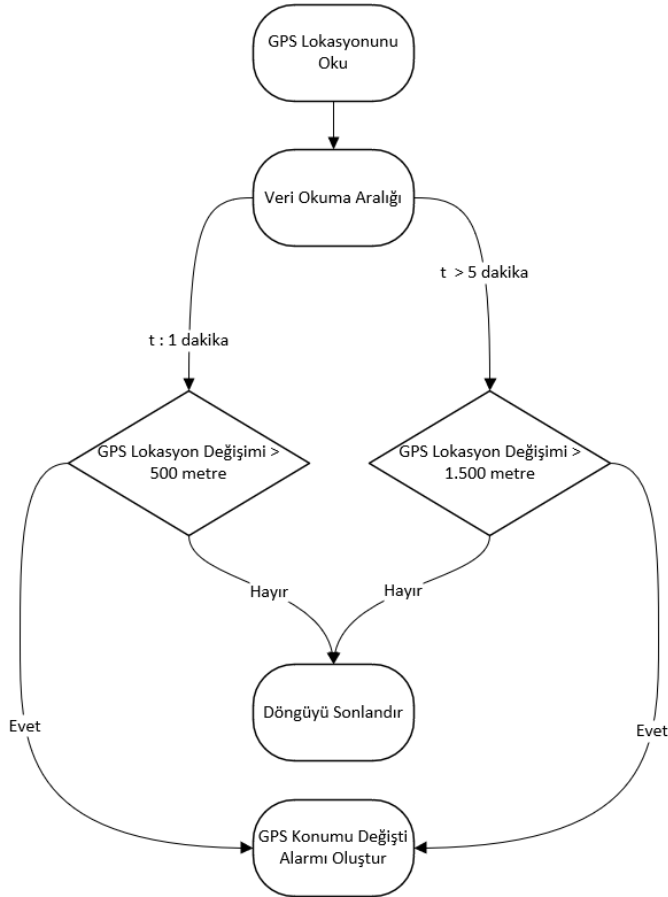
Şekil 3.17 : Son kullanıcı artırılmış gerçeklik arayüzü.

Olay yönetim ve bildirim servislerini (notification service) kullanılarak Kural Tabanlı Uyarı Sistemi (Rule Based Warning System) algoritmaları oluşturulmuştur. Kural Tabanlı Uyarı Sistemi; ekipman ve çevresel uyarılar olmak üzere 2 gruptan oluşmaktadır.

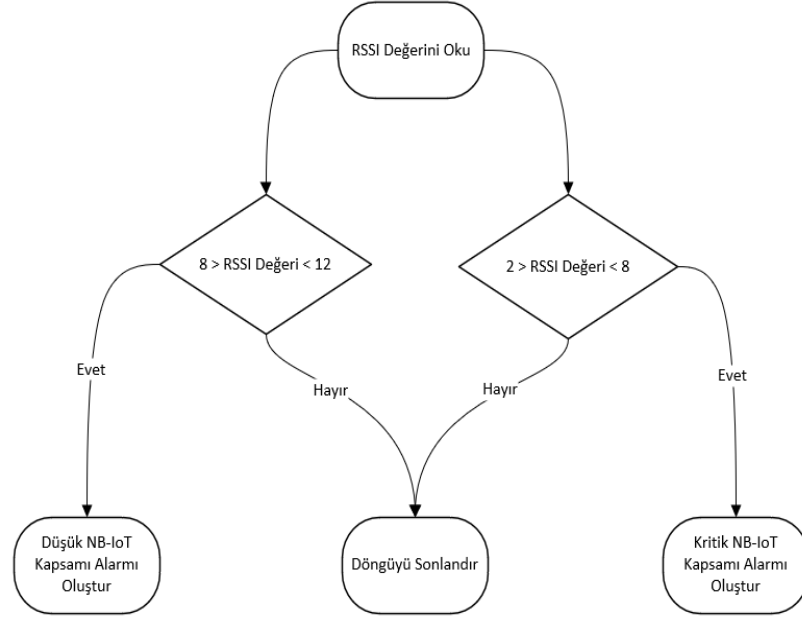
Şekil 3.18 ile Şekil 3.21 arasında azalan pil seviyesi, lokasyon değişim, düşük kapsama alanı, algılayıcı arıza alarmlarından oluşan ekipman uyarılarının akış şemaları ve detayları paylaşılmıştır.



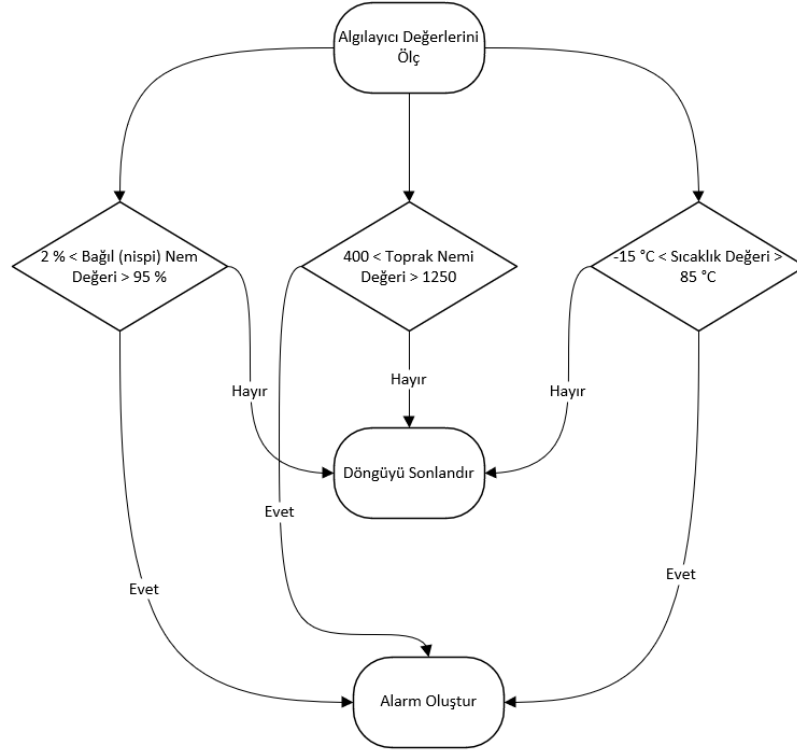
Şekil 3.18 : Azalan pil seviyesi alarmları.



Şekil 3.19 : Lokasyon değişim alarmı.

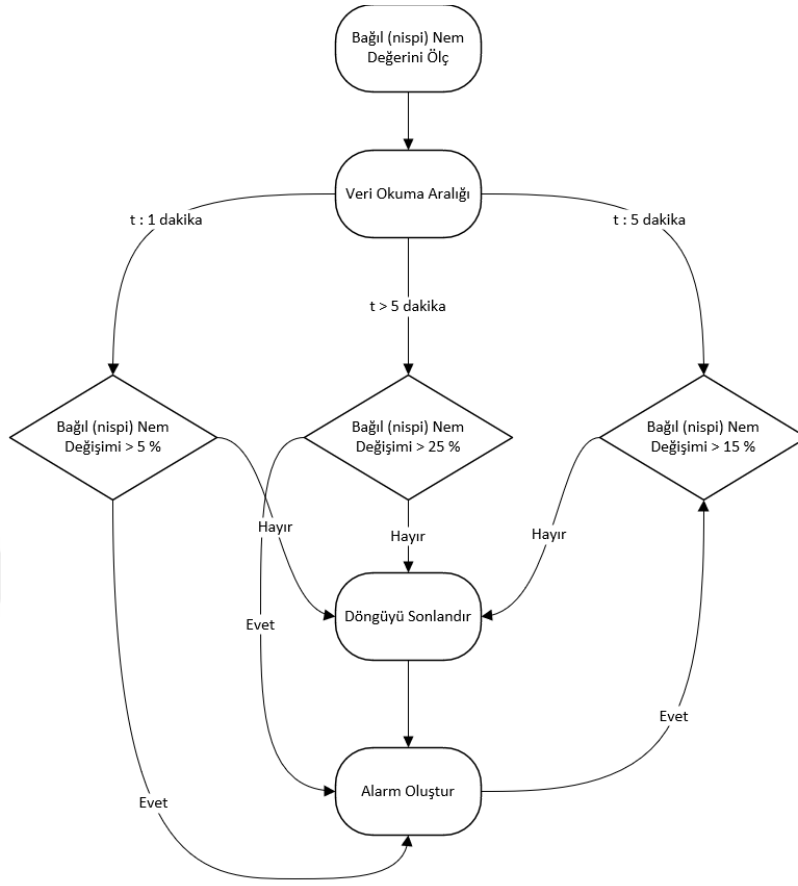


Şekil 3.20 : Düşük kapsama alanı alarmları.

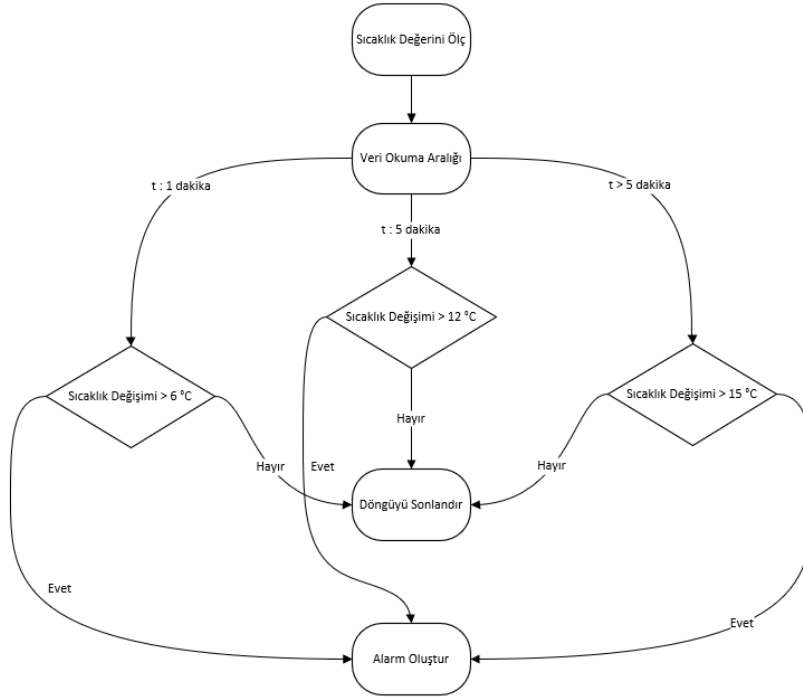


Şekil 3.21 : Algılayıcı arıza alarmı.

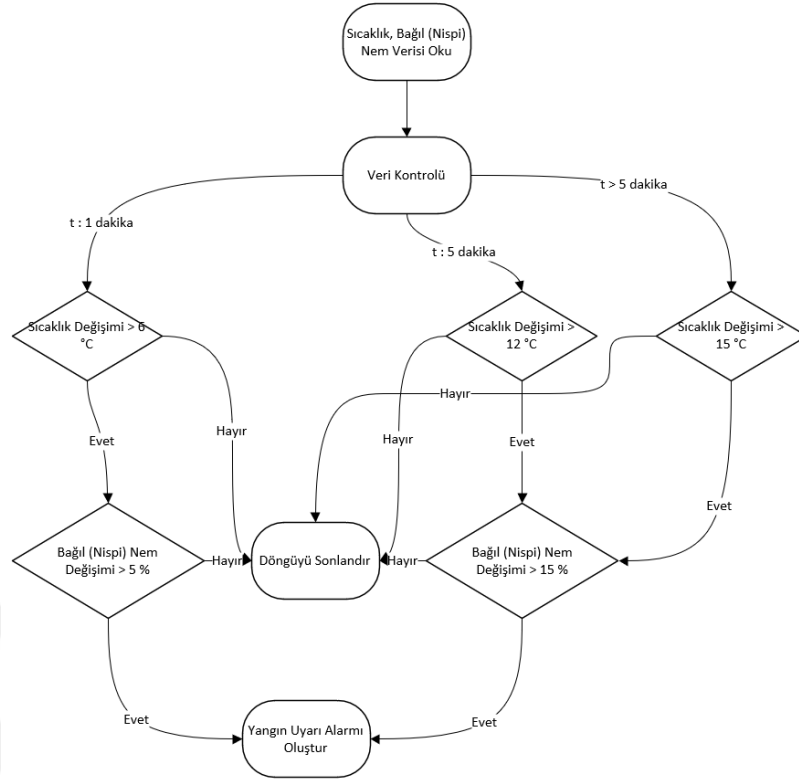
Şekil 3.22 ile Şekil 3.25 arasında kritik bağıl nem değişimi, kritik sıcaklık değişim, kritik yangın risk, yüksek sıcaklık alarmlarından oluşan çevresel uyarıların akış şemaları ve detayları paylaşılmıştır.



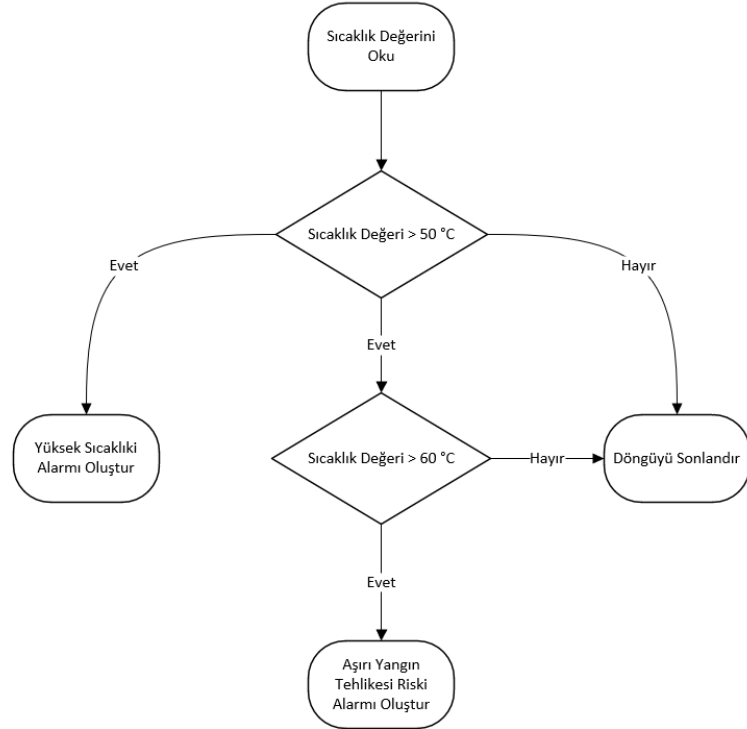
Şekil 3.22 : Kritik bağıl nem değişimi alarmı.



Şekil 3.23 : Kritik sıcaklık değişim alarmı.



Şekil 3.24 : Kritik yangın risk alarmı.



Şekil 3.25 : Yüksek sıcaklık alarmları.

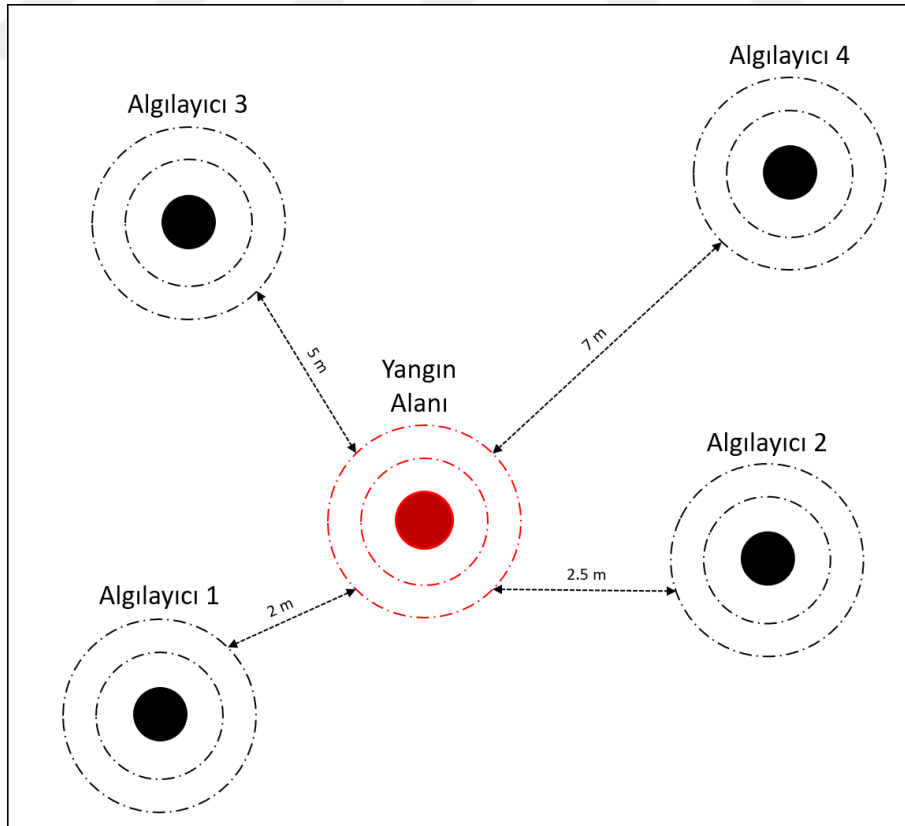


4. YANGIN RİSKİ TESPİTİ VE MİMARİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

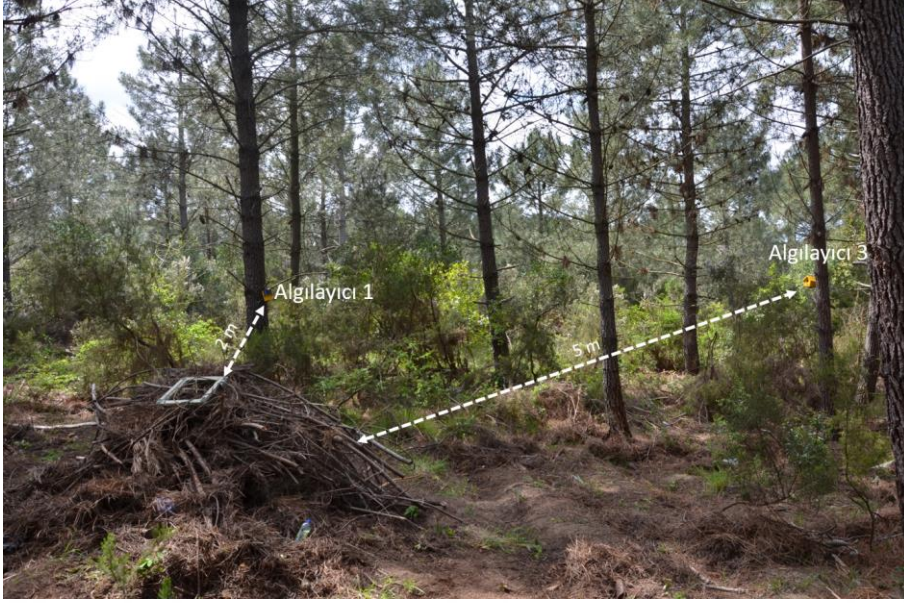
Tezin bu bölümünde, algılayıcı ve bulut mimarisinin gerçekleştirilmesi, orman yangın riski tespit yöntemleri, analiz ve sonuçları paylaşılmıştır.

4.1 Algılayıcı ve Bulut Mimarisinin Gerçekleşmesi

Algılayıcı ve bulut mimarisi ile oluşturulmuş sistemin gerçekleştirilmesi için İstanbul Bölge Orman Müdürlüğü'nün kontrolünde Şile Sahilköy'ünde (41°12'34.11"K enlemi ve 29°23'9.71"D boylamı) yangın çıkartılmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 4 algılayıcı yangın alanına 2, 2.5, 5 ve 7 metre uzaklıktaki ağaçlara asılmış, toprak nem algılayıcıları toprağın 5-7 cm altına yerleştirilmiştir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de algılayıcıların meşcere içindeki yerleri belirtilmiştir.



Şekil 4.1 : Algılayıcı konumları ve uzaklıkların genel gösterimi.



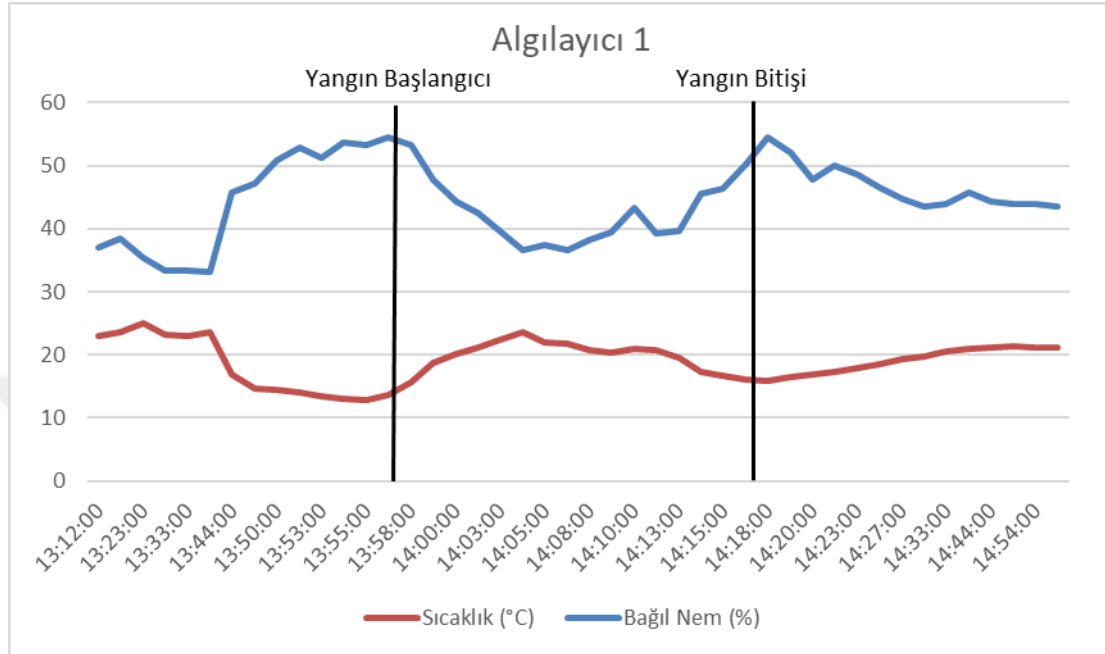
Şekil 4.2 : 1 ve 3 nolu algılayıcıların konumu.



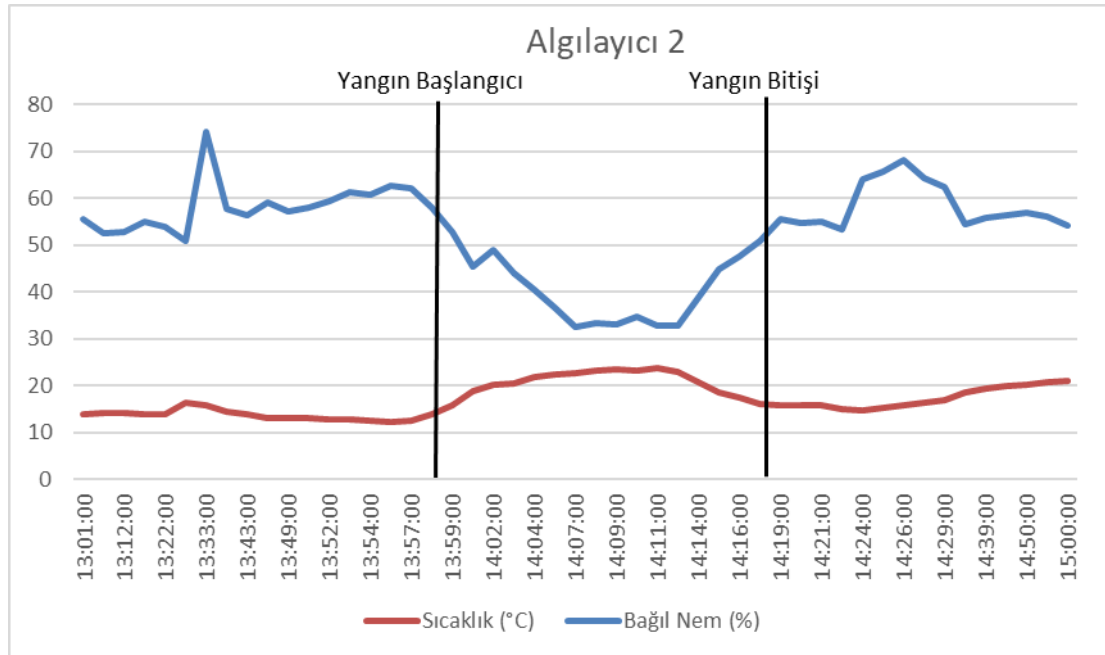
Şekil 4.3 : 2 ve 4 nolu algılayıcıların konumu.

Kontrollü yangının başlangıç saati 13:58, bitiş saati 14:18'dir. Sistemimiz 1 dakikalık interval süresine ayarlanarak test gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4 ile Şekil 4.7 arasında sistem tarafından alınan sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin grafik dağılımı gösterilmiştir.

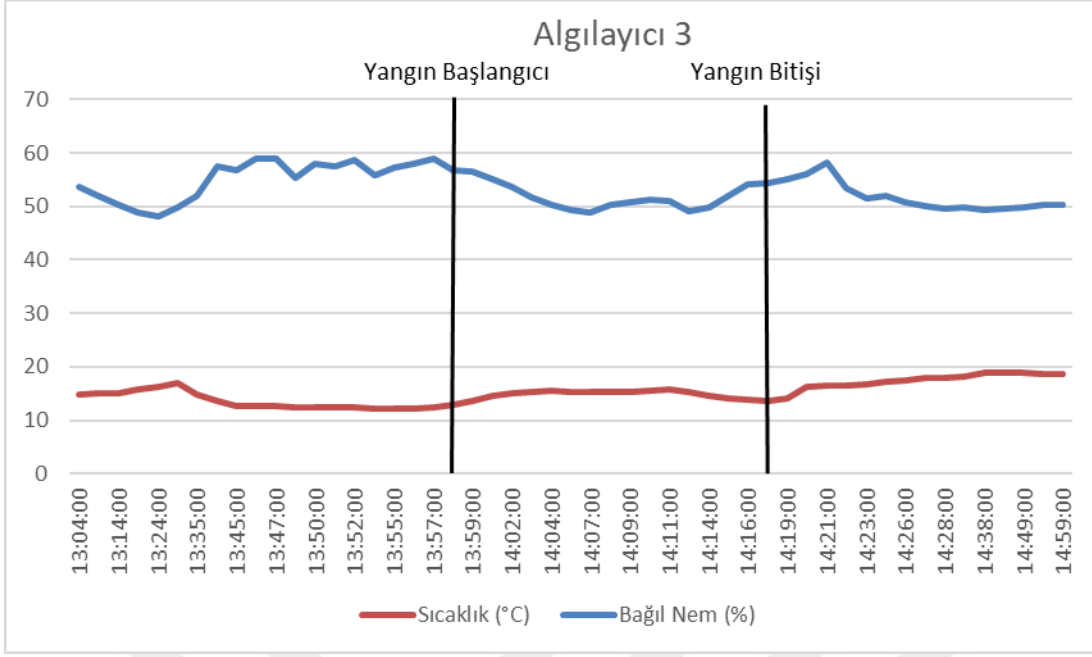
Şekil 4.8’de ise yangın çıkarıldıktan sonra uyarı için kural tabanlı sistem tarafından otomatik oluşturulan, sıcaklık ve bağıl nem farkı alarmları bulunmaktadır. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da sistem ön paneli görüntüleri bulunmaktadır. Şekil 4.11’de ise farklı zamanlarda yapılan testler ile oluşturulmuş olan alarmlar gösterilmektedir.



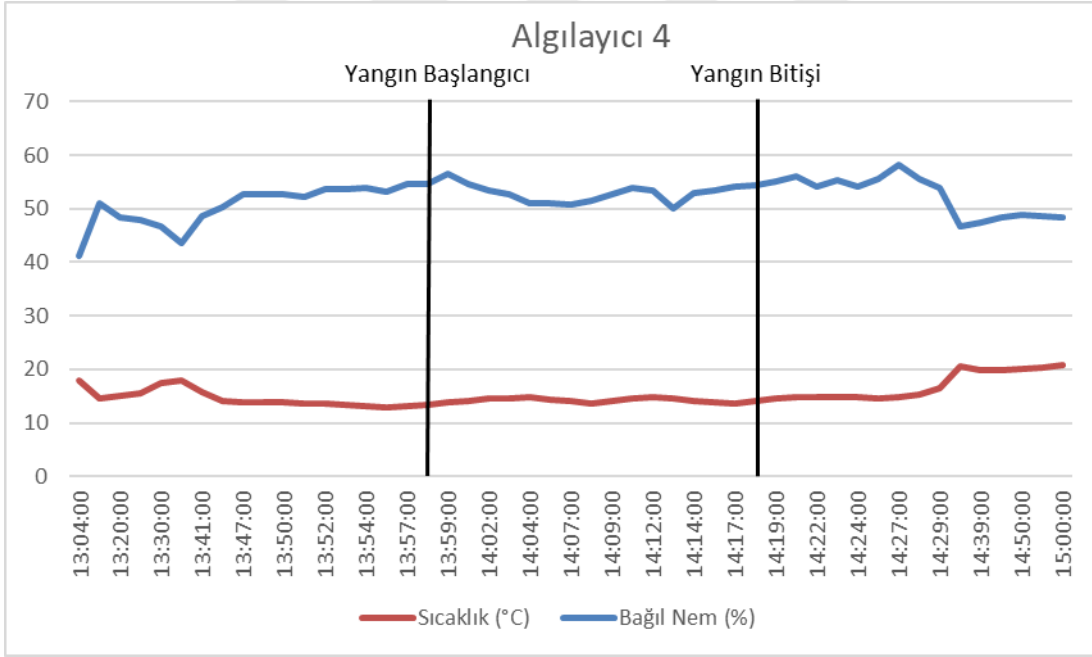
Şekil 4.4 : Algılayıcı 1 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi.



Şekil 4.5 : Algılayıcı 2 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi.



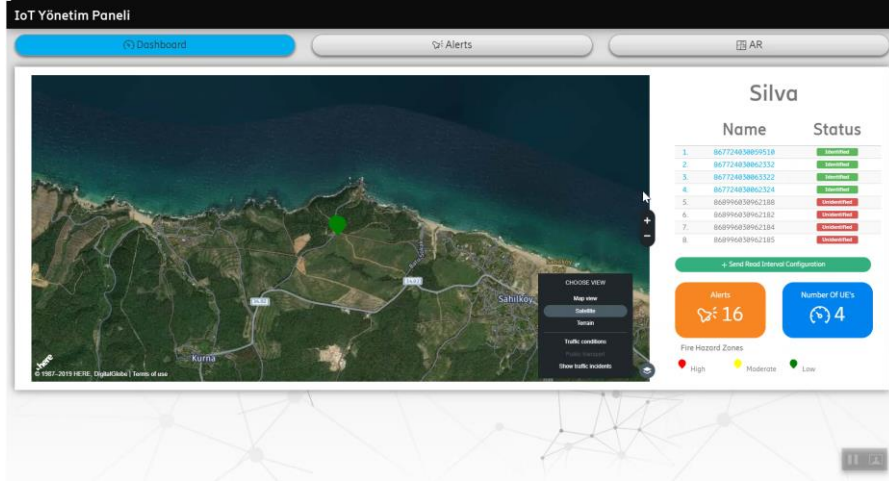
Şekil 4.6 : Algilayıcı 3 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi.



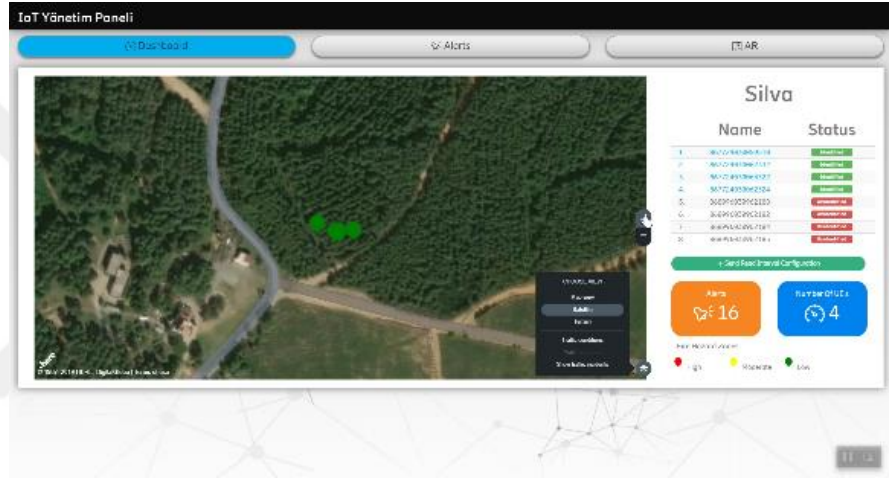
Şekil 4.7 : Algilayıcı 4 yangın süresince sıcaklık ve bağıl nem değişimi.

| IoT Yönetim Paneli | | | |
|--------------------|------------------|-----------------|------------------------|
| 17 | 2019-04-19 14:00 | 867724030062552 | Bağıl nem farkı yüksek |
| 18 | 2019-04-19 14:00 | 867724030063322 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 19 | 2019-04-19 14:02 | 867724030063322 | Bağıl nem farkı yüksek |
| 20 | 2019-04-19 14:27 | 867724030059510 | Bağıl nem farkı yüksek |
| 21 | 2019-04-19 14:28 | 867724030059510 | Bağıl nem farkı yüksek |
| 22 | 2019-04-19 14:34 | 867724030059510 | Bağıl nem farkı yüksek |
| 23 | 2019-04-19 14:34 | 867724030062332 | Bağıl nem farkı yüksek |

Şekil 4.8 : Sıcaklık ve bağıl nem değişimi yüksek alarmları.



Şekil 4.9 : 20 km göz hizası ön panel görüntüsü.

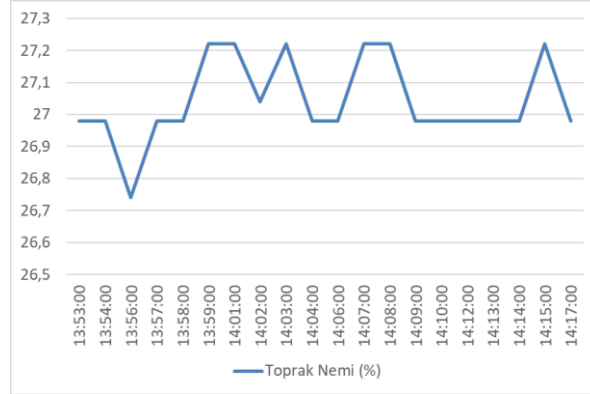


Şekil 4.10 : 500 m göz hizası ön panel görüntüsü.

| ID | Time | Device ID | Alert Type |
|----|------------------|----------------|------------------------|
| 17 | 2019-04-19 14:00 | 8677248308332 | Bağlı nem farkı yüksek |
| 18 | 2019-04-19 14:00 | 8677248308332 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 19 | 2019-04-19 14:02 | 8677248308332 | Bağlı nem farkı yüksek |
| 20 | 2019-04-19 14:27 | 86772483089518 | Bağlı nem farkı yüksek |
| 21 | 2019-04-19 14:28 | 86772483089518 | Bağlı nem farkı yüksek |
| 22 | 2019-04-19 14:34 | 86772483089518 | Bağlı nem farkı yüksek |
| 23 | 2019-04-19 14:34 | 86772483082312 | Bağlı nem farkı yüksek |
| 24 | 2019-04-25 10:38 | 86772483082312 | Sıcaklık farkı yüksek |
| 25 | 2019-04-25 10:39 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 26 | 2019-04-25 10:39 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 27 | 2019-04-25 10:35 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 28 | 2019-04-25 11:38 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 29 | 2019-04-25 13:34 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 30 | 2019-04-25 13:41 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 31 | 2019-04-25 13:54 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 32 | 2019-04-25 13:57 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 33 | 2019-04-25 14:11 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 34 | 2019-04-25 14:15 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 35 | 2019-04-25 14:22 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 36 | 2019-04-25 14:23 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 37 | 2019-04-25 14:26 | 86772483082312 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 38 | 2019-04-25 14:27 | 86772483082312 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 39 | 2019-04-25 14:28 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 40 | 2019-04-25 14:38 | 86772483082312 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 41 | 2019-04-25 14:31 | 8677248308332 | Yüksek sıcaklık |
| 42 | 2019-04-25 14:31 | 8677248308332 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 43 | 2019-04-25 14:42 | 8677248308332 | Yüksek sıcaklık |
| 44 | 2019-04-25 14:42 | 8677248308332 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 45 | 2019-04-25 14:43 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 46 | 2019-04-25 14:43 | 86772483082312 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 47 | 2019-04-25 14:46 | 8677248308332 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 48 | 2019-04-25 14:49 | 86772483089518 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 49 | 2019-04-25 14:58 | 86772483082324 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 50 | 2019-04-25 14:58 | 8677248308332 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 51 | 2019-04-25 14:52 | 8677248308332 | Yüksek sıcaklık |
| 52 | 2019-04-25 14:52 | 8677248308332 | GPS Yer Değiştirilmesi |
| 53 | 2019-04-25 14:52 | 86772483082312 | Yüksek sıcaklık |
| 54 | 2019-04-25 14:52 | 86772483082312 | GPS Yer Değiştirilmesi |

Şekil 4.11 : Kural tabanlı sistemin oluşturduğu alarmlar.

Şekil 4.12’de ise algılayıcılardan gelen toprak nem verilerinin zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : Yangın süresince toprak nemi değişimi.

Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.4 arasında ise algılayıcılardan gelen; pil seviyesi, toprak nemi, sıcaklık, bağıl nem, lokasyon (enlem, boylam), kapsama alanı ve algılayıcı kimlik no verileri paylaşılmıştır. Lokasyon bilgilerinin formatı “nmea 0183” olarak gelmektedir, bulut sistemi üzerinden bu lokasyon bilgisi (XX°YY'ZZ") formatına çevrilmektedir.

Çizelge 4.1 : Yangın esnasında algılayıcı 1'den gelen tüm veriler.

| Gönderildiği Gün | Gönderildiği Zaman | Algılayıcı | Pil Seviyesi | Toprak Nemi | Sıcaklık | Bağlı (Nispi) Nem | Enlem | Boylam | Kapsama Alanı (RSSI) | Algılayıcı Kimlik No |
|---------------------|-----------------------|------------|-----------------|----------------|----------|-------------------------|------------|-----------|----------------------------|-------------------------|
| 19.04.2019 | 13:44:00 | 1 | 93,8 | 26,32 | 16,9 | 45,8 | 41,2095017 | 29,386105 | 16 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:49:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 14,6 | 47,2 | 41,2094717 | 29,38617 | 14 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:50:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 14,4 | 50,9 | 41,2094717 | 29,38617 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:51:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 14,1 | 52,9 | 41,2095483 | 29,385983 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:53:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 13,5 | 51,2 | 41,2095483 | 29,385983 | 16 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:54:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 13 | 53,7 | 41,2095483 | 29,385983 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:55:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 12,9 | 53,3 | 41,209535 | 29,386003 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:56:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 13,6 | 54,5 | 41,209535 | 29,386003 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:58:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 15,6 | 53,3 | 41,2094983 | 29,386035 | 13 | 63322 |
| 19.04.2019 | 13:59:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 18,7 | 47,8 | 41,2094983 | 29,386035 | 16 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:00:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 20,2 | 44,4 | 41,2094983 | 29,386035 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:02:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 21,2 | 42,4 | 41,20945 | 29,386108 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:03:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 22,3 | 39,6 | 41,20945 | 29,386108 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:04:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 23,5 | 36,5 | 41,2094583 | 29,386043 | 14 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:05:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 22 | 37,5 | 41,2094583 | 29,386043 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:07:00 | 1 | 93,8 | 27,53 | 21,8 | 36,5 | 41,2095517 | 29,385988 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:08:00 | 1 | 92,2 | 27,1 | 20,8 | 38,3 | 41,2095517 | 29,385988 | 14 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:09:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 20,4 | 39,5 | 41,2095517 | 29,385988 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:10:00 | 1 | 93,8 | 27,53 | 20,9 | 43,4 | 41,20955 | 29,386042 | 16 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:12:00 | 1 | 93,8 | 27,28 | 20,8 | 39,3 | 41,20955 | 29,386042 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:13:00 | 1 | 93,8 | 27,53 | 19,6 | 39,6 | 41,20956 | 29,386058 | 16 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:14:00 | 1 | 93,8 | 27,53 | 17,4 | 45,6 | 41,20956 | 29,386058 | 15 | 63322 |
| 19.04.2019 | 14:15:00 | 1 | 93,8 | 27,53 | 16,6 | 46,4 | 41,20956 | 29,386058 | 15 | 63322 |

Çizelge 4.2 : Yangın esnasında algılayıcı 2'den gelen tüm veriler.

| Gönderildiği Gün | Gönderildiği Zaman | Algılayıcı | Pil Seviyesi | Toprak Nemi | Sıcaklık | Bağlı (Nispi) Nem | Enlem | Boylam | Kapsama Alanı (RSSI) | Algılayıcı Kimlik No |
|------------------|--------------------|------------|--------------|-------------|----------|-------------------|------------|-----------|----------------------|----------------------|
| 19.04.2019 | 13:38:00 | 2 | 62,16 | 30,95 | 14,4 | 57,7 | 41,2095517 | 29,386085 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:43:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 13,8 | 56,4 | 41,2095633 | 29,386137 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:48:00 | 2 | 64,86 | 31,22 | 13,1 | 59 | 41,2094917 | 29,386353 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:49:00 | 2 | 64,86 | 31,22 | 13 | 57,2 | 41,2094917 | 29,386353 | 14 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:50:00 | 2 | 62,16 | 30,95 | 13 | 57,9 | 41,2094767 | 29,386215 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:52:00 | 2 | 62,16 | 30,95 | 12,9 | 59,5 | 41,2094767 | 29,386215 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:53:00 | 2 | 62,16 | 30,95 | 12,7 | 61,2 | 41,2094067 | 29,386202 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:54:00 | 2 | 64,86 | 31,22 | 12,4 | 60,7 | 41,2093983 | 29,386205 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:55:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 12,2 | 62,7 | 41,2093983 | 29,386205 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:57:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 12,4 | 62,1 | 41,2095617 | 29,386213 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:58:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 13,8 | 58 | 41,2095617 | 29,386213 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 13:59:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 15,7 | 52,8 | 41,2095433 | 29,386223 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:01:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 18,7 | 45,5 | 41,2095433 | 29,386223 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:02:00 | 2 | 62,16 | 31,5 | 20,2 | 49 | 41,2095433 | 29,386223 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:03:00 | 2 | 62,16 | 31,5 | 20,5 | 44 | 41,2094567 | 29,386227 | 14 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:04:00 | 2 | 62,16 | 31,5 | 21,8 | 40,6 | 41,2094567 | 29,386227 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:05:00 | 2 | 62,16 | 31,5 | 22,3 | 36,6 | 41,2095533 | 29,386185 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:07:00 | 2 | 62,16 | 31,5 | 22,7 | 32,6 | 41,2095533 | 29,386185 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:08:00 | 2 | 64,86 | 31,5 | 23,1 | 33,3 | 41,2095533 | 29,386185 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:09:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 23,5 | 33 | 41,2094467 | 29,386172 | 15 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:10:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 23,1 | 34,6 | 41,2094467 | 29,386172 | 14 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:11:00 | 2 | 64,86 | 31,5 | 23,8 | 32,9 | 41,2094467 | 29,386172 | 14 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:13:00 | 2 | 64,86 | 31,5 | 23 | 32,8 | 41,2094267 | 29,38609 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:14:00 | 2 | 62,16 | 31,22 | 20,8 | 38,8 | 41,2094267 | 29,38609 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:15:00 | 2 | 62,16 | 31,5 | 18,6 | 44,8 | 41,2095583 | 29,38621 | 16 | 62332 |
| 19.04.2019 | 14:16:00 | 2 | 64,86 | 31,5 | 17,4 | 47,7 | 41,2095583 | 29,38621 | 16 | 62332 |

Çizelge 4.3 : Yangın esnasında algılayıcı 3'den gelen tüm veriler.

| Gönderildiği Gün | Gönderildiği Zaman | Algılayıcı | Pil Seviyesi | Toprak Nemi | Sıcaklık | Bağlı (Nispi) Nem | Enlem | Boylam | Kapsama Alanı (RSSI) | Algılayıcı Kimlik No |
|---------------------|-----------------------|------------|-----------------|----------------|----------|-------------------------|------------|-----------|----------------------------|-------------------------|
| 19.04.2019 | 13:40:00 | 3 | 100 | 24,72 | 13,5 | 57,4 | 41,2095933 | 29,385982 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:45:00 | 3 | 100 | 24,96 | 12,7 | 56,8 | 41,2095933 | 29,386005 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:46:00 | 3 | 100 | 24,72 | 12,7 | 58,8 | 41,2095933 | 29,386005 | 21 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:47:00 | 3 | 100 | 24,96 | 12,6 | 59 | 41,2095383 | 29,386005 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:49:00 | 3 | 100 | 24,96 | 12,4 | 55,4 | 41,2095383 | 29,386005 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:50:00 | 3 | 100 | 24,96 | 12,5 | 58 | 41,2095383 | 29,386005 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:51:00 | 3 | 100 | 24,72 | 12,4 | 57,4 | 41,2095917 | 29,386113 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:52:00 | 3 | 100 | 24,96 | 12,4 | 58,6 | 41,209565 | 29,386083 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:53:00 | 3 | 100 | 24,96 | 12,1 | 55,9 | 41,209565 | 29,386083 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:55:00 | 3 | 100 | 25,19 | 12,1 | 57,3 | 41,209565 | 29,386083 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:56:00 | 3 | 100 | 25,19 | 12,1 | 57,9 | 41,2093867 | 29,385997 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:57:00 | 3 | 100 | 25,19 | 12,3 | 58,8 | 41,2093867 | 29,385997 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:58:00 | 3 | 100 | 25,19 | 12,8 | 56,8 | 41,2094483 | 29,386027 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 13:59:00 | 3 | 100 | 25,19 | 13,7 | 56,4 | 41,2094483 | 29,386027 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:00:00 | 3 | 100 | 25,19 | 14,5 | 55,1 | 41,2094483 | 29,386027 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:02:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15 | 53,6 | 41,2096267 | 29,38607 | 21 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:03:00 | 3 | 100 | 25,02 | 15,2 | 51,8 | 41,2096267 | 29,38607 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:04:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,5 | 50,4 | 41,20947 | 29,385868 | 19 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:05:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,4 | 49,4 | 41,20947 | 29,385868 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:07:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,4 | 48,9 | 41,20947 | 29,385868 | 21 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:08:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,2 | 50,3 | 41,2095483 | 29,386012 | 21 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:09:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,4 | 50,7 | 41,2095483 | 29,386012 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:10:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,5 | 51,3 | 41,2095483 | 29,386012 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:11:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,8 | 51,1 | 41,2095767 | 29,38606 | 21 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:13:00 | 3 | 100 | 25,19 | 15,3 | 49,1 | 41,2095767 | 29,38606 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:14:00 | 3 | 100 | 25,25 | 14,5 | 49,8 | 41,2095583 | 29,386075 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:15:00 | 3 | 100 | 25,19 | 14 | 52 | 41,2095583 | 29,386075 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:16:00 | 3 | 100 | 25,19 | 13,9 | 54,1 | 41,2095583 | 29,386075 | 20 | 62324 |
| 19.04.2019 | 14:17:00 | 3 | 100 | 25,19 | 13,5 | 54,3 | 41,209515 | 29,386002 | 20 | 62324 |

Çizelge 4.4 : Yangın esnasında algılayıcı 4'den gelen tüm veriler.

| Gönderildiği Gün | Gönderildiği Zaman | Algılayıcı | Pil Seviyesi | Toprak Nemi | Sıcaklık | Bağlı (Nispi) Nem | Enlem | Boylam | Kapsama Alanı (RSSI) | Algılayıcı Kimlik No |
|---------------------|-----------------------|------------|-----------------|----------------|----------|-------------------------|------------|-----------|----------------------------|-------------------------|
| 19.04.2019 | 13:41:00 | 4 | 70,08 | 27,71 | 15,7 | 48,6 | 41,20948 | 29,38613 | 19 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:46:00 | 4 | 70,08 | 27,95 | 14,2 | 50,4 | 41,2094767 | 29,386132 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:47:00 | 4 | 70,08 | 27,95 | 13,9 | 52,8 | 41,20945 | 29,38621 | 18 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:48:00 | 4 | 70,08 | 27,95 | 13,8 | 52,7 | 41,20945 | 29,38621 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:50:00 | 4 | 70,08 | 27,95 | 13,8 | 52,7 | 41,20947 | 29,386212 | 18 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:51:00 | 4 | 72,78 | 28,14 | 13,6 | 52,1 | 41,20947 | 29,386212 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:52:00 | 4 | 70,08 | 26,74 | 13,5 | 53,7 | 41,20947 | 29,386212 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:53:00 | 4 | 72,78 | 26,98 | 13,4 | 53,6 | 41,209475 | 29,386112 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:54:00 | 4 | 72,78 | 26,98 | 13,1 | 53,8 | 41,209475 | 29,386112 | 17 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:56:00 | 4 | 70,08 | 26,74 | 13 | 53,1 | 41,2095033 | 29,386127 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:57:00 | 4 | 72,78 | 26,98 | 13,1 | 54,7 | 41,2095033 | 29,386127 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:58:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 13,3 | 54,7 | 41,2095033 | 29,386127 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 13:59:00 | 4 | 72,78 | 27,22 | 13,9 | 56,6 | 41,2094333 | 29,386135 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:01:00 | 4 | 72,78 | 27,22 | 14,2 | 54,6 | 41,2094333 | 29,386135 | 19 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:02:00 | 4 | 67,56 | 27,04 | 14,6 | 53,3 | 41,209495 | 29,386145 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:03:00 | 4 | 72,78 | 27,22 | 14,5 | 52,7 | 41,209495 | 29,386145 | 18 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:04:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 14,8 | 51 | 41,209495 | 29,386145 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:06:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 14,3 | 50,9 | 41,2094783 | 29,386153 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:07:00 | 4 | 72,78 | 27,22 | 14,2 | 50,7 | 41,2094783 | 29,386153 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:08:00 | 4 | 72,78 | 27,22 | 13,7 | 51,5 | 41,2094583 | 29,386237 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:09:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 14 | 52,7 | 41,2094583 | 29,386237 | 19 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:10:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 14,5 | 53,9 | 41,2094583 | 29,386237 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:12:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 14,8 | 53,5 | 41,2094933 | 29,386232 | 19 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:13:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 14,5 | 50,1 | 41,2094933 | 29,386232 | 19 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:14:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 14,1 | 53 | 41,2095117 | 29,386102 | 17 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:15:00 | 4 | 70,08 | 27,22 | 13,8 | 53,3 | 41,2095183 | 29,386103 | 20 | 59510 |
| 19.04.2019 | 14:17:00 | 4 | 70,08 | 26,98 | 13,7 | 54,2 | 41,2095183 | 29,386103 | 20 | 59510 |

4.2 Orman Yangın Riski Tespit Yöntemleri

Yapılan araştırmalarda, orman yangını risk analizleri üzerine çeşitli çalışmalar yapıldığı gözlemlenmiştir. Yangın risk tespitinde kullanılan çeşitli yöntemler Angström indeksi, Nesterov indeksi, Drouet ve Sol numerik risk indeksi, Kanada iklim yangınları indeksi, Portekiz yangın indeksi ve meteorolojik risk indeksleridir [30].

Bu tezde, orman yangınlarının başlangıcında önemli rol oynayan hava sıcaklığı ve bağıl nem parametrelerinden oluşturulmuş, meteorolojik yangın riski indeksi kullanılmıştır (4.1). Meteorolojik yangın riski indeksi bazı kaynaklarda tutuşma indeksi (ignition index) adı ile yer bulmuştur.

$$YI_{a,z} = S_{\{a,z\}} \times \left(S_{a,z} - \frac{\lambda \times \left(\log \left(\frac{BN_{a,z}}{100} \right) + \frac{\beta \times S_{a,z}}{\lambda + S_{a,z}} \right)}{\beta - \left(\log \left(\frac{BN_{a,z}}{100} \right) + \frac{\beta \times S_{a,z}}{\lambda + S_{a,z}} \right)} \right) \quad (4.1)$$

$YI_{a,z}$ yangın riski indeksini, BN ölçülen bağıl nemi, S ölçülen sıcaklığı, a algılayıcı kimliğini, z veri ölçüm zamanını, $\beta=7.5$ suya göre buhar basıncı sabitini, $\lambda= 237.3$ suya göre buhar basıncı sabitini göstermektedir.

Bu çalışmada yaygın kullanılan meteorolojik yangın riski indeksi yöntemi ile birlikte Bollinger bant aralıklarının kullanılması önerilmektedir. Hesaplanan meteorolojik yangın riski indeksi değerlerinin değişimi ve yorumlanması, Bollinger bant metodunun kullanılması ile planlanmıştır.

Bollinger bantları, ilk olarak John Bollinger tarafından 1980 yılında finansal piyasalardaki hareketleri daha hızlı ölçebilmek için tasarlanmış bir tekniktir. Bollinger bantları, alt, orta ve üst olmak üzere 3 ayrı normal dağılım eğrilerinden meydana gelmekte ve basit hareketli ortalamayı baz alarak hareket etmektedir.

$$\bar{YI} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} YI_i \quad (4.2)$$

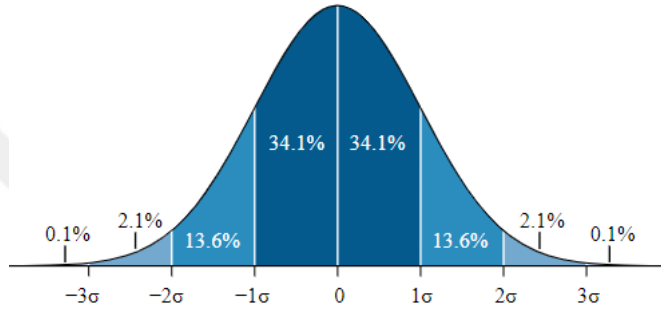
Eşitlik 4.2'deki \bar{YI} , meteorolojik yangın riski indeksi YI'nin basit hareketli ortalamasıdır.

Meteorolojik yangın riski indeksi standart sapması σ ise Eşitlik 4.3'te gösterilmiştir,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (YI_i - \bar{YI})^2}{n}} \quad (4.3)$$

ve ifadede geçen n yangın riski tahmininde kullanılacak ölçümlerin sayısını göstermektedir.

Şekil 4.13 belirtildiği gibi %95'lik güven aralığı 2σ ve %99'luk güven aralığı 3σ ile gösterilmektedir.



Şekil 4.13 : Güven aralığı (confidence interval) grafiği [29].

Bollinger bantları basit hareketli ortalamanın yukarı ve aşağı yönde kaydırılması ile oluşmaktadır.

%95 güven aralığındaki Bollinger üst bantları Eşitlik 4.4'te gösterildiği gibi basit hareketli ortalamanın yukarı yönde 2σ değeri kadar kaydırılması ile oluşmaktadır.

$$UB_{95} = \bar{YI} + 2\sigma \quad (4.4)$$

%99 güven aralığındaki Bollinger üst bantları Eşitlik 4.5'te gösterildiği gibi basit hareketli ortalamanın yukarı yönde 3σ değeri kadar kaydırılması oluşmaktadır.

$$UB_{99} = \bar{YI} + 3\sigma \quad (4.5)$$

%95 güven aralığındaki Bollinger alt bantları Eşitlik 4.6'da gösterildiği gibi basit hareketli ortalamanın aşağı yönde 2σ değeri kadar kaydırılması ile oluşmaktadır.

$$AB_{95} = \bar{YI} - 2\sigma \quad (4.6)$$

%99 güven aralığındaki Bollinger alt bantları Eşitlik 4.7’de gösterildiği gibi basit hareketli ortalamanın aşağı yönde 3σ değeri kadar kaydırılması ile oluşmaktadır.

$$AB_{99} = \bar{YI} - 3\sigma \quad (4.7)$$

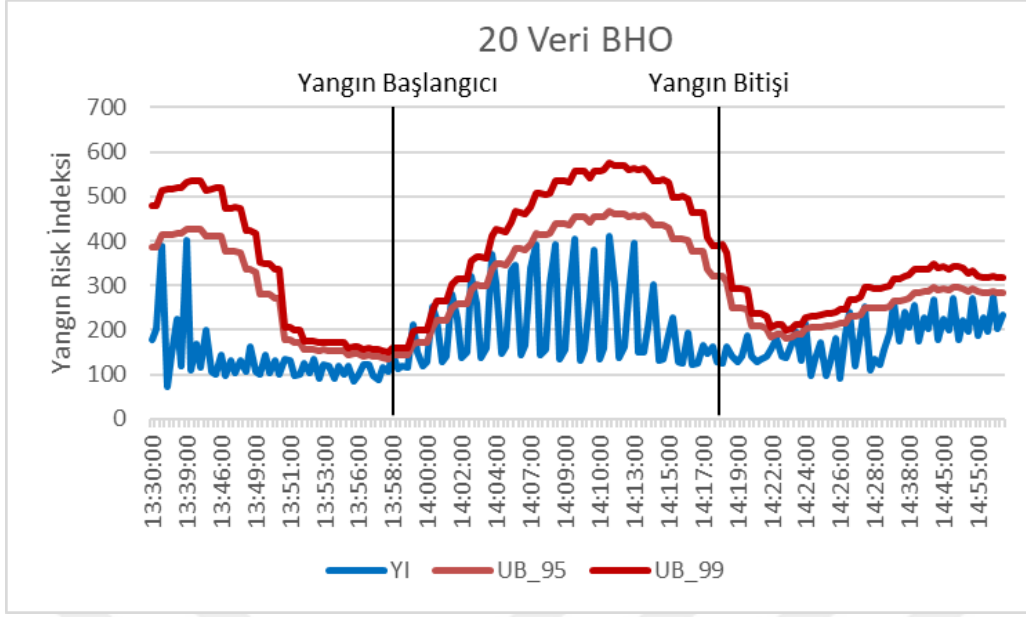
Eşitlikler de bahsedilen bantlar içinde kalan değerler beklenen, dışında kalan değerler ise beklenmeyen olarak tanımlanır. Orman yangın analizi yapılırken bu bantların dışında kalan değerler dikkate alınacaktır.

4.3 Orman Yangın Riski Yöntemlerinin Analiz ve Sonuçları

Oluşturulan sistemin analizi için yangın riski tespit ve güvenilirlik testi olmak üzere 2 çeşit test planlanmıştır. Yangın risk tespit analizi için 19 Nisan’da İstanbul Bölge Orman Müdürlüğü’nün kontrolünde çıkarılan yangın verileri kullanılmıştır. Sistem güvenilirlik testleri için ise 22 ila 26 Nisan zaman aralığında alınan veriler kullanılmıştır. Hesaplanan meteorolojik yangın riski indeksi değerlerinin yorumlanması, Bollinger bant metodu ile yapılmıştır.

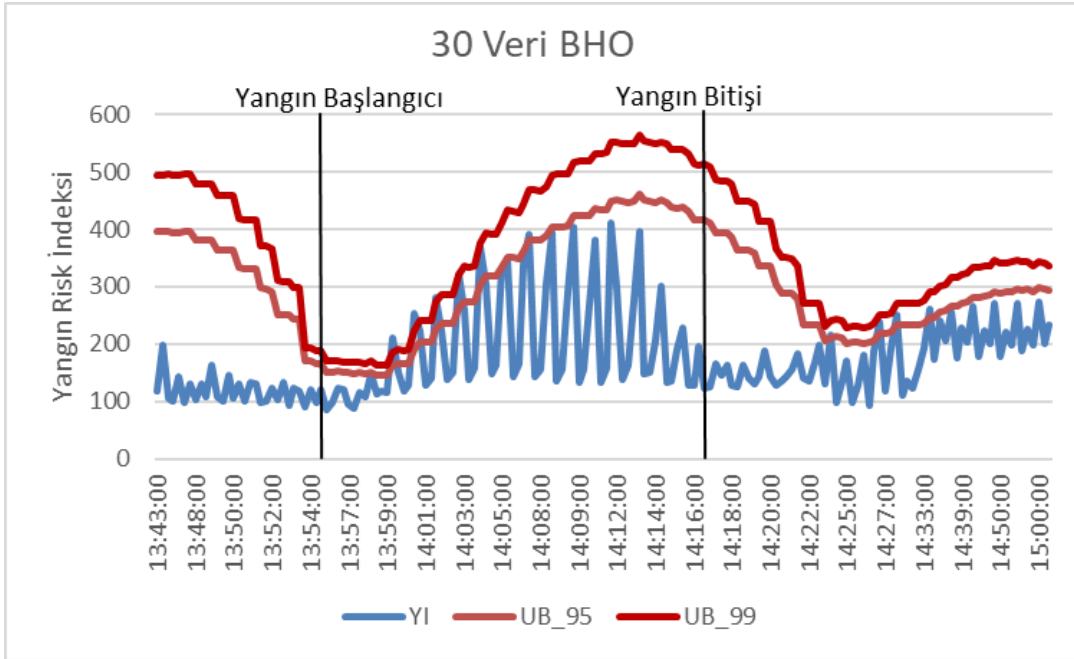
19 Nisan’da gerçekleştirilen kontrollü yangın ortamında bulunan 4 algılayıcıdan alınan verilere göre yapılan yangın risk tespiti testinde Bollinger bantları aşağı yön eğrileri dikkate alınmamıştır. Kontrollü yangın esnasında oluşan 650 veri analiz edilmiştir.

Şekil 4.14’de son 20 veri dikkate alınarak basit hareketli ortalama (BHO) değişimi paylaşılmıştır. Sistemin %95 güven aralığında toplamda 11 verinin yangın risk eşliğini geçtiği ve bu 11 verinin 2 tanesinin ise hatalı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sistemin %99 güven aralığında ise toplamda 2 verinin yangın risk eşliğini geçtiği görülmüştür.



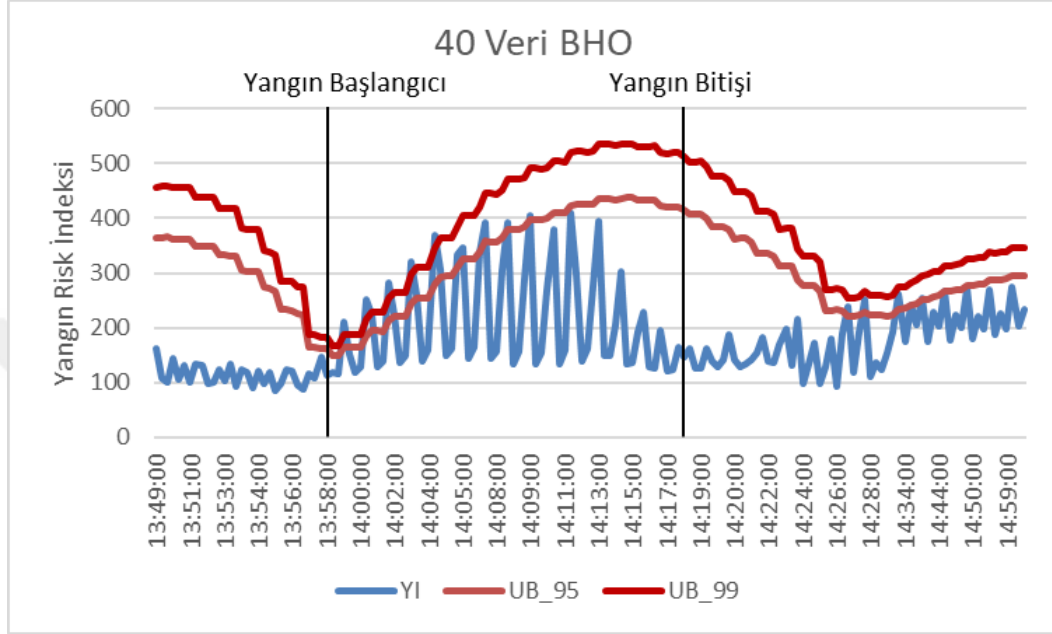
Şekil 4.14 : Yangın risk indeksi 20 veri BHO değişimi.

Şekil 4.15’de son 30 veri dikkate alınarak basit hareketli ortalama (BHO) değişimi paylaşılmıştır. Sistemin %95 güven aralığında toplamda 11 verinin yangın risk eşliğini geçtiği ve bu 11 verinin içerisinde 3 tanesinin ise hatalı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sistemin %99 güven aralığında ise toplamda 3 verinin yangın risk eşliğini geçtiği görülmüştür.



Şekil 4.15 : Yangın risk indeksi 30 veri BHO değişimi.

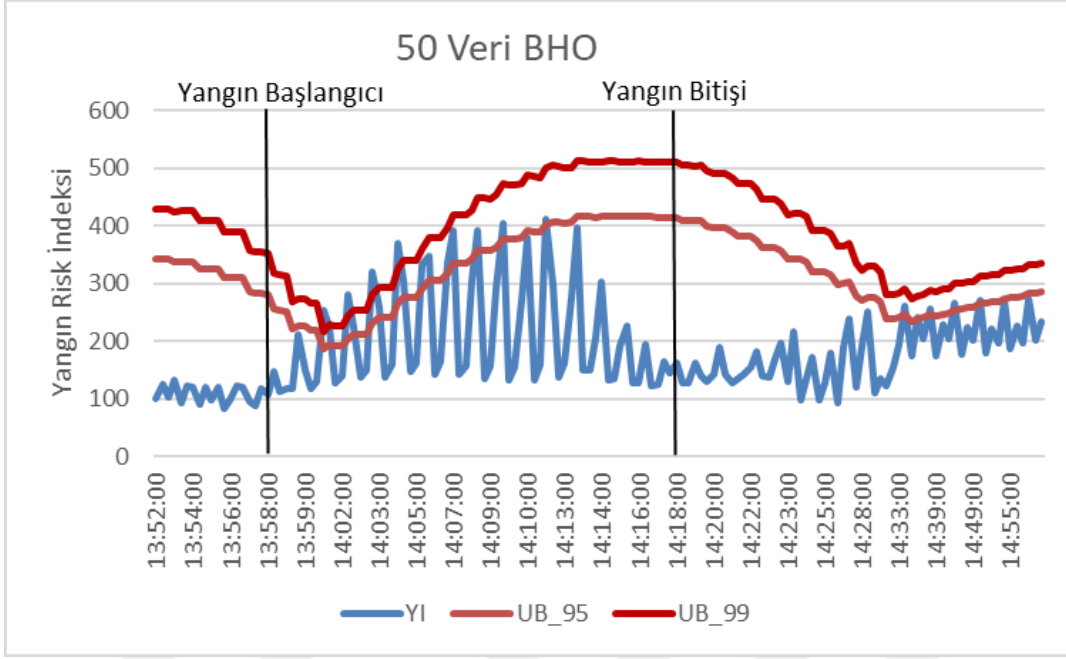
Şekil 4.16'da son 40 veri dikkate alınarak basit hareketli ortalama (BHO) değişimi paylaşılmıştır. Sistemin %95 güven aralığında toplamda 19 verinin yangın risk eşiğini geçtiği ve bu 19 verinin içerisinde 5 tanesinin ise hatalı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sistemin %99 güven aralığında ise toplamda 5 verinin yangın risk eşiğini geçtiği görülmüştür.



Şekil 4.16 : Yangın risk indeksi 40 veri BHO değişimi.

Şekil 4.17'de son 50 veri dikkate alınarak basit hareketli ortalama (BHO) değişimi paylaşılmıştır. Sistemin %95 güven aralığında toplamda 20 verinin yangın risk eşiğini geçtiği ve bu 20 verinin içerisinde 5 tanesinin ise hatalı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sistemin %99 güven aralığında ise toplamda 4 verinin yangın risk eşiğini geçtiği görülmüştür.

Literatürde kullanılan kural tabanlı yangın uyarı sistemleri; sıcaklık artışı ve bağıl nem düşüşü tespit ettiği zaman yangın tespiti yapmaktadır. Fakat belirlenen eşik değerleri günün saatine, aylara ve mevsimlere göre ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Yangın anında ölçülen veriler incelendiği zaman, kural tabanlı yangın uyarı sistemi bağıl nemin düştüğünü fakat sıcaklığın belirlenen eşik değerine çıkmadığını tespit etmiş ve yangın tespiti uyarısında bulunmamıştır.



Şekil 4.17 : Yangın risk indeksi 50 veri BHO değişimi.

Hesaplanan yangın risk indeksi verileri ve Bollinger bant metodu ile oluşan yangın risk eşiklerinin daha güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

22 ile 26 Nisan zaman aralığında aynı ortamda (yangın olmayan ortam) bulunan 4 algılayıcıdan alınan verilere göre yapılan yangın riski indeksi güvenilirlik testinde Bollinger bantlarının aşağı yön eğrileri dikkate alınmamıştır. Çizelge 4.5’de algılayıcı 1 için çıkarılmış olan güvenilirlik testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Algılayıcı 1 güvenilirlik testi sonuçları.

| BHO | Toplam Veri Sayısı | UB95 Hatalı Tespiti | UB99 Hatalı Tespiti | UB95 Hata Oranı (%) | UB99 Hata Oranı (%) |
|-----|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 20 | 690 | 33 | 5 | 4,78 | 0,72 |
| 30 | 681 | 36 | 5 | 5,29 | 0,73 |
| 40 | 671 | 26 | 8 | 3,87 | 1,19 |
| 50 | 661 | 35 | 9 | 5,30 | 1,36 |

Çizelge 4.6’de algılayıcı 2 için çıkarılmış olan güvenilirlik testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Algılayıcı 2 güvenilirlik test sonuçları.

| BHO | Toplam Veri Sayısı | UB95 Hatalı Tespiti | UB99 Hatalı Tespiti | UB95 Hata Oranı (%) | UB99 Hata Oranı (%) |
|-----|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 20 | 624 | 5 | 0 | 0,80 | 0,00 |
| 30 | 614 | 17 | 0 | 2,77 | 0,00 |
| 40 | 604 | 63 | 11 | 10,43 | 1,82 |
| 50 | 594 | 18 | 1 | 3,03 | 0,17 |

Çizelge 4.7’de algılayıcı 3 için çıkarılmış olan güvenilirlik testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : Algılayıcı 3 güvenilirlik test sonuçları.

| BHO | Toplam Veri Sayısı | UB95 Hatalı Tespiti | UB99 Hatalı Tespiti | UB95 Hata Oranı (%) | UB99 Hata Oranı (%) |
|-----|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 20 | 551 | 6 | 0 | 1,09 | 0,00 |
| 30 | 541 | 9 | 0 | 1,66 | 0,00 |
| 40 | 531 | 40 | 6 | 7,53 | 1,13 |
| 50 | 521 | 5 | 0 | 0,96 | 0,00 |

Çizelge 4.8’de algılayıcı 4 için çıkarılmış olan güvenilirlik testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : Algılayıcı 4 güvenilirlik test sonuçları.

| BHO | Toplam Veri Sayısı | UB95 Hatalı Tespiti | UB99 Hatalı Tespiti | UB95 Hata Oranı (%) | UB99 Hata Oranı (%) |
|-----|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 20 | 561 | 7 | 0 | 1,25 | 0,00 |
| 30 | 551 | 11 | 0 | 2,00 | 0,00 |
| 40 | 541 | 33 | 4 | 6,10 | 0,74 |
| 50 | 531 | 11 | 1 | 2,07 | 0,19 |

Çizelge 4.9’da kontrollü yangın testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 : Kontrollü yangın testi sonuçları.

| BHO (veri sayısı) | UB95 Doğru Yangın Tespiti | UB95 Hatalı Yangın Tespiti | UB99 Doğru Yangın Tespiti |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 20 | 9 | 2 | 2 |
| 30 | 8 | 3 | 3 |
| 40 | 14 | 5 | 5 |
| 50 | 15 | 5 | 4 |

Çizelge 4.10’da tüm algılayıcılardan alınan son 20 veri BHO güvenilirlik testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 : Son 20 veri BHO güvenilirlik testi sonuçları.

| Algılayıcı | Toplam Veri Sayısı | UB95 Hatalı Tespiti | UB95 Hata Oranı (%) |
|------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 690 | 33 | 4,78 |
| 2 | 624 | 5 | 0,80 |
| 3 | 551 | 6 | 1,09 |
| 4 | 561 | 7 | 1,25 |

Çizelge 4.11’de tüm algılayıcılardan alınan son 40 veri BHO güvenilirlik testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 : Son 40 veri BHO güvenilirlik testi sonuçları.

| Algılayıcı | Toplam Veri Sayısı | UB99 Hatalı Tespiti | UB99 Hata Oranı (%) |
|------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 671 | 8 | 1,19 |
| 2 | 604 | 11 | 1,82 |
| 3 | 531 | 6 | 1,13 |
| 4 | 541 | 4 | 0,74 |

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, orman yangınlarının erken tespit edilebilmesi için sıcaklık, bağıl nem ve ölü toprak örtüsü nemini ölçebilen ve arazi şartlarında düşük güç tüketimi ile çalışabilecek akıllı algılayıcılardan oluşan, yüksek hizmet kalitesi ve düşük gecikme süresi sunan NB-IoT teknolojisini kullanan bir ağ sistemi geliştirilmesi önerilmiştir.

Önerilen sistemin veri gönderme zaman aralığı 60 dakika seçildiğinde cihazın şarj ihtiyacı olmadan ortalama 42 gün veri gönderimi yapabildiği görülmüştür. Zaman aralığı 5 dakika seçildiğinde ise cihaz günlük 200 mA güç tüketerek şarj ihtiyacı olmadan ortalama 11 gün veri gönderimi yapabilmektedir. Günlük 5 saat güneşlenme ile cihaz pilinin 1250 mA/saat şarj olduğu görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda dar bant nesnelerin interneti teknolojisi kullanan orman yangın riski tespit ve uyarı sistemimiz düşük güç tüketimi yaparak arazi şartlarında uzun yıllar çalışabilmektedir.

Kontrollü yangın esnasında yapılan ölçümlerde ise sıcaklığın arttığı ve bağıl nemin düştüğü NB-IoT sistemimizle gözlemlenmiştir. Bu değişimler uyarı sistemimiz tarafından algılanarak, uyarı panelinde raporlanmıştır. Ayrıca sistemden alınan veriler ile meteorolojik yangın riski indeksi hesaplanmıştır. Bollinger bant metodu ile hesaplanan normal dağılım eğrileri ve meteorolojik yangın riski indeksi değerleri karşılaştırılmıştır. Kontrollü yangın testlerinin sonuçlarında gösterildiği üzere düşük hata oranına sahip sonuçlara ulaşmak için en etkin yöntemlerin %95 güven aralıklarındaki son 20 verinin basit hareketli ortalama ölçümü ve %99 güven aralıklarındaki son 40 verinin basit hareketli ortalama ölçümü olduğu tespit edilmiştir.

22 ila 26 Nisan arasında ölçümlenen verilerin %95 güven aralığındaki son 20 veri BHO güvenilirlik testi sonuçlarına bakıldığında; hata oranının %0,8 ila %4,78 arasında olduğu hesaplanmıştır. %99 güven aralığındaki son 40 veri BHO güvenilirlik testi sonuçlarına bakıldığında ise hata oranının %0,74 ila %1,82 arasında olduğu hesaplanmıştır.

Çalışmaların sonuçlarına bakıldığında dar bant nesnelerin interneti teknolojisi kullanan orman yangın riski tespit ve uyarı sistemimizin düşük hata payı ile başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

İlerleyen çalışmalarda, sistemimiz tarafından toplanan verilerin kullanılması ile toprak neminin orman yangınlarına olan etkisi incelenebilir. Bu çalışmada yer alan algoritmalara, orman yangın riskini etkileyen toprak türü, rüzgar ölçümleri gibi diğer faktörler de dahil edilerek katkı sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı.** (2004). Türkiye Orman Varlığı. Ankara:Orman Genel Müdürlüğü.
- [2] **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** (2018). The State of the World's Forests 2018 - Forest pathways to sustainable development. Rome.
- [3] **Esemen, K.** (2011). Forest Fire Analysis Using Satellite Imagery, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [4] **OGM eKütüphane**, Ormancılık İstatistikleri 2017, <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Istatistikler/Orman%C4%B1%C4%B1k%20%C4%B0statistikleri/Orman%C4%B1%C4%B1k%20%C4%B0statistikleri%202017.rar>, Erişim Tarihi: 23/04/19.
- [5] **ŞENYAZ, A.,** (2000). Yangına Karşı Koruma Sistemlerinin Ekonomik Analizi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [6] **Vazquez, F.J., Acea, M.J. and Carballas, T.** (1993). Soil microbial populations after wildfire. *FEMS Microbiology Ecology*, 13(2), 93-103.
- [7] **Tolunay, Doganay & Çömez, Aydin.** (2008). Türkiye Ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu 2008*. 22-25 Ekim 2008, Hatay. (s.750-765).
- [8] **California Department of Forestry and Fire Protection**, Statistics and events, http://cdfdata.fire.ca.gov/incidents/incidents_statsevents, Erişim Tarihi: 23/04/19.
- [9] **Xu, Y.-H., Sun, Q.-Y., & Xiao, Y.-T.** (2018). An Environmentally Aware Scheme of Wireless Sensor Networks for Forest Fire Monitoring and Detection. *Future Internet*, 10-10, 102. <https://doi.org/10.3390/fi10100102>
- [10] **Töreyn, B.U.; Dedeoglu, Y.; Güdükbay, U.; Çetin, A.E.** Computer vision based method for real-time fire and flame detection. *Pattern Recognition. Letters* (Vol 27, s.49–58).

- [11] **Bahrepour, M., Meratnia, N. Havinga, P.** *Automatic fire detection: A survey from wireless sensor network perspective*, Tech. Rep. TR-CTIT-08-73, Centre for Telematics and Information Technology University of Twente, Enschede (2008).
- [12] **Url-1** <<https://www.mgm.gov.tr/genel/orman-yanginlari.aspx>>, alındığı tarih: 18.11.2018.
- [13] **Krueger, E. S., Ochsner, T. E., Engle, D. M., Carlson, J. D., Twidwell, D., & Fuhlendorf, S. D.** (2015). Soil Moisture Affects Growing-Season Wildfire Size in the Southern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 79(6), 1567.
- [14] **Chaparro, D., Piles, M., Vall-Llossera, M., & Camps, A.** (2016). Surface moisture and temperature trends anticipate drought conditions linked to wildfire activity in the Iberian Peninsula. *European Journal of Remote Sensing*, 49, 955–971.
- [15] **Díaz-Ramírez, A., Tafoya, L. A., Atempa, J. A., & Mejía-Alvarez, P.** (2012). Wireless Sensor Networks and Fusion Information Methods for Forest Fire Detection. *Procedia Technology*, 3, 69–79.
- [16] **Yuan, C., Liu, Z., & Zhang, Y.** (2015). UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques. 2015 *International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2015*, 639–643.
- [17] **Domenikiotis, C., Loukas, A., & Dalezios, N. R.** (2010). The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods. *Natural Hazards and Earth System Science*, 3, 115–128.
- [18] **Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F.** (2018). Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT. 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, *PerCom Workshops 2018*, 197–202.
- [19] **Liberg, O., Sundberg, M., Wang, Y.P.E., Bergman, J. ve Sachs J.** (2018). *Cellular Internet of Things Technologies, Standarts and Performance*, Mara E. Conner.
- [20] **Köylü, F.**, (2018). Smart Fire Monitoring System Based on Internet of Things, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes University, Erciyes.
- [21] **Cisco** (2016), The Zettabyte Era: Trends and Analysis, *Cisco White Paper*.
- [22] **Ericsson** (2019), Ericsson Mobility Report Davos, *Ericsson Mobility Report*.

- [23] **Vodafone** (2017), Narrowband-IoT: pushing the boundaries of IoT, *Vodafone White Paper*.
- [24] **Url-2** <<https://www.telit.com/m2m-iot-products/positioning-timing-modules/smart-antenna-gnss-sc872-a/>>, alındığı tarih: 18.02.2018.
- [25] **Url-3** <<http://www.aosong.com/m/en/productslist-1.html>>, alındığı tarih: 18.03.2018.
- [26] **Url-4** <<https://www.quectel.com/product/bc95.htm>>, alındığı tarih: 10.02.2018.
- [27] **Url-5** <<https://www.metergroup.com/environment/products/ech20-10hs-soil-moisture-sensor/>>, alındığı tarih: 10.02.2018.
- [28] **Url-6** <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001853B.pdf>>, alındığı tarih: 10.03.2018.
- [29] **Url-7** <<http://onlinestatbook.com/2/estimation/mean.html>>, alındığı tarih: 29.04.2019
- [30] **Matsoukis, A., Kamoutsis, A., & Chronopoulos, K.** (2018). Estimation of the Meteorological Forest Fire Risk in a Mountainous Region by Using Remote Air Temperature and Relative Humidity Data. *International Letters of Natural Sciences*, 67, 1–8.

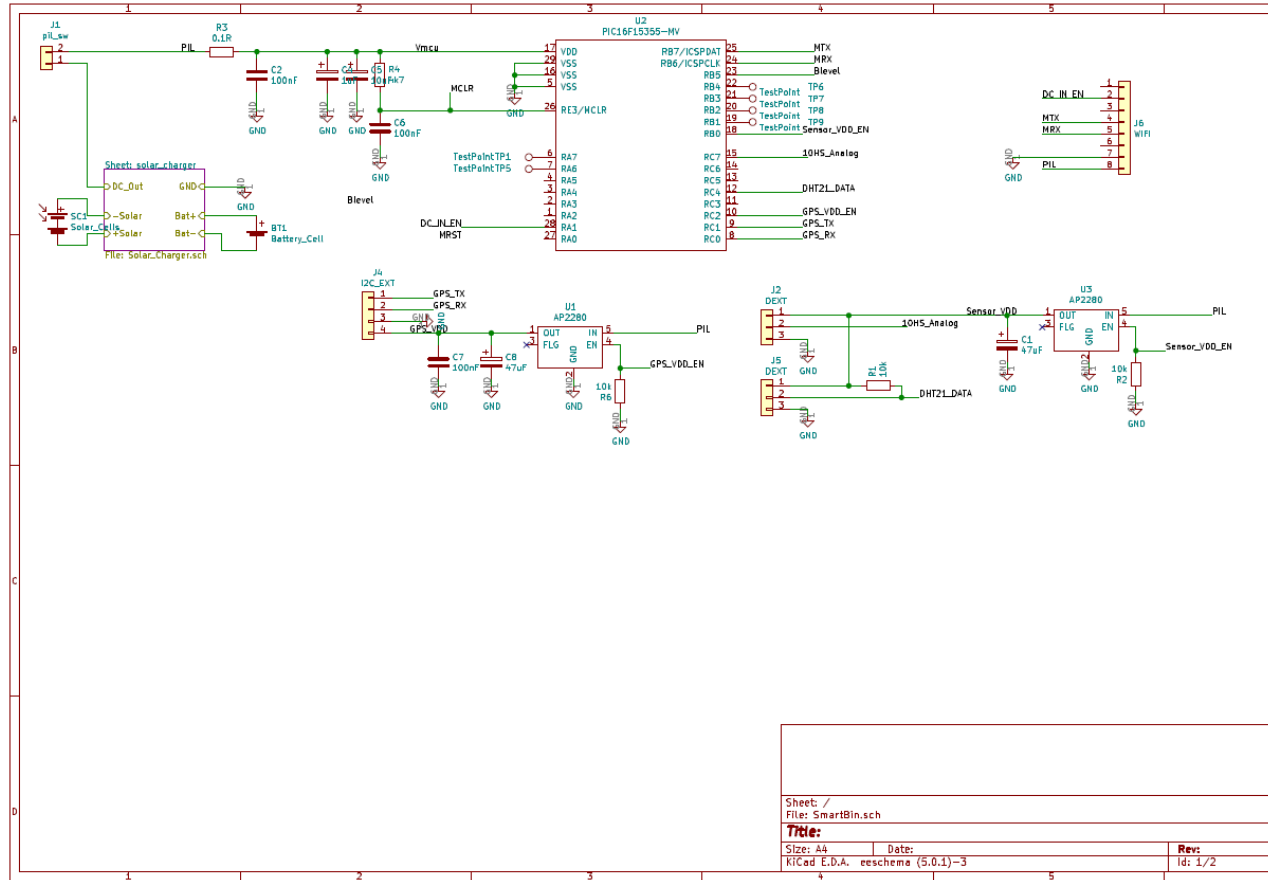


EKLER

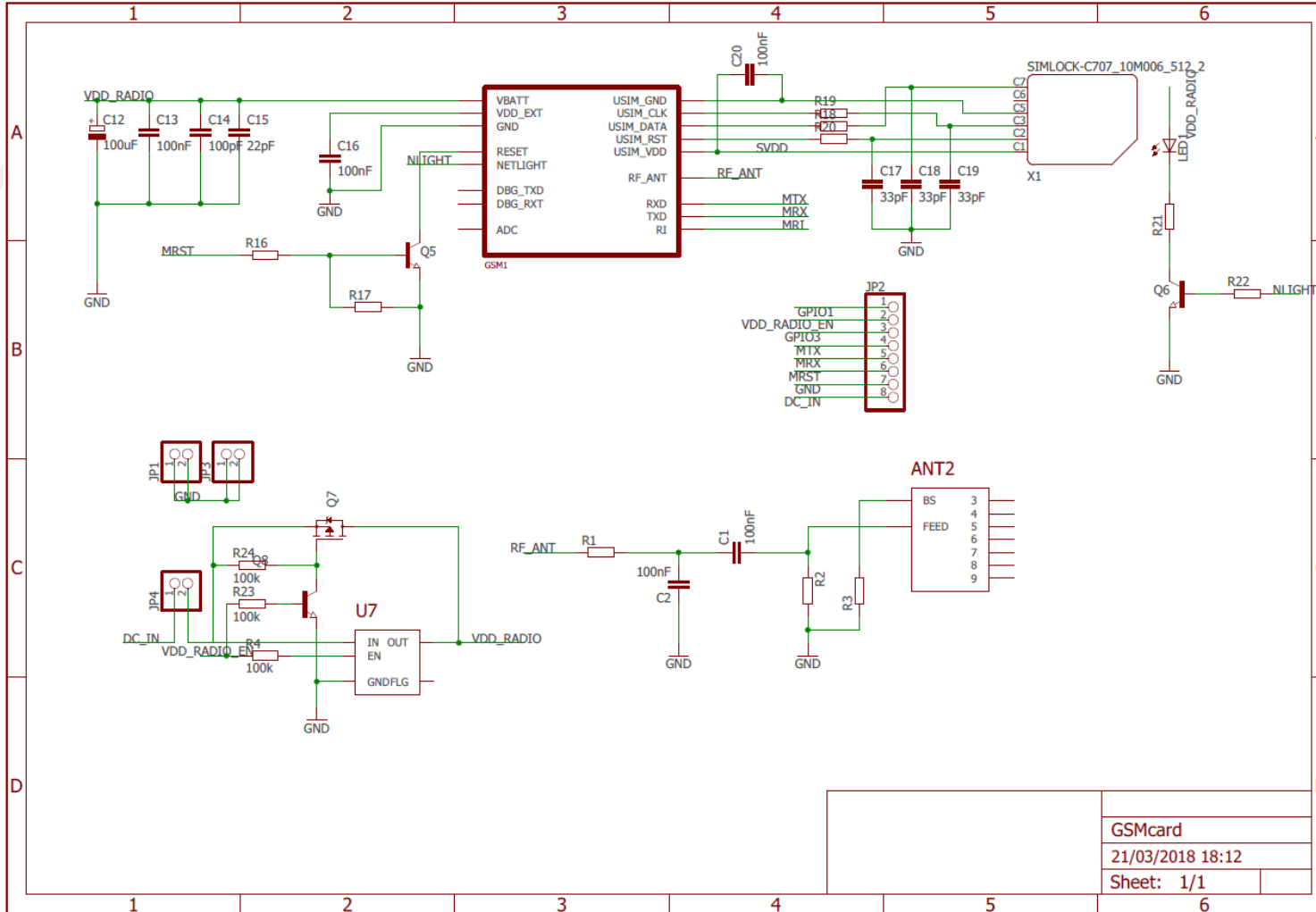
EK A.1 : Akıllı kuş kafesi devre şemaları.



EK A.1



Şekil A.1 : Akıllı kuş kafesi kontrol devresi.



Şekil A.2 : Akıllı kuş kafesi NB-IoT modül devresi.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mehmet Oktay Güven
Doğum Yeri ve Tarihi: BİRECİK / 18.11.1985
Adres: Ataşehir / İstanbul
E-Posta: oktaygven@gmail.com
Lisans: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- 2009 – 2011 yılları arasında Huawei Teknoloji'de Haberleşme Mühendisi,
- 2011 – 2019 yılları arasında Ericsson Türkiye'de Haberleşme Mühendisi olarak çalıştı.