



Alınış tarihi (Received): 30.06.2022

Kabul tarihi (Accepted): 18.08.2022

LoRaWAN Teknolojisi Kullanarak Erken Uyarı Sistemi Tasarımı ve Uygulaması

İsmail Hakkı ÖZDEMİR^{1,*}, Levent GÖKREM²

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği, Tokat, Türkiye.

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Tokat, Türkiye.

*Sorumlu yazar: mekatronik_00@hotmail.com

ÖZET: Nesnelerin interneti (IoT) üzerine yapılan çalışmalar dünya genelinde çok ilgi görmekte ve artmaktadır. Lojistik ve araç takibi, sağlık, akıllı tarım ve sürüş takibi, endüstriyel kontrol, akıllı bina ve evler, akıllı şehirler, çevresel takip ve akıllı şebekeler gibi birçok alanda kullanılmakta olan LoRaWAN teknolojisi IoT kullanımına özel üretilmiştir. LoRaWAN düşük pil tüketimi, uzun menzilli iletişim özelliği ve tek bir ağ geçidi ile birçok uç düğüm bağlantıları kurulabilmesi gibi çok büyük avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada gerçek zamanlı verilere dayalı, Dragino LoRaWAN LDD575 mesafe algılama sensörü, LHT65 sıcaklık ve nem sensörü ile DLOS8 ağ geçidi kullanılarak erken uyarı sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistemde birden fazla uygulama alanından alınan veriler değerlendirilmiştir. Bu yerlerden köprülere yerleştirilmiş LDD575 ve ormanlık alanlara yerleştirilmiş LHT65 sensörleri ile oluşabilecek orman yangınları ve sel felaket durumları önceden tespit edilmiştir. Sensörlerden gelen veriler DLOS8 ağ geçidinde değerlendirilerek bu felaket durumları için erken uyarı sistemi tasarlanmıştır. Sistem Aladağ ilçesinde bulunan Hasan Dede Gedigi'nde test edilerek erken uyarı sisteminin çalıştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – LoRaWAN, Nesnelerin İnterneti (IoT), Ağ Geçidi, Erken Uyarı Sistemi.

Early Warning System Design and Implementation Using LoRaWAN Technology

ABSTRACT: Research on the Internet of Things (IoT) is gaining a lot of attention and increasing worldwide. LoRaWAN technology, which is used in many areas such as logistics and vehicle tracking, health, smart agriculture and herd tracking, industrial control, smart buildings and homes, smart cities, environmental tracking and smart networks, is specially produced for IoT use. LoRaWAN offers great advantages such as low battery consumption, long-range communication and the ability to establish many end-node connections with a single gateway. In this work, an early warning system was designed using Dragino LoRaWAN LDD575 distance detection sensor, LHT65 temperature and humidity sensor and DLOS8 gateway based on real-time data. Data from multiple application areas were evaluated in the system. Thanks to LDD575 sensors placed on bridges and LHT65 sensors placed in wooded areas, disaster situations that may occur will be detected in advance. An early warning system was designed for these disaster situations by evaluating the data from the sensors in the DLOS8 gateway. The system was tested in Hasan Dede Gedigi in Aladağ district and it was seen that the early warning system was working.

Keywords – LoRaWAN, Internet Of Things (IoT), LoRa, Sensors, Communication Protocols

1. Giriş

Nesnelerin İnterneti (IoT), etrafımızdaki fiziksel durumları kontrol ve analiz etmemizi sağlayan donanımsal ve yazılımsal bir iletişim ağıdır (Gökrem ve Bozuklu, 2016). LoRa; Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) altyapısal çözümü olarak tanıtılan uzun menzilli, düşük güçlü, düşük bit hızında çalışan, kablosuz bir modülasyon tekniğidir (Tankut ve ark.,2019). LoRaWAN 863-870 MHz frekans bandında çalışmaktadır. Veri iletim hızı 50 Kbps ve

kapsama alanı birkaç kilometredir. Düşük güç tüketimine sahiptir. Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı örneği olan LoRaWAN teknolojisi, IoT'den türetilmiş olası bir çözüm olarak kabul edilir (Sisinni ve ark., 2019). Yıldız ağ topolojisini kullanmaktadır. Yıldız topolojisi veya yıldız ağı her düğümün anahtar veya bilgisayar gibi merkezi bir bağlantı noktasına bağlı olduğu yerel alan ağı (LAN) için bir yapılandırma değildir. Bu topoloji, en yaygın ağ yapılandırmalarından biridir. LoRaWAN genellikle düşük güçlü geniş alan ağlarında kullanılmaktadır. Simetrik Anahtar Şifreleme AES 128'i kullanmaktadır. LoRaWAN protokolü bir kablosuz iletişim protokolüdür. LoRa Alliance tarafından karşılaşılan zorluklara hizmet etmek için geliştirilmiştir (Khutsoane ve ark., 2017). Yönetim birimi LoRa Alliance şirkettir. Literatür analizindeki verilerde de görüldüğü gibi haberleşme menzili, düşük enerji kullanımı ve veri iletim hızı gibi iletişimsel özellikleri başarılı bir şekilde karşılayan LoRaWAN haberleşme protokolü günümüzde önemli bir yere sahiptir. Uzun iletişim aralığı sağlaması ve mevcut enerjiyi önemli ölçüde azaltarak düşük enerji tüketimi veri hızı gibi özellikleri teknolojiyi ön plana çıkarmıştır (Citoni ve ark., 2019). LoRaWAN protokolü LoRa modülasyonu ile birlikte çalışmaktadır (Yapar, 2019). LoRaWAN teknolojisinin fiziksel katmanında, chirp spread spectrum (CSS) denilen patentli bir Lora'ya özgü modülasyon tekniği kullanılmaktadır (Doğan, 2019). LoRaWAN 2015'in Haziran'ında LoRa Alliance şirketi tarafından yayınlanmıştır. LoRaWAN kablosuz haberleşme teknolojileri içerisinde önemli bir yere sahip olmuştur (Büyükakkaşlar, 2018).

LoRaWAN küçük bir pil ile uzun süreli çalışabilmeyi sağlamaktadır. Birçok IoT uygulaması, düşük güçlü uzun menzilli bağlantıdan büyük ölçüde yararlanır. LoRa Alliance tarafından sürdürülen ve Semtech'in patentli LoRa radyo modülasyon teknolojisini kullanan bir Medya Erişim Kontrolü (MAC) protokolü olan LoRaWAN, düşük güç ve uzun menzilli gereksinimleri karşılayacak ümit verici bir teknoloji olarak görülmektedir (San Cheong ve ark., 2017). Uzun mesafelerde sinyal iletişimi sağlanmak isteniyorsa 3G,4G gibi sistemlerden yararlanmak gerekmektedir. Bu durumda ortaya çıkan problem bu tarz üretilmiş teknolojilerde çok fazla pil tüketim ihtiyacının olmasıdır. Uzun yıllar IoT, pil ömrü, kısa menzilli iletişim, yüksek maliyet ve tek tip standartların olmaması gibi nedenlerden dolayı geri tutulmuştur. LoRaWAN teknolojisi tüm bu engellerin üstesinden gelmeyi mümkün kılmıştır. Sensörleri geniş çapta bağlama yeteneği optimum özerklik süresi ile sensörlerin çalışması ve minimum gereksinimler LoRaWAN teknolojisi ile karşılanmıştır (Marisov ve ark., 2019). Global System for Mobile Communication'a (GSM) dayalı yapılan ve sahaya kurulan herhangi bir uygulamanın çok sık pil yenilemesi gerekmektedir. Kablosuz teknoloji sınıfında çalışan LoRaWAN bir mimari yapı içerisinde çalışmaktadır. LoRaWAN da cihazlar doğrudan şeffaf bir şekilde bir veya daha fazla ağ geçidine mesajları bir internet ağı üzerinden bir ağ sunucusuna aktarır. Veriler birden fazla ağ geçidi kullanılarak alınabilir ve iletilebilir. Mesajlar kullanılan ağ sunucusuna gönderilir. Ağ geçitleri ve ağ sunucusu bir şebeke sağlayıcısıdır (Bor ve Roedig, 2017).

LoRaWAN 2 km ile 10 km arasında paket alışverişi yapabilmektedir. Şehir merkezleri gibi çok yoğun bir alanda binaların yoğun olduğu yerlerde uygulama yapıldığında bir LoRaWAN baz istasyonunun kapsama alanı 2-3 km'ye kadar düşebilmektedir. İç mekanda yapılan simülasyon analizine göre 106 metre uzaklıkta en yüksek iletim gücü ve en düşük ortam katsayısı ile elde edilmiştir. Dış ortamda yapılan en başarılı ölçüm 3.27 km uzaklıktan yapılmıştır. Tünel ortamında yapılan ölçümlerde elde edilen verilere göre bu tür zorlu ortamlarda LoRaWAN kullanımının etkili olacağı görülmüştür (Doğan, 2019). Açık alanlarda yapılan uygulamalarda 10 km ve ötesine kadar çekim gücü sağlamaktadır. LoRaWAN teknolojisinin iletişim menzili teoride 10 km'ye kadar iletişim kurabilmektedir

fakat uygulamada 4 km ile 5 km arasında bu değişebilmektedir. Menzildeki bu farklılıklar coğrafyanın özellikleri ile şehirlerin yapısı ile alakalıdır (Tankut ve ark.,2019).

LoRaWAN iletişim katmanı, üç katmandan oluşmaktadır. Kullanılmak istenen LoRaWAN teknolojisinde iletişim katman katman gerçekleştirilir. En alt kısımda fiziksel katman olarak LoRa katmanı bulunmaktadır. Ortada bulunan katman bağlantı kurma katmanı olarak LoRaWAN' dır. En yukarıda ise uygulamaların bulunduğu katman vardır. LoRaWAN, LPWAN için bir kablosuz teknolojidir. Bugün, en önemlilerinden biri olarak kabul edilir. Düşük maliyetli, düşük güç tüketimli ekipmanları ve açık iş modeli sayesinde IoT için ciddi alternatifler sunmaktadır. LoRaWAN teknik özellikleri, en iyi iletişimi sağlamak için Orta Erişim Kontrolü (MAC) katman işlemleriyle ilgili ilginç çözümler önermektedir (El Fehri ve ark., 2018). LoRaWAN üç tür cihaz tanımlar. Bunlar A sınıfı, B sınıfı ve C sınıfıdır (Bor ve Roedig, 2017). Ölçümlerden ve güç gereksinimi hesaplamalarından elde edilen sonuçlar, A sınıfı bir cihaz için, uygun yük boyutu, iletim aralığı ve bir yayılma faktörü kullanmaya özen gösterilmesi halinde 10 yıllık operasyonel hedefi elde etmenin mümkün olduğunu göstermektedir (San Cheong ve ark., 2017).

LoRa ağının konuşlandırılma ortamı sinyal kalitesini etkilemektedir, özellikle iletim yolu arasındaki yüksek yoğunluklu engel seviyesi, sinyal kalitesinin bozulması üzerinde en büyük etkiye sahiptir (Morande ve ark., 2021). Ortalama bir LPWAN IoT ağ geçidine 2500 ile 3000 arasında sensor bağlanabilmektedir. Bu özellik geniş kapsamda, çok noktadan ekonomik olarak veri alınabilmesini sağlamaktadır (Michalski ve Watral, 2021) LoRaWAN gecikmeye duyarlı olmayan uygulamalar ve büyük ölçekli dağıtımların olduğu uygulamalar için kullanılmaktadır (Haxhibeqiri ve ark., 2018). LoRaWAN teknolojisi kullanılarak çok yüksek veri hızları, ses ve görüntü taşıma işlemleri yapılamamaktadır.

Bir IoT sisteminde yüzlerce cihaz, uzak veya erişilemeyen alanlarda bulunur. Bu cihazlara manuel müdahale genellikle maliyetlidir ve bazen cihazın bulunduğu konumdan dolayı gerçekten zordur. Bu cihazlarda uzun kullanım ömrü gereksinimleri varsa, yükseltmeleri çok muhtemeldir veya yeniden programlanmıştır. Bu bağlamda, uzaktan güncelleme tekniklerinin sağlanması gerekmektedir (Acquaviva ve ark., 2018). LoRaWAN teknolojisinde yazılım güncellemeleri Firmware Update Over the Air (FOTA) olarak adlandırılan, planlanan bir aktivite ile gerçekleşmektedir. FOTA olarak bilinen yazılım güncelleyebilme özelliğine sahiptir. Böylece uygulamalarda kullanılan bütün sensörleri birer birer güncellemeye gerek duyulmamaktadır. Bu özellik zaman tasarrufu ve sensörlerin buldukları konumlara ulaşım maliyetlerini azaltmaktadır.

Yangın algılama ve alarm sistemleri, çıkan yangınları öncelikli olarak algılamak ve gerekli kurumları yangın hakkında uyarmaktır. Bu maksatla tasarlanan donanımsal ve yazılımsal sistemlerdir. Veriler Wi-Fi aracılığı ile bulut sunucuya depolanmaktadır. (Çeltek ve ark., 2017). Ülkemizde son yıllarda sıkça doğal afetler yaşanmaktadır. Bu doğal afetlerden önde gelenleri orman yangınları ve sel felaketleridir. Şekil 1'de bu çalışmanın yapıldığı uygulama alanında çıkan yangın haberleri verilmektedir (Anonim, 2021) (Özgüven, 2021). Bilinçsiz yakılan ateşler ve de piknik sonrası doğru bir şekilde söndürülmeyen ateşler yangınlara sebep olmaktadır. Bu tip yerlerde ulaşımında güç olduğu göz önüne alınırsa acil müdahale yapmak bir hayli gecikmektedir. Erken teşhis ve müdahalelerde gecikmeler sebebiyle büyük orman kayıpları oluşmaktadır.



Şekil 1. Adana'nın Aladağ ilçesinden orman yangını haberleri
Figure 1. Forest fire news from Aladağ town of Adana

Yapılan çalışmada gerçek zamanlı verilere dayalı, LoRaWAN teknolojisi kullanılarak erken uyarı sistemi tasarımı amaçlanmıştır. Dragino şirketinin LoRaWAN teknolojisi kullanarak ürettiği DLOS8 ağ geçidi, LDDS75 mesafe algılama sensörü ve LHT65 sıcaklık ve nem sensörlerinin bu tarz projelerde kullanılabilirliği ile doğru veri paketlerinin iletim kararlılığı tespit edilmek istenmiştir. Adana'nın Aladağ ilçesinde bulunan birçok uygulama alanından alınan veriler değerlendirilmiştir. Bunlardan birisi konumu gereği ormanlık ve dağlık bir arazi içerisinde bulunan, birçok piknik alanına sahip bir mesire yerinde söndürülmeyen ateşlerin tespitidir. Bu bölgeye LHT65 sensörü yerleştirilmiş sıcaklık ve nem değerleri alınarak bölgenin kontrolü yapılmıştır. İkinci uygulama alanı dere ve akarsu yataklarıdır. Uygulama alanımızda çok sayıda dere ve akarsu yatakları mevcuttur. LDDS75 sensörünü altından dere akan bir köprüye monte ederek su seviyesi tespiti gerçekleştirilmiştir. Derelere yerleştirilecek sistem sayesinde taşkın durumları önceden tespit edilecek yol durumundaki risk belirlenebilecektir. DLOS8 ağ geçidi, sensörler ile verimli bir iletişim sağlayabilmesi için imkanlar dahilinde olabilecek en yüksek noktaya kurulumu yapılmıştır. Elde edilen sensör verileri ise belediye ya da itfaiye personeli tarafından rahat bir şekilde kontrol edilebilir diye cayenne myDevices kullanıcı arayüzünde ilgili personelin kontrolüne sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

DLOS8 Ağ Geçidi: Şekil 2'de gösterimi verilen DLOS8; açık kaynaklı dış mekan LoRaWAN ağ geçididir. DLOS8 ağ geçidi LoRa kablosuz ağını WiFi, Ethernet, 3G veya 4G hücresel üzerinden bir IP ağına bağlantı kurmanızı sağlar. LoRa kablosuz iletişimi, kullanıcıların düşük hızda veri göndermesine ve son derece uzun mesafelere ulaşmasına olanak tanır. DLOS8, Semtech paket ileticisini kullanır ve LoRaWAN protokolü ile tamamen uyumludur. On programlanabilir paralel demodülasyon yolu sağlayan bir SX1301 LoRaWAN yoğunlaştırıcı içerir. DLOS8, farklı ülkeler için kullanılacak önceden yapılandırılmış standart LoRaWAN frekans bantlarına sahiptir. Kullanıcı ayrıca kendi LoRaWAN ağında kullanmak için frekans bantlarını özelleştirebilir. DLOS8, LoRaWAN sunucusu olmadan ABP LoRaWAN uç düğümü ile iletişim kurabilir. Sistem entegratörü,

kendi LoRaWAN sunucusunu kurmadan mevcut IoT servisiyle entegre etmek için kullanılabilir.



Şekil 2. Dragino DLOS8 LoRaWAN ağ geçidi
Figure 2. Dragino DLOS8 LoRaWAN gateway

LHT65 Sıcaklık ve Nem Sensörü: Dragino **LHT65** sıcaklık ve nem sensörü uzun menzilli LoRaWAN sensörüdür. Şekil 3'te gösterimi verilen bu sensörde **SHT20 sıcaklık ve nem sensörü ile** harici bir sıcaklık ve nem sensörü de bulunmaktadır. Ayrıca sıcaklık sensörü, toprak nem sensörü, devirme sensörü vb. gibi harici sensörleri bağlamak için bir sensör konektörüne sahiptir. LHT65, kullanıcıların veri göndermesini ve son derece uzun aralıklara ulaşmasını sağlamaktadır. Mevcut tüketimi en aza indirirken ultra uzun menzilli yayılmış spektrum iletişimi ve yüksek parazit bağışıklığı sağlamaktadır. Sulama sistemleri, akıllı ölçüm, akıllı şehirler, bina otomasyonu ve benzeri gibi profesyonel kablosuz sensör ağ uygulamalarını hedefler. LHT65, on yıldan daha fazla şarj için kullanılabilen yerleşik 2400mAh şarjsız pile sahiptir. LHT65, LoRaWAN v1.0.2 protokolü ile tam uyumludur. Standart LoRaWAN ağ geçidi ile çalışabilir. LHT65, daha fazla bilgi için tarih saat ile alınabilen tarih saatli 3200 veri kaydına sahiptir. Aslında pil ömrü, verilerin ne sıklıkta gönderileceğine bağlıdır.



Şekil 3. Dragino LHT65 LoRaWAN sıcaklık ve nem sensörü
Figure 3. Dragino LHT65 LoRaWAN temperature and humidity sensor

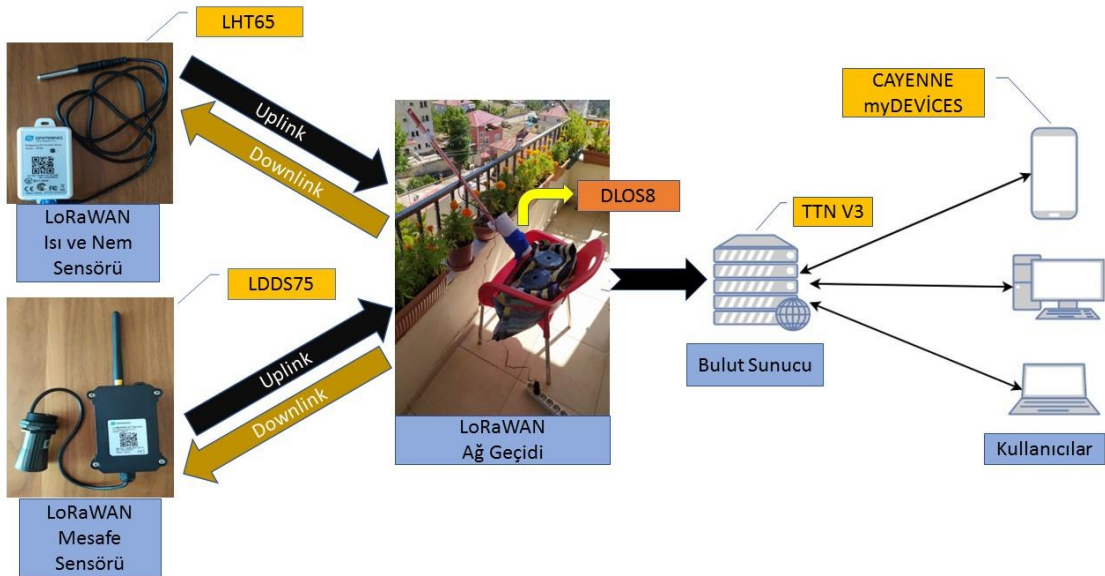
LDDS75 Mesafe Algılama Sensörü: Şekil 4’te görülen Dragino LDDS75, Nesnelerin İnterneti çözümü için bir LoRaWAN mesafe algılama sensörüdür. Sensör ile düz bir nesne arasındaki mesafeyi ölçmek için kullanılır. Mesafe algılama sensörü, mesafe ölçümü için ultrasonik algılama teknolojisini kullanan bir modüldür ve verilerin güvenilirliğini artırmak için dahili olarak sıcaklık telafisi yapmaktadır. LDDS75, yatay mesafe ölçümü, sıvı seviye ölçümü, park yönetim sistemi, nesne yakınlık ve varlık algılama, akıllı çöp tenekesi yönetim sistemi, robot engel kaçınma, otomatik kontrol gibi senaryolara uygulanabilir. Ölçülen nesne ile sensör arasındaki mesafeyi algılar ve değeri kablosuz olarak LoRaWAN IoT sunucusuna yükler. LDDS75’te kullanılan LoRa kablosuz teknolojisi, cihazın düşük veri hızlarında veri göndermesini ve son derece uzun mesafelere ulaşmasını sağlamaktadır. Mevcut tüketimi en aza indirirken ultra uzun menzilli yayılmış spektrum iletişimi ve yüksek parazit bağışıklığı sağlamaktadır. LDDS75, 4000mA veya 8500mAh Li-SOCI2 pil ile çalışır; on yıla kadar uzun süreli kullanım için tasarlanmıştır. Her LDDS75, LoRaWAN kayıtları için bir dizi benzersiz anahtarla önceden yüklenir, bu anahtarlar yerel LoRaWAN sunucusuna kaydedilir ve güç açıldıktan sonra ağ kapsama alanı varsa LDDS75 sensörü otomatik olarak bağlanır. Aslında kullanım ömrü, ağ kapsamına, yukarı bağlantı aralığına ve diğer faktörlere bağlıdır.



Şekil 4. Dragino LDDS75 LoRaWAN mesafe sensörü
Figure 4. Dragino LDDS75 LoRaWAN distance sensor

2.2. Yöntem

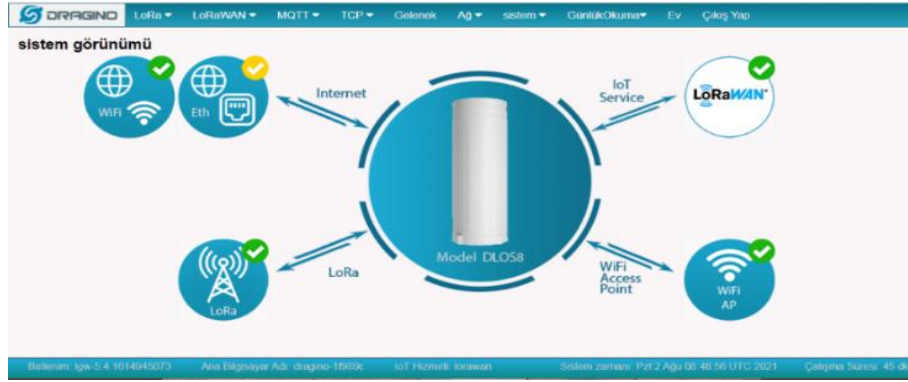
Şekil 5’de kurulan sistemin genel yapısı verilmiştir. Ormanlık alana yerleştirilen ısı ve nem sensörlerinden ve dere yataklarına yerleştirilen mesafe sensörlerinden alınan veriler LoRaWAN ağ geçidinden ağ sunucusuna aktarılır. Daha sonra bu veriler değerlendirilmek üzere kullanıcılara gönderilir. Sistemin kurulumu ve çalışması ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. Haberleşme haritası
Figure 5. Communication map

DLOS8 Kurulumu: Şekil 6’da sistem görünümü verilen DLOS8 ağ geçidine öncelikle erişim yapıлып yapılandırma işlemi yapılmalıdır. DLOS8, varsayılan olarak bir WiFi erişim noktası olarak yapılandırılmıştır. Kullanıcılar erişebilir ve yapılandırabilir. DLOS8, WiFi

veya ethernet portu bağlantısı aracılığıyla ağa bağlandıktan sonra DLOS8'in IP adresi bulunmalıdır. Ağ geçidi çalıştırılmıştır ve bilgisayarın ağına bağlanmıştır. Varsayılan bağlantı şifresi dragino+dragino olarak girilmektedir. DLOS8'i wifi ağına bağlamak için tarayıcıdan 10.130.1.1 adresine giriş yapılır. Verilen 10.130.1.1 adres DLOS8'in varsayılan IP'sidir. Çıkan pencerede, kullanıcı adı yerine root, şifre yerine de dragino yazılır. Ağ sekmesi altında bulunan Kablosuz internet kısmına giriş yapılır. Açılan pencerede wifi bilgileri girildikten sonra ağ geçidi wifi ağına bağlanmaktadır.



Şekil 6. DLOS8 ağ geçidi sistem görünümü
Figure 6. DLOS8 gateway system view

LHT65 Sensörü ve LDDS75 Sensörü Kurulumu: Ağ geçidinin kurulumu tamamlandıktan sonra ağ geçidi ara yüzünde LoRa sekmesinin altında ABP şifre çözme adlı sayfaya giriş yapılır. ABP şifre çözme etkinleştirilir ve sensörlerin anahtarları ilgili alanlara girilerek kaydedilir. Şekil 7'de görüldüğü gibi eklenen sensörlerden gelen paketler DLOS8 ağ geçidi tarafından algılanıp şifreleri çözülmektedir.

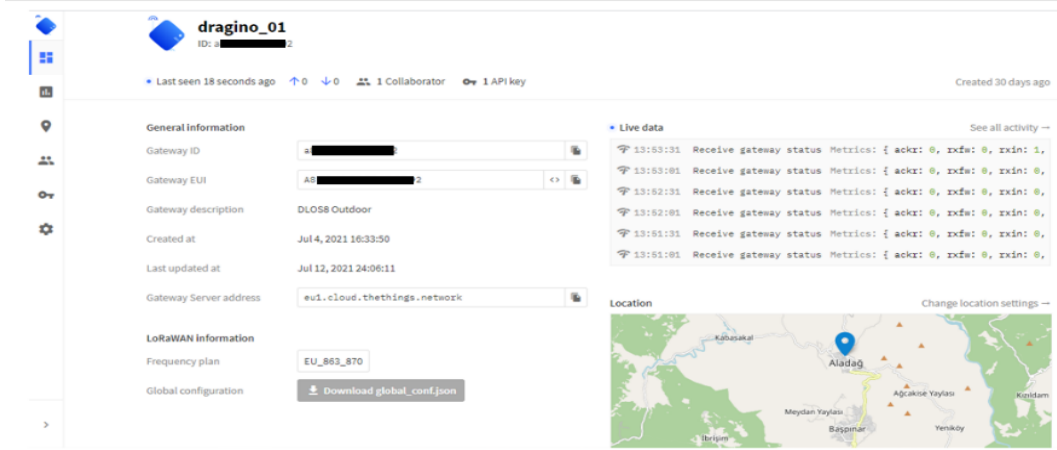
Geliştirici ADDR	APP Oturum Anahtarı	Ağ Oturum Anahtarı	kod çözücü
88	BFF	BD1	254
88	F31	3FC	F14
85	69F	8B3	AAS

Şekil 7. Ağ geçidi cihaz ekleme sayfası
Figure 7. Gateway device add page

Sensörlere ait anahtar şifrelerin her biri sensörler ile birlikte gönderilmektedir. LHT65 ve LDDS75 sensörleri aktif hale geldikleri andan itibaren varsayılan olarak her 20 dk'da bir paket gönderimi yapacaklardır. Kurulan ağ geçidinin kapsama alanı içindeki sensörlerden gelen paketler okunmaya başlanacaktır.

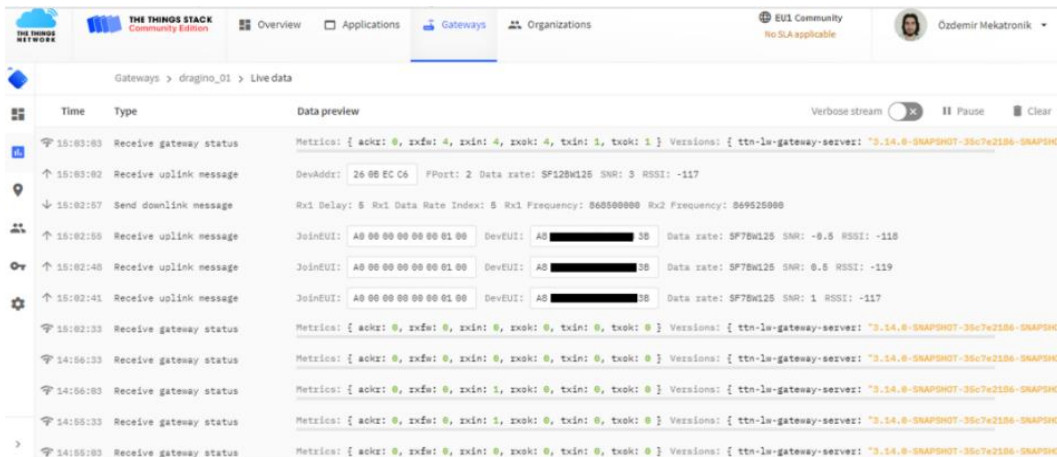
DLOS8'in The Things Network (TTN) Sunucusuna Bağlanması: TTN sunucusunda ağ geçidi oluşturabilmek için DLOS8 ağ geçidinin ara yüzü içerisinde bulunan IP adresi

kaydedilmiştir. TTN sunucusunda bir kullanıcı hesabı oluşturulmuştur. Avrupa 1 adlı sunucu seçilmiştir. Çıkan sayfada ağ geçidi oluşturma kısmından gerekli anahtar şifreleri girilmiştir ve dragino_01 adlı ağ geçidi LoRaWAN sunucusuna katılmıştır. Ağ geçidi aktif olmuştur ve sunucuya her bir dakikada bir Şekil 8'deki gibi sinyal gönderimi yapmaktadır (Anonim, 2022).



Şekil 8. TTN V3 aktif DLOS8 ağ geçidi
Figure 8. TTN V3 active DLOS8 gateway

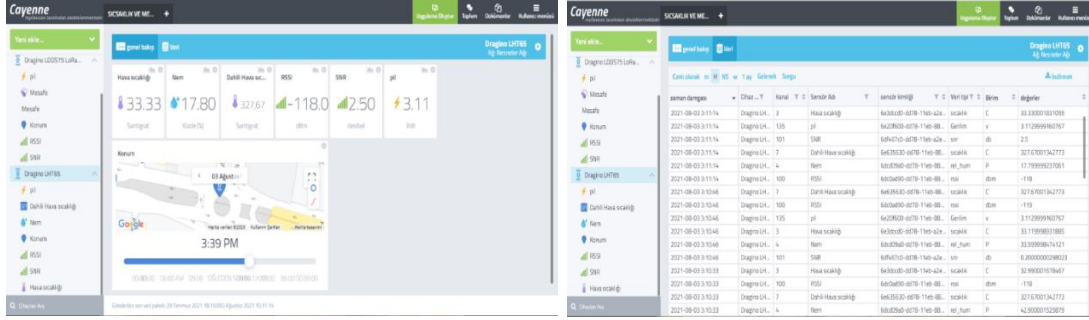
Sensörlerin The Things Network (TTN) Sunucusuna Bağlanması: Sensörlerin sisteme tanıtılmaları için sahip oldukları anahtar kodlar vardır. Cihazları TTN'de tanımlamak için üç kod gereklidir. Bunlar; DEV EUI, belirli bir cihaz için benzersiz kimlik kodu, APP EUI, TTN'de tanımlanan bir uygulamanın kodu ve APP KEY, belirli bir cihazla iletişimi güvence altına almak için benzersiz anahtardır. Bu kodlar, üretici tarafından her cihazda varsayılan kodlar olarak saklanır. Her cihaz, gösterildiği gibi varsayılan Cihaz EUI' sine sahip bir etiketle gönderilir. Bu kodlar her cihazda isteğe bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Sensörler aktif hale getirildikleri andan itibaren gönderdikleri paketler ağ geçidi tarafından okunup TTN V3 sunucusuna Şekil 9'da görüldüğü gibi yüklenmektedir (Anonim, 2022).



Şekil 9. Sensör paketlerinin TTN V3 görünümü
Figure 9. TTN V3 view of sensor packages

Cayenne myDevices Kullanıcı Arayüzü: Cayenne kullanıcılara TTN V3'te bulunan verilerin okunmasını kolaylaştırmak için insan dostu bir arayüz sunmaktadır. Uygulamaları

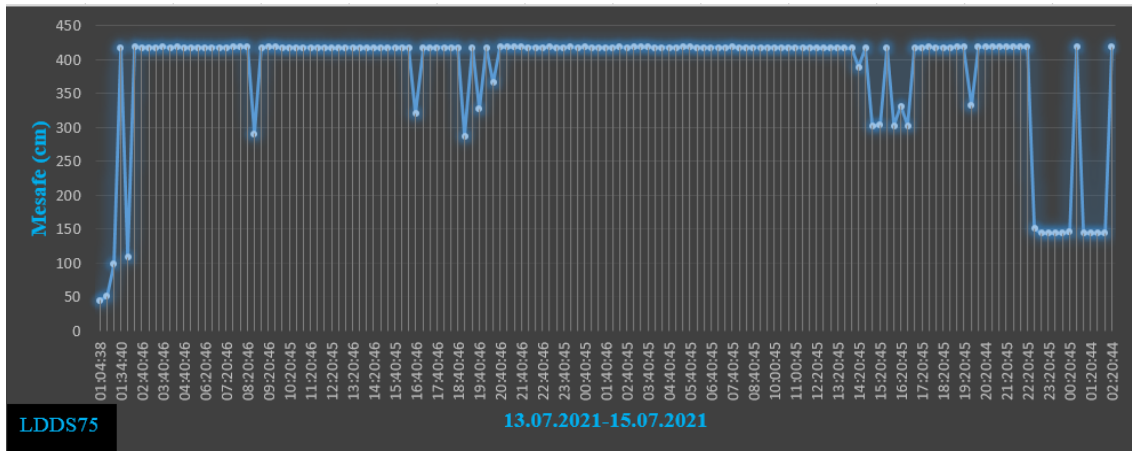
Cayenne'ye veri iletmek üzere yapılandırmak için TTN de bulunan LHT65 VE LDDS75 sensörlerinin entegrasyonu yapılmıştır. Şekil 10'da uygulamaların entegrasyonu tamamlanmış ve uygulama arayüzü çalıştırılmıştır (Anonim, 2022). Veriler Cayenne'de kayıt altında tutulmaktadır. Kullanıcılar istedikleri anda hangi tarih aralığındaki verileri okumak isterlerse veriler burada görülmektedir. Aynı zamanda istenilen tarih aralığındaki veriler .csv dosyası olarak indirilmektedir.



Şekil 10. Cayenne kullanıcı arayüzü ve veri kayıtları
Figure 10. Cayenne user interface and data records

3. Bulgular ve Tartışma

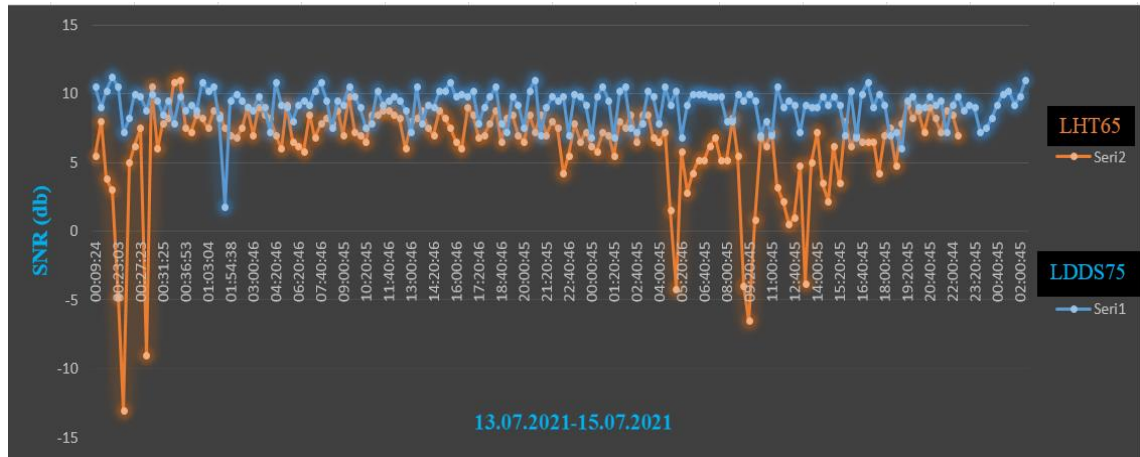
Sistemin ölçümleri iç ve dış mekanlarda test edilmiştir. Başlangıç olarak LHT65 sıcaklık ve nem sensörü ile LDDS75 mesafe algılama sensörlerinin DLOS8 ağ geçidi ile bağlantıları yapılmış ve sensörlerin ilk ölçümleri iç mekanda test edilerek doğru veri iletim kararlılığının tespiti analiz edilmiştir. Farklı odalarda sensörler ile ağ geçidi arasında 10 m ve çift kat duvar engeli ile ilk paket gönderimleri alınmıştır. Sensörler her 20 dakikada bir üç gün boyunca paket iletimlerini problemsiz sürdürmüşlerdir. Paket alışveriş süresi istenilen zamana ayarlanabilmektedir. İç mekanda yapılan kısa zamanlı testlerde ölçümlerin doğruluğu görülmüştür. Daha sonra yine iç mekanda verilerin paket olarak gönderimi test edilmiştir. LDDS75 sensörü 655 adet paket ve LHT65 sensörü de 851 adet paket göndermiştir. Sistemden alınan mesafe, sıcaklık, nem, sinyal gürültü oranı ve alınan sinyal gücü verileri Şekil 11,12,13 ve 14'te grafik halinde verilmiştir.



Şekil 11. LDDS75 mesafe analizi
Figure 11. LDDS75 distance analysis



Şekil 12. LHT65 sıcaklık ve nem analizi
Figure 12. LHT65 temperature and humidity analysis



Şekil 13. LDDS75 ve LHT65 SNR analizi
Figure 13. LDDS75 and LHT65 SNR analysis



Şekil 14. LDDS75 ve LHT65 RSSI analizi
Figure 14. LDDS75 and LHT65 RSSI analysis

Ölçümler her iki sensör içinde aralıksız üç gün boyunca sürmüştür. Elde edilen verilerin analizleri gerçek veriler ile karşılaştırılması sonucunda verilerin doğruluğu tespit edilmiştir.

Daha sonra sistem dış mekanda test edilmiştir. LDDS75 ve LHT65 sensörlerinin DLOS8 ağ geçidi ile birbirlerini algılama mesafeleri analiz edilmiştir. İlk olarak ağ geçidi oturlan eve kurulmuş 50 metre mesafede bina önünde bulunan araç içerisine yerleştirilen sensörlerden paket gönderimi başarılı bir şekilde yapılmıştır. Daha sonra sensörler Hasan Dede Gediğine yerleştirilerek test yapılmıştır. Şekil 15'te verilen haritada ağ geçidi ile sensörlerin konuşlandırıldığı yer arasının kuş bakışı 4.22 km olduğu görülmektedir (Anonim, 2022). Hasan Dede gediğinde yapılan ölçümlerde LDDS75 sensörü paket gönderimini gerçekleştirmiş ve ağ geçidi paketi almıştır. LHT65 sensöründen gönderilen paketler DLOS8 ağ geçidi tarafından alınamamıştır.



Şekil 15. Hasan Dede gediğinin mesafesi
Figure 15. Distance of Hasan Dede passway

Bir sonraki ölçümde kuş bakışı 1.51 km mesafede olan Aladağ Devlet Hastanesi civarına sensörler yerleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde, LHT65 ve LDDS75 sensörleri ile paket gönderimi yapılmıştır fakat ağ geçidi gönderilen paketleri okuyamamıştır. Ağ geçidine biraz daha yaklaşılmış ve 355.17 metreden gözle görülebilir bir konuma gelinmiştir. Yapılan ölçümde LHT65 sensöründen gönderilen paket alınmıştır. Diğer ölçüm LHT65 sensörü ile ağ geçidinin bulunduğu cephenin tam tersi istikamette olan bölgeden yapılmıştır. Fakat ağ geçidi sensörden gelen verileri okuyamamıştır. Yapılan bu test sonuçları göz önüne alındığında ağ geçidi konumu ile sensör konumlarının gönderilen paketlerin algılanmasında çok önemli bir faktör olduğu görülmektedir. Ağ geçidi ve sensör konumları kötü yerleştirildiğinde yakın mesafelerde bile ölçümler yapılamamaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda DLOS8 ağ geçidinin konumu yüksek verim alınabilecek bir pozisyona getirilip yeni testler yapılmıştır. Yapılan yeni ölçümler sonucunda Hasan Dede Gediğine yerleştirilen LHT65 sensörü ve LDDS75 sensörü ile DLOS8 LoRaWAN ağ geçidi arasında manuel olarak paket gönderimleri yapılmış ve ağ geçidi tüm gönderilen verileri almıştır.

Son olarak Şekil 16'da verilen Yetimli Köyü köprüsüne gidilmiştir. Burada sel suları taşma riskini belirlemek için LDSS75 mesafe sensörü kurulumu yapılmıştır. Köprü ile su arası mesafe yaklaşık 3.5m olarak ölçülmüştür. LDDS75 sensörünün paket gönderimini sorunsuz bir şekilde gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 16. Yetimli Köyü Köprüsü LDD575 paket gönderimi
Figure 16. Yetimli Village Bridge LDD575 packet delivery

4. Sonuç

Dragino şirketinin ürettiği LoRaWAN teknolojisini kullanan DLOS8 ağ geçidi, LDD575 mesafe sensörü ve LHT65 sıcaklık ve nem sensörü bu çalışmada amaçlanan uygulamalarda kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Uygulamalar yangın ve sel felaketleri üzerine yapılmıştır. Ağ geçidi ve sensörlerin verimli bir iletişim sağlayabilmeleri için doğru konuşlandırılmaları gerektiği sonucuna varılmıştır. Örneğin, cihazların kullanım kılavuzlarında 10 km'den ölçüm yapabilecekleri yazılmaktadır. Eğer cihazlar doğru açılarda yerleştirilmezlerse 1 km'den bile iletişim kuramamaktadırlar. Yapılan testlerde veri aktarımında ağ geçidi ile sensörler arasındaki en kısa mesafe 1 m, en uzun mesafe ise 4.22 km olarak kayda geçmiştir. Elde edilen veriler Cayenne myDevices ara yüzü yardımıyla son kullanıcılara ulaştırılmıştır.

LoRaWAN teknolojisi gibi IoT için geliştirilmiş teknolojiler kullanılmak istenildiğinde projelere uygun teknolojiler kullanılmalıdır. İyi bir araştırma yapılmalıdır ve kullanılacak cihazlar bu doğrultuda temin edilmelidir. Yoğun ormanlık bölgeler veri iletişimini etkilemektedir. Özellikle harici anten kullanan cihazlar tercih edilmelidir. Bu çalışmanın bir sonraki aşamasında DLOS8 ağ geçidi ile uç düğümler arasındaki verimli iletişimi sağlamak adına bir DLOS8 ağ geçidi kulesi tasarlanıp analizleri yapılacaktır. Bu sayede ağ geçidi çok daha yüksek bir konuma yerleştirilip veri alışverişi daha verimli hale getirilecektir. Ayrıca LDD575 sensörünün daha verimli ölçüm yapabilmesi için bir sensör sabitleyici tasarımı yapılacaktır.

5. Kaynaklar

- Acquaviva, A., Grella, M., & Mirisola, D., 2018. Firmware update for 6LoWPAN networks of OMA-LwM2M IoT devices. PhD Thesis. USA.
- Anonim, 2021. Yangın Haberleri. TRT Haber. <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/adana-aladagda-2-gun-once-cikan-yangin-sonduruldu-598895.html>- (16.08.2022).
- Anonim, 2022. Haritalar. Google Maps. <https://www.google.com/maps/place/Alada%C4%9F,+Adana/@37.5234419,35.4008999,9192m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x15291ab6d312d23f:0x763a741d9b418db1!8m2!3d37.545348!4d35.394608!5m1!1e4> - (16.08.2022).
- Anonim, 2022. The Things Network. The Things Stack. <https://eu1.cloud.thethings.network/console/gateways/a84041ffff1f9892-> (16.08.2022).
- Anonim, 2022. Kullanıcı Arayüzü. Cayenne MyDevices. <https://cayenne.mydevices.com/cayenne/dashboard/lora/045b10d0-ddb8-11eb-8779-7d56e82df461-> (16.08.2022).

- Bor,M., ve Roedig,U., 2017. LoRa transmission parameter selection. International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems. 27-34.
- Büyükakkaşlar,M.T., 2018. LoRa ve LoRaWAN Teknolojilerinde Performans Analizi. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul.
- Citoni, B., Fioranelli, F., Imran, M. A. ve Abbasi, Q., 2019. Internet of things and LoRaWAN enabled future smart farming. IEEE Internet of Things Journal, 2(4), 14-19.
- Çeltek, S. A., Durgun, M., Gökrem, L., & Durgun, Y. (2017). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Yangın Alarm Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 66-72.
- Doğan,G., 2019. LoRaWAN Kablosuz İletişim Protokolünün İncelenmesi ve Bir IoT Uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği, Elazığ.
- El Fehri, C., Kassab, M., Abdellatif, S., Berthou, P. ve Belghith, A., 2018. LoRa technology MAC layer operations and Research issues. *Procedia computer science*, 130, 1096-1101.
- Gökrem, L. ve Bozuklu, M., (2016). Nesnelerin interneti: Yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki mevcut durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (13), 47-68.
- Haxhibeqiri, J., De Poorter, E., Moerman, I., & Hoebeke, J. (2018). A survey of LoRaWAN for IoT: From technology to application. *Sensors*, 18(11), 3995.
- Khutsoane, O., Isong, B., ve Abu-Mahfouz, A. M., 2017. IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN. In IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 6107-6112.
- Marisov, D. A., Zatsepin, A. Y., Marin, E. A., Terleev, A. V. ve Larionov, M. Y., 2019. Internet of Things in the oil and gas industry: LoRaWAN technology analysis & use cases. *PRoneft'Professional'no o nefti*, 2019, (02), 76-80.
- Michalski, A. ve Watral, Z., 2021. Problems of Powering End Devices in Wireless Networks of the Internet of Things. *Energies*, 14(9), 2417.
- Morande, A., Bansod, M., ve Nagne, K., 2021. Review Analysis Internet Of Things (IoT) Using LoRa Technology. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 3(3), 2582 – 5208.
- Özgüven İ., 2021. Yangın Haberleri. AA Haber. <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/adana-aladagdaki-orman-yangini-iki-ilceye-sicradi/2319619#-> (16.08.2022).
- San Cheong, P., Bergs, J., Hawinkel, C., ve Famaey, J. 2017. Comparison of LoRaWAN classes and their power consumption. In 2017 IEEE symposium on communications and vehicular technology. 1-6. Belgium.
- Sisinni, E., Ferrari, P., Carvalho, D. F., Rinaldi, S., Marco, P., Flammini, A. ve Depari, A., 2019. LoRaWAN range extender for Industrial IoT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(8), 5607-5616.
- Tankut,E., Çelikkaya,B., Yurdakoç,E., Sisalan,V. ve Catak,M., 2019. Akıllı Su Sayaçlarında Çift Yönlü LoRaWAN Protokolü ve IoT Uygulaması. *Journal of IntelligentSystems Theoryand Applications*, 2(3), 32-36.
- Yapar,G., 2019. LoRaWAN IoT Sistemi'nin Performansını İyileştirme. (Yüksek Lisans Tezi), Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul.