

## LoRa Modulation based Soccer Pitch Lighting System Application

Emre ERKAN<sup>1</sup>  Şehmus FİDAN<sup>1</sup>  Hidayet OĞRAŞ<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Batman University, Department of Electronic Communication Technology, 72100, Merkez/BATMAN

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, a communication system based on LoRa modulation is proposed to fast and economic lighting system for soccer pitches. In the proposed system, effective lighting system can be easily provided by the designed main control unit and LED projector control cards. In the application, LoRa modulated signal is transmitted wirelessly using 433 MHz frequency band.

### Article Info:

Research article  
Received: 03/12/2021  
Revision: 20/02/2022  
Accepted: 07/03/2022

### Highlights

LoRaWAN Network.  
Control of LED drivers.  
Design of circuit boards.

### Keywords

LoRa Modulation  
Technique  
Long Distance  
Communication  
Lighting of Soccer Pitch

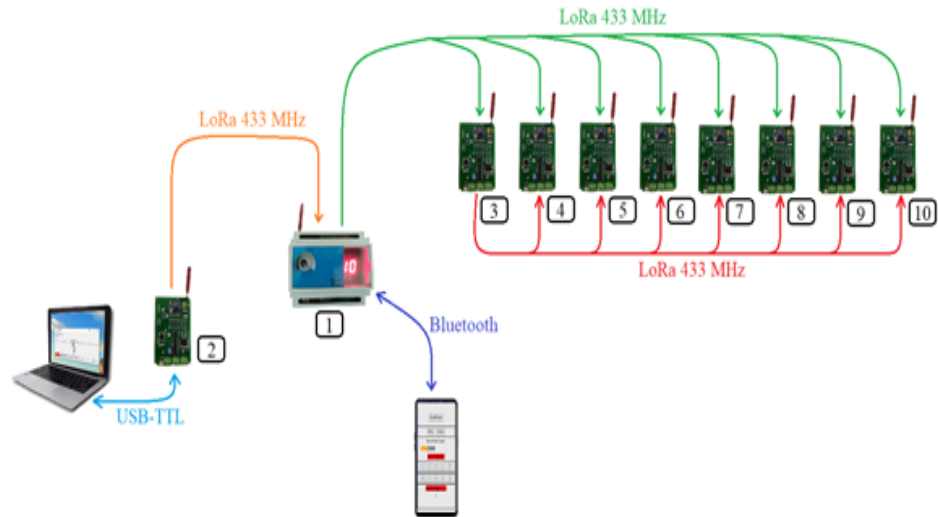


Figure A. Operating function of the proposed system

**Purpose:** The main purpose of the proposed system is to develop a fast, economical and easily applicable system for an efficient lighting operation in soccer pitches. The lack of the workload and having long-lasting equipment are other important advantages of this system compared to existing LED lighting systems in this field.

**Theory and Methods:** The proposed system includes low bit data rate with long distance communication application using LPWAN architecture. The LED projector board and the main control unit that play a major role in the operation of the system are developed and programmed to support the LoRa protocol.

**Results:** The developed LoRa based electronic systems have been applied in a soccer pitch in Diyarbakır. After the control tests, software and hardware problems have been solved and an effective equipment with a simple user interface emerged. The developed system has worked successfully for about 8 months without fail.

**Conclusion:** It is concluded that the developed system provides important advantages such as user-friendly, easy applicability and quick response. In addition, it has been observed that the developed system exhibits satisfactory performance at long distance communication.



## LoRa Modulation based Soccer Pitch Lighting System Application

Emre ERKAN<sup>1</sup> Şehmus FİDAN<sup>1</sup> Hidayet OĞRAŞ<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Batman University, Department of Electronic Communication Technology, 72100, Merkez/BATMAN

### Abstract

With the lightening of the soccer pitch, which is not a new implementation, new improvements are needed thanks to new technology. Especially, while the concept of internet of things is gaining more and more place in our lives day by day, it is inevitable to make the lighting equipment more technologic status in this context. In cases where the lighting level of the soccer pitch needs to be changed, control signals can be transmitted as cabled or wirelessly. However, using signal cable has some disadvantages for the control of LED driver that is used on the lighting projectors of soccer pitch. In case of controlling LED drivers used for lighting soccer pitch with signal cables, the importance of carrying safe and low-cost wireless signal comes along clearly if considered the cost of the cable, labor and the environment affected by the electrical noise. With this study, the application of an innovative communication technique based on LoRa (Long Range Radio) modulation has been developed. Thus, it is aimed to establish know-how about the LoRa-based equipment in our country. Developed LoRa-based equipment has been implemented in a stadium in Diyarbakır province. After field tests, software/hardware problems have been solved and user-friendly, ready-to-use product has emerged. The developed system has worked successfully for about 8 months without collapsing. In the study, it has been shown that the LoRa-based wireless communication system has advantages of low cost, easy-assembled and less maintenance.

### Makale Bilgisi

*Araştırma makalesi*  
*Başvuru: 03/12/2021*  
*Düzeltilme: 20/02/2022*  
*Kabul: 07/03/2022*

### Keywords

*LoRa Modulation*  
*Technique*  
*Long Distance*  
*Communication*  
*Lighting of Soccer Pitch*

### Anahtar Kelimeler

*LoRa modülasyon tekniği*  
*Uzun alan Haberleşmesi*  
*Futbol saha aydınlatması*

### LoRa Modülasyon tabanlı Saha Aydınlatma Sistemi Uygulaması

#### Öz

Futbol sahalarının aydınlatılması yeni bir uygulama olmamakla birlikte ilerleyen teknoloji sayesinde yeni geliştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle nesnelerin interneti kavramı gün geçtikçe hayatımızda daha fazla yer edinirken aydınlatma ekipmanlarının da bu kapsamda daha teknolojik bir hale getirilmesi kaçınılmazdır. Futbol sahasının aydınlatma seviyesinin değiştirilmesi gereken durumlarda kontrol sinyalleri kablolu veya kablosuz olarak iletilir. Ancak futbol sahası aydınlatma projektörlerinde kullanılan LED sürücülerin kontrolü için sinyal kablosu kullanılmasının önemli dezavantajları vardır. Saha aydınlatmasında kullanılan LED sürücülerin sinyal kablolarıyla kontrol edilmesi durumunda, kablo maliyeti, işçilik ve ortamdaki elektriksel gürültülerden etkilenmesi gibi problemleri olduğundan güvenli ve düşük maliyetli kablosuz sinyal taşınmanın önemi net olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışma ile LoRa (Long Range Radio) modülasyonunu temel alan yenilikçi bir haberleşme tekniğinin uygulaması geliştirilmiştir. Böylelikle ülkemizde geliştirilen donanımlar hakkında bilgi birikiminin oluşması hedeflenmiştir. Geliştirilen LoRa tabanlı donanımlar, Diyarbakır ilinde bir stadyuma uygulanmıştır. Saha testleri sonrasında yazılımsal/donanımsal eksiklikleri giderilmiş ve kullanıcı dostu, kullanıma hazır bir ürün ortaya çıkmıştır. Geliştirilen sistem fonksiyonunu kaybetmeden yaklaşık 8 ay boyunca başarılı bir şekilde çalışmıştır. Çalışmada LoRa tabanlı kablosuz haberleşme sisteminin düşük maliyetli, kolay montajlı ve az bakım gerektirmesi gibi avantajlara sahip olduğu gösterilmiştir.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde nesnelerin interneti uygulamaları oldukça popüler hale gelmiştir. Nesnelerin interneti uygulamaları ile hayatımızda bulunan birçok nesnenin birbiriyle haberleşmesi ve gerektiğinde internete açılarak insanların hayatını kolaylaştırması hedeflenir. Nesnelerin interneti günümüzde akıllı ev, enerji ölçüm, güvenlik, akıllı şehir, inşaat, kamu sektörü, sağlık, tarım, hayvan takibi, taşımacılık, kargo, denizcilik, çevre gibi birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır [1]. Nesnelerin interneti uygulamaları Bluetooth, Zig-bee, Wi-Fi, NFC, LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) gibi birçok haberleşme protokolünü kullanmaktadır. Bu haberleşme protokolleri içinde uzak alan haberleşmesi uygulamaları için kullanılan LoRaWAN protokolünün popülerliği gün geçtikçe artmaktadır [2].

LoRa, küçük veri parçalarının düşük bit hızlarıyla iletiildiği uygulamalar için son derece ideal bir yöntemdir. Veriler, Wi-Fi veya Bluetooth gibi teknolojilere kıyasla çok daha uzun mesafelere iletilebilir. Bu özellikler, LoRa' yı düşük güç modunda çalışan sensörler ve aktüatörler için çok uygun hale getirir. LoRa, 1 GHz frekans bandının altında çalışır ve dağıtıldığı bölgeye bağlı olarak 433 MHz, 868 MHz veya 915 MHz radyo bantlarını kullanır [3].

LoRa, CSS (Chirp Spread Spectrum) modülasyon tekniğine dayalı kablosuz bir haberleşme teknolojisidir [4]. Bu teknikte iletilecek olan veriler, radyo dalgaları ile kodlanır. LoRa modülasyonu düşük güç iletişimde bile çok yollu zayıflama, kanal gürültüsü ve sinyal bozulmalarına karşı dayanıklıdır. Bu özelliği sayesinde, çok uzak mesafelerde bile sağlıklı iletişim gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda, LoRa modülasyonu diğer kablosuz veri iletim teknolojilerine göre daha düşük bant genişliğine ihtiyaç duyduğu için daha uzun mesafelerde iletişim mümkün olmaktadır [5]. LoRa modülasyonunu temel alan LoRaWAN ağ teknolojisi ise merkez sunucu ve uç cihazlar arasında yıldız topolojisini kullanarak mesajlarının iletildiği geniş ağ yapısına verilen addır. Bu mimaride kullanılan ağ geçitleri, RF bilgi paketini IP paketine dönüştüren bir köprü olarak görev üstlenmekte ve IP bağlantısı ile merkez sunucu arasında bağlantı kurmaktadır [6].

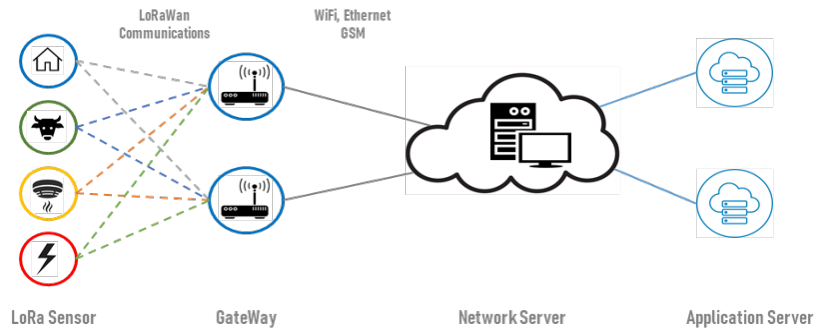
Yeni bir iletişim teknolojisi olarak kabul edilebilen LoRaWAN ağ yapısı, uzun iletim mesafeleri ve düşük güç tüketimi gibi özellikleri nedeniyle son zamanlarda daha popüler hale gelmiş ve birçok farklı alanda da kullanılmıştır. Sanchez vd. hafif tekneler ve yelkenliler için LoRa teknolojisine dayalı izleme sistemi tasarlamışlardır. Böylece düşük güç tüketimi ve bağlantı güvenilirliğe sahip oldukça gelecek vadeden sonuçlar elde ettiklerini vurgulamışlardır [7]. Bir başka çalışmada, LoRaWAN tabanlı hava kalitesi ve parçacık madde ölçülmesine yönelik uygulama gerçekleştirilmiştir [8]. Johnston vd. güç açısından verimli ve yüksek düzeyde ölçeklenebilir LoRa tabanlı bir IoT tarım sistemi tasarlamıştır [9]. Yaptıkları çalışmada sensör düğümlerinden elde ettikleri verileri uzun mesafeler boyunca LoraWan kullanarak bulut sunucuya aktarmışlardır. Catherwood vd. sağlık alanına yönelik yaptıkları çalışmada uzun mesafelerde (1.1-6 Km) idrar yolu enfeksiyonu tanısı için LoRa teknolojisini kullanmışlar [10]. Bir diğer çalışmada, LoRaWAN teknolojisi, 4G/5G mobil ağlarla sorunsuz bir şekilde entegre edilerek mobil ağ operatörlerinin mevcut altyapılarını yeniden kullanmalarına olanak tanıyan bir çözüm önerilmiştir [11]. Sonuç olarak bu çalışmalarla birlikte LoRaWAN teknolojisinin farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilirliği öne çıkmış ve mesafe ve yüksek enerji tüketim gibi dezavantajları olan mevcut sistemlere alternatif bir çözüm sunulmuştur.

Birçok spor müsabakasının gerçekleştirildiği statlar, bir kenardan diğer kenara uzun sayılabilecek mesafelere sahiptir. Bu anlamda, saha aydınlatma sistemlerinin ışık seviyesi kontrol edilmek istendiğinde uzun mesafelerde haberleşebilen LoRa tabanlı çözüm uygun görünmektedir. Bu sebeple LoRa modülasyonunu temel alan uzun alan haberleşmesi kullanılarak kablosuz olarak bir futbol sahasının ışıklarının kontrolünü gerçekleştirmeye yönelik bir uygulama yapılmıştır. Saha aydınlatılması için kullanılan 8 adet direktte bulunan projektörler (4 direktte 8'er, 4 direktte 5'er adet) LoRa modülasyon tabanlı geliştirilen ana kontrol ünitesi ve LED projektör kontrol kartları ile kontrol edilmiştir. Uygulamanın başarısı ve etkinliği her aşamada tatmin edici bir seviyededir.

## 2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. LoRaWAN Ağ Protokolü (LoRaWAN Network Protocol)

LoRaWAN, LoRa modülasyon tekniği üzerine kurulmuş, düşük güçlü geniş alanlı bir ağ protokolüdür. Düşük güçlü cihazların uzun mesafeli kablosuz bağlantılar üzerinden internet bağlantılı uygulamalarla iletişim kurmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Bu protokol temel yapı olarak cihazları kablosuz olarak internete bağlar ve uç düğüm (end-node) cihazları ile ağ geçitleri (gateway) arasındaki iletişimi yönetir. LoRaWAN'ın çok düşük güç tüketimine sahip olması, ekonomik, uzun mesafeli ve çift yönlü iletişimi desteklemesi bu sistemleri endüstriyel alanlarda kullanımını arttırmaktadır. Bu mimari yapı Şekil 1'de gösterilmiştir [22].



**Şekil 1.** LoRaWAN ağ mimarisi

Ağ geçitleri, standart IP bağlantıları aracılığıyla ağ sunucusuna bağlanır ve şeffaf bir köprü görevi görerek RF paketlerini IP paketlerine dönüştürür veya bunun tam tersini gerçekleştirir. Kısaca burada ağ geçitleri, sunucu ile uç cihazlar arasında çift yönlü bilgi transferi sağlar. Uç cihazlar ise yakındaki ağ geçitleriyle iletişim kurar ve tüm ağ geçitleri bir ağ sunucusuna bağlanır. LoRaWAN ağları, veri iletimi için çoklu erişim protokolü kullanır bu nedenle uç cihazların belirli ağ geçitleriyle eşleşmesine gerek yoktur. Uç cihazlardan gönderilen mesajlar, iletim kanalının boş olup olmadığına bakmadan etkili mesafe içindeki tüm ağ geçitlerinden geçerek bilgi iletişimi gerçekleşir. LoRaWAN üzerinde herhangi bir uç cihaz, ağa iki şekilde bağlanabilir: Uzaktan aktivasyon ile bir ağ anahtarı ve bir uygulama oturumunun oluşturulmasıyla veya kişisel etkinleştirmeye sağlanan basit bağlantı ile ağa eklenebilir. Bir LoRaWAN uç cihazı, genellikle pil ile çalışan bir sensör veya bir aktüatör olabilir. Sensörler, fiziksel bir hareketi veya durumu elektriksel sinyale dönüştürürken; aktüatörler ise elektriksel bir sinyalin mekanik bir duruma dönüştürülmesinden sorumludur. Dolayısıyla genellikle biri diğerini yönlendirir ve farklı sistemlerin kontrolünü gerçekleştirmek için sıklıkla beraber çalışırlar [13].

### 2.2. Düşük Güç Geniş Alan Ağı (Low Power Wide Area Network)

Düşük güçlü geniş alan ağı olarak adlandırılan LPWAN, sisteme bağlı cihazların düşük bit hızında uzun mesafeli iletişim yeteneklerine sahip olmasını sağlayan bir tür kablosuz telekomünikasyon ağıdır [14]. LPWAN yapısına sahip ağlar genellikle akıllı şehirlerde ve endüstriyel nesnelerin interneti dağıtımlarında izleme ve kontrol amaçlı kullanılır. LPWAN teknolojisinin aksine bilinen kablosuz haberleşme teknolojilerini kullanan geniş ağlarda, çok daha fazla veri taşınır ancak bu durumda daha fazla güç gereksinimi ortaya çıkar. LPWAN teknolojisi ise 15 km ye kadar bir çalışma aralığına sahiptir [7] ve nispeten basit ve kolay bir protokol olmasından dolayı geliştirilen cihazlar ve donanımlar daha ucuz olmaktadır. Düşük depolama seviyelerine sahip pillerle bile çalışabilen alıcı ve verici sistemler çok daha az güç kullanır ve yıllarca çalışmalarını sürdürebilirler.

LPWAN haberleşme ağına veri hızı, kullanılan bant genişliğine ve yayılma faktörüne (spreading factor, SF) bağlıdır. Bölgeye veya frekans planına bağlı olarak 125 Khz, 250 Khz veya 500 Khz bant genişliğine sahip kanalları kullanabilir [7]. Yayılma faktörü uç cihaz tarafından seçilir ve bir çerçeve bilgisinin

iletilmesi için geçen süreyi etkiler. CSS tekniği, farklı hızlarda yukarı veya aşağı hareket eden bir frekansa sahip ve chirp olarak adlandırılan sinyaller kullanır. Yayılma faktörü ise yayılım hızını belirler. Yüksek bir yayılma faktörü, büyük güç tüketimi ile birlikte yüksek radyo yayılımı ve penetrasyon demektir. Kısaca yayılma faktörü ne kadar büyük olursa, iletişim aralığı artar ve sinyal RF alıcısı tarafından hatasız olarak alınabilir ancak bununla birlikte enerji tüketimi artar ve veri hızı düşer. Diğer taraftan daha küçük yayılma faktörü ise aynı bant genişliği ve zamanda daha fazla veri iletimi demektir. Yayılma faktörü Denklem 1’de tanımlanmaktadır [15].

$$SF = \log_2(R_c/R_s) \quad (1)$$

Burada  $R_c$  ve  $R_s$  sırasıyla chirp ve sembol oranını gösterir. SF, sembol başına chirp sayısını belirtir ve 7 ile 12 arasında değişir. LoRa için veri hızı parametresi ise Denklem 2’deki gibi hesaplanır.

$$R_b = SF \times (BW/2^{SF}) \times CR \quad (2)$$

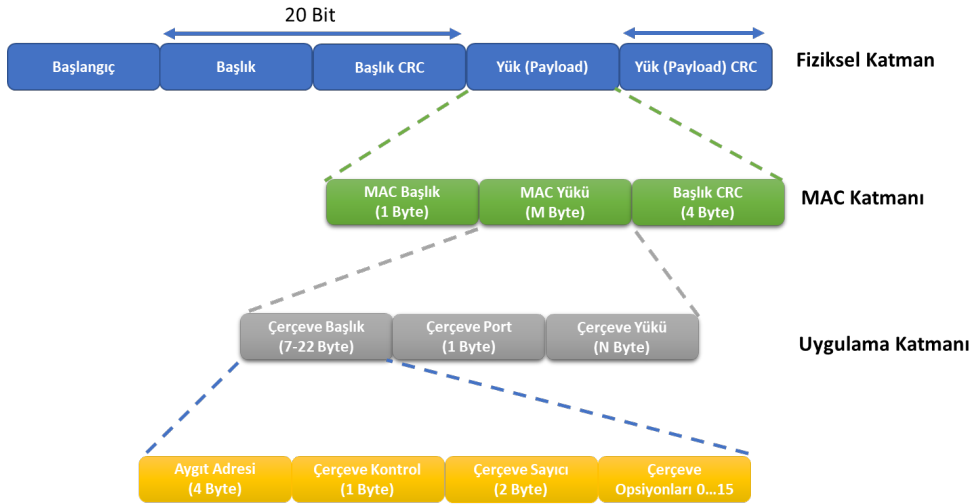
Denklem 2’de CR (Code Rate), kod oranını gösterir. CR, iletilen pakete dâhil edilen ekstra bilgi miktarını belirler. Bu ekstra bilgi, paketin kısmen bozuk olarak alınması durumunda alınan verileri yeniden yapılandırmak için kullanılır [7]. BW ise Bant genişliğini ifade eder ve 125, 250 veya 500 KHz olmak üzere bu üç değerden birini alabilir [15]. Fiziksel katman parametrelerinin ayarlanmasına bağlı olarak, veri aktarım hızı 0,3 Kbps ile 50 Kbps arasında değişir. Örneğin, BW=250 KHz; SF=8 ve CR=4/5 değerleri için veri hızı 6.25 Kbps olacaktır. Sonuçta, bu değerler LoRa modülasyonunu ve demodülasyonunu etkilediğinden başarılı bir iletişim için bu parametrelerin verici ve alıcı arasında uyumlu olması gerekir.

### 2.3. LoRaWAN Protokolü (LoRaWAN Protocol)

LoRa teknik çalışma birliği (LoRa Alliance) LoRa ağları için fiziksel veri yolu standartlarını belirlemektedirler [5]. Bu kapsamda Şekil 2’de gösterilen paket yapısını oluşturmuşlardır. Bu paket detaylı bir şekilde ele alınacak olursa; Fiziksel katmanda, LoRa haberleşmesi bir başlangıç sinyali (preamble) ile başlar. Başlangıç sinyalinin üretildiği kısımda senkronizasyon fonksiyonu dışında paketin modülasyon şeması tanımlanır. Başlık kısmında başlık ve CRC (Cyclic Redundancy Check), 20-bit uzunluğundadır ve en güvenilir kodlama hızıyla kodlanmıştır. Çerçevenin geri kalanı başlıkta belirtilen kodlama hızıyla kodlanır. Fiziksel katmanda yük ve yüke ilişkin CRC (16-bit) hesaplanmaktadır. Lora ağlarında sadece yukarı bağlantı (up-link) çerçevesi yük CRC sini içerir ayrıca fiziksel katmanda yük (payload) MAC (Medium Access Control) çerçevesine ilişkin bilgileri de içermektedir.

MAC katmanını oluşturan paketler, bir MAC başlığı (1 Byte), MAC yükü (M Byte) ve mesaj bütünlük kodundan (MIC-4 Byte) oluşur. MAC başlığı, protokol versiyonunu ve mesaj tipini, yani bunun bir veri mi yoksa bir yönetim çerçevesi mi olduğunu, yukarı bağlantıda mı yoksa aşağı bağlantıda mı iletildiğini, onaylanıp onaylanmayacağını tanımlar. MAC başlığı, bunun satıcıya özel bir mesaj olup/olmayacağını ayarlanabildiği bir niteliktedir. MAC başlığı ve MAC yükü bölümünün tamamı, bir ağ oturum anahtarı ile MIC (Minimum Inhibitory Concentration) değerini hesaplamak için kullanılır. Bu noktada MIC değeri, mesajların sahteliğini önlemek ve son düğümün kimliğini doğrulamak için kullanılır [16]. Uygulama katmanında, MAC yükü çerçeve başlığı, çerçeve portu ve çerçeve yükünden oluşur. Çerçeve yükü ise bir AES-128 algoritmasına dayanan uygulama oturum anahtarıyla şifrelenir.

Şekil 2’de aygıt adresi (4 Byte) iki bölümden oluşmaktadır. İlk kısım 8 bit ağı tanımlar, diğer bitler ise ağa katılma sırasında dinamik olarak atanır ve bir ağdaki cihazı tanımlar. Çerçeve kontrolü kısmında (1 Byte), yukarı bağlantı iletimi için ağ geçidi tarafından belirtilen veri hızının kullanılıp kullanılmayacağı, gelen mesajın alınma onayı, ağ geçidinin daha fazla veriye sahip olup olmadığı gibi kontroller gerçekleştirilir. Çerçeve sayıcısı, temel olarak gelen veri paketine ait çerçeve adedini sayar. Çerçeve opsiyonları kısmında ise veri hızı, iletim gücü ve bağlantı doğrulaması gibi seçenekler ayarlanabilir [15].



Şekil 2. LoRaWAN paket yapısı

### 3. SAHA AYDINLATMA UYGULAMASI (SOCCER PITCH LIGHTING APPLICATION)

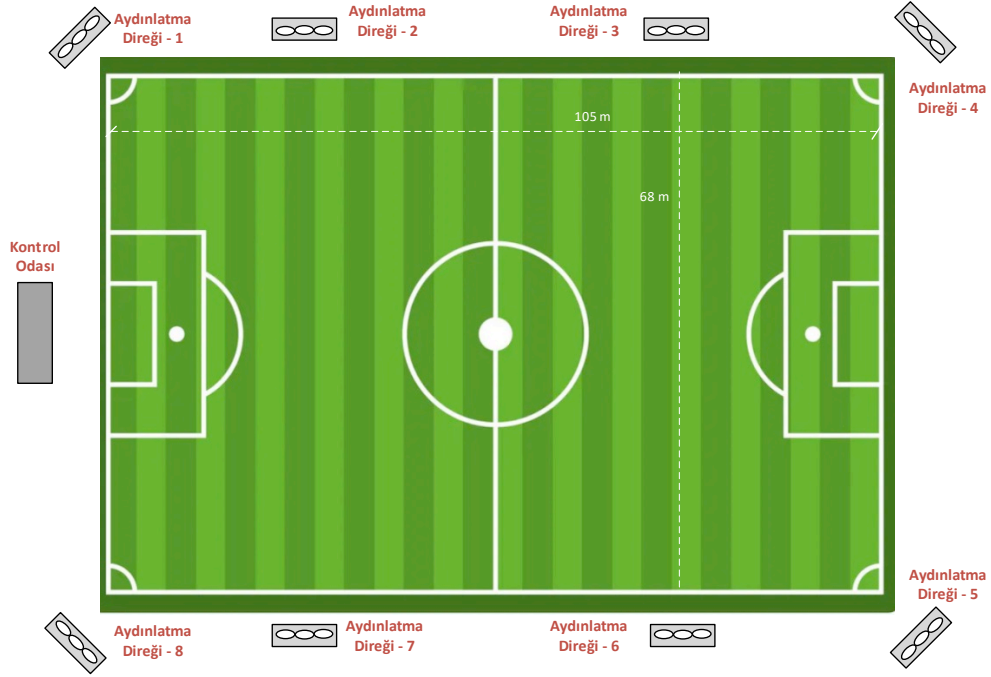
#### 3.1. Uygulama Sahası (Application Pitch)

Geliştirilen LoRa haberleşme uygulaması Diyarbakır ilinde bulunan Vali A. Cemil Serhatlı tesisine ait bir futbol sahasına uygulanmıştır. Bu tesiste bulunan sahaya ilişkin köşe gönderi görünümü Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Futbol sahası köşe gönderi görünümü

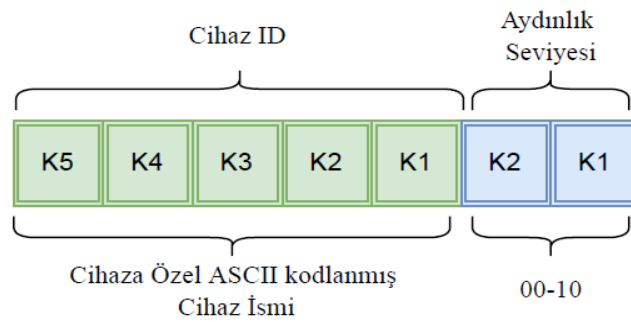
Uygulamanın yapıldığı saha (105x68m), aydınlatma kuleleri ve kontrol odasının yerleşimi temsili olarak Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4’den anlaşılacağı üzere sahada 8 adet 20 metre uzunluğunda aydınlatma kulesi ve üstten bakıldığında sol tarafa yerleştirilmiş kontrol odası bulunmaktadır. Kaleye yakın aydınlatma kulelerinde (Kule 1-4-5-8), 200 Watt gücünde 8 adet LED aydınlatma projektörü, orta çizgiye yakın kulelerde (4 adet) ise 200 Watt gücünde 6 adet aydınlatma projektörü bulunmaktadır. Bu futbol sahasında projektör aydınlatma sürücüsü olarak Moso x6 sürücüler kullanılmıştır. 240 Watt bir güç değerine sahip olan bu sürücüler 90~305 VAC giriş gerilimlerinde çalışabilen, 0-10 V veya darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM) ile ışık şiddetinin ayarlanabildiği sürücülerdir [17].



Şekil 4. Saha aydınlatma direği yerleşim planı

### 3.2. Önerilen sistemin Yapısı ve Geliştirilen Devreler (Structure of Recommended System and Development of Boards)

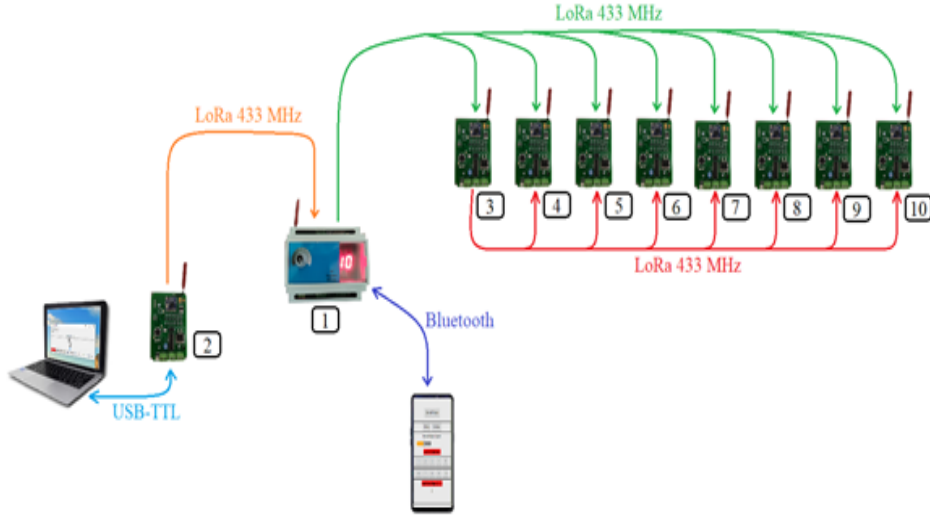
LED projektör kontrol kartı, ana kontrol ünitesinden LoRa protokolü kullanarak aldığı sinyaller ile LED projektör sürücülerinin kontrolü için gerekli olan 0-10V aralığında gerilim üreten bir yapıya sahiptir. Ana kontrol ünitesinin gönderdiği veri paketinin yapısı Şekil 5'de görüleceği üzere beşi cihaz ID 'sini, ikisi sistemin aydınlık seviyesini içeren toplam 7 karakterden oluşmaktadır. Ana kontrol ünitesi, oluşturulan veri paketini LoRa modülasyonu ile ortama göndermektedir. Ortama gönderilen sinyal, LED projektör kontrol kartları ile ayrıştırılarak, LED projektör sürücülerinin kontrolü için gerekli olan 0-10V arasında istenen gerilimi üretmektedir.



Şekil 5. Gönderilen veri paketinin yapısı

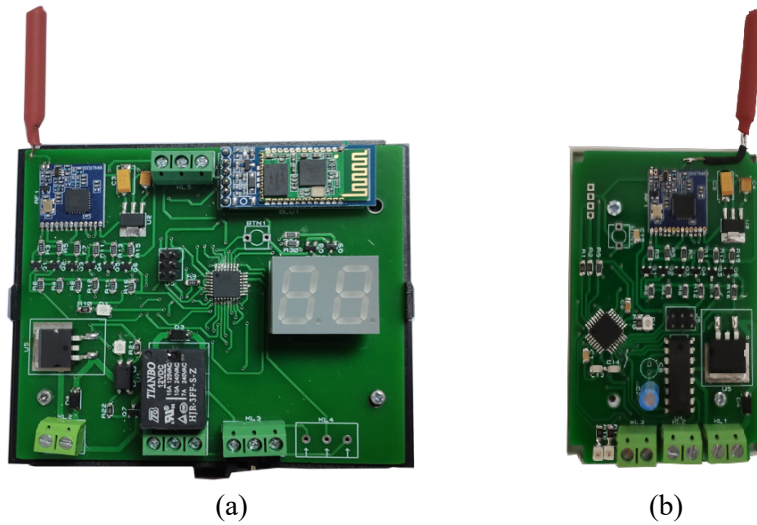
Aydınlatma seviyesi, PC, mobil telefonlar (Bluetooth ile) veya kutu üzerine yerleştirilen bir potansiyometre aracılığı ile değiştirilebilmektedir. Ana kontrol ünitesi açık bir ortamda pano içine konumlandırılmıştır ancak referans sinyalini üreten PC kapalı bir ortamda bulunmaktadır. İlk başta PC-Ana kontrol ünitesi arası kablolu bir iletişim düşünülmüş ancak yaklaşık 30 metrelik mesafeden dolayı bu çözüm uygulanamamıştır. Bu sebeple PC'den alınan referans sinyalinin panoya gönderilebilmesi için Şekil 6'da gösterilen 2 etiketine sahip cihaz sinyal tekrarlayıcı olarak kullanılmış ve böylece bina içi haberleşme problemi de geliştirilen kart sayesinde çözülmüştür.

Uygulama sırasında karşılaşılan diğer bir problemde, pano içinde 3 metre yükseklikte bulunan ana kontrol ünitesinin referans verileri, sahanın diğer tarafında bulunan 20 metre yükseklikteki aydınlatma direklerine transferinde kesintilerin oluşmasıdır. Bu kesintilerin sebebi sahanın LED projektör kontrol kartlarına takılmış olan mini antenlerdendir. Bu problemi aşmak için ana kontrol ünitesi referans sinyalini, sorunsuz şekilde alabilen, 8 numaralı aydınlatma kulesi üzerine yerleştirilmiş 3 etiket numarasına sahip cihaz, uygun sinyali aldığı anda aynı sinyali tekrar ortama gönderir. Aydınlatma seviyesi ayarlama görevine ek olarak sinyal kuvvetlendirici özelliği eklenen 3 numaralı alıcı cihazın yarı çift yönlü (half-duplex) haberleşme yapısı sayesinde diğer alıcı cihazlar da (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) sorunsuz şekilde kontrol edilebilmiştir. Bu sayede kesinti problemleri net olarak çözülmüştür.



Şekil 6. Sistemin çalışma diyagramı

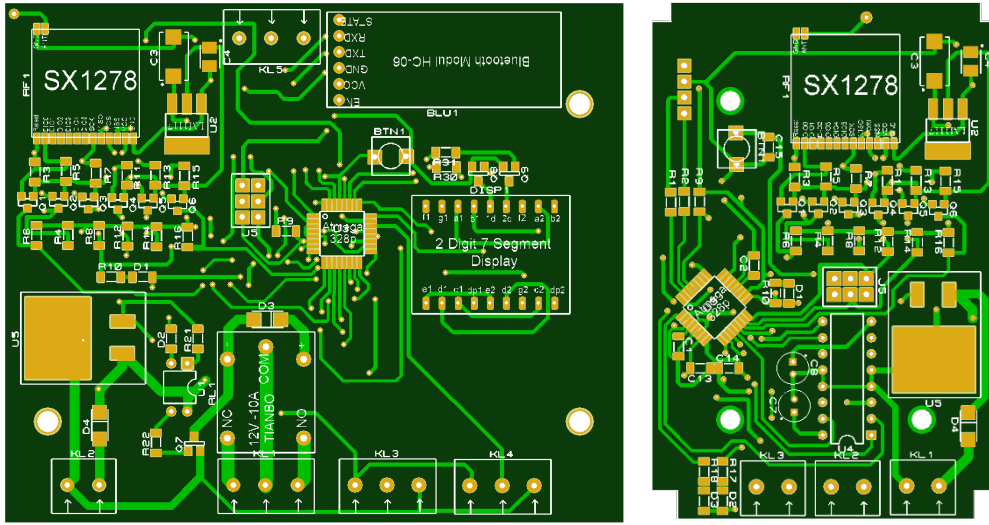
Şekil 7’de geliştirilen ana kontrol ünitesi (a) ve LED projektör kontrol kartı (b) devreleri gösterilmektedir. Geliştirilen kartlarda 8-bitlik Atmega328p mikrodeneleyici bulunmaktadır. Bu mikrodeneleyici 23 adet dijital genel amaçlı giriş/çıkış (GPIO), 6 adet 10-bit analog/dijital dönüştürücü (ADC), programlanabilir seri USART, SPI iletişim desteği, I<sup>2</sup>C iletişim desteği, 20 MHz’ e kadar çalışma hızı, 32 KB flash bellek, 1 KB EEPROM ve 2 KB dahili statik RAM bulunmaktadır [18].



Şekil 7. Devre kartları a) Ana kontrol ünitesi b) LED projektör kontrol kartı

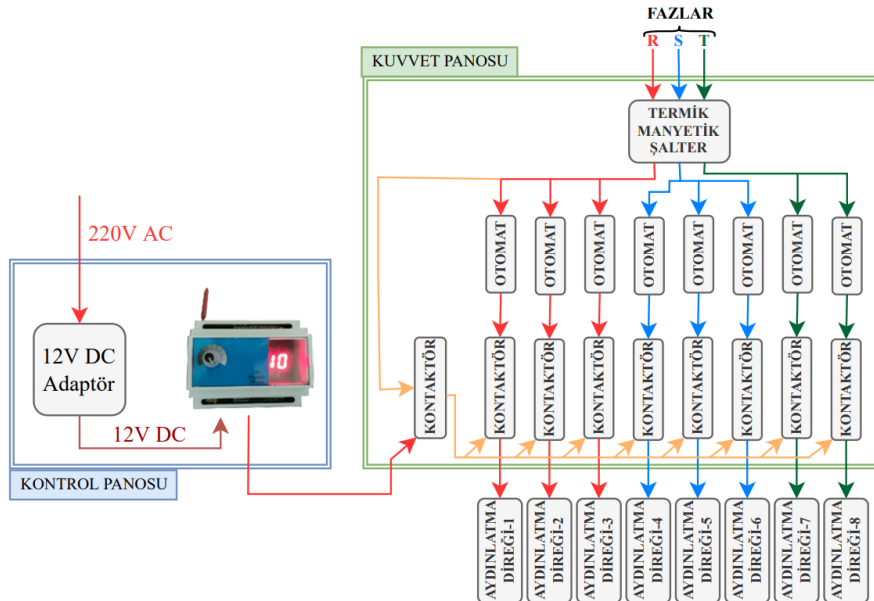


Geliştirme aşamasında LoRa haberleşme için yarı çift yönlü haberleşme yapısına sahip Semtech firmasının ürettiği LoRa SX1278 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre sayesinde anten özelliklerine bağlı olarak 3000 metre uzaklığa kadar kablosuz haberleşme mümkün olmaktadır [19]. Bu entegre fabrika çıkışında 433 MHz frekansına ayarlanmış olmakla birlikte 410-441 MHz aralığında istenilen frekansta kullanmak mümkündür. Haberleşmenin sağlıklı bir şekilde olması için alıcı ve vericilerin aynı frekansta çalışması gerekmektedir. Fabrika çıkışı olarak iletilen veriler şifrelenmediği için aynı frekanstaki herhangi bir alıcı tarafından okunabilir [20]. Ancak hangi veri paketinin hangi alıcıya iletileceğini belirlemek için iletilen veri paketi içine adres bilgileri de eklenmiştir. Ana kontrol ünitesine devresine eklenen HC-06 Bluetooth modülü ile sistemin cep telefonu ile kontrolü sağlanmaktadır. HC-06 Bluetooth modülü, Şekil 7’de verilen ana kontrol ünitesinin sağ üst tarafında konumlandırılmıştır.



Şekil 8. Ana kontrol ünitesi ve LED projektör kontrol kartı PCB görünümü

Şekil 8’de sırasıyla, ana kontrol ünitesi ve LED projektör kartlarına ait baskı devre görüntüleri verilmiştir. Kartların tasarımı sırasında elektromanyetik girişimleri minimuma indirecek şekilde bir tasarım dikkate alınmıştır. Ayrıca kart boyutlarının IP 65 sınıfına sahip bir kutu içine sığacak ebatlarda olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 9. Aydınlatma direkleri güç şeması

LED aydınlatma projektörleri şebekeye güç kontaktörleri aracılığı ile bağlıdır. Geliştirilen devreler sahaya uygulanmadan önce kontaktörler manuel olarak aç/kapa şeklinde kontrol edilmekteydi ancak geliştirme sırasında aydınlatma seviyesi 0 değerine indirildiğinde bir röle ile sürülen kontaktörün pasif durumu geçmesi sağlanmıştır. Bu sayede bekleme durumlarında (stand-by) enerji tasarrufu sağlanmış ve gerilim salınımlarına karşı ekipman güvenliği artırılmıştır. Şekil 9’da aydınlatma direklerine ilişkin güç şeması ve ana kontrol panosu verilmiştir.

### 3.3. Aydınlatma Referansı Üretimi Yöntemleri (Lighting Reference Production Methods)

Saha çalışmalarında, dış ortamda bir pano içine yerleştirilmiş olan ana aydınlatma kontrol sisteminin kontrolü için talepler doğrultusunda 3 alternatif geliştirilmiştir. Öncelikle saha personelinin oldukça basit bir aydınlatma kontrolü sağlayabilmesi için Şekil 10’da ana kontrol ünitesi kutusu üstünde bulunan potansiyometre kullanılmıştır. Bu potansiyometre sayesinde aydınlatma şiddeti 0-10 kademesi arasında kontrol edilebilmektedir. Ayrıca tasarımı yapılan devreye aydınlatma şiddetinin kademesini göstermek üzere 2 dijit 7 segment gösterge eklenmiştir.



Şekil 10. Ana kontrol ünitesinin potansiyometre ile kontrol edilmesi

İkinci aydınlatma seviyesi kontrol yönteminde, maç müsabakaları sırasında personelin panoya erişiminde zaman kaybı oluşacağı düşünülerek mobil bir uygulama geliştirilmiştir. Mobil uygulamanın, bir telefon üzerinden ana kontrol ünitesiyle haberleşmesi için Bluetooth modülü kullanılmış ve yaklaşık 40 metreye kadar kablosuz bağlantı sağlanabilmektedir. Böylece kısa mesafelerde düşük güç tüketimli, düşük maliyetli kablosuz haberleşme mümkün olmaktadır [21]. Şekil 11’de Mit App Inventor uygulaması ile geliştirilen Android uygulamasının görünümü verilmiştir. Bu uygulamada aydınlatma sistemini besleyen kontaktörleri aç/kapa yapan rölenin kontrolü, kayar kontrolör (slider) ve ışık şiddetinin ayarlanabileceği 10 kademeli tuş takımı yerleştirilmiştir.



Şekil 11. Android işletim sistemi için geliştirilmiş Bluetooth uygulaması

Üçüncü kontrol yöntemi ise saha yönetmelikleri dikkate alınarak, kapalı bir yönetim odasında bulunan PC üzerinden kontrol sağlanmıştır. Sistemi kontrol edebilmek için, Python programlama dili ile geliştirilen uygulama Şekil 12’de gösterilmiştir. Bu uygulama temel olarak Şekil 11’de verilen Android uygulaması ile benzer fonksiyonlar içermektedir. PC için geliştirilen yazılım, 2 numaralı etikete sahip sinyal kuvvetlendirici cihaza USB-TTL dönüştürücü ile bağlanabilmektedir. Verici cihaz LoRa modülasyon tabanlı bir yapıya sahip olmasından aldığı referans sinyalini kontrol panosunda bulunan ana kontrol ünitesine aktarabilmektedir.



Şekil 12. Python programlama dili ile geliştirilmiş yazılım görünümü

### 3.4. Mevcut Sistem ve Tasarlanan Sistemin Maliyet Karşılaştırması (Cost Comparison Between Current and Developed Systems)

Saha aydınlatma projektörlerinde kullanılan LED sürücülerin kontrol edilebilmesi için kablolu bir sistem kurmanın önemli dezavantajları vardır. Kablolu sistemin montaj süreci, önerilen LoRa modülasyon tabanlı sisteme göre daha uzun ve zahmetlidir. Ayrıca kablolu sistem, işçilik ve malzeme maliyeti bakımından daha yüksektir. Tablo 1’de görüleceği üzere kablolu sistemin maliyeti 18.897,30 TL’dir. Mevcut sistem incelendiğinde en önemli maliyetlerden birinin 860 m uzunlukta kablunun olduğu görülmektedir. Kablo yapıldığında uzun metrajlarda gerilim düşümü olacağı değerlendirilmektedir. Bu durumda kaliteli ve kaliteli bir kablo kullanmak, maliyeti arttırmakla birlikte kablo üzerinde oluşacak parazitlerin tam olarak engellenemeyeceği ortadadır. Hem kablo maliyeti hem de kablo zahmeti açısından değerlendirildiğinde kablolu sinyal taşımanın önemi net olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1. Mevcut sistemin maliyeti

Sıra No	Malzeme Adı	Özellik	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)
1	Sinyal Seviye Dönüştürücü	(48V-10V)	8	Adet	110,00	880,00
2	Sinyal Seviye Dönüştürücü	(10V-48V)	8	Adet	110,00	880,00
3	Elektrik Altyapısı İçin Koruge Boru	75 mm çapında	280	Metre	7,92	2.217,60
4	LIYCY Blendajlı Sinyal ve Kontrol Kablosu	2x0,75 mm2 kesitli	860	Metre	7,12	6.123,20
5	Opak Kapaklı, Sıva Üstü Polyester Elektrik Panosu	60x50x23cm,	1	Adet	796,50	796,50
6	Kontrol Cihazı	16 PWM Çıkışlı	1	Adet	4.000,00	4.000,00
7	İşçilik	Boruları döşemesi ve kablolama	1	Adet	4.000,00	4.000,00
<b>TOPLAM MALİYET</b>						<b>₺18.897,30</b>

Tablo 2’de önerilen sistemin maliyeti (10.800,00 TL) görülmektedir. Önerilen sistem, kablolu sistem ile kıyaslanacak olursa maliyet olarak yaklaşık %43 daha uygundur. Kablo yapıldığında borulama gibi maliyet kalemleri olmadığı için ekstra maliyet söz konusu olmayacaktır.

Tablo 2. Önerilen sistemin maliyeti

Sıra No	Malzeme Adı	Özellik	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)
1	LoRa Modülasyon Tabanlı LED projektör kontrol kartı	2 PWM Çıkışlı	8	Adet	550,00	4.800,00
2	LoRa Modülasyon Tabanlı Ana Kontrol Ünitesi	3 Alternatifli Kontrol Modu	1	Adet	4.000,00	4.000,00
3	İşçilik	Montaj	1	Adet	2.000,00	2.000,00
<b>TOPLAM MALİYET</b>						<b>₺10.800,00</b>

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Futbol müsabakalarında saha aydınlatması uzun yıllardır süregelen bir uygulamadır. Bununla birlikte nesnelerin interneti kavramı hayatımıza girdiğinden beri futbol sahalarının da bu kapsamda yeniden değerlendirilmesi kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Bu makalede bir futbol sahasının aydınlatılması için nesnelerin interneti içinde önemli bir yeri bulunan uzak alan haberleşme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bir futbol sahasının etrafı boyunca aydınlatma direklerine yerleştirilmiş LED projektörlerin sürücüler üzerinden kontrol edilmesi sahada daha ekonomik bir aydınlatma sağlamaktadır. Bu durumda projektörlerin enerji hattı kablosu ve referans kontrol sinyallerinin iletim kablosu ayrı ayrı çekilmelidir. Sinyal kablosunun ayrı çekilmesi parazitlerden etkilenme, maliyet, kablolama zahmeti ve bakım zorluğu gibi çeşitli problemlere sebep olmaktadır. Belirtilen problemleri çözmek için bu çalışmada LoRa modülasyonu tabanlı bir aydınlatma kontrol sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem Diyarbakır ilinde bulunan Vali A. Cemil Serhatlı tesisine ait futbol sahasına uygulanmıştır. Geliştirilen sistemin kullanıcı dostu, pratik, hızlıca devreye alınabilme gibi avantajlar sağladığı ayrıca uzun mesafelerde sonuçların başarılı olduğu görülmüştür. Sonraki çalışmalarda geliştirilen sisteme bir ağ geçidi eklenerek uzaktan kontrolü ve aktarılan verilerin şifrelenmesi gibi çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gündüz, Muhammed Zekeriya, D. A. Ş. Resul. (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24, 327-335.
- [2] Rizzi, M., Ferrari, P., Flammini, A., Sisinni, E. (2017). Evaluation of the IoT LoRaWAN solution for distributed measurement applications, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 66, 3340-3349.
- [3] El Chall, R., Lahoud, S., El Helou, M. (2019). LoRaWAN network: Radio propagation models and performance evaluation in various environments in Lebanon, IEEE Internet of Things Journal, 6, 2366-2378.
- [4] Guillaume, F., Audrey, G. (2018). Lora physical layer principle and performance analysis, 25th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS). IEEE, 65-68.
- [5] Aras, E., Ramachandran, G. S., Lawrence, P., Hughes, D. (2017). Exploring the security vulnerabilities of LoRa, 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCONF), 1-6.
- [6] De Carvalho Silva, J., Rodrigues, J. J., Alberti, A. M., Solic, P., Aquino, A. L. (2017). LoRaWAN - A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities, 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech), 1-6.

- [7] Sanchez I., R., G Liaño, I., Simoes, C., Couñago, E., Skarmeta, A. F. (2019). Tracking and monitoring system based on LoRa technology for lightweight boats, *Electronics*, 8, 1-15.
- [8] Johnston, S. J., Basford, P. J., Bulot, F. M., Apetroaie-Cristea, M., Easton, N. H., Davenport, C., Cox, S. J. (2019). City scale particulate matter monitoring using LoRaWAN based air quality IoT devices, *Sensors*, 19, 1-20.
- [9] D. Davcev, K. Mitreski, S. Trajkovic, V. Nikolovski, N. Koteli. (2018). IoT agriculture system based on LoRaWAN, 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), 1-4.
- [10] Catherwood, P. A., Steele, D., Little, M., McComb, S., McLaughlin, J. (2018). A community-based IoT personalized wireless healthcare solution trial, *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*, 6, 1-13.
- [11] J. Navarro-Ortiz, S. Sendra, P. Ameigeiras, J. M. Lopez-Soler. (2018). Integration of LoRaWAN and 4G/5G for the Industrial Internet of Things, in *IEEE Communications Magazine*, 56, 60-67.
- [12] Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things, *Sensors*, 16, 1-18.
- [13] Ertürk, M. A., Aydın, M. A., Büyükakkaşlar, M. T., Evirgen, H. (2019). A survey on LoRaWAN architecture, protocol and Technologies, *Future Internet*, 11, 1-34.
- [14] Hoeller, A., Souza, R. D., López, O. L. A., Alves, H., de Noronha Neto, M., Brante, G. (2018). Analysis and performance optimization of LoRa networks with time and antenna diversity, *IEEE Access*, 6, 32820-32829.
- [15] Kim, S., Lee, H., Jeon, S. (2020). An adaptive spreading factor selection scheme for a single channel LoRa modem, *Sensors*, 20, 1-13.
- [16] Bankov, D., Khorov, E., Lyakhov, A. (2016). On the limits of LoRaWAN channel Access, *International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)*, 10-14.
- [17] <https://www.mosopower.cn/x6-series-240w-off-line-programmable-driver>.
- [18] <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega328P>.
- [19] <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1278>.
- [20] Daud, S., Yang, T. S., Romli, M. A., Ahmad, Z. A., Mahrom, N., Raof, R. A. A. (2018). Performance evaluation of low cost lora modules in iot applications, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 318, 1-11.
- [21] Söğüt, E., Erdem, O. A. (2017). Günümüzün vazgeçilmez sistemleri: nesnelerin haberleşmesi ve kullanılan teknolojiler, *Akademik Bilişim Konferansları*.
- [22] Kim, J., Song, J. (2017). A dual key-based activation scheme for secure LoRaWAN, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 1-12.