



# COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

## Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

# AKILLI ŞEHİRLERDE AKILLI SOKAK AYDINLATMALARI UYGULAMASI

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

Tüm hakları saklıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın izni olmadan bu belgenin hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla (fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi, vs.) çoğaltılamaz.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

# AKILLI ŞEHİRLERDE AKILLI SOKAK AYDINLATMALARI UYGULAMASI

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan “Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları Uygulaması” yapmak isteyen kurum ve kuruluşlara, projenin geliştirme ve uygulama aşamalarında destekleyici rehber doküman olması amacıyla hazırlanmıştır.

Kılavuzda uygulamaya yönelik bir vaka üzerinden aşamalı ve detaylı olarak açıklama yapılmıştır.

Rehberlik kılavuzu ile uygulamanın projelendirilmesine ve fizibilite çalışmalarının yapılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

## 1. Uygulamanın Tanımı

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi ile çevre yolu, cadde, bulvar, sokak, park, açık veya kapalı otoparklar, kampüsler ve alışveriş merkezleri gibi geniş alanları kapsayan aydınlatma armatürlerin merkezi bir sistem ile kontrol edilerek daha verimli olmaları ve bakım/destek çalışmalarının düşük maliyetli yapılabilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede lambaların açılıp kapanması, gerektiğinde kısılması veya aydınlanması, programlanması, lambaların enerji kullanımı veya çalışma durumu hakkında bilgi vermesi gibi aydınlatma sisteminin daha akıllı ve yönetilebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Kurulacak sistem yönetilebilir LED armatür/lambalar ile kablosuz iletişim kurmaktadır.

### 1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesinin hazırlık aşamasında ilk olarak projenin adı belirlenir.
- Proje adı belli olduktan sonra projenin uygulama alanı, büyüklüğü ve yapısı belirlenerek projenin ne kadar sürede biteceği planlanır.
- Proje uygulamaya alınmadan önce projenin tanıtıcı özeti olan Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamındaki Proje Fişi hazırlanır.

Örnek Vaka	
Proje Adı	Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları Uygulaması Projesi
Uygulama Alanı	1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi

Proje Süresi	14 ay
--------------	-------

Akıllı Şehir Proje Fişi, Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamında hazırlanmış olup doküman [www.akillisehirler.gov.tr](http://www.akillisehirler.gov.tr) adresinde yayınlanan Akıllı Şehir Bilgi Paylaşım Portalı'ndan erişilebilmektedir.

## 1.2. Proje Teknik Bileşenleri

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmalarına ait teknik bileşenler şunlardan oluşmaktadır:

- Genel aydınlatma kontrol platformu
- Fiziksel veya sanal sunucular
- Lambalar
- Kablosuz iletişim ağı
- Uç kontrol cihazları
- LED lamba/armatürler
- Uzaktan kontrole uygun lamba sürücüleri

## 1.3. Proje Girdileri

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmalarına ait proje girdileri aşağıda sıralanmıştır:

- Projenin gerçekleşeceği şehir/kent/mahalle/bölge/yaşam alanı planları ve haritaları
- LED armatürler
- Genel aydınlatma kontrol platformu
- Platformun kurulacağı (sanal) sunucu
- Akıllı sokak aydınlatma donanımları/cihazları (baz istasyonu/gateway, modüller, sensörler)
- Kurulum ekipleri
- Kurulum ekipmanları (vinç/sepet)

## 1.4. Beklenen Çıktılar

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmalarına ait beklenen çıktılar şu şekildedir:

- Uzaktan takip edilen LED armatürleri akıllı bir şekilde yöneten merkezi aydınlatma kontrol platformu
- Aydınlatma kontrol sistemi yönetim platformuna bağlantılı LED armatürler
- LED armatürlerin açılıp kapanma ve gerektiğinde kısılma programları
- LED armatürlerle akıllı ve verimli olarak aydınlanan kent/mahalle/bölge/yaşam alanları
- LED armatürler salınımının ve akıllı aydınlatma platformunun sağladığı enerji ve operasyon tasarrufu
- Karbon azaltılması

## 1.5. Projenin performans göstergeleri

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları uygulamasının performans göstergeleri, projenin başarı seviyesini ölçmek için kullanılan ölçülebilir ve belirli hedeflerdir. Bu performans göstergeleri, Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesinin amaçlarına ulaşip ulaşmadığını değerlendirmek, etkinliğini ve verimliliğini ölçmek için kullanılır.

Performans göstergeleri:

- Aydınlatma Kontrol Sistemi'nin uzaktan yönetebildiği toplam lamba sayısı
- Merkezi sistem ile lambalar arasında iletişim süresi
- Enerji tasarruf seviyeleri
- Lambaların ömür süreleri
- Operasyon maliyetleri
- Sistem coğrafi konuma, iklime, hava durumuna göre otomatik adapte olabiliyor mu? (Örneğin uzun gün/kısa gün farkı, gece/gündüz süreleri, gündüz hava kararması veya gece dolunaya göre aydınlatmayı ayarlayabiliyor mu?)
- Ana arter, yan sokaklar, parklar, vb. gibi farklı alanlarda performans etkileri
- Kent sakinlerinin memnuniyet seviyesi
- Karbon salınım seviyesi

## 2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

### 2.1. Proje Kapsamı

Akıllı Sokak Aydınlatmaları; lambaların uzaktan takip edilmesi, açılma ve kapanma saatlerinin programlanması, lambaların kısılması gibi aydınlatma işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve uzaktan takip sayesinde arızaların hızlı giderilmesi, tüketim ve maliyet gibi bilgilerin takibinin kolaylaştırılmasını kapsamaktadır.

Bir aydınlatma platformu, operatörün günlük işleyişini ve operasyonlarını yönetme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu operasyonlar, aşağıdaki en temel bileşenleri içermelidir:

- Lambaları izleme
- Modül/Lamba test etme
- Arızalı modül tespit etme ve modül değiştirme
- Bozuk veya sorunlu lambaları tespit etme ve lamba değiştirme
- Tüketim ve maliyet bilgilerini görme

### 2.2. Proje Gerekçesi

Kentlerde verilen birçok hizmet gibi aydınlatma da hem enerji hem de insan kaynağı olarak önemli bir kaynak kullanmaktadır. Aydınlatma kontrol sistemleri analog teknolojiler ile günümüze kadar manuel bir şekilde yönetilmekte ve yüksek enerji harcamaktaydı. Gelişen lamba teknolojisi ve özellikle LED modüller sayesinde dijitale geçiş başlamıştır. Bununla birlikte hem enerji tüketimini yüksek oranda düşürmek hem de sistemin bakımını daha kolaylaştırmak için fırsatlar oluşmuştur. Akıllı Sokak Aydınlatmaları ile LED lambaların uzaktan kontrol edilmesi, bu fırsatları değerlendirmek için önemli bir ihtiyaçtır. Aydınlatma hizmetini sunan belediyeler, kamu veya özel şirketler veya kuruluşlar artık daha anlık veriler ile daha hızlı bir şekilde sistemi yönetebilme ve bu sayede bir yandan maliyetlerini düşürürken bir yandan da daha iyi hizmet verebilme imkânına kavuşabilecektir. Sistemin diğer avantajları karbon emisyonunu düşürmesi ve yönetilebilirlik sayesinde LED lambaların ömrünün uzamasıdır.

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesinin amaçları aşağıda sıralanmaktadır:

- Aydınlatma sistemini ve lambaları uzaktan merkezi olarak yönetmek
- Enerji tasarrufu sağlamak
- Operasyon maliyetlerini düşürmek
- Vatandaş memnuniyetini artırmak
- Aydınlatma tüketim ve maliyet bilgilerini takip etmek

- Karbon salınımının azaltılması

### 2.3. Mevcut Durum

#### ***Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durumun tespiti***

- Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmalarına yönelik dünyadaki güncel trendler incelenir.
- Bu trenlere bağlı güncel teknoloji, yazılım, otomasyon, ekipman, yapı, ürün vs. incelenir.

#### ***Proje konusu ile ilgili Türkiye’de mevcut durumun tespiti***

- Türkiye’deki mevcut Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmalarına yönelik alt ve üst yapı uygulamaları incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

#### ***Daha önce yapılan çalışmaların başarı-başarısızlık durumlarının tespiti***

- Bu uygulamaları gerçekleştiren kurum ve firmalarla bilgi-tecrübe-fikir alışverişi yapılır.
- Başarılı süreçler arasında kıyaslama yapılarak bölge için en uygun teknoloji, yapı, ekipman, otomasyon, yöntem ve ürün belirlenir.
- Süreç içerisindeki karşılaşılan olumlu ve olumsuz durumlara dair bilgi notları hazırlanır ve bilgi havuzuna eklenir.

1980’lerde, ticari alan aydınlatmalarının daha fazla kontrol edilebilir olması ve enerjiyi daha verimli kullanan bir hale gelmesi için talep oluşmaya başlamıştır. Bunun için ilk olarak floresan balast ve ışığı kısan anahtarlar (dimmer) ile analog çözümler geliştirilmiştir. Bu, bir başlangıç olmakla birlikte kablolama oldukça karmaşık olduğundan dolayı maliyeti çok uygun olmamıştır.

Mevcutta kullanılan YBS lambalar sık sık bozulmakta ve yenilenmesi gerekmektedir. LED lambaların ömrünün 2.5-3 kat daha uzun olması sebebiyle, değişim sürelerinin ve gerekli iş sürecinin azalması önemli bir fayda getirmektedir. Bununla birlikte hangi lambaların bozulduğu bilgisi ancak bir şikâyet ile elde edilmekte veya lambaların durumu saha ekiplerinin kontrolleri sayesinde öğrenilmektedir. Bu da hem vatandaşların memnuniyetini düşürmekte hem de ciddi bakım maliyetleri çıkarmaktadır.

#### ***Literatür Araştırması***

Literatür araştırması, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Sokak aydınlatmasında LED lambaların kullanımı, Light Emitting Diode (LED) teknolojisinin 1960’ların başında icat edilmesiyle başlamıştır. 1965 yılından itibaren, yüksek basınçlı deşarj (HID) lambalardan kaynaklanan daha iyi renk ve verimlilik özellikleri nedeniyle düşük basınçlı muadil lambalara geçiş

gerçekleşmiştir. Modern LED lambaların sokak aydınlatmasında kullanımı ise son 5-10 yıl içinde hız kazanmıştır. Bununla birlikte, sokak aydınlatmasında hala yaygın olarak Yüksek Basıncılı Sodyum (YBS) lambaları kullanılmaktadır [2].

Modern LED lambalar sayesinde, lambalar dijital olarak kontrol edilebilir ve merkezi bir şekilde uzaktan erişimle yönetilebilir hale gelmiştir. Ancak, bu yöntem genellikle maliyetli olduğundan dolayı geniş çapta benimsenmemiştir. Aynı dönemde iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, teknolojinin küçülmesi ve maliyetlerin düşmesiyle birlikte, nesnelerin internete bağlanma ve iletişim kurma yeteneği ortaya çıkmıştır. Nesnelerin İnterneti kavramı, milyarlarca nesnenin internet üzerinden merkezi bir sistemle iletişim kurarak bilgi akışını sağlamasını içerir. Bu sayede, bilgi temelli akıllı ve verimli sistemler oluşturulabilir. Nesnelerin İnterneti, şehirlerin daha akıllı hale getirilmesi için büyük fırsatlar sunmaktadır. Bu bağlamda, Akıllı Sokak Aydınlatma uygulamaları da akıllı şehir girişimlerinin önde gelen unsurlarından biridir [3].

Artık LED lamba dönüşümü, sadece fiziksel değişiklikleri değil, aynı zamanda bu lambaların akıllı iletişim ve yönetim yeteneklerini içermektedir. Teknolojinin gelişmesi ve maliyetlerin düşmesiyle birlikte, LED lambaların akıllı bir şekilde iletişim kurması ve merkezi olarak yönetilmesi daha ekonomik hale gelmiştir [3].

Türkiye genelinde yaklaşık olarak 7,5 milyon sokak lambası bulunmaktadır [2]. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023) çerçevesinde, 2023 yılına kadar bu sokak lambalarının yaklaşık %30'unun, yani 2,25 milyon lambanın, LED dönüşümü ile enerji verimliliğini artırma amacı belirlenmiştir (Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 - Eylem Kodu ve Adı: E.7 Genel Aydınlatmada Enerji Verimliliğinin Artırılması [1]).

Bu nedenle, Türkiye'de LED lambalara dönüşüm süreci henüz başlangıç aşamasındadır. Şehirlerde geniş kapsamlı bir LED armatür geçişi tam olarak gerçekleşmemiştir. Bazı bölgelerde kısmi LED kullanımı görülmektedir, ancak büyük çoğunluğa yayılmamıştır. Ayrıca, LED armatürler kullanılsa bile akıllı aydınlatma sistemleri sadece belirli bölgelerde deneme amaçlı olarak uygulanmaktadır [3].

Akıllı Sokak Aydınlatma projesi henüz sınırlı sayıda uygulamayla sınırlıdır. 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı dokümanı, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanmış ve bu alandaki örnek projelerden biri olarak REMOURBAN (REgeneration MOdel for smart URBAN transformation) projesine dikkat çekmektedir. REMOURBAN projesi, Avrupa Birliği Horizon 2020 çerçeve programı kapsamında yürütülen bir inisiyatiftir. Bu projenin temel hedefi, mevcut şehirleri sürdürülebilir şehirlere dönüştürmek ve bu amaçla bir şehir dönüşüm modeli tasarlamak ve uygulamaktır. Projede üç öncü şehir, yani Nottingham (İngiltere), Valladolid (İspanya) ve Tepebaşı/Eskişehir (Türkiye), farklı akıllı şehir uygulamalarını hayata geçirmiştir. Eskişehir Tepebaşı

Belediyesi, REMOURBAN projesi kapsamında bir Akıllı Şehir Platformu (City on CLOUD) kurmuş ve birçok uygulama arasında akıllı aydınlatma altyapısını da oluşturmuştur. Bunun yanı sıra, REMOURBAN dışında da daha küçük ölçekli ve genellikle rehberlik veya deneme amaçlı bazı kurumlar gerçekleştirilmiştir [4].

Eskişehir Tepebaşı Belediyesi'nin projesinden başka yapılan pilot uygulamalara örnek olarak şunlar verilebilir:

- Kağıthane Cendere caddesi "Pilot Akıllı Yol Aydınlatma" çalışması
- Başakşehir Living Lab Projeleri – Akıllı Aydınlatma Sistemi
- Kayseri Akıllı Aydınlatma pilot çalışmaları
- İTÜ Teknokent Akıllı Aydınlatma pilot çalışması

Türkiye'deki önceki çalışmalar genellikle sınırlı kapsamlı denemelerdir ve başarının objektif bir şekilde değerlendirilmesi için yeterli veri sağlamamaktadır. Örneğin REMOURBAN projesi, akıllı aydınlatma alanında başarılı bir uygulama örneği sunsa da bu başarının daha geniş ölçekte yaygınlaştırılması için gerekli adımlar henüz atılmamıştır [4].

Diğer yandan, yurtdışında, özellikle orta ve büyük ölçekli uygulamalarda daha fazla sayıda başarılı örnek bulunmaktadır. Aşağıda çeşitli ülkeler, eyaletler, bölgeler ve şehirlerde gerçekleştirilen Akıllı Sokak Aydınlatma projesi ve bu projede kullanılan lamba sayıları listelenmiştir [3]:

1. FLORIDA (eyalet), ABD – 500,000
2. MONTREAL (şehir), Kanada – 250,000
3. OKLAHOMA (eyalet), ABD – 250,000
4. LOS ANGELES (şehir), ABD – 220,000
5. QUEBEC (bölge), Kanada – 200,000+
6. PARIS (şehir), Fransa – 200,000+
7. GEORGIA (eyalet), ABD – "yüz binler"
8. JAKARTA (şehir), Endonezya – 140,000+
9. JAMAICA (ülke), Jamaika – 110,000
10. BUENOS AIRES (şehir), Arjantin – 100,000+
11. BIRMINGHAM (şehir), Birleşik Krallık – 100,000+
12. ESSEX (ilçe), Birleşik Krallık – 100,000+
13. HERTFORDSHIRE (ilçe), Birleşik Krallık – 100,000+
14. CHICAGO (şehir), ABD – 76,000+, 270,000'e kadar genişleyecektir.



Türkiye'nin Akıllı Sokak Aydınlatma proje uygulamalarının çoğaltılması için çeşitli finansman modelleri düşünülmelidir. Örneğin, kamu özel ortaklığı (PPP - public private partnership), yap işlet ve/veya yap işlet devret gibi modellerin dikkate alınması önem taşımaktadır. Bu yaklaşım, Akıllı Sokak Aydınlatma projesi ve akıllı şehir projelerinin daha geniş çapta hayata geçirilmesine olanak tanımaktadır. Bu şekilde projeler hem kamu hem de özel sektör paydaşları tarafından daha fazla benimsenmekte ve projenin başarılı bir şekilde tamamlanma olasılığı artmaktadır [3].

Projelerin başarısı veya başarısızlığı, doğru ekiplerin seçilmesi ve konusunda bilgi sahibi olan ekiplerle çalışılmasına dayanmaktadır. Ayrıca, projelerin süreçleri ve karar mekanizmalarının uzun olması da başarısızlığa neden olabilmektedir. Bu uzun süreçler içinde seçilen teknolojiler zamanla güncelliğini yitirebilmekte ve yeni teknolojilerin faydalarından yararlanılamayabilir [3].

Bu sorunun üstesinden gelmek için, altyapı seçiminde esnek bir mimari yapının tercih edilmesi önemlidir. Bu şekilde, farklı donanım ve sistemlerle entegre çalışabilen bir yapı oluşturulmaktadır. Bu strateji sayesinde projeler daha kolay yönetilebilmekte ve başarılı bir şekilde tamamlanabilmektedir. Böylece projeler, teknolojik ilerlemelerden etkilenmeden ve zamanında hedeflenen sonuçlara ulaşarak başarı elde edebilmektedir [3].

### ***Projenin bağlantılı olduğu alanlar***

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesinin bağlantılı olduğu alanlar listelenmiştir:

- Akıllı Şehirler
- Nesnelerin İnterneti (IoT)
- Genel Aydınlatma Sistemleri
- Otomasyon Sistemleri
- Yazılım
- Donanım
- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)
- Çevre Güvenliği

## **2.4. İhtiyaç Analizi**

### ***Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi***

Merkezi bir aydınlatma kontrol sistemi, operasyon ekiplerinin saha durumunu uzaktan izlemesine ve gerektiğinde önleyici bakım yapmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, müşteri memnuniyetini artırarak aynı zamanda işletme maliyetlerini düşürmektedir.

Güneşin doğuşundan batışına kadar geçen süre içinde boş yere yanmış lambaların neden olduğu enerji kayıplarını önlemek ve sadece gerektiği kadar akıllıca aydınlatma sağlamak da önemlidir. Örneğin, aydınlatmanın yüzde düşük bir oranda arttığı veya azaldığı şekillerde ayarlanarak bu kayıplar en aza indirilebilir. Bu, sıklıkla gözden kaçırılan ancak büyük faydalar sağlayan bir gerekliliktir.

Ayrıca, gereksiz yere tam güçle yanmış lambalar, toplum içinde israf olarak algılanmaktadır [3]. Bu tür durumların akıllıca engellenmesi, olumsuz algının olumluya dönüşmesine katkı sağlamaktadır.

Bu nedenle,

- Şehir sakinlerinin akıllı aydınlatma sistemlerine olan ihtiyacının analiz edilmesi,
- Aydınlatma sistemleri alanında çalışan birimlerin bu amaçla duydukları ihtiyaçların analizi
- Akıllı aydınlatma sistemleri teknolojilerinin ihtiyaçları nasıl giderebileceğinin analizinin yapılması önerilmektedir.

### ***Proje ile ilgili beklentiler ve paydaşlara sağlanan faydalar ile çözüm getirilen problem ve sıkıntıların tespiti***

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesinde bazı temel beklenti ve faydalar şunlar olabilir:

- Geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla önemli ölçüde daha az enerji tüketmesi
- Elektrik maliyetlerini azaltması
- Daha çevre dostu olması
- LED lambaların uzun ömrü ve düşük bakım gereksiniminin, işletme ve bakım maliyetlerini azaltması
- Uzaktan izleme ve kontrol özelliğinin, hızlı arıza tespiti ve bakımı daha etkin hale getirmesi
- Daha iyi aydınlatılmış sokakların halkın güvenliğini artırması
- Esnek ve ayarlanabilir olmaları
- Çevresel koşullar, trafik yoğunluğu ve hava kalitesi gibi verileri toplayabilmesi
- Diğer akıllı şehir uygulamalarının temelini oluşturabilmesi
- Enerji tasarrufunun ve sürdürülebilirliğin önemini vurgulayarak halkı bilinçlendirmesi
- Kentsel Estetik ve Konforu sağlaması, şehirlerin görünümünü ve sokaklarının atmosferini iyileştirmesi

Yukarıda özetlenen beklentiler ve faydalar göz önünde bulundurulduğunda Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi için hedefler tespit edilmiştir:

- a) LED lambalar, yaygın olarak kullanılan Yüksek Basıncılı Sodyum (HPS) lambalara göre %40-50 arasında bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Akıllı aydınlatma sistemleriyle bu tasarrufun %80-85'e çıkarılması

- b) Merkezi olarak yönetilen aydınlatma sistemi sayesinde lambalardaki arızalar neredeyse anında tespit edilip proaktif olarak giderilerek, müşteri ve vatandaşlardan gelen şikayetlerin %90 oranında azaltılması
- c) Operasyon ve saha ekiplerinin daha verimli çalışmasıyla bakım ve arıza giderme maliyetlerinin %50-60 oranında düşürülmesi
- d) Vatandaşların sokak ve çevre aydınlatmasına yönelik memnuniyetini artırmak için anketlerle memnuniyet seviyeleri ölçülecek ve karşılaştırılacaktır. Halkla ilişkiler çalışmaları ve bilgilendirme faaliyetleri ile akıllı aydınlatmanın avantajlarının halka aktarılması ve bilinç seviyesinin artırılması hedeflenmektedir.

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesinin paydaşlara sağladığı faydaların yanı sıra, projenin çözüm getirdiği problem ve sıkıntılar da bulunmaktadır.

Günümüzde analog teknolojilere dayalı aydınlatma sistemleri, (özellikle yüksek basınçlı sodyum (YBS) ve floresan lambalar) çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır:

- Analog aydınlatma sistemlerini kullanan kuruluşlar, genellikle lambaların çalışma durumu hakkında yetersiz bilgi sahibidir. Arıza durumları genellikle vatandaşların veya müşterilerin şikayetleri veya periyodik saha kontrolleriyle tespit edilmektedir. Bu gecikmeler, arızaların uzun süre fark edilmemesine ve dolayısıyla memnuniyetsizliğe neden olabilmektedir.
- Analog lambaların enerji tüketimi yüksektir. Aydınlatma gerektiği halde uzun süre boş kalan alanlar, örneğin parklar gibi, gece boyunca bu verimsiz lambalarla aydınlatıldığında fazladan enerji tüketimi sağlamaktadır.
- Arızalı lambalar öncelikle yaşam alanlarını kullanan insanları ve vatandaşları etkilemektedir. Bu arızalar bildirildiği takdirde bile, insan kaynaklarına dayalı yavaş müdahale nedeniyle hızlıca çözüme kavuşturulamayabilir. Arızaların tespiti ve giderilmesi için gereken insan kaynakları, aydınlatma hizmeti sağlayan kuruluşları maliyet açısından olumsuz etkileyecektir.
- Sürekli tam güçte çalışan verimsiz lambalar, enerji maliyetlerini önemli ölçüde artırmaktadır.

***Projenin başarılı olmasını sağlayacak güçlü yönlerin ve başarısızlığa neden olabilecek zayıf yönlerin tespiti***

- Güçlü Yönler
  - LED teknolojisi ve akıllı kontrol sistemleri sayesinde önemli enerji tasarrufları sağlanması
  - Elektrik maliyetlerini düşürerek uzun vadede önemli bir finansal avantaj sağlanması
  - Daha az enerji tüketimi ve daha düşük karbon salınımı

- Lambaların uzaktan izlenmesi ve yönetilmesi sayesinde operasyonel verimliliği artırması
- Esneklik ve uyarlanabilirlik özelliklerine sahip olması
- Güvenlik ve halka açıklık sağlaması
- Zayıf Yönler
  - Başlangıç yatırım maliyetinin yüksek olması
  - Akıllı sistemlerin kurulumu ve yönetiminin teknik bilgi gerektirmesi
  - Veri toplama ve iletiminin, güvenlik ve gizlilik endişelerine neden olması
  - Mevcut altyapıya entegrasyon, altyapı eksiklikleri veya uyumsuzluklar nedeniyle zorluklar çıkma olasılığı
  - Toplumsal Kabul ve Bilinçlendirme gereksinimi
  - Yeni teknolojilerin bakım ve onarımı için yetkin personel gerekebilmesi

## 2.5. Talep Analizi

### *Proje ile üretilecek ürünlere ve/veya sunulacak hizmetlere yönelik mevcut talebin tespiti*

- Nüfus, tüketim alışkanlıkları, dikkate alınarak talep miktarları belirlenir.

Elektrik dağıtım şirketleri, şehirlerle birlikte aydınlatma hizmetinden sorumlu olarak, Akıllı Sokak Aydınlatma uygulamalarının talebinin artmasında önemli bir rol oynamaktadır. Şehirlerin karbon salınımını azaltma hedefleri, Akıllı Sokak Aydınlatma uygulamalarına olan talebi artırmaktadır. Bu durum aynı zamanda sokak lamba direklerini gelecekteki akıllı şehir projeleri için bir fırsata dönüştürmektedir. Bu çeşitlilik, şehirlerin ve endüstri oyuncularının yeni gelir kaynaklarına ulaşma potansiyelini artırmaktadır. Bu nedenle, öncü şehir liderleri LED armatürler ve kontrol edilebilir lambalar ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabilecekleri ve ayrıca farklı akıllı şehir uygulamalarını da entegre edebilecekleri Akıllı Sokak Aydınlatmalarına yatırım yapmaktadır.

Akıllı aydınlatma altyapısına entegre edilen sensörler ve teknolojiler sayesinde yeni hizmetler ve uygulamalar da hayata geçirilebilmektedir. Bu sayede şehirler, aşağıda örneklenen servisler ve uygulamalar aracılığıyla daha akıllı ve sürdürülebilir bir yaşam alanı sunabilmektedir:

- Akıllı Sensörler (örneğin; hava kalitesi, gürültü, yol durumu...)
- Akıllı Trafik Yönetimi
- Akıllı Park
- Akıllı Şarj
- Güvenlik ve Yoğunluk Kameraları

- Akıllı Sulama
- Atık Yönetimi

Akıllı sokak aydınlatma uygulamaları, akıllı şehir olma yolunda atılan ilk önemli adım olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu uygulamaları daha geniş özelliklere sahip platformlarla başlatmanın da büyük bir önemi bulunmaktadır. Akıllı aydınlatma altyapısına eklenen çeşitli uygulamalar, şehirlerin ihtiyaçlarına ve önceliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Örnek vermek gerekirse, bazı şehirlerde güvenlik ve kamu emniyetine odaklı uygulamalara öncelik verilebilirken, hava kirliliği sorunu yaşayan şehirlerde hava kalitesinin ölçülmesi ve takibi öncelikli hale gelebilmektedir. Diğer bazı şehirlerde ise yaya, bisiklet ve araç trafiğinin yönetimi ve düzenlenmesine yönelik uygulamalar daha fazla önem taşıyabilmektedir.

Her şehir kendi ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş akıllı aydınlatma uygulamalarını benimseyerek akıllı şehir dönüşümünü daha etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilir. Bu şekilde, akıllı aydınlatma altyapısı sadece aydınlatma değil, aynı zamanda şehirlerin öncelikli hedeflerine yönelik çeşitli alanlarda gelişmeler sağlayarak şehir yaşamını daha güvenli, sürdürülebilir ve yaşanabilir hale getirebilir.

#### ***Talebin gelecekteki gelişim potansiyeli ve talep için gelecek öngörülerin tespiti***

- Geleceğe yönelik nüfus, ekonomi ve teknoloji öngörülerini dikkate alınarak hesaplamalar yapılır.

Son yıllarda, aydınlatma kontrol sistemleri ve Akıllı Sokak Aydınlatma uygulamaları dünya genelinde büyük bir artış göstermektedir. Son 2 yıl içinde, küresel çapta milyonlarca yeni bağlantı noktası eklenmiştir. Transparency Market Research tarafından yayınlanan rapora göre Küresel LED aydınlatma pazarının yüzde 18'lik yıllık büyüme oranıyla 2027 yılına kadar 29,31 milyar dolar seviyesine ulaşması beklenmektedir [5].

### **3. Teknik Analiz ve Alternatif Teknolojilerin Değerlendirilmesi**

#### ***Fiziki/Mekânsal Büyüklük***

- Fiziki/mekânsal büyüklük projenin gerçekleşeceği şehir, kent, mahalle, bölge, yaşam alanına bağlıdır.
- Proje alanında yaklaşık olarak kaç adet aydınlatma direği gerektiği projenin başında yapılacak kapsamlı ve detaylı bir analiz ile belirlenmelidir. Bu çalışmanın da özellikle projenin tüm paydaşları ile birlikte yapılması önerilmektedir.
- Küçük çaplı bir bölge veya mahallede, birkaç yüz sokak lambasının (örneğin 100-500 arası) dönüşümü ve akıllı hale getirilmesi planlanabilir. Orta büyüklükteki bir mahalle veya bölgede 500 ila 1.000 arası lambanın dönüşümü gerçekleştirilebilirken, orta büyüklükteki bir şehirde

binlerce lamba (1000-10.000 arası), büyük şehirlerde on binlerce lamba ve mega şehirlerde ise yüz binlerce lambanın (100.000'den fazla) dönüşümü ve akıllı hale getirme projeleri söz konusu olabilir.

### **Örnek Vaka**

200.000 kişinin yaşayacağı 1.000 hektarlık örnek proje alanında yaklaşık olarak 50-60 km yol olması öngörülmektedir. Bu da yaklaşık olarak 1.250 adet sokak lambası gereksinimi anlamına gelmektedir. Örnek proje alanında ortalama olarak 7 metrelik direkler arası mesafe 40 metre olarak alınmıştır.

### ***Kapasitenin Belirlenmesi***

Akıllı aydınlatma uygulamasının temel yapı taşı, LED lambalardır. Bu LED lambalar, yol, cadde, sokak, alt ve üst geçit, meydan, park gibi açık alanlarda aydınlatma sağlayan armatürlere yerleştirilmektedir. Armatürler, lamba direklerine monte edilerek kullanılmaktadır. Lamba direklerinin aralığı, yüksekliği ve kullanılacak lambaların parlaklık ve aydınlık seviyeleri doğru bir şekilde belirlenmelidir. Bu aşamada uluslararası standartlar ve ilgili kuruluşların yayınladığı şartnameler ve yönergeler göz önünde bulundurulmalıdır. Proje tasarımı ve uygulaması sırasında aşağıdaki önemli dokümanlar göz önünde bulundurulmalıdır [3]:

- EN 13201-1-5 – Road lighting (Yol aydınlatması)
- TS EN 13201-1-5 – Yol Aydınlatması
- EN 13032-5:2018 - Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires - Part 5: Presentation of data for luminaires used for road lighting (Işık ve aydınlatma - Lambaların ve armatürlerin fotometrik verilerinin ölçümü ve sunumu - Bölüm 5: Yol aydınlatmasında kullanılan armatürlere ilişkin verilerin sunumu)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı – Elektrik Dış Aydınlatma Yönetmeliği
- TEDAŞ – Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi
- TEDAŞ – LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı – Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar

Bu belgelere uygun olarak tasarlanan sokak aydınlatmaları, hem optimal bir aydınlatma düzeyi sağlayacak hem de ilgili yönetmeliklere uyumlu olacaktır. Yolların farklı sınıflara ayrılması, kullanım

tarzı, hız limitleri ve suç oranına göre belirlenmektedir. M1'den M6'ya kadar olan aydınlatma sınıfları için gereken aydınlatma seviyeleri değişmektedir. TEDAŞ'ın Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi'nde bulunan tablo (Tablo 1), yolların aydınlatma sınıflarının belirlenmesi için yol tanımları ve aydınlatma sınıflarına dair ayrıntıları içermektedir.

**Tablo 1.** Yolların Aydınlatma Sınıflarının Belirlenmesi [2]

Yol Tanımı	Aydınlatma Sınıfı
Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü, kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil) – Hız $\geq 90$ km/h; – Hız $< 90$ km/h;	M1 M2
Şehir içi ana güzergâhlar (bulvarlar ve caddeler; ring yolları, dağıtıcı yollar) – $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$ ; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var; – $50 \text{ km/h} \leq \text{Hız} < 90 \text{ km/h}$ ; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok; – Hız $< 50$ km/h;	M1 M2 M3
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları) – Hız $\geq 50$ km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var; – Hız $\geq 50$ km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M3 M4
– Hız $< 50$ km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var; – Hız $< 50$ km/h; 3 km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M4 M5
Yerleşim (ikametgâh) bölgelerindeki yollar – $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h; suç oranı yüksek; – $30 \leq \text{Hız} < 50$ km/h; suç oranı normal; – Hız $< 30$ km/h; suç oranı yüksek; – Hız $< 30$ km/h; suç oranı normal;	M4 M5 M5 M6

Yol aydınlatma hesaplarında, yolun belirli kriterler doğrultusunda aydınlatma düzeyi ve kalitesi ile ilgili hesaplamalar yapılmaktadır. Bu hesaplamalar için dikkate alınması gereken önemli parametreler arasında yolun ortalama parlaltısı (L0), ortalama düzgünlük (U0), boyuna düzgünlük (U1), bağıl eşik artışı

(TI) ve çevreleme oranı (SR) bulunmaktadır. Farklı yol aydınlatma sınıflarında ise belirli kriterlere uygun aydınlatma seviyeleri ve nitelikleri sağlanması hedeflenmektedir. Bu gereksinimler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

**Tablo 2.** Değişik Yol Aydınlatma Sınıflarında Sağlanması Gereken Yol Aydınlatması Kriterleri [2]

Aydınlatma Sınıfı	Lort (cd/m <sup>2</sup> )	U0	U1	TI (%)	SR
M1	≥2,0	≥0,4	≥0,7	≤10	≥0,5
M2	≥1,5	≥0,4	≥0,7	≤10	≥0,5
M3	≥1,0	≥0,4	≥0,5	≤10	≥0,5
M4	≥0,75	≥0,4	≥0,5	≤15	≥0,5
M5	≥0,50	≥0,35	≥0,4	≤15	≥0,5
M6	≥0,30	≥0,35	≥0,4	≤15	-

Yol aydınlatma direklerinin konumlandırılması, yolun özelliklerine göre farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Ayrimsız yollarda, tek taraflı, çift taraflı veya yol kenarlarında çapraz şekilde; ayrımlı yollarda ise orta refüjde tek veya çift konsollu olarak aydınlatma direkleri yerleştirilmektedir. Aydınlatma hesapları, yol genişliği, direk yüksekliği ve direkler arası mesafelere göre bu standartlara uygun bir şekilde yapılmaktadır.

Ülkemizde yapılan uygulamalarda, meskûn yerleşim bölgelerinde genellikle 7 metre yüksekliğinde direkler kullanılarak yaklaşık 40 metre aralıklarla aydınlatma direkleri yerleştirilmiştir.

#### **Yapısal Proje Gereksinimleri**

Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları uygulaması için yapısal proje gereksinimleri aşağıda verilmiştir:

- Kablosuz iletişim ağı altyapısının projelendirilmesi
- Aydınlatma Kontrol Sistemi Merkezi'nin projelendirilmesi

#### **Yazılım ve Donanım Gereksinimleri**

Proje kapsamında ihtiyaca göre kurulacak çeşitli sistemlerin yazılım ve donanım gereksinimleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:



- Aydınlatma platformu: Aydınlatma Platformu, merkezi bir yönetim platformudur. Bu platform aracılığıyla operatör, sahada bulunan cihazları tanımlar ve sistemin kurulumunu gerçekleştirir. Lambaları fiziksel konumlarına göre gruplara ayırabilir, istenilen şekilde aydınlatmalarını programlayabilir ve enerji tüketimlerini izleyebilir. Ayrıca, cihazlardaki arızaları takip edebilir. Genel olarak, aydınlatma altyapısını merkezi bir noktadan yönetir. Bu platformun farklı yöntemlerle uygulanması ve çalışması da mümkündür. Temel olarak, üç farklı alternatif model önerilmektedir:
  - a. Yerinde Kurulum Modeli – Bu modelde, Aydınlatma Platformu Belediyenin belirlediği bir sunucuya kurulur ve sahadaki lambaların takibi ve kontrolü bu platform üzerinden gerçekleştirilir. Özellikle büyük şehirler veya geniş uygulama alanlarında tercih edilen bir yöntemdir.
  - b. Otonom Model – Bu modelde sistem çevrim dışı olarak kurulur ve Aydınlatma Platformu veya ana modüle ihtiyaç duyulmadan çalışır. Uzaktan yönetim imkânı olmasa da özellikle küçük uygulama alanlarında düşük maliyetli bir çözüm sunar.
  - c. Bulut Modeli – Belediye, Aydınlatma Platformunu kurulum yapmadan bir bulut hizmeti (SaaS) olarak da alabilir. Bu şekilde, platformu kiralamak suretiyle hem daha düşük giriş maliyetiyle hem de farklı büyüklükteki alanlarda uygulama yapma olanağına sahip olur.
- Gateway (köprü - baz istasyonu): Sahada yer alan modüllerin merkezi iletişimini sağlayarak bağlı cihazları yönetebilen, aynı zamanda akıllı işlevlere sahip bir köprü işlevi gören bir baz istasyonudur. Bu modüller LoRa iletişim teknolojisi üzerinden haberleşir ve açık alanlarda yaklaşık 10 km'ye kadar iletişim mesafesi sağlar. Kapsama alanına bağlı olarak, birden fazla LoRa gateway'in kurulması gerekebilir.
- Aydınlatma modülleri / uç noktaları: LoRa gateway'in yönetimini üstlendiği uç cihazlardır. Bu cihazlar çeşitli amaçlarla kullanılır. İlk olarak, lambalara monte edilerek ışık derecesini ayarlar. İkincisi, hareketleri algılayarak tepki verir. Üçüncüsü ise çevre ışığını ölçer ve açma/kapama talepleri gönderir.
  - a. Işık Modülü – LoRa Işık Modülü, lambalara entegre edilerek ışık seviyelerini kontrol eder. Bu modül sayesinde lambaların açılıp kapanması, gerektiğinde tam parlaklık yerine daha düşük bir seviyede yanması (örneğin %20 gibi) sağlanabilir. Modül, LoRa iletişim protokolü üzerinden Gateway ile iletişim kurar. Ayrıca, lambaların çalışma verimliliğini izler ve enerji tüketimini takip eder.
  - b. Hareket Sensörü (PIR) – LoRa PIR Hareket Sensörü, insan hareketlerini tespit ederek bu bilgiyi LoRa gateway aracılığıyla platforma iletilir. Platform, sensörün bağlı olduğu ilgili lamba grubunda ışık seviyesini önceden belirlenmiş bir profil seviyesine yükseltir.

- c. Hareket Sensörü (LIDAR) – LoRa LIDAR Hareket Sensörü, araç hareketlerini izler ve algılar. Bu bilgi LoRa gateway üzerinden platforma iletilir. Platform, sensörün bağlı olduğu ilgili lamba grubundaki ışık seviyesini önceden belirlenmiş profildeki düzeye yükselterek aracın seyahat ettiği yönde yolun aydınlatılmasını sağlar.
  - d. Işık Sensörü – LoRa Işık Sensörü, çevrenin aydınlık seviyesini algılayarak lambaların açılmasını veya kapanmasını yönetebilir. Otonom çalışma modunda, ışık sensörü kullanılarak akşamın karanlığı çöktüğünde lambaların adım adım aydınlatılması ve sabahın ilk ışıklarıyla birlikte aşamalı olarak kapanması sağlanabilir.
  - e. Lamba (Armatür) – Bir LED ışık kaynağıdır. Bir modül bağlanarak uzaktan kontrol edilir hale gelir.
- Aydınlatma kontrol sistemi

### ***Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.***

Sokak aydınlatmasının modernizasyonunda, LED'lerin temel bir rolü bulunmaktadır. LED'ler, günümüzde yaygın olarak kullanılan analog teknolojilere göre birçok avantaj sunmasına rağmen, beraberinde bazı dezavantajları da getirmektedir. LED'lerin öne çıkan olumlu ve olumsuz yönleri şu şekilde özetlenebilir:

LED'lerin Avantajları:

- Çok hızlı açılış zamanı
- Yüksek renk sıcaklığı (CT); sürücü ve çevre görüşünü iyileştirmesi
- Uzun ömürlü olması (LED'ler 15-20 yıl boyunca dayanır)
- Floresan aydınlatmadan iki kat daha enerji verimli olması
- Soğuk ortamlarda daha güvenli ve daha verimli olması
- Darbelere karşı son derece dayanıklı olması (örneğin; köprüler gibi titreşimli yerler için ideal)
- Nispeten daha küçük karbon ayak izi ve geri dönüştürülebilir olması
- Dijital oldukları için gerektiğinde yönetilebilir olmaları

LED'lerin olumsuz yönleri:

- Daha beyaz görünümlü ışık melatonin üretimini baskılamaları (Beyaz ışıklı LED'ler melatonin üretimini YBS ışığından beş kat fazla baskılar)
- LED'lerin kırmızı ve sarı ışıktan daha fazla dağılan ve retina hasarına neden olan çok daha fazla mavi ışık üretmesi
- Kalitesiz üretimlerden dolayı LED lamba içerisindeki mikro devrelerin arıza yapması ve performansın düşmesi sonucunda arıza vermesi (Sadece üst seviye LED ürünlerine yatırım yapmak gerekir)

- Işık kirliliği şikâyeti (parlama, ışık geçmesi vb.)

Bu verilere dayalı olarak, LED seçimi ve satın alımlarında belirli faktörlere dikkat etmek önemlidir. Öncelikle, yüksek kaliteli ürünler tercih edilmeli ve ışık rengi tercihi konusunda dikkatli olunmalıdır. Geleneksel gece lambalarının sunduğu sıcak tonlara (2700-4000 Kelvin) yakın renk sıcaklıkları tercih edilmelidir (beyaz ışık yayan değerler yerine (5000-6000 Kelvin)), zira 4100 Kelvin ve altındaki ay ışığı benzeri renk sıcaklığı ideal bir aydınlatma sağlamaktadır.

LED'lerin uzaktan kontrol edilebilmesi ve uyumlu sürücülerle desteklenmesi de kritik bir öneme sahiptir. Seçilen LED armatürlerin renk sıcaklıkları (CCT), armatürün tasarlandığı güç düzeyinde 4000 K  $\pm$  %5 olmalıdır, bu da uygun aydınlatma kalitesini sağlamaktadır.

LED'leri kontrol eden bağlantı noktaları, sürücüler üzerinden işlevlerini gerçekleştirmekte ve LED'lerin açılıp kapatılması, parlaklık seviyelerinin ayarlanması gibi işlevleri yönetmektedir. Bu bağlantı noktalarını kablolu ve kablosuz olarak iki şekilde ayırmak mümkündür.

#### **Kablolu İletişim Yöntemleri**

- Güç Hattı Taşıyıcı İletişim Yönetimi (Power Line Carrier – PLC Communication) – PLCC, mevcut yüksek voltajlı elektrik hatlarını veri iletimi için kullanmaktadır. İki yönlü çalışmakta ve terminal donanımlarını (alıcılar, vericiler ve koruyucu röleler) içermektedir.
- Ethernet – Lamba sürücülerinin iletişimi için genellikle bilgisayarlar arasında kullanılan Ethernet kabloları kullanılabilir.

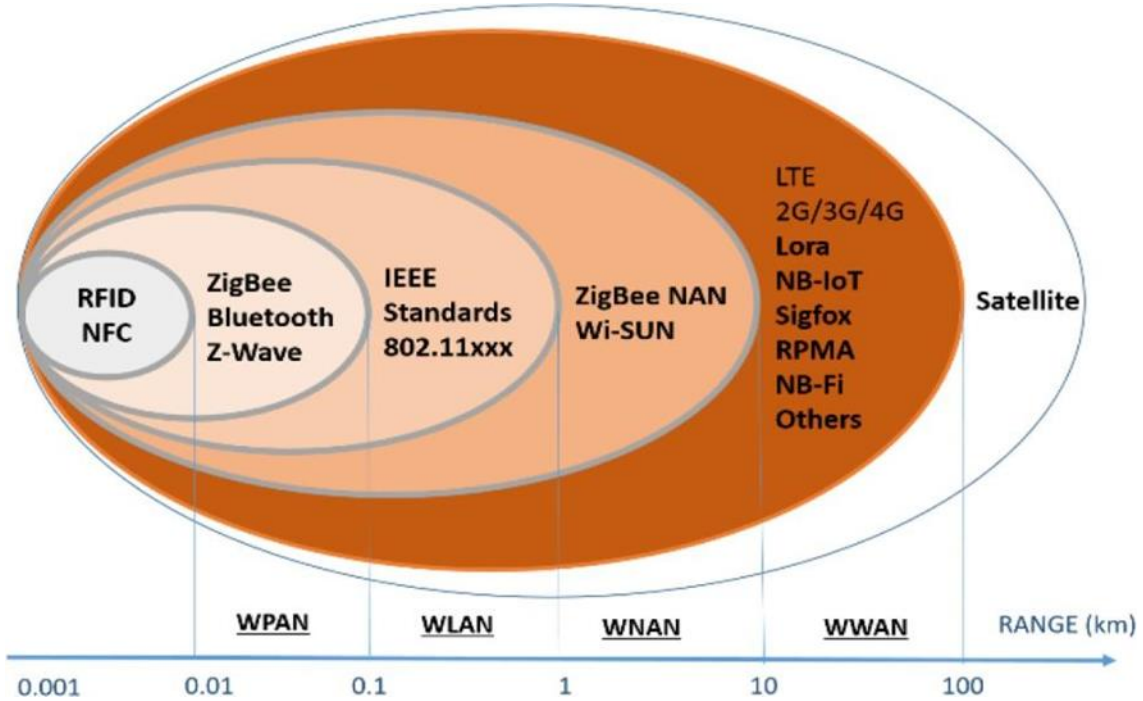
#### **Kablosuz İletişim Yöntemleri**

Lambaların kontrol edilmesi için bir dizi kablosuz iletişim protokolü ve teknolojisi mevcuttur. Akıllı Sokak Aydınlatması genellikle uzun menzilli düşük güçlü geniş alan ağları (LPWAN'lar) ve kısa menzilli kablosuz yerel alan ağları (WLAN'lar) olmak üzere iki ana düzeyde gerçekleştirilebilmektedir. Uzun menzilli kablosuz çözümler arasında hem lisanslı hem de lisanssız teknolojiler bulunmaktadır:

- NB-IoT ve LTE-M, Nesnelerin İnterneti için mobil telekom operatörleri tarafından sunulan 4G teknolojileridir. Gelecekte, 5G teknolojilerinin de kullanılması beklenmektedir.
- LoRa, Sigfox ve Ingenu, lisanssız bantları kullanan teknolojilerdir. LoRa ve Sigfox, düşük güçlü geniş alan ağı (LPWAN) teknolojileridir. LoRa, açık bir protokol olduğundan geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sigfox, kendi özel şebekesi üzerinden hizmet verirken, Ingenu, RPMA® (Random Phase Multiple Access) adlı farklı bir teknoloji kullanmaktadır.
- Kısa menzilli iletişim teknolojileri ise endüstriyel, bilimsel ve tıbbi (ISM) bantlarında çalışmaktadır. Bu teknolojilere örnek olarak ZigBee, Z-Wave, Thread, Bluetooth Low Energy

(BLE), Wi-Fi ve Li-Fi verilebilir. Bu teknolojiler, özellikle küçük alanlarda etkili olabilir. Ayrıca örgü ağları (mesh networks) kullanılarak daha geniş alanlar da kapsanabilmektedir.

Aşağıdaki şekilde bu farklı kablosuz teknolojilerin grup olarak menzilleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Menzillerine Göre Kablosuz İletişim Teknolojileri [6]

### Kablolu Aydınlatma Kontrol Sistemleri

0-10V, 1-10V gibi analog sistemler daha basit olmalarından dolayı hem daha hızlı geliştirilmekte ve kurulmakta, hem de kurulum ve bakım açısından daha ekonomiktir. Fakat analog olmalarından dolayı parlaklığı çok düşük ayarlarda yapmak mümkün olmayabilir. DALI gibi dijital sistemler ile parlaklık daha küçük artışlar ile ve daha kesin olarak ayarlanabilmektedir. Ancak daha komplike olmalarından dolayı kurulum ve bakımı daha maliyetli olabilmektedir.

### Kablosuz Aydınlatma Kontrol Sistemleri

Yukarıda örnekleri verilen kablolu aydınlatma kontrol sistemlerine ek olarak standart protokoller üzerinden de çalışan kablosuz aydınlatma kontrol sistemleri vardır. Örneğin:

- ZigBee
- MIDI
- Bluetooth Mesh

gibi protokoller üzerinden çalışan kablosuz aydınlatma kontrol sistemleri de mevcuttur. Kablolu sistemlerde örnek verilen DALI standardının kablosuz altyapı ile çalışan versiyonu da VEmesh teknolojisini kullanmaktadır. VEmesh (Virtual Extension mesh) teknolojisi 1GHz altı frekans aralığında

çalışmaktadır. Aydınlatma kontrol sistemleri için VEmesh IEC 62386-104 standardında benimsenmiştir. Bluetooth Mesh ile çalışan aydınlatma kontrol teknolojileri ise 2,4 GHz frekans bandını kullanmaktadır [3].

Kablosuz aydınlatma kontrol sistemlerine verilen bu örnekler genellikle kısa mesafeli çalışan ve kapsama alanı kısıtlı sistemlerdir. Örgü ağı (mesh) teknolojileri bu kısıtları bir ölçüde kaldırmakta, daha uzak mesafelere ulaşmakta ve böylece daha geniş alanları kapsayabilmektedir. Ancak akıllı şehir gibi çok daha büyük alanları kapsamak gerektiğinde kablosuz iletişim yöntemlerini daha iyi anlamak gerekmektedir. Farklı kablosuz iletişim teknolojileri ile daha uzun mesafelerle iletişim kurmak mümkündür. Bundan dolayı bu teknolojileri kısaca değerlendirmek faydalı olacaktır.

Kablolu ve kablosuz iletişim teknolojileri değerlendirildiğinde, her birinin kendi özel avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Genel olarak bakıldığında, kablolu teknolojilerin kurulum aşamasında kablolama maliyeti taşıdığı, kablosuz teknolojilerin ise daha kolay bir kurulum sağladığı görülmektedir. Kablosuz teknolojiler arasında da çeşitli farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, lisanslı kablosuz teknolojilerin kurulumu kolay olsa da bir operatöre bağımlı olması ve aylık/yıllık kullanım maliyeti nedeniyle operasyon maliyetlerini artırması dezavantaj olarak göze çarpmaktadır. Lisanssız teknolojiler arasında da açık protokoller veya bir firma tarafından tescilli çözümler bulunmaktadır. Açık protokoller, tescilli alternatiflere kıyasla daha düşük maliyetli olup toplam sahip olma maliyetini azaltma potansiyeline sahiptir.

Bu avantaj ve dezavantajlar göz önüne alındığında, kablosuz iletişim teknolojileri içinde lisanssız bantlar üzerinde çalışan ve açık protokole sahip olanlarının en avantajlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu kategoride LoRa, kullanım kolaylığı ve yaygınlık açısından öne çıkan ve genellikle tercih edilen bir teknolojidir.

LoRa teknolojisi, ISM (Industrial, Scientific and Medical) radyo bandı olarak adlandırılan bir frekans bandını kullanmakta ve bu bant coğrafi bölgelere göre farklılık gösterebilmektedir. Türkiye’de, Avrupa bölgesi için belirlenen ISM bandı frekansları 433 MHz ve 868 MHz kullanılmaktadır. Ancak bu frekansların diğer uygulamalar tarafından da kullanılabilmesi zaman zaman gürültü oluşturma potansiyeline sahip olabilmekte, bu da bir dezavantaj olarak görülebilmektedir. Aynı zamanda, LoRa ile iletişimde veri aktarım hızının düşük olduğunu göz önünde bulundurarak kullanılacak uygulamanın ihtiyaçlarına uygun olup olmadığı değerlendirilmelidir [3].

LoRa ağının veri iletiminde dikkate alınması gereken faktörlerden biri "Duty-Cycle" yani görev döngüsüdür. Bu faktör, LoRa ağı üzerinden veri iletiminde yaşanabilecek kısıtlamaları ifade etmektedir. Özellikle Akıllı Sokak Aydınlatmaları gibi uygulamalarda, lamba sayısı gibi uç nokta sayılarına göre

şebeke tasarımı yapılmalıdır. Uç nokta sayısı arttıkça, kapasiteyi artırmak ve sorunsuz iletişim sağlamak için daha fazla ağ geçidi (gateway) kullanmak gerekebilir [3].

Gateway sayısının artmasıyla kapasite artacak ve bu şekilde bahsedilen iletişim sorunları çözülecektir. Tüm bu avantajlar ve dezavantajlar bir arada değerlendirildiğinde, Akıllı Sokak Aydınlatmaları uygulamaları için LoRa teknolojisi hem teknik performans hem de maliyet açısından en öne çıkan alternatif olarak görülmektedir.

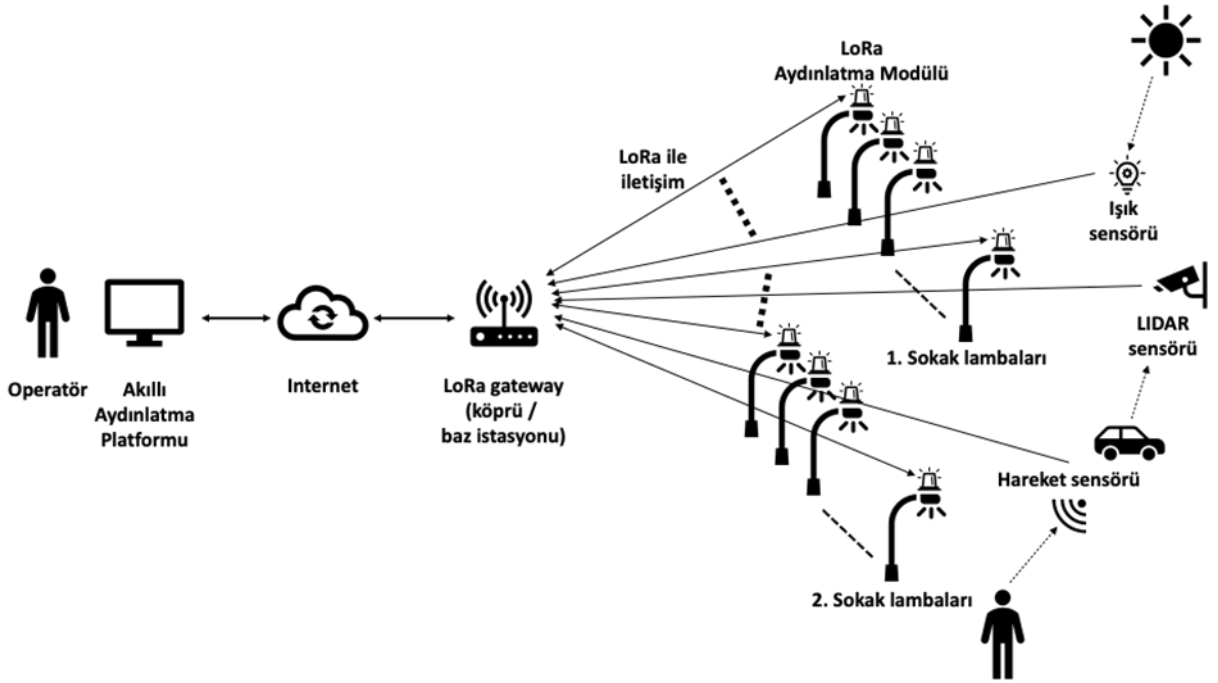
Buna ek olarak, yönetim platformu ve altyapısı, farklı iletişim teknolojilerini ve protokollerini desteklemeli, üretici ve marka bağımsız olmalı, genişlemeye uygun olmalı, yeni teknolojilerin entegre edilmesine olanak tanımalı ve uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlamalıdır. Örneğin, LoRa teknolojisinin yerine lisanslı 4G teknolojisi olan NB-IoT tercih edildiğinde de bu altyapıyı desteklemelidir. Ayrıca, ileride Türkiye'de 5G iletişim teknolojisinin kullanımı yaygınlaştığında, sistemin esnekliği sayesinde kolayca 5G'ye geçiş yapabilecek bir yapıya sahip olmalıdır.

Aydınlatma Platformundan beklenen temel özellikler şu şekilde özetlenebilir [3]:

- Öncelikle LoRa kablosuz iletişim teknolojisi kullanılmalıdır. Bu yeni nesil "düşük güç uzun mesafe şebeke" teknolojisi (Low Power Wide Area Network – LPWAN), aydınlatma sistemini lambalara bağlı modüller aracılığıyla etkili bir şekilde yönetmeyi ve bilgi akışını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, kurulum sırasında karmaşık kablolu gerekliliğini ortadan kaldırarak maliyeti düşürmektedir.
- LoRa teknolojisi, lisans gerektirmeyen frekans bantlarında çalışmaktadır. Bu sayede, mobil operatöre periyodik abonelik ödemesi yapmadan sistem yönetimi sağlanabilmektedir.
- LoRa, uzun mesafelerde (örneğin 10 km) yüksek sayıda lamba/modül düşük güç tüketimiyle (örneğin 10 yıl) yönetme kapasitesine sahiptir. LoRa LED lamba modülleri ve yönetici köprü sistem (gateway), güvenli iletişim ve uzun süreli yönetim özelliklerini sunmaktadır.
- Aydınlatma Platformu, başlangıç kurulum maliyetinin yanı sıra düşük operasyonel maliyetlerle toplam sahip olma maliyetini minimize etmektedir.
- Platform, aydınlatma sistemini esnek bir şekilde programlama olanağı sunmalıdır. Bu, sistem yöneticisinin günlük veya haftalık programlarla aydınlatma verimini optimize etmesini sağlar. Aynı zamanda dış etkenlerle entegrasyon, örneğin hareket sensörleri sayesinde gereksiz aydınlatmanın önlenmesi ve güvenlik önlemlerinin artırılmasını sağlar.
- Işık sensörleri kullanılarak, ortamın aydınlık ve karanlık durumuna bağlı olarak lambaların otomatik olarak ayarlanabilir seviyelerde yanması sağlanmalıdır. Bu, enerji tasarrufunu artırırken emniyeti de sağlayacaktır.

- Buna ek olarak ışık sensörleri ile aydınlık ve karanlık durumuna bağlı olarak lambaların gerekli seviyelerde yanması programlanarak yine emniyetten taviz verilmeden en verimli kullanım sağlanmalıdır.

Aydınlatma platformu, sahadaki aydınlatma altyapısının etkili bir şekilde merkezi bir noktadan yönetilmesini sağlamalıdır. Bu amaçla, sahadaki LED armatürlere kontrol amacıyla LoRa modülleri entegre edilir. Bu modül, LoRa kablosuz iletişim teknolojisi sayesinde LoRa köprüsü (gateway) ile iletişim kurar. LoRa köprüsü, bir tür baz istasyonu rolü üstlenerek LoRa'nın yıldız topolojisi sayesinde uzak mesafedeki (yaklaşık 10 km) çok sayıdaki uç modül ile direkt iletişim kurabilmektedir. LoRa köprüsü, bir internet bağlantısı üzerinden merkezi Aydınlatma Platformu ile veri alışverişini yapar. Aydınlatma Platformu'nun mimari yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Aydınlatma Platformunun Mimari Yapısı [3]

**Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir? Açıklayınız.**

- 1) Teknoloji yeni mi.
- 2) Teknoloji yerli mi
- 3) Teknoloji yerli değilse yerleştirilebilir mi
- 4) Lisans kolaylığı
- 5) Açık protokol
- 6) Kolay kurulum

7) Entegrasyon kolaylığı

8) Maliyet

**Teknik tasarım süreçlerini (süreç tasarımı, makine-donanım, inşaat işleri, arazi düzenleme, yerleşim düzeni vb.) açıklayınız.**

1. Proje kapsamının belirlenmesi ile proje yönetim planının oluşturulması
2. Sitem planlamasının yapılması
  - a. Uygulama vaziyet planının çizilmesi
  - b. Metraj-bütçe ve finans takviminin hazırlanması
3. İhale sürecinin başlatılması
  - a. İhale dokümanı (Request for Proposal – RFP)
  - b. İhaleye çıkma
  - c. Ürünlerin seçimi ve onayı
  - d. Satın alma ve sözleşme süreci
4. Altyapı faaliyetlerinin başlatılması
  - a. Platform kurulumu (sunucu)
  - b. Gateway/baz istasyonu kurulumu
  - c. LED lambaların değişimi (ihtiyaca bağlı)
  - d. LED lambalara modül montajı
  - e. Sistem testi ve devreye alma
5. Bakım ve destek devir işlemleri
  - a. Optimizasyon

## 4. Finansal Analiz

Genel olarak bilinen bir gerçek, şehirlerde mevcut sokak lambalarının LED teknolojisine dönüşümünün önemli ölçüde tasarruf sağladığıdır. Bu konuda yapılan birçok çalışma ve analizin yanı sıra sahada gerçekleştirilen uygulamaların verileri de bu faydayı doğrulamaktadır. LED lambalar, başta enerji tüketiminde sağladığı azalma olmak üzere, çeşitli yönlerden avantajlar sunmaktadır. Öncelikle, LED lambalar daha düşük enerji tüketimi ile yıllık elektrik maliyetini düşürmekte ve aynı zamanda sodyum lambalara göre önemli ölçüde daha uzun ömre (2.5-3 kat) sahip oldukları için bakım ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Bu nedenle, yıllık işletme maliyeti genel olarak daha düşük olmaktadır.



Metal halojen (MH) ve yüksek basınçlı sodyum (HPS – High Pressure Sodium) lambalar ile benzer aydınlık düzeyini sağlayan LED lambaların enerji tasarrufu miktarı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu tabloya göre enerji tasarrufu oranı %35 ile %60 arasında değişmekte olup ortalama olarak %40-50 arasında yer almaktadır.

HID System	HID Wattage [W]	LED Wattage [W]	Savings
70 W Pulse MH	88	53	40%
100 W Pulse MH	129	53	59%
150 W Pulse MH	190	80	58%
250 W Pulse MH	291	156	46%
320 W Pulse MH	368	232	37%
400 W Pulse MH	452	309	32%
70 W HPS	85	53	38%
100 W HPS	115	53	54%
150 W HPS	170	103	39%
250 W HPS	300	183	39%
400 W HPS	465	309	34%

Şekil 3. Konvansiyonel Lambalar ile LED Lamba Karşılaştırması [3]

LED lambaların direkt etkisinin yanı sıra, yukarıda belirtildiği gibi destek ve bakım avantajları da önemlidir. LED lambaların bakım maliyetleri, mevcut lambalara göre yaklaşık %30-45 arasında daha düşük olduğundan, bir LED dönüşümünün yatırım geri dönüş süresi hesaplanabilir. Bu tür çalışmalar, yatırımın genellikle 5 yıl veya daha kısa bir sürede geri kazanıldığını göstermektedir.

Türkiye özelinde incelendiğinde, yaklaşık 2,25 milyon lambanın dönüşümünü içeren "Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması" [2] adlı çalışma dikkate değer bir örnektir. Bu çalışma, 5 yıllık bir dönemde elde edilen fayda ile maliyetleri değerlendirmiş ve sonuç olarak yatırımın getirili olduğunu, fayda/maliyet oranının proje yatırımı için uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Ek olarak, Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesinin sağladığı ek faydaların da hesaplanarak yatırımın geri dönüş süresinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Akıllı sokak lambaları, enerji tasarrufunu LED lambaların ötesine taşıyarak gereksiz olduğu zamanlarda otomatik olarak aydınlatma seviyelerini düşürerek ek enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, lambaların bağlantılı ve durumlarının sürekli olarak izlendiği bir sistem, destek ve bakım maliyetlerini önemli ölçüde düşürecektir.

Bu faydaları ve gereken yatırımın geri dönüşünü hesaplamak amacıyla yapılan çalışmalar aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Hesaplamalar, enflasyon etkisini dahil etmek için Dolar üzerinden yapılmıştır. Elektrik ücreti hesaplamalarında, TEDAŞ tarafından yayınlanan EPDK'nın onayladığı alçak gerilim tek terimli aydınlatma tarifesi kullanılmıştır (Temmuz 2023). Aynı zamanda yıllık aydınlatma süresi olarak günlük ortalama 10 saatlik bir süre olan 3.650 saat kabul edilmiştir. Akıllı lambaların gereksiz olduğu

zamanlarda %85 oranında kısılması ve kısık modda %10 enerji seviyesinde çalışması planlanmıştır. Bu özellik, özellikle yoğun trafiğe sahip bölgelerden uzak meskûn mahalleler veya parklar için uygundur.

**Tablo 3.** Elektrik Ücretleri ve Kullanım Süreleri [3]

Elektrik ücretleri ve kullanım süreleri		kWh TL	Dolar Kur
Şebeke ücretleri ve vergiler dahil elektrik fiyatı, \$ / kWh	<b>0,1063</b>	2,870787	27
Yılda yanan saat, h	<b>3.650</b>		
Yanma süresinden kısılmış zaman, %	<b>%85</b>		
Kısık durumda tüketilen güç, %	<b>%10</b>		

Mevcut sokaklarda kullanılan 250W Yüksek Basıncılı Sodyum (YBS) lambaların, benzer aydınlık seviyesini sağlayan 120W veya biraz daha yüksek güçte LED lambalarla değiştirilmesi senaryosuna yönelik olarak yıllık elektrik tüketimi ve tasarrufu hesaplanmıştır. YBS lambaların açılıp kapanma işlemlerindeki balast veya sürücü kaybının %20 olduğu varsayımıyla hareket edilmiştir.

Bu senaryoya göre, LED armatürlerin gücü ve sürücü kaybı da dahil edildiğinde, \$ 94,93 tasarruf sağlanmaktadır; bu da %65 seviyesinde bir tasarruf anlamına gelmektedir. Ayrıca, LED armatürlere eklenen uzaktan kontrol modülleri ile normal LED armatürlere göre \$ 35,88'lik ek bir tasarruf elde edilirken, bu da %71'lik bir tasarrufa denk gelmektedir. Bu iki tasarrufun toplamıyla birlikte, toplam tasarruf \$ 130,81'e ulaşmaktadır; bu da toplamda %90 seviyesinde bir tasarruf anlamına gelmektedir.

**Tablo 4.** Yıllık Enerji Tüketimi ve Maliyeti

Armatür Tipi	Yüksek Basıncılı Sodyum Lamba	LED Sokak Lambası	Akıllı LED Sokak Lambası Modülü
<b>Yıllık enerji tüketimi ve maliyeti</b>			
Nominal güç, W	250	120	120
Balast/sürücü kaybı, %	20%	5%	5%
Tüketilen güç, W	375	158	158
Yıllık elektrik tüketimi, kWh	1368	474,9	135
Yıllık elektrik maliyeti	\$ 145,41	\$ 50,48	\$ 14,35
Yıllık SW lisans ücreti			\$ 2,25
Yıllık birim elektrik maliyeti	\$ 145,41	\$ 50,48	\$ 14,60
Yıllık tasarruf \$ (HPS'e göre LED ve Akıllı modül farkı)		\$ 94,93	\$130.81

Yıllık tasarruf % (HPS'e göre LED ve Akıllı modül farkı)		65%	90%
Yıllık tasarruf \$ (LED'e göre Akıllı modül farkı)			\$ 35,88
Yıllık tasarruf % (LED'e göre Akıllı modül farkı)			71%

### Örnek Vaka

200.000 kişinin yaşadığı 1.000 hektarlık örnek vaka kapsamında;

Tek bir armatürde sağlanan Tablo 4'teki tasarrufun toplam projede nasıl bir fayda getireceği toplam 1.250 armatür kullanılan örnek vaka alanı varsayımı üzerinden hesaplanmıştır. Buna göre örneğin YBS lambalardan LED lamba dönüşümü için LED armatür ve kurulum maliyeti toplam \$ 379.687,5 olarak hesaplanmıştır. LED lambaların akıllı sokak aydınlatmaya dönüşümü için yapılacak ek yatırım ise \$ 226.090 olarak hesaplanmıştır. Bu maliyetin içerisine sahaya kurulacak olan LoRa gateway, LoRa aydınlatma modülleri ve hareket sensörleri ile merkezde kullanılacak tüm donanım ve yazılım maliyetleri dahil edilmiştir.

Tablo 5. Kurulum Maliyeti

		LED Sokak Lambası	Akıllı LED Sokak Lambası Modülü
<b>Kurulum maliyeti</b>	<b>Adet</b>		
Armatür sayısı	1.250		
LED armatür maliyeti		\$ 270,00	
LoRa Aydınlatma modülü	1.250		\$ 122,62
LoRa Hareket sensörü	125		\$ 77,62
LoRa Gateway (baz istasyonu)	3		\$ 2.250,00
Aydınlatma Platform Yazılım Lisans maliyeti			\$ 11.137,50
Aydınlatma Platform Donanım/Sanal Sunucu maliyeti			\$ 3.037,50
Armatür başına montaj maliyeti		\$ 33,75	\$ 33,75
<b>Kurulum için toplam maliyet</b>		<b>\$ 379.687,5</b>	<b>\$ 226.090</b>

Bu başlangıç yatırımı üzerine ayrıca yıllık işletme maliyeti hesaplanmıştır. İşletme maliyetinde de enerji tüketimi dışında operasyon ve bakım maliyetlerinde de LED'e geçiş sonrasında %50-60 civarında bir tasarruf sağlanır. Bunun bir sebebi YBS lambaların ömürleri örneğin 20.000 saat civarındayken LED lambaların ömürleri 50.000 saatten 70.000-80.000'e kadar çıkar. Bu da senelik lamba değişim ihtiyacını oldukça düşürür.

Ortalama bir LED'in ömrü 15-20 senedir (günlük 10 saat kullanım ile). Daha kısık olarak kullanılan LED'lerin ömrü ise bunun da üzerindedir. Ayrıca merkezi bir şekilde takip edilen akıllı lambalar ile sahadaki arızaları ve hatta olası arızaları görmek mümkün olacak ve bu sayede işletme maliyetleri daha da düşecektir. Bu varsayımlarla ortaya çıkan yıllık işletme maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 6.** İşletme Maliyeti

	Yüksek Basıncılı Sodyum Lamba	LED Sokak Lambası	Akıllı LED Sokak Lambası Modülü
İşletme maliyeti			
Yıllık toplam elektrik maliyeti	\$ 145.410	\$ 50.480	\$ 14.600
Yıllık birim operasyon ve bakım maliyeti	\$ 22,5	\$ 9	\$ 11,25
Yıllık toplam operasyon ve bakım maliyeti	\$ 28.125	\$ 11.250	\$ 14.062,5
<b>Yıllık işletme maliyeti</b>	<b>\$ 173.535</b>	<b>\$ 61.730</b>	<b>\$ 28.662,5</b>
<b>Yıllık tasarruf %</b>		<b>64%</b>	<b>83%</b>

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi 1.250 lambalık bir alanda yıllık maliyet 173 bin 535 Dolardan LED lambalar ile 62 bin Doların altına, akıllı sokak aydınlatması sayesinde 28 bin Dolar seviyesine inmektedir. Bu da toplamda %83 tasarruf sağlamaktadır. Bu veriler çerçevesinde LED lambaların geri dönüş süresi 3,4 yıl olarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak Akıllı Sokak Lambalarının geri dönüş süresi de 6,8 yıldır. Toplamda ortalama olarak LED lambalar ile birlikte Akıllı Sokak Aydınlatması çözümünün geri dönüş süresi 4.18 ile 5 yılın altındadır.

**Tablo 7.** Yıl Olarak Geri Ödeme Süresi

	LED Sokak Lambası geri dönüş	Akıllı LED Sokak Lambası Modülü geri dönüş	Toplam ortalama geri dönüş
Yıl olarak geri ödeme süresi	<b>3.4</b>	<b>6.8</b>	<b>4.18</b>

Toplamda 20 senelik bir kullanım öngörüldüğünde elde edilen tasarruf 2,6 milyon Doların üzerindedir.

**Tablo 8.** Akıllı LED ile Toplam Sahip Olma Maliyeti

	LED Sokak Lambası 120W+	Akıllı LED Sokak Lambası Modülü
<b>Akıllı LED ile Toplam Sahip Olma Maliyeti</b>		
Yıllık operasyonel tasarruf	\$ 111.805	\$ 144.872,5
20 yılda toplam net tasarruf	<b>\$ 1.856.412,5</b>	<b>\$ 2.671.360</b>

## 5. Ekonomik Analiz

Yatırım bütçesinin planlanmasında aşağıdaki maliyet kalemleri göz önüne alınmalıdır.

- LED Armatürler
- Aydınlatma direkleri
- LoRa aydınlatma modülü
- LoRa hareket sensörü
- LoRa gateway
- Aydınlatma platform donanım/sanal sunucu maliyeti
- Armatür başına montaj maliyeti
- Kablolama altyapısı

İşletim maliyetlerinin hesaplanmasında aşağıdaki temel parametreler göz önüne alınmalıdır.

- Yıllık Elektrik Tüketimi
- Yetkin Çalışan Maliyeti
- Donanım Bakım-Onarım Maliyetleri
- Lisans Maliyeti
- Aydınlatma platform yazılım lisans maliyeti
- SW lisans ücreti

Projenin, finansal olarak fayda sağladığı örnek vaka ile açıklanmıştır. LED armatürlerin kullanıldığı Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, finansal avantajların yanı sıra daha yüksek kalitede ve canlı bir çevre aydınlatması sağlayarak daha güvenli ve emniyetli yaşam alanları oluşturmaktadır. Işık rengi özellikle daha net görüş sağlamakta, bu da sürücüler için daha güvenli bir sürüş deneyimi anlamına gelmektedir. Doğru ayarlanmış parlak bir yol, trafik kazalarının %30-40 oranında azalmasına katkı sağlayacaktır, bu da ekonomik fayda sağlayacaktır.

Ayrıca, ışık şiddeti ihtiyaca göre ayarlanabilir. Örneğin, normal zamanlarda lambaların %75-80 oranında aydınlatma sağlaması yeterli olabilir. Ancak çevrede bir güvenlik tehdidi algılandığında, aydınlatma seviyesi en yüksek düzeye çıkarılarak daha güvenli bir ortam oluşturulur. Bu güvenli ortam, suç oranlarını azaltarak ekonomik zararın önlenmesine yardımcı olur. Örneğin, hırsızlık ve kapkaç gibi suçlar azalabilir.

LED lambalar, diğerk tür lambalara kıyasla daha hızlı açılırlar, uzun ömürlüdürler, soğuk hava koşullarında aydınlatma verimliliği kaybetmezler ve darbelere, titreşimlere (örneğin köprülerde) karşı dayanıklıdırlar. Bu özellikler, genel olarak daha güvenli ve aydınlık yaşam alanları oluşturmaktadır.

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, kent sakinlerine etkili bir şekilde anlatıldığında, bölgedeki insanların çevreye daha duyarlı ve faydalı bireyler olarak hareket etmelerine yol açacaktır. Örneğin, LED lambalara geçerek enerji tasarrufu yapabilirler ve karbon salınımını azaltabilirler. Bu da dolaylı olarak ekonomik avantajlar sağlayacaktır.

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, sunduğu verimlilik ve enerji tasarrufu avantajları sayesinde, şehirlerin karbon ayak izini azaltarak hem yerel hem de küresel düzeyde önemli katkılar sağlamaktadır. Bu yaklaşım, daha temiz ve sağlıklı şehirlerin oluşumuna olanak tanımaktadır. İnovasyon odaklı ve vatandaşların refahını önceleyen şehirler, aynı zamanda mutlu ve huzurlu bir nüfusa sahip olmanın yanı sıra ekonomik büyümeye de olumlu şekilde katkı sağlamaktadır.

Hayata geçirilecek Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, yeni yerleşim bölgesinde hem konutlar hem de ticari alanlar için talebi artırarak bölgenin gelişimine olumlu bir ivme kazandıracaktır. Bu talep artışı, yerleşim bölgesinde faaliyet gösteren işletmelerin olumlu etkilenmesine neden olacaktır.

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesindeki temel kaynak, sokak direkleridir. Bu direklerde hem eski teknoloji (geleneksel sokak lambaları) hem de yeni teknoloji (Yüksek Verimli Aydınlatma veya LED lambalar) kullanılabilir. Her iki seçenek de çevre aydınlatmasını sağlama amacını taşıdığı için alternatif fırsat maliyetleri göz ardı edilebilir. Ancak sokak direkleri yalnızca aydınlatma için değil, aynı zamanda farklı amaçlar için de kullanılmaktadır. Örneğin, günümüzde cep telefonu kapsama alanını genişletmek için makro/mikro baz istasyonları sıklıkla uygun konum, yükseklik ve güçteki sokak direklerine monte edilmektedir. Akıllı aydınlatma sistemleri, bu tür uygulamalara engel teşkil etmemektedir. Dahası, sokak direkleri çeşitli akıllı şehir uygulamaları için de potansiyel taşımaktadır. Örneğin, gürültü veya hava kirliliği sensörleri, güvenlik kameraları gibi uygulamaları desteklemek için kullanılabilirler. Bu tür uygulamalar, alternatif maliyetler yerine alternatif fırsatlar yaratmakta ve sokak direklerinin çok yönlü kullanımını vurgulamaktadır.

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi yüksek maliyetli işlerdir ve titizlikle tasarlanmalı, uygun yönetmeliklere göre uygulanmalıdır. Maliyet-etkinlik analizi gerçekleştirebilmek için farklı uygulamaların etkinliğini incelemek önemlidir.

Geleneksel bir yaklaşım olan konvansiyonel sokak aydınlatması (örneğin YBS lambaları kullanarak), sokakların ve çevrenin etkili bir şekilde aydınlatılmasını sağlar. Ancak bu durum alışlagelmiş sarı renkte ışık ve belli bir görüş kapasitesiyle sınırlı olabilir. Ancak bu lambalar, hava karardığında açılmakta ve

hava aydınlanana kadar sürekli olarak tam kapasiteyle yanmakta, bu da enerji tasarrufu sağlamamaktadır. Aynı zamanda, bu lambalar pasif cihazlar olarak veri toplamaz ve bakım operasyonları için veri sağlamaz. YBS lambalar yerine LED armatürler kullanıldığında, enerji tasarrufu sağlayacak ve görüş kapasitesini artıracaktır. Ancak, LED lambalar da bağlantılı olmadığında bütün gece boyunca tam güçte yanarak etkin bir tasarruf sağlamayacaktır ve YBS lambalar gibi pasif cihazlar haline gelecektir.

Akıllı Sokak Aydınlatmalarının en büyük faydaları, enerji tasarrufu sağlama kabiliyeti ve bağlantılı olmaları sayesinde veri toplama yetenekleridir. Bu faydaların ekonomik kazançlarının değerlendirilebilmesi için bu ek yatırımın yapılmasının maliyetlerini çıkarmak önemlidir.

Finansal analizde, kablosuz iletişim ağı için gereken yatırım maliyetleri hesaplamalara dahil edilmiştir. Ancak farklı bir uygulama aynı iletişim ağını kullanıyorsa, gerekli yatırım maliyeti yeniden ödenmeyecektir veya daha düşük bir seviyede olacaktır (örneğin ek bir gateway veya baz istasyonu gerekmeyecektir).

## 6. Sosyal Etkinin Analizi

Projenin toplumsal etkisi genel anlamda olumlu yönde değerlendirilmektedir. Akıllı LED lambaların sağladığı daha kaliteli ve canlı çevre aydınlanması, kent sakinleri üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. LED lambaların sunduğu net ve berrak görüş, özellikle düşük lümen seviyelerinde bile daha iyi görüş sağlayarak insanların memnuniyetini artırmaktadır. Bu canlı aydınlatma sayesinde yaşam alanları daha güvenli hale gelmekte ve bu da toplumsal açıdan olumlu bir etki yaratmaktadır.

Ancak bazı LED lambaların aşırı beyaz ışık yaymasının, ışık kirliliğine yol açabileceği ve sağlık üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, seçilen LED lambaların Kelvin değerlerinin gece lambalarında alışıksız sıcak renk sıcaklıkları (2700-4000 Kelvin) yerine aşırı beyaz ışık yayan değerler (5000-6000 Kelvin) olmamasına özen gösterilmelidir. Aşırı beyaz ışık kullanımı, ışık kirliliği şikayetlerini artırabilir, memnuniyeti düşürebilir ve bu da olumsuz bir toplumsal etki yaratabilir. Bu nedenle, lambaların renk sıcaklığı seçimi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, şehirlerin enerji tasarrufu yapmasını, lambaların gereksiz zamanlarda kısılması ve ihtiyaç duyulduğunda aydınlatılması, karbon salınımının azaltılmasını ve lamba arızalarının proaktif bir şekilde çözülmesini sağlayarak olumlu bir toplumsal etki yaratmaktadır. Bu olumlu etkinin daha da artması için vatandaşların bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Etkin iletişim ve halkla ilişkiler yöntemleri kullanılarak vatandaşlar bilgilendirilirse, daha olumlu bir toplumsal etki elde edilebilmesi mümkündür.

Özellikle turistik alanlarda kullanılan akıllı aydınlatma, önemli bir toplumsal etki yaratmaktadır. Şehirlerin turistik bölgelerinde uygulanan akıllı aydınlatma, turistlerin bu bölgeleri gezerken daha net görüş sağlamalarına yardımcı olurken aynı zamanda olumlu bir izlenim bırakmaktadır. Bu olumlu etki sayesinde şehirler daha fazla turist çekebilir ve bu da ekonomik açıdan katkı sağlar.

## 7. Çevresel Etkinin Analizi

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, çevresel etkinin en üst düzeye çıkarılmasını amaçlayan öncü akıllı şehir projelerinden biridir. Akıllı LED lambaların entegrasyonu ile sağlanan enerji tasarrufu doğrudan ölçülebilir. Daha önce de belirtildiği gibi, LED lambaların genellikle %35 ile %60 arasında değişen oranlarda tasarruf sağladığı görülmektedir, bu oran genellikle %40 ile %50 arasındadır. LED lambaların akıllı hale getirilmesi, bu tasarrufu yaklaşık %70 daha artırabilir. Bu da toplam tasarrufun %90'a kadar çıkabileceği anlamına gelir.

Örneğin, bir 250 Watt YBS lambanın yıllık elektrik tüketimi, %20 balast kaybı dahil olarak 1095 kWh olarak hesaplanmıştır. Ancak Akıllı LED sokak lambası modülü kullanıldığında, bu tüketim yılda 108 kWh'ye düşer. Bu, yıllık 987 kWh tasarrufa tekabül eder, yani yaklaşık olarak 1 MWh. 2019 yılı itibarıyla, her bir MWh başına ortalama 0,514 ton karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınımı gerçekleşmektedir. Bu nedenle, bir adet 250 Watt lambanın akıllı LED lamba ile değiştirilmesi sonucunda yaklaşık 0,5 ton CO<sub>2</sub> salınımının azaltıldığını söyleyebiliriz.

Örnek vakada belirtildiği gibi, 1.250 adet armatürün kullanıldığı bir şehir alanında yıllık olarak yaklaşık 625 ton daha az karbon salınımı gerçekleştirilecektir. Akıllı sokak lambalarının daha geniş bir alanda yaygınlaşmasıyla elde edilecek karbon salınımı tasarrufu da aynı oranda artış gösterecektir.

## 8. Risk Analizi

Projenin mali olarak gerçekleştirilebilirliğini etkileyebilecek unsurlar, önceden belirlenen varsayımlarda çeşitli değişiklikler gösterebilir. Özetle, projenin finansal temelini şekillendiren temel varsayımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Vergi dahil elektrik ücretleri
- YBS lambaya göre kullanılacak muadil LED lamba gücü
- Lambaların günlük ve yıllık yanma saatleri
- Yanma süresinden kısalmış zaman yüzdesi
- Lambaları kısma yüzdeleri
- Balast/sürücü kaybı



- Armatür maliyeti
- Kullanılacak armatür sayısı
- Kullanılacak hareket sensörü sayısı
- Kullanılacak baz istasyonu sayısı
- Donanım ve yazılım maliyetleri
- Armatür başına kurulum maliyetleri
- Yıllık operasyon ve bakım maliyetleri

Bu varsayımlarda meydana gelebilecek olumlu ya da olumsuz değişiklikler, proje yapılabilirliğini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilir. Örneğin, aydınlatma armatürleri veya sokak aydınlatma platformunun yazılım ve donanım maliyetlerindeki artışlar, toplam sahip olma maliyetini artırarak yatırımın geri dönüş sürelerini uzatabilir. Aynı şekilde, lambaların kısılma oranlarındaki artış veya azalış, elde edilen faydanın artmasına veya azalmasına yol açabilir. Elektrik ücretlerindeki yükselme, faydanın artmasına neden olabilir; çünkü yüksek elektrik maliyeti, LED aydınlatma sistemleri ile geleneksel sistemler arasındaki farkı daha da belirgin hale getirebilir. Bu durum aynı zamanda kullanılan armatürün gücüne bağlı olarak elde edilen faydayı da etkiler. Örneğin, 120W'lık bir LED armatür, 60W'lık bir LED armatüre göre daha fazla elektrik tüketmekte, bu da LED'in kısılmasıyla daha büyük bir fayda sağlamaktadır. Bu nedenle, projenin başlangıcında ve planlamasında bu varsayımların en doğru şekilde yapılmasına özel bir özen gösterilmesi gerekmektedir. Başlangıçta yapılacak detaylı çalışma ve planlama, ileride bu tür sapmaların önüne geçmeye veya minimumda tutmaya yardımcı olacaktır. Bu sayede önceden belirlenen hedeflere ulaşmak daha mümkün olacaktır.

Armatür ve diğer donanımlarda kullanılan yabancı kaynaklı parçaların kullanılması, ithalat maliyetlerinde artış veya ithalatta yaşanabilecek aksama veya gecikme gibi riskleri beraberinde getirecektir. Bu tür durumlar hem mali kazancı azaltabilir hem de proje tedarikini etkileyerek gecikmelere yol açabilir. Maliyet artışları genellikle döviz kurlarındaki yükselmelerden veya malzeme temininde yaşanan eksikliklerden kaynaklanabilir.

Elektrik maliyetlerindeki artış veya düşüşler, mali kazancı etkileyen diğer önemli bir faktördür. Yerli üretimin artması ve maliyetlerin düşmesi durumunda, öngörülen fayda daha yüksek veya daha düşük olabilir. Bu faktörlerin dikkate alınması, proje planlamasının ve yönetiminin daha sağlam temellere oturtulması açısından büyük önem taşımaktadır.

Seçilen LED lambaların aşırı beyaz ışık yayması, ışık kirliliğine neden olabilir ve bu durum şikayetleri artırabilir. Böyle bir durumda lambaların değiştirilmesi hem ek maliyetlere yol açmakta hem de zaman kaybına neden olabilmektedir. Benzer şekilde, lambaların aşırı derecede kısılması sonucunda kent sakinlerinin rahatsızlık duyması ve bu nedenle lambaların beklenenden daha az kısılması, tasarruf

potansiyelini azaltabilmektedir. Bu nedenle, lambaların güç seviyeleri ve kısılma saatleri en doğru şekilde hesaplanmalıdır. Başlangıçta tam anlamıyla optimum olmasa da operasyon ekiplerinin ve halkın geri bildirimleri ile en üst düzeyde optimizasyon yapılmalıdır.

Aynı zamanda, kısık durumda olan lambaların hareket algılandığında aydınlatılması gerektiği zamanlarda, doğru şekilde hareketin algılanamaması riski bulunmaktadır. Bu, yeterli aydınlatmanın sağlanamamasından kaynaklı artan şikayetlerin yanı sıra maliyetlere de etki edebilir. Bu nedenle, olası hareketleri doğru şekilde tespit etmek ve hareket sensörlerini en uygun şekilde yerleştirmek büyük önem taşımaktadır. Sensörlerin yetersiz kullanımı da bir risk oluşturduğu gibi fazla kullanım da maliyet artışına yol açabilmektedir. Bu nedenle, hassas bir denge kurmak ve sistemi en verimli şekilde çalıştırmak için titizlikle planlama yapılmalıdır.

Projede dikkate alınması gereken bir diğer risk, iletişim altyapısında oluşabilecek aksaklıklardır. Baz istasyonlarıyla LED armatürler arasındaki iletişimde sorunlar yaşanması durumunda, lamba kısma ve aydınlatma işlemleri aksayabilmektedir. Bu tür aksamalar, baz istasyonlarının sayısı, konumu ve şehrin coğrafi yapısına bağlı olarak meydana gelebilmektedir. Örneğin, düz ve düzensiz bir kentte az sayıda baz istasyonu yeterli olabilirken engebeli veya yüksek binaların yoğun olduğu bir şehirde daha fazla sayıda baz istasyonu gerekebilir. Bu nedenle, projenin başlangıcında iletişim altyapısının planlanması ve yerleştirilmesi, vaziyet planlarının doğru şekilde çizilmesiyle beraber, bu iletişim sorunlarının minimize edilmesini sağlamaktadır.

İletişim sorunları, dış etkenler nedeniyle de ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, aynı frekansta yoğun kullanım veya gürültü, zaman zaman kullanılan sinyal bozucular gibi etkenler iletişimi kesintiye uğratabilir. Bu tür durumların etkisini azaltmak için projenin iletişim altyapısı tasarımı ve uygulaması sırasında gerekli önlemler alınmalıdır.

Projede projeye spesifik riskler olmakla birlikte genel proje yönetimine yönelik riskler de mevcuttur. Aşağıdaki tabloda hem projeye spesifik riskler hem de genel riskler listelenmiştir. Öncesinde risk analizinde izlenen yöntem açıklanacaktır:

Risklerin analizinde gerçekleşme olasılıkları 1-5 arasında 1 en düşük, 5 en yüksek olasılık olarak sıralanmış, aynı şekilde riskin gerçekleşmesi durumunda yaratacağı etki de 1-5 arasında 1 en az, 5 en fazla etki olmak üzere sıralanmıştır. Riskin gerçekleşme olasılığı ve etkisi birlikte değerlendirilerek riskin toplam derecesi belirlenmiştir.

Olasılıklar:

1. Çok düşük olasılık (%0-20 arası)
2. Düşük olasılık (%20-40 arası)

3. Orta olasılık (%40-60 arası)
4. Yüksek olasılık (%60-80 arası)
5. Çok yüksek olasılık (%80-100 arası)

**Etkiler:**

1. Çok az etki: Gerçekleştiği takdirde fazla önemsenmeyecek veya çok az önemsenecek bir etki, örneğin projenin bitiş tarihini etkilemeyecek miktarda bazı aktivitelerin gecikmesi veya bütçeyi fazla etkilemeyecek şekilde maliyetlerde oynama.
2. Az etki: Gerçekleştiği takdirde hafif bir etki, örneğin projede az miktarda gecikmeler, maliyetlerde az artışlar.
3. Orta etki: Gerçekleştiği takdirde orta dereceli bir etki, örneğin projede orta miktarda gecikmeler, maliyetlerde küçük artışlar.
4. Büyük etki: Gerçekleştiği takdirde önemli derecede bir etki, örneğin projenin önemli derecede gecikmesi, maliyetlerde önemli artışlar.
5. Çok büyük etki: Gerçekleştiği takdirde ciddi derecede bir etki, örneğin projenin uzun bir süre durması ve iptal olması, maliyetlerde altından kalkılamayacak derecede artışlar.

Bu olasılıklar ve etkilere göre risk derecelerinin numaraları birbiri ile çarpılarak belirlenir. Buna göre dereceler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 9).

**Tablo 9.** Olasılık ve Etkisine Göre Risk Dereceleri

Olasılık \ Etki	Çok az (1)	Az (2)	Orta (3)	Büyük (4)	Çok büyük (5)
<b>Çok düşük (1)</b>	Anlamsız 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
<b>Düşük (2)</b>	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
<b>Orta (3)</b>	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
<b>Yüksek (4)</b>	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
<b>Çok yüksek (5)</b>	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Kritik 25

**Tablo 10.** Proje Riskleri ve Dereceleri

Risk	Olasılığı	Etkisi	Derecesi
1. İlk yatırım maliyetinin caydırıcılığı ve uzun dönemdeki sağlanan faydanın belediyelerin anlık gereksinimleri karşısında ikinci plana itilmesi	3	5	Yüksek (15)
2. Projenin bir bütün olarak planlanmasına rağmen süreçte mali sıkışıklık durumunda kesintiye uğraması	2	4	Orta (8)
3. Proje planına uyulmaması	4	4	Yüksek (16)
4. Proje planını etkileyecek üçüncü firmalar tarafından üstlenilmiş diğer alt yapı ve planlanan işlerin zamanında tamamlanmaması	4	4	Yüksek (16)
5. Mahalli İdarelerde Yönetim değişikliği ve buna bağlı projenin gecikmesi veya tam anlamı ile gerçekleşmemesi	2	5	Orta (10)
6. Ödemelere bağlı gecikmeler, ithal ürünlerin fiyatlarının artması	3	4	Orta (12)
7. Süreç içinde teknolojik ve ürün değişmelerine karşı uyumlu güncellemelerin yapılabilmesi	3	3	Orta (9)
8. Sistemin devreye girmesi ile bakım ve destek hizmetlerinin başlaması bu amaçla bir yapılanmanın mutlaka proje dahilinde düşünülmesi. İşletmeye alınacak yeni bölge ve ürünlerin de aynı yapılanma ile yürütülmesi	2	4	Orta (8)
9. İthalat maliyetlerinin artması veya ithalatta aksama ya da gecikme olması	2	3	Orta (12)

Risk	Olasılığı	Etkisi	Derecesi
10. Elektrik üretiminde döviz kurlarındaki değişimler sebebi ile elektrik ücretlerinde artış veya düşüş olması	3	4	Orta (12)
11. Seçilen LED lambaların fazla beyaz ışık yaymasından dolayı ışık kirliliği oluşması ve şikayetlerin artması	3	4	Orta (8)
12. Lambaların fazla kısılması sonucu kent sakinlerinin rahatsızlık duyması ve şikayetlerin artması	2	4	Orta (6)
12. Lambaların fazla kısılması sonucu kent sakinlerinin rahatsızlık duyması ve şikayetlerin artması	2	3	Düşük (6)
13. Baz istasyonlarının konumu, sayısı ve şehrin coğrafi yapısından kaynaklı lambalar ile iletişimde aksamalar olması	2	3	Düşük (6)
14. Sinyal bozucular ile iletişimde aksamalar olması	1	4	Düşük (4)

Teknolojideki hızlı gelişmeler, projenin gelecekte güncellenmesi gerekliliğini ortaya çıkarabilir. Mevcut sistemlerin, teknoloji alanındaki ilerlemelere göre farklı hızlarda değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, LED lambalar daha verimli hale gelebilir veya iletişim teknolojisi ve merkezi kontrol platformu daha gelişmiş seçeneklerle yenilenebilir. Bu kapsamda, örneğin yakın zamanda Türkiye’de yaygınlaşacak olan 5G altyapısı gibi ileri teknolojik gelişmeler projeyi etkileyebilir.

Bu nedenle, kurulacak sistem ileri teknolojilere uyum sağlayabilecek esneklikte olmalıdır. Ancak bu ilerlemeler, tüm sistemin yeniden tasarlanması yerine özellikle aydınlatma alanının genişletilmesi veya örneğin arızalı lambaların değiştirilmesi gibi ihtiyaçlar ortaya çıktığında (farklı mahallelerde veya özel durumlar için) önem kazanacaktır. Bu durumda, farklı teknolojilerin bir arada çalışacağı hibrit bir yapı oluşturulabilir. Yeni sistem ayrıca minimum garanti sürelerini ve garanti sonrası parça teminini

desteklemeli, böylece riskler minimize edilmelidir. Bu yaklaşım, projenin en az 10 yıl boyunca güncelleme ihtiyacı olmadan kesintisiz çalışmasını sağlayacaktır.

## 9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Kentlerin sunduğu temel hizmetlerden biri olan çevre aydınlatması, son 50 yılda büyük bir dönüşüm yaşamıştır. Yüksek basınçlı deşarj, yüksek basınçlı sodyum ve metal halojen gibi geleneksel lamba teknolojileri, yerini giderek daha verimli, güvenli ve uzun ömürlü LED lambalara bırakmıştır. Bu teknolojik evrim, şehirlerin aydınlatma altyapısını daha sürdürülebilir ve akıllı bir seviyeye taşımıştır.

Aynı zamanda iletişim alanındaki gelişmeler, dijital haberleşmenin yalnızca insanlar arasında değil, aynı zamanda nesnelere arasında da gerçekleşmesine olanak sağlamıştır. Bu sayede şehirlerdeki aydınlatma sistemleri de akıllı bir dönüşüm geçirerek enerji verimliliğini artırma, operasyon maliyetlerini düşürme ve hizmet kalitesini yükseltme gibi fırsatlar sunmaktadır.

Akıllı Sokak Aydınlatma Projesi, bu iki önemli gelişmenin birleşimini temsil etmektedir. Bu proje, şehirlerin hedeflerinden biri olan karbon salınımlarını azaltma ve kent sakinlerine daha temiz, güvenli ve yaşanabilir bir çevre sunma amacını desteklemektedir. Sosyal ve çevresel etkileri sayesinde, Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi diğer akıllı şehir uygulamalarının ötesine geçerek öne çıkmaktadır. Bu proje, şehir yaşamını daha akıllı, sürdürülebilir ve geleceğe uyumlu hale getirme yolunda önemli bir adımdır.

Akıllı sokak aydınlatma altyapısı için hem kablolu hem de kablosuz farklı teknolojiler bulunmaktadır. Ancak tercih edilen ve öne çıkan mimari yapı, uzun menzil sağlayan kablosuz LoRa teknolojisidir. LED lambalar, geleneksel muadil lambalara göre yaklaşık %40-50 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yapılan analizler, Akıllı Sokak Aydınlatma Sistemleri ile bu tasarrufun %80-90 seviyesine çıkabildiğini göstermektedir. Bu durum, yatırımların geri dönüş sürelerini 4-5 yıl gibi kısa bir zaman dilimine indirmektedir.

Projeyi başarıyla sürdürebilmek ve altyapının en etkili biçimde kullanımını sağlamak amacıyla, proje bitiminden sonra en az 2 dönem olmak üzere toplam 5 yıl süresince bakım ve destek faaliyetlerinin devam etmesi gereklidir. Aynı zamanda, hızla gelişen teknolojilere uyum sağlayabilme yeteneği ve altyapının yeni teknolojilere adapte edilebilmesi de büyük bir fırsattır ve bu yönde esneklik sağlanmalıdır.

Dünya genelinde birçok ülke ve şehir, Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesini başarılı bir şekilde hayata geçirmiş ve bu uygulamaların yaygınlaşmasını sürdürmektedir. Türkiye'de ise hem LED lambaların kullanımını hem de Akıllı Sokak Aydınlatmaları projeleri henüz başlangıç aşamasındadır. Ülke genelinde

LED lambaların yaygınlaşması, 2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda [1] belirlenen hedefler doğrultusunda ilerlemektedir. Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi ise bu hedeflere ulaşma çabalarını destekleyerek daha fazla enerji tasarrufu sağlama potansiyeli sunmaktadır.

Bu önemli fırsatı değerlendirmek için LED lambaların ve akıllı sistem teknolojilerinin etkili bir şekilde kullanılması ve uygun bir altyapının seçilmesi gerekmektedir. Doğru teknolojik altyapının seçilmesiyle birlikte başarılı bir Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, şehirlerin hedeflerine daha da yaklaşmalarını sağlayacaktır. Bu proje, enerji verimliliği, tasarruf ve çevresel sürdürülebilirlik alanlarında büyük katkılar sunarak şehirlerin geleceğini aydınlatmaktadır.

Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesini yalnızca bir enerji tasarrufu girişimi olarak değil, daha geniş bir vizyon ve perspektifle ele almak önemlidir. Projeyi sadece belirli alanlarda tasarruf sağlayan bir adım olarak görmek yerine, daha büyük bir çerçevede düşünmek gerekmektedir. Farklı bölgelerde (örneğin, meskûn mahalleler veya parklar gibi) daha fazla enerji tasarrufu elde edilebilirken, yoğun işlek caddelerde tasarruf oranı daha düşük olabilmektedir. Ancak, sürekli bağlantı sağlayan akıllı lambaların topladığı veri, operasyonel kolaylıklar, sosyal ve çevresel etkiler ile şehir genelinde karbon ayak izinin azalması gibi faydalar göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi sadece finansal yönüyle değil, çok yönlü ve kapsamlı bir perspektifle ele alınmalıdır.

Akıllı Sokak Aydınlatma platformunun şehir genelinde kurulması aynı zamanda daha geniş bir altyapı oluşturacaktır. Bu altyapı sayesinde farklı akıllı şehir uygulamalarının hayata geçirilmesi daha da kolaylaşacaktır. Böylelikle, projenin etkileri yalnızca aydınlatma alanıyla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda şehirde daha geniş bir dönüşüm ve gelişim sürecini tetiklemektedir. Bu nedenle, Akıllı Sokak Aydınlatmaları projesi, sadece enerji tasarrufu değil, aynı zamanda şehir yaşamının daha akıllı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine olanak sağlayan çok boyutlu bir yaklaşımı temsil etmektedir.

## 10. Yol Haritası

Proje için önerilen yol haritası, ilk adım olarak bir pilot uygulama gerçekleştirmeyi ve bu pilot çalışma sonuçlarına dayanarak akıllı aydınlatma projesinin daha geniş kapsamlı ve etkili bir şekilde uygulanacağı bölgeleri belirlemeyi içermektedir. Pilot çalışma, yeni geliştirilen orta büyüklükteki bir mahalle veya bölgede gerçekleştirilir ve bu bölge öncelik sıralaması yapılarak belirlenmektedir. Bu öncelik sıralamasına göre proje planı ve fazları belirlenir. Bu bölgede, sokak aydınlatma altyapısının kurulumu ve yönetimi akıllı teknolojilerle gerçekleştirilir. Bu pilot çalışma, projenin verimliliğini doğru bir şekilde değerlendirmek ve iyileştirmeler yapmak için önemli bir fırsat sunar.

Orta büyüklükteki bir bölgede yaklaşık 500-1000 lambayla gerçekleştirilecek olan pilot çalışma, proje verilerini toplamanın yanı sıra uygulamanın etkisini anlamak ve ölçmek için önemli bir temel oluşturmaktadır. Bu pilot çalışma sayesinde elde edilecek deneyim ve sonuçlar, akıllı aydınlatmanın diğer bölgelere nasıl genişletileceğine dair daha sağlam bir temel oluşturacaktır. Projenin ilerleyen aşamaları ve uygulamanın yaygınlaştırılması için daha iyi bir rehberlik sağlayacaktır.

Örnek olarak bir ekip en az 2-3 kişiden (teknisyen) oluşur ve lambalarda yapılacak çalışma için ayrıca araç ve direklerin tepesine çıkabilmek için sepet gerekir. Böyle bir ekip ile günde yaklaşık 10 adet lamba değişimi ve akıllı modül kurulumu yapılabilir. Bu da haftada 50, ayda yaklaşık 200 adet lambanın değişimi anlamına gelir. Örneğin 1000 lamba olan bir alanda bir ekip ile toplam 5 ayda uygulama tamamlanır. Ekip sayısı artırılarak bu süre örneğin 2 ekip ile 2.5 aya veya 5 ekip ile 1 aya kadar indirilebilir. Bu rakamlar yaklaşık ve tahmini rakamlardır.

Sistem ve lambalar fazlı olarak devreye alınabilir. Büyük bir şehirde ve çok sayıda lambanın dönüşümü yapılacaksa bunun daha kontrol edilebilir ve yönetilebilir olması için bölgelere ayrılması ve faz faz ilerlenmesi daha uygun olacaktır.

Bu strateji, projenin sürdürülebilirliğini ve başarısını artırmak için önemlidir. Pilot çalışmanın başarısı, akıllı aydınlatma projesinin daha büyük ölçekte ve daha geniş kapsamlı olarak yaygınlaştırılmasına olanak tanımaktadır. Bu şekilde, şehirde enerji verimliliği ve aydınlatma kalitesini artırmak için etkili bir yol haritası oluşturulmuş olacaktır.

## 11. Kaynakça

- [1] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023. (Kasım, 2017).  
[https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2017-2023\\_Ulusal-Enerji-Verimliliği-Eylem-Plani.pdf](https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2017-2023_Ulusal-Enerji-Verimliliği-Eylem-Plani.pdf) Erişim tarihi: 22.12.2023
- [2] E. Yılmaz, O. Erden, & N. Kocadağ, "Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması", GMBD, c. 5, sy. 3, ss. 280–289, 2019, doi: 10.30855/gmbd.2019.03.09.
- [3] TÜBİTAK - TÜSSİDE. Esenler Belediyesi Akıllı Şehir Uygulamaları Fizibilite Projesi. Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatmaları Ön Fizibilite Raporu.
- [4] <https://remourban.tepebasi.bel.tr/hakkimizda.html>
- [5] <https://www.aydinlatma.org/led-surucu-pazari-2021-2027-yillari-arasinda-guclu-buyumeye-tanik-olacak.html>



[6] Y. Rama and M. A. Özpınmar, "A Comparison of Long-Range Licensed and Unlicensed LPWAN Technologies According to Their Geolocation Services and Commercial Opportunities," 2018 18th Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Istanbul, Turkey, 2018, pp. 398-403, doi: 10.1109/MMS.2018.8612009.