

Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi

Alper BALOĞLU*, Orhan KARADEMİROĞLU

Istanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri (İSBAK), Seyrantepe Mah. Cendere Cad. No:56 Kağıthane, İstanbul 34408, Türkiye

YAYIN BİLGİSİ

Yayın geçmişi:

Gönderilen tarih: 10 Aralık 2018

Kabul tarihi: 06 Mart 2019

Anahtar kelimeler:

Akıllı Şehir

LPWA

Lora

NB-IoT

ÖZET

Akıllı Şehir vizyonunu benimseyen ve yatırımlarını, planlarını bu yönde kurgulayan şehirlerin öncelikle güçlü bir şehir dijital altyapısı tesis etmesi gerekmektedir. Dijital altyapı bileşenleri olarak güçlü ve hassas ölçüm noktaları (sensörler vb.), yaygın ve gelişmiş haberleşme ağları ve sürdürülebilir ve verimli altyapı hizmetleri gösterilebilir. Sürekli gelişen haberleşme ağları ekosisteminde kablolu haberleşme teknolojileri (fiber, bakır vb.) ile birlikte şehirlerde yoğun olarak kablosuz haberleşme teknolojileri de kullanılmaktadır. Kablosuz haberleşme teknolojileri olarak “Kısa Mesafe Kablosuz Haberleşme Teknolojileri (BLE, Zigbee vb.)” , “Düşük Güç Geniş Alan (LPWA) Haberleşme Teknolojileri (NB-IoT, Lora, Sigfox vb.)” ve “Hücresel Haberleşme Teknolojileri (3G, 4G, 5G vb.)” yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle düşük güç tüketimi, çift yönlü ve uzun menzilli haberleşme yeteneği göz önünde bulundurulduğunda, LPWA (Düşük Güç Geniş Alan) haberleşme protokollerinin kısa vadede hızla yaygınlaşacağını söylemek yanlış bir yaklaşım olmayacaktır. Ancak şehirlerde, uygulamalara özgü doğru haberleşme teknolojileri, doğru parametreleri analiz ederek seçmek sürecin etkin ve verimli yönetilebilmesi adına ciddi önem arz etmektedir.

ABSTRACT

Cities, which adopt the vision of Smart City and build investments and plans in this direction, should establish a strong city digital infrastructure. Digital infrastructure components include strong and accurate measuring points (sensors, etc.), common and advanced communication networks, and sustainable and efficient infrastructure services. In the continuously developing communication network ecosystem, wireless communication technologies are also used intensively together with wired communication technologies (fiber, copper, etc.). In the cities, generally “Short Range Wireless Communication Technologies (BLE, Zigbee etc.)”, “Low Power Wide Area (LPWA) Wireless Communication Technologies (NB-IoT, Lora etc.)” and “Cellular Communication Technologies (3G, 4G, 5G etc.)” are used very common. Especially, considering low power consumption, bidirectional and long range communication capability, it is very easy to say that, LPWA (Low Power Wide Area) communication protocols will grow up rapidly in the short term. However, it is very important to choose best communication technology by considering correct parameters which are specific for the smart city to manage digital infrastructure process effective.

1. Giriş

Akıllı Şehir inisiyatifinin temel yapı taşlarından birisi bağlantılı bir şehir ekosistemi oluşturmaktır. Bağlantılı bir şehir ekosistemi kurgulamak için ise şehrin dijital altyapısının planlı, dayanıklı, yaygın, modüler, birlikte çalışabilir ve

yeniden kullanılabilir yapı taşları oluşturulması olmazsa olmaz bir yaklaşımdır. Bilgi ve İletişim teknolojisindeki gelişmeler, güçlü bir dijital şehir altyapısının kurulmasına dolayısıyla da Akıllı Şehir vizyonunu gerçeğe dönüştürmeye katkıda bulunmaktadır. Şehrin dijital altyapısı, güçlü ve yaygın sensör ağı ile etkin ve verimli haberleşme ağı

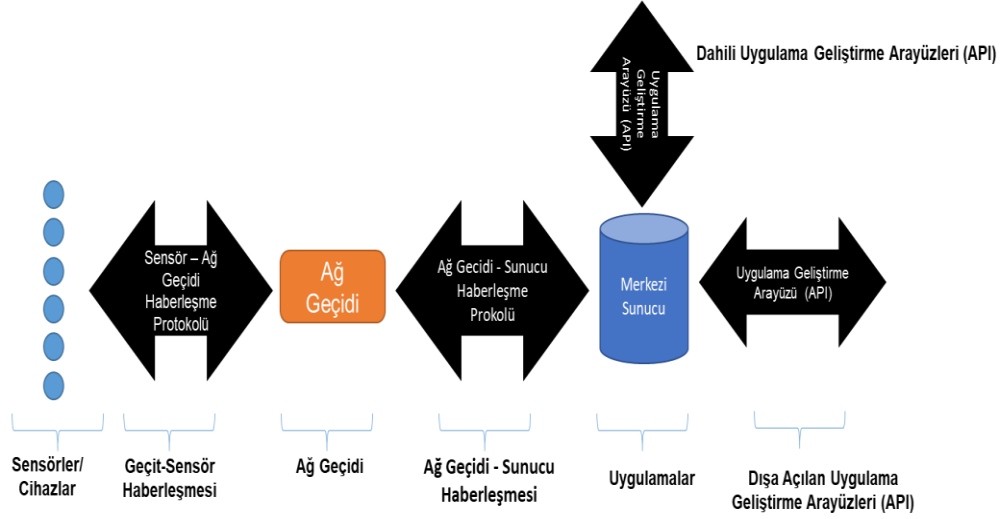
*Corresponding author.

E-mail address: baloglu.alper@gmail.com, + 90 533 502 10 25

bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde anlamlı olur. Şehre akıl ve değer katan özelliklerin bütünü olan Dijital Şehir Altyapısı Akıllı Şehir etkileştiricisi olarak önemli bir rol oynamaktadır.

Dijital şehir altyapısının uçtan uca bileşenleri aşağıda gösterilmiştir.

- Veri Noktaları (Sensörler, Aktüatörler vb.)
- Sensörler ve Ağ Geçitleri Arasındaki İletişim Protokolleri
- Akıllı Ağ Geçitleri
- Ana Taşıyıcı (Backhaul) Sistemler



Şekil 1. Dijital Şehir Altyapısı Mimarisi

2. Literatür Taraması ve Mevcut Durum Analizi

2.1 Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri

Günümüzde üzerinde konuşulan olgulardan birisi de şüphesiz Akıllı Şehir kavramıdır. Yeni bir kavram olmayan Akıllı Şehir, gelişen teknoloji ve internet sayesinde gerçekleşen ikinci bilişim devrimi ile 1980'li yıllardan itibaren şehirlerin gündeminde olan bir konudur. Şehir yönetimlerinin, artan sorunları çözmedeki teknolojiye bakış açıları, Akıllı Şehirleri şekillendirmeye başladığını göstermektedir (Angelidou, 2015). Akıllı Şehir kapsamında şehrin birçok alanına dokunabilmek için şehirler teknolojiyi farklı ihtiyaçlarına göre ele almaktadır. Akıllı Şehir kapsamında bazı şehirler, çalışmalarını teknoloji odaklı yürütürken; büyük veriye sahip Akıllı Şehirler: referans modelleri, zorluklar ve düşünceler (Lim, Kim & Maglio, 2018), Hindistan şehirleri, Akıllı Şehir girişimleri bağlamında IoT Sistemleri ve Analitik Tasarımı (Vijaia & Sivakumar, 2016) olarak Akıllı Şehir çalışmalarını yürütmektedir.

İlk kez 1999 yılında Kevin Ashton tarafından kullanılan "Nesnelerin İnterneti" (Internet of Things) kavramı birbirlerine bağlı bilgisayarların, birbirlerine bağlı nesnelere bilgi alışverişi yapmasını ifade etmektedir (Kutup, 2011). IoT nesnelerinde yer alan mikroçipler yalnızca diğer nesnelerin kaydını tutmaya yardımcı olmakla kalmaz, bu cihazların birçoğu çevrelerini algılar ve onlar hakkında diğer makinelerle ve insana bilgi verir. Ayrıca makineden makineye, makineden insana veya makineden mobil ile iletişim sağlayan, M2M olarak da adlandırılan IoT, insanları, cihazları ve sistemleri akıllıca birbirine bağlar (Russo, Marsigalia, Evangelista,

Bununla birlikte dijital şehir altyapısı kurgulanırken uçtan uca güvenlik yaklaşımı (sensör güvenliği, veri güvenliği, iletişim güvenliği, siber güvenlik vb.), şebeke planlaması/optimizasyonu ve şehir coğrafyası her daim göz önünde bulundurulmalıdır.

Dijital şehir altyapısının haberleşme bileşenlerinin omurgasını sensörler ve ağ geçitleri arasındaki iletişimi sağlayan protokoller, kenar analitik yeteneği ve farklı bağlantı arayüzleri olan ağ geçitleri ve ağ geçitleri ile sunucular arasındaki iletişimi sağlayan protokoller oluşturmaktadır.

Palmaccio & Maggioni, 2015). Teknolojisi mikro-elektromekanik sistem sensörlerinin sinyal işleme ve radyo üniteleri ile düşük maliyetlerde, düşük enerji tüketimlerinde ve küçük boyutlarda entegre edilmesine izin vermekte olan ve IoT nesnelerinde özellikle tercih edilen kablosuz ağlar oldukça düşük maliyet sunmaktadır (Tekin, Çimen & Örün, 2011).

Modern telekomünikasyon alanındaki önemi hızla artan Nesnelerin İnternetinin (Atzori, Lera & Morabito, 2010) temel anlayışı, çevremizi anlamlı hale getirerek, topladığımız verileri kontrol ederek bilgi elde etmektir (Oral & Çakır, 2017). Nesnelerin İnterneti gelişen teknoloji ile birlikte internete bağlanarak birbirleri ve sistem ile iletişime geçip, komut alıp veri gönderen sistemler, şehirleri akıllı hale getirmekte önemli bir role sahip olmaktadır.

Akıllı şehirlerin dijital altyapısında sensör teknolojileri ile birlikte haberleşme teknolojileri çok büyük öneme sahiptir. Şehirdeki kablolu haberleşme altyapısı (fiber, DSL vb. teknolojiler) gerek altyapı çalışmalarının zorluğu, gerek maliyet yaklaşımı gerekse sürdürülebilirlik hizmetleri noktasında şehir ölçeğinde yaygınlaşma kapsamında bazı dezavantajlı durumlar oluşturabilmektedir. Sensör verilerinin ölçüm noktasından değerlendirme noktasına taşınabilmesi için daha basit ve daha efektif haberleşme teknolojilerinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Akıllı şehir ekosisteminde kullanılan temel kablosuz haberleşme teknolojileri ve örnekleri aşağıda belirtilmiştir.

- LPWA - Düşük Güç Geniş Alan Kablosuz Haberleşme Teknolojileri
- LoRaWAN, LTE-M1, Wi-SUN(6lowPEN), NB-IOT, WAVIOT

- Kısa Mesafe Kablosuz Haberleşme Teknolojileri
WIFI, Bluetooth, NFC, ZigBee, Z-Wave
- Hücresel Haberleşme Teknolojileri (GSM / LTE)
GPRS, 2G, 3G, 4G, 4.5G, 5G

Bu teknolojilerden bazıları tescillenmiş ve oturmuş standartlar tarafından yönetilirken, bazıları açık ve gelişmekte olan standartlar tarafından yönetilmektedir, bazıları ise erken adaptasyon aşamasındadır.

Bu teknolojilerin her biri farklı yeteneklere ve seçkin özelliklere sahiptir. Dolayısıyla akıllı şehirlerde haberleşme altyapıları kurgulanırken uygulamalar için en uygun teknolojiyi seçmek amacıyla Akıllı Şehir inisiyatifinin kullanım senaryolarının teknik, ticari ve operasyonel gereksinimlerini iyi analiz etmek ve uygun teknoloji seçimini bu parametrelere dayandırmak önemlidir.

LPWA - Düşük Güç Geniş Alan Kablosuz Haberleşme Teknolojileri

2020 yılına gelindiğinde, yirmi beş milyardan fazla cihazın kablosuz iletişim yoluyla birbirleri ile haberleşmesi beklenen nesnelerin internetinin (IoT) hızla büyümesi beklenmektedir (Sinha, Wei & Hwang, 2017). Düşük maliyet noktalarında geniş alan iletişimi ve daha iyi güç tüketimi sağlayan bir grup teknoloji için genel bir terim olan düşük güç geniş alanlı (LPWA) teknolojiler popüler hale gelmektedir (Sinha, Wei & Hwang, 2017).

Düşük Güç Geniş Alan Haberleşme Teknolojilerinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Uzun Mesafe Kapsama Alanı (Yoğun kentsel alanda 0-5 km, açık alanda 10-65 km)
- Düşük Güç Tüketimi (Sensör Tarafı)
- Küçük Veri Paketi Boyutu: 12 – 255 Byte
- Düşük Ağ Trafik / Düşük Bant Genişliği
Gereksinimi: günde 200 Byte veri, anlık 50 Kbps hız, çoğunlukla yükleme (upload) trafiği

Düşük Güç Geniş Alan Haberleşme Teknolojileri içerisinde yukarıdaki özelliklere sahip olan LoRaWAN, LTE-M1, Wi-SUN, NB-IOT, WAVIOT, SIGFOX vb. iletişim protokolleri yer almaktadır. Bu protokollerden yaygın olarak kullanılan bazıları için ilave bilgiler aşağıda verilmiştir.

LoRaWAN™

Bölgesel, ulusal veya küresel bir ağda genellikle batarya ile çalışan ölçüm noktaları için tasarlanmış bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. LoRaWAN, şehirlerde farklı dikey hizmet alanlarında (çevre, mobilite, enerji vb.) nesnelerin interneti bağlamında gereken iki yönlü ve güvenli iletişimi hedeflemektedir. LoRa (Long Range), uzun menzil anlamına gelir ve lisanssız spektrum kullanan bir teknolojidir.

LoRaWAN, LoRa Alliance tarafından yönetilen açık standart bir protokoldür. Genellikle batarya ile çalışan sensörlerin enerji verimliliği açısından uyku modunda çalıştırılması ve gerektiğinde uyandırılması süreçlerinde çok yaygın kullanılmaktadır. Kapsama alanı, merkezi lokasyonlarda 2 km, kırsal alanlarda ise 2-10 km arasında değişmektedir. Veri aktarım hızı 300 bps'den 50 Kbps'ye kadar çıkabilmektedir (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

Temel olarak bilinen 3 tip LoRaWAN ağ geçidi vardır ve bunların her biri kullanım durumlarına ve uygulama senaryolarına göre farklı şekillerde devreye alınmaktadır:

1. Makro Ağ Geçidi: Makro ağ geçidi en geniş kapsama alanı ve en büyük cihaz bağlantı sayısı kapasitesine sahip olduğundan, genellikle geniş alanlarda uygulanan dağıtık sensörlerin maksimum kapsama alanı içerisinde

ortak bir şebeke altyapısında bağlantılı hale getirilebilmesi için çatı veya aydınlatma direkleri gibi yüksek yerlere monte edilmektedir. Genel olarak, bir Makro ağ geçidi, 2000'den fazla sensörü kapsayabilir.

2. Yapı İçi Ağ Geçidi: Bu normalde, makro ağ geçidinden gelen sinyallerin ulaşılması zor olan alanlarda (zemin, bodrum vb.) dâhili kapsama alanı olarak kullanılır.
3. Pico Ağ Geçidi: Tüketicinin / son kullanıcı odaklı tasarlanan ağ geçididir. Bu ağ geçidi, LoRa tabanlı tesisleri/sistemlerini kontrol etmek için LoRaWAN servis sağlayıcısına abone olmak isteyen tüketicilere / son kullanıcılara yöneliktir.

LoRaWAN ağ geçidinin diğer önemli özellikleri şunlardır:

- Lisanssız ISM bandını kullanması (Türkiye'de 868 MHz)
- Yıldız topoloji gereği dağıtık sensör yerleşimlerini mümkün kılması
- Ethernet, 4G / LTE, WIFI gibi farklı IP ana taşıyıcılarını desteklemesi
- Sistem güvenliği, uç nokta analitiği, yönlendirme ve anahtarlama özelliklerinin sağlanması

Dar Bant IoT (NB-IoT)

Hücresel telekomünikasyon bantları kullanılarak çok çeşitli cihaz ve servislerin bağlanmasını sağlamak için geliştirilmiş bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. NB-IoT, 3GPP tarafından standartlaştırılan bir dizi mobil IoT altyapılarından biridir. Temelde, NB-IoT, Cat-M ile benzer bir amaca sahiptir, ancak özellikle modülasyon açısından farklı bir teknoloji kullanmaktadır. NB-IoT, GSM altyapısını kullanmaktadır. Özelleştirilmiş bir altyapı olduğundan maliyet yaklaşımları standart LTE maliyet yaklaşımlarından daha fazla olabilmektedir. NB-IoT, stratejik olarak 5G'den önce bir ara çözüm olarak değerlendirildiğinden şimdilik bu teknoloji üzerinde büyük yatırımlar yapılmamaktadır. NB-IoT mevcut GSM altyapısında geliştirilmeye ihtiyaç duyacaktır, bu yüzden NB-IoT kullanılması planlanan uygulamalarda servis sağlayıcıların NB-IoT'yi destekleyip desteklemedikleri uygulama öncesi teyit edilmelidir. NB-IoT haberleşme teknolojisinin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

- Küçük veri paketi boyutu
- Düşük güç tüketimi
- Yüksek iletim gücü ve ulaşılması zor alanlarda (metal, toprak, duvarlar vb.) daha iyi radyo penetrasyonu
- Lisanslı bant kullanımı ile girişim riskinin minimize edilmesi ve üst seviye güvenlik yaklaşımı

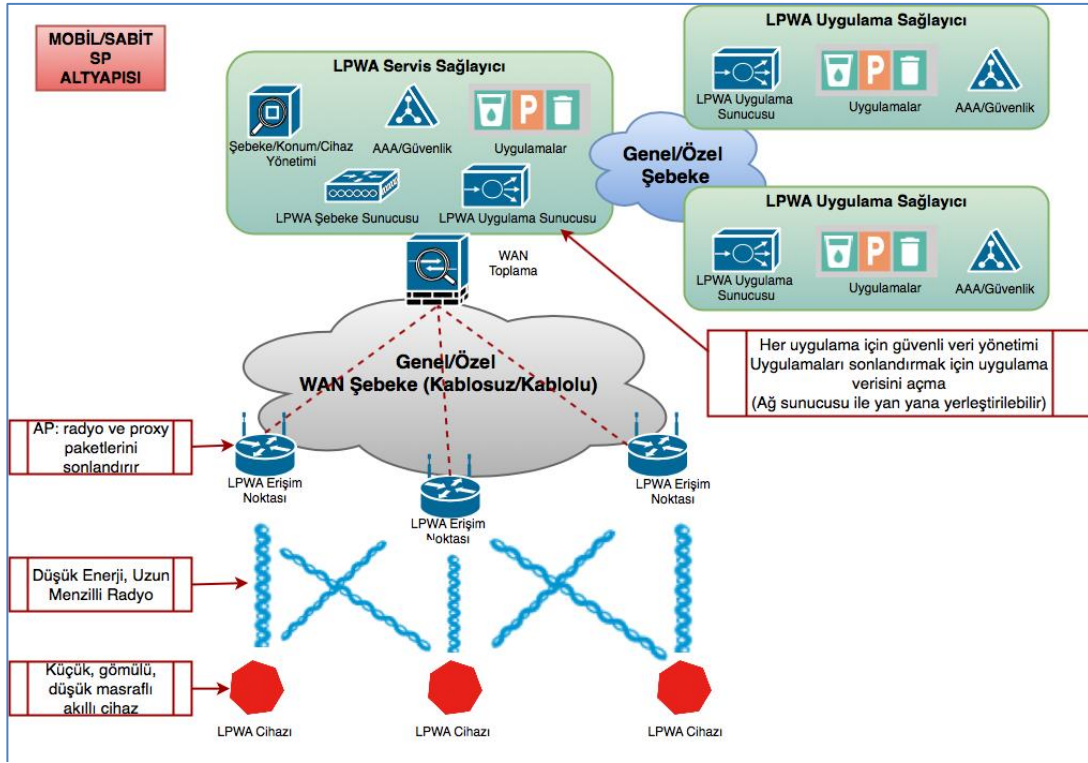
SIGFOX

Nispeten daha küçük boyutlu mesajları işlemek için hazırlanan hafif bir protokol olarak değerlendirilmektedir. Gönderilecek daha az veri, daha az enerji tüketimini tetikleyecektir ve dolayısıyla daha uzun batarya ömrü anlamına gelmektedir. Sigfox Ultra Dar Bant modülasyonunu kullanarak mesaj değişimi yapmak için kamuya açık olan 200 kHz bandında çalışmaktadır. Her mesaj 100 Hz genişliğindedir ve bölgeye bağlı olarak saniyede 100 veya 600 bit hızında veri aktarım hızı elde edilmektedir. Bu nedenle, gürültüye karşı çok dayanıklıdır ve uzun mesafelerde iletim sağlanabilmektedir (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

IEEE ve Wi-SUN Alliance tarafından yönetilen açık standart bir protokoldür. LoRaWAN'ın aksine, örgü (mesh) sensör topolojisi üzerinde çalışmaktadır. Sensörler eşit olarak dağıtıldığında, bu işlem en etkili yöntemdir. Diğer taraftan, uç noktaların her zaman aktif olmaya ve sürekli harici güç

kaynağına ihtiyaçları vardır. Kapsama alanı, yaklaşık 1.5 km'dir ve veri aktarım hızı 75 Kbps civarındadır.

Wi-SUN ağ geçidi, ethernet ve seri bağlantı arayüzleri ile donatılmış alan cihazlarına 6LoWPAN / RPL IEEE 802.15.4g/e alt ağları üzerinden güvenli ağ bağlantısı sağlar.



Şekil 2. LPWA Ağ Mimarisi

Kısa Mesafe (Short Range) Kablosuz Haberleşme Teknolojileri

Kısa Mesafe Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Kısa Mesafe Kapsama Alanı (0.3 m'den 100 m'ye kadar)
- Göreceli Yüksek Güç Tüketimi
- Yüksek Veri İletim Hızı

Kısa Mesafe Kablosuz Haberleşme Teknolojileri içerisinde yukarıdaki özelliklere sahip olan WIFI, Bluetooth, NFC, ZigBee, Z-Wave vb. iletişim protokolleri yer almaktadır. Bu protokollerden yaygın olarak kullanılan bazıları için ilave bilgiler aşağıda verilmiştir (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

WIFI

IEEE tarafından kablosuz yerel ağlar için geliştirilmiş bir radyo iletişim standardı olan Wi-Fi olarak bilinen 802.11 standardı (Yüksel & Zaim, 2009), Akıllı Şehir dijital altyapısı için önemli unsurlarından biridir. Hızlı ve kolay erişilebilirlik, hassas güvenlik yaklaşımı, yüksek servis kalitesi ve rahat kullanılabilirlik avantajları nedeniyle son kullanıcılar için oturmuş bir kullanım ortamı sağlamaktadır.

Wi-fi erişim noktaları kablosuz ağ geçitleri gibi davranır ve son kullanıcıları kablosuz aygıtlarla şebekenin diğer unsurlarına bağlamaktan sorumludur. Erişim noktaları, son kullanıcılar ve kurumlara aşağıdaki gibi geniş bir hizmet

yelpazesi sunar (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

- İnternet Erişimi
- Mobilite Analizi (Mobilite Paternleri)
- Konum Takibi

Çizelge 1: IEEE Kablosuz Standartları

IEEE Kablosuz Standart	Frekans Aralıkları (Ghz)	Bant Genişliği veya Maksimum Veri Hızı (Mbps)
802.11b	2.4	11
802.11a	5	54
802.11g	2.4	54
802.11n	2.4 - 5	450
802.11ac	5	6900

Bluetooth Düşük Enerji (BLE)

1994 yılında geliştirilen kısa menzilli ve kablosuz iletişim protokolü olan Bluetooth 4.0 ile Bluetooth teknolojisine dâhil edilen BLE, diğer adıyla Bluetooth Smart, düşük enerji tüketimi sayesinde özellikle giyilebilir IoT nesnelerinde kullanılmaktadır (Özdemir, Çetiner & Karakaya, 2019).

Teorik olarak veri hızı fiziksel katmanda 1 Mbps'dir. Protokol ek yükü de dâhil olmak üzere tüm faktörler göz önüne alındığında, veri hızı maksimum 48 Kbps seviyelerine daha yakındır. BLE ağ geçidinin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

- Farklı ana taşıyıcı bağlantılarını destekleme özelliği (Ethernet, 4G / LTE, WIFI)
- PoE / PoE + desteği
- Güvenlik, sis bilişim, ana taşıyıcı için IP altyapısı desteği
- Daha kolay yönetim için yıldız topoloji adaptasyonu

ZigBee

IEEE 802.15.4 standardına dayanan, uzaktan kumanda ve kısa mesafeli sensör uygulamalarının haberleşme altyapısını kullanılan bir kablosuz haberleşme protokolüdür. Lisanssız radyo spektrumunu kullanmaktadır ve üç farklı lisanssız bantta çalışabilir. Veri hızı 2.4 GHz'de 250 Kbps, 915 MHz'de 40 Kbps, 868 MHz'de 20 Kbps 'dir. ZigBee protokolü yıldız, mesh ve hibrit olmak üzere gibi 3 topolojide de çalışabilir (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

Hücresel Haberleşme Teknolojileri (GSM / LTE)

Birçok uygulamanın uzaktan izlenmesi, kontrol edilmesi ve otomatik olarak işlemlerin yapılmasında hücresel haberleşme teknolojileri, uzun mesafeli iletişim için GSM / GPRS teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Özellikle düşük maliyetli sistemlerde daha çok tercih edilmekte olan bu sistemler için uzun ömürlü, fiziksel koşullara dayanıklı ve gömülü olarak kullanılan SIM kartlar tercih edilmektedir (Söğüt & Erdem, 2017).

Hücresel Haberleşme Teknolojilerinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Uzun Mesafe Kapsama Alanı (>5 KM)
- Yüksek Güç Tüketimi
- Yüksek Veri İletim hızı

Hücresel Haberleşme Teknolojileri içerisinde yukarıdaki özelliklere sahip olan GPRS, 2G, 3G, 4G, 4.5G, 5G vb. iletişim protokolleri yer almaktadır (Hanes, Salguerio, Grossetete, Barton & Henry, 2017).

3. Doğru Teknoloji Seçimi

Şüphesiz ki birçok parametreye sahip olan teknoloji değerlendirme ve seçim süreci, daima talep ve arz yönlü belirsizliklerden etkilenmektedir. Değişken piyasa koşulları ve gelişmekte olan teknoloji, talep belirsizliğini getirmekte ve karar vericilerin belirleyici teknoloji seçim süreci yerine rasgele teknoloji seçim sürecine girmelerine neden olmaktadır. Teknoloji ürününün türü, tasarımın karmaşıklığı ve malzemenin mevcudiyeti genellikle arz tarafındaki belirsizliklere neden olmaktadır. Bütün bu belirsizliklerin, bütünsel bir kaynak sağlama stratejisi ve kapsamlı değerlendirme süreci oluşturularak önlenmesi beklenmektedir. Bu tür süreçler teknolojinin kullanılacağı coğrafi konumdan da etkilenmektedir. Teknoloji seçim ve değerlendirme süreci, performans, memnuniyet, kalite,

çalışma süreleri ve teknoloji seçiminin yapacak kişinin uzmanlığı gibi parametrelerden oluşmaktadır. Seçim ve değerlendirme süreci sadece teknik parametrelere dayandığı gibi birçok durumda ürün sağlayıcının kendi istikrarı, ekonomik imkânlar, müşteri nedenine bağlılığı değerlendirilmesini de içermektedir.

Belirlenen teknoloji stratejisine göre, “teknolojinin seçiminden, teknolojinin uygulanmasına kadar; maliyet, zaman, risk, erişim, etkileşim gibi pek çok faktörü göz önünde bulundurarak, daha sonraki faaliyetlerini de etkileyecek ve yönlendirecek kararlar almak durumundadır” (Girginer & Özkul, 2002).

Bu çalışmada, şehirlerin dijital alt yapılarını oluştururken haberleşme bileşenleri seçiminde aşağıdaki parametreler göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

- Kapsama Alanı: Hem açık hava hem de kapalı alan sensörleri için en iyi kapsama alanının sağlanması gereklidir.
- Güç Tüketimi: Özellikle enerji alt yapısı tesis edilemeyen sistemlerde kritik öneme sahiptir.
- Sistem Güvenliği: Siber güvenlik, IoT güvenliği, cihaz güvenliği
- Yedekli Çalışma
- Ölçeklenebilirlik: Çok yüksek miktarda sensörün kullanıldığı sistemlerde bu husus büyük öneme sahiptir.
- Birlikte Çalışabilirlik: Birlikte çalışabilirlik için mümkün mertebe belirli standartlara sahip cihaz ve sistemlerin kullanılması önerilmektedir. “Bu sayede farklı mimari yapılara sahip nesnelere ve farklı dil veya teknolojik altyapıya sahip uygulamalar aynı platformda çalışabileceklerdir” (Çavdar & Öztürk, 2017).
- Bant Genişliği/Veri hızı
- IP Backhaul Bağlanabilirliği - Esnekliği
- İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri
- Veri Paketi Büyüklüğü: Özellikle görüntü verisi içeren sistemler için
- Zaman Kritik Veri İletimi Süresi: Özellikle gaz sızıntısı vb. kritik durumlar için
- Regülasyon ve Standartlar

Çizelge 2, farklı radyo teknolojileri arasındaki karşılaştırmaları göstermektedir.

Çizelge 3, farklı radyo teknolojileri arasındaki güçlü –zayıf yönleri göstermektedir.

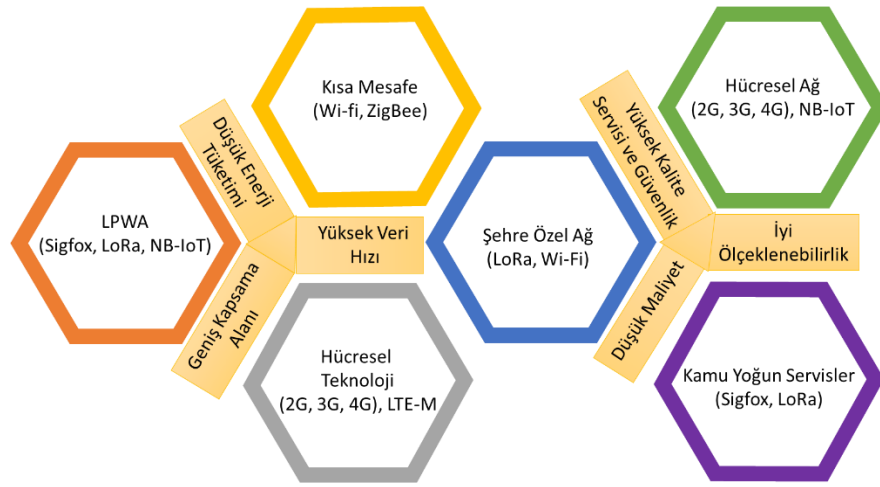
Şekil 3, farklı radyo teknolojileri arasındaki ortak üstünlükleri göstermektedir ve doğru teknolojinin seçimi için teknik ve servis kalitesi seviyesinde bir bakış açısı yansıtmaktadır.

Çizelge 2: Kablosuz Haberleşme Teknolojileri Karşılaştırması

Radyo Teknolojisi	LoRa	WIFI	Wi-SUN	4G/LTE	LTE - M	NB-IoT	Zigbee	BLE
Uzun mesafe	Evet	Hayır	Sınırlı	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet
Güç Tüketimi (Veri Gönderme)	18 mA	19-400 mA	35 mA	600-1100 mA	Yüksek	Yüksek	2.5mA	600-800 mA
Güç Tüketimi (Bekleme)	0.00 mA	1.1 mA	0.005 mA	5.5mA	Yüksek	Yüksek	0.0007 mA	4-5 mA
Frekans	868/915 MHz	2.4/5 GHz	902-908 MHz	1800/2600MHz	LTE bantları	GSM bantları	868/915 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz
Bant Genişliği	125/250/500KHz	20/40 MHz	7.8-500 KHz	1.4-20 MHz	1.4 MHz	0.18MHz	1-2 MHz	2 MHz
Veri Hızı	0.25-50 Kbps	54-600 Mbps	50-300 Kbps	75 Mbps	375K-1 Mbps	50 Kbps	250 Kbps	1 Mbps
Lisanslı Spektrum	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Olgunluk Seviyesi	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Yönetim birimi	LoRaWAN Alliance	IEEE	Wi-Sun Alliance	3GPP	3GPP	3GPP	ZigBee Alliance	BT SIG

Çizelge 3: Güçlü Yönler – Zayıf Yönler Tablosu

	Güçlü Yönler	Zayıf-Riskli Yönler
NB - IOT	<ul style="list-style-type: none"> Düşük Güç Geniş Alan Haberleşme Yaklaşımı (LPWA) Uzun Pil Ömrü Düşük Girişim Olasılığı (Tahsis edilmiş izole band genişliği) Geniş Kapsama Alanı Regülasyona Tabi Olma Standartlaşmış Protokol Yapısı (3GPP) Güvenli Haberleşme Protokolü (4,5 G) Düşük İlk Kurulum Maliyeti (Mevcut Altyapı Kullanımı) 	<ul style="list-style-type: none"> GSM Bağımlı Teknoloji Sim Kart Bağımlılığı Yüksek İşletme Maliyeti Yeni Bir Teknoloji Olması – Adaptasyon Zorluğu Sim Kart Değişimi Operasyon Zorluğu
LORA	<ul style="list-style-type: none"> Düşük Güç Geniş Alan Haberleşme Yaklaşımı (LPWA) Uzun Pil Ömrü Edinilmiş Piyasa Tecrübesi Operatör – GSM Bağımsız Teknoloji Bedelsiz Kullanım Piyasa Olgunluğu (Özellikle Akıllı Şebeke Uygulamaları) İşletme Maliyetinin Nispeten Düşük Olması (OPEX) 	<ul style="list-style-type: none"> Girişim – Enterferans Riskinin Fazla Olması Güvenlik Riski (Regülasyon Açısından) Yüksek İlk Kurulum Maliyeti (CAPEX) Ciddi Network Optimizasyonu Gereksinimi Haberleşme Mesafesinin Coğrafi Koşullardan Çok Etkilenmesi
GPRS	<ul style="list-style-type: none"> Mevcut Altyapı Kullanımı Standartlaşmış Protokol Yapısı 	<ul style="list-style-type: none"> Operatörlerin Desteklerini Kesme Riski Yüksek Güç Tüketimi Düşük Pil Ömrü Nispeten Düşük Çekim Gücü
RF	<ul style="list-style-type: none"> Veri Paketi Boyutunun Fazla Olması Daha Uzak Mesafelere Erişim İmkânı 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek Güç Tüketimi Düşük Pil Ömrü



Şekil 3: Kablosuz Haberleşme Teknolojileri Değerlendirme Çalışması

4. Sonuç

Hücresele ağlar (3G/4G/5G) taşıyıcıların fiyatlandırmayı düşürdüğü ve işletmeye agresif bir şekilde meydan okuduğu gerçeğiyle neredeyse her yerde global olarak yaygın kapsama alanı sayesinde dış mekan uygulamaları için popülerlik kazanmıştır. Düşük gecikme süresi ve daha yüksek bant genişliği nedeniyle 4G teknolojisi iyi bir seçim olabilir. Kullanılan teknolojiye, baz istasyonuna olan uzaklığa ve ağ yoğunluğuna bağlı olarak, 50 Mbps-100 Mbps veri hızları (ve gelecek sürümler için 1 Gbps için bile) mümkündür, ancak çoğu durumda alışlagelmiş olan 1 Mbps-5 Mbps hızlarıdır.

Dar bant seçenekleri arasında LoRa ve NB-IOT, bugün mevcut olan en uygun seçenekler olarak öne çıkmaktadır. Bu dar bant teknolojileri, optimize iletişim maliyeti, düşük servis maliyeti ve daha uzun batarya ömrü ile karakterize edilmektedir. LPWA çözümleri, ayrıca, yeraltı veya bina içi yerlere ulaşmak için iyi bir yayılma sağlamaktadır.

Hücresele tabanlı dar bant çözümleri (NB-IoT ve LTE-M), ana taşıyıcı ağların (özel mülkiyete ait spektruma inşa edilmiş ve dikkatli bir şekilde korunan) sunduğu güvenlik avantajlarından yararlanır. Ancak servis ve işletme maliyetleri yüksek devam edecek olursa, toplam sahip olma maliyeti, diğer bazı seçeneklerden daha yüksek olacaktır. LoRa ve Sigfox ağ çözümlerinin hepsi, zaman içinde müdahaleye karşı potansiyel olarak savunmasız kalmalarına neden olan lisanssız spektrumdan faydalanmaktadır.

Genel olarak, geniş bant seçenekleri, dar veya orta ölçekli çözümlerden daha pahalıya mal olur ve çoğu durumda, ihtiyaç duyulandan daha fazla özellik sunar. Veri trafiğinin yüksek olduğu durumlarda 3G/4G/5G gibi hücresele seçenekler oldukça pahalı hale gelebilir. Wi-Fi ağlarının da kurulumu

pahalı olabilmektedir. Bununla birlikte, geniş bant seçenekleri daha geleceğe dönük olarak kabul edilebilmekte ve en geniş uygulama yelpazesini destekleyebilmektedir.

Günümüz yaklaşımında, ağ teknolojisi tercihlerinin her birinin göreceli artıları ve eksileri bulunmaktadır. Günümüzde, edinilmiş tecrübelerin gösterdiği gibi, dar bant seçenekleri, çeşitli uygulamaları desteklemek için esneklik ve sağlamlık sağlayarak devam eden giderleri dengeleme açısından genel olarak en iyi skoru verme eğilimindedir.

En çok karşılaştırması yapılan LPWA teknolojilerinden olan LoRa ve NB-IoT protokolleri aşağıdaki parametreler nezdinde ve şehir yönetimi perspektifinden karşılaştırıldığında (koyu yazılan avantajlı tarafı göstermektedir) şehirlerin dijital altyapısında hibrit bir modelin planlanması ve uygulanması en mantıklı çözüm olacaktır denilebilir. Hatta yapılacak uygulamanın türüne göre Kısa Mesafe ya da Hücresele haberleşme teknolojileri de bu seçime ve tercihe katılabilir.

- Yatırım Maliyeti: NB-IOT / LORA
- İşletme Maliyetleri: NB-IOT / LORA
- Girişime Maruz Kalma: NB-IOT / LORA
- Regülasyona Tabi Olma – Lisanslı Kullanım: NB-IOT / LORA
- Piyasa Yaygınlığı – Kullanım Oranı: NB-IOT / LORA
- Operatör Bağımsızlığı: NB-IOT / LORA
- Sim Kart Bağımsızlığı: NB-IOT / LORA
- Güvenlik Protokolleri: NB-IOT / LORA

Şehir ekosisteminde bazı hizmet alanlarında kullanılabilir örnek kablosuz haberleşme teknolojileri ile alakalı aşağıdaki tablo incelenebilir.

Çizelge 4: Kablosuz Haberleşme Teknolojileri Örnek Uygulama Tablosu

Fonksiyonel Alan	Odak Alanı	Kullanım Durumu	Uygulanabilir Teknoloji
Şehir Servisleri	Su & Gaz Dağıtımı	Günlük su ve gaz kullanım verilerinin 3-4 sefer toplanması	LPWA, Hücresele
	Su Şebekesi Görüntüleme	Günlük su akışı, basıncı verilerinin 3-4 sefer toplanması	LPWA, Hücresele
	Su Tüketimi	Elektrik kullanım verilerinin günlük veya saatlik toplanması	LPWA, Hücresele
Su ve Gaz Transferi	Su ve Gaz Transferi	Su ve Gaz altyapısı şebeke gözetimi (alarm, ölçüm, parametreler)	LPWA, Hücresele
	Enerji Transferi	Enerji Transferi durumu izleme ve komuta / kontrol	LPWA, Hücresele
Altyapı Ağları	Yol / trafik Yönetimi	Trafik ışık kontrolü, trafik seviyesi izleme, acil durum kapı kontrolü, dijital tabela durumu ve güncellemeleri	LPWA, Hücresele
	Akustik Gürültü İzleme	Seviyeler, Konum hakkında veri toplama	LPWA, Hücresele
	Nem / Sıcaklık	Nem, sıcaklık, yağmur ve parlaklık verileri toplama	LPWA, Hücresele
Çevresel İzleme, Hava Kalitesi, Hava Durumu,	Hava Kirliliği Takibi	Farklı gaz CO ₂ , CO, NO, SO hakkında veri toplama	LPWA, Hücresele
	Atık Yönetimi	Atık konteynerleri hakkında bilgi toplama: seviye ve sıcaklık	LPWA, Hücresele
Şehirde Trafik Hareketliliği	Park	Park sensörleri verilerini toplama	LPWA, Hücresele
	Trafik	Trafik sensörleri verilerini toplama	LPWA, Hücresele

	Bisiklet Paylaşma / Bisiklet	Bisiklet kullanılabilirliği, durum izleme, konum	LPWA, Hücresele
	Şehir Varlık Takibi	Varlık verileri toplama: ör. Menhol, Mezarlık vb.	LPWA, Hücresele
	Dijital Bilgilendirme	Dijital Tabelada kısa mesaj görüntüleme	LPWA, Hücresele
	Evcil Hayvan Takibi	Evcil hayvanların konumunu izleme	LPWA, Hücresele
Tüketici Hizmetleri	Kişisel Varlık Takibi	Varlık hakkında bilgi toplama	LPWA, Hücresele
	Giyilebilirler	Giyilebilirler cihazlardan veri toplama	LPWA, Kısa mesafe kablosuz
Tesis Yönetimi	Bireysel Kullanım	Yangın algılama, duman, CO, sel, kaçak, saldırı, sıcaklık, ev otomasyonu (panjurlar, vb.)	LPWA, Hücresele, Kısa Menzilli Kablosuz
	Ticari Kullanım	Yangın algılama, duman, CO, taşkın, kaçak, saldırı, sıcaklık, bina otomasyonu (panjurlar, ısıtma, klima vb.) Tele gözetim	LPWA, Hücresele, Kısa Menzilli Kablosuz

Kaynaklar

- Angelidou, M., (2015), Smart cities: A conjuncture of four forces, *Cities*, 47, 95-106.
- Atzori, L., Lera, A. & Morabito, G., (2010), The Internet of Things: A survey, *Computer Networks*, 54, 2787–2805.
- Çavdar, T. & Öztürk, E., (2017), Nesnelerin interneti için yeni bir mimari tasarımı, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 39-48.
- Girginer, N. & Özkul, A. E., (2002), Uzaktan Eğitimde Teknoloji Seçimi, *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 3(3) 155 - 164.
- Hanes, D., Salguero, G., Grossetete, P., Barton, R., & Henry, J., (2017), *IOT Fundamentals; Networking Technology, Protocols and Use Cases for the Internet of Things*, ISBN-13: 978-1587144561, ISBN-10: 1587144565.
- Kutup, N. (2011), Nesnelerin İnterneti; 4H Her yerden, Herkesle, Her zaman, Her nesne ile bağlantı. XVI. Türkiye'de İnternet Konferansı, 151-156.
- Lim, C., Kim, K.J. & Maglio, P.P. (2018), Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations. *Cities*, 82, 86-99.
- Oral O. & Çakır, M., (2017), Nesnelerin İnterneti Kavramı ve Örnek Bir Prototipin Oluşturulması. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 172-177.
- Özdemir N.C., Çetiner, S. & Karakaya, E., (2019.03.02), İot Haberleşme Teknolojileri Ve Wi-Fi Tabanlı Akıllı Yol/Cadde Aydınlatma Sistemleri. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası: http://www.emo.org.tr/ekler/fc8aa36b235962e_ek.pdf adresinden alındı
- Russo, G., Marsigalia, B., Evangelista, F., Palmaccio, M. & Maggioni, M., (2015), Exploring regulations and scope of the Internet of Things in contemporary companies: a first literature analysis, *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 4(11), 1-13.
- Sinha, R. S., Wei, Y. & Hwang, S. H., (2017), A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *ScienceDirect, ICT Express* 3, 14-21.
- Söğüt, E. & Erdem, A., (2017), Günümüzün Vazgeçilmez Sistemleri: Nesnelerin Haberleşmesi ve Kullanılan Teknolojiler.

- Tekin, A. B., Çimen, D. & Örün, Ç., (2011), Tarımda kablosuz Ağlar.
- Vijaia, P. & Sivakumar, B.P., (2016), Design of IoT Systems and Analytics in the context of Smart City, *ScienceDirect*, 92, 583-588.
- Yüksel, E. & Zaim, A.H., (2009), Rfid'nin Kablosuz İletişim Teknolojileri İle Etkileşimi, *Akademik Bilişim*.