

802.11ax teknolojisinin kablosuz ağ altyapılarındaki rolü ve geleceği: performans, güvenlik ve yenilik

Aykut Yılmaz^{1*}
Zafer Aslan²

Geliş tarihi / Received: 02.01.2024

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.04.2024

Kabul tarihi / Accepted: 03.06.2024

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v19i69001

Özet

Kablosuz ağ teknolojisi ve sistemsel uygulamalar sürekli gelişmekte olan ağ teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanıcı sayısının yoğun olduğu, veri transfer işlemlerinin sürekli devam ettiği kurumsal ağ altyapıları gelişen teknolojiyle birlikte yeni nesil kablosuz ağ altyapılarına ihtiyaç duymuştur. En yeni nesil kablosuz ağ teknolojisi olan 802.11ax (Wi-Fi 6) kurumsal kablosuz ağ sistemlerinin gelecek yıllardaki en önemli parçası olacağı yapılan analizlerde karşımıza çıkmaktadır. 802.11ax (Wi-Fi 6) ve 5G teknolojisinin yeni bir altyapı olmasına oranla yaygınlaşması kablosuz ağ alanlarında hız, performans ve güvenlik konularının önemini artmakta olduğu gözlemlenmektedir.

Teknolojik yeni ağ cihazları ve son kullanıcı ürünlerinin çıkmasıyla birlikte, IEEE 802.11ax teknolojisi kullanıcıları daha güvenli parola şifreleme seviyesi olan WPA-3 ve dosya transferinde kullanıcıların kablosuz bağlantılarında performans kaybı yaşamadan veri transferi yapmalarını sağlamaktadır. 802.11ax (Wi-Fi 6) Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA), 1024-Dörtlü Genlik Modülasyonu (QAM), Çoklu Kullanıcı, Çoklu Giriş, Çoklu Çıkış (MU-MIMO) desteğiyle 10Gbps band genişliğine ulaşan veri hızına ulaşmaktadır. IoT cihazlardaki enerji ve güvenlik sorunlarını çözmeye yönelik çalışmalarında bu alanda yapıyor olması 802.11ax teknolojisine olan adaptasyonu güçlendirmektedir.

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, aykutyilmaz3@stu.aydin.edu.tr, Orcid: 0000-0002-9728-6222

² İstanbul Aydın Üniversitesi, zaferaslan@aydin.edu.tr, Orcid:0000-0001-7707-7370

Bu çalışmada IEEE 802.11ax standart teknolojisini incelenmiştir; eski nesil 802.11a,b,g,n,ac kablosuz ağ teknolojileriyle kıyaslanmıştır; canlı ve çalışan gerçek dünya sistemi üzerinde bir uygulamayla 802.11ax teknolojisinin gelecekte bizlere sunacağı avantajları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, IEEE 802.11ax standart teknolojisinin, önceki nesil standartlar ile kıyaslandığında daha iyi bir teknoloji olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: IEEE 802.11ax, OFDMA, IoT, 1024-QAM, MU-MIMO

The role and future of 802.11ax technology in wireless network infrastructures: performance, security and innovation

Abstract

Wireless network technology systems and application appear as a constantly developing network technology. Enterprise network infrastructures, where the number of users are intense and data transfer processes continue, needed new generation wireless network infrastructures with the developing technology. The latest generation wireless network technology, 802.11ax (Wi-Fi 6) will be the most important part of enterprise wireless network systems in the coming years. It is observed that the importance of speed, performance and security issues in wireless network areas is increasing as 802.11ax (Wi-Fi 6) and 5G technology are becoming widespread compared to being a new infrastructure.

With the emergence of new technological network devices and end-user products, IEEE 802.11ax technology allows users to transfer data without loss of performance on their wireless connections with the more secure password encryption level WPA-3 and file transfer. 802.11ax (Wi-Fi 6) OFDMA, 1024-QAM, MU-MIMO support that allows users to stay in touch without losing performance on their wireless connections in file transfer. It reaches data rate reaching 10Gbps bandwidth. The fact that it works in this field to solve energy and security problems in IoT devices strengthens the adaptation to 802.11ax technology. In this study, while examining the IEEE 802.11ax standard technology, we will compare the old generation 802.11a, b, g, n, ac wireless network technologies and evaluate the future advantages of 802.11ax technology with an application

on a live and working real world system. As a result of the evaluation, it has been understood that the IEEE 802.11ax standard technology is a better technology compared to the previous generation standards.

Key Words: IEEE 802.11ax, OFDMA, IoT, 1024-QAM, MU-MIMO

Giriş

Kablosuz ağ teknolojisi ilk çıktığı dönemlerde veri transfer hızları istenilen seviyede olmadığı bilinmekteydi. İlerleyen yıllarda ağ teknolojisinin gelişmesi kablosuz veri transfer hızını 10Gbps hızına kadar yükselmesine olanak sağlamıştır. Bu hızlara günümüzde Wi-Fi 6 (Wireless Fidelity 6) ya da diğer adıyla IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11ax standartı denilmektedir. Bu standart, veri transferinin yoğun olduğu kurumsal ağ yapısındaki günümüz sistemlerinde tercih edilmeye başlanmıştır. Teknolojinin ortaya çıkışı ve gelişim sürümleri olan v1, v2 süresinin sonunda, son kullanıcı sürümü olan v3 2019 yılında çıkmıştır. Bu teknolojiyle kurumsal ağlarda bulunan kullanıcı grupları uzak mesafelere, yoğun veri akışının olduğu diğer kullanıcı gruplarına, veri transferini eş zamanlı ve çok yönlü bir şekilde veri kaybı olmadan yapabilmektedirler (Khorov ve ark, 2018).

Kablosuz ağ teknolojisi standartlarını belirleyen yer olan IEEE, standartları günümüzde yaygınlaşmaya devam etmektedir. Bu teknolojinin popüler olması, kullanıcıya sağlamış olduğu kolay internet erişimi, dosya paylaşımı, esneklik ve teknolojik yenilikler ile hızlı veri transferinin önünü açmıştır. İlgili teknolojinin, kurulumu kolay, maliyeti düşük ve uzak mesafeler ile iletişimi kolaylaştırması sürekli bir şekilde teknolojik gelişimlere altyapı oluşturmaktadır. Kablosuz ağların gelişmesiyle birlikte, dağıtık uzak mesafe kullanıcıları herhangi bir coğrafi sınır olmaksızın iletişimde olmaktadır. Bu iletişim modeli, yeni standartların gelişimine yol açarak IEEE organizasyonu tarafından 802.11ax yeni standart modeli ile hayatımızın bir parçası olmuştur. 802.11ax teknolojisi, veri transferi ve kullanıcı sayısının yüksek yoğunluklu olduğu kurumsal alanlarda özellikle tercih edilmektedir. Bu teknoloji, üretilen yeni ürün gruplarıyla birlikte ilerleyen yıllarda ev kullanıcılarının hizmetine girmiştir (Afaqui ve ark, 2016).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kurumsal alanlarda bulunan kullanıcıların internet kullanımına olan ihtiyacı her geçen gün artış

göstermektedir. Bu ihtiyacın artışı, yeni teknolojik gelişmelerinde kapısını aralamış ve internet kullanımı kablolu alanlardan, kablosuz alanlara doğru yoğunlaşmaya başlamıştır. Kablosuz internet kullanımı, teknolojik darboğaz yaşamamak ve kullanıcılara daha iyi hizmet sunabilmek için yeni nesil ürünlerin gelişiminin önünü açmaktadır. Kablosuz ortamda ortaya çıkabilecek sorunlar, IEEE 802.11 çerçevesinde incelenmiş ve günümüzde en yeni nesil olarak kullanıma başlayan Wi-Fi 6 (802.11ax) teknolojisinin temellerini 2014 yılında atılmış ve 2019 yılında ilk ürünler piyasaya çıkmıştır. IEEE 802.11, kablosuz ağlarda uluslararası standartları ve uyumu çerçevesini sağlayan bir standarttır ve kablosuz yerel ağlar (WLAN) olarak tanımlanmaktadır (Alwer ve ark, 2022). 802.11ax kablosuz ağ teknolojisi ise, en yeni nesil bir standart olmakla birlikte güncel teknolojik altyapı ile donatılmıştır. Bu teknoloji, MU-MIMO (Multi User- Multi-Input, Multi-Output), OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), 1024-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), kullanarak Wi-Fi 5 teknolojisine göre veri iletişim verimini dört kat, kullanıcı sayısını üç kat arttırmış ve hizmet kalitesinden herhangi bir kayıp olmadan bu işlemleri gerçekleştirmektedir. Wi-Fi 6 yeni bir teknolojidir ve ilerleyen yıllarda daha çok hayatımızın içinde olması beklenmektedir (George, 2020).

Kablosuz ağ sistemleri modern dünyamızın değişilmez bir parçası olmaktadır. Dünya üzerinde milyarca sistem kablosuz ağ teknolojilerini kullanarak anlık olarak iletişimde olmaktadır. Yeni gelişen sistemlerde birlikte kablo ihtiyacı duymadan çalışan IoT (Internet of Things) sistemler popüler olmuştur. Wi-Fi 6 teknolojisi, bilgisayarlar, akıllı ev aletleri, dizüstü bilgisayarlar, kamera sistemleri, cep telefonlarında ve binlerce çeşit farklı sistem tarafından kullanılmaktadır.

Wi-Fi 6 ile eş zamanlı bağlanan kullanıcı sayısındaki artış, bu teknolojiyi destekleyen cihazlar üzerinde bulunan radyo frekans modülü ile yüksek hızlarda gerçekleşmektedir. 10Gbits/s boyutlarındaki yüksek iletişim hızı, kablosuz olarak kablolu gibi fiber hızlara ulaşabilmenin önünü açmaktadır. Ayrıca, bu teknoloji MU-MIMO ve mmWave (Millimeter Wave) gibi sistemlerinde gelişmesiyle cep telefonları ve kablosuz sensor ağlarında kullanılmaya başlanmıştır. Kablosuz ağ bağlantısı, günümüzde uzay çalışmalarında, kapalı alanlarda, veri iletişiminin kablo ile yapılamayacağı yerlerde kullanılabilir (Pahlavan, 2020).

Bu çalışmanın amacı, Wi-Fi 6 teknolojinin yenilikleri, altyapılara olan performans katkısı, yenilenen güvenlik altyapı şifreleme protokolleri,

akıllı cihazlar (IoT) ile olan entegrasyonu ve gelecekte sağlayacağı katkılarla ilgili bir uygulama üzerinden ilgili teknolojinin sağladığı faydaları göstermektedir.

Kurumsal kablosuz ağlar

Kablosuz ağ teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte hayatımıza yeni sistemler ve standartlar girmiştir. Özellikle 2000 yıllarından sonra teknolojik olarak birçok farklı ihtiyacın farkındalığına varmakla birlikte, kurum ve kuruluşların ihtiyaçları önemli bir oranda artış göstermeye başlamıştır. Bu ihtiyaçlardan birisi de kurumsal ağ sistemlerinde, sistemlerin, yöneticilerin ve son kullanıcıların ihtiyacına cevap veren kablosuz ağ bağlantıları olmuştur. Bu çalışmada, kurumsal kablosuz ağlarda yeni teknolojik standart olan 802.11ax veya diğer adıyla Wi-Fi 6 teknolojisini incelenmiştir.

Kurumsal kablosuz ağ nedir?

Kablosuz ağlar, herhangi bir kablo veya fiziksel bağlantı hattı kullanmadan, elektromanyetik frekans dalgaları ile veri iletişimini hava yoluyla sağlayan sistemlere denilmektedir. Kablosuz ağların ilk profesyonel cihazı, 1969 yılında Hawaii Üniversitesi tarafından geliştirilen ALOHAnet markası adı altında çıkan ürün olmuştur. Kablo ve donanım maliyetleri düşük olması sebebiyle, özellikle kurumsal ağ sistemlerinde ve diğer son kullanıcı gruplarında yoğun bir kullanımı bulunmaktadır. Kablosuz ağ sistemleri, her çeşitten olabilecek kullanıcı gruplarına kullanımı kolay, bağlantı yöntemleri basit ve maliyet olarak ucuz olması sebebiyle kullanımı yeni teknolojik ürünlerin çıkmasıyla birlikte artmaya devam etmektedir.

Kurumsal ağ ve diğer kullanıcıları gruplarını en tedirgin eden hususlardan birisi de hava üzerinden veri iletişimi yapan bu sistemlerde bulunan güvenlik sorunlarıdır. Kablosuz ağ sistemlerinde, yeni çıkan teknolojik gelişmelerle birlikte WPA-3 (Wi-Fi Protected Access 3) adı verilen güvenlik seviyesine çıkmıştır. WPA-3 güvenlik seviyesinde, kullanıcıların bütün verileri en yeni nesil şifreleme algoritmalarıyla gizlenmekte ve şifrenin kırılması güncel teknolojiler değerlendirildiğinde mümkün görülmemektedir, fakat gelişen teknoloji ve yazılımlarda bulunabilecek güvenlik zafiyetleri sebebiyle şifrelerin kırılması ihtimalide olasılıklar içerisinde.

Kurumsal kablosuz ağ sistemleri, bir kontroller aracılığı (WLC-Wireless Lan Controller) ile farklı kablosuz ağ altyapılarının, sistemlerin, hizmet ve servislerin bir ağ dağıtıcısı (AP-Access Point) tarafından yayınlanması ile dağıtılıp yönetildiği sistemlerdir.

Kablosuz ağ çeşitleri nelerdir?

Kablosuz ağ sistemleri, teknolojik gelişimin sürekli olduğu bir alan olmakta birlikte değişen, gelişen teknolojiye ayak uyduran bir yapı içerisinde durmaksızın ve hızlı bir şekilde ürün standartlarını iyileştirmeye yönelik çalışmalar ile popüler olmaya devam etmektedir. Kablosuz ağların, belirli bir alan ve kısıtlama olmaksızın her çeşitten kullanıcıya hizmet etmesi kullanımının kolay, basit olması bu teknolojinin yaygınlığını arttırmıştır. Kablosuz ağ teknolojileri, kendi içerisinde çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar. Bunlar şu şekildedir;

- 1- **Kablosuz PAN (WPAN-Wireless Personal Area Network):** Kullanıcının, küçük cihazlara erişimi sağlar. Bluetooth, Kızılötesi, ZigBee (Gratton, 2013).
- 2- **Kablosuz LAN (WLAN-Wireless Local Area Network):** Birden fazla cihazın bağlanıp kısa ve uzak mesafelerdeki iletişimi sağlar (Wang, 2023).
- 3- **Kablosuz MAN (WMAN-Wireless Metropolitan Area Network):** Birden fazla LAN ağını kablosuz ağ üzerinden birbirine bağlayan sistemler (Majudar, 2019).
- 4- **Kablosuz WAN (WWAN-Wireless Wide Area Network):** Şehirleri veya sistemleri birbirine 2.4 veya 5 GHZ hızında birbirine bağlayan ağlardır (Ern, 2023).
- 5- **Hücreli Ağ (GSM-Global System for Mobile):** Mobil GSM şebekelerdir, akıllı cihaz veya sistemleri bağlar (TTKOM, 2023).
- 6- **ADHOC Sensör Ağ:** Birçok farklı sensör içeren cihazın birbirine bağlanıp yönetilmesiyle ekosistem oluşturan yapıdır (Prabhu, 2011).
- 7- **Uzay Ağ:** Uzay ve Dünyayı birbirine bağlayan kablosuz ağ yapısıdır. NASA, SpaceX (He ve ark, 2019).
- 8- **Kablosuz GPRS Ağı:** Kablosuz akıllı cihazlar ve uydu sistemlerini baz istasyonları ile kablosuz radyo frekans dalgalarıyla birbirine bağlayan ağ yapısıdır (Meptis, 2023).
- 9- **Kablosuz Sensör Ağ (WSN-Wireless Sensor Network):** Kablosuz ağ ürünlerin kullanım alanlarının artış göstermesiyle birlikte, donanımsal maliyeti az, enerji tüketim miktarı az, yetenekleri fazla değerlilikteki ortam izleme cihazları olan Sensör ürünlerinin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu cihazlar, yapıları küçük ürünlerin bir arada toplanarak oluşturdukları yapıdır (Christin, 2010).

Kurumsal kablosuz ağ güvenliği

Kablosuz ağların popüler olmaya başladığı yıllarda, kullanıcılar tarafından sorulan bir diğer soru ise kablosuz ağ güvenliğinin nasıl sağlanacağıyla ilgili olmuştur. Kablosuz veri transferi, havada bulunan elektromanyetik frekanslar yoluyla olması sebebiyle, bu frekansların içerisinde saklanmış olan kurum, kuruluş ve bireysel kullanıcı verilerini koruma kablosuz ağ sistemlerinin standartlarını geliştiren organizasyon olan IEEE'nin Wi-Fi Alliance topluluğuyla birlikte geliştirmiş olduğu WPA kablosuz ağ güvenlik şifreleme algoritma ailesi ile korunmaktadır.

Kablosuz ağ cihazları ailesi, protokol yapısı gereği içerisinde bir güvenlik koruma sistemiyle birlikte gelir. Bu sistem çok çeşitli algoritmalar ve şifreleme mekanizmaları ile verilerin korunmasını sağlar. Kablosuz ağ yayının ilk çıktığı zamandan günümüze kadar, WEP, WPA, WPA2, WPA3 ile çıkmasıyla birlikte protokolleri şu şekilde açıklanmaktadır;

WEP Protokolü (Wired Equivalent Privacy): WEP Koruma sistemi, çok eski ve güvenilir olmayan zayıf bir şifreleme sunmaktadır. Bu durum ise her türlü kullanıcı grubu için aşırı güvensiz bir kablosuz ağ bağlantısı sağlamaktadır. WEP şifreleme sistemi 1997 yılında çıkışı sonrasında, oldukça riskli olması ve kötü niyeti saldırganlar tarafından kolay bir şekilde kırılmasının akabinde 2004 yılında kullanımı durdurulmuştur (IEEE, 2004).

WEP koruması, 40 veya 104 bit şifreleme anahtar mekanizması ile 802.11a ve 802.11b protokollerini kullanan cihazların içinde gömülü gelen tek şifreleme algoritmasıydı (Meyers, 2012). Veri bütünlüğünü CRC-32 ve RC4 (Rivest Cipher 4) adı verilen şifreleme algoritması ile yayının yeniden ve benzersiz bir biçimde şifrelemesini gerçekleştirmektedir.

WEP korumasının kablosuz ağlarda koruma sağlayamadığının tespiti çok da uzun sürmemiş ve 2004 yılına gelindiğinde ise Wi-Fi Alliance WEP şifreleme sisteminin geliştirilmiş üst versiyonu olan WPA şifreleme algoritmasını yayınlamıştır ve bu şifreleme WEP altyapısını kullanması sebebiyle kolayca kırılmıştır fakat buradaki asıl amaç ise WPA koruması ile zaman kazanmak ve WPA2 şifreleme algoritmasının geliştirmektir.

WPA Protokolü (Wi-Fi Protected Access): 802.11b protokolünü destekleyen cihazların WPA'ya geçiş esnasında güncelleme almaları yeterli olmuştur. Kablosuz ağ ortamında havada yayınlanan verilerin bir

bütün halinde şifrelenmesi ve herhangi bir değişik yapılp, yapılmadığının kontrolünün 4 yönlü el sıkışma kontrol mekanizması ile veri bütünlüğünü MIC 128 bit (Message Integrity Code 128 bit) TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) ve RC4 şifrelemesi ile sağlamıştır (Ciampa, 2012; Fleishman, 2008).

WPA şifreleme ile ilk defa 802.1x adı verilen, kurumsal ağ kimlik bilgisi olan kullanıcı adı ve şifresi ile kablosuz ağ sistemlerine bağlantı modeline izin vermiştir. Bu sistem içerisinde kullanıcı adı ve şifresi, kimlik doğrulama sistemi olan RADIUS (Remote Authentication Dial-in User Service) veya LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) protokolleri ile kimlik denetleme bilgisinin sorgusunun yapıldığı dizin hizmetinden benzersiz, tek ve kişiye özel olan kimlik bilgisi ile kablosuz ağ yayınına bağlantı gerçekleştirilmeye olanak sağlamaktadır.

WPA-2 Protokolü (Wi-Fi Protected Access 2): 2006 yılında WPA-2 şifreleme algoritmasının çok çeşitli sertifikasyon ve test aşamalarını geçmesi sonrasında, WPA'nin yerine alması kablosuz ağlarda güvenlik sorunlarının çözümünü sağlamıştır. WPA-2 algoritması, güçlü ve karmaşık şifreleme metotlarını olan 128 bit blok anahtar uzunluğu, CCMP ve Gelişmiş Şifreleme Standardı (AES), içermektedir ayrıca veri bütünlüğünü CBC-MAC ile 4 yönlü el sıkışma kontrol mekanizmasıyla yapmaktadır. Bu teknolojik hizmetten yararlanmak isteyen kullanıcı grupları donanım ve yazılım olarak ürün değişikliği gereksinimi bulunmaktadır. WPA-2 şifrelemesi yazılım güncellemeleriyle birlikte gelen bir güvenlik çözümü değildir (Wi-Fi Alliance, 2006). WPA-2 şifreleme algoritması, WEP ve WPA şifreleme algoritmaları ile kıyaslandığında oldukça iyi koruma sağlamaktadır. Ayrıca, 802.1x kurumsal kimlik doğruma mekanizmasını da desteklemektedir.

2006 yılında WPA-2 şifreleme algoritmasının çıkması, kablosuz ağ kullanıcılarının güvenli bir şekilde veri paylaşımını yapmalarını sağlamıştır. Bu şifreleme mekanizması, geçen yıllar, teknolojik gelişimler ve altyapıların yenilenmesiyle birlikte kötü niyetli kişilerce geliştirilen yeni nesil (örnek: KRACK, <https://www.kaspersky.com.tr/resource-center/definitions/krack>) saldırılarla birlikte güvensiz bir algoritma olmasına sebep olmuştu. Aradan geçen uzun yıllar, WPA-2 şifrelemesini yaşlandırmış fakat yeni teknolojik şifreleme alt yapısı olan WPA-3 algoritmasının çıkmasına öncülük etmiştir.

WPA-3 Protokolü (Wi-Fi Protected Access 3): WPA-3 şifreleme algoritmasının 2018 yılında bütün sertifikasyon süreçlerini tamamlayıp çıkmasıyla birlikte, kendinden önceki nesil olan WEP, WPA ve WPA-2 şifreleme algoritmalarına oranla oldukça yüksek bir koruma sağlamaktadır. WPA-3 şifreleme algoritmasının asıl çıkma sebebi, 2006 yılında çıkan WPA-2 şifreleme algoritmasının açıklarını ve güvenlik sorunlarını gidermektir.

Algoritma, en yeni nesil şifreleme algoritmaları olan WPA-3 kişisel 128 bit veri şifreleme sağlarken kurumsal ağlarda 192bit blok şifreleme anahtarı sağlamaktadır. Gelişmiş Şifreleme Standardı (AES) desteklenirken veri bütünlüğünü kurumsal ağlarda SHA-384 özet (Secure Hash Algorithm-384) ve kişisel ağlarda CCMP-128 özet (hash) fonksiyonları ile eşzamanlı eşit kimlik doğrulama mekanizmasıyla yapabilmektedir (Wi-fi, 2006; Wi-fi, 2018). WPA-3 şifreleme özelliklerinin kullanılabilmesi için yeni nesil donanım ve cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. WPA-3, 802.1x kurumsal kimlik doğrulama mekanizmasını da desteklemektedir.

WPA-3 şifreleme algoritması, dört farklı yeni özellikte birlikte yeni sistemlere eklenmiştir. Bu yeni özellikler;

- 1- **Kaba Kuvvet (Brute Force) Saldırısı:** Kaba kuvvet saldırıları, kablosuz ağ yayını yapan sistemlere yapılan başarısız oturum açma talepleridir.
- 2- **Wi-Fi Easy Connect:** Akıllı bir ara yüzü buldurmaya IoT cihazların (Ampul, Kapı Kilidi, Alarm Sistemleri, Akıllı Ev Sistemleri), yönetim ara yüzü işlemlerini, IoT cihazlarda bulunan bir QR kod okutularak akıllı telefon veya tabletler üzerinden yönetilmesidir.
- 3- **Wi-Fi Enhanced Open:** Bu sistem, herhangi bir şifreleme algoritması içermeyen halka açık kablosuz ağ yayını yapan sistemler için geliştirilmiştir. Bu sistemle birlikte, kablosuz ağ istemcisi ile erişim noktası arasındaki akan veri bağlantısını, bağlantıya özel şifreleme anahtarı (Opportunistic Wireless Encryption (OWE)) kullanarak şifreler. Halka açık yayın yapan kablosuz sistemler, kablosuz ağa katılmak için herhangi bir parola girilme bile, kötü niyetli saldırganların ağ içerisinde bulunan diğer kullanıcıların veri trafiğini izlemesini engeller.
- 4- **Wi-Fi Güvenliği:** 192bit blok güvenlik şifreleme algoritması ile kişisel ve kurumsal ağlarda güvenlik getirmesi. WPA2 KRACK (örnek:

FragAttacks, <https://papers.mathyvanhoef.com/usenix2021.pdf> saldırısını yenilikçi şifreleme algoritma yöntemleriyle engellenmiştir. WPA-3 seviyesinde getirmiş olduğu güvenlik şifreleme algoritmaları ile bilinen ve yeni tespit edilmiş olan çok çeşitli kablosuz ağ saldırı yöntemlerine karşı güvenlik sağlamaktadır. WPA-3 şifreleme mekanizmasının güncel olması, teknolojik darboğaz yaşamaması ile şu an tehdit unsurlarına yeterli düzeyde koruma sağlamaktadır.

Çizelge 1 'de WPA ailesinin detaylıca kıyaslaması yapılmış ve hangi protokollerin zaman içerisinde desteklendiği ve güvenlik düzeyinin zamanla ne gibi değişim ve gelişim yaşadığı incelenmiştir.

Çizelge 1. Güvenlik Protokollerinin Kıyaslanması (FS, 2021)

	WEP	WPA	WPA-2	WPA-3
Çıkış tarihi	1999	2003	2006	2018
Şifreleme Metodu	Rivest Şifreleme 4 (RC4)	RC4 ile Geçici Anahtar Bütünlüğü Protokolü (TKIP)	CCMP ve Gelişmiş Şifreleme Standardı (AES)	Gelişmiş Şifreleme Standardı (AES)
Anahtar Büyüklüğü	40 bit Akış	128 bit Akış	128 bit Blok	128 bit (WPA-3-Kişisel) 192 bit (WPA3-Kuruluş) Blok
Veri bütünlüğü	CRC-32	Mesaj Bütünlük Kodu (MIC)	CBC-MAC	Güvenli Hash Algoritması (SHA)
Anahtar yönetimi	Bulunmuyor	4 yönlü el sıkışma mekanizması	4 yönlü el sıkışma mekanizması	Eşzamanlı Eşit Kimlik Doğrulaması
Doğrulama	WEP-Açık WEP-Paylaşımlı	Ön Paylaşımlı Anahtar (PSK) ve EAP varyantlı 802.1x	Ön Paylaşımlı Anahtar (PSK) ve EAP varyantlı 802.1x	Eşzamanlı Kimlik Doğrulaması (SAE) ve EAP varyantı ile 802.1x
Frekans Band	5 GHz 802.11a	2.4 GHz 802.11a/b/g	2.4 / 5 GHz 802.11a/b/g/n/ac	2.4 / 5 GHz 802.11ac/ax

Kablosuz ağlarda 802.11ax (Wi-Fi 6)

Kablosuz ağların ilk çıktığı yıllarda, kablosuz yayın yapan cihazların zamanın teknolojisi düşünüldüğünde oldukça popüler olmaları çok kısa zamanda gerçekleşmiştir. Kablosuz ağ teknolojisini kullanan son kullanıcı sayısının artması, erişim noktaları üzerinde çok çeşitli darboğaz ve güvenlik açıklarını beraberinde getirmiştir. Kullanılan protokollerin yetersiz kalması, yeni sistem cihazlarının gelişimini tetiklemiş ve sırasıyla 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac ve en yeni nesil çözüm olan 802.11ax teknolojisi çıkmıştır. Bu sıralama, standartların çıkış tarihleri, teknolojik yenilik sıralamasıdır ve en eski nesilden, en yeniye doğru sıralanmıştır.

Kablosuz ağ sistemlerinin, bu denli yaygın olması beraberinde her çeşit uygulama ve servislerin elektromanyetik frekans yayını yapan erişim noktaları (AP-Accesspoint) üzerinden yapılmasına ve hizmet vermesi ile sonuçlanmıştır. Bu yayınlar üzerinden bağlantı kuran sistemler ve son kullanıcıların yapmış olduğu veri trafiği eski sistemlerin, veri taşıma kapasitesine aşması sebebiyle belirli limitlerde kalmasından en yeni nesil olan Wi-Fi 6 veya 802.11ax teknolojisinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Afaqui ve ark, 2016). Wi-Fi 6 teknolojisi ile kişisel ve kurumsal ağlarda bulunan yoğun kullanıcı gruplarına, düşük gecikme süreli yüksek veri transferinin yapılması sağlarken veri transferlerinde yenilikçi güvenlik önemleri alabilmelerine olanak sağlamıştır.

Kablosuz ağ sistemlerinin en büyük problemi, kablosuz yayın yapan erişim noktalarına yapılan bağlantı ve transfer yoğunluğunun oranıdır. Bilinen geleneksel kablosuz ağ sistemlerinde, cihazlara bağlı olan kullanıcı sayısı veri transfer işlemlerinde büyük sorunlara neden olmaktadır. Sistemler üzerinde var olan bu yoğunluk, kablosuz ağ sistemleri üzerinde kritik performans kayıplarına, veri kayıplarına, erişim sorunlarına, gecikmeli bekleme sorunlarını ortaya çıkartmaktadır. Bilinen sorunlar, 802.11ax protokolünün çıkmasıyla birlikte, destekli cihazların yaygınlaşmaya başlaması bağlantı sorunlarının önüne geçilmiştir.

Çizelge 2. Mobil Ağ Hızı Karşılaştırma (Cisco, 2019)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	CAGR 2017-2002
Küresel Hızlar							
Dünya Geneli	8.7	13.2	17.7	21.0	24.8	28.5	26.7%
Akıllı telefonlar	13.5	14.9	22.1	25.9	34.8	41.6	25.2%
Tabletler	22.6	24.5	25.9	32.9	40.5	57.2	20.4%
Bölgeye göre							
Asya Pasifik	10.6	14.3	18.0	21.7	25.3	28.8	22.1%
Latin Amerika	4.9	8.0	11.2	13.0	15.3	17.7	29.6%
Kuzey Amerika	16.3	21.6	27.0	31.9	36.9	42.0	20.9%
Batı Avrupa	16.0	23.6	31.2	37.2	43.8	50.5	25.8%
Merkez ve Doğu Avrupa	10.1	12.9	15.7	19.5	22.8	26.2	21.0%
Orta Doğu ve Afrika	4.4	6.9	9.4	11.2	13.2	15.3	28.0%
Toplam (Aylık PB)							
Mobil Veri Trafik	11.512	19.009	28.560	40.770	56.799	77.493	46%

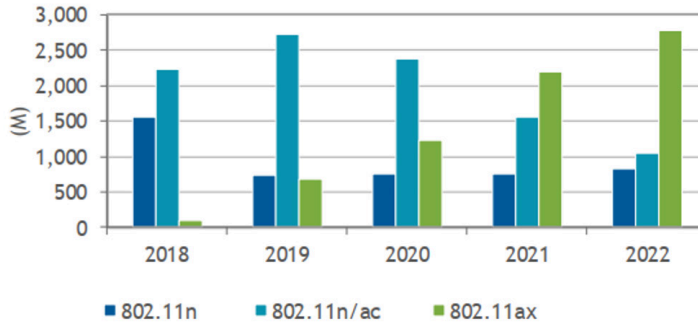
Yukarıdaki çizelgede 2017-2022 yılları arası mobil ağların hız performans karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma esnasında 2G, 3G, 4G ve 5G ağlardaki performans değerlendirmeleri Ookla's Speedtest sitesinden alınmıştır. Mobil ağ veri transfer oranları, yıllar arasında %46 Bileşik Yıllık Büyüme Oranı (CAGR) ile yedi kat artarak 77.5 exabytes olmuştur (Cisco, 2019).

802.11ax ve 5G teknolojilerinin günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanacağı yapılan araştırmalarla birlikte ortaya koyulmaktadır. Yeni çıkan bu teknolojiler, kurumsal ağ sistemleri, kritik veri transferlerinin yapıldığı noktadan noktaya ağ altyapıları, modern dünya cihaz ve ürünlerini kullanan son kullanıcı grupları için ilerleyen yıllarda önemli olacaktır.

Kablosuz ağ sistemleri için sorunların birisi de kapsama alanı problemdir. Kablosuz ağ cihazlarını kullanan sistemlerin hareketli olması, kapsama alanı problemlerini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, her türlü ortam şartlarında bulunan farklı kullanıcılara hizmet verebilmek için kablosuz ağ erişim noktası (AP-Accesspoint) cihaz sayısının artmasına sebeptir. Artış gösteren bu cihazlarla birlikte, kablosuz ağ yayının yapıldığı ortam içerisinde yüksek düzeyde elektromanyetik alan radyo frekans (RF-Radio Frequency) paraziti olmasından dolayı çevredeki yayın bozulmakta ve veri transferi yapılamayacak duruma gelmektedir.

802.11ax diğer adıyla Wi-Fi 6 standart protokolünün IEEE ve Wi-Fi Alliance tarafından ortaya atılması, kablosuz ağ yayını üzerinden çalışan bu sistemlerin en stabil şekilde yoğun veri transfer işlemlerini herhangi bir parazit olmadan gerçekleştirilmesi yönünde olmaktadır. Yenilenen ve geliştirilen bu protokoller, sadece kablosuz ağ yayını yapan sistemlerde parazitleri önlemekle kalmamış, veri transfer işlemlerinin saniyede Gigabit (Gbps) seviyesine çıkartmıştı. Bu durum özellikle büyük kurumsal şirketlerin veri transfer işlemlerini kolay bir şekilde havadan yapabilmelerine olanak sağlamıştır. Kablosuz ağ transferinin en yoğun olarak gerçekleştiği kongre merkezleri, baz istasyonları, akıllı şehirler, halka açık kablosuz ağlar, stadyumlar, üniversiteler, merkezi sınav sistemleri, ses ve kamera sistemleri 802.11ac wave2 protokolü ile yüksek hızlarda veri transferi yapabilmektedir fakat bu sistemi kullanan cihazlarda halen veri transfer hız limitleri bulunmaktadır (Butler, 2018).

802.11ax teknolojisinin sertifika süreçlerini tamamlaması ve 2019 yılında çıkmasıyla birlikte, çok kullanıcılı yoğun veri transferini yapıldığı ortamlarda kullanımının başladığı gözlemlenmektedir. Kullanım miktarındaki artış, teknolojinin yeni çıkmış olmasına rağmen talep görmesinden ve bu alandaki ihtiyacın yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Wi-Fi 6 standart protokolü, önceki nesil kablosuz ağ yayın standartlarına kıyasla teknolojik yeni alt sistemleriyle veri taşıma ve yönetme işlemlerinde dört kat daha fazla performans sağlarken, bu işlemi aynı anda birçok kullanıcı için veri kaybı olmaksızın gerçekleştirebilmektedir (MU-MIMO). IEEE 802.11ax teknolojinin yoğun kullanım senaryoları için dizayn edildiğini bu özelliği sayesinde anlaşılabilir.

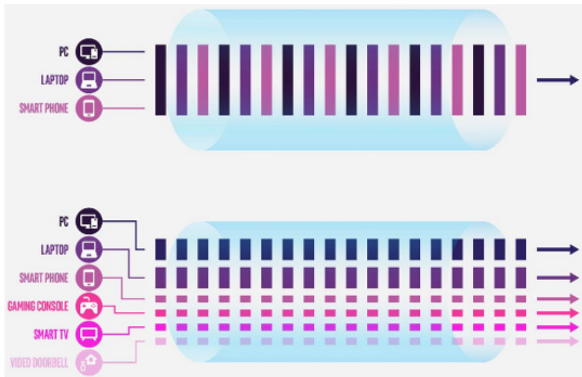


Şekil 1. 2018–2022 Wi-Fi Standard Tahmini (Butler, 2018)

2018 ve 2019 yılları içerisinde Wi-Fi 6 standart protokolünün kullanım oranlarının yüksek düzeyde artış göstereceği ve 802.11ax teknolojisinin 2019 'un sonuna doğru genel Wi-Fi standardı olma eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. 2023 yılın da kullanıcı grupları içerisinde Wi-Fi standardı olacağını tahmin edilmektedir.

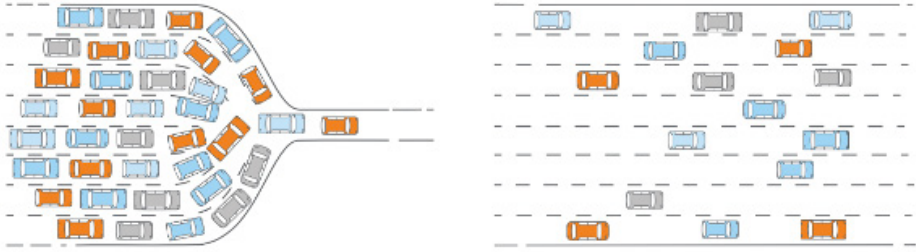
Yeni nesil 802.11ax standart protokolünün çıkmasıyla birlikte gelen özellikler ise şu şekilde olmaktadır;

1- Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA): En eski nesil cihazlar, bir erişim noktası üzerine sadece tek bir bağlantı ile bütün kullanım limitlerini doldurmaktadır. Limitlerin tek bir kullanıcı veya sisteme verilmesi, diğer kullanıcı ve sistem cihazları için erişim noktalarının kullanılmaz bir duruma gelmesine sebep olmaktadır. Bu durum her çevreden kullanıcılar için kabul edilemez bir hal durumudur. Yeni çıkan 802.11ax teknolojisinde böyle bir sorun bulunmamakla birlikte, erişim noktası (Accesspoint) ile son kullanıcı (Endpoint) arasında bulunan veri trafiğini cihazın iletişim kapasitesi içerisinde bulunan çok miktardaki düşük band seviyesinde alt kanallara ayırıp, veri akışını alt kanallar üzerinden eş zamanlı bir şekilde iletilmesiyle gerçekleştirir. Alt kanallardan taşınan veri miktarı az olmasına karşılık, verinin iletiği yerde toplanarak yüksek hızlara çıkmaktadır (Soysal, 2006). Bu şekilde gerçekleşen veri trafiğinde radyo frekans (RF-Radio Frequency) bulunan parazitlerde azaltılabilmektedir.



Şekil 2. OFDMA Çalışma Yapısı (Intel, 2019)

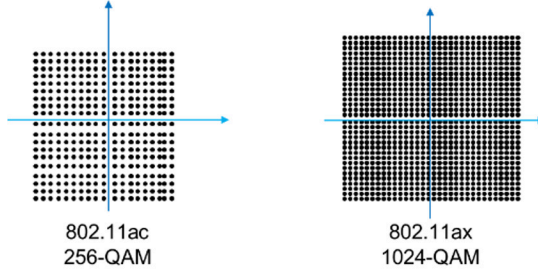
- 2- Çok Kullanıcılı Uplink, Çoklu Giriş, Çoklu Çıkış (MU-MIMO):** Bağlantıları yoğun olarak gerçekleştiği ortamlarda erişim noktalarına bağlanan çok sayıda kullanıcı bulunmaktadır. Eski nesil cihazlarda, Tek Kullanıcılı, Çoklu Giriş, Çoklu Çıkış (SU-MIMO) özelliği bulunmaktadır, bu özellik ağ içerisinde erişim noktalarına (AP-Accesspoint) bağlanan her cihaz, veri trafiğini gerçekleştirebilmek için bir sıraya girer, sırası geldiğinde veri akışı sağlanır. Kullanıcı sayısındaki artış miktarıyla birlikte, ağ performansı hızı düşer, bunun sebebi SU-MIMO (Single User, Multi-Input, Multi-Output) özelliğinin her veri akışı ve cihazı birbirinden ayıramamasından kaynaklanmaktadır



Şekil 3. SU-MIMO ve MU-MIMO Kıyaslaması (Aruba, 2018)

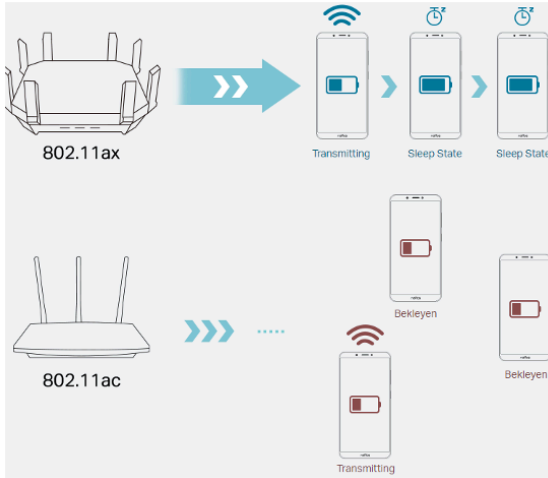
MU-MIMO özelliği, erişim noktası cihazlarının birden fazla sayıdaki cihaz veya sistemlerle aynı anda iletişim kurmasını, veri trafiği gerçekleştirmesini mümkün kılmaktadır. MIMO işlemi olurken, ağ içerisinde veri trafiğinde bulunan her cihaz için ayrı, gönderilen veya alınan veriyi ayrı dilimlere bölerek gerçekleştirir. Kısaca, telefon, bilgisayarınız, tablet, akıllı ev aletleri aynı anda bağlantı isteğinde bulunduğu anda, erişim noktası bant genişliği kapasitesini bölümlenerek her cihazı da sırada içerisinde bekleme yapmaksızın erişim noktası üzerinden veri trafiğini yapmasını sağlar.

- 3- 1024 Karesel Genlik Modülasyonu (QAM):** Eski nesil 802.11ac wave 2 teknolojisi 256QAM desteklemektedir. 802.11ax teknolojisiyle birlikte bu sayı 1024QAM seviyesine çıkmıştır. Kısaca QAM, aynı bant genişlik kapasitesi sahip erişim noktası modülünü daha fazla bölümlere ayırarak veriyi daha hızlı ve yüksek kapasitelerde taşıma işlemidir. Bu işlemle birlikte, bölümlenmiş alanlar içerisinde %25 oranda daha yoğun veri doldurulabilmektedir.



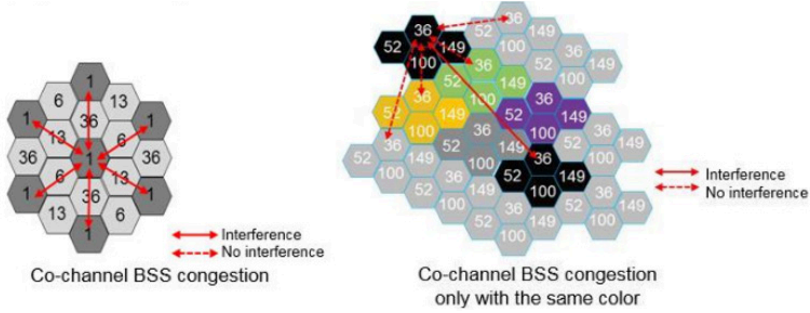
Şekil 4. 256-QAM ve 1024-QAM Kıyaslaması (Huawei, 2019)

- 4- **Güç Verimliliği:** 802.11ax teknolojisiyle birlikte, IoT cihazlar, sensörler ve elde taşınan çok çeşitli cihazların kablosuz ağ kullanım enerji miktarları düşmekte ve cihazlarda enerji verimliliği sağlanmaktadır. Hedef Uyanma Süresi (TWT) adı verilen bir teknolojiyle erişim noktası ile iletişimde olan son kullanıcı cihazları uyuma ve uyanma sürelerini belirlenmesinde cihazlar arasında planlama yaparak farklı zaman dilimlerinde aktivite sinyali gönderip cihazın sistemde aktif kalmasını sağlar böylelikle son kullanıcı cihazında batarya enerji tüketim süresini uzatmaktadır.



Şekil 5. Hedef Uyanma Süresi Modeli (Tplink, 2021)

- 5- Örtüşen Temel Hizmet Kümesi (OBSS) Renklendirmesi:** Kullanıcı sayısının yoğun ortamlarda en iyi hizmeti verebilmek için alan içerisine fazla sayıda erişim noktası (AP-Accesspoint) cihazı konumlandırılması normal bir durumdur. Kablosuz ağ yayını yapan cihazların sayısının artması, performans artışı sağlamak birlikte, istenilmeyen bir durum olan kanalların çakışmasına ve radyo frekans (RF-Radio Frequency) parazitlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. 802.11ax teknolojisi 2.4 ve 5 GHz frekans bandı içerisinde çalışabilmektedir. Yüksek yoğunluklu kullanıcı senaryolarının olduğu ortamlarda 2.4GHz kanal sayısı az olması bu ortamlarda sorun oluşturmaktadır. Bu sebeple çevre içerisinde konumlandırılan erişim noktaları kendi aralarında konuşarak ortam dinlemesi yaparlar. Ortam dinlenmesi sonucunda, cihazlar renk kodlamalarıyla üzerlerinde tuttıkları kullanıcı sayısı ve veri transfer bilgilerini diğer erişim noktalarına bildirir ve üzerlerinde yoğun veri yükünü renk kodu daha uygun gözükene cihazlara dağıtır. Bu durum ise 802.11ax teknolojisinden yararlanan son kullanıcı sistemlerinin veri transfer işlemlerini daha hızlı ve kayıpsız bir şekilde yapmaları sağlamaktadır.



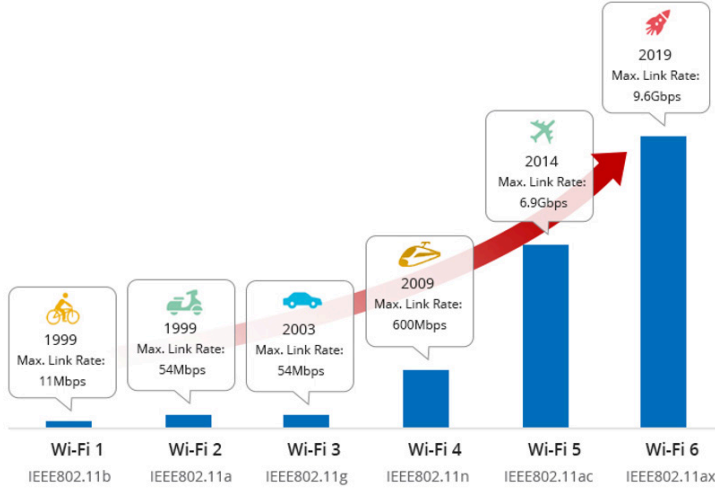
Şekil 6. Kablosuz BSS Model (Huawei, 2019)

- 6- Güvenlik:** Eski nesil kablosuz ağ güvenlik protokolü olan WPA-2 geliştirilerek yerine kişisel ve kurumsal ağlarda veri güvenliği en iyi şifreleme algoritmalarıyla gerçekleştiren WPA-3 kablosuz ağ güvenlik protokolü gelmiştir. 802.11ax ve WPA-3 protokolleri yazılım ve donanım seviyesinde teknolojik yeniliklerle beraber gelmektedir. Kullanıcı şifrelerinin çalınması ve değerli verilerin kötü niyetli kullanıcıların eline geçmesi WPA-3 şifreleme protokolü ile iyileştirilmiştir.

Çizelge 3. 802.11 Protokollerinin Kıyaslanması

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ax
Yıl	1999	1999	2003	2009	2014	2019
Radyon Frekans	5GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4/5GHz	2.4/5GHz	2.4/5GHz
Kanal Genişliği	20MHz	20MHz	20MHz	20/40 MHz	20/40/80/160MHz	20/40/80/160 MHz
Alt Taşıyıcı Aralığı	312.5 kHz	-	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	78.125 kHz
Max Hız	54Mbps	11Mbps	54Mbps	600Mbps	6.9Gbps	9.6Gbps
SU Yayın	1	1	1	4	8	8
MU Yayın	-	-	-	-	4	8
Modülasyon	64 OFDM	DSSS	64 DSSS OFDM	128 OFDM	512 OFDM	2048 OFDM/A
Güvenlik	WEP	WEP	WPA	WPA-2	WPA-2	WPA-3
Max QAM	64	-	64	64	256	1024
Kullanım Alanları	Mail	Mail	İnternet Ses Video	İnternet 1080p Ses Video	İnternet 4K Ses Video	İnternet 8K Ses Video
Mesafe	35m	35m	70m	70m	35m	35m

Çizelge 3’te görüldüğü üzere 802.11 kablosuz ağ protokollerinin zaman içerisinde değişen ve gelişen teknolojik şartlara uyum sağlamıştır. Ayrıca, günümüzde popüler olmaya başlayan 4K/8K yayıncılığın artması veri transfer işlemlerinin gelişmesiyle birlikte ilerleyen dönemlerle 8K video oyunculuğun önünü açmaktadır. Ayrıca, Wi-Fi 6 teknolojisinin zamanla yaygınlaşması, Wi-Fi 7 teknolojisinin gelişmesine sebep olacak yeniliklerin önünü açacaktır. Bu yeniliklerin içerisinde, yapay zekâ sistemleri, yüksek çözünürlüklü sanal gerçeklik (VR- Virtual Reality) sistemleri, otonom sistemlerde kullanımı, enerji depolama sistemlerinde kullanımı, yeni nesil IoT sistemleri ve akıllı şehirler, akıllı tarım ve sensor sistemleri gibi altyapılarda kullanımları kablosuz ağ teknolojisi ve altyapılarının gelişmesiyle artarak devam edecektir.



Şekil 16. Wi-Fi Protokol Hız Oranları (FS, 2020)

802.11ax teknolojisinin çıkışıyla birlikte, ilk sürüm olan 802.11 (Wi-Fi 1) protokol ile 802.11ax (Wi-Fi 6) protokolü arasında %872 oranda veri transfer hız artışı sağlanmıştır (FS, 2020). Yeni teknoloji 802.11ax ile hızlı, güvenli ve daha az enerji tüketimi bu protokolle birlikte gelmiştir. 802.11ax teknolojisini destekleyen son kullanıcı cihazları ve global üretici erişim noktaları tam uyumlu olarak çalışmaktadır.

Yöntem

Yapılan canlı ortam çalışmasında, altyapı içinde üç farklı kablosuz ağ platformu kullanılmıştır. Bu platformlar ve kablosuz ağ dağıtıcı cihazları özellikleri ve destekledikleri standartlar bakımından teknolojik farklılıklar içermektedir. Çalışmada kullanılan cihazlar şu şekildedir;

Aruba 3600 Kablosuz Ağ Yöneticisi ve Aruba AP 104 (802.11n)

Cisco 8510 Kablosuz Ağ Yöneticisi ve Cisco Aironet 2802 (802.11ac wave2)

Cisco 9800-40 Kablosuz Ağ Yöneticisi ve Cisco Catalyst 9115 (802.11ax)
Ayrıca, kablosuz ağ dağıtıcılarına bağlanacak ve performans testlerinin yapılacağı cihazlar ise iki adet cep telefonu ve bir adet dizüstü bilgisayarı bulunmaktadır. Bu cihazlar ise;

- 1- Samsung S20 (802.11ax)
- 2- Samsung S10 Lite (802.11 ac wave2)
- 3- MacBook Air (802.11ax)

Testlerin yapılması esnasında ortam şartları her test platformu için aynı olacak ve canlı bir iş ortamında gerçekleştirilmiştir. Testler, aynı kullanıcı yoğunluğunun bulunduğu ortamda, eşit şartlar altında, farklı zaman dilimlerinde ve aynı boyutlarda veri transfer işlemleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Amaç, canlı ortam testlerinde kurumsal kullanıcı gruplarının iş ortamının simülasyonu deneyimlemek ve ortam içerisindeki cihazlar kullanılırken test ederek kablosuz ağ teknolojilerinin arasındaki performans farklılıklarını ortaya çıkartmaktır.

Ayrıca, en yeni nesil standartlar eski nesildeki standartları desteklemektedir. Dolayısıyla aşağıdaki şekilde bir teknolojik kronoloji olmaktadır;

802.11ax>802.11ac>802.11n>802.11g>802.11b=802.11a

Bu sıralama, standartların çıkış tarihleri ve teknolojik yenilik sıralamasıdır. En yeni nesilden, eskiye doğru sıralanmıştır.

Testler esnasında, aktif cihazları izlemek ve verileri toplamak için, PRTG Network Monitoring Tool, Cisco Prime Infrastructure, Speedtest ve Analiti yazılımlarından yararlanılmıştır. Böylelikle çıkacak olan sonuçlarla birlikte anlık ortam değişkenlerini izleme, takip, yorumlama işlemleri yapılmıştır. Testler, her cihaz için üç kez tekrar edilerek en iyi sonuçlar alınmıştır.

Canlı test ortamında yukarıda bahsedilen sistem cihazları ve son kullanıcı cihazları için çeşitli ortam faktörlerin etkileri hesaba katılmıştır. Test ortamında bulunan, Havanın sıcaklık veya soğukluk durumu, Kapının bulunması, Cam bulunması, Cihaza olan uzaklık veya yakınlık mesafesi, Kartonpiyer Duvar gibi etkenlerin bahsedilen teknolojik ürünlerin yayına ve veri transferine olan etkisini gözlemlenmiştir. Kıyaslaması yapılacak olan farklı altyapı ve cihazların etkenler karşısında veri transfer hızı, bağlantı gücü, bağlantı kalitesi ve gürültü miktarları incelenmiştir.

Bulgular

1. Test ortamında Samsung S10 Lite (802.11 ac wave2) ile alınan sonuçlar şu şekildedir;

Çizelge 4. Samsung S10 Lite Wi-Fi Hız Kıyaslanması

Erişim Noktası	İndirme (Mbps)	Yükleme (Mbps)	RSSI (dBm)	Engel	Mesafe (metre)	Kanal	Rx/Tx (Mbps)
Aruba 104	89	137	-31	Yok	1	5GHz/40MHz/36	300/300
Aruba 104	44	20	-71	Var	13	5GHz/40MHz/36	163/120
Aruba 104	133	153	-57	Orta	6	5GHz/40MHz/36	270/270
Cisco 2802	630	471	-47	Yok	1	5GHz/80MHz/64	866/866
Cisco 2802	236	213	-74	Var	22	5GHz/80MHz/64	260/390
Cisco 2802	275	300	-68	Orta	12	5GHz/80MHz/64	290/520
Cisco 9115	199	217	-72	Var	17	5GHz/80MHz/112	390/390
Cisco 9115	400	241	-63	Orta	12	5GHz/80MHz/112	650/850

2. Test ortamında Samsung S20 (802.11 ax) ile alınan sonuçlar şu şekildedir;

Çizelge 5. Samsung S20 Wi-Fi Hız Kıyaslanması

Erişim Noktası	İndirme (Mbps)	Yükleme (Mbps)	RSSI (dBm)	Engel	Mesafe (metre)	Kanal	Rx/Tx (Mbps)
Aruba 104	96	133	-46	Yok	1	5GHz/40MHz/36	300/300
Aruba 104	62	103	-69	Var	12	5GHz/40MHz/36	180/240
Aruba 104	101	129	-62	Orta	7	5GHz/40MHz/36	240/270
Cisco 2802	633	453	-45	Yok	1	5GHz/80MHz/64	866/866
Cisco 2802	255	349	-76	Var	25	5GHz/80MHz/64	260/520

Cisco 2802	334	401	-63	Orta	13	5GHz/80MHz/64	390/520
Cisco 9115	750	475	-45	Yok	1	5GHz/80MHz/44	1000/1000
Cisco 9115	290	310	-74	Var	19	5GHz/80MHz/44	320/370
Cisco 9115	404	394	-61	Orta	10	5GHz/80MHz/44	390/650

3. Test ortamında MacBook Air (802.11ax) ile alınan sonuçlar şu şekildedir;

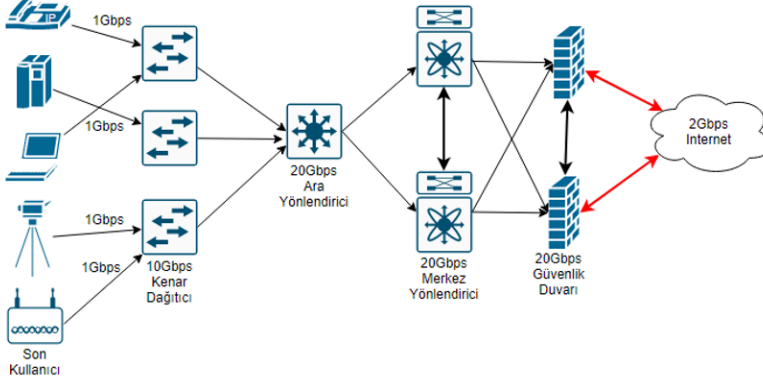
Çizelge 6. MacBook Air Wi-Fi Hız Kıyaslanması

Erişim Noktası	İndirme (Mbps)	Yükleme (Mbps)	RSSI (dBm)	Engel	Mesafe (metre)	Kanal	Rx/Tx (Mbps)
Aruba 104	110	165	-45	Yok	1	5GHz/40MHz/36	300/300
Aruba 104	95	98	-70	Var	22	5GHz/40MHz/36	144/144
Aruba 104	102	143	-62	Orta	6	5GHz/40MHz/36	270/300
Cisco 2802	657	449	-45	Yok	1	5GHz/80MHz/64	866/866
Cisco 2802	225	270	-75	Var	20	5GHz/80MHz/64	270/300
Cisco 2802	369	330	-62	Orta	7	5GHz/80MHz/64	420/520
Cisco 9115	975	935	-45	Yok	1	5GHz/80MHz/44	1000/1000
Cisco 9115	223	281	-73	Var	25	5GHz/80MHz/44	380/460
Cisco 9115	367	373	-60	Orta	15	5GHz/80MHz/44	585/780

Kablosuz ağ modülleri birbirinden farklı olan çeşitli cihazlar üzerinde farklı şartlar altında testleri yapılmıştır. Testlerin tamamında benzer uygulamalar yapılmış ve çıkan sonuçlar üç farklı test cihazı için tablo halinde eklenmiştir.

Canlı ortamda gerçekleşen testler, gerçek dünya ortamında bulunan ve yaşayan canlı bir iş ortamı olmasından kaynaklı indirme/yükleme bağlantılarında maksimum verim elde edilmek istenmiştir. Kablosuz yayın

yapan cihazların üzerinde bulunan işlem yükü, test ortamında yapılan uygulama için kritik etkiyi oluşturmaktadır. Ayrıca, ortamda bulunan ve kablosuz yayını etkileyen faktörler uygulamada çıkan verileri direk olarak etkilemektedir.



Şekil 17. Üç Katmanlı (Tier-3) Altyapı Topolojisi (Yılmaz, 2022)

Testlerde, en doğru veri elde edilmek istenmiştir. Bu nedenle verilerin toplanması konusunda kullanılan yazılımlar olan PRTG Network Monitoring Tool, Cisco Prime Infrastructure, Speedtest ve Analiti ürünleri ile sistemde elde edilen trafik verisi raporlanabilmiştir. Çalışmaya etki eden faktörlerden birisi de uçtan uca bağlantının yeterli verimlilikte olması durumudur. Son kullanıcı başta olmak üzere, kablosuz yayın cihazının bağlantı port hızı ve internet hızı yapılan bu uygulama için ikinci kritik etkiyi oluşturmaktadır. Uygulama ortamında, kablosuz ağ cihazının fiziksel bağlantı hızı 1Gbps olarak ölçülürken, üç katmanlı yapıda birbirine bağlı olan ağ altyapısı 10Gbps ve 20Gbps hızında olmaktadır, internet hızı 2Gbps olarak gözlemlenmiştir.

Yukarıdaki ağ topolojisinde teknolojik darboğaz olması sebebiyle 2.5Gbps destekli bağlantı portuna sahip olan kablosuz ağ yayın cihazının maksimum hız 1Gbps olarak çıkması normal olarak görülmüştür. Uçtan uca 2.5Gbps bağlantının olması tamamen ağ altyapısında bulunan fiziksel bağlantı katmanında çözümlenecek bir çözüm olarak tespit edilmiştir. Port bağlantı hızı 2.5Gbps seviyesine çıkması, internete çıkış hızının yükselmesi dolaylı yoldan sistem altyapısının yüksek hız kapasitesinde veri transfer işlemi yapmasına olanak sağlayacaktır.

Tespit edilen durumların sonrasında yapılan uygulama ile elde edilen veriler yorumlandığında elimize oldukça değerli bilgiler geçmektedir. 802.11ax teknolojisi yeni olmasına karşılık, kendinden önceki nesil kablosuz ağ protokolleriyle oldukça büyük performans farklılıkları bulunmaktadır. Yapılan uygulamada çıkartılan gözlemler ise şu şekillerde olmaktadır;

1.Test ortamında Samsung S10 Lite (802.11 ac wave2) cihazı ile yapılan uygulamada alınan sonuçlar değerlendirildiğinde, Samsung S10 Lite cihazının 802.11ax desteği olmadığı için 802.11ac üzerinden testler gerçekleşmiştir. Telefon 802.11ax bağlanmadığı için maksimum değerde 802.11 ac wave2 protokolünde Rx/Tx 866/866Mbps bağlantısı üzerinden destekli modemi ile en iyi değerleri almıştır. Uygulaması yapılan üç farklı platform ve kablosuz yayın yapan cihazlarda en iyi değerleri ilgili 802.11 ac wave2 ağı üzerinden çıkartmıştır. Çizelge 4 incelendiğinde veri transferindeki oranların teknolojik desteğin önemini göstermektedir ve ilgili cihaz kendi platform desteğinde en iyi sonuca ulaşmıştır.

2.Test ortamında Samsung S20 (802.11ax) cihazı ile yapılan uygulamada alınan sonuçlar değerlendirildiğinde, Samsung S20 cihazı 802.11ax desteği bulunması sebebiyle ilgili teknoloji üzerinden maksimum verimi elde ederek Rx/Tx 1000/1000Mbps bağlantısı üzerinden destekli modemi ile en iyi değerlere ulaşmıştır. Cihazın üzerinde bulunan kablosuz modem maksimum 1000Mbps desteklemesinden dolayı, teknolojik darboğaz yaşanmış ve daha yüksek hızlara çıkamamıştır. Çizelge 5 incelendiğinde veri transferindeki oranların teknolojik değişimlere oranla değişimi gözlemlenmiştir.

3.Test ortamında MacBook Air (802.11ax) cihazı ile yapılan uygulamada alınan sonuçlar değerlendirildiğinde, MacBook Air 802.11ax desteği bulunması sebebiyle ilgili teknoloji üzerinden maksimum verimi elde ederek Rx/Tx 1000/1000Mbps bağlantısı üzerinden destekli modemi ile en iyi değerlere ulaşmıştır. Ayrıca, bu cihaz diğer cihazlara oranla en iyi uygulama sonuçları çıkartmıştır. Üzerinde bulunan, kablosuz ağ bağlantı antenlerinin daha geniş kapsamdaki yayını yakalamasıyla da uzak noktalarda veri transferini kayıp olmaksızın en iyi değerlere ulaşmıştır. Çizelge 6 incelendiğinde veri transferindeki oranlarda en iyi iletişim ve veri taşıma oranlarının bu test cihazında ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

802.11n protokolü düzendeki yapılan uygulamada tüm senaryo testlerinde, Samsung S10 Lite ve Samsung S20 cihazı benzer performans gösterirken

MacBook Air cihazının ortalama %15 daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. 802.11ac protokolü düzendeki yapılan uygulamada tüm senaryo testlerinde, Samsung S10 Lite, Samsung S20 ve MacBook Air cihazı benzer performans gösterdikleri gözlemlenmiştir.

802.11ax protokolü düzendeki yapılan uygulamada tüm senaryo testlerinde, MacBook Air, Samsung S10 Lite cihazından %260 ve Samsung S20 cihazından ise %10 daha verimli olduğu anlaşılmaktadır. Samsung S10 Lite cihazı 802.11ax desteklemediği için bu testlerde yeterli düzeyde başarılı olamamıştır.

Yapılan uygulama ile fiziksel katmanın ağ teknolojisi altyapısının en önemli ve kritik katmanlardan birisi olduğunu gözler önüne sermektedir. Her platform şartlarında karşımıza çıkan teknolojik iletişim darboğazı yapılan uygulama içerisinde maksimum verilere ulaşılmasının önüne geçmiştir. Tasarımı yapılacak olan ağ altyapısında bu tür problemle karşılaşmamak için ağ yapısı iyi dizayn edilmeli üç katmanlı (Tier-3) yapı olacak şekilde uçtan uca tasarlanmalı, kenar dağıtıcı ve son kullanıcı bağlantılarının en az 2.5Gbps hızını desteklenmesiyle birlikte diğer yönlendirici cihazların ise 10Gbps/20Gbps olması tavsiye edilebilmektedir. Bu tür bir tasarımın, bilinen ve geleneksel kenar dağıtıcı ve son kullanıcı cihazları ile yönetilen ve işletilen (1000Mbps port hızı) ağ altyapılarından çok daha yüksek maliyetli olacağı da bilinmelidir.

Üç farklı ağ altyapısında çok çeşitli uygulama testlerinde en iyi sonuçlar aynı sistemsel şartlar içerisinde alınmaya çalışılmıştır. Raporlama ürünleri olan PRTG Network Monitoring Tool, Cisco Prime Infastructure, Speedtest ve Analiti ile en doğru verinin farklı araçlar ile toplanması sağlanmıştır. Yapılan uygulama, yaşayan bir sistem içerisinde yapılması sebebiyle, kablosuz ağ dağıtıcı cihazlarında uygulama testlerinde önemsenmeyecek boyutlarda veri transferleri ve kullanım yoğunluğu olduğu ve uygulama testlerini etkilemediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, MacBook Air cihazı üzerinde bulunan antenlerin daha güçlü olması, daha geniş bir alana yayılması sebebiyle zor şartlar altındaki testlerde uygulamanın en iyi cihazı olmayı başarmıştır.

Sonuç ve tartışma

Kurumsal canlı ortamda yapılan uygulama ile önemli bir boşluğu dolduran bu çalışma, ağ teknolojisinin her geçen gün gelişmesiyle birlikte hayatımızı yeni teknolojik ürünler ve sistem altyapıları girdiğini doğrulamaktadır.

Yapılacak olan son kullanıcı tercihleri ihtiyaca uygun olarak belirlenmeli cihaz ve ağ altyapıları belirlenen ihtiyaçlara uygun kurulmalıdır. Fiziksel katmanlardan ötürü oluşabilecek veri transferindeki darboğaz sorunlarının önüne geçilmelidir.

802.11ax teknolojisinin hayatımıza katmış olduğu son kullanıcı güvenlik seviyesi ve performans artışı dikkate alınacak düzeyde görünmektedir. Kullanıcı cihazlarının teknolojik olarak yenilenmesi ve güncellenmesiyle birlikte yapılan analiz çalışmalarında 802.11ax teknolojisi önümüzdeki beş yıl için popüler olması beklenilmekte Wi-Fi 7 teknolojisi için bir altyapı oluşturmaktadır. Wi-Fi 7 sayesinde, yüksek hız, kaliteli ve güçlü bağlantı, uzak noktalarda bulunan erişim sorunları çözülebilecektir. Yeni nesil altyapı ve cihazların artışı özellikle 4K/8K ses ve video transferi için kritik öneme sahip olduğu görülmektedir.

802.11ax kablosuz ağ teknolojisi, kendinden önceki nesil teknolojik altyapılar ile kıyaslandığında, WPA-3, 1024-QAM, OFDMA, IoT, MU-MIMO, OBBS Renklendirmesi gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, yoğun kullanıcı gruplarının olduğu ortamlarda ise performans kaybını en minimum düzeyde kullanıcıya yansıtmasıyla tercih edilme sebebi olması beklenmektedir.

Yapılan uygulamayla birlikte 802.11ax teknolojisinin, kendinden önceki nesil 802.11 protokollerine oranla 802.11ax desteleyen MacBook Air, Samsung S10 Lite cihazından %260 ve Samsung S20 cihazından ise %10 daha verimli, performanslı olduğu uygulama sonucunda net olarak görülmektedir. Ayrıca, WPA-3 güvenlik protokolünde kullanması daha güvenli bir iletişim modelinde veri transferi yapıldığını göstermektedir. Yeni nesil teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, çok farklı donanımlı cihaz ve sistemlerin birbirleriyle uyumlu ve istikrarlı olarak çalıştığıda gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, Alternatif öneriler olarak, çalışmanın geliştirilmesi için yüksek bağlantı portlarına sahip kenar dağıtıcılar ve yönlendiriciler, yüksek hızlı internet altyapısı, yüksek hız destekleyen son kullanıcı cihaz modelleri, yoğun kullanıcı kapasiteli ortamlarının bulunduğu alanlar ve bilinen yeni nesil saldırı yöntemlerini ile analiz ve değerlendirme yapılması alternatif geliştirme tavsiyesi olarak görülmelidir.

Kaynaklar

- [1] Khorov, E., Kiryanov, A., Lyakhov, A., Bianchi, G. (2018). “A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 21, NO. 1
- [2] Afaqui, S.M., Garcia-Villegas, E., Lopez-Aguilera, E. (2016). “IEEE 802.11ax: Challenges and requirements for future high efficiency Wi-Fi”, *IEEE Wireless Communications*, pp 2-9
- [3] George, S. A., George, H.A.S.S. (2020). “A Review of Wi-Fi 6: The Revolution of 6th Generation”, *International Journal of Engineering And Science* Volume10, pp 56-65
- [4] Pahlavan, K., Krishnamurthy, P. (2021). “Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications:A Historical Perspective”, *International Journal of Wireless Information Networks*, pp 28:3–19
- [5] Gratton, D.A., (2013). “The Handbook of Personal Area Networking Technologies and Protocols”, *Cambridge*, Cambridge University Press
- [6] Majumdar, A.K., (2019). “Optical Wireless Communications for Broadband Global Internet Connectivity,”, *Published by Elsevier Inc*, Chapter 2, pp 5-38
- [7] Prabhu, B., Sudhir, S., (2011). “A Survey of Adaptive Distributed Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks”, *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, Volume 2, No.4
- [8] He, D., Li, X., Chan, S., Gao, J., Guizani, M., (2019). “Security Analysis of a Space-Based Wireless Network”, *IEEE Network Journals & Magazines*, Volume 33, Issue 1, pp 36-43
- [9] Christin, D., Mogre, P.S., Hollick, M., (2010). “Survey on Wireless Sensor Network Technologies for Industrial Automation: The Security and Quality of Service Perspectives”, *Future Internet*, 2, pp 96-125
- [10] IEEE, (2004). “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications”, *IEEE Computer Society*, New York
- [11] Meyers, M. (2012). *CompTIA Network+ Guide to Managing and Troubleshooting Networks*, New York, Published by McGraw-Hill Education

[12] Ciampa, M. (2012). CWNA Guide to Wireless LANs 3rd Edition, Boston, Published by Cengage Learning

[13] Cisco, (2019). “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022”, February

[14] Butler, B., (2018). “Evaluating the New 802.11ax WiFi Standard and What It Will Mean for Enterprises”, IDC Technology Spotlight, IDC #US44230018

[15] Soysal, B., Kaya, İ., (2006). “Frekans ve zaman bölgesi kanal denkleştiricili OFDM sistemlerinin kodlamasız ve katlamalı kodlanmış başarımlarının karşılaştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, sayı 18 (2), ss 217-223

[16] Yılmaz, A., Aslan, Z., (2022). “COVID-19 Pandemisinin Kurumsal Ağlarda Veri Kullanım Oranına Olan Etkisi”, *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, sayı 66, ss 95 – 115

[17] Alwer, O.A, Rasheed, J., Mahfouz, M.A., Shams,P., (2022). “Study and Evaluation of Quality of Services in Mobile Internet Protocol v6 Using IEEE802.11e”, *Wireless Communications and Mobile Computing*, v.2022, pp 11

İnternet Kaynakları

[1] Wang, M., “3 Tips for Reducing Wireless Network Interference in Accesspoint Equipment”, *Wireless Technology*, https://e2e.ti.com/blogs_/b/powerhouse/posts/how-to-eliminate-interference-in-wireless-access-point , (Erişim Tarihi: 14.11.2023)

[2] Ern, A.T.Y., “Mobile and Wireless Technology”, *Scientific*, https://www.researchgate.net/figure/Wireless-connected-with-Huawei-AR1220-wwwkabelfreakde-As-a-voice-gateway-for_fig17_337224719, (Erişim Tarihi: 14.12.2023)

[3] İnternet: “5G Türk Telekom”, Türk Telekom, <https://www.turktelekom.com.tr/hakkimizda/duyurular/Documents/tt-5g-final-version-03082018.pdf> , (Erişim Tarihi: 14.12.2023)

[4] İnternet: “GPRS Technology”, Mepits, <https://www.mepits.com/tutorial/256/communication/gprs-technology> , (Erişim Tarihi: 14.01.2024)

[5] Fleishman, G., (2008). “Battered, but not broken: understanding the WPA crack”, *Wireless Technology*, <https://arstechnica.com/information-technology/2008/11/wpa-cracked/> , (Erişim Tarihi: 15.01.2024)

[6] Internet: “WPA2™ Security Now Mandatory for Wi-Fi CERTIFIED™ Products”, *Wi-Fi Alliance*, <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wpa2-security-now-mandatory-for-wi-fi-certified-products>,(Erişim Tarihi: 15.01.2024)

[7] Internet: “Wi-Fi Alliance® introduces Wi-Fi CERTIFIED WPA3™ security”, *Wi-Fi Alliance*, <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-certified-wpa3-security>, (Erişim Tarihi: 15.01.2024)

[8] Internet: “WEP vs. WPA vs. WPA2 vs. WPA3”, *FS Community*, <https://community.fs.com/blog/wep-vs-wpa-vs-wpa2-vs-wpa3.html> , (Erişim Tarihi: 15.01.2024)

[9] Internet: “Wi-Fi 6 Nedir?”, *Intel*, <https://www.intel.com.tr/content/www/tr/tr/gaming/resources/wifi-6.html> , (Erişim Tarihi: 18.01.2024)

[10] Aruba, (2018). “What is 802.11ax (WI-FI 6)? and why you need it”, July, a00058591enw

[11] Internet: “What Is 802.11ax (Wi-Fi 6)”, *Huawei*, <https://support.huawei.com/enterprise/tr/doc/EDOC1100102755> , (Erişim Tarihi: 18.01.2024)

[12] Internet: “6. Nesil WiFi”, *Tplink*, <https://www.tp-link.com/tr/wifi6/> , (Erişim Tarihi: 18.01.2024)

[13] Internet: “What Is Wi-Fi 6 (802.11ax) and Why Does Wi-Fi 6 Matter?”, *FS Community*, <https://community.fs.com/blog/wifi-6-technology-introduction-and-application.html> , (Erişim Tarihi: 20.01.2024)