

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**802.11AX TEKNOLOJİSİ TABANLI KURUMSAL KABLOSUZ
AĞLARIN PERFORMANS ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay DAĞTAŞ

Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2025

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**802.11AX TEKNOLOJİSİ TABANLI KURUMSAL KABLOSUZ
AĞLARIN PERFORMANS ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay DAĞTAŞ

Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. İsmail Hakkı CEDİMOĞLU

OCAK 2025

Berkay Dağtaş tarafından hazırlanan “802.11ax Teknolojisi Tabanlı Kurumsal Kablosuz Ağların Performans Analizi ve İyileştirilmesi” adlı tez çalışması 21.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Dr.Öğr.Üyesi Selman Hızal
	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Prof.Dr. İsmail Hakkı CEDİMOĞLU
	(Danışman)
	Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Dr.Öğr.Üyesi Musa BALTA
	Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “802.11AX TEKNOLOJİSİ TABANLI KURUMSAL KABLOSUZ AĞLARIN PERFORMANS ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(21/01/2025).

Berkay DAĞTAŞ





Eşime, çocuklarıma, anne ve babama



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana rehberlik eden değerli danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı CEDİMOĞLU'na, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak beni her aşamada yönlendirdiği için şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bu sürecin her anında yanımda olan ve bana güç veren annem, babam ve eşim Tenzile Demir Dağtaş'a, desteğini bir an olsun esirgemeyen Efran Çalıkoğlu'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Onların moral ve motivasyonu olmasaydı bu çalışmayı tamamlamak çok daha zor olurdu.

Berkay DAĞTAŞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Kurumsal Kablosuz Ağlar	3
2.2. Wi-Fi Standartları	4
2.3. Kablosuz Alan Ağları	5
2.3.1. Kablosuz kişisel alan ağları	6
2.3.2. Kablosuz yerel alan ağları	6
2.3.3. Kablosuz metropolitan alan ağları	7
2.3.4. Kablosuz geniş alan ağları	7
2.4. Ağ Cihazları	9
2.4.1. Dağıtıcı	9
2.4.2. Anahtarlama cihazı	9
2.4.3. Güvenlik duvarı	10
2.4.4. Erişim noktası	10
2.4.5. Erişim noktası denetleyici	10
2.5. Kablosuz Ağ Performansını Etkileyen Faktörler	11
2.5.1. Engeller ve yapı malzemelerinin etkisi	11
2.5.2. Sinyal gücü	12
2.5.3. Sinyal gürültü oranı	13
2.5.4. Kanal çakışması	15
2.5.4.1. Eş kanal çakışması	15
2.5.4.2. Komşu kanal çakışması	15
2.6. Kablosuz Ağ Performansının İncelenmesinde Ekahau ve Alternatif Araçların Kullanımı	16
2.6.1. Ekahau ai pro	16
2.6.2. Airmagnet survey pro	17
2.6.3. NetSpot	17
2.6.4. Acrylic wifi heatmaps	18
3. YÖNTEM	19
3.1. Ekahau AI Pro ve Sidekick Kullanımı	20
3.2. Ekahau AI Pro Otomatik Planlayıcı ile Kablosuz Ağ Tasarımı	22
3.3. Ekahau AI Pro ve Sidekick ile Kablosuz Ağ Performans Testleri	24

4. ANALİZ VE BULGULAR	27
4.1. Sinyal Gücü Analizi	27
4.2. İkincil Sinyal Gücü Analizi	29
4.3. Sinyal Gürültü Oranı	31
4.4. Veri Hızı	34
4.5. Ağ Kapasitesi.....	37
4.6. Kanal Çakışması	40
4.7. Genel Ağ Performansı ve Analizi.....	42
5. AĞ PERFORMANSINI İYİLEŞTİRME.....	45
5.1. Sinyal Gücü İyileştirmeleri.....	45
5.2. Kanal Çakışması İyileştirmeleri	47
6. SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57



KISALTMALAR

ACI	: Adjacent Channel Interference
AP	: Access Point
CCI	: Co-Channel Interference
CDMA	: Code Division Multiple Access
CDPD	: Cellular Digital Packet Data
CCK	: Complementary Code Keying
CLI	: Command Line Interface
DSSS	: Direct Sequence Spread Spectrum
FHSS	: Frequency Hopping Spread Spectrum
GHz	: Gigahertz
GPRS	: General Packet Radio Service
GSM	: Global System for Mobile Communications
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDA	: Infrared Data Association
LAN	: Local Area Network
LBT	: Listen-Before-Talk
MAC	: Media Access Control
MAN	: Metropolitan Area Network
MIMO	: Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	: Multi-User MIMO
NAT	: Network Address Translation
OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAN	: Personal Area Network
QoS	: Quality of Service
RF	: Radio Frequency
RSSI	: Received Signal Strength Indicator
SNR	: Signal to Noise Ratio
TWT	: Target Wake Time
WLAN	: Wireless Local Area Network

WLC	: Wireless LAN Controller
WMAN	: Wireless Metropolitan Area Network
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WPAN	: Wireless Personal Area Network
WWAN	: Wireless Wide Area Network



SİMGELER

C : Kanal kapasitesi [bit/saniye]

B : Kanal bant genişliği [Hz]

N : Gürültü seviyesi [dB]

P_{noise} : Gürültü gücü [Watt]

P_{signal} : Sinyal gücü [Watt]

S : Sinyal seviyesi [dB]





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Wi-Fi sürümleri ve teknik özellikleri.....	5
Tablo 2.2. Kablosuz ağ türleri ve özellikleri.....	9
Tablo 2.3. Yapı malzemelerinin wifi sinyallerine etkisi.....	12
Tablo 2.4. Sinyal gücü değerleri.....	13
Tablo 2.5. SNR seviyeleri ve sinyal kalitesi ilişkisi.....	14
Tablo 2.6. Wi-Fi performans testi araçları özellikleri ve karşılaştırmaları.....	18
Tablo 3.1. Blok ve kat alanları.....	19
Tablo 3.2. Ekahau ai pro özellikleri.....	21
Tablo 3.3. Ekahau sidekick 2 özellikleri.....	22
Tablo 3.4. Blok ve katlara göre planlanan erişim noktası sayıları.....	24
Tablo 3.5. Kablosuz ağ kapsama gereksinimleri (ekahau standartları).....	26
Tablo 5.1. İyileştirme öncesi ve sonrası performans değerleri.....	49



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kablosuz alan ağları.	6
Şekil 2.2. Kablosuz geniş alan ağı ile kıtalararası veri iletimi.	8
Şekil 2.3. 2.4 GHz ve 5 GHz kanal planlaması.	16
Şekil 3.1. A blok zemin kat planı.	19
Şekil 3.2. B ve C blok zemin kat planı.	20
Şekil 3.3. B ve C blok 1.kat planı.	20
Şekil 3.4. A blok zemin kat otomatik planlayıcı sonucu.	23
Şekil 3.5. B ve C blok zemin kat otomatik planlayıcı sonucu.	23
Şekil 3.6. B ve C blok 1. kat otomatik planlayıcı sonucu.	24
Şekil 3.7. A blok zemin katında sidekick ile gerçekleştirilen ölçüm rotası.	25
Şekil 3.8. B ve C blok zemin katında sidekick ile gerçekleştirilen ölçüm rotası.	25
Şekil 3.9. B ve C blok 1.katında sidekick ile gerçekleştirilen ölçüm rotası.	26
Şekil 4.1. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.	27
Şekil 4.2. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.	27
Şekil 4.3. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.	28
Şekil 4.4. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.	28
Şekil 4.5. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı sinyal gücü haritası.	28
Şekil 4.6. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı sinyal gücü haritası.	29
Şekil 4.7. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.	29
Şekil 4.8. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.	30
Şekil 4.9. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.	30
Şekil 4.10. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.	30
Şekil 4.11. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.	31
Şekil 4.12. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.	31
Şekil 4.13. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.	32
Şekil 4.14. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.	32
Şekil 4.15. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.	33
Şekil 4.16. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.	33
Şekil 4.17. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.	33
Şekil 4.18. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.	34
Şekil 4.19. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.	35
Şekil 4.20. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.	35
Şekil 4.21. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.	36
Şekil 4.22. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.	36
Şekil 4.23. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.	36
Şekil 4.24. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.	37
Şekil 4.25. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.	38
Şekil 4.26. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.	38
Şekil 4.27. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.	39

Şekil 4.28. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası. ...	39
Şekil 4.29. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.	39
Şekil 4.30. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.	40
Şekil 4.31. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.....	40
Şekil 4.32. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.....	41
Şekil 4.33. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.	41
Şekil 4.34. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.	41
Şekil 4.35. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası. ...	42
Şekil 4.36. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.	42
Şekil 4.37. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı genel ağ performansı ısı haritası.	43
Şekil 4.38. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı genel ağ performansı ısı haritası.	43
Şekil 4.39. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı genel ağ performansı ısı haritası.	44
Şekil 5.1. A blok zemin kat sinyal gücü iyileştirme sonucu.	45
Şekil 5.2. B ve C blok 1.kat sinyal gücü iyileştirme sonucu.....	46
Şekil 5.3. Erişim noktası yönlendirme ve konumlandırma iyileştirmesi.	46
Şekil 5.4. B ve C blok zemin kat ikincil sinyal gücü iyileştirme sonucu.....	47
Şekil 5.5. A blok zemin kat ikincil sinyal gücü iyileştirme sonucu.....	47
Şekil 5.6. A blok zemin kat kanal çakışması iyileştirme sonucu.	48
Şekil 5.7. B ve C blok zemin kat kanal çakışması iyileştirme sonucu.....	48
Şekil 5.8. B ve C Blok 1.kat kanal çakışması iyileştirme sonucu.....	49

802.11AX TEKNOLOJİSİ TABANLI KURUMSAL KABLOSUZ AĞLARIN PERFORMANS ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Wi-Fi teknolojisi, günümüzde hem bireysel hem de kurumsal kullanımda kritik bir öneme sahiptir. Artan cihaz sayısı ve veri talepleri, özellikle kurumsal kablosuz ağların performans ve güvenilirlik açısından optimize edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, kurumsal kablosuz ağların performansını artırmaya yönelik kapsamlı bir analiz ve iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Wi-Fi ağlarının sinyal gücü, sinyal-gürültü oranı (SNR), veri hızı, ağ kapasitesi ve kanal çakışması gibi temel performans parametreleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Analiz süreci, A, B ve C adı verilen üç ana binadan oluşan bir kurumsal tesiste, Ekahau AI Pro yazılımı ve Ekahau Sidekick cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, belirli alanlarda sinyal gücü seviyesinin -85 dBm seviyelerine düştüğünü ve bunun ağın kapsama alanını olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. B-C binasının zemin katında, dolaşım (roaming) için ikincil sinyal seviyelerinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Kampüs genelinde SNR seviyelerinin ortalama 30 dB ve üzeri olduğu gözlemlenmiş ve bu değerlerin ideal bağlantı sağladığı belirlenmiştir. Analiz sırasında, bazı alanlarda aynı kanalda yayın yapan erişim noktalarının sayısının 6'ya kadar çıktığı belirlenmiştir. Bu durum, özellikle yoğun parazit olduğu bölgelerde ağ performansının düşmesine neden olabilecek bir etken olarak değerlendirilmiştir. Veri hızı 2.4 GHz frekans bandında 1 - 300 Mbps, 5 GHz bandında ise 1 - 585 Mbps arasında değişiklik göstermiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda gerçekleştirilen iyileştirme çalışmalarında ise müdahale edilebilirliğin daha yüksek olduğu 5 GHz frekans bandına odaklanılmıştır. Wi-Fi sinyal gücünü zayıflatan birçok faktör bulunmaktadır. Erişim noktalarının yanlış yerleştirilmesi, zayıf Wi-Fi sinyalinin başlıca nedenleri arasında yer alırken; mesafenin etkisi ve iç duvarların sinyal gücü üzerindeki zayıflatıcı etkisi de önemli faktörlerdendir. Tesiste, sinyal seviyesi düşük olan alanlarda sinyal gücü iyileştirmesi için erişim noktalarının konumları ve yönleri yeniden düzenlenmiş, ayrıca ek erişim noktaları eklenmiştir. İyi bir Wi-Fi ağı, minimum erişim noktası sayısı ile maksimum alanı kapsayabilmelidir ve erişim noktalarının doğru şekilde yerleştirilmesi, iyi bir kapsama alanı elde etmede kilit bir unsurdur. Tesisin öne çıkan problemi olan kanal çakışması, 2.4 GHz frekans bandında sınırlı kanal yapısı nedeniyle bu bandın yayınlarının devre dışı bırakılmasıyla çözülmüştür. 5 GHz frekans bandında ise, çakışmayı önlemek için kanallar 20 MHz ile sınırlandırılmış ve erişim noktalarına statik, kanal çakışmasını engelleyici bağımsız atamalar yapılmıştır. Bu iyileştirme adımları, ağ performansının artırılmasında ve kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesinde önemli bir katkı sağlamıştır. Çalışma, kurumsal kablosuz ağların performans analizi ve iyileştirilmesi konusunda önemli veriler sunmaktadır.



PERFORMANCE ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF ENTERPRISE WIRELESS NETWORKS BASED ON 802.11AX TECHNOLOGY

SUMMARY

With the rapid development of information and communication technology, the demand for wireless network technology has increased significantly. Wi-Fi is easy to implement in workplaces and educational environments, allowing users to access the internet anytime and anywhere. Wi-Fi technology has become an essential part of modern communication infrastructure for both individual and enterprise users. With the increasing number of devices and growing data demands, optimizing Wi-Fi networks for performance and reliability has become necessary, especially in enterprise environments. This study focuses on analyzing and improving the performance of an enterprise wireless network using advanced tools to identify problems and implement effective solutions. The research aims to comprehensively analyze Wi-Fi networks in terms of performance parameters, suggest optimization strategies, and contribute to academic and technical literature by providing real-world solutions.

The main purpose of this research is to evaluate and improve the performance of an enterprise Wi-Fi network using Ekahau AI Pro software and Ekahau Sidekick devices. The study examines critical performance metrics such as signal strength, signal-to-noise ratio (SNR), data transfer rates, throughput and channel overlap. These metrics form the basis for identifying shortcomings and developing strategies to increase network efficiency and reliability. The research also highlights the importance of filling existing knowledge gaps and informing similar initiatives in other environments by implementing practical, real-world solutions.

The measurements were first carried out in an office environment using the automatic planner feature of Ekahau AI Pro software, followed by field measurements using Ekahau AI Pro software installed on an iPad and the Ekahau Sidekick device. The Ekahau AI Automatic Planner feature was used to provide quick and effective simulation of wireless network design. This study was conducted in a corporate facility consisting of three main buildings named A, B, and C. Performance tests were carried out using Ekahau AI Pro software and the Ekahau Sidekick device. Various performance metrics such as signal strength, signal-to-noise ratio (SNR), data rate, throughput and channel overlap were examined to evaluate network effectiveness and identify areas needing improvement. The wireless network analysis assessment was conducted according to Ekahau best practices. The values determined within this assessment reflect the coverage requirements necessary for optimal network performance. Signal strength was set at a minimum of -67 dBm in both 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands. Secondary signal strength should be at least -67 dBm in the 2.4 GHz and 5 GHz bands. The signal-to-noise ratio (SNR) should be 20 dB for 2.4 GHz and 25 dB or higher for 5 GHz. Data rate should be at least 24 Mbps in both frequency bands. Additionally, channel overlap at minimum signal strength should be -85 dBm from 2 access points in the 2.4 GHz band and -85 dBm from 1 access point

in the 5 GHz band. These parameters were determined according to Ekahau best practice standards to ensure efficient and reliable operation of the wireless network.

Initial findings revealed significant shortcomings in network design and performance. Specifically, signal strength measurements in some areas reached values as low as -85 dBm, leading to connection interruptions and reduced coverage area. In contrast, areas with signal strength above -67 dBm provided stable and reliable connections. However, performance was negatively affected due to errors in access point (AP) placement.

In secondary signal strength assessments, areas where signal strength was above -67 dBm in the 2.4 GHz and 5 GHz bands showed that mobile clients could seamlessly transition between APs, ensuring network redundancy. However, roaming support was inadequate in areas below -67 dBm, negatively affecting network stability. Secondary signal strength in the 5 GHz band can cause connection interruptions during roaming operations, especially in these regions. This made it difficult for mobile devices to maintain continuous and reliable network connections.

For successful data transmission, signal strength needs to be higher than environmental noise. In signal-to-noise ratio (SNR) assessments, areas where measured SNR levels were 30 dB and above in both 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands provided ideal connections with fast and stable data transmission. However, significant drops in network performance were observed in areas where SNR levels fell below 10 dB. In particular, values between 0-10 dB led to connection interruptions and serious slowdowns in data transmission. This finding shows how critical it is to maintain balance between environmental noise and signal strength, and indicates the need for improvements in areas with low SNR levels.

Looking at data rate results, the data rates achieved in 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands provide important information about network performance. In the 2.4 GHz band, data rates showed a performance range varying between 1 Mbps and 300 Mbps. In the 5 GHz band, this range varied between 1 Mbps and 585 Mbps. Network performance was observed to work more efficiently in areas where high data rates were achieved. However, areas measured with low data rates experienced a noticeable decrease in network performance. This indicates the need for layout adjustments and improvements to increase network capacity and provide more stable data transmission.

Network capacity (Throughput) analyses reflect an important parameter that determines the data transmission speed and efficiency across communication channels in both 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands. This parameter is a critical measure that directly affects user experience. While network capacity values in the 2.4 GHz frequency band varied between 1 Mbps and 240 Mbps, these values ranged from 1 Mbps to 420 Mbps in the 5 GHz band. Areas with high network capacity showed more stable and efficient network operation. However, regions with low network capacity experienced slower data transmission and significant drops in connection quality. These findings indicate the need to increase network capacity and improve performance.

Channel overlap is a condition that leads to network performance degradation when multiple access points using the same frequency channel interfere with each other. During analysis, it was found that the number of access points broadcasting on the same channel reached up to 6 in some areas. This situation causes channel overlap, especially in high-interference areas, and can negatively affect network performance. Channel overlap reduces data transmission speed, decreases connection stability, and

causes network delays. It was determined that adjustments in channel placement and management were necessary to prevent such problems.

Various improvements were implemented based on the performance issues detected in the wireless network. As part of signal strength improvements, new access points were added and existing access point locations were reorganized to solve low signal strength and efficiency problems. Additionally, access point output powers were optimized to improve signal distribution. To address roaming issues, access point positions and directions were reconfigured, and secondary signal strength levels were increased. These signal strength improvements not only solved low signal strength problems but also improved low SNR (Signal-to-Noise Ratio) values, increasing network performance. As a result, these improvements reduced connection interruptions and provided more stable, uninterrupted roaming performance.

To reduce channel overlaps and improve network performance, access points' frequency and channel configurations were optimized. In the 2.4 GHz band, 2.4 GHz transmission was disabled in areas experiencing overlap due to limited channel structure. In the 5 GHz band, channel width was limited to 20 MHz, and static channel assignments were made to each access point independently to prevent overlaps. These improvements largely eliminated channel overlaps, contributing to more stable and high-performance network connections. Each floor in the facility was upgraded to serve an average capacity of 200 end users. The findings of this study show that correct AP placement and channel configuration directly affect network performance. Improvements aimed at enhancing weak signal areas and reducing interference increased network stability and ensured continuous connectivity. From a security perspective, a stable network design contributes to creating secure communication environments by reducing risks such as unauthorized access and data loss. In future studies, the advantages of Wi-Fi 7 technology's 320 MHz wide channel structure and 6 GHz band in high-density environments could be investigated. Additionally, AI-supported network management systems in areas such as channel optimization and dynamic resource allocation could be examined.



1. GİRİŞ

Bu çalışma, kurumsal bir şirkette, gerçek bir senaryoda, kablosuz bir ağın performansını incelemeyi, analiz etmeyi ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Testler yoluyla, hizmet kalitesini (QoS) ve kullanıcı deneyimini anlamayı amaçlayarak kablosuz ağ performansını iyileştirmeyi hedeflemektedir. Bu amaçlara ulaşmak için, bir spektrum analiz aracı ve sonuçların analizine yardımcı olan bir yazılım kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler, ağın güçlü ve zayıf yönlerini belirlemeyi ve kullanıcıların kaynak kullanımındaki davranışını etkileyen temel nedenleri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, kablosuz ağ performansını analiz etmek için, gelişmiş bir ağ analiz yazılımı ve sensör seti içeren profesyonel bir çözüm tercih edilmiştir. Ekahau AI Pro 2.0 sürümü kullanılarak yapılan testler, ağın çeşitli bölümlerinde performans ölçümleri ve analizlerin gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Bu yazılım, ağın performansını etkileyen pek çok faktörü inceleme kapasitesine sahip olup, spektrum analizi, sinyal gücü ölçümleri, veri transfer hızları ve ağ kapsama alanları gibi parametreleri detaylı bir şekilde değerlendirmektedir.

Bu analiz süreci, ağın genel sağlık durumunu ve performansını anlamak için çeşitli metrikler kullanılarak yürütülmüştür. Özellikle, ağın kapasite yönetimi, bant genişliği kullanımı, sinyal kalitesi ve kanal çakışması durumları gibi kriterler, kullanıcı deneyimi üzerinde doğrudan etkili faktörler olarak ele alınmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma kurumsal bir şirkette kablosuz ağ performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirerek, testlerden elde edilen veriler ışığında ağın performansını artırmak ve kullanıcı deneyimini iyileştirmek için gerekli iyileştirme adımlarını belirlemekte ve uygulamaktadır. Bu analizler, hem teorik hem de pratik olarak kablosuz ağların iyileştirilmesine yönelik değerli bilgiler sunmakta ve ilgili alandaki literatüre katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Ekahau ekipman ve yazılımı kullanarak gerçekleştirilen testlerle, kurumsal bir tesisteki kablosuz ağın performansını teknik olarak incelemek, değerlendirmek ve analiz edilen sonuçlar doğrultusunda ağın performansını iyileştirecek gerekli adımları belirleyip uygulamaktır. Ayrıca, yapılan analizler ve elde

edilen bulgular, kablosuz ağların performans analizi konusunda mevcut literatüre katkı sağlamakta ve bu alandaki bilgi birikimini artırmaktadır. Çalışmada, IEEE 802.11 standartlarının temel özellikleri göz önünde bulundurularak, kablosuz ağın kapsama alanının doğru bir şekilde belirlenmesi ve ağ gereksinimlerinin tespit edilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Bu süreç, ağın verimli çalışabilmesi için gerekli olan teknik altyapı ve kapasite yönetimi gereksinimlerini net bir şekilde tanımlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, yapılan testlerin analizleri aracılığıyla, kablosuz ağın belirli davranışlarını açıklamak ve elde edilen sonuçları IEEE 802.11 standardı ile kullanılan çözümün kavramlarına dayandırmak hedeflenmektedir. Bu şekilde, gerçek bir ağın davranışı, teknik gerekçelerle desteklenen sonuçlarla ortaya konulacak ve bu bulgular, ilgili literatürdeki eksiklikleri gidermeye yönelik katkı sağlayacaktır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışma, Ekahau AI Pro yazılımı ve Ekahau Sidekick cihazı kullanılarak kablosuz ağ performansının analiz edilmesini, test edilmesini ve iyileştirilmesine yönelik detaylı çözüm önerileri sunmaktadır. Literatürde, kablosuz ağların performans analizi ve iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarda genellikle daha genel düzeyde çalışmalar benimsenmişken, bu tez, gerçek bir seneryoda daha detaylı bir analiz ve iyileştirme süreci sunarak bu alandaki eksiklikleri gidermektedir. Ayrıca, bu araçların kullanımıyla elde edilen kapsamlı veriler ve iyileştirme adımlarının literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında daha derinlemesine bir inceleme sunduğu görülmektedir.

2.1. Kurumsal Kablosuz Ağlar

Bilgi ve iletişim teknolojisinin hızlı gelişimi ile birlikte, özellikle kablosuz ağ (Wi-Fi) teknolojisine olan talep hızla artmıştır (Yavanoğlu et al., 2015). Wi-Fi, iş yerleri ve eğitim ortamları gibi alanlarda uygulanması kolay olup, kullanıcılara herhangi bir zamanda ve herhangi bir yerde internet erişimi özgürlüğü sağlar. Bu teknoloji, radyo dalgaları aracılığıyla veri iletişimi sağlarken, genellikle lisans gerektirmeyen 2.4 GHz ve 5 GHz radyo frekans bantlarında çalışır (Soy et al., 2013). Bu bantlar, radyo istasyonu lisansı almadan kullanılabilen lisanssız radyo hizmetleri için ayrılmıştır.

Wi-Fi, IEEE 802.11 standardına dayanmakta olup, veri aktarımını kablosuz olarak sağlar (Pahlavan & Krishnamurthy, 2021). Başlangıçta sadece tabletler, dizüstü bilgisayarlar ve akıllı telefonlarda kullanılan Wi-Fi modülleri, günümüzde fotoğraf makineleri, yazıcılar, 3D baskı makineleri ve çok amaçlı pişiriciler gibi birçok elektronik cihazda da bulunmaktadır. Kablosuz ağ bağlantısı kurmak için erişim noktaları kullanılır. Bu cihazlar, kablosuz ağ sinyalleri yayarak kullanıcılara uzaktan erişim imkanı sunar (Nazir et al., 2022).

Kurumsal kablosuz ağ sistemleri ise genellikle bir erişim noktası denetleyicisi (Wireless LAN Controller - WLC) aracılığıyla yönetilir. Farklı kablosuz ağ altyapıları, sistemler, hizmetler ve servisler bu kontrolcü tarafından dağıtılır ve erişim noktaları

aracılığıyla kullanıcılara ulaştırılmaktadır (Yılmaz & Aslan, 2024). Bu yapı, geniş ölçekli ağlarda kablosuz bağlantının etkili ve güvenli bir şekilde yönetilmesini sağlar.

2.2. Wi-Fi Standartları

Wi-Fi, bir cihazdan diğerine veri iletimi ve alımı için modern bir standarttır. Bu cihazların radyo modülleri ile donatılmış olması gerekmektedir. Wi-Fi standartları Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) tarafından tanımlanır (Makki et al., 2015). Standartlar, frekans bantları, veri aktarım hızları ve diğer özellikler açısından farklılık gösterir (*IEEE SA - The Evolution of Wi-Fi Technology and Standards*, 2023). Wi-Fi sürümleri ve teknik özellikleri Tablo 2.1’de sunulmuştur.

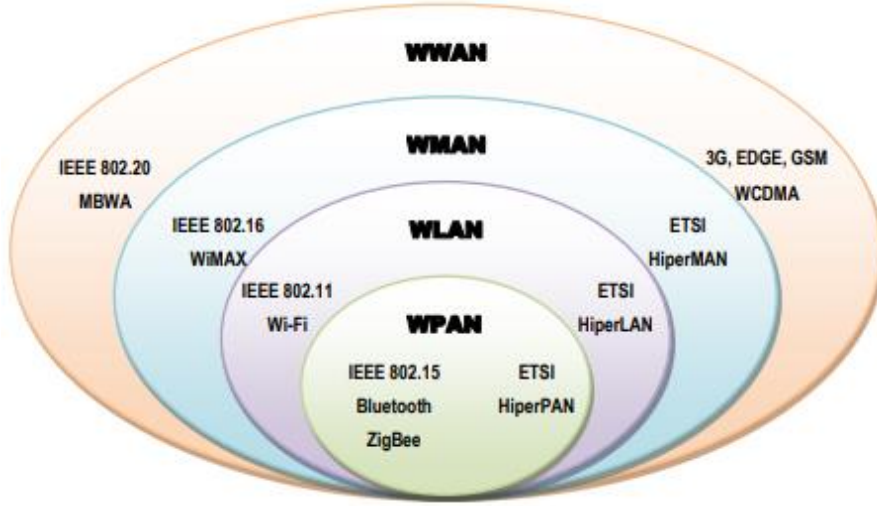


Tablo 2.1. Wi-Fi sürümleri ve teknik özellikleri.

Wi-Fi Sürümü	IEEE Standardı	Frekans Bandı	Veri Hızı	Modülasyon Tekniği	Yıl	Diğer Özellikler
Wi-Fi 0	IEEE 802.11	2.4 GHz	2 Mbit/s	FHSS, DSSS	1997	İlk Wi-Fi standardı, dünya çapında en çok kullanılan kablosuz ağ protokolü.
Wi-Fi 1	IEEE 802.11b	2.4 GHz	11 Mbit/s	DSSS, CCK	1999	Mikrodalga fırınlar, kablosuz telefonlar gibi cihazlardan gelen parazitleri azaltmak için geliştirilmiştir.
Wi-Fi 2	IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbit/s	OFDM	1999	5 GHz bandında çalışarak daha yüksek veri hızlarını destekleyen ilk Wi-Fi standardı.
Wi-Fi 3	IEEE 802.11g	2.4 GHz	54 Mbit/s	OFDM	2003	2.4 GHz bandında daha hızlı veri iletimi sağlayan, daha uygun fiyatlı cihazlar için popüler hale gelmiştir.
Wi-Fi 4	IEEE 802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	600 Mbit/s	OFDM, MIMO	2009	Hem 2.4 GHz hem de 5 GHz frekanslarını destekler, kablosuz ağların kablolu ağların yerini almasına olanak sağlamıştır.
Wi-Fi 5	IEEE 802.11ac	5 GHz	3.5 Gbit/s	OFDM, MIMO	2013	MIMO teknolojisi sayesinde birden fazla anten kullanarak hız ve doğruluğu artırmıştır.
Wi-Fi 6	IEEE 802.11ax	2.4 GHz, 5 GHz	9.6 Gbit/s	OFDMA, MU-MIMO, TWT	2021	Yoğun ağlarda daha yüksek verimlilik sağlar, aynı anda birden fazla cihaza veri gönderebilir. Özellikle yoğun ortamlarda performansı artırır.
Wi-Fi 7	IEEE P802.11be	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	~40 Gbit/s	OFDMA, MU-MIMO, 320 MHz kanallar	2024	Daha yüksek hızlar, düşük gecikme süresi, daha fazla cihaz desteği, ve yoğun Wi-Fi alanlarında performans iyileştirmeleri sağlar.

2.3. Kablosuz Alan Ağları

Kablosuz ağ sınıfları, farklı kullanım senaryolarına ve mesafe gereksinimlerine göre çeşitlilik gösteren, belirli özellikler ve kapasiteler sunan ağ türleridir; bu sınıflar, kişisel alan ağlarından (WPAN) geniş alan ağlarına (WWAN) kadar uzanan çeşitli ölçeklerde kablosuz iletişim çözümleri sunmaktadır. Şekil 2.1 kablosuz alan ağlarını açıklamaktadır (Aytuğ, 2012).



Şekil 2.1. Kablosuz alan ağları.

2.3.1. Kablosuz kişisel alan ağları

Ev ya da küçük iş ortamlarında, birden fazla bilgisayar ve çevre cihazlarından oluşan ağlara Kişisel Alan Ağı (PAN) denir. Kablosuz Kişisel Alan Ağları (Wireless Personal Area Networks), IEEE 802.15 standardına dayanmaktadır (Mubashar et al., 2021). Bu ağlar, yaklaşık 10 metre gibi çok kısa bir menzilde iletişim sağlamaktadır (Sharma & Dhir, 2014).

Kişisel alan ağları, düşük enerji talepleri ve düşük maliyet ile öne çıkmaktadır. Bu tür ağlar, Bluetooth, IrDA, ZigBee veya UWB gibi teknolojilere dayanmaktadır (Koripi, 2021). Uygulama açısından bakıldığında, Bluetooth kablosuz fare, klavye ve kablosuz kulaklıklar için tasarlanmıştır. IrDA, iki cihaz arasında basit veri transferi ve dosya senkronizasyonu için noktadan noktaya bağlantıları sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. ZigBee, kablosuz izleme ve kontrol ağları için geliştirilmiş olup, UWB (Ultra-Wideband) ise yüksek bant genişliğine sahip multimedya bağlantıları için geliştirilmiştir.

2.3.2. Kablosuz yerel alan ağları

Kablosuz Yerel Alan Ağları(WLAN), bir bina, kampüs ya da belirli bir coğrafi alan gibi sınırlı bölgelerde bilgisayarlar ve diğer ağ cihazları arasında kablosuz veri iletimi sağlayan ağlardır. WLAN'lar, geleneksel kablolu ağlarda kullanılan radyo frekansları (RF) veya kızılötesi teknolojilerini kullanarak, kullanıcıların sabit bağlantı noktalarına bağlı kalmadan internet ve ağ kaynaklarına erişim sağlamasına olanak tanımaktadır. Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN), iki veya daha fazla cihazı kablosuz bir iletişim yöntemi kullanarak birbirine bağlar. WLAN, genellikle daha geniş bir internete erişim

sağlamak için bir erişim noktası (AP) aracılığıyla bağlantı sunar (Al Shourbaji, 2013). IEEE 802.11x standartları ile tanımlanan bu ağlar, özellikle hareket özgürlüğü gerektiren ofis, okul, park gibi ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. WLAN'lar, hem altyapı modunda (access point üzerinden) hem de ad-hoc modda (cihazlar arasında doğrudan bağlantı) çalışabilir, bu da esnek ve ölçeklenebilir bir ağ yapısı sunar (Gundall et al., 2021).

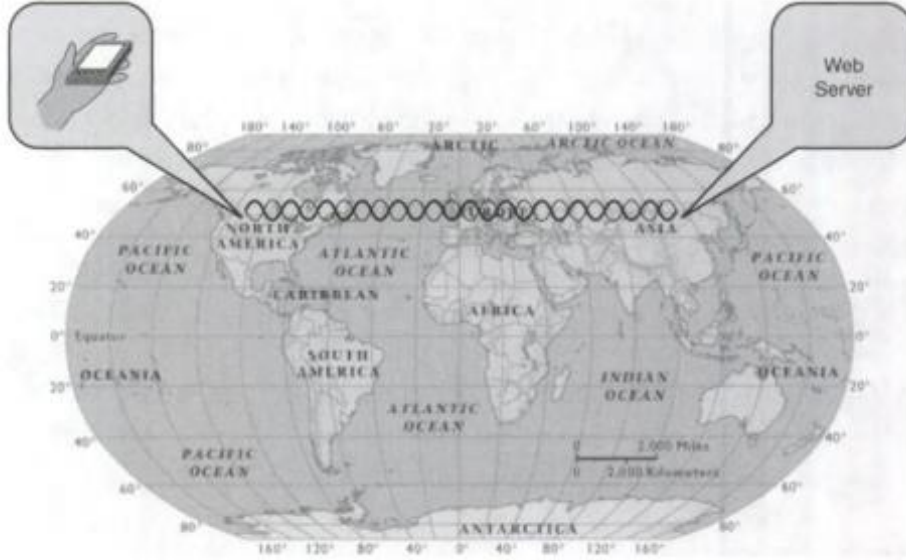
2.3.3. Kablosuz metropoliten alan ağları

Kablosuz Metropol Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN), geniş bir şehir alanını kapsayan ya da uzak mesafelerdeki yerel ağların birbirine bağlanmasını sağlayan iletişim sistemleridir. Geleneksel Metropol Alan Ağları (MAN) genellikle kiralık hatlar ya da telefon hatları üzerinden veri aktarımını sağlarken, WMAN'lar bu iletişimi kablosuz teknolojilerle gerçekleştirir. Uydu, radyo frekansı (RF) ya da WiMAX gibi kablosuz teknolojiler, yüksek maliyetli fiber ve bakır kablolarla alternatif sunarak daha esnek ve uygun maliyetli çözümler sağlar. WiMAX, IEEE 802.16 protokolü üzerinde çalışan ve sabit istasyonlar için yaklaşık 50 km, mobil istasyonlar için yaklaşık 15 km çapında bir alanda etkili olan, 75 Mbps'ye kadar kablosuz internet erişimi sağlayan bir teknolojidir (Ghosh et al., 2013). WMAN, IEEE 802.16 standardını kullanarak yüksek veri hızı desteği, yerleşik QoS yetenekleri ve çok daha geniş kapsama alanı nedeniyle büyük ilgi görmüştür (Ali-Yahiya et al., 2007). WMAN, özellikle geniş coğrafi alana yayılan kurumlar, şubeleri bulunan büyük şirketler ve kampüs yapısına sahip üniversiteler gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. IEEE 802.16 standardı ise bu tür kablosuz ağlar için geliştirilmiş olup, WMAN teknolojisinin güvenilir ve yüksek bant genişliğinde iletişim sunmasını hedefler.

2.3.4. Kablosuz geniş alan ağları

Kablosuz Geniş Alan Ağları (Wireless Wide Area Networks, WWAN), geniş coğrafi alanlar arasında, yüzlerce hatta binlerce kilometre mesafede veri iletimi sağlayan ağlardır. Bu ağlar, genellikle bir ülke ya da kıtalararası veri iletişimini sağlamak amacıyla kullanılır ve uydu, telsiz iletişimi ya da hücresel ağlar gibi kablosuz teknolojilere dayanır. WWAN'lar, neredeyse dünya çapında kapsama alanına sahip olup, birden fazla telekomünikasyon şirketinin iş birliği sayesinde kesintisiz mobil veri iletişimini sağlamaktadır (Geier, 2005). WWAN'lar, GSM, GPRS, CDMA, 3G, 4G (LTE) ve 5G gibi hücresel teknolojiler ile yaygın olarak kullanılır. Bu ağlar, uzak

mesafedeki kullanıcıların kablosuz olarak veri iletimi yapmasına ve iletişim kurmasına olanak tanır. Şekil 2.2, kablosuz geniş alan ağlarının (WWAN) kıtalararası veri iletimini göstermektedir (Geier, 2005).



Şekil 2.2. Kablosuz geniş alan ağı ile kıtalararası veri iletimi.

WWAN'lar, genellikle üçüncü şahıs servis sağlayıcılar tarafından yönetilen altyapılara dayanır, bu da ağ yöneticilerinin doğrudan kontrolü dışında kalmalarına neden olur. Ancak, bu durum geniş coğrafi alanlarda kesintisiz ve yüksek kapasiteli iletişim olanağı sunan bir avantaj sağlar. Özellikle, uzak yerleşim birimlerine, kırsal bölgelere veya geniş coğrafi alanlara hizmet sağlayan bu ağlar, internet erişimi, veri iletimi ve ses iletişimi için yaygın olarak kullanılmaktadır.

WWAN teknolojilerinin önemli bir özelliği, kablolu altyapıya olan bağımlılığı ortadan kaldırarak uydu veya hücresel iletişim sistemleri üzerinden geniş kapsama alanı sunmasıdır. Bu da WWAN'ları, yerel erişimin zor olduğu ya da kablo altyapısının maliyetli ve karmaşık olduğu alanlarda ideal bir çözüm haline getirmektedir. WWAN'lar, genellikle geniş çaplı kurumsal ağlarda, cep telefonu operatörlerinde ve uzak yerleşim alanlarında kullanılan bir yapı olup, veri iletişimde yüksek hız ve güvenilirlik sağlamaktadır. Tablo 2.2'de kablosuz ağ türleri ve özellikleri sınıflandırılarak sunulmuştur.

Tablo 2.2. Kablosuz ağ türleri ve özellikleri.

Tür	Kapsama Alanı	Performans	Standartlar	Uygulamalar
WPAN	Bir kişinin erişim mesafesinde	Orta	Bluetooth, IEEE 802.15 ve IrDa	Kablosuz çevre birimleri
WLAN	Bir bina veya kampüs içinde	Yüksek	IEEE 802.11, Wi-Fi ve HiperLAN	Kablosuz internet ve yerel ağ bağlantısı
WMAN	Bir şehir içinde	Yüksek	Özel, IEEE 802.16 ve WiMAX	Ev ve iş yerleri arasında geniş bant bağlantısı
WWAN	Dünya çapında	Düşük	CDPD ,Hücresel 2G, 2.5G, 3G, 4G, 5G	Mobil internet ve geniş kapsama alanı

2.4. Ağ Cihazları

Günümüzde işletmeler, kuruluşlar ve bireyler, hızlı ve güvenilir ağ altyapılarına büyük ihtiyaç duymaktadır. Bu noktada, ağlarımızın sorunsuz çalışmasını sağlayan ve iletişimimizi mümkün kılan temel unsurlardan biri olan ağ cihazları devreye girmektedir. Kurumsal ağlarda kullanılacak cihazlar, hedeflenen amaca uygun olarak seçilir ve bu cihazların özellikleri de belirlenen hedef doğrultusunda özelleştirilebilir. Ağ yapılarını oluşturmak için birçok farklı ağ cihazı kullanılmaktadır. Kurumsal ağlarda genel olarak kullanılan cihazlar aşağıda verilmiştir.

2.4.1. Dağıtıcı

Dağıtıcı (HUB), bilgisayar ağlarında kullanılan temel bir ağ cihazıdır. Bir cihaza gelen veri paketleri, dağıtıcıya bağlı olan diğer cihazlara paylaştırılmaktadır (Gümüş, 2020). Bu yönüyle hub, ağdaki tüm cihazların aynı veri iletim hattını paylaşmasını sağlar. Bu durum ağda birçok cihaz aktif olduğunda veri çakışmalarına ve genel ağ performansının düşmesine neden olabilir.

Dağıtıcılar, genellikle küçük ofis ağları veya ev ağları gibi basit yapıların kurulumunda kullanılmaktadır. Eğitim amaçlı uygulamalarda da, ağ topolojilerinin anlaşılmasına yardımcı olmak için etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir.

2.4.2. Anahtarlama cihazı

Anahtarlama cihazı (switch), bilgisayar ağlarında veri paketlerini yönlendirmek ve iletmek için kullanılan temel ağ bileşenlerinden biridir. Switch, yalnızca hedef cihazlara veri iletme yeteneğine sahip olması nedeniyle, hub'lara göre daha verimli ve

güvenlidir. Anahtarlama cihazı, portlarına gelen veriyi gönderen cihazın MAC adresini ve bu cihaza bağlı port bilgilerini kendi adres tablosuna kaydeder. Bu tabloya bakılarak hedef MAC adresi bulunmaya çalışılır. Eğer hedef MAC adresi adres tablosunda yoksa, veri paketi gönderen cihaz dışındaki tüm bağlı cihazlara iletilir. Hedef MAC adresi tablodaki kayıtlarda yer alıyorsa, veri yalnızca bu adrese sahip olan cihaza yönlendirilir. Anahtarlama cihazları, iki ana türde sınıflandırılabilir; Yönetilemez switch ve Yönetilebilir switch. Yönetilemez switch, kullanıcı tarafından yapılandırmaya ihtiyaç duymayan, basit bir anahtarlama cihazıdır ve genellikle küçük ofislerde veya ev ağlarında tercih edilir. Yönetilebilir switch ise kullanıcıların cihazın işlevlerini ve yapılandırmalarını kontrol etmelerine olanak tanır. Bu tür switch'lerde ağ yöneticileri, CLI (Command Line Interface) aracılığıyla konfigürasyon işlemleri yaparak ağın performansını optimize edebilir ve güvenlik ayarlarını yönetebilir.

2.4.3. Güvenlik duvarı

Güvenlik duvarları (firewall), kurum ağı ile dış ağlar arasında bir geçit işlevi görerek, internet bağlantısı sırasında kurumun karşılaşılabileceği güvenlik sorunlarını önlemeye yönelik çözümler sunar (Karaarslan et al., 2003). Güvenlik duvarları, ağ trafiğini belirli kurallara göre analiz eder ve zararlı olabilecek verileri engelleyerek sistemin güvenliğini artırır. Güvenlik duvarları, ağ trafiğinin yönetilmesi ve izlenmesi sürecinde NAT, dinamik filtreleme, içerik filtreleme, paket filtreleme, trafik kayıtlarını loglama ve raporlama gibi yeteneklere sahip olabilmektedir.

2.4.4. Erişim noktası

Erişim Noktası (Access Point; AP), kablosuz ağ cihazlarının kablolu bir yerel ağa (LAN) bağlanmasını sağlayan bir donanım cihazıdır. AP'ler, genellikle kablosuz sinyalleri yayımlayarak dizüstü bilgisayarlar, akıllı telefonlar, tabletler ve diğer kablosuz cihazların bir ağa kablosuz olarak katılmasına olanak tanır. Bir AP, kablosuz sinyalleri kullanarak birden fazla uç cihazın internete veya yerel ağ kaynaklarına bağlanmasını sağlar. Ağın kapsama alanını genişletmek amacıyla kullanılması yönüyle kurumsal ağlarda en çok kullanılan ağ cihazlarından biridir. Ayrıca, AP'ler güvenlik önlemleriyle donatılarak yalnızca yetkili cihazların ağa erişimini sağlar.

2.4.5. Erişim noktası denetleyici

Erişim Noktası Denetleyici (Access Point Controller), kablosuz ağın merkezi yönetimi ve denetimi için kullanılan bir ağ cihazıdır. Genellikle büyük ölçekli kablosuz ağlarda

ve birden fazla erişim noktası (Access Point) bulunan ortamlarda tercih edilir. Erişim noktası denetleyicileri kurumsal ağlarda merkezi yönetim sağlamasıyla erişim noktası cihazlarının toplu bir şekilde yazılım güncellemelerini yapar, SSID ve VLAN yönetimini sağlar ve kablosuz ağ güvenlik protokollerinin belirlmesi gibi birçok kolaylık sağlar.

2.5. Kablosuz Ağ Performansını Etkileyen Faktörler

Bu bölümün genel amacı, kablosuz ağların performansını nasıl değerlendirebileceğinizi ve iyileştirme yöntemlerini nasıl uygulayabileceğinizi kapsamlı bir şekilde sunmaktır. Burada, kablosuz ağ performansını etkileyen faktörleri, performans ölçüm metotlarını ve literatürdeki önceki çalışmaların bulgularını bir araya getirerek, kablosuz ağların optimizasyonu konusunda derinlemesine bir anlayış sağlanmaktadır.

2.5.1. Engeller ve yapı malzemelerinin etkisi

Kablosuz ağ penetrasyon kaybı, kablosuz iletişimde bir radyo sinyalinin bir ortamdan geçerken gücünün azalmasını ifade etmektedir. Bu kayıp, sinyalin farklı malzemelerden (örneğin, duvarlar, kapılar, cam, metal yüzeyler gibi) geçerken zayıflaması sonucunda oluşmaktadır (Bytyqi et al., 2024). Kablosuz ağ performansı, radyo frekansı sinyallerinin engeller ve yapı malzemeleri tarafından ne kadar zayıflatıldığına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Tablo 2.3'te yaygın olarak karşılaşılan yapı malzemelerinin Wi-Fi sinyallerini ne kadar zayıflatığı dB cinsinden belirtilmiştir (*How to Accurately Measure Wall Attenuation for the Best Wi-Fi Designs*, 2024).

Tablo 2.3. Yapı malzemelerinin wifi sinyallerine etkisi.

Malzeme	Zayıflama (dB)
Alçıpan	3 dB
Kitaplık	2 dB
Dış Cam	3 dB
Ahşap Kapı	6 dB
Mermer	6 dB
Tuğla	10 dB
Beton	12 dB
Asansör Boşluğu	30 dB

Radyo sinyalleri bir engelle karşılaştığında bir kısmı emilir, bir kısmı yansır veya kırılır, bu da sinyalin hedefe daha az güçlü bir şekilde ulaşmasına neden olur. Penetrasyon kaybı, kablosuz ağ performansını önemli ölçüde etkileyebilir ve genellikle iç mekanlarda yaygın olarak karşılaşılan bir sorundur.

Bu kayıplar, kullanılan frekansa, ortamın malzemesine ve sinyalin geçmesi gereken mesafeye bağlı olarak değişir. Yüksek frekanslı sinyaller (5 GHz gibi) genellikle düşük frekanslı sinyallere (2.4 GHz gibi) göre daha fazla penetrasyon kaybına uğrar (Own et al., 2019). Bu nedenle, penetrasyon kaybı Wi-Fi kapsama alanı planlaması ve performans optimizasyonu açısından kritik bir parametredir.

2.5.2. Sinyal gücü

Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI), Wi-Fi ağlarında, kablosuz bir cihazın bir erişim noktasından (AP) veya yönlendiriciden aldığı sinyalin güç seviyesini temsil eden kritik bir ölçümdür. RSSI değeri desibel (dBm) cinsinden ölçülür ve alıcıdaki sinyalin gücünün bir göstergesini sağlar. Bir uç cihaz ağa ne kadar yakınsa, ölçülen RSSI değeri o kadar yüksek olur (Aneke et al., 2019). RSSI değerleri Tablo 2.4'te yer almaktadır.

Tablo 2.4. Sinyal gücü değerleri.

Sinyal Gücü (dBm)	Kategori	Açıklama
-30 dBm	Mükemmel	Ulaşılabilecek en yüksek sinyal seviyesi. Cihaz, sinyal kaynağına çok yakın.
-67 dBm	Çok İyi	Güvenilir uygulama performansı için gereken minimum sinyal seviyesi.
-70 dBm	Kabul Edilebilir	Güvenilir paket iletimi için gereken minimum sinyal seviyesi.
-80 dBm	Zayıf	Paket iletimi için minimum sinyal seviyesi. Düşük performans beklenebilir.
-90 dBm	Yetersiz	Sinyal seviyesi, Wi-Fi bağlantısı için kullanılamaz.

RSSI Değerlerini İyileştirmek İçin;

- Duvarlar, kapılar ve diğer fiziksel engellerin sinyal gücünü zayıflattığı bilinmektedir. Bu engellerin azaltılması veya erişim noktası ve cihazın bu engellerden en az etkilenecek şekilde konumlandırılması, sinyal gücünde belirgin bir iyileşme sağlamaktadır.
- Yeni nesil erişim noktalarının ve istemci cihazların, gelişmiş radyo modülleriyle donatılmış olmaları nedeniyle daha güçlü sinyal alımı sağladığı gözlemlenmektedir.
- Kablosuz ağ ayarlarının iyileştirilmesi kanal seçimi ve frekans bandı ayarlarını yapılması sinyal gücünü önemli ölçüde arttırmaktadır.

2.5.3. Sinyal gürültü oranı

Sinyal-Gürültü Oranı (SNR), bir veri sinyalinin arka plandaki gürültü seviyesine göre gücünü ölçen bir parametredir. Bu oran, sinyal kalitesinin değerlendirilmesinde kritik bir öneme sahiptir ve SNR hesaplama yöntemi denklem 2.1’de gösterilmektedir.

$$SNR(dB) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) \quad (2.1)$$

Burada:

- P_{Signal} : Sinyal gücü (Watt cinsinden)
- P_{noise} : Gürültü gücü (Watt cinsinden)

SNR, dBm yerine dB cinsinden ölçülür. Ölçümlerin zaten desibel (dB) biriminde olduğu durumlarda, sinyal gücü ile gürültü gücü arasındaki fark bize doğrudan sinyal-gürültü oranını (SNR) verir. Denklem 2.2’de gösterilmektedir.

$$SNR = S - N \quad (2.2)$$

Burada:

- S : Sinyal seviyesi (dB cinsinden)
- N : Gürültü seviyesi (dB cinsinden)

Bir istemci, erişim noktasının yanında mükemmel bir sinyal alabilir, ancak diğer kablosuz ağlardan veya radyo frekansı cihazlarından gelen güçlü sinyaller bağlantının sürdürülebilmesini engelleyebilir. Bu sinyaller, istemci tarafından gürültü olarak algılanır (Kaljahi, 2021). Ek olarak, çok sayıda AP ve 802.11 dışı cihazlar (mikrodalga fırınlar, radarlar, ses/görüntü cihazları, Bluetooth cihazları vb.) tarafından parazit/gürültü oluşabilir. SNR seviyeleri ve sinyal kalitesi ilişkisi Tablo 2.5'te yer almaktadır (*EkaHau Site Survey & Heatmap Visualizations*, 2016).

Tablo 2.5. SNR seviyeleri ve sinyal kalitesi ilişkisi.

SNR Seviyesi	Açıklama
> 40 dB	Mükemmel kalite
25-40 dB	Çok iyi kalite
15-25 dB	İyi kalite
10-15 dB	Orta kalite
0-10 dB	Düşük veya hiç sinyal yok

SNR'nin sinyal kalitesi üzerindeki etkisi, aynı zamanda bir kanalın maksimum veri iletim kapasitesini belirleyen Shannon Kanal Kapasitesi ile de doğrudan ilişkilidir.

Shannon Kanal Kapasitesi Teoremi, SNR'nin veri iletim kapasitesi üzerindeki etkisini matematiksel olarak ifade etmektedir. Denklem 2.3'te sunulmaktadır.

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR) \quad (2.3)$$

Burada:

- C : Kanal kapasitesi (bit/saniye)
- B : Kanal bant genişliği (Hz)
- SNR : Sinyal-Gürültü Oranı

Bu denklem, bir kanalın daha yüksek bir SNR ile daha fazla veri iletebileceğini gösterir. Shannon'un bu teorisi, iletişim sistemlerinde performans optimizasyonu için temel bir referans noktası oluşturur. Özellikle kablosuz ağlarda, SNR'nin artırılması, veri hızının ve ağ performansının iyileştirilmesi anlamına gelmektedir.

2.5.4. Kanal çakışması

Kablosuz iletişimde kanal çakışması, kablosuz ağ performansını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Özellikle kurumsal kablosuz ağlarda sıkça karşılaşılan bu durum, iki başlık altında incelenmektedir.

2.5.4.1. Eş kanal çakışması

Eş Kanal Çakışması (Co-Channel Interference - CCI), aynı kanalda yapılandırılmış iki veya daha fazla Erişim Noktası (AP), frekans bandından (2.4GHz / 5GHz) bağımsız olarak, fiziksel olarak birbirine yakın konumlandırıldığında meydana gelir. Bu durum, sinyallerin birbiriyle çakışmasına ve parazite neden olur (Rabbany et al., 2021). 802.11 standardı, "Taşıyıcı Algılamalı Çoklu Erişim" (Carrier Sense Multiple Access - CSMA) tekniğine dayanmaktadır (Kang et al., 2013). Bu teknik, bir cihazın veriyi yalnızca kanalın boş olması durumunda iletmesini zorunlu kılar.

2.5.4.2. Komşu kanal çakışması

Komşu Kanal Çakışması (Adjacent Channel Interference - ACI), bir birine yakın frekans kanallarında bulunan vericilerin sinyallerinin "sızarak" başka bir kanalda parazite neden olduğu bir parazit türüdür (Zubow & Sombrutzki, 2012). Bir kablosuz ağ projesinde 2.4 GHz bandını kullandığımızda, Channel Interference neredeyse kaçınılmazdır çünkü yalnızca üç tane (Kanal 1, 6 ve 11) çakışmayan kanal bulunmaktadır (Dolinska et al., 2017). Bu kanallar 20 ile 22MHz arasında bant genişliğinde çalışır ve bu şekilde seçilmesi, herhangi bir kanalın üst üste binmesini

Ekahau, belirli bir WLAN üreticisine bağılı olmayan bir üründür ve piyasadaki birçok üretici ile erişim noktalarını desteklemektedir. 3D simülasyonlarda gerçek cihazların anten zayıflama değerlerini dikkate alması, doğru ve güvenilir analizler yapılmasını sağlamaktadır (Oksman, 2023). Yazılımın diğeri bir avantajı kendi spektrum analizi cihazında bulunması. Ekahau Sidekick, geleneksel manuel saha araştırmalarının getirdiğı zaman kaybını ve hata payını minimize eden profesyonel bir Wi-Fi saha araştırma ve spektrum analiz cihazıdır. Diğeri ticari Wi-Fi analiz araçları manuel ölçümler gerektirirken, Sidekick ile büyük ölçekli alanlarda bile kapsamlı analizler daha hızlı ve doğru bir şekilde yapılmaktadır (Pendao & Moreira, 2019).

2.6.2. Airmagnet survey pro

AirMagnet Survey, en iyi performans, güvenlik ve uyumluluk için 802.11n/a/b/g/ac kablosuz LAN'ların haritalanması, planlanması ve tasarlanması için geliştirilen kablosuz saha araştırma yazılımı çözümüdür (Piva Supervisor et al., 2022). Bu kablosuz 802.11ac saha araştırma yazılımı, başarılı bir kablosuz LAN dağıtımı için ideal AP sayısını, yerleşimini ve yapılandırmasını hesaplar.

AirMagnet Survey'in kablosuz alan araştırması yetenekleri, yalnızca RF kapsamını doğrulamakla kalmayıp, aynı zamanda bağlantı hızı, ağ kapasitesi ve paket istatistikleri açısından son kullanıcı ağ performansını da çizer. Sonuç olarak, kritik RF ve son kullanıcı performans ölçümlerinin tamamını gösteren bir Wi-Fi ısı haritası elde edilir. Bu ısı haritasına bakılarak ağda gerekli aksiyonlar alınır.

2.6.3. NetSpot

NetSpot PRO, Wi-Fi ağlarını tarayarak SSID parametresi üzerinden sinyal gücünü izleyip, bulunduğu alandaki erişim noktalarının sayısını ve sinyal gücünü detaylı bir şekilde raporlayan bir yazılımdır (Shen et al., 2018). Ayrıca, NetSpot PRO ile 2.4 GHz, 5 GHz ve 6 GHz bantlarında yayılan kablosuz sinyaller analiz edilebilir. Toplanan bu veriler, kullanıcıların Wi-Fi sinyal gücü, sinyal-gürültü oranı, kanal kullanımı gibi faktörleri değerlendirmesini sağlar. Yazılım, bu bilgileri grafikler, tablolar ve ısı haritalarına dönüştürerek ağ performansını optimize etmek için kolayca anlaşılır bir formatta sunar. NetSpot PRO'nun kullanıcı dostu arayüzü, hem bireysel hem de profesyonel kullanım için uygundur.

2.6.4. Acrylic wifi heatmaps

Acrylic WiFi Heatmaps, Wi-Fi ağ kapsamasını, performansını ve güvenliğini analiz etmemize yarayan bir kablolu ağ analiz çözümüdür. Yerinde yapılan incelemeler sırasında, sinyal seviyesi, erişim noktalarının (AP) konumları gibi veriler toplanır ve spektrum analizi ile ağ performansını etkileyen parazit kaynakları tespit edilmektedir. Yazılım, bu verileri 2D ve 3D haritalar üzerinde görselleştirerek, kör noktalar ve bağlantı sorunlarını kolayca tespit etmeye olanak tanır (*Wi-Fi Site Survey Tool Site Survey*, 2024). Removal of Dead Zones in Wi-Fi Network adlı çalışmada Vishwakarma Teknoloji Enstitüsü (VIT) kampüsündeki Wi-Fi ağındaki kapsam dışı bölgelerin tespiti için Acrylic Wi-Fi Heatmaps analiz aracı kullanılmıştır (Arora et al., 2017). Wi-Fi performans test araçlarının karşılaştırmalı özellikleri Tablo 2.6’da sunulmuştur (*AirMagnet® Survey Pro Wireless Design & Site Survey Analysis Software*, 2023); (*EKahau AI Pro: The Most Trusted Solution for Business-Critical Wi-Fi Design Create Fast and Reliable Networks with Powerful AI Tools and Expert-Level Customization Options*, 2024); (*Plan, Survey, Visualize & Improve WiFi Network with NetSpot*, 2024); (*Wi-Fi Site Survey Tool Site Survey*, 2024).

Tablo 2.6. Wi-Fi performans testi araçları özellikleri ve karşılaştırmaları.

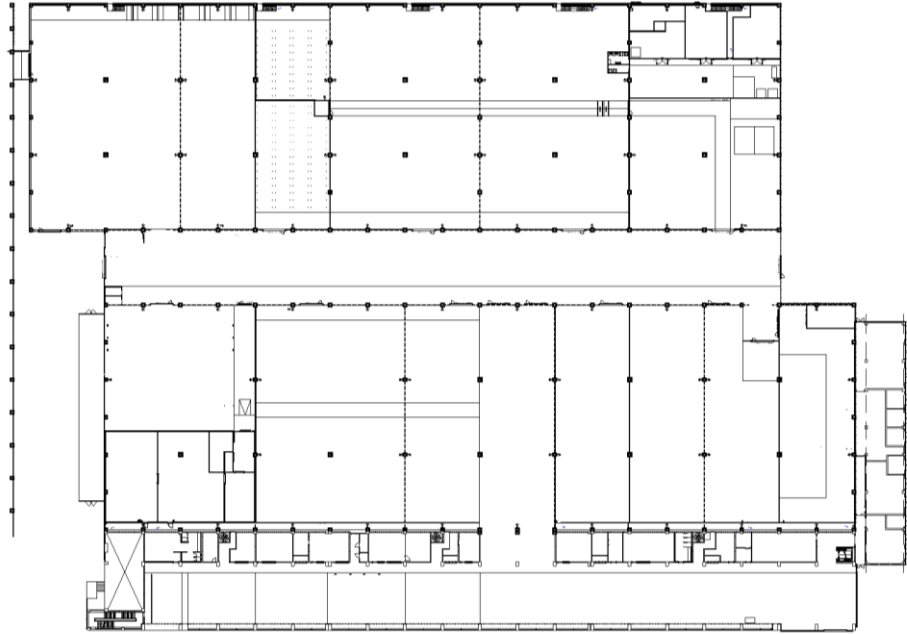
Özellik	Ekahau AI Pro	Acrylic Wi-Fi	AirMagnet Survey Pro	NetSpot Wi-Fi
Isı Haritaları Sayısı	26	14	11	15
Desteklenen Frekanslar	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz
Wi-Fi Standartları	802.11a/b/g/n/ac/ax	802.11a/b/g/n/ac/ax	802.11a/b/g/n/ac/ax	802.11a/b/g/n/ac/ax
Kullanıcı Seviyesi	Profesyonel IT uzmanları	Yeni başlayanlardan profesyonellere kadar	Profesyonel IT uzmanları	Yeni başlayanlardan profesyonellere kadar
Raporlama Formatları	PDF, CSV, DOCX	PDF, CSV, DOCX, KMZ	PDF, CSV, XML	PDF, CSV
Kanal Analizi	VAR	VAR	VAR	VAR

3. YÖNTEM

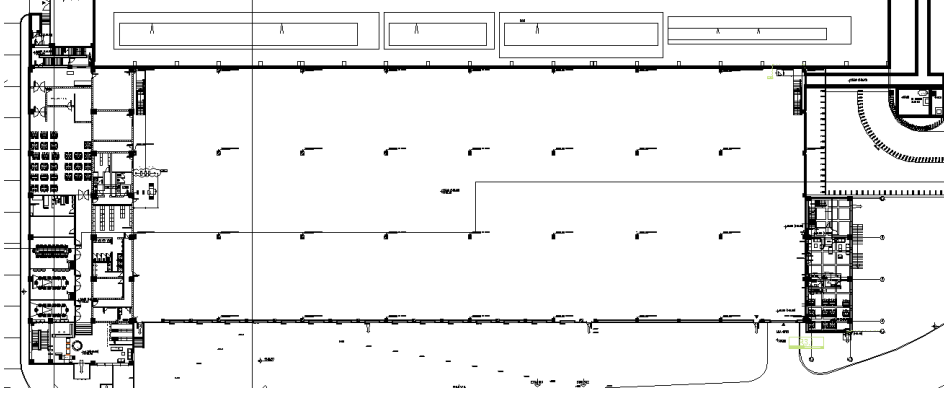
Bu bölümde, kurumsal bir tesiste 802.11ax destekli bir Wi-Fi ağının tasarımı ve performans testlerinin, Ekahau AI Pro yazılımı ve Sidekick cihazı kullanılarak hangi yöntemlerle gerçekleştirildiği açıklanmaktadır. Çalışma, A, B ve C bloklarından oluşan bir tesiste gerçekleştirilmiştir. Bu blokların çalışmaya dahil edilen alan bilgileri Tablo 3.1’de, mimari planlar ise Şekil 3.1 - 3.3’te sunulmuştur.

Tablo 3.1. Blok ve kat alanları.

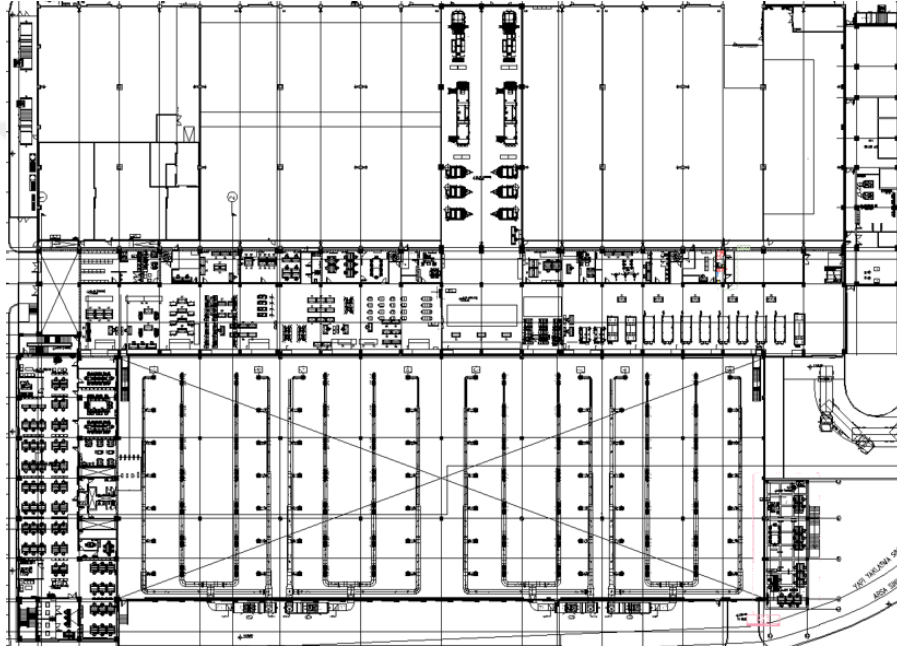
Blok	Kat	Alan (metrekare)
A Blok	Zemin Kat	16695
	1.Kat	5110
B-C Blok	Zemin Kat	6199



Şekil 3.1. A blok zemin kat planı.



Şekil 3.2. B ve C blok zemin kat planı.



Şekil 3.3. B ve C blok 1.kat planı.

3.1. Ekahau AI Pro ve Sidekick Kullanımı

Ölçümler, önce ofis ortamında Ekahau AI Pro yazılımının otomatik planlayıcı özelliği ile gerçekleştirilmiş, ardından saha ortamında iPad'e kurulu Ekahau AI Pro yazılımı ve Ekahau Sidekick cihazı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 3.2'de Ekahau AI Pro özellikleri sunulmuştur (*Ekahau AI Pro: The Most Trusted Solution for Business-Critical Wi-Fi Design Create Fast and Reliable Networks with Powerful AI Tools and Expert-Level Customization Options*, 2024).

Tablo 3.2. Ekahau ai pro özellikleri.

Özellik	Açıklama
6 GHz Tasarım Desteği	Wi-Fi 6E (802.11ax 6GHz) dahil tüm Wi-Fi standartları için tasarım desteği sunar.
AI Otomatik Planlayıcı	Yapay zeka destekli otomatik erişim noktası yerleşimi ve ağ optimizasyonu sağlar.
4500+ Erişim Noktası ve Anten	Tüm satıcılardan 4500'den fazla erişim noktası ve anten modelini içerir.
Ekahau Optimizer ile Entegrasyon	Tasarımınızı optimize etmek için Ekahau Optimizer ile entegre çalışır.
Sezgisel Çalışma Alanları	Tasarım, İnceleme, Anket ve Canlı modları arasında kolay geçiş imkanı sunar, karanlık ve aydınlık mod desteği vardır.
Otomatik Kanal Planlayıcı	2.4 GHz, 5 GHz ve 6 GHz bantlarında otomatik kanal optimizasyonu sağlar.
Ağ Simülatörü	Farklı erişim noktası modelleriyle ağ performansını simüle eder ve kanal yapılandırmalarını test eder.
Otomatik Duvar Kalibrasyonu	Duvar sönümleme değerlerini otomatik olarak ayarlayarak tasarım doğruluğunu artırır.
CAD İçer Aktarma	DWG/DXF formatındaki CAD dosyalarını içeri aktarabilir.
Gelişmiş Yansıma ve Kırılma	Duvar malzemelerinin sinyal yansıma ve kırılma özelliklerini hesaplar.
26 Adet Isı Haritası Görselleştirmesi	Kapsama, sinyal-gürültü oranı gibi çeşitli ölçümleri görselleştirir.
Şablon Tabanlı Raporlama	Özelleştirilebilir raporlar oluşturur.
AP Üretici Entegrasyonları	Cisco Catalyst, Meraki, Aruba Central, ExtremeCloud IQ, Juniper Mist gibi üreticilerin panelleriyle entegre olur.
Ekahau Sidekick 2	Hızlı ve doğru saha anketleri için Ekahau Sidekick 2 ile uyumlu çalışır.

Ekahau Sidekick 2, kablosuz ağ performansını analiz etmek için kullanılan en hızlı ve en hassas ölçüm cihazlarından biridir. Cihaz, 2.4 GHz, 5 GHz ve 6 GHz frekans bantlarında yüksek doğrulukta ölçüm yapabilmektedir ve sahip olduğu 9 adet entegre geniş bantlı 3D anten sayesinde, sinyallerin her yönden doğru bir şekilde yakalanmasını sağlar. Ayrıca, saniyede 50 tarama yapabilen spektrum analiz özelliği ile çevresel parazitler hızla tespit edilmektedir. Bu sayede sinyal güçleri, SNR (Sinyal-Gürültü Oranı) ve kanal çıkışısı gibi parametreler doğru ve güvenilir bir şekilde analiz edilmiştir. Tablo 3.3'te Ekahau Sidekick 2 özellikleri sunulmuştur (*Ekahau Sidekick 2*, 2023).

Tablo 3.3. Ekahau sidekick 2 özellikleri.

Özellik	Açıklama
Wi-Fi Ölçüm ve Test	- 4x tri-band (2.4, 5 & 6 GHz) yüksek performanslı Wi-Fi radyo alıcıları - 9 adet özel 3D entegre anten, tüm yönlerden hassasiyet sağlar - Wi-Fi 4, Wi-Fi 5, Wi-Fi 6 ve Wi-Fi 6E saha anketleri - 802.11a/b/g destekler.
Spektrum Analizi	- Tri-band (2.4, 5 & 6 GHz) yüksek çözünürlüklü spektrum analizörü. - Maksimum tarama hızı: 50 tarama/sn - Frekans aralığı: 2.400-2.495 & 5.000-7.125 MHz - Frekans çözünürlüğü: 19 kHz
Paket İçeriği	- Ekahau Sidekick 2 cihazı - Boyun askısı - USB-C - USB-C kablosu. - Güç adaptörü - Hızlı kurulum kılavuzu
Batarya	- Tek şarj ile tüm gün saha anketi - Hızlı şarj: 1 saat şarj ile 4 saat aktif kullanım. - 96.4 Wh Li-ion batarya (FAA yönergelerine uygun)
Ürün Boyutları ve Ağırlık	- Boyutlar: 155 mm x 226 mm x 39 mm. - Ağırlık: 1080 g (2.4 lbs)
Depolama	- 120 GB SSD
Çalışma Koşulları	- Çalışma sıcaklığı: +5°C ile +35°C - Depolama sıcaklığı: -20°C ile +60°C
Garanti	- 1 yıl donanım garantisi (3 yıl uzatılmış garanti seçeneği mevcuttur)
Sistem Gereksinimleri	- macOS veya Windows laptop ya da tablet. - iOS 12 veya üzeri - Android 12 veya üzeri
Gereksinimleri	- Ekahau AI Pro 11.1 veya üzeri sürüm gerektirir. - Tam işlevsellik için Ekahau Connect Aboneliği gereklidir (Ekahau Survey, Ekahau Analyzer, Ekahau Insights, Ekahau Capture, Ekahau Cloud içerir)

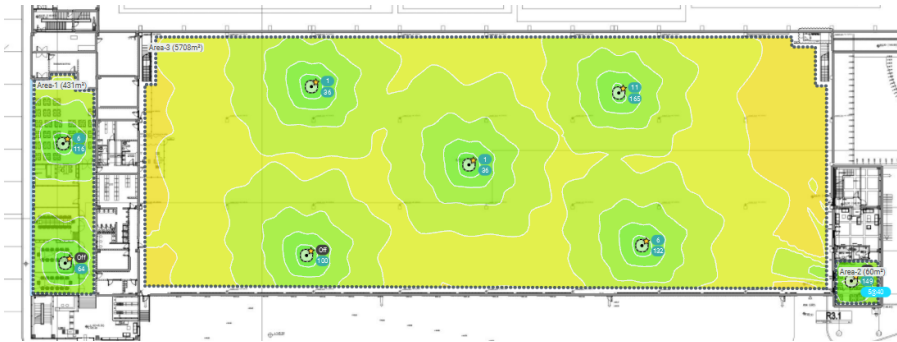
3.2. Ekahau AI Pro Otomatik Planlayıcı ile Kablosuz Ağ Tasarımı

Ekahau AI Otomatik Planlayıcı, kablosuz ağ tasarımının hızlı ve etkili bir şekilde simülasyonunu sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Tesisin DWG formatındaki mimari planları Ekahau AI Pro yazılımına yüklendikten sonra, kullanıcı yoğunluklu alanlar belirlenmiş ve yerleşkede kullanılacak olan 802.11ax destekli Huawei 5776-26 model erişim noktası cihazlarının otomatik olarak konumlandırılması sağlanmıştır. AI

Otomatik Planlayıcı erişim noktası cihazlarının, 2.4 GHz ve 5 GHz frekansları için sinyal kapsama alanını en üst düzeye çıkarmak ve kanal çakışması risklerini en aza indirmek amacıyla bu yerleşim işlemlerini, Ekahau En İyi Uygulamaları (Ekahau Best Practices) kapsamında belirlenen kapsama gereksinimlerine göre gerçekleştirmiştir. Otomatik Planlayıcı, DWG formatında yüklenen yerleşkenin mimarisindeki farklı katmanları ve yapı malzemelerini dikkate alarak her alan için gereken AP sayısını belirlemiştir. Bu sayede, minimum AP sayısı ile maksimum kapsama alanı sağlanması hedeflenmiştir. Şekil 3.4-3.6’da otomatik planlayıcı sonuçları verilmiştir. Tablo 3.4’te ise her blok ve kat için planan AP sayıları verilmiştir.



Şekil 3.4. A blok zemin kat otomatik planlayıcı sonucu.



Şekil 3.5. B ve C blok zemin kat otomatik planlayıcı sonucu.



Şekil 3.6. B ve C blok 1. kat otomatik planlayıcı sonucu.

Tablo 3.4. Blok ve katlara göre planlanan erişim noktası sayıları.

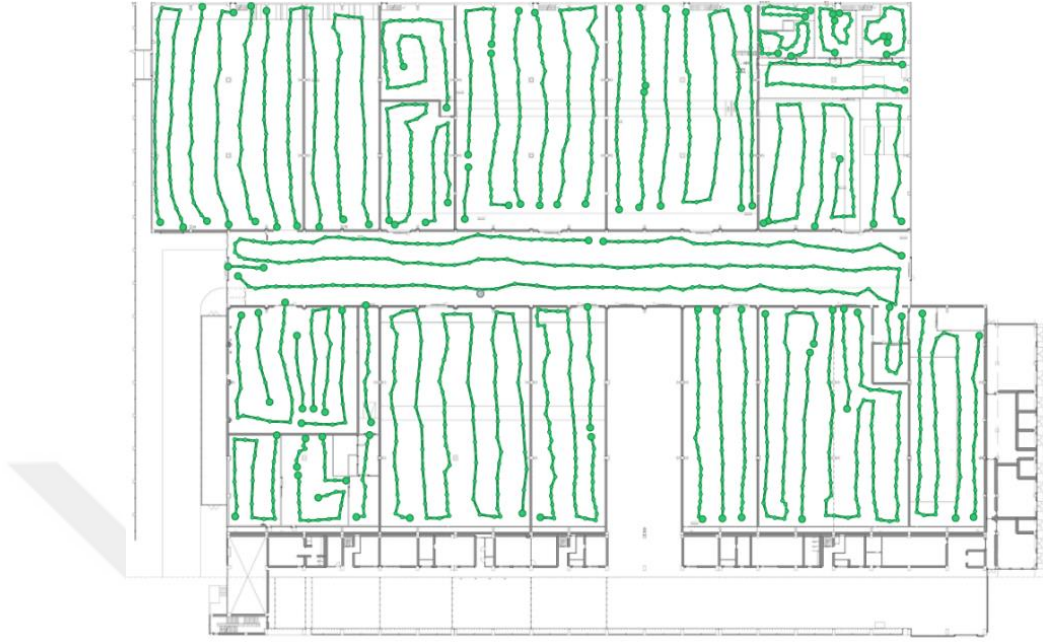
Blok	Kat	Erişim Noktası
A Blok	Zemin Kat	44
	1.Kat	20
B-C Blok	Zemin Kat	8

3.3. Ekahau AI Pro ve Sidekick ile Kablosuz Ağ Performans Testleri

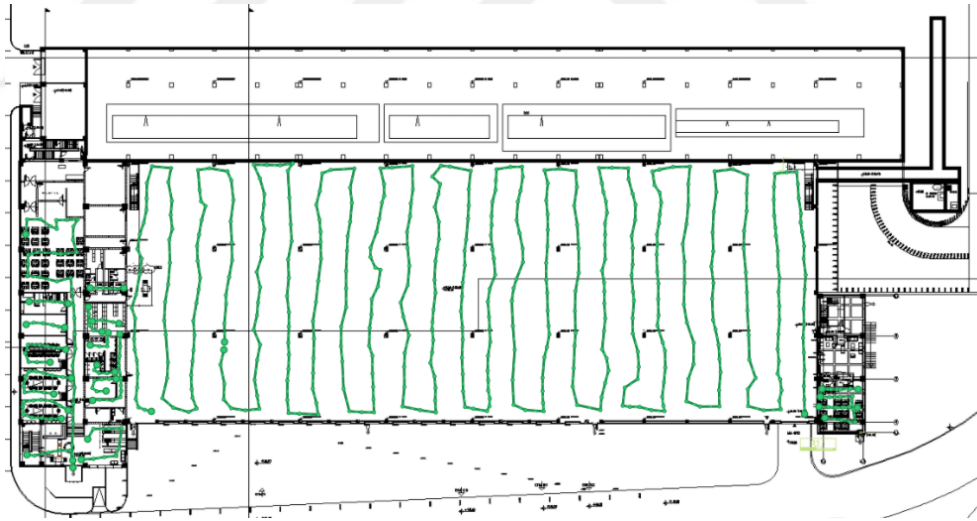
Otomatik planlayıcı kullanılarak tasarlanan kablosuz ağın performansını gerçek saha koşullarında değerlendirmek amacıyla, Ekahau Sidekick cihazı ile kapsamlı bir saha testi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, erişim noktalarının (AP) montajı, saha operasyonlarından sorumlu teknik ekip tarafından tamamlanmış, ardından cihazların devreye alınması sağlanarak kablosuz ağ yayını aktif hale getirilmiştir. Ağ performansının, kapsam alanının ve sinyal gücü seviyelerinin çalışanların günlük iş süreçlerini kesintisiz bir şekilde sürdürebilmelerine uygun olup olmadığını değerlendirmek için detaylı analizler gerçekleştirilmiştir.

Saha testleri, kablosuz ağın aktif kullanılacağı personel yoğunluklu alanları kapsayacak şekilde planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. A, B ve C blokta yapılan

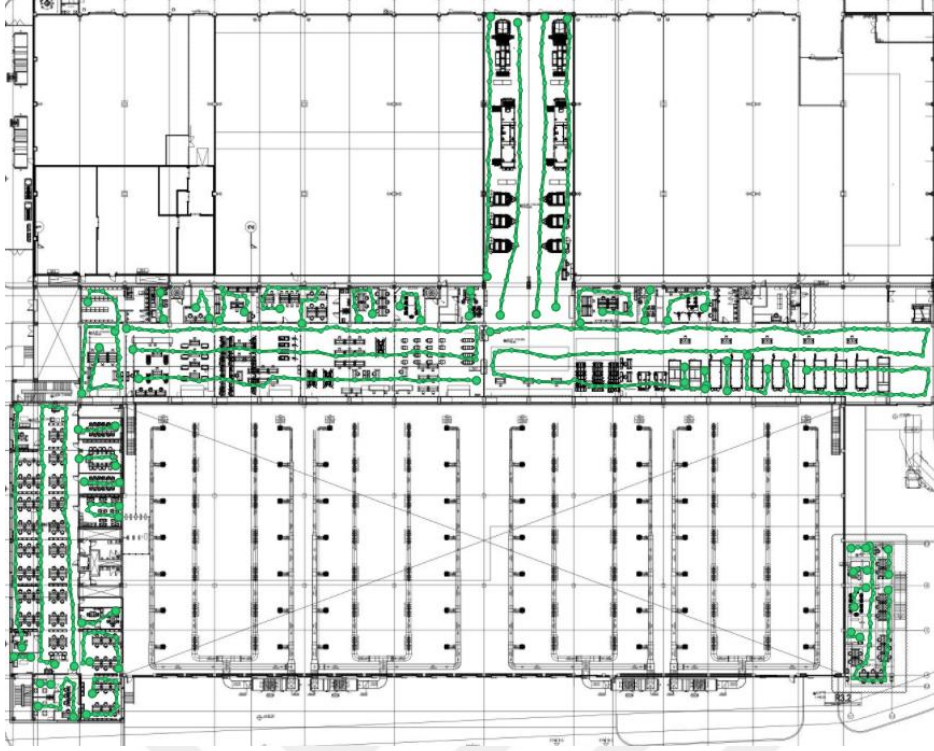
ölçümler sırasında izlenen rotalar Şekil 3.7-3.9’da gösterilmektedir. Her alanın minimum kapsama gereksinimleri Tablo 3.5’da gösterilmektedir.



Şekil 3.7. A blok zemin katında sidekick ile gerçekleştirilen ölçüm rotası.



Şekil 3.8. B ve C blok zemin katında sidekick ile gerçekleştirilen ölçüm rotası.



Şekil 3.9. B ve C blok 1.katında sidekick ile gerçekleştirilen ölçüm rotası.

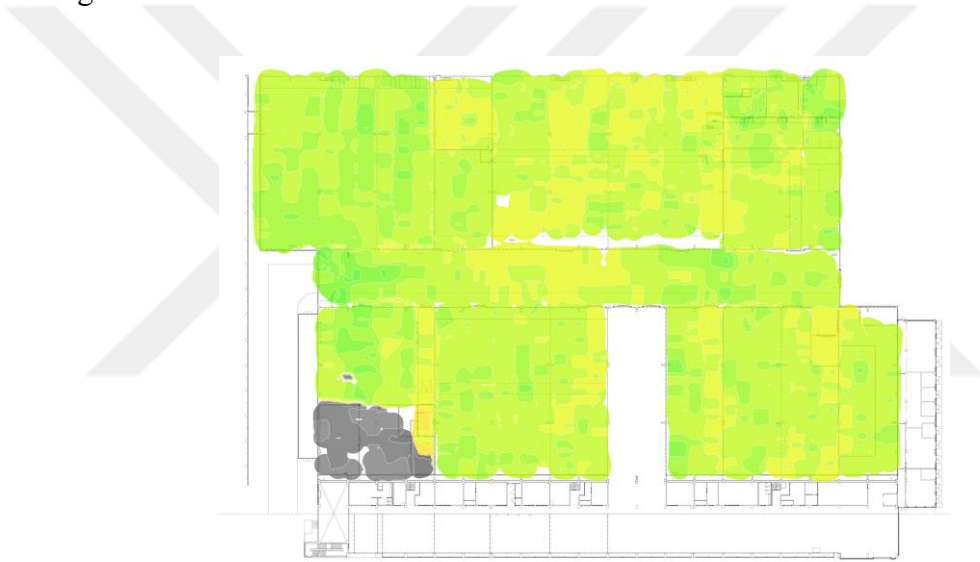
Tablo 3.5. Kablosuz ağ kapsama gereksinimleri (ekahau standartları).

Kriterler	2.4GHz	5GHz
Sinyal Gücü	-67 dBm	-67 dBm
İkincil Sinyal Gücü	-67 dBm	-67 dBm
Üçüncül Sinyal Gücü	Kapalı	Kapalı
Sinyal Gürültü Oranı	20 dB	25 dB
Veri Hızı	24 Mbps	24 Mbps
Minimum Sinyal Gücünde	-85 dBm	-85 dBm
Kanal Çakışması	2	1

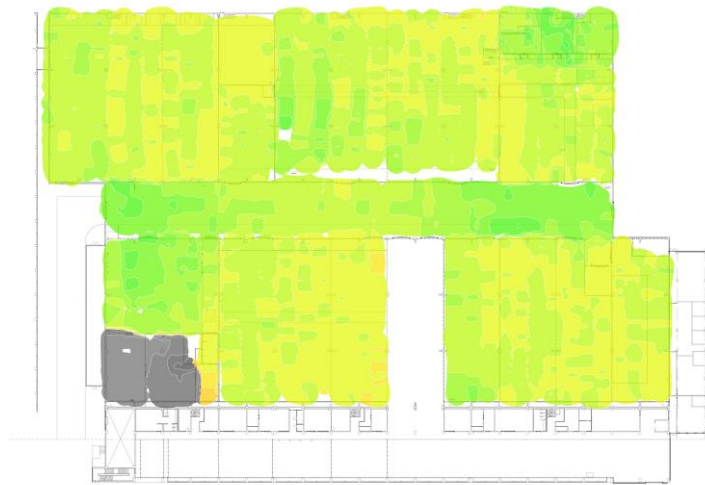
4. ANALİZ VE BULGULAR

4.1. Sinyal Gücü Analizi

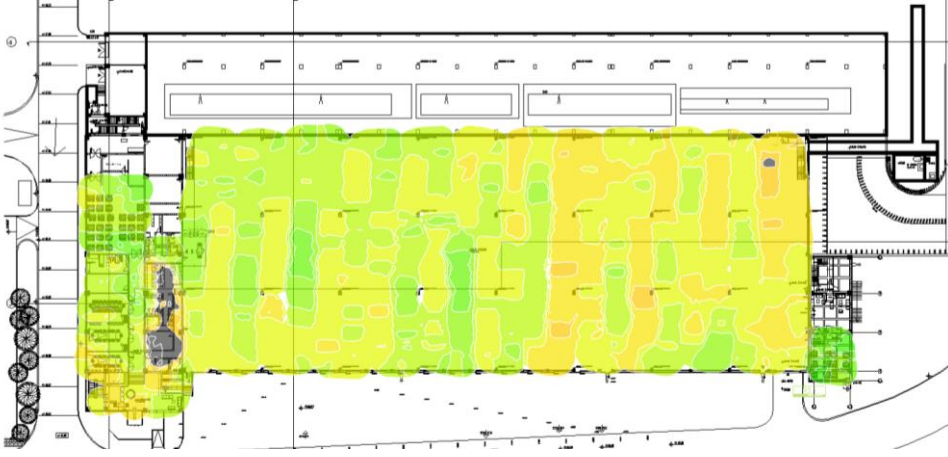
Bu bölümde, A, B ve C bloklarına ait alanların 2.4 GHz ve 5 GHz frekans bantlarında gerçekleştirilen sinyal gücü analizleri sunulmaktadır. Şekil 4.1-4.6’da sırasıyla 2.4 GHz ve 5 GHz frekans bantlarında ölçülen sinyal gücü dağılımlarını göstermektedir. Yeşil alanlar, sinyal gücünün ideal seviyede ≥ -67 dBm olduğunu, sarı alanlar sınır değerlere yakın seviyeleri ve gri alanlar kapsama alanı dışında kalan ≤ -85 dBm bölgeleri ifade etmektedir.



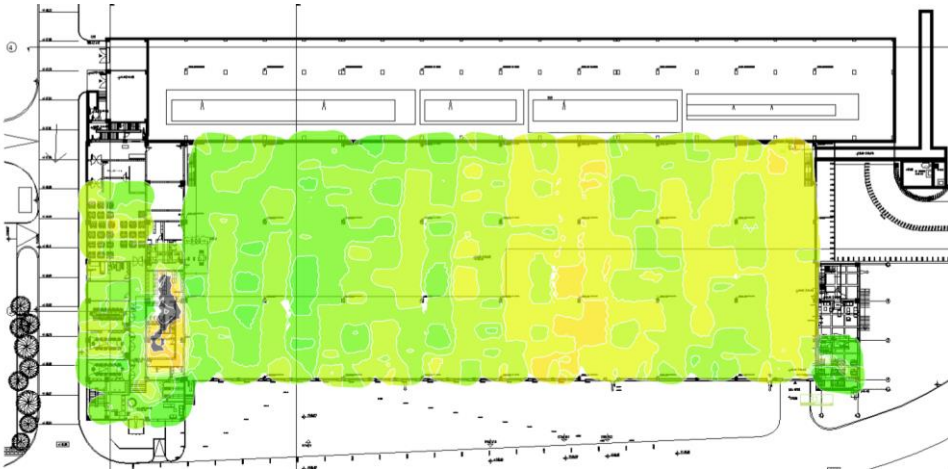
Şekil 4.1. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.



Şekil 4.2. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.



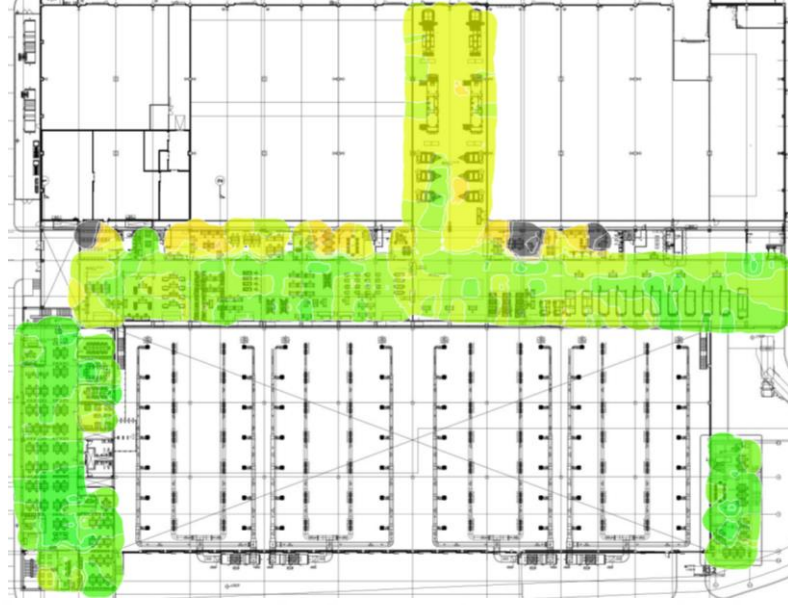
Şekil 4.3. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.



Şekil 4.4. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı sinyal gücü ısı haritası.



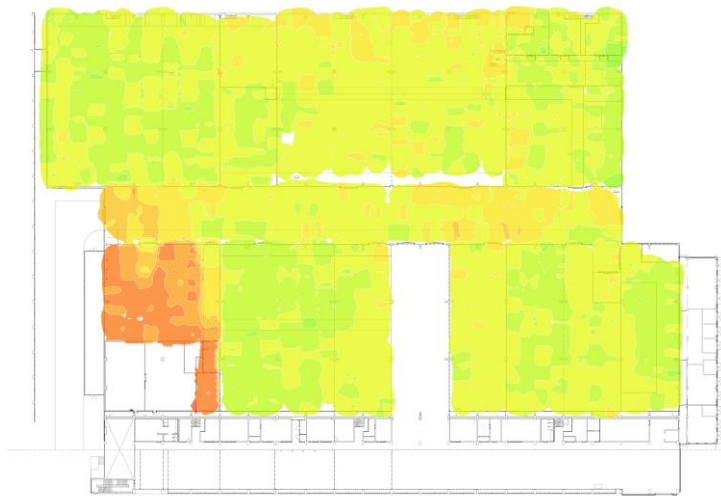
Şekil 4.5. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı sinyal gücü haritası.



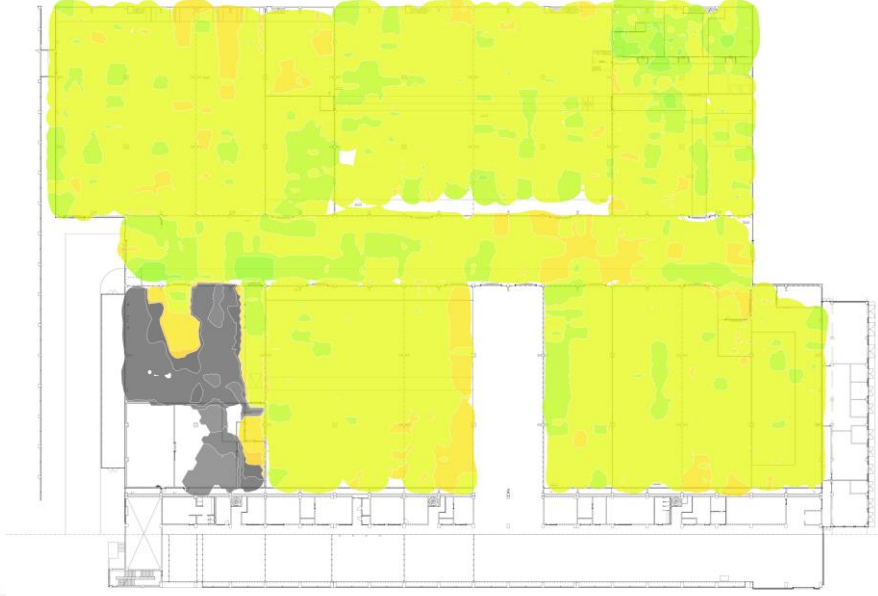
Şekil 4.6. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı sinyal gücü haritası.

4.2. İkincil Sinyal Gücü Analizi

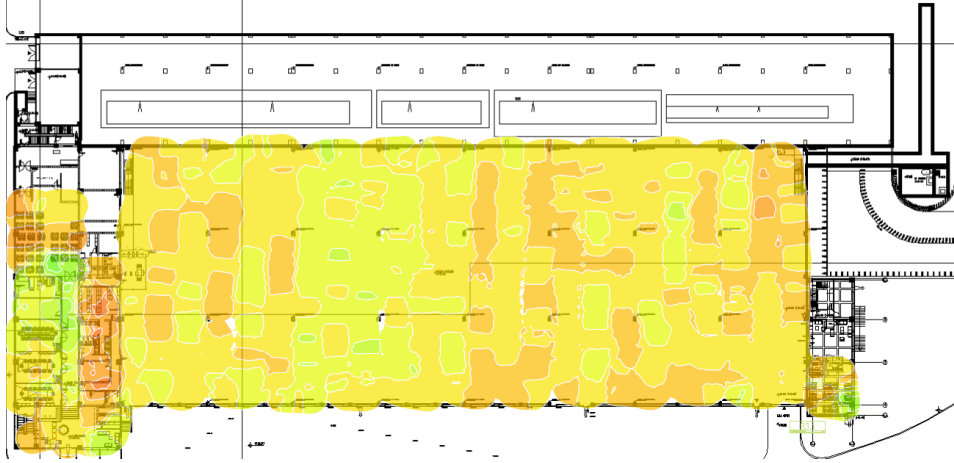
Kablosuz ağı performans değerlendirmesinde ikincil sinyal gücü, özellikle mobil istemcilerin AP'ler arasında sorunsuz geçiş yapabilmesi ve herhangi bir AP'nin devre dışı kalması durumunda ağın yedekliliğini sağlaması açısından önemli bir parametredir. Analizler, ikincil sinyal gücünün 2.4 GHz ve 5 GHz frekans bantlarında -67 dBm sınırının üzerinde olduğu bölgelerde bu gereksinimleri başarıyla karşıladığını göstermektedir. Ancak, gri alanlar ≤ -85 dBm sinyal seviyesine sahip olup yetersiz roaming desteğine işaret etmektedir. Şekil 4.7-Şekil 4.12'de sırasıyla 2.4 GHz ve 5 GHz frekans bantlarında ölçülen ikincil sinyal gücü dağılımları gösterilmektedir.



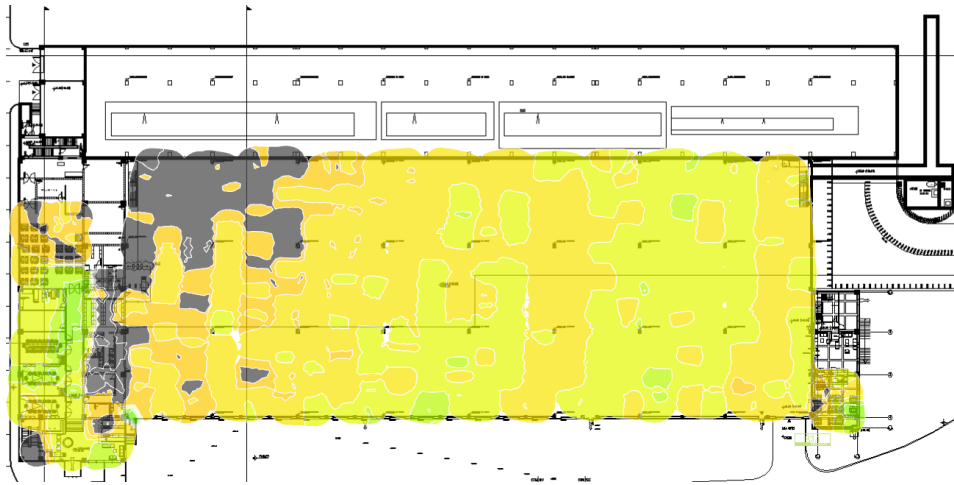
Şekil 4.7. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.



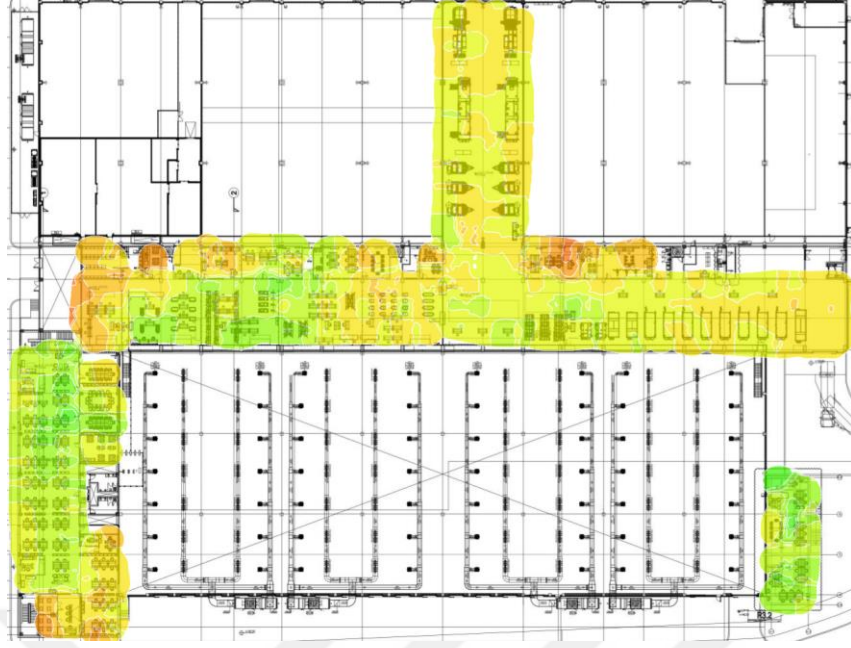
Şekil 4.8. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.



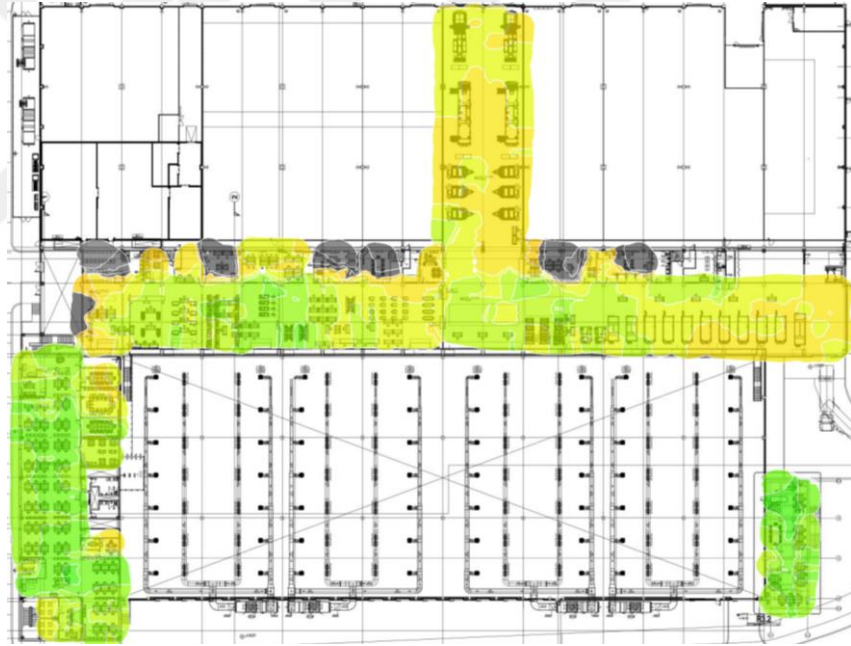
Şekil 4.9. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.



Şekil 4.10. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.



Şekil 4.11. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.



Şekil 4.12. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı ikincil sinyal gücü ısı haritası.

4.3. Sinyal Gürültü Oranı

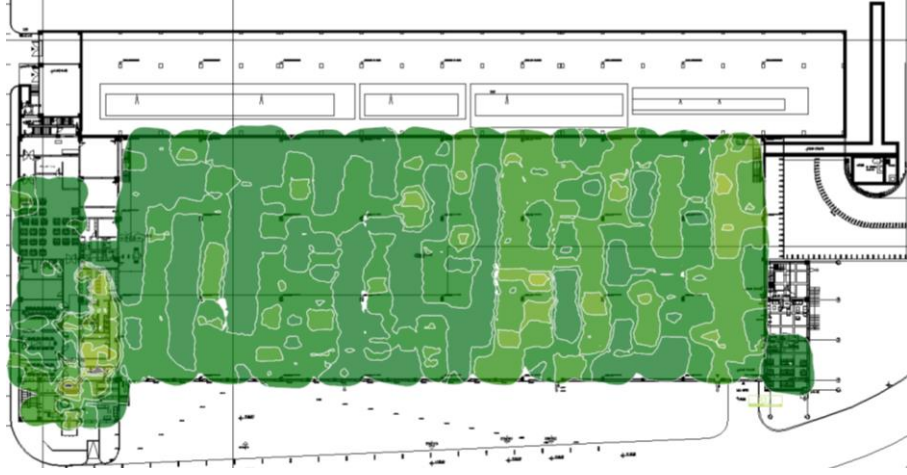
Veri iletiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için sinyal gücünün çevresel gürültüden daha yüksek olması gerekmektedir. Şekil 4.13'ten Şekil 4.18'e kadar, A, B ve C bloklarına ait zemin kat ve 1. kat için elde edilen SNR haritaları sunulmaktadır. Yeşil tonlar yüksek SNR değerlerini (≥ 30 dB), sarı ortalama değerleri ve gri tonlar ise düşük (≤ 5 dB) SNR seviyelerini temsil etmektedir.



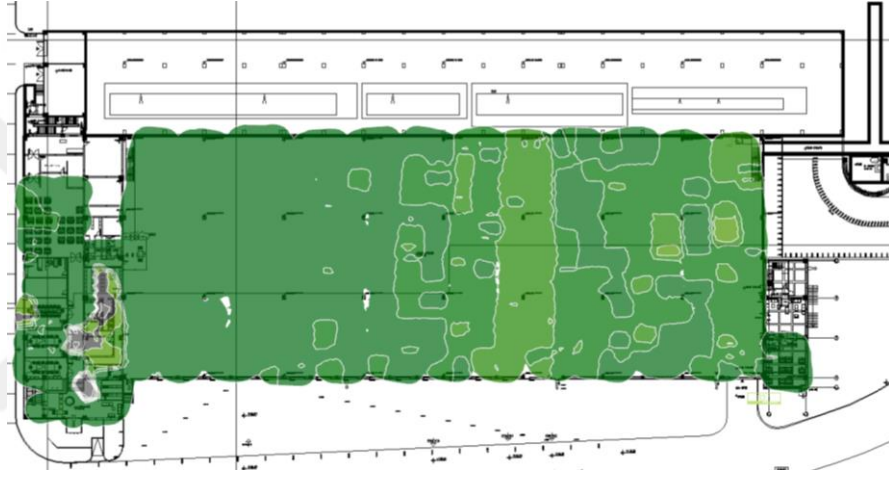
Şekil 4.13. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.



Şekil 4.14. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.



Şekil 4.15. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.



Şekil 4.16. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.



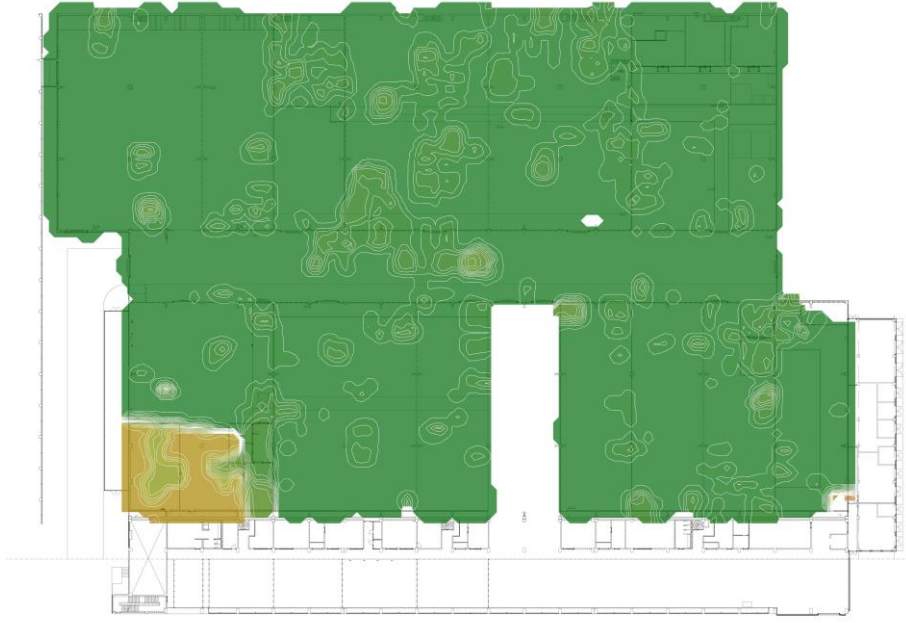
Şekil 4.17. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.



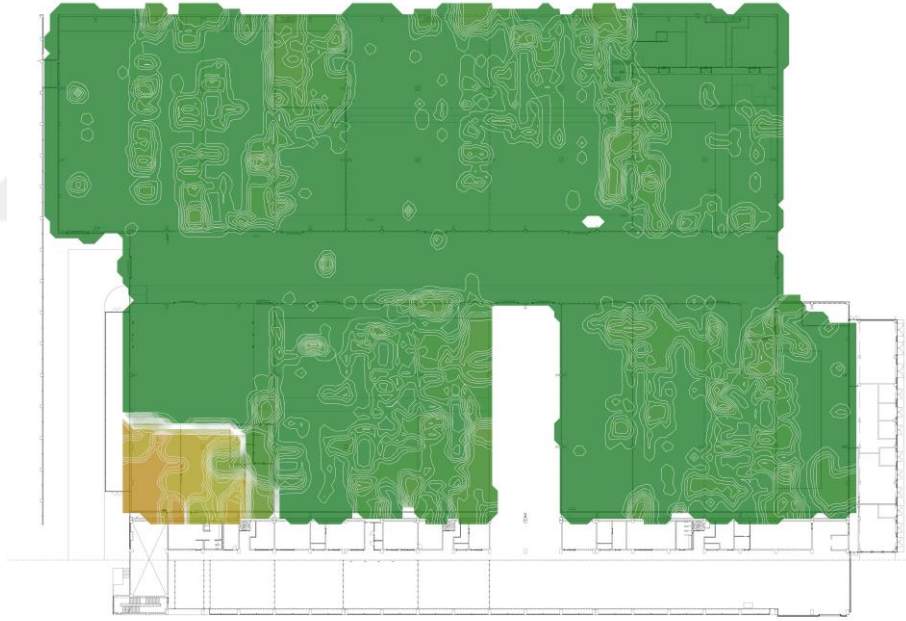
Şekil 4.18. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı SNR ısı haritası.

4.4. Veri Hızı

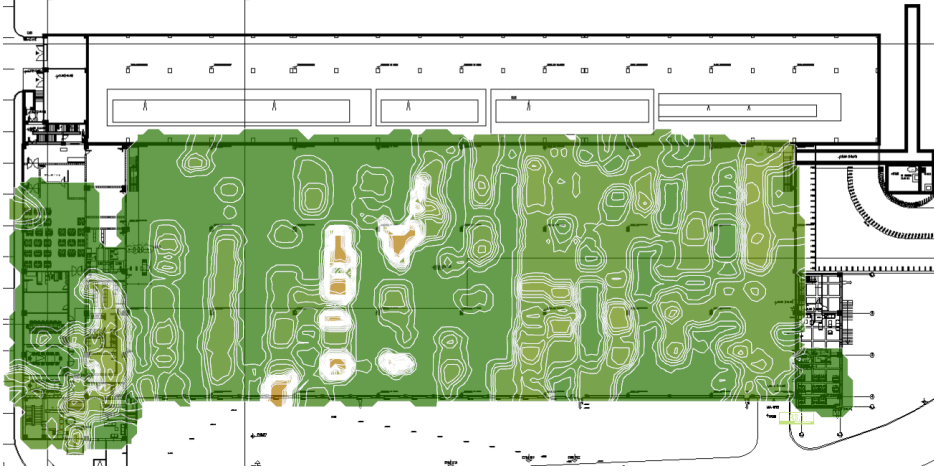
Tesisin A, B ve C bloklarında 2.4 GHz ve 5 GHz frekans bantlarında elde edilen veri hızı analizleri sunulmaktadır. Veri hızı, kablosuz cihazların veri iletebileceği maksimum hız olarak tanımlanmakta olup, genellikle megabit/saniye (Mbps) cinsinden ölçülmektedir. Veri hızı 2.4 GHz frekans bandında 1 Mbps ile 300 Mbps arasında değişen bir performans aralığını gösterirken 5 GHz bandında 1 Mbps ile 585 Mbps arasında değişen bir hız göstermiştir. Haritada yeşil tonlar, daha yüksek veri hızlarını ifade ederken, sarı ve turuncu tonlar veri hızının düştüğü alanları göstermektedir. Veri hızı ısı haritaları Şekil 4.19 – 4.24’de sunulmuştur.



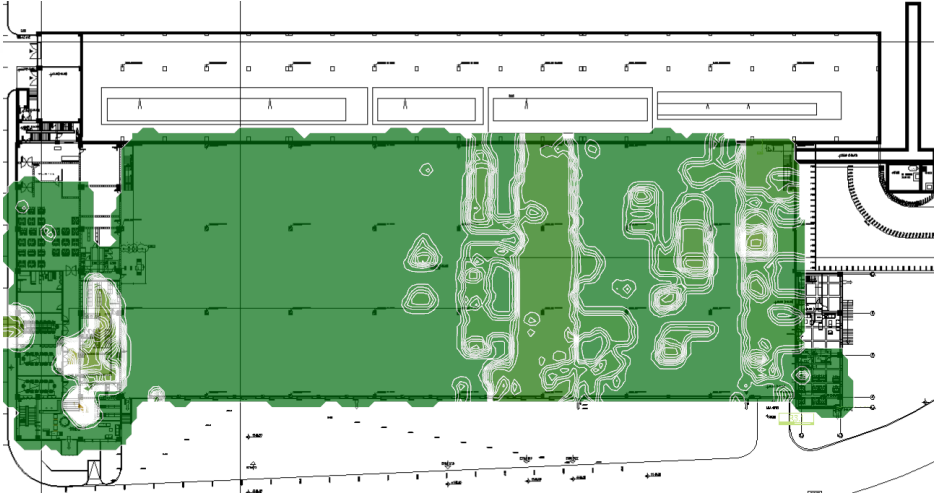
Şekil 4.19. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.



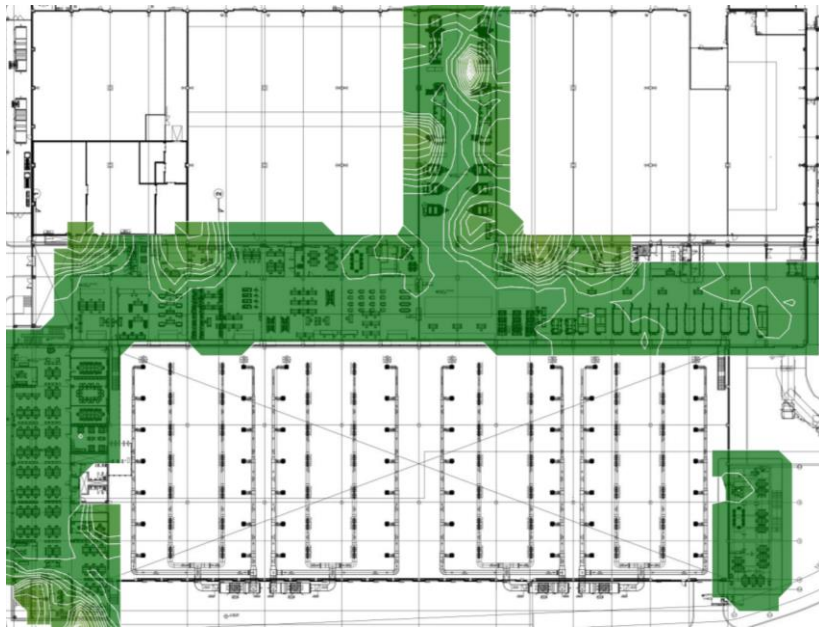
Şekil 4.20. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.



Şekil 4.21. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.



Şekil 4.22. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.



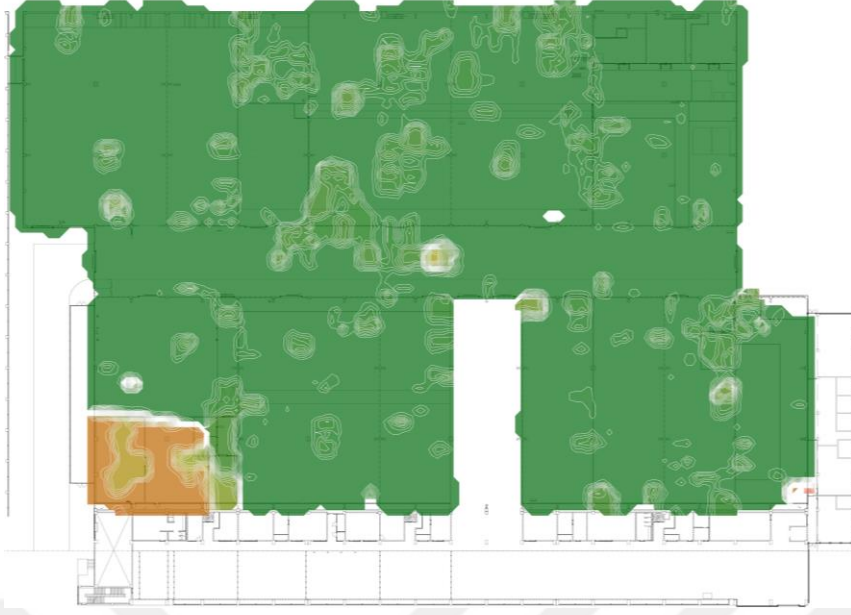
Şekil 4.23. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.



Şekil 4.24. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı veri hızı ısı haritası.

4.5. Ağ Kapasitesi

2.4 GHz ve 5 GHz frekans bantlarında A, B ve C bloklarında elde edilen ağ kapasitesi analizleri sunulmuştur. Ağ Kapasitesi (Throughput), bir iletişim kanalı üzerinden mesajların veya verilerin başarılı bir şekilde iletilme oranı olarak tanımlanır. Veri Hızı (Data Rate), ağın teorik kapasitesini anlamak için önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Ağ Kapasitesi ise kullanıcı deneyimini yansıtan bir ölçüt olarak öne çıkmaktadır. 2.4 GHz frekans bandında ağ kapasitesi değerleri 1 Mbps ile 240 Mbps arasında bir performans aralığı gösterirken, 5 GHz bandında bu değerler 1 Mbps ile 420 Mbps arasında değişiklik göstermiştir. Şekil 4.25 – 4.30’da sunulan haritalarda, yeşil tonlar daha yüksek ağ kapasitesi değerlerini ifade ederken, sarı ve turuncu tonlar ağ kapasitesinin daha düşük olduğu alanları göstermektedir.



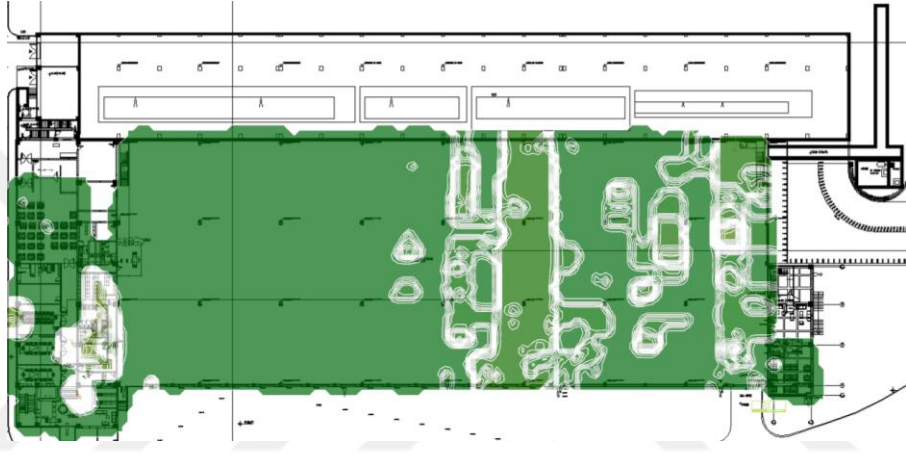
Şekil 4.25. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.



Şekil 4.26. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.



Şekil 4.27. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.



Şekil 4.28. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.



Şekil 4.29. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.



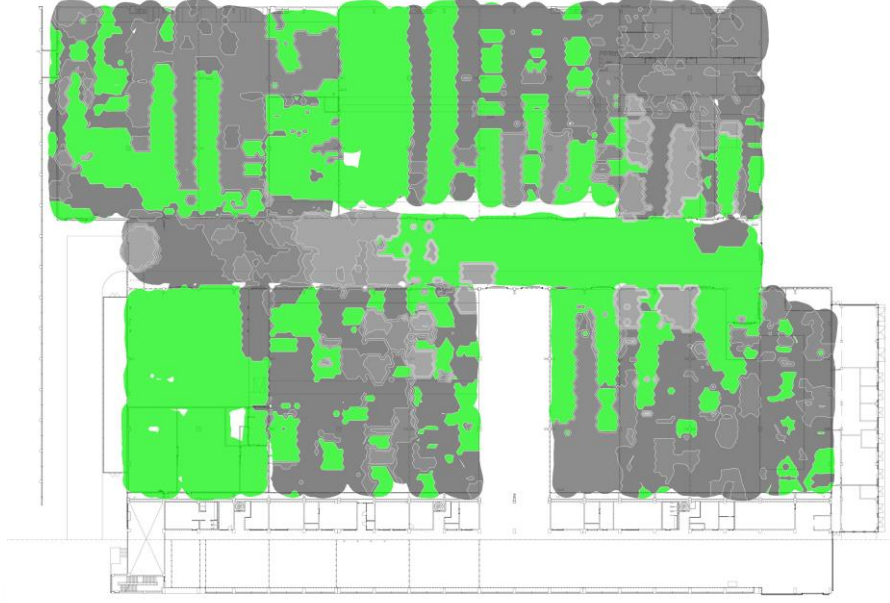
Şekil 4.30. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı ağ kapasitesi ısı haritası.

4.6. Kanal Çakışması

Kanal çakışması haritasında yeşil alanlar, çakışmanın minimum düzeyde olduğu veya hiç bulunmadığı bölgeleri ifade etmektedir. Bu alanlar, ağ performansı açısından ideal koşulları temsil etmektedir. Gri tonlarla gösterilen bölgeler ise, aynı kanalı kullanan birden fazla erişim noktasının bulunduğu bölgeleri temsil etmektedir. Bu durum, ağ performansında olumsuz etkilere neden olabilecek kanal çakışmasının varlığını göstermektedir. Kanal çakışması ısı haritaları Şekil 4.31 – 4.36’da sunulmuştur.



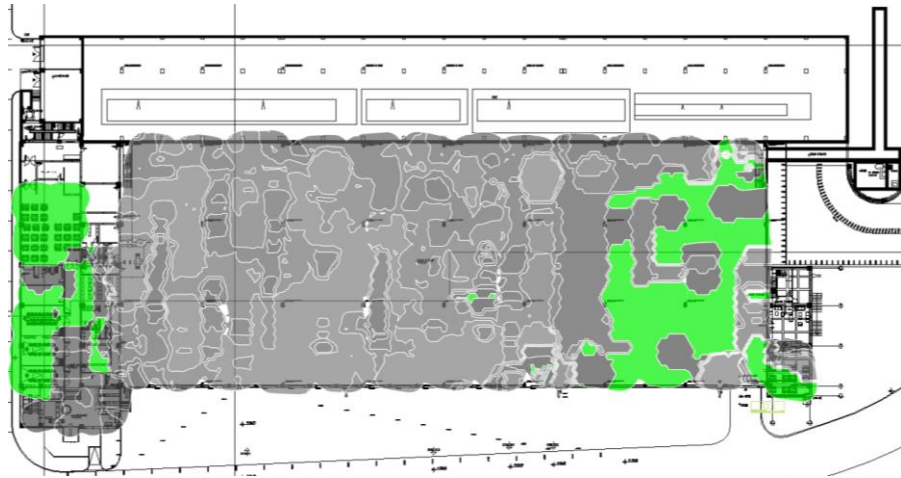
Şekil 4.31. A blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.



Şekil 4.32. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.



Şekil 4.33. B ve C blok zemin kat 2.4 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.



Şekil 4.34. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.



Şekil 4.35. B ve C blok 1.kat 2.4 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.



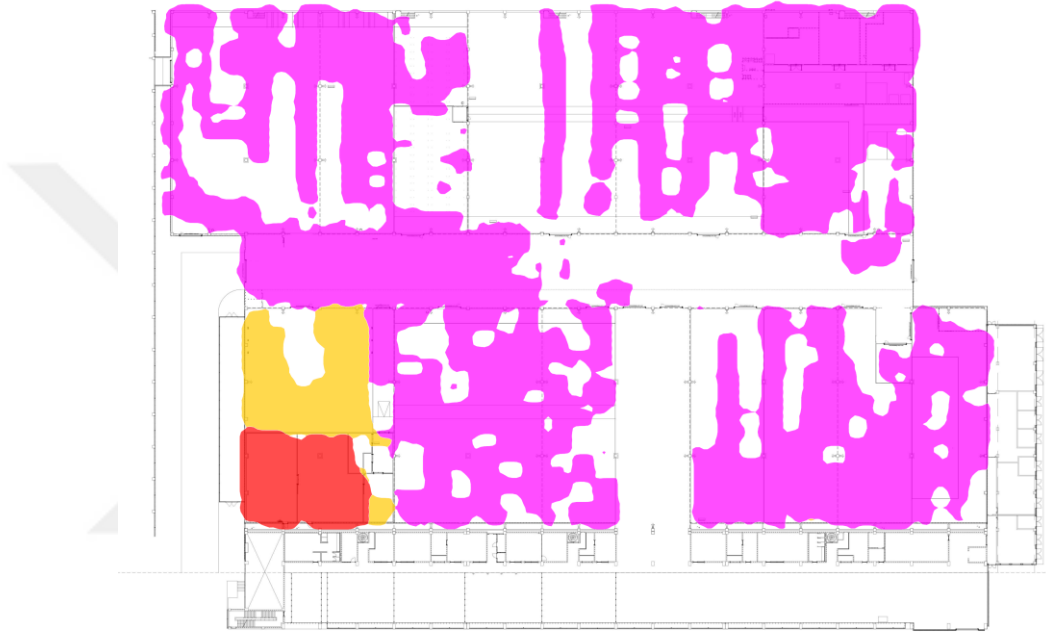
Şekil 4.36. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı kanal çakışması ısı haritası.

4.7. Genel Ağ Performansı ve Analizi

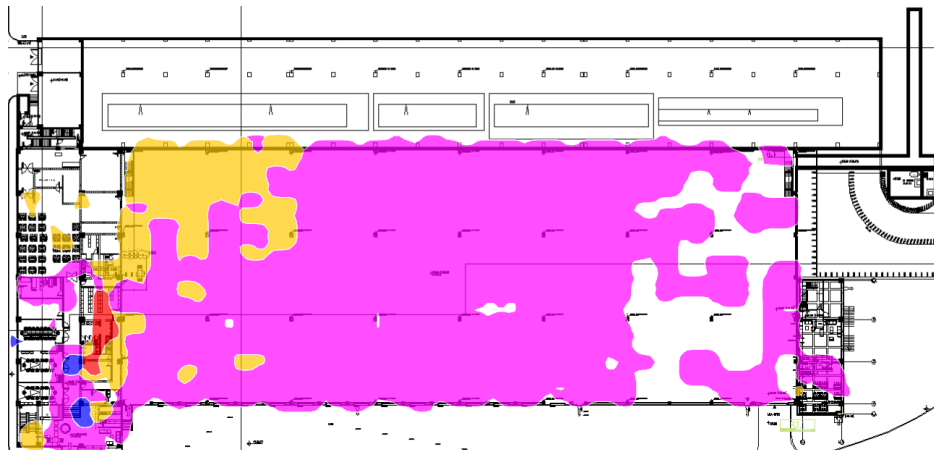
5 GHz frekans bandında elde edilen genel ağ performansı ısı haritaları aşağıda sunulmuştur. 5 GHz frekans bandı kurumsal ağlarda daha az kanal çakışması ve daha yüksek kapasite sunması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu nedenle, analiz ve iyileştirme çalışmalarında müdahale edilebilirliğin daha yüksek olduğu bu frekans

bandına odaklanılmıştır. Haritalar aracılığıyla, ağdaki mevcut sorunlar ve müdahale edilebilecek alanlar görselleştirilmiş ve bu doğrultuda iyileştirme stratejilerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

Şekil 4.37 - Şekil 4.39 arasında yer alan genel ağ performansı haritalarında kullanılan renkler bölgede öne çıkan sorunu göstermektedir. Genel ağ performansı ısı haritalarında, kırmızı ve sarı tonlar sinyal gücünün düşük olduğu bölgeleri, mor renk ise kanal çakışmasının yoğun olarak yaşandığı alanları temsil etmektedir.



Şekil 4.37. A blok zemin kat 5 GHz frekans bandı genel ağ performansı ısı haritası.



Şekil 4.38. B ve C blok zemin kat 5 GHz frekans bandı genel ağ performansı ısı haritası.



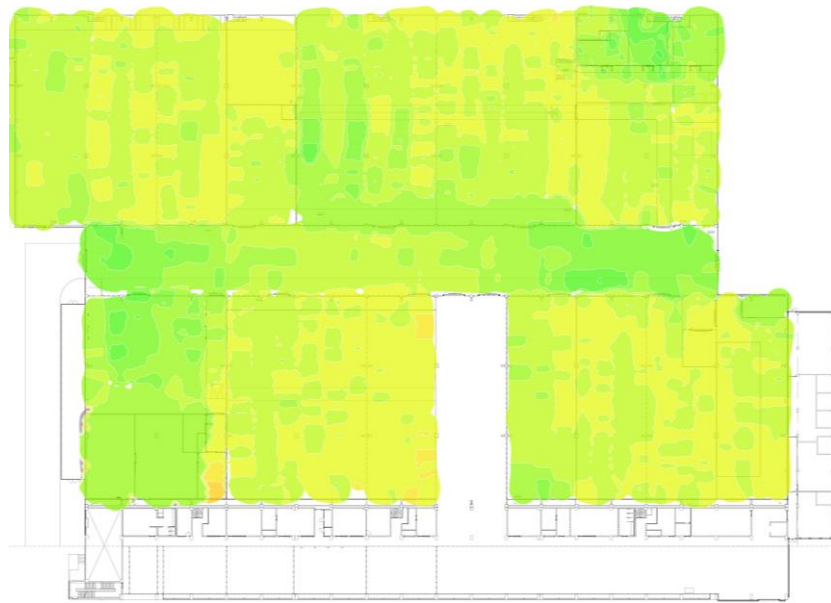
Şekil 4.39. B ve C blok 1.kat 5 GHz frekans bandı genel ağ performansı ısı haritası.

5. AĞ PERFORMANSINI İYİLEŞTİRME

Bu bölümde, 5 GHz frekans bandı ağ performansını artırmaya yönelik gerçekleştirilen iyileştirme çalışmaları ve bu çalışmaların sonuçları detaylandırılmıştır. Performans testlerinden elde edilen analizler doğrultusunda iyileştirme çalışmaları yapılmış ve tesiste saha testleri yeniden gerçekleştirilmiştir. Yapılan iyileştirmelerin, ağın genel performansı üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmektedir.

5.1. Sinyal Gücü İyileştirmeleri

A Blok zemin kat ile B ve C blok 1. katta tespit edilen düşük sinyal gücü ve verimlilik sorunlarını gidermek için iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu doğrultuda, yeni erişim noktaları eklenmiş ve mevcut erişim noktalarının konumları yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca, erişim noktalarının çıkış güçleri optimize edilerek sinyal dağılımı iyileştirilmiştir. Sinyal gücü iyileştirmeleri, düşük sinyal gücü sorunlarını çözmekle kalmamış, düşük SNR (Sinyal-Gürültü Oranı) ve ikincil sinyal gücü değerlerini de iyileştirerek ağ performansını artırmıştır. Sinyal gücü iyileştirmeleri neticesinde tesis genelinde ortalama ≥ -67 dBm değeri yakalanmıştır. Sinyal gücü iyileştirme sonuçları Şekil 5.1 - 5.2’de sunulmuştur.



Şekil 5.1. A blok zemin kat sinyal gücü iyileştirme sonucu.

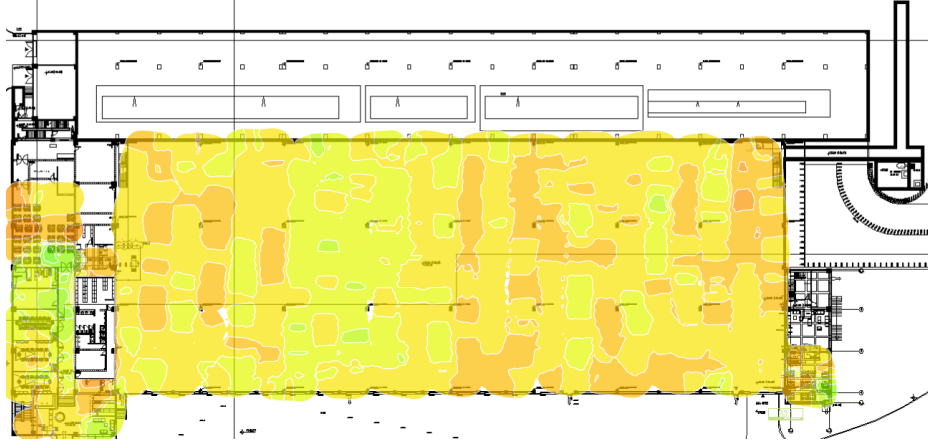


Şekil 5.2. B ve C blok 1.kat sinyal gücü iyileştirme sonucu.

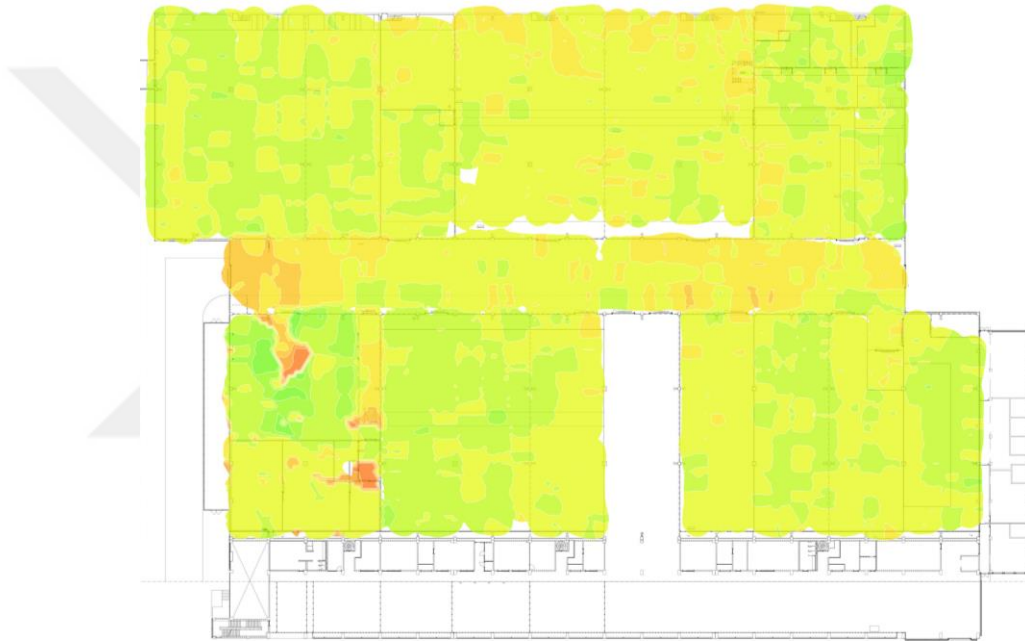
Şekil 5.3'te B-C blok Zemin katta tespit edilen roaming sorunlarının giderilmesi amacıyla erişim noktalarının (AP) konumları ve yönleri yeniden düzenlenmiş, ikincil sinyal gücü seviyeleri iyileştirilmiştir. Bu iyileştirme sayesinde, tesis genelinde ikincil sinyal gücünü ortama ≥ -67 dBm seviyesine yükseltmiş, dolaşım performansı artırarak kesintisiz bağlantı sağlanmıştır. İkincil sinyal gücü iyileştirmeleri Şekil 5.4-Şekil 5.5'te sunulmuştur.



Şekil 5.3. Erişim noktası yönlendirme ve konumlandırma iyileştirmesi.



Şekil 5.4. B ve C blok zemin kat ikincil sinyal gücü iyileştirme sonucu.

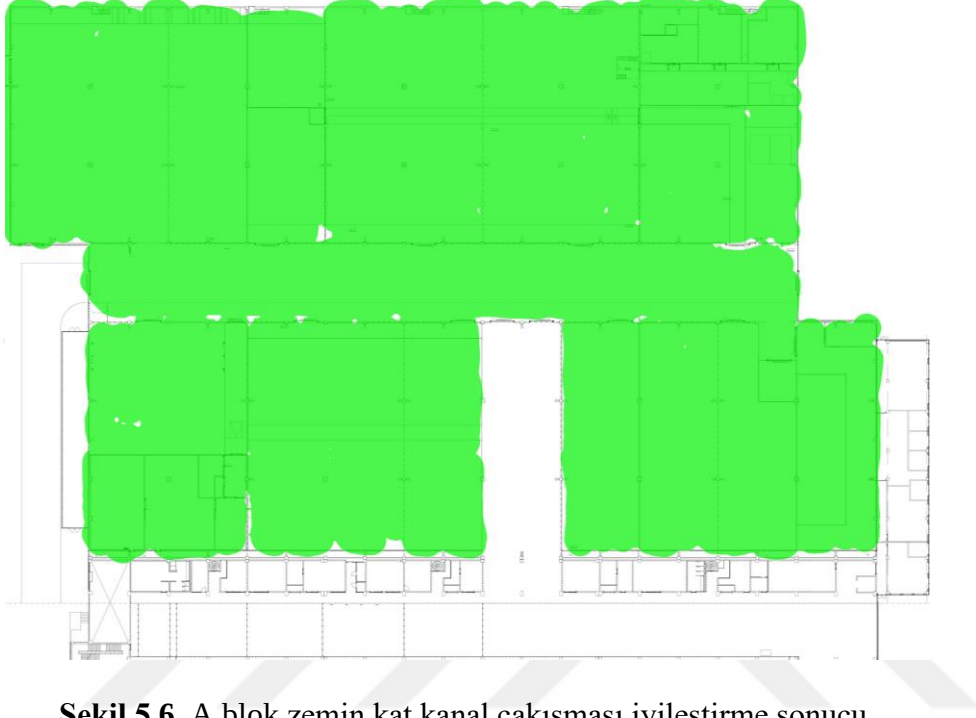


Şekil 5.5. A blok zemin kat ikincil sinyal gücü iyileştirme sonucu.

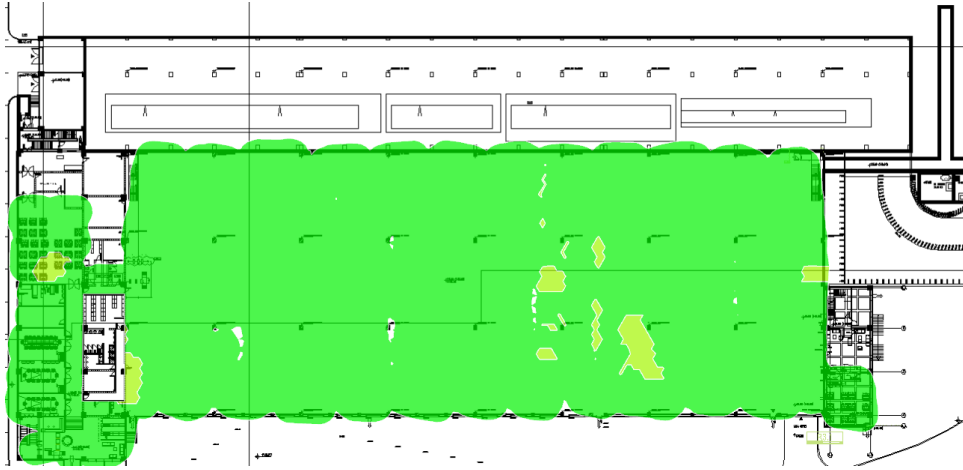
5.2. Kanal Çakışması İyileştirmeleri

Kanal çakışmalarını azaltmak ve ağ performansını iyileştirmek amacıyla, ağ üzerindeki erişim noktalarının frekans ve kanal yapılandırmaları optimize edilmiştir. 2.4 GHz frekans bandında kanal çakışması oluşmakta olan bölgelerde, bu bandın kısıtlı kanal yapısı nedeniyle 2.4 GHz yayını devre dışı bırakılarak kanal çakışmasının önüne geçilmiştir. 5 GHz frekans bandında ise geniş kanal kullanımı nedeniyle oluşabilecek çakışmaları önlemek için, kanalların genişliği 20 MHz olarak sınırlandırılarak her bir erişim noktası için kanal atamaları, birbirinden bağımsız ve çakışma yaratmayacak şekilde statik olarak yapılandırılmıştır.

Bu yapılandırmalar sonucunda minimum sinyal gücünde kanal $\text{çakışması} \leq 1$ olacak şekilde yapılandırılarak, kanal çakışmaları büyük ölçüde ortadan kaldırılmış ve ağ genelinde daha kararlı ve yüksek performanslı bağlantı koşulları sağlanmıştır. Şekil 5.6-5.8’de yapılan iyileştirme sonrası kanal çakışması haritası sunulmaktadır.



Şekil 5.6. A blok zemin kat kanal çakışması iyileştirme sonucu.



Şekil 5.7. B ve C blok zemin kat kanal çakışması iyileştirme sonucu.



Şekil 5.8. B ve C Blok 1.kat kanal çakışması iyileştirme sonucu.

Ağ performansını iyileştirme çalışmalarında, özellikle personel yoğunluğunun yüksek olduğu alanlara odaklanılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda, düşük sinyal gücü, kanal çakışması ve yetersiz ikincil sinyal gücü gibi sorunlar büyük ölçüde giderilmiş; daha iyi veri hızı, artırılmış ağ kapasitesi ve kesintisiz dolaşım (roaming) desteği sağlanmıştır. Tablo 5.1’de iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası ortalama performans değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.1. İyileştirme öncesi ve sonrası performans değerleri.

Ölçüm Kriteri	İyileştirme Öncesi	İyileştirme Sonrası
Sinyal Gücü	≤ -85 dBm	≥ -67 dBm
İkincil Sinyal Gücü	≤ -67 dBm	≥ -67 dBm
Sinyal Gürültü Oranı	≤ 5 dB	≥ 30 dB
Veri Hızı	1 Mbps - 585 Mbps	1 Mbps - 585 Mbps
Ağ Kapasitesi	1 Mbps - 420 Mbps	1 Mbps - 420 Mbps
Minimum Sinyal Gücünde	-85 dBm	-85 dBm
Kanal Çakışması	≥ 6	≤ 1



6. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, bir kurumsal şirketin kablosuz ağının performans testlerini olarak iyileştirmeler gerçekleştirmektir. Performans analizi yöntemleri, ölçümler aracılığıyla yürütülmüştür. Çalışma boyunca tüm bina katlarında Ekahau AI PRO yazılımı ve Ekahau Sidekick 2 cihazı kullanılmıştır. Ölçümler sırasında, erişim noktalarının (AP) bulunduğu alanlar incelenerek sinyal gücü, SNR (Sinyal-Gürültü Oranı), veri hızı, ağ kapasitesi ve kanal çakışması gibi parametreler doğru ve güvenilir bir şekilde analiz edilmiştir. Bu ölçümler ve analizler, ağın tasarlandığı şekilde uygulanmadığını ortaya koymuştur. Otomatik planlayıcı tarafından belirlenen konumların dışında AP yerleştirilmesi, bazı bölgelerde AP yetersizliğine neden olurken, birçok AP hedeflenen alanların dışına sinyal yaymıştır. Personel yoğunluğunun yüksek olduğu hedeflenen bölgelerde en iyi sinyal gücü -30 dBm olarak ölçülürken, daha uzak bölgelerde sinyal gücünün -67 dBm ile -85 dBm arasında düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle -85 dBm seviyelerinde bağlantı sürekliliği sorunları ve kesintiler yaşanması muhtemeldir. SNR seviyelerinin ortalama 30 dB ve üzeri olduğu gözlemlenmiş ve bu değerlerin ideal bağlantı sağladığı belirlenmiştir. Kanal çakışması, mevcut ağdaki en önemli sorun olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, özellikle 2.4 GHz bandındaki sınırlı kanal sayısı nedeniyle sıkça görülmekte ve ağ performansını olumsuz etkileyen kanal çakışmalarına neden olmaktadır. 5 GHz frekans bandında geniş kanal kullanımına rağmen yoğun kanal çakışması gözlemlenmiştir. Kanal çakışmasının olduğu alanlarda, azalan ağ kapasitesi değerleri, düşen sinyal-gürültü oranı (SNR), paket kaybı ve artan gecikme süreleri gibi performans sorunları tespit edilmiştir.

Sonuçlara göre, AP yerleşimleri yeniden düzenlenmiş ve sinyal gücünün -67 dBm ile -85 dBm arasında olduğu bölgelere erişim noktaları eklenmiştir. Bu düzenleme ile tüm bina katlarında sinyal gücü hedeflenen seviyelere çıkarılmış ve bağlantı kesintisi sorunları önemli ölçüde azaltılmıştır. Sinyal gücü iyileştirmeleri, düşük sinyal gücü sorunlarını çözmekle kalmamış, düşük SNR (Sinyal-Gürültü Oranı) ve ikincil sinyal gücü değerlerini de iyileştirerek ağ performansını artırmıştır. Kanal çakışmasının yoğun olduğu bölgelerde, 2.4 GHz frekans bandındaki sınırlı kanal yapısı nedeniyle

bu banttaki yayın devre dışı bırakılmış ve girişimler önlenmiştir. 5 GHz frekans bandında ise geniş kanal kullanımından kaynaklanabilecek çakışmaları önlemek için kanal genişliği 20 MHz ile sınırlandırılmış ve her bir erişim noktası için kanal atamaları, birbirinden bağımsız ve çakışma yaratmayacak şekilde statik olarak yapılandırılmıştır. Her kat, ortalama 200 son kullanıcıya hizmet verecek kapasiteye yükseltilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda, Wi-Fi 7 teknolojisinin 320 MHz geniş kanal yapısının ve 6 GHz bandının yüksek yoğunluklu ortamlardaki avantajları araştırılabilir. Ayrıca, kanal optimizasyonu ve dinamik kaynak tahsisi gibi alanlarda yapay zeka destekli ağ yönetim sistemleri incelenebilir. Bu çalışmanın bulguları, doğru AP yerleşiminin ve kanal yapılandırmasının ağ performansı üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Zayıf sinyal alanlarını iyileştirme ve girişimleri azaltmaya yönelik stratejiler, ağın kararlılığını artırmış ve sürekli bağlantıyı sağlamıştır. Güvenlik açısından, kararlı bir ağ tasarımı, yetkisiz erişim ve veri kaybı gibi riskleri azaltarak güvenli iletişim ortamlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- AirMagnet® Survey Pro wireless design & site survey analysis software.* (2023). <https://www.netally.com/wp-content/uploads/AirMagnet-Survey-Pro-Datasheet.pdf>
- Al Shourbaji, I. (2013). *An overview of wireless local area networks (WLAN).*
- Ali-Yahiya, T., Sethom, K., & Pujolle, G. (2007). Seamless continuity of service across WLAN and WMAN networks: Challenges and performance evaluation. *2007 2nd IEEE/IFIP International Workshop on Broadband Convergence Networks, BcN*. <https://doi.org/10.1109/BCN.2007.372737>
- Aneke, C., Akpan Jacob, H., Constance, K., & Chikezie Samuel, A. (2019). *Application of Ekahau real time location software for the calibration of test beds for wireless network-base asset location management system.* 5. www.jmess.org
- Arora, S., Vatti, R., & Somkuwar, V. (2017). Removal of dead zones in WiFi network. 4, 2394–0697. <https://www.researchgate.net/publication/344570389>
- Aytuğ, Y. M. (2012). *Telsiz duyurga ağlarda enerji farkındalıklı yönlendirme mimarisi tasarımı ve gerçekleştirilmesi [Doktora tezi, Fırat Üniversitesi].*
- Oksman, E. (2023). *Building a testing platform for wireless location services.*
- Bytyqi, S., Jashari, B., Bytyqi, S., & Jashari, B. (2024). Experimental assessment of the effects of building materials on Wi-Fi signal 2.4 GHz and 5 GHz. *Journal of Computer and Communications*, 12(5), 1–10. <https://doi.org/10.4236/JCC.2024.125001>
- Channels and channel planning | FortiLAN Cloud 24.2.0 | Fortinet Document Library.* (2024). <https://docs.fortinet.com/document/fortilan-cloud/24.2.0/fortilan-cloud-wi-fi-concept-guide/15862/channels-and-channel-planning>
- Dolinska, I., Jakubowski, M., & Masiukiewicz, A. (2017). Interference comparison in Wi-Fi 2.4 GHz and 5 GHz bands. *Proceedings of the International Conference on Information and Digital Technologies, IDT 2017*, 106–112. <https://doi.org/10.1109/DT.2017.8024280>
- Ekahau AI Pro: The most trusted solution for business-critical Wi-Fi design create fast and reliable networks with powerful AI tools and expert-level customization options.* (2024). www.ekahau.com
- Ekahau Sidekick 2.* (2023). www.ekahau.com
- Ekahau Site Survey & Heatmap Visualizations.* (2016). <https://www.ekahau.com/wp-content/uploads/2020/06/Ekahau-Site-Survey-Heatmap-Visualizations.pdf>
- Geier, J. T. (2005). *Wireless networks first-step.* 238. https://books.google.com/books/about/Wireless_Networks_First_step.html?hl=tr&id=kMSpNG2HHPsC

- Ghosh, J., Asif, M., Ghosh, A., & Roy, I. (2013). *Performance analysis of IEEE 802.16e WiMax physical layer*. www.ijert.org
- Gümüş, O. (2020). *Ağ cihazlarının web tabanlı yönetimi için uygulama yazılımı geliştirme [Yüksek lisans tezi] Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi*.
- Gundall, M., Huber, C., & Melnyk, S. (2021). *Integration of IEEE 802.1AS-based time synchronization in IEEE 802.11 as an enabler for novel industrial use cases*.
- How to accurately measure wall attenuation for the best Wi-Fi designs. (2024). <https://www.ekahau.com/blog/how-to-measure-wall-attenuation-for-spotless-wi-fi-network-designs/#Why-You-Should-Measure-Wall-Attenuation>
- IEEE SA - The evolution of Wi-Fi technology and standards. (2023). <https://standards.ieee.org/beyond-standards/the-evolution-of-wi-fi-technology-and-standards/>
- Kaljahi, N. E. (2021). *Performance evaluation of Wi-Fi networks*. <https://hdl.handle.net/11250/2774525>
- Kang, D. H., Sung, K. W., & Zander, J. (2013). Attainable user throughput by dense Wi-Fi deployment at 5 GHz. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, 3418–3422. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2013.6666739>
- Karaarslan, A. G. E., Teke, A., Şengonca, H., Üniv, E., Uluslararası Bilgisayar, E., & Bilgisayar, M. (2003). *Bilgisayar ağlarında güvenlik politikalarının uygulanması*.
- Koripi, M. (2021). A review on secure communications and wireless personal-area networks (WPAN). *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.3906607>
- Makki, A., Siddig, A., Saad, M., & Bleakley, C. (2015). Survey of WiFi positioning using time-based techniques. *Computer Networks*, 88, 218–233. <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2015.06.015>
- Mubashar, R., Siddique, M. A. B., Rehman, A. U., Asad, A., & Rasool, A. (2021). Comparative performance analysis of short-range wireless protocols for wireless personal area network. *Iran Journal of Computer Science*, 4(3), 201–210. <https://doi.org/10.1007/S42044-021-00087-1/METRICS>
- Nazir, R., Iaghari, A. A., Kumar, K., David, S., & Ali, M. (2022). Survey on Wireless Network Security. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(3), 1591–1610. <https://doi.org/10.1007/S11831-021-09631-5/METRICS>
- Own, C. M., Hou, J., & Tao, W. (2019). Signal fuse learning method with dual bands WiFi signal measurements in indoor Positioning. *IEEE Access*, 7, 131805–131817. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940054>
- Pahlavan, K., & Krishnamurthy, P. (2021). Evolution and impact of Wi-Fi technology and applications: A historical perspective. *International Journal of Wireless Information Networks*, 28(1), 3–19. <https://doi.org/10.1007/S10776-020-00501-8/FIGURES/7>

- Pendao, C., & Moreira, A. (2019). Automatic RF interference maps and their relationship with wi-fi positioning errors. *2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2019*. <https://doi.org/10.1109/IPIN.2019.8911745>
- Piva Supervisor, M., Zanella Co-Supervisor, A., Cavazzini Co-Supervisor, A., & Triani, G. (2022). *Planning and realization of a WiFi 6 network to replace wired connections in an enterprise environment*.
- Plan, survey, visualize & improve WiFi network with NetSpot. (2024). <https://www.netspotapp.com/features.html>
- Rabbany, A. A., Munadi, R., Syahrial, S., Meutia, E. D., Devanda, B., & Bahri, A. (2021). Analisis pengaruh co-channel interference terhadap kualitas Wi-Fi pada frekuensi 2,4 GHz. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 6(2), 31–35. <https://jurnal.usk.ac.id/kitektro/article/view/22127>
- Sharma, K., & Dhir, N. (2014). *study of wireless networks: WLANs, WPANs, WMANs, and WWANs with comparison*. www.ijcsit.com
- Shen, J., Xu, J., Cai, K., Suryani, A. T., & Pantjawati, A. B. (2018). Analysis of the coverage area of the access point using Netspot simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 384(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/384/1/012001>
- Soy, H., Özdemir, Ö., Bayrak, M., Mehmetbey Üniversitesi, K., Bilimler Meslek Yüksekokulu, T., Üniversitesi, F., & Mühendisliği Bölümü, E.-E. (2013). *Kablosuz yerel alan ağlarında güncel gelişmeler: IEEE 802.11ac ile yeni nesil gigabit Wi-Fi*.
- Suciu, G., Vulpe, A., Vochin, M., Mitrea, A., Anwar, M., & Hussain, I. (2018). Fading and Wi-Fi communication analysis using Ekahau heatmapper. *Proceedings - 16th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, EUC 2018*, 145–149. <https://doi.org/10.1109/EUC.2018.00029>
- Wi-Fi site survey tool site survey. (2024). www.acrylicwifi.com.
- Yavanoğlu, U., Kapkiç, A., Yağcı, S. T., Aktepe, C., Tunçer, G., Üniversitesi, G., & Bölümü, M. (2015). Kablosuz ağ cihazı erişim güvenliği ve farkındalık analizi: Ankara örneği. *Cilt:1, 1*, 11–19.
- Yılmaz, A., & Aslan, Z. (2024). 802.11ax teknolojisinin kablosuz ağ altyapılarındaki rolü ve geleceği: Performans, güvenlik ve yenilik. *Journal of Anadolu Bil Vocational School of Higher Education*, 19(69), 1–29. https://doi.org/10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v19i69001
- Zubow, A., & Sombrutzki, R. (2012). Adjacent channel interference in IEEE 802.11n. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, 1163–1168. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2012.6213952>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Berkay DAĞTAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Önlisans** : 2017, İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO
- **Lisans** : 2021, Sakarya Üniversitesi, Eğitim Fakültesi