




## 5G Baz İstasyonlarının Kapsama Alanına Yönelik Yol Kaybı Analizleri ve Konumlandırılması

### Path Loss Analyzes and Positioning for Coverage Area of 5G Base Stations

Mehmet Ali ÖZASLAN<sup>1\*</sup> , Yasin KARAN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8721-601X

<sup>2</sup> Fizik, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9148-1000

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 21/03/2020

Kabul Tarihi : 14/01/2021

#### Anahtar Kelimeler

5G  
Yol Kaybı  
Baz İstasyonu  
Milimetrik Dalga  
RSSI

#### Research Paper

Received Date : 21/03/2020

Accepted Date : 14/01/2021

#### Keywords

5G  
Path Loss  
Base Station  
Millimeter Wave  
RSSI

#### Özet

5G baz istasyonu altyapısı, 4G veya daha önceki nesiller için kullanılan baz istasyonlarından oldukça farklıdır. Halen kullanılan mobil hücresel ağlar 2700MHz'e kadar frekans bantlarını desteklerken, 5G teknolojisinde çok daha yüksek frekansların kullanılacağı planlanmıştır. Kısa dalga boylarına sahip radyo frekansı sinyalleri uzun mesafelerde yüksek oranda zayıflarlar. Bu nedenle geleneksel baz istasyonlarının performans analizindeki yol kaybı modelleri değil, 5G için farklı yol kaybı modelleri incelenmelidir. 5G frekansları için elde edilen yol kaybı modelleri halen geliştirilmektedir. Bu çalışmada, 5G baz istasyonlarının kapsama alanına yönelik yol kaybı modelleri incelenmiştir. Taşıyıcı frekans değerlerine göre 5G sinyalinin çekim mesafeleri çıkarılmıştır ve 5G baz istasyonu konumlandırılması yapılmıştır. Modeller arasında CI modeli frekansa çok az bağımlılık gösterdiğinden dolayı dış ortamlarda kullanılabilir. CIF modelinin yüksek frekanslarda CI modeline göre daha düşük yol kaybı gösterirken, ABG modeli iç mekanlarda yüksek frekanslı sinyallerin modellenmesinde kullanılabilir. Son olarak grafikler MATLAB simülasyonu kullanılarak çizdirilmiştir.

#### Abstract

The 5G base station infrastructure is quite different from the base stations used for 4G or earlier generations. While the currently used mobile cellular networks support frequency bands up to 2700MHz, much higher frequencies are planned to be used in 5G technology. Radio frequency signals with short wavelengths are highly attenuated over long distances. Therefore, different path loss models for 5G should be examined, not the path loss models in the performance analysis of traditional base stations. Path loss models for 5G frequencies are currently being developed. In this study, path loss models for the coverage area of 5G base stations are examined. According to the carrier frequency values, the coverage distances of the 5G signal are subtracted and 5G base station positioning has been done. Among the models, the CI model can be used outdoors because it shows little dependence on frequency. The CIF model showed lower path loss at higher frequencies than the CI model, and the ABG model can be used for modeling high frequency signals indoors. Finally, the graphics were drawn using the MATLAB simulator.

## 1. Giriş

Günümüzde hücresel ağlardaki mobil kullanıcı sayısı günden güne artmaktadır. Bu artışından dolayı küçük hücrelerin iç mekan alanları genişletilerek makro hücreleri tamamlayarak heterojen ağların gelişmesine yol açmaktadır. Heterojen ağların küçük hücreler için kullanılması operatörlerin ağ planlaması için önemli bir zorluktur. Kablosuz ağların planlaması tel tabanlı ağların

planlanmasından oldukça farklıdır. Burada özellikle dikkat edilmesi gereken özellikler vardır. Bunlar arasında önemli olan, kurulum alanındaki RF dalgasının nasıl yayılacağıdır. Kurulum sırasında bir baz istasyonu için görüş alanı önemli bir faktördür. Özellikle baz istasyonlarının plansız konumlandırılması yüksek girişime ve bu girişim ise aynı zamanda performans düşüklüğüne neden olabilir. Mobil haberleşme sistemlerinde ortam yapılarına yönelik kullanıcı (düğüm) yoğunluklarına göre farklı hücre yapıları

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): [ma.ozaslann@gmail.com](mailto:ma.ozaslann@gmail.com)



geliştirilmiştir. Yoğun nüfuslu ortamlarda baz istasyonu ile kullanıcılar arası iletişim yoğunluğu fazla iken, kırsal alanlarda daha azdır. Genel olarak sinyal zayıflaması kentsel bölgelerde daha fazla olurken, kırsal bölgelerde kentsel bölgeye göre daha az olmaktadır. Kentsel ortamlarda sinyalin daha fazla zayıflamasının başlıca nedenleri; yoğun binalaşma olduğundan dolayı kırınım, kırılım ve yansıma gibi faktörler daha fazla gerçekleşir ve bu etkiler sinyalin daha fazla zayıflamasına yol açar. Bu durum özellikle düğümler ile baz istasyonu arasındaki sıçrama mesafesi büyüdüğü zaman, baz istasyonuna iletilen toplam veri miktarı bakımından verimin düşmesine neden olabilmektedir. Bu problem, alanın çevresi boyunca konuşlandırılmış, çok sayıda baz istasyonunun kullanılmasıyla azaltılabilir. Böylece baz istasyonu ile alıcı arasındaki sıçrama mesafesi azaltılabilir, ayrıca bölgesel kullanıcı kapasitesi de arttırılır. Baz istasyonlarının konumu, hücreyel radyo ağlarının performansı için oldukça önemlidir [1]. Bu nedenle bir ağ planlanması veya baz istasyonu konumlandırma planlanması oluşturulurken verici anten yüksekliği, frekans, iletim gücü, sinyalin geliş, açısı gibi parametreler oldukça önemlidir. Alınan sinyal gücü göstergesi (*Received Signal Strength Indicator; RSSI*), iyi bir kablosuz bağlantı elde etmek için önemli bir ölçüttür. RSSI değerinin yüksek olması performansı ve iletim kalitesini arttırmaktadır. RSSI değeri istenen değerde olmadığında sinyal zayıflamaları ve sinyal kopmaları meydana gelebilir. Bu istenmeyen bir durum olup iletişimde bozulmalara sebep olur. 2G ve 3G’de iletimin sağlanabilmesi için RSSI değeri sırasıyla -100dBm ve -95dBm değerlerinden daha yüksek olmalıdır [2]. 5G’de geniş, alan için hassasiyet güç seviyesinin -95.3dBm, orta menzil için -90.3dBm ve yerel alan için ise -87.3dBm olduğu belirtilmektedir [3]. Ancak bazı durumlarda RSSI değeri iyi olsa bile veri hızı her zaman üst seviyelerde olamayabilir. Bunun sebebi ise o bölgedeki baz istasyonunun yükünün (mobil kullanıcı sayısı) ağır olmasından kaynaklanmaktadır. Şu anda kullanılan frekans spektrumu neredeyse (6GHz altı) dolmuştur. Bundan dolayı 5G’de yüksek frekanslara çıkılması amaçlanmıştır. Yüksek frekans değerlerine çıkılması, dalga boyunun küçüleceği anlamına gelir. Yüksek frekanslarda zayıflama arttığından ve buna bağlı olarak emilim etkileri de artacağından dolayı bu parametreler önemlidir. Bu nedenle, daha yüksek iletim kapasitesine ek olarak mm-dalga frekanslarındaki artan atmosferik zayıflamaları hesaba katmak için yüksek kazanç elde etmek ve RSSI değerlerini yüksek tutmak önemlidir. Bu çalışmada bu etkilere ve oluşumlara göre 5G baz istasyonlarının konumlandırılması yapılmıştır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

5G yol kaybı incelemesi için literatürde CI, ABG CIF ve FA modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada bu modeller farklı frekans bantları için kullanılarak karşılaştırılmıştır.

### A. Close-In (CI) Yol Kaybı Modeli

CI modeli, farklı mesafelerdeki ve uzamsal konumlardaki yol kaybını tahmin etmek için referans noktası olarak 1 metredeki serbest uzay yol kaybı (*Free Space Path Loss, FSPL*) modelini kullanan fiziksel olarak temelli bir modeldir [4]. CI modeli şu şekilde tanımlanır:

$$P_L^{CI}(f, d)[dB] = FSPL(f, d_0) + 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma^{CI} \quad (1)$$

burada  $n$  yol kaybı üssü (*Path Loss Exponent, PLE*),  $P_L(f, d_0)$  dB cinsinden FSPL yol kaybı,  $d_0$  1m ve  $X_\sigma^{CI}$  standart sapması  $\sigma$  dB olan sıfır ortalama Gaussian dağılımlı rastgele bir değişken olup gölgeleme etkisini temsil etmektedir.

### B. Frequency – Weighting (CIF) Yol Kaybı Modeli

CIF modeli, CI modeliyle aynı olan 1 m’de aynı FSPL referans noktasını kullanır. CIF modeli şu şekilde tanımlanır [5]:

$$P_L^{CIF}(f, d)[dB] = FSPL(f, d_{ref}) + 10n[1 + b(f - f_0/f_0)] \log_{10}(d) + X_\sigma^{CIF} \quad (2)$$

burada  $n$  yol kaybının mesafeye bağlı olduğu PLE değerini gösterir,  $b$  düşünülen tüm frekanslara göre lineer frekans bağımlı bir yol kaybı faktörüdür,  $f_0$  her bir belirli ortam ve senaryo için tüm ölçümlerin ağırlıklı frekans ortalamasıdır.

### C. Alpha-Beta-Gamma (ABG) Yol Kaybı Modeli

ABG çok frekanslı yol kaybı araştırması için kullanılır. ABG modeli, çeşitli frekanslardaki yol kaybını tanımlamak için frekansa ve mesafeye bağlı bir terim içerir. ABG şu şekilde tanımlanır [5]:

$$P_L^{ABG}(f, d)[dB] = 10\alpha \log_{10}(d/d_0) + \beta + 10\gamma \log_{10}(f/f_0) + X_\sigma^{ABG} \quad (3)$$

$\alpha$ , mesafeye bağlı yol kaybı faktörü,  $\gamma$  frekansa bağlı faktörü,  $\beta$  optimize edilmiş offset,  $f$  GHz cinsinde çalışma frekansı olup,  $f_0$  sabit bir referans frekansını temsil eder.  $X_\sigma^{ABG}$ , gölge solma parametresidir.

#### D. Frequency Attenuation (FA) Yol Kaybı Modeli

Yüksek frekanslı yol kaybını araştırmak için, belirli bir senaryoda ölçülen en düşük frekansın referans noktası olarak kullanıldığı frekans zayıflama yol kaybı modeli kullanılır. FA modeli şu şekilde tanımlanır [4]:

$$P_L^{FA}(f, d)[dB] = F_L(f_{ref}, d_0) + 10n_{ref} \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + XF(f) + X_{\sigma}^{FA} \quad (4)$$

burada  $F_L(f_{ref}, d_0)$ ,  $d_0$  yakınlık mesafesindeki ve  $f_{ref}$  referans frekansındaki yol kaybı,  $n_{ref}$ , bu yol kaybındaki PLE'yi temsil eder,  $XF(f)$ , dB cinsinden frekans zayıflama faktörüdür ve son olarak  $X_{\sigma}^{FA}$ , gölge sönümlenme parametresidir.

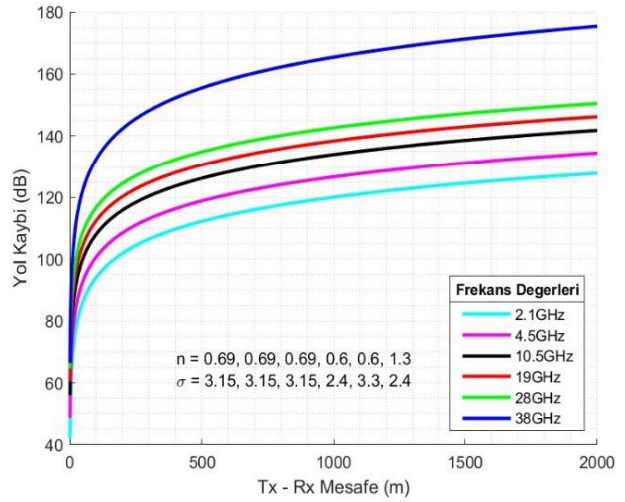
### 3. Bulgular ve Tartışma

Yol kaybı modellerinde en önemli parametrelerden birisi PLE değeridir. Çıkarılan formüllere bakıldığında PLE hassasiyetinin önemli bir parametre olduğu görülebilir. [1] ve [6] makalelerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına uygun PLE değerleri bu çalışmadaki frekanslara göre seçildi. Ayrıca PLE dışında önemli faktörler olan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ve  $\sigma$  değerleri de bu çalışmadaki frekanslara göre seçildi. Bu parametreler farklı modellerde ayrı ayrı öneme sahiptir. [7] makalesinde acil durumlar için merdiven arası boşluktan kaynaklanan yol kaybı değerlerini ve [6] makalesindeki kapalı ortamda yapılan çalışmalar sonucunda alınan yol kaybı değerlerine göre yol kaybı model parametreleri çıkarımı yapılmıştır. Bu çalışmada ise genelleştirilmiş, parametre değerleri arasından uygun değerleri seçerek bazı 5G frekanslarının yol kaybı benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Yol kaybı benzetimleri gerçekleştirilirken dört farklı model incelendi ve sonuçlar karşılaştırıldı. CI, ABG, CIF ve FA modellerinin 2.1GHz, 4.5GHz, 10.5GHz, 19GHz, 28GHz ve 38GHz frekansları için mesafeye bağlı yol kayıpları Şekil 1-4'te sırasıyla gösterilmektedir. 2.1GHz günümüzde kullanılan 4G frekans bandı, 4.5GHz frekansı 5G'de kullanılacak olan ilk frekans bandlarına yakın değer, 10.5GHz ve üstü için seçilen frekans bandları ise ilerleyen zamanlarda kullanılacak aday frekans bandları olduklarından dolayı bu değerler seçilmiştir.

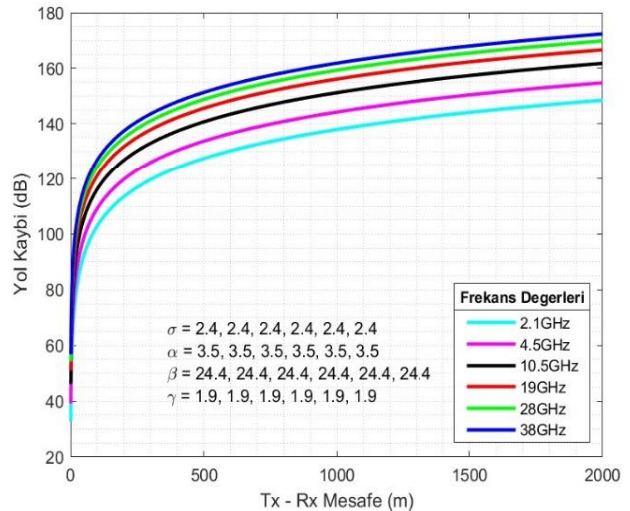
Benzetim sonuçlarına göre CIF modelinin bütün frekanslarda CI modeline göre daha düşük yol kaybı gösterdiği sonuçlardan çıkarılmıştır. Bunun anlamı ise CIF modelinin iç mekanlarda ve daha uzun mesafeler için uygun olduğu söylenebilir. ABG modeli, ABG optimizasyon faktörü ile frekansa doğrudan bağlı olduğu için ve iyi parametre sağladığından dolayı iç ortamlarda kullanılabilir model olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak bina üzerine veya açık alana kurulacak olan 5G baz istasyonlarının yol kaybı CI model ile uygun konumlara yerleştirilebilir. Benzer şekilde kapalı alanlara (iç ortam) kurulacak olan bir 5G baz istasyonu ABG ve CIF modelleri ile yol kaybı modeli çıkarılabilir.

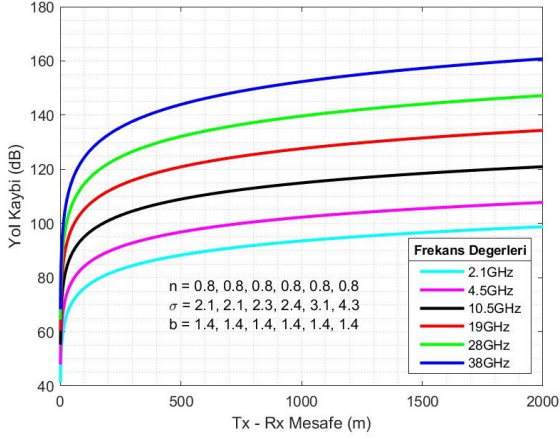
Tablo 1-6'da, 5G kanal modellerinde farklı mesafelerdeki 50dBm verici gücüne göre yol kayıpları ve RSSI değerleri sırasıyla 2.1GHz, 4.5GHz, 10.5GHz, 19GHz, 28GHz ve 38GHz frekans değerleri için verilmiştir. Mikro hücrelerde kapsama alanı 0.2-2km olarak alınmaktadır [8]. Buradan yola çıkarak bir mikro hücredeki mesafe değerleri baz alınarak benzetimler gerçekleştirildi.



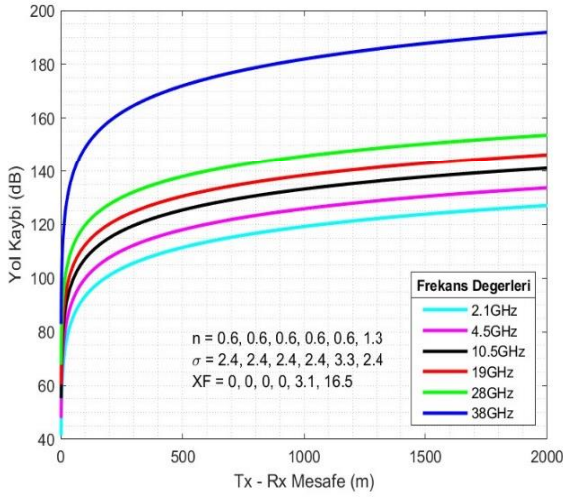
Şekil 1. CI modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı



Şekil 2. ABG modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı



Şekil 3. CIF modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı



Şekil 4. FA modelinde farklı frekansların mesafeye bağlı yol kaybı

Tablo 1. 2.1GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	94.04	76.12	102.92	93.29
480	111.75	87.99	126.76	110.99
860	118.33	92.40	135.63	117.58
1240	122.46	95.17	141.19	121.72
1620	125.48	97.19	145.25	124.73
2000	127.86	98.74	148.46	127.11
RSSI(dBm)				
100	-44.04	-26.12	-52.92	-43.26
480	-61.75	-37.99	-76.77	-61.00
860	-68.33	-42.40	-85.63	-67.58
1240	-72.47	-45.17	-91.19	-71.71
1620	-75.48	-47.19	-95.25	-74.73
2000	-77.86	-48.79	-98.46	-77.11

Tablo 2. 4.5GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	100.66	84.16	109.21	99.91
480	118.37	96.51	133.05	117.62
860	124.95	101.10	141.92	124.21
1240	129.08	103.99	147.48	128.33
1620	132.10	106.08	151.54	131.35
2000	134.48	107.74	154.75	133.74
RSSI(dBm)				
100	-50.67	-34.16	-59.91	-49.91
480	-68.34	-46.51	-83.05	-67.62
860	-74.95	-51.09	-91.92	-74.20
1240	-79.08	-53.99	-97.48	-78.33
1620	-82.10	-56.08	-101.54	-81.35
2000	-84.48	-57.74	-104.75	-83.73

Tablo 3. 10.5GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	108.01	95.05	116.20	107.26
480	125.73	108.61	140.05	124.98
860	132.31	113.65	148.91	131.56
1240	136.44	116.81	154.47	135.69
1620	139.46	119.11	158.53	138.71
2000	141.84	120.94	161.74	141.09
RSSI(dBm)				
100	-58.02	-45.05	-66.20	-57.26
480	-75.73	-58.61	-90.04	-74.98
860	-82.31	-63.65	-98.91	-81.56
1240	-86.44	-66.81	-104.42	-85.69
1620	-89.46	-69.12	-108.53	-88.71
2000	-91.84	-70.94	-111.74	-91.09

Tablo 4. 19GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	112.42	105.22	121.09	112.42
480	130.13	120.48	144.94	130.13
860	136.71	126.15	153.80	136.71
1240	140.84	129.71	159.37	140.85
1620	143.86	132.31	163.43	143.86
2000	146.24	134.36	166.63	146.26
RSSI(dBm)				
100	-62.42	-55.22	-71.10	-62.42
480	-80.13	-70.48	-94.94	-80.13
860	-86.71	-76.15	-103.80	-86.71
1240	-90.85	-79.71	-109.34	-90.84
1620	-93.86	-82.31	-113.43	-93.86
2000	-96.24	-84.36	-116.63	-96.24

**Tablo 5.** 28GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	116.68	114.59	124.29	119.78
480	134.39	131.66	148.13	137.50
860	140.98	138.00	157.00	144.08
1240	145.11	141.98	162.56	148.22
1620	148.13	144.89	166.62	151.23
2000	150.51	147.18	169.83	153.61
RSSI(dBm)				
100	-66.68	-60.59	-74.30	-69.74
480	-84.40	-81.66	-98.14	-87.50
860	-90.98	-88.00	-107.00	-94.08
1240	-95.11	-91.98	-112.57	-98.21
1620	-98.13	-94.89	-166.63	-101.23
2000	-100.52	-97.18	-119.83	-103.71

**Tablo 6.** 38GHz için farklı modellerdeki farklı mesafelerdeki yol kayıpları ve RSSI değerleri

Mesafe (m)	Yol Kayıpları (dB)			
	CI	CIF	ABG	FA
100	132.43	124.34	126.81	148.94
480	154.92	143.41	150.65	171.42
860	163.27	150.50	159.52	179.77
1240	168.52	154.95	165.08	185.02
1620	172.35	158.20	169.14	188.85
2000	175.37	160.77	172.35	191.87
RSSI(dBm)				
100	-82.44	-74.34	-76.82	-98.94
480	-104.92	-93.41	-100.66	-121.42
860	-113.27	-100.50	-109.53	-129.77
1240	-118.52	-104.95	-115.09	-135.02
1620	-122.35	-108.22	-119.15	-138.85
2000	-125.37	-110.77	-122.35	-141.87

Bir baz istasyonunun RSSI değeri, anten iletim gücünden yol kaybı çıkarılarak bulunabilir. 5G baz istasyonunun iletim gücü MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) için 50dBm ve 5G'de olması gereken en düşük RSSI değeri üç alan için farklıdır ve bu değerler sırasıyla, geniş alan, orta menzil ve yerel alan için -95.3dBm, -90.3dBm ve -87.3dBm'dir [3]. İlk frekans olan 2.1GHz'de Tablo 1'den görüleceği üzere sadece ABG modelinin 2000m'deki sinyal değeri oldukça zayıflamaktadır. 4.5GHz'de ABG modeline göre 1240m ve üzeri mesafelerde sinyal seviyesi limit değerinin altındadır. Bunun anlamı ise ABG modeline göre bir baz istasyonunun iletim mesafesi bu mesafenin üzerine çıkamaz. 10.5GHz'de yine ABG modelinde 860m ve üzeri mesafelerde sinyal oldukça zayıflamaktadır.

CI ve FA modeline göre 2000m'deki sinyal değerleri kritiktir. 19GHz'de ABG modelinde 480m ve üzeri mesafelerde sinyalin yine oldukça zayıfladığı görülmektedir. CI ve FA modeline göre sinyalin 2000m'deki RSSI değerleri zayıf olduğundan bu sinyaller başarılı bir şekilde alınmaz. 28GHz'de CI 1240m'de kritik degerde iken 860m ve üzeri mesafelerde CIF ve ABG

modelinden sinyal alınmaz. FA modelinde ise 1620m ve üzeri mesafelerde sinyal gücü yeterli değildir. Son olarak ise 38GHz'de neredeyse bütün modeller için sinyal 480m'den sonra kopmaktadır. Spesifik olarak elde edilen benzetim sonuçlarına göre, CI modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 19GHz'de 1840m, 28GHz'de 1261m, 38GHz'de 246m olarak bulunmuştur.

CIF modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 28GHz'de 1682m, 38GHz'de 561m'dir.

ABG modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 2.1GHz'de 1625m, 4.5GHz'de 1075m, 10.5GHz'de 679m, 19GHz'de 492, 28GHz'de 399m ve 38GHz'de 338m'dir.

Son olarak FA modelinde minimum RSSI değeri -95.3dBm için maksimum baz istasyonu kapsama mesafesi 19GHz'de 1840m, 28GHz'de 958m ve 38GHz'de 78m olarak bulunmuştur.

#### 4. Konumlandırmaya Yönelik Çalışmalar

Makro, mikro ve küçük 5G baz istasyonları mevcut olan 4G/LTE baz istasyonları ile birlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Makro hücrelerin kapsama alanları 8 – 30km ve kullanıcı sayısı 2000 kişiden fazladır, mikro hücrelerin kapsama alanları 0.2 – 2km ve kullanıcı sayısı 1000 ile 2000 kişi arasındadır, piko hücrelerin kapsama alanları 100 – 200m ve kullanıcı sayısı 30 ile 100 kişi arasındadır ve femto hücreler ise kapsama alanları 10 – 100m ve kullanıcı sayısı 1 ile 30 kişi arasındadır [8]. Makro bir 4G hücresinin kapsama alanları 5 – 32km, mikro hücrelerin 1 – 2km, piko hücrelerin 200m ve femto hücrelerin ise 10m'dir [9]. Bir TDMA (*Time Division Multiple Access*) için kanal kapasite kullanıcı sayısı bant genişliğine, kanal bant genişliğine ve zaman dilimi (*timeslot*) kullanıcı sayısına bağlıdır. GSM tasarımı, AMPS'lerle (*AMPS, Advanced Mobil Phone System*) aynı olan uplink ve downlink için 25MHz bant genişliği kullanır. Bu bant genişliği, her biri 200kHz olan 125 TDMA kanalına bölünür. Her TDMA kanalı 8 kullanıcı zaman diliminden oluşur. GSM sisteminde desteklenebilecek toplam kullanıcı sayısı,

$$N = \frac{25\text{MHz}}{200\text{kHz}} \cdot 8 = 1000 \quad (5)$$

kullanıcı olarak bulunur. Bu, bir GSM sisteminde toplamda ortalama 1000 kullanıcının desteklenmesi anlamına gelir.

Bir WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) sektör taşıyıcısı (bir sektör anten için 5MHz) 80 – 100 sesli çağrıyı yönetebilir [10]. Bu, bir sektör taşıyıcısının 80 – 100 kişi için sesli yönlendirme yapabilmesi anlamına gelir. Tipik bir mikro hücrede (3 sektör, 1 taşıyıcı) genellikle 120° açıyla yerleştirilmiş, 3 adet

sektör anteni bulunur. Böylece 3 sektör anteni toplamda 240 – 300 kişiye hizmet verebilir. 6 sektör ve 2 taşıyıcıdan oluşursa toplam 960 – 1200 kişiye sesli yönlendirme yapabilir.

$$AK = \frac{\text{pop\_density} \cdot \frac{\text{adoption\_market\_share}}{100}}{\text{OBF}} \quad (6)$$

burada AK, aktif kullanıcı sayısı, pop\_density, ilgilenilen alanın popülasyon yoğunluğu, %79'luk bir telefon adoption kullanılır, %30'luk bir pazar payı (market share) kullanılır, OBF (overbooking factor) ise bu hesaplama birden fazla kullanıcıların yalnızca bir kısmının ağı tek bir noktada (dolayısıyla geçici ortalama) kullandıkları göz önüne alındığında, burada 50:1 olduğu varsayılmaktadır [11]. Kampüsteki toplam öğrenci ve ilgilenilen alandaki toplam kişi sayısı 14093 kişi olarak belirlenmiştir. Gün içerisinde kampüsteki öğrencilerin ve personellerin tamamı fakültelerde veya ilgili yerlerde olmayabilir. Bu yüzden toplam tahmini olarak öğrenci ve akademik personel sayısı,

$$KS = \frac{95}{100} \cdot \frac{80}{100} \cdot 6280 + \frac{60}{100} \cdot 496 = 5070 \quad (7)$$

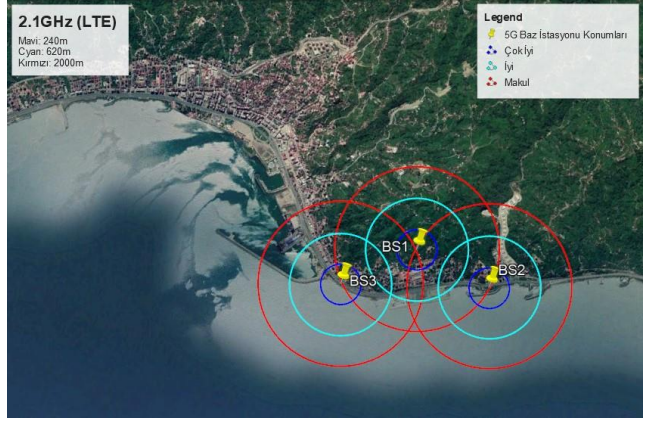
burada KS kullanıcı sayısı, 6280 kampüsteki toplam öğrenci sayısı ve 496 kişi ise toplam personel sayısı olarak belirlenmiştir. Buradan ilgilenilen alanın tamamı alınırsa aktif kullanıcı sayısı,

$$AK = \frac{(5070+5898) \cdot \frac{75}{100} \cdot \frac{30}{100}}{35} \cong 71 \quad (8)$$

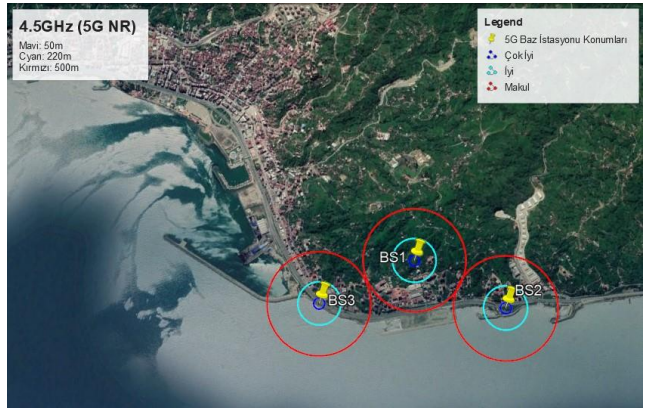
Bu durumda anlık olarak bir baz istasyonu yaklaşık olarak 71 kişiye aynı anda hizmet vermektedir. Bu durumda ara bölgelerde (plain space) kalan kullanıcılara hizmet verilebilmesi için en az bir tane daha sektör konulması gerektiği önerilir (3 sektör anteni 240 kişiye hizmet veriyor ise bir sektör anteni 80 kişiye hizmet verir. Bu durumda 71 kullanıcı için bir tane daha sektör anteni gerekir).



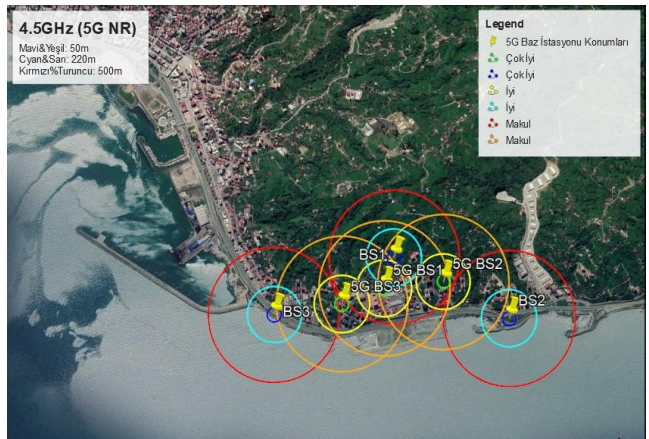
Şekil 5. Mevcut konuma kurulacak olan 5G baz istasyonu için örnek bir LTE baz istasyonu



Şekil 6. Mevcut LTE baz istasyonları ve kapsama alanları



Şekil 7. Mevcut LTE baz istasyonları konumuna kurulacak olan 5G baz istasyonları



Şekil 8. Önerilen 5G baz istasyonları

Şekil 5'te Rize sahilindeki mevcut bir baz istasyonu gösterilmiştir. 5G baz istasyonunun kurulması gereken muhtemel konum olarak düşünülmektedir. Çünkü yeni bir istasyonun kurulması telekom şirketleri için zorunlu olmadıkça istenmeyen bir durumdur. Mevcut konumu belli olan 5G baz istasyonlarının dışında önerilen 5G baz istasyonlarının konumları ve kapsama alanları Şekil 8'deki görselde önerilen yeni baz istasyonları 5G BS1, 5G BS2 ve 5G BS3 şeklinde verilmiştir. Buradaki 3 adet baz istasyonu (BS1, BS2 ve BS3) daha önceden konumlandırılmış, baz

istasyonlarıdır. Diğer 3 adet baz istasyonu (5G BS1, 5G BS2 ve 5G BS3) ise kullanıcılara yeterli hizmeti sağlaması için çalışmaların sonuçlarına göre önermede bulunulan yeni 5G baz istasyonlarının konumlarıdır. Şekil 6'da mevcut LTE baz istasyonları ve kapsama alanları görülmektedir. Çalışmada, üniversitenin çevresindeki baz istasyonları referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'deki görselede mevcut olan LTE baz istasyonları ile aynı konuma kurulacak olan 5G baz istasyonlarının kapsama alanları verilmiştir. 5G baz istasyonlarının kapsama alanları Şekil 6 ile karşılaştırıldığında LTE baz istasyonlarının kapsama alanlarına kıyasla daha küçük olduğu yapılan çalışmalardan çıkarılmıştır. Dolayısıyla 5G baz istasyonları LTE baz istasyonlarının hizmet verdiği kapsama alanındaki kullanıcıların tamamına hizmet veremez. Bundan dolayı ara bölgelerde kalan kullanıcılara hizmet verilebilmesi için yeni baz istasyonlarının kurulması gerekir. Mevcut olan 4G baz istasyonları kulesine kurulacak olan ve çalışmalar sonucunda önerilen 5G baz istasyonları konumları ve kapsama alanları Şekil 8'deki gibi önerilmiştir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada 2.1GHz, 4.5GHz, 10.5GHz, 19GHz, 28GHz ve 38GHz frekanslarında dört farklı model için yol kaybı modelleri incelendi. Bu çalışmaların sonucunda PLE'ye bağlı olan modeller arasında CI modeli frekansa çok az bağımlılık gösterdiğinden dolayı dış ortamlar için en uygun model olduğu söylenebilir. CIF modelinin yüksek frekanslarda CI modeline göre daha düşük yol kaybı gösterdiği sonuçlardan çıkarılmıştır. Bunun anlamı ise CIF modelinin iç mekanlarda ve uzun mesafe için uygun olduğu düşünülmektedir. ABG modeli, iç mekanlarda yüksek frekanslı sinyallerin modellenmesinde kullanılabilir. Bu çalışmadaki yol kaybı verileri ile [6] ve [12] çalışmasındaki yol kaybı verileri grafiklerden anlaşıldığı üzere yakın değerlerin çıktığı görülmektedir. Yine bu çalışmadaki RSSI değerleri ile [13] çalışmasındaki RSSI değerlerinin de birbirlerine oldukça yakın (örneğin  $d = 100m$ ) değerlerin çıktığı tablolardan yorumlanabilir. Ayrıca, belirtilen frekanslar için incelenen modellere göre kapsama mesafeleri de çıkarılmıştır. Çıkarılan mesafelere göre 5G baz istasyonlarının konumlandırılması yapılmıştır. İlk kullanılacak olan 5G frekans değerleri 6GHz altı, yani 3.5GHz civarlarında olacağından dolayı yol kaybı değerleri 4G baz istasyonlarında meydana gelen yol kaybı değerlerine göre daha fazla olduğu sonuçlardan çıkarılmıştır. Bundan dolayı 4G baz istasyonlarının bulunduğu konuma kurulacak olan 5G baz istasyonları yeteri kadar kullanıcıya hizmet sağlayamaz. Bu yüzden mevcut konumların dışında, farklı konumlara 5G baz istasyonlarının kurulması şart olacaktır. Daha sonraki 6GHz üstü frekans spektrumunda kullanılacak olan 28GHz frekans bantlarındaki değerler için aynı

açıklama geçerli olup yine bu çalışmalardan 5G baz istasyonu konumlandırılması yapılabilir. Bu frekans değerleri yüksek olduğundan dolayı yol kaybı değerleri de yüksek olacaktır ve daha fazla baz istasyonu kurulması gerekecektir. Bu çalışmada 4.5GHz bandında da meydana gelen yol kaybı değerleri çıkarılmıştır ve çıkarılan değerlere göre de 5G baz istasyonlarının konumlandırılmalarına yönelik önermeler yapılmıştır.

## Çıkar Çatışması Beyanı:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

## Etik Standartlar Beyanı:

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

## Kaynaklar

- [1] Al-Samman A., Rahman T., Azmi M., Hindia M., Khan I., Hanafi E., 2016. Statistical modelling and characterization of experimental mm-wave indoor channels for future 5g wireless communication networks. PloS one, 11(9): e0163034.
- [2] "Teltonika, mobile signal strength recommendations." [Online]. Available: <https://wiki.teltonika-networks.com>, December 13 2019.
- [3] Bakhtin A., Omelyanchuk E., Mikhailov V., Semenova A., 2019. 5g base station prototyping: Architectures overview. 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Saint Petersburg and Moscow, Russia, pp. 1564–1568.
- [4] Al-Samman A. M., Abd Rahman T., Azmi M. H., 2018. Indoor corridor wideband radio propagation measurements and channel models for 5g millimeter wave wireless communications at 19 ghz, 28 ghz, and 38 ghz bands. Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.
- [5] Haneda K., Zhang J., Tan L., Liu G., Zheng Y., Asplund H., Li J., Wang Y., Steer D., Li C., et al., 2016. 5g 3gpp-like channel models for outdoor urban microcellular and macrocellular environments. 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, China, pp. 1-7.
- [6] Sun S., Rappaport T. S., Thomas T. A., Ghosh A., Nguyen H. C., Kovács I. Z., Rodriguez I., Koymen O., Partyka A., 2016. Investigation of prediction accuracy, sensitivity, and parameter stability of large-scale propagation path loss models for 5g wireless communications. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65(5), 2843–2860.

- [7] Al-Samman A., Rahman T., Azmi M., Nasir J., 2018. Path loss model for indoor emergency stairwell environment at millimeter wave band for 5g network. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 26(6), 3024–3032.
- [8] T. Nguyen, “Small cell networks and the evolution of 5g.” [Online]. Available: "<https://www.qorvo.com/>, December 13 2019.
- [9] “What is amobile base station.” [Online]. Available: "<https://www.mobilenetworkguide.com.au/>, February 9 2020.
- [10] “How big of an area and how many people does one cell tower usually cover?.” [Online]. Available: "<https://www.quora.com/>, February 9 2020.
- [11] Oughton E. J., Frias Z., van der Gaast S., van der Berg R., 2019. Assessing the capacity, coverage and cost of 5g infrastructure strategies: Analysis of the netherlands. Telematics and Informatics, 37, 50–69.
- [12] Sun S., Rappaport T. S., Rangan S., Thomas T. A., Ghosh A., Kovacs I. Z., Rodriguez I., Koymen O., Partyka A., Jarvelainen J., 2016. Propagation path loss models for 5g urban micro-and macro-cellular scenarios. 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, China, pp. 1–6.
- [13] Nassar A. T., Sulyman A. I., Alsanie A., 2015. Radio capacity estimation for millimeter wave 5g cellular networks using narrow beamwidth antennas at the base stations. International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2015.