

## 5G ve Ötesi Sistemler için Mm-Dalga İletişimi

Büşra CENİKLİOĞLU<sup>1\*</sup>, İbrahim DEVELİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği/Mühendislik Fakültesi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Türkiye.

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği/Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Türkiye.

\*[bceniklioglu@nny.edu.tr](mailto:bceniklioglu@nny.edu.tr)

**Özet** –2020 yılına kadar büyük veri gereksinimi ile birlikte kullanıcı sayısının hızlı bir şekilde artmaktadır. Yeni nesil hücresel iletişim teknolojilerinin bu veri trafiği ile beraber daha yüksek veri hızlarını desteklemesi beklenmektedir. Yaklaşan 5.nesil (5th Generation, 5G) standartlarından beklentiler arasında birçok farklı hizmetin desteklenmesi, veri hızlarının yaklaşık 1000 kat artması, ultra düşük gecikme süresi ve enerji/maliyet verimliliği bulunmaktadır. Bu beklentileri karşılamak için araştırmacılar, farklı katmanlarını içeren çeşitli potansiyel teknolojileri araştırmakta ve muhtemel 5G senaryoları için bu teknolojilerin etkileşimlerini tartışmaktadırlar. 1000 kat daha fazla mobil veri trafiğini için 30-300GHz frekans aralığındaki milimetre dalga bandı (mm-dalga), 5G mobil iletişim sistemlerinde ortaya çıkan yeni radyo bantları arasında aday olarak kabul edilmektedir. Mm-dalga bandı kullanılarak 5G mobil iletişim sistemlerinin kapasitesi geliştirilebilir ve sistem tarafından sunulan mobil cihazlar yüksek hızlı iletimle daha iyi servis ortamları sağlayabilir. Bu çalışmada 5G mm-dalga iletişim sisteminin servisleri, uygulamaları, gereksinimleri, zorlukları ve standartları ele alınacaktır.

**Anahtar Kelimeler** –Kablosuz İletişim, 5. Nesil Haberleşme, Yüksek Veri Hızı, Veri Trafiği, Mm-Dalga.

## Mm-Wave Communications for 5G and Beyond Systems

**Abstract** –By 2020, it is expected that the number of users is increased rapidly with the need for big data. Next generation cellular communication technologies are expected to support higher data rates with this data traffic. Expectations from the upcoming 5th generation (5G) standards include supporting many different services, increasing data rates by about 1000 times, ultra low latency and energy/cost efficiency. To meet these expectations, researchers are exploring a variety of potential technologies involving different network layers and discussing their interactions for possible 5G scenarios. Millimeter waveband (mm-wave) in the frequency range 30-300GHz for 1000 times more mobile data traffic is recognized as a candidate among the emerging new radio bands for 5G mobile communication systems. By using the mm-waveband, the capacity of 5G mobile communications systems can be improved and the mobile devices provided by the system can provide better service environments with high speed transmission. In this study, the services, applications, requirements, difficulties and standards of 5G mm-wave communication system are discussed.

**Keywords** –Wireless Communication, 5th Generation Communication, High Data Rate, Data Traffic, Mm-Wave.

### I. GİRİŞ

Bugün kablosuz iletişim gündelik hayatın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. İnsanlar kendi gereksinimlerine göre farklı mobil hizmet türlerini kullanmaktadır. Geçmişteki kablosuz ağlar, öncelikli olarak belirli bir hizmeti (örneğin ses/video akışları) gerçekleştirmek için geliştirilmiş olup diğer hizmetleri desteklenmiştir (örneğin İnternet taraması). Bununla birlikte; insansız hava araçları, robotlar, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı şebekeler/binalar/şehirler, artırılmış gerçeklik, mobil sosyal hizmetler ve her yerden kumanda edilmek istenen sistemlerin geliştirilmesi istenmektedir. Her kablosuz iletişim sisteminin düşük maliyette olması ve yüksek veri hızı sağlaması istenmektedir.

Son 10 yılda hızla gelişen kablosuz iletişim sistemleri; yüksek hızlı veri aktarımı, video akışı, internet ve ses ile birlikte çok çeşitli uygulamaları entegre etmek için düşük BER (bit hata oranı), geliştirilmiş spektrum verimliliği ve gürültüden az etkilenme gibi gereksinimleri sağlamalıdır. Günümüzün haberleşme sistemleri; kablosuz cihazlar için yüksek kaliteli, düşük gecikmeli iletim ve multimedya uygulamaları sunmaya çalıştıklarından, 700 MHz ile 2.6 GHz

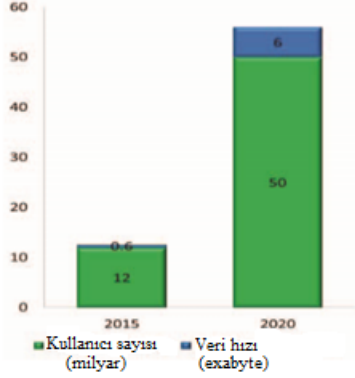
arasında değişen bir taşıyıcı frekans spektrumuyla sınırlı kalmaktadırlar [1]. Dünya çapındaki mobil telefonlardan akıllı telefonlara ve tabletlere geçişle birlikte, ortalama veri oranlarını artırarak ek veya yeni spektrum yoluyla genel sistem kapasitesini artırmaya yönelik ek yollara bakmak zorunda kalmıştır [2].

2018 yılından itibaren, 5G (5. Nesil) mobil iletişim dünya çapında artan bir ilgi toplamaktadır. Son birkaç yıldır 5G vizyonu ve bununla bağlantılı saniyede multigigabit seviyesindeki yüksek veri hızı, uçtan uca gecikme süresinin 1 ms'den daha düşük olması, kilometrekare başına cihaz sayısı, metrekare başına saniyede bit sayısı bakımından da büyük kapasiteye ihtiyaç duyulması gibi temel gereksinimler çok sayıda araştırmacının odak noktası olmuştur [3]. Ayrıca, ilave spektruma erişmek için 6 GHz üzerinde taşıyıcı frekanslar üzerinde yapılan çalışmalar artmaktadır. Tüm gereksinimlerin eş zamanlı olarak karşılanması gerekmez de, 5G ağlarının ve kablosuz erişiminin tasarımı kullanım koşullarına bağlı olarak tanımlanan gereksinimlerin bir kısmını karşılayan çeşitli uygulamaların desteklenmesi için esneklik sağlamalıdır [2]. 2020 yılına kadar piyasaya 5G milimetre dalga (mm-dalga) iletişim sisteminin kullanıma hazır hale

getirmek için araştırma ve geliştirme çalışmaları başlatılmıştır. 5G mm-dalga iletişim sistemi geçici olarak 'IMT-2020' olarak adlandırılabilir.

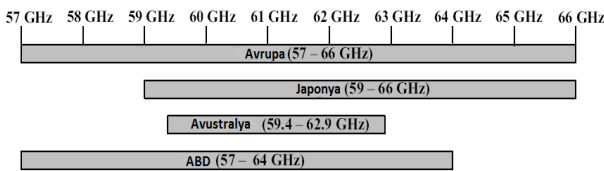
- 100 milyar cihaz ve daha fazlası
- 100 Gb/sn

Talep ve ihtiyaca göre kullanıcı sayısı, 2020 yılına kadar büyük veri gereksinimi ile birlikte hızlı bir şekilde artacak ve bu gereksinim Şekil 1'de gösterildiği gibi, 5G mm-dalga iletişim sistemi tarafından giderilecektir.



Şekil 1. Mobil trafik ve bağlantılı kullanıcı sayısındaki artış.

2003 yılında Avrupa Radyo İletişim Komitesi (ERC), Avrupa frekans tahsisleri ve kullanımları tablosunu revize etmiştir [4]. ERC, 57–59 GHz bandının sabit servisler için frekans planlaması gerektirmeden kullanımı üzerinde de çalışmıştır [5]. Daha sonra Elektronik Haberleşme Komitesi (ECC) 64-66 GHz bandında noktadan noktaya sabit servislerin kullanılmasını tavsiye etmiştir [6]. Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI), Kablosuz Kişisel Alan Ağı (WPAN) uygulamaları için 60 GHz çalışma sahasını önermiştir [7]. Bu öneri kapsamında 9 GHz lisanssız bir spektrum 60 GHz çalışması için tahsis edilmiştir. Düşünülen frekans bandı 57–66 GHz'dir. Spektrum dağılımı, Şekil2 ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde lisanstan muaf kullanım için onaylanan ve Çin Cumhuriyeti ile Kore Cumhuriyeti'nde tahsis edilmesi önerilen gruplardır. Bu ülkelerdeki mevcut spektrum paylaşım çalışmaları ve diğer analizler, bu frekansların dünya genelinde ticari, askeri ve bilimsel kullanımlarının ihtiyaçlarını göz önüne almak için bir model olabilir.



Şekil 2. Coğrafi olarak mevcut 60 GHz spektrumu.

Tablo 1. 60 GHz'te Uluslararası frekans tahsisi.

Bölge	Lisanssız Bant genişliği (GHz)	Max. Tx Gücü	Max. Anten Kazancı
Avrupa	9 GHz (57–66) min 500 MHz	20 mW	37 dBi
Japonya	7 GHz (59–66) max 2.5 GHz	10 mW	47 dBi
Kore	7 GHz (57–64)	10 mW	-
Almanya	1 GHz (57.1–57.8) (58.6–58.9)	50 mW	-
ABD	7 GHz (57–64)	500 mW	-

## II. MİLİMETRE DALGA KARAKTERİSTİKLERİ

Mm-dalga iletişim sistemlerinin detaylı analizinden önce mm-dalgaların özelliklerinden bahsedilmektedir. Mm-dalganın dalga boyu genellikle 10 ile 1 mm olarak kabul edilir. Yani dalga boyu olarak kıyaslandığında kızılötesi dalgalarından veya X ışınlarından daha büyük ancak radyo dalgalarından veya mikrodalgalarından daha küçük dalga boyuna sahip olduğu söylenebilir. Elektromanyetik spektrumun mm-dalga bölgesi 30–300 GHz frekans aralığına karşılık gelir ve aynı zamanda bu bölge aşırı yüksek frekans (EHF) aralığı olarak da adlandırılır.

Mm-dalga aşağıdaki önemli avantajları sunarak yüksek hızlı internet, veri ve ses iletişimi için kullanılabilir:

1. Lisanssız işlem — Federal İletişim Komisyonundan (FCC) lisans alınması gerekmez.

2. Yüksek güvenli çalıştırma — Oksijen emilimi, dar anten demet genişliği ve zayıflama nedeniyle kısa iletim mesafeleri sağlar.

3. Yüksek frekansın yeniden etkin kullanımı — Küçük bir coğrafi bölgedeki birden fazla hücre ile iletişim ihtiyaçları karşılanabilir.

4. Fiber optik veri aktarım hızı mümkündür — Diğer lisanssız bantlarda 0,3 GHz'den daha düşük olan bant genişliğine sahiptir.

5. Taşıyıcı sınıfın iletişim bağlantılarının etkinleştirilmesi — % 99,999 kullanılabilirlik sağlamak üzere 60 GHz bağlantılar ile tasarlanabilir.

Mm-dalga karakteristiklerinden iki şekilde bahsedilebilir:

- Boş uzay yayılımı,
- Kayıp faktörleri.

### A. Boş Uzay Yayılımı

Tüm elektromanyetik dalgalarda olduğu gibi boş uzaydaki mm-dalga içinde güç, mesafenin karesi olarak azalmaktadır. Mesafe iki katına çıktığında, alıcı antene ulaşan güç dört kat azalmaktadır. Bu etki, radyo dalgalarının küresel yayılmasından kaynaklanmaktadır. İki izotropik anten arasındaki kayıp; frekans ve mesafe bağımlılığı ile aşağıdaki denklemle (dB cinsinden) ifade edilebilir:

$$L_{\text{freespace}} = 20 \log_{10} \left( 4\pi \frac{R}{\lambda} \right) (\text{dB}) \quad (1)$$

Burada  $L_{\text{freespace}}$ ; boş uzay kaybı, R;verici ve alıcı antenler arasındaki mesafe ve  $\lambda$ ; çalışma dalga boyudur. Tablo 2 (1) nolu denkleme göre lisanssız bantlardaki yol kaybını göstermektedir.

Tablo2. Lisanssız bantlardaki yol kaybı.

Lisansız Bant	YolKaybı
2.4 GHz	60 dB
5 GHz	66 dB
60 GHz	88 dB

60 GHz ve diğer lisanssız bantlar arasındaki kayıp farkı sistem tasarımı sınırlamaya zorlamaktadır. Bu fazladan 22 dB'lik yol kaybının (yani 88-66=22 dB) üstesinden gelmenin bir yolu, yüksek kazançlı bir anten ve mimari ile olabilir.

### B. Kayıp Faktörleri

Mm-dalga yayılımını etkileyen faktörler Tablo3'de verilmiştir. Atmosferik kayıplar, su buharı ve diğer gaz halindeki atmosferik bileşenlerin mm-dalga tarafından

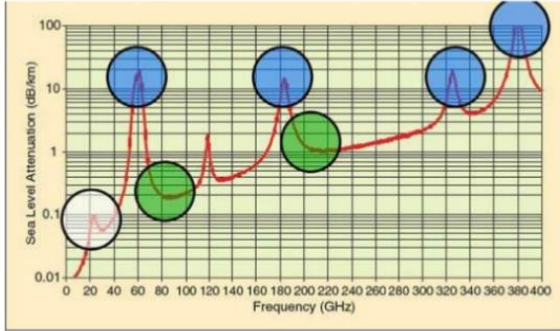
emildiğinde iletim kayıplarının meydana geldiği görülmektedir. Bu kayıplar, gaz moleküllerinin mekanik rezonans frekansları ile çalışan frekanslarda daha büyüktür. Tablo 3'de mm-dalga yayılımını etkileyen faktörlerin listesi verilmektedir.

Tablo3. Mm-dalga yayılımını etkileyen faktörler.

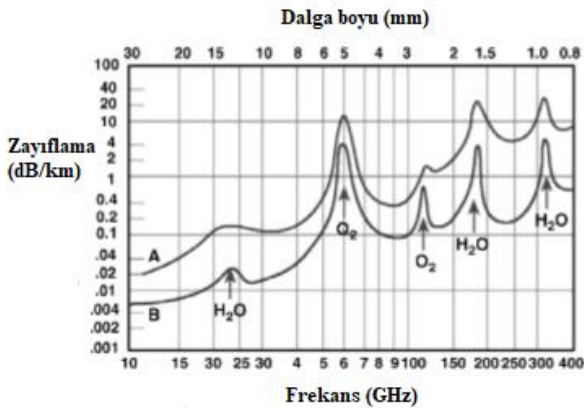
<b>Atmosferik Gaz Zayıflamaları</b> - Su Buharı Emilimi - Oksijen Emilimi
<b>Yağış Zayıflamaları</b> -Yağmur
<b>Saçılma Etkileri</b> -Yayılmış -Yansımış -Kırılmış
<b>Kırınım</b>

Kablosuz mühendislik alanındaki ortak bir düşünce, yağmur ve atmosferin mobil iletişimde mm-dalga spektrumunu işe yaramaz hale getirdiğidir. Ancak günümüzde kentsel ortamlardaki hücre boyutlarının 200 m civarında olduğu göz önüne alındığında, mm-dalga hüccesinin bu sorunların üstesinden gelebileceği anlaşılmaktadır. Şekil3'te 4 dB/km cinsinden mm-dalga frekanslarında atmosferik emilimi verilmiştir.

200 m hücre boyutları için atmosferik emilimin özellikle 28 GHz ve 38 GHz'de mm-dalgalarda önemli ek yol kaybı yaratmadığı görülebilir. 200 m mesafedeki sadece 1,4 dB zayıflama anlamına gelen 28 GHz'de hüccesel yayılım için şiddetli yağış oranları nedeniyle sadece 7 dB/km azalma beklenmektedir. Şekil 4'te H<sub>2</sub>O ve O<sub>2</sub> gazlarının 4 km yükseklikte ve deniz seviyesinde atmosferik emilim frekansının genişletilmiş bir grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3. 4 dB/km cinsinden mm-dalga frekanslarında atmosferik emilimi.

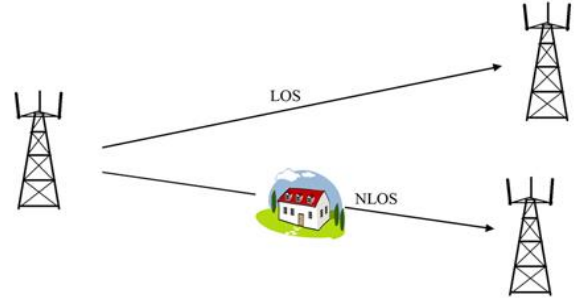


Şekil 4. mm-dalga'nın ortalama atmosferik emilimi.

### III. BULGULAR

Mm-dalgaların özelliklerini ve kanal performansını bilmek, mm-dalga iletişim sistemini tanımlamanın ilk adımlarındandır. Küresel Sistem Mobil İletişim (GSM) sinyalleri gibi düşük frekans bantlarındaki sinyaller, kilometreler boyunca yayılabilir ve binalara kolay nüfuz edebilir. Ancak mm-dalga sinyalleri birkaç kilometre veya daha az mesafede yol kat edebilir. Aynı zamanda havada veya katı malzemeler içerisinde yüksek iletim kayıplarına maruz kalabilir. Bununla birlikte mm-dalgaların yayılma özellikleri kablosuz kişisel alan ağları gibi bazı uygulamalarda avantajlı olabilir. Yoğun paketli iletişim sistemlerinde bağlantıları kurmak için mm-dalgaları kullanılabilir. Böylece frekansın yeniden kullanımıyla iletişim sistemlerinin toplam kapasitesi artırılabilir. Serbest uzay yayılımı ve çeşitli fiziksel faktörlerin yayılma üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- . Yüksek kayıp,
- . İnsan gölgesi,
- . Şekil 5'te gösterildiği gibi, çok yollu sönümlenme olarak bilinen sinyal seviyesinde rastgele dalgalanmalara neden olan görüş hattı olmayan yayılım,
- . Yaya hızlarında göz ardı edilemeyen Doppler kayması,
- . Gürültü.



Şekil 5. Kablosuz iletişiminin çok yollu etkisi.

IEEE 802.11n gibi bazı yaklaşımlar, veri hızlarını IEEE 802.11a veya 802.11g standartlarından 10 kat fazla hızlara yükseltmek için mevcut kablosuz Yerel Ağ Bağlantısı (LAN)'ların standartlarını geliştirerek veri hızlarını artırır. IEEE 802.16, 70Mbps civarında hızlarla 50 km'ye kadar geniş bant kablosuz erişim sağlayabilir.

IEEE 802.11n standardı kablosuz iletişimin bant genişliğinde makul bir artış sağlamıştır. Ancak 1 Gbps'den düşük veri hızına sahiptir. 60 GHz teknolojisi şu anda önerilen veya mevcut olan iletişim sistemlerine göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. 60 GHz teknolojisini cazip kılan faktörlerden biri, dünya genelinde mevcut dev bir lisanssız bant genişliğinin (7 GHz'e kadar) kurulmasıdır. Spektrum dağılımı, esas olarak Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından düzenlenmektedir.

60GHz'deki yüksek yol kaybı bir dezavantaj gibi gözükse de 60 GHz için etkili girişim seviyeleri 2-2.5 GHz ve 5-5.8 GHz bölgelerinde bulunan sistemlere göre daha az seviyededir. Ek olarak, iç ortamlarda çok kısa mesafelerde yüksek frekansın yeniden kullanımı ile yüksek çıkış ağı sağlanabilir. 60 GHz'lik bir alıcının kompakt boyutu yaklaşık 140 kat daha küçüktür ve elektronik ürünlere rahatlıkla

entegre edilebilir. Bu nedenle, modern iletişim ihtiyaçlarını karşılamak için yeni tasarım metodolojileri gerektirecektir.

Mm-dalga iletişimi artan mobil trafik patlamasında dolayı oluşan spektrum ihtiyacını karşılama potansiyeli olan yeni nesil haberleşme sistemlerindeki adaylar arasındadır. Bu çalışma sonucu elde edilen bulgularla 5G geniş bantlı hücreli iletişim ağlarında mm-dalga iletişimini mümkün kılmak için altı temel unsur olduğu görülmekte ve mm-dalga iletişimi zorluklarını olası yaklaşımlarla ele alınmaktadır.

- Mm-dalga iletişim kanalı özelliklerine bakıldığında mm-dalga iletişiminin yayılma kaybının aynı fiziksel boyutlu dizi antenle tipik hücreli frekans bandındakiyle karşılaştırılabileceği ve mm-dalga iletişim sisteminde yayılma kaybının daha az olduğu anlaşılmaktadır.
- Mm-dalga iletişim sisteminde spektral bölgelerin gaz kayıplarından ağır şekilde etkilenmediğini görülmektedir.
- Yağmur zayıflatmasının küçük hücre yapısı için mm-dalga yayılımı üzerinde minimum bir etkiye sahiptir.
- Aşırı parazitlerde olduğu gibi, servis sağlayıcılar ağlarının performansını düşürebilecek yerel meteorolojik koşullarla başa çıkmak için ana taşıyıcı çözümler tasarlanmalıdır. Veriler, şu anda mevcut olan ticari ekipmanların da kullanımıyla yağmurdan bağımsız olarak % 99,999 gigabit hızlarına erişebildiğini göstermektedir.
- Bir hibrid ışın oluşturma mimarisi tasarlanarak mm-dalga ışın oluşturma sistemi için olası bir çözüm tanımlanabilir.
- Tıkanma etkisiyle baş etmek için NLOS (görüş hattı olmayan yol) iletişimini daha yüksek yoğunluklu bir altyapı veya röleler aracılığıyla toplanabilir.
- Dikgen olmayan D2D iletişiminde mm-dalga ile genel sistem uzaysal ve spektrum yeniden kullanımının performans iyileştirmesinin sağlamaktadır.

Bu altı unsur için daha özel çözümler ve analizler içeren araştırma alanlarında daha fazla araştırma yapmak gerekecektir.

Mm-dalganın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Daha geniş bant genişliği, daha yüksek aktarım hızı, yayılma spektrumu özelliği ve girişime karşı daha fazla bağımsızlık sağlayabilir.
- Son derece yüksek frekanslar, çok kısa mesafelere (yani, birden fazla TX birbirine yakın bir yere yerleştirilebilir), aynı frekansta birbirlerine müdahale etmeden kullanım imkanı sağlar.
- Dar ışın genişliğini gerektirir. Aynı boyutta anten için, frekans arttıkça, ışın genişliği azalır. Donanım boyutunu azaltır, yani frekans ne kadar yüksek olursa, anten boyutu o kadar küçük olur.

Mm-dalga aynı zamanda aşağıdaki dezavantajlara sahiptir:

- Daha küçük boyutlu bileşenler nedeniyle daha hassas donanımların imalatında daha yüksek maliyetleri vardır.

- Çok yüksek frekanslarda, önemli bir zayıflama vardır. Bu nedenle milimetre dalgaları uzun mesafeli uygulamalar için zorlukla kullanılabilir.
- Mm-dalgasının, bu beton duvarlar gibi cisimlere nüfuz etme gücü daha az bilinmektedir.
- Daha yüksek frekanslarda oksijen ve yağmurla etkileşimler vardır, bu nedenle bunu azaltmak için daha fazla araştırma yapılmaktadır.

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, veri hızlarının yaklaşık olarak 1000 kat artması, ultra düşük gecikme süresi, spektrum, enerji ve maliyet verimliliği gibi 5G sisteminin isteklerini karşılamada hayati öneme sahip olan mm-dalga araştırma geliştirme çalışmalarından bahsedilmiştir.

Dünya çapında hücreli spektrum ihtiyacı ve mm-dalga mobil haberleşmelerde yapılan nispeten sınırlı miktarda araştırma göz önüne alındığında, mm-dalga frekanslarında mevcut olan bant genişliğinin çok yüksek veri aktarım hızı ile sonuçlandığı; ayrıca bir kanalın iletim modunda kalması gereken süreyi en aza indirdiği görülmektedir.

28 GHz ve 38 GHz frekansları düşük yağış zayıflaması ve atmosferik zayıflama olan mevcut frekanslardır. Bu bantta daha fazla araştırma yapılmalı ve diğer frekansların karakteristikleri incelenmeli, semboller arası girişim durumu ve iletişim aralığı geliştirilmelidir.

Mm-dalga bandının çoğu kullanılmadığından 5G mobil iletişim sistemlerinin radyo erişim ağları için (RAN) kullanılması beklenmektedir. Mm-dalga bandı kullanılarak, 5G mobil iletişim sistemlerinin kapasitesi geliştirilebilir ve sistem tarafından sunulan mobil cihazlar yüksek hızlı iletimle daha iyi servis ortamları sağlayabilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [2] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [3] S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [4] CEPT, ERO, "The European table of frequency allocations and utilizations covering the frequency range 9 KHz to 275 GHz." Lisboa January 2002, Dublin 2003, Turkey 2004, Copenhagen 2004.
- [5] ERC Recommendation 12-09, "Radio frequency channel arrangement for fixed service systems operating in the band 57.0–59.0 GHz which do not require frequency planning, the Hague 1998 revised Stockholm." Oct. 2004.
- [6] ECC Recommendation (05)02, "Use of the 64–66 GHz frequency band for fixed services." Jun. 2005.
- [7] ETSI DTR/ERM-RM-049, "Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters(ERM); system reference document; technical characteristics of multiple gigabit wireless systems in the 60 GHz range." Mar. 2006.