

5G Teknolojisine Genel Bir Bakış

*¹Osman DİKMEN, ¹Selman KULAÇ

¹Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

Özet

Mobil haberleşme sistemlerinin gelişmesinin en önemli sebebi sürekli değişen ihtiyaçlardır. Bu ihtiyaçlar yüzünden, mobil haberleşmeden beklenen talepler artmaktadır. Başlangıçta, özellikle sadece ses iletiminin yapıldığı sistemler mevcuttu. Fakat son zamanlarda, yüksek kalitede multimedya iletimi ve internet bağlantısı olanakları sunan yeni sistemler ortaya çıkmaktadır. Bu sistemlerden birisi, şu günlerde araştırmacıların üzerinde yoğunlaştıkları 5G'dir. Mobil haberleşmede, 1G'den 5G teknolojisine kadar hızlı bir değişim meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, var olan sistemlerin eksikliklerinin üstesinden gelmek veya var olan sistemleri geliştirmek için sürekli yeni teknikler ortaya çıkmaktadır. Şu an kullanılmakta olan mobil haberleşme standardı kullanıcılarına sınırlı hizmet sunmaktadır ve servis kalitesi yetersizdir. Bu yüzden, 5G'de haberleşme kapasitesinin iyileştirilebileceği, veri hızının artırılabilirliği, maliyetin azaltılabilirliği ve gecikmenin minimize edilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca, güç tüketimi de azaltılabilir ve böylece enerji verimliliği de artırılabilir. Bu çalışmanın amacı, 5G tarafından iyileştirilmesi beklenen veri hızı, gecikme, enerji ve maliyet verimliliği ile spektrum verimliliği konularına değinmek, bu konuların gelecek haberleşme sistemleri için önemini vurgulamak ve bu noktada yapılmış çalışmalar hakkında genel bir değerlendirme yapmaktır.

Anahtar Kelimeler: 5. Nesil, Haberleşme Sistemleri, Mobil İletişim, Kablosuz İletişim

Abstract

The most important reason for development of mobile communication systems is ever-evolving needs. Because of these needs, expected demands from mobile communications have increased. In the beginning, especially there were systems that only have audio transmission capability. But, new systems have emerged to allow multimedia transmission and internet connection capabilities with high quality recently. One of these systems is "5G" that researchers dwell on it in these days. Rapid change has occurred from 1G to 5G technologies in mobile communication. Meanwhile, new techniques have been continuously developed to overcome existing systems' insufficiencies or to improve existing systems. Current mobile communication standards provide limited services to users and quality of the services is insufficient. So, it is thought that communication capacity can be improved, data rate can be increased, costs can be reduced, and latency can be minimized in 5G. And also power consumption can be reduced, and hence energy efficiency can be increased. The aim of this survey is to mention issues of data rate, latency, efficiency of energy and cost, and spectrum efficiency which are supposed to be improved by 5G, to emphasize the important of these issues for communication systems and to make a general assessment papers which is studied about these issues.

Key words: 5G, Communication Systems, Mobile Communication, Wireless Communication

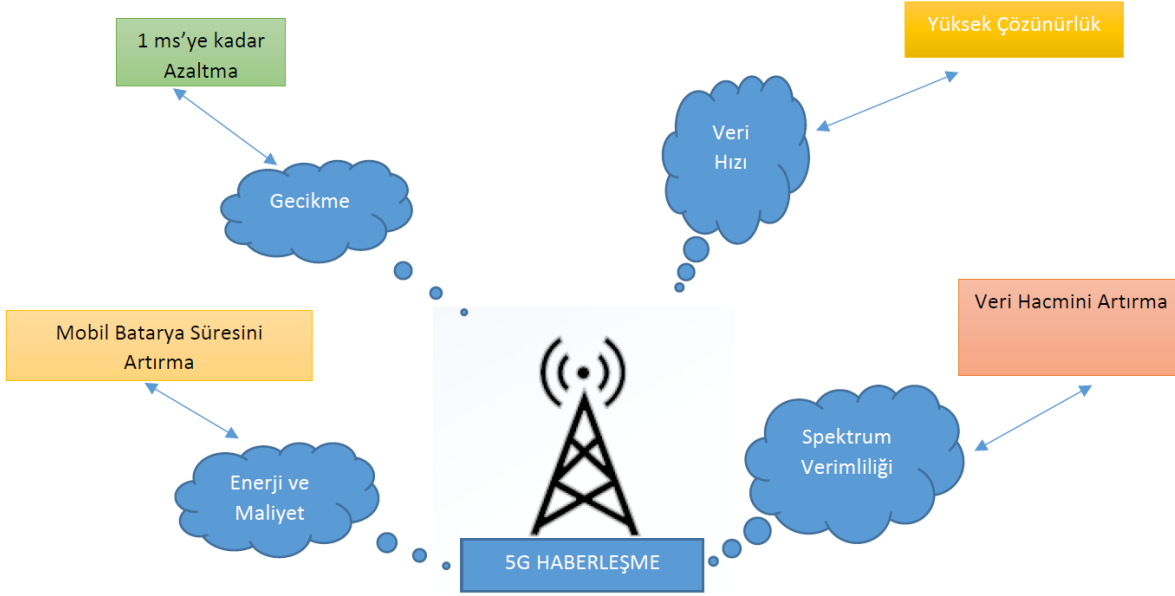
1. Giriş

Elektromanyetik dalga teorisinin ortaya atıldığı zamandan itibaren sürekli olarak gelişen kablosuz iletişim teknolojileri son zamanlarda gözle görülen bir atılım sergilemiştir. Bu atılım, 1970’li yıllarda kullanılmaya başlayan 1.Nesil (1G) teknolojisinden 2020 yılında kullanıma hazır olması planlanan 5.Nesil (5G) teknolojisine kadar gelmektedir [1]. 2020 yılında 50 milyonu aşkın cihazın bulut bilişim üzerinden bağlantılı olacağı tahmin edildiğinden dolayı 5G teknolojisinin bir an önce kullanılmaya başlanması düşünülmektedir [1]. Ayrıca bu cihazların birbirleriyle veri alış-verişlerinin istenilen zamanda, istenilen yerde gerçekleşmesinin önemi mobil veri aktarım hızında ciddi iyileştirmelerin yapılması gerektiğini düşündürmektedir. Bu kapsamda 5G teknolojisi önemli bir gelişme olacaktır.

Kablosuz iletişim teknolojilerinde karşılaşılan sorunlardan biri elektromanyetik spektrumdur. Çünkü kablosuz iletişim veri hacmi gün geçtikçe artmasına rağmen, elektromanyetik spektrumda yer açılmayacaktır [2]. Diğer bir problem mobil ortamda yüksek veri hızıdır. Örneğin, nesnelerin interneti teknolojisinin gelişmesi düşük veri hızı ile mümkün değildir. Bu sebeple yüksek veri hızına ulaşım, daha etkin ve kaliteli hizmet sağlanması gerekmektedir. Bunların yanında çağımızın en büyük sorunlarından biri olan enerji verimliliğine yönelik çalışmaların yapılması ve bu sayılan gelişmelerle birlikte maliyetin düşürülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla 5G adına süregelen çalışmaların konusu bu alanlarda olmaktadır. Bu çalışmada, 5G teknolojisinden beklenen iyileştirmelerin en önemlileri arasında sayılabilecek Veri Hızı, Gecikme, Enerji, Maliyet ve Spektrum Verimliliği konularına değinilmiştir.

2. 5G (5.Nesil)

Kullanıcıların sürekli olarak artan talepleri, kablosuz haberleşme sisteminin hızlı bir şekilde ilerlemesinin nedenidir ve böylece şu günlerde kullanılmakta olan 4G, 4.5G sistemler artık yerlerini 5G’ye adım adım bırakacaktır. Ayrıca servis sağlayıcıları kullanıcılarına daha kaliteli hizmet vermek için sürekli bir çalışma içerisindeyler. Bundan dolayı 5G sürecinin ilerlemesine yardımcı olmaktadır. Böylece 5G teknolojisinden beklenen talepler ortaya çıkmış durumdadır. Bu doğrultuda ortaya çıkacak zorlukların üstesinden gelebilmek için çalışmalar devam etmektedir. Endüstriye yönelik çalışmalar çok yeterli seviyede olmasa dahi, akademik alanda METIS [3] ve 5GNOW [4] projeleri ihtiyaç duyulan standartları oluşturabilmek için çalışmalarını sürdürmektedir. 5G teknolojisinin mimari yapısı ve işlevsel gereklilikleri henüz belirlenmemiştir. Bu amaca yönelik olarak başlatılan projelerden bazıları şunlardır: METIS [3], 5GNOW [4], COMBO [16], MOTO [17]. 2020 yılı civarlarında tamamlanması planlanan 5G [1] için odaklanılan noktalara göz atarsak Şekil 1’de verilen ana maddeler karşımıza çıkacaktır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1: 5G Teknolojisinden Beklenen İyileştirmeler

2.1. Veri Hızı

Kablosuz haberleşmede en önemli beklenti veri hızının kullanıcıların isteklerini yeterli seviyede karşılayabilecek ölçüde olmasıdır. Dolayısıyla 5G teknolojisinin ilgilenmesi, çözüm sunması ve desteklemesi gereken öncelikli konularından birisi veri hızıdır. Nitekim [5]'te; 5G teknolojisinin saniyede gigabit seviyesindeki yüksek hızlara ulaşılabilir ve gerçekleştirilebilir geniş yelpazeli bir veri hızını desteklemek zorunda olduğuna vurgu yapılmıştır. Bu konuyla alakalı olarak yüksek veri hızı kablosuz sistem tasarımcılarının sürekli olarak karşılaştıkları talepler arasındadır ve bu talepler gün geçtikçe artmaktadır. 2020 civarlarında tamamlanması planlanan 5G'de bu talepleri gerçekleştirmek için çalışmaların başladığı belirtilmektedir [6]. Niçin veri hızında çok iyi bir iyileştirme yapılması gerekmektedir diye soracak olursak, şu nedenleri sıralayabiliriz; artan teknolojik imkânlar vasıtasıyla kullanıcılar daha kaliteli hizmet beklemektedir, bunun yanı sıra ilerleyen yıllarda büyük bir sayıya ulaşacak olan cihazların birbirleriyle haberleşmesine imkân sağlayacak geniş yelpazeli bir sistem oluşturulması gerekmektedir. Bu gerekliliklerin her biri kendi açısından değerlendirildiğinde veri hızının önemi daha iyi kavranacaktır. Mobil veri hızı anlamında basit bir örnek verilecek olursa; şu anda kullanılan hızlı trenlerin ortalama hızlarının 250 km/sa olduğu düşünüldüğünde bu hızdaki bir tren için haberleşme imkânı 4G ağlarla mümkün olabilmesine rağmen, 350 ile 500 km/sa hızlarındaki bir hızlı tren için 4G sistemi zayıf kalmaktadır [15]. Bu durumdaki yüksek hareketli kullanıcılar için 5G'nin heterojen ağlarla ortak bir sistem oluşturması düşünülebilir [29]. Nitekim önerilen "mobile femtocell (MFemtocell)" sistemlerin yüksek harekete sahip araçlarda kullanılmasıyla birlikte sinyal kalitesine katkıda bulunduğu belirtilmektedir [30]. Yukarıda belirtilen sebeplerden de anlaşılacağı üzere 5G

teknolojisinin muhakkak veri hızını artırması gerekmektedir. 10 milyarı aşkın cihazın birbirleriyle bağlantılı olduğu durum olan Nesnelerin İnternetinin yaygınlaşmasının 4G ile karşılanabilir olması mümkün değildir, ayrıca daha kaliteli servis hizmetinin verilmesi de 4G ile sınırlı kalmaktadır [7]. Çünkü 4G için kullanılabilen veri hızı istenilen seviyede olmayacaktır. Burada oluşacak olan boşluğun ise 5G teknolojisi ile doldurulması gerekmektedir. Bu noktada Samsung Elektronik Şirketi tarafından yapılmış olan çalışmalar sonucunda veri iletim hızı açısından 4G'nin 30 katına kadar veri hızına ulaşıldığı belirtilmektedir [25]. Buradaki çalışmada, 100km/sa hızındaki bir hareket hali durumunda 1.2 Gbps hızına ulaşıldığı söylenmektedir. Ayrıca 28GHz spektrum kullanılarak 7.5 Gbps hızına ulaşıldığı da belirtilmektedir. Nitekim yüksek frekans bantlarının 5G için uygun olduğu ve bu durumun yüksek veri hızlarına imkân tanıyacağı bildirilmektedir [32]. Kısaca özetlemek gerekirse; gelecek 10-15 yılda teknolojik gelişmelerle birlikte akıllı cihazların kullanımı sürekli artacağından dolayı veri hızında ciddi anlamda performans iyileştirmesi gerekmektedir. Bu iyileştirmeye sadece akıllı cihazların kullanımının artması sebep olmamaktadır. Buna ek olarak, kullanıcılar daha iyi bir donanıma sahip, kullanıcı ara yüzü bakımından daha kaliteli uygulamalara istedikleri anda, istedikleri yerde yüksek hızlarda erişmek istemektedirler [8]. Bütün bu yönler birlikte düşünüldüğünde 5G için olmazsa olmaz bir nokta olarak veri hızı ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, çalışma alanlarından birisi veri hızıdır. Dolayısıyla araştırmacılar veri hızını öncelikli olarak görmektedirler.

2.2. Gecikme

Bir kablosuz sinyal, iletmeye başlandığı anda yansıma, kırılma, saçılma gibi engellerle karşılaşabileceği çeşitli yollarda ilerlemektedir. Bu engellerin sebep olduğu sönümlenmeye bağlı olarak sinyal bileşenleri ulaşması gereken yere rötarlı veya belirli bir zaman kaybı içerisinde gecikmeli olarak ulaşmaktadır. Bu gecikme ilk nesil sistemlerle kıyaslandığında kullanıcıların fark edebildikleri seviyelerde olmasa da yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinde gereksinimleri karşılayabilmek adına aşılması gereken bir problem olarak durmaktadır. Nitekim bununla alakalı olarak, otomotiv, sağlık, güvenlik, lojistik gibi çeşitli uygulamalar için olmazsa olmaz bir alan olan daha az bir gecikmenin yani mümkün olduğu kadar daha az bir zaman kaybı süresinin 5G'nin desteklemesi gerektiği vurgulanmaktadır [5]. Dolayısıyla daha düşük bir gecikmenin gerçekleştirilmesi bugünkü ağ sisteminin ele aldığı bir iyileştirme henüz yeterli değildir. Bu noktada devreye 5G'nin girmesi düşünülmekte ve gecikmenin mümkün olduğunca azaltılması 5G çalışmalarıyla planlanmaktadır. Gecikmenin azaltılması, internet tabanlı erişim ve uygulamaların sanki gerçek zamandaki gibi durmaksızın, kesintisiz şekilde yapılmasının gerçekleşmesi demektir [1]. Gecikmenin bu derece önemli bir konu olmasına örnek vermek gerekirse, ileriki zamanlarda özellikle taşıt teknolojisinin çok büyük bir gelişme yaşayacağı açıktır. Bu gelişmeler arasında olan sürücüsüz otomobilin kablosuz ve mobil iletişimde gecikmenin iyileştirilmesi 5G için vazgeçilmez olmaktadır. Bu vazgeçilmez durumu destekler nitelikte olarak; şu an kullanılan 4G teknolojisinin yeteri kadar hitap etmediği altı adet zorluktan birisi daha düşük gecikmedir. Bundan dolayı 5G'nin çözmesi gereken konunun daha düşük gecikme olduğu belirtilmiştir [8]. 4G sistemindeki gecikme 15 ms'dir ve bu gecikmenin 5G için yaklaşık olarak 1 ms olması istenmektedir [9]. Çünkü gerek insanlarla araçlar arasında iletişim, gerekse nesnelere arasında (Nesnelerin İnterneti) iletişim gibi uygulama alanlarında tepki süresinin mümkün olduğunca hızlı olması gerekmektedir. Mümkün olduğunca azaltılacak, neredeyse 5G için 1 ms ve daha aşağı seviyelerine getirilecek bir gecikme sayesinde, ağır sanayi makinelerinin

uzaktan kontrolü gerçekleştirilebilir ve ayrıca Kutup Bölgeleri veya okyanus tabanının parçaları gibi henüz keşfedilmemiş alanların araştırılmasına yardım edilebilecektir [25]. Gidiş-geliş gecikmesinin 1 ms olduğu bir sistemde çok büyük bir ilerleme gösterebilecek çeşitli mobil uygulamaların gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir ki bu uygulamalar “dokunmatik internet (tactile internet)” olarak adlandırılmaktadır [26]. Bu uygulamanın geliştirilmesi sayesinde internetin sadece işitsel kısmı ile değil dokunma duyusuyla da ilgili olan kısımdaki verilerin işlemleri gerçekleştirilebilmiş olacaktır. Buna en iyi örnek olarak, gecikmenin çok az seviyelerde gerçekleştirilebildiği bir 5G sistemi ile dokunmatik internet uygulamalarının birleştirilebildiği bir sistem aracılığıyla gerekli algı eşiklerinin tanımlanmasıyla birlikte bir doktorun uzaktan ameliyat yapması mümkün olabilecektir. [33]’teki çalışmada, yüksek veri hızlarına ulaşmak ve enerji verimliliğini gerçekleştirmek için düşük bir gecikmenin önemi vurgulanmıştır. Bu çalışmada önerilmiş olan 5G yapısı sayesinde kısa TDD (Time Division Duplex/Zaman Bölmeli Çiftleme) gecikmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hasta izleme robotları tarafından mesaj iletimi uygulamaları, yaşam güvenliği sistemleri, nükleer reaktörler ve uzaktan kumandalı insansız uçak (drone) gibi gerçek zamanlı uygulamalarda daha düşük gecikmenin kritik bir nokta olduğu belirtilmiştir [14]. Başka bir çalışmada gecikmenin 5G için 1 ms civarlarında olması gerektiği vurgulanmış olmasına rağmen [24], bu durumun nasıl gerçekleşeceğine dair çok az bir çalışma mevcuttur. Tüm bu durumlar incelendiğinde görülecektir ki şu an kullanılan teknoloji yapısının büyük bir kısmının yeniden tasarlanması gerekmektedir. Çünkü 4G sistemi kapasitesinin en üst seviyesinde olmasına rağmen yukarıda bahsedilen konularda yeterli çözümü getirememiştir. Milyonlarca cihazın bağlantılı olduğu yeni sistemler için 5G’nin planlamasına yönelik çalışmalar devam etmektedir, Bu planlamada gecikme gerekli olan ihtiyaçları karşılayabilecek seviyede olacaktır, olmak zorundadır. 5G çok düşük hava girişimleri gecikmeli iletim moduna sahip olmalıdır. Dolayısıyla, 5G dalga şekli çok kısa TTIs (Transmission Time Intervals) aralıklarının kullanıldığı düşük gecikmeye olanak sağlamalıdır [20]. Bununla alakalı olarak, [21]’de yapılmış bir çalışmada 5G için yeni bir radyo çerçeve formatı sunulmuştur. Bu çalışmada, gecikmenin gerekliliklerini karşılayabilen TTI süresi gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, TTI süresinin gecikme için önemli bir nokta olduğu görülmektedir. Bu yüzden, daha düşük gecikme için daha kısa TTI süresinin gerçekleştirilmesi 5G’den beklenmektedir.

2.3. Enerji ve Maliyet Verimliliği

5G teknolojisinde, yukarıda bahsedilen veri hızının artırılmasının ve gecikmenin iyileştirilmesinin/düşürülmesinin yanı sıra çözüm üretmesi gereken diğer bir konu enerji tüketiminin azaltılması ve maliyetin düşürülmesidir. Çünkü, mobil operatörlerin bu konu ile alakalı olarak hazırlamış oldukları raporların birinde, elektrik faturası giderlerinin yaklaşık olarak %60 civarının baz istasyonları tarafından tüketilen enerji olduğu belirtilmektedir [10]. Dolayısıyla eğer enerji tüketimi azaltılırsa, rutin maliyetler de benzer oranda düşürülebilecektir. Ayrıca yapılacak olan iyileştirmeler ile haberleşme sistemlerindeki enerji tüketimi ile meydana gelen karbondioksit gibi çevreye zararlı gazların da dolaylı olarak azaltılması sağlanmış olacaktır. Böylece daha çevreci bir haberleşme teknolojisi kullanımda olmuş olacaktır. Fakat olay sadece baz istasyonlarının harcamış olduğu enerji tüketiminin azaltılması ve buna bağlı olarak maliyetin düşürülmesi ile sınırlı değildir. Bir işlem aynı güç kısıtlamaları altında daha iyi bir performans ile gerçekleştirilebilir. Baz istasyonları için de enerji tüketimi giderek artan bir endişe olduğu düşünüldüğünde bu noktada iletim gücü önemli bir rol oynamaktadır [12]. Bunun yanında,

karmaşık yapının azaltılması ile de maliyet düşürülmesi gerçekleştirilebilir. Genel anlamda yapılacak olan iyileştirmelerle birlikte mümkün olan en düşük maliyetli bileşenlerin kullanılması teşvik edilmelidir. Eğer bu bileşenler kullanılırsa makineler arasındaki iletişim, Nesnelerin İnterneti kullanımının yaygınlaşması ve geniş bir hedef kitleye ulaşılması kolay olacaktır. Bu noktada kablosuz haberleşme sistemini kullanan yeni akıllı cihazların donanımsal bileşenlerinin tükettiği enerji de uzun batarya ömrü gerekçesi nedeni ile önemlidir. Nitekim [11]'deki çalışmada; donanımsal bileşenlerin enerji tüketimi dikkate alındığı takdirde, enerji verimliliğinin iyileştirilmesine, geliştirilmesine katkı yapılabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca baz istasyonlarının sayısı kullanıcı cihazlarından daha fazla olacağı tahmin edilmektedir [13]. Dolayısı ile daha düşük hücreli sistemler geliştikçe daha düşük güçlü, daha az maliyetli baz istasyonları kullanılabilecektir.

Enerji verimliliği açısından önemli bir konu da PAPR (Peak to Average Ratio Power)'dır. PAPR problemi güç verimliliğini azaltan bir durumdur [18]. Böylece, güç verimliliğinin azalması enerji verimliliğini de doğrudan etkileyecektir. PAPR çok taşıyıcı dalga şekillerinin bir konusudur. Bu bakımdan, 5G teknolojisi için bir dalga şeklinin belirlenmesi sırasında, PAPR azaltılmasına katkı sağlayacak bir dalga şeklinin üzerinde durulması gerekmektedir. [19]'daki çalışmada, MIMO (Çok Girişli Çok Çıkışlı) sistemleri bakımından, 5G'de kullanılma potansiyeli olan dalga şekilleri için PAPR performansları analiz edilmiştir. Genel olarak, enerji verimliliği, daha düşük enerji tüketimi gibi çalışmaların yanında daha düşük maliyet açısından da çalışmaların yapılması 5G teknolojisinden beklenmektedir.

2.4. Spektrum Verimliliği

Kablosuz iletişim veri hacmi talebi sürekli olarak müthiş bir şekilde artarken, buna karşılık kullanılabilecek elektromanyetik spektrumda yer açılması mümkün gözükmemektedir [2]. Üzerinde işlem yapılabilecek bant aralıkları belirli olup yeni spektrumlar üretmek yerine kullanılan spektrumda verimli iyileştirmeler yapılması daha uygundur. Ayrıca birbiriyle bağlantılı cihazların sayısının artmasıyla birlikte spektrum kullanımının geliştirilmesi daha da bir önem kazanmaktadır [1]. Mobil sistemlerin erişim imkânına sahip olduğu tüm frekans bantları 6 GHz'in altındadır ve tüm kullanımlar bu bantlarda yapılmaktadır. Fakat diğer kablosuz teknolojilerin de kullanmış oldukları bu frekans bantları aşırı derecede dolmuş olduğundan dolayı 5G haberleşmesi için yeterli olmayacaktır [7]. Bu sebepten dolayı yeni spektrum kullanım tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Hatta 5G için spektrum paylaşımının gerçekleştirilmesi önemli bir konu olmuştur [9]. Bu noktada yüksek kaliteli multimedya için bant genişliği tahsisi açısından milimetre dalgaları 5G haberleşmede gelecek vadeden konudur [28]. Bunun yanı sıra, Heterojen Ağ sisteminin kullanıldığı yeni bir tasarımın 5G'de spektrum verimliliğini önemli ölçüde iyileştirmesi beklenildiği belirtilmiştir [22]. Çok yüksek çözünürlüklü mobil uygulamaların hızlı bir şekilde yaygınlaşması nedeniyle, 5G haberleşmesi için daha fazla spektral kaynaklara ihtiyaç olduğu ayrıca belirtilmiştir. [23]. Örneğin bu kapsamda, 5G'de spektral verimliliği artırmaya yönelik olarak bazı tekniklerin birleşimi ile oluşturulmuş sistem önerilmiştir [31]. 5G için spektrum verimliliği konusunda bir standart oluşturmak için çalışmalar devam etmektedir ve araştırmacıların bu konu üzerine kapsamlı çalışmalar yapmaları önem arz

etmektedir.

3. Sonuçlar

Haberleşme alanında kullanıcı istekleri ve talepleri her geçen gün arttığı görülmektedir. Özellikle günümüzde bu talepler mobil cihazlara yöneliktir. Mobil cihazlarla iletişimin hız kazanmasıyla birlikte çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlardan birisi de üzerinde çalışılan 5G teknolojisidir. Bu çalışmada, 5G hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. 5G teknolojisinin gerekliliklerinin nedenleri vurgulanmış olup bu nedenler arasında en önemli sayılacak veri hızı, gecikme, enerji ve maliyet verimliliği ile spektrum verimliliğinin önemi hakkındaki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan birisi olan [27]'de, 5G için bu konulardan bazıları hakkındaki teknik özellikler ve hangi yollarla gerekli çözümlerin getirilebileceği vurgulanmıştır. Genel hatlarıyla bu konular üzerinde 5G'nin iyileştirme yapması zorunluluklarının nedenleri belirtilmiştir.

Bu nedenler incelendiğinde görülecektir ki, şu an kullanılan 4G, 4.5G (LTE Advanced) sistemler, gerek kullanıcıların taleplerine gerekse artan teknolojik imkânlarla birlikte gelişen çeşitli uygulamaların gerçekleştirilmesine yönelik talebi karşılamaya yetmeyecektir. Dolayısıyla 5G teknolojisinin oluşturulması, bir standardının ortaya çıkarılması kaçınılmaz bir durumdur. Bu çerçevede yapılması gerek çalışmaların alanları kısaca vurgulanmıştır. Bu alanlar üzerinde geliştirilen teknikler 5G'nin oluşturulmasına katkı yapacaktır. Ayrıca bu alanlarla ilişkili aşağıdaki konularda da çalışmalar devam etmektedir.

- 5G için dalga şekli
- Milimetrik dalgalar
- Heterojen ağlar
- Hüzme şekillendirme
- Pilot Kirliliği
- Gerçek zamanlı 5G uygulamaları için performans iyileştirme

Genel olarak bu çalışma, gelecek nesil kablosuz haberleşme teknolojisinden biri olan 5G için ihtiyaç duyulan alanlar hakkında bilgiler vermektedir. Bu nedenle bu çalışmada, neden 5G ve ötesi sorusuna cevap verilmeye çalışılmıştır.

Kaynaklar

[1] Akhil G, Rakesh Kumar J. A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. IEEE Access 2015; 3: 1206-1232.

[2] Thomas M. Massive MIMO: An Introduction. Bell Labs Technical Journal 2015; 20: 11-22.

- [3] FP7 European Project. “METIS (Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-Twenty Information Society)”. <https://www.metis2020.com/> Son erişim tarihi: 30 Mart 2016
- [4] FP7 European Project. “5G NOW (5th Generation Non- Orthogonal Waveforms for Asynchronous Signalling)”. <http://www.5gnow.eu/> Son erişim tarihi: 30 Mart 2016
- [5] Afif O, et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project. *IEEE Commun. Mag.* 2014; 52(5): 26-35.
- [6] Xiang W, et al. Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Commun. Mag.* 2014; 52: 122-130.
- [7] Debabani C. 5G wireless and millimeter wave technology evolution: An overview. *Proc. IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. (IMS) 2015*; 1–4.
- [8] Patrick A, et al. Design considerations for a 5G network architecture. *IEEE Commun. Mag.* 2014; 52(11): 65–75.
- [9] Jeffrey A, et al. What will be 5G?. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* 2014; 32: 1065–1082.
- [10] Congzheng H, et al. Green Radio: Radio Techniques to Enable Energy Efficient Wireless Networks. *IEEE Commun. Mag.* 2011; 49(6): 46–54.
- [11] Di Z, Keping Y, Zhenyu Z, Takuro, S. Energy Efficiency Scheme with Cellular Partition Zooming for Massive MIMO Systems. *Autonomous Decentralized Systems (ISADS), IEEE Twelfth International Symposium 2015*; 266-271.
- [12] Fredrik R, et al. Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays. *IEEE Signal Processing Magazine* 2013; 30(1): 40–60.
- [13] Jeffrey A. Seven ways that HetNets are a cellular paradigm shift. *IEEE Commun. Mag.* 2013; 51(3): 136–144.
- [14] Nisha P, Shantanu S, Awadhesh Kumar S. A survey on 5G: The next generation of mobile communication. *Elsevier Physical Communication* 2015; 18: 64–84.
- [15] Tadilo Endeshaw B, Long Bao L. Massive MIMO and mmWave for 5G Wireless HetNet: Potential Benefits and Challenges. *IEEE Vehicular Technology Magazine* 2016; 11(1):64–75.
- [16] FP7 European Project. Convergence of Fixed and Mobile Broadband Access/Aggregation Networks (COMBO). [Online]. Available: <http://www.ict-combo.eu/>
- [17] FP7 European Project, Evolving Mobile Internet with Innovative Terminal-to-Terminal Offloading Technologies (MOTO). [Online]. Available: <http://www.fp7-moto.eu/>

- [18] Saeed Afrasiabi G, Gerhard W. A Versatile PAPR Reduction Algorithm for 5G Waveforms with Guaranteed Performance. 20th International ITG Workshop on Smart Antennas WSA 2016; 1-7.
- [19] Nihat Engin T, Michael W, Chris D, Cihristoph S. Linear large-scale MIMO data detection for 5G multi-carrier waveform candidates. 49th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers 2015; 1149-1153.
- [20] Frank S, Thorsten W, Yejian C. Waveform Contenders for 5G - Suitability for Short Packet and Low Latency Transmissions. IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring) 2014; 1-5
- [21] Preben M, et al. 5G small cell optimized radio design. Proc. IEEE GLOBECOM 2013;1-6.
- [22] Rose Qingyang H, Yi Q. An energy efficient and spectrum efficient wireless heterogeneous network framework for 5G systems. IEEE Commun. Mag. 2014; 52(5): 94-101.
- [23] Maged E, Trung Q. D, Hsiao-Hwa C. Guest editorial-Millimeter wave communications for 5G-Part I: Fundamentals. IEEE Commun. Mag. 2014; 52(9): 52-54.
- [24] GSMA Intelligence. Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile. White paper 2014.
- [25] Samsung. 5G Vision. White paper 2015.
- [26] Gerhard P. F. The tactile Internet: Applications and challenges. IEEE Veh. Technol. Mag. 2014; 9(1): 64-70.
- [27] Ian Fuat A, Shuai N, Shih-Chun L, Manoj C. 5G Roadmap: 10 Key Enabling Technologies. Elsevier Computer Networks 2016; 106: 17-48.
- [28] Akshita A, Rakesh Kumar J. Power Optimization in 5G Networks: A Step Towards Green Communication. IEEE Access 2016; 4: 1355-1374.
- [29] Mahmoud. A. M. A. 5G Wireless Communication Systems: Vision and Challenges. IEEE International Conference on Computer, Communications, and Control Technology I4CT 2015; 493-497.
- [30] Fourat H, et al. Spectral Efficiency Analysis of Mobile Femtocell Based Cellular Systems. IEEE International Conference on Communicaiton Technology ICCT 2011; 347-351.
- [31] Volker J, et al. The role of small cells, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G. IEEE Commun. Mag. 2014; 52(5): 44-51.
- [32] Yi W, Jian L, Lei H, Yao J, Andreas G, Panagiotis D. 5G mobile spectrum broadening to higher-frequency bands to support high data rates. IEEE Vehicular Technology Magazine 2014; 9(3): 39-46.