



# Emerging Technologies in 5G Cellular Communication Systems

Burak Turer<sup>1\*</sup>, Mumtaz Yilmaz<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aydın Adnan Menderes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5772-1074), burakturer97@gmail.com

<sup>2</sup> Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Engineering, Department of Electrical&Electronics Engineering, Aydın, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1121-7331)

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1111312)

**ATIF/REFERENCE:** Turer, B., Yilmaz, M. (2022). Emerging Technologies in 5G Cellular Communication Systems. *European Journal of Science and Technology*, (36), 128-133.

## Abstract

Starting with the first generation systems known as "Advanced Mobile Phone System", cellular communication systems have always been in development. Nowadays, the latest cellular communication system whose standardization is mature enough and which has been put on market by service providers is the fifth generation (5G) system. The aim of this study is to introduce emerging technologies to be used with 5G. These technologies include millimeter-wave technology, small cell technology, massive MIMO technology, beamforming technology and full duplex technology. To summarize these technologies; millimeter-wave technology ensures that the bandwidth is extended, but due to high frequency level used, the signals travel shorter distances and transmission losses increase in air and solid materials. So small cell technology has been suggested as a solution to this problem. In this technology, transmission range is extended by using base stations located at shorter proximity, but more antennas are needed. As a solution to the need for multiple antennas in question, massive MIMO technology has developed. With this technology, a base station can send and receive signals (data) from many more users at the same time, but installation of excess antennas causes interference between signals. In this case, beamforming technology is used. Additionally, the so-called full duplex technology attempts to achieve high efficiency and low latency. As a result, all these technologies used in 5G are supporting each other by eliminating the others' shortcomings, and an all-in-one 5G systems are promising technology.

**Keywords:** 5G, Milimeter Wave, Small Cell, Massive MIMO, Beamforming, Full Duplex.

## 5G Hücresel Haberleşme Sistemlerinde Yeni Teknolojiler

### Öz

Hücresel haberleşme sistemleri "İleri Mobil Telefon Sistemi" olarak bilinen birinci nesil sistemlerden başlayarak sürekli geliştirme çalışmaları içinde olmuştur. Günümüzde standartlaşma çalışmaları olgunlaşmış ve servis sağlayıcılar tarafından pazara sunulmuş en güncel hücresel haberleşme sistemi beşinci nesil (5G) sistemlerdir. Bu çalışmada amaç 5G sistemler ile birlikte kullanılmak üzere oluşturulmuş olan teknolojilerin tanıtılmasıdır. Bu teknolojiler; milimetre dalga teknolojisi, küçük hücre teknolojisi, yoğun çoklu giriş-çıkış (massive multiple input - multiple output, massive MIMO) teknolojisi, ışın yönlendirme (beamforming) teknolojisi ve tam çift yönlü teknolojisidir. Bu teknolojileri özetlemek gerekirse, milimetre dalga teknolojisi bant aralığını genişletmeyi sağlar fakat kullanılan yüksek frekans seviyesi nedeniyle iletim menzili azalır, ayrıca havada ve katı malzemelerde iletim kayıpları artmaktadır. Bu problemlere çözüm olması amacıyla küçük hücre teknolojisi önerilmiştir. Bu teknolojiye daha kısa yakınlıkta yerleştirilen baz istasyonları kullanılarak iletim mesafesi genişletilmekte ancak daha fazla antene ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu çoklu anten ihtiyacına çözüm olarak yoğun MIMO teknolojisi gelişmiştir. Bu teknoloji ile de bir baz istasyonu, aynı anda çok daha fazla kullanıcıdan sinyal (veri) gönderip alabilir fakat fazla sayıda anten kurulumu sinyaller arası girişime neden olmaktadır. Bu durumda da ışın yönlendirme teknolojisi kullanılır. Ek olarak, çift yönlü adı verilen teknoloji ile de yüksek verim, düşük gecikme süreleri elde edilmeye çalışılır. Sonuç olarak 5G de kullanılan tüm teknolojiler birbirinin eksiklerini azaltarak birbirlerini destekler niteliktedir ve tüm bunları içeren 5G sistemler gelecek vaat eden bir teknolojidir.

**Anahtar Kelimeler:** 5G, Milimetre Dalga, Küçük Hücre, Yoğun MIMO, Işın Yönlendirme, Tam Çift Yönlü.

\* Corresponding Author: [burakturer97@gmail.com](mailto:burakturer97@gmail.com)

## 1. Giriş

Hücresel haberleşme sistemlerinin gelişimi incelendiğinde ikinci nesilde ses iletimi temelli bir yapı gözlenirken, üçüncü ve dördüncü nesil ile birlikte genişbant multimedya verilerinin iletimi ön plandadır. Beşinci nesil (5G) ile birlikte çok yüksek veri trafiği, çok sayıda cihaz bağlantısı ve yüksek kullanıcı mobilitesi gibi sistem gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. Tüm bu gereksinimleri karşılaması beklenen 5G teknolojisi, endüstri ile entegre biçimde geniş kullanım alanı bulacaktır.

5G haberleşme sistemleri öncelikli olarak kapasite artışı, büyük çapta bağlanabilirlik ve çok çeşitli servis hizmeti verilmesi gereksinimlerine odaklanmaktadır. Bu kapsamda Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) 5G servislerini temel olarak üç kategoriye ayırmıştır [1]. Bu servisler sırasıyla Geliştirilmiş Mobil Genişband (Enhanced Mobile Broadband (eMBB)), Kitlesel Makine Tipi İletişim (Massive Machine Type Communication (mMTC)) ve Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (Ultra Reliable Low Latency Communication (uRLLC)) olarak verilebilir.

Bunlardan eMBB yüksek bant genişlikli internet erişimi, yüksek çözünürlükte video yayını ve yapay gerçeklik gibi kullanıcı gereksinimlerini karşılayan servisler kümesidir. mMTC ise akıllı şehir, akıllı tarım ve sensör ağları gibi yüksek sayıda cihazın birbirine bağlı olduğu yapıda yoğun veri trafiğinin yönetimini sağlamaktadır. Son olarak otonom sürüş sistemleri, fabrika otomasyonları gibi milisaniye altında gecikme ve çok düşük paket kayıp oranı gerektiren uygulamalarda URLLC servisi ile gerekli gecikme sınırları sağlanır. Tüm bu servisler bir arada düşünüldüğünde 5G haberleşme teknolojisinin endüstride üretim, otomotiv, lojistik ve enerji gibi çok farklı alanlarda kullanım alanı bulacağını söylemek mümkündür.

5G teknolojisi üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Şirketler ve sanayi gruplarının genellikle ortak olarak hemfikir olduğu konu; mobil kullanıcıların sayısı ve veri talepleri arttıkça, 5G'nin günümüz hücresel ağlarını oluşturan baz istasyonlarından çok daha yüksek hızlarda çok daha fazla trafikle başa çıkması gerektiğidir. 5G sistemlerine özel teknolojilerle birlikte, günümüzün 4G ağlarındaki yaklaşık 70 ms'lik gecikme süresi ile karşılaştırıldığında 5G teknolojisi, verileri bir milisaniyeden daha az gecikmeyle sunacak ve 4G'deki 1 Gbit/sn'ye kıyasla kullanıcılara saniyede maksimum 20 Gbit hızına kadar indirme hızları sağlayacaktır.

5G teknolojileri arasında öne çıkanların başında milimetre dalga, küçük hücre, yoğun çoklu giriş-çoklu çıkış (massive multiple input - multiple output, massive MIMO), ışın yönlendirme (beamforming) ve tam çift yönlü teknolojisi gelmektedir. 5G'nin bugünün 4G ağlarından farklarını anlayabilmek için, bu beş teknolojinin üzerinden geçmek ve her birinin kablosuz kullanıcılar için ne anlama geldiğini değerlendirmek faydalı olacaktır.

## 2. 5G Sistem Yapısı ve Spektrumu

Sistem gereksinimleri nedeniyle önceki nesillere kıyasla 5G ağ yapısında değişiklikler gereklidir. Temel olarak 5G ağ mimarisi kontrol ve iletim fonksiyonları görevini yerine getiren çekirdek ağ ve yüksek performanslı erişim ağından oluşmaktadır. Farklı yapıdaki baz istasyonları ve kablosuz cihazlar erişim ağının bileşenleri olup gelişmiş kaynak paylaşımı ve zaman çizelgeleri

uygulanmaktadır. 5G sistemler ile birlikte radyo erişimi ağı için önceki nesillerden farklı olarak (radio access network, RAN) bulut yapılı (CRAN), heterojen bulut yapılı (H-CRAN) ve sis yapılı (Fog RAN) çözümler geliştirilmiştir [2].

5G sistemler için kullanılacak frekans bantları incelendiğinde düşük bant, orta bant ve yüksek bant olarak üç ayrı bölüme ayrıldığı görülmektedir. Düşük bant 1 GHz altını, orta bant 1 GHz-6 GHz frekans aralığını, yüksek bant ise 24 GHz üzeri frekans bandını kapsamaktadır. Her bir bantın avantajlarının yanında zorlukları da mevcuttur. Düşük bant, daha geniş kapsama alanı sağlayan iyi iletim karakteristiğine sahip olmakla birlikte bant genişliği kısıtlaması nedeniyle sınırlı kapasite sunabilmektedir. Orta bant düşük banda kıyasla daha yüksek kapasite ve kentsel bölgeler için makul kapsama alanı sağlamaktadır.

## 3. 5G Teknolojileri

5G sistemlerin yüksek kapasite, düşük gecikme, geniş bant aralığı ve düşük anten boyutları gibi avantajlarını sağlayan teknolojiler bu bölümde sırayla verilecektir.

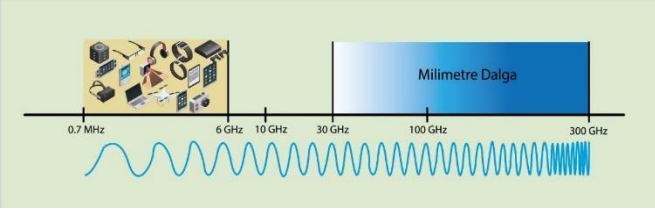
### 3.1. Milimetre Dalga

Geçmişte kablosuz haberleşme ağları daha çok ses iletimi amaçlı iken günümüzdeki haberleşme sistemlerinde, kablosuz cihazlar için yüksek kaliteli, düşük gecikmeli iletim ve multimedya uygulamaları sunulmaya çalışılır. Daha fazla sayıda cihazın ve kullanıcıların varlığıyla her zamankinden daha yüksek veri trafiği oluşmaktadır. Ancak mobil servis sağlayıcılara atanmış lisanslı radyo frekans spektrumu kısıtlı bant aralığına sahiptir. Bu da düşük bant genişliği ile birlikte düşük veri hızına sebep olur.

Bugünkü uygulamalar çoğunlukla 700 MHz ile 2.6 GHz arasında bir taşıyıcı frekans ile sınırlı kalmaktadır [3], [4]. Fakat bununla sınırlı kalmayan ve gelişen günümüz teknolojisinde kullanılan insansız hava/deniz/kara araçları, akıllı ulaşım sistemleri, robotlar, akıllı şebekeler, akıllı binalar, akıllı şehirler, artırılmış gerçeklik, mobil sosyal hizmetler ve her yerden kumanda edilmek istenen sistemler gelişmiştir ancak bu bant aralığı yeni teknolojik ürünler için yetersiz kalmaktadır.

Buna çözüm olarak sinyalleri spektrumun yeni bir bandında iletimi öne çıkmıştır. Mobil cihazlar için geçmişte kullanılan 6 GHz'in altındaki bantlara kıyasla, Şekil 1'de de görüldüğü gibi milimetre dalgalar 30-300 GHz aralığındaki frekanslarda yayınlanır [5]. Bu frekans bandındaki iletim teknolojisine milimetre dalga teknolojisi adı verilmiş olup 5G sistemlerin önemli bir adımını oluşturmaktadır. Milimetre dalgadaki dalga boyu 1 ile 10 mm arasında değişmekte olup kızılötesi dalgalardan veya X ışınları ile karşılaştırıldığında daha büyüktür [5]. Ancak radyo dalgalarıyla veya mikrodalgalarla karşılaştırıldığında ise daha küçük dalga boyuna sahip olduğu söylenebilir [6]. Günümüzün akıllı telefonlarına hizmet eden radyo dalgaları ise 10 cm civarındadır.

Milimetre dalga teknolojisinin 5G sisteminde kullanılması ile getireceği birçok avantaj bulunmaktadır. Yüksek frekansta geniş bant aralığı sağlanması sayesinde yüksek veri hızları mümkün hale gelmiştir. Bunun yanında yüksek güvenilirlikli veri iletimi sağlanması, yüksek frekansın yeniden etkin kullanımını mümkün kılması ve fiber optik veri aktarım hızı sunarak yüksek hızlı internet, veri ve ses iletişimi sağlanması diğer avantajlarıdır.



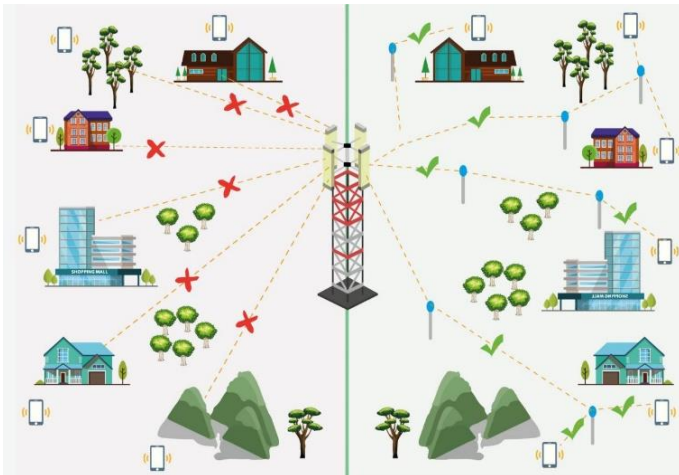
Şekil 1: Milimetre dalgada frekans aralığı

Milimetre dalga teknolojisinin avantajlarının yanında getirdiği bazı dezavantajları da vardır. Bunların başında daha küçük boyutlu bileşenler nedeniyle daha hassas donanımların imalatında daha yüksek maliyetlerin olmasıdır. Ayrıca çok yüksek frekanslarda, önemli bir zayıflama oluşmaktadır. Bu nedenle milimetre dalgalar, uzun mesafeli uygulamalar için zorluklar oluşturmaktadır. Milimetre dalgasının beton duvarlar gibi cisimlere nüfuz etme gücü daha az olduğu bilinmektedir. Daha yüksek frekanslarda oksijen ve yağmurla etkileşimleri vardır [6]. Bu etkileşimler nedeniyle vericiler ve alıcılar arasındaki sinyallerde zayıflamalar meydana gelmektedir ve sinyaller engellerden geçemediği için bozulmalar yaşanmaktadır. Milimetre dalgadaki bu problemler küçük hücre teknolojinin gelişmesine öncü olmuştur.

### 3.2. Küçük Hücre

Bir baz istasyonu ve kullanıcılar arasındaki kapsama alanını genişletmek için küçük hücre istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Küçük hücre teknolojisi olarak adlandırılan bu teknoloji temelde baz istasyonunun minimize edilmiş halidir. Yani bir hücre bölgesini çok daha küçük bölgelere ayırma işlemidir. Şekil 2'de de bir baz istasyonunun daha küçük hücrelere ayrılması ve bu küçük hücrelere sinyallerin iletimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her hücre istasyonu küçük bir alanı kaplamaktadır.

Küçük hücreler iç mekân veya dış mekânda kullanılmak üzere piko hücreler, mikro hücreler ve femto hücrelere ayrılır. Makro baz istasyonu ile küçük hücreler arasında bir iletim ağı olduğu gibi küçük hücreler içinde de hücre özelinde birçok iletim kanalı bulunmaktadır. Küçük hücrelerin başlıca amacı, makro hücrenin uç veri kapasitesini, hızını ve genel ağ verimliliğini arttırmaktır. Küçük hücrelerin temel olarak kullanım alanları belirli bir noktada verileri kullanan çok sayıda kullanıcının olduğu yerler yani alışveriş merkezleri, spor salonları, stadyumlar, havaalanları ve tren- otobüs istasyonları gibi yerlerdir [7].



Şekil 2: Minimize edilmiş baz istasyonu

İstasyonlar kurulurken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar da bulunmaktadır. Bir bölgede kurulabilecek küçük hücre istasyonunun sayısı ve aralarındaki mesafe o yerdeki nüfusa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin çok kalabalık bir semtte, iki küçük hücre arasındaki mesafe 10 ile 100 metre arasında değişebilir.

Hücreler, küçükten büyüğe doğru kapsama alanları ve kullanıcı sayılarına göre sıralanacak olursa femto hücrelerin kapsama alanı 10 ile 100m ve kullanıcı sayısı 1-30 kişi arasında, piko hücrelerin kapsama alanları 100 ile 200m ve kullanıcı sayısı 30-100 kişi arasında, mikro hücrelerin kapsama alanları 200 ile 2000m ve kullanıcı sayısı 1000-2000 kişi arasındadır [8]. Son olarak makro hücrelerin ise kapsama alanları 8 ile 30 km arasındadır ve kullanıcı sayısı 2000 kişiden fazladır [8]. Sayılar dikkate alındığında mesafelerin ve nüfusun yeterli olmasıyla birlikte yakın gelecekte, yaşadığımız bölgelerin birçok noktasında böyle küçük hücrelerle karşılaşmak mümkün olacaktır.

5G sistemlerde kullanılan küçük hücre teknolojisini avantajlarının başında maliyet unsuru gelmektedir. Servis sağlayıcıların mevcut durumda kullandıkları pahalı çatı sistemlerinin yerine genel maliyetleri azaltan daha küçük ölçekli istasyonlar kurulmaktadır. Aynı zamanda veri kapasitesinin artışı sağlamaktadır. Kablosuz mobil cihazlar, küçük hücre baz istasyonuna daha yakınsa düşük güç seviyelerinde iletim yapmaktadır, bu da cihazlardaki gücü etkili bir şekilde düşürür ve pil ömrünü önemli ölçüde artırarak mobil telefonların performansını iyileştirmeye yardımcı olur [7].

### 3.3. Yoğun MIMO

5G ile birlikte kablosuz haberleşme teknolojisinde önemli performans sağlayan diğer teknoloji ise yoğun MIMO'dur. Yoğun MIMO, yüzlerce anten dizisine sahip bir baz istasyonunun aynı zaman veya frekans aralığında her biri tek bir antene sahip olan çok sayıda kullanıcı terminaline bağımsız veri akışı sağladığı bir tekniktir [9]. Bu teknolojinin temel amacı önceki nesil hücresel sistemlere kıyasla çok daha fazla sayıda anten kullanılmasıdır ve yoğun MIMO teknolojisinde kullanılan bu anten dizisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Anten sayısının artması enerjinin daha küçük bir alana odaklanmasını sağlamaktadır [10].

Bu teknoloji sayesinde, önemli seviyede ışın yönlendirme kazancı elde edilir ve paralel olarak daha fazla kullanıcıya hizmet edilebilir [9]. Fakat dezavantajı olarak anten sayısını arttırmak her zaman daha yüksek karmaşıklığa ve daha yüksek maliyetlere sebep olmaktadır [11]. Bu yüzden yoğun MIMO sistemlerinde kanal tahmini ve kanal paylaşımı ile ilgili karmaşıklığı önlemek için frekans bölmeli çift yönlüye göre zaman bölmeli çift yönlü daha çok tercih edilir [12].

Yoğun MIMO kullanımı, yüksek veri hızlarının yanı sıra gelişmiş bağlantı güvenilirliği, kapsama alanı ve enerji verimliliği sağlaması beklenen umut verici bir teknoloji olmuştur ve son zamanlarda kablosuz haberleşme teknolojisinde kullanımı giderek yaygınlaşmıştır [13]. Küçük hücre ve yoğun MIMO arasındaki karşılaştırma [14]' da ki yayında yapılmıştır. Bunun sonucunda küçük hücrenin enerji verimliliğinin yoğun MIMO'dan daha büyük olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda yüksek frekanslar için uygun olan milimetre dalgasını destekleyecek bir 5G teknolojisi olan yoğun MIMO anten dizisine sahip olmayı mümkün kılmaktadır.

Dalga frekansı ve anten boyutu arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Bu ters orantılı durum, daha düşük frekanslı

sinyallerin iletilmesi ve alınması için daha büyük boyutlu bir antene ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Aynı zamanda daha yüksek frekanslı sinyaller de daha küçük boyutlu bir antenle çalışabilmektedir. 5G hücrel haberleşme sistemlerinde milimetre dalga teknolojisi kullanılması ile birlikte yüksek frekanslarda (100GHz – 300GHz) çalışıldığı için bu frekanslara uygun küçük antenler kullanılarak küçük boyutlu bir hücre veya panel üzerine çok sayıda verici ve alıcının kurulması mümkün olmaktadır. Bu da yoğun MIMO olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin daha eski teknolojiler için bir hücre 10 antene sahip olabilirken, 5G için aynı hücrenin 100 anteni olabilir. Böylece küçük bir hücre aynı anda çok daha fazla kullanıcıya hizmet verebilir. Bu teknolojinin avantajları sıradaki gibi özetlenebilir.

• **Çoğullama Kazancı:** Yoğun MIMO’da kullanılan ve yüksek oranlı bir sinyalin çok sayıda düşük oranlı akışa bölünüp her bir akışın aynı frekans kanalındaki farklı bir antenden iletilmesiyle oluşan uzaysal çoğullama, kapasiteyi 10 kat daha fazla arttırmayı teorik olarak mümkün kılar [9].

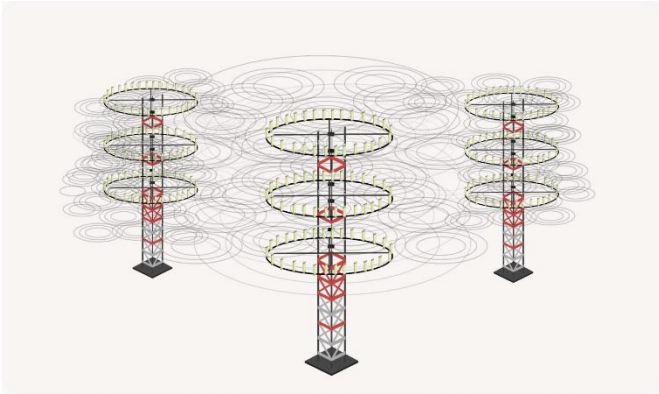
• **Enerji Verimliliği:** Geniş anten dizimleri, uyumlu birleştirme ve artırılmış anten açıklığı yoluyla kullanıcı-baz hattı (uplink) ve baz-kullanıcı hattı (downlink) iletim güçlerini potansiyel olarak azaltabilir. Bu teknik ile kullanıcı terminalinin baz istasyonuna iletim gücü, baz istasyonundaki anten sayısı ters orantılı hale gelmekte olup baz istasyonu anten sayısındaki artış nedeniyle kullanıcı iletim güçleri düşmektedir. Bu nedenle yoğun MIMO teknolojisi performansta azalma olmaksızın enerji verimliliği sunmaktadır [15], [16].

• **Spektral Verimlilik:** Yoğun MIMO sistemlerinde çok sayıda iletim anteni kullanılarak tek bir kullanıcıya ışın yönlendirme yerine birçok kullanıcıya çoklama yapıldığından spektral verimlilik avantajı sağlar [15], [17].

• **Artan Güvenilirlik ve Kararlılık:** Baz istasyonunda çoklu anten kullanımı temel olarak daha fazla çeşitlilik kazanımı sağlar. Bu da veri hızı veya bağlantı güvenilirliği açısından daha iyi performansa yol açar. Ayrıca anten sayısı arttığında ilintisiz gürültü, hızlı sönmüleme ve hücre içi gürültü kaybolur [18], [19].

• **Basit Doğrusal İşleme:** Baz istasyonunun anteni kullanıcı anteninden çok daha büyük boyutta olduğu için, optimal olarak basit doğrusal ön kodlayıcılar ve detektörler kullanılmaktadır [18].

• **Radio Frekans (RF) Güç Bileşenlerinde Maliyet Düşüşü:** Enerji tüketimindeki azalma nedeniyle, geniş anten dizisi miliWatt seviyesinde düşük maliyetli radyo frekans amplifikatörlerinin kullanımına izin verir [19].



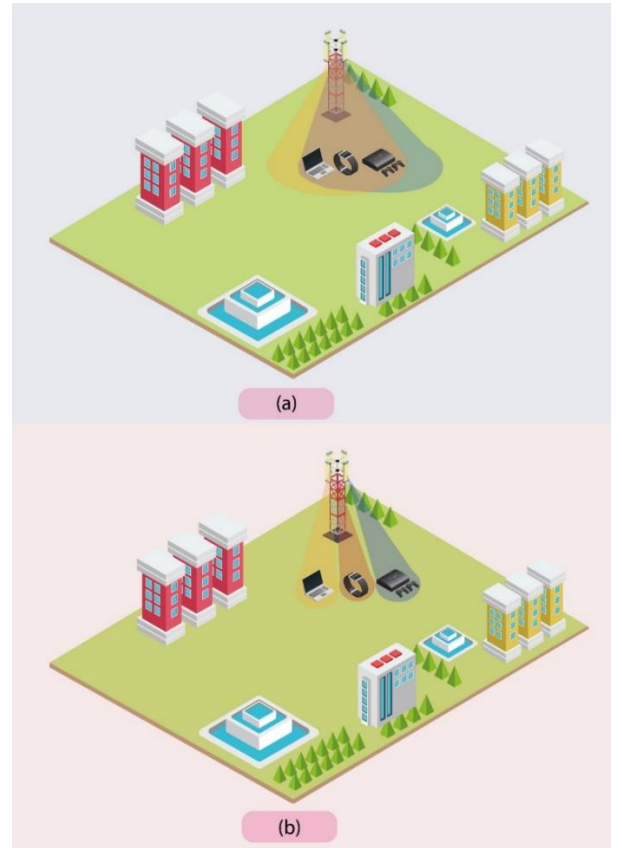
Şekil 3: Yoğun MIMO anten dizisi

### 3.4. Işın Yönlendirme

Işın yönlendirme, belirli bir kullanıcıya en verimli veri dağıtım yolunu tanımlayan ve bu süreçte yakındaki kullanıcılar için girişimi azaltan hücrel baz istasyonları için bir trafik sinyali sistemidir. Şartlara bağlı olarak, 5G ağlarda bu teknolojiyi uygulamanın birkaç yolu vardır.

Işın yönlendirme, yoğun MIMO dizilerinin mevcut lisanslı spektrumu daha verimli kullanılma- sına yardımcı olur. Yoğun MIMO için en büyük problem, aynı anda daha fazla antenden daha fazla bilgi iletirken girişimin oluşmasıdır. Yoğun MIMO baz istasyonlarında sinyal işleme algoritmaları, baz istasyonundan her kullanıcıya en iyi iletim yolunu oluşturur. Sonrasında kullanıcıya özel veri paketlerini ilgili kullanıcıya yönlendirilmiş bir örüntüde göndermektedir. Işın yönlendirme, paketlerin hareketlerinin ve varış zamanının düzenlenmesini yaparak yoğun MIMO dizisindeki birçok kullanıcının ve antenin aynı anda çok daha fazla bilgi alışverişinde bulunmasına olanak tanır.

4G teknolojisi de dahil olmak üzere standart antenlerden iletilen kablosuz sinyaller, Şekil 4(a)’da görüldüğü gibi çok yönlü değil fakat geniş bir alana yayılmaktadır ve bu nedenle sinyaller daha hızlı enerji kaybetme eğiliminde olmaktadır. Ayrıca farklı kullanıcıların birbirlerine yakın olmaları durumunda ise sinyaller arası girişim ortaya çıkabilmekte ve performans azalmaktadır. Işın yönlendirme, kullanıcılar ile baz veya küçük hücre istasyonu arasındaki iletimi yönlü hale getirerek bu durumu iyileştirmektedir. Sinyaller görünmez bir kablo boyunca ilerleyen bir lazer ışını olarak düşünüldüğünde daha yüksek ışın yönlendirme yoğunluğu sağlandığı için, daha az girişime ve daha az enerji tüketimine olanak tanır. Böylece daha yüksek bir veri hızı elde edilebilir.



Şekil 4: Işın yönlendirme ile sinyal dağıtımı

Işın yönlendirme, milimetre dalgalar için farklı bir problemi ele almak için kullanılır: Hücrel sinyaller nesnelere tarafından kolayca engellenir ve uzun mesafelerde zayıflama eğilimindedir. Bu durumda ışın yönlendirme teknolojisi, aynı anda birçok yönde yayın yapmak yerine, Şekil 4(b)'de de görüldüğü üzere yalnızca kullanıcının yönüne odaklı bir ışına yaparak yardımcı olur [5]. Bu yaklaşım, sinyalin bozulmadan gelme olasılığını artırmanın yanında ve diğer kullanıcılar arasında oluşabilecek olan girişimi azaltır.

### 3.5. Tam Çift Yönlü

Operatörlerin 5G için daha fazla spektrum elde etmeye çalıştıkları bir dönemde, mevcut spektrumu daha verimli kullanmanın bir yolunu sunan her teknoloji daha kapsamlı incelemeye değerlidir. Tam çift yönlü (full duplex) teknoloji on yıldan daha eski bir teknoloji olmasına karşın spektrumu daha verimli bir şekilde kullanabildiği için bazı mobil operatörler ve altyapı sağlayıcılarının ilgisini yeniden kazanmaktadır.

Tam çift yönlü teknolojinin neden bu kadar ilgi çekici olduğunu anlamak için, ilk önce 3G ve 4G ağlarının kullanıcı-baz ve baz-kullanıcı sinyallerini nasıl ele aldığını anlamak önemlidir. İki temel konfigürasyon vardır:

- Frekans Bölmeli Çift Yönlü (FDD): FDD ile, gönderme ve alma sinyalleri farklı spektrum bantlarındadır. Başka bir deyişle, kullanıcıdan baz istasyonuna iletilen sinyal belli bir spektrum bloğunda gönderilirken baz istasyonundan kullanıcıya iletilen sinyal başka bir spektrum bloğunda iletilir.

- Zaman Bölmeli Çift Yönlü (TDD): TDD ile kullanıcı-baz arası iletilen sinyal, aynı frekans bandında farklı zaman dilimleri kullanılarak baz-kullanıcı arası iletilen sinyalden ayrılır. Yani, kullanıcı-baz arası sinyaller iletildikten sonra baz-kullanıcı arası iletim gerçekleşir.

Tam çift yönlü teknolojisinde ise aynı anda tek bir spektrum kanalı üzerinden kablosuz sinyalleri iletme ve alma olanağı mümkündür. Mevcut 4G kablosuz ağlarında ağırlıklı olarak yarı çift yönlü FDD ve TDD kullanır [20], [21]. 5G ile birlikte bir alıcı-verici çifti, aynı frekansta aynı zamanda veri gönderip alabilir. Bu teknoloji tam çift yönlü olarak adlandırılır ve kablosuz ağların kapasitesini ikiye katlama olanağı sağlar.

Bazı askeri birlikler hali hazırda boyutsal olarak büyük ekipmanlara dayanan tam çift yönlü teknolojiyi kullanmaktadır. Fakat kişisel cihazlarda tam çift yönlü elde etmek için, araştırmacılar gelen ve giden sinyalleri yönlendirebilen bir devre tasarlamalıdır, böylece anten aynı anda veri gönderip alırken sinyallerin girişimi önlenmiş olacaktır [22]. Uygulama açısından ise özellikle radyo dalgalarının karşılıklı olarak bilinen ilkesi nedeniyle zorludur. Ancak yakın zamanlı çalışmaların sonucunda uzmanlar, bu dalgaların geriye dönüşünü durdurmak için yüksek hızlı anahtarlar gibi davranan ve aynı frekansta sinyalleri aynı anda iletip almalarını sağlayan silikon transistörleri oluşturmuşlardır.

Tam çift yönlü teknolojisinin dezavantajı, yansıma yoluyla daha fazla sinyal girişimi oluşturmaktır. Bir vericiden sinyal iletilirken, bu sinyal cihazın antenine çok daha yakındır ve bu nedenle aldığı herhangi bir dış sinyalden daha güçlüdür. Bir antenin aynı anda hem iletip hem de almasını sağlamak yalnızca özel yansıma engelleme teknolojisi ile mümkün olmaktadır.

## 5. Sonuçlar

Birinci nesil sistemlerden günümüz 4G sistemlerine geliştikçe hücrel sistemlerinde kullanılan taşıyıcı frekans bandı artış içindedir. Düşük frekans bantlarındaki sinyaller, kilometrelerce boyunca yayılabilir ve binalara kolay nüfuz edebilir. Gelişen 5G teknolojisiyle birlikte, kullanılan milimetre dalga teknolojisi bant aralığını 24GHz ile 40GHz arasında oldukça yüksek bir değere genişletmiştir. Ancak özellikle yüksek frekans bandında sinyallerin iletiminde çok fazla zayıflama olmaktadır. Sinyaller sadece birkaç kilometre hatta daha az mesafede yol alabilmektedir. Ayrıca havada oksijen veya yağmur damlasıyla etkileşime geçmesi sonucu ya da beton duvarlar gibi cisimlerin içerisinden geçerken yüksek iletim kayıpları oluşmaktadır. Bu yüzden milimetre dalga teknolojisi ile birlikte küçük hücre teknolojisi de geliştirilmiştir.

5G sistem gereksinimlerine ulaşmak için sadece baz istasyonu sayısını arttırmak yeterli olmayacak olup, daha kapsamlı bir teknolojik dönüşüm gerekecektir. Küçük hücrelerde kullanılacak olan antenler milimetre dalga boyları ile uyumlu olarak geleneksel antenlerden çok daha küçük boyutta olacaktır. Söz konusu küçük hücreler, kentsel bölgelerde birkaç yüz metre aralıklarla konumlandırılacak olup minimum güç tüketimine sahip minyatür baz istasyonlarıdır. Küçük hücrelerin boyut avantajı nedeniyle, aydınlatma direklerine veya binaların üstüne kurulumu mümkün olacaktır. Baz istasyonu sayısının artması sonucu kullanılabilir tüm kanal kümesi farklı hücrelerde yeniden kullanılabilir ve bunun sonucunda sistem kapasitesi artmaktadır.

5G sistemleri günümüz baz istasyonlarından daha fazla sayıda antene ihtiyaç duyacaktır. Bu gereksinim nedeniyle diğer bir 5G teknolojisi olan Yoğun MIMO teknolojisi geliştirilmiştir. Günümüz 4G baz istasyonları antenlerindeki bağlantı noktası sayısına kıyasla çok daha fazla sayıda bağlantı noktası destekleyebilen 5G baz istasyonlarında çok daha fazla anten tek bir anten dizisine yerleşebilecektir. Bu nedenle bir baz istasyonunun aynı anda çok daha fazla kullanıcıya hizmet verebilmesi ve mobil ağların kapasitesinin onlarca kat artabilmesi mümkün olmaktadır.

Düşük dalga boylarında yüksek frekansta çalışan küçük boyutlu antenler kullanılarak, yüksek bant genişliği sunan küçük hücreler oluşturulup daha fazla kullanıcıya hizmet verilebilmektedir. Anten dizilimi ve ilgili elektronik aksam boyutundaki küçülme, düşük frekanslı milimetre dalga iletimi gerçekleşen küçük hücreleri, yoğun MIMO için daha uygun bir teknoloji yapmaktadır. Bu nedenle, iki teknolojinin uyumlu bir şekilde birlikte kullanılması ile daha iyi sonuçlar alınabilecektir.

Yoğun MIMO teknolojisi ile birlikte hücrel trafiği işlemek için daha fazla sayıda anten kullanılması sonucu girişime artmaktadır. Söz konusu girişimi azaltmak için diğer bir teknoloji olan ışın yönlendirme teknolojisi önerilmiştir. 5G sistemler için diğer önemli bir yöntem tam çift yönlü adı verilen bir teknoloji olup 5G için gereken yüksek verim ve düşük gecikme süreleri sağlanması hedeflenmektedir.

Tam çift yönlü ve diğer 5G teknolojileri ile birlikte 5G sistemlerde ultra düşük gecikme ve yüksek veri hızlarına ulaşılabilecektir. Ayrıca 5G sistemler başta tüm mobil sistemler, endüstri, sensör ağları ve akıllı sistemler olmak üzere gelecekteki, otonom sürüş sistemleri ve sanal gerçeklik sistemlerinde önemli bir kullanım alanı bulacaktır.

## Kaynakça

- [1] Recommendation ITU-R M.2083 – “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond”, 2015, <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083>
- [2] Z. Guizani and N. Hamdi, "CRAN H-CRAN and F-RAN for 5G systems: Key capabilities and recent advances", *Int. J. Netw. Manag.*, vol. 27, no. 5, 2017.
- [3] T. S. Rappaport *et al.*, “Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!,” *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013, doi: 10.1109/ACCESS.2013.2260813.
- [4] K. Sakaguchi *et al.*, “Millimeter-wave evolution for 5G cellular networks,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E98B, no. 3, pp. 388–402, 2015, doi: 10.1587/transcom.E98.B.388.
- [5] A. Nordrum, “Here Comes 5G — Whatever That Is,” *IEEE Spectr.*, vol. 54, pp. 44–45, 2017, [Online]. Available: doi: 10.1109/MSPEC.2017.7802747.
- [6] U. Ozkaya and L. Seyfi, “Dimension optimization of microstrip patch antenna in X/Ku band via artificial neural network,” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2015, 2520-2526.
- [7] T. Nguyen, “Small Cell Networks and the Evolution of 5G-Qorvo.” <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g> (accessed Apr. 26, 2021).
- [8] M. A. Öztaşlan, “Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 5G Baz İstasyonlarının Kapsama Alanına Yönelik Yol Kaybı Analizleri ve Konumlandırılması Path Loss Analyzes and Positioning for Coverage Area of 5G Base Stations,” vol. 4, no. 1, pp. 6–13, 2021.
- [9] E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. L. Marzetta, “Massive MIMO for next generation wireless systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 186–195, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6736761.
- [10] Ö. B. Akan, “TeraFemto : 5G Mobil İletişim Ağları için Terahertz Femtocell Program Kodu : 1003 Proje No : 113E962,” 2017.
- [11] V. Jungnickel *et al.*, “The role of small cells, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 44–51, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6815892.
- [12] M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena, “Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1617–1655, 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2532458.
- [13] O. Elijah, C. Y. Leow, T. A. Rahman, S. Nunoo, and S. Z. Iliya, “A Comprehensive Survey of Pilot Contamination in Massive MIMO-5G System,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 18, no. 2, pp. 905–923, 2016, doi: 10.1109/COMST.2015.2504379.
- [14] W. Liu, S. Han, C. Yang, and C. Sun, “Massive MIMO or small cell network: Who is more energy efficient?,” *2013 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. Work. WCNCW 2013*, no. April 2013, pp. 24–29, 2013, doi: 10.1109/WCNCW.2013.6533309.
- [15] P. SinghParihar, R. Saraswat, and S. Maheshwari, “Energy and Spectral Efficiency of Very Large Multiuser MIMO Systems,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 111, no. 5, pp. 4–7, 2015, doi: 10.5120/19532-1175.
- [16] H. Q. Ngo, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, “Uplink power efficiency of multiuser MIMO with very large antenna arrays,” *2011 49th Annu. Allert. Conf. Commun. Control. Comput. Allert.* 2011, pp. 1272–1279, 2011, doi: 10.1109/Allerton.2011.6120314.
- [17] E. Bjornson, E. G. Larsson, and M. Debbah, “Optimizing multi-cell massive MIMO for spectral efficiency: How Many users should be scheduled?,” *2014 IEEE Glob. Conf. Signal Inf. Process. Glob.* 2014, pp. 612–616, 2014, doi: 10.1109/GlobalSIP.2014.7032190.
- [18] T. L. Marzetta, “Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, 2010, doi: 10.1109/TWC.2010.092810.091092.
- [19] F. Rusek *et al.*, “Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays,” *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 30, no. 1, pp. 40–60, 2013, doi: 10.1109/MSP.2011.2178495.
- [20] S. K. Sharma, T. E. Bogale, L. B. Le, S. Chatzinotas, X. Wang, and B. Ottersten, “Dynamic Spectrum Sharing in 5G Wireless Networks with Full-Duplex Technology: Recent Advances and Research Challenges,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 20, no. 1, pp. 674–707, 2018, doi: 10.1109/COMST.2017.2773628.
- [21] R. Askar, J. Chung, Z. Guo, H. Ko, W. Keusgen, and T. Haustein, “Interference handling challenges toward full duplex evolution in 5G and beyond cellular networks,” *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 28, no. 1, pp. 51–59, 2021, doi: 10.1109/MWC.001.2000228.
- [22] X. Zhang, W. Cheng, and H. Zhang, “Full Duplex Transmission in PHY and MAC Layers For 5G Mobile Wireless Networks,” *Big Data Cogn. Comput.*, vol. 2, no. 4, pp. 1–11, 2018, [Online].