



Beşinci Nesil Haberleşme Sistemleri için Görece Küçük, Yüksek İzolasyonlu, İki Kapılı MIMO Anten Tasarımı

Relatively Small, High Isolated Two Port MIMO Antenna Design for Fifth Generation Communication Systems

Duygu Yaşar GÜNDOĞDU¹, Agah Oktay ERTAY²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
207621003@ogr.ebyu.edu.tr

²Elektrik Elektronik Mühendisliği
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
aoertay@erzincan.edu.tr

Özet

Bu bildiriye, yeni nesil kablosuz haberleşme sistemleri için, 3.5GHz'te rezonansa giren ve 3.29-3.7 GHz frekans bandında çalışan görece küçük iki kapılı çoklu giriş çoklu çıkış (Multiple Input Multiple Output, MIMO) bir yapıya sahip anten tasarımı sunulmuştur. Tasarımı gerçekleştirilen MIMO anten 3.29-3.7 GHz'i kapsayabilen empedans bant genişliğine ($|S_{11}|$: -10 dB referansına göre) ve -20 dB'den daha iyi karakteristiğe sahip iki kapı arasındaki izolasyona sahiptir. Anten tasarımı sonucunda hesaplanan Zarf Korelasyon Katsayıları (Envelope Correlation Coefficient, ECC) çalışılan frekans bölgesi için 0,01'den azdır ve bu değerler yeni nesil kablosuz haberleşme sistemleri için uygun bir çalışma performansına sahiptir. Tasarlanan anten, çeşitlilik kazancı (Diversity Gain, DG) değeri olarak çalışılan frekans bölgesinde 9.99 dB seviyelerinde olup MIMO anten için yeterli DG çalışma seviyelerindedir. Önerilen anten tasarımı 30×20 mm² boyutlarında olup tasarımda 2.2 dielektrik sabiti olan ve 0.0009 kayıp tanjantına sahip Rogers RT5880 dielektrik malzeme kullanılmıştır.

Abstract

In this paper, an antenna design with a relatively small two-port Multiple Input Multiple Output (MIMO) structure, which resonates at 3.5 GHz and operates in the 3.29-3.7 GHz frequency band, is presented for new generation wireless communication systems. The designed MIMO antenna has an impedance bandwidth that can cover 3.29-3.7 GHz (according to reference $|S_{11}|$: -10 dB) and isolation between two ports with characteristics better than -20 dB. The Envelope Correlation Coefficient (ECC) calculated as a result of the antenna design is less than 0.01 for the frequency region and these values have a suitable operating performance for the new generation wireless communication systems. The designed antenna is at 9.99 dB levels in the frequency region studied as the Diversity Gain (DG) value and is at sufficient DG operating levels for the MIMO antenna. The proposed antenna design is 30×20 mm² in size and Rogers RT5880 dielectric material with a dielectric constant of 2.2 and a loss tangent of 0.0009 is used in the design.

1. Giriş

Değişen teknolojik koşullar kablosuz iletişim sistemlerinin hızını ve gelişimini de etkilemiş ve çeşitli kablosuz sinyal sağlayıcı tasarımlarını yaygınlaştırmış, bu doğrultuda akıllı cihazlar daha popüler hale gelmiştir. Kablosuz sistemlerin önceki teknolojilere nispeten daha yaygın bir hale gelmesi ve alıcı-verici görevi üstlenen anten yapılarının gelişmesiyle birlikte kablosuz ağların veri trafiği de büyük bir değişim göstermiş ve aynı zamanda verilerin iletiminde de artışa neden olmuştur [1,2]. Bu değişim, veri trafiği üzerindeki artan talepleri desteklemek için yeni sistemlerin ve devre elemanlarının ihtiyaçlarını gerektirmiştir. Geleneksel kablolu yapılar ve devre elemanları bu doğrultuda yerini yeni kablosuz sistemlere bırakmış ve bu yeni iletişim ağıyla daha hızlı, daha verimli ve düşük maliyetli iletişim sistemlerinin temeli oluşturulmuştur [3].

Birinci Nesil (1N) haberleşme sistemleri ile başlayan iletişim sürecinin zaman içerisinde değişimi ve gelişimi ile 2N, 3N ve 4N sistemler ortaya çıkmıştır. Günümüzde ise kablosuz haberleşme sistemleri yerini artık yeni nesil teknolojiler olarak adlandırılan ve 2022 yılı itibarı ile hayatımızda aktif olarak yer almaya başlayan Beşinci Nesil (5N) haberleşme sistemlerine bırakmıştır. 5N teknolojilerinin temelde ihtiyaç duyduğu spektrum kullanımının ve kanal kapasitesinin ise MIMO sistemleri kullanılarak geliştirilmesi hedeflenmiştir [4,5].

Literatürde 5N sistemlere yönelik farklı frekans bölgelerinde çalışan birçok MIMO anten tasarımı yer almaktadır [6-9]. [6] no'lu çalışmada görece küçük ve kapılar arasında 14 dB seviyelerinde izolasyon sağlayan bir MIMO anten tasarımı önerilmiştir. [7] no'lu çalışmada çift bantta çalışabilen dört kapılı MIMO anten tasarımı önerilmiştir. Bu çalışmada 12 dB seviyelerinde izolasyon elde edilmiş olmakla birlikte anten görece büyük geometriye sahiptir. [8] no'lu çalışmada 5N mobil terminaller için görece küçük dört kapılı MIMO anten tasarımı önerilmiştir. Önerilen tasarım küçük bir yapıda olup 11.6dB seviyelerinde izolasyona sahiptir. [9] no'lu çalışmada ise geniş bantlı, çift modda çalışabilen, izolasyonu ve toplam verimliliği yüksek anten tasarımı önerilmiştir. Bununla beraber, anten geometrisi oldukça geniş boyutlara sahiptir. Bu noktada küçük

boyutlarda, izolasyonu literatüre göre yüksek seviyelerde ve beşinci nesil teknolojiler için kullanılacak performans ölçütlerini sağlayan bir MIMO anten tasarımı gereksinimi görülmektedir.

Bu bildiri 3.5 GHz merkez frekansına sahip 5N kablosuz haberleşme sistemlerine yönelik MIMO özellikli, hem görece küçük hem de izolasyonu yüksek anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu anten tasarımı üç aşamadan oluşmaktadır. İlk adımda 3.4 GHz'e yakın frekanslarda çalışabilen bir anten tasarımı sunulmuş sonraki adımda ise bu değer 3.52 GHz'e yaklaştırılmıştır. Anten 3 olarak adlandırılan son adımda ise merkez frekansı 3.5GHz olan anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tüm tasarımlar CST Microwave Studio [10] elektromanyetik benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Üç adımdan oluşan anten tasarımında öncelikle ana çerçeve olan dikdörtgen biçimli iki anten geometrisi birbirlerine 90° olacak şekilde aynı alttaş üzerine yerleştirilerek elde edilmiş daha sonra izlenen anten tasarım adımları doğrultusunda 3 dB veya daha yüksek kazanç ve 3.5GHz civarında kabul edilebilir $|S_{11}|$ -dB değerlerine sahip aynı zamanda antenler arası izolasyonu iyileştirilmiş bir tasarım hedefi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

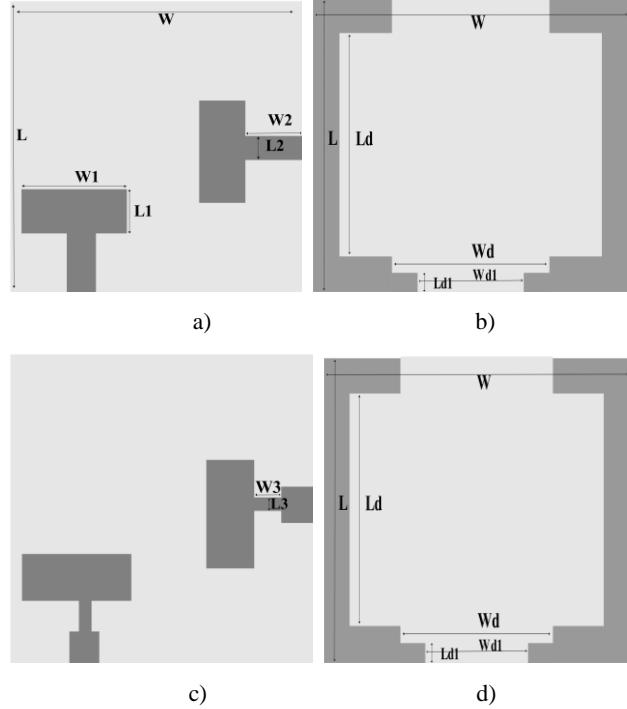
2. Anten Tasarım Adımları

Klasik mikroşerit antenlerin sahip olduğu dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla literatürde farklı MIMO anten geometrileri yer almaktadır. 5N'nin çalışması istenilen 3.5GHz, 28 GHz gibi birçok aday frekans bantları bulunabilmektedir. Bu tasarım için seçilen rezonans frekansı 3.5GHz'dir ve anten tasarımına 1x1 MIMO anten yapısı ile başlanmıştır. İlk olarak, antenin istenilen frekansta rezonansa girebilmesi için taban iletkenine Şekil 1'de görüldüğü gibi kusurlar açılmış ve daha sonra hem antenler arasındaki izolasyon performansının yüksek olması hem de anten boyutlarının küçük olması için ön yüzde antenler birbirine 90° olacak şekilde yerleştirilmiştir. Anten tasarımına ait optimum değerler benzetim ortamında elde edilmiş olup üç adımdan oluşan anten tasarımı sonucunda 3dB den yüksek kazanç ve 3.5GHz frekans bandında çalışan, kabul edilebilir $|S_{11}|$ -dB değerlerine sahip bir anten tasarımı hedefi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Anten tasarım adımları sırasıyla Anten-1, Anten-2 ve Anten-3 olarak isimlendirilmiş ve anten, dielektrik sabiti 2.2 ve kayıp tanjantı 0,0009 olan 0.787 mm kalınlığında Rogers RT 5080 dielektrik malzeme kullanılarak tasarlanmıştır.

2.1. Anten 1 ve Anten 2 Tasarım Adımları

Literatürde yer alan farklı anten tasarımları incelenilen çeşitli geometrilere yamalar düzenlenerek bant genişliğinin artırılması ve çalışma frekansı civarında $|S_{11}|$ - dB değerinin düşürülmesi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu doğrultuda hedeflenen anten tasarımı için ilk adımda dikdörtgen iki tabaka birbirlerine 90 derece dik olacak şekilde aynı alttaş üzerine konumlandırılarak bir anten tasarımı oluşturulmuştur. Şekil 1 (a) ve (b)'de başlangıç antenine (Anten-1) ait geometri verilmiştir. Anten 1'in boyutları 30x20 mm² olacak şekilde tasarlanmıştır. Anten mikroşerit hat ile beslenmiş olup 50Ω hat genişliği 2.44 mm'dir. Anten 1'in tasarım boyutlarına göre merkez frekansı 3.44 GHz elde edilmiştir. İkinci adıma ait anten (Anten 2)

tasarımı Anten 1 ile aynı boyutlara sahip geometrik yapı üzerine eklemeler yapılarak elde edilmiştir. Anten 2 30x20 mm² olarak tasarlanmıştır ve Anten 1 ile aynı dielektrik alttaş ve taban iletkeni boyutları kullanılmıştır. Anten 2 tasarımı gerçekleştirilirken birinci antenden farklı olarak anten geometrisine dikdörtgen yamalar eklenerek değiştirilmiş fakat anten 1'in ana anten çerçevesi korunmuştur. Anten 1'in tasarımında yer alan besleme hattı üzerine dikdörtgen yamalar eklenerek istenilen hedef antenin merkez frekansı olan 3.5GHz'e yaklaşılmaya çalışılmıştır. Elde edilen antenin merkez frekansı 3.52 GHz'e kadar çıkarılmıştır.



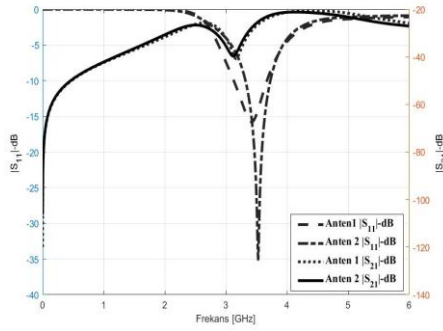
Şekil 1: Antenlere ait tasarım geometrisi a) Anten 1'e ait ön yüz b) Anten 1'e ait arka yüz c) Anten 2'ye ait ön yüz d) Anten 2'ye ait arka yüz

Çizelge 1: Anten 1 ve 2'ye ait parametre değerleri

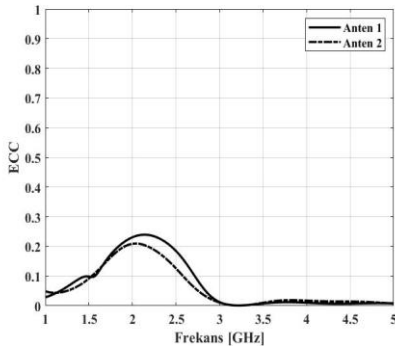
Parametre	W	Wd	Wd1	W1	W2	W3
Değer (mm)	30	18	12	10.6	2.44	1
Parametre	L	Ld	Ld1	L1	L2	L3
Değer (mm)	20	15.4	1.3	4	6	3.5

Antenlere ait parametre değerleri Çizelge 1'de verilmektedir. Anten 1 ve Anten 2'ye ait $|S_{11}|$ -dB ve $|S_{21}|$ -dB frekans karakteristiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de de görüldüğü gibi istenilen çalışma frekans bölgesine ulaşılması için merkez frekans değerinin Anten 1 için artırılması ve Anten 2 için ise düşürülmesi gereklidir ve $|S_{11}|$ -dB değeri ise iki anten için de arzu edilen frekans bölgesinde daha düşük bir değerlerde olmalıdır. Antenler arası izolasyon seviyesinin ise Şekil 2'de

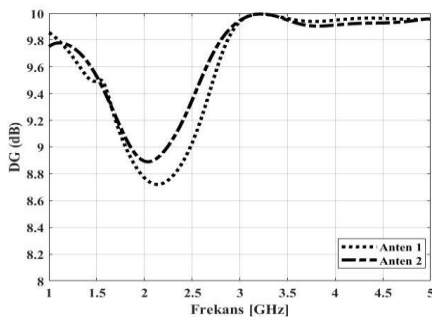
görüldüğü gibi düşürülmesi gereklidir. Anten tasarım adımlarına ait Zarf Korelasyon Katsayısı (Envelope Correlation Coefficient, ECC) ve Çeşitlilik Kazancı (Diversity Gain, DG) grafikleri Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. ECC değerleri Anten-1 ve Anten-2 için Şekil 3'te verilen frekans aralıklarında 0.3'ün altında yer alarak MIMO uygulamalara uygun bir davranış sergilemektedir. Özellikle antenlerin çalışma frekans bölgelerinde ECC değerlerinin ciddi oranda düşerek 0'a yakın değerlerde olduğu Şekil 3'ten açıkça görülmektedir. DG değerlerinin antenin çalıştığı frekans bölgelerinde 10 dB seviyelerinde olduğu Şekil 4'ten görülmektedir.



Şekil 2: Anten 1 ve 2'ye ait $|S_{11}|$ -dB ve $|S_{21}|$ -dB frekans karakteristiği



Şekil 3: Anten 1 ve 2'ye ait zarf korelasyon katsayısı grafiği

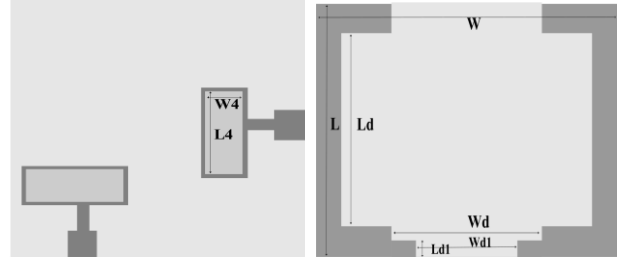


Şekil 4: Anten 1 ve 2'ye ait Çeşitlilik kazanç grafiği

2.2. Anten 3 Tasarımı

Üçüncü adıma ait anten (Anten 3)'de ilk iki anten tasarım adımında kullanılan anten boyutları ve dielektrik malzeme özellikleri korunmuştur. Anten tasarım adımı 3'te Anten 2'nin geometrisinde yer alan dikdörtgen yamaların çerçevesi bırakılarak hedeflenen anten tasarım parametrelerine ulaşılmaya

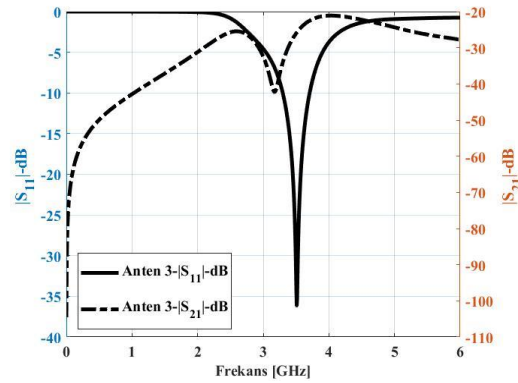
çalışılmıştır. Anten 3' ait tasarım geometrisi Şekil 5'te, Çizelge 2'de Anten 3'e ait eklenen dikdörtgenin parametre değerleri ve $|S_{11}|$ -dB frekans karakteristiği ise Şekil 6'da verilmiştir. Anten 3 3.5GHz frekansında rezonansa sahiptir ve bu noktadaki kazanç 3dB olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, $|S_{11}|$ -dB frekans karakteristiği, önceki anten performans karakteristiklerine göre iyileştirilmiş ve 3.5GHz'de -35.24dB'ye ulaşan $|S_{11}|$ -dB değerleri elde edilmiştir. Antenler arası izolasyon değeri ise Şekil 6'da görüldüğü gibi iyileştirilmiştir.



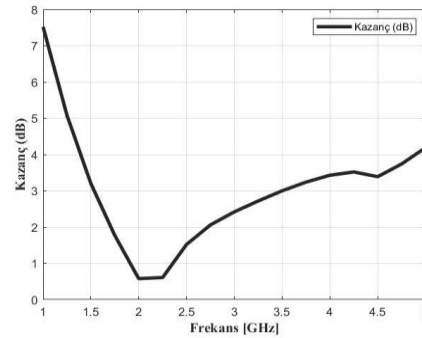
Şekil 5: Anten 3'ye ait tasarım geometrisi a) ön yüz b) arka yüz

Çizelge 2: Anten 3'ye ait parametre değerleri

Parametre	W4	L4
Değer(mm)	3	9.5



Şekil 6: Anten 3'e ait $|S_{11}|$ -dB, $|S_{21}|$ -dB frekans karakteristiği

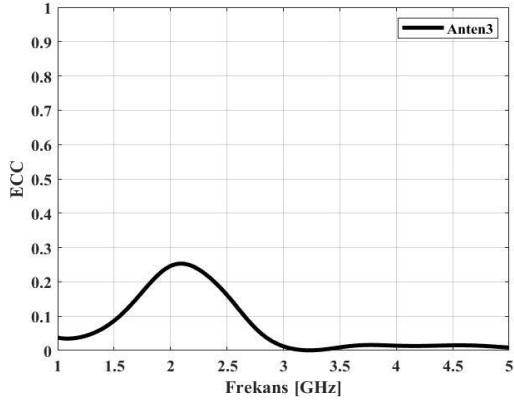


Şekil 7: Anten 3'e ait kazanç frekans karakteristiği

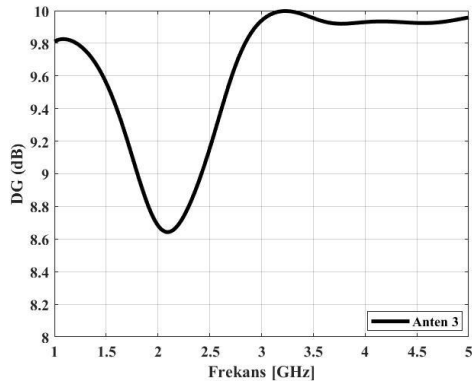
Anten 3'e ait kazanç, ECC ve DG davranışları Şekil 7'de, Şekil 8'de ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

Anten 3'e ait 3.5GHz'de iki boyutlu XZ ve YZ düzlemi ışınma örüntüleri Şekil 10'da ve Şekil 11'de verilmiştir. XZ ve YZ düzleminde ana kulakçık yönelimlerinin sırasıyla 79° ve 114°'lerde maksimum oldukları görülmektedir. Ek olarak,

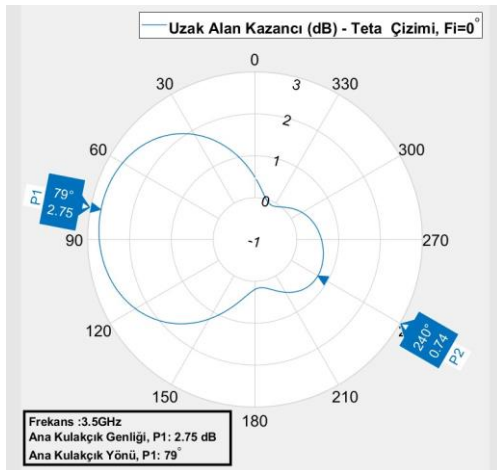
Anten 3'e ait üç boyutlu ışınma örüntüsü ve 3.5GHz'deki yüzey akım dağılımı sırasıyla Şekil 12'de ve Şekil 13'te gösterilmiştir. 3.5GHz'de akımın yöneliminin daha çok besleme noktalarında olduğu gözlemlenmiştir. Antenin dikdörtgen çerçevesi üzerinde akım yoğunluğunun daha homojen bir yapıda olduğu görülmektedir. Çizelge 3'te tasarımı gerçekleştirilen MIMO anten ile literatürde yer edinen diğer çalışmaların karşılaştırılmasına yer verilmiştir.



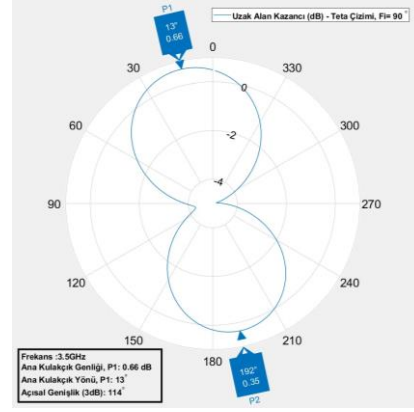
Şekil 8: Anten 3'e ait ECC davranışı



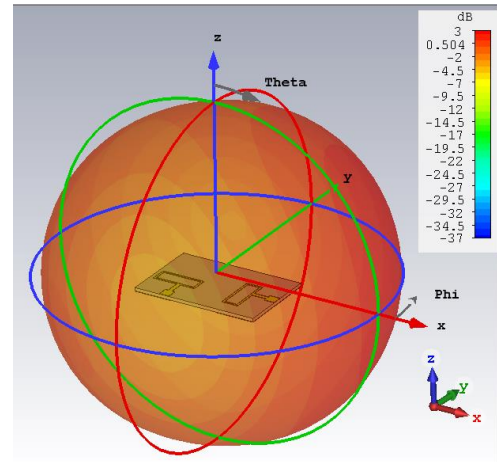
Şekil 9: Anten 3'e ait DG davranışı



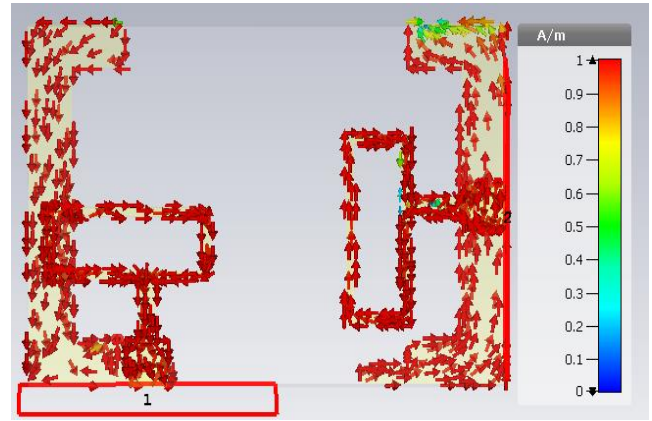
Şekil 10: Anten 3'e ait XZ düzlemi ışınma örüntüsü



Şekil 11: Anten 3'e ait YZ düzlemi ışınma örüntüsü



Şekil 12: Anten 3'e ait üç boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 13: Anten 3'e ait yüzey akım dağılımı

[11] no'lu çalışma dört kapılı bir MIMO anten geometrisine sahip olmasına karşın bu çalışmada belirtilen çalışma frekans bölgesinde ilk iki kapı arasındaki izolasyon seviyesi düşük düzeydedir. Ek olarak, yapının daha büyük anten düzenine sahip olması devre boyutunun büyümesine sebep olmuştur. Bu açıdan önerilen anten hem görece küçük hem de çalışılan frekans bölgesi açısından izolasyon seviyeleri daha üstün durumdadır

Çizelge 3: Anten-3'ün literatürdeki antenler ile karşılaştırılması

Referans	Boyut (mm ²)	Anten Yapısı	S ₁₁ -dB, 3.5 GHz	S ₁₁ ≤ -10 dB, * (GHz)	S ₂₁ -dB, 3.5 GHz	S ₂₁ _{maks} ⁺ (dB)	ECC _{maks} ⁺	DG _{min} ⁺ (dB)	Tepe Kazanç ⁺ (dB)
[11]	136x68	4 Kapılı	-50	3.4 - 3.6	-18	-8	0.014	-	5.1
[12]	55x55	4 Kapılı	-22	3.36 - 3.68	-20	-20	0.025	-	2.8
[13]	85x50	2 Kapılı	-16	3.26 - 3.68	-18	-18	0.01	10	5.9
Anten 3	30x20	2 Kapılı	-32.33	3.29 - 3.7	-26.05	-22.5	0.01	9.92	3.2

*Empedans Bant Genişliği, ⁺Çalışılan frekans aralığına göre yazılmıştır.

[12] no'lu çalışmada yine dört kapılı bir MIMO anten örneği olduğundan, önerilen anten, [11] no'lu çalışmada yer alan antene göre küçük boyutlardadır. ECC seviyeleri açısından, önerilen anten (Anten 3) daha iyi sonuçlara sahiptir. Anten 3 'ün çeşitlilik kazancı performansı, çalışılan frekans aralığında oldukça yüksek seviyelerdedir. Tepe kazanç değeri açısından, Anten 3, [12] no'lu anten tasarımına göre daha yüksek değerlere sahiptir. Önerilen anten, [13] no'lu çalışmaya göre hem 3.5GHz'de düşük |S₁₁|-dB seviyesine sahip, hem de çalışılan frekans bölgesinde daha düşük |S₂₁|_{maks}-dB seviyelerine sahiptir. Ayrıca Anten 3, [13] no'lu çalışmada sunulan antene göre daha küçük boyutlardadır. Bu açıdan Anten 3, kapılar arasında daha yüksek izolasyona, daha güçlü bir rezonansa ve daha düşük bir profile sahiptir.

3. Sonuç

Bu çalışmada küçük boyutlarda, kapılar arasında yüksek izolasyona sahip çeşitlilik kazancı yüksek ve zarf korelasyon katsayısı oldukça düşük seviyelerde olan iki kapılı bir MIMO anten tasarımı önerilmiştir. Üç aşamadan oluşan bir anten tasarım prosedürü ile hedeflenen performans karakteristiklerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak 3.5GHz merkez frekansına sahip 30x20 mm² boyutlarında iki kapılı MIMO yama anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım adımları sonucunda Anten 3'e ait empedans bant genişliği |S₁₁|=-10dB referans seviyesi için 0.41 GHz, çalışılan frekans bölgesi için maksimum -22.5 dB seviyelerinde izolasyon sağlanmıştır. Anten 3'e ait 3.5GHz'deki kazanç 3dB olarak elde edilmiştir. Önerilen antenin sunduğu izolasyon seviyeleri, ECC ve DG değerleri, performans karakteristiği olarak MIMO teknolojisinin kriterlerini karşılayabilecek düzeyde olduğu görülmüştür. Bu sebeple önerilen anten yeni nesil haberleşme sistemlerinde kullanılmaya aday konumdadır.

4. Kaynaklar

- [1] Gupta A. ve Jha R. K., "A survey of 5G network: Architecture and emerging Technologies", *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206-1232, Aug. 2015.
- [2] Cisco, I. "Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2011-2016." *CISCO White paper* 518 (2012).
- [3] Rappaport T. S. ve diğerleri., "Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!", *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335-449, May 2013.
- [4] Foschini, Gerard J., ve Michael J. Gans. "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas." *Wireless personal communications* 6.3 (1998)

[5] Xu Z, Zhang Q ve Guo L. "A compact 5G decoupling MIMO antenna based on split-ring resonators." *Int J Antennas Propag*, 2019.

[6] Xu, Zhan, ve Changjiang Deng. "High-isolated MIMO antenna design based on pattern diversity for 5G mobile terminals." *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 19.3 (2020): 467-471.

[7] Zhang, Weijun, Zibin Weng, ve Lei Wang. "Design of a dual-band MIMO antenna for 5G smartphone application." *2018 International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*. IEEE, 2018.

[8] Deng, Changjiang, Di Liu, ve Xin Lv. "Tightly arranged four-element MIMO antennas for 5G mobile terminals." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 67.10 (2019)

[9] Sun, Libin, ve diğerleri. "Wideband 5G MIMO antenna with integrated orthogonal-mode dual-antenna pairs for metal-rimmed smartphones." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 68.4 (2019)

[10] CST Version, CST AG, 2018.

[11] Abdullah, Mujeeb, ve diğerleri. "Compact Four-Port MIMO Antenna System at 3.5 GHz." 2017 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium-Italy (ACES). IEEE, 2017.

[12] Singh, Manish, ve Manoj Singh Parihar. "A compact 4x4 MIMO antenna with high isolation for 5G application," *2019 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*. IEEE, 2019.

[13] Sharma, Namita, ve Dishant Khosla. "A compact two element U shaped MIMO planar inverted-F antenna (PIFA) for 4G LTE mobile devices." *2018 Fifth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*. IEEE, 2018.