

5G aday frekans bandında 4-Portlu MIMO antenin geliştirilmesi

Development of 4-Port MIMO antenna in the 5G candidate frequency band

Mehmet Ali ÖZASLAN*^{1,a}

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 53000, Rize

• Geliş tarihi / Received: 26.05.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 31.03.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.04.2021

Öz

Bu çalışmada, 5G aday frekans bandında 4-portlu masif Çoklu-Giriş-Çoklu-Çıkış (Multiple-Input-Multiple-Output, MIMO) anten tasarımı geliştirilmiştir. MIMO anten yapısı, bir dikdörtgen, bir daire ve bir zemin düzleminden oluşmaktadır. MIMO anten boyutu 35x50x0.76mm³'tür. Antenin bant genişliği S11 parametresine göre 1.1GHz olarak bulunmuştur. Bant genişliği bu anten için yüksek olup ideal değere sahiptir. MIMO antenin aktif yansıma katsayıları maksimum -14.5dB civarlarında ve zarf korelasyon katsayıları ise 0.017'den daha küçük bulunmuştur. Antenin 24GHz'de maksimum verimlilik değeri %94.50, 27GHz'de %91.81 ve 28GHz'de %81.81 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen 4-portlu MIMO antenin radyasyon değerleri normalize edilmiş değerlerdir. Antenin tasarımı ve analizi ANSYS HFSS® bilgisayar benzetimi kullanılarak tamamlanmıştır. İncelenen frekans değerleri 5G teknolojisi için lisanslanmış aday frekans değerleridir. Tasarlanan antenden bulunan kazanç değerleri 24GHz'de 12.70dB, 27GHz'de 13.05dB ve 28GHz'de 10.48dB olarak bulunmuştur. Bulunan kazanç değerleri 4-portlu MIMO anten için önemli değerlere sahiptir.

Anahtar kelimeler: 24GHz, 5G, 6GHz, Anten kazancı, MIMO i

Abstract

In this study, 4 port massive Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) antenna design has been developed in the 5G candidate frequency band. The MIMO antenna structure consists of a rectangle, a circle, and a ground plane. MIMO antenna size is 35x50x0.76mm³. According to the S11 parameter, the bandwidth of the antenna was found to be 1.1GHz. The bandwidth is high for this antenna and has an ideal value. The active reflection coefficients of the MIMO antenna were maximum -14.5dB and the envelope correlation coefficient was less than 0.017. The maximum efficiency of the antenna at 24GHz is 94.50%, 91.81% at 27GHz and, 81.81% at 28GHz. The radiation values of the developed 4-port MIMO antenna are normalized values. The design and analysis of the antenna was completed using ANSYS HFSS® computer simulator. The frequency values investigated are candidate frequency values licensed for 5G technology. The gain values from the designed antenna are 12.70B at 24GHz, 13.05dB at 27GHz and, 10.48dB at 28GHz. The gain values found have important values for the 4-port MIMO antenna.

Keywords: 24GHz, 5G, 6GHz, Antenna gain, MIMO

*a Mehmet Ali ÖZASLAN; ma.ozaslann@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8721-601X

1. Giriş

MIMO, öngörülen avantajı sağlamak için çok yollu ortamlar gerektirir. Birden fazla veri akışı göndererek, sistemin güvenilirliğini ve veri hızlarını önemli ölçüde artırmaktadır (Sharawi, 2017). MIMO’da, vericideki çoklu antenlerden birden fazla veri akışı gönderilir ve alıcı ucundaki birden fazla anten tarafından alınır (Rajo-Iglesias ve Sharawi, 2016). 5G teknolojisinin önemli bir parçası olan MIMO, kullanıcılara yüksek veri hızları sunmak için geliştirilmiş bir teknolojidir. Eş zamanlı çoklu iletim için, verici ve alıcı kısımlarında çoklu anten sistemleri gereklidir. Bununla beraber neredeyse 6GHz altı frekans bantları için spektrum dolmuştur. Bundan dolayı 5G’de yüksek frekanslara çıkılması amaçlanmıştır. Yüksek frekans değerlerine çıkılması, dalga boyunun küçüleceği anlamına gelir. Dalga boyu ile anten boyu arasında bir ilişki söz konusudur. Bu, tasarlanan antenin boyutunun küçüleceğini yani milimetre seviyelerine düşeceği anlamına gelir. 5G’nin altyapısı diğer kablosuz teknolojilerin altyapısından oldukça farklı olduğundan dolayı MIMO antenlerin baştan tasarlanması gerekir. Milimetre dalga anten tasarlamak oldukça zor bir iştir (Manan vd., 2019).

İlk etapta, birkaç kablosuz cihazın aynı anda çalışması için 5G uygulamalarında daha geniş bant genişliği gereksinimi gereklidir. Ayrıca, yüksek frekanslarda zayıflama arttığından ve buna bağlı olarak emilim etkileri de artacağından dolayı bu parametreler önemlidir. Bu nedenle, daha yüksek iletim kapasitesine ek olarak mm-dalga frekanslarındaki artan atmosferik zayıflamaları hesaba katmak için yüksek kazanç elde etmek esastır (Perić vd., 2016; Shayea vd., 2018; Nandi ve Maitra, 2018). Kompaktlık milimetre dalga frekanslarında önemli bir gereksinimdir. Bu

nedenle antenin boyutunu küçük tutmak gerekir. Standart MIMO ağları, tek bir fiziksel pakette iki veya dört anten kullanma eğilimindedir (Ojaroudi Parchin vd., 2019). 5G teknolojisi günümüzdeki akıllı telefonlarda kullanılmaya başlandı. Fakat teorik olarak hesaplanan değerlere henüz ulaşamamıştır. Bundan dolayı mobil telefonlarda kullanılan antenin kazanç değerine odaklanmak doğru bir yaklaşım olabilir. Bundan dolayı antenin kazanç değerleri üzerinde durulması tercih edilmiştir. Böylece yüksek frekanslarda ilerleyen sinyaller (örneğin 24GHz) alıcıya ulaştığında daha güçlü ve daha temiz sinyaller elde edilebilir. Bu durum da hem konuşma kalitesini artırırken hem de internet kalitesini artırır.

Bu çalışmada, 5G cihazlar için, düşük profilli bir 4-portlu MIMO anten dizisi önerilmiştir. MIMO anten sisteminin elemanları, bir dikdörtgen ve daha geniş iletim taşıma kapasitesine sahip dairesel bir yama antenidir. Burada seçilen dikdörtgensel ve dairesel yapının amacı, daha yüksek kazançlar elde etmek içindir. Önerilen anten, 1.1GHz geniş bant genişliğinde önemli miktarda kazanç sergilemektedir. MIMO anten tasarımının S parametreleri, verimliliği, radyasyon paterni, zarf korelasyon katsayısı (Envelope Correlation Coefficient, ECC), toplam aktif yansıma katsayısı (Total Active Reflection Coefficient, TARC) açısından incelenmiştir. İncelenen frekans değerleri 5G teknolojisi için lisanslanmış aday frekans değerleridir. Bundan dolayı bu frekans değerlerine yoğunlaşmıştır.

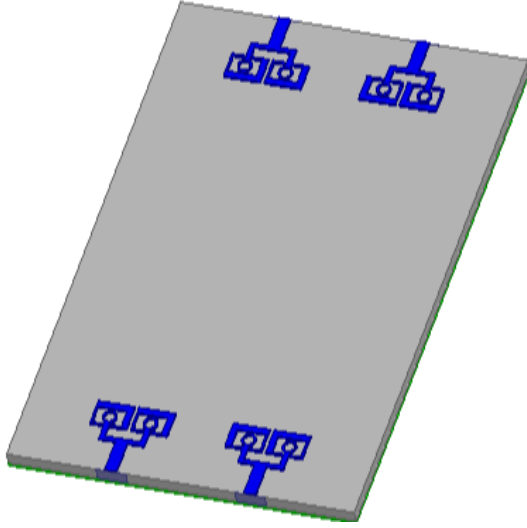
2. Materyal ve metot

Anten tasarımı, Şekil 1’de tek elemanlı anten, Şekil 2’de iki elemanlı anten ve Şekil 3’te 35x50x0.76mm³ dielektrik malzeme üzerine yerleştirilen 4-portlu MIMO anten sistemi gösterilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanan MIMO antenin milimetre (mm) cinsinden parametre değerleri.

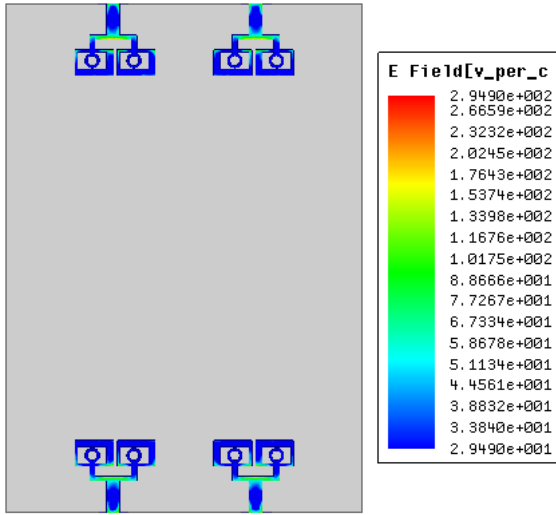
Parametre	Değer (mm)	Parametre	Değer (mm)	Parametre	Değer (mm)
cg	1.2	th	1.45	dg	3.7
cy	3.1	dkg	1.7	dy	0.2
hw	0.4	dgy	2.5	dc	0.2
hh	3.6	dus	0.6	ic	0.5
ig	0.4				

Tablo 1’de tasarlanan MIMO antenin bir elemanlı ve iki elemanlı boyutları mm cinsinden verilmiştir.

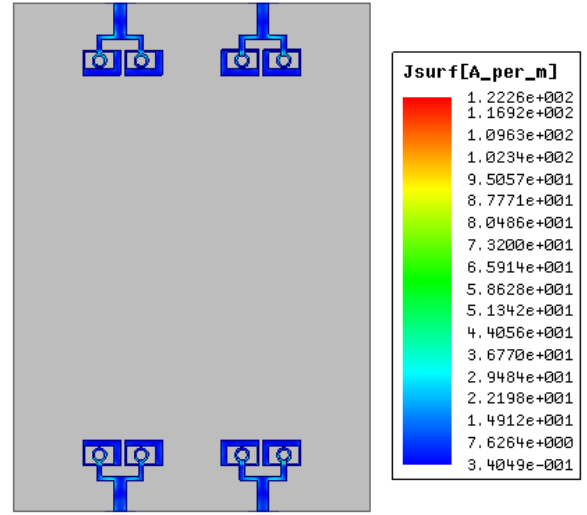


Şekil 4. Geliştirilen MIMO antenin üç boyutlu (3B) hali

Şekil 4'te 4-portlu MIMO antenin üç boyutlu tasarımı verilmiştir.

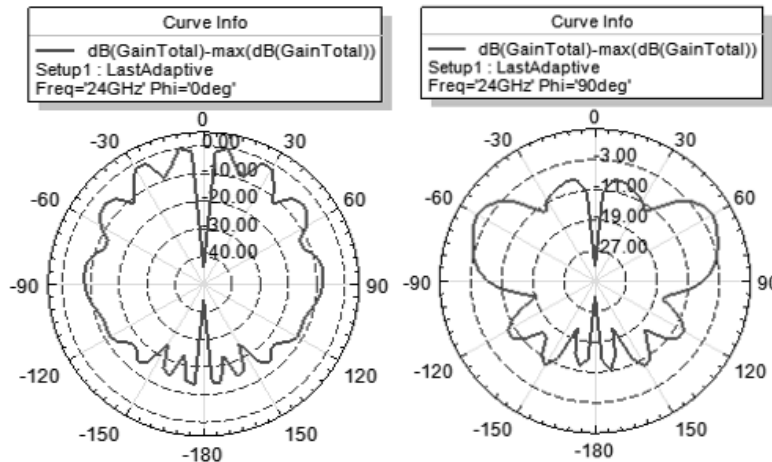


Şekil 5. 24GHz'de elektrik alan dağılımı

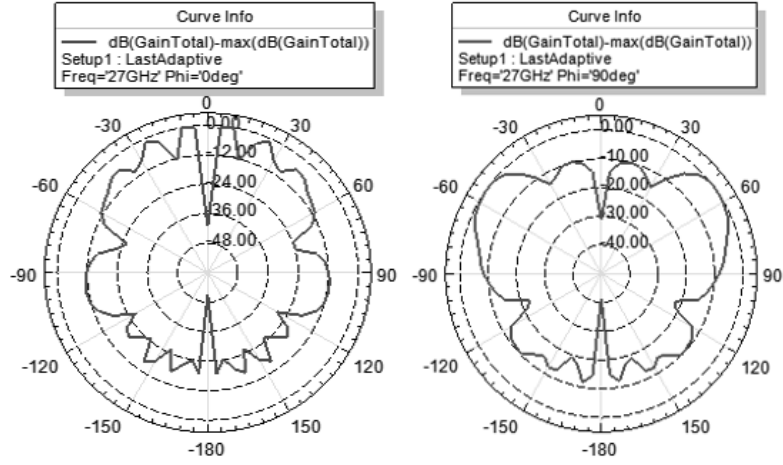


Şekil 6. 24GHz'de antenin yüzey akım dağılımı

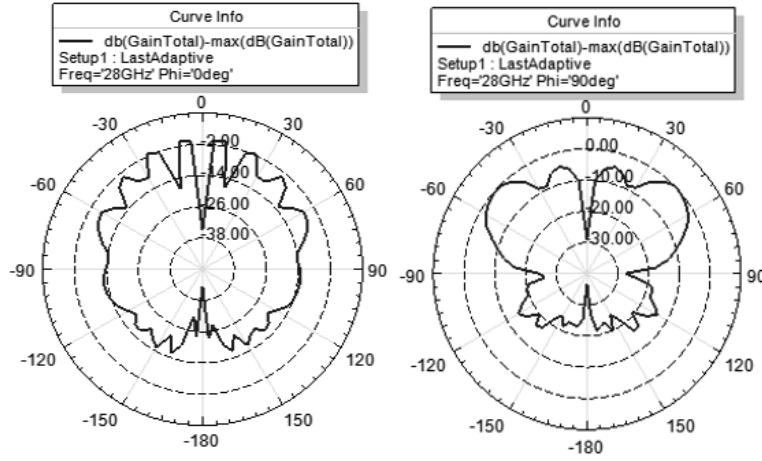
Şekil 5'te MIMO antenin elektrik alan dağılımı ve Şekil 6'da MIMO antenin yüzey akım dağılımları verilmiştir. Maksimum elektrik alan yoğunluğu 294 V/cm iken maksimum yüzey akım yoğunluğu ise 122 A/m olarak simüle edilmiştir. Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da 24GHz, 27GHz ve 28GHz frekans bantlarında normalize edilmiş ϕ açısı 0° ve 90° iken 4-portlu MIMO antenin oluşturduğu radyasyon paternleri gösterilmiştir. 24GHz'de radyasyonun oluşturduğu maksimum büyüklük ϕ açısı 0° iken 10° 'lik, ϕ açısı 90° iken -60° 'lik yönelme açıları ile maksimum büyüklükleri sırasıyla -0.0247 dB ve -0.0287 dB, 27GHz'de radyasyonun oluşturduğu maksimum büyüklük ϕ açısı 0° iken -10° 'lik, ϕ açısı 90° iken -50° 'lik yönelme açıları ile maksimum büyüklükleri sırasıyla -0.0897 dB ve -0.1 dB ve 28GHz'de radyasyonun oluşturduğu maksimum büyüklük ϕ açısı 0° iken -10° 'lik, ϕ açısı 90° iken 50° 'lik yönelme açıları ile maksimum büyüklükleri sırasıyla -0.181 dB ve -0.0924 dB olarak gözlemlenmiştir.



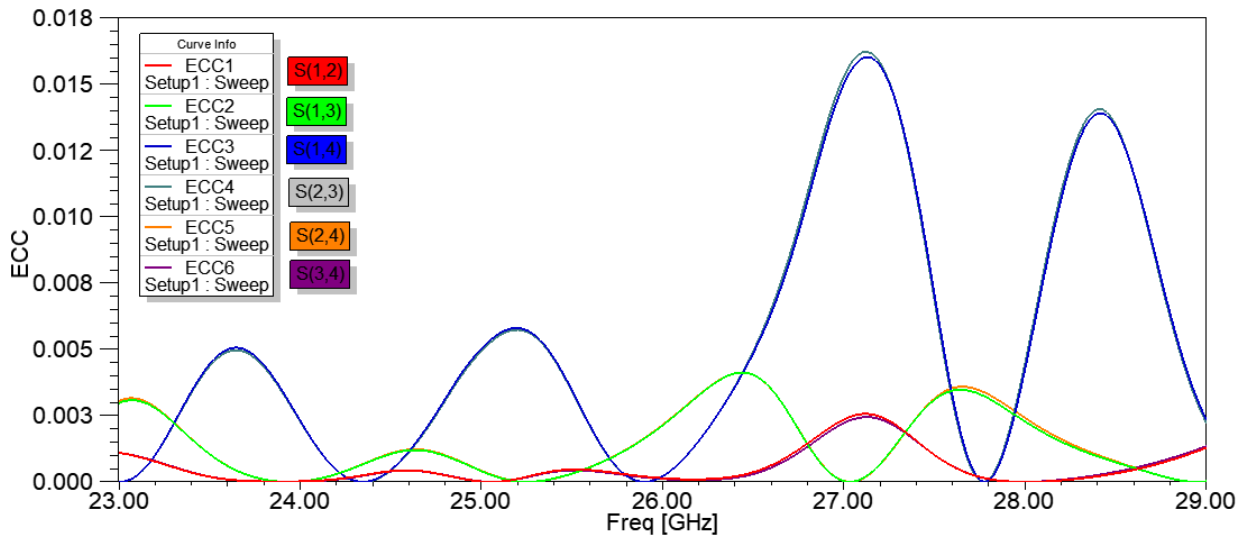
Şekil 7. Normalize edilen E-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ve H-düzlemindeki ($\phi=90^\circ$) 24GHz için simüle edilen 2B radyasyon paterni



Şekil 8. Normalize edilen E-düzlemi ($\varphi=0^\circ$) ve H-düzlemindeki ($\varphi=90^\circ$) 27GHz için simüle edilen 2B radyasyon paterni



Şekil 9. Normalize edilen E-düzlemi ($\varphi=0^\circ$) ve H-düzlemindeki ($\varphi=90^\circ$) 28GHz için simüle edilen 2B radyasyon paterni

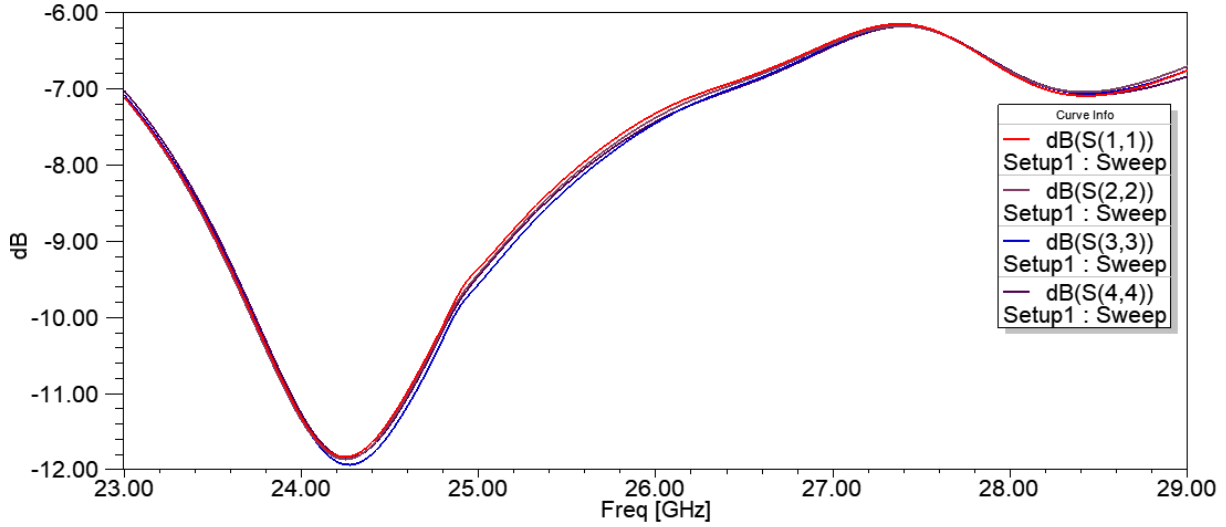


Şekil 10. Önerilen MIMO antenin S_{12} , S_{13} , S_{14} , S_{23} , S_{24} ve S_{34} zarf korelasyon katsayıları

Şekil 10’da önerilen MIMO anten dizisinin ECC grafiği frekans spektrumunda verilmiştir. Bütün

frekans bandında S parametrelerinin ECC katsayıları 0.017’den daha küçüktür. Bu durumda

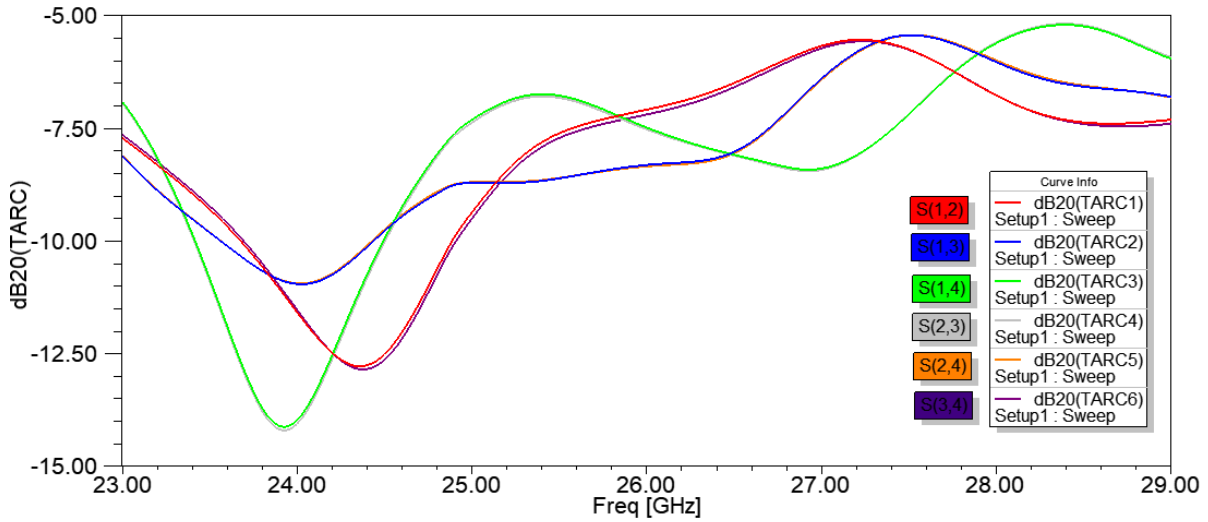
ECC katsayısı 0.5 değerinden çok çok düşük olduğundan, 4 anten elemanının da birbirlerinden ilgisiz olduğunu gösterir.



Şekil 11. Antenin S_{11} , S_{22} , S_{33} ve S_{44} parametre sonuçları

Şekil 11’de önerilen MIMO antenin S_{11} , S_{22} , S_{33} ve S_{44} parametre sonuçları frekans spektrumunda verilmiştir. Görüldüğü üzere 4 anten için de

parametre değerleri yakındır. Değerler negatif (-6dB ile -12dB arasında) olduğundan dolayı aynı zamanda iyi bir değere sahiptir.



Şekil 12. Önerilen MIMO antenin S_{12} , S_{13} , S_{14} , S_{23} , S_{24} ve S_{34} parametrelerinin aktif yansımaya katsayıları

Şekil 12’de önerilen MIMO anten dizisinin TARC grafiği frekans spektrumunda verilmiştir. TARC değerinin minimum değeri $S(2,3)$ parametresinde

olup 23.92GHz’dedir. Buradan, TARC ve ECC değerlerinin daha düşük kapasite kaybına ve daha iyi başarıma sahip oldukları söylenebilir.

Tablo 2. 5G aday frekanslarındaki tekli antenlerin kazançları, toplam MIMO anten kazancı, maksimum verimlilik ve maksimum yönelme değerleri

Çalışma Frekansı (GHz)	Ante n 1	Kazanç(dB)			Toplam Anten Kazancı (dB)	Maksimum Yönelme (dB)	Maksimum Verimlilik (%)
		Anten 2	Anten 3	Anten 4			
24	8.67	8.66	8.65	8.78	12.70	13.44	94.50
27	8.85	8.87	8.94	8.91	13.05	14.37	91.81
28	8.33	8.21	8.27	8.34	10.48	12.81	81.81

Tablo 2’de 5G için üç farklı aday frekans bantları ve bu bantlarda her bir antenin oluşturduğu kazanç, 4-portlu MIMO antenin oluşturduğu maksimum

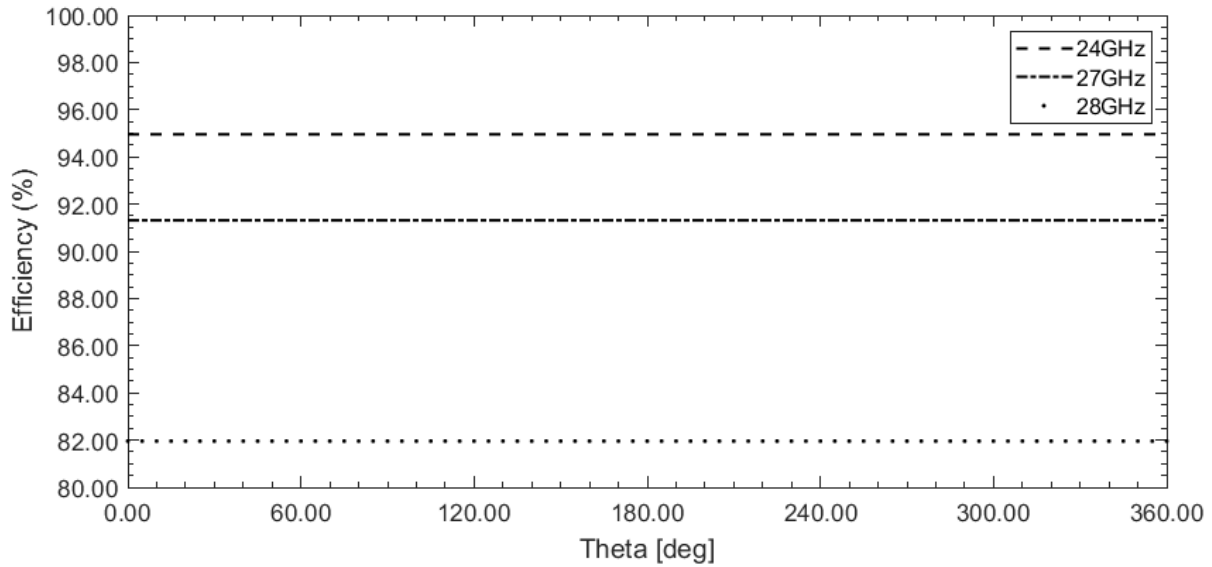
kazanç, maksimum verimlilik ve maksimum yönelme değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Literatürdeki çalışmalar ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması

Kaynak	Frekans (GHz)	Port Sayısı	Boyut (mm ³)	Bant Genişliği (GHz)	Kazanç (dBi)	Verimlilik (%)	ECC
[Ojaroudi Parchin vd., 2019]	3.6	8	150x75x1.6	1.2	2.5	60-80	<0.01
[Khalid vd., 2020]	28	4	30x35x0.76	4.1	8.3dB	82	<0.01
[Iqbal vd., 2019]	24	2	15x19x0.254	0.8	6	80.5	0.24
[Park vd., 2016]	28	4	Belirtilmemiş	1.5	7.41	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
[Sun ve Leung, 2016]	24	2	40x25x0.254	0.77	7.37	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
[Sharawi vd., 2017]	30	2	48x21x0.13	1	>7	80	<0.4
[Zhang vd., 2019]	28	2	20x20x0.254	0.85	8dB	Belirtilmemiş	0.013
[Shoaib vd., 2018]	24	8	31.2x31.2x1.57	5.68	7.86	78.9	0.04
[Bu Çalışma]	24	4	35x50x0.76	1.1	12.70	94.50	<0.017

Tablo 3’te, üzerinde çalışılan bütün frekans bantları incelendiğinde, bu çalışmada geliştirilen 4-portlu MIMO antenin diğer çalışmalardaki MIMO antenlere göre kazancının, verimliliğinin ve bazı

ECC değerine göre daha iyi olduğu söylenebilir. Ancak tasarım gerçekleşmediğinden dolayı antendeki kazanç değerleri benzetim değerlerine yakın çıkmayabilir.



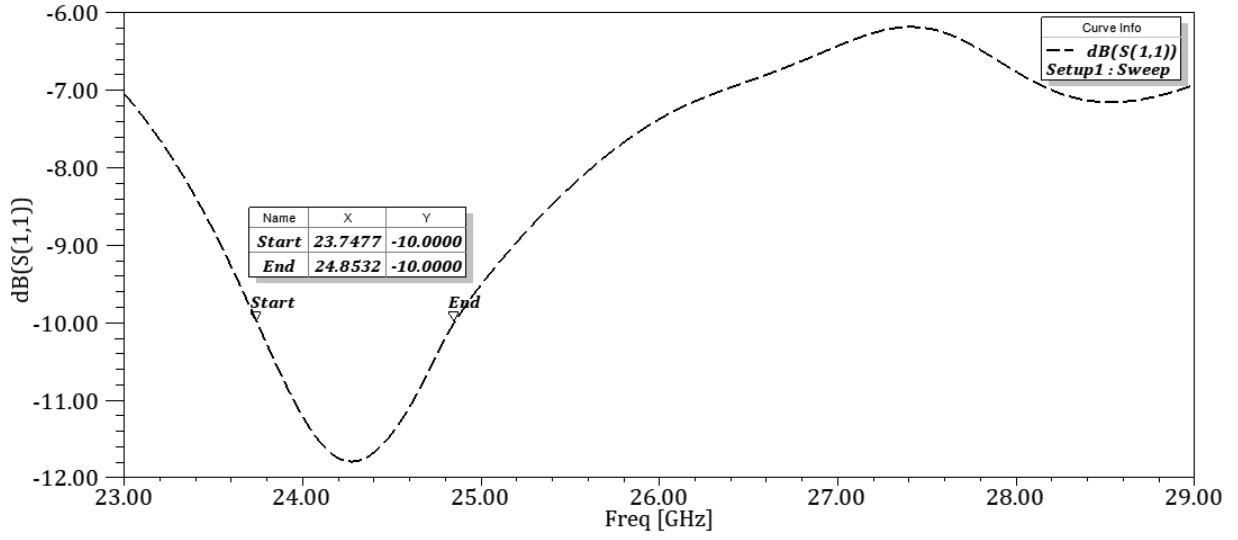
Şekil 13. 4-portlu MIMO antenin toplam maksimum verimliliği

Şekil 13’te 4-portlu MIMO antenin yüzdesel olarak toplam verimliliği gösterilmiştir. Verimlilik değeri bütün frekans spektrumunda incelendiğinde, verimlilik değeri en yüksek 24GHz frekansında olup, verimliliği %94.50’dir. Bu değer, geliştirilen MIMO anten iyi bir verimlilik değeridir. 27GHz’de verimlilik değeri %91.81 ve 28GHz’de verimlilik değeri %81.81 olarak bulunmuştur.

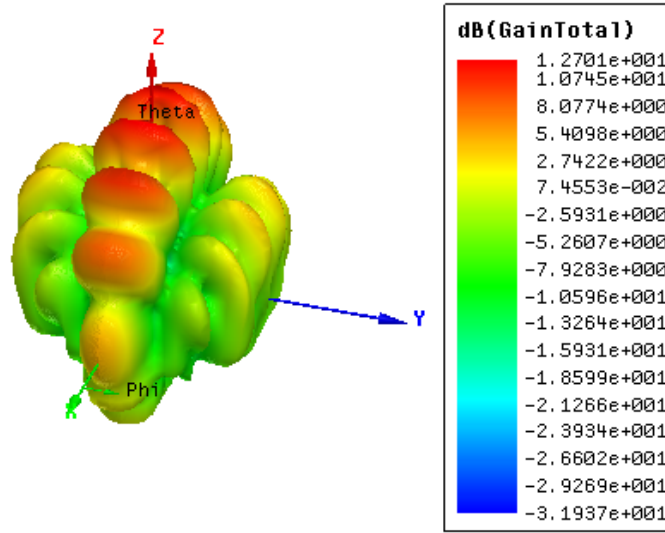
Şekil 14’te gösterildiği gibi $S_{11} \leq -10\text{dB}$ altında kalan frekans değerlerine göre yani 23.7GHz–

24.8GHz arasında olup, buradan bant genişliği 1.1GHz olarak bulunur.

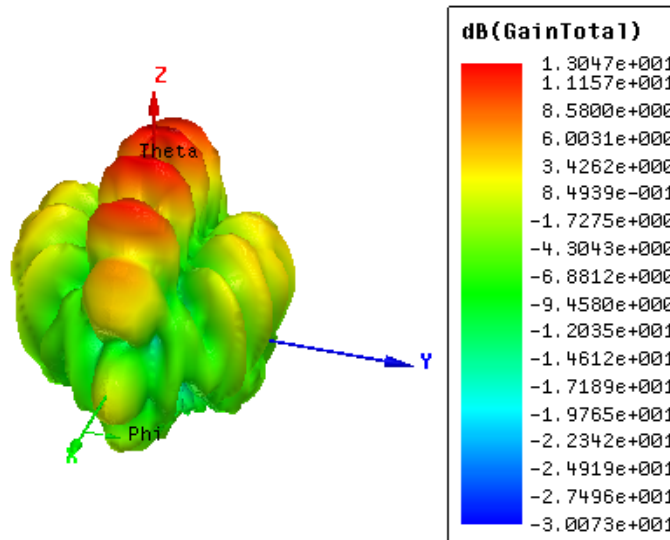
Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17’de geliştirilen MIMO antenin üç frekans bandında da dB olarak toplam kazanç değerlerinin 3B ışıma dağılımları verilmiştir. Geliştirilen MIMO anten, en çok kazançta 27GHz’de, daha sonra 24GHz’de ve en az 28GHz’de sahiptir.



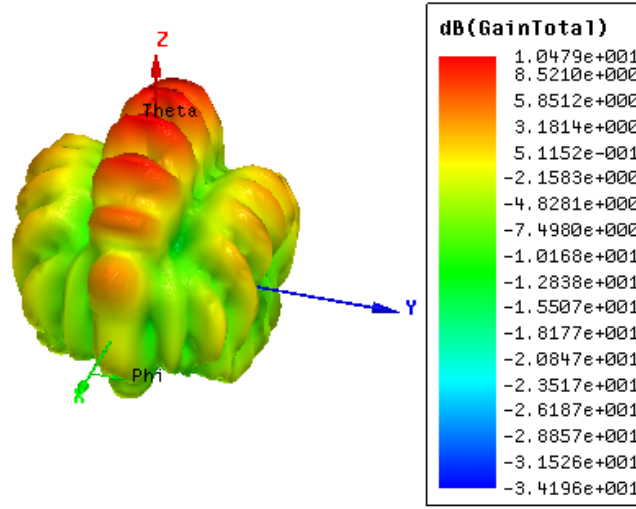
Şekil 14. MIMO antenin bant genişliği



Şekil 15. 24GHz için toplam anten kazancı 3B ışması



Şekil 16. 27GHz için toplam anten kazancı 3B ışması



Şekil 17. 28GHz için toplam anten kazancı 3B ışıması

4. Sonuçlar

Bu çalışmada 5G aday frekanslarında kullanılmak üzere 4-portlu MIMO anten tasarımı yapılmış ve incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 24GHz'de kazanç değeri 12.7dB olarak bulunmuştur. Böylece anten, bu frekans bandında veya bu frekansa yakın değerlerde çalışacağı düşünülmektedir. Antenin bant genişliği S_{11} parametresinden bulunmuştur ve planlanan 5G aday bant genişliği sınırları içerisinde çıktığı görülmüştür. Verimlilik bakımından da incelenen bu anten, 24GHz'de %94.50'lik bir oranla iyi bir anten modeli olduğu söylenebilir.

Kaynaklar

- Iqbal, A., Basir, A., Smida, A., Mallat, N. K., Elfergani, I., Rodriguez, J. and Kim, S. (2019). Electromagnetic bandgap backed millimeter-wave MIMO antenna for wearable applications. *IEEE Access*, 7, 111135-111144. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2933913>
- Khalid, M., Iffat Naqvi, S., Hussain, N., Rahman, M., Mirjavadi, S.S., Khan, M. J. and Amin, Y. (2020). 4-Port MIMO antenna with defected ground structure for 5G millimeter wave applications. *Electronics*, 9(1), 71. <https://doi.org/10.3390/electronics9010071>
- Manan, A., Naqvi, S. I., Azam, M. A., Amin, Y., Loo, J. and Tenhunen, H. (2019). MIMO Antenna array for mm-wave 5G smart devices. In 2019 22nd International Multitopic Conference (INMIC) (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INMIC48123.2019.9022757>
- Marzudi, W. N. N. W., Abidin, Z. Z., Muji, S. Z. M., Yue, M. and Abd-Alhameed, R. A. (2014).

Minimization of mutual coupling using neutralization line technique for 2.4 GHz wireless applications. <https://doi.org/10.17781/P001280>

- Nandi, D., and Maitra, A. (2018). Study of rain attenuation effects for 5G Mm-wave cellular communication in tropical location. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 12(9), 1504-1507. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2017.1029>
- Ojaroudi Parchin, N., Jahanbakhsh Basherlou, H., Alibakhshikenari, M., Ojaroudi Parchin, Y., Al-Yasir, Y. I., Abd-Alhameed, R. A. and Limiti, E. (2019). Mobile-phone antenna array with diamond-ring slot elements for 5G massive MIMO systems. *Electronics*, 8(5), 521. <https://doi.org/10.3390/electronics8050521>
- Park, J. S., Ko, J. B., Kwon, H. K., Kang, B. S. Park, B. and Kim, D. (2016). A tilted combined beam antenna for 5G communications using a 28-GHz band. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15, 1685-1688. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2523514>
- Perić, M. V., Perić, D. B., Todorović, B. M. and Popović, M. V. (2016). Dynamic rain attenuation model for millimeter wave network analysis. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(1), 441-450. <https://doi.org/10.1109/TWC.2016.2624729>
- Rajo-Iglesias, E. and Sharawi, M. S. (2016). MIMO Antennas. in wideband, multiband, and smart reconfigurable antennas for modern wireless communications (pp. 145-175). IGI Global.
- Sharawi, M. S. (2013). Printed multi-band MIMO antenna systems and their performance metrics [wireless corner]. *IEEE Antennas and*

- Propagation Magazine, 55(5), 218-232. <https://doi.org/10.1109/MAP.2013.6735522>
- Sharawi, M. S. (2017). Advancements in MIMO antenna systems. *Developments in Antenna Analysis and Synthesis*.
- Sharawi, Mohammad S., Symon K. Podilchak, Mohamed T. Hussain, and Yahia MM Antar (2017). Dielectric resonator based MIMO antenna system enabling millimetre-wave mobile devices. *IET Microwaves, Antennas & Propagation* 11, (2), 287-293. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2016.0457>
- Shayea, I., Rahman, T. A., Azmi, M. H. and Islam, M. R. (2018). Real measurement study for rain rate and rain attenuation conducted over 26 GHz microwave 5G link system in Malaysia. *IEEE Access*, 6, 19044-19064. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2810855>
- Shoaib, N., Shoaib, S., Khattak, R. Y., Shoaib, I., Chen, X. and Perwaiz, A. (2018). MIMO antennas for smart 5G devices. *IEEE Access*, 6, 77014-77021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2876763>
- Sun, Y. X. and Leung, K. W. (2016). Substrate-integrated two-port dual-frequency antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(8), 3692-3697. <https://doi.org/10.1109/TAP.2016.2565740>
- Zhang, Y., Deng, J. Y., Li, M. J., Sun, D. and Guo, L. X. (2019). A MIMO dielectric resonator antenna with improved isolation for 5G mm-wave applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(4), 747-751. doi: 10.1109/LAWP.2019.2901961