





2.4 GHz VE 5 GHz Monopol Antenlerin Farklı Duvar Parametreleri İçin Kapsama Alanlarının İncelenmesi

Investigation of Coverage Areas Of 2.4 GHz and 5 GHz Monopol Antennas for Different Wall Parameters

¹Hüseyin Tarık NİŞ , ²Mehmet Barış TABAKCIOĞLU 

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa-Türkiye

²Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bursa-Türkiye

¹huseyintariknis@gmail.com, ²mehmet.tabakcioglu@btu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 7 August 2023

Accepted : 23 October 2023

Keywords:

CEM, Monopole Antenna, Far Field Radiation, Electromagnetic Field, Coverage Area

ABSTRACT

The coverage areas of Wi-Fi modules, where the operating frequency is different, vary depending on location and the walls' properties. To investigate the effect of these parameters on the coverage areas, 2.4 GHz and 5 GHz monopole antennas were placed in three different locations. In addition, the walls' thickness and the material's effect on the coverage area were examined. Before the analyses were carried out, far-field radiation was obtained for monopole antennas at defined frequencies. Then, radiation analysis was carried out with the obtained far-field radiation data. As a result of the findings, it was determined that the steel structure had the lowest coverage area, and it was also observed that the wooden wall provided the best coverage. However, considering the housing structures, it was concluded that the most suitable wall material would be foam concrete instead of brick and standard concrete since the use of wood would be limited.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 7 Ağustos 2023

Kabul : 23 Ekim 2023

Anahtar Kelimeler:

CEM, Monopol Anten, Uzak Alan Işıması, Elektromanyetik Alan, Kapsama Alanı

ÖZET

Çalışma frekansları farklı olan Wi-Fi modüllerinin kapsama alanları, bir evin içerisindeki konuma ve bulunduğu konumdaki duvar malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Duvar malzemesi parametrelerinin kapsama alanlarının üzerinde ki bu etkisinin araştırılması için bir ev tasarlanmış ve ev içerisindeki 3 farklı konuma 2.4 GHz ve 5 GHz yayın yapan monopol antenler yerleştirilmiştir. Ayrıca duvarların kalınlığı ve duvarın yapıldığı malzemenin kapsama alanına etkisi incelenmiştir. Analizler gerçekleştirilmeden önce belirlenen frekanslardaki monopol antenler için uzak alan ışınması elde edilmiş ve sonrasında elde edilen uzak alan ışınması verileriyle konut içerisinde ışınma analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda çelik yapının en düşük kapsama alanına sahip olduğu tespit edilmiş ve ayrıca, ahşap özellikli duvarın en iyi kapsama alanını sağladığı gözlemlenmiştir. Fakat konut yapıları düşünüldüğünde ahşap kullanımı kısıtlı olacağı için en uygun duvar malzemesinin tuğla ve normal beton yerine köpüklü beton olacağı sonucuna varılmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

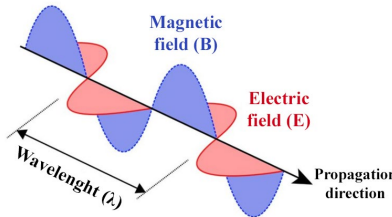
Wi-Fi teknolojisi kullanılan cihazların sayısı günümüzde oldukça fazladır. Bunlara televizyonlar, kişisel bilgisayarlar, akıllı telefonlar, akıllı ev cihazları gibi birçok cihaz örnek verilebilir. Kullanılan bu cihazların çoğunluğu 2.4 GHz ve 5 GHz frekanslarındaki elektromanyetik dalgalar ile haberleşmeyi gerçekleştirmektedir. Farklı haberleşme frekanslarına sahip olmaları bu cihazların kapsama alanını da oldukça etkilemektedir. Kapsama alanını etkileyen diğer bir faktör ise bu cihazların konumlandırılmasıdır. Kötü gerçekleştirilen konumlandırma konut içerisinde bir odada Wi-Fi erişimi bulunurken diğer bir odada erişiminin bulunmamasına sebep olmaktadır. Bu problemi çözmek adına modemlerin elektromanyetik alan ışınma analizinin yapılması ve en uygun konumun tercih edilmesi gerekmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Wi-Fi modüllerinin konumlandırılması için çeşitli çalışmaların yapıldığı gözlemlenmiştir. Shanmugaapriyan vd. [1] bir ofis ortamında 2.4 GHz ve 5 GHz Wi-Fi modülünün konumlandırılması adına bu araştırmayı yaparken, Belay vd. 5 GHz Wi-Fi modülünün optimum konumlandırılması için dinamik makine öğrenimi yaklaşımını kullanmıştır [2]. Yaşar vd. [3] çift bant anten tasarımı ile 2.4 GHz ve 5 GHz uygulamalarında kazancı artırmaya çalışırken ve WiLucas vd. [4] iç mekan ve dış mekanda 2.4 GHz ve 5 GHz kablosuz yerel ağdan (Wireless Local Area Network, WLAN) faydalanılarak bir elektronik cihazın konumunun tayin edilmesi üzerine çalışmış ve belirtilen frekanslardaki haberleşmenin geliştirilmeye açık farklı yönleri olduğunu göstermiştir. Çalışmalardan anlaşıldığı üzere deneme yanılma yönteminden ziyade iyi bir konumlandırma için makine öğreniminin kullanımı söz konusudur. Bununla birlikte kapsama alanı için en iyi konumlandırmanın belirlenmesi adına çeşitli çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada çok iyi bir konumlandırmadan ziyade, temel olarak 2.4 GHz ve 5 GHz’de yayım yapan monopol anten Wi-Fi modüllerinin kapsama alanlarının aynı ev içerisinde farklı konumlarda ve farklı duvar özelliklerinde nasıl davrandığı incelenmiştir. Bu davranışın anlaşılması en iyi noktanın belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılabilir ve analiz yapılamayacak karmaşık ortamlar için lokasyon tercihinin öngörülebilmesini sağlayabilir.

Bu kapsamda, belirtilen frekanslarda Wi-Fi olarak kullanılan monopol antenlerinin belirli bir konut için elektromanyetik ışınma güç dağılım analizi; en verimli noktayı bulmak, iki işletim frekansını kıyaslamak ve farklı duvar özellikleri barındıran yapıyı değerlendirmek adına gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizle konut içerisinde daha iyi bir konum varsa bulunması ve sisteme eklenebilecek çoğaltıcıların hangi konuma koyulması gerektiği hakkında fikir elde edilecektir. Bununla birlikte bir anten davranışının nasıl olduğu ve elektromanyetik ışınmanın farklı duvar özellikleri için nasıl değiştiği de ele alınmıştır.

2. TERMİNOLOJİ VE TEMEL KAVRAMLAR

Bir ortamda elektrik alanı meydana getirmek için yüklü cisimler ivmeli bir şekilde hareket ettirilir. Oluşan elektrik alanının zamana göre değişmesiyle birlikte Şekil 1’de gösterildiği gibi manyetik alan elde edilir. Elde edilen bu ikili alan tanımı elektromanyetik dalga olarak isimlendirilerek haberleşme teknolojisinin temelini oluşturur [5]. Kablosuz modemlerde kullanılan monopol antenin davranışı da elektromanyetik dalgaların davranışına dayanmaktadır.

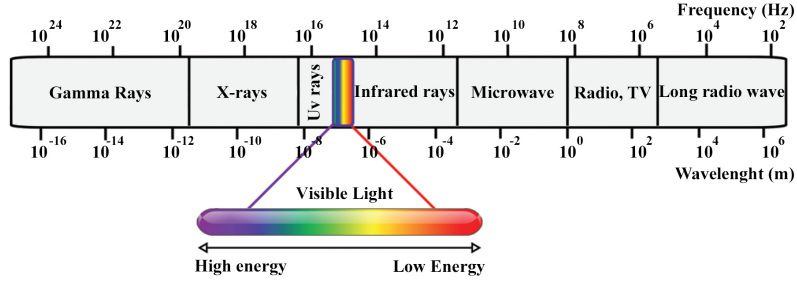


Şekil 1. Elektromanyetik alanın yayılımı [6].

$$c = f \cdot \lambda \quad (1)$$

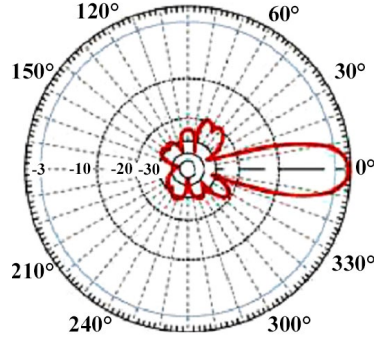
Elektromanyetik dalgalar ışık hızında yayılırlar. Denklem 1’deki matematiksel ilişki açıkça göstermektedir ki dalga boyu arttıkça frekans azalmakta, frekans arttığında ise dalga boyu azalmaktadır. Geniş bir spektruma sahip olduğu için kullanım alanı da bu genişlikte çeşitlenmekte ve farklılaşmaktadır. Örneğin Radyo Dalgaları TV ve radyolarda kullanılırken X ışınları tıp sektöründe kullanılmaktadır. Wi-Fi modemlerinin işletim frekansları ise Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Intitute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 802.11 spesifikasyonları tarafından belirlenmiş olup 2.4 GHz, 3.6 GHz, 5 GHz ve 60 GHz şeklindedir [7]. Belirtilen bu işletim frekansları ise mikrodalga sınıfına girmektedir. Elektromanyetik spektrumun gösterimi Şekil 2’deki gibi verilmiştir.

Elektromanyetik dalgaların yayılımı ve bunların toplanıp anlamlı verilere dönüştürülmesi antenler ile sağlanmaktadır. Antenler boşluktaki elektromanyetik dalgaları toplayarak bu dalgaların iletim hatları içerisinde yayılmasını ve haberleşme açısından anlamlı bir forma dönüşmesi için aktarılmasını sağlayan veya iletim hatlarından gelen sinyalleri boşluğa elektromanyetik dalga olarak yayan cihazlardır. Genel olarak antenleri iki amaç içerisinde ele alabiliriz. Bunlardan biri güç transferi ve serbest uzayda empedans uyumluluğu sağlamak bir



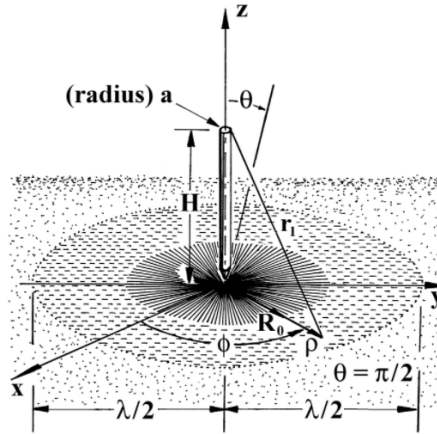
Şekil 2. Elektromanyetik spektrum [8].

diğeri ise elektromanyetik ışınımı Şekil 3'te gösterildiği gibi belirli bir alanda yönlendirmektir. Bu iki amaç da tek bir yöntemle hizmet eder, bu ise kablosuz haberleşme yöntemidir.



Şekil 3. Kutupsal düzlemde çizilmiş anten kazancı yönlülüğü [9].

Anten için temelde frekans, rezonans, kazanç, yönlülük, ışınma örüntüsü ve verimlilik önemli olan parametrelerdir. Elektrik ve manyetik alan uzaklıkla azalırken, güç yoğunluğu uzaysal uzaklaşmadan dolayı uzaklığın karesi ile azalır [10]. Bunlara bağlı olarak uzak alan ışınmasını oluşturmak için telekominyasyonda dikey antenler olarak isimlendirilen ve 5 GHz ve 2.4 GHz özelliğine sahip Şekil 4'te gösterilen her yöne yayılım yapan monopol antenler kullanılmıştır.



Şekil 4. Monopol anten [11].

2.1. 2.4 GHz ve 5 GHz Arasındaki Farklar

Belirtilen frekanslarda kullanılan Wi-Fi, IEEE 802.11 protokolü ile haberleşme sağlayan bir WLAN teknolojisidir. Bu teknolojinin kullanılabildiği cihazların sayısı günümüzde oldukça fazladır. Kullanılan bu cihazların çoğunluğu ise 2.4 GHz ve 5 GHz frekanslarındaki elektromanyetik dalgalar ile haberleşme işlemi gerçekleştirmektedir [12]. Yaygın olan kullanıma bakıldığında 2.4 GHz Wi-Fi bandı ile karşılaşılırken 5 GHz daha çok çift bantlı Wi-Fi cihazları için kullanılır. İki farklı işletim frekansına sahip bu yapılar transmisyon hızı (bant genişliği) ve enterferans (girişim) açısından kıyaslanabilir.

Düşük frekanslı ağlara kıyasla yüksek frekanslı ağlar daha hızlı bir şekilde veri iletimini gerçekleştirebilirler. Bu veri iletiminin farkı, görüntü aktarımı gibi yüksek bant genişliği isteyen uygulamalarda hissedilir. Buradan yola çıkarak 5 GHz'nin 2.4 GHz'ye göre daha iyi iletim gerçekleştirdiğini söyleyebiliriz. Fakat bunun yanında daha yüksek frekans kullanıldığında yüksek frekans sinyalinin zemin ve duvar gibi katı cisimlere nüfuz

edememesinden kaynaklı olarak iletim aralığı da kısalmaktadır. Bu mesafe zayıflığı farklı teknoloji yöntemleri ile iyileştirilebilmektedir. Fakat burada incelenen, destek teknolojisi olmadan kullanılan Wi-Fi modülleridir. Diğer bir kıyaslama kısmı ise girişim durumudur. Günümüzde daha çok 2.4 GHz Wi-Fi modeli kullanıldığı için bunların bir bölgede birden fazla kullanılması da veri aktarımı sırasında parazitlere sebep olmaktadır. Ayrıca 5 GHz'de 23 adet kanal bulunmasına karşılık 2.4 GHz'de 3 adet kanal bulunması da bu girişim etkisini arttırmaktadır [13]. Sonuç olarak 2.4 GHz'nin kapsama alanı bakımından daha iyi olduğu fakat iletim verimi olarak daha düşük bir verime sahip olduğu anlaşılmaktadır.

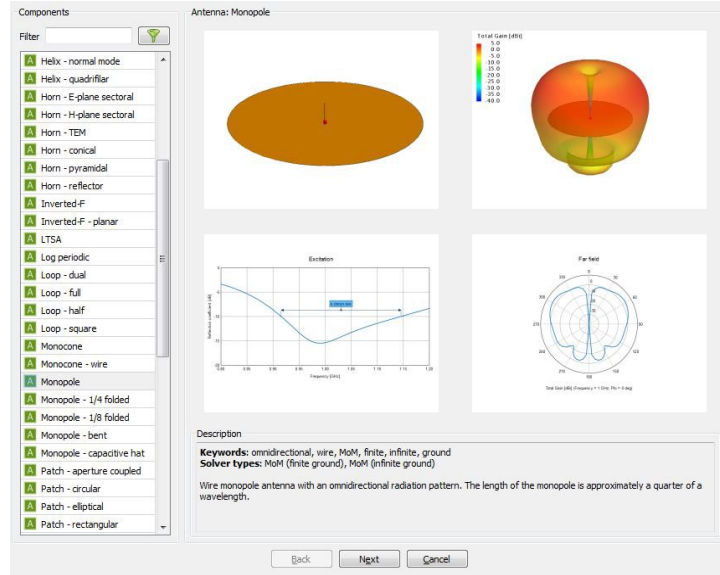
2.2. Wi-Fi Teknolojisi ve İnsan Sağlığına Etkisi

Elektromanyetik radyasyon, enerjinin parçacık veya dalga halinde yayılması olarak tanımlanır. Parçacık veya dalga olarak yayılan bu enerjinin insan sağlığı üzerinde termal ve termal olmayan iki farklı etkisi mevcuttur. Termal etki dokunun ısınmasına sebep olurken termal olmayan etkiler moleküllerin titreşimine ve dönmelerine sebep olmaktadır [14]. Günümüzde bir çok alanda sürekli olarak kullanılan Wi-Fi teknolojisi de elektromanyetik alan teorisine dayanmaktadır. Genellikle sağlık üzerine yapılan araştırmalar, radyo frekansının mikrodalga kısmının (300 MHz ila 300 GHz) potansiyel olumsuz etkilerini yine radyo frekansı kullanan cihazlar arasında en fazla radyasyon yayan cep telefonu cihazları üzerine incelemeye odaklanmıştır [15]. Bununla birlikte Wi-Fi teknolojisinin yaygın kullanılması, özellikle işletim frekansı üzerine dikkatleri çekmektedir. Öyle ki; bugün Wi-Fi Alliance tarafından IEEE ile uyumlu olduğu onaylanan, kablosuz ağ ürünleri olan ve Wi-Fi teknolojisiyle donatılmayan neredeyse hiçbir dizüstü bilgisayar, akıllı telefon, tablet veya iletişim aygıtı yoktur [16]. Bu aygıtların doğrudan ve dolaylı olarak sağlık üzerine etkisi göz önünde bulundurulduğunda en uygun olan, olabildiğince az radyasyona maruz kalmaktır. Radyasyon maruziyetini azaltmanın bir yolu ise Wi-Fi modülünün uygun konuma yerleştirilmesidir. Yatak odası konumunun en az kapsama alanına sahip yer olarak tercih edilmesi günün büyük bir kısmında radyasyondan uzak kalmayı sağlar.

3. ANALİZ HİYERARŞİSİ VE SİSTEM PARAMETRELERİ

3.1. Anten Tipi ve Uzağı

Anten tipi olarak monopul anten tercih edilmiştir. $x=0.2$ metre, $y=0.2$ metre, $z=0.06$ metre ölçülerinde bir router tasarlanmış, ardından Şekil 5'te gösterildiği gibi kütüphaneden seçilen monopul anten router üzerine eklenmiştir. Komponent kütüphanesinden istenilen frekans değerleri için otomatik olarak belirli bir boyutta monopul anten oluşturulmuştur.

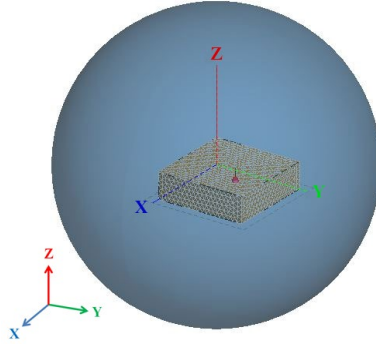


Şekil 5. Kütüphaneden monopul anten seçimi.

Buna ilave olarak, oluşturulan monopul antenin konumlandırılması gerçekleştirildikten sonra router ve etrafındaki uzay için mesh yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan mesh yapısının 3D patterni için θ ve ϕ konum değerleri Şekil 6'da verildiği gibi 3 derece artırımlarla elde edilmiştir. Daha sonra belirlenen anten, istenilen çözüm frekansında (antenin 2.4 GHz yahut 5 GHz olmasına bağlı olarak) verilen mesh için çözdürülmüştür.

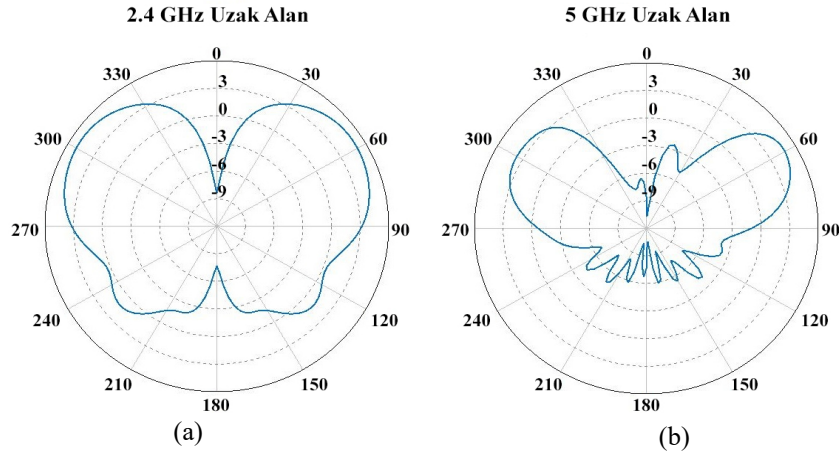
3.2. Anten Kazancı ve Yönlülüğü

Analiz gerçekleştirildikten sonra elde edilen sonuçlar anten kazancı ve yönlülüğü açısından karşılaştırılmıştır. 2.4 GHz ve 5 GHz için elde edilmiş olan uzak alan ışıması desibel cinsinden kazanç için Şekil 7'deki gibidir. Şekil 7 incelendiğinde 2.4 GHz monopul antenin aynı besleme kaynağı altında daha fazla alanda kazançla sahip



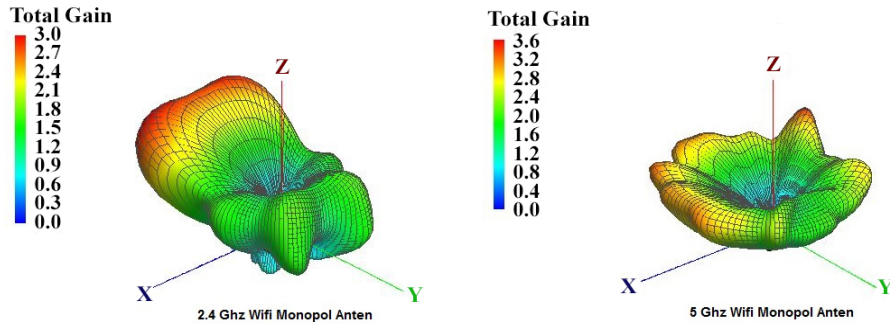
Şekil 6. Router ve çevresi mesh yapısı.

olduğu gözlemlenmektedir. Işınım genişliği açısından 5 GHz çok dar bir açıyı kapsarken 2.4 GHz daha fazla ışınım genişliğine sahiptir. Yüzey alanı açısından incelendiğinde 2.4 GHz'nin daha büyük kapsama alanına ve çoklu yönde daha geniş bir yayılıma sahip olduğunu göstermektedir. 5 GHz yayılımı 2 ana lobdan oluşup arka lobları az olsa da 2.4 GHz'nin sahip olduğu ana lob ve yan lobların büyüklükleri de daha fazla kapsama alanına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Monopol anten için desibel cinsinden toplam kazanç; (a) 2.4 GHz Uzak Alan Işıması, (b) 5 GHz Uzak Alan Işıması.

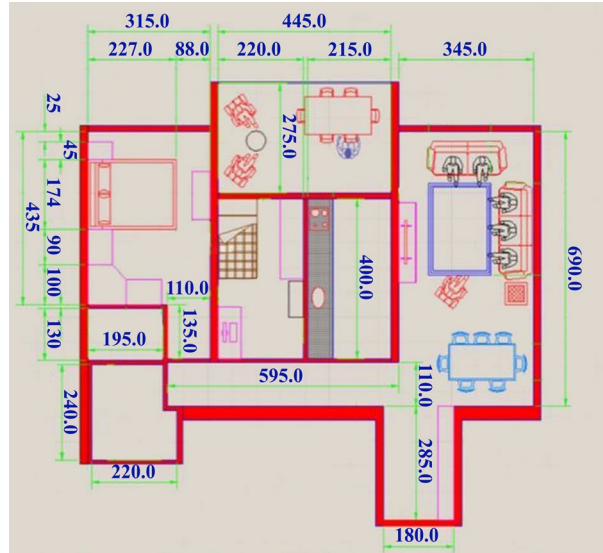
Polar düzlemde gösterimi yukarıda verildiği gibi olan ışınım yayılımlarının 3 boyutlu uzayda gösterimi ise Şekil 8'deki gibidir. Kazancın 5 GHz için daha fazla olduğu gözükse de buradaki ışınımın genişliği az olduğu için etkisi daha az olacaktır. Yani genlik olarak kazancı daha az olan 2.4 GHz ışınması, daha fazla alana ortalaması daha yüksek bir değer ile yayılacaktır. Monopol antenler için elde edilen bu elektromanyetik yayılım değerleri konumlandırma analizleri için kullanılmıştır. Buradan yola çıkarak yönlülük hakkında öngörde bulunmak zor olmasa da farklı yerlerde konumlandırılarak yapılan analizler de 2.4 GHz'nin daha fazla kapsama alanına sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 8. Uzayda uzak alan için anten kazancı ve yönlülüğünün ifadesi.

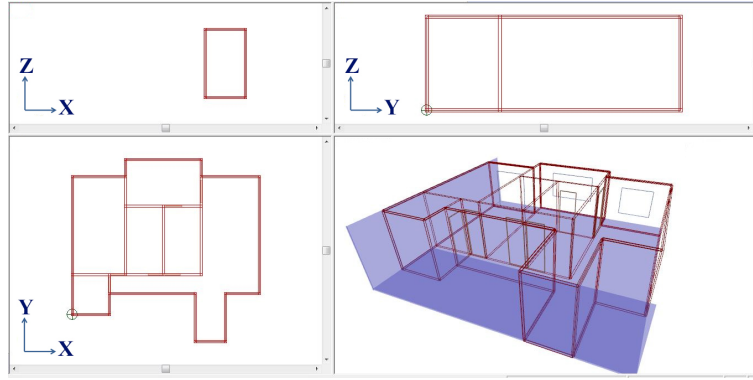
3.3. Ev Geometrisi ve Parametreleri

Anten için analiz gerçekleştirildikten sonra antenin koyulacağı evin 3D modeli oluşturulmuştur. Mimari için düşünülen yapı Şekil 9'da gösterilmektedir. Verilen mimari yapı için en sağdaki oda oturma odasını, en soldaki oda ise yatak odasını temsil etmekte olup ortada balkon, çalışma odası ve mutfak bulunmaktadır.



Şekil 9. Daire yapısı.

Bu kapsamda Şekil 9'da verilen daire birebir ölçüde çizilerek Şekil 10'daki yapı elde edilmiştir. Farklı malzemelerdeki her bir duvar için çizimler peşi sıra güncellenip kaydedilmiş ve yapı analiz için hazırlanmıştır.



Şekil 10. 3D daire yapısının oluşturulması.

Analiz, altı farklı duvar malzemesi için gerçekleştirilmiştir. Her bir duvar malzemesi için daire içerisinde üç farklı konum analiz kapsamında değerlendirilmiştir. Duvar kalınlıkları belirlenirken konstruktif uygunluk değil, sadece ışınım analizi amaçlanmıştır. Bu nedenle duvar ölçüleri değerlendirilirken bu varsayım göz önüne alınmalıdır.

Bir duvarın özelliği frekans değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Duvar özellikleri için ALTAIR Feko analiz programının arka planda kullanmış olduğu, kalınlığa bağlı olarak değişen hazır fiziksel parametreler uygulanmıştır. Analiz için kullanılacak olan her bir duvar malzemesinin özelliği ayrı bir tablo ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. 10 cm tuğla için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 4.66 dB	Gelen ışın (min) : 8 dB	
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) : 15 dB	
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın : 5 dB	
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.044 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 10.11 dB	Gelen ışın (min) : 12 dB	
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) : 19 dB	
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın : 9 dB	
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.111 S/m

Tablo 2. 30 cm tuğla için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 11.93 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.044 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 28.3 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 9.52 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 4	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.111 S/m

Tablo 3. 10 cm beton için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 6.89 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 7.51 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 6	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.078 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 14.67 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 7.51 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 6	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.194 S/m

Tablo 4. 10 cm köpük beton için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 2.17 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 13.74 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 2.3	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.017 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 4.87 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 13.74 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 2.3	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.042 S/m

Tablo 5. 10 cm ahşap (huş ağacı) için frekans değerine göre duvar parametreleri.

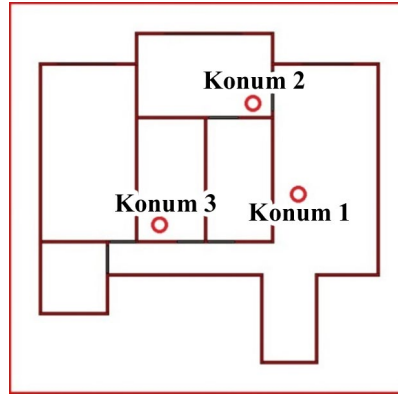
2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 0.36 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 22.51 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1.35	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.0022 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 0.83 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 22.51 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1.35	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.006 S/m

Tablo 6. 5 mm çelik için frekans değerine göre duvar parametreleri.

2.4 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 0.36 dB	Gelen ışın (min) :	8 dB
Yansım Kaybı : 22.51 dB	Gelen ışın (max) :	15 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	5 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1.35	Gör. Geçirgenlik: 1	İletkenlik: 0.0022 S/m
5 GHz		
İletim/Yansım/Saçılma	Kırınım	
İletim Kaybı : 1055.42 dB	Gelen ışın (min) :	12 dB
Yansım Kaybı : 0.05 dB	Gelen ışın (max) :	19 dB
Saçılma Kaybı : 20 dB	Yansıyan ışın :	9 dB
Fresnel Katsayıları		
Gör. Dielektrik Sabiti: 1	Gör. Geçirgenlik: 20	İletkenlik: 27778 S/m

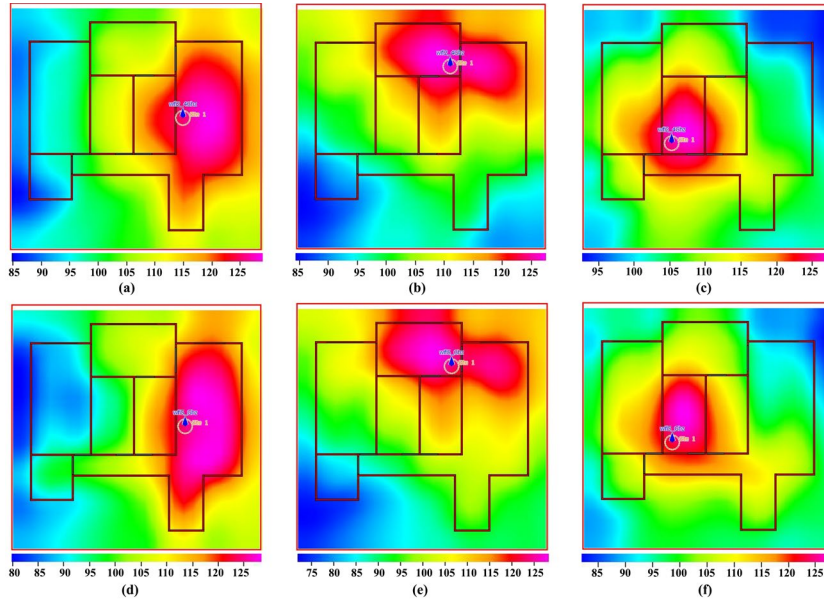
4. ANALİZ SONUÇLARI

Konum değerlendirmesi için anten Şekil 11'deki gibi üç farklı konuma yerleştirilmiştir. Birinci konum oturma odasını, ikinci konum çalışma odasını ve üçüncü konum balkonu temsil etmektedir. Bu yerleştirmeler her farklı duvar malzeme özelliği adına yapılmıştır. Her konumlandırma ve duvar özelliği kombinasyonu için iki farklı Wi-Fi işletim frekansı göz önünde bulundurularak 36 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonuçları duvar özelliklerine göre sınıflandırılmış ve yorumlanmıştır.



Şekil 11. Antenin yerleştirilip analizinin gerçekleştirileceği üç farklı konum.

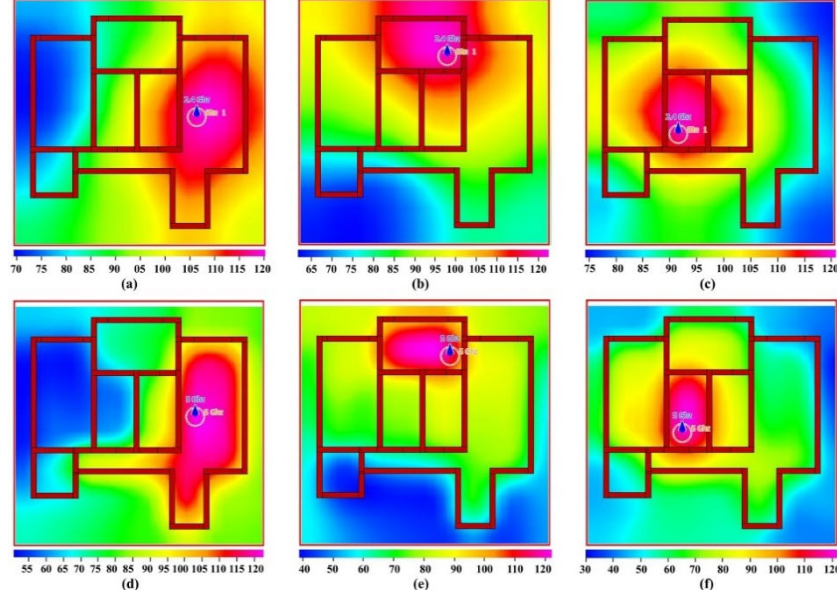
4.1. 10 cm Tuğla İçin Sonuçlar



Şekil 12. 1. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

10 cm tuğla duvar özelliği için 2.4 GHz'nin 5 GHz'ye göre daha fazla alana yayılabildiği görülmüştür. Bununla birlikte, en kapsamlı konumlandırma oturma odası da göz önünde bulundurulduğunda 2. konumdur. Çünkü 1. konumda yatak odasında az çekim varken, 3. konumda oturma odasında az çekim olacağı görülmektedir. Fakat sağlık etkileri nedeniyle yatak odasında daha az çekim bulunması isteniyorsa 1. konumun tercih edilmesi gerekmektedir.

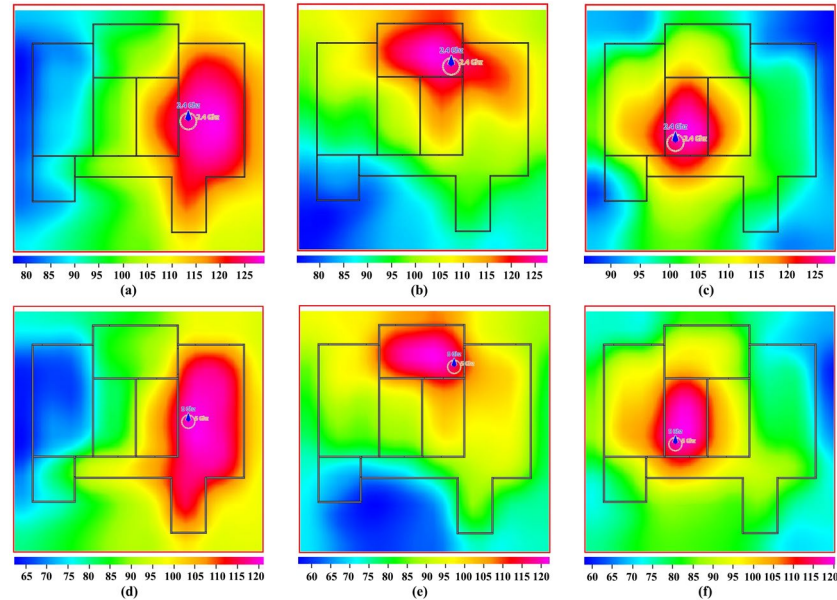
4.2. 30 cm Tuğla İçin Sonuçlar



Şekil 13. 2. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

30 cm tuğla duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçları duvar kalınlığının etkisini ortaya koymaktadır. Duvar kalınlığı arttığında ışımanın ve alan kuvvetinin azaldığı gözlemlenmektedir.

4.3. 10 cm Beton İçin Sonuçlar

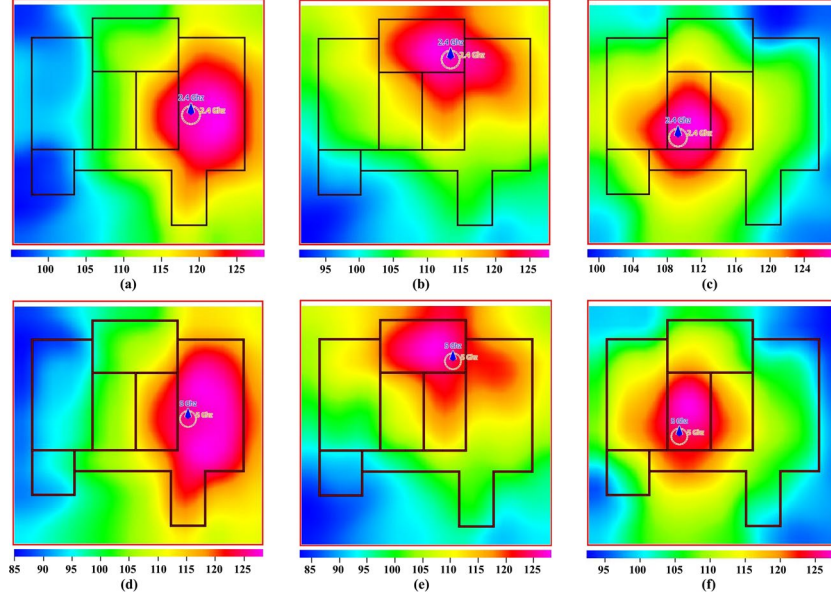


Şekil 14. 3. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz

10 cm beton duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçları, 10 cm tuğla için elde edilen analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında betonun ışımasını daha fazla engellediği gözlemlenmiştir.

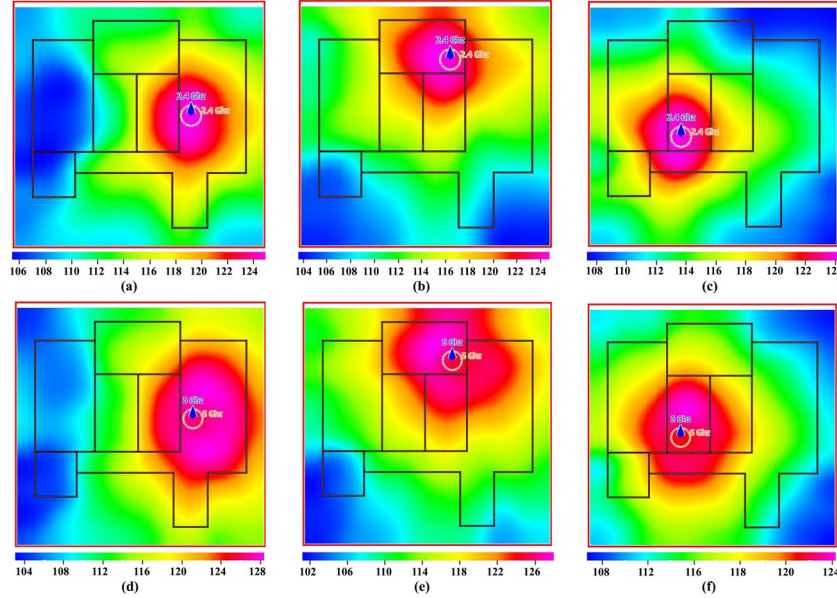
4.4. 10 cm Köpük Beton İçin Sonuçlar

10 cm köpük beton duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında aynı kalınlıktaki 10 cm tuğla duvar analizine göre ve aynı kalınlıktaki 10 cm beton duvar analizine göre daha fazla ışıma izin verdiği gözlemlenmiştir. Konumlandırma açısından değerlendirdiğimizde ise 2. konum tekrar en fazla kapsama alanına sahip konum olarak bulunmuştur. 2. konumda gerçekleştirilen 30 cm tuğla duvar özelliği analizinin 2.4 GHz ışınımı ile 10 cm köpük beton duvar özelliği için 2. konumda gerçekleştirilen analizin 5 GHz ışınımının benzer güç dağılımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 15. 4. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

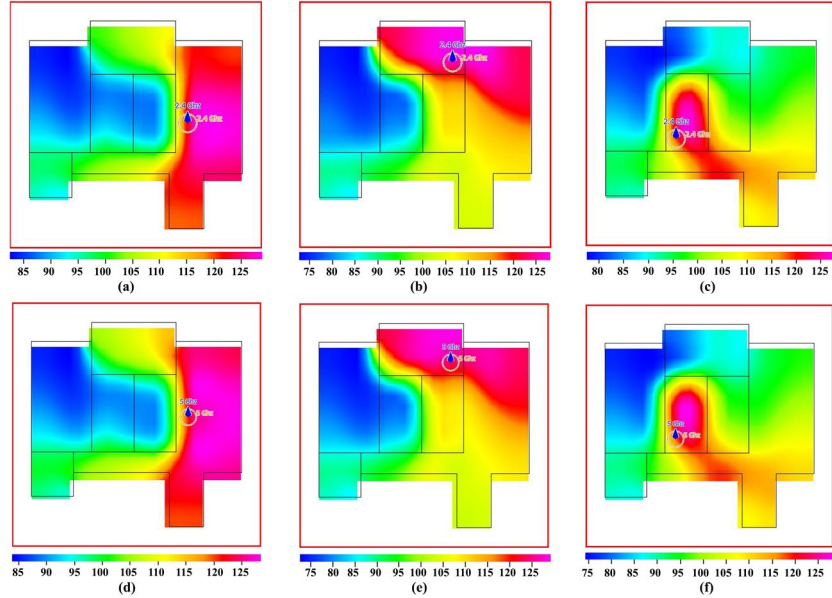
4.5. 10 cm Ahşap İçin Sonuçlar



Şekil 16. 5. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

10 cm ahşap duvar özelliği için elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında diğer tüm duvar özelliklerinden daha iyi iletim sağladığını ve her konumda bu iyi iletimin diğer bütün analizlerden daha fazla kapsama alanına sahip olduğu bulunmuştur.

4.6. 5 mm Çelik İçin Sonuçlar



Şekil 17. 6. duvar için alan kuvveti dağılımı [dB uV/m] a) 1. konum 2.4 GHz, b) 2. konum 2.4 GHz, c) 3. konum 2.4 GHz, d) 1. konum 5 GHz, e) 2. konum 5 GHz, f) 3. konum 5 GHz.

10 cm ahşap duvar özelliği analizinin tam tersi olarak 5 mm çelik duvar özelliği analizi incelendiğinde ışınmı en az geçiren duvar malzemesinin çelik olduğu gözlemlenmiştir. Duvar malzemesi olarak bu yapı kullanıldığında 2. konum veya 3. konum kullanışlı gibi gözükse de diğer odalarda kapsama problemi oluşmuştur.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Her bir duvar özelliği için minimum alan gücü Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Minimum alan gücü kıyası.

Min Alan Gücü (dB uV/m)	Duvar 1	Duvar 2	Duvar 3	Duvar 4	Duvar 5	Duvar 6
2.4 GHz İçin	85	65	80	95	104	80
5 GHz İçin	75	30	60	85	102	75

Tüm duvar özellikleri için gerçekleştirilen analizlerin minimum değerlerinin göz önüne alındığında en fazla alan gücünün ahşap özellikteki Duvar 5’te olduğu gözlemlenmiştir. Elektromanyetik alan dağılımı incelendiğinde çelik özellikteki Duvar 6’nın minimum değeri tuğla özellikteki Duvar 2’nin minimum değerinden daha fazla olsa da duvarların sinyali engellemesi Duvar 6’da daha baskındır.

Buna ek olarak grafiksel analizler incelendiğinde 2.4 GHz antenin 5 GHz antene göre daha fazla alanda ışıma yaptığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni frekansın artmasıyla sönümlenmenin de artmasıdır. Bu sebeple aynı güçte ışıma yapan iki anten için düşük frekanslı olanın daha fazla kapsama alanına sahip olduğu gözlemlenmiştir. En etkili konumlandırma, incelenen evin oturma odası göz önünde bulundurulduğunda 2. konumdur. Çünkü 1. konumda yatak odasında az çekim varken, 3. konumda salonda az çekim olacağı görülmektedir. Sağlık açısından değerlendirildiğinde ise yatak odasına en az ışıma yapan konumun seçilmesi daha uygundur. Duvar 1’in kalınlığının artırılıp Duvar 2 olarak analiz gerçekleştirildiğinde ışımanın azaldığı ve çekim alanını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Duvar 3’ün ışıma özelliği Duvar 1 ile benzer olsa da yapısal özellikten kaynaklı olarak Duvar 3 daha fazla ışımaya engel olmuştur. Duvar 3’ün aksine daha az yoğunluklu yapısı nedeniyle Duvar 4 daha fazla ışımaya izin vermiştir. Duvar 5 ise ahşap özellikte olduğundan bariz bir şekilde en iyi ışımaya sahiptir. Duvar 6 ise en fazla sinyal bloke etkisine sahip duvar özelliği olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak en iyi ışıma ve kapsama alanı için 2. konum seçilmesi önerilmekte olup diğer konumlar için sinyal çoğaltıcı kullanılması önerilmektedir.

Yazar Katkıları

Çalışma kapsamında Hüseyin Tarık NİŞ matematiksel modelleme ve bu modellemenin Altair FEKO üzerinden çeşitli analizlerini gerçekleştirip verilerin kaydedilmesini sağlarken, Mehmet Barış TABAKCIOĞLU elde edilen sonuçların yorumlanması, anten modelinin kurulum yorumlanması ve duvar parametrelerinin tanımlanması ile katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] P. Shanmugaapriyan, H. Chitra, E. Aiswarya, V. Balasubramanian, and S. Ashok Kumar, "A pragmatic approach for effective indoor localization using IEEE 802.11 n", Ad-hoc Networks and Wireless: ADHOC-NOW 2014 International Workshops, ETSD, MARSS, MWaoN, SecAN, SSPA, and WiSARN, pp. 203-216, Benidorm, 2014.
- [2] A. Belay, L. Yen, S. Renu, H. P. Lin, and S. S. Jeng, "Indoor localization at 5GHz using Dynamic machine learning approach (DMLA)", International Conference on Applied System Innovation, pp. 1763-1766, 2017.
- [3] Y. Kaplan, and C. Göçen, "A Dual-Band Antenna Design for 2.4 and 5 GHz Wi-Fi Applications", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 34, pp. 685-688, 2022.
- [4] Ł. Chruszczyk, A. Zajac, and D. Grzechca, "Comparison of 2.4 and 5 GHz WLAN network for purpose of indoor and outdoor location", International Journal of Electronics and Telecommunications, vol. 62, 2016.
- [5] M. Sibley, "Introduction to electromagnetism", Elsevier., 1995.
- [6] G. Verhoeven, "The reflection of two fields: electromagnetic radiation and its role in (aerial) imaging", AARGnews, vol. 55, pp. 13-18, 2017.
- [7] A.M. Abdelgader, and W. Lenan, "The physical layer of the IEEE 802.11 p WAVE communication standard: The specifications and challenges", World Congress on Engineering and Computer Science, vol. 2, pp. 22-24, 2014.
- [8] I. Alimi, A. Shahpari, A. Sousa, R. Ferreira, P. Monteiro, and A. Teixeira, "Challenges and opportunities of optical wireless communication technologies", Optical Communication Technology, vol. 10, 2017.
- [9] E. Anderson, C. Phillips, D. Sicker, and D. Grunwald, "Modeling environmental effects on directionality in wireless networks", Mathematical and Computer Modelling, vol. 53, pp. 2078-2092, 2011.
- [10] J. McLean, R. Sutton, and R. Hoffman, "Interpreting Antenna Performance Parameters for EMC Applications: Part 2: Radiation Pattern, Gain, and Directivity", TDK RF Solutions Inc.
- [11] L.A. Dorado, and V. Trainotti, "Simplified calculation of ground losses in low-and medium-frequency antenna systems", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 48, pp. 70-81, 2006.
- [12] K. Pahlavan, and P. Krishnamurthy, "Evolution and impact of Wi-Fi technology and applications: A historical perspective", International Journal of Wireless Information Networks, vol. 28, pp. 3-19, 2021.
- [13] S. Lepaja, , A. Maraj, and S. Berzati, "WLAN planning and performance evaluation for commercial applications", Data-Centric Business and Applications: Evolvments in Business Information Processing and Management, vol. 1, pp. 53-69, 2019.
- [14] J. Wieart, "Radio-Frequency Human Exposure Assessment. From deterministic to Stochastic Methods", John Wiley & Sons, 2016.
- [15] U. Sorgucu, and I. Develi, "Measurement and analysis of electromagnetic pollution generated by GSM-900 mobile phone networks in Erciyes University, Turkey", Electromagnetic Biology and Medicine, vol. 31, no. 4, pp. 404-415, 2012.
- [16] I. Prlić, J. Šiško, V.M. Varnai, L. Pavelić, J. Macan, S. Kobešćak, and S.C. Avdagić, "Wi-Fi technology and human health impact: a brief review of current knowledge", Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, vol. 73, no. 2, pp. 94-106, 2022.