



## YANSIMALI ODA İÇERİSİNE BİR KARIŞTIRICI EKLENMESİNİN VE KARIŞTIRICI KONUMUNUN ELEKTRİK ALAN DÜZGÜNLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bülent URUL<sup>1\*</sup>, Bilal TÜTÜNCÜ<sup>2</sup>, Selçuk HELHEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Antalya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Yansımali oda,  
Kariştirici,  
Elektrik alan düzgünlüğü.*

### Öz

Yansımali odalar görece çok ucuza gerçekleştirilebilmeleri nedeni ile son yıllarda elektromanyetik uyumluluk testleri için kullanılan yeni ve etkili bir test ortamıdır. Ön uyumluluk test aşamalarında (sonuca ilişkin yüksek yaklaşıklıkta cevap vermeleri nedeni ile) tam yansımali test ortamları için bir alternatif olarak görülmektedir. Yansımali oda test ortamları, çalışma hacimlerinin büyüklüğüne rağmen tam yansımali odalara göre çok daha ucuz kurulum maliyetine sahiptir. Bu çalışmada, elektromanyetik benzetim programı yardımıyla gerçek boyutlarda bir yansımali oda tasarlanmıştır. Daha sonra tasarlanan bu yansımali oda içerisine kariştirici eklenerek bu kariştiricinin ve kariştiricinin oda içerisindeki konumunun alan düzgünlüğüne olan etkisi incelenmiştir. Gözlemlenen sonuçlara göre oda içerisine kariştirici eklenmesinin elektrik alanların standart sapmasına yani elektrik alan düzgünlüğüne olan etkisi ortalama 1 dB'dir. Bunun yanında oda içerisindeki kariştirici konumunun elektrik alan düzgünlüğüne oldukça az bir etkisi olmasına rağmen Uluslararası Elektroteknik Komisyon standartının(IEC 61000-4-21) önerdiği limitleri elde etmek için kariştirici konumunun belirlenmesinin önemli ölçüde bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADDING A STIRRER AND STIRRER LOCATION ON ELECTRIC FIELD UNIFORMITY INTO REVERBERATION CHAMBER

### Keywords

*Reverberation chamber,  
Stirrer,  
Electric field uniformity.*

### Abstract

Reverberation chambers are new and effective test environments used in recent years for electromagnetic compatibility testing because of their relatively cheap realization. These chambers are seen as an alternative to fully non-reflective testing environments in the Pre-Compatibility testing stages (due to the high approximation of the result). Reverberation chamber testing environments have a much cheaper installation cost than the full-reflective rooms despite the size of their working volumes. In this study, a reverberation chamber with real dimensions is designed with the help of electromagnetic simulation program. The effect of the stirrer and the stirrer location in the room was investigated by adding the stirrer to this reverberation chamber. According to the observed results, the effect of the addition of stirrer in the room over the standard deviation of the electric fields, ie the electric field uniformity, is averagely 1 dB. In addition, although the stirrer location in the room had little effect on the electric field uniformity, It has been observed that the determination of the stirrer location has a significant effect to obtain the limits proposed by the International Electrotechnical Commission standard (IEC 61000-4-21).

### Alıntı / Cite

Urul, B., Tütüncü, B., Helhel, S., (2019). Yansımali Oda İçerisine Bir Kariştirici Eklenmesinin ve Kariştirici Konumunun Elektrik Alan Düzgünlüğüne Etkisinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 115-125.

\* İlgili yazar / Corresponding author: bulenturul@sdu.edu.tr, +90-246-211-1764

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
B. Urul, 0000-0003-2656-2450	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	27.09.2018
B. Tütüncü, 0000-0002-7439-268X	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	17.10.2018
S. Helhel, 0000-0002-1401-3297	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	05.12.2018
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.03.2019

## 1. Giriş

Modern dünyada ister endüstride isterse sivil hayatta kullanılsın pek çok elektronik cihaz doğası gereği yüksek frekans bileşenler üretmekte ve elektromanyetik ışımaya yaparak içinde bulunduğu ortamlarda var olan diğer cihazların çalışma performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu olumsuzluk bazen bir fonksiyonun kaybolması bazen ise o cihazın tamamen devre dışı kalması şeklinde olabilir. Kısaca elektronik elemanlar kullanan her türlü cihaz başka benzer cihazları etkileyebilir veya tersinden bakıldığında etkilenebilir. Ekranlama ve işaretlerin filtrelenmesi cihazları korumak adına yapılan önemli faaliyetler olsa da ortaya çıkan bu kronik sorun nedeni ile tasarımı tamamlanan tüm elektronik cihazların seri üretim aşamasına geçmeden önce bir dizi teste ( elektromanyetik uyumluluk- EMC testleri) tabi tutulması zorunluluğu ortaya çıkar (Basyigit vd., 2017). Ortamda elektromanyetik parazit kaynakları varsa, hatalar antenleri ve kablosuz cihazları karakterize etmek için tasarlanmış ölçümleri deforme edecektir (Yardım vd., 2017). Bu nedenle elektronik sistemler tasarlanırken bu elektromanyetik uyumluluk prensiplerinin hesaba katılması hayati bir önem arz etmektedir. Genellikle cihazların birbirinden etkilenmelerini engellemek için cihazlar iletken bir koruyucu içerisine yerleştirilmektedir. Fakat cihazların bir sistemle bağlanabilmesi için bu iletken kutular üzerinde giriş-çıkış üniteleri için bazı açıklıkların açılması gerekmektedir. Dolayısıyla bu açıklıklardan içeri giren elektromanyetik alanlar girişime neden olarak sorunun kaynağı olmaktadır. Cihazların birbiriyle etkileşimini en aza indirmek için yapılan bu çalışmalar ekranlama olarak ifade edilmektedir (Lovat, 2007; Basyigit vd., 2017). Bahsi geçen sorunların kaynağını tespit etmek ve çözümler üretmek üzere tüm dünyada aynı cevapları elde edebileceğimiz standart test ortamlarının oluşturulması yoluna gidilmiştir (Weston,1992). Günümüzde standart elektromanyetik uyumluluk test ortamları kabaca temelde tam yansız odalar ile yarı yansız odalarda gerçekleştirilmektedir.

Tam yansız odalar iç ve dış ortam arasında 110dB' den daha fazla izolasyon sağlayacak şekilde yüksek iletkenlik değerine sahip alüminyum veya galvaniz kaplı çelik metalik yapılar olup test yapılan iç hacmine ait yüzeyler çok küçük yansız katsayısına sahip malzemeler ile kaplanır. Ardından bu kaplamanın üzeri karbon emdirilmiş piramit süngerler ile tekrar kaplanır. Bu kaplama adımları hedeflenen çalışma frekansı aralığının genişletilmesi hedeflendiğinde aynı anda uygulanır. Böylece dışarıdan izole edilmiş ve içeriden kaynaklanan işaretlere bağlı yansızmaların neredeyse tamamının

soğurulduğu bir ortam elde edilir. Neticede test altındaki cihaz (TAC) ile test anteni arasında optik ışımaya yolu dışından bir etkileşim mekanizması kalmaz. Kurulum maliyetlerini düşürmek ve cihaz performansı hakkında ön yeterlilik seviyesinde fikir sahibi olmak maksadı ile tasarlanan yarı yansız test ortamlarında ise TAC ile alıcı/verici antenlerin arkalarında kalan oda yüzeyleri karbon emdirilmiş süngerlerle kaplanarak arka düzelden oluşan yansımaya engellenmeye çalışılmaktadır. Görece düşük maliyetleri nedeni ile pek çok küçük kuruluş bu test ortamlarını tercih etmektedir.

Yansız odalar ise hiçbir soğurucu eleman barındırmamaları nedeni ile çok ucuz maliyetli metalik odalardır. Temel prensibi oda içerisine yerleştirilen ve ayna görevi yapan yansıtıcı/karıştırıcı elemanlar aracılığı ile TAC'ın yerleştirileceği bir hacimde alan düzgünlüğünü garanti etmektir. Yansız test odalarının en büyük avantajı kurulum masraflarının tam yansız odaya kıyasen çok daha düşük olmasıdır. Bu test ortamının oluşturulması için odanın duvar, zemin ve tabanın yüksek iletkenlikli metallerle kaplanması gerekmektedir. Bir yansız oda temel olarak içerisine karıştırıcı, verici anten ve alıcı anten olmak üzere birkaç eleman bulundurulur. Bu elemanların maliyeti tam yansız oda da kullanılan karbon emdirilmiş sünger oklardan çok daha düşüktür. Zaten tam yansız ortamların da dış duvarları dışarıdan gelen elektromanyetik dalgaları engellemek için yüksek iletkenlikli metallerle kaplanması gerekmektedir. Dolayısıyla yansız oda kurulum maliyeti, tam yansız test ortamlarına göre daha düşük olmaktadır (Besnier, 2011).

Tüm bunlarla beraber yansız oda içerisine elektrik alan düzgünlüğünün yani elektrik alanların standart sapmalarının 0'a yakın olabilmesi için oda içerisine kullanılan elemanların optimizasyonun yapılması gerekmektedir. Örneğin karıştırıcının oda içerisindeki konumu, yüksekliği, şekli, dönüş açısı gibi birçok parametre değişimiyle standartlar ile belirlenen kurallar dahilinde elektrik alan seviyesi belirlenebilir. Bir odanın bir yansız oda olması için bazı parametrelerin hesaplanması ve bunların standartlar da belirtildiği üzere bazı limitleri karşılaması gerekir.

Literatürde yansız oda parametreleri üzerine pek çok çalışmalar vardır. Bazı araştırmacılar çalışmalarında, EMC ve ilgili alanlarda popüler bir araç haline gelen yankılama odası için optimize edilmiş karıştırıcı tasarımı problemini ele almışlardır. Bunun için klasik ve yeni karıştırıcılar yankılama odasına göre tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu iki tasarım için

karşılaştırmalar alan düzgünlüğü ve en düşük kullanılabilir frekans(KEDF) açısından yapılmıştır. Yeni optimizasyonu yapılmış karıştırıcı tasarımları ile dizayn edilmiş yankılama odasının performansının alan homojenliği noktasında daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Huang v.d, 2006). Yapılan bazı çalışmalarda ise (Zhang vd, 2009) standartlara uygun olarak bir yankılama odası yapılarak verici antenin ve çalışılan hacmin yani alıcı antenlerin oda içerisinde konulduğu hacmin boyutlarının alan homojenliğine etkisi incelenmiştir. İlk önce alan düzgünlüğünün IEC standardının spesifikasyonuna uygunluğu sağlanmıştır. Farklı verici anten konumları, yönleri, yüksekliği ve çalışma alanının hacmi için kalibrasyonlar yapılmış ve alan homojenliği bu kriterler için analiz edilmiştir. Sonuç olarak verici antenin konumu, yönü, yüksekliği ve çalışma hacminin boyutlarının değişiminin alan homojenliği üzerine çok az etkisi olduğu gözlenmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada (Nişancı vd., 2011) karıştırıcının dönüş açısına bağlı olarak yankılama odasındaki elektrik alan seviyesinin veri madenciliği ile modellenilebileceği belirtilmiştir. Önerilen model, her bir karıştırıcı açısı ve incelenen frekans bandı için daha yüksek tahmini yeteneği sağlamaktadır. Simülasyon sonuçları, önerilen modeli gerçek elektrik alan seviyeleri ile oldukça eşleştirdiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar Feature Selective Validation tekniği ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, tahmini elektrik alan seviyelerinin gerçek değerlerle hemen hemen aynı olduğunu göstermektedir. Bu model, farklı yayılım koşulları ve farklı girdi-çıkı değişkenleri için kolayca değiştirilebilmektedir. Önerilen modeli kullanarak elektrik alan seviyeleri daha kolay ve daha kısa sürede belirlenebildiği gösterilmiştir.

Literatür çalışmaları dikkatlice incelendiğinde karıştırıcı konumunun hedefe ulaşma bakımından en düşük maliyetli yöntem olduğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla mühendislere elektrik alan düzgünlüğünü garanti edebilecekleri bir tasarımın basamaklarına ilişkin bir yöntem geliştirmek üzere böyle bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla 6.3 x 5 x 3 m boyutlarında bir yansımali oda elektromanyetik benzetim programı yardımıyla tasarlandı. Yankılı oda için boş halde ve karıştırıcı eklenmiş halde benzetimler yapılarak alan düzgünlüğünün değişimi, karıştırıcı konumuna bağlı olarak gözlenmiştir.

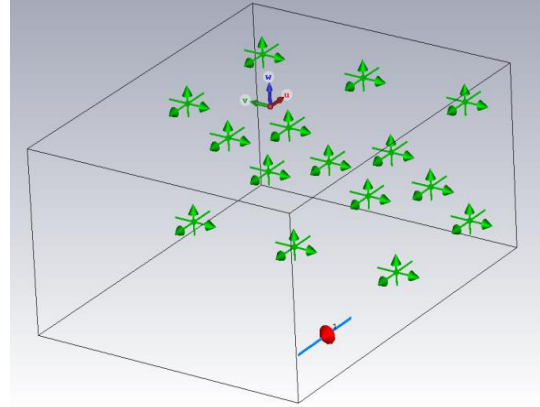
Bu çalışmanın ilk bölümünde, elektromanyetik uyumluluk testlerinin günümüzde gittikçe önem kazandığına dikkat çekildi. Bu testlerin hangi ortamlarda yapılabileceği anlatıldı ve bu ortamların hangi şartları sağlaması gerektiği belirtildi. Ayrıca yansımali oda test ortamlarının neden tercih edilmesi gerektiği açıklandı ve bu çalışmanın yapılma amacı ortaya konuldu. Ayrıca bu çalışma ile benzerlik gösteren literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde çalışmada kullanılan materyal ve izlenen yöntem hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, deneysel çalışmalar detaylandırılmıştır. Son

bölümde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmış, gelecekte yapılması planlanan çalışmalardan bahsedilmiş, çalışmanın önemine değinilmiştir.

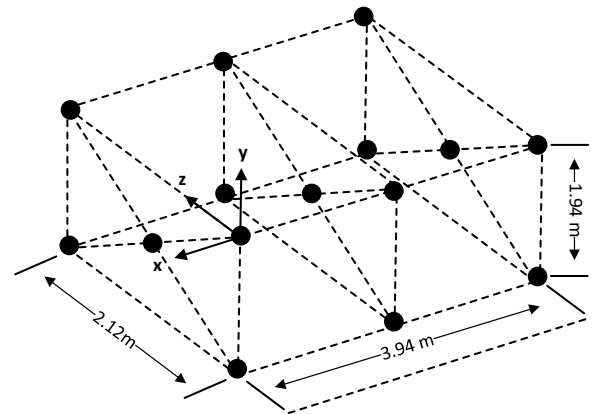
## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada bir elektromanyetik benzetim programı olarak CST-Microwave Studio kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak 6.3 x 5 x 3 m (uzunluk x genişlik x yükseklik) boyutlarında bir odanın tasarımı yapılmıştır. Bu oda boyutlarına göre kullanılabilir en düşük frekans(KEDF) 130 MHz olarak hesaplanmış olmasına rağmen standartın belirlediği limitleri sağladığımızdan emin olmak için KEDF 140MHz seçilmiştir (Wellander, 2007; Lundén,2010).

Simülasyonda kullanılan verici anten için benzetim programında ayrı port kullanılmıştır. Alıcı sondalar ise Şekil 1 ve Şekil 2'de görüldüğü üzere yerleştirilmiştir. Simülasyon frekans aralığı 140 MHz ile 600 MHz arasında gerçekleştirilmiştir. Referans verici anten konumu oda içerisinde rasgele olacak şekilde seçilmiştir. E-field sondaları çalışma alanında herhangi bir konuma yerleştirilebilir. IEC 61000-4-21 standardı (IEC Standart, 2003) sonda lokasyonlarının en az 8 farklı konumda olmasını tavsiye etmesine rağmen sondalar doğruluk düzeyini arttırmak için 15 farklı konuma yerleştirildi.

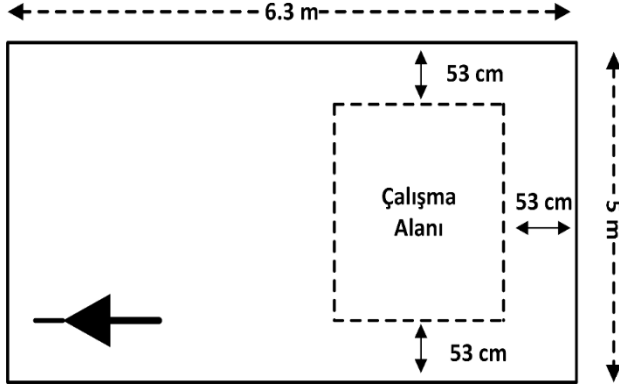


Şekil 1. Benzetim ortamında yansımali oda tasarımı



Şekil 2. Oda içerisinde ölçüm sondalarının yerleşim şekli

Çalışma alanı denilen alan Şekil 2 ve Şekil 3'de görüldüğü üzere sondaların yerleştirildiği alandır ve bu alan anten, oda duvarları ve de karıştırıcıdan KEDF'ında  $\lambda/4$  mesafe uzaklığa çekilerek oluşturulmuştur. Şekil 3'de de verilen bu mesafe 140 MHz için 53cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Yansımali odanın şematik diyagramı  
( Karıştırıcısız )

### 3. Araştırma Bulguları ve Deneysel Sonuçlar

Yansımali bir odanın düzgün bir kalibrasyona sahip olması için, örnekleme yapılacak frekans değerleri sayısı ve aralığı için Tablo 1'de verilen bazı standartlar mevcuttur(IEC Standart, 2003). Buna göre  $f_s - 3 f_s$  ( $f_s=KEDF$ ) aralığında en az 20 farklı frekans ve  $3 f - 6 f$  aralığında ise en az 15 farklı frekans değerinde ölçüm yapılması gerektiği ifade edilmektedir. Fakat bu frekansların logaritmik olması gerektiği ifade edilmektedir. Bu bilgiler ışığında frekanslar ve Tablo 2'de görüldüğü üzere belirlenmiş ve benzetim işlemleri bu frekans değerlerine göre ayarlanmıştır(Urul vd., 2017).

Tablo 1. Standartın önerdiği örnekleme ve frekans sayıları

Frekans Aralığı	İhtiyaç duyulan örnekleme sayısı	İhtiyaç duyulan örnekleme yapılacak frekans sayısı
$f_s - 3f_s$	50	20
$3f_s - 6f_s$	18	15
$6f_s - 10f_s$	12	10
10 $f_s$ ve üzeri	12	20/10 kat

Tablo 2. Belirlenen aralıklarda logaritmik olarak belirlenmiş frekanslar değerleri

Frekans Sayısı	$f_s - 3f_s$	$3f_s - 6f_s$
1	100	300
2	105.95261	315.22698
3	112.25955	331.22685
4	118.94192	348.03882
5	126.02206	365.7041
6	133.52366	384.26602
7	141.47179	403.77005
8	149.89306	424.26406
9	158.8156	445.79827
10	168.26926	468.4255
11	178.28568	492.20122
12	188.89832	517.18368
13	200.14269	543.43418
14	212.0564	571.01709
15	224.67928	600
16	238.05355	
17	252.22395	
18	267.23784	
19	283.14547	
20	300	

Simülasyon kurulum aşaması bittikten sonra yukarıda verilen bilgiler ışığında karıştırıcının oda içerisindeki alan üniformluğunun üzerine etkisini incelemek üzere ilk önce oda içerisine karıştırıcı yerleştirilmeden simülasyon programı çalıştırılmıştır.

Simülasyon programında kullanılan 15 tane elektrik alan ölçüm probundan, yukarıda belirtilen frekanslar için 15 farklı elektrik alan değeri elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu lineer elektrik alan değerlerinden Eşitlik 1 yardımıyla her bir frekans için standart sapma değerleri elde edilmiştir. Daha sonra standart sapmaları dB olarak elde etmek için de Eşitlik 2 kullanılmıştır(Hong, 2010).

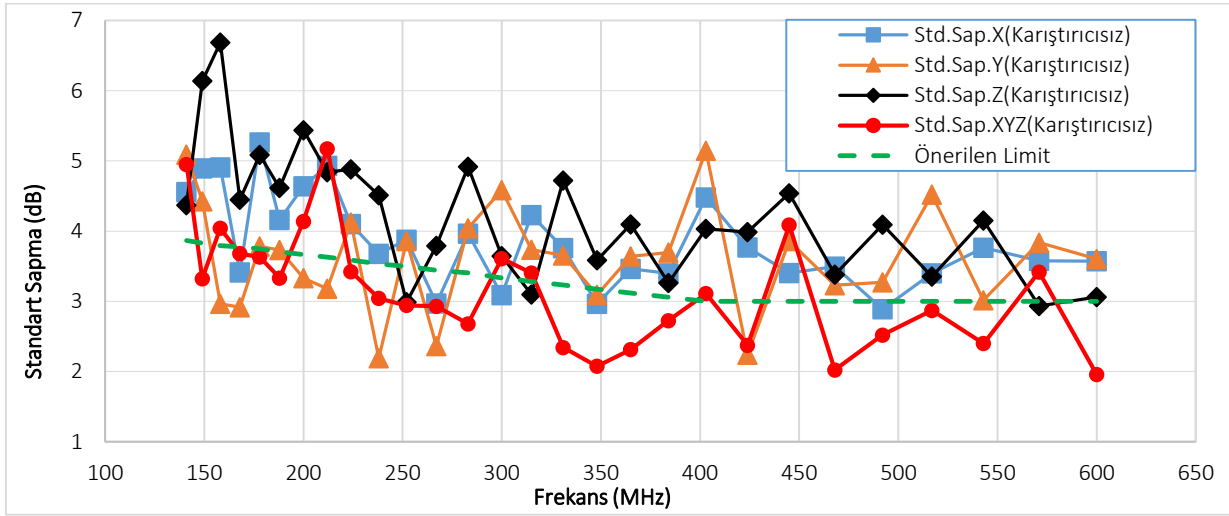
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n (E_{m,n} - E_{m \times n})^2}{(m \times n) - 1}} \quad (1)$$

$$\sigma = 20 \log \left( \frac{\sigma + E_{m \times n}}{E_{m \times n}} \right) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

Eşitlik 1'de kullanılan  $E_{m \times n}$  ifadesi maksimum elektrik alanların ortalamasını ve  $E_{m,n}$  sırasıyla sondaların ölçtüğü değerleri temsil etmektedir. Bu çalışma  $m \times n = 15$ 'dir. Çalışma alanımızdaki sonda yerleşimi için Eşitlik 1, Eşitlik 3'deki şekilde olacaktır.

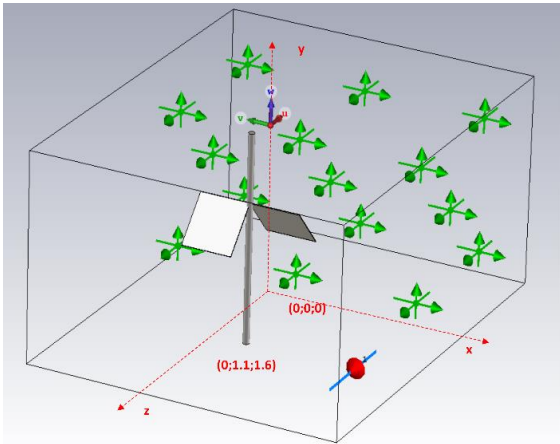
$$\sigma = \sqrt{\frac{(E_{1.prop} - E_{ortalama})^2 + (E_{2.prop} - E_{ortalama})^2 + \dots}{15-1}} \quad (3)$$

Bir odanın düzgün bir elektrik alan dağılımına sahip



Şekil 4. Karıştırıcısız bir odada elektrik alanların standart sapması (Karıştırıcısız)

Daha sonra karıştırıcının oda içerisindeki elektrik alan düzgünlüğüne etkisini incelemek için verici anten ve alıcı sondalarının yerleri sabit tutularak oda içerisine karıştırıcı yerleştirilmiştir. Odanın x, y ve z düzlemlerinin tam orta noktası (0,0,0) koordinatı olmak üzere karıştırıcı (0, 1.1, 1.6) (1.Konum) noktasına Şekil 5'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



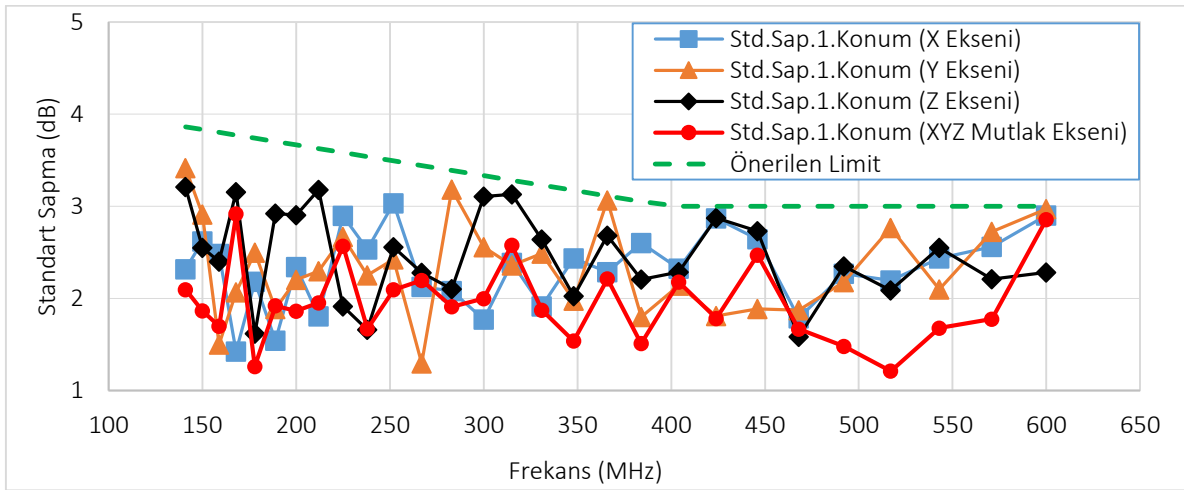
Şekil 5. Karıştırıcı yerleştirilmiş (0, 1.1, 1.6) yansımali oda benzetim modeli

olduğunun söylenebilmesi için maksimum elektrik alan seviyelerinin standart sapmasının 400MHz üzerinde 3dB'nin altında, 100MHz'den 400MHz'e kadar 4dB'den 3dB'ye kadar lineer olarak azalması ve 100MHz'in altında ise 4dB'nin altında olması gerekmektedir.

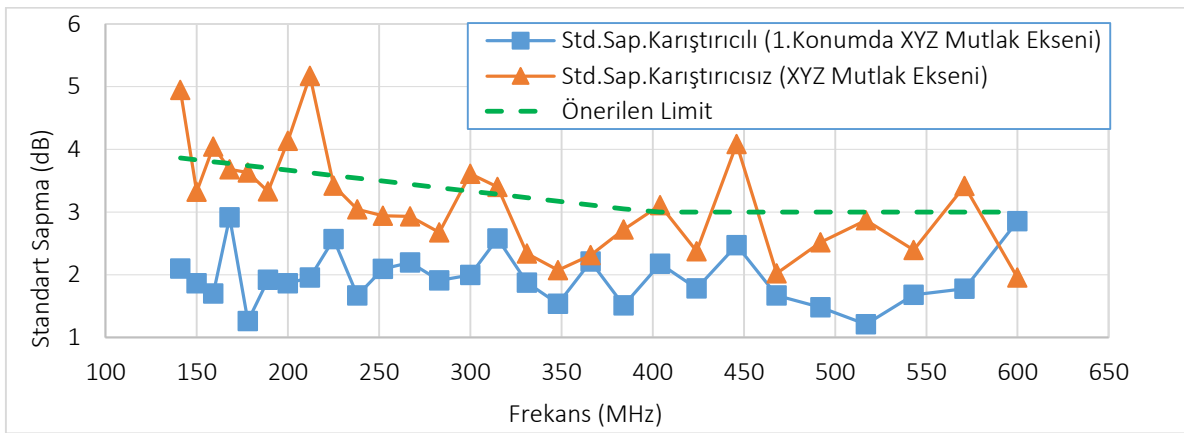
Sonuç olarak, yansımali odada karıştırıcının etkisi görmek için boş bir yansımali oda (karıştırıcı olmadan) için Şekil 4 elde edilmiştir. Fakat Şekil 4'de görüleceği üzere elektrik alanın tüm bileşenleri standart ile belirlenmiş limitleri sağlaması gerekirken elektrik alanın hiçbir bileşeni için verilen kriterler tam olarak tüm frekans aralıklarında sağlanmadığından oda içerisinde karıştırıcı olmadan düzgün bir elektrik alan elde edilememiştir.

Karıştırıcı için ikiz levhalardan oluşan bir yapı seçilmiştir. Karıştırıcı boyutları levhanın uzunluk, genişlik ve kalınlık olmak üzere sırasıyla 80cm, 60cm ve 1 cm olarak belirlenmiştir. Karıştırıcı direk boyu ise oda yüksekliğinde (5m) ve çapı 10cm'dir. Levhaların direklerle arasındaki açı 45° olarak alınmıştır.

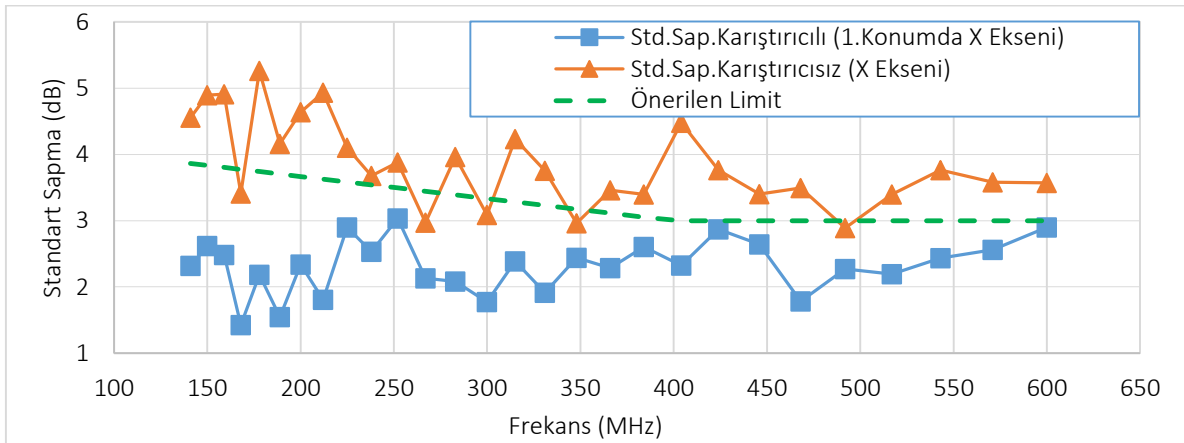
Şekil 5'de görüldüğü gibi alıcı sonda sayısı 15'dir ve karıştırıcısız modeldeki yerleriyle aynıdır. Burada benzetim programı kullanılarak karıştırıcının 10 farklı dönüş açısı (18°, 36°, 52°, 72°, 90°, 108°, 126°, 144°, 162°, 180°) için model 100 MHz ve 600 MHz frekans aralığında simüle edilmiş ve Şekil 6 elde edilmiştir. Şekil 6'da görüleceği üzere x eksenini için 159 MHz'de 1.501 dB değeriyle en düşük standart sapma değerini sağlanırken x ekseninde en yüksek standart sapma değeri 3.21 dB değeriyle 141 MHz'de elde edilmiştir. y eksenini için ise en düşük standart sapma değeri 267 MHz 'de 1.297 dB değeriyle elde edilirken en yüksek değer 3.41 dB değeriyle 141 MHz'de elde edilmiştir. z ekseninde ise 1.26 dB değeriyle 178 MHz'de en düşük ve 3.21 dB değeriyle 141 MHz'de en yüksek standart sapma değeri elde edilmiştir. xyz mutlak eksen için ise 1.21 dB ile 517 MHz'de en düşük, 2.91 dB değeriyle 169 MHz'de en yüksek standart sapma değeri elde edilmiştir.



Şekil 6. Karıştırcılı bir odada elektrik alanların standart sapması (Karıştırcı lokasyonu (0, 1.1, 1.6) 1.Konum)



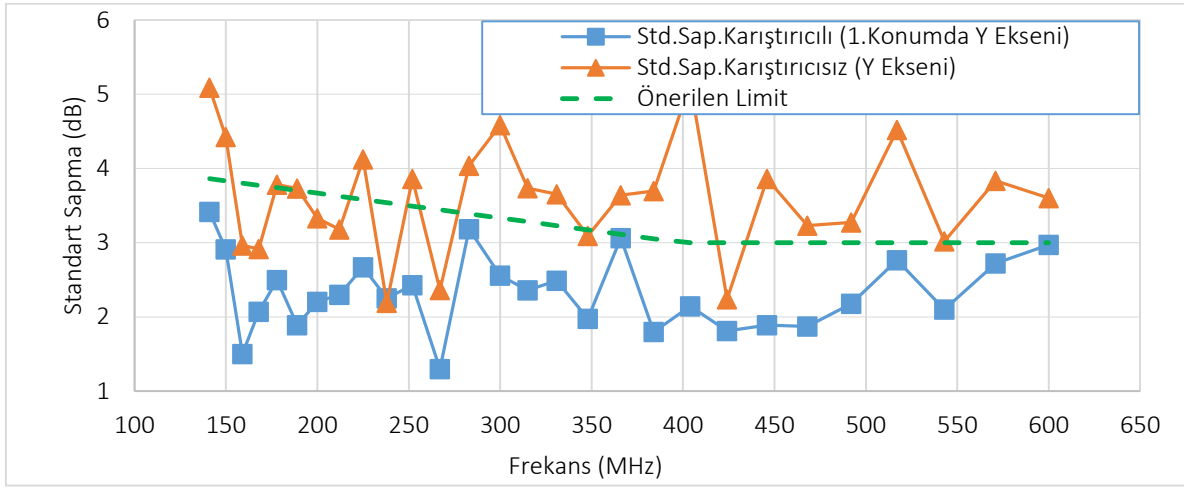
Şekil 7. XYZ ( Mutlak ) eksen için karıştırcısız ve (0, 1.1, 1.6) 1. Konum lokasyonuna yerleştirilen karıştırcı ile yapılan çalışmaların kıyas grafiği



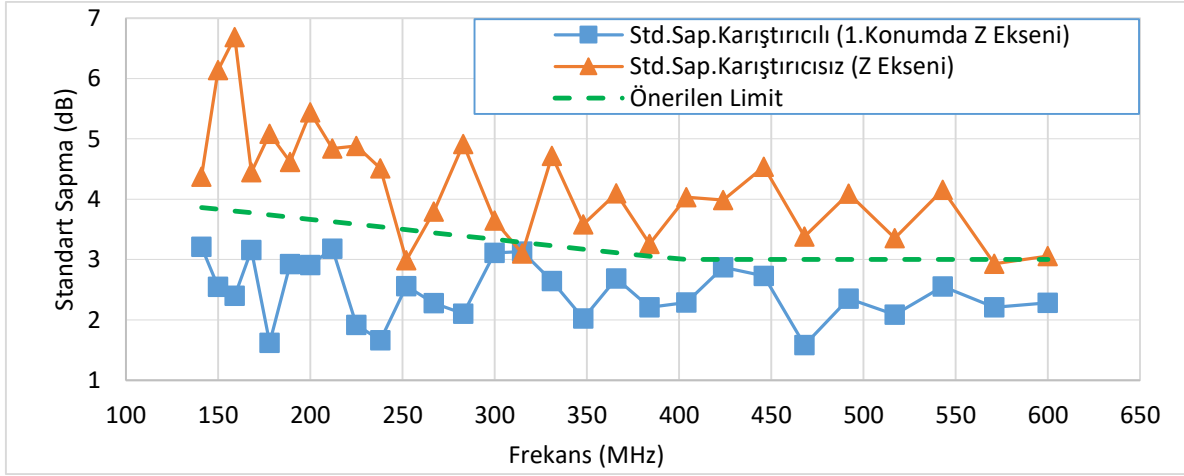
Şekil 8. X eksen için karıştırcısız ve (0, 1.1, 1.6) 1. Konum lokasyonuna yerleştirilen karıştırcı ile yapılan çalışmaların kıyas grafiği

Şekil 6'daki grafik bilgisine göre (0, 1.1, 1.6) konumuna yerleştirilen karıştırcı ile yapılan bir çalışmada x, y, z ve xyz(mutlak) eksenlerinden her birinde oda içerisinde elektrik alan düzgünlüğünün sağlanmıştır. Bu durumda bu şekilde tasarlanan bir oda standart sapma limitleri noktasında yansımali bir

oda olarak kullanılması uygundur denilebilir. Bunun yanında karıştırcısız olan çalışma ile (0, 1.1, 1.6) noktasına yerleştirilen bir karıştırcı ile yapılan çalışma sonuçları xyz(mutlak), x, y ve z eksenleri kıyaslanarak aşağıdaki şekil 7, 8, 9 ve 10 elde edilmiştir.



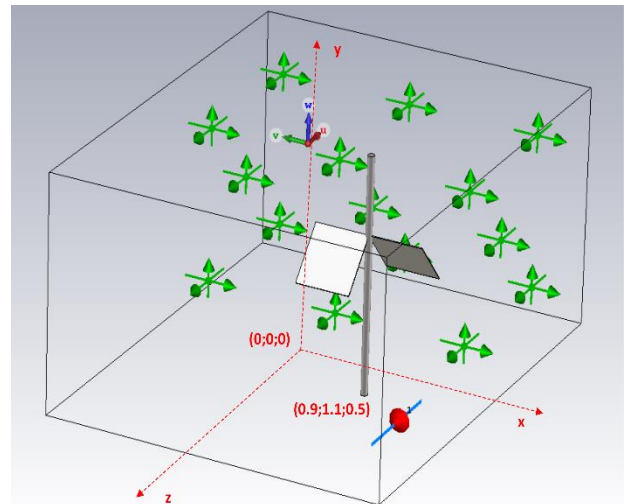
**Şekil 9.** Y eksenini için karıştırıcısız ve (0, 1.1, 1.6) 1. Konum lokasyonuna yerleştirilen karıştırıcı ile yapılan çalışmaların kıyas grafiği



**Şekil 10.** Y eksenini için karıştırıcısız ve (0, 1.1, 1.6) 1. Konum lokasyonuna yerleştirilen karıştırıcı ile yapılan çalışmaların kıyas grafiği

Sonuç olarak, grafik 7, 8, 9, 10'dan açıkça görüleceği üzere tüm grafiklerde oda içerisinde karıştırıcı yerleştirilmesiyle ölçülen maksimum elektrik alan seviyelerinden elde edilen standart sapma değerlerinde belirgin bir iyileşme gerçekleşti. Ayrıca tüm eksenler için elektrik alanların standart sapma değerleri, standartta önerilen limitlerin altında kaldı. Yani oda bir yansımali oda olarak kullanılabilir hale gelmiş oldu. Tüm bu çalışmalar açıkça gösteriyor ki karıştırıcının yansımali bir oda için elektrik alan düzgünlüğü üzerine ciddi bir etkisi vardır.

Daha sonra karıştırıcının konumunun elektrik alan düzgünlüğüne etkisini incelemek için karıştırıcı yukarıdaki 1. Konum dışında, Şekil 11'de görüldüğü üzere 2. (0.9, 1.1, 0.5) lokasyona yerleştirilmiştir.



**Şekil 11.** 2. Konuma (0.9, 1.1, 0.5) karıştırıcı yerleştirilmiş yansımali oda benzetim modeli

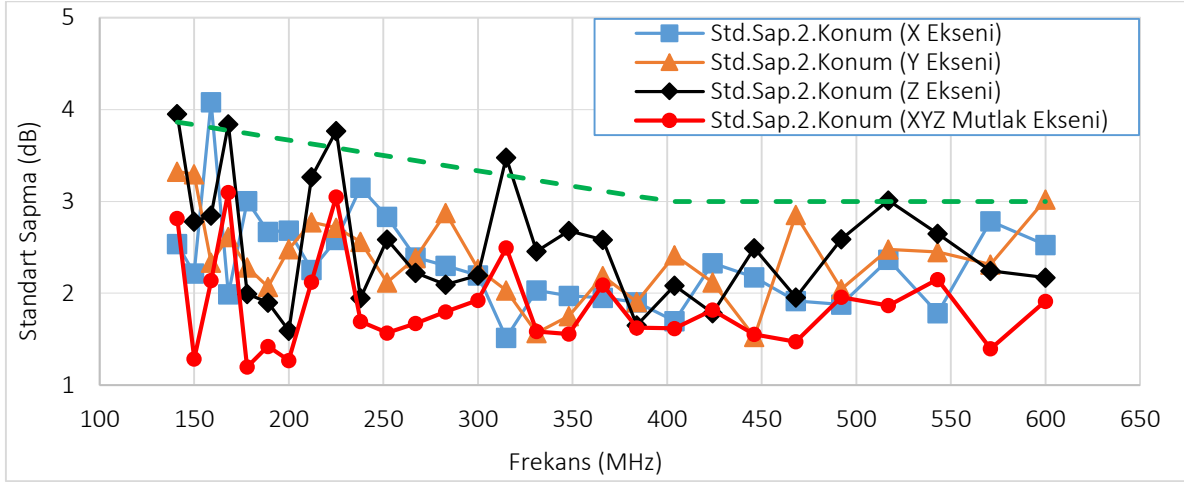
Karıştırıcı 2. konuma yerleştirildikten sonra karıştırıcının 10 dönüş açısı için benzetim programı

çalıştırılmış ve her bir sondanın ölçtüğü elektrik alan seviyeleri elde edilmiştir. Daha sonra bu elektrik alan seviyeleri içerisinde maksimum elektrik alanlar elde edilerek standart sapmaları hesaplanmıştır ve Şekil 12 elde edilmiştir. Grafiğe göre en düşük elektrik alan seviyesi xyz mutlak eksen için 1.19 dB değeriyle 178 MHz'de ve en yüksek değer 4.07 dB değeriyle de 159 MHz'de X eksen için elde edilmiştir. Ayrıca X ekseninde 1, Y ekseninde 1, Z ekseninde 5 frekans değerinde standart ile belirlenen limitler aşılmıştır ve sonuç olarak 2 konumuna yerleştirilen karıştırıcı odanın, maksimum elektrik alanların standart

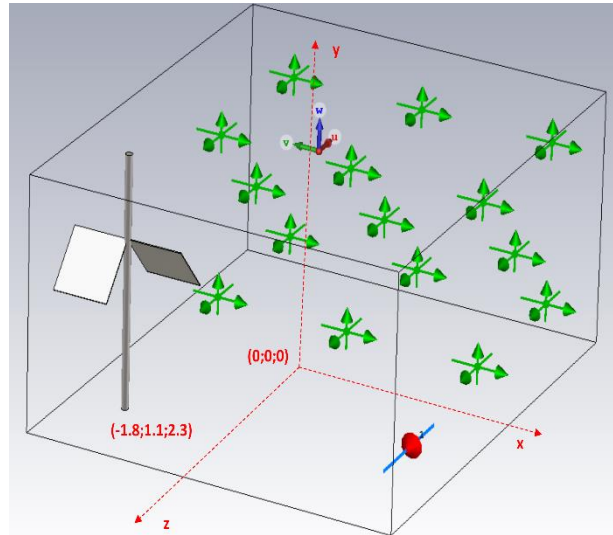
sapmasını noktasında bir yansımali oda olarak kullanılması uygun değildir.

Daha sonra son olarak karıştırıcı 3.konuma (-1.8, 1.1, 2.3) Şekil 13'de görüldüğü üzere yerleştirilmiştir ve simüle edilmiştir.

Simülasyon sonucunda oda içerisinde sondaların ölçtüğü maksimum elektrik alan seviyeleri elde edilmiş ve her bir frekans için standart sapma değerleri hesaplanarak Şekil 14 elde edilmiştir.



Şekil 12. 2.Konuma yerleştirilmiş karıştırıcı ile yapılan tasarım için standart sapma grafiği



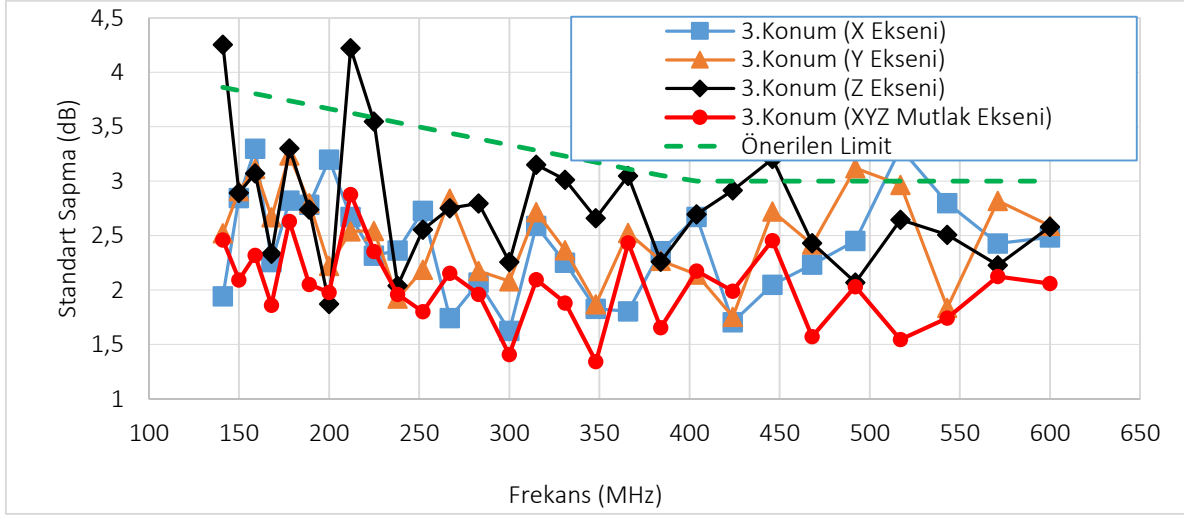
Şekil 13. 3. konuma (-1.8, 1.1, 2.3) karıştırıcı yerleştirilmiş yansımali oda benzetim modeli

Şekil 14' de görüleceği üzere en yüksek standart sapma değeri Z eksen için 141 MHz'de 4.25 dB olarak elde edilmiştir. En düşük yani en iyi standart sapma değeri ise XYZ mutlak eksen için 348 MHz'de 1.34 dB olarak belirlenmiştir. Ayrıca X ekseninde 1, Y ekseninde 1, Z ekseninde 3 ve toplamda 5 frekans değerinde standartın belirlediği limitler aşılmıştır. Ayrıca XYZ mutlak eksen için tüm frekans değerlerinde önerilen limitler içerisinde standart sapma değerleri elde edilmiştir. Bu durumda

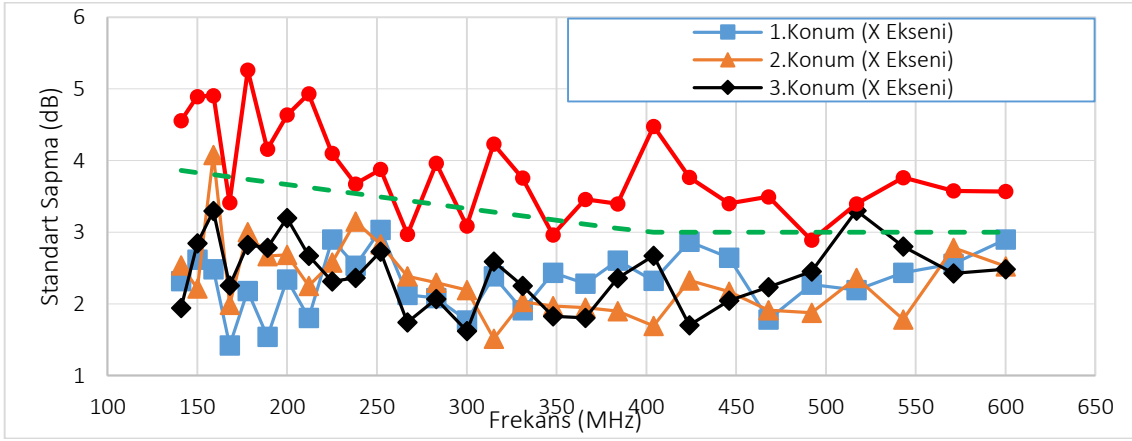
karıştırıcının 3.konuma yerleştirilmesiyle elde edilen odanın da yine bir önceki gibi tam olarak bir yansımali oda olarak kullanılması uygun değildir denilebilir.

Karıştırıcı konumunun elektrik alan düzgünlüğüne etkisini görmek için yukarıda belirtildiği üzere 3 farklı konuma karıştırıcı yerleştirilmiş ve sonuçları kıyaslayabilmek için elde edilen verilerden aşağıdaki Şekil 15, 16, 17 ve 18'de verilen kıyas grafikleri elde edilmiştir.

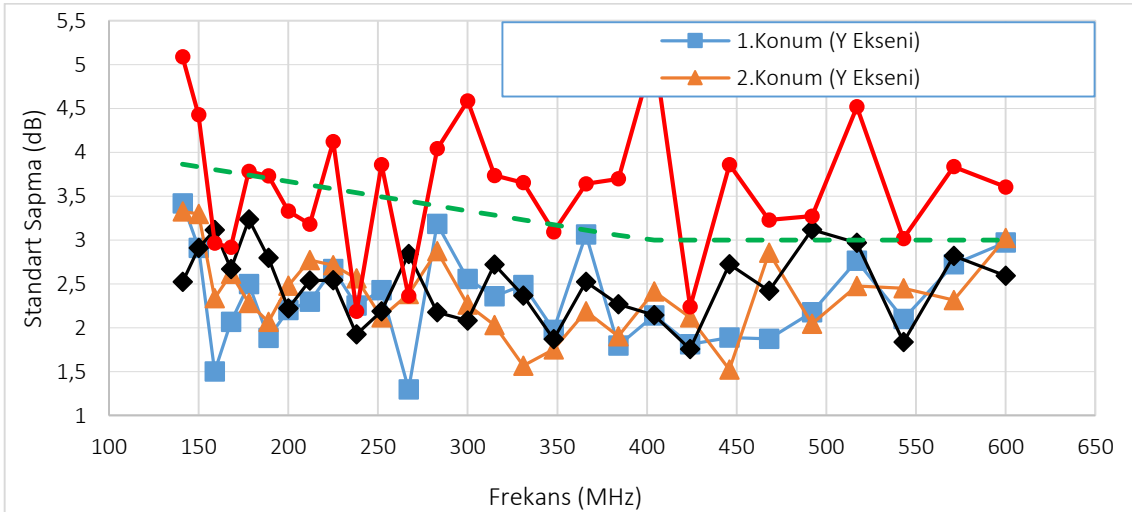




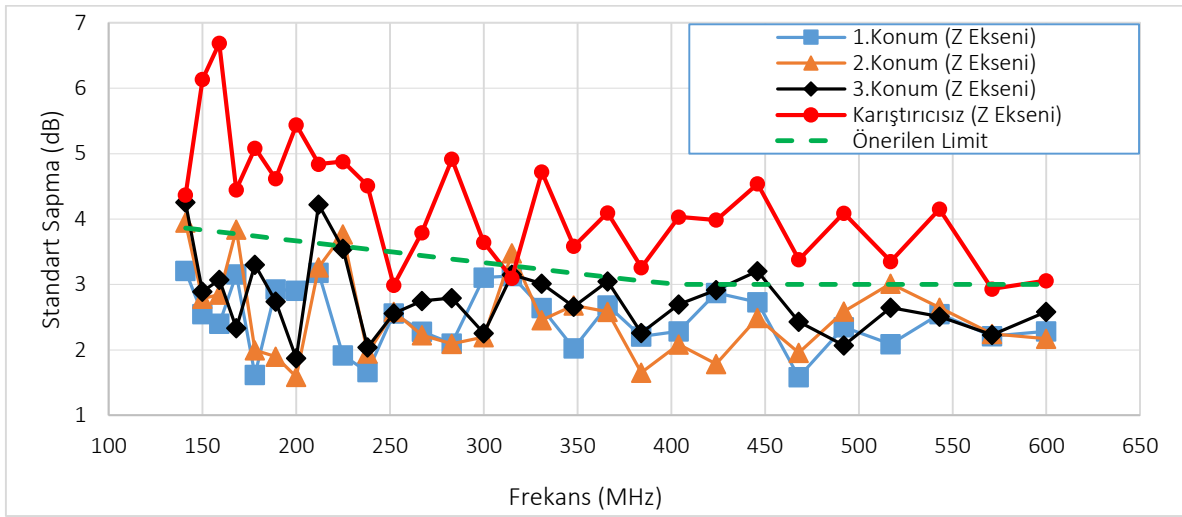
**Şekil 14.** 3.Konuma yerleştirilmiş karıştırıcı ile yapılan tasarım için standart sapma grafiği



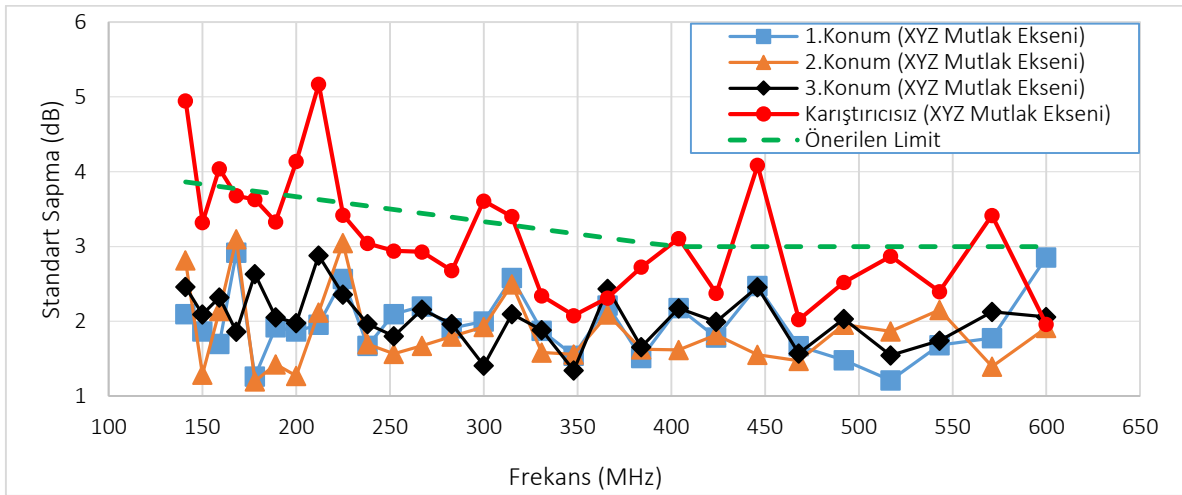
**Şekil 15.** 1., 2., 3.konuma karıştırıcı yerleştirilmesiyle ve karıştırıcısız olarak tasarlanan oda da maksimum elektrik alanların standart sapma değerlerinin kıyası (X eksen için)



**Şekil 16.** 1., 2., 3.konuma karıştırıcı yerleştirilmesiyle ve karıştırıcısız olarak tasarlanan oda da maksimum elektrik alanların standart sapma değerlerinin kıyası (Y eksen için)



**Şekil 17.** 1. ,2. , 3.konuma karıştırıcı yerleştirilmesiyle ve karıştırıcısız olarak tasarlanan oda da maksimum elektrik alanların standart sapma değerlerinin kıyası (Z eksen için)



**Şekil 18.** 1. ,2. , 3.konuma karıştırıcı yerleştirilmesiyle ve karıştırıcısız olarak tasarlanan oda da maksimum elektrik alanların standart sapma değerlerinin kıyası (XYZ eksen için)

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmadan elde edilen tüm grafik sonuçlarından anlaşılacağı üzere oda içerisine karıştırıcı yerleştirilmesiyle elektrik alan düzgünlüğü artmıştır. Hatta karıştırıcı oda içerisine yerleştirilmeden bir yansmalı oda tasarlamak mümkün değildir denilebilir. Bunun yanında oda içerisinde karıştırıcının konumunun kritik bir önemi vardır. Şekil 15, 16, 17, 18'de görüleceği üzere karıştırıcının 1. Konuma yerleştirilmesiyle yapılan yansmalı oda da elektrik alan düzgünlüğü sağlanırken, karıştırıcının 2. ve 3. konuma yerleştirilmesiyle yapılan yansmalı odada standartın belirttiği şekilde elektrik alan düzgünlüğü sağlanamamıştır. Yani karıştırıcının yansmalı oda içerisindeki konumu maksimum elektrik alanların standart sapmasına az bir etkisi olmasıyla beraber, standartın belirttiği limitleri yakalamak noktasında önemli bir etkisi olduğu söylenebilir. Bununla beraber karıştırıcının 1. , 2. ve 3. konuma yerleştirilerek yapılan yansmalı odalar için

her biri ayrı birer frekans aralığında sifıra daha yakın standart sapma değerleri vermiştir. Bu da gösteriyor ki eğer dar bantta bir ölçüm yapılacaksa karıştırıcının konumu değiştirilerek 0'a daha yakın standart sapma değerlerinde çok daha doğru ölçümler yapılması mümkün olacaktır.

#### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar

Başığit İ.B., Doğan H., Helhel S., "Simulation of metallic enclosures with apertures on Electrical Shielding Effectiveness", ELECO 2017 10th International Conference on Electrical and

- Electronics Engineering, BURSA, TÜRKIYE, 30 Kasım - 2 Aralık 2017, vol.1, no.1, pp.1082-1084
- Basyigit, Ibrahim Bahadir; Genc, Abdullah; Helhel, Selcuk, Electrical Shielding Effectiveness of Metallic Enclosures; Effect of Source Orientation and Aperture Dimension, Conference: Progress in Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS) Location: St Petersburg, RUSSIA Date: MAY 22-25, 2017
- Besnier, P., Démoulin, B., 2011, Electromagnetic Reverberation Chambers. 10.1002/9781118602034.ch3.
- B. Zhang, W. Li, X. Li, Z. Yuan, J. He and R. Zeng, "Field Uniformity Investigation of Reverberation Chamber at Calibration Stage," 2009 20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Zurich, 2009, pp. 45-48. doi: 10.1109/EMCZUR.2009.4783386
- C. Bruns and R. Vahldieck, "A Closer Look at Reverberation Chambers - 3-D Simulation and Experimental Verification". IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol.47, no.3, pp.612-616, Oct. 2005.
- Hemming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide [Book Review]. Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE. 2003 6. 67- 67. 10.1109/MIM.2003.1184319.
- Hong, J., Huh, C., 2010, Optimization of stirrer with various parameters in reverberation chamber. Progress in Electromagnetics Research-pier - PROG ELECTROMAGN RES. 104. 15-30. 10.2528/PIER09121610.
- Huang, Y., et al. "Comparison of Two Stirrer Designs for a New Reverberation Chamber." The 2006 4th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics(2006): 450-453.
- IEC 61000-4-21:2003, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-21: Testing and measurement techniques - Reverberation Chamber Test Methods[S].J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- Lovat, Giampiero. (2007). Electromagnetic Shielding.
- Lundén, O., Wellander, N., Bäckström, M., 2010, Stirrer Blade Separation Experiment in Reverberation Chambers. 526 - 529. 10.1109/ISEMC.2010.5711331.
- Nisanci, M., E. Kucuksille, Y. Cengiz, A. Orlandi, and A. Duffy, "The prediction of the electric field level in the reverberation chamber depending on position of stirrer," Expert Systems with Applications, Vol. 38, No. 3, 1689-1696, 2011.
- Urul, B., Helhel, S., Basyigit, I., Göksu, T., 2017, CST Simulation of Reverberation Chamber for Improved Field Uniformity.
- Wellander, N., Lundén, O., Bäckström, M., 2007, Experimental Investigation and Mathematical Modeling of Design Parameters for Efficient Stirrers in Mode-Stirred Reverberation Chambers. Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on. 49. 94 - 103. 10.1109/TEM.2006.888166.
- Weston, David., Electromagnetic Compatibility: Principles and Applications / D.A. Weston.. Materials & Design.1992., 13. 10.1016/0261-3069(92)90250-L.
- Yardımcı, F.E., Akcam, N., vd., "Shielding Effect Analysis of Various Configurations of the Square Patch Elements", GU J Sci, 30(2): 123-132, (2017).