



## Experimental investigation of electromagnetic interference behavior of PCB heatsinks according to feeding point in 1-10 GHz band

Alpaslan Bozkurt Karaman<sup>1</sup>, İbrahim Bahadır Başyığıt<sup>2</sup>, Habib Doğan<sup>3</sup>, Abdullah Genç<sup>4\*</sup>, Atalay Kocakuşak<sup>1</sup>, Bektaş Çolak<sup>5</sup>, Selçuk Helhel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Akdeniz University, 07058 Antalya, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Computer Technologies, Distance Education Vocational School, Isparta University of Applied Sciences, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Department of Computer Technologies and Information Systems, Gölhisar School of Applied Sciences, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, 15400, Burdur, Türkiye

<sup>4</sup>Department of Mechatronic Engineering, Faculty of Technology, Isparta University of Applied Sciences, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>5</sup>Department of Physics, Faculty of Sciences, Gebze Technical University, 41400, Kocaeli, Türkiye

### Highlights:

- EM behavior of heatsinks according to feeding points
- Design and manufacture of rectangular and circular heatsinks
- Determination of radiated emission from the heatsink

### Keywords:

- PCB heatsinks
- Electromagnetic interference
- Feeding point
- Radiated emission
- Normalized radiation pattern

### Article Info:

Research Article

Received: 25.11.2019

Accepted: 26.03.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.650877

### Acknowledgement:

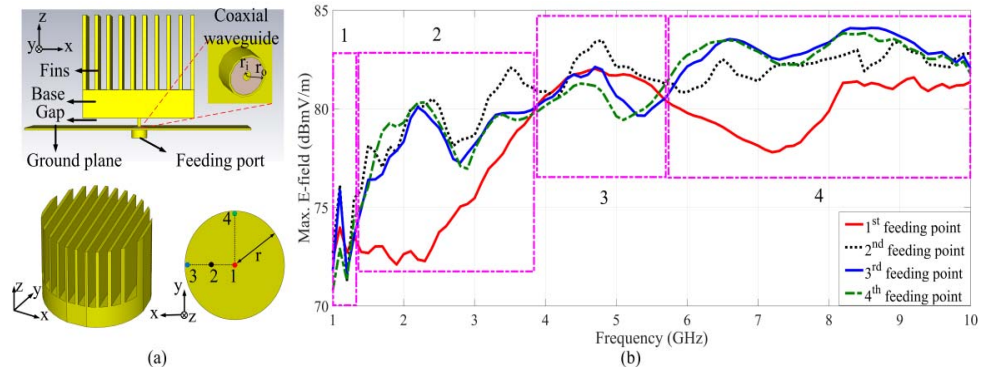
This study was supported by Akdeniz University Scientific Research Projects Coordination Unit (BAP) [Project Number: FBA-2018-3769].

### Correspondence:

Author: Abdullah Genç  
e-mail: [abdullahgenc@isparta.edu.tr](mailto:abdullahgenc@isparta.edu.tr)  
phone: +90 246 21 11487

### Graphical/Tabular Abstract

The miniaturization of the circuit as a result of the increase in the operating frequencies of the PCB circuit elements increases the amount of heat in the environment. Metal heatsinks are widely utilized for the transfer of an increased amount of heat. However, the heatsinks cause radiated electromagnetic (EM) emissions at certain frequencies. These emissions negatively affect the operating performance of the circuit elements around the heatsinks. The maximum E-fields radiated from circular heatsink for four different feeding points are given in Figure A.



**Figure A.** a) The design of rectangular and circular heatsinks, b) the maximum E-field radiated from the rectangular heatsink for four different feeding points

**Purpose:** This study aims to investigate the effect of different feeding points on EM behavior of rectangular and circular heatsinks with an equal base area in the 1-10 GHz band.

**Theory and Methods:** The rectangular and circular heatsinks are designed as shown in Figure A. These heatsinks are cut into blocks made up of 6061 aluminum material and manufactured via a CNC milling machine. Ground plane and coaxial waveguides are used in the simulation and measurements. All Simulations are performed by using CST Studio Microwave Suite® program and measurements are performed in an anechoic chamber using a network analyzer.

**Results:** The first resonance frequency for the 1st and 2nd feeding points in the rectangular heatsink is 3 GHz and the reflection coefficient values at this frequency are -10.1 dB and -12.3 dB, respectively. In the circular heatsink, the first resonance frequency for the 3rd and 4th feeding points is 2.2 GHz and reflection coefficient values at this frequency are -14.9 dB and -17.3 dB, respectively. In rectangular heatsinks, the emission for the 1st and 2nd feeding points in the 1-2 GHz and 6-10 GHz frequency bands should be preferred since it is ~5-6 dBmV/m less than others in Figure A.

**Conclusion:** When the operating frequency of the components around the heatsink is the same as the resonance frequency of the heatsink, the form of component placement that constitutes the respective feeding point should not be preferred. The resonance frequency can be shifted by changing the feeding point.



## PCB soğutucuların besleme noktasına göre elektromanyetik girişim davranışlarının 1-10 GHz bandında deneysel olarak incelenmesi

Alpaslan Bozkurt Karaman<sup>1</sup>, İbrahim Bahadır Başyigit<sup>2</sup>, Habib Doğan<sup>3</sup>, Abdullah Genç<sup>4\*</sup>, Atalay Kocakuşak<sup>1</sup>, Bektaş Çolak<sup>5</sup>, Selçuk Helhel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya, Türkiye

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gölhisar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri ve Bilişim Sistemleri Bölümü, 15400, Burdur, Türkiye

<sup>4</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>5</sup>Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Fizik Bölümü, 41400, Kocaeli, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Soğutucuların besleme noktasına göre EM davranışları
- Dikdörtgen ve dairesel soğutucuların tasarımı ve üretimi
- Soğutucudan yayılan emisyonun belirlenmesi

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 25.11.2019

Kabul: 26.03.2022

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.650877

#### Anahtar Kelimeler:

PCB soğutucular,  
elektromanyetik girişim,  
besleme noktası,  
yayılan emisyon,  
normalize ışına örüntüsü

#### ÖZ

PCB devre elemanlarının çalışma frekanslarındaki artışla beraber devrenin minyatürleşmesi, ortamdaki ısı miktarını daha fazla artırır. Artan ısı miktarının transferi için metal soğutucular yaygın olarak kullanılır. Ancak soğutucular, belli frekanslarda yayılan elektromanyetik (EM) emisyonuna neden olurlar. Bu emisyon, soğutucu çevresindeki devre elemanlarının çalışma performansını olumsuz etkiler. Bu çalışmada, eşit taban alanına sahip dikdörtgen ve dairesel soğutuculardaki farklı besleme noktalarının, EM davranışları üzerindeki etkisi 1-10 GHz bandında incelenmiştir. Yansımaya katsayısı, EM emisyon, normalize ışına örüntüsü, ve E-alan dağılımları elde edilmiştir. Benzetim ve ölçüm sonuçları birbirleriyle uyumludur. Dikdörtgen soğutucuda 1. ve 2. besleme noktaları için ilk rezonans frekansı 3 GHz olup bu frekandaki yansımaya katsayısı değerleri sırasıyla -10,1 dB ve -12,3 dB'dir. Dairesel soğutucuda 3. ve 4. besleme noktaları için ilk rezonans frekansı 2,2 GHz olup bu frekandaki yansımaya katsayısı değerleri sırasıyla -14,9 dB ve -17,3 dB'dir. Ayrıca, dairesel soğutucularda 1,3-3,9 GHz ve 5,8-10 GHz frekans bantlarında 1. besleme noktası için yayılan emisyon, diğer besleme noktalarına göre ~2-8 dBmV/m daha az olduğu için tercih edilmelidir. Dikdörtgen soğutucularda 1-2 GHz ve 6-10 GHz frekans bantlarında 1. ve 2. besleme noktası için yayılan emisyon ~5-6 dBmV/m daha az olduğu için tercih edilmelidir. Sonuç olarak, her iki soğutucu merkezden beslendiğinde daha az emisyon yaydığı için elemanların soğutucu merkezine yerleştirilmesi önerilir.

## Experimental investigation of electromagnetic interference behavior of PCB heatsinks according to feeding point in 1-10 GHz band

### H I G H L I G H T S

- EM behavior of heatsinks according to feeding points
- Design and manufacture of rectangular and circular heatsinks
- Determination of radiated emission from the heatsink

#### Article Info

Research Article

Received: 25.11.2019

Accepted: 26.03.2022

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.650877

#### Keywords:

PCB heatsinks, electromagnetic interference,  
feeding point,  
radiated emission,  
normalized radiation pattern

#### ABSTRACT

The miniaturization of the circuit as a result of the increase in the operating frequencies of the PCB circuit elements increases the amount of heat in the environment. Metal heatsinks are widely utilized for the transfer of an increased amount of heat. However, the heatsinks cause radiated electromagnetic (EM) emissions at certain frequencies. These emissions negatively affect the operating performance of the circuit elements around the heatsinks. In this study, the effect of different feeding points on EM behavior of rectangular and circular heatsinks with an equal base area are investigated in the 1-10 GHz band. Reflection coefficient, EM emission, normalized radiation pattern, and E-field distributions are obtained. Simulation and measurement results are compatible with each other. The first resonance frequency for the 1st and 2nd feeding points in the rectangular heatsink is 3 GHz and the reflection coefficient values at this frequency are -10.1 dB and -12.3 dB, respectively. In the circular heatsink, the first resonance frequency for the 3rd and 4th feeding points is 2.2 GHz and reflection coefficient values at this frequency are -14.9 dB and -17.3 dB, respectively. In addition, the radiated emissions for the 1st feeding point in the 1.3-3.9 GHz and 5.8-10 GHz frequency bands in circular heatsinks should be preferred since they are ~2-8 dBmV/m less than other feeding points. In rectangular heatsinks, the emission for the 1st and 2nd feeding points in the 1-2 GHz and 6-10 GHz frequency bands should be preferred since it is ~5-6 dBmV/m less than others. As a result, it is recommended that the components be placed in the heatsink center as both heatsinks emit fewer emissions when fed from the center.

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : alp.karaman77@gmail.com, bahadirbasyigit@isparta.edu.tr, hdogan@mehmetakif.edu.tr, \*abdullahgenc@isparta.edu.tr, atalaykocakusak@akdeniz.edu.tr, bcolak@gtu.edu.tr, selcukhelhel@akdeniz.edu.tr / Tel: +90 246 211 1487

## 1. Giriş (Introduction)

Son zamanlarda elektronik devre teknolojisinin gelişmesiyle devre elemanlarının çalışma hızları artmış ve ebatları küçülmüştür. Aynı hacim içerisinde kullanılan eleman sayısının artması (minyatürleşme), ortamda oluşan sıcaklığın daha çok artmasına (artan güç tüketiminden dolayı) neden olur [1, 2]. Elektronik devre teknolojisinin yarı iletken temelli olmasından dolayı, optimal performans elde etmek için çalışma sıcaklığı belli aralıklarda tutulmalıdır. Bu nedenle, devrede oluşan ısıyı başka ortama aktarmak için metalik soğutucular kullanılır [3-6]. Metalik soğutucular ısı iletim katsayısı yüksek olan metal malzemelerden (alüminyum, bakır ve pirinç vb.) oluşur ve yüzey alanlarına bağlı olarak devredeki ısının hızlıca ortamdaki dışarı aktarılmasını sağlarlar. Pasif olarak adlandırılan soğutuculardaki ısı transferi, doğal konveksiyon yoluyla sağlanmakta iken, aktif yapıları soğutucularda ise fan gibi harici elemanlarla soğutma kapasitesi artırılır [7]. Doğal konveksiyon prensibine göre çalışan pasif soğutucularda yüzey alanını artırmak temel çözüm iken, aktif soğutucularda ise sıcaklığın temas ettiği akışkan miktarının artırılması etkili çözümdür. Bu amaçla, farklı geometrilere ve çeşitli kanatçık yapılarına sahip soğutucu tasarımları gerçekleştirilmiştir [8-10].

Soğutucuların öncelikli olarak termal bakımdan incelenmesinin yanı sıra, elektromanyetik (EM) emisyon bakımından da incelenmesi gereklidir. Elektriksel uzunlukları çalışma frekansındaki dalga boyuyla karşılaştırılabilir olduğunda, soğutucular ışına yaparak anten davranışı sergilerler [11]. Bu durum, soğutucu civarında konumlanan devre elemanlarının soğutucudan kaynaklanan elektromanyetik girişime (EMG) maruz kalmasına neden olur ve devre elemanlarının çalışma performansını olumsuz etkiler. Ayrıca, devre elemanlarından kaynaklanan EMG nedeniyle toprak düzlemlerle soğutucu arasında kapasitif veya indüktif bağlaşımlar yoluyla kaçak akımlar oluşur. Dolayısıyla, bu kaçak akımların süperpozisyonu, bir besleme kaynağı olarak davranır. Soğutucular için, doğrudan bir besleme noktası bulunmamaktadır. Besleme noktasının yerini, soğutucu etrafına veya tabanına yerleştirilen komponentlerin konumlarını değiştirerek belirlemek mümkündür. Üzerinde soğutucu bulunan bir baskılı devre kartında (printed circuit board, PCB), soğutucudan kaynaklı kaçak akımlar Şekil 1'de temsili olarak gösterilmiştir. Elektronik devre elemanları ve komponentler bazı durumlarda EMG'ye neden olurlar. Buna göre, bu elemanların gerek PCB/IC üzerindeki konumları gerekse yerleştirme biçimleri ve yönleri yayılan ışına seviyesini etkiler. Özellikle soğutucu altındaki ve yakın etrafındaki komponentler Şekil 1a'da gösterildiği gibi soğutucu tabanı ile PCB zemini arasında kaçak akımların oluşmasına ve dolayısıyla soğutucunun ışına yapmasına neden olurlar. Bu kaçak akımların toplam etkisi (süperpozisyon) soğutucu tabanında bir bölgede yoğunlaşır. Dolayısıyla, bu çalışmada ifade edilen besleme noktaları,

aslında kaçak akımların toplam etkisinin soğutucu tabanındaki konumunu temsil ederler. Ayrıca Şekil 1b'de soğutucudan diğer elemanlara doğru yayılan emisyon sarı çizgilerle gösterilmiştir.

Tam dalga EM benzetim programları sayesinde soğutucuların EM davranışlarının belirlenmesi kolaylaşmıştır. Soğutucular geometrik yapılarına bağlı olarak hem yama hem de monopol anten davranışı sergilerler [12, 13]. Soğutucudan kaynaklı EMG'yi azaltmak ve yayılan EM emisyonu engellemek amacıyla topraklama, ekranlama ve filtreleme gibi çeşitli yöntemler kullanılır [14-16]. Topraklama yönteminde soğutucu ve toprak düzlem arasında çeşitli yükler, ekranlama yönteminde ise soğutucular ve güç elemanları arasında bakır ekran yerleştirilebilir. Filtreleme yönteminde ise, haberleşme kablolarında kullanılan manyetik filtrelerin benzerleri kullanılır. Bu yöntemlerden farklı olarak, soğutucu geometrisi, kanatçık yapısı, belirli frekansta çalışan soğutucunun boyutları ve besleme noktası değiştirilerek de EMG azaltılabilir. Ayrıca, literatürde PCB devrelerdeki beslemeden kaynaklanan iletilen EM emisyonunun belirlenmesi üzerine çalışmaların yanı sıra PCB üzerindeki entegre devrelerdeki iletilen EM emisyon modellemesi ve incelenmesi üzerine çalışmalar da bulunmaktadır [17, 18].

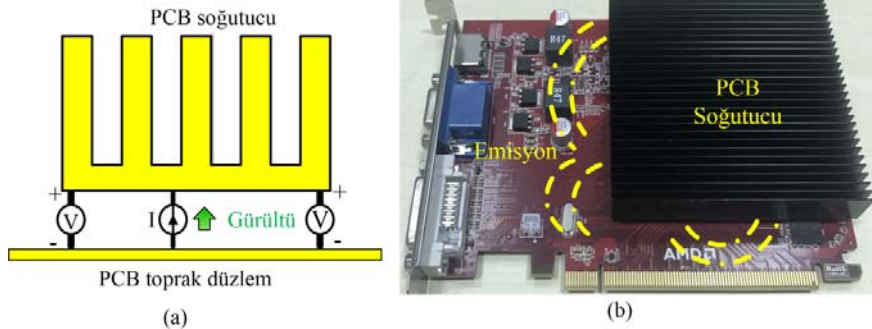
Soğutucuların devre tasarım sürecinde, hem termal performans açısından hem de EMG açısından incelenerek tasarımların yapılması önemlidir. Bu aşamada bazen gözden kaçırılan veya önemsenmeyen küçük hatalar ürünün piyasaya çıkmasını geciktirebildiği gibi, hem zaman hem de ekonomik maliyet olarak istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Sonuç olarak, soğutucu tasarımında sadece termal değil EMG problemleri de dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, eşit taban alanına sahip dikdörtgen ve dairesel soğutuculardaki farklı besleme noktalarının, EM davranışları üzerindeki etkisi 1-10 GHz bandında incelenmiştir. Burada yansıma katsayısı, EM emisyon (E-alan), normalize ışına örüntüsü, termal ve E-alan dağılımları gibi performans parametreleri hem benzetim hem de ölçüm yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar dört farklı besleme noktasına göre birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu makalenin 2. bölümünde soğutucuların tasarım, üretim ve benzetim/ölçüm düzenekleri verilmiştir. Dikdörtgen ve dairesel soğutuculardan elde edilen sonuçlar 3. bölümde verilmiştir. Son olarak 4. bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. Soğutucuların Tasarım ve Üretimi (Design and Manufacture of Heatsinks)

### 2.1. Tasarım ve Benzetim (The Design and Simulation)

Giriş bölümünde belirtildiği gibi soğutucular, belirli bir elektriksel uzunluğa ulaştıklarında hem yama hem de monopol anten gibi



Şekil 1. (a) Toprak düzlemlerle soğutucu arasında oluşan kaçak akımlar, (b) üzerinde soğutucu bulunan bir PCB  
(a) Leakage currents between ground plane and heatsink, (b) heatsink on PCB



davranırlar. Soğutucu tabanının elektriksel ebatları yama antenin rezonans frekansını belirlerken, soğutucu yüksekliği ise monopul antenin rezonans frekansını belirler. Paralel düzlemlerli kanatçık yapısına sahip soğutucular üretimi kolaylaştırdığı ve toplam yüzey alanını arttırdığından dolayı yaygın olarak kullanılırlar. Bu çalışmada önerilen soğutucu ebatları, standart bir masaüstü bilgisayar için kullanılan soğutucular temel alınarak belirlenmiştir. Soğutucuların genel yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Soğutucunun uzunluğu, genişliği ve yüksekliği sırasıyla  $l$ ,  $w$  ve  $h$ 'dir. Taban yüksekliği  $b$ , kanatçık kalınlığı  $t$ , kanatçıklar arası mesafe  $s$  ve kanatçık sayısı  $n$ 'dir. Eşit taban alanına sahip dairesel ve dikdörtgen soğutucular Şekil 2b ve Şekil 2c'deki gibi tasarlanmıştır. Tablo 1'de verildiği gibi soğutucuların  $h$ ,  $b$ ,  $t$  ve  $s$  parametreleri sabit iken,  $w$ ,  $l$  ve  $n$  parametreleri soğutucu tipine göre değişir. Dairesel ve dikdörtgen soğutucu için kanatçık sayısı sırasıyla 11 ve 14'dür. Kanatçık sayısının artırılması, toplam soğutucu yüzeyindeki artış nedeniyle termal performansı artırırken, EM performansında çok düşük bir değişikliğe neden olur. CST Studio Microwave Suite® kullanılarak yapılan benzetim düzeneği Şekil 2a'da verilmiştir. Burada soğutucu yama anten gibi toprak düzlem ve koaksiyel dalga kılavuzu ile beslenmiştir. Benzetimlerde besleme portu, 1 watt'lık dalga kılavuzu porttan (waveguide port) oluşmaktadır. Soğutucu ve toprak düzleminde malzeme olarak 6061 alüminyum tercih edilmiştir. Toprak düzlemin alanı, soğutucuların taban alanının iki katıdır ve ground kalınlığı 1 mm olarak seçilmiştir. Soğutucu ve toprak arasında 5 mm'lik boşluk bırakılmıştır. Toprak düzlemle soğutucu arasındaki boşluğun FR4 yerine hava seçilmesinin sebebi, ısımanın daha yüksek seviyede olmasının istenmesidir. Çünkü FR4'ün dielektrik kayıpları havaya nazaran daha fazladır. Ancak hava veya başka dielektrik malzeme kullanmanın besleme noktasının genel karakteristiği üzerinde doğrudan etkisi ihmal edilebilir. Koaksiyel dalga kılavuzunda, dielektrik malzeme olarak 2,98 dielektrik katsayısına sahip ( $\tan\delta = 0,0023$ ) kayıplı Arlon CLTE malzemesi kullanılmıştır. Koaksiyel dalga kılavuzunun iç ( $r_i$ ) ve dış ( $r_o$ ) yarıçapları sırasıyla 2 mm ve 8,44 mm'dir. Empedans uyumsuzluğunu gidermek için dalga kılavuzunun karakteristik empedansı  $50 \Omega$  olarak ayarlanmıştır. Dikdörtgen ve dairesel soğutucu için belirlenen dört farklı besleme noktası sırasıyla Şekil 2d ve Şekil 2e'de verilmiştir. Şekil 2e'de 3. besleme noktasına ek olarak 4. besleme noktası kanatçık yönünün performans üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılmıştır.

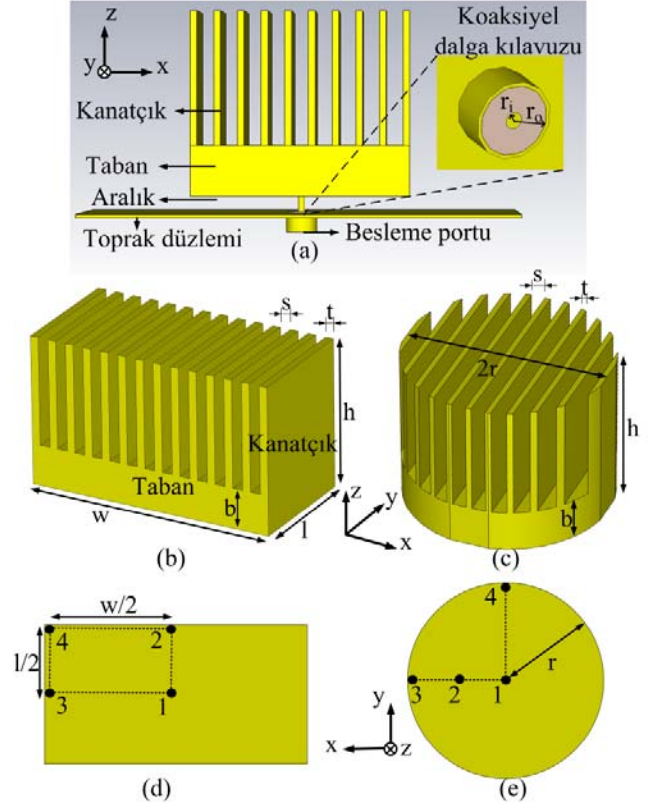
## 2.2. Üretim Süreci ve Ölçüm Düzeneği

(The Process of Manufacture and Measurement Set-up)

Soğutucuların üretim aşamasında, ilk olarak 6061 alüminyum malzemesi Kesmak KMY 280 model kesme makinesi kullanılarak Şekil 3a'da görüldüğü gibi blok olarak kesilmiştir. Elde edilen alüminyum blok, Şekil 3b'de görüldüğü gibi CNC (Computer Numerical Control) freze makinesinde işlenerek dikdörtgen ve dairesel soğutucular üretilmiştir. CNC ile üretim aşamasında soğutucuların yüzey pürüzlülüğünü ve işlem sırasındaki oluşan ısı artışını azaltmak amacıyla Şekil 3c'de görüldüğü gibi bor yağ kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için her bir adımda katman (layer) derinliği 0,15 mm gibi küçük değerlerde tutulmuştur. Devir sayısı 6000 d/d gibi yüksek bir değerde seçilmiştir.

Ölçümler Akdeniz Üniversitesine ait Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (EMUMAM) yapılmıştır. Verici anten olarak soğutucuların kullanıldığı ölçümlerde, alıcı anten olarak DC-18 GHz arasında çalışan ETS-Lindgren's 3115 model double-ridged huni anteni kullanılmıştır. Şekil 4a'daki toprak düzlemine yerleştirilen dairesel soğutucu ile toprak düzlemi arasında 5 mm aralık mesafesi bırakılmıştır. Soğutucu 100 kHz ile 43,5 GHz aralığında çalışan Rohde & Schwarz SMF 100A modeli sinyal jeneratörüne bağlıdır. Şekil 4b'de soğutucuya bağlı SMA flanş pimin bir ucu Radyo Frekans

(RF) koaksiyel kabloya bağlı iken diğer ucu toprak düzlemine bağlıdır. Uzak alan ölçümler  $4m \times 4m \times 8m$  boyutlarındaki Şekil 4c'de görülen tam yansız odada gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında soğutucu ve anten arasındaki mesafe 1 m olarak ayarlanmıştır. Şekil 4d'de ise yansıma katsayısı ölçümlerinin yapıldığı CEYEAR 3672GS (10 MHz-43 GHz) network analizörü verilmiştir.



**Şekil 2.** (a) Soğutucunun besleme düzeneği (b) dikdörtgen soğutucu (c) dairesel soğutucu, (d) dikdörtgen ve (e) dairesel soğutucunun besleme noktaları  
(a) Feeding set-up of the heatsink (b) rectangular heatsink (c) circular heatsink, feeding points of (d) rectangular and (e) circular heatsink)

**Tablo 1.** Soğutucuların tasarım parametreleri  
(Design parameters of the heatsinks)

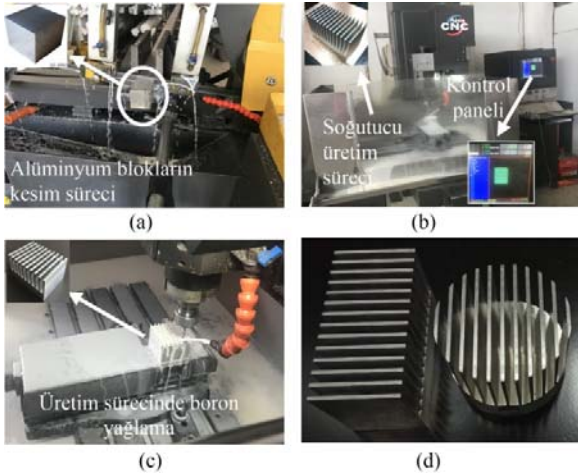
Parametreler (mm)	Dikdörtgen	Dairesel
Genişlik ( $w$ )	45,96	73,34
Uzunluk ( $l$ )	91,92	73,34
Yükseklik ( $h$ )	55	55
Taban yüksekliği ( $b$ )	15	15
Kanatçık kalınlığı ( $t$ )	2	2
Kanatçıklar arası mesafe ( $s$ )	5	5
Kanatçık sayısı ( $n$ )	14	11

## 3. Benzetim ve Ölçüm Sonuçları (The Simulation and Measurement Results)

### 3.1. Dikdörtgen Soğutucu için Sonuçlar (The Results for the Rectangular Heatsink)

Dikdörtgen soğutucu için besleme noktasının yansıma katsayısı ( $|S_{11}|$ ) üzerindeki etkisi Şekil 5'de verilmiştir. Anten açısından en yaygın olarak kullanılan parametre voltaj yansıma katsayısı ( $S_{11}$ )'dir. Dönüş kaybı olarak da bilinen  $S_{11}$ , antenden ne kadar gücün yansıtıldığını

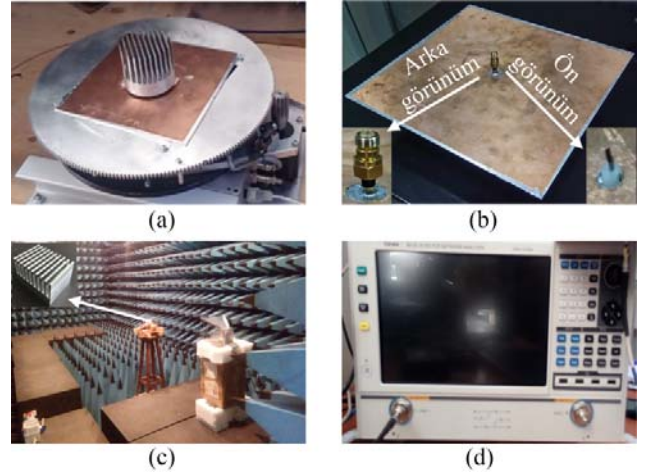
temsil eder. Bu karmaşık (kompleks) parametrenin genliğinin 0 dB olması, yayılan ışımanın olmadığını ve tüm gücün antenden geri yansıdığı anlamına gelir. Bir antendeki yayılan ışımanın maksimum olduğu frekans rezonans frekansdır [19-23]. Rezonans frekanslarında ışıma maksimum olduğu için  $S_{11}$ 'in genlik değeri minimumdur. Bu çalışmada soğutucudan yayılan emisyon seviyesinin hangi frekans değerinde maksimum olduğunu belirlemek için bu parametre de incelenmiştir. Şekil 2d'de verilen 1., 2., 3. ve 4. besleme noktasına göre elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 5a, Şekil 5b, Şekil 5c ve Şekil 5d'de gösterilmiştir. Elde edilen ölçüm ve benzetim sonuçları birbirleriyle uyumludur.  $+x$  eksenine göre aynı noktada ( $x=0$ ) bulunan 1. ve 2. besleme noktaları ile 3. ve 4. besleme noktaları ( $x=l/2$ ) için birinci rezonans frekansı aynı ve sırasıyla 3 GHz ve 1,6 GHz'dir. Besleme noktasına göre birinci rezonans frekansındaki yansıma katsayısı değerleri sırasıyla -10,1 dB, -12,3 dB, -14,1 dB ve -14,7 dB'dir. Besleme noktasının  $+y$  yönünde değişmesinin birinci rezonans frekansı üzerinde kayda değer bir etkisi yok iken,  $+x$  yönünde değişmesinin birinci rezonans frekansını azalttığı görülmektedir. Besleme noktasına göre ikinci rezonans frekansları sırasıyla 6,5 GHz, 4 GHz, 3 GHz ve 3,2 GHz iken, bu frekanslardaki yansıma katsayısı değerleri sırasıyla -6,7 dB, -10,3 dB, -9,6 dB ve -13,9 dB'dir. Besleme noktasına göre dikdörtgen PCB soğutucudan yayılan maksimum elektrik alanı (yayılan emisyon) 1-10 GHz frekans aralığındaki ölçüm sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre, 1. frekans bölgesi (1-2 GHz) ve 3. frekans bölgesinde (6-10 GHz) 1. ve 2. besleme noktaları için yayılan emisyon değerleri birbirlerine yakın iken, 3. ve 4. besleme noktaları için yayılan emisyon değerleri de birbirlerine yakındır. 1. ve 2. besleme noktaları için yayılan emisyon, diğer besleme noktaları için yayılan emisyonla göre daha düşük (~5-6 dBmV/m) olduğu tespit edilmiştir. 2. frekans bölgesi (2-6 GHz) için yayılan emisyon değerleri birbirlerine yakındır ve herhangi bir besleme noktası seçiminin kayda değer bir etkisi görülmemektedir. Soğutucu besleme noktasının, soğutucunun merkeze yakın olan konumlarından özellikle 1. ve 2. frekans bölgeleri için seçilmesi önemlidir. PCB soğutucu etrafındaki komponentlerin soğutucu etrafına simetrik yerleştirilmesi, oluşabilecek EMG'yi azalttığı gibi besleme noktasını da istenen noktada oluşturur.



**Şekil 3.** (a) Kesme işlemi, (b) soğutucunun üretim süreci, (c) soğutucunun bor yağ ile CNC'de işlenmesi, (d) üretilen soğutucular ((a) Cutting process, (b) manufacturing process of heatsinks, (c) CNC machining of the heatsink with boron oil, (d) the manufacture heatsinks)

Dikdörtgen soğutucunun dört farklı besleme noktasında 3 GHz'deki normalize ışıma örüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. Örüntülerin 3 GHz'de verilmesinin sebebi Şekil 5'de görüldüğü gibi rezonans frekansının bu değerde olmasıdır. Rezonans frekanslarında, yayılan emisyon değer yüksek olduğu için EMG'nin fazla olması beklenir.

Normalize ışıma örüntüleri 1., 2., 3. ve 4. besleme noktası için sırasıyla Şekil 7a, Şekil 7b, Şekil 7c ve Şekil 7d'de verilmiştir. 3 GHz için H-düzlemi ( $x-z$  düzlemi) ve E-düzlemindeki ( $y-z$  düzlemi) normalize ışıma örüntüleri farklı besleme noktalarına göre incelendiğinde Şekil 7a'ya göre 1. besleme noktasındaki örüntülerin simetrik olduğu ve her yöne eşit ışıma yaptığı tespit edilmiştir. Diğer şekillere göre 2., 3., ve 4. besleme noktalarında ise besleme noktası soğutucu köşesine kaydıca o yönde ışıma şiddetinin arttığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre, soğutucu etrafında herhangi bir yönde yapılan ışımanın azaltılmasının tercih edilmediği durumlarda mümkün olduğunca soğutucunun merkezi noktadan besleme yapılmasına dikkat edilmelidir. Bahsedilen besleme noktasının değiştirilmesi, aslında soğutucu etrafındaki komponentlerin yerleşim biçimleri ve konumlarının değiştirilmesiyle mümkündür.



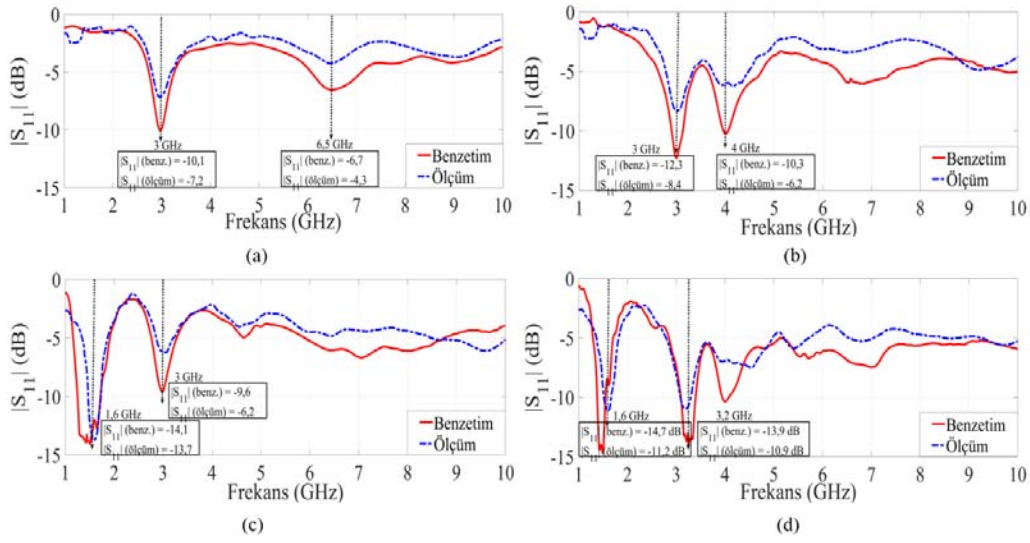
**Şekil 4.** (a) Toprak düzleme yerleştirilen dairesel soğutucu (b), SMA flanş pimi ile beraber toprak düzlemi, (c) ölçüm ortamı, (d) network analizörü

((a) The circular heatsink placed on the ground plane, (b) SMA flange pin with ground plane, (c) measurement environment, and (d) network analyzer)

Dört farklı besleme noktası için dikdörtgen soğutucu etrafındaki oluşan 3 GHz'deki E-alan dağılımı Şekil 8'de verilmiştir. Bu şekildedeki tüm grafikler için, E-alan dağılımının toprak düzlemi ve soğutucu arasındaki boşluğun olduğu bölgelerde ve kanatçıkların uç bölgelerinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Şekil 8a'ya göre besleme noktası merkezi noktada konumlandığı için E-alan dağılımı yaklaşık olarak simetrik. Bununla birlikte, E-alan dağılımının Şekil 8b'de yönünde, Şekil 8c'de  $+x$  yönünde, Şekil 8d'de ise  $+x$  ve  $+y$  yönleri arasında daha fazla olduğu görülmektedir.

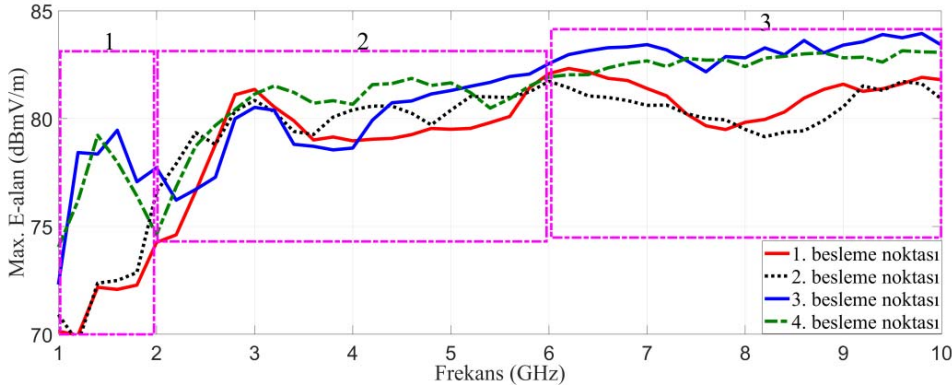
### 3.2. Dairesel Soğutucu için Sonuçlar (The Results for the Circular Heatsink)

Dairesel soğutucu için besleme noktasının yansıma katsayısı ( $|S_{11}|$ ) üzerindeki etkisi Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 2e'de verilen 1., 2., 3. ve 4. besleme noktasına göre elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 9a, Şekil 9b, Şekil 9c ve Şekil 9d'de gösterilmiştir. Elde edilen ölçüm ve benzetim sonuçları birbirleriyle uyumludur. Soğutucunun uç kenarlarında bulunan 3. besleme noktası ( $x=r$ ) ve 4. besleme noktası ( $y=r$ ) için birinci rezonans frekanslarının aynı (2,2 GHz) olduğu, ikinci rezonans frekanslarının ise çok yakın (3,5 GHz ve 3,6 GHz) olduğu tespit edilmiştir. Besleme noktasına göre birinci rezonans frekansındaki yansıma katsayısı değerleri sırasıyla -14,6 dB, -8,8 dB, -14,9 dB ve -17,3 dB'dir. Besleme noktasına göre ikinci rezonans frekansları sırasıyla 8,8 GHz, 6,6 GHz, 3,5 GHz ve 3,6 GHz iken, bu frekanslardaki yansıma katsayısı değerleri sırasıyla -6,8 dB, -5,4 dB, -9,4 dB ve -10,2 dB'dir. Sonuç olarak, merkezi konumda olan 1.



Şekil 5. (a) Dikdörtgen soğutucu için farklı besleme noktasına göre yansımaya katsayısı değerleri ( $|S_{11}|$ ): (a) 1., (b) 2., (c) 3., ve (d) 4. besleme noktası

(The reflection coefficient values ( $|S_{11}|$ ) of the rectangular heatsink according to feeding point: (a) 1., (b) 2., (c) 3., and (d) 4. feeding point)

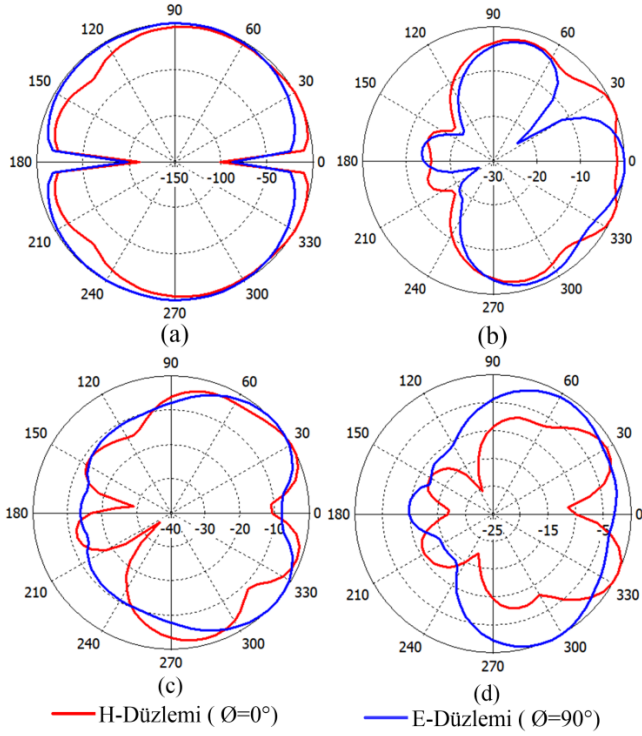


Şekil 6. Dört farklı besleme noktası için dikdörtgen soğutucudan yayılan maksimum E-alanının frekansa göre değişimi  
(The variation of the maximum E-field radiated from the rectangular heatsink for four different feeding points versus frequency)

besleme noktası için birinci rezonans frekansı diğer besleme noktalarındaki rezonans frekanslarından daha yüksektir. Merkezden kenarlara doğru gidildikçe ikinci rezonans frekans değerleri düşmektedir. Ayrıca, 3. ve 4. besleme noktalarındaki sonuçlar değerlendirildiğinde dairesel soğutucularda kanatçık yönünün rezonans frekansları üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Besleme noktasına göre dairesel PCB soğutucudan yayılan maksimum elektrik alanının (yayılan emisyon) 1-10 GHz frekans aralığındaki ölçüm sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre, 2. frekans bölgesi (1,3-3,9 GHz) ve 4. frekans bölgesinde (5,8-10 GHz) yayılan emisyonun, 1. besleme noktası için daha az (~2-8 dBmV/m) iken, diğer besleme noktaları için daha fazla olduğu belirlenmiştir. 1. frekans bölgesi (1-1,3 GHz) ve 3. frekans bölgesi (3,9-5,8 GHz) için yayılan emisyon değerleri birbirlerine yakındır ve herhangi bir besleme noktası seçiminin kayda değer bir etkisi görülmemektedir. Özellikle 2. ve 4. frekans bölgeleri için soğutucu besleme noktasının, soğutucunun merkeze yakın alan konumlarından seçilmesi önemlidir. Dairesel soğutucunun dört farklı besleme noktasında 4,8 GHz'deki normalize ışınma örüntüleri Şekil 11'de verilmiştir. Örüntülerin 4,8 GHz'de verilmesinin sebebi Şekil 9'da görüldüğü gibi besleme noktası merkezi konumda iken (1. besleme noktası) birinci rezonans frekansındaki (3 GHz) empedans uyumunun, ikinci rezonans frekansındaki empedans uyumundan daha iyi olmasıdır. Rezonans frekanslarında, yayılan emisyon değeri

yüksek olduğu için EMG'nin fazla olması beklenir. Normalize ışınma örüntüleri 1., 2., 3. ve 4. besleme noktası için sırasıyla Şekil 11a, Şekil 11b, Şekil 11c ve Şekil 11d'de verilmiştir. H-düzlemi ( $x-z$  düzlemi) ve E-düzlemindeki ( $y-z$  düzlemi) normalize ışınma örüntüleri farklı besleme noktalarına göre incelendiğinde Şekil 11a'ya göre 1. besleme noktasındaki örüntülerin simetrik olduğu ve her yöne eşit ışınma yaptığı tespit edilmiştir. Diğer şekillere göre 2., 3., ve 4. besleme noktalarında ise besleme noktası soğutucu köşesine kaydırsa o yönde ışınma şiddetinin arttığı görülmektedir. Şekil 11c'deki H-düzlem ve Şekil 11d'deki E-düzlem normalize ışınma örüntüleri birbirlerine eşittir. Çünkü 3. besleme noktası ile 4. besleme noktası arasındaki tek fark kanatçık yönleridir. Dolayısıyla 3. besleme noktası için uzak alan örüntüsü  $x-y$  düzleminde  $90^\circ$  döndürüldüğünde, 4. besleme noktası için uzak alan örüntüsüyle aynı olur. Dört farklı besleme noktası için dairesel soğutucu etrafında oluşan 4,8 GHz'deki E-alan dağılımı Şekil 12'de verilmiştir. Dikdörtgen soğutuculara benzer olarak, dört farklı besleme noktası için de, toprak düzleminde soğutucu arasındaki bölüme ve soğutucu kanatçık uç kısmından yayılan emisyon seviyesi daha fazladır. 3. ve 4. besleme noktaları için E-alan dağılımları yaklaşık olarak aynıdır. Bu sonuç kanatçık yönünün ışınma seviyesi üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Besleme konumu soğutucu merkezinden (1. besleme) kenara doğru (3. besleme) kaydırıldığında hem E-alan dağılımının simetrisi bozulur hem de kaydırılan yöne doğru emisyon seviyesi artar.

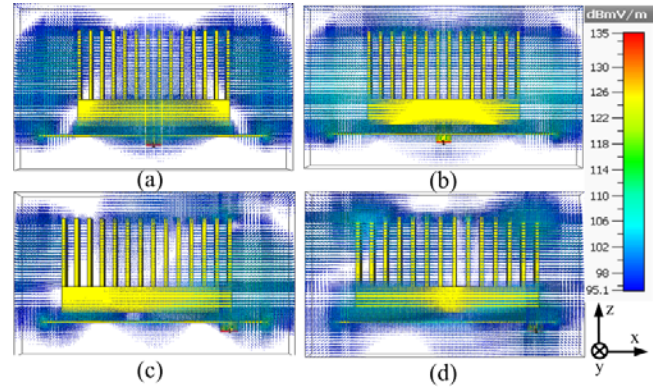




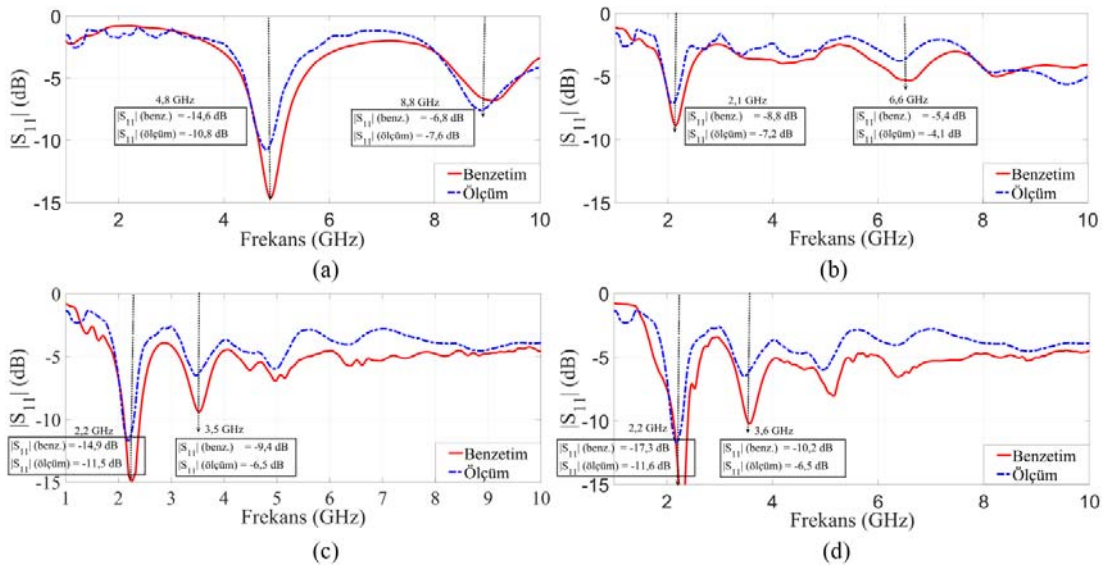
**Şekil 7.** Dikdörtgen soğutucu için farklı besleme noktasına göre 3 GHz'deki H-düzlem ve E-düzlem normalize ışınma örüntüleri: (a) 1., (b) 2., (c) 3., ve (d) 4. besleme noktası (H-plane and E-plane normalized radiation patterns of the rectangular heatsink at 3 GHz according to feeding point: (a) 1., (b) 2., (c) 3., and (d) 4. feeding point)

Eşit alanlı ve eşit bir güç kaynağına (masaüstü bilgisayar işlemcileri için ~100 W) sahip soğutucuların termal performansları CST Thermal Solver® kullanılarak hesaplanmıştır. Soğutucunun soğutma kapasitesi, temas eden hava miktarı nedeniyle toplam yüzey alanı arttıkça artar. Dairesel ve dikdörtgen soğutucuların toplam yüzey alanları sırasıyla 63.102 mm<sup>2</sup> ve 78.410 mm<sup>2</sup>'dir. Dolayısıyla,

dikdörtgen soğutucunun soğutma kapasitesi dairesel soğutucuya göre daha fazladır. Bu değerlendirme, Şekil 13'de görüldüğü gibi benzetim yöntemiyle de doğrulanmıştır. Dikdörtgen ve dairesel soğutucuların sıcaklıklarının 27,34 - 39,10°C ile 27,80 - 40,40°C arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca, dikdörtgen ve dairesel soğutucu performanslarının karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre, dikdörtgen ve dairesel soğutucunun dört farklı besleme noktası için birinci ve ikinci rezonans frekanslarına ek olarak bu frekanslarda oluşan  $S_{11}$ 'in genlik değerleri verilmiştir. Dikdörtgen ve dairesel soğutucunun birinci besleme noktası için, rezonans frekansı sırasıyla 3 GHz ve 4.8 GHz iken,  $|S_{11}|$  değerleri sırasıyla -10,1 dB ve -14,6 dB'dir. Kaçak akım frekans değerlerinin rezonans frekansları dışındaki frekans aralıklarında bulunması, EMG seviyesinin maksimum değerde olmadığını gösterir. Dikdörtgen ve dairesel soğutucular için rezonans frekanslarının bulunmadığı frekans aralıkları sırasıyla 1-2 GHz, 6-10 GHz ve 1,3-3,9 GHz ve 5,8-10 GHz'dir. Ayrıca dikdörtgen ve dairesel soğutucular için sıcaklık değişimi sırasıyla 27,3-39,1°C ve 27,8-40,4°C'dir. Dikdörtgen soğutucunun toplam yüzey alanı daha fazla olduğu için maksimum sıcaklık değeri daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

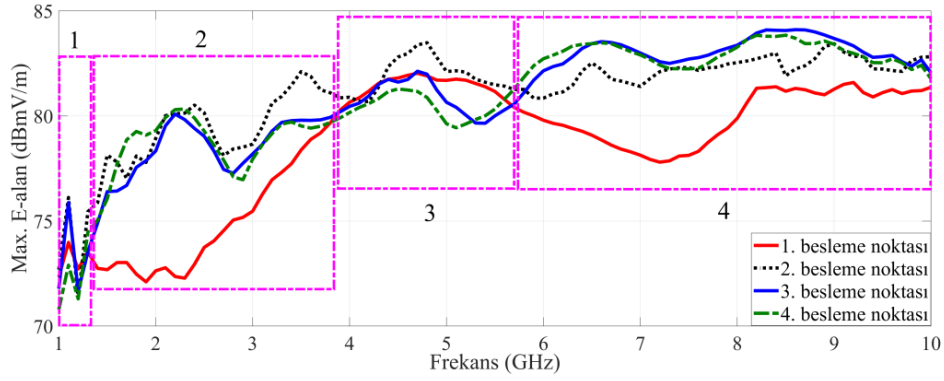


**Şekil 8.** Dikdörtgen soğutucu için farklı besleme noktasına göre 3 GHz'deki E-alan dağılımları: (a) 1., (b) 2., (c) 3., ve (d) 4. besleme noktası (E-field distributions of rectangular heatsinks at 3 GHz according to feeding point: (a) 1., (b) 2., (c) 3., and (d) 4. feeding point)

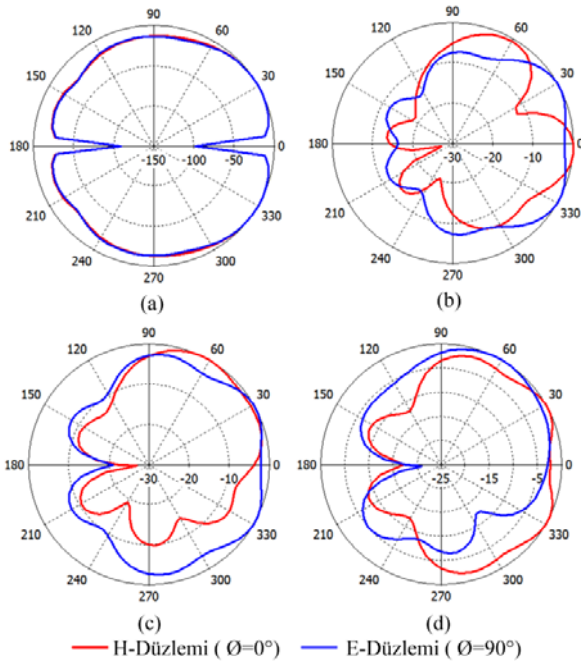


**Şekil 9.** (a) Dairesel soğutucu için farklı besleme noktasına göre yansımaya katsayısı değerleri ( $|S_{11}|$ ): (a) 1., (b) 2., (c) 3., ve (d) 4. besleme noktası

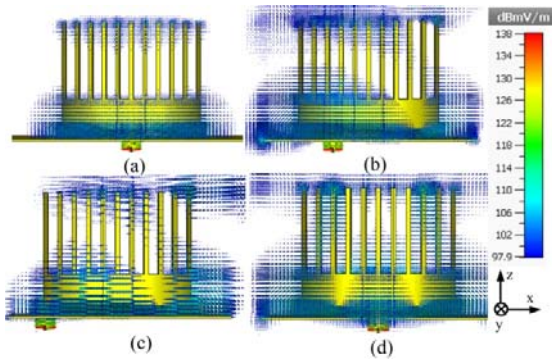
(The reflection coefficient values ( $|S_{11}|$ ) of the circular heatsink according to feeding point: (a) 1., (b) 2., (c) 3., and (d) 4. feeding point)



**Şekil 10.** Dört farklı besleme noktası için dairesel soğutucudan yayılan maksimum E-alkanının frekansa göre değişimi  
(The variation of the maximum E-field radiated from the circular heatsink for four different feeding points versus frequency)

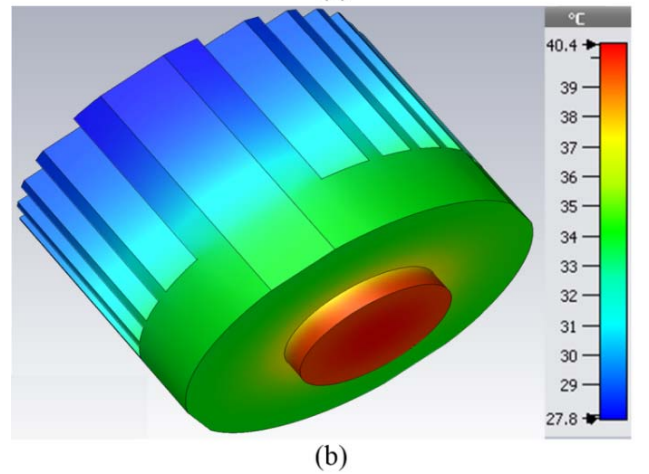
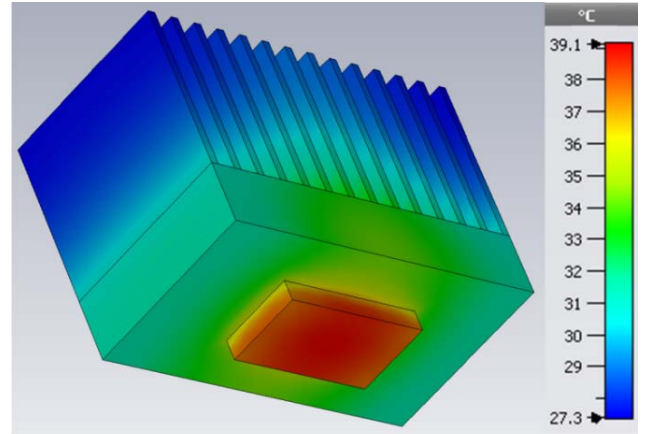


**Şekil 11.** Dairesel soğutucu için farklı besleme noktasına göre 4,8 GHz'deki H-düzlem ve E-düzlem normalize ışınma örüntüleri: (a) 1., (b) 2., (c) 3., ve (d) 4. besleme noktası  
(H-plane and E-plane normalized radiation patterns of the circular heatsink at 4.8GHz according to feeding point: (a) 1., (b) 2., (c) 3., and (d) 4. feeding point)



**Şekil 12.** Dairesel soğutucu için farklı besleme noktasına göre 4,8 GHz'deki E-alkan dağılımları: (a) 1., (b) 2., (c) 3., ve (d) 4. besleme noktası  
(E-field distributions of circular heatsinks at 4.8 GHz according to feeding point: (a) 1., (b) 2., (c) 3., and (d) 4. feeding point)

Soğutucuların EMU etkisi açısından literatür karşılaştırması Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, yakın-alan ölçümleri yerine genellikle uzak-alan ölçümleri tercih edilmiştir. Ölçümlerde dipol anten, log-periyodik anten ve double-ridged huni anten gibi farklı türde anten çeşitleri tercih edilmiştir. Bu tercihlerinde, kazanç, kutuplanma ve bant genişliği gibi anten parametreleri göz önünde bulundurulur. Soğutucuların besleme geriliminin genlikleri, maksimum emisyon seviyesi üzerinde etkili iken soğutucuların geometrisi ve boyutları da rezonans frekansı üzerinde oldukça etkilidirler.



**Şekil 13.** (a) Dikdörtgen ve (b) dairesel soğutucuların termal analizleri  
(Thermal analysis of the (a) rectangular and, (b) circular heatsinks)



**Tablo 2.** Dikdörtgen ve dairesel soğutucu performanslarının karşılaştırılması  
(Comparison of performances of the rectangular and circular heatsinks)

	Dikdörtgen Soğutucu	Dairesel Soğutucu
Frekans bandı	1-10 GHz	1-10 GHz
1. besleme noktası için $ S_{11} $ (1. rezonans frekansında)	-10,1 dB@3 GHz	-14,6 dB@4,8 GHz
1. besleme noktası için $ S_{11} $ (2. rezonans frekansında)	-6,7 dB@6,5 GHz	-6,8 dB@8,8 GHz
2. besleme noktası için $ S_{11} $ (1. rezonans frekansında)	-12,3 dB@3 GHz	-8,8 dB@2,1 GHz
2. besleme noktası için $ S_{11} $ (2. rezonans frekansında)	-10,3 dB@4 GHz	-5,4 dB@6,6 GHz
3. besleme noktası için $ S_{11} $ (1. rezonans frekansında)	-14,1 dB@1,6 GHz	-14,9 dB@2,2 GHz
3. besleme noktası için $ S_{11} $ (2. rezonans frekansında)	-9,6 dB@3 GHz	-9,4 dB@3,5 GHz
4. besleme noktası için $ S_{11} $ (1. rezonans frekansında)	-14,7 dB@1,6 GHz	-17,3 dB@2,2 GHz
4. besleme noktası için $ S_{11} $ (2. rezonans frekansında)	-13,9 dB@3,2 GHz	-10,2 dB@3,6 GHz
Soğutucudan yayılan emisyon	1-2 GHz ve 6-10 GHz frekans bantlarında 1. ve 2. besleme noktaları, diğer besleme noktalarına göre tercih edilmelidir.	1,3-3,9 GHz ve 5,8-10 GHz frekans bantlarında 1. besleme noktası, diğer besleme noktalarına göre tercih edilmelidir.
Soğutucunun sıcaklık değişimi (100 Wattlık ısı kaynağı için)	27,3-39,1°C	27,8-40,4°C
Soğutucunun termal performansı (TP)	Toplam yüzey alanı (78.410 mm <sup>2</sup> ) daha büyük olduğundan TP daha yüksektir.	Toplam yüzey alanı (63.102 mm <sup>2</sup> ) daha küçük olduğundan TP daha düşüktür.

**Tablo 3.** Soğutucuların EMU etkisi açısından literatür karşılaştırması (Literature comparison of the heatsinks in terms of EMC effect)

Referans	Soğutucu tipi	Amaç	Kullanılan anten tipi	Yakın/uzak alan ölçümü	Frekans aralığı	Maksimum emisyon seviyesi	Rezonans frekansı	Benzetim	Ölçüm
[11]	Düzlemsel - kanatçıklı kare ve dikdörtgen soğutucu	Soğurucu malzemenin EMU üzerindeki etkisi	Dipol anten	Yakın-alan	1-40 GHz	73	16,5 GHz	✓	✓
[12]	Düzlemsel - kanatçıklı dikdörtgen soğutucu	Soğutucunun parametrik analizi	Log-periyodik anten	Uzak-alan	1-10 GHz	16,12	3,65 GHz	✓	✓
[14]	Düzlemsel - kanatçıklı kare soğutucu	Dirençli topraklamanın EMU üzerindeki etkisi	Log-periyodik anten	Uzak-alan	0,1-0,6 GHz	98	0,355 GHz	✓	✓
[24]	Düzlemsel - kanatçıklı dikdörtgen soğutucu	Soğutucuların EMU açıdan parametrik analizi	Huni anten	Uzak-alan	2-8 GHz	83	5,2 GHz	✓	✓
[25]	Düzlemsel - kanatçıklı dikdörtgen soğutucu	Topraklamanın EMU üzerindeki etkisi	-	Uzak-alan	0-6 GHz	66,3	2,6 GHz	✓	-
[26]	Düzlemsel - kanatçıklı dairesel soğutucu	Soğutucuların kanatçık tipinin EMU üzerine etkisi	Huni anten	Uzak-alan	2-8 GHz	82	4,68 GHz	✓	✓
Bu çalışma	Düzlemsel - kanatçıklı dikdörtgen	Besleme noktasının EMU üzerindeki etkisi	Double-ridged huni anten	Uzak-alan	1-10 GHz	81,59	2,98 GHz	✓	✓
	Düzlemsel - kanatçıklı dairesel soğutucu					81,92	4,88 GHz	✓	✓

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Yaygın olarak kullanılan PCB kartlar üzerindeki soğutucular, EMG kaynağı olarak davranırlar. Bu soğutucular, çevrelerindeki diğer komponentlerin çalışma performansını olumsuz etkiler. Bu nedenle, soğutucu kaynaklı EMG'yi karakterize etmek, soğutucunun elektromanyetik uyumluluğu açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, soğutucu etrafına veya tabanına yerleştirilen komponentler, soğutucu üzerindeki besleme noktasının konumunu belirlerler. Dolayısıyla bu konum, soğutucudan diğer komponentlere doğru yayılan emisyonu etkiler.

Bu çalışmada, eşit taban alanına sahip dikdörtgen ve dairesel soğutuculardaki farklı besleme noktalarının, EM davranışları üzerindeki etkisi 1-10 GHz bandında (L, S, C ve kısmen X bandını) incelenmiştir. Bu geniş bandın, birçok RF ve mikrodalga uygulamalarını kapsamaması hedeflenmiştir. Burada yansıma katsayısı, EM emisyon (E-alan), normalize ışınma örüntüsü, termal ve E-alan dağılımları gibi performans parametreleri hem benzetim hem de ölçüm yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar dört farklı besleme noktasına göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Buna göre:

- Besleme noktasının yansıma katsayısı üzerinde etkisi vardır. Rezonans frekansında yayılan emisyon oldukça fazla olduğundan dolayı soğutucu etrafındaki komponentler EMG'ye fazla maruz kalırlar. Dolayısıyla soğutucu etrafındaki komponentlerin çalışma frekansıyla soğutucunun rezonans frekansı aynı olduğunda, ilgili besleme noktasını oluşturan komponent yerleştirme biçimi tercih edilmemelidir ve bu durumda, besleme noktası değiştirilerek rezonans frekansı kaydırılabilir.
- Dairesel soğutucularda 1,3-3,9 GHz ve 5,8-10 GHz frekans bantlarında 1. besleme noktası için yayılan emisyon diğer besleme noktalarına göre yaklaşık  $\sim 2-8$  dBmV/m daha az olduğu için bu besleme noktası tercih edilmelidir. Dikdörtgen soğutucularda ise 1-2 GHz ve 6-10 GHz frekans bantlarında 1. ve 2. besleme noktası için yayılan emisyon yaklaşık  $\sim 5-6$  dBmV/m daha az olduğu için bu noktaların seçimi önemlidir.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından desteklenmektedir [*Proje Numarası: FBA-2018-3769*]. Ayrıca, bu çalışmada yapılan ölçümler Devlet Planlama Teşkilatının desteğiyle kurulan Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EMUMAM) yapılmıştır [*2007K120530-DPT*].

#### Kaynaklar (References)

1. Ozbalci O., Dogan A., Forced convection heat transfer from porous heat sinks placed in partially open cavity: Some case studies, *Exp. Heat Transfer*, 31 (3), 183-193, 2018.
2. Kaya M., Performance analysis of a heat exchanger having slotted tube fins, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 421-437, 2019.
3. Meng X., Zhu J., Wei X., Yan Y., Natural convection heat transfer of a straight-fin heat sink, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 123, 561-568, 2018.
4. Haghighi S.S., Goshayehi H., Safaei M.R., Natural convection heat transfer enhancement in new designs of plate-fin based heat sinks, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 125, 640-647, 2018.

5. Mousavi H., Darzi A.A.R., Farhadi M., Omidi, M., A novel heat sink design with interrupted, staggered and capped fins, *Int. J. Therm. Sci.*, 127, 312-320, 2018.
6. Lampio K., Karvinen R., Optimization of convectively cooled heat sinks, *Microelectron. Reliab.*, 79, 473-479, 2017.
7. Dogan A., Bahadır O., Experimental investigation of convection heat transfer from aluminum foam heat sinks, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (1), 71-78, 2014.
8. Khattak Z., Ali H.M., Air cooled heat sink geometries subjected to forced flow: A critical review, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 130, 141-161, 2019.
9. Lampio K., Karvinen R., A new method to optimize natural convection heat sinks, *Heat Mass Transfer*, 54 (8), 2571-2580, 2018.
10. Payandeh M., Belov I., Jarfors A.E., Wessén M., Effect of material inhomogeneity on thermal performance of a rheocast aluminum heatsink for electronics cooling, *J. Mater. Eng. Perform.*, 25 (6), 2116-2127, 2016.
11. Shen G., Yang S., Sun J., Xu S., Pommerenke D.J., Khilkevich, V.V., Maximum radiated emissions evaluation for the heatsink/IC structure using the measured near electrical field, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, 59 (5), 1408-1414, 2017.
12. Manivannan S., Arumugam R., Paramasivam S., Salil P., Rao, B.S., HFSS simulation, experimental investigation and optimisation of heat sink EMI, *IET Power Electron.*, 3 (6), 881-891, 2010.
13. He X., Hubing T.H., A closed-form expression for estimating the maximum radiated emissions from a heatsink on a printed circuit board, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, 54 (1), 205-211, 2011.
14. Ahn C.H., Oh J., Resistive grounding technique of heat sink for reducing radiation noise, *J. Electr. Eng. Technol.*, 9 (5), 1724-1728, 2014.
15. Liu Q., Jiao X., Li J., Khilkevich V., Drewniak J., Dixon P., Arien Y., Modeling absorbing materials for EMI mitigation, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC)*, Dresden, Germany, 1548-1552, 16-22 August 2015.
16. Chiappe J., Additional techniques to reduce heatsink emissions utilizing RF absorbers, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Pittsburgh, PA, USA, 56-63, 6-10 August 2012.
17. Lin F., Chen, D. Y. Reduction of power supply EMI emission by switching frequency modulation, *IEEE T Power Electr.*, 9 (1), 132-137, 1994.
18. Basak M. E., Kuntman A., RLC circuit extraction with the differential evolution algorithm for conducted electromagnetic emission model of integrated circuits, *Turk J Electr Eng Co.*, 24 (1), 1-20, 2016.
19. Genc A., Dogan H., Basyigit I. B., Helhel S., Heatsink pre-selection chart to minimize radiated emission in broadband on the PCB, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Early access. doi: 10.1109/TEMC.2020.3019958, 2020.
20. Genc A., Basyigit I. B., Dogan H., Elektronik devrelerdeki silindirik soğutuculardan kaynaklanan elektromanyetik girişimlerin 0-10 GHz bandında araştırılması, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 502-510, 2020.
21. Dogan H., Basyigit I.B., Genc A., Variation of radiated emission from heatsinks on PCB according to fin types. 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2019), Ankara, Turkey, 11-13 October 2019.
22. Genc A., Helhel S., The comparison of em characteristics of the heatsinks with equal base area depending on the various geometries. 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems, Sakarya, Turkey, 979-985, 9-11 September 2019
23. Karaman A.B., Kocakusak A., Genc A., Helhel S., The effect of feeding point on electromagnetic emission due to heat sink. PIERS Photonics Electromagnetics Research Symposium, Roma, Italy, 17-20 June 2019.
24. Dogan H., Basyigit I. B., Genc A., Helhel S., Parametric study of the radiated emission from the plate-fin cpu heatsink at 2-8 GHz, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Early access. doi: 10.1109/TEMC.2020.2980773, 2020.
25. Lu J., Dawson F. EMC computer modeling techniques for CPU heat sink simulation, *IEEE T. Magn.*, 42 (10), 3171-317, 2006.
26. Basyigit I. B., Genc A., Dogan H., Helhel S., The effect of fin types of the heatsinks on radiated emission on the printed circuit board at S-C band, *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 62 (8), 1-8, 2020.