

## Takılabilir Modüllerde Kullanılan Elektronik Kartların Doğrudan Hava Akışı ile Soğutulmasının İncelenmesi

Bilge Büşra Samet <sup>1,2\*</sup>, Muhittin Bilgili <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, 06570, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Harp Savunma Sistemleri San. ve Tic. A.Ş., Bilkent Cyberpark, Bilkent, Ankara, Türkiye

\*İlgili yazarlar: \*[bilgebusra.samet@gmail.com](mailto:bilgebusra.samet@gmail.com) , [bilgili@gazi.edu.tr](mailto:bilgili@gazi.edu.tr)

<sup>+</sup>Konuşmacı: [bilgebusra.samet@gmail.com](mailto:bilgebusra.samet@gmail.com)

Sunum/Metin Tipi: Sözel / Tam Metin

**Özet** – Elektronik kartlarda meydana gelen yüksek ısı üretimi, kart üzerindeki bileşenlerin çalışma performansını ve kullanım ömrünü etkileyen önemli bir parametredir. Bu nedenle cihazların mekanik tasarımları yapılırken soğutmaya sağlamaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmada, elektronik kart ve soğutma plakasından oluşan takılabilir modüllerin soğutma yöntemleri değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı iletim ile soğutma yöntemidir. Kart bileşeninden yayılan ısı, soğuk plaka üzerinden iletim ile takılabilir modüllerin yerleştirildiği cihaz yuvasına akar ve oradan da cihazın gövdesine iletilerek soğutma sağlanır. Diğer bir yöntem olan doğrudan hava akışı ile soğutma yönteminde ise hava, soğutma plakalarındaki kanatlardan geçirilerek soğutma sağlamaktadır. Isı, daha kısa bir yoldan ısı emicisine aktarılmaktadır. Bu çalışmada, takılabilir modüllerin doğrudan hava akışı ve iletim ile soğutulması yöntemleri kıyaslanmaktadır. Her iki yöntem için soğuk plaka tasarlanmış, problem geometrisi oluşturulmuş ve çözüm alanı hücrelere bölünerek sınır şartları belirlenmiştir. Analizler FloEFD programı aracılığıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en çok ısı yayan bileşen referans alındığında, doğrudan hava akışıyla soğutmaya içeren yöntemde belirtilen bileşen sıcaklığı, iletimle soğutma yöntemine göre 23°C daha düşük bir değerde ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler**-Elektronik Cihazların Soğutulması, Doğrudan Hava Akışı, Takılabilir Modül, İletimle Soğutma, Soğuk Plaka

**Abstract** – The high heat generation in electronic board is an important parameter affecting the performance and service life of the components on the board. Therefore, studies should be carried out to provide cooling while designing device mechanics. In this study, cooling methods of plug-in modules in which consisting of electronic boards and cooling plate were evaluated. The most common of these methods is the conduction cooling method. The heat dissipated from the board component flows into the slot of the device which hosts the plug-in modules via cold plate by means of conduction. Another method is the air flow through cooling method, the air provides cooling through the fins in the cooling plates. The heat is transferred from the shorter path to the heat sink. In this study, air flow through cooling and conduction cooling methods for plug-in modules are compared. For both methods, the cold plate was designed, the problem geometry was formed and the boundary conditions were determined by dividing the solution area into the cells. The solutions were analyzed through the FloEFD. According to the results obtained, with reference to the most heat dissipating component, in the method comprising air flow through cooling, the component temperature was measured at 23°C lower than the conduction cooling method.

**Keywords** – Electronics Cooling, Air Flow Through, Plug-in Module, Conduction Cooling, Cold Plate

### I. GİRİŞ

Elektronik cihazlar günümüzde birçok sektörde ve günlük yaşamda çok yaygın bir kullanıma sahiptir. Teknoloji ilerledikçe elektronik cihazların boyutları küçülmekte ancak işlevselliği artmaktadır. Elektronik cihazların minyatürleştirilmesi birim hacim başına üretilen ısı miktarında belirgin bir artışa neden olmuştur. Bu nedenle elektronik sistemler doğru şekilde tasarlanmadığında yüksek ısı üretimi emniyet için tehlike oluşturacak ve buna ek olarak cihazın performansı olumsuz yönde etkilenecektir. Çalışma sıcaklıklarında oluşabilecek performans kayıplarını önlemek için elektronik cihazların mekanik yapılarının gerekli soğutmaya sağlayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu sebeple soğutma sistemlerinin geliştirilmesi ve yeni araştırmaların yapılması önem arz etmektedir [1]. Elektronik cihazları soğutmak için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir.

Sıvıyla soğutma yöntemi doğrudan veya dolaylı soğutma olarak ikiye ayrılır. Doğrudan soğutma yönteminde kart

üzerindeki bileşenler yalıtkan özelliğe sahip sıvıyla temas ettirilerek ısının sıvıya aktarılmasını kapsar. Dolaylı yoldan sıvıyla soğutma yönteminde ise sıvı bir tüp veya kanal içerisinde sirkülasyon yaparak ısının dışarı atılmasını sağlar [2-4].

Jet çarpma soğutma yöntemi, soğutulmak istenen yüzeylere sıvı veya hava jeti uygulanarak yüzeydeki fazla ısının tahliye edilmesi prensibine dayanır. Yüksek ısı transfer oranları sağlayabildikleri için hızlı soğutma işlemlerinde etkili bir yöntem olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu yöntem düşük jet hızlarında kullanıldığında sprey soğutma yöntemi adını alır [4-6].

Bir diğer soğutma yöntemi ısı borusu ile soğutmadır. Bu yöntemde kullanılan ısı boruları sıcak ve soğuk kaynaklar arasında az sıcaklık farkı ile yüksek miktarda ısı taşımak için tasarlanmış cihazlardır. Bir ısı borusunun sıcak yüzeyi termal olarak iletken yüzeye temas ettiğinde yüzeyden alınan ısı ile içindeki sıvı buharlaşarak ısıyı soğuk uca taşır [4, 7, 8].

Mikro kanal ile soğutma yönteminde elektronik kart üzerinde paralel mikro kanal oluşturularak bu kanallar üzerinden sıvı akışı sağlanmaktadır. Sıvının kanallar içerisinde dolaşırken buharlaşarak ortamdan ısı alması prensibine dayanarak soğutma gerçekleşmektedir. Bu yöntemde yüksek ısı transfer katsayısı elde edebilmek, mikroskobik kanalların boyutlandırılmasına bağlıdır [4, 9-11].

Bir diğer yöntem ise iletimle soğutma yöntemidir. Devre kartlarındaki elektronik bileşenlerin üzerinden hava veya elektrikli olarak yalıtılan bir akışkan geçirilerek doğrudan soğutulmasının uygun olmadığı uygulamalar da bulunmaktadır. Bu gibi uygulamalarda bileşenlerin bağlantı sıcaklıklarının düşük tutulması için kalın bir ısı çerçevesi kullanılmaktadır. Kartın bileşenlerinde üretilen ısı, devre kartı boyunca, ısının dışarıya atıldığı bir ısı emici veya soğuk plakaya iletilir. Isı çerçevesi, devre kartından ısı emiciye kadar, ısı akışı için düşük dirençli bir yol sağlar. Isı çerçevesi ne kadar kalın olursa, ısı direnci o kadar düşük olur ve bu nedenle, ısı çerçevesinin merkezi ile uçları arasındaki sıcaklık farkı o kadar küçük olmaktadır [1].

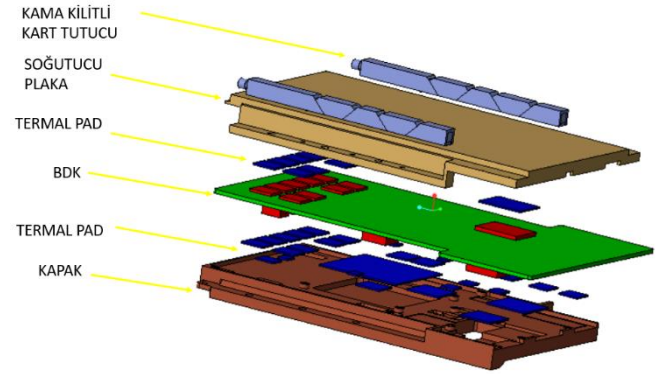
Son olarak, en çok tercih edilen yöntem, hava ile soğutma yöntemidir. Tasarımının ve bakımının kolay, maliyetinin düşük ve güvenilirliğinin yüksek olması gibi avantajları hava ile soğutmaya ön plana çıkartmaktadır [4]. Düşük güç yoğunluğuna sahip elektronik sistemlerin soğutulmasında doğal taşınım ve radyasyonla soğutma tercih edilmektedir. Doğal taşınım, sıcaklık farkından dolayı bir akışkandaki yoğunluk farklarının neden olduğu akışkan hareketine dayanır. Bir akışkan ısıtıldığında genişler ve daha az yoğun hale gelir. Yer çekimi olan bir ortamda, bu daha hafif olan akışkan yükselir ve akışkanda doğal taşınım akımları adı verilen bir hareketi başlatır. Katı bir yüzey ile bir akışkan arasındaki taşınım ısı transferi, akışkanın hızıyla orantılıdır. Sıcak yüzeyler, bir odanın duvarları, tavanları veya sadece gökyüzü gibi daha serin yüzeylerle çevrildiğinde, yüzeyler radyasyonla soğutulur. Doğal taşınım soğutması yeterli olmadığında, bir fan ekleyerek akışkanın akış hızını ve ayrıca ısı transferini arttırmak için zorlanmış taşınım tercih edilmektedir. Bunu yaparak, fanın boyutuna bağlı olarak ısı transfer katsayısı yaklaşık 10 kat artırılabilir [1].

Yüksek güç yoğunluğuna sahip baskı devre kartlarında (BDK) ısı çerçevesi kullanarak sağlanan soğutma yetersiz kaldığında başvurulacak yöntem zorlanmış hava ile soğutma yöntemidir. Havanın içerisindeki kirleticilerden dolayı fan ile doğrudan bileşenler üzerinden geçirilemediği durumlar mevcuttur. Bu yüzden ısı, önce iletimle soğuk plaka boyunca kenarlara taşınır oradan da cihaz şasisine hava üflenmesi suretiyle soğutma sağlanır. Elektronik kartların kullanıldığı takılabilir modüllerde belli standartlara uygun şekilde hazırlanmış kart ve kart soğutucu plakalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada iletim ile soğutmaya içeren ANSI/VITA 48.2 standardında ve ısının soğuk plaka kenarlarına taşınmadan doğrudan hava akışıyla soğutulmasını içeren ANSI/VITA 48.8 standardında kart soğutucu plakaları incelenmiştir [12, 13]. Her iki yöntemde de 37 adet ısı yayan bileşenden oluşan elektronik bir baskı devre kartının soğutulması hedeflenmiştir. Her iki yöntem için gerekli mekanik tasarımlar yapılmış ve termal analiz sonuçları incelenmiştir.

## II. MODEL GEOMETRİSİ

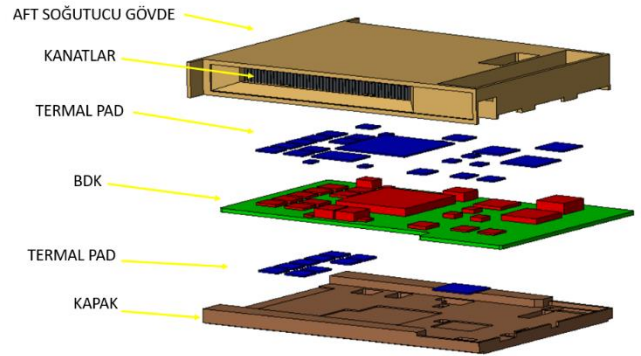
VITA 48.2 standardına göre hazırlanan iletimle soğutulan soğutucu plaka paketi, alüminyum soğutucu plaka, termal ped, baskı devre kartı, kama kilitli kart tutucu ve alüminyum

kapaktan oluşur. Bu standarda göre hazırlanan parça şeması Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. İletim ile soğutulan soğutucu plaka paketi

VITA 48.8 standardına göre hazırlanan doğrudan hava ile soğutulan soğutucu plaka paketi alüminyum soğutucu gövde, kanatlar, termal ped, BDK ve alüminyum kapaktan oluşur. Bu standarda göre hazırlanan parça şeması Şekil 2’te gösterilmektedir.



Şekil 2. Doğrudan hava ile soğutulan soğutucu plaka paketi

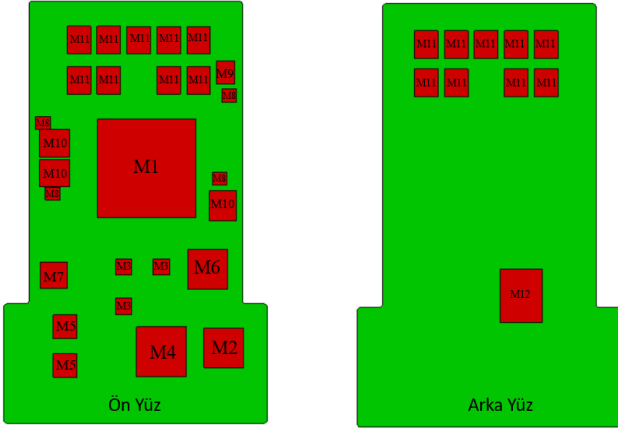
Bu çalışmada kullanılan BDK’da 37 adet ısı yayan bileşen mevcuttur. Bu bileşenlerin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Bileşenlerin kart üzerindeki konumları da Şekil 3’te gösterilmektedir.

Tablo 1. Baskı devre kartındaki malzemelerin özellikleri

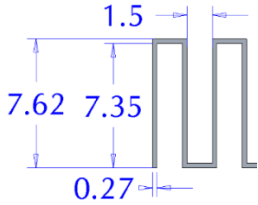
Bileşen Adı	Ölçüler (mm)	$R_{j-c}$ (C/W)	$R_{j-b}$ (C/W)	$T_{junction}$ (°C)	$T_{case}$ (°C)	Isı Yayımlım (W)	Adet	
M1	37,5x37,5x3,556				100	45	1	
M2	15X15X5,01	3,7	1,5	125		0,95	1	
M3	6,25X6,25X1,82	17	11	125		0,38	3	
M4	19x19x2,45	1,52	3,6		110	2,66	1	
M5	9x9x0,85	0,06-0,63	$\infty$	100		0,27	2	
M6	15x15x1,4	10,5	22,4		125	0,57	1	
M7	10x10x1,4			150		0,38	1	
M8	4,5x3,5x0,9	22,8	2,5	150		0,76	4	
M9	8,7x7x4				130	0,38	1	
M10	11,5x10,3x4				125	0,38	3	
M11	9x10,5x1,1	3,6	$\infty$		85-95	0,19	18	
M12	16x20x1,7				85	0,8	1	
Toplam							60,02 W	

Doğrudan hava ile soğutan soğutucu plakanın mekanikleri ANSI VITA 48.8’de yer alan standartlara uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Kanatların yerleşeceği kanal yüksekliği hesaplanırken BDK’da yer alan malzemelerin yükseklikleri ve

ANSI VITA 48.8'de yer alan dış ölçüler hesaba katılmıştır ve 7,62 mm olarak hesaplanmıştır. Bu yüksekliğine sahip olan 0,27 mm kalınlığında kanat seçimi yapılmıştır. Kullanılan kanat ölçüleri Şekil 4'de gösterilmektedir ve birimi mm'dir.

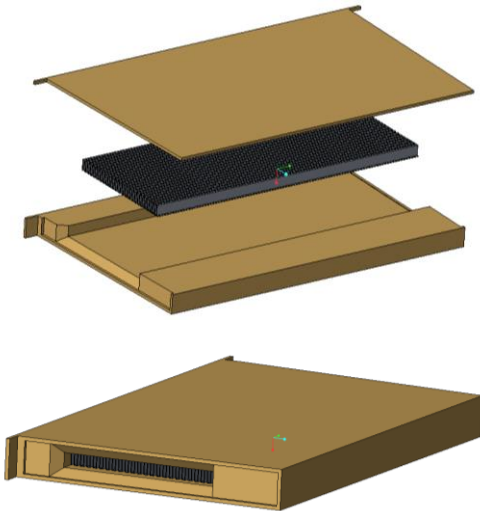


Şekil 3. Kartın ön ve arka yüzündeki malzemelerin konumu



Şekil 4. Kullanılan kanat ölçüleri

Soğutmaya sağlayan alüminyum plakalar ve kanatlar daldırma yöntemiyle sert lehimleme ile yekpare olacak şekilde birleştirilmiştir. Daha sonra plaka karta uygun şekilde işlenmiştir.



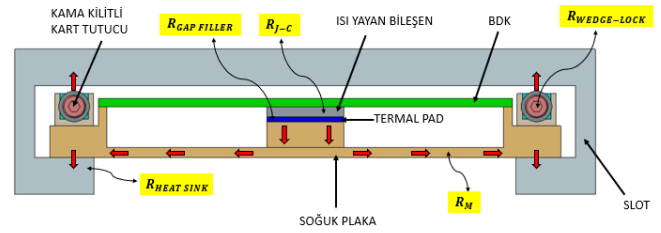
Şekil 5. Plakaların daldırma yöntemiyle sert lehimlemeden önceki ve sonraki görüntüleri

Bu çalışmada kartın üzerindeki en çok ısı yayan eleman dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. M1 bileşenin ölçüleri 37,5x37,5 olduğu için bu ölçüye denk gelen kanat miktarı 22 adet olarak belirlenmiştir.

### III. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

İletim ile soğutma yönteminde kartın bileşeninden yayılan ısı termal ped aracılığıyla soğutucu plakaya aktarılır. Isı soğutucu plakanın kenarlarına taşınarak soğutma sağlanır. Ancak ısı bu yolda çeşitli dirençlerle karşılaşır ve bu sebeple yeterince soğuma sağlanamayabilir. Bunlar ısı yayan bileşenin içindeki çekirdekten soğutucu plakaya olan direnç  $R_{J-C}$ , ısı yayan bileşenin içindeki çekirdekten karta olan direnç  $R_{J-B}$ , termal pedden kaynaklanan direnç  $R_{GAP FILLER}$ , malzemeden kaynaklanan direnç  $R_M$ , kama kilitli kart tutucudan kaynaklanan direnç  $R_{WEDGE-LOCK}$  ve ısının atılmasını sağlayan plakada oluşan direnç  $R_{HEAT SINK}$ 'tir. Tüm bu dirençler ısının karşılaştığı toplam direnci oluşturmaktadır. Isının akış yönü ve karşılaştığı dirençler Şekil 6'de gösterilmektedir.

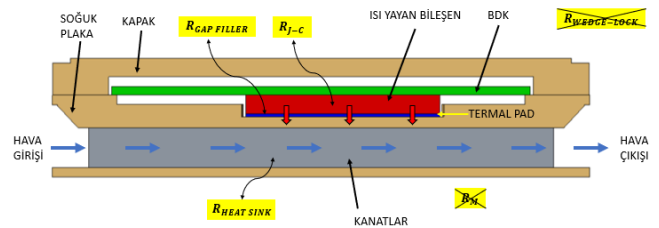
$$R_{TOTAL} = R_{J-C} + R_{J-B} + R_{GAP FILLER} + R_{WEDGE LOCK} + R_{HEAT SINK} + R_M$$



Şekil 6. İletimle soğutma yönteminde ısının akışı

Doğrudan hava akışı ile soğutma yönteminde kartın bileşeninden yayılan ısı termal ped aracılığıyla soğutucu plakaya aktarılır. Soğutucu plakadan kanatlara aktarılır. Bir fan yardımıyla kanatlardan geçirilen hava sayesinde soğuma sağlanır. Bu yöntemde ısının karşılaştığı dirençler  $R_{J-C}$ ,  $R_{J-B}$ ,  $R_{GAP FILLER}$  ve  $R_{HEAT SINK}$ 'tir. Tüm bu dirençler ısının karşılaştığı toplam direnci oluşturmaktadır. Isının akış yönü ve karşılaştığı dirençler Şekil 7'de gösterilmektedir.

$$R_{TOTAL} = R_{J-C} + R_{J-B} + R_{GAP FILLER} + R_{HEAT SINK}$$



Şekil 7. Doğrudan hava akışı ile soğutma yönteminde ısının akışı

### IV. KULLANILAN DENKLEMLER

#### A. MATEMATİKSEL MODEL

Mevcut problemin ısıl analizlerinde kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri kullanılmaktadır. Kütle korunumu denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Burada u,v,w sırasıyla x,y,z yönündeki akışkan hızlarıdır. Momentum korunumu denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Burada  $\mu$  dinamik viskozite ve  $p$  basıncı ifade etmektedir. Enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\rho \cdot c_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k_f \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Burada  $c_p$  akışkanın özgül ısısını ve  $k_f$  akışkanın ısı iletkenlik katsayısını ifade etmektedir.

### B. BASINÇ KAYBININ HESAPLANMASI

Kanatlar arasında, havanın akışı sırasında bir basınç kaybı meydana gelmektedir. Bu basınç kaybını karşılayacak bir fan seçimi yapılmalıdır. Basınç kaybı  $\Delta P$ ' yi hesaplayabilmek için şu denklemler kullanılmaktadır [14]:

$$\Delta P = \left( K_c + 4 \cdot f_{app} \cdot \frac{L}{D_h} + K_e \right) \cdot \rho \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

Burada  $L$  kanat uzunluğunu,  $D_h$  akış kanalının hidrolik çapını,  $f_{app}$  görünür sürtünme faktörünü,  $\rho$  havanın yoğunluğunu,  $V$  kanatlar arasındaki ortalama hava akış hızını,  $K_c$  ani daralmadan kaynaklanan basınç kaybı katsayısını,  $K_e$  ise kanatların arasında giren ve çıkan akışın genişlemesi katsayısını temsil etmektedir.

$$K_c = 0,42 \cdot (1 - \sigma^2) \quad (7)$$

$$K_e = (1 - \sigma^2)^2 \quad (8)$$

Burada  $\sigma$  akış kanallarının alanının, soğutucuya yaklaşan akışa oranı olarak tanımlanır ve şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma = 1 - \frac{N_{fin} \cdot t_f}{W} \quad (9)$$

Burada  $N_{fin}$  kanat sayısını,  $t_f$  kanat kalınlığını ve  $W$  kullanılan kanatların toplam genişliğini ifade etmektedir.

Gelişen laminar akış için olan görünen sürtünme faktörü  $f_{app}$ , tamamen gelişmiş akış için olan sürtünme faktörü  $f$  ile ilişkilidir ve şu şekilde hesaplanır:

$$f_{app} = \frac{\left[ \left( \frac{3,44}{\sqrt{L^*}} \right)^2 + (f \cdot Re)^2 \right]^{1/2}}{Re} \quad (10)$$

$$L^* = \frac{L/D_h}{Re} \quad (11)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_h}{\mu} \quad (12)$$

$$f = (24 - 32,527 \cdot \lambda + 46,721 \cdot \lambda^2 - 40,829 \cdot \lambda^3 + 22,954 \cdot \lambda^4 - 6,089 \cdot \lambda^5) / Re \quad (13)$$

Burada  $Re$  Reynolds sayısını,  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesi ve  $\lambda$  ise hava akış kanallarının en/boy oranını ifade etmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda basınç kaybı, 0,00467 m<sup>3</sup>/s hacimsel akış debisinde 227,3 Pa olarak hesaplanmıştır. Bu basınç kaybını karşılayacak bir fan seçimi yapılmıştır.

## V. KULLANILAN MALZEMELER

VITA 48.2 standardına göre olan iletimle soğutma yönteminde kartın ön tarafındaki ve arka tarafındaki plakalar Al6061-T4 malzemeden seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir. VITA 48.8 standardına göre olan doğrudan hava akışıyla soğutma yönteminde kullanılan soğutucu plakalar ve soğutucu plakaların kapakları Al 6061-T4 malzemeden seçilmiştir. Kanatlarda ise Al 3003 malzeme kullanılmıştır. Sızdırmazlığı sağlayan contalar için PTFE tercih edilmiştir. Davlumbaz malzemesi ise Al 6061-T4'tür. Her iki yöntemde de kullanılan termal pedler kullanılmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Malzeme özellikleri

Malzeme	$\rho$ Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ Özgül ısı (J/(kg.K))	$k$ Isıl iletkenlik (W/(m.K))	Elektriksel iletkenlik	T Erime Sıcaklığı (K)
Al 6061-T4	2700	954*	155*	İletken	855,15
Al 3003	2740	900*	193*	İletken	928
Termal ped	3400	1000	12	Yalıtkan	473
PTFE	2200	1300	0,3	Yalıtkan	603,15
BDK	2700	400	X:0.6 Y:40 Z:40	Yalıtkan	

\*25°C 'deki değerlerdir.

## VI. ISIL ANALİZLER

Isıl analiz FloEFD programı aracılığıyla yapılmıştır. Analiz türü olarak iç akış seçilmiştir. Duvar şartları adyabatik duvar olarak seçilmiştir ve başlangıç koşullarında katının sıcaklığı 50°C olarak belirlenmiştir. Termal pedlerin malzeme özellikleri tanımlanmıştır. BDK'nın koordinat eksenine göre ısı iletkenlik değerleri tanımlanmıştır. Isı yayan elemanlar analize tanımlanırken M1, M7, M9, M10 ve M12 hacim kaynağı (volume source) olarak tanımlanmıştır. Diğer ısı yayan elemanların içindeki çekirdekten plakaya (junction to case) ve çekirdekten karta (junction to board) dirençlerine sahip olduğu için iki dirençli parça olarak tanımlanmıştır ve yaydıkları ısı miktarı eklenmiştir. Daha sonra ağ optimizasyonu yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

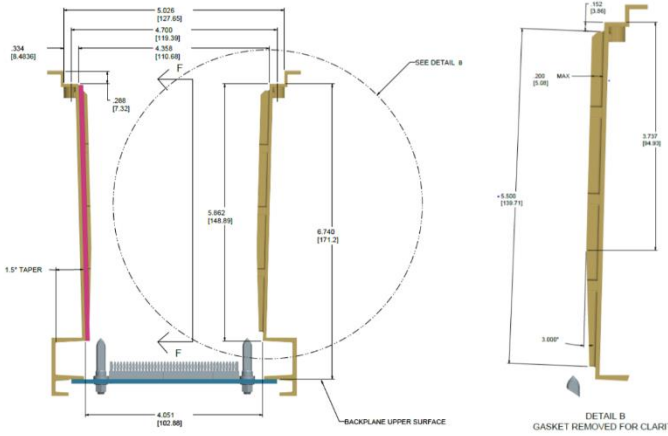
### İletim ile Soğutulan Kartın Isıl Analizi Farkları

Fiziksel özellikler olarak katılarda ısı iletimi ve yalnızca katılarda ısı iletimi seçimi yapılmıştır. Kartın dokümanında kart-kenar sıcaklığı 73°C olarak verilmektedir. Bu nedenle ısı, cihazın şasisine atılmasını sağlayacak olan kama kilitli kart tutucu ve plaka kenarları 73°C sabit sıcaklıkta analize girilmiştir.

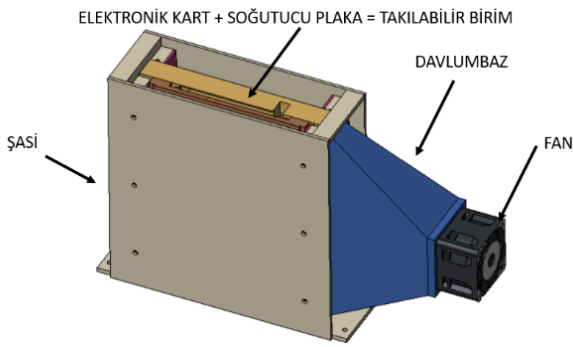
### Doğrudan Hava Akışı ile Soğutulan Kartın Isıl Analizi Farkları

Doğrudan hava akışı ile soğutma yöntemi için analizlere başlamadan önce takılabilir birimin yerleştirileceği bir şasi tasarımı yapılmıştır. Şasi için gerekli ölçüler VITA 48.8 standardında belirtilmektedir. Bu ölçüler Şekil 8'da gösterilmektedir. Kanatların arasına fan tarafından sağlanacak havanın geçişini sağlayan bir davlumbaz tasarımı yapılmıştır ve hepsi bir araya getirilerek test düzeneği hazırlanmıştır.



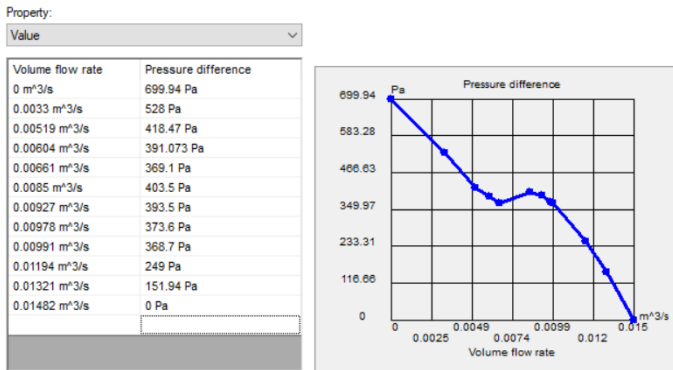


Şekil 8. Doğrudan hava ile soğutma yönteminde şasi ölçüleri [13]



Şekil 9. Doğrudan hava ile soğutma yönteminde test düzeneği

Basınç Ankara'daki yükseklik baz alınarak 93 kPa olarak belirlenmiştir. Şasi duvarlarında kullanılan ve sızdırmazlığı sağlayan contaların malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Analizde hava kanalının çıkış kısmına ise hava çıkışını kapatan yalıtkan malzeme tanımlanmıştır. Hava çıkışına da 93 kPa değer tanımlanmıştır. Kullanılacak olan eksenel fanın katalogta belirtilen çalışma aralığı verileri analize girilmiştir. Bu veriler Şekil 10'de gösterilmektedir.



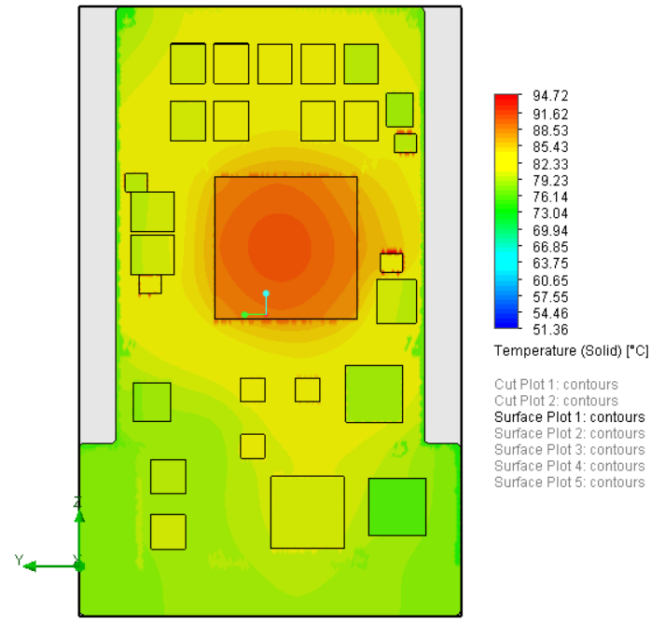
Şekil 10. Eksenel Fan grafiği

## VII. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

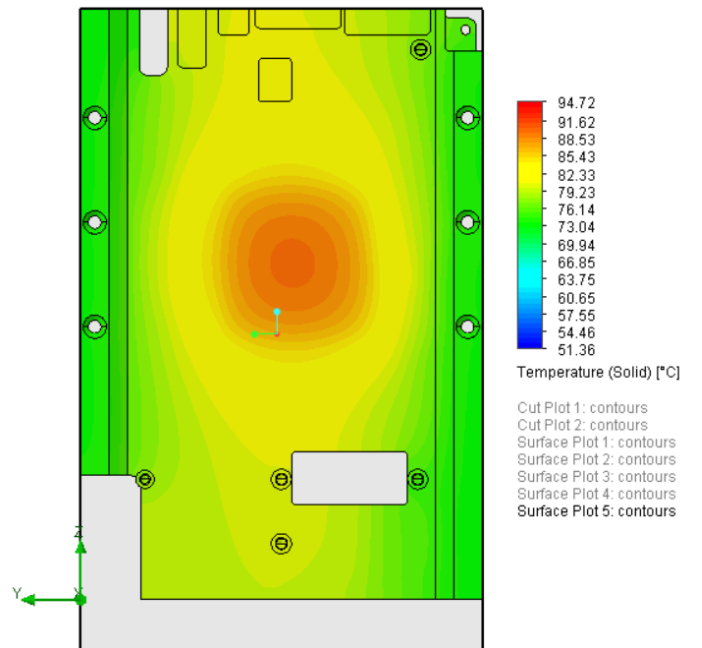
İletimle soğutma ve doğrudan hava akışı ile soğutma yöntemlerine yapılan analizler sonucunda elde edilen malzeme sıcaklıkları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Soğutma yöntemleri sonucunda bileşenlerin en yüksek sıcaklık değerleri

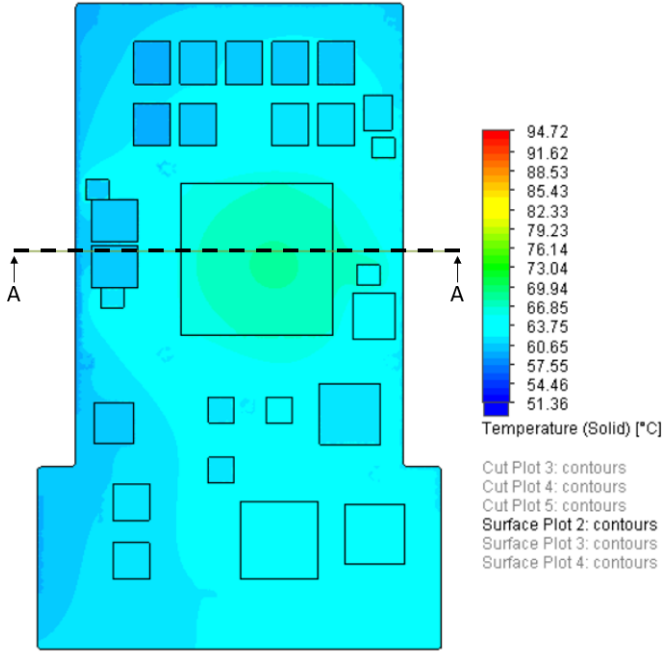
Bileşen Adı	Tiletim (°C)	T <sub>dhs</sub> (°C)	ΔT (°C)
M1	91	68	23
M2	79,1	64,7	14,4
M3	86,7	66,6	20,1
M4	83,3	66	17,3
M5	79,7	61,3	18,4
M6	83,9	66,6	17,3
M7	78,5	60,3	18,2
M8	94,7	68,6	26,1
M9	78,7	61,7	17
M10	80,6	63,4	17,2
M11	82,8	61,9	20,9
M12	76,4	61,8	14,6



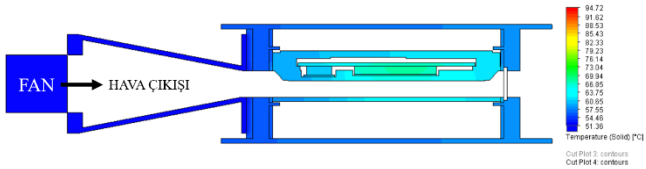
Şekil 11. İletimle soğutma yönteminde kart bileşenlerinin sıcaklık dağılımı



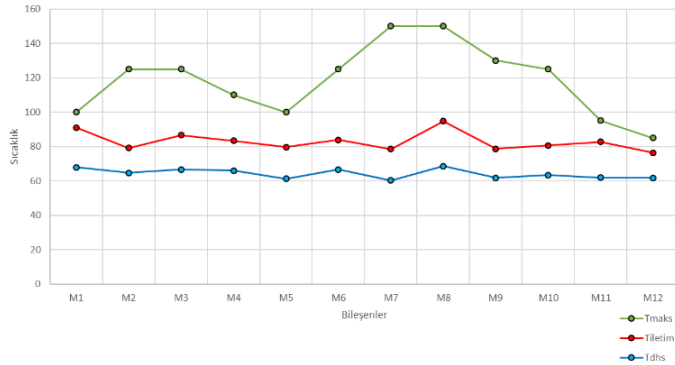
Şekil 12. İletimle soğutma yönteminde soğuk plaka sıcaklık dağılımı



Şekil 13. Doğrudan hava akışıyla soğutma yönteminde kart bileşenlerinin sıcaklık dağılımı



Şekil 14. Doğrudan hava akışıyla soğutma yönteminde soğuk plaka sıcaklık dağılımı (A-A kesiti)



Şekil 15. Bileşen sıcaklıklarının yöntemlere göre kıyaslanması

Bileşenlerin soğutulmasından sonra hesaplanan sıcaklık değerleri, bileşenlerin emniyetli bir şekilde çalışmasını sınırlandıran sıcaklık değerinin ( $T_{maks}$ ) altındadır. Ancak M1 bileşenin sıcaklığı iletimle soğutma yöntemi sonucunda 91°C ölçülmüştür. Güvenli çalışma sıcaklığı değerinden yalnızca 9°C düşük bir sıcaklık değerine sahiptir. Bu durum bileşenin ömrünün kısalmasına sebep olacaktır. Doğrudan hava ile soğutma yönteminde ise M1 bileşenin sıcaklığı 68°C ölçülmüştür. Güvenli çalışma sıcaklığı değerinden 32°C düşük bir sıcaklık değerine sahiptir. Bu durum bileşenin düşük sıcaklıkta daha uzun ömürlü ve daha verimli çalışmasına olanak sağlayacaktır.

Donald [15] çalışmasında, 21W ısı yayan güç ünitesini dolaylı hava soğutma yöntemi ile soğutmuştur ve cihaz üzerinde ölçülen en düşük sıcaklığın 61°C olduğunu gözlemlemiştir.

Diğer bir çalışmada BDK üzerinde bulunan 0,9W ısı yayan bileşeni doğrudan hava soğutma yöntemi ile soğutmuş ve yapılan ölçümler sonucunda en düşük sıcaklığın 91,4°C olduğunu tespit etmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak Donald doğrudan hava ile soğutma yöntemini kullandığı çalışmada, ısı yayıcılarla soğutmaya sağlamıştır. Hava doğrudan plaka içerisinden geçirilmediği için yeterli soğutma sağlanamamıştır. Dolaylı hava ile soğutma yönteminde ise 21W'lık ısı yayıcı kullanmasına rağmen 61°C sıcaklığın altına inememiştir. Bu çalışmada ise 45W ısı yayan bileşenin sıcaklığı 68°C olarak ölçülmüştür.

Tang ve arkadaşları [16] çalışmasında dolaylı hava ile soğutma yöntemini kullanarak 4 adet BDK'nın, her biri 8W, takıldığı şasinin kanatlar yardımıyla soğutulmasını incelemiştir. Şasinin soğutulması sonucunda hesaplanan en düşük sıcaklık 83,1°C'dir. Toplam yayılan ısının 32W olduğu düşünüldüğünde hava şasi üzerinden geçirildiği için yeterli soğutma sağlanamamıştır.

## VIII. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada baskı devre kartlarının soğutulmasına yönelik olan iletimle soğutma yöntemi ve doğrudan hava akışıyla soğutma yönteminin karşılaştırılması ele alınmıştır. Isıl analizler gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- İletimle soğutma yöntemi düşük güç yoğunluğuna sahip bileşenlerin soğutulmasında kullanılabilir.
- Yüksek güç yoğunluğuna sahip bileşenlerin soğutulmasında iletimle soğutma yöntemi yetersiz kalabilmektedir.
- 45W'lık en yüksek güç yoğunluğuna sahip M1 bileşeni, iletimle soğutma yönteminde 91°C ölçülmüştür. Bu bileşen doğrudan hava ile soğutulduğunda ise sıcaklık değeri 68°C ölçülmüştür.
- M1 bileşeni için her iki yöntemden elde edilen sıcaklıklar kıyaslandığında, iletimle soğutma yönteminde 9°C, doğrudan hava ile soğutma yönteminde ise 32°C güvenli çalışma sınır sıcaklığının altında kaldığı tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışma kapsamında destek sağlayan Harp Savunma Sistemleri San. ve Tic. AŞ'ye teşekkür etmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] A. Cengel Yunus, Heat transfer: a practical approach, in, McGraw-Hill New York, 2003.
- [2] X. Wei, Y. Joshi, M.K. Patterson, Experimental and numerical study of a stacked microchannel heat sink for liquid cooling of microelectronic devices, 129(10) (2007) 1432-1444.
- [3] G. Saha, S. Saha, M.Q. Islam, M.R. Akhanda, Natural convection in enclosure with discrete isothermal heating from below, 4(1) (2007) 1-13.
- [4] L. Yeh, Review of heat transfer technologies in electronic equipment, 117(4) (1995) 333-339.
- [5] M. Kılıç, Ş. Başkaya, Farklı geometride akış yönlendiriciler ve çarpan jet kullanarak yüksek ısı akılı bir yüzeyden olan ısı transferinin iyileştirilmesi, 32(3) (2017) 693-707.
- [6] M.K. Sung, I. Mudawar, Single-phase hybrid micro-channel/micro-jet impingement cooling, 51(17-18) (2008) 4342-4352.

- [7] G.A. Meyer IV, R.F. Coleman, Heat pipe cooling plate, in, Google Patents, 1989.
- [8] G. Zhou, J. Li, Z. Jia, Power-saving exploration for high-end ultra-slim laptop computers with miniature loop heat pipe cooling module, 239 (2019) 859-875.
- [9] G. Hetsroni, A. Mosyak, Z. Segal, Nonuniform temperature distribution in electronic devices cooled by flow in parallel microchannels, 24(1) (2001) 16-23.
- [10] A.A. Pasha, M.A. Raheem, N. Islam, K. Juhany, A. Mushtaq, S. Halkarni, CFD Study of Variable Property Effects on Laminar Micro-convective Heat Transfer, (2019) 1-12.
- [11] H. Chen, G. Li, J. Yang, F. Zhang, M. Liang, J. Ji, Experimental and Comparison Study on Two Solar Dish Systems with a High Concentration Ratio, 1-7.
- [12] VITA, ANSI/VITA 48.2-Mechanical Specifications for Microcomputers Using REDI Conduction Cooling Applied to VITA VPX in, VMEbus International Trade Association (VITA) Fountain Hills, 2010.
- [13] VITA, ANSI/VITA 48.8-Mechanical Standard for Electronic VPX Plug-in Modules Using Air Flow Through Cooling, in, VMEbus International Trade Association (VITA) United States of America - R1, 2017.
- [14] R.E. Simons, Estimating Parallel Plate-fin Heat Sink Pressure Drop, Electronics Cooling, 9 (2003).
- [15] D.C. Price, A review of selected thermal management solutions for military electronic systems, 26(1) (2003) 26-39.
- [16] L. Tang, Y.K. Joshi, Integrated thermal analysis of indirect air-cooled electronic chassis, 20(2) (1997) 103-110.