



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

FAZ DEĞİŞTİREN MADDE (FDM)-İLAVELİ ISI ALICILILARLA ELEKTRONİK EKİPMANLARIN SOĞUTULMASI: KONUM ETKİSİ

**MUSTAFA YUSUF YAZICI
METE AVCI
ORHAN AYDIN
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

FAZ DEĞİŞTİREN MADDE (FDM)-İLAVELİ ISI ALICILILARLA ELEKTRONİK EKİPMANLARIN SOĞUTULMASI: KONUM ETKİSİ

Cooling of Electronics using Phase Change Materials (PCM) Based-Heat Sink: Orientation Effect

Mustafa Yusuf YAZICI
Mete AVCI
Orhan AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada, kanatçıksız yapıya sahip bir ısı alıcının farklı eğim açılarındaki ($\theta=0^\circ$ ve 90°) termal davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Isı alıcının FDM ilaveli ve ilavesiz olmak üzere iki farklı durumu karşılaştırmalı olarak tek bir ısı yük altında test edilmiştir. Faz değıştiren madde olarak erime sıcaklık aralığı $34-37^\circ\text{C}$ olan n-eicosane kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, eğim açısının; FDM ilaveli durum için doğal taşınım hücrelerinin oluşumu ve dolayısıyla ısı alıcının kullanım süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve FDM ilavesiz durum için ise ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. FDM içerisindeki ısı transfer mekanizmasının daha net olarak anlaşılabilmesi amacıyla sonuçlar katı-sıvı ara yüzey görüntüleri ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: FDM-ilaveli ısı alıcı, Termal yönetim, Elektronik cihazların soğutulması

ABSTRACT

In this study, the thermal behavior of a heat sink without any fin is experimentally investigated for two different inclination angles of 0° and 90° . Two different cases of heat sink filled with and without PCM are tested comparatively under a constant heat load. n-eicosane with a melting temperature range of $34-37^\circ\text{C}$ is used as the phase change material. The results reveal that the inclination angle has a significant effect on the formation of natural convection currents and consequently on the usage time of the heat sink filled with PCM while it has a negligible effect for the case without PCM. Results are supported by solid-liquid interfaces to understand clearly phenomenon of heat transfer mechanism inside the PCM

Key Words: PCM-based heat sink, Thermal management, Electronics cooling

1. GİRİŞ

Elektronik cihazların gelişim süreci (minyatürize ve fonksiyonellik) ile birlikte, bu cihazlar yüksek güç üretiminin giderek artan bir potansiyeli haline gelmektedirler. Yüksek güç üretimi ile birlikte daha minyatürize hale gelen elektronik devrelerde üretilen ısı miktarı artmakta ve limit çalışma sıcaklıklarının ortaya çıkması söz konusu olabilmektedir. Bu durum ise sistem performansını ve verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple, termal yönetim, elektronik cihazların güvenliği ve güvenilirliği açısından oldukça önemli bir araştırma konusu haline gelmektedir. Herhangi bir elektronik cihazın güvenilirliğinin sıcaklığın kuvvetli bir fonksiyonu olduğu ve çalışma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak hata faktörünün logaritmik olarak arttığı bilinmektedir [1]. Sıcaklık faktörünün elektronik cihaz

performansı üzerindeki bu yönlü etkisi göz önüne alındığında etkin bir termal yönetim yönteminin gerekliliği, güvenilirlik, süreklilik ve kullanıcı konforu açısından oldukça önemlidir.

Termal yönetimin bir başka ifade ile soğutma yönteminin seçiminde dikkate alınması gereken faktörler: güç üretimi, çevre sıcaklığı, cihaz limit kullanım sıcaklığı (70-120°C), kullanılabilir hacim, maliyet, boyut, cihaz kullanım sıklığı, bakım gereksinimi, vb. şeklinde sıralanabilir. Elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan termal yönetim yöntemleri “aktif ve pasif ısı alıcılar” olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif yöntemler, fan ve pompa gibi ilave güç tüketilen makinalar kullanırken pasif yöntemler ise ilave bir güç tüketimine ihtiyaç duymadığı gibi herhangi bir hareket eden parça olmadığı için de daha güvenilirdir.

Elektronik cihazların soğutulmasında yaygın olarak kullanılan aktif yöntemler; boyut, güç tüketimi, ağırlık, gürültü ve görsellik yönünden taşınabilir cihazların (sürekli olarak çalışmayan) ve savunma sanayinde kullanılan elektronik ekipmanların (füze sistemleri, silah sistemleri, uydu sistemleri vb.) termal yönetimine uygun çözümler sunamamaktadır. Bu kapsamda, Faz Değiştiren Madde'nin (FDM) ilave edildiği ısı alıcıların (FDM ilaveli ısı alıcı) kullanıldığı pasif termal yönetim yöntemi, elektronik ekipmanın güvenilir daha uzun süreli kullanımına imkan sağlayabilecek önemli bir role sahiptir. Kullanımda organik FDM'lerin tercih edildiği dikkate alınacak olursa; yüksek ısı enerjisi depolama, faz dönüşümlerinde küçük hacimsel genleşme, toksit ve korozif olmama gibi avantajları bu maddelerin soğutma teknolojilerindeki tercih nedenleri olarak sıralanabilir. Bu termal yönetim sistemlerinde elektronik ekipman tarafında üretilen ısı, FDM-ilaveli bir ısı alıcı tarafından soğutulmaktadır. FDM'nin kullanıldığı pasif termal yönetim yöntemi, kesikli olarak (süreklilik oluşturmayan) çalışan bileşenlerin soğutulmasında, sıvı ve hava ile soğutma metodlarına göre daha fazla ısıyı uzaklaştırma kapasitesine sahip olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur [2]. Bu pasif soğutma yönteminin en büyük dezavantajı ise FDM içerisinde termal direncin yüksek olmasıdır (düşük ısı iletim katsayısı). Yapılan çalışmalar bu problemin kısmen de olsa giderilmesine yönelik olup farklı ısı alıcı tasarımlarının geliştirilmesine (geometrik düzenleme, kanatçık ilavesi, nano partikül ilavesi, metal matris vb. kullanımı) imkan sağlamaktadır.

FDM-ilaveli ısı alıcıların kullanıldığı pasif yöntemler, son on yılda öncelikli araştırma konularının başında gelmektedir. Literatürde araştırma konusuyla doğrudan ilgili (konum etkisi) olan çalışmalar aşağıda özet olarak verilmiştir.

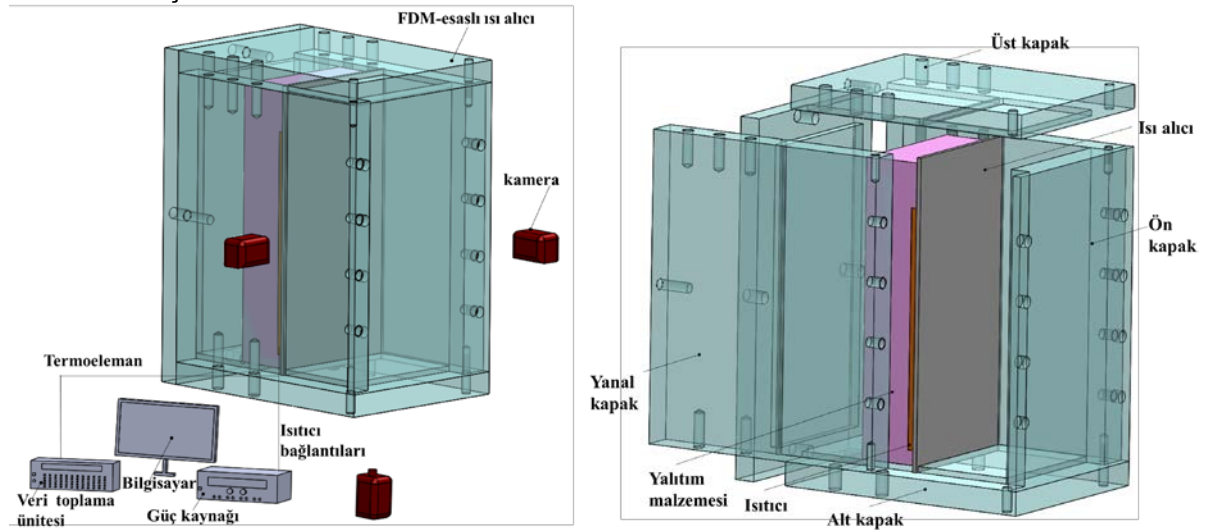
Dikdörtgen bir prizma içerisindeki FDM'nin erime davranışını konu alan öncü deneysel çalışmalardan biri, Zhang ve Bejan [3] tarafından gerçekleştirilmiştir. Benzer bir deneysel çalışma, sabit ısı akısı ısı sınır koşulu için Pal ve Joshi [4] tarafından yapılmış ve sayısal olarak da desteklenmiştir. Çalışmanın en önemli çıktısı; erime sürecinin başlangıcında etkin olan iletim mekanizmasının ilerleyen süreçte yerini doğal taşınımına terk etmesi olarak tanımlanmıştır. Wang vd. [5], FDM-esaslı levha tip kanatçık geometrisine sahip bir ısı alıcının farklı konum açılarında ($\Theta = 0, 45, 90, 135$ ve 180°) ısı davranışını sayısal olarak incelemiştir. Araştırmacılar, konum açısındaki değişiminin FDM'nin erime sürecinin tamamlanmasında önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır. Bir diğer çalışmalarında ise, Wang vd. [6], aynı problemin kapsamını farklı FDM hacimsel oranı, sıcaklık farkı, en/boy oranı ve FDM için genişletmiştir. FDM miktarındaki artışın sıvı FDM içerisindeki doğal taşınım mekanizmasını iyileştirdiğini, sıcaklık farkındaki artış ile daha kısa erime sürelerine ulaşıldığını ve en/boy oranındaki artışın FDM miktarına bağlı olarak erime süresinin arttığını belirlemişlerdir. Kandamasy vd. [7, 8], farklı FDM-esaslı ısı alıcı geometrileri (levha kanatçık ve kanatçiksiz) için konum açısı ve ısı yüklemeye etkilerini sayısal ve deneysel olarak araştırmıştır. Benzer etkilerin incelendiği çalışmalar, Shen ve Tan [9] ve Fok vd. [10] tarafından yapılmış olup ısı alıcının konum (yatay, dikey, eğimli) etkisi şarj ve deşarj durumu için test edilmiştir. Konum etkisinin soğutma performansı üzerindeki etkisinin düşük düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Wang ve Yang [11] tarafından yapılan çalışmada, farklı kanatçık sayılarına (0, 3, 6) sahip ısı alıcıların soğutma performansı sayısal olarak incelenmiştir. Kanatçık sayısı, yüklemeye durumu ve ısı alıcı konumu araştırma parametreleri olarak dikkate alınmıştır. Artan kanatçık sayısı ile ısıtıcı yüzey sıcaklıklarının azaldığı, ısı alıcı konumunun ise erime sürecinde sınırlı etkiye sahip olduğu ortaya konmuştur. Baby ve Balaji [12-16], ısı yüklemeye, kanatçık geometrisi (levha ve iğne kanatçık), metal gözenekli yapı kullanımı, FDM miktarı ve ısı alıcı konumunun, ısı alıcı performansına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Babak vd. [17], kapalı ortam içerisindeki faz değiştiren maddenin erime sürecindeki dinamik termal davranışını sabit yüzey sıcaklığı sınır koşulu altında farklı konum açıları için deneysel olarak incelemiştir. Konuma bağlı olarak erime sürelerinin ve erime yüzey görüntülerinin değiştiğini belirtmişlerdir. Yatay konum için erime sürelerinin iyileştiğini açıklamışlardır.

Bu çalışmada, sabit ısı akısı uygulanan kanatçıksız yapıya sahip FDM ilavesiz ve FDM ilaveli ısı alıcıların termal performansı deneysel olarak incelenmiştir. Isı alıcının açısal konumu (θ) araştırma parametresi olarak seçilmiş ve iki farklı açısal konum ($\theta=0^\circ$ (dikey konum) ve $\theta=90^\circ$ (yatay konum)) için deneysel çalışmalar yapılmıştır. FDM-ilavesiz ve FDM-ilaveli ısı alıcı durumlarına ait yerel sıcaklık dağılımları ve FDM ilaveli düzenleme için erime yüzey görüntüleri sunulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. DENEY DÜZENİĞİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Deneysel düzeneğine ait şematik resim, Şekil 2'de verilmiştir. Deneysel düzeneği; test bölgesi, açısal konum ayar platformu, veri toplama sistemi ve görüntü işleme sistemi (kamera) olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 2. Deneysel düzeneği: şematik gösterimi (a), test bölgesi bileşenleri(b)

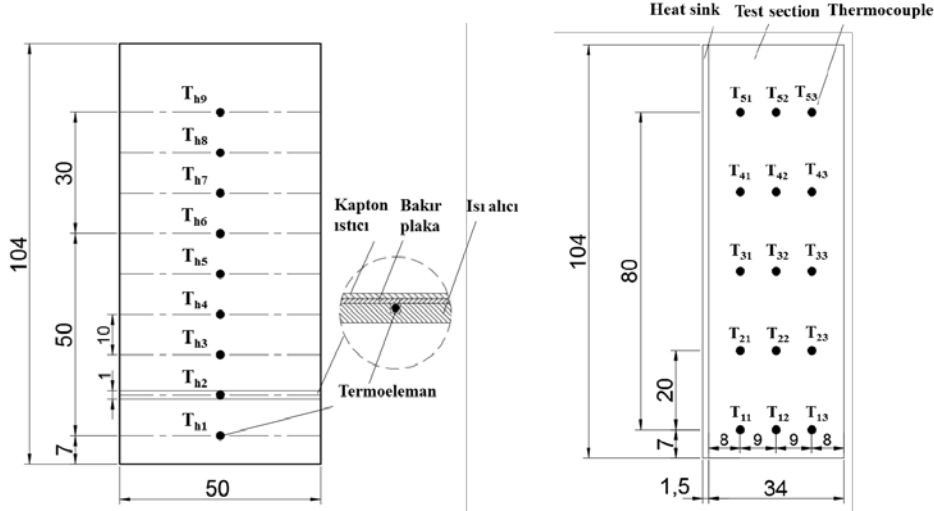
Test bölgesi; ısı alıcı ve sınırlayıcı yüzeylerden (kapak) oluşan, 48 x 100 x 34 mm iç boyutlara sahip kapalı bir dikdörtgen prizma formuna sahiptir. Isı alıcı ve sınırlayıcı diğer yüzeylerin demontaj resimleri Şekil 2b'de verilmektedir. 1,5 mm kalınlığındaki Al6082-T6 alaşımından yapılmış geniş yan yüzey ısı alıcı görevini üstlenmektedir. Sınırlayıcı diğer yüzeylerde ise, çevreye olan ısı kaybının minimize edilmesi ve görüntülemeye imkan sunması amacıyla düşük ısı iletim katsayısı ($k=0.21 \text{ W/mK}$) ve yüksek ışık geçirgenliğine sahip polikarbonat malzeme tercih edilmiştir. Isı alıcı ve sınırlayıcı yüzeylerin montajı birleşme yüzeylerinde sıvı conta kullanımı ve vidalı bağlantılar ile gerçekleştirilmiştir. Isı alıcıya uygulanacak ısısal güç, ısı alıcı arka yüzeyine yapıştırılan 48 mm x 80 mm boyutlarındaki esnek bir ısıtıcı ile sağlanmıştır. Isıtıcıların beslenmesinde yüksek hassasiyete sahip ($\pm 0.25\%$) 4 kanallı GW Instek DC güç kaynağı kullanılmıştır. Isı alıcıya uygulanacak güç değeri, taşınabilir elektronik cihazların çalışma koşullarına aralığına uygun olarak 12 W seçilmiştir.

Isıl performansın değerlendirilmesine yönelik olarak, ısı alıcı arka yüzeyinde (ısıtıcı yüzeyinde) ve kapalı hacim içerisinde toplam 24 istasyonda yerel sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde 0.01 inç çaplı, elektriksel izolasyonu sağlanmış ve %0.4'lük limit hata oranına sahip T-tipi teflon izoleli termoeleman çiftleri kullanılmıştır.

Isı alıcı arka yüzeyinde yer alan termoeleman çiftleri, ilgili yüzey üzerine açılan 1x1 mm'lik 9 adet kanal içerisine yüksek ısısal iletkenliğe sahip termal macun (Omega Therm) kullanımıyla sabitlenmiştir. Örnek yerleşim planı, Şekil 3'te şematik olarak verilmektedir. Kapalı hacim içerisindeki sıcaklık ölçümleri ise simetri düzlemine yerleştirilen termoelemanlar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm sıcaklık ölçümleri

Keithly 2700 integra serisi veri derleme cihazı kullanılarak 10 saniye zaman adım aralıklarında gerçekleştirilmiştir.

Isı alıcının farklı iki açısıl konumdaki ($\theta=0^\circ$ ve 90°) termal davranışı, kapalı hacmin FDM ilaveli ve FDM ilavesiz durumları için incelenmiştir. FDM olarak erime sıcaklık aralığı $34-37^\circ\text{C}$ olan organik parafin (n-eicosane) kullanılmıştır. İlgili organik FDM'ye ait termofiziksel özellikler Tablo 1'de verilmektedir. FDM'nin katı-sıvı faz dönüşümü sırasında meydana gelecek maksimum hacimsel genişleme miktarı dikkate alınarak; deneylerde kullanılacak FDM miktarı, 107 gr olarak belirlenmiştir. Olası taşma problemlerine karşın, toplam kapalı hacimde % 15'lük bir hava boşluğu bırakılmıştır.



Şekil 3. Termoeleman yerleşimi: ısı alıcı arka yüzey (a); Test bölgesi (b)

Tablo 1. N-eicosane'ye ait termofiziksel özellikler

Kimyasal gösterimi	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$
Erime sıcaklık aralığı, $^\circ\text{C}$	34-37
Yoğunluk, kg/m^3	840 (katı), 770 (sıvı)
Gizli ısı, kJ/kg	241
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0.39 (katı), 0.157 (sıvı)

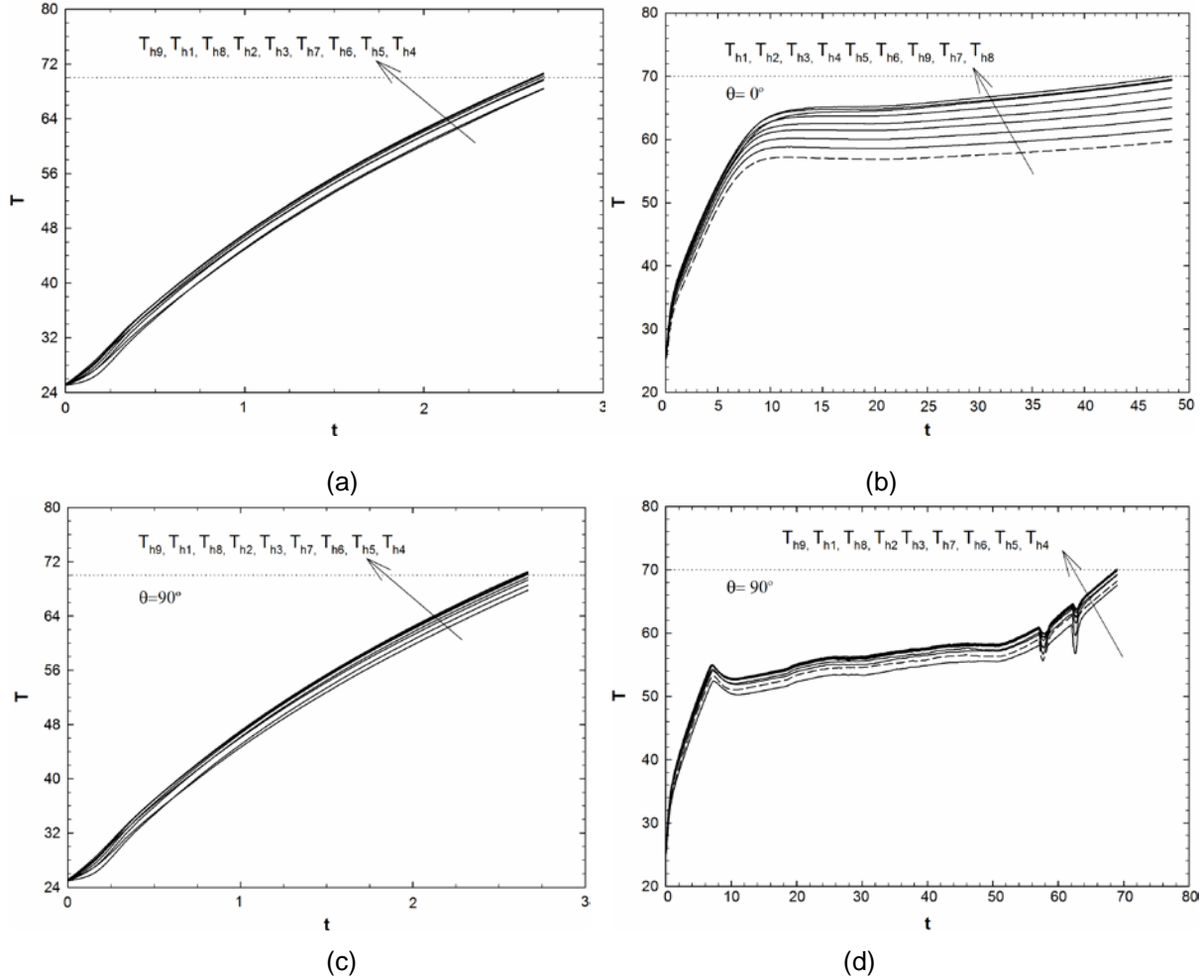
Isı alıcının açısıl konumu, konum ayar platformuyla sağlanmaktadır. Erime yüzey görüntüleri, bu platforma entegre edilmiş yüksek çözünürlüklü 3 adet CCD dijital kameralar ile üçer dakikalık zaman adımlarında kayıt altına alınmıştır.

Deneyler ortam sıcaklığının 25°C olduğu şartlandırılmış bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Her bir konum ve FDM durumu için deneyler, test bölgesi içerisindeki tüm termoeleman sıcaklıklarının ortam sıcaklığı ile dengeye geldiği anda başlatılmış ve maksimum ısıtıcı yüzeyi sıcaklığı 70°C 'a ulaştığı anda deneyler sonlandırılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME

Bu çalışmada, kanatçıksız yapıya sahip bir ısı alıcının farklı açısıl konumlardaki ($\theta=0^\circ$ ve 90°) termal davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Isı aktarılan ortamın FDM ilaveli ve ilavesiz olmak üzere iki farklı durumu karşılaştırmalı olarak tek bir ısı güç yükleme durumu için test edilmiştir. Termal performansın değerlendirilmesinde kritik ısıtıcı yüzey sıcaklığı 70°C olarak seçilmiştir. Isı geçişinde etkin rol oynayan fiziksel mekanizmaların belirlenmesine yönelik olarak farklı yerel istasyonlardan sıcaklık ölçümleri ve katı-sıvı erime yüzey görüntüleri sunulmuştur.

FDM ilavesiz ve ilaveli ısı alıcı durumlarına ait ısıtıcı yüzey sıcaklıklarının zaman bağımlı değişimleri $\theta=0^\circ$ ve 90° için, sırasıyla, Şekil 4 a-d'de verilmektedir. Genel karakter olarak, ısıtıcı yüzey sıcaklıklarının, konum açısından bağımsız olarak FDM ilavesiz durum için sürekli bir artış sergilediği; FDM ilaveli durum için ise, artış eğiliminin 8. dakikadan sonra azaldığı görülmektedir. FDM ilaveli durum için ortaya çıkan bu davranış, FDM'nin faz dönüşümü sırasındaki yüksek ısı depolama kabiliyeti ve erime süreci ile birlikte aktif hale geçen doğal taşınım mekanizmasının bir sonucudur. Şekil 4a ve 4c incelendiğinde, ısıtıcı yerel yüzey sıcaklıklarının FDM ilavesiz durum için konum açısından bağımsız olarak, uygulanan ısı yüklemeye karşı yaklaşık aynı cevabı verdiği görülmektedir. Bu durum, ısı alıcı (AI) içerisinde gerçekleşen iletimle ısı transferinin ısı alıcı yüzeyi ve hava arasında gerçekleşen doğal taşınımına kıyasla daha baskın olması ile ilişkilidir.

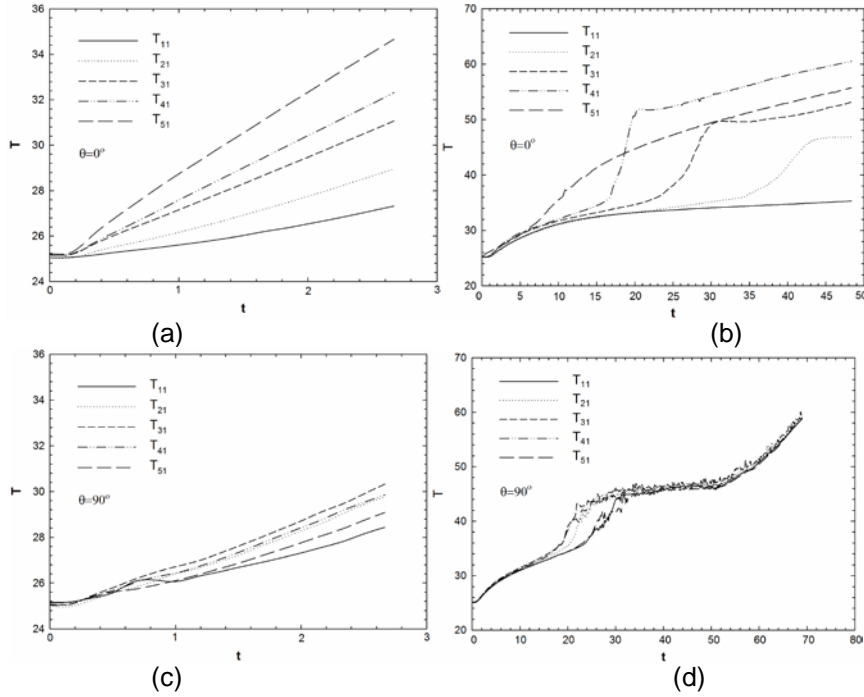


Şekil 4. Isıtıcı yüzey üzerindeki farklı noktalara ait yerel sıcaklık değişimleri: $\theta=0^\circ$, FDM-ilavesiz ısı alıcı (a), FDM-ilaveli ısı alıcı (b); $\theta=90^\circ$, FDM-ilavesiz ısı alıcı (c), FDM-ilaveli ısı alıcı (d)

FDM ilaveli ısı alıcı durumunda ise; ısıtıcı yerel yüzey sıcaklıklarının, FDM ilavesiz ısı alıcı durumuna kıyasla önemli farklar göstermektedir. Dikey konumlandırma ($\theta=0^\circ$) için, ısı alıcının en alt ve en üst bölgesinde sıcaklık farkı yaklaşık 10°C düzeyine ulaşmaktadır. Bu davranış, aynı ısı akısı için, ısı transfer edilen ortamın yerel olarak ısı geçişine verdiği cevapla ilişkilidir. Isı geçiş sürecinin ilk periyodunda (< 8 d), ısı transfer edilen ortam (FDM) katı fazda olup; ısı geçişine karşı yerel olarak aynı cevabı vermekte ve bunun sonucu olarak yerel sıcaklıklar yaklaşık olarak aynı değeri almaktadır. İlerleyen süreçte ise, katı-sıvı faz dönüşümü gerçekleşmekte ve bünyesinde yüksek oranda ısı enerjisi barındıran sıvı faz kapalı ortam içerisinde yerel olarak yukarı yönlü yer değiştirmektedir. Daha yalın bir ifadeyle, ısı alıcı ortam içerisinde doğal taşınım mekanizması aktif hale gelmektedir. Bunun sonucu olarak ısı alıcı yüzeyi yukarı yönlü olarak daha sıcak bir ortamla etkileşime maruz kalmaktadır. Isı transferindeki sürücü potansiyelin yüzey ve ortam arasındaki sıcaklık farkı olduğu hatırlanacak olursa,

sabit ısı geçişi için ısı alıcının yerel olarak daha yüksek yüzey sıcaklıklarına ulaşacağı açıktır. Yatay konum için ise ($\theta=90^\circ$), ısı alıcı yüzey sıcaklıklarının yerel olarak küçük farklar içerdiği görülmektedir (Şekil 4b). Yüzey sıcaklıklarındaki bu eş dağılım, ısı alıcı komşuluğundaki FDM'nin üniform erime davranışı ile ilişkilidir.

Sınırlandırılmış bölge içerisinde, birinci yerel hat üzerindeki (T_{a1}) sıcaklık değişimleri, Şekil 5'te verilmektedir. Dikey konumlandırılmaya ait ($\theta=0^\circ$) ait grafikler incelendiğinde (Şekil 5a ve 5b), her iki durum için de sınırlandırılmış bölgenin üst yarısında yerel sıcaklıkların alt bölgeye kıyasla daha yüksek değerler aldığı görülmektedir.



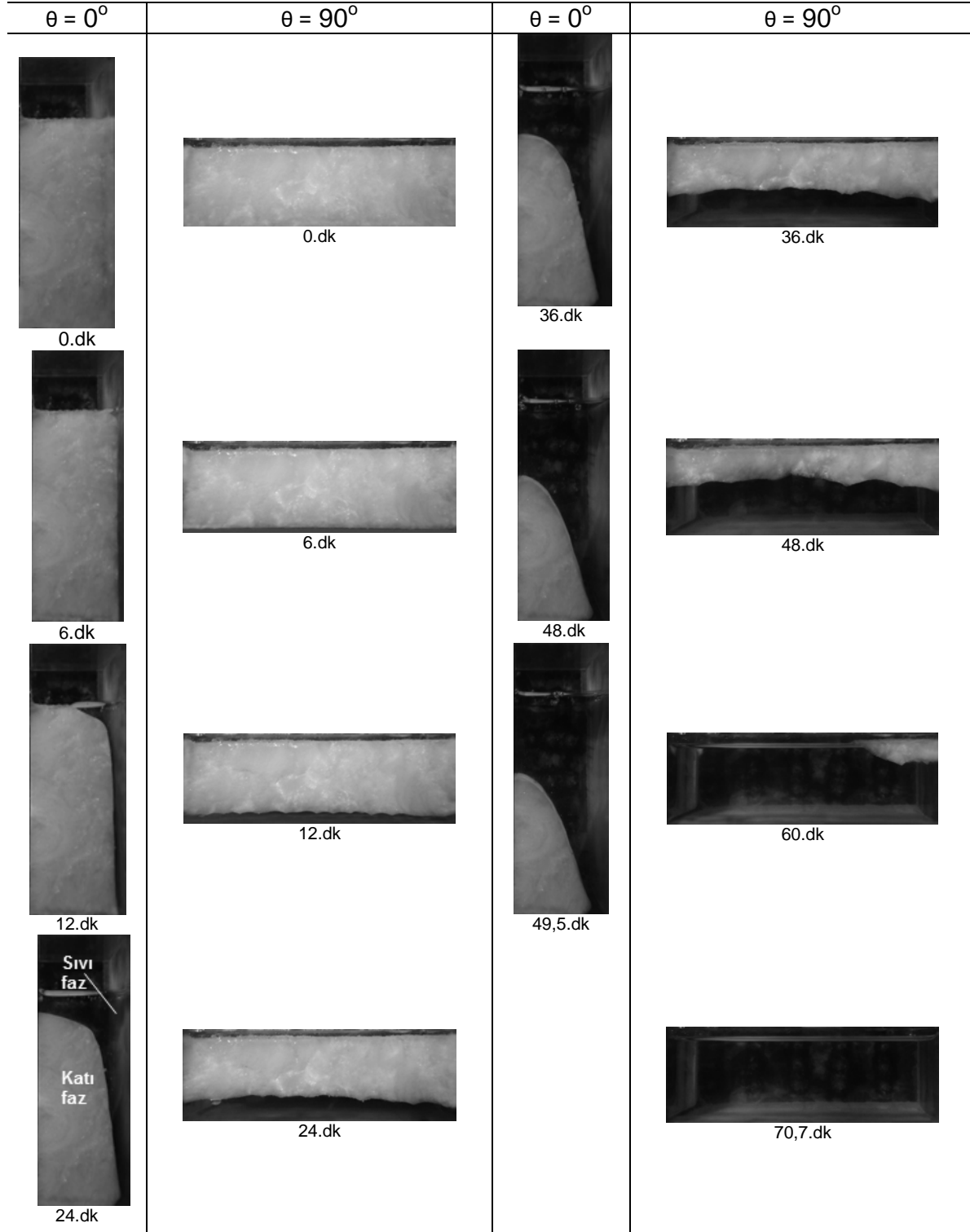
Şekil 5. 1.yerel bir noktaya ait (T_{a1}) sıcaklık değişimleri: $\theta=0^\circ$, FDM-ilavesiz ısı alıcı (a), FDM-ilaveli ısı alıcı (b); $\theta=90^\circ$, FDM-ilavesiz ısı alıcı (c), FDM-ilaveli ısı alıcı (d)

Bu durum, akışkan yoğunluğun sıcaklığın artışına bağlı olarak azalması sonucu ortaya çıkan yukarı yönlü kaldırma kuvvetlerinin sıcak akışkanı üst kısımlara taşımalarının, daha yalın bir ifadeyle doğal taşınım mekanizmasının bir sonucudur. Yatay konumlandırma ($\theta=0^\circ$) için ise (Şekil 5c ve 5d), yerel sıcaklık değişimlerinin birbirine yakın değerler aldığı, bir başka ifadeyle doğal taşınım hücrelerinin mevcut durum için ısı alıcı boyunca üniform bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır.

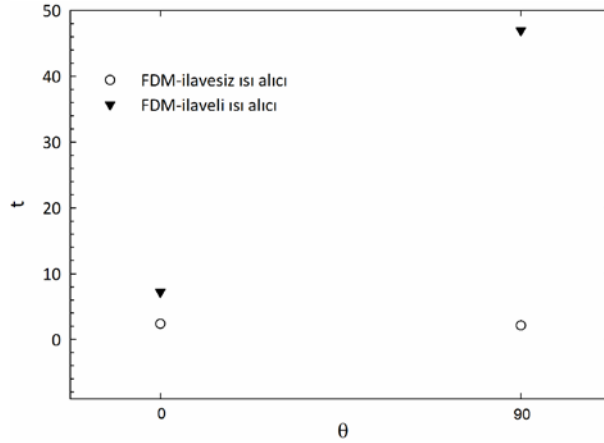
Problemde etkili olan ısı transfer mekanizmasının daha net bir şekilde anlaşılması için, kritik sıcaklığa ulaşma süresine daha başarılı cevap veren FDM ilaveli ısı alıcının yatay ve dikey konumlandırmasına ait erime yüzey görüntüleri Şekil 6'da verilmektedir. Dikey konumlandırma için ($\theta=0^\circ$), ısı geçiş sürecinin ilk periyodunda katı-sıvı faz ara yüzünün üniform bir ilerleme gösterdiği ($<12d$), ilerleyen süreçte ise ilerlemenin yukarı yönlü genişleyen bir karaktere büründüğü görülmektedir. Bu davranış yukarıdaki bölümlerde kapsamlı bir şekilde irdelenen doğal taşınım mekanizmasının bir sonucudur. İlgili konumlandırılmaya ait kritik sıcaklık değeri dikkate alındığında, sınırlandırılmış bölge içerisinde katı-sıvı faz dönüşümünü tamamlamayan FDM'nin varlığı göze çarpmaktadır. Bu durum, ısı alma sürecinde FDM'den tam olarak yararlanılamadığını göstermektedir. Yatay konumlandırma ($\theta=90^\circ$) için ise, ısı geçiş süreci boyunca katı-sıvı ara yüzünün üniform bir ilerleme davranışı sergilediği ve tüm FDM'nin ısı alma sürecine katıldığı açıkça görülmektedir.

FDM ilaveli ve ilavesiz ısı alıcılara ait limit sıcaklığa ulaşma süreleri, farkı konum açıları için karşılaştırmalı olarak Şekil 7'de verilmektedir. Grafik dikkatle incelendiğinde, FDM ilavesiz durum için ilgili sürelerin konumdan bağımsız ve 2,7 dk düzeyinde olduğu görülmektedir. FDM ilaveli durum için ise limit sıcaklığa ulaşma sürelerinin FDM ilavesiz duruma kıyasla yüksek değerler aldığı ve açılal

konumuna bağlı olarak $\theta = 0^\circ$ ve 90° için ilgili sürelerin sırasıyla 49,5 d ve 70,7d değerlerine ulaştığı görülmektedir. Sürelerde meydana gelen bu önemli artış, FDM'nin sahip olduğu yüksek gizli ısı depolama kapasitesiyle ilişkilidir. FDM ilaveli ısı alıcı, açısız konuma bağlı olarak kendi içinde değerlendirildiğinde ise, yatay konumlandırmanın dikey konumlandırmaya kıyasla % 42,8 daha uzun çalışma sürelerine izin verdiği görülmektedir. Bu davranış, Şekil 6'da görüldüğü üzere, yatay konumlandırma için FDM'nin tamamıyla ısı alma sürecinde rol almasıyla ilişkilidir.



Şekil 6. Erime yüzey görüntüleri



Şekil 7. konum etkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kanatçiksız yapıya sahip bir ısı alıcının farklı açısal konumlardaki ($\theta=0^\circ$ ve 90°) termal performansı, FDM ilaveli ve ilavesiz durumlar için deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular özet halinde aşağıda verilmiştir.

- Isı aktarılan ortamın termofiziksel özellikleri, ısı alıcı performansı üzerinde etkin rol oynamaktadır. FDM ilavesi, ısı alıcı performansını önemli düzeyde iyileştirmektedir.
- FDM ilavesiz ısı alıcı durumuna ait çalışma süreleri, açısal konumdan bağımsızdır.
- FDM ilaveli ısı alıcıların termal performansı, açısal konumuna bağlı olarak önemli düzeyde değişmektedir. Önerilen çalışma koşulları için dikey konumlandırma ($\theta=90^\circ$), daha uzun çalışma sürelerine imkan sağlamaktadır.
- Doğal taşınım mekanizması, FDM ilaveli ısı alıcıların ısıl performansı üzerinde belirleyici role sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] CENGEL, Y.A. 2010. Heat Transfer-A Practical Approach, New York: McGraww Hill.
- [2] FARAJI, M., EL QARNIA, H. 2009. "Passive cooling of protruding electronic components by latent heat of fusion storage", Journal of Electronic Packaging, 31, 1-10.
- [3] ZHANG, Z., BEJAN, A. 1989. "Melting in an enclosure at constant rate", Int. J. Heat and Mass Transfer, 32, 1063-1076.
- [4] PAL, D., JOSHI, Y.K. 2001. "Melting in a side heated tall enclosure by a uniformly dissipating heat source", Internatinional Journal of Heat and Mass Transfer, 44, 375-387.
- [5] WANG, X.Q., MUJUMDAR, A.S., YAP, C. 2007. "Effect of orientation for phase change material (PCM)-based heat sinks for transient thermal management of electric components", International Communications in Heat and Mass Transfer, 34, 801-808.
- [6] WANG, X.Q., YAP, C., MUJUMDAR, A.S. 2008. "A parametric study of phase change material (PCM)-based heat sinks", Internal Journal of Thermal Sciences, 47, 1055-1068.
- [7] KANDASAMY R., WANG X.Q, MUJUMDAR, A.S. 2008. "Transient cooling of electronics using phase change material (pcm)-based heat sinks", Applied Thermal Engineering, 28, 1047-1057.
- [8] KANDASAMY, R., WANG, X.Q., MUJUMDAR, A.S. 2007. "Application of phase change materials in thermal management of electronics", Applied Thermal Engineering, 27, 2822-2832.
- [9] SHEN, W., TAN, F.L. 2010. "Thermal management of mobile devices", Thermal Science, 14, 115-124.



- [10] FOK, S.C., SHEN, W., TAN, F.L. 2010. "Cooling of portable hand-held electronic devices using phase change materials in finned heat sinks", *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 109-117.
- [11] YANG, Y.T., WANG, Y.H. 2012. "Numerical simulation of three dimensional transient cooling application on a portable electronic device using PCM in multi-fin heat sink", *International Journal of Thermal Sciences*, 51, 155-162.
- [12] BABY, R., BALAJI, C. 2012. "Experimental investigations on phase change material based finned heat sinks for electronic equipment cooling", *Int.J.Heat and Mass Transfer*, 55, 1642-1649.
- [13] BABY, R., BALAJI, C. 2013a. "Thermal optimization of pcm based pin fin heat sinks:an experimental study", *Applied Thermal Engineering*, 54, 65-77.
- [14] BABY, R., BALAJI, C. 2013b. "Experimental investigations on thermal performance enhancement and effect of orientation on porous matrix filled pcm based heat sink", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 46, 27-30.
- [15] BABY, R., BALAJI, C. 2013c. "A neural network-based optimization of thermal performance of phase change material-based finned heat sinks-an experimental study", *Experimental Heat Transfer*, 26, 431-452.
- [16] BABY, R., BALAJI, C. 2014. "Thermal performance of a pcm heat sink under different heat loads: an experimental study", *International Journal of Thermal Sciences*, 79, 240-249.
- [17] KAMKARI, B., SHOKOUHMAND, H., BRUNO, F., 2014 "Experimental investigation of the effect of inclination angle on convection-driven melting of phase change material in a rectangular enclosure", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 72, 186-200.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Yusuf YAZICI

1986 yılı Ankara doğumludur. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü, 2011 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2012 yılında Yüksek Mühendis ünvanı almıştır. 2011 Yılından beri Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Isı transferi, Termodinamik, Enerji depolama teknolojileri konularında çalışmaktadır.

Mete AVCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Mikrokanallarda ısı ve kütle transferi, ısıl enerji depolama, Newtonumsu olmayan akışkanlar dinamiği ve gözenekli ortamlarda aktarım konularında çalışmaktadır

Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyesidir. Yüze yakın uluslararası saygın dergide yayınlanmış makalesi, uluslararası saygın bir yayınevi tarafından basılan bir kitap bölümü, çok sayıda yurtiçi ve yurtdışı bildirisi mevcuttur.