



Experimental and numerical studies on improvement of heat transfer of OLED TVs

Metin Nil^{1*}, Yavuz Öztürk², Mehmet Bahattin Akgül³, Gözde Sarı³

¹Vestel Electronics, 45030, Manisa, Turkey

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Ege University, 35100, Izmir, Turkey

³Department of Mechanical Engineering, Manisa Celal Bayar University, 45140, Manisa, Turkey

Highlights:

- OLED passive cooling
- OLED active cooling
- Synthetic jet

Keywords:

- Passive/Active Cooling
- Synthetic jet
- Experimental/Numerical Analysis

Article Info:

Research Article

Received: 15.02.2018

Accepted: 20.09.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460533

Acknowledgement:

This study supported by TÜBİTAK (Project number: 3130324) and Vestel Electronics R&D Dept.

Correspondence:

Author: Metin Nil

e-mail: metin.nil@vestel.com.tr

phone: +90 236 233 0131

Graphical/Tabular Abstract

Organic light emitting diodes are very sensitive to temperature. For this reason, the heat emitted from the diodes must be removed quickly from the environment. The study consists of two parts. In the first part, the use of an effective heat spreader between the screen and the metal casing is proposed as a mechanism for improving the temperature distributions for heat transfer. Pyrolytic graphite plate and tempered pyrolytic graphite plate were used as heat spreader. The graphical heat transfer coefficients of the graphite plates are considerably higher than in the normal direction. As an example model, OLED TV was selected in 15 "dimensions and both experimental and numerical thermal analyzes were performed. The temperature distributions of the OLED were obtained with the help of the ANSYS ICEPAK program, a commercial code that uses the finite volume method. Simulation and test results are obtained very close to each other. The thermal management contributions of OLED TVs using different thicknesses of pyrolytic and tempered pyrolytic graphite plates are presented experimentally and numerically. In the second part, a dual action piezo fan design is proposed. The design parameters of the piezo fan were determined and the numerical analyzes for these parameters were made with the Comsol Multiphysics program. Experimental measurements were made for design dimensions determined by numerical analysis. The result is that the use of a dual-acting piezo provides more efficient cooling than the existing synthetic jets.

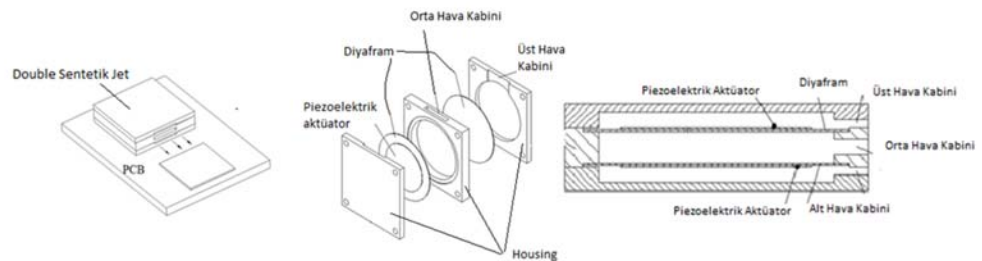


Figure A. Design of double-acting synthetic jet a) assembly drawing b) de-mounting image c) sectional view

Purpose: In this study, the thermal behaviors of organic light emitting diodes (OLED) televisions are investigated experimentally and numerically.

Theory and Methods:

The design parameters of the piezo fan were determined and the numerical analyzes for these parameters were made with the Comsol Multiphysics program. Experimental measurements were made for design dimensions determined by numerical analysis.

Results:

Thermal management of OLED TV by performing numerical and experimental analysis of passive and active cooling is presented in two parts. For example, a different thickness pyrolytic graphite plate and annealed pyrolytic graphite plate were proposed as an effective heat spreader between the screen and metal case for improving heat transfer. In the second part, double effective piezo fan design was proposed. Design parameters of piezo fan were determined and experimental studies were carried out. It has been concluded that the use of double effective piezo makes cooling more efficient than the current synthetic jet.

Conclusion:

The result is that the use of a dual-acting piezo provides more efficient cooling than the existing synthetic jets.



OLED TV'lerin ısı transferinin iyileştirilmesi üzerine deneysel ve nümerik çalışmalar

Metin Nil^{1*}, Yavuz Öztürk², Mehmet Bahattin Akgül³, Gözde Sarı³

¹Vestel Elektronik, 45030, Manisa, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye

³Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, 45140, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- OLED TV pasif ve aktif soğutma
- Piezofan ve sentetik jet
- Deneysel ve nümerik analizler

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.02.2018

Kabul: 19.04.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460533

Anahtar Kelimeler:

OLED TV pasif soğutma,
OLED TV aktif soğutma,
sentetik jet,
nümerik analiz,
deneysel analiz

ÖZET

Bu çalışmada organik ışık yayan diyot (OLED) televizyonların ısı davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Organik ışık yayan diyotlar sıcaklığa karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle diyotlardan yayılan ısının ortamdan hızlı bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda ısı transferi için sıcaklık dağılımlarını iyileştirme mekanizması olarak ekran ve metal kasa arasında etkin bir ısı yayıcı kullanımı önerilmiştir. Isı yayıcı olarak pirolitik grafit plaka ve tavllanmış pirolitik grafit plaka kullanılmıştır. Grafit plakaların düzlemsel ısı iletim katsayıları normal doğrultudakine kıyasla oldukça yüksektir. Önerilen bu mekanizmalarının etkinliği simülasyon ile gösterilmiştir. Örnek model olarak 15" boyutlarında OLED TV seçilmiş ve hem deneysel hem de nümerik olarak termal analizleri yapılmıştır. OLED'e ait sıcaklık dağılımları sonlu hacimler metodunu kullanan ticari bir kod olan ANSYS ICEPAK programı yardımı ile elde edilmiştir. Simülasyon ve deney sonuçları birbirine çok yakın elde edilmiştir. Farklı kalınlıkta pirolitik ve tavllanmış pirolitik grafit plaka kullanılarak OLED TV'lerin ısı yönetimine katkıları deneysel ve nümerik olarak sunulmuştur. İkinci kısımda çift etkili piezo fan tasarımı önerilmiştir. Piezo fanın tasarım parametreleri belirlenmiş ve bu parametreler için nümerik analizler Comsol Multifizik programı ile yapılmıştır. Nümerik analizlerle belirlenen tasarım boyutları için deneysel ölçümler yapılmıştır. Çift etkili piezo kullanımının mevcut sentetik jetlere göre daha etkin soğutma gerçekleştirdiği sonucuna varılmıştır.

Experimental and numerical studies on improvement of heat transfer of OLED TVs

H I G H L I G H T S

- OLED TV passive and active cooling
- Piezofan and synthetic jet
- Experimental and numeric analysis

Article Info

Research Article

Received: 15.02.2018

Accepted: 19.04.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460533

Keywords:

OLED TV passive cooling,
OLED TV active cooling,
synthetic jet, numerical
analysis,
experimental analysis

ABSTRACT

In this study, the thermal behaviors of organic light emitting diodes (OLED) televisions are investigated experimentally and numerically. Organic light emitting diodes are very sensitive to temperature. For this reason, the heat emitted from the diodes must be removed quickly from the environment. The study consists of two parts. In the first part, the use of an effective heat spreader between the screen and the metal casing is proposed as a mechanism for improving the temperature distributions for heat transfer. Pyrolytic graphite plate and tempered pyrolytic graphite plate were used as heat spreader. The graphical heat transfer coefficients of the graphite plates are considerably higher than in the normal direction. The effectiveness of these proposed mechanisms is demonstrated by simulation. As an example model, OLED TV was selected in 15" dimensions and both experimental and numerical thermal analyzes were performed. The temperature distributions of the OLED were obtained with the help of the ANSYS ICEPAK program, a commercial code that uses the finite volume method. Simulation and test results are obtained very close to each other. The thermal management contributions of OLED TVs using different thicknesses of pyrolytic and tempered pyrolytic graphite plates are presented experimentally and numerically. In the second part, a dual action piezo fan design is proposed. The design parameters of the piezo fan were determined and the numerical analyzes for these parameters were made with the Comsol Multiphysics program. Experimental measurements were made for design dimensions determined by numerical analysis. The result is that the use of a dual-acting piezo provides more efficient cooling than the existing synthetic jets.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: metin.nil@vestel.com.tr, yavuz.ozturk@ege.edu.tr, mbakgul@cbu.edu.tr, gozde.deger@cbu.edu.tr /
Tel: +90 90 236 233 0131
2018

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Organik ışık yayan diyotlar sıcaklığa ve neme karşı oldukça hassastırlar. Bu parametrelerin artışı OLED'lerin ömürlerinin ve performanslarının belirgin ölçüde düşmesine neden olur. OLED'lerin sıcaklığında gerçekleşecek sadece 10 Kelvin'lik artış ömürlerinin %50'den daha büyük bir oranda azalmasına ve diğer özelliklerinde performans düşüşlerine sebebiyet verir. Bundan dolayı, OLED'lerin sıcaklığı görüntü ve ışık panellerinin ömürlerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Sıcaklık artışının bir diğer etkisi de, artan akım enjeksiyonudur. Akım enjeksiyonundaki bu artış kendisini yüksek parlaklıkta belli eder. Cihazın sıcaklığının artmasına neden olan Joule ısınması aynı zamanda görüntü ve OLED panelin ışık ve parlaklık kaybına neden olur. Bu etkilerinin yanında, sıcaklık OLED'lerin renk koordinasyonlarını da etkiler. OLED ekranlar organik malzeme bazlı olduğundan, cihazın sıcaklık yönetiminin uzun ömürlülük ve kararlılık açısından oldukça önemli olduğu görülmektedir. Literatürde elektronik cihazların pasif soğutulması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları şöyledir: Schwamb vd. [1] OLED'lerin pasif yöntemle soğuma mekanizmasını incelemişlerdir. OLED üzerindeki ısı taşınım katsayısının sabit olmayıp ekran boyunca değiştiğini ve bu nedenle sıcaklık dağılımının homojen olmadığını gözlemlemişlerdir. Pohl vd. [2] sonlu farklar metodunu temel alan bir ticari programla OLED cihazlar için elektro termal analizler gerçekleştirmişlerdir. 10 farklı çalışma sıcaklığı için akım-voltaj eğrileri elde etmişlerdir. İçöz ve Arık [3], pasif soğutma uygulamalarında kullanılan ileri termal materyallerin karakterizasyonunu elde etmişlerdir. Çeşitli gelişmiş ısı emici malzemeler için deneysel ve nümerik çalışmalar yapmışlardır. Sonuçlar geleneksel alüminyum emiciler ile karşılaştırılmıştır. Kütle başına aldıkları ısı değeri karşılaştırılarak grafit ısı yayıcıların alüminyum soğutucudan on kat daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Chung vd. [4] OLED cihazların ömürlerine direkt etkisi olan ısının uzaklaştırılmasına yönelik kullanılan substratların termal iletkenlik özellikleri belirlemek üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında substrat olarak silikon, cam ve paslanmaz çelik kullanmışlardır. Yüksek ısı iletkenliğe sahip silikon alt tabaka kullanılması durumunda OLED sıcaklığının daha düşük olduğunu ve ömürlerinin böylelikle daha uzun olduğunu belirtmişlerdir. Slawinski vd. [5] sıcaklığın, OLED'teki akım dağılımı ve ekran üzerindeki parlaklığı önemli bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir. Sonlu ve lumped elemanlardan oluşan hibrid bir elektro termal model önermişlerdir. Çeşitli substratlar için termal analizler gerçekleştirmişlerdir. Silikon substratların pik sıcaklığını azalttığını ve OLED'in ömrünü uzattığını ortaya koymuşlardır.

Anizotropik esnek grafit malzemeler, termal ara yüz, soğutucu kanatçıkları ve ısı yayıcılar gibi elektronik soğutma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı yayılımı uygulamalarında, grafit, hafif ($\sim 1,3-2,2 \text{ g / cm}^3$), düzlem içi ısı iletkenliği ($\sim 300-1500 \text{ W / mK}$) ve mükemmel

uygulanabilirlik özelliği nedeniyle caziptir. Grafit termal olarak anizotropiktir ve sıcaklığı yüzeyi boyunca hızlı bir şekilde ileterek ısı kaynağından uzaklaştırır. Singh vd. [6] ısı yayıcı olarak kullanılan grafit köpüklerin yoğunluğuna ve kalınlığına bağlı olarak çekme dayanımlarını ve termal iletkenliklerini elde etmişlerdir. Malzeme seçimi konusunda araştırmacılara yön verecek bir çalışma sunmuşlardır. Chen vd. [7] sonlu hacimler metodunu temel alan ICEPAK ticari kod programıyla anizotropik termal iletme sahip olan grafitin termal yönetime etkisini araştırmışlardır. Yen [8] çip üzerine grafit ısı yayıcı yerleştirerek FLOTHERM yazılımını kullanarak termal ısı transferi analizi yapmışlardır. Grafit malzemelerin yatay ısı iletim performanslarının yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Norley vd. [9] LCD televizyona grafit ısı yayıcılarını yerleştirip deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Grafit plaka kullanımının pik sıcaklığını 9°C azalttığını elde etmişlerdir. Gholami ve Bahrami [10] dikdörtgen şeklindeki ısı yayıcıları dört farklı lokasyona yerleştirip termal analiz gerçekleştirmişlerdir. Nümerik analizler COMSOL Multifizik programı ile yapılmıştır. Süperpozisyon yöntemi ile en iyi termal yönetim için yerleşim lokasyonunu seçmişlerdir.

Gelişen teknoloji sayesinde teknolojik ürünlerin boyutları küçülmekte fakat bu cihazların ısı problemlerini çözebilmek için mevcut soğutma yöntemleri yeterli olamamaktadır. Son yıllarda bu ihtiyaca karşılık verebilmek amacı ile piezo fanlar ve sentetik jetler ile elektronik soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Bu yeni sistemler, mevcut soğutma sistemlerine göre daha verimli çalışmakta, daha az güç tüketmekte ve daha küçük boyutlarda tasarlanabilmektedirler. Literatürde elektronik cihazların aktif soğutulması ile ilgili bazı çalışmalar şöyledir: Chandratilleke vd. [11] bir mikrokanal içerisinde çapraz akışlı sentetik jet kullanarak ısı transferindeki gelişimi nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, mikrokanal içerisinde çapraz akışlı sentetik jet kullanımı ile ısı transferinde sentetik jetsiz duruma kıyasla 4,3 katlık bir artış olduğunu not etmişlerdir. Arık [12], sentetik jetlerin uygulanabilirliği üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada sentetik jetler ısı transferinin yanında akustik bakımdan da incelemiştir. Deneysel çalışmada, sentetik jet kullanımı ile doğal taşınımaya kıyasla 4,8 katlık bir artışın elde edildiği not edilmiştir. Chaudhari vd. [13] sentetik jet çıkışındaki delik şeklinin ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada dairesel, kare ve dikdörtgen olmak üzere üç farklı delik şekli ve farklı H/z (ısı kaynağı ve jet arasındaki mesafe) oranlarında ısı transferinin değişimi verilmiştir. Buna göre, dikdörtgen deliğin sentetik jetle ısı transferi için en uygun olduğu ve H/z oranının artmasıyla da ısı transferinin arttığını vurgulamışlardır. Yang [14], çalışmada piezo elektriksel olarak aktive olan çift diyaframın davranışını incelemişlerdir. Diyaframın hareket edebilmesi için diyaframın üzerine yerleştirilen piezo eleman sinüzoidal olarak zorlanmaktadır. Sonuç olarak piezo elemana uygulanan voltaj miktarının artmasıyla maksimum püskürtme hızının arttığı tespit edilmiştir.

Literatürde ısınan bir yüzeyin soğutulması için çarpmalı akışkan jetleri kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şöyledir: Çalışır vd. [15] dairesel jetler kullanılarak üçgen ve kare kanatçık bulunan yüzeyler üzerine çarpıtılması sonucu oluşan akış yapısını incelemişlerdir. Sayısal model oluşturarak literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Çalışmada jetlerdeki eksenal ve radyal hız dağılımları sunulmuştur. Üçgen kanatçıklı yüzeyler üstündeki duvar jetlerinin hızının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kılıç ve Başkaya [16] çarpan akışkan jet ve farklı geometride akış yönlendiricileri birlikte kullanılarak sabit ısı akısına sahip olan bir yüzeyde ısı transferini incelemişlerdir. Farklı Reynolds sayıları ve kanal yüksekliği-jet hidrolik çapı oranları için kanal içindeki akış ve ısı transferini incelenmiştir. Re sayısı arttıkça ısı transferinin arttığı, kanal yüksekliği azaldıkça yerel Nu sayısında değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada iki kısım halinde OLED Tv'lerin pasif ve aktif soğutulması incelenmektedir. Birinci kısımda 15" OLED TV'lerin ekran bazında ısı transferi analizi yapılmıştır. Ekran üstündeki sıcaklık dağılımları, cihaz üzerinde bulunan diğer ısı üreten elektronik bileşenlerin de etkisi dikkate alınarak elde edilmiştir. Cihaz üzerinde homojen bir sıcaklık dağılımı için gerekli iyileştirmeler önerilmiştir. Anizotropik termal özelliklere sahip grafit tabakaların ısı transferi üzerine etkileri deneysel ve nümerik olarak sunulmuştur. İkinci kısımda ise çift etkisi sentetik jet tasarımı yapılmıştır. En iyi titreşim frekanslarını veren tasarım parametreleri nümerik olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmalar yapılarak çift etkili sentetik jetin mevcut sentetik jetlere göre daha iyi soğutma yaptığı belirtilmiştir.

2. LED TV İÇİN PASİF SOĞUTMA METODUNDA İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI (IMPROVEMENT IN PASSIVE COOLING METHOD FOR LED TV)

2.1. Teorik Model ve Nümerik Analiz (Theoretical Model and Numerical Analysis)

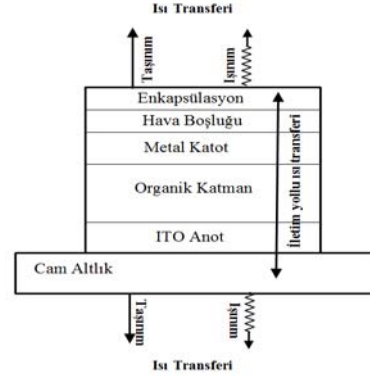
OLED ekranlar, bir alt tabaka üzerine yerleştirilen farklı katmanlardan oluşan kompozit bir yapıya sahiptir. Anot ve katot arasında kalan ve organik tabaka diye adlandırılan kısımda, elektrik akımı nedeniyle oluşan ısı, iletim yolu ile ekranın yüzeylerine taşınmaktadır. Bu ısı, yüzeylerden taşınım ve ışınım ile çevreye transfer edilmektedir. Şekil 1'de bir OLED'e ait ısı transfer mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.

OLED içinde üretilen ısı miktarı Q_{termal} ;

$$Q_{termal} = JV - Q_{optik} \quad (1)$$

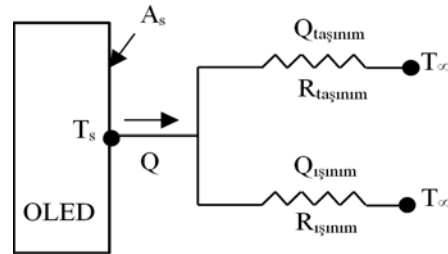
Eş. 1 şeklinde bulunur. Buradaki J akım yoğunluğu (A/mm^2), V elektriksel gerilim (Volt) ve Q_{optik} ise yayılan ışık enerjisidir ($Watt/mm^2$). Yukarıdan da görüldüğü üzere, OLED içerisindeki temel ısı transfer mekanizması iletimdir. OLED'in çok katmanlı kompozit bir yapıya sahip olduğunu göz önüne alarak ekranın efektif ısıl iletkenliği (Eş. 2);

$$\frac{\sum t_i}{k_{efektif}} = \sum \frac{t_i}{k_i} \quad (2)$$



Şekil 1. OLED ısı transfer mekanizması (OLED heat transfer mechanism)

şeklinde bulunur. Burada, t_i katman kalınlığı ve k_i ilgili katmanın ısıl iletkenliğidir. Alt tabaka kalınlığının "mm" mertebelerinde, diğer katmanların ise yaklaşık 100 mm kalınlığa sahip olduğu düşünülürse ısı transferi açısından en önemli bileşenin alt tabaka olduğu görülmektedir. Böylelikle, OLED'lerin ısı transferi analizinde alt tabaka haricindeki diğer katmanları ihmal etmenin çözüm hassasiyetine kayda değer bir kayba yol açmayacağı açıktır. Organik katman bölümünde üretilen ısı, iletim yolu ile ekran yüzeyine; buradan da taşınım ve ışınım mekanizmaları ile çevreye transfer edilmektedir. Bu durum Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Taşınım ve ışınım ile OLED'den ısı transferi (Heat transfer from OLED by convection and radiation)

Yüzeyden ışınım yolu ile transfer edilen ısı miktarı (Eş. 3);

$$Q_{ışınım} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (3)$$

ifadesi ile bulunur. Buradaki ϵ yüzeyin emisivitesi, $\sigma=5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ Stefan-Boltzmann sabiti, A_s (m^2) yüzey alanı, T_s ($^\circ C$) yüzey sıcaklığı ve son olarak T_∞ ($^\circ C$) çevre ortam sıcaklığıdır. Isının ışınımından artı kalan kısmı ise, taşınım ile çevreye transfer olmaktadır. OLED ekranlardaki taşınım ile ısı transferi pasif soğutma olarak da adlandırılan doğal taşınım mekanizmasıdır. Buradaki ısı transferi (Eş. 4) şeklinde bulunur.

$$Q_{taşınım} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad (4)$$

Buradaki h yüzey ile çevre arasındaki ısı taşınım katsayısıdır ($W/m^2\text{C}$). Doğal taşınım, akışkan hareketi ve ısı transferini birlikte içeren kompleks bir fiziksel problemdir. Bu nedenle analizi, genellikle ya deneysel yollarla üretilmiş korelasyonlardan ya da sayısal yöntemler yardımı ile yapılır. Bu çalışmada, OLED'e ait sıcaklık dağılımları sonlu hacimler metodunu kullanan ticari bir kod olan ANSYS ICEPAK programı yardımı ile elde edilmiştir.

Sonlu hacimler metodunda kısmi diferansiyel denklemler kontrol hacmi üzerinden integre edilir. Bu hacim integrasyonundaki diverjans içeren terimler diverjans teoremi yardımı ile yüzey integrallerine dönüştürülür. Dönüştürülen bu integraller her bir sonlu hacim yüzeyindeki akılar olarak değerlendirilir. Bir hacme giren akı miktarı, ona komşu hacimden çıkan akı miktarına eşit olacağından yöntem korunumlu bir yöntemdir. Bu yöntemi kısaca açıklamak için kontrol hacmi içinde genel bir değişken olarak ϕ 'yi düşünelim ve bu değişken için korunum denklemi;

$$\nabla \cdot (\rho\phi V) = \nabla \cdot (D\nabla\phi) + S_\phi \quad (5)$$

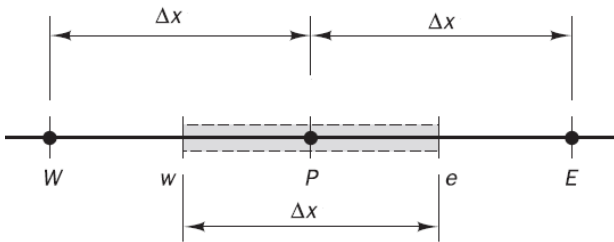
Eş. 5 şeklinde ifade edilir. Denklemdaki D terimi difüzyon katsayısını ve S terimi kontrol hacmi içindeki ϕ özelliğinin üretimini göstermektedir. Bu denklemi kontrol hacmi üzerinden integre edersek;

$$\int_{\theta} \nabla \cdot (\rho\phi V) d\theta = \int_{\theta} \nabla \cdot (D\nabla\phi) d\theta + \int_{\theta} S_\phi d\theta \quad (6)$$

Eş. 6 şeklini alır. Yukarıdaki integrasyonlara diverjans teoremini uygularsak;

$$\int_A n \cdot (\rho\phi V) dA = \int_A n \cdot (D\nabla\phi) dA + \int_{\theta} S_\phi d\theta \quad (7)$$

Eş. 7 şeklini alır. Denklemdaki n yüzeyin normalini göstermektedir. Şekil 3'te gösterildiği üzere bir boyutlu üniform grid ve P düğüm noktası etrafındaki kontrol hacmi için denklem (9)'u ele alırsak;



Şekil 3. Bir boyutlu kontrol hacmi ve grid yapısı
(One dimensional control volume and grid structure)

$$(\rho VA\phi)_e - (\rho VA\phi)_w = \left(DA \frac{\partial\phi}{\partial x} \right)_e - \left(DA \frac{\partial\phi}{\partial x} \right)_w + S_\phi \Delta\theta \quad (8)$$

Eş. 8 şeklini alır. $\partial\phi / \partial x$ terimi için merkezi fark yaklaşımını kullanırsak ve $A_e = A_w = A$ olduğunu kabul edersek, yukarıdaki denklem;

$$(\rho V\phi)_e - (\rho V\phi)_w = \left(D \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x} \right) - \left(D \frac{\phi_P - \phi_W}{\Delta x} \right) + S_\phi \Delta x \quad (9)$$

Eş. 9 halini alır. Kontrol hacmi sınırlarındaki değerler için lineer interpolasyonu kullanırsak;

$$\phi_e = \frac{\phi_P + \phi_E}{2} \quad (10)$$

$$\phi_w = \frac{\phi_W + \phi_P}{2} \quad (11)$$

Eş. 10 ve Eş. 11 elde edilir. Bu değerler Eş. 8'de yerine konursa ayrılaştırılmış ifade;

$$\frac{D}{\Delta x} \left[2 - \rho \left(\frac{V_w - V_e}{2} \right) \right] \phi_P = \left[\frac{D}{\Delta x} + \rho \frac{V_w}{2} \right] \phi_W - \left[\frac{D}{\Delta x} - \rho \frac{V_e}{2} \right] \phi_E + S_\phi \Delta x \quad (12)$$

Eş. 12 şeklinde elde edilir. İki ve üç boyutlu problemler içinde ayrılaştırma bir boyutlu durumdakine benzer şekilde elde edilebilir. Sonlu hacimler metodu ile birlikte bu çalışmada momentum denklemlerindeki basınç-hız çiftini çözmek için SIMPLE iteratif çözüm algoritması kullanılmıştır.

SIMPLE algoritmasında başlangıçta bir basınç alanı tahmin edilir (p^*), bu tahmin edilen basınç alanı ile ayrılaştırılmış momentum denklemleri çözülür ve buna karşılık gelen hızlar (u^*, v^*) bulunur. Daha sonra bir düzeltme basınç alanı (p') tanımlanır. Düzeltme basınç alanı, doğru basınç alanıyla tahmini basınç alanı arasındaki farktır (Eş. 13).

$$p = p^* + p' \quad (13)$$

Buna benzer olarak hız düzeltme alanları da tanımlanabilir (Eş. 14).

$$u = u^* + u' \quad v = v^* + v' \quad (14)$$

Gerçek ayrılaştırılmış denklemlerden, tahmini basınç alanını koyarak elde ettiğimiz denklemleri çıkarırsak, düzeltme hız alanını düzeltme basınç alanının fonksiyonu olarak elde edebiliriz. Bu durum,

$$u' = f(p') \quad v' = f(p') \quad (15)$$

Eş. 15 şeklinde gösterilebilir. Böylelikle doğru hız alanı da, tahmini hız alanı ile düzeltme basınç alanına bağlı fonksiyonunun toplamı haline gelir. Bütün bu adımlar sadece bir iterasyon döngüsünü ifade eder ve yakınsama kriterleri sağlanıncaya kadar döngü devam eder.

2.2. Nümerik Analiz (Numerical Analysis)

Nümerik olarak OLED cihazların ısı transferi analizi ANSYS ICEPAK programında yapılmıştır. Cihaz etrafında oluşan doğal taşınım akımlarının da etkisini dikkate almak için cihaz Şekil 4'te gösterildiği gibi bir kontrol hacmi içine alınmıştır. OLED cihaz sıcaklık kontrollü kabinde 40°C

sıcaklıkta tam güçte çalıştırılarak rejim hali elde edilmiştir. Daha sonra cihaz üzerinden k-tipi ısı çiftler ve termal kamera ile sıcaklıklar alınmıştır. Termal kamera ve ısı çift sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Sıcaklık dağılımlarını iyileştirme mekanizması olarak ekran ve metal kasa arasında etkin bir ısı yayıcı kullanımı önerilecektir. Isı yayıcıların düzlemsel ısı iletim katsayıları oldukça yüksektir. Kullanıldıkları alanda ısıyı çok hızlı bir şekilde kendi düzlemlerine yaydıkları için daha homojen bir sıcaklık dağılımı oluştururlar. Bu çalışmada ısı yayıcı olarak pirolitik grafit plaka ve tavllanmış pirolitik grafit plaka kullanılmıştır. Grafit plakaların düzlemsel ısı iletim katsayıları normal doğrultudakine kıyasla oldukça yüksektir. Ayrıca bu plakalar ince bir polietilen tereftalat (PET film) tabakası ile kaplanmıştır. Bu tabaka sayesinde 400 V'a kadar elektriksel gerilimi yalıtımladıkları. Böylelikle, ilave bir yalıtım tabakası kullanmaya gerek kalmamaktadır. Tablo 1'de kullanılan ısı yayıcının termo-fiziksel özellikleri verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde önerilen ısı iletim tabakalarının pirolitik grafit için X ve Y yönünde ısı iletkenlik sayısı 3,7 W/m°C iken Z yönünde 400 W/m°C'dir. Tavllanmış grafitin ise X ve Y yönünde ısı iletkenlik sayısı 3,5 W/m°C iken Z yönünde 1500 W/m°C'dir. Bu yüzden tavllanmış grafit kullanımının ısı transferini daha hızlı gerçekleştireceği öngörülmektedir.

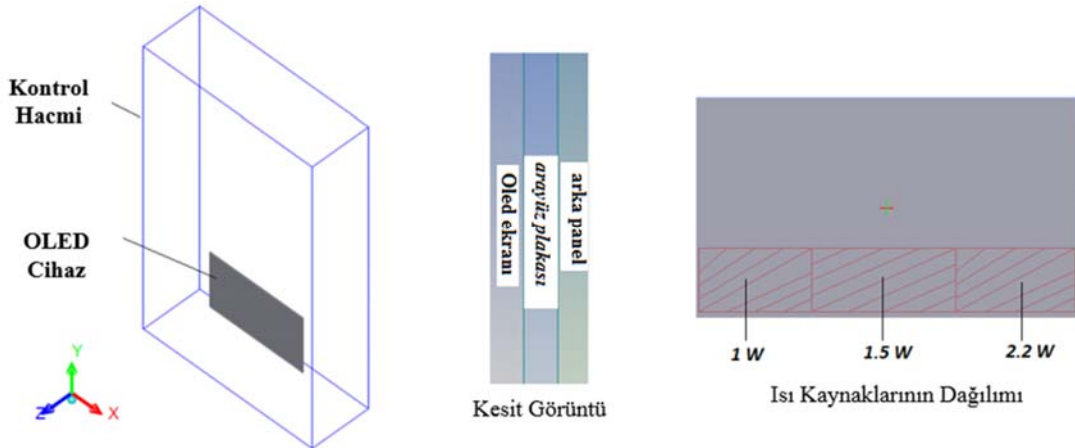
2.3. Deneysel Analiz (Experimental Analysis)

Bu bölümde OLED'e ait sıcaklık dağılımları deneysel olarak elde edilmiştir. OLED cihaz üzerinde sıcaklık ölçümleri FLIR termal kamera kullanılarak yapılmıştır. Deneysel ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylelikle simülasyonun çözüm hassasiyeti test edilerek gerekli görülen iyileştirmelerin ısı transferi üzerine etkileri

yine simülasyon ve deneysel olarak araştırılmıştır. Örnek modeller 15" ekran boyutuna OLED TV'dir. Cihaz, 0,65 mm kalınlığında bir OLED ekran, 0,75 mm kalınlığında bir yalıtım plakası ve 0,5 mm kalınlığında metal kasadan oluşmaktadır. (Şekil 5) Elektronik devre elemanlarının oluşturduğu toplam ısı yükü 4,7 W iken OLED ekranda üretilen ısı ise 27 W olarak ölçülmüştür. (Toplam gücün %80'ninin ısıya dönüştüğü varsayılmıştır).

2.4. Nümerik ve Deneysel Analiz Sonuçları (Numerical and Experimental Results)

Bu çalışmada 15" OLED TV örnek modelleri için ısı yayıcı olarak farklı kalınlıkta pirolitik grafit ve tavllanmış pirolitik grafit malzeme önerilmiştir. Deneysel ve teorik olarak ısı yayıcıların ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir. Şekil 6'da ısı yayıcısı kullanmadan 15" OLED için simülasyon ve deneysel olarak sıcaklık dağılımları görülmektedir. Isı kaynağı televizyonun sağ alt köşesinde bulunduğu için bu bölgede hem simülasyon hem de deneysel sonuçlarda en yüksek sıcaklık elde edilmiştir. Deneysel ölçümde bu sıcak noktada oluşan en yüksek sıcaklık 65,5°C, simülasyon sonuçlarında ise 65°C olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, cihazın elektronik bileşenlerinin etkisi nedeni ile ekran üzerinde homojen olmayan bir sıcaklık dağılımı oluşmaktadır. Bu dağılım da ekranın parlaklığını ve ömrünü önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Deneysel ve simülasyon sonuçlarında sıcak nokta oluşumu ısı kaynağının bulunduğu sağ alt köşede olduğu görülmektedir. Isı kaynağından uzaklaşıldıkça sıcaklıkların azaldığı her iki sonuçta da görülmektedir. Görüldüğü üzere, simülasyon sonuçları ve deneysel ölçümler birbirlerine tatmin edici bir şekilde yakındır. Sıcaklık dağılımlarını iyileştirme mekanizması olarak ekran ve metal kasa arasında etkin bir ısı yayıcı



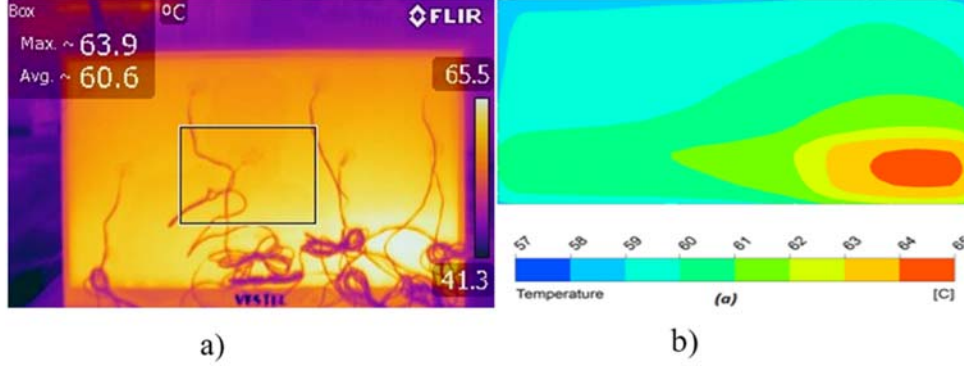
Şekil 4. Kontrol hacmi ve OLED cihazın görünümü (Control volume and OLED device)

Tablo 1. Isı yayıcılarının termo-fiziksel özellikleri (Thermo-physical properties of heat spreaders)[17]

Özellik	Boyut	Mevcut yalıtım tabakası	Pirolitik Grafit (PG)	Tavllanmış Pirolitik Grafit (APG)
Yoğunluk (kg/m ³)	X,Y,Z	1,7-2,2	1,7-2,2	1,7-2,2
Isıl İletkenlik (W/m°C)	X,Y	0,25	400	1500
Isıl İletkenlik (W/m°C)	Z	0,25	3,7	3,5



Şekil 5. Örnek model cihazının detaylı görünümü (Detail view of sample model device)



Şekil 6. Örnek model için sıcaklık dağılımı grafikleri a) Deneysel analiz b) Nümerik analiz (Temperature distribution chart sample model a) Experimental measurement b) Numerical analysis)

kullanımı önerilecektir. Isı yayıcıların düzlemsel ısı iletim katsayıları oldukça yüksektir. Kullanıldıkları alanda ısıyı çok hızlı bir şekilde kendi düzlemlerine yaydıkları için daha homojen bir sıcaklık dağılımı oluştururlar. Farklı kalınlıklara sahip pirolitik grafit ısı yayıcıların sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 7'de görülmektedir. Farklı kalınlıklara sahip tavllanmış pirolitik grafit ısı yayıcıların sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 8'de görülmektedir. Grafit tabakanın kullanımı orijinal durumda görülen sıcak nokta oluşumunu engelleyerek daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamaktadır. Ayrıca grafit tabakanın kalınlığı arttıkça sıcaklık homojen bir şekilde azalmaktadır. Tablo 2'de her bir durum için maksimum ve minimum sıcaklık değerleri yazılmıştır. Simülasyon ve deneysel sonuçlardan görüldüğü üzere, APG ısı yayıcısında en homojen sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. (Şekil 8) Bunun yanında ısı yayıcısının kalınlığı arttıkça, sıcaklık değerlerinde düşmeler gözlemlenmiştir. Görüldüğü üzere kalınlıkların artması ile maksimum ve minimum sıcaklık farklarında önemli düşmeler gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak da cihaz üzerinde oluşacak ısıl gerilmeler azalmış olacaktır.

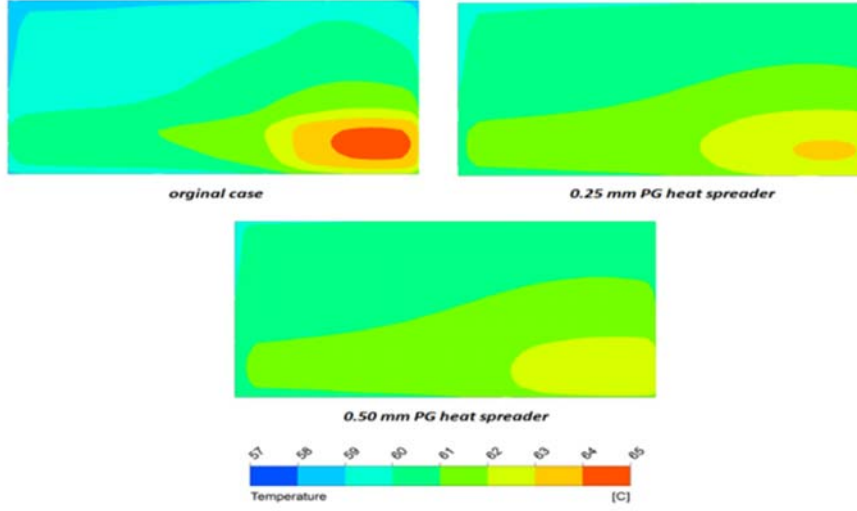
Tablo 2. Cihaz üzerindeki maksimum ve minimum sıcaklık değerleri (Maximum and minimum temperature values on the device)

Isı yayıcı tipi	T _{MIN} (°C)	T _{MAX} (°C)
ORJİNAL	57,76	64,46
0,25mm PG	58,90	63,19
0,50mm PG	59,13	62,68
0,25mm APG	59,35	62,18
0,50mm APG	59,56	61,77

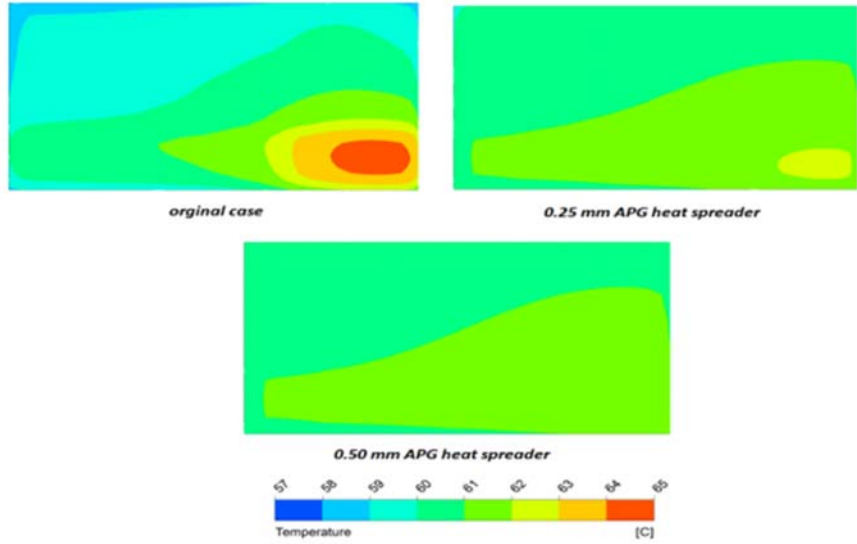
3. OLED TV'DE PİEZOFAN TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMIYLA AKTİF SOĞUTMA (ACTIVE COOLING IN OLED DEVICES USING PIEZOFAN TECHNOLOGY)

3.1. Teorik Model ve Nümerik Analiz (Theoretical Model and Numerical Analysis)

Geometrik tasarım ve boyutlar jet içindeki akışkanın hareketinde önemli etkilere neden olmaktadır. Bir sentetik jetin tasarımında ortaya çıkan önemli tasarım parametreleri ise uygulanan elektriksel gerilim, frekans, diyafram boşluğu, diyaframın boyutları ve malzemesidir. Tüm bu parametreler sistemin çalışmasına yani akışkanın hareket hızına ve vorteks yapılarına etki etmektedir. Bu bölümde cihaz üzerindeki elektronik bileşenlerin soğutulması için sentetik jet prensibiyle çalışan piezoelektrik fan kullanılmıştır. Sentetik jet düzeneği basit olarak bir veya birkaç diyafram ve bir oyuktan meydana gelmektedir. Sentetik jetler emme ve basma olmak üzere temelde iki stroktan oluşmaktadır. Emme strokunda diyafram dışa doğru genişlemekte ve oyuğu hacmini artırarak içeriye hava emişin sağlamaktadır. Basma strokunda ise diyafram içeriye doğru hareket ederek oyuğun hacmi azaltılmakta ve dışarıya doğru hava akışı oluşmaktadır. Diyaframların emme-basma frekansları eğer yeteri kadar büyük ise (>10Hz) hava akışının olduğu orifis ağzından çok az uzaklıktaki bir bölgede hava akışı emme strokundan etkilenmemektedir ve böylece sürekli bir jet akışı hava akımı sağlanmaktadır. Fanın çalışma şeması Şekil 9'da gösterilmiştir. Sentetik jet düzeneğinde diyafram olarak piezoelektrik malzeme tercih edilmiştir. Sentetik jet prensibine göre çalışan piezofan'dan elde edilen hava akışı Şekil 9'da şematik olarak gösterilmiştir. Diyaframın hareketinden dolayı oyuk



Şekil 7. Örnek model için farklı kalınlıklardaki PG ısı yayıcıları için sıcaklık dağılımları
(Temperature distributions for PG heaters of different thicknesses for sample model)



Şekil 8. Örnek model için farklı kalınlıklardaki APG ısı yayıcıları için sıcaklık dağılımları
(Temperature distributions for APG heaters of different thicknesses for sample model)

içerisinde oluşan hacim azalması diyaframda meydana gelen deplasman (m);

$$\delta(r) = \frac{\Delta}{2} \left[1 - \frac{r^2}{R^2} + \frac{2r^2}{R^2} \ln \left(\frac{r}{R} \right) \right] \quad (16)$$

Eş. 16 yardımıyla belirlenebilir. Buradaki Δ maksimum deplasman değeri, R diyaframın yarıçapıdır (m). Oyuktan dışarı çıkan hava hacmi ise;

$$\frac{L}{h} = \frac{0,25\pi D^2 \Delta}{4wh^2} \quad (17)$$

Eş. 17 şeklinde ifade edilebilir. Buradaki, h ve w sırası ile orifis deliğinin genişliği ve uzunluğudur (m). Bunun yanında sentetik jetin ortalama hızı ise;

$$U_o = \sqrt{2}fL \quad (18)$$

Eş. 18 şeklinde elde edilebilir. Diyaframın dinamiğini tanımlayan tek serbestlik dereceli zorlamalı kütle yay sisteminin hareketini veren denklem (Eş. 19);

$$m_{\omega t} \ddot{x}_{\omega} + c_{\omega t} \dot{x}_{\omega} + k_{\omega} x_{\omega} = F - p_i A_{\omega} \quad (19)$$

Burada $m_{\omega t}$ zar ve piezo diskin toplam kütesini (kg), $c_{\omega t}$ zar ve piezo diskin yapısal sönümünü (Ns/m), $x_{\omega}(t)$ zarın deplasmanını (m), k_{ω} zarın rijitliğini (N/m), $F = F_0 \sin \omega t$ (N) elektrodinamik kuvvetini, p_i zarın yakınındaki havanın iç basıncını (N/m²), A_{ω} zarın alanını (m²) temsil etmektedir. Diyaframın yay katsayısı Eş. 20'de yazılmıştır.

$$k_{\omega} = m_{\omega} (2\pi f_{\omega})^2 \quad (20)$$

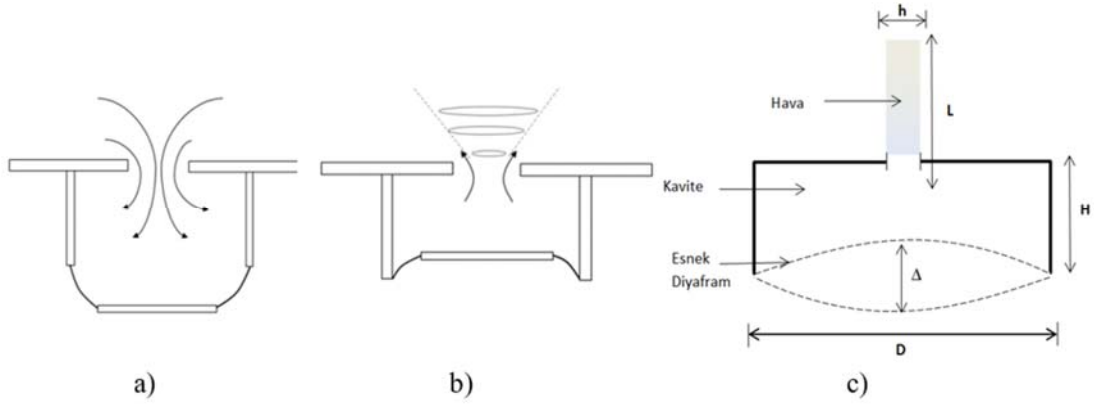
Burada f_ω sabit sınır şartlarına sahip zarın mod frekanslarıdır (Hz) (Eş. 21).

$$f_\omega = \frac{10,2}{\pi\sqrt{3}} \frac{th_\omega}{d_\omega^2} \sqrt{\frac{E_w}{\rho_\omega(1-\nu_\omega^2)}} \quad (21)$$

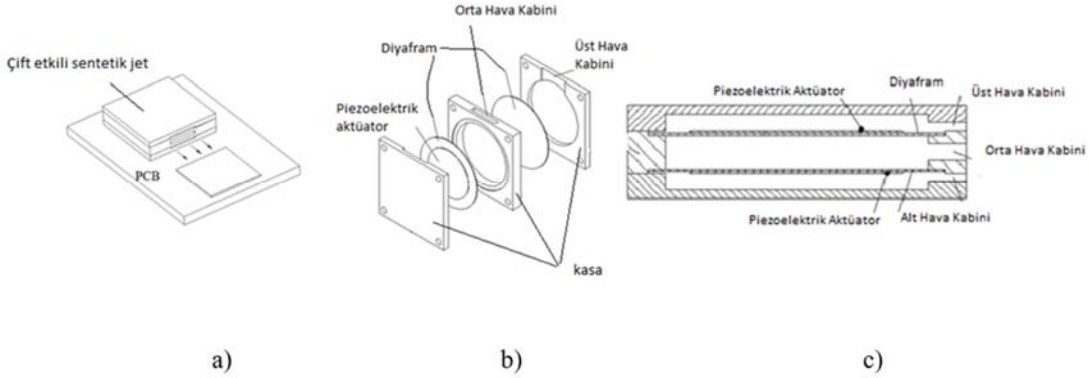
Buradaki f diyaframın birinci tabii frekansdır, ayrıca th_ω , d_ω , E_w , ρ_ω ve ν_ω sırasıyla zarın kalınlığı (m), çapı (m), elastisite modülü ($\frac{N}{m^2}$), yoğunluğu ($\frac{kg}{m^3}$), ve poisson oranıdır. Isı transferinden de bilindiği üzere fandan çıkan hava hızının artması ile soğutma etkisi önemli ölçüde artmaktadır. Sonuç olarak diyafram olarak piezoelektrik seramiklerin kullanıldığı dikkate alınırsa piezo fanın soğutma

performansını etkileyen parametreler; piezo elektrik malzeme, diyafram kalınlığı, piezo seramiğe uygulanan gerilimin genlik ve frekans değerleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

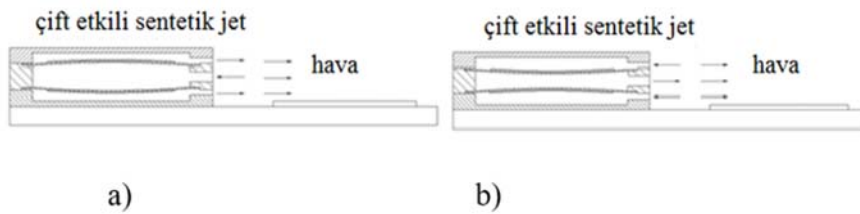
Soğutma sisteminin daha etkin çalışabilmesi için sentetik jet yapısında fiziksel ve mekanik yapısında değişiklikler gerçekleştirilebilir. Yakın zamanda yazarlar tarafından önerilen çift etkili sentetik jet modeli Şekil 10 ve 11’de verilmiştir (Nil vd. [18]). Piezoelektrik seramik malzemelerin kullanıldığı soğutucu sistemi, PCB üzerinde ısınan devre elemanının aktif olarak soğutulması işlevini görmektedir. Bu uygulamada soğutma sistemi, bir devre kartı üzerine orta oda açıklığı ve kenar oda açıklığı bir devre



Şekil 9. Sentetik jet sisteminin şematik gösterimi a) emme b) basma c) hava çıkışı
(Synthetic jet system schematic representation a) suction b) press c) air outlet)



Şekil 10. Çift etkili sentetik jet tasarımı a) montaj resmi b) de-montaj resmi c) kesit görünüş (Nil vd. [18]) (Design of double-acting synthetic jet a) assembly drawing b) de-mounting image c) sectional view)



Şekil 11. Çift etkili sentetik jet a) emme b) püskürtme hareketi (Nil vd. [18])
(Double acting synthetic jet a) suction b) injection motion)

elemanına bakacak şekilde yerleştirilmektedir. Piezoelektrik malzemenin, pozitif yükte elektrik uygulandığında bir yöne doğru bombe oluşturan, negatif elektrik uygulandığında ise diğer yöne doğru bombe oluşturan bir yapıda olması sağlanmaktadır. Piezoelektrik malzemeye pozitif (veya negatif) elektrik uygulandığında, piezoelektrik malzeme diyaframın kenar odaya doğru bükülmesini sağlamaktadır. Bu durumda, kenar oda sıkışmakta (hacmi azalmakta) ve kenar oda içerisindeki hava kenar oda açıklığından dışarı çıkarak devre elemanına doğru hareket etmektedir. Aynı zamanda, orta oda genişmekte (hacmi artmakta) ve orta oda içerisine orta oda açıklığı vasıtasıyla devre elemanı üzerinden gelen hava girmektedir. Böylelikle, devre elemanı üzerinde bir hava akımı oluşturulmaktadır. Piezoelektrik malzemeye negatif (veya pozitif) bir yük uygulandığında yukarıda bahsedildiği gibi benzer şekil değişimleri olmaktadır.

3.2. Nümerik Analiz (Numerical Analysis)

Yeni fan tasarımının kompakt ve küçük boyutlara sahip olması için en başta bilinmesi gereken piezo diyaframın uygulanan elektriksel gerilim karşılığında yaptığı maksimum deplasman miktarıdır. Dolayısıyla doğru boyutlardaki piezoseramik malzemenin seçimi uygulanan elektriksel gerilim, çalışma frekansı ve ısı yükünün miktarına bağlı olarak belirlenir. Piezo seramik malzemelerin şekil değişimi uygulanan elektrik potansiyeli ile değişmektedir. Bu şekil değişimi aynı zamanda piezo seramiğin yapıştırıldığı diyaframın fiziksel ölçülerine de bağlıdır. Dolayısı ile piezo seramik ve diyaframdan oluşan bir piezo elemanın şekil değişimi elektriksel alan ve yapısal analizi içeren çoklu bir fizik problemidir. Piezo elemana ait deplasmanların doğru bir şekilde belirlenebilmesi için Comsol Multifizik programı kullanılmıştır. Bu program sonlu elemanlar metodunu kullanan ticari bir yazılımdır. Programda piezo seramik için elektriksel alan ve yapısal denklemler dikkate alınır iken diyafram için sadece yapısal denklemler uygun sınır şartlarının kullanılması ile çözülmüştür. Bu tasarımda sırasıyla 27 mm, 35 mm ve 44 mm'lik ölçülere sahip üç farklı diyafram kullanılmıştır.

3.3. Deneysel Analiz (Experimental Analysis)

Şekil 12'de görülen piezo fan; PZT-5H piezo elemanlar bağlı 0,1 mm kalınlığındaki iki diyafram silikon ile bir araya

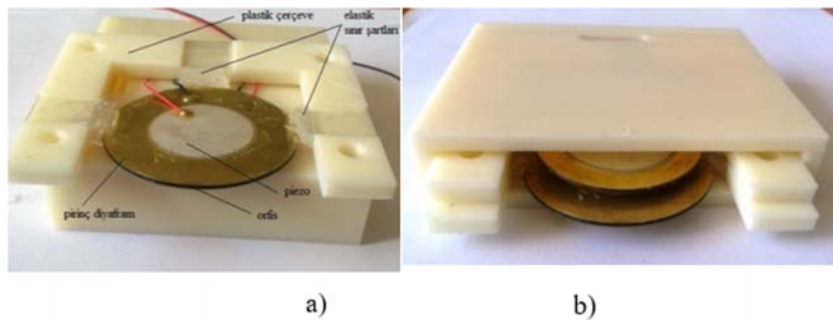
getirilmiştir. Diyafram çifti 3D yazıcı ile üretilen kasaya silikon ile bağlanmıştır. Hava kanalı için 5mm'lik boşluk bırakılmıştır. Silikon yapıştırıcı kullanılmasının nedeni ise diyafram sınırlarında elastik şartın sağlanmasıdır. Böylelikle iki diyafram arasında bir hava boşluğu sağlanmakta ve diyaframların titreşimi serbest sınır şartlarına yakın olması sağlanmaktadır. Piezo diyaframlar plastik çerçeveye de silikon ile monte edilmiştir. Bu sayede diyaframda üretilen titreşim hareketi silikonda sönümlenmekte ve titreşimlerin fanın kullanılacağı cihaza aktarılması engellenmektedir. Gerçekleştirilen bu soğutucu sistemin performansının ölçülmesi için Şekil 13'teki deney düzeneği tasarlanmıştır. Ana kart üzerinde ısı üreten devre elemanlarını simüle etmek amacıyla bir alüminyum plakanın altına bağlanan ısıtıcıya 100 voltluk 0,26 amperlik DC akım uygulanmıştır. Piezo elemanlara ise sinyal jeneratörü 50 Hz frekans ve amfi ile 100 Volt gerilim uygulanmıştır.

3.4. Nümerik ve Deneysel Analiz Sonuçları (Numerical and Experimental Results)

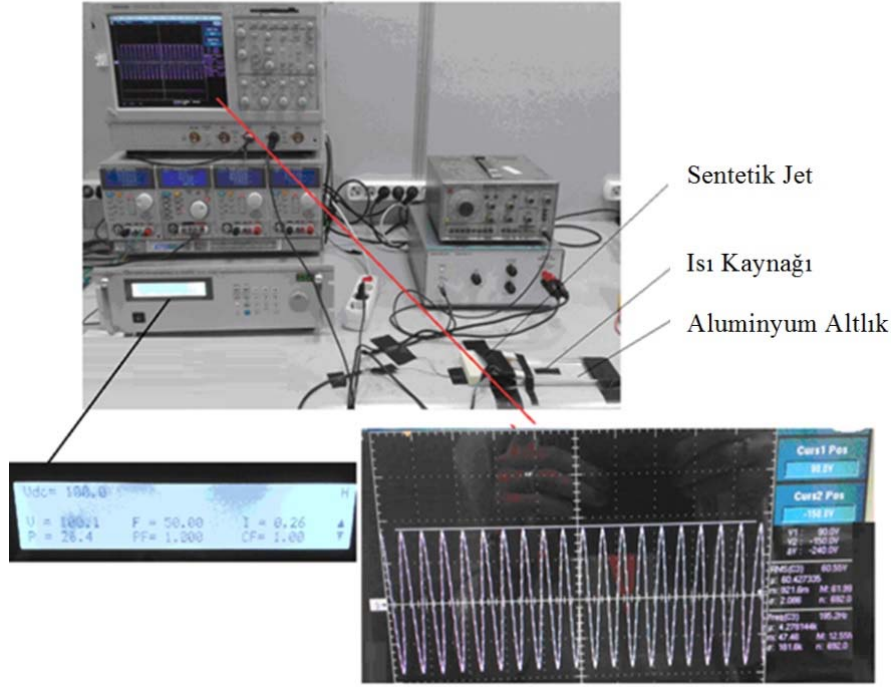
Şekil 14'de nümerik analizler sonucunda farklı boyutlara sahip diyaframların sabit bir elektriksel gerilim altındaki deplasmanları verilmiştir. Analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere piezo elemanların maksimum deplasmanları uygulanan elektriksel gerilim ve diyafram çapının artması ile önemli ölçüde artmaktadır.

Uygun piezo malzemenin seçimi için titreşim-genlik davranışının bilinmesi gereklidir. Tablo 3'te ise bu diyaframların farklı elektriksel gerilimlerinde meydana gelen maksimum deplasmanları verilmiştir. Diyaframın çapı arttıkça deplasman artmaktadır ve bu sonuç literatür ile uyumludur (Yang [14]).

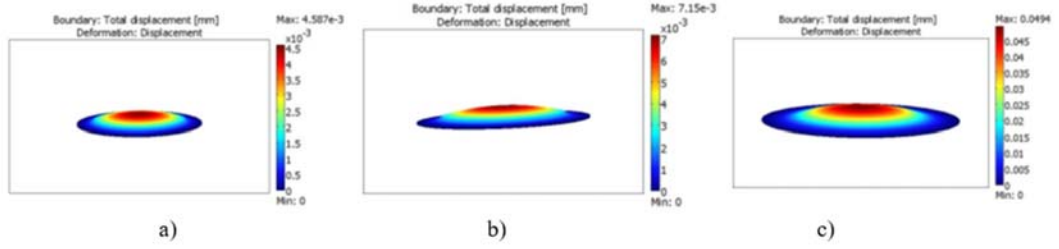
Piezo malzemeye uygulanan gerilim değerinin piezo titreşim genliklerine etkisi Şekil 15'a da görülmektedir. Gerilim arttıkça titreşim genlikleri artmaktadır. Pirinç malzemeden üretilen metal diyaframın kalınlığının genlik ve doğal frekans üzerindeki etkisinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla kullanılan piezoelektrik diyaframın ölçüleri; $D_d=46\text{mm}$, $D_p=25\text{mm}$, $h_p=0,15\text{mm}$ şeklindedir. Buradaki, D_d diyaframın çapı, D_p piezoelektrik diskin çapı ve h_p ise piezo diskin kalınlığıdır. Sistemde kullanılan piezo malzeme PZT-5A'dır. Uygulanan elektriksel gerilim ise 60 Vpp değerindedir. $h_d=0,15\text{mm}$, $h_d=0,20\text{mm}$ ve $h_d=0,25\text{mm}$ olarak 3 farklı



Şekil 12. Piezoelektrik fan tasarımları a) tek etkili piezo fan b) çift etkili piezo fan (Piezoelectric fan designs a) single acting piezo fan b) double acting piezo fan)



Şekil 13. Deneysel ölçüm düzeneği (Experimental setup)



Şekil 14. 30 V ile sürülen piezo elemanın diyafram yarıçapının titreşim genliğine bağlı olarak maksimum deplasmanı a) 27 mm b) 35 mm c) 44 mm (Maximum displacement of the piezo element driven with 30V, Effects of diaphragm radius on vibration amplitude a) 27 mm diaphragm b) 35 mm diaphragm c) 44 mm)

diyafram kalınlıkları dikkate alınmıştır. Sırası ile bu kalınlıklara karşılık gelen doğal frekanslar ise; $f_{0,15\text{mm}}=550$ Hz, $f_{0,20\text{mm}}=704$ Hz ve $f_{0,25\text{mm}}=852$ Hz şeklindedir. Şekil 15b'de görüldüğü üzere diyafram kalınlığının artması ile genlik değerleri önemli bir ölçüde azalmaktadır. Bunun yanında diyaframın doğal frekansı da kalınlık ile artmaktadır. Elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan ekipmanlar için dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konu ise gürültüdür. Bilindiği üzere piezoelektrik elemanlar üzerine uygulanan elektriksel geriliminin frekansının artması ile ortaya çıkan gürültü önemli bir şekilde artmaktadır. Arık, sentetik jetlerin akustik analizlerini deneysel olarak gerçekleştirmiştir. Deneysel olarak yapılan analizlerde frekans ve gerilim arttırıldıkça ses basıncının arttığı tespit edilmiştir [12]. Genellikle piezo elemanlar 100-200 Hz bandında fısıltıya karşılık gelen (30 db'den küçük) insanı rahatsız etmeyen düşük bir gürültü üretmektedirler. Sonuç olarak, piezoelektrik diyafram tasarlanırken rezonans frekansının düşük gürültü bölgesine karşılık gelen 100-200 Hz bandının arasında yer almalıdır.

Bu bölümde pirinç malzemeden üretilen metal diyaframın çapının genlik ve doğal frekans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan piezoelektrik diyaframın ölçüleri; $D_p=25\text{mm}$, $h_p=0,15\text{mm}$, $h_d=0,15\text{mm}$ şeklindedir. Sistemdeki piezo malzeme PZT-5A'dır. Uygulanan elektriksel gerilim ise 60 Vpp değerindedir. $D_d=46\text{mm}$, $D_d=40\text{mm}$, $D_d=35\text{mm}$ olmak üzere üç farklı diyafram çapı dikkate alınmıştır. Sırası ile bunlara karşılık gelen doğal frekanslar ise; $f_{46\text{mm}}=550$ Hz, $f_{40\text{mm}}=704$ Hz ve $f_{35\text{mm}}=852$ Hz şeklindedir. Şekil 15b'de diyafram çaplarına karşılık gelen genlik-frekans eğrileri elde edilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere genlik değerleri diyafram çapının artması ile artmaktadır. Bunun yanında doğal frekans ise çap değerinin artması ile azalmaktadır. Şekil 15c'de piezoelektrik malzemenin frekans ve genlik üzerindeki etkisi gösterilmiştir. PZT-5A ve PZT-5H olarak iki farklı malzeme üzerinde durulmuştur. Şekil 15d'de görüldüğü gibi aynı elektriksel gerilim değerleri için PZT-5H malzemesi için elde edilen genlik değerlerinin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanında piezo malzemenin doğal

frekans üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Tablo 4'te teorik ve nümerik analiz sonucunda elde edilen doğal frekansların diyafram çapı ve diyafram kalınlığına göre karşılaştırılması sunulmuştur.

Teorik sonuçlar Denklem 21'de fiziksel boyutlar ve malzeme özellikleri yerleştirilerek elde edilmiştir. Diyafram malzemesi pirinç seçilmiştir, elastisite modülü 70 GPa, yoğunluk 8500 kg/m³, poisson oranı ise 0,3 alınmıştır. Şekil 16'da görülen piezo fan alüminyum plakanın üzerine hava akımı sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir. Piezo fan

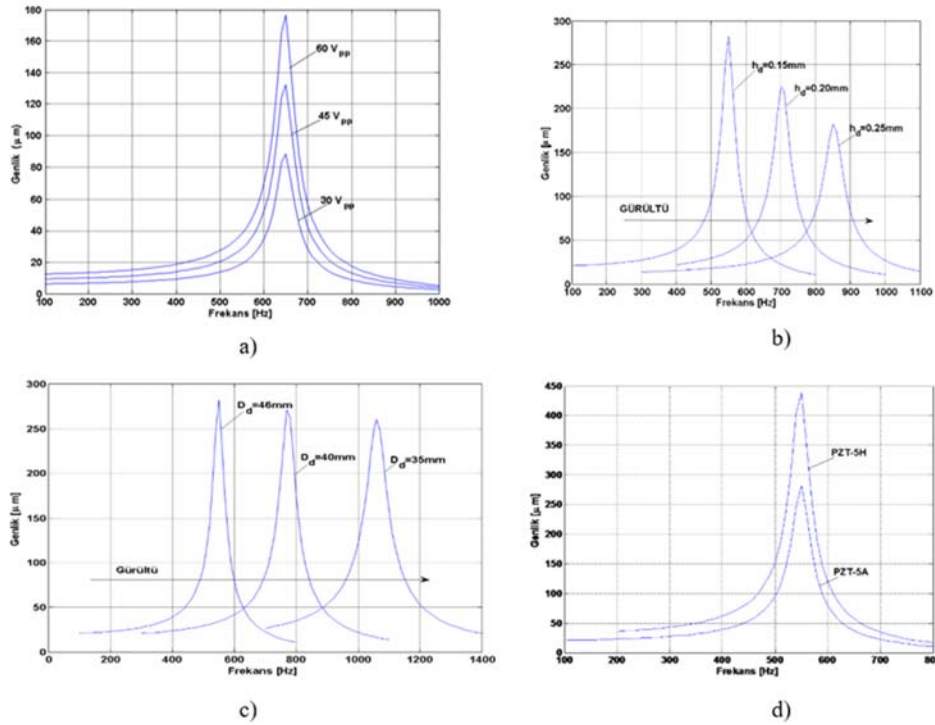
çalıştırılmadığı durum için termal kamera ölçümü Şekil 16a'da görülmektedir. Alüminyum plakanın denge sıcaklığı 107°C'dir. Piezo fan çalıştırıldığında alüminyum levha üzerinde jet akışı oluşturulmakta ve ısı transferi gerçekleşmektedir. Piezo fan soğutucu sisteme $V_{pp}=90V$ ve $f=195$ Hz sinüs elektriksel gerilim uygulanmıştır. Şekil 16b'de tek piezo fan'lı yapı ve Şekil 17c'de çift etkili piezo fan yapıları sistemin çalıştırılmasından sonra plaka üzerinden alınan termal ölçümler sırasıyla 85,3 °C ve 73,8 °C olarak gerçekleşmiştir. Gerçekleştirilen tasarımın çift piezo etkisinden dolayı daha yüksek verimli soğutucu sistemi elde

Tablo 3. Farklı elektrik potansiyel değerlerinde piezo elemanların maksimum yer değiştirme değerleri
(Maximum displacement values of piezo elements at different electric potential values)

PİEZO DİYAFRAM ÇAPI (MM)	UYGULANAN ELEKTRİKSEL GERİLİM DEĞERİ (V)		
	30	20	15
	Maksimum Yer Değiştirme (m)		
44	4,94x10 ⁻⁵	3,29x10 ⁻⁵	2,47x10 ⁻⁵
35	7,15x10 ⁻⁶	4,76x10 ⁻⁶	3,57x10 ⁻⁶
27	4,58x10 ⁻⁶	3,06x10 ⁻⁶	2,29x10 ⁻⁶

Tablo 4. Diyaframın kalınlık ve çap ölçülerine göre elde edilen diyaframın birinci doğal frekansları
(The first natural frequency of the diaphragm by the thickness and diameter measurements of the diaphragm)

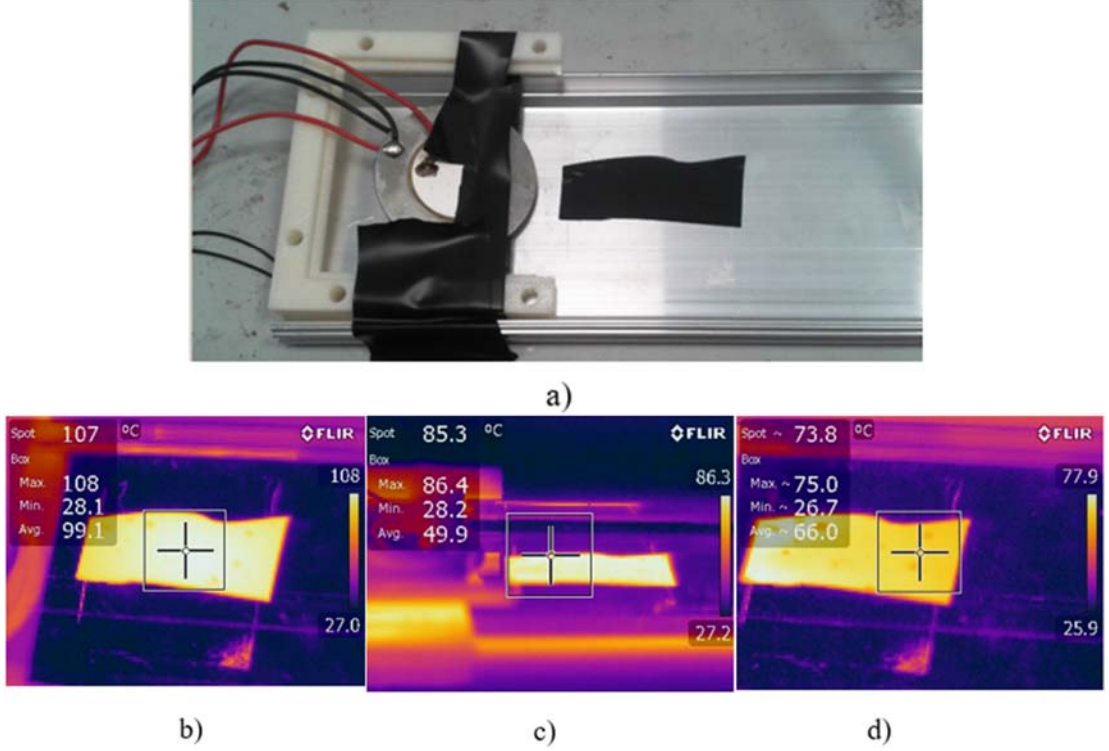
Diyafram Kalınlığı	Diyafram Çapı	Simülasyon sonuçları 1. Doğal Frekans	Teorik sonuçlar 1. Doğal Frekans
0,15	46	550	481
0,15	40	780	636
0,15	35	1050	831
0,20	46	704	641
0,25	46	852	802



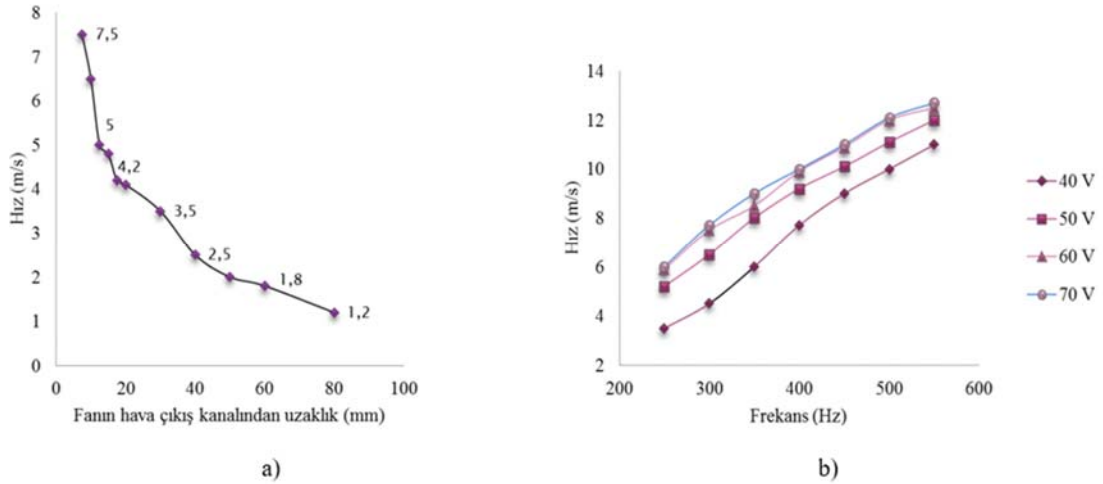
Şekil 15. Piezoelektrik diyaframın frekans-genlik eğrisi a) Farklı gerilim değerleri için b) Farklı piezoelektrik diyafram kalınlıkları için c) Farklı diyafram çap değerleri için d) Farklı piezoelektrik malzemeleri için (Frequency-amplitude curve of the piezoelectric diaphragm a) For different applied voltage values b) for different piezoelectric diaphragm thicknesses c) for different piezoelectric diaphragm diameters d) for different piezoelectric materials)

edilmiştir. Şekil 17a’da piezo fanın hotwire anemometre ile ölçülen ortalama hız değerleri verilmiştir. Fanın hava çıkış kanalından uzaklaştıkça hava akış hızı azalmaktadır. Bu yüzden piezo fan ısı kaynağının ne kadar yakınına konumlandırılırsa o kadar soğutma performansı iyileşecektir. Şekil 17b’de ise piezo fana uygulanan voltaj ve frekansın piezo fanın hava çıkış hızına etkisi görülmektedir. Frekans ve voltaj arttırıldıkça hava çıkış hızı da artmaktadır.

Piezoelektrik fan soğutucu sistemi OLED cihazın ana kart bölümündeki ana entegre devrenin soğutulması amacı ile Şekil 18’de görüldüğü gibi bir test düzeneği hazırlanmıştır. OLED cihaz, sıcaklık kontrollü kabinde 40°C ortam sıcaklığında maksimum güçte çalıştırılmıştır ve ana kart bölümünün arka kapağı kapatılarak ana IC üzerinden piezoelektrik fanlı ve fansız durumlar için Şekil 19 için sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Yapılan çalışma neticesinde



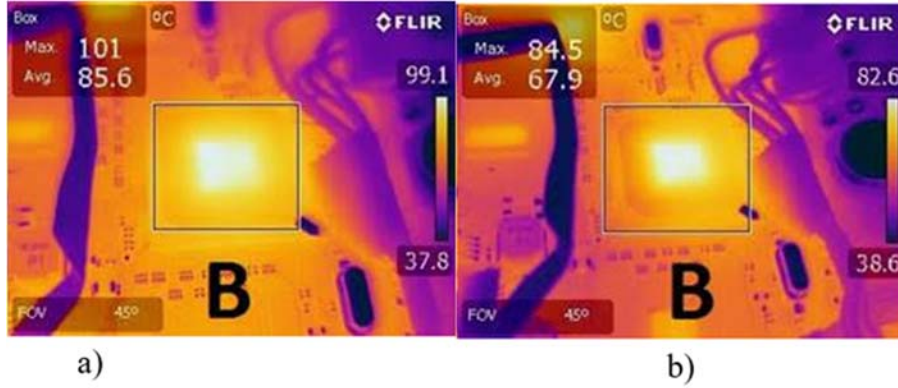
Şekil 16. a) Piezo fan soğutma sistemi, b) Fansız çalışma durumunda sıcaklık ölçümü c) Tek piezo fan çalıştığı durumda sıcaklık ölçümü d) Çift piezo fan çalıştığı durumda sıcaklık ölçümü
(Piezo fan cooling system, b) Temperature measurement in case of inoperative c) Temperature measurement in case of single piezo fan running d) Temperature measurement in case of dual piezo fan)



Şekil 17. Piezo fanın hız profili a) piezo fanın hava çıkış uzaklığının etkisi b) piezo fanın gerilim ve frekansının etkisi
(Piezo fan speed profile a) the effect of the air outlet distance of the piezo fan b) the effect of the voltage and frequency of the piezo fan)



Şekil 18. Anakart üzerinde piezoelektrik fan yerleşimi (Piezoelectric fan placement on the motherboard)



Şekil 19. a) Fansız ve b) Fanlı durumlara ait sıcaklık dağılımları (a) fanless and b) a temperature distribution on the fan case)

OLED ekranlarda ısı yayıcısının kullanılması ile sıcaklık değerleri önemli ölçüde düşürülürken, daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

OLED TV'lerin ısı yönetimine ilişkin nümerik ve deneysel analizler gerçekleştirilerek pasif ve aktif soğutulması olarak iki bölüm halinde sunulmuştur. Örnek olarak seçilen 15" OLED TV için ısı transferinin iyileştirilmesine yönelik olarak ekran ve metal kasa arasında etkin bir ısı yayıcı olarak farklı kalınlıkta pirolitik grafit plaka ve tavllanmış pirolitik grafit plaka önerilmiştir. Deneysel ve nümerik sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Simülasyon ve deneysel sonuçlardan görüldüğü üzere, APG ısı yayıcısında en homojen sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bunun yanında ısı yayıcısının kalınlığı arttıkça, sıcaklık değerlerinde düşmeler gözlemlenmiştir. Böylelikle ısıl gerilmelerin azalacağı öngörülmektedir.

İkinci bölümde çift etkili piezo fan tasarımı önerilmiştir. Piezo fanın tasarım parametreleri belirlenmiş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çift etkili piezo kullanımının mevcut sentetik jetlere göre daha etkin soğutma gerçekleştirdiği sonucuna varılmıştır. Piezo fan soğutucu sistemi ile uygulanan gerilimin genlik ve frekans değerinin artması ile soğutma performansının artacağı görülmektedir. Fakat bu değerlerin artması ile orantılı olarak piezoelektrik elemanlar önemli ölçüde ses oluşturduğundan dolayı yapılan çalışmalarda optimum değerler olarak 120 Vp-p ve 250 Hz bulunmuştur. Piezoelektrik fan kullanıldığı durumda ana IC üzerinde önemli bir sıcaklık düşüşü elde edilmiştir. Ayrıca IC üzerinde kanatçıklı alüminyum soğutucu kullanılmasına gerek kalmamıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, 3130324 numaralı "Elektronik Cihazlarda Piezoelektrik Teknolojisi Kullanarak Isı Transferinin İyileştirilmesi" konulu proje kapsamında Türkiye Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenmiştir. Yazarlarımız Vestel Elektronik A.Ş.'ye laboratuvar imkânları için teşekkür etmektedirler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. P. Schwamb, T.C.G. Reusch, J. Brabec, Passive cooling of large-area organic light-emitting diodes. *Organic Electronics*, 14 (8), 1939–1945, 2013.
2. L. Pohl, E. Kollár, Zs. Kohári and A. Poppe, Electro-thermal investigation of OLEDs, THERMINIC 2008, Rome, Italy, 24-26 September 2008.
3. T. Icoz, M. Arik, Light weight high performance thermal management with advanced heat sinks and extended surfaces, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 33 (1), March 2010.
4. S. Chung, J.H. Lee, J. Jeong, J.J. Kim, Y. Hong, substrate thermal conductivity effect on heat dissipation and lifetime improvement of organic light-emitting diodes, *Applied Physics Letters* 94, 253302, 2009.
5. M. Slawinski, D. Bertram, M. Heuken, H. Kalisch, A. Vescan, Electrothermal Characterization of Large-Area Organic Light-Emitting Diodes Employing Finite-Element Simulation, *Organic Electronics* 1399–1405, 12, 2011.
6. G. Chen, J. Capp, G. Getz, D. Flaherty, J. Norley, Optimum design of heat sinks using non-isotropic graphite composites, *Proceedings of Ht2003, Asme Summer Heat Transfer Conference, Las Vegas, Nevada, USA, July 21-23, 2003.*

7. F. Yen, L. Hung, N. Kao, D. S. Jiang, Package with high thermal conductivity of graphite attached onto die surface to solve hot spot issue, IEEE 18th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), 2016.
8. J. Norley, A. Reynolds, G. Shives, M. Smalc, The development of natural graphite-based heat spreaders for reducing temperature and increasing temperature uniformity in flat panel displays, SID 05 DIGEST, 562-565, 2005.
9. A.Gholami and M.Bahrami, Spreading resistance in anisotropic rectangular plates with multiple heat sources and sinks, 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics Orlando, Florida, 14–16 July 2014.
10. M. Singh, R. Asthana, A. L. Gyekenyesi, C. E. Smith, Bonding and integration of titanium to graphitic foams for thermal management applications, International Journal of Applied Ceramic Technology, 1-9, 2012.
11. T.T. Chandratilleke, D. Jagannatha, R. Narayanaswamy, Heat transfer enhancement in microchannels with cross-flow synthetic jets, International Journal of Thermal Sciences, 49, 504–513, 2010.
12. M. Arık, An investigation into feasibility of impingement heat transfer and acoustic abatement of meso scale synthetic jets, Applied Thermal Engineering 27, 1483–1494, 2007.
13. M. Chaudhari, B. Puranik, A. Agrawal, Heat transfer characteristics of synthetic jet impingement cooling, International Journal of Heat and Mass Transfer 53, 1057–1069, 2010.
14. A.S. Yang, Design analysis of a piezoelectrically driven synthetic jet actuator, Smart Materials and Structures, 18 125004 (12pp), 2009.
15. Çalışır T., Çalışkan S., Kılıç M., Başkaya Ş., Numerical investigation of flow field on ribbed surfaces using impinging jets, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32 (1), 119-130, 2017.
16. Kılıç M., Başkaya Ş., Improvement of heat transfer from high heat flux surfaces by using vortex promoters with different geometries and impinging jets, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (3), 693-707, 2017.
17. Lemak R.L.R., Pyrolytic Graphite Heat Spreader Options for High Performance Embedded Components and Systems Performance Embedded Components and Systems, IMAPS Advanced Technology Workshop on Thermal Management 2006 Palo Alto, CA USA September 11-13, 2006.
18. M. Nil, B. Kirişken, M.B. Akgül, G. Sarı, Double-acting synthetic jet module for cooling of electronic devices, European Patent Office, EP3079034 (A1)—12.10.2016..

