

**Article Arrival Date**

25.07.2023

**Article Type**

Research Article

**Article Published Date**

20.12.2023

**FARKLI MALZEMELERDEN TASARLANMIŞ ÇUBUKLARIN ISI TRANSFER HESAPLAMALARI****HEAT TRANSFER CALCULATIONS OF STICKS DESIGNED FROM DIFFERENT MATERIALS****Emine Canan GÜNAY DEMİREL<sup>1</sup>****<sup>1</sup>Dr. Öğr. Üyesi, Canakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Böl., Fizik, 0000-0003-2968-9780****Özet**

Bu projede üç farklı malzemeden tasarlanmış 3 Boyutlu çubukların farklı ısı akısı uygulanarak meydana gelen sıcaklık farklarının hesaplamalarını içermektedir. Hesaplamalar sayısal ve teorik yöntemlere bağlı olup her bir malzemenin farklı ısı akılarına bağlı olarak katkı oranları tespit edilmiştir. Çubuk tasarımları bilgisayar ortamında çelik, alüminyum ve magnezyum malzemeler kullanılarak tasarlanmıştır. Çubukların kesit alanı 20x20 mm olup uzunlukları 300 mm olarak alınmıştır. Çubukların bir ucundan ısı akısı uygulanırken diğer ucun oda sıcaklığında tutulmuştur. Çalışmada sayısal analizler için sonlu elemanlar yaklaşımını içeren ANSYS adlı program kullanılmıştır. Hesaplamalarda her bir çubuk SOLIDWORKS çizim programlarında tasarlanmış ve farklı sıcaklık altında analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece endüstride kullanılan farklı malzemelerin sıcaklık artışına bağlı değişimleri önceden tespit edilebilecek ve ileride oluşabilecek riskler ortadan kaldırılacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Ansys, çubuk, ısı akısı, malzeme.

**Abstract**

In this project, it includes the calculations of the temperature differences that occur by applying different heat flux of 3D sticks designed from three different materials. The calculations are based on numerical and theoretical methods, and the contribution rates of each material are determined depending on the different heat fluxes. Rod designs are designed in computer environment using steel, aluminum and magnesium materials. The cross-sectional area of the bars is 20x20 mm and their length is taken as 300 mm. While heat flux was applied from one end of the rods, the other end was kept at room temperature. In the study, a program called ANSYS, which includes the finite element approach, was used for numerical analysis. In the calculations, each bar was designed in SOLIDWORKS drawing programs and analyzed under different temperatures. Thus, the changes in the different materials used in the industry due to the increase in temperature will be determined in advance and the risks that may occur in the future will be eliminated.

**Keywords:** Ansys, heat flux, material, stick.

**1. GİRİŞ**

Isı iletimi ve ısı akısı, modern mühendislik ve fizik alanında büyük önem taşıyan temel konulardan biridir. Bu iki fenomen, çeşitli uygulama alanlarında enerji transferini anlamak ve optimize etmek için kritik bir rol oynar. Sonlu Elemanlar Yöntemi ise bu alanda oldukça etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Isı iletimi, malzemeler arasında sıcaklık farkı nedeniyle gerçekleşen enerji transferini ifade eder. Isı akısı ise bu transferin hızını belirleyen faktörlerden biridir. Bu iki kavram, ısının nasıl yayıldığını ve nasıl kontrol edilebileceğini anlamak için hayati önem taşır. Endüstriyel süreçlerden enerji verimliliğine, malzeme tasarımından iklim modellemesine kadar geniş bir yelpazede kullanılan bu bilgiler, günümüzde sürdürülebilirlik ve teknolojik ilerlemenin anahtarıdır. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), karmaşık ısı iletimi ve ısı akısı problemlerini çözmek için geliştirilmiş güçlü bir sayısal yaklaşımdır. Bu yöntem, bir malzemenin veya yapının geometrik ve fiziksel özelliklerini sonlu parçalara böler, her birini matematiksel denklemlerle temsil eder ve

sonuçta tüm sistemin davranışını tahmin eder. Bu sayede gerçek dünya koşullarında karmaşık ısı iletimi ve ısı akışı problemlerini çözmek mümkün olur. Isı iletimi, komşu atomların ve moleküllerin enerjilerini/ısılarını (kısmen) komşularına aktararak etkileşimi yoluyla meydana gelen bir olgudur. Bu, bir katı içinde ve termal temas halindeki katı nesnelere arasında ısı transferinin en önemli yoludur. Helyum hariç sıvılar daha az iletkenlerdir. Bu nedenle, temas halindeki katı cisimler arasındaki termal temas iletkenliği, kriyojenik tasarım ve sistemi kriyo soğutucularla soğutması gereken uygulamalar için hayati önem taşır. Kararlı durum iletimi, yalnızca iletken nesnedeki sıcaklıklar değişmediğinde ve yarı dengede olduğu söylendiğinde, iletimi yönlendiren sıcaklık farkı sabit olduğunda gerçekleşebilir. Bu nedenle, kararlı hal iletiminde bir sisteme giren ısı miktarı, çıkan ısı miktarına eşittir. Geçici iletim, iletken nesne içindeki sıcaklığın zamanla değiştiği süreçtir. Analiz karmaşıktır ve çoğunlukla ampirik denklemlerle gerçekleştirilir ve sınırlı ölçülen veriler mevcuttur. İletim kaybı normalde Fourier yasası kullanılarak hesaplanır [9]. Homojen katı malzemelerde ısı iletimi, bir malzemenin geçen ısı transferinin zaman hızının, sıcaklıktaki negatif gradyanla ve bu gradyana dik açılarda, ısının içinden geçtiği alanla orantılı olduğunu belirten Fourier Yasası tarafından yönetilir [6]. Gazlar yoluyla ısı iletimi normalde numunelerin soğutulması (değişim gazı olarak) ve/veya koruyucu (buharla soğutma) için kullanılır. Gaz iletimi için yapılan hesaplamalar katılar için yapılanlar kadar doğru değildir. İletim için kullanılan değişim gazı normalde soğutmayı geliştirmek ve düşük ısı iletkenliği olan bir numunede homojen sıcaklık dağılımı elde etmek için kullanılır. Malzemeler farklı yapılara sahip olabilmektedir. Bunlara örnek olarak anizotropik malzemeler, kristaller, ahşap, tortul kayalar, ağır soğuk preslenmiş metaller, lamine levhalar, kablolar, uzay araçları için ısı perdeleme malzemeleri ve fiber takviyeli kompozit yapılar gibi doğal ve sentetik olabilir. Bu malzemelerde ısıl iletkenlik, malzemenin özelliklerine göre değişebilmektedir. Değişken katsayılı ısı transferi problemlerini çözmek için literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur. En yaygın olarak kullanılan mühendislik yöntemleri, Sonlu Farklar Yöntemi (FDM) [16] ve Sonlu Elemanlar Yöntemleri (FEM) [2]'dir. FEM'in FDM'ye göre en büyük avantajı, düzensiz geometrileri işleme yeteneğidir ve boyut bölge üzerinde değiştirilebilir. Bu tür analizlerde genellikle kullanılan bir diğer yöntem (Sınır Elemanı Yöntemi) BEM'dir [1]. Bu yöntemde, sürekliliğin sayısal çözümü, problemin boyutsallığının azaltılmasıyla gerçekleştirilir. BEM'in verimliliği, sonuçta ortaya çıkan eşzamanlı denklemlerin sayısının yalnızca alan sınırının ayrıklaştırılmasına bağlı olmasıdır ve bu teknik, çözümü sınır elemanları üzerinde temsil etmek için kullanılabilir. Doğrusal ısı transferi problemi için en yaygın kullanılan mühendislik çözümü FEM'dir. Birçok çalışma [5,7] anizotropik bir ortam için ısı iletimi probleminin analitik bir çözümünü önerdiler; orijinal anizotropik problemi aynı geometrik konfigürasyona sahip eşdeğer bir izotropik probleme dönüştürmek için doğrusal bir dönüşüm kullandılar. Süreksiz sınır elemanlarının sürekli sınır elemanları üzerindeki doğruluk iyileştirmesi sayısal olarak iyi bir şekilde kurulmuştur [3,8,14]. Anizotropi, homojen bir durumda bile temel çözümlerin türetilmesini zorlaştıran ısı iletim sabitlerinin sayısını artırır [14]. Anizotropik FGM için 2-D'de durağan ve geçici ısı iletimi problemlerini çözmek için yerel Petrov Galerkin yaklaşımına dayalı ağırsız yöntem önerdi. [15] izotropik ve anizotropik malzemelerde rastgele uzaysal olarak değişen termal iletkenlik ile kararlı hal ısı iletimi problemlerini çözmek için standart Laplacian operatörüne ve radyal temel fonksiyonlarına (RBF'ler) dayalı yeni bir ağırsız yöntem geliştirdi. Literatürde birçok analitik çalışma, ilgili anizotropik ısı iletim problemlerine odaklanmıştır. Anizotropik özelliklere sahip ince katmanlı ortam ve çok katmanlı ortam için ısı iletim problemlerini çözmek için uygulanabileceğinden doğrusal bir koordinat dönüşümü iyi bilinmektedir [4,5,10-13]. Temas direncinin çok boyutlu ve çok katmanlı bir gövdede kararlı durum sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir [4]. Ancak analitik işlemler, özellikle daha karmaşık geometriler için çözümün matematiksel zorluklar oluşturması nedeniyle oldukça özel veya basit durumlarda sınırlandırılmıştır. Sınır eleman yöntemi (BEM), çok boyutlu ve çok katmanlı anizotropik ısı iletim probleminin çözümü için doğrudan alan eşleme ve koordinat dönüşümleri yöntemini benimseyerek kullanılmıştır [13]. Bu yaklaşımın avantajı, anizotropik problemin, sonlu farklar yöntemi veya izotropik potansiyel teorisi için sınır eleman yöntemi gibi literatürdeki herhangi bir sayısal yöntemle verimli ve doğru bir şekilde çözülebilmesidir [10-12]. Koordinat dönüşümleri yöntemi, anizotropik mikro ölçekli ısı transferinin analizi için de verimli bir şekilde kullanılabilir. Literatürde birçok ısı iletim konusunu ele alan

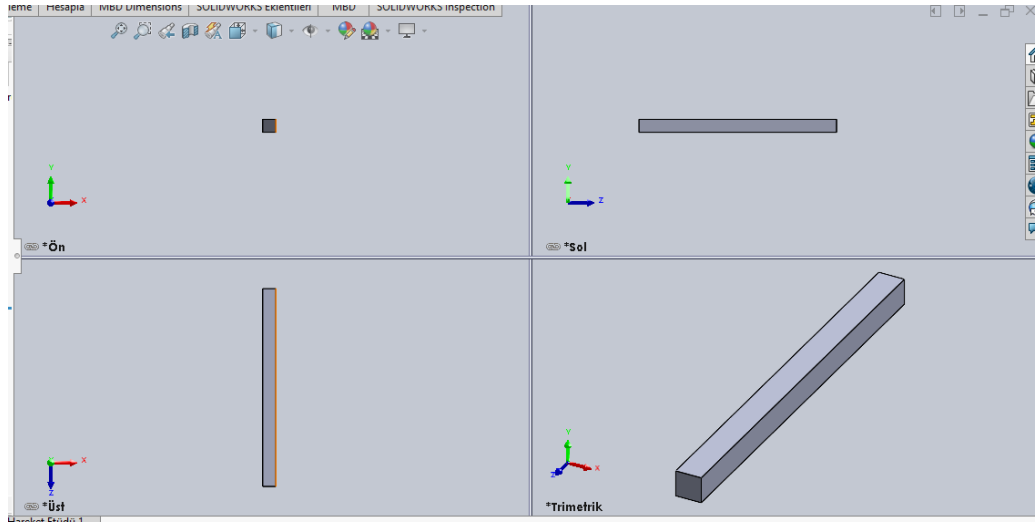
çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada farklı malzemelerin ısı akısına bağlı meydana gelen sıcaklık hesaplamaları sayısal yöntemler ekseninde ele alınacaktır.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada üç boyutlu çubuklar tasarlanmıştır. Bu çubuklar solidworks tasarım programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

## 3. BULGULAR

Çalışmanıza Tasarlanan çubuklar farklı uzantılı olarak sonlu elemanlar yazılımına aktarılmıştır. Her bir çubuk 300 mm uzunluğunda ve 20mm x 20mm kesit alanına sahiptir. Analizlerde kullanılan çubuk Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çubuk tasarımı

Çalışmalar özet de belirtildiği üzere sonlu elemanlar analizi ANSYS öğrenci versiyonu ile yapılmıştır. Sayısal elde edilen sonuçların doğruluk derecesini değerlendirebilmek için Eşitlik 1-4’deki denklemler kullanılarak teorik hesaplamalar yapılmıştır.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (3)$$

$$q_x = -k \frac{dT(x)}{dx} \quad (4)$$

Bu eşitlikler de ,  $q_x$  ısı akış yoğunluğunu,  $k$  malzeme iletkenlik katsayısını,  $\rho$  yoğunluğu,  $T$  sıcaklığı ve  $(dT(x))/dx$  ise sıcaklık değişimini ifade etmektedir. Bu denklemler kullanılarak elde edilen sayısal

sonuçlar teorik sonuçlar ile karşılaştırılarak meydana gelen fark ortaya çıkarılmıştır. Kullanılacak malzemelere ait zellikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1**

Malzeme zellikleri

Malzemeler (-)	Termal İletkenlik Katsayısı (W/mm.°C)
elik	0.0605
Alüminyum	0.1547
Magnezyum	0.1560

Tablo 1’den görüldüğü üzere her bir malzeme farklı iletkenlik katsayılarına sahiptir. Böylece her bir malzemenin farklı ısı transfer hesaplamaları yapılabilecektir. Bu proje kapsamında, üç farklı malzemenin kullanıldığı 3 Boyutlu ubuklar tasarlanmıştır. Bu ubuklar, farklı ısı akılarına maruz bırakılarak oluşan sıcaklık farklarının hesaplamalarını içermektedir. Hesaplamalar, sayısal ve teorik yöntemlerle gerçekleştirilmiş olup, her bir malzemenin zgn ısı iletim özelliklerine dayalı katkı oranları belirlenmiştir. Bilgisayar ortamında elik, alüminyum ve magnezyum malzemeleri kullanarak çubuk tasarımları oluşturulmuştur. ubukların kesit alanı 20x20 mm boyutunda ve uzunlukları 300 mm olarak belirlenmiştir. Bir uçlarından ısı akısı uygulaması yapılırken diğer uçları oda sıcaklığında tutulmuştur.

Bu alışma, sayısal analizler için ANSYS adlı programı kullanarak sonlu elemanlar yaklaşımını içermektedir. Hesaplamalarda her bir ubuk, SOLIDWORKS izim programı kullanılarak tasarlanmış ve farklı sıcaklık seviyelerindeki analizlere tabi tutulmuştur.

Bu sayede endüstride kullanılan çeşitli malzemelerin sıcaklık artışına bağlı davranışları önceden tahmin edilebilir ve potansiyel risklerin önüne geçilmiş olur. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur.

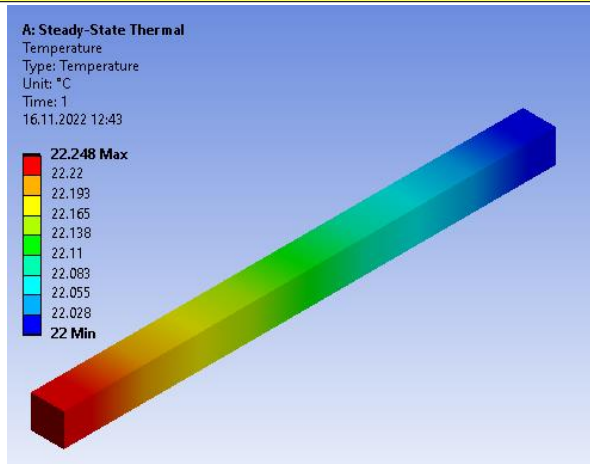
109

**Tablo 2**

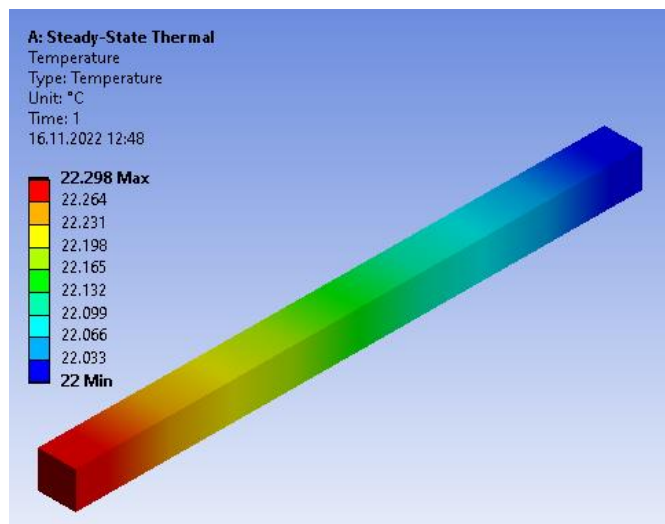
Sonuçlar

Hesaplamalar	Malzemeler (-)	Sıcaklık Akısı (W/m <sup>2</sup> )	Sıcaklık Farkı $\Delta T$ (°C)		Yüzde Fark
			Sayısal Sonuçlar	Teorik Sonuçlar	
1	elik	50	0.248	0.248	% 0
2	elik	60	0.298	0.298	% 0
3	elik	70	0.347	0.347	% 0
4	Alüminyum	50	0.130	0.130	% 0
5	Alüminyum	60	0.157	0.157	% 0
6	Alüminyum	70	0.183	0.183	% 0
7	Magnezyum	50	0.188	0.188	% 0
8	Magnezyum	60	0.225	0.225	% 0
9	Magnezyum	70	0.263	0.263	% 0

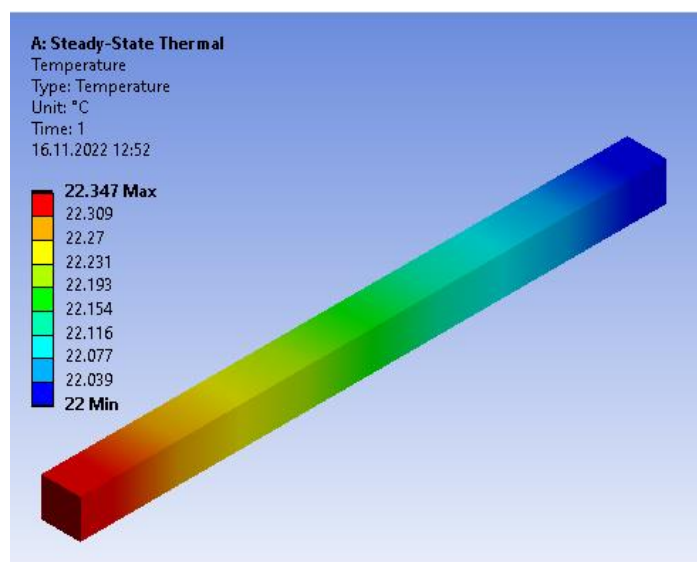
Tablo 2’den görüldüğü üzere sonlu elemanlar sonuçları ile teorik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar aynıdır. Bu durum göstermektedir ki sayısal hesaplamalar yüksek doğruluk içermektedir. Hem sayısal hem de teorik sonuçlar arasındaki fark % 0 olarak hesaplanmıştır.



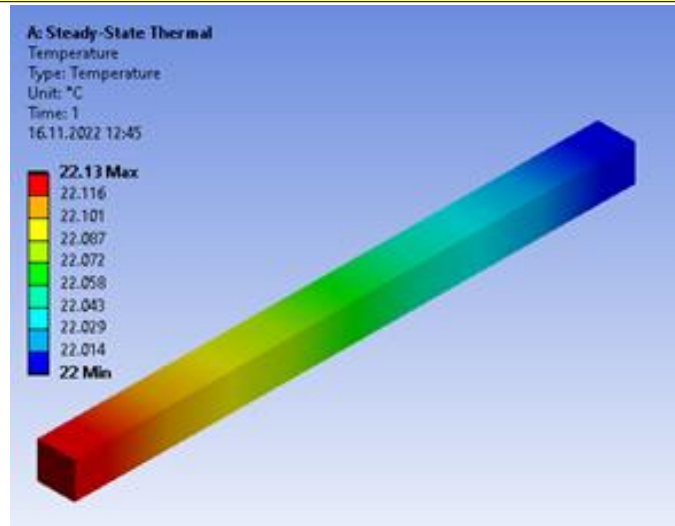
### 1. Sonuç



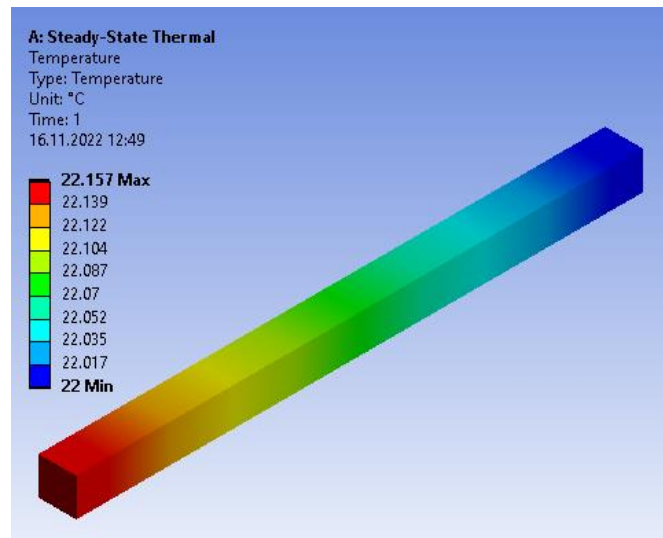
### 2. sonuç



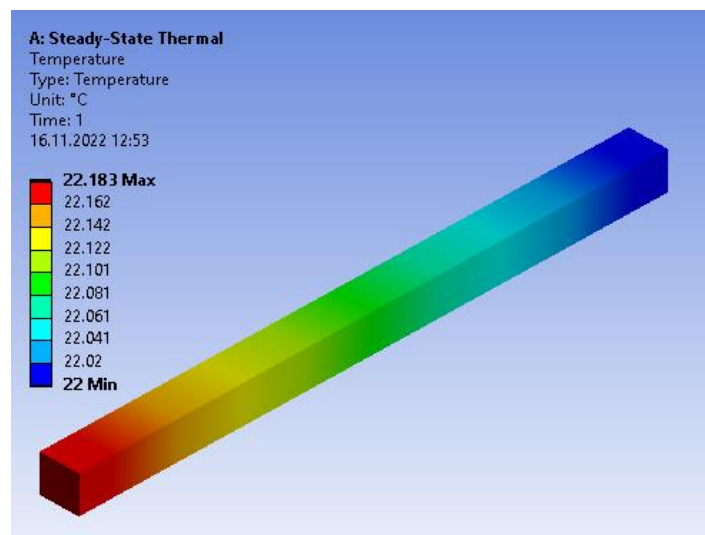
### 3. Sonuç



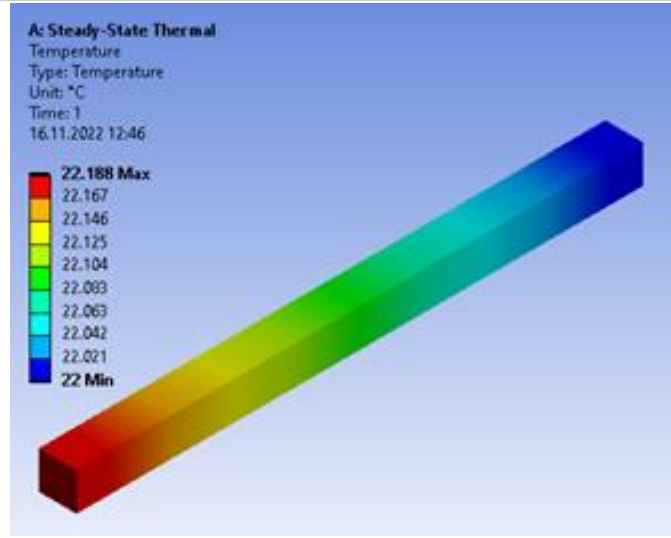
#### 4. Sonuç



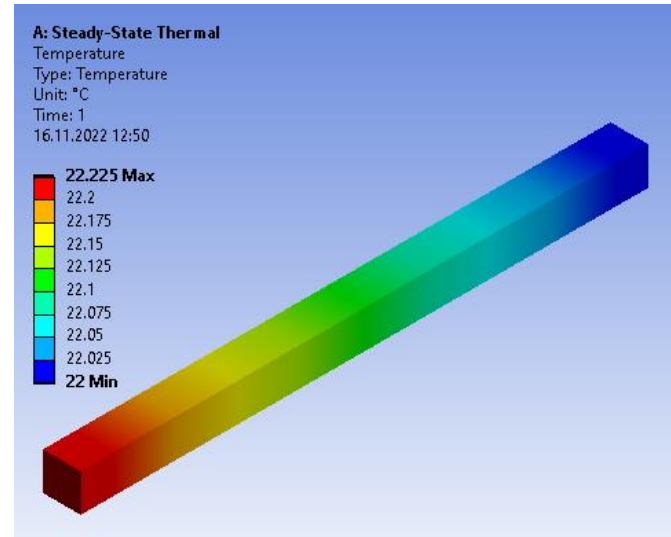
#### 5. Sonuç



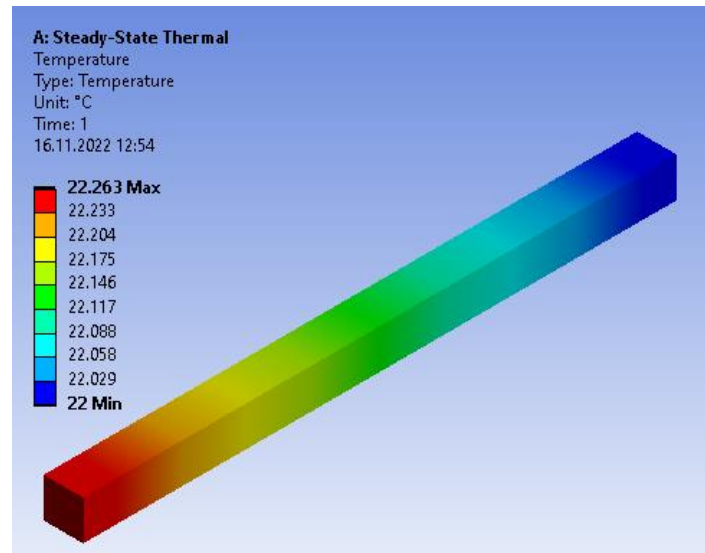
#### 6. Sonuç



### 7. Sonuç



### 8. Sonuç



### 9. Sonuç

Şekil 2. Sonlu elemanlar sonuçlarının görselleri

Şekil 2'den görüldüğü üzere ısı akısı uygulanan çubuk alınları en yüksek sıcaklık değerlerine ulaşırken oda sıcaklığına maruz kalmış kısımlar en düşük sıcaklık değerinde tespit edilmiştir. Sıcaklık değişimi yüksekte düşüğe doğru olmaktadır. Dolayısıyla ısı akısına maruz kalan kısımdan oda sıcaklığına maruz kalan bölgeye doğru sıcaklık değişimi gözlemlenmektedir.

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu araştırma, farklı malzemelerin termal davranışını anlamak ve tasarım aşamasında olası problemleri önceden tahmin etmek açısından önemli bir adım sağlamaktadır. Sonuçlar, sayısal ve teorik yöntemlerin yüksek uyum içinde olduğunu ve her ikisinin de güvenilir sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Bu, sayısal analizlerin karmaşık termal problemleri çözmek için güvenilir bir araç olduğunu ve tasarım süreçlerinin optimize edilmesine yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Ayrıca, bu çalışma farklı malzemelerin ısı iletim özelliklerini ve termal dirençlerini değerlendirmek için değerli bir model sunmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda, malzeme seçimi termal performansı etkileyebilir ve aşırı sıcaklık artışları ciddi sonuçlara yol açabilir. Bu çalışma, tasarımcıların malzeme seçimlerini daha bilinçli bir şekilde yapmalarına yardımcı olabilir ve istenmeyen termal problemleri önceden tahmin etmelerine olanak tanır.

Sonuç olarak, bu projede gerçekleştirilen çalışma, farklı malzemelerin ısıl davranışlarının anlaşılmasına ve tasarım süreçlerinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Sayısal analizlerin ve teorik hesaplamaların uyumu, bu yöntemlerin termal problemleri çözmek ve gelecekte olası riskleri önceden belirlemek için etkili araçlar olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, farklı malzemelerden üretilmiş üç boyutlu çubukların farklı ısı akılarına maruz kaldığında oluşan sıcaklık farklarının hesaplamalarını inceledi. Sayısal ve teorik yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalar, her malzemenin farklı ısı akılarına göre katkı oranlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirildi. Çelik, alüminyum ve magnezyum malzemeleri kullanılarak tasarlanan çubukların kesit alanı 20x20 mm olarak belirlendi ve uzunlukları 300 mm olarak kabul edildi. Çubukların bir ucunda ısı akısı uygulanırken diğer uçları oda sıcaklığında tutuldu. Sayısal analizler için ANSYS programı kullanıldı ve her bir çubuk, SOLIDWORKS çizim programında tasarlanarak farklı sıcaklık seviyelerinde analiz edildi. Elde edilen sonuçlar, sayısal ve teorik yöntemlerin sonlu elemanlar yaklaşımıyla elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermektedir. Her iki yöntem arasındaki fark %0 olarak hesaplandı, bu da sayısal hesaplamaların yüksek doğruluk taşıdığını göstermektedir. Bu çalışma, endüstride kullanılan farklı malzemelerin sıcaklık artışına nasıl tepki verebileceğini önceden belirlemenin ve olası riskleri öngörmenin önemini vurgulamaktadır.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu projenin (Proje No: FHD-2022- 4228) oluşmasında katkılar sağlayan ÇOMÜ BAP birimine teşekkür ederim.

#### 6. KAYNAKLAR

- [1] Aliabadi, M. H., The Boundary Element Method, Volume 2: Applications in Solids and Structures, John Wiley & Sons (2002).
- [2] Comini, D. G., Del Giudice, S., Lewis, R., Zienkiewicz, O., Finite Element Solution of Non-Linear Heat Conduction Problems with Special Reference to Phase Change, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 8(3): 613-624, (1974).
- [3] Florez, W., Power, H., Comparison between Continuous and Discontinuous Boundary Elements in the Multidomain Dual Reciprocity Method for the Solution of the Two-Dimensional Navier–Stokes Equations, Engineering analysis with boundary elements, 25(1): 57-69, (2001).
- [4] Haji-Sheikh, A., Beck, J., Agonafer, D., Steady-State Heat Conduction in Multi-Layer Bodies, International Journal of Heat and Mass Transfer, 46(13): 2363-2379, (2003).



- [5] Hsieh, M.-H., Ma, C. C., Analytical Investigations for Heat Conduction Problems in Anisotropic Thin-Layer Media with Embedded Heat Sources, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(20): 4117-4132, (2002).
- [6] Jiang, Z., Zhao, J., Xie, H., Chapter 3 - Scaling Laws, *Microforming Technology*. Z. Jiang, J. Zhao and H. Xie, Academic Press, 53-71, (2017).
- [7] Ma, C.-C., Chang, S. W., Analytical Exact Solutions of Heat Conduction Problems for Anisotropic Multi-Layered Media, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, (8-9), 1643-1655, (2004).
- [8] Mera, N., Elliott, L., Ingham, D., Lesnic, D., A Comparison of Boundary Element Method Formulations for Steady State Anisotropic Heat Conduction Problems, *Engineering analysis with boundary elements*, 25, (2), 115-128, (2001).
- [9] Serth, R. W., 1 - Heat Conduction. *Process Heat Transfer*, R. W. Serth. Oxford, Academic Press, 1-41, (2007).
- [10] Shiah, Y., Hwang, P.-W., Yang, R. B., Heat Conduction in Multiply Adjoined Anisotropic Media with Embedded Point Heat Sources, (2006).
- [11] Shiah, Y., Lee, R., Boundary Element Modeling of 3d Anisotropic Heat Conduction Involving Arbitrary Volume Heat Source, *Mathematical and computer modelling*, 54, (9-10), 2392-2402, (2011).
- [12] Shiah, Y., Tan, C. L., Bem Treatment of Three-Dimensional Anisotropic Field Problems by Direct Domain Mapping, *Engineering analysis with boundary elements*, 28, (1), 43-52, (2004).
- [13] Shiah, Y., Tan, C., Bem Treatment of Two-Dimensional Anisotropic Field Problems by Direct Domain Mapping, *Engineering analysis with boundary elements*, 20,(4), 347-351, (1997).
- [14] Tadeu, A., Antonio, J., Use of Constant, Linear and Quadratic Boundary Elements in 3d Wave Diffraction Analysis, *Engineering analysis with boundary elements*, 24,(2), 131-144, (2000).
- [15] Wang, H., Qin, Q. H., Kang, Y. L., A New Meshless Method for Steady-State Heat Conduction Problems in Anisotropic and Inhomogeneous Media, *Archive of Applied Mechanics*, 74, (8), 563-579, (2005).
- [16] Zedan, M., Schneider, G., A Physical Approach to the Finite-Difference Solution of the Conduction Equation in Generalized Coordinates, *Numerical Heat Transfer, Part A Applications*, 5, (1), 1-19, (1982).