Parabolik Oluk Güneş Kolektörü Alıcı Boruda Kanatçık Tasarımı

Dilara Budak, Fatih Şenlik, Muharrem Gündüz, Sezer Sevim*, Ali Yurddaş*
Manisa Celal Bayar Üniv., Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye
**İletişimden sorumlu yazar: sezersevim035@gmail.com*

Özet

Isı transferinin gerçekleştiği ekipmanlarda yapılan iyileştirmeler ısıl performansın gelişmesine katkı sağlamakta bu sayede sistemlerde enerji verimliliği arttırılmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisini kullanana sistemlerde yapılan iyileştirmeler ise güneş enerjisinden maksimum faydalı enerjinin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada parabolik oluk güneş kolektörlerinin alıcı borularında ısı transfer performansını artırmak için kanatçık eklenmesi üzerine kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Düz, beş kanatçıklı ve on iki kanatçıklı boru tasarımları, farklı Reynolds sayılarında (5000, 10,000, 15,000 ve 20,000) analiz edilmiştir. Akış dinamikleri, ısı transferi ve basınç düşüşü parametreleri detaylı olarak incelenmiş; tasarımların termo-hidrolik performans üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, parabolik oluk kolektör, ısı transferi

Giriş

Günümüzde enerji ihtiyacının sürdürülebilir kaynaklardan karşılanması, çevresel etkilerin azaltılması ve ekonomik verimliliğin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında öncelikli bir yere sahiptir. Özellikle parabolik oluk güneş kolektörleri, yüksek odaklanma oranları ve etkin ısı transfer özellikleri sayesinde, elektrik üretimi ve yüksek sıcaklık gerektiren endüstriyel proseslerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin verimliliği, alıcı boruların ısı transfer performansı ile doğrudan ilişkilidir.

Parabolik oluk tipi kolektörler, güneş enerjisini toplamak ve bu enerjiyi yüksek sıcaklıkta termal enerjiye dönüştürmek için tasarlanmış yoğunlaştırıcı sistemlerdir. Bu sistemler, uzun ve parabolik bir yansıtıcı yüzeyden oluşur ve güneş ışığını odak hattı boyunca yerleştirilmiş bir absorban boruya yönlendirir. Absorban boru, gelen güneş ışığını emerek 350-400 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda ısı üretir. Borunun içinden geçen ısı transfer akışkanı (su, yağ veya erimiş tuz gibi), bu enerjiyi taşıyarak elektrik üretimi, endüstriyel buhar üretimi ya da termal depolama gibi uygulamalarda kullanılabilir hale getirir.

Bu kolektörler, yüksek sıcaklıkta buhar üretimi yaparak elektrik santrallerinde etkili bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca endüstriyel tesislerde sıcak su ve buhar üretimi, tarım sektöründe sera ısıtma ve diğer tarımsal uygulamalar için enerji sağlamak amacıyla tercih edilir. Modüler yapıları sayesinde farklı büyüklükteki projelere kolayca adapte edilebilmeleri, bu sistemlerin önemli bir avantajıdır. Ancak, gelişmiş yansıtıcı yüzeyler ve güneş takip mekanizmaları nedeniyle kurulum maliyetleri yüksektir ve yalnızca direkt güneş ışığının yoğun olduğu bölgelerde etkili bir şekilde çalışabilir.

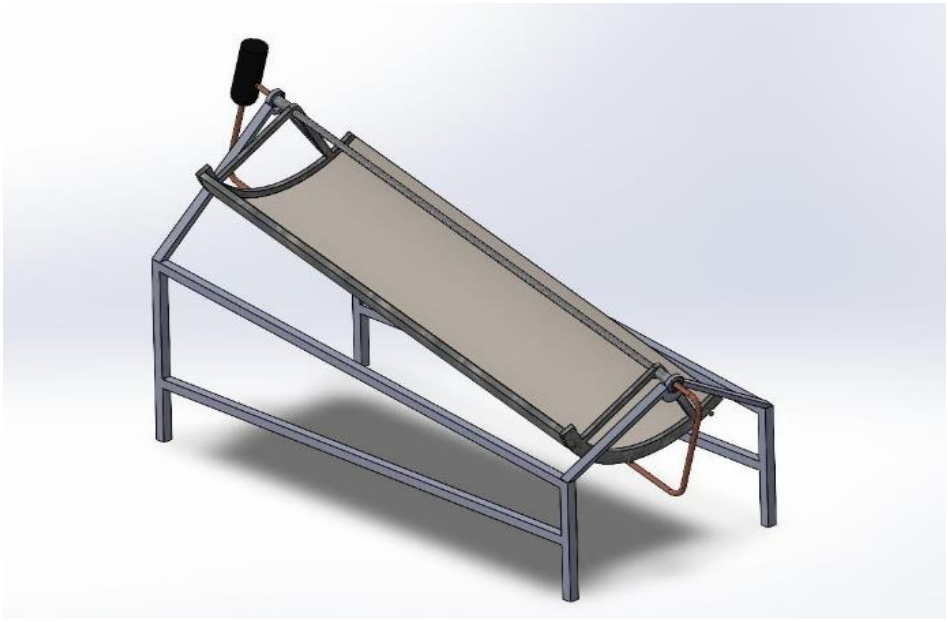
Parabolik oluk kolektörleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinde çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm olarak öne çıkar. Özellikle güneş ışınımının yoğun olduğu bölgelerde, enerji üretiminde sağladıkları yüksek verimlilik ve çok yönlü kullanım alanlarıyla geleceğin enerji sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı, enerji verimliliğini artırarak güneş kolektörlerinin performansını yükseltmektir. Güneş enerjisinden daha etkin faydalanmak hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Çalışmada, farklı Reynolds sayıları (5000, 10,000, 15,000 ve 20,000) altında gerçekleştirilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri ile kanatçık tasarımlarının ısı transferi üzerindeki etkileri detaylı olarak değerlendirilmiştir.

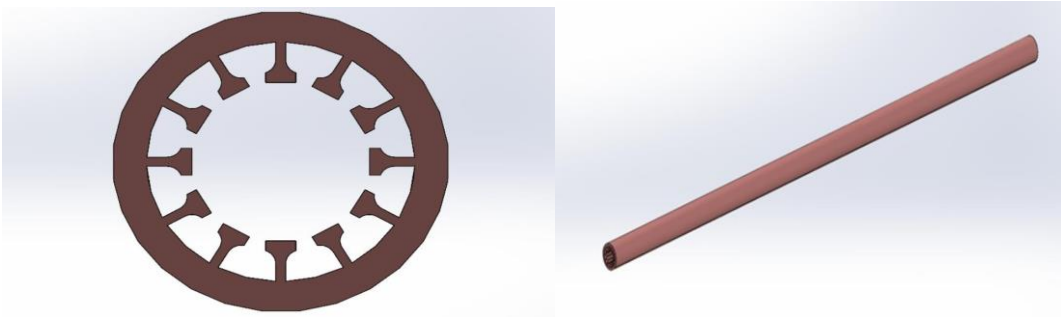
Materyal

Bu çalışmada kullanılan parabolik oluklu kolektör sisteminin sağdan görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Sistem genel olarak yansıtıcı yüzey, odak hattına yerleştirilen absorber boru ve bu boruyu çevreleyen cam örtüden oluşmaktadır. Tasarımda kullanılan absorber borunun görünümü ve teknik

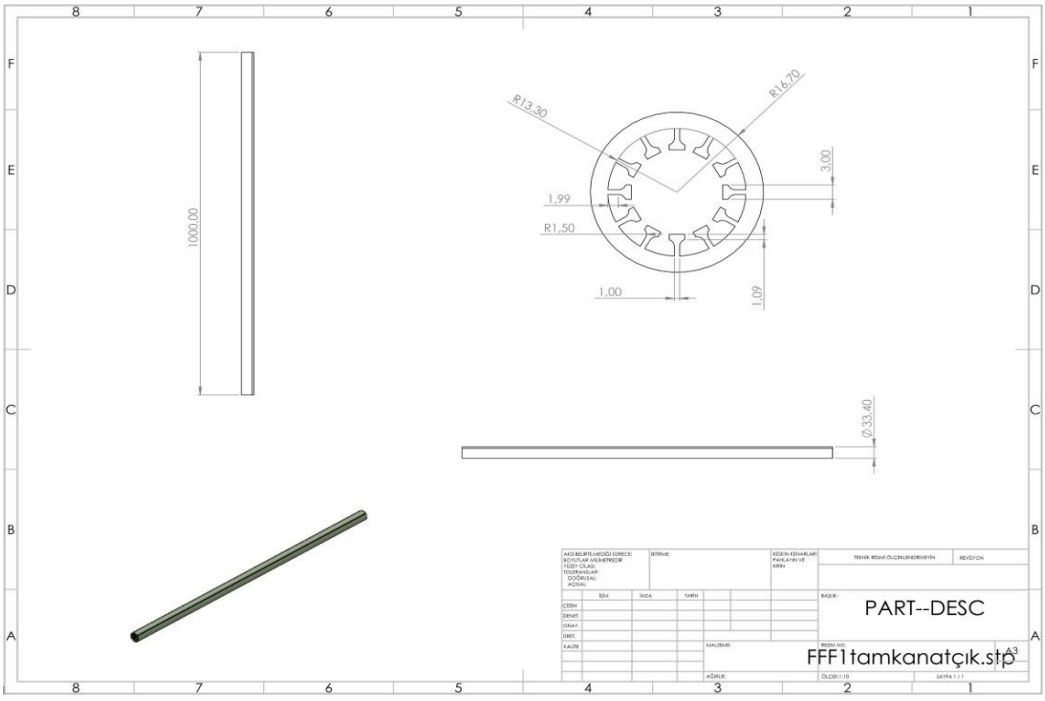
resmi Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Tasarıma ait teknik ölçüler Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Parabolik güneş kolektörü



Şekil 2. Kanatçıklı absorber boruya ait model görüntüsü



Şekil 3. Kanatçıklı absorber boruya ait teknik resim

Tablo 1. İncelenen parabolik kolektörün fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Model No	-	Analitik Yöntem	-
Absorber iç çapı Dİ (mm)	26,6	Absorber dış çapı DO (mm)	33,4
Absorber kalınlığı (mm)	3,4	Cam iç çapı DCİ (mm)	56
Cam dış çapı DCO (mm)	58	Kolektör açıklığı W (mm)	3000
Kolektör uzunluğu L (mm)	1000	Odak mesafesi F (mm)	862,7763
Açıklık alanı Aa (m²)	6	Yoğunlaştırma oranı C	89,82
Emisyon oranı ε**c**	0,86	Kapak geçirgenliği **τ**	0,95
Absorpsiyon oranı **α**	0,93	Yakalama faktörü ɤ	~0,9
Yansıtma oranı r	0,99	Optik verimlilik **ηopt**	0,78

Tablo 2. Kolektöre ait optik verimler

Simge	$\gamma yans$	γcam	γb	γkol	$\gamma \theta$	ηopt
Değer	0,9	0,9	0,93	0,95	0,999	0,7149

Tablo 3. Analizde incelenecek model bilgileri

Özellik	**1. Durum**	**2. Durum**	**3. Durum**
Boru iç çapı (Dİ)	26,6 mm	26,6 mm	26,6 mm
Boru dış çapı (DO)	33,4 mm	33,4 mm	33,4 mm
Kanatçık sayısı (n)	-	5 adet	12 adet
Kanatçık yüksekliği (H)	-	4,49 mm	4,49 mm
Kanatçık et kalınlığı (t)	-	1 mm	1 mm
Kanatçık radyusu (r)	-	1,5 mm	1,5 mm
Boru uzunluğu (L)	1000 mm	1000 mm	1000 mm
Kanatçık uzunluğu (L)	1000 mm	1000 mm	1000 mm

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi

Matematiksel Hesaplamalar

Bir kolektör tarafından güneşten elde edilebilecek toplam enerji, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$Q_g = A_a \times I_d \quad (1)$$

Kolektör tarafından güneş ışığını toplayabilen toplam açıklık alanı aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$A_a = (w - D_{bd}) \times L \quad (2)$$

Alıcı borunun güneş kolektöründen ne kadar enerji kazandığı aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$Q_{abs} = Q_g \times \eta_{opt} \quad (3)$$

Kolektörün optik verimi, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$\eta_{opt} = \gamma_{yans} \times \gamma_{cam} \times \gamma_b \times \gamma_{kol} \times \gamma_\theta \quad (4)$$

Zorlanmış konveksiyon ile ısı transferi için kullanılan Nusselt sayısı (Nu) aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$Nu = h.D/K \quad (5)$$

Isı taşınım katsayısı (h), yüzeyden akışkana olan ısı transferini belirlemek için aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$h = q/(Ts - Tm) \quad (6)$$

Sıkıştırılamaz bir akışkan için süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (7)$$

Enerji denklemi, sistemdeki enerji korunumu prensibini ifade eder ve aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho e) + \nabla(\rho e \vec{v}) = -\nabla \cdot \vec{q} + \Phi \quad (8)$$

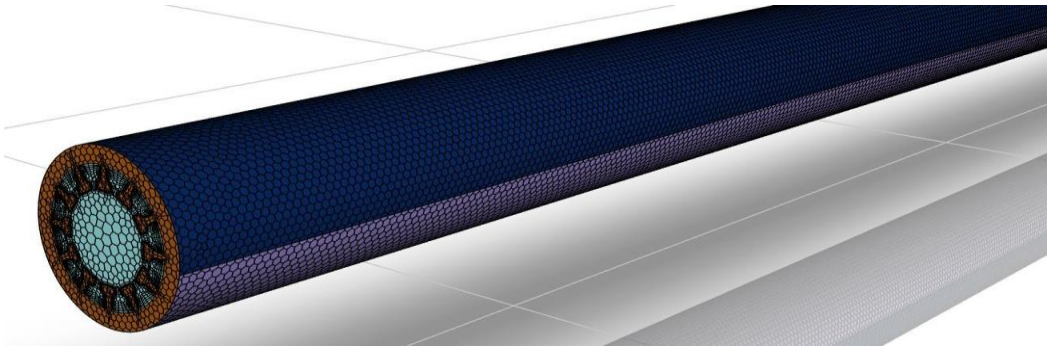
Akışkanın hareketini tanımlayan momentum denklemi (Navier–Stokes denklemi) aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\rho\left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla)\vec{v}\right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{F} \quad (9)$$

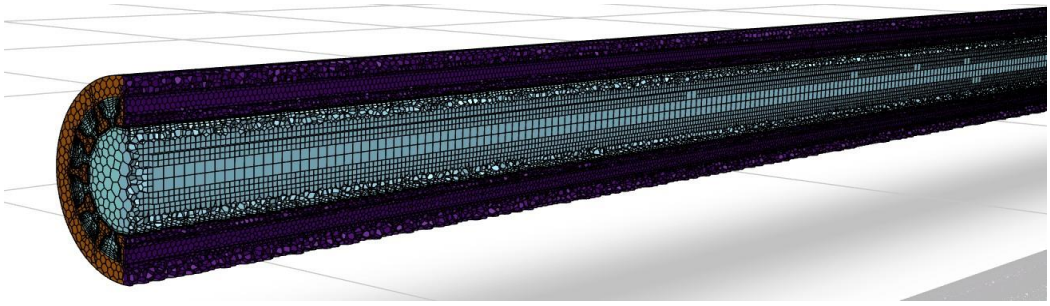
Bulgular ve Tartışma

Mesh Analizi

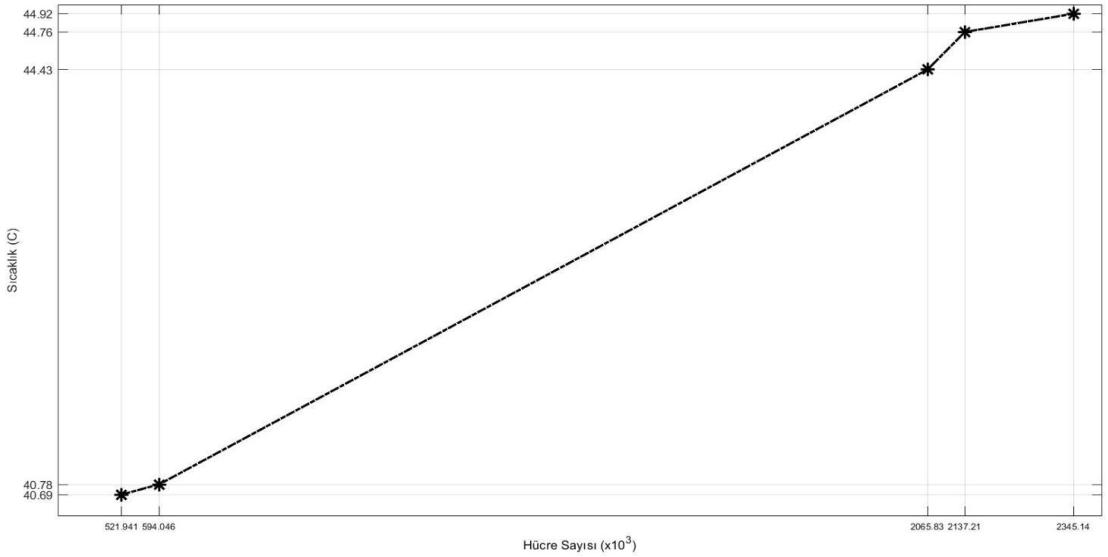
Bu bölümde, alıcı boru tasarımlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen mesh analizi gösterilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'te kanatçıklı boru için seçilen optimum mesh verilmiştir. Şekil 6'da optimum meshi seçmek için yapılan meshten bağımsızlaştırma grafiği bulunmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8'de basınç ve sıcaklık grafikleri bulunmaktadır. Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de absorber boruya ait kesit sıcaklığı, hız vektörleri ve akış çizgileri grafikleri bulunmaktadır. Şekil 12 ve Şekil 13'te Reynolds sayısının Nusselt sayısı ve basınç düşüşüne göre grafikleri bulunmaktadır.



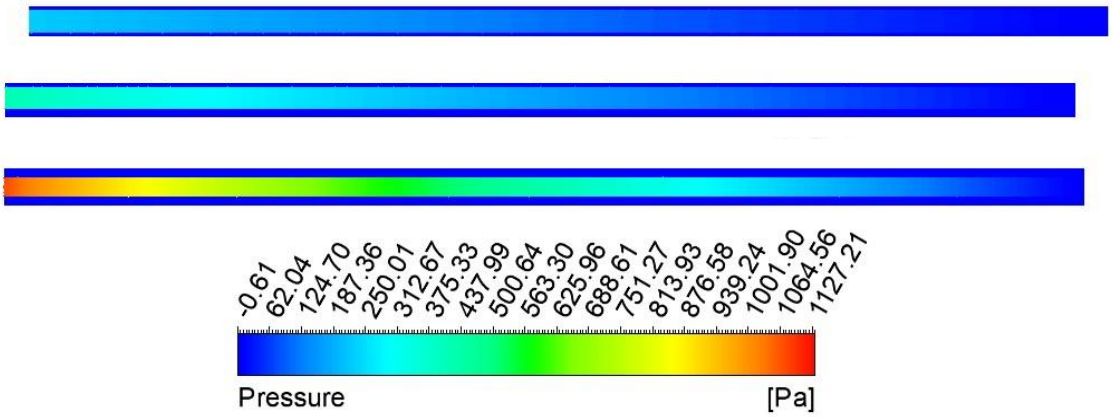
Şekil 4. Kanatçıklı boru için seçilen optimum mesh



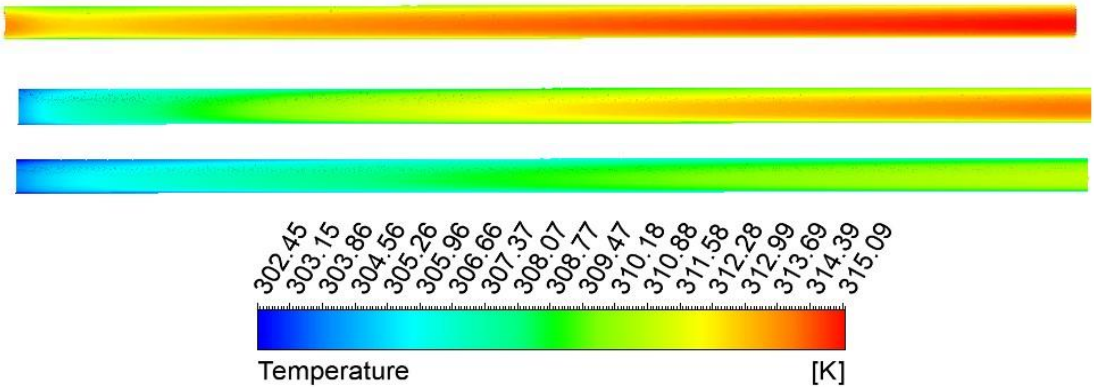
Şekil 5. Kanatçıklı boru için seçilen optimum mesh kesiti



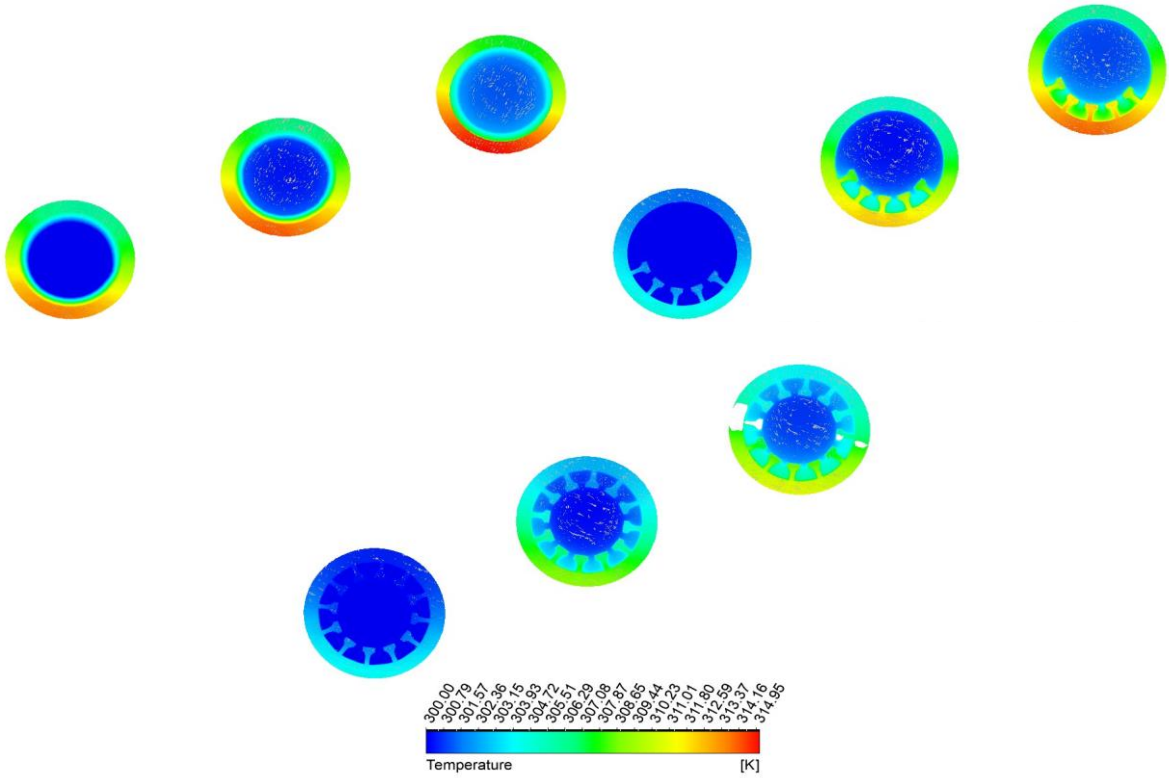
Şekil 6. Kanatçıklı boru meshten bağımsızlaştırma grafiği



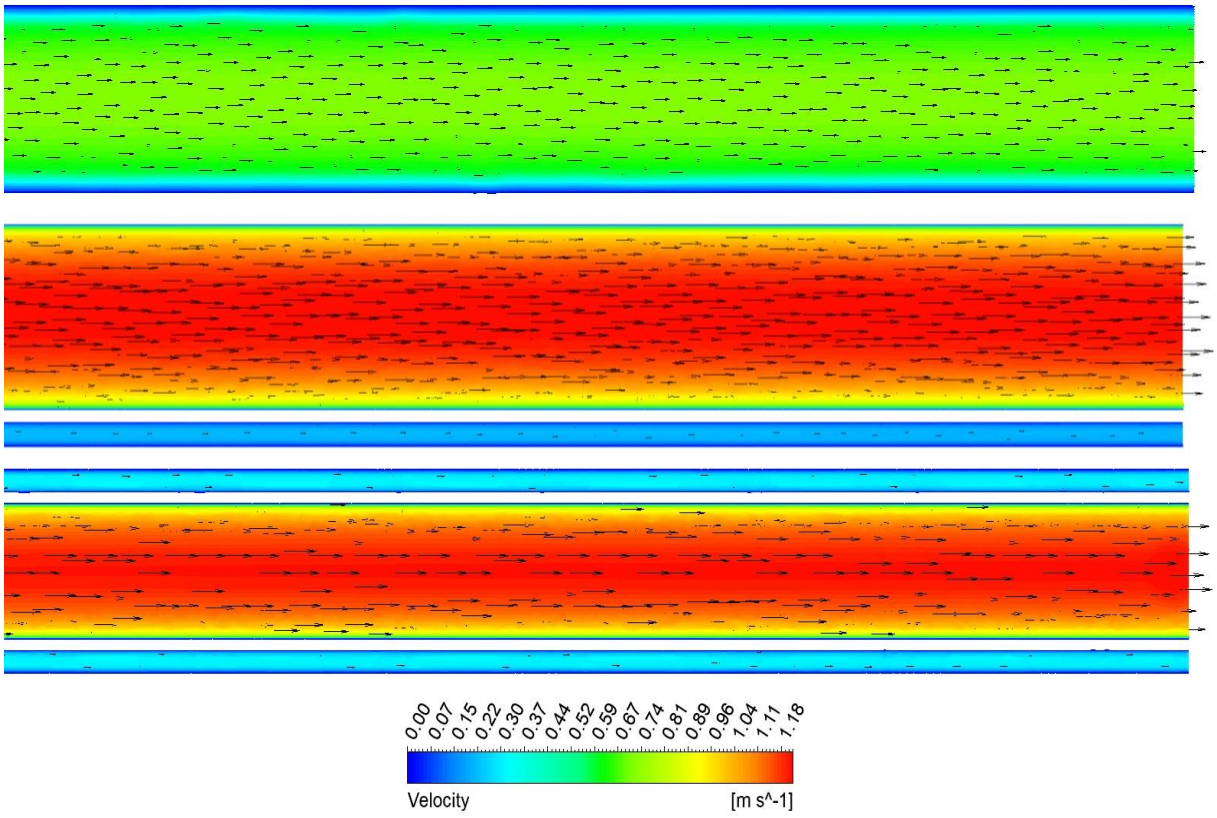
Şekil 7. Absorber boru için basınç düşüşü



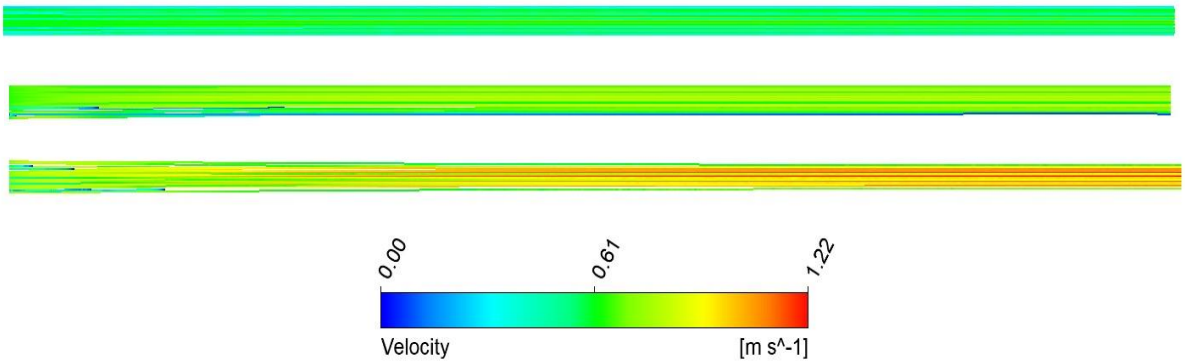
Şekil 8. Absorber boru için sıcaklık dağılımı



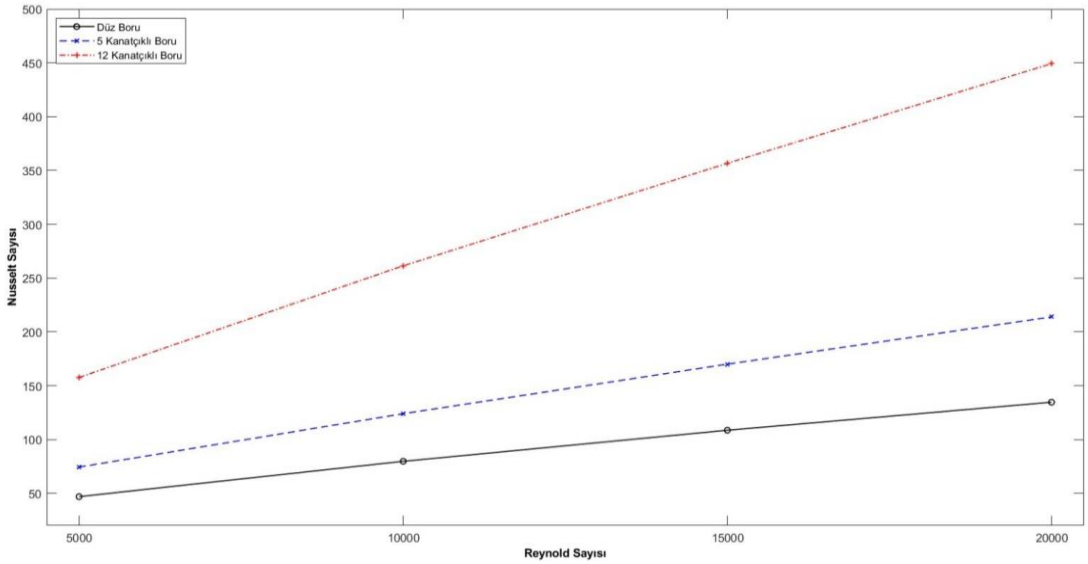
Şekil 9. Absorber boru için kesit sıcaklığı



Şekil 10. Absorber boru için hız vektörlerinin gösterimi

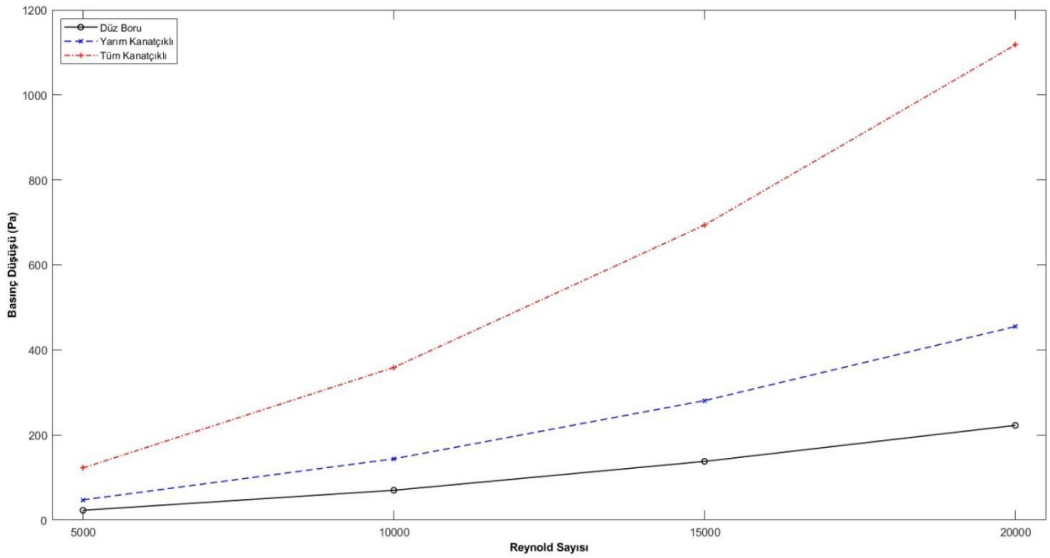


Şekil 11. Absorber boru için akış çizgileri



Şekil 12. Nusselt sayısı-Reynolds sayısı grafiği

Nusselt sayısı, akışkanın yüzeyle ısı alışverişini ifade eden önemli bir parametredir ve Reynolds sayısı ile boru tasarımına bağlı olarak artış göstermiştir.



Şekil 13. Basınç düşüşü-Reynolds sayısı grafiği

Basınç düşüşü, akışkanın boru içerisindeki hareketine karşı oluşan dirençle ilişkilidir ve Reynolds sayısı ile boru tasarımına bağlı olarak Şekil 13'te yer aldığı gibi artış göstermiştir.

Sonuç

Yapılan analizlerden görüldüğü üzere düz absorber boru modele helisel kanatçık eklenmesi ile ısıl performansta artış olduğu ancak helisel kanatçık akışa engel olduğundan basınç kaybı ve dolayısıyla sürtünme katsayısında artış meydana geldiği görülmüştür. Kanatçıklı absorber boru alt yüzeyinde yoğunlaşan ısının düz boruya kıyasla akışkana daha iyi geçtiği görülmüştür. Yapılan kanatçık tasarımının işlevini gördüğü ve basınç kaybındaki artışın ısıl performans artışın yanında ihmal edilebilir seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

[1] Jebasingh, V.K., Herbert, G.M. J., 2016, A review of solar parabolic trough collector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 1085-1091, https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.043

[2] Liang, H., Zhu, C., Fan, M., You, S., Zhang, H., Xia, J., 2018, Applied Energy, Study on the thermal performance of a novel cavity receiver for parabolic trough solar collectors, 222, 790-798, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.030

[3] Yılmaz, İ. H., Mwesigye, A., 2018, Modeling, simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors: A comprehensive review, Applied Energy, 225, 135-174, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.014

[4] Yang, M., Moghimi, M.A., Zhu, Y., Qiao, R., Wang, Y., Taylorc, R. A., 2020, Optical and thermal performance analysis of a micro parabolic trough collector for building integration, Applied Energy, 260, 114234, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114234

[5] Sheikholeslami, M., Gorji-Bandpy, M., Ganji, D. D., 2015, Review of heat transfer enhancement methods: Focus on passive methods using swirl flow devices, 49, 444-469, Renewable and Sustainable Energy Reviews, https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.113

[6] Saedodin, S., Zaboli, M., Ajarostaghi, S. S. M., 2021, Hydrothermal analysis of heat transfer and thermal performance characteristics in a parabolic trough solar collector with Turbulence-Inducing elements, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 46, 101266, https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101266

[7] Hou, G., Yadav, A., Ali, E., Naeem, Y. A., Ahmed, F. F., Muzammil, K., Falih, K. T., Abdulridui, H. A., Kadhum, E. H., Omran, A. A., Elawady, A., 2024, Thermal performance improvement for parabolic trough solar collectors integrated with twisted fin and nanofluid: Modeling and validation, Case Studies in Thermal Engineering, 60, 104763, https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104763

[8] Bellos, E., Tzivanidis, C., Tsimpoukis, D., 2017, Thermal enhancement of parabolic trough collector with internally finned absorbers, Solar Energy, 157, 514-531, https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.08.067

[9] Kumar, A., Kunwer, R., Donga, R. K., Priyanka, Kumar, S., Alam, T., Siddiqui, I. H., Dobrotă, D., 2024, Effect of oval rib parameters on heat transfer enhancement of TiO2/water nanofluid flow through parabolic trough collector, Case Studies in Thermal Engineering, 55, 104080, https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104080