



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Farklı Nanoakışkanlar Kullanılan Isı Borularında Termal Verimi Etkileyen Parametrelerin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu

Ahmet ÖZTÜRK*, Fatin SÖNMEZ, Abdüssamed KABAKUŞ

Artvin Çoruh Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 08000, Artvin, Türkiye
Ahmet ÖZTÜRK, ORCID No: 0000-0002-5560-0578, Fatin SÖNMEZ, ORCID No: 0000-0002-9630-1232,
Abdüssamed KABAKUŞ, ORCID No: 0000-0002-3049-9493

*Sorumlu yazar e-posta: ahmetozturk@artvin.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 26.01.2023
Kabul: 25.04.2023
Online Aralık 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1242697

Anahtar Kelimeler

Isı borusu,
Nanoakışkan,
Taguchi yöntemi,
Termal verim

Öz: Bu çalışmada ısı değiştiricilerinde farklı tip nanoakışkanlar kullanılarak ısı borularının termal verimini etkileyen parametreler Taguchi yöntemi ile optimize edilmiştir. Deneysel tasarım termal verimi etkileyen dört parametre için üç seviyede $L_{27}(3^4)$ ortogonal serisine göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler %0.2-0.4-0.6 derişimlerde, Alüminyum Oksit (Al_2O_3), Titanyum dioksit (TiO_2) ve Silisyum dioksit (SiO_2) için yapılmıştır. Nanoakışkan süspansiyonlarında temel sıvısı olarak izopropil alkol kullanılmıştır. Evaporatör bölgesindeki giriş sıcaklıkları 40-60-80°C, kondenser bölgesindeki hava hızları 0.4-0.8-1.2m/s olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ısı borularının ısı verimleri hesaplanmıştır. Varyans analizi (ANOVA) ile modelin doğruluğu test edilmiş ve optimum parametreler; nanopartikül SiO_2 , derişim 0.4, evaporatör giriş sıcaklığı 80°C ve kondenserdeki hava hızı 1.2m/s olarak elde edilmiştir.

Optimization of Parameters Affecting the Thermal Efficiency in Heat Pipes Using Different Nanofluids with Taguchi Method

Article Info

Received: 26.01.2023
Accepted: 25.04.2023
Online December 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1242697

Keywords

Heat pipe,
Nanofluid,
Taguchi method,
Thermal efficiency

Abstract: In this study, parameters affecting the thermal efficiency of heat pipes were optimized by the Taguchi method using different types of nanofluids in heat exchangers. The experimental design was carried out according to the $L_{27}(3^4)$ orthogonal series at three levels for four parameters affecting the thermal efficiency. The experiments were conducted for Aluminum Oxide (Al_2O_3), Titanium dioxide (TiO_2) and Silicon dioxide (SiO_2) at 0.2-0.4-0.6% concentrations. Isopropyl alcohol was used as base fluid in nanofluid suspensions. The inlet temperatures in the evaporator region were determined as 40-60-80°C, and the air velocities in the condenser region were determined as 0.4-0.8-1.2m/s. As a result of the experiments the thermal efficiencies of the heat pipes were calculated. The model's accuracy of the model was tested by analysis of variance (ANOVA) and optimum parameters were determined as nanoparticle SiO_2 , concentration 0.4, evaporator inlet temperature 80°C and air velocity in the condenser 1.2m/s.

1. Giriş

Teknolojinin hızla ilerlemesi ve buna bağlı olarak da sanayileşmenin hızla gelişmesi sonucunda ülkemizdeki enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Enerji konusunda dünya ile yarışabilmemizin yolu ise enerjiyi verimli bir şekilde kullanmaktan geçmektedir. Günümüzde fosil yakıtlar, enerji üretiminde birinci sıradaki yerini korumaktadır (Yılankırkan & Doğan, 2020).

Yenilenebilir enerji alanında birçok çalışma yapılmasına rağmen fosil yakıtlara olan ihtiyaç hala çok yüksek düzeydedir. Dünyamızda enerji tüketim hızının gittikçe arttığı düşünüldüğünde sınırlı olan fosil kökenli yakıtlarda yakın gelecekte büyük enerji sıkıntıları meydana geleceği düşünülmektedir (Tezekici, 2005). Bu da göstermektedir ki dünyamızda sınırlı oranda bulunan fosil kökenli yakıtları verimli kullanmak, enerji ihtiyacını uzun yıllar karşılayabilmek için önem taşımaktadır.

Dünyada yenilenebilir enerji ve enerjinin verimli kullanılması adına çalışmalar yapılmaktadır. Enerjinin verimli kullanımı için kullanılan ısı geri kazanım cihazlarının verimlerini artırmak amacıyla ısı borularında kullanılan nanoakışkan süspansiyonları önemli yer tutmaktadır.

Geleneksel akışkanların içerisinde süspansiyon olarak yer tutan nano sıvılar, gelişmiş termal iletkenliklerinden dolayı geleneksel akışkanlara kıyasla üstün ısı transferi potansiyeline sahiptirler (Şahin & Namlı, 2018).

Son yıllarda nanoakışkanların ısı borularında kullanılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar şöyle özetlenebilir:

Kaya & Ekiciler (2020) çalışmalarında, farklı hacimsel konsantrasyondaki su bazlı Al_2O_3 , CuO, SiO_2 , ZnO nanoakışkanları, U-dönüş dirsekli çift borulu ısı değiştiricinin bir iç borusundaki akışın taşınım ile ısı transferini ve sürtünme faktörü performansını sayısal olarak incelemiştir. Nanoakışkanların hacimsel konsantrasyonlarını %1, %2, %3 ve %4 ve Reynolds sayı aralığı 15000–30000 olarak belirlemiştir. En yüksek Nusselt sayısı, %4 hacimsel konsantrasyonuna sahip Al_2O_3 /su nanoakışkanı için %51.9 artış oranı ile elde edilmiştir. Nanoakışkan hacimsel konsantrasyonunun artması ile Nusselt sayısı artarken Darcy sürtünme faktörü değerinde nanoakışkan tipi ve hacimsel konsantrasyonuna bağlı olarak bir değişim gözlenmemiştir.

Erol ve ark. (2017) yaptıkları çalışmalarında, paralel akışlı iç içe borulu eş merkezli ısı değiştiricide ısı iletkenliğinin artırılmasını amaçlamışlardır. Deney düzeneğinde saf suyun içerisine %2 (kütle/ kütle) derişimi sağlanacak şekilde süspansiyon edilen ortalama 44 nm boyutunda %97 saflıkta TiO_2 nanopartikülü kullanılmıştır. Isı değiştiricide sıcak akışkan olarak TiO_2 -saf su nanoakışkanı, soğuk akışkan olarak ise saf su kullanılmıştır. Nanoakışkan kullanımı sonucu paralel akışlı ısı değiştiricisinde sıcak akışkanın sahip olduğu ısı transfer katsayısında %38, soğuk akışkanın sahip olduğu ısı transfer katsayısında ise %3 iyileşme sağlanmıştır. Sistemin toplam ısı transfer katsayısı %17 artmıştır.

Öztürk ve ark. (2018) yaptıkları deneysel çalışmada havadan havaya ısı geri kazanım sistemlerinde Al_2O_3 parçacıkları içeren nanoakışkan ve saf su kullanılarak ısı borulu ısı geri kazanım sisteminin ısı performansları karşılaştırmışlardır. Deneyler 25°C ile 90°C sıcaklıklar arasında, kondenser bölümünden çekilen ısıyı belirleyebilmek için 5 farklı soğutma hava debisi, evaporatör bölgesi için 2 farklı ısıtıcı gücü (3 ve 6kW) kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. En yüksek verim, $\eta = %59$ ile 3kW ısıtıcı gücünde ve 112g/s hava debisinde Al_2O_3 nanoakışkanı kullanılarak yapılan deneyde elde edilmiştir.

Vijayakumar ve ark. (2016) çalışmalarında Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanlar kullanılarak ısı borusunun ısı performansını araştırmışlardır. Ayrıca ısı borusunun eğim açısının termal performans üzerinde etkisini de incelemiştir. Optimum performans 45° eğim açısı ile elde edilmiştir. Buharlaşma ve yoğunlaşma bölgelerinde CuO nanoakışkanı için %32.99 ve Al_2O_3 nanoakışkanı için %24.59 oranında termal performansın arttığını ifade etmişlerdir.

Harun ve ark. (2021) yaptıkları çalışmalarında %0-%3 arasında değişen ağırlık konsantrasyonlarına sahip Al_2O_3 , elmas ve SiO_2 nanoakışkanlarının kullanıldığı elektronik bileşenlerin yüksek ısı dağılımı için döngü ısı borusunun performansını incelemiştir. Sonuç olarak termal direncin elmas, Al_2O_3 ve SiO_2 için sırasıyla 3.0872, 3.1465 ve 3.2816°C/W olduğunu bulmuşlardır.

1.1. Taguchi yöntemi ve deney tasarımı

Taguchi yöntemi, deney parametrelerinin belirlenmesinin ardından asgari sayıda deney yapılarak optimum sonuç değişkenine ulaşıldığı istatistiksel bir yöntemdir. Taguchi metodu ile yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler S/N (sinyal/gürültü) oranına dönüştürülür. S/N oranı ne kadar artarsa sonuç değişkeninin deney sonucuna etkisi o kadar artar (Ata & Acır, 2020; Çangal & Ayhan, 2021). S/N oranı hesaplanırken “en büyük en iyi”, “en küçük en iyi” ve “normal en iyi” yaklaşımları kullanılmaktadır (Türkan, 2022). Termal verimin en yüksek olduğu optimum parametre değerlerinin belirlendiği bu çalışmada “en büyük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır. Taguchi yöntemi ile optimum parametrelerin belirlenmesi aşağıdaki şekilde yapılır;

- Sonuç değişkeni belirlenir.
- Sonuca etki eden değişken parametreler (faktörler) belirlenir.
- Değişken parametrelerinin seviyeleri belirlenir.
- Uygun deney tasarımı seçilir.
- Deneyler yapılır.
- Sonuçlara göre model değerlendirmesi yapılır.
- Varyans analizi ile modelin doğruluğu test edilir ve parametrelerin etki oranları belirlenir.
- Optimum parametreler ve değerleri belirlenir.

Yapılan bu deneysel çalışmanın amacı, çalışma sıvılarının termal özelliklerini geliştirerek ısı borulu ısı değiştiricilerinde termal verimin iyileştirilmesini sağlamaktır. Bu kapsamda bir ısı borusu test düzeneği kurularak nanoakışkan çözeltileri için 3 farklı sıcaklıkta (40-60-80°C), 3 farklı derişim oranında (%0.2-0.4-0.6), 3 farklı hava hızında (0.4-0.8-1.2m/s) ve 3 farklı nanoakışkan çeşidi (TiO₂, Al₂O₃, SiO₂) kullanılarak deneyler yapılmış olup, elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan literatür taramasında ısı borulu ısı değiştiricilerinde temel sıvısı izopropil alkol olan TiO₂, Al₂O₃, SiO₂ nanoakışkan kullanımının Taguchi yöntemi ile optimum parametrelerinin belirlendiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yapılan çalışma bu yönüyle özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, ısı değiştiricisine yerleştirilmiş nano boyutta Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ partiküllerinden oluşan nanoakışkanlar ısı borularında kullanılarak deneyler yapılmıştır. Isı borularında nanoakışkanların kullanımı ile; çalışma akışkanlarının yüzey gerilimi azaltılarak ısı borularının termal direncini düşürmek, ısıl iletkenliğini artırmak, evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısı transfer miktarını arttırmak, ısı borulu ısı değiştiricilerin termal verimini yükseltmek amaçlanmıştır.

2.1. Nanoakışkanların hazırlanması

Deneylere başlamadan önce nanoparçacıkların tartılması ve nanoakışkanların hazırlanması çalışmanın ilk aşmasıdır. Nanoparçacıkların tartım işlemi Sartorius marka CPA2245 model hassas terazi ile yapılmıştır. Çözelti içerisindeki sedimantasyonu önlemek amacıyla çözeltiliye yüzey aktifleştirici olarak %2 hacimsel oranda Triton X-100 ilave edilmiştir.

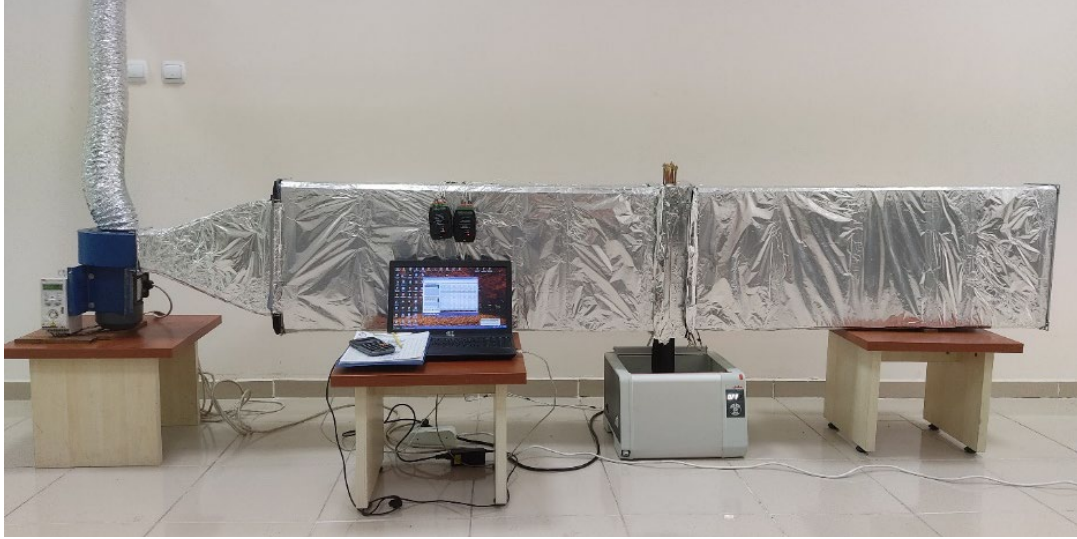
Nanopartiküller temel akışkan içine %0.2, 0.4 ve 0.6 hacimsel oranlarda dâhil edilmiştir. Nanopartiküllerin temel sıvı olarak kullanılan saf izopropil alkol içerisinde homojen olarak yayılmasını sağlamak için karışımlar İsolab marka ultrasonik banyoda 2 saat işlenerek elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Nanoakışkan hazırlanması grafik gösterimi.

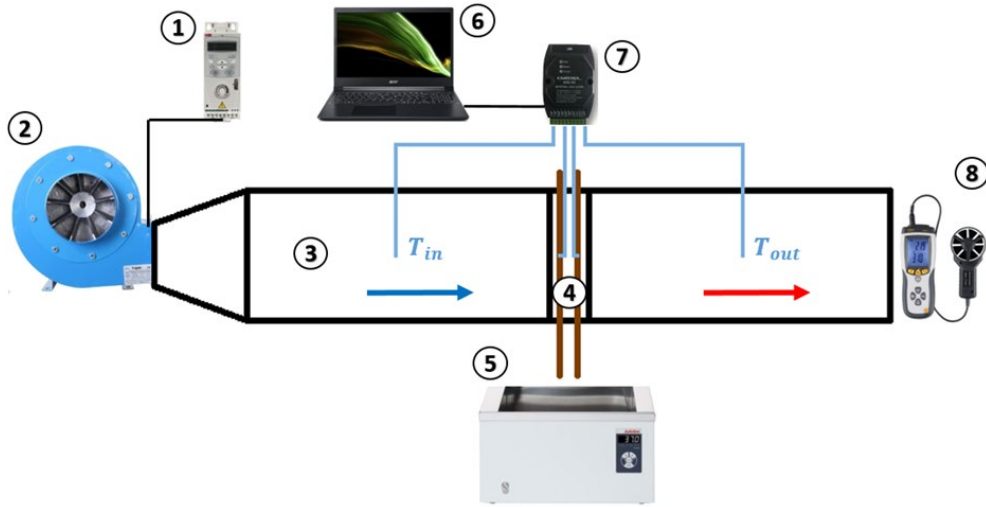
2.2. Deney sistemi

Deney sistemi iki hava kanalının arasına yerleştirilen ısı borusu demetinden oluşmaktadır (Şekil 2). Deney sisteminin şematik görünümü Şekil 3'te gösterilmiştir. Hava kanalları 120 cm uzunluğunda 15×45cm boyutlarındadır. Kanalın baş kısmına 80cm uzunluğunda konik kanal konulmuş ve bu konik kanalın girişine Modern Teknik marka MT 140 M tipi salyangoz fan monte edilmiştir. Hava kanalları 13mm alüminyum folyolu kauçuk yalıtım malzemesi ile izole edilerek sistemden dış ortama gerçekleşebilecek ısı kaybı engellenmiştir.



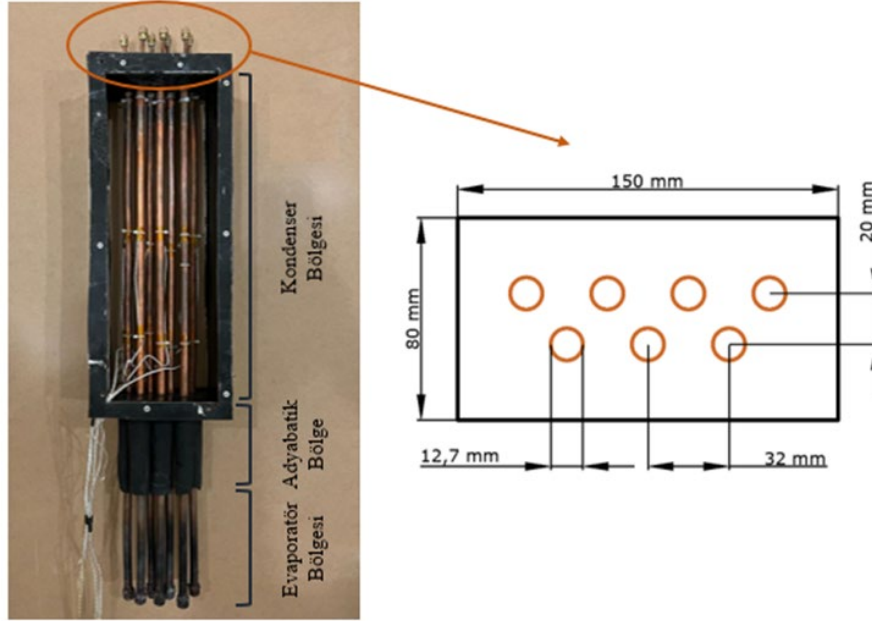
Şekil 2. Deney düzeneğinin genel görünümü.

Kurulan deney düzeneğinde hava kanalına yerleştirilen salyangoz fan sayesinde 0.4, 0.8 ve 1.2m/s sabit hava hızları için deneyler yapılmıştır. Ayrıca hava kanalında farklı akış hızları elde etmek için salyangoz fana ABB marka ACS 150 tipinde motor kontrol sürücüsü dâhil edilmiştir. Hava kanalının içinden geçen havanın hızını ölçmek için Geo Fennel FTA1 marka anemometre cihazı kullanılmıştır. Deneylerin farklı sabit sıcaklıklarda yapılabilmesi için ısı borularının 20cm'lik (evaporatör) kısmı Julabo marka Pura 14 model sıcak su banyosuna daldırılmıştır.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik görünümü (1-Sürücü, 2-Salyangoz Fan, 3-Hava Kanalı, 4-Test Bölgesi, 5-Sıcak Su Banyosu, 6- Bilgisayar, 7- Datalogger, 8-Anemometre).

Şekil 4'te 7 adet ısı borusundan oluşan test bölgesinin görünümü yer almaktadır. Her bir ısı borusu birbirinden bağımsız vakumlu bakır borulardan imal edilmiştir. Bakır boruların uzunlukları 800mm ve dış çapı 12.7mm olup iç çapı 11.1mm'dir. Evaporatör bölgenin yüksekliği 200mm, adyabatik bölgenin yüksekliği 150mm ve kondenser bölgenin yüksekliği ise 450mm olacak biçimde imalatı sağlanmıştır. Adyabatik bölgenin yalıtımı 13mm kauçuk izolasyon malzemesi ile sağlanmıştır. Isı değiştiricisi demetindeki tüm boruların kondenser bölgelerinin orta kısımlarına ve hava kanallarının geometrik merkezlerine birer tane olmak üzere toplam 9 adet K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Bakır borulardan gerçekleşen ısı transferini engellemesi için termokupullar termal bantla boru yüzeyine sabitlenmiştir.



Şekil 4. Test bölgesi.

Termokupullardan alınan sıcaklık değerlerinin bilgisayar ortamına aktarılması için 2 adet Ordell marka UDL100 Model datalogger kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ısı borularının evaporatör hacimlerinin 1/3'lük kısımları hazırlanan nanoakışkanlar ile doldurulmuştur. Deneyler %0.2, 0.4 ve 0.6 derişimlerde hazırlanmış olan saf izopropil alkol tabanlı Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 nanoakışkanlı süspansiyonlar ile yapılmıştır. Sisteme evaporatör bölgesinden 40, 60 ve 80°C sabit sıcaklıklarda ısı verilmiştir. Yapılan her bir deney kararlı hale ulaşma süresinden sonra verilerin kaydedilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

2.3. Deneysel tasarım

Isı borusu ile gerçekleşen ısı transferi sonucu elde edilen termal verimin araştırıldığı bu çalışmada deneyler üç farklı sıcaklık, nanoakışkan derişimi, hava hızı ve nano toz için gerçekleştirilmiştir. Üç seviye, dört parametre için belirlenen deney parametre değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 izopropil alkol tabanlı Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 nanoakışkanlarının her biri için yapılan deney parametre ve değerlerini göstermektedir. Burada "Sıcaklık" ısı borusuna verilen sabit kaynak sıcaklık değerini, "nano toz derişimi" temel sıvı içerisindeki nano tozun derişim yüzdesini, "hava hızı" ısı borusundan ısı transferi gerçekleştirebilmek için kanal içerisindeki havanın hızını ifade etmektedir.

Gerçekte üç seviye, dört parametre için yapılması gereken deney sayısı 81 olması gerekirken Taguchi yöntemi ile bu sayı 27'ye düşürülmüştür. Isı borusunda en yüksek verimin elde edildiği optimum parametrelerin belirlenmesi için Taguchi yöntemi ile $L_{27}(3^4)$ ortogonal dizisine göre elde edilen deney tasarımı Çizelge 2'de verilmiştir. Deney tasarımı ve analizi için [Minitab 19 programı](#) kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deney tasarım parametreleri ve değerleri

Deney parametreleri	Seviyeler		
	Düşük	Orta	Yüksek
Sıcaklık (°C)	40	60	80
Nano toz derişimi (%)	0.2	0.4	0.6
Hava hızı (m/s)	0.4	0.8	1.2
Nano toz	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂

Çizelge 2. Taguchi yöntemi ile gerçekleştirilen deney tasarımı

Deney No	Nano Toz	Sıcaklık	Hava hızı	Derişim	Verim
1	Al ₂ O ₃	40	0.4	0.2	3.02
2	Al ₂ O ₃	40	0.4	0.2	3.19
3	Al ₂ O ₃	40	0.4	0.2	2.79
4	SiO ₂	40	0.8	0.4	19.33
5	SiO ₂	40	0.8	0.4	20.48
6	SiO ₂	40	0.8	0.4	20.19
7	TiO ₂	40	1.2	0.6	11.28
8	TiO ₂	40	1.2	0.6	12.87
9	TiO ₂	40	1.2	0.6	12.02
10	TiO ₂	60	0.8	0.2	23.55
11	TiO ₂	60	0.8	0.2	25.50
12	TiO ₂	60	0.8	0.2	22.95
13	Al ₂ O ₃	60	1.2	0.4	25.26
14	Al ₂ O ₃	60	1.2	0.4	25.13
15	Al ₂ O ₃	60	1.2	0.4	24.61
16	SiO ₂	60	0.4	0.6	10.28
17	SiO ₂	60	0.4	0.6	9.69
18	SiO ₂	60	0.4	0.6	10.95
19	SiO ₂	80	1.2	0.2	65.32
20	SiO ₂	80	1.2	0.2	66.11
21	SiO ₂	80	1.2	0.2	64.72
22	TiO ₂	80	0.4	0.4	28.86
23	TiO ₂	80	0.4	0.4	30.45
24	TiO ₂	80	0.4	0.4	27.69
25	Al ₂ O ₃	80	0.8	0.6	26.11
26	Al ₂ O ₃	80	0.8	0.6	25.54
27	Al ₂ O ₃	80	0.8	0.6	26.35

2.4. Hesaplamalar

Yapılan deneyler sonucu elde edilen verilerle termal verimleri karşılaştırabilmek için kullanılan eşitlikler aşağıdadır.

2.4.1. Kondenser bölgesi

Kütlesel debi:

$$\dot{m}_h = \rho_h \times V_h \times A \quad (1)$$

Sıcaklık farkı:

$$\Delta T_h = T_g - T_c \quad (2)$$

Kondenser bölgesinden elde edilen ısı transfer miktarı:

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_h \times c_{p,h} \times \Delta T_h \quad (3)$$

2.4.2. Evaporatör bölgesi

$$\Delta T_s = T_2 - T_1 \quad (4)$$

$$\dot{Q}_E = m_s \times c_{p,s} \times \Delta T_s / t \quad (5)$$

2.4.3. Isıl verim

$$\eta = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_E} \quad (6)$$

Burada;

\dot{m}_h	: Havanın kütleli debisi (kg/s)
m_s	: Sıcak su banyosundaki suyun kütlesi (kg)
ρ_h	: Havanın yoğunluğu (kg/m ³)
V_h	: Hava Hızı (m/s)
A	: Kanal alanı (m ²)
$c_{p,h}$: Havanın özgül ısısı (J/kgK)
$c_{p,s}$: Suyun özgül ısısı (J/kgK)
T_1	: Sıcak su banyosunun ilk sıcaklığı (K)
T_2	: Sıcak su banyosunun son sıcaklığı (K)
T_g	: Hava kanalı giriş sıcaklığı (K)
$T_ç$: Hava kanalı çıkış sıcaklığı (K)
t	: T_1 'den T_2 'ye geçen süre (s)
ΔT_h	: Hava kanalındaki sıcaklık farkı (K)
\dot{Q}_K	: Kondenser bölümü ısı transfer miktarı (W)
\dot{Q}_E	: Evaporatör bölümü ısı transfer miktarı (W)
η	: Isıl verim

2.5. Belirsizlik analizi

DeneySEL çalışmanın sonucunda, belirsizlik analizi aşağıdaki eşitlikle yapılmıştır.

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{0,5} \quad (7)$$

Eşitlikte belirtilen (x_1, x_2, \dots, x_n) bağımsız değişkenleri, R bağımsız değişkenlerin fonksiyonu, (w_1, w_2, \dots, w_n) bağımsız değişkenlerin belirsizliği, w_R ise sistem belirsizliğini ifade etmektedir (Kabakuş ve ark., 2021). Isı borularında yapılan deneyler süresince çeşitli değişkenler ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümlerinin toplam belirsizliği; Datalogger kaynaklı belirsizlik oranı %0.2, anemometre kaynaklı belirsizlik oranı %3 ve sıcak su banyosu kaynaklı belirsizlik oranı %0.15'dir. Yapılan deneySEL çalışmadaki termal verim için hesaplanan belirsizlik ise yaklaşık %3'tür.

3. Bulgular

Taguchi metodu optimum sonuca ulaşmak için yapılması gereken deney sayısını azaltan istatistiksel bir modeldir. Bu çalışmada ısı borusunda optimum ısı verimin tespiti için Taguchi metodu kullanıldı. Isıl verimin optimizasyonunda sıcaklık, nano toz derişimi, hava hızı ve nano toz değişken parametreler olarak belirlendi. Belirlenen değişken parametrelere göre Taguchi metodu ile L27(3⁴) ortogonal dizisine göre elde edilen deney tasarımıyla yapılan 27 deney sonucunda ısı verim değerleri elde edildi (Çizelge 3). Elde edilen verilerle varyans analizi (ANOVA) yapılarak modelin doğruluğu irdelendi. Gerçekleştirilen analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

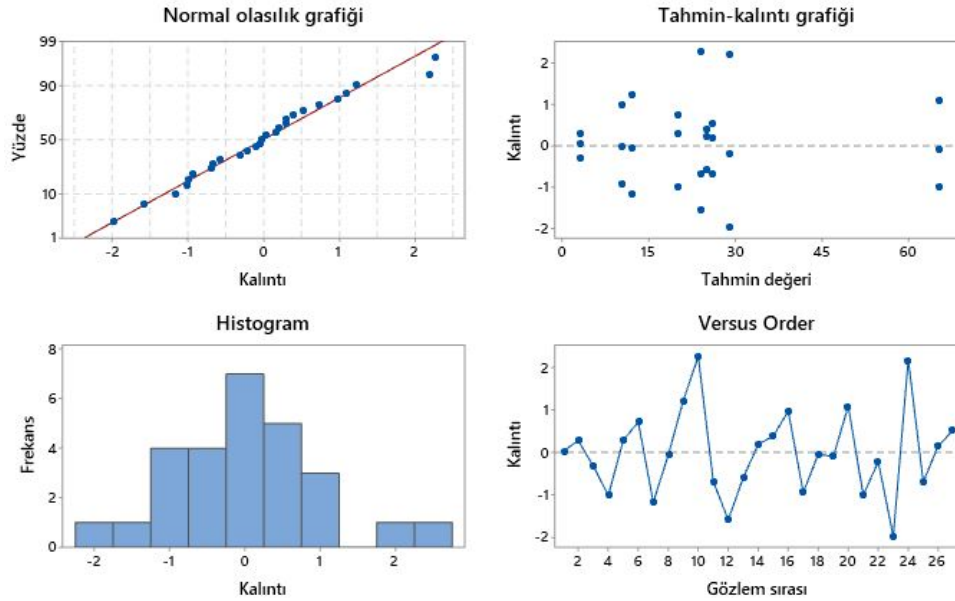
Çizelge 3. Model özeti

S	R-Sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.8103	%99.84	%99.78	%99.65

Termal verim için R^2 değeri %99.84 olarak hesaplanmıştır. Deney tasarımından anlamsız değişken parametrelerin çıkarılarak tekrar analizi sonucu elde edilen düzeltilmiş kareler değeri olan R^2 (adj) %99.78 olarak hesaplanmıştır. Modeldeki eksik verileri belirleme yeterliliği olan R^2 (pred) değeri ise %99.65 olarak hesaplanmıştır. Varyans analizi sonucu R^2 ve R^2 (adj) değerlerinin birbirine oldukça yakın oluşu, deney tasarımının güvenilir ve anlamlı olduğunu göstermiştir (Çizelge 3). Varyans analizi sonucunda termal verim üzerinde etkili olan parametrelerin ve bu parametrelerin etki oranları Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Varyans analiz çizelgesi

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Etki oranı	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Sıcaklık	2	3866.44	%50.87	3866.44	1933.22	2944.63	0.00001
Konsantrasyon	2	977.80	%12.86	977.80	488.90	744.68	0.00001
Hava hızı	2	1811.96	%23.84	1811.96	90.98	1379.97	0.00001
Nanopartikül	2	932.74	%12.27	932.74	466.37	710.37	0.00001
Hata	18	11.82	%0.16	11.82	0.66		
Toplam	26	7600.76	100.00%				

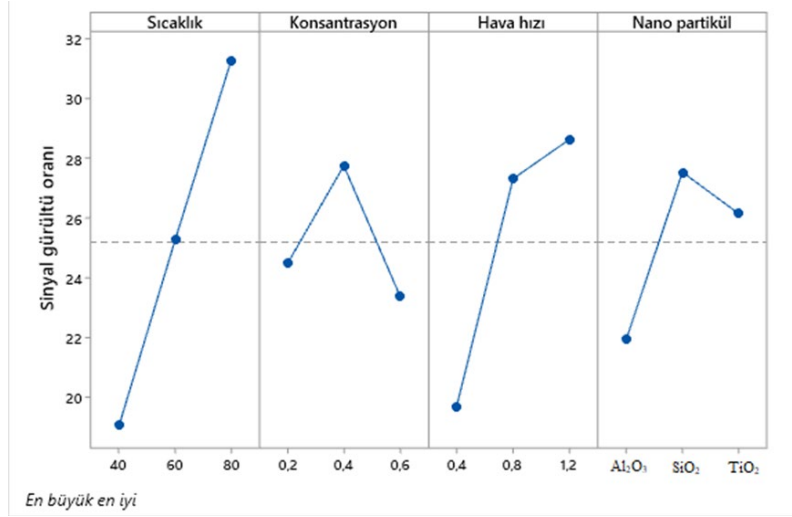


Şekil 5. Kalıntı grafikleri.

P değeri 0.05’ten küçükken parametrelerin yanıt değişkeni üzerinde %95 oranda önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir (Kabakuş, 2021). Bu durumda bütün değişken parametrelerin sonuç değişkeni üzerinde (termal verim) etkili olduğu görülmektedir. Değişken parametrelerin termal verim üzerine etki oranları incelendiğinde, en etkili parametrenin %50.87 ile sıcaklık olduğu, daha sonra en etkili parametrenin ise %23.84 ile hava hızı olduğu görülmektedir. Nanopartikül konsantrasyonu %12.86 ve nanopartikül cinsi %12.27 etki oranı ile diğer değişken parametrelere göre sonuç değişkeni üzerinde nispeten daha düşük bir etkiye sahip oldukları belirlenmiştir.

Gerçek değerlerle tahmin değerleri arasındaki farkı gösterebilmek için kalıntı analizi kullanılır. Termal verim için oluşturulan kalıntı grafikleri; normal olasılık grafiği, kalıntı-tahmin grafiği, kalıntı-gözlem grafiği ve histogramdan oluşmaktadır (Şekil 5). Normal olasılık grafiğinde, kalıntı değerlerinin referans çizgisini izlediği görülmektedir. Bu durum regresyon modelinin güven aralıklarının ve p-değerlerinin hatalı olmadığını gösterir. Kalıntı-tahmin değeri grafiğinde, kalıntıların rastgele dağıtıldığı

ve sabit varyansa sahip olduğu varsayımını doğrulamak için kullanılır. Bu grafikte noktalar sıfırın her iki tarafına rastgele düşmeli ve noktalar belirli bir desen oluşturmemelidir. Termal verim için oluşturulan bu grafiğin belirtilen şartları sağladığı görülmektedir. Histogram ise verilerin aykırı değerler içerip içermediğini belirlemek için kullanılır. Histogram grafiğinde sıfır değerinin sağında ve solundaki sütunların simetrik olması durumunda oluşturulan veri dağılımı anlamlı olur. Termal verim için oluşturulan histogram grafiğinin simetrik olduğu, yani verilerin anlamlı olduğu görülmektedir. Kalıntı-gözlem sırası grafiği, kalıntıları verilerinin toplanma sırasına göre görüntülemektedir. Kalıntıların birbirinden bağımsız olduğu varsayımını doğrulamak için bu grafik kullanılır. Bu grafikte kalıntı noktaları rastgele bir şekilde merkez çizgisi etrafına düşmesi durumunda veriler anlamlı olur. Termal verim için oluşturulan kalıntı gözlem sırası grafiği incelendiğinde verilerin anlamlı olduğu, aykırı veriler içermediği noktaların dağılımından görülmektedir (Kabakuş, 2021).



Şekil 6. Ana etki grafiği.

Ana etki grafiğindeki çizgiler yatay olmadığında yanıt değişkenine etki eden ana etki olduğu söylenebilir. Doğrunun eğimi ne kadar dik olursa ana etki yanıt değişkeni üzerinde o kadar etkilidir (Minitab, 2023). Şekil 6 incelendiğinde sıcaklık ve hava hızının ısı verim üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Taguchi yöntemi ile analiz edilen veriler sonucunda, termal verimi etkileyen parametrelerin optimum değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Elde edilen optimum parametre değerleri ile gerçekleştirilen doğrulama deneyi sonucunda termal verim %71.22 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak deney tasarım çizelgesi incelendiğinde (Çizelge 2) optimum değerlerin en yüksek termal verime sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. Optimum değerler

Deney parametreleri	Optimum değer
Sıcaklık (°C)	80
Nano toz derişimi (%)	0.4
Hava hızı (m/s)	1.2
Nano toz	SiO ₂

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, farklı deney parametrelerinin ısı borulu ısı geri kazanım cihazındaki termal verime olan etkileri Taguchi metodu ile optimize edilmiştir. Ayrıca değişken parametrelerin sonuç parametresine etki oranları varyans analizi ile (ANOVA) hesaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir;

- Termal verim için optimum parametreler, 80°C sıcaklık, %0.4 nano toz derişimi, 1,2m/s hava hızı ve nano toz türü olarak SiO₂ olarak belirlenmiştir.
- Varyans analizi sonucu termal verimi en çok etkileyen parametrelerin %50.87 ile sıcaklık, %23.84 ile hava hızı olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ile hava hızı değerlerinin daha da artırılmasıyla termal verimin artacağı gözlenmiştir.
- Kalıntı grafikleri incelendiğinde deney tasarımının anlamlı olduğu görülmüştür.

Isı geri kazanım sistemlerinde farklı nanopartiküller, temel sıvılar, nanopartikül derişimleri ve farklı nanopartikül kombinasyonları kullanılarak termal verimin iyileştirilmesi yönelik çalışmalar yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 2022.F90.02.04 proje numarasıyla desteklenmiştir.

Kaynakça

- Ata, İ., & Acır, A. (2020). Hava akışkanlı güneş kollektöründe ısı transferi iyileştirmesine etki eden parametrelerin taguchi metodu ile optimizasyonu. *Journal of Polytechnic*, 23(2), 527-535. [doi:10.2339/politeknik.525884](https://doi.org/10.2339/politeknik.525884)
- Çangal, Ç., & Ayhan, V. (2021). Biyodizel ve EGR kullanılan bir dizel motorunda motor performansını ve NO emisyonunu etkileyen faktörlerin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 1676-1694. [doi:10.29130/dubited.700971](https://doi.org/10.29130/dubited.700971)
- Erol, E., Menlik, T., & Sözen, A. (2017, Kasım). *TiO₂ nanoakışkanının paralel akışlı borulu tip ısı değiştiricilerde ısı iletkenliğe etkisi*. 1st International Conference on Energy Systems Engineering, Karabük, Türkiye.
- Harun, M. A. Bin, Gunnasegaran, P. A., Sidik, N. A. C., Beriache, M., & Ghaderian, J. (2021). Experimental investigation and optimization of loop heat pipe performance with nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 144(4), 1435-1449. [doi:10.1007/s10973-020-09641-8](https://doi.org/10.1007/s10973-020-09641-8)
- Kabakuş, A. (2021). *Isı alıcılarda elektrosprey soğutma analizi*. (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Kabakuş, A., Yakut, K., Özakin, A. N., & Yakut, R. (2021). Experimental determination of cooling performance on heat sinks with cone-jet electro spray mode. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(3), 665-670. [doi:10.1016/j.jestch.2020.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.11.004)
- Kaya, H., & Ekiciler, R. (2020). Nanoakışkan kullanılan U-dönüslü çift borulu ısı değiştiricisi akışının sayısal analizi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 19(3), 120-136.
- Minitab 21 Support. (2023). United Kingdom. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/how-to/main-effects-plot/interpret-the-results/key-results>
Erişim tarihi: 03.01.2023.
- Öztürk, A., Özalp, M., & Sözen, A. (2018). Experimental investigation of an Al₂O₃/distilled water nanofluid used in the heat pipes of heat exchangers. *Gazi University Journal of Science*, 31(2), 616-626.
- Şahin, F., & Namlı, L. (2018). Nanoakışkanlarda kararlılığın ısı transferinin iyileştirme açısından önemi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 880-898. [doi:10.28948/ngumuh.445339](https://doi.org/10.28948/ngumuh.445339)
- Tezekici, S. (2005). *Türkiye’de enerji sektörü ve elektrik enerjisi talep projeksiyonu (kaynaklar-politikalar)*. (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Türkan, B. (2022). Baca gazı destekli organik rankine çevrimi için Taguchi analizi. *European Journal of Science and Technology*, 34, 381-386. [doi:10.31590/ejosat.1082626](https://doi.org/10.31590/ejosat.1082626)
- Vijayakumar, M., Navaneethakrishnan, P., & Kumaresan, G. (2016). Thermal characteristics studies on sintered wick heat pipe using CuO and Al₂O₃ nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 25-35. [doi:10.1016/j.expthermflusci.2016.06.021](https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.06.021)
- Yılankırkan, N., & Doğan, H. (2020). Türkiye’nin enerji görünümü ve 2023 yılı birincil enerji arz projeksiyonu. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 10(2), 77-92.