



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Plakalı Isı Değiştiricilerinde Isı Geçişi Ve Etkinliğin Deneysel Olarak İncelenmesi Ve Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Uygulanması

Bayram KILIÇ^{a,*}, Osman İPEK^b

^a Motorlu Taşıtlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Bucak Emin Gülmez TBMYO, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bayramkiloc@mehmetakif.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, farklı plaka yüzey açıları olan plakalı ısı değiştiricilerinin (PID) ısı geçiş ve etkinlik değerleri deneysel olarak incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar yapay sinir ağlarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanmak için PID'a sahip bir ısıtma deney cihazı dizayn edilmiş ve oluşturulmuştur. Deney cihazında plaka yüzey açıları $\beta=30^\circ$ ve $\beta=60^\circ$ olan PID'lar kullanılmıştır. Farklı plaka yüzey açıları olan PID'ların termodinamik analizleri yapılmıştır. Yapay sinir ağları metodu deney verilerine uygulanmıştır. Deney cihazındaki PID'ların ısı geçiş miktarı ve etkinlik değerleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, PID'ların ısı transfer miktarları ve etkinlik değerlerinin hesaplanabilmesi amacıyla formül türetilmiştir. Bu çalışmada, en yüksek toplam ısı transfer değeri 42227 W ve etkinlik değeri 0.74 olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları tablo olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Plakalı ısı değiştirici, Etkinlik, Plaka açısı, Yapay sinir ağları

Experimental Investigation of Heat Transfer and Effectiveness in Plate Heat Exchangers and Using of Artificial Neural Networks (ANN)

ABSTRACT

In this study, heat transfer rate and effectiveness of corrugated plate heat exchangers (PHE) having different chevron angles were examined experimentally and obtained results compared with artificial neural network (ANN) results. To use in this study, experimental heating device used PHE was designed and set up. $\beta=30^\circ$ and $\beta=60^\circ$ chevron angles of PHEs were used in experimental device. Thermodynamic analysis of corrugated PHEs having different plate surface angles were investigated. Artificial neural network method was applied to the experimental data. The heat transfer rate and effectiveness values are determined. The formula is derived from the end of this work for the calculation of heat transfer rate and effectiveness of corrugated PHEs. In this study, the highest total heat transfer value is 42227 W and the efficiency value is 0.74. Results of analysis were presented as tabular.

Keywords: Plate heat exchangers, Effectiveness, Chevron angles, Artificial neural network

I. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan işlemlerden birisi, değişik sıcaklıklardaki birden çok akışkan arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimin olduğu araçlar çoğunlukla ısı eşanjörü olarak isimlendirilmekte ve evaporatör, kondenser, ısıtıcı, soğutucu gibi değişik isimler altında kimya endüstrisi, petro-kimya sanayilerinin, termik elektrik santrallerinin, ısıtma ve soğutma tesislerinin birçok prosesinde farklı tür ve kapasitelerde görülebilmektedir [1].

Gut vd. plakalı ısı eşanjörlerinde optimum konfigürasyon dizaynı üzerine çalışmışlardır. Isı transfer alanı, kanal sayısı, basınç düşümü, akış hızı, ısıl etkinlik, ısıl ve hidrolik model olmak üzere altı adet parametre belirlemişlerdir. Optimum konfigürasyon özelliklerini başarıyla tespit etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda istenen değerlere basınç düşümü ve hız için yaklaşık %5, ısıl durum için %1 oranında sapmayla yaklaşmışlardır[2]. Riverol vd. plakalı ısı eşanjörlerinde yapay sinir ağlarını kullanarak kritik zaman, ortalama ısı transfer katsayısı ve tabaka kalınlığını tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda buldukları sonuçların şu anki endüstri uygulama teknikleri için uygun olduklarını belirlemişlerdir[3]. Dwivedi vd. farklı akış türleri için plakalı ısı eşanjörlerinin performansları üzerine çalışmışlardır. Sonuçta akıştaki kötü dağılımın eşanjörün performansı üzerinde olumsuz etki yaptığını bulmuşlardır. Çalışmalarında NTU ve ısıl kapasite oranının plakalı ısı eşanjörleri üzerindeki etkilerini bulmuşlardır[4]. Afonso vd. bir plakalı ısı eşanjörü içinde soğutma aşamasındaki yoğurtun konvektif ısı transfer katsayılarının belirlenmesi amacıyla korelasyonlar elde etmek için sayısal bir inceleme yapılmışlardır[5]. Selbaş vd. plakalı ısı eşanjörlerinin ısı transfer analizi için alternatif bir yaklaşım kullanmışlardır. Plakalı ısı eşanjörünün ısı transfer miktarı ve etkinlik değerlerini elde etmek için yapay sinir ağları yaklaşımını kullanılmışlardır. Isı transfer miktarı ve etkinlik değerlerinin belirlenmesi için yeni bir formülasyon sunmuşlardır[6]. Han vd. chevron plakalı ısı eşanjörünü simüle etmişlerdir. Buna ek olarak üç boyutlu sıcaklık, basınç ve hız alanlarını elde etmişlerdir. Simüle sonuçlarını deneysel değerlerle karşılaştırmışlardır. Deneysel değerlerle benzer şekilde simülasyon değerlerinin de dış sıcaklık eğilimlerinin basınç düşüşü ile tutarlı olduğunu bulmuşlardır[7]. Wen vd. CFD simülasyonu ve PIV deneysel verileri aynı durumlar için kullanarak plakalı-kanatlı ısı eşanjörünün girişindeki türbülanslı akışı karakterize etmişlerdir. Gelişmiş, geleneksel ve ileri konfigürasyonlar için hız vektörlerini ve aerodinamik grafiklerini çizmişlerdir. Yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda akıştaki kötü dağılımın performansı, geleneksel girişi kötüleştirdiğini belirlemişlerdir. Gelişmiş konfigürasyonların girişinde akışın radyal ve aksiyal doğrultuda sağlanması durumunda performansı geliştirebileceğini belirlemişlerdir[8].

PID’larda ısı transferinin olduğu cidarlar çoğunlukla ince metal plakalardan yapılırlar. Bu plakalar farklı yüzey açılarına sahip olabilirler. Çoğunlukla diğer ısı eşanjörü çeşitlerine nazaran daha fazla toplam ısı transfer katsayısına sahiptirler. Şekil 1.’de plakalı bir ısı eşanjörünün yapısı görülmektedir [9].

Bu konuda yapılan diğer çalışmalara ek olarak, bu çalışmada farklı açılara sahip plakalı ısı eşanjörleri kullanılmıştır. Bunun yanında elde edilen deneysel veriler kullanılarak YSA metodolojisiyle formül elde edilmiştir ve bu formül ısı transferi ve etkinliğin hesaplanmasında kullanılmıştır.



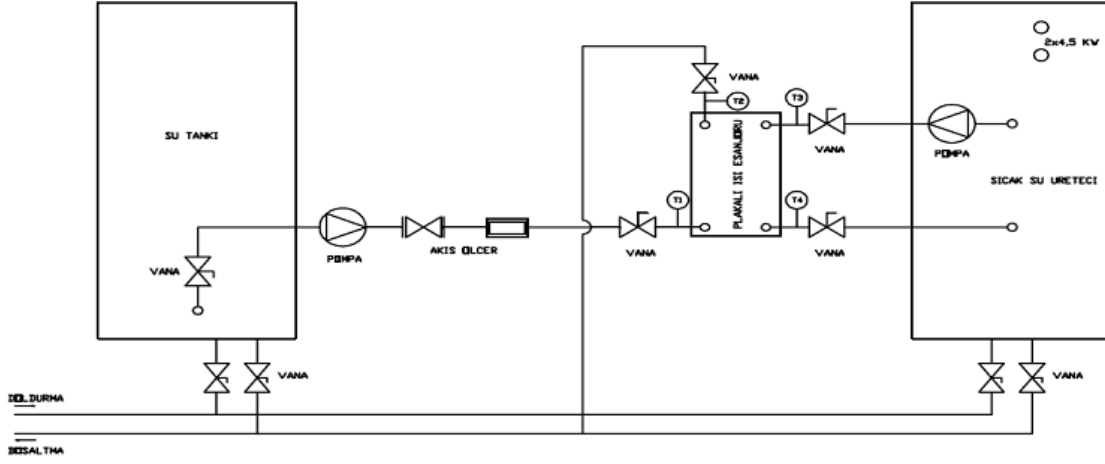
Şekil 1. Plakalı ısı eşanjörünün yapısı [9]

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, ısıtma uygulamalarında kullanılan PID'larda plaka yüzey açısı ile basınç ve sıcaklık değişkenlerinin ısı iletimine olan etkilerinin deneysel olarak araştırılarak farklı yüzey açısına sahip PID'a sahip bir ısıtma deney cihazı oluşturmak ve PID'ın performans özelliklerinin tespit edilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla PID kullanılan bir ısıtma düzeneği tasarlanmış ve kurulmuştur. Deney sistemi, termostatlı bir ısıtıcı ile belirlenen sıcaklıklarda, iki farklı plaka yüzey açısına sahip ısı eşanjörü için üç farklı pompa derecesine bağlı olarak ayarlanan debi değerlerinde çalıştırılabilmektedir. Oluşturulan deney cihazı Şekil 2.'de deney cihazının şematik hali ise Şekil 3.'de görülmektedir.



Şekil 2. Deney seti [1]



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi [1]

Deney cihazı çalıştırıldığında; 9 kW'lık ısıtıcı aracılığıyla sıcak su üreten kazanda ısıtılan su, kademeli bir pompa aracılığıyla PID'a gönderilmektedir. PID'da soğuk su ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Isı değiştiricide ısı kazanarak sıcaklığı yükselen su, kullanım suyu olarak dış devreye iletilmektedir. PID'da ısının verildiği devre, birincil devre; ısının alındığı devre ise ikincil devre olarak isimlendirilmiştir.

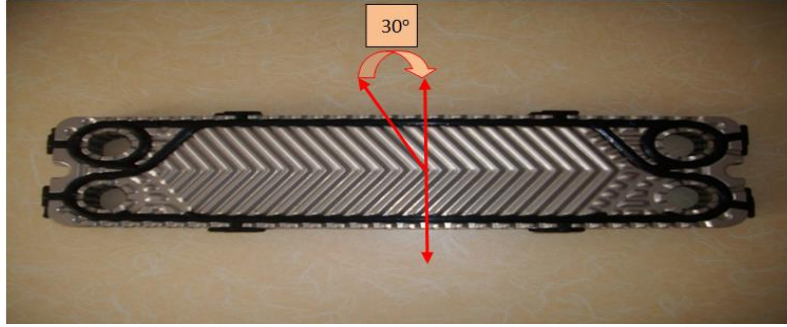
Deney cihazı veri alımı esnasında, 30° ve 60° plaka yüzey açısına sahip plakalı ısı değiştiriciler, kademeli pompa ile ayarlanabilen debi değerleri için çalıştırılmıştır. Verilerin alımı deney cihazı karalı hale geldikten sonra her 15 saniyede bir datalogger vasıtasıyla kaydedilmiştir. Datalogger, plakalı ısı değiştiriciye giren ve çıkan suyun sıcaklıklarını kaydetmiştir.

Bu çalışma kapsamında altı adet deney yapılmıştır. İlk üç deney 30° plaka yüzey açılı PID ile yapılmıştır. Sıcak su kazanının sıcaklığı 60 °C'ye ayarlanmıştır. Birincil devre su sıcaklığı ayarlanan sıcaklığa ulaştıktan sonra deney başlatılmıştır. İkincil devre suyu şehir şebekesi su sıcaklığı olan 15 °C olarak sisteme gönderilmiştir. Deney cihazının kararlı hale ulaşması beklenmiştir ve datalogger vasıtasıyla birincil ve ikincil devre su giriş-çıkış sıcaklıkları kaydedilmiştir. Debi değerlerinin ise hem birincil devre, hem de ikincil devre için sırasıyla pompa 1. kademede iken 0.15 kg/s, pompa 2. kademede iken 0.21 kg/s ve pompa 3. kademede iken 0.3 kg/s olduğu kaydedilmiştir. Yapılan diğer üç deney de 60° plaka yüzey açılı PID ile yapılmıştır. Sıcak su üreten kazanın termostatu 60 °C'ye ayarlanmıştır. Birincil devre su sıcaklığı istenen sıcaklığa ulaştıktan sonra deneyler başlatılmıştır. İkincil devre suyu 15 °C olarak sisteme gönderilmiştir. Deney cihazının kararlı hale ulaşması beklenmiştir ve datalogger vasıtasıyla birincil ve ikincil devre su giriş-çıkış sıcaklıkları kaydedilmiştir. Debi değerleri ise hem birincil devre, hem de ikincil devre için sırasıyla pompa 1. kademede iken 0.2 kg/s, pompa 2. kademede iken 0.3 kg/s ve pompa 3. kademede iken 0.43 kg/s olarak belirlenmiştir.

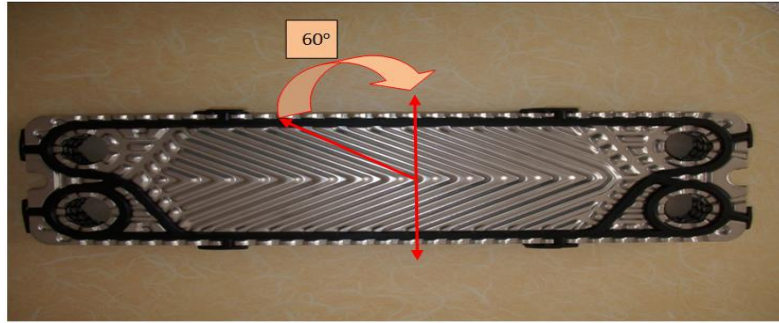
Deney cihazında kullanılan PID'lar 30° ve 60° olan plaka yüzey açısına sahiptir (Şekil 4. ve Şekil 5). PID'lar 10'ar adet plaka ile oluşturulmuştur. Deney cihazında kullanılan PID'lar ters akımlıdır. PID özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Plakalı ısı eşanjörünün özellikleri

Plaka uzunluğu (mm)	431
Plaka genişliği (mm)	125.5
Plaka adeti	10
Isı transfer alanı (m ²)	0.032
Plakanın materyali	AISI 316
Conta materyali	EPDM
Tasarım sıcaklığı (°C)	145
Tasarım basıncı (bar)	10



Şekil 4. 30° plakalı ısı eşanjörü [1]



Şekil 5. 60° plakalı ısı eşanjörü [1]

Plakalı ısı değıştiricideki ısı transferi, ısı geçişinin sadece akışkanlar arasında olduğu kabul edilirse aşağıdaki bağıntılarla yazılabilir [10-12]:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \text{Isı değıştiricide transfer olan ısı (W)} \\ &= \text{Sıcak akışkanın verdiği ısı (W)} \\ &= \text{Soğuk akışkanın aldığı ısı (W)}\end{aligned}$$

$$\dot{Q} = K A \Delta T_m \quad (1)$$

Sıcak ve soğuk akışkanlar tarafından transfer edilen ısılar, akışkanların kütleli debi değeri ile giriş ve çıkış entalpilerinin farkından hesaplanabilir ve şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{Q} = \dot{m} (h_g - h_c) \quad (2)$$

Isının geçişi sırasında akışkanların sıcaklıkları değışiyor ise, transfer olan ısı miktarı:

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_h (T_{hg} - T_{hc}) = \dot{m}_c c_c (T_{cg} - T_{cc}) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir.

Isı değiştiricilerinin termal hesaplamalarının yapılışında, eşitlik 1.'in kullanılacağı durumlarda ortalama logaritmik sıcaklık farkı (ΔT_m) ifadesinin belirlenmesi gerekir. (ΔT_m) değeri, ısı değiştiricideki akışın türüne göre hesaplanmaktadır. Çalışmada ters akışlı PID kullanıldığından (ΔT_m) aşığıdaki gibi ifade edilir [13-14]:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (4)$$

Son eşitlik eşitlik 1.'e taşınırsa:

$$\dot{Q} = \frac{KA(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (5)$$

elde edilir.

Isı değiştiricilerinin etkinliği aşığıdaki eşitlik yardımıyla bulunabilir:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad (6)$$

$C_h = \dot{m}_h c_h$ ve $C_c = \dot{m}_c c_c$ sıcak ve soğuk akışkanın ısıl kapasite değerleridir ve PID'daki gerçek ısı transferi aşığıdaki gibi yazılabilir.

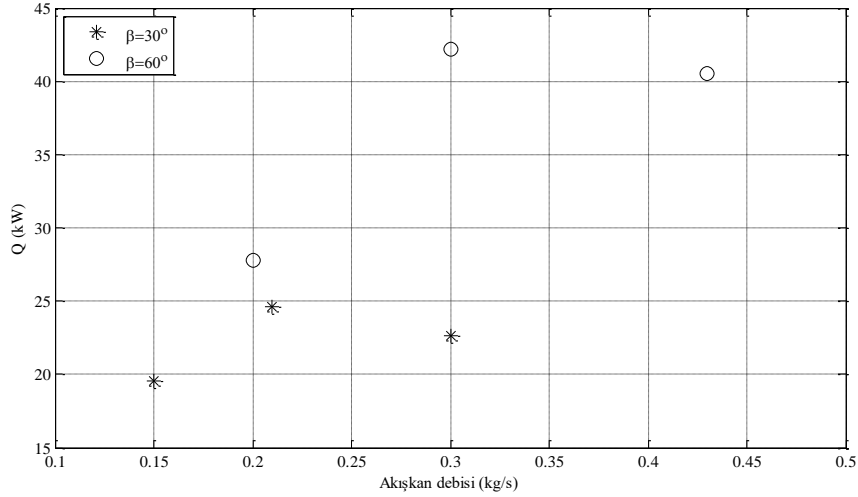
$$\dot{Q} = C_h(T_{hg} - T_{hc}) = C_c(T_{cc} - T_{cg}) \quad (7)$$

Plakalı ısı değiştiricideki maksimum ısı geçişi Q_{max} değeri, C_h veya C_c ısıl kapasitelerinden hangisi daha küçükse onun hesaplamalara katılması koşuluyla aşığıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{max} = C_{min}(T_{hg} - T_{cg}) \quad (8)$$

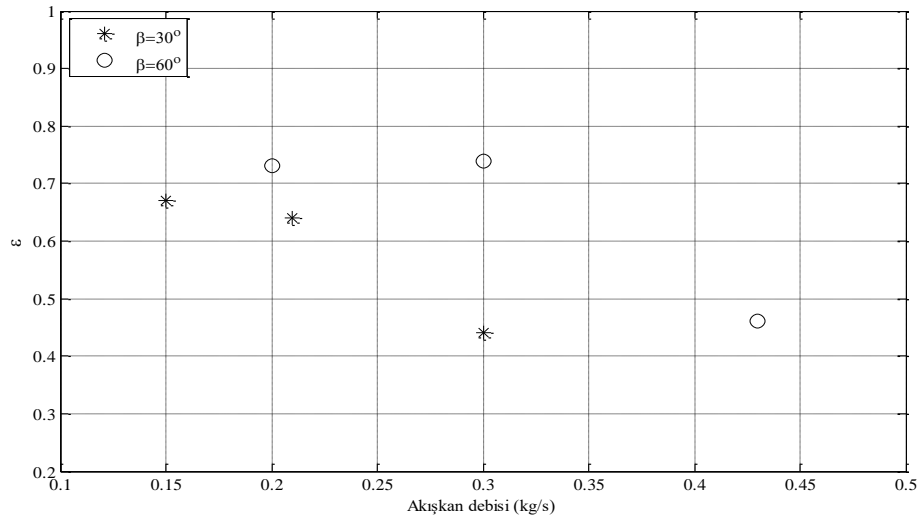
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan hesaplamalarda her iki plaka yüzey açısına sahip PID'da pompanın 1. kademesi ve pompanın 2. kademesine karşılık gelen debi değerlerinin yükselmesiyle toplam ısı geçiş miktarının da yükseldiği görülmektedir. Pompa 3. kademeye yükseltildiğinde ise toplam ısı geçiş miktarının azaldığı görülmektedir. En yüksek ısı geçiş değerine pompanın 2. kademesine karşılık gelen 0.3 kg/s debide ve 60° yüzey açısına sahip PID kullanılan deneyde ulaşıldığı Şekil 6.'da görülmektedir. Akışkan debisinin yükseldiği ve debinin 0.43 kg/s olarak kaydedildiği deneyde ısı geçiş değerinin yükselmesi öngörülürken, bir önceki değerden daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun bir nedeni deney cihazında kullanılan PID'in ebatlarının bu şartlar için yeterli gelmemesidir. Bir ikincisi ise deney cihazındaki pompaların PID'in çok yakınına monte edilmesinden kaynaklanan ısı transferi gerçekteşirken akışkanın hızından dolayı etkin bir ısı geçişine imkân vermemesidir. Bu tür durumlarla karşılaşıldığında bir üst kapasite değerine sahip plakalı ısı değiştiricisinin kullanılması daha isabetli olacaktır.



Şekil 6. Toplam ısı iletim miktarlarının akışkan debileri ile değişimi

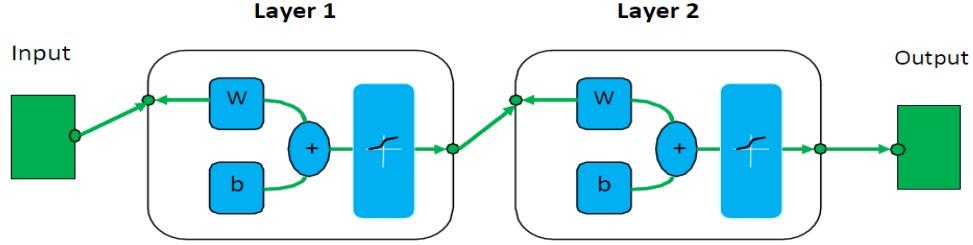
Deney cihazındaki farklı plaka yüzey açlarına sahip PID'lara ait etkinlik değerleri hesaplanmıştır ve akışkan miktarı ile değişimi Şekil 7.'de verilmiştir. Deneylerde 60° plaka yüzey açısı olan PID'da etkinlik değerleri başlangıçta bir miktar yükselmiş daha sonra ise düşüş göstermiştir. 30° plaka yüzey açısına sahip PID'da ise etkinlik değerinin düşüş eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Şekil 7.'den de anlaşıldığı gibi, 60° plaka yüzey açısına sahip PID'daki etkinliğin daha iyi olduğu görülmektedir. 60° yüzey açısına sahip PID'daki en yüksek etkinlik değeri Pompa 2. kademede iken 0.74, en düşük etkinliğin Pompa 3. kademede iken 0.46, 30° plaka yüzey açısına sahip PID'daki en yüksek etkinlik değeri Pompa 3. kademede iken yaklaşık 0.67, en düşük etkinliğin Pompa 3. kademede iken 0.44 olarak bulunduğu görülmektedir.



Şekil 7. Etkinlik değerlerinin akışkan debileri ile değişimi

Yapılan çalışmadan alınan deneysel verileri, plakalı ısı eşanjörlerinde kullanabilmek amacıyla bazı denklemler oluşturmak için YSA metodolojisinden faydalanılmıştır. YSA metodolojisi çok farklı mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu metodolojinin en önemli üstünlükleri hızlı oluşu, basit oluşu ve öğrenme yeteneğinin yüksek oluşudur. YSA metodolojisi uygulanırken MATLAB Toolbox kullanılmıştır. Verilerin eğitiminde, gizli katmandaki nöron sayısı 3 ile 12 arasında denenmiştir. Deneylerden elde edilen 227 adet verinin %80'i eğitim , %20'si test amacıyla rastgele

seçilmiştir. Tasarlanan ağda sıcak su giriş sıcaklığı (T_{hi}), soğuk su giriş sıcaklığı (T_{ci}), akışkan debisi (\dot{m}) ve plaka yüzey açısı (β) olmak üzere dört adet giriş değişkeni ile çıkış değişkeni olarak ısı transfer miktarı (Q) ve etkinlik değeri (ϵ) kullanılmıştır. Kullanılan YSA Şekil 8'de şematik olarak verilmiştir. Kullanılan ağda transfer fonksiyonu olarak LOGSIG, ağıın tipi için Forward Back Prop ve eğitim fonksiyonu olarak ise TRAINLM ve TRAINSCG seçilmiştir. Uygulama sırasında 1000 kez iterasyon yapılmıştır. Her bir ağ en uygun değeri belirleyebilmek için 10'ar kez denenmiştir.



Şekil 8. Yapay sinir ağının şematik gösterimi

YSA metodolojisinden en iyi sonucu elde edebilmek amacıyla, farklı algoritmalar ve gizli nöronlar, farklı sayılarda kullanılmıştır. Isı transfer miktarı ve etkinlik değeri için elde edilen RMS, R^2 ve cov değerleri Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir. Bununla beraber YSA modelinden elde edilen performans değerlendirme kriterleri ise Tablo 4'de verilmiştir. Isı transferi için en uygun R^2 değeri TRAINLM-5 eğitim fonksiyonu için 0.999636 olarak bulunmuştur. Etkinlik değeri için ise en uygun R^2 değeri TRAINLM-12 eğitim fonksiyonu için 0.999565 belirlenmiştir.

Tablo 2. Isı transferi miktarı tahmini için oluşturulan ağın istatistiksel değerleri

Algoritma-Nöronlar	RMS	cov	R^2	Algoritma-Nöronlar	RMS	cov	R^2
Lm-3	53.5148	0.0200	0.99961	SCG-3	95.9341	0.0359	0.99877
Lm-4	52.7873	0.0197	0.99962	SCG-4	76.4545	0.0286	0.99922
Lm-5	52.2255	0.0195	0.99963	SCG-5	75.8600	0.0283	0.99923
Lm-6	58.6761	0.0219	0.99954	SCG-6	61.0010	0.0228	0.99950
Lm-7	54.9293	0.0205	0.99959	SCG-7	71.3101	0.0266	0.99932
Lm-8	63.3763	0.0237	0.99946	SCG-8	61.6170	0.0230	0.99949
Lm-9	57.5448	0.0215	0.99955	SCG-9	63.3772	0.0237	0.99946
Lm-10	60.1653	0.0225	0.99951	SCG-10	54.6721	0.0204	0.99960
Lm-11	58.8812	0.0220	0.99953	SCG-11	62.3508	0.0233	0.99948
Lm-12	129.645	0.0485	0.99775	SCG-12	59.8349	0.0223	0.99952

Tablo 3. Etkinlik değeri tahmini için oluşturulan ağırlık istatistiksel değerleri

Algoritma-Nöronlar	RMS	cov	R ²	Algoritma-Nöronlar	RMS	cov	R ²
Lm-3	0.01025	0.0227	0.99947	SCG-3	0.01245	0.0276	0.99922
Lm-4	0.00968	0.0214	0.99953	SCG-4	0.01093	0.0242	0.99940
Lm-5	0.01341	0.0297	0.99910	SCG-5	0.01294	0.0287	0.99916
Lm-6	0.00970	0.0215	0.99953	SCG-6	0.01144	0.0253	0.99934
Lm-7	0.00992	0.0220	0.99950	SCG-7	0.01218	0.0270	0.99925
Lm-8	0.00976	0.0216	0.99952	SCG-8	0.01187	0.0263	0.99929
Lm-9	0.01002	0.0222	0.99949	SCG-9	0.01125	0.0249	0.99936
Lm-10	0.00962	0.0213	0.99953	SCG-10	0.01016	0.0225	0.99948
Lm-11	0.01099	0.0244	0.99939	SCG-11	0.01090	0.0241	0.99940
Lm-12	0.00933	0.0207	0.99956	SCG-12	0.01134	0.0251	0.99935

Tablo 4. YSA modelinden elde edilen performans değerlendirme kriterleri

Termodinamik Değerler	Metot	Karşılaştırma Parametreleri		
		R ²	RMSE	cov
Isı Transfer Miktarı	YSA	0.99963	52.225	0.0195
Etkinlik	YSA	0.99956	0.0093	0.0207

Plakalı ısı değiştiricinin ısı transfer miktarı ve etkinlik miktarlarının hesaplanmasında, YSA metodolojisinden elde edilen aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır [6].

$$E_i = \sum_{n=1}^4 I_n w_{ni} + b_n \quad (12)$$

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (13)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, E_i nöron toplama fonksiyonu ve F_i nöron aktivasyon fonksiyonudur. I_n giriş değişkenleri ve b_n ise bias değerini ifade etmektedir. Eşitliklerdeki katsayılar eğitim ağırlıklarının gizli katmanına ait her nöronun toplama fonksiyonunun ağırlık değerlerini ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitliklerde YSA'nın giriş değişkenleri olarak sıcak su giriş sıcaklığı (T_{hi}), soğuk su giriş sıcaklığı (T_{ci}), akışkan debisi (\dot{m}) ve plaka yüzey açısı (β) olmak üzere dört adet giriş değişkeni kullanılmaktadır. Isı transfer miktarı değerlerinin ve etkinlik değerlerinin tayini için kullanılan ağırlık katsayıları ve bias değerleri sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Isı transfer miktarı değerlerinin tayini için kullanılan ağırlık katsayıları ve bias değerleri

Nöron pozisyonu (w_{ni})	I_1 (T_{hi})	I_2 (T_{ci})	I_3 (\dot{m})	I_4 (β)	b_n
1	1.844	10.55	2.164	-1.26	18.72
2	56.96	-52.1	27.121	-0.07	-20.0
3	-0.38	0.420	-2.039	-5.96	4.889
4	-2.60	2.284	3.6669	8.860	-7.34
5	-40.8	37.11	-105	33.73	27.96

Plakalı ısı eşanjöründeki ısı transfer miktarı, sıcak su giriş sıcaklığı (T_{hi}), soğuk su giriş sıcaklığı (T_{ci}), akışkan debisi (\dot{m}) ve plaka yüzey açısı (β)'na bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$E_6 = -112.6039F_1 + 83.284F_2 - 89.934F_3 - 70.4233F_4 + 229.4711F_5 - 107.9219 \quad (14)$$

$$\text{Isı transfer miktarı} = \left(\frac{1}{1 + e^{-E_6}} \right) 3920 \quad (15)$$

Tablo 6. Etkinlik değerlerinin tayini için kullanılan ağırlık katsayıları ve bias değerleri

Nöron pozisyonu (w_{ni})	I_1 (T_{hi})	I_2 (T_{ci})	I_3 (\dot{m})	I_4 (β)	b_n
1	11.15	11.75	39.36	9.223	47.386
2	-37.9	46.17	-7.01	-4.47	-2.46
3	16.39	-38.1	-35.3	-4.64	39.53
4	13.91	-1.38	-10.1	13.30	3.595
5	92.11	8.614	28.71	-49.5	-16.81
6	31.42	-30.3	3.364	25.28	-23.70
7	-14.9	11.10	-9.05	-9.27	10.16
8	23.27	-4.38	-49.1	20.22	4.142
9	68.87	-72.5	34.79	-44.2	13.69
10	-0.13	3.250	1.836	11.42	-8.39
11	-10.7	12.79	-3.67	13.75	-7.913
12	35.96	58.13	91.31	3.757	-46.23

Benzer şekilde plakalı ısı eşanjöründeki etkinlik değeri, sıcak su giriş sıcaklığı (T_{hi}), soğuk su giriş sıcaklığı (T_{ci}), akışkan debisi (\dot{m}) ve plaka yüzey açısı (β)'na bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir;

$$E_{13} = 21.3112F_1 - 2.7185F_2 + 21.2966F_3 + 7.2653F_4 - 0.0560F_5 - 26.460F_6 - 19.256F_7 - 12.435F_8 + 3.054F_9 - 46.609F_{10} + 58.21F_{11} + 0.2889F_{12} - 1.5743 \quad (16)$$

$$\text{Etkinlik} = \frac{1}{1 + e^{-E_{13}}} \quad (17)$$

Isı transfer miktarına ait gerçek değerler ile YSA modellemesinde elde edilen tahmin değerleri ve hata değerleri Tablo 7'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hata değerlerinin hesaplanmasında Denklem (18) kullanılmıştır.

$$\text{Hata} = \frac{|A^e - A^p|}{A^e} \times 100 \quad (18)$$

Burada A_e deneylerden elde edilen veriler, A_p ise YSA'dan elde edilen tahmin değerleridir. Tablo 7'de de görüldüğü gibi en yüksek hata değeri 1.37 dir. Bu değerin kabul edilebilir bir hata değeri olduğu belirlenmiştir.

Tablo 7. Isı transfer miktarına ait gerçek değerler ile YSA modellemesinde elde edilen tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Sıcaklık T_{hi} (°C)	Sıcaklık T_{ci} (°C)	Akışkan Debisi \dot{m} (kg/s)	Plaka Yüzey Açısı β (°)	Isı Transfer Miktarı (W)		Hata (%)
				Gerçek Değer	YSA	
32.8	25	0.167	30	2167	2191	1.09
44.6	37.1	0.167	30	2167	2144	1.08
51.1	43.6	0.167	30	2167	2166	0.07
58.1	50.1	0.167	30	2377	2354	0.97
31.8	26.6	0.239	30	2195	2204	0.40
39.3	34	0.239	30	2295	2284	0.48
44.7	39.4	0.239	30	2295	2319	1.05
37.9	34.3	0.321	30	2144	2115	1.37
45.5	41.9	0.321	30	2144	2159	0.68
34.8	28.4	0.263	60	3077	3103	0.85
53.3	46.8	0.263	60	3407	3393	0.40
58.7	52.2	0.263	60	3516	3466	1.43
19.2	15.7	0.39	60	2608	2609	0.06
26.4	21.9	0.39	60	3259	3254	0.17
37.5	33.1	0.39	60	3422	3421	0,04
32.1	29	0.517	60	3023	3055	1.06
45.7	42.5	0.517	60	3455	3419	1.04

Benzer şekilde etkinlik değerine ait gerçek değerler ile YSA modellemesinde elde edilen tahmin değerleri ve hata değerleri Tablo 8'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablo 8'de de görüldüğü gibi en yüksek hata değeri 1.23 dir. Bu değer de yine kabul edilebilir bir hata değeri olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8. Etkinlik değerine ait gerçek değerler ile YSA modellemesinde elde edilen tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Sıcaklık T_{hi} (°C)	Sıcaklık T_{ci} (°C)	Akışkan Debisi \dot{m} (kg/s)	Plaka Yüzey Açısı β (°)	Etkinlik		Hata (%)
				Gerçek Değer	YSA	
21.2	15.4	0.167	30	0.40	0.396	0.95
44.6	37.1	0.167	30	0.41	0.409	0.22
51.1	43.6	0.167	30	0.41	0.407	0.73

31.8	26.6	0.239	30	0.42	0.423	0.71
39.3	34	0.239	30	0.43	0.435	1.23
22.4	18.9	0.321	30	0.43	0.426	0.91
29.1	25.5	0.321	30	0.42	0.423	0.69
34.8	28.4	0.263	60	0.44	0.445	1.14
41.4	34.9	0.263	60	0.45	0.453	0.62
53.3	46.8	0.263	60	0.48	0.477	0.63
26.4	21.9	0.39	60	0.44	0.439	0.20
45.2	40.8	0.39	60	0.50	0.501	0.22
21.8	19.1	0.517	60	0.44	0.443	0.77
32.1	29	0.517	60	0.45	0.452	0.40
38.8	35.7	0.517	60	0.48	0.481	0.13
45.7	42.5	0.517	60	0.50	0.505	0.90
54.3	51	0.517	60	0.52	0.521	0.21

Deneyssel bulguların hata analizi için belirsizlik analizi (uncertainty analysis) adı verilen hassas bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre, sistemde ölçülmesi gereken büyüklük R , ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişken ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda $R=R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı w_R ise,

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

şeklinde verilmektedir.

Fiziksel değişkenler sonucu ortaya çıkan hassasiyetler hesaplanarak aşağıda verilmiştir. Yapılan deneylerde, toplam ısı transfer miktarına ait hata oranı 14 W, hata yüzdesi %1 olarak belirlenmiştir. Ölçülen fiziksel özelliklerin her biri için hassasiyetler Tablo 9’da özetlenmiştir.

Tablo 9. Fiziksel değişkenlerin özellikleri

Cihaz	Marka	Özellik	Hassasiyet (%)
Sıcaklık sensörü	EMKO	%±0.2 doğruluk Deniz seviyesinden 2000 metre yüksekliğe kadar çalışma şartı Sabit montaj katagorisi Sürekli çalışma periyodu PT 100 sensör girişleri	±0.2
Debimetre	TDSS	AISI 304 paslanmaz çelik gövde %±0.2 doğruluk %±0.2 tekrarlanabilirlik Max. 63 bar basınç derecelendirmesi	±0.2

IV. SONUÇ

Bu çalışmanın sonucunda farklı çalışma süreçlerinde plakalı ısı değiştiricide dolaşan akışkanların en uygun sıcaklıkları, debileri ve en etkin plaka yüzey açısı belirlenmiştir. Yapılan analizlerde, deney cihazı çalıştırıldığında deney cihazındaki 0.32 m² toplam ısı iletim yüzeyi olan 10 adet plakadan oluşmuş PID'in en uygun çalışma şartları, plaka yüzey açısı 60°, sıcak su giriş sıcaklığı 60 °C, soğuk su giriş sıcaklığı 15 °C, debi değeri ise 0.3 kg/s (pompa 2. kademedeki) olarak belirlenmiştir. Bu çalışma şartları için en yüksek toplam ısı transfer değeri 42227 W ve etkinlik değeri 0.74 olarak belirlenmiştir.

Bu deneysel analizlere ek olarak, deneysel çalışmadan alınan verileri, plakalı ısı eşanjörlerinde kullanabilmek amacıyla bazı eşitlikler elde edilme yoluna gidilmiştir. Bu amaçla YSA metodolojisi kullanılmıştır. YSA uygulamasında ısı transferi ve etkinlik değerleri için elde edilen korelasyonlar sonucunda gerçek değere ısı transferi değeri için en yüksek hata değeri olan 1.37 değerinde, etkinlik değeri için 1.23 değerinde yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir. Literatüre bakıldığında bu değerlerin kabul edilebilir hata değerleri olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR: Bu deneysel çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından 2810-D-11 proje numarası ile desteklenmiştir. Yazarlar olarak mali desteklerinden dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Kılıç, "Plakalı Isı Eşanjörlerinde Plaka Geometrisi İle Dinamik Ve Termal Parametrelerin Isı Transferine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması," Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2013.
- [2] J.A.W. Gut and J.M. Pinto, "Optimal configuration desing for plate heat exchangers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 47, pp. 4833-4848, 2004.
- [3] C. Riverol and V. Napolitano, "Estimation of fouling in a plate heat exchangers through the application of neural networks," *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 80, pp. 594-600, 2005.
- [4] A.K. Dwivedi and S.K. Das, "Dynamics of plate heat exchangers subject to flow variations," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, pp. 2733-2743, 2007.
- [5] I.M. Afonso, P. Cruz, J.M. Maia and L.F. Melo, "Simplified numerical simulation to obtain heat transfer correlations for stirred yoghurt in a plate heat exchanger," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 86, pp. 296-303, 2008.
- [6] R. Selbas, A. Sencan and B. Kılıç, "Alternative approach in thermal analysis of plate heat exchanger," *Heat Mass Transfer*, vol. 45, pp. 323-329, 2009.
- [7] X.H. Han, L.Q. Cui, S.J. Chen, G.M. Chen, and Q. Wang, "A numerical and experimental study of chevron corrugated plate heat exchangers," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, pp. 1008-1014, 2010.

- [8] J. Wen, Y. Li, A. Zhou, and K. Zhang, “An experimental and numerical investigation of flow patterns in the entrance of plate-fin heat exchanger,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 49, pp. 1667-1678, 2007.
- [9] Anonim, (01 Ağustos 2017). [Online]. Erişim: <http://www.tetsa.com.tr>
- [10] O. Genceli, *Isı Değiştiricileri*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2005, ss. 90-131.
- [11] M. Reppich, “Use of high performance plate heat exchangers in chemical and process industries,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 38, pp. 999-1008, 1999.
- [12] J.A.W. Gut, and J.M. Pinto, “Optimal configuration desing for plate heat exchangers,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 47, pp. 4833-4848, 2004.
- [13] J.A.W. Gut, R. Fernandes, J.M. Pinto and C. Tadini, “Thermal model validation of plate heat exchangers with generalized configurations,” *Chemical Engineering Science*, vol. 59, pp. 4591-4600, 2004.
- [14] B. Kılıç, A. Şencan ve R. Selbaş, “Plakalı ısı eşanjörü kullanılan soğutma uygulamalarında soğutma etkinlik katsayısının deneysel incelenmesi”, 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 2009, ss.245-254.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Isı geçiş yüzeyi, [m ²]
C _h	Sıcak akışkanın özgül ısısı, [kJ/kg ^o C]
C _c	Soğuk akışkanın özgül ısısı, [kJ/kg ^o C]
C _h	Sıcak akışkanın ısı kapasitesi, [kJ/s ^o C]
C _c	Soğuk akışkanın ısı kapasitesi, [kJ/s ^o C]
h _g	Akışkanın giriş entalpisi, [kJ/kg]
h _ç	Akışkanın çıkış entalpisi, [kJ/kg]
K	Toplam ısı geçiş katsayısı, [W/m ^{2o} C]
T _{hi}	Sıcak akışkanın giriş sıcaklığı, [°C]
T _{ci}	Soğuk akışkanın giriş sıcaklığı, [°C]
T _{hç}	Sıcak akışkanın çıkış sıcaklığı, [°C]
T _{cç}	Soğuk akışkanın çıkış sıcaklığı, [°C]
Q̇	Isı değiştiricide geçen ısı, [W]
ΔT _m	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı, [°C]
YSA	Yapay sinir ağı
ṁ _h	Sıcak akışkanın kütleli debisi, [kg/s]
ṁ _c	Soğuk akışkanın kütleli debisi, [kg/s]
ε	Isı değiştirici etkinliği
α	Isı taşınım katsayısı, [W/m ^{2o} C]
λ	Isı iletim katsayısı, [W/m ^o C]
β	Plaka yüzey açısı, [°]