

Deneysel Çalışmalar, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Yapay Sinir Ağları ile Plakalı Isı Değiştirgeci Tasarımı

Caner TÜRK
Çağın GÜLENOĞLU
Ece ÖZKAYA
Yasin GENÇ
Selin ARADAĞ
Sadık KAKAÇ
Abdullah ÖZCAN

ÖZET

Bu bildiride deneysel, sayısal çalışmalar ve yapay sinir ağları ile ısı özellik tahmini çalışmaları yer almaktadır. Öncelikle çeşitli plakalı ısı değiştirgeci plakaları üzerinde deneyler yapılarak plakaların ısı ve hidrolik performansları test edilmiştir; plakaların her biri için plakaya özel Nusselt sayısı ve basınç düşümü korelasyonları geliştirilmiştir. Aynı deney verileri kullanılarak yapay sinir ağları eğitilmiş ve korelasyonlara alternatif olarak literatürde daha önce çeşitli konularda ve farklı ısı değiştirgeci uygulamalarında son zamanlarda kullanılmaya başlanan yapay sinir ağları korelasyonlar yerine özellik tahmini için kullanılmıştır. Deneysel çalışmalara paralel olarak yürütülecek olan hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları ile deneylerdeki plaka geometrilerinden oluşan plakalı ısı değiştirgeçlerinin sayısal simülasyonları gerçekleştirilerek, sonuçlar deneysel veriler ile doğrulanması amaçlanmaktadır. Tüm bu sayısal ve deneysel veriler sonucunda geliştirilen ETU HEX (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Isı Değiştirgeci Programı) plakalı ısı değiştirgeci seçimi bilgisayar programı ile hesaplamalar plakalara özel korelasyonlara göre yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isı Değiştirgeci, Korelasyon, Yapay Sinir Ağları, Nusselt Sayısı, Sürtünme Katsayısı.

1. GİRİŞ

Sanayide kullanılan enerjinin çoğu ısıdan elde edilmektedir. Enerjinin muhafaza edilmesi sadece yeni ve daha ileri teknolojilerin kullanılmasıyla değil aynı zamanda mevcut yöntemin daha iyi devam ettirilmesi ve geliştirilmesi ile enerji geri dönüşümü sayesinde sağlanabilir. Sistemlerin iyileştirilmesi önemli miktarda enerji kazanımı sağlamaktadır. Bu enerjiyi kullanmanın en iyi yollarından bir tanesi soğuk su kaynaklarını ısıtmaktır ve bu sistemler ısı değiştirgeçleri donanımlarına ihtiyaç duyar [1]. Isı değiştirgeçleri, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkanın arasında ısı enerji geçişini sağlayan araçlardır. Çok geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Güç üretimi, uzay uygulamaları, termik santraller, ısıtma, iklimlendirme, soğutma tesisatları, elektronik cihazlar, imalat endüstrisi, kimya ve

Abstract:

In this paper, thermal and hydraulic performances of plate heat exchangers are estimated with the help of experimental studies, artificial neural networks and numerical methods. A variety of experiments are performed on heat exchanger plates. Thermal and hydraulic performance of these plates are tested. Specific correlations for Nusselt number and friction factor are obtained for every plate type. Artificial neural networks (ANNs) are trained using the same experimental data. ANNs which are used for several heat transfer applications in the literature, have recently started to be used in heat exchanger applications to estimate the thermal properties as an alternative to correlations. The Computational Fluid Dynamics simulations of plate heat exchangers tested in the experiments are also performed parallel to the experimental studies. ETU HEX (TOBB University of Economics and Technology Heat Exchanger program) computer program, that is developed using the results of these experimental and computational studies specific to plates, is used for plate heat exchanger selection.

Key Words:

Heat Exchanger; Correlation, Artificial Neural Networks, Nusselt Number, Friction Factor.

Makale

gıda endüstrisi bu alanlardan bazılarıdır [2,3]. Isı değiştirgeçlerinin karmaşık geometrileri ve doğrusal olmayan dinamik davranışlarından dolayı çoğu model, varsayım ve basitleştirmelere ihtiyaç duyar. Sabit özellik değerleri, sabit ısı transfer katsayısı ve benzerlik durumları bu varsayımlardan bazılarıdır [4]. Plakalı ısı değiştirgeçlerinin karmaşık yapılarından dolayı ısı transferi hesaplamaları oldukça geniş bir konudur. Gerçekleşen ısı transferinin ve meydana gelen basınç düşümünün hesaplanması için çeşitli korelasyonların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle farklı tipteki plakalı ısı değiştirgeçleri için performans deneyleri yapılmalı ve bu plakalara uygun korelasyonlar bulunmalıdır.

Farklı akışkan tipleri ve plaka çeşitleri için birçok deneysel çalışma mevcuttur [2]. Bobbili vd tarafından gerçekleştirilen 17.000 ve 1.000 arasında değişen Reynolds sayıları için farklı plaka sayılarında deneyler gerçekleştirilmiş ve akışkan olarak soğuk ve sıcak taraf için su seçilerek kullanılmıştır. Deneyler sırasında ilk, ortanca ve son plakalarda basınç problemleri ile statik basınç ölçümleri kaydedilmiştir. Böylece basınç düşümü değerleri elde edilmiştir. Basınç fark ölçerler ile toplam basınç düşümü değerleri de ölçülmüştür. Bobbili vd çalışmaları sonucunda $900 < Re < 10.000$ aralığı için fanning sürtünme katsayısı korelasyonu geliştirmişlerdir [5]. Muley ve Manglik tek geçişli, U tipi, karşıt akışlı, chevron tipi plakalı ısı değiştirgeçinde basınç düşümü ve ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Farklı chevron açılarında ve Reynolds sayılarında (600–10.000) deneyler yaparak Nusselt ve fanning sürtünme katsayısı için korelasyonlar bulmuşlardır [6].

Korelasyonlar yerine alternatif olarak Yapay Sinir Ağları ile ısı özellik tahmini de literatürde mevcuttur. Xie vd. gövde-boru tipi ısı değiştiricisinde Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemini kullanarak üç ayrı ısı özellik olan yağ çıkış sıcaklığı, su çıkış sıcaklığı ve ısı transferi hızlarını tahmin etmiş ve ayrıca korelasyon yönteminin dezavantajlarından bahsetmiştir [7]. Peng ve Ling, kanatçık levha tipi ısı değiştiricisinde YSA yöntemini uygulamış ve yöntem sonucu elde edilen tahminlerdeki hata oranlarının çok düşük

olduğunu göstererek YSA yönteminin ısı özellik tahmin etmede kesinlik ve güvenilirlik sahibi olmasının imalatçıların karmaşık sistemler tasarlamasına daha çok yardımcı olacağı belirtmiştir [8]. Turk ve Aradag, çalışmalarında literatürden alınan veriler için Nusselt sayısı tahminini YSA ile yapmış ve çalışma sonucunda elde edilen Nu değerleri deneysel sonuçlara aynı literatürde elde edilen korelasyonlar sonucunda bulunan Nu değerlerinden çok daha yakın olduğu gösterilmiştir [9]. Bir başka çalışmalarında Turk ve Aradag, kendi çalışma gruplarının elde ettiği plakalı ısı değiştiricisi verilerine YSA yöntemini uygulayarak Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısını tahmin etmiş ve elde edilen tahminlerin aynı çalışma grubunun oluşturduğu korelasyonlardan daha kesin ve deneysel değerlere yakın sonuç verdiğini vurgulamıştır [10].

Literatürde plakalı ısı değiştirgeçlerinin sayısal analizini içeren çalışmalara da rastlanmaktadır. Galeazzo vd [11] düz plakalı ısı değiştirgeci için akış ve ısı transferi analizi yapmıştır. Paralel ve seri akış düzenine sahip plakalı ısı değiştirgeçleri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar bir boyutlu hesaplamalar ve deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Seri akışlı plakalı ısı değiştirgeçinde deneysel sonuçlarla bir ve üç boyutlu analizler %8 uyumlu çıkarken paralel akışlı düzende üç boyutlu analizler deneysel sonuçlarla daha uyumlu çıkmıştır [11]. Tsai vd. çalışmalarını 65° chevron açısına sahip ticari bir plaka ile yapmışlardır. Çalışmada 600 – 1.700 Reynolds sayısı aralığında analizler gerçekleştirilmiştir. Basınç düşümü değerleri deneysel değerlerden %20 sapma göstermektedir [12]. Miura vd [13] ısı değiştirgeci tasarımında önemli iki faktör olan ısı yükü ve basınç kaybı parametrelerini tanımlamıştır. Basınç yükü parametresini hem deneysel hem sayısal olarak çalışmışlardır. Çalışmalarında düz plakalı ısı değiştirgeci kullanmışlardır ve deneysel ve sayısal sonuçları uyum içerisinde. Çalışmanın çoğu düz plakalar nedeni ile laminer rejimde gerçekleştirilmiştir [13]. Kanaris vd üçgen baskı desenli bir plakada analiz yapmışlardır. Analizlerde hız büyüklüğü, kaymaz duvar şartı ve sabit duvar sıcaklığı girdi olarak verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda akışın yan taraf-

taki borulardan dümdüz giderek kaçtığı ve bunun ısı transferini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir [14].

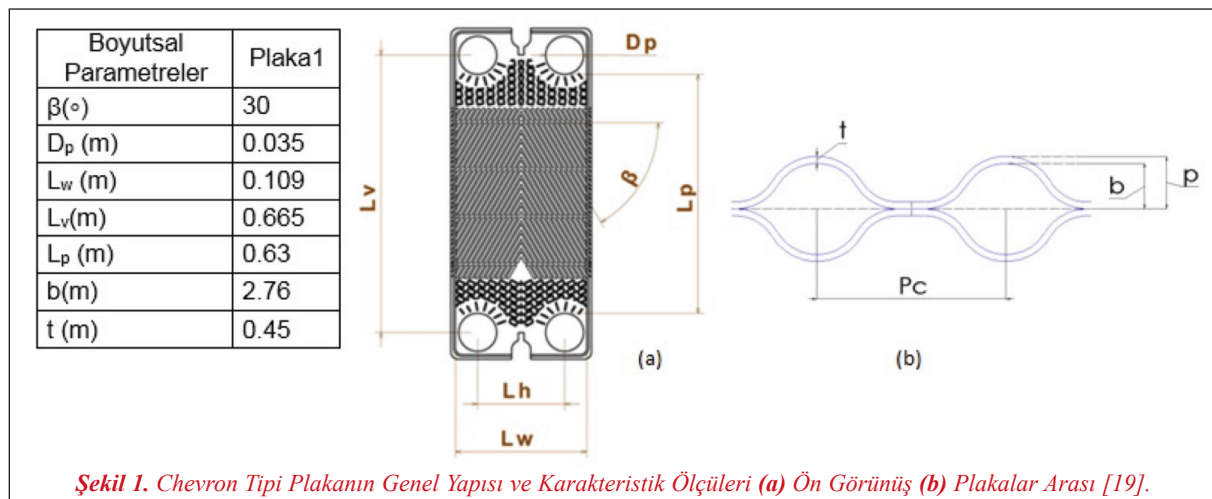
2. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu bildiride amaç, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Isı Değiştirgeci Laboratuvarında yapılan çalışmaları kısaca anlatmaktır. Laboratuvarında belli başlı dört konu üzerinde çalışılmaktadır. Öncelikle, plakalı ısı değiştirgeçleri üzerine deneyler yapılarak, çeşitli akış koşullarında çeşitli tipte plakaların ısı ve hidrolik performansları incelenmektedir ve deneysel veriler sonucunda plakalara özel korelasyonlar çıkartılmaktadır. Korelasyonlara alternatif olarak yapay sini ağları ile yine plakaların ısı ve hidrolik performansları belirlenmekte, gerçek deney verilerine çok daha yakın sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile plakalı ısı değiştiricisi performansları sayısal olarak da test edilmekte, bu da sayısal ortamda, daha sonra deney düzeneğinde test edilebilecek yeni plakaların tasarlanmasına imkan sağlamaktadır. Üzerinde çalışılan diğer bir konu ise Tanpera firması ile birlikte plakalı ısı değiştirgeçleri için plaka seçimine yarayan ETÜ HEX seçim programının geliştirilmesidir. Deney düzeneğinden alınan yeni verilerle sürekli güncellenen bu bilgisayar programı plakalı ısı değiştirgeci kullanan sistemler için plaka sayısı ve tipinin seçimini yapmakta; fakat hesaplarını yaparken literatürde bulunan genel korelasyonlar yerine direk plakaya özel elde edilmiş deneysel verileri kullanmaktadır. Aşağıda, her bir alanda ne gibi çalışmalar yapıldığı ayrıntısıyla anlatılmaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar TOBB ETÜ laboratuvarında bulunan test düzeneğinde yapılmış olup farklı plaka tipleri için deneyler sürdürülebilir. Deney düzeneğinin ayrıntıları Akturk vd ile Gulenoglu vd yayınlarında bulunabilir [15,16]. Şimdiye kadar, birçok farklı tipte plaka ile deneyler yapılmış ve her plakaya özel korelasyon çıkartılmıştır. Bu bildiride örnek olarak sadece bir plaka için yapılan çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmada bahsedilecek olan plakaya "plaka1" ismi verilmiştir. Deneyler, her plaka için farklı Reynolds sayısı ve Prandtl sayısı ile değişen karakteristiklerin belirlenmesi amacı ile geniş bir sıcaklık ve debi aralığında yapılmaktadır. Sıcaklık, basınç ve debi ölçümlerinin doğru yapılması ve deneyin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi amacı ile sıcak su tankındaki ısıtıcı rezistanslar kapatıldıktan sonra pompalar açılarak ve sistem kararlı olana kadar beklenilmektedir. Sistem stabil olduktan sonra deney başlatılır ve sıcaklıklar veri toplayıcı ile her saniye kaydedilip, basınç farkları ise fark basınç ölçerlerden belirli aralıklarla okunmaktadır.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda plaka karakteristikleri belirlenmekte olup, Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı korelasyonları literatürde bulunan korelasyon çıkarma yöntemleri uygulanarak hesaplanmıştır. Plaka1 isimli plakanın geometrik özellikleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu değerlerin simgelediği semboller yine Şekil 1'de chevron tipi bir plaka üzerinde gösterilmekte ve bunlar port çapı, portlar arası dikey uzak-



Makale

lık, portlar arası yatay uzaklık, plaka genişliği, plaka kalınlığı, baskı kanal derinliği ve kanallar arası mesafedir. Detaylı olarak Gulben vd [17, 18]'nin çalışmalarında anlatılan, temel ısı transferi denklemleri ve değiştirilmiş wilson-plot metodu kullanılarak ısı transferi ve basınç düşümleri hesaplanan plakanın ısı ve hidrolik karakteristiklerini veren korelasyonlar denklem 1 ve 2'de verilmiştir.

Deney düzeneğinde test edilerek alınan verilere uygulanan yöntem sonucu çıkarılan korelasyonlar Plaka1 için aşağıdaki şekildedir;

$$Nu = 0,32774Re^{0,675}Pr^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (1)$$

Nu = Nusselt sayısı, Re = Reynolds sayısı, Pr = Prandtl sayısı, μ = viskozite, μ_w = duvardaki viskozite [16, 20].

$$f = 1371Re^{-1,146} + 1,139 \quad (2)$$

f = sürtünme katsayısı [16, 20].

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Isı değiştiricilerinde ısı özellik tahmini literatürdeki ısı transferi formülleri ve korelasyonlar yardımıyla yapılmaktadır. Son yıllarda ise gelişmeye devam eden bir yöntem olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi de ısı özellik tahmini hesaplarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada Plaka1 için kullanılacak olan YSA modeli 2 farklı değeri tahmin etmek için oluşturulmuştur. Bunlar, Nusselt sayısı ile sürtünme katsayısıdır.

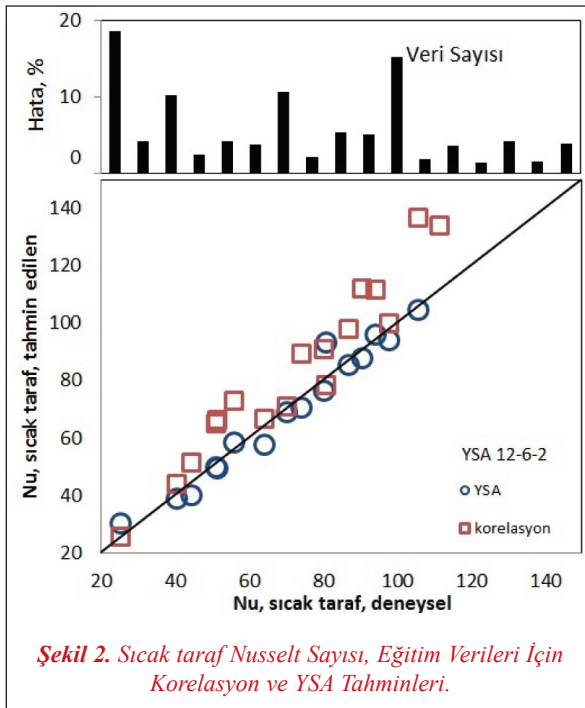
Nusselt sayısı için 12 girdi parametresi ve 2 adet çıktı parametresi mevcuttur ve şu şekildedir. Girdiler; sıcak taraf giriş sıcaklığı, sıcak taraf kütle debisi, sıcak taraf Reynolds sayısı, sıcak taraf Prandtl sayısı, sıcak taraf viskozitesi, soğuk taraf giriş ve çıkış sıcaklıkları, soğuk taraf kütle debisi, soğuk taraf Reynolds sayısı, soğuk taraf Prandtl sayısı, soğuk taraf viskozitesi ve son olarak da plaka sayısı. Çıktılar ise, sıcak taraf Nusselt sayısı ve soğuk taraf Nusselt sayısı.

Sürtünme katsayısı için oluşturulan YSA modelinde ise 7 adet girdi, 1 adet çıktı bulunmaktadır. Girdiler; sıcak taraf sıcaklığı, soğuk taraf sıcaklığı, kütle debisi, Reynolds sayısı, viskozite, basınç düşümü ve plaka sayısıdır. Çıktı ise sürtünme katsayısıdır.

YSA yönteminde model eğitilirken genellikle verilerin %70-75 gibi bir dilimi kullanılır ve bu değerler tamamen rastgele seçilir [21]. Ağ ne kadar güçlü ise sonradan test edilecek verilerin hata oranı çok düşük olacaktır. O yüzden ağı eğitmek için kullanılan verilerin olabildiğince çok olması istenir. Ağ yapısını oluşturduktan sonra geri kalan işleyiş deney verilerini 2 gruba bölmek ve ilk kısım deney verileriyle ağı eğitip istenilen hata oranının altında bir değer yakalandıktan sonra o ağı test etmektir. Birden fazla ağ yapısı oluşturulduktan sonra hata oranı en az ve doğruluğu en yüksek model seçilir.

Nusselt sayısı için oluşturulan ağ yapıları incelendiği zaman eğitim verileri için en düşük hata değerleri hem eğitim hem de test verileri için 12-6-2 ağ yapısındadır. 12 girdili ve 6 çıktılı bir yapı olan bu ağ yapısı 6 nöronlu bir orta katmana sahiptir. Şekil 2 sıcak taraf Nusselt sayısı tahminlerinin deneysel çalışmalar sonucunda bulunan değerlerle karşılaştırmasını içermektedir. Sıfır noktasından başlayan düz köşegen üstündeki çizgi mükemmel değeri göstermektedir. Bu çizgi üzerindeki değerler deneysel sonuçlarla tamamen uyuşulduğunu belirtir. Şekil 2'de sıcak taraf Nusselt sayısı için YSA yönteminin verdiği tahminlerin deneysel değerlere Korelasyon yöntemi sonucunda elde edilen değerlerden daha yakın olduğu görülmektedir.

YSA yönteminin daha yakın sonuç vermesinin ardından Şekil 2'nin üst kısmında YSA yönteminde kullanılan 17 adet eğitim verisi için bağıl hata sütun grafiği de oluşturulmuştur. Sütun grafiğindeki her bir veri altındaki gerçek değerlerin sıralamasıyla birebir örtüşmektedir. Sütun grafiğindeki bağıl hata YSA yöntemi sonucunda elde edilen değerlerin deney sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla ortaya çıktığı unutulmamalıdır. Sıcak taraf Nusselt sayısı tahmininde YSA yönteminin korelasyonlara göre ne kadar başa-



rılı bir sonuç verdiği bariz bir şekilde görülmektedir.

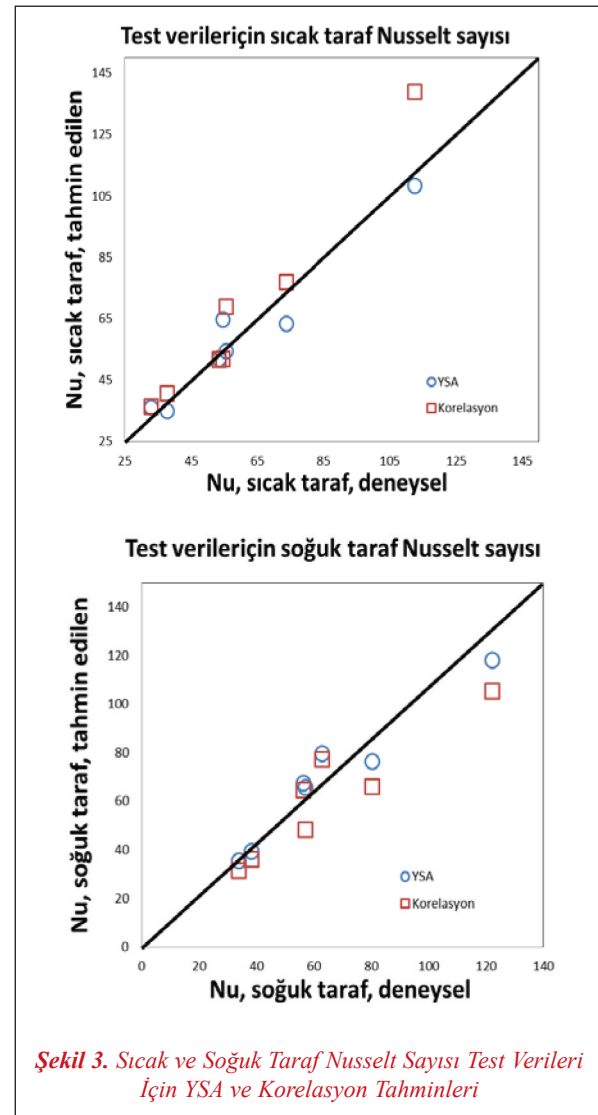
Şekil 3 ise eğitilen ağın yeni veri grubuyla test edilmesi sonucu elde edilen tahminlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu hem sıcak taraf hem de soğuk taraf Nusselt sayıları için gösterilmektedir. 2 şekilden de YSA yöntemi sonucu elde edilen tahminlerin deneysel sonuçlara daha yakın olduğu görülebilmektedir. Bu sonuç oluşturulan ağın yeni veri gruplarıyla da uyumlu olarak iyi sonuç verdiğini belirtmektedir..

Yapılan çalışma sonucunda sürtünme katsayısı için de ortalama bağıl hatalara bakacak olursaki Şekil 4'te görüldüğü gibi YSA yöntemi sonucunda eğitim verileri için bu oran %2,92 iken korelasyonda %14 civarındadır. Test verileri için de aynı durum geçerli olup YSA için ortalama bağıl hata %6,10 iken korelasyon içinse %17,2'dir.

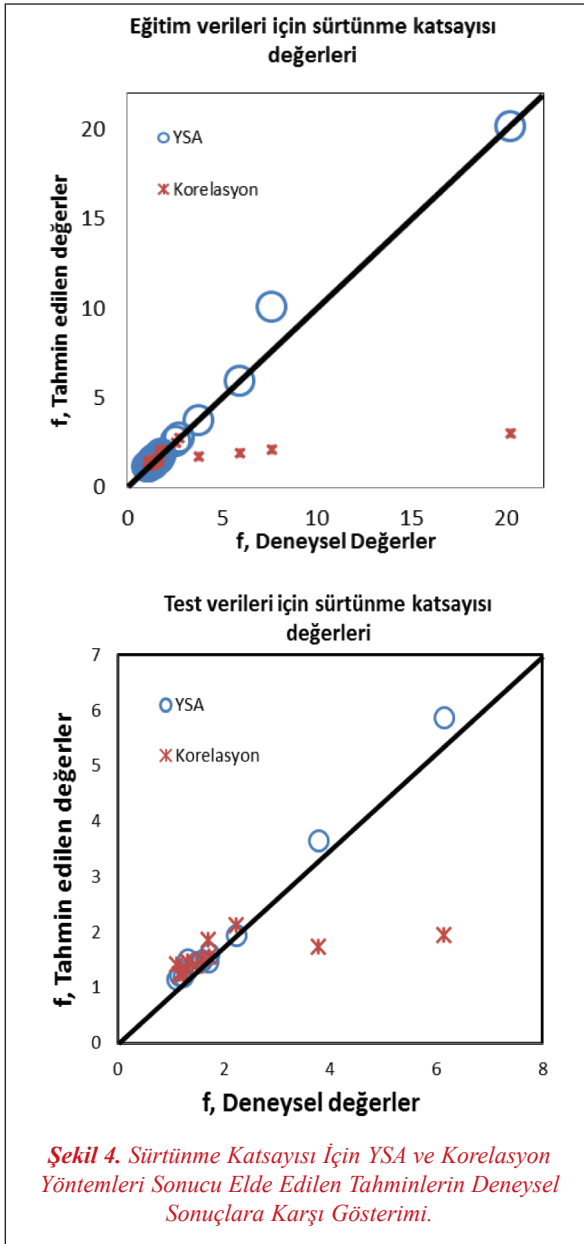
5. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI ÇALIŞMALARI

Plakalı ısı değiştirgeçlerinde tasarım için uzun ve birçok kez tekrarlanan, deneysel bir süreç vardır. Ayrıca istenilen deney koşullarının hepsini aynı anda yaratmak fiziksel sorunlar nedeniyle mümkün olmayabilmekte ve bu nedenle elde edilen sonuçlar her

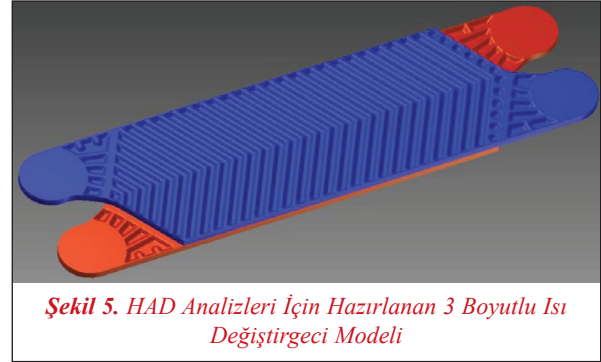
zaman güvenilir olmayabilmektedir. Ancak bir plaka tasarımında deneysel sonuçlardan yola çıkılarak hesaplanan korelasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır [15, 16]. Bu nedenle deneysel koşulların uygulanmadığı durumlarda, pompa gücünün veya debinin yetersiz olması gibi, Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla sistemin modellenmesi ve akışın hesaplanması uygun olabilir. Bu çalışmada kullanılan plaka için, HAD ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması ve uyumlu hale getirilmesi aşamasında çalışılmaktadır. Sonrasında bu çözümler ışığında deneysel olarak ulaşılamayan durumların, HAD sonuçları kullanılarak ısı ve hidrodinamik özelliklerinin hesaplanmasına olanak sağlanması amaçlanmaktadır.



Makale



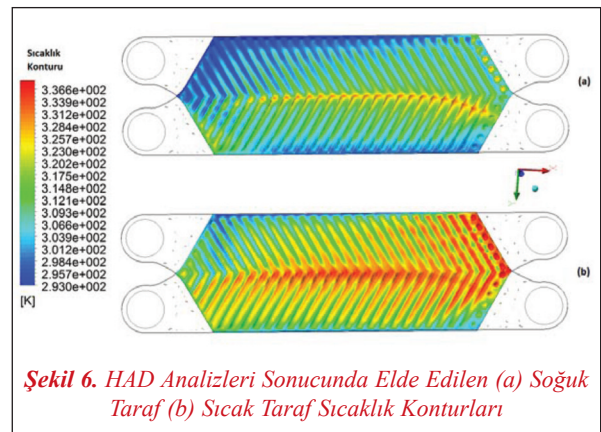
HAD analizleri için öncelikle akış hacmi olarak tanımlanacak 3 boyutlu bir geometriye ihtiyaç vardır. Şekil 5'te görülen 3 boyutlu CAD modeli oluşturulmuştur. Bu modelde bir sıcak ve bir soğuk akış hacmi ve akış hacimlerini birbirinden ayıran boyutsuz bir plaka kullanılmıştır, plaka daha sonra sanal olarak kalınlaştırılmış ve böylece plaka için ayrıca 3 boyutlu sıcaklık dağılımı analizi yapmaya gerek kalmamıştır. Plaka boyunca sıcaklık, malzemenin taşınım katsayısı girilerek bir boyutlu taşınım denklemleri ile hesaplatılmıştır [22, 23].



HAD analizleri için hazırlanan CAD modelin çözüm ağının oluşturulması gerekmektedir, bu nedenle dört-yüzlü elemanlar kullanılarak otomatik bir çözüm ağı oluşturulmuştur. Analizler için giriş sınır koşulu olarak kütleli debi ve sıcaklık, çıkış sınır koşulu olarak basınç değerleri girilmiştir. Duvarlar ve plaka için kaymaz duvar şartı sınır koşulu olarak girilmiştir. Ancak plaka, ısı geçişini tanımlamak için arayüz olarak tanımlanmıştır.

Analizlerde kullanılan sıcak taraf giriş sıcaklığı 65 °C, kütleli debi 0.02 kg/s ve çıkış basıncı 1 atm, soğuk taraf giriş sıcaklığı 20 °C, kütleli debi 0.02 kg/s ve çıkış basıncı 1 atm olarak tanımlanmıştır. Soğuk taraf için ve sıcak taraf için ayrı ayrı yaklaşık 5 milyon eleman, toplamda 10 milyon eleman kullanılmıştır. Elde edilen sıcaklık dağılımı, sıcak ve soğuk taraf için, Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da görülen sonuçlarda plakanın kıvrımlı yüzeyinde ısı transferinin arttığı, kenarlarda kalan kanal boşluklarında ise ısı transferi miktarının daha az olduğu görülmektedir. Böylece kıvrımlı yüzeyle-



rin ısı transferine olumlu bir etkisi olduğu, analizlerden de görülmektedir. Ortalama çıkış sıcaklıkları deneysel sonuçlardan elde edilen çıkış sıcaklıklarıyla uyum içindedir. Ancak ısı özelliklerinin yanı sıra hidrodinamik özellik tahmini de yapılmalıdır. Bu plaka için hidrodinamik özelliklerin de deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olması için çalışılmaya devam edilmektedir.

HAD analizlerinin iyileştirilmesi için çözüm ağından bağımsızlaştırma ve yeni türbülans modellerinin denenmesi planlanmaktadır. Elde edilen en iyi çözüm yöntemiyle de yeni plaka tasarımlarına geçilecektir.

SONUÇLAR

Bu bildiride, bir ısı değiştirgeci plakası kullanılarak, TOBB ETÜ Isı Değiştirgeci Laboratuvarı'nda yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir. TOBB ETÜ laboratuvarlarında plakalı ısı değiştirgeçleri üzerine deneysel, sayısal, yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar birbirine paralel olarak yürütülmekte ve bilgisayarlı seçim programı bu çalışmalar doğrultusunda geliştirilmektedir. Örnek olarak, bir plaka üzerine yapılan deneyler sonucunda ısı ve hidrolik performansı belirleyen korelasyonlar çıkartılmış, aynı zamanda yapay sinir ağları ile de korelasyonlara alternatif bir ısı ve hidrolik özellik tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile de yine ısı özellik tahmini yapılmakta ve bu yeni plaka tasarımlarının yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Gelecekte, çeşitli plakalar ile deneylerin ve sayısal çalışmaların tekrarlanması, plakalar arası kötü dağılım gibi çeşitli durumların etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, HAD yardımıyla yeni plaka tasarımları gibi çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] SHAH, R., K., SUBBARAO, E., C., MASHEKAR, R., A., Heat Transfer Equipment Design, Hemisphere, United States of Amerika, 1988.
- [2] KAKAÇ, S., LİU, H., PRAMUANJAROENKİJ, A., Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design, 3. Baskı CRC Press, Florida, 2012.
- [3] GENÇELİ, O., F., Isı Değiştiricileri, Birsen, İstanbul, 1999.
- [4] DÍAZ, G., C., Simulation and Control of Heat Exchangers Using Artificial Neural Networks, Doktora Tezi, University of Notre Dame, Mechanical Engineering, Notre Dame, Indiana, 2000.
- [5] BOBBİLİ, P. R., SUNDEN, B., DAS, S. K., "An experimental investigation of the port flow maldistribution in small and large plate package heat exchangers", Applied Thermal Engineering, 26, 1919-1926, 2006
- [6] MULEY, A., MANGLİK, R. M., "Experimental Investigation of heat transfer enhancement in a PHE with beta=60 chevron plates", Proceedings of the Second ISHMT-ASME Heat and Mass Transfer Conference and the Thirteenth National Heat and Mass Transfer Conference, Aralık 1995.
- [7] XİE, G.N., WANG, Q.W., ZENG, M., LUO, L.Q., Heat Transfer Analysis for Shell-and-Tube Heat Exchangers with Experimental Data by Artificial Neural Network Approach, Applied Thermal Engineering 27 1096-1104 2007.
- [8] PENG, H., LİNG, X., Neural networks analysis of thermal characteristics on plate-fin heat exchangers with limited experimental data, Applied Thermal Engineering, Volume 29, Issues 11-12, 2251-2256, 2009.
- [9] TÜRK, C., ARADAĞ, S., "Plakalı Isı Değiştiricilerde Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Isıl Özellik Tahmini", ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül 2011.
- [10] TÜRK, C., ARADAĞ, S., "Artificial Neural Net Estimations of Gasketed plate heat exchanger performance based on experimental analysis", 6th International Conference on Thermal Systems: Theory and Applications, Mayıs-Haziran 2012.
- [11] GALEAZZO, F.C.C., MİURA, R.Y., GUT, J.A.W., TADİNİ, C.C., Experimental and numerical heat transfer in a plate heat exchanger, Chemical Engineering Science, 61, 7133 - 7138, 2006.
- [12] TSAİ, Y.C., LİU, F.B., SHEN, P.T., Investigations of the pressure drop and flow

Makale

- distribution in a chevron-type plate heat exchanger, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 574–578, 2009.
- [13] MİURA, R.Y., GALEAZZO, F.C.C., TADİNİ, C.C., GUT, J.A.W., The effect of flow arrangement on the pressure drop of plate heat exchangers, *Chemical Engineering Science*, 63, 5386 – 5393, 2008.
- [14] KANARİS, A. G., MOUZA, A. A., PARAS, S. V., Flow and heat transfer in narrow channels with corrugated walls a CFD code application, *Chemical Engineering Research and Design*, 83(A5), 460–468, 2005.
- [15] AKTURK, F., GULBEN, G., ARADAG, S., SEZER UZOL, N., KAKAC, S., "Experimental Investigation of the Characteristics of a Chevron Type Gasketed-Plate Heat Exchanger", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 2011) Mayıs 2011.
- [16] GULENOGLU, C., AKTURK, F., GULBEN, G., ARADAG, S., SEZER UZOL, N., KAKAC, S., "Farklı Sayı ve Boyutta Plakalara Sahip Plakalı Isı Değiştirgeçlerinin Deneysel İncelenmesi ve Bilgisayar Seçim Programı Oluşturulması", ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül 2011.
- [17] GULBEN, G., ARADAG, S., SEZER UZOL, N., KAKAC, S., "Development of New Correlations and a Computer Program for Chevron Type Gasketed Plate Heat Exchangers based on Experimental Analysis", ASME 7th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, July 2011
- [18] GULBEN, G., Contalı Levha Tipi Levhalı Isı Değiştirgeçlerinin Tasarımı için Muhtelif Çalışma Şartlarına Uygun Bir Bilgisayar Programı Geliştirilip Deneyle Doğrulanması, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Ankara, Eylül 2011.
- [19] AKTURK, F. Contalı Levha Tipi Plakalı Isı Değiştirgeçlerinin Deneysel Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Ankara, Eylül 2011.
- [20] GULENOGLU, C., AKTURK, F., ARADAG, S., SEZER-UZOL, N., KAKAC, S. Experimental Comparison of Performances of Three Different Plates for Gasketed Plate Heat Exchangers, accepted to Sixth International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, May-June 2012
- [21] ISLAMOGLU, Y., KURT, A., "Heat transfer analysis using ANNs with experimental data for air flowing in corrugated channels" *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47, 1361-1365 2004.
- [22] OZKAYA, E., ARADAG, S., KAKAC, S., Comparison of CFD Predictions and Experimental Correlation Based Computer Program Results for Gasketed Plate Heat Exchangers, Sixth International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, İstanbul, Türkiye, Mayıs-Haziran 2012.
- [23] AKTURK, F., SEZER-UZOL, N., ARADAG, S., KAKAC, S., Performance Predictions Of A Gasketed Plate Heat Exchanger By Using Computational Fluid Dynamics, 7th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, İstanbul, Türkiye, Temmuz 2011.