

# Farklı Genliğe Sahip Şerit Elemanların Isı Transferine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık Modelleme Yaklaşımı ile İncelenmesi

Aziz Hakan ALTUN<sup>1</sup>  Mustafa TINKIR<sup>2\*</sup>  Mehmet GÜRDAL<sup>3</sup>   
Adnan BERBER<sup>4</sup>  Haşmet Çağrı SEZGEN<sup>5\*</sup>  Erdi GÜLBAHÇE<sup>6</sup> 

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>3</sup> Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

<sup>4</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Ticaret ve Sanayi Meslek Yüksek Okulu, Mekatronik Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>5</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

## Makale Bilgisi

## ÖZET

Geliş Tarihi: 19.12.2023  
Kabul Tarihi: 28.03.2024  
Yayın Tarihi: 31.12.2024

### Anahtar Kelimeler:

Türbülanslı akış,  
Isı transferi,  
Reynolds sayısı,  
Nusselt sayısı,  
Yapay sinir ağı tabanlı  
bulanık mantık model.

Bu çalışmada, türbülanslı akışta boru içerisine cidardan ayrı olarak yerleştirilen 3D/4 genişliğe sahip sinüzoidal ondüle şerit elemanların, farklı Reynolds sayılarında, sürtünme ve ısı performans katsayılarında ve D/8, D/4, 3D/16 olmak üzere 3 farklı genlikte ısı transferine etkilerinin deneysel sonuçları kullanılarak, yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) yaklaşımı ile aynı girdilerin ve çıktuların modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel ısı transferinde elde edilen minimum ve maksimum Nusselt sayılarının oluşturulan iki ayrı YSATBM yaklaşımı ile tahmin edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve min. Nusselt sayılarının tahmininde ortalama %0.1378, maks. Nusselt sayılarının tahmininde ise %0.0141 hata değerleri elde edilmiştir.

## Investigation the Effects of Strip Elements using Different Amplitudes on Heat Transfer with an Artificial Neural Network Based Fuzzy Logic Modeling Approach

### Article Info

### ABSTRACT

Received: 19.12.2023  
Accepted: 28.03.2024  
Published: 31.12.2024

### Keywords:

Turbulent flow,  
Heat transfer,  
Reynolds number,  
Nusselt number,  
Artificial neural network  
based fuzzy logic model.

In this study, the effects of sinusoidal decoupled strip elements with 3D/4 width, placed separately from the wall in the pipe in turbulent flow, the same inputs and outputs are modeled with the artificial neural network-based fuzzy logic (ANNBFL) approach using experimental results of different Reynolds numbers, friction and thermal performance coefficients and 3 different amplitudes D/8, D/4, 3D/16 effects on heat transfer. The minimum and maximum Nusselt numbers obtained in the experimental heat transfer are estimated with two separate ANNBFL approaches. The obtained simulation results are compared with the experimental results and min. average 0.1378% in estimating Nusselt numbers, max. average error value of 0.0141% are obtained in estimating Nusselt numbers.

### To cite this article:

Altun, A.H., Tinkir, M., Gürdal, M., Berber, A., Sezgen H.Ç. & Gülbahçe, E. (2024). Farklı Genliğe Sahip Şerit Elemanların Isı Transferine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık Modelleme Yaklaşımı ile İncelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), X-X. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.53>

\*Sorumlu Yazar: Haşmet Çağrı Sezgen, [hasmet.sezgen@karatay.edu.tr](mailto:hasmet.sezgen@karatay.edu.tr)

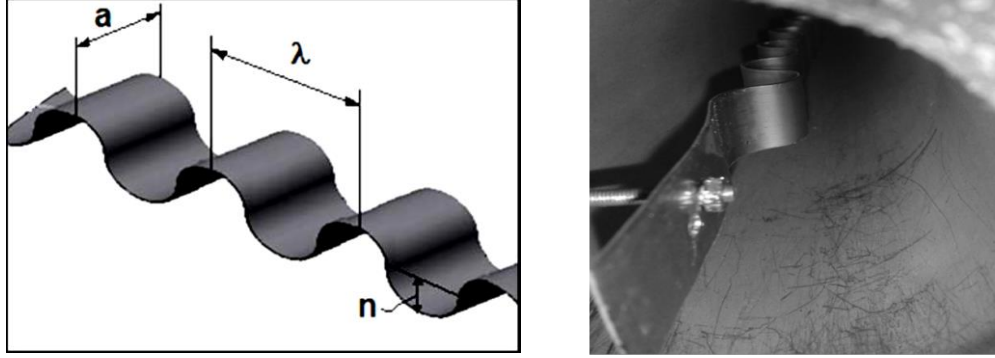


## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel alanlarda, konutlarda, geri dönüşüm sistemlerinde, kimyasal ve gıda sanayinde birçok alanda boru tipi ısı değiştirici sistemleri kullanılmaktadır. Günümüzde bu ısı değiştiricilerin ısı transferini arttırmak ve verimini iyileştirmek için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en sık kullanılan boru içine çeşitli iç eleman yerleştirildiği pasif yöntemdir. Bu nedenle işletme maliyetlerini azaltmak, verimliliği ve ısı transferini iyileştirmek için bu yöntemle ilgili deneysel ve sayısal pek çok çalışma bulunmakta ve yapılmaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacıların bazıları boru girişine yerleştirdikleri çeşitli elemanların ısı transferi akış karakteristiğine etkilerini incelemişlerdir. Bunlardan Sparrow, Koram ve Charmchi [1] boru içi türbülanslı akışta girişe yerleştirilen simetrik olmayan pervaz şeklindeki tıkama elemanların ısı transferi ve akış karakteristiğine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak farklı Reynolds sayıları ve tıkama oranlarında gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda akış ayrılması ve yeniden tutunmanın görüldüğü yerlerde en fazla ısı transferinin gerçekleştiğini görmüşlerdir. Sparrow ve Chaboki [2] yine benzer bir çalışmada bu sefer girişe yerleştirdikleri girdap elemanın ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Girişe yerleştirilen girdap elemanın borularda ısı transferinin önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir.

Araştırmacıların birçoğu boru boyunca yerleştirdiklerin çeşitli elemanların ısı transferi ve akış karakteristiğine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmalara ilgili geniş bir literatür özeti [3] de verilmiştir. Bu çalışmalardan Sethumadhavan ve Raoboru [4] içine sıkıca yerleştirdikleri telin değişen adım uzunluğu, helisel açısı ve kalınlığın ısı transferine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaların sonuçlarını literatürdeki sonuçlarla kıyaslamışlar ve farklı tip pürüzlülük yüzeyleri için bir genel korelasyon geliştirmişlerdir. Boru içine yerleştirdikleri farklı ebatlardaki düz şerit elemanların ısı transferine etkilerini Hsieh, Chang ve Yang [5] türbülanslı akış için sayısal olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre şerit elemanlı dairesel boruların düz boruya göre ısı transferini 2-3 kat daha fazla arttırdığını belirlemişlerdir. Eimsa-ard ve Promvonge [6] uniform ısı akısı uygulanan bir boru içerisine V tipli lüle türbülötör yerleştirerek sürtünme karakteristiği ve ısı transferi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Farklı hatve oranları için ortalama ısı transferindeki artışı sırasıyla %270, %236, %216 olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca düşük hatve oranlarında en yüksek ısı transferi iyileşmesi elde edildiğini ve bu ısıl iyileşmesinin Re sayısındaki artış ile ters orantılı olduğu ifade etmişlerdir. Boru boyunca yerleştirdiği yarım daire şeklindeki tıkama elemanların ısı transferi ve akış geometrisi üzerine etkilerini geçici rejim zorlanmış taşınımında türbülanslı akış için Tandıroğlu [7] deneysel olarak araştırmıştır. Farklı Reynolds sayılarında, adım mesafe oranı, H/D, yerleştirme açısı,  $\beta$  tıkama elemanı boru uzunluk oranı, L/H ve tıkama alanı oranına, So/Sa, göre gerçekleştirdiği deneylerden elde edilen sonuçlarla Nusselt sayısını ve basınç kaybını değerlendirmiştir. Promvonge ve Eiamsa-ard [8] test borusu boyunca farklı adım oranlarında (PR=2.0, 4.0, ve 7.0) yerleştirdikleri konik-lüle türbülötörlerin ısı transferi ve sürtünme karakteristiklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yakınsak ve ıraksak olarak iki farklı tipte sıradıkları türbülötörlerin etkilerini Reynolds sayısı 8000 ile 18000 aralığı için incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlardan ısı transfer oranının düz boruya göre Reynolds sayısına ve türbülötör dizilimine bağlı olarak % 236 ile 344 arasında arttığını görmüşlerdir. Anvari ve ark. [9] bir borunun içine yerleştirdikleri konik kesitli türbülötörlerin ısı transferi ve basınç düşüşüne etkilerini zorlanmış taşınımında deneysel olarak araştırmışlardır. Yakınsak ve ıraksak dizilim olarak yerleştirdikleri türbülötörlerden elde ettikleri deneysel sonuçları bilinen Nusselt Sayısı korelasyonları ile kıyaslamışlardır. Buna göre ıraksak dizilimli türbülötörlerde %521, yakınsak dizilimli türbülötörlerde ise %355 Nusselt sayısında iyileşme sağlanmasına rağmen türbülötörlerin önemli ölçüde basınç kaybına neden olduğunu belirlemişlerdir. Fan ve ark. [10] türbülanslı akışta boru içine yerleştirdikleri konik şerit türbülötörün ısı transfer oranına, sürtünme katsayısına ve termal-hidrolik performans etkilerini sayısal olarak araştırmışlardır. Sayısal hesaplama sonuçlarından düz boruya göre sürtünme katsayısının 10 kat ( $f=0.062-0.36$ ), Nusselt sayısının 5 kat ( $Nu=98.35-400.41$ ) daha fazla

olduğunu ve performans değerlendirme kriterininin 1.67-2.06 aralığında olduğunu görmüşlerdir. Bu amaçla bu çalışmalardan yola çıkarak öncelikle, borularda hidrodinamik gelişmesini tamamlamış türbülanslı hava akışında boru içerisine konumlandırılan farklı genlik değerlerine sahip sinüzoidal ondüle şerit elemanların farklı Reynolds sayılarında, sürtünme ve ısı performans katsayılarında ve  $D/8$ ,  $D/4$ ,  $3D/16$  olmak üzere 3 farklı genlikte ısı transferine etkileri deneysel olarak incelenmiş ve bu girdilere göre min. ve maks. Nusselt sayılarının değişimi bulunmuştur [11].



### Şekil 1

*Sinüzoidal ondüle şerit elemanı ve test borusuna yerleştirilmiş hali (a: Genişlik, n: Genlik, λ: Dalga boyu)*

Bu çalışmada ise; daha önce yapılan çalışmada [11] elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak, farklı Reynolds sayılarında, sürtünme ve ısı performans katsayılarında ve  $D/8$ ,  $D/4$ ,  $3D/16$  olmak üzere 3 farklı genlikte minimum ve maksimum Nusselt sayılarının tahmin edilmesi için yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) yaklaşımı ile simülasyon modellerinin oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın özgünlüğü ise daha önce bu amaçla yapılan deney verileri kullanılarak aynı çıktılar tahmin edildiği yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık modelleme yaklaşımının ilk kez bu çalışmada kullanılmasıdır. Bu konuda benzer tahmin modelleme yaklaşımlarının olmasına rağmen borularda ısı transferi attırma metodlarından olan pasif yöntemlerden iç eleman yerleşimine ait verilerin aynı metotla tahmin modellerinin oluşturulduğu bir literatür çalışmasına pek rastlanmamıştır. Özellikle bu çalışmaya konu olan farklı genliğe sahip sinüzoidal ondüle şerit elemanların ısı transferine etkilerinin aynı metotla tahmin modellerinin oluşturulduğu bu çalışma ilk olacaktır. Bu nedenden dolayı çalışma kullanılan YSATBM modelleme yaklaşımlarının özellikle boru içi akışlarda ısı transferi attırma yöntemlerinin araştırıldığı literatüre ve bundan sonraki birçok araştırma çalışmasına ışık tutacağını söylemek mümkündür.

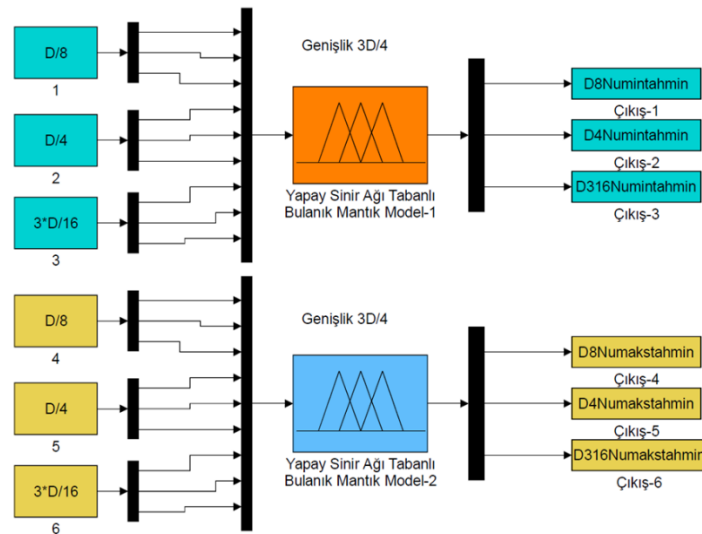
## MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Optimizasyon yöntemleri ile modellerin en iyilemeleri mühendislik çalışmalarında sıklıkla rastlanmaktadır ve birçok farklı alanın metodu olmuştur [12-17]. Bunlardan literatürde önemli bir yeri olan bulanık mantık yaklaşımı ile hem otomatik kontrol hem de tahmin modellerinin oluşturulması gibi araştırmalar yapılabilmektedir [18-24]. Bulanık mantık modelleme uygun gerçek deneysel veri setlerine dayalı çıktılar oluşturabilmektedir. Bulanık mantık, kesin olmayan çıktıları oluşturmak için bir çıkarım sistemine (bulanık kümeler) ve bir bilgi tabanına dayanmaktadır. Bulanık kümeler dilsel bir şekilde, örneğin küçük, orta ve büyük gibi terimler ile ifade edilir. Bu ifadeler bulanık bir kümenin dilsel temsili olarak bilinir ve toplamı bir terim kümesini tanımlar veya bulanık kümelerin kütüphanesini oluşturur. Bulanık mantık dört ana bileşenden oluşur: (1) Bulanıklaştırıcı, (2) Bulanıklık içeren bilgi kural tabanı ve üyelik fonksiyonları, (3) Bulanık muhakeme ve (4) Durulaştırıcı arayüzü.

Yapay sinir ağı mantığı ise biyolojik sinir sistemlerinin çalışması gibidir. Bir yapay sinir ağı belirli bir işlevi gerçekleştirmek için eğitilerek sinir elemanları arasındaki bağlantıları kullanmaktadır.

Genellikle belirli bir girdinin belirli bir hedefe ulaşması için sürekli kapalı çevrim çalışma mantığı ortaya koyar. Sinir ağı çıktısı hedefle eşleşene kadar hedef bu çevrim döngüsü devam etmektedir. Bu nedenle bir yapay sinir ağı modelinin birçok veriye dayalı olarak eğitilmesi, test ve doğrulaması gerekmektedir. Ayrıca bulanık mantık sistemlerde olduğu gibi yapay sinir ağı yaklaşımı da hem otomatik kontrol hem de tahmin modelleme çalışmalarında oldukça fazla kullanılmaktadır [25-28].

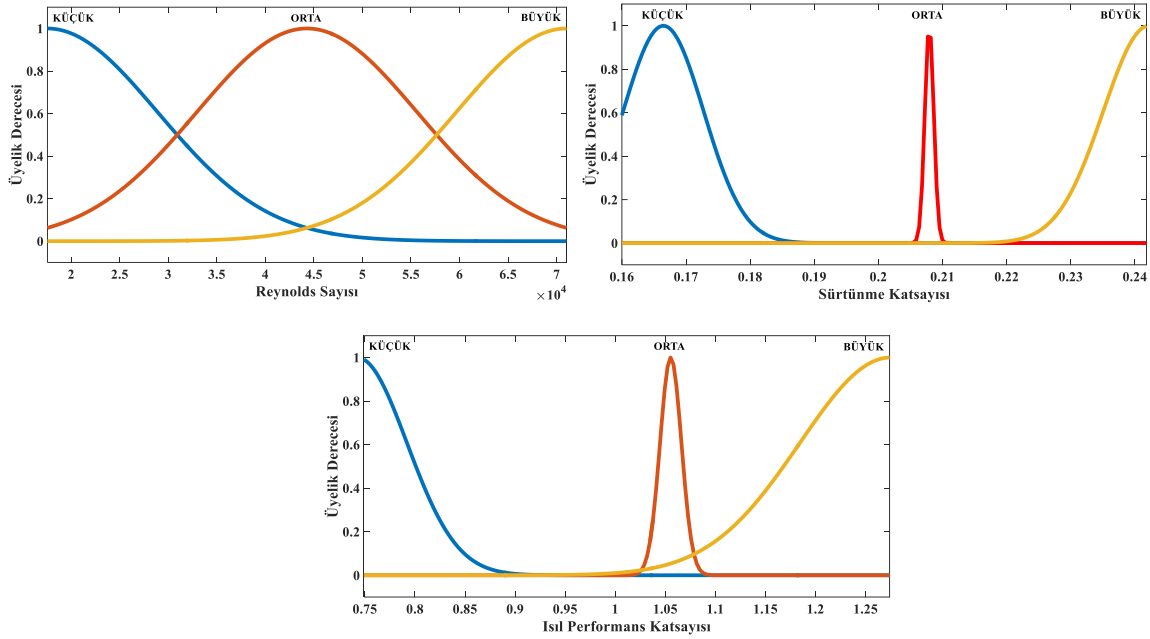
Bu çalışmada yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) modelleme yöntemi kullanılarak, türbülanslı akışta Reynolds sayısının farklı sinüzoidal kesitler için ısı transferi ve akış özelliklerine etkisi sonucunda elde edilen deneysel minimum ve maksimum Nusselt sayılarının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Daha önce yapılan bu deneysel çalışmada [11] sabit  $3D/4$  genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik ( $D/8$ ,  $D/4$  ve  $3D/16$ ), Reynolds sayısı ( $Re$ ), sürtünme katsayısı ( $f_s$ ) ve ısı performans katsayısının ( $\mu$ ) değişimine göre boru içi türbülanslı akışta minimum ve maksimum Nusselt sayılarının değişimi incelenmiştir. Bu araştırma çalışmasında ise kısaca; aynı deneysel veriler kullanılarak yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık tahmin modellerinin oluşturulması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmış ve literatür için örnek oluşturacak tahmin modelleri sunulmuştur. Bu modellerin oluşturulmasında hem yapay sinir ağı hem de bulanık mantık yaklaşımını birlikte kullanmaya olanak sağlayan Matlab/Anfis programı kullanılmıştır. Bu programda elde edilen YSATBM modellerinin simülasyonları ve çıktılarının elde edilmesi yine Matlab/Simulink kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada iki farklı tahmin modeli oluşturulmuştur. Birinci model girişlere karşılık olarak minimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği, ikinci model ise maksimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği model olarak belirlenmiştir.  $3D/4$  genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik ( $D/8$ ,  $D/4$  ve  $3D/16$ ), Reynolds sayısı, sürtünme katsayısı ve ısı performans katsayısı hem girişler hem de sinir ağı tabanlı bulanık mantık modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Minimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği YSATBM-1 modeli ise üç farklı alt tahmin modellerinden oluşmaktadır. Yine aynı şekilde maksimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği YSATBM-2 modeli de bu şekilde üç farklı alt modelden meydana gelmektedir. Her bir alt bulanık mantık model Sugeno-tip bulanık mantık çıkarım sistemine sahiptir. Çalışmanın en önemli kısmı ise Anfis yazılımından elde edilen her 3 ayrı alt modelin tek bir bulanık mantık model içinde birleştirilmesidir. Bu şekilde toplam 6 ayrı alt tahmin modeli oluşturulmuş ve simülasyonlarda YSATBM-1 ve YSATBM-2 ana tahmin bulanık mantık modelleri kullanılmıştır. Bu alt modellerin birleştirilmesinde hem üyelik fonksiyonları, hem kural tabanları hem de çıkışlar birleştirilmiş ve her bir girişe ait min. ve maks. Nusselt sayılarının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Şekil 2’de çalışmada kullanılan yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık modelleme blok şeması verilmiştir.



**Şekil 2**

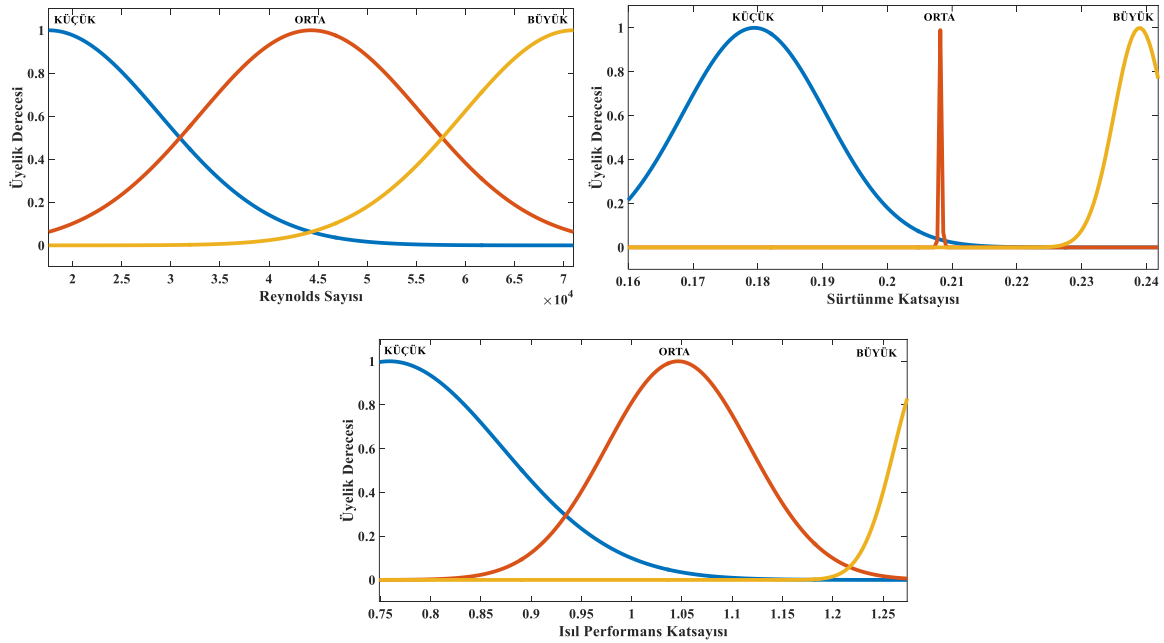
*Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık Modelleme Blok Şeması*

Şekil [3-8]'de her YSATBM modeli girişleri için oluşturulan üyelik fonksiyonları verilmiştir. Üyelik fonksiyonları olarak simülasyonlarda en uygun tahmin sonuçlarını veren gauss ve trapez tip üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Çıkış değerleri ise tahmin modellerinin belirlemiş olduğu sabit değerlerdir.



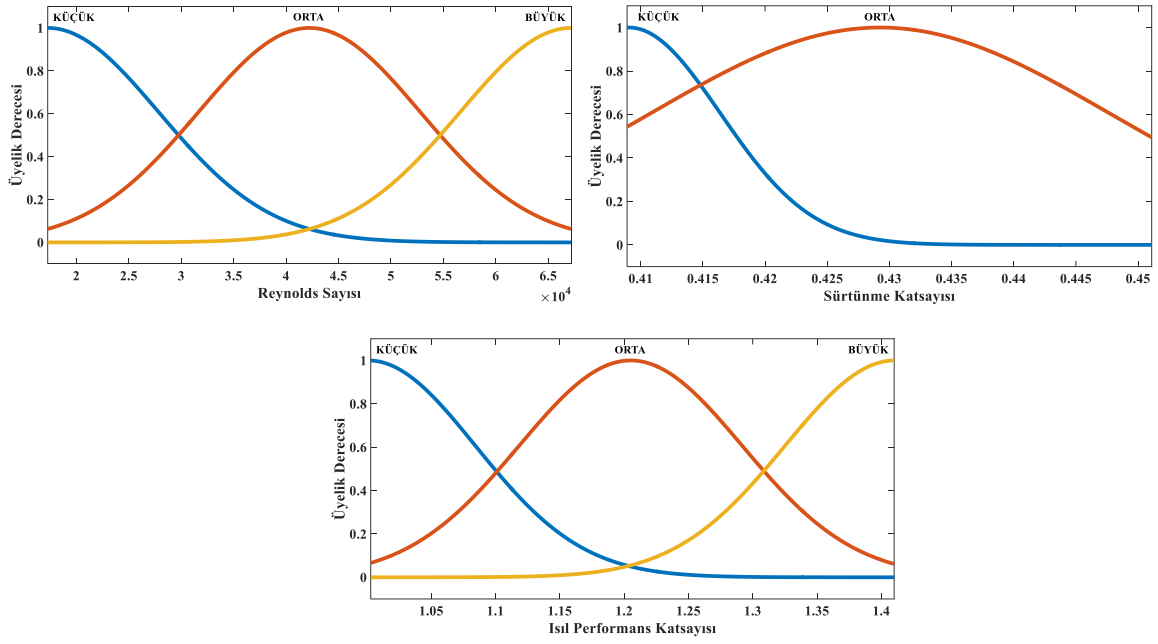
Şekil 3

*Min. Nusselt Sayısı Tahmininde D/8 Girişi İçin Kullanılan Üyelik Fonksiyonları*



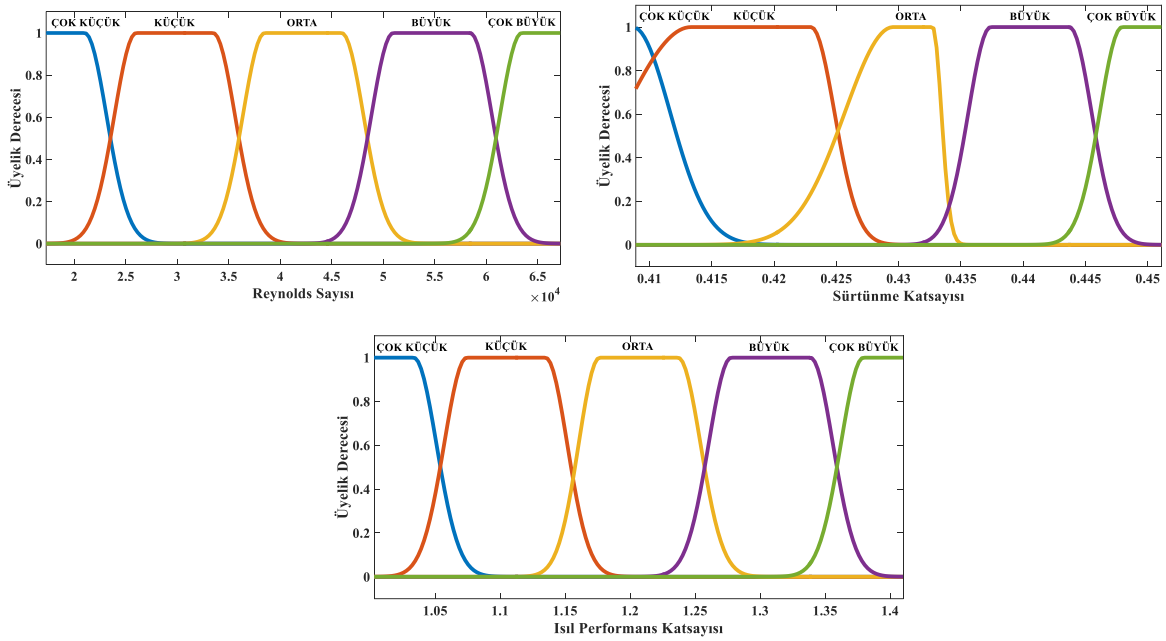
Şekil 4

*Maks. Nusselt Sayısı Tahmininde D/8 Girişi İçin Kullanılan Üyelik Fonksiyonları*



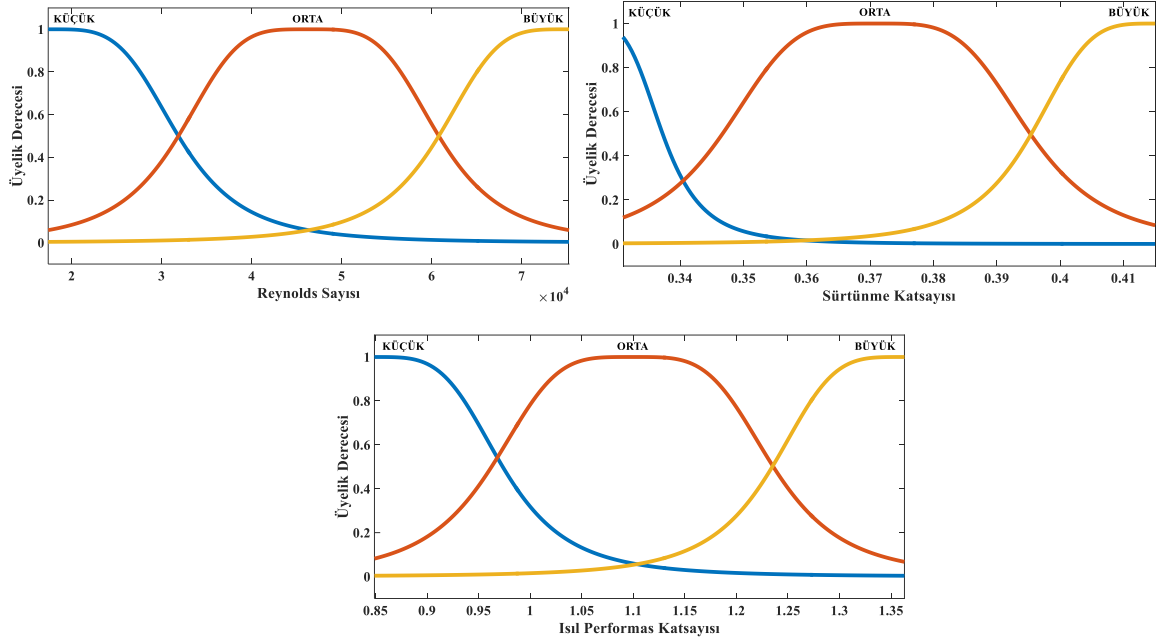
Şekil 5

*Min. Nusselt Sayısı Tahmininde D/4 Girişi İçin Kullanılan Üyelik Fonksiyonları*



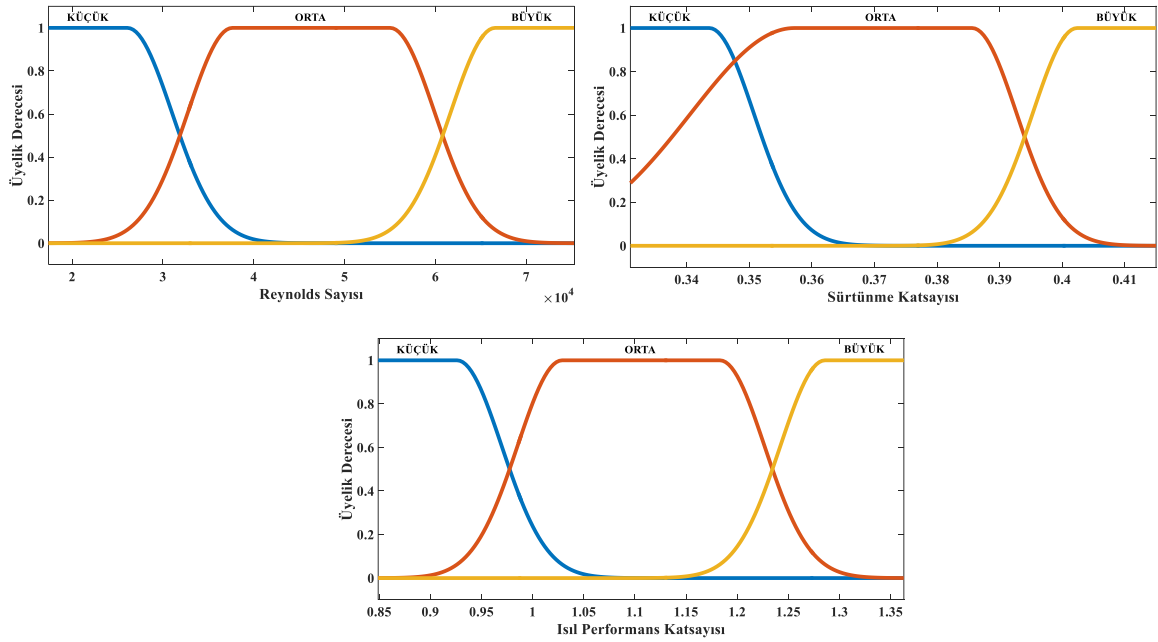
Şekil 6

*Maks. Nusselt Sayısı Tahmininde D/4 Girişi İçin Kullanılan Üyelik Fonksiyonları*



Şekil 7

Min. Nusselt Sayısı Tahmininde 3D/16 Girişi İçin Kullanılan Üyelik Fonksiyonları

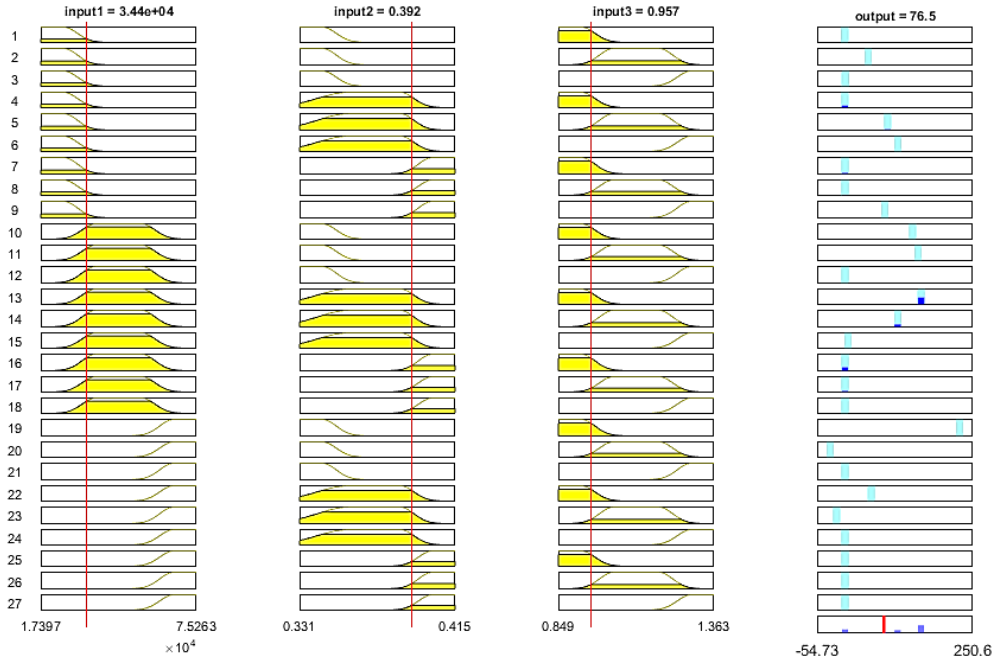


Şekil 8

Maks. Nusselt Sayısı Tahmininde 3D/16 Girişi İçin Kullanılan Üyelik Fonksiyonları

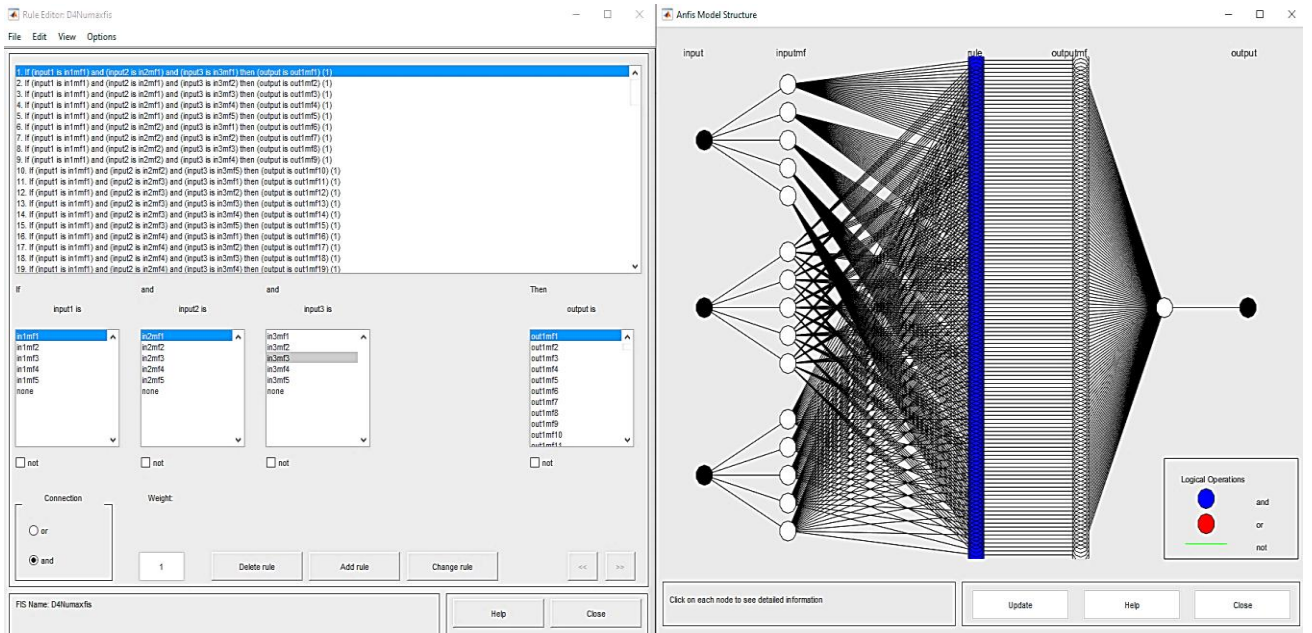
YSATBM-1 modeli 81, YSATBM-2 modeli ise 179 kuraldan meydana gelmektedir. Örnek kural çalışma şeması Şekil 9’da verilmiştir.





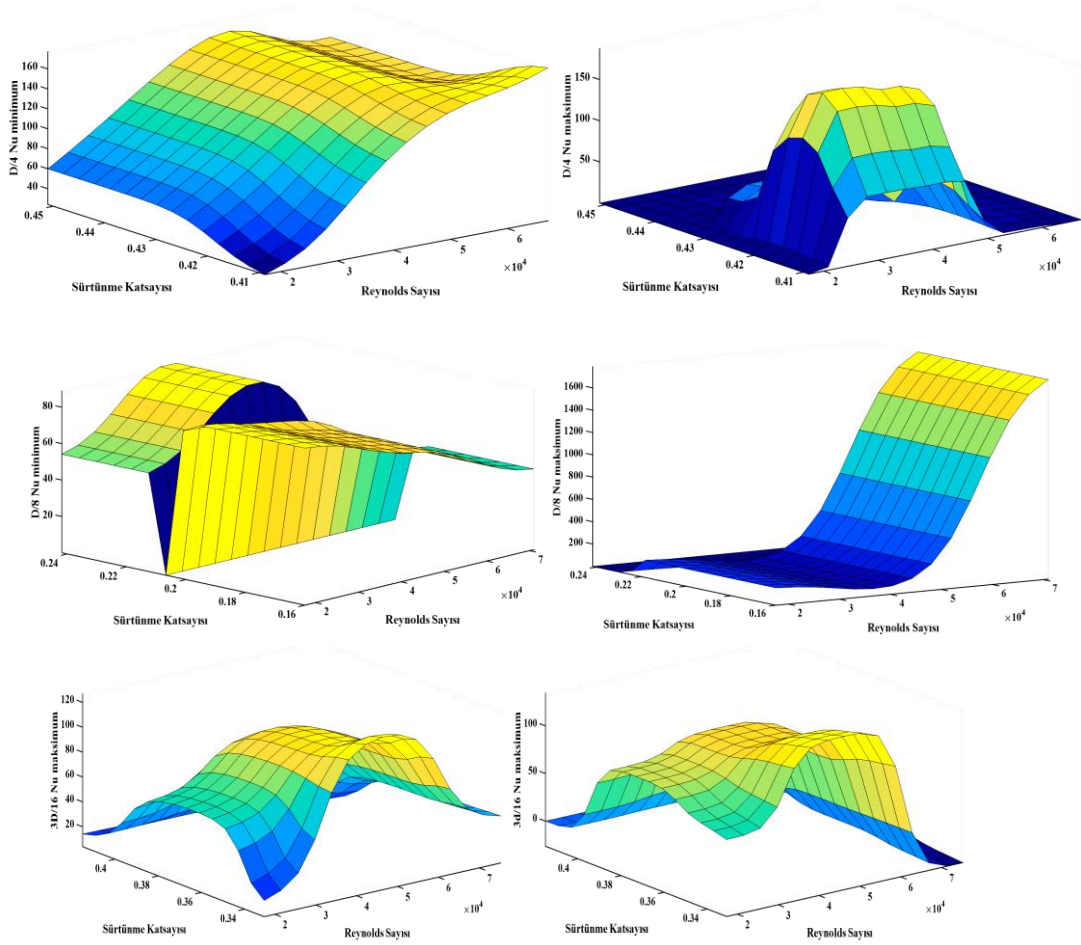
**Şekil 9**  
Tahmin Modellerine Ait Örnek Kural Çalışma Şeması

Şekil 10'da tahmin modellerine ait oluşturulan kurallar ve yapay sinir ağı yapısına ait örnekleme sunulmuştur.



**Şekil 10**  
Tahmin Modellerine Ait Kurallar ve Yapay Sinir Ağı Yapısına Ait Örnekleme





**Şekil 11**  
Tahmin Modellerine Ait Girişlere Ait Çıkış Yüzey Değişimleri

## BULGULAR (RESULTS)

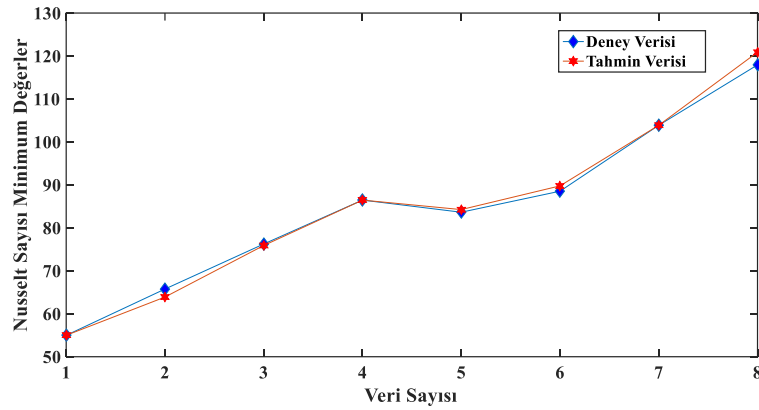
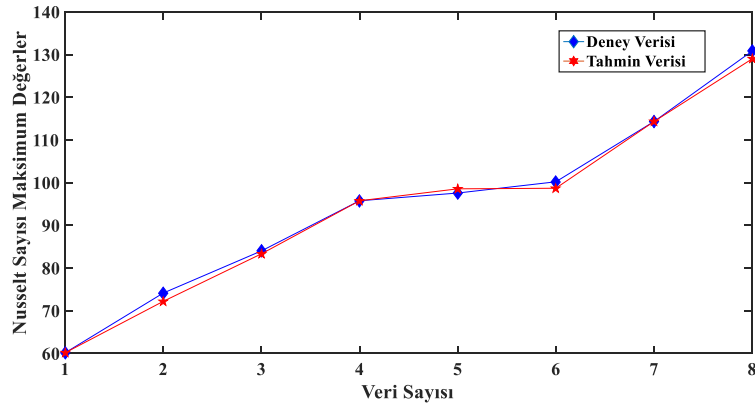
Çalışma sonunda yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) modelleri kullanılarak sabit 3D/4 genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik (D/8, D/4 ve 3D/16), Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı ( $f_s$ ) ve ısı performans katsayısının ( $\mu$ ) değişimine göre boru içi türbülanslı akışta minimum ve maksimum Nusselt sayılarının değişimi tahmini olarak bulunmuştur. Şekil 2’de verilen modelleme blok şemasına göre önce üç farklı sinüzoidal genlik (D/8, D/4 ve 3D/16), Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı ( $f_s$ ) ve ısı performans katsayısının ( $\mu$ ) değişimine göre min. Nusselt sayılarının tahmin edilmesi yapılmıştır. Daha sonra ise aynı işlemler aynı girişlere göre maks. Nusselt sayılarının tahminde kullanılmıştır.

Min. ve maks. Nusselt sayılarının tahmin edilmesi önceki bölümlerde bahsedildiği gibi iki ayrı YSATBM modeli kullanılmıştır. Bunun nedeni ise tek bir model de çok fazla girdiye göre üyelik fonksiyonlarının ve kural tabanlarının birleştirilmesinin daha zor olmasındandır. Ayrıca tek bir model kullanımında oluşturulacak YSATBM yaklaşımının çözüm sürecini zorlaştırması ve simülasyon zamanını artırması kaçınılmazdır. Bu nedenle iki ayrı model kendi içlerinde alt tahmin modelleri oluşturularak elde edilmiş ve aynı anda simüle edilmiştir. Öncelikle Tablo 1’de genlik D/8 iken deneysel sonuçlar ile tahmin sonucu elde edilen min. ve maks. Nusselt sayılarının karşılaştırılması verilmiştir.

**Tablo 1***D/8 Genlik İçin Elde Edilen Deneysel ve Tahmin Min.- Maks. Nusselt Sayıları*

GENİŞLİK 3D/4							
Genlik	Deneysel Veriler			Çıkış Değerleri		Tahmin Edilen Veriler	
	Re	Giriş Değerleri $f_s$	$\mu$	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$
D/8	17557	0.2418	1.274	60.16	54.98	60.16	54.98
	25696	0.2136	1.143	74.15	63.89	72.207	65.752
	34851	0.1949	0.990	84.02	75.89	83.335	76.237
	42887	0.184	0.944	95.77	86.46	95.77	86.46
	49791	0.1756	0.893	97.58	84.25	98.565	83.634
	58207	0.1698	0.840	100.21	89.77	98.701	88.532
	66345	0.1653	0.764	114.32	103.88	114.32	103.88
	71013	0.16	0.749	130.82	120.89	128.998	117.931

Tablo 1'deki sonuçlara göre deneysel sonuçlar ile modelleme sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Min. Nusselt sayıları için ortalama %0.3844 hata, maks. Nusselt sayıları için ise ortalama %0.6614 hata bulunmuştur. Ayrıca deneysel ve tahmin sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması Şekil 12 ve Şekil 13'te sunulmuştur.

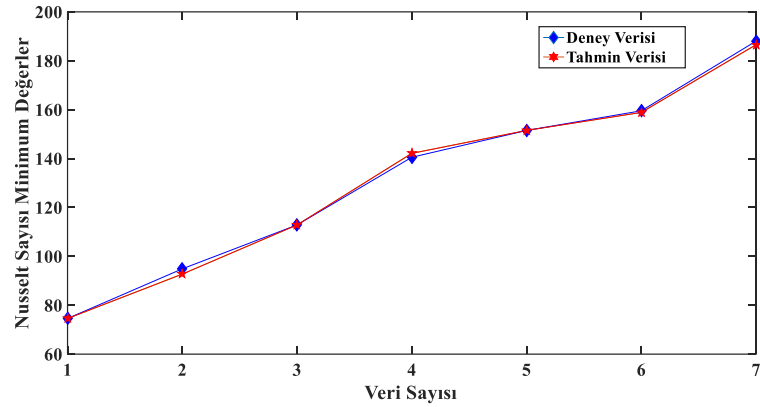
**Şekil 12***D/8 Genlik Değerine Göre Min. Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması***Şekil 13***D/8 Genlik Değerine Göre Maks. Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması*

Tablo 2’de ise genlik D/4 iken deneysel sonuçlar ile tahmin sonucu elde edilen min. ve maks. Nusselt sayılarının karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 2’deki sonuçlara göre deneysel sonuçlar ile modelleme sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Min. Nusselt sayıları için ortalama % 0.2934 hata, maks. Nusselt sayıları için ise ortalama % 0.1952 hata bulunmuştur. Ayrıca deneysel ve tahmin sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması Şekil 14 ve Şekil 15’de sunulmuştur.

**Tablo 2**

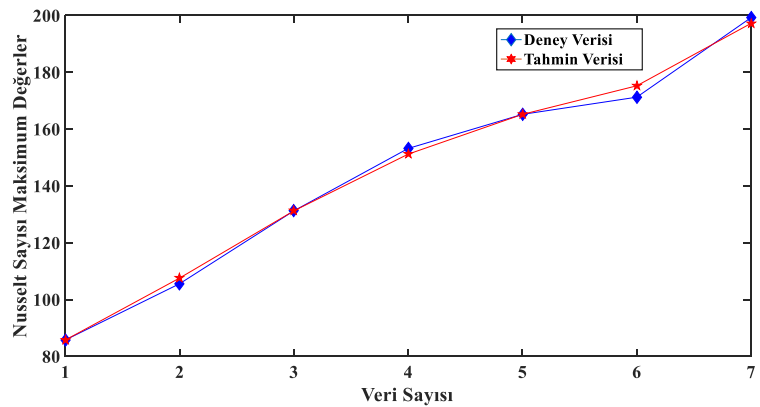
*D/4 Genlik İçin Elde Edilen Deneysel ve Tahmin Min.- Maks. Nusselt Sayıları*

Genlik	GENİŞLİK 3D/4						
	Re	Deneysel Veriler		Çıkış Değerleri		Tahmin Edilen Veriler	
		Giriş Değerleri $f_s$	$\mu$	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$	Çıkış Değerleri $Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$
D/4	17272	0.4511	1.410	85.78	74.58	85.78	74.58
	25693	0.4377	1.283	105.59	94.89	107.589	92.734
	34583	0.4231	1.161	131.25	112.85	131.25	112.85
	43355	0.4163	1.167	153.20	140.52	151.199	142.126
	50314	0.4139	1.142	165.20	151.5	165.20	151.5
	57912	0.4115	1.084	171.25	159.542	175.249	158.865
	67178	0.4089	1.003	199.25	188.03	197.231	186.56



**Şekil 14**

*D/4 Genlik Değerine Göre Min. Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması*

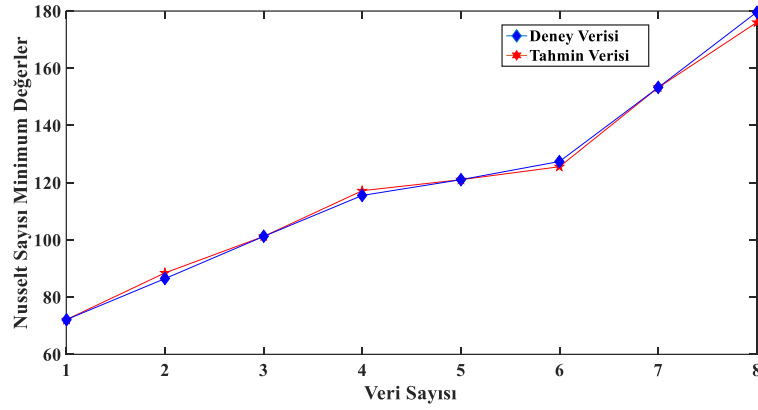
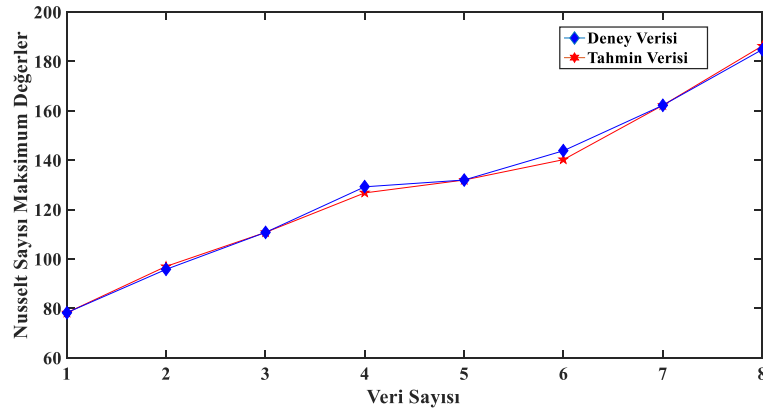


**Şekil 15**

*D/4 Genlik Değerine Göre Maks. Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması*

**Tablo 3***3D/16 Genlik İçin Elde Edilen Deneysel ve Tahmin Min.- Maks. Nusselt Sayıları*

GENİŞLİK 3D/4							
Genlik	Deneysel Veriler			Çıkış Değerleri		Tahmin Edilen Veriler	
	Re	Giriş Değerleri $f_s$	$\mu$	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$
3D/16	17397	0.415	1.363	78.26	72.125	78.26	72.125
	25976	0.368	1.284	97.03	88.47	95.824	86.469
	35245	0.351	1.094	110.78	101.21	110.78	101.21
	43382	0.345	1.030	126.79	117.21	129.253	115.547
	50614	0.342	0.985	132.00	121.05	132.00	121.05
	58938	0.340	0.933	140.25	125.585	143.856	127.425
	67150	0.339	0.871	162.26	153.254	162.26	153.25
	75263	0.331	0.849	186.26	176.024	184.787	179.635

**Şekil 16***3D/16 Genlik Değerine Göre Min. Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması***Şekil 17***3D/16 Genlik Değerine Göre Maks. Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması*

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışmada yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) modelleme yöntemi kullanılarak, türbülanslı akışta Reynolds sayısının farklı sinüzoidal kesitler için ısı transferi ve akış özelliklerine etkisi sonucunda elde edilen deneysel minimum ve maksimum Nusselt sayılarının tahmin

edilmesi sağlanmıştır. Daha önce yapılan bu deneysel çalışmada [11] sabit 3D/4 genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik (D/8, D/4 ve 3D/16), Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı (fs) ve ısı performans katsayısının ( $\mu$ ) değişimine göre boru içi türbülanslı akışta minimum ve maksimum Nusselt sayılarının değişimi incelenmiştir. Bu araştırma çalışmasında ise kısaca; aynı deneysel veriler kullanılarak yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık tahmin modellerinin oluşturulması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmış ve literatür için örnek oluşturacak tahmin modelleri sunulmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve min. Nusselt sayılarının tahmininde ortalama %0.1378, maks. Nusselt sayılarının tahmininde ise %0.0141 hata değeri bulunmuştur. Bu sonuçları anlamlandırmak adına literatürde sunulan benzer çalışmalar incelenmiştir. Naphon ve ark. [29] manyetik alan etkisi altındaki hızlı dalgalı nanoakışkanların sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının helisel kıvrımlı boru içinde analizi için uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile yaptıkları tahmin sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum vardır, sürtünme faktörü ve Nusselt sayısı için sırasıyla %2.5-%5.0 ve %2.5'lik ortalama hatalar sunmuşlardır. Benzer şekilde Esfandyari ve ark. [30] tarafından yapılan çalışmada ultrasonik uyarılmış çift borulu ısı değiştiricinin optimizasyonu için uyguladıkları YSA ve parçacık sürü optimizasyon algoritmaları ile modeller oluşturulmuştur. Çalışmada deneysel ve tahmin edilen veriler karşılaştırılmış ve her iki modelin de korelasyon katsayıları %94.84'ten büyük olduğu böylece hatanın %5'ten küçük olduğu görülmüştür. Beigzadeh ve Eiamsa-ard [31] yaptıkları çalışmada tandem düzenleme ile donatılmış elmas şeklinde turbülatörlere sahip bir ısı değiştiricide, hava akışının termal özelliklerini ve akış sürtünmesini belirlemek için bulanık mantık yaklaşımını uygulamışlar, sonuç olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü tahminleri için ortalama göreceli hatalar %0.61 ve %0.79 olarak hesaplamışlardır. Krishna ve ark. [32] gaz-katı akışkan yataklarının hidrodinamiğini incelemek amacıyla deneysel verilere YSA ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi uygulamışlar ve sırasıyla elde edilen hata (RMSE) değerleri 0.96881 ve 0.64235 olarak sunmuşlardır. Literatürde benzer çalışmalar incelendiğinde ve kıyaslandığında sonuçların başarılı olduğu görülmektedir. Öte yandan çalışmamız sonuçlarının bu şekilde başarılı çıkmasının en önemli nedeni, deneysel elde edilen verilerin doğrusala yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Normalde deneysel verilerin azlığından dolayı tahmin sonuçlarının çok farklı çıkması beklenirken doğrusal verilerden oluşan girdi ve çıktılara göre eğitilen YSA/TBM modelleri oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Eğer deneysel veriler doğrusal olmayan şekilde bir yaklaşım göstermiş olsaydı bu kadar az giriş verisi ile tahmin modellerinin başarılı sonuç vermesi oldukça zor olması bekleniyordu. Ama yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı çalışmada uygulanan tahmin modelleri deneysel sonuçlara yakın veriler sunmuştur. Çalışmanın başka önemli bir kısmı ise 6 farklı yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık modelin iki ayrı modelde birleştirilmesi ve bu birleştirme sonucunda min. ve maks. Nusselt sayılarının bulunması için oldukça uygun çalışan simülasyon modelleri elde edilmiştir. Buna benzer modelleme mantığının benzer çalışmalarda kullanılmak üzere literatüre ışık tutacak türden bir yaklaşım olduğunu söylemek mümkündür.

### **Etik Beyan (Ethical Declaration)**

Bu çalışma Doç. Dr. Aziz Hakan ALTUN danışmanlığında 2017 tarihinde sunulan “Borularda Türbülanslı Akışta Sinüzoidal Ondüleli Şerit Elemanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerine Etkileri” başlıklı yüksek lisans tezindeki verilerden faydalanılarak üretilmiştir.

### **Yazar Katkıları (Authors Credit)**

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) A.H.A. (%60) – M.G. (%40)

Veri Toplama (CRediT 2) M.T. (%70) – A.B. (%30)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) A.H.A. (%50) – M.T. (%50)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) A.H.A. (%30) – M.T. (%30) – H.Ç.S. (%20) – E.G. (%20)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi A.H.A. (%40) – H.Ç.S. (%30) – E.G. (%30)

**Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar, bu çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.



## KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] E.M. Sparrow, K.K. Koram and M. Charmchi, Heat transfer and pressure drop characteristics induced by a slat blockage in a circular tube, *Journal of Heat and Mass Transfer*. 102(1) (1980), 64-70. doi:10.1115/1.3244250
- [2] E.M. Sparrow, A. Chaboki, Swirl-Affected turbulent fluid flow and heat transfer in a circular tube, *Journal of Heat and Mass Transfer*. 106(4) (1984), 766-773. doi:10.1115/1.3246750
- [3] M. Gürdal, Borularda Türbülanslı Akışta Sinüsoidal Ondüleli Şerit Elemanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerine Etkileri, Yüksek Lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2017.
- [4] R. Sethumadhavan, M.R. Rao, Turbulent Flow Heat Transfer and Fluid Friction in Helical-Wire-Coil-Inserted Tubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 26(12) (1983), 1833-1845. doi:10.1016/S0017-9310(83)80154-9
- [5] S.S. Hsieh, L.C. Chang, T.Y. Yang, Developing 3-D Turbulent mixed convection in a circular duct inserted with longitudinal strips, *International Journal of Engineering Science*. 39 (2000), 1327-1350. doi:10.1016/S0020-7225(00)00088-4 .
- [6] S. Eiamsa-ard, P. Promvonge, Experimental investigation of heat transfer and friction characteristics in a circular tube fitted with V-nozzle turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 33 (2006), 591–600. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer
- [7] A. Tandiroglu, Effect of flow geometry parameters on transient heat transfer for turbulent flow in a circular tube with baffle inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 49 (2006), 1559–1567. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer .
- [8] S. Eiamsa-ard, P. Promvonge, Heat transfer and turbulent flow friction in a circular tube fitted with conical-nozzle turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 34 (2007), 72–82. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer .
- [9] A.R. Anvari, R. Lotfi, A.M. Rashidi, S. Sattari, Experimental Research On Heat Transfer Of Water in Tubes With Conical Ring Inserts in Transient Regime, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 38 (2011), 668–671. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer
- [10] A. Fan, J. Deng, J. Guo, W. Liu, A numerical study on thermo-hydraulic characteristics of turbulent flow in a circular tube fitted with conical strip inserts, *Applied Thermal Engineering*. 31 (2011), 2819-2828. doi:10.1016/j.applthermaleng .
- [11] A.H. Altun, M. Gürdal, A. Berber, The Effects of Different Amplitude Sinusoidal Corrugated Strip Elements on Heat Transfer in Pipes, 1st International Conference on Energy Systems Engineering Karabuk, Turkey, (2017), 460-465.
- [12] A. Pektaş, O. İnan, Ağaç tohum algoritmasının kümeleme problemlerine uygulanması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4(1) (2022), 1-10. doi:10.47112/neufmbd.2022.8
- [13] M. Karakoyun, A. Özkış, transfer fonksiyonları kullanarak ikili güve-alev optimizasyonu algoritmalarının geliştirilmesi ve performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3(2) (2021), 1-10. doi:10.47112/neufmbd.2021.7
- [14] N. Akgüneş, B. Aydın, Harary Index for an Algebraic Graph, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1) (2023), 9-13. doi:10.47112/neufmbd.2023.5
- [15] M. Hacıbeyoğlu, M. Çelik, Ç.Ö. Erdaş, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 28-37. doi:10.47112/neufmbd.2023.10
- [16] M. Erişoğlu, N. Yaman, Ridge tahminine dayalı kantil regresyon analizinde yanlılık parametresi tahminlerinin performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve*

- Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1(2) (2019), 103-111.
- [17] S. Ata, M.E. Boyacıoğlu, R. Şahin, A. Kahraman, ORÇ ile düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarından elektrik üretilmesinde ıslak ve yeni nesil akışkanların çevresel ve termodinamik performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3(1) (2021), 13-23. doi:10.47112/neufmbd.2021.6
- [18] K. Erentürk, MATLAB-based GUIs for fuzzy logic controller design and applications to PMDC motor and AVR control, *Computer Applications in Engineering Education*. 13 (2005), 10-25. doi:10.1002/cae.20026
- [19] S.C. Chi, J.Y. Teng, A Fuzzy Q-Analysis taguchi method for parameter design with multiple quality characteristics, *Experimental Techniques*. 32 (2008), 36-45. doi:10.1111/j.1747-1567.2007.00185.x
- [20] P. Ray, B.J. Mac Donald, Determination of the optimal load path for tube hydroforming processes using a fuzzy load control algorithm and finite element analysis, *Finite Elements in Analysis and Design*. 41 (2004), 173–192. doi:10.1016/j.finel.2004.03.005
- [21] M. Tınkır, Ü. Önen, M. Kalyoncu, Modeling of Neuro-Fuzzy Control of A Flexible Link, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 224(5) (2010), 529–543. doi:10.1243/09596518JSCE785
- [22] F.B. Liu, A fuzzy approach to the convective longitudinal fin array design, *International Journal of Thermal Sciences*. 44 (2005), 211-217. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2004.08.004
- [23] M. Kastrevc, R. Pusenjak, Fuzzy Pressure Control of Hydraulic System with Gear Pump Driven by Variable Speed Induction ElectroMotor, *Experimental Techniques*, 29 (2005), 57-62.
- [24] A. Haşiloğlu, M. Yılmaz, Ö. Çomaklı, İ. Ekmekci, Adaptive neuro-fuzzy modeling of transient heat transfer in circular duct air flow, *International Journal of Thermal Sciences*. 43 (2004), 1075–1090. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2004.01.010
- [25] K. Güney, S.S. Gültekin, Artificial neural networks for resonant frequency calculation of rectangular microstrip antennas with thin and thick substrates, *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*. 25 (2004), 9-20. doi:10.1023/B:IJIM.0000045146.70836.ee
- [26] S.K. Jain, P.C. Nayak, K.P. Sudheer, Models for estimating evapotranspiration using artificial neural networks, and their physical interpretation, *Hydrological Processes*. 22 (2008), 2225-223. doi:10.1002/hyp.6819
- [27] D.D. Massie, P.S. Curtiss, Neural-network fundamentals for scientists and engineers, ECOS'01, Istanbul, Turkey, (2001), 4-6.
- [28] A. Parlak, Y. İslamoğlu, H. Yaşar, A. Eğrisöğüt, Application of artificial neural network to predict specific fuel consumption and exhaust temperature for a diesel engine, *Applied Thermal Engineering*. 26 (2006), 824-828. doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.10.006
- [29] P. Naphon, T. Arisariyawong, S. Wiriyasart, A. Srichat, ANFIS for analysis friction factor and Nusselt number of pulsating nanofluids flow in the fluted tube under magnetic field, *Case Studies in Thermal Engineering*. 18 (2020), 100605. doi:10.1016/j.csite.2020.100605
- [30] M. Esfandyari, A. A. Delouei, A. Jalai, Optimization of ultrasonic-excited double-pipe heat exchanger with machine learning and PSO, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 147 (2023), 106985. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106985
- [31] R. Beigzadeh, S. Eiamsa-ard, Fuzzy logic to thermal and friction characteristics of turbulent air-flow over diamond-shaped turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 120 (2021), 105001. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.105001
- [32] M. S. V. Krishna, K. M. S. Begum, N. Anantharaman, Hydrodynamic studies in fluidized bed with internals and modeling using ANN and ANFIS, *Powder Technology*. 307 (2017), 37-45. doi:10.1016/j.powtec.2016.11.012