

Boru Konstrüksiyonunun Isı Transfer Performansına Etkisinin Sayısal Analizi

Hamdi Selçuk ÇELİK¹, Zeynep ÇELİK² Mehmet UÇAR³
Osmangazi University, Institute of Applied Sciences, Phd Student Eskişehir, Turkey
Osmangazi University Sivrihisar Vocational School, Lecturer, Eskişehir, Turkey
Vaillant Group, Turkish Demirdokum Factory R&D Center, Simulation Engineer Bilecik,
^[1]erfolgen87@gmail.com, ^[2]z.celik@odu.edu.tr ^[3]mehmet.ucar@vaillant-group.com

Özet: Isı transferinin gerçekleştirilmesi için her sektörde eşanjörler kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında eşanjörlerde kullanılan borular için konstrüksiyonun tüm parametreler ve yüzey kesit alanları aynı kalacak şekilde dairesel yerine elipse dönüştürülmesinin ısı transfer performansına ve akışkanların hız, basınç ve sıcaklık parametrelerine etkileri, sayısal analizler yoluyla incelenmiştir. Üç farklı analiz senaryosu oluşturulmuştur. 1. senaryoda dairesel geometri bir boru, 2. senaryoda ilk senaryodaki boru elips geometriye dönüştürülmüş, 3. senaryo da ise borunun genişliği daraltılarak elips geometri yapısı artırılmıştır. Tüm borular aynı yüzey alanında ve bakır malzeme kullanılarak üretilecek şekilde tasarlanmıştır. Tüm boruların dış yüzeyinden 1.2 m/s hızla 650°C hava geçerken iç yüzeyine 30°C sıcaklıkta 2.2 m/s hızla su girişi olmaktadır. Tüm boru konstrüksiyonları için iç ve dış akış tanımlamaları yapılarak Fluent programıyla üç boyutlu nümerik analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda dairesel borudan elips konstrüksiyona gidildikçe hava çıkış sıcaklığının %15 artarken, hava çıkış hızının %30 azaldığı ve ısı transfer performansının %60 artış gösterdiği görülmüştür. Sayısal analizlerin zaman ve sayısını optimize edebilmek için öncesinde analitik analizler yapılması ve çözümlerin hesaplama ağından bağımsız olarak elde edilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelime: Eşanjörler, Boru konstrüksiyonu, Isı transfer performansı, Dairesel boru, Elips boru.

Numerical Investigations Of Pipe Construction On The Heat Transfer Performance

Abstract: Heat exchangers are widely used for all plants in purpose of realizing heat transfer, In this study; affection of pipe construction modification to elliptical from circular on heat transfer performance and velocity of fluids, pressure with temperature parameters, are investigated by numerical solution methods. There are three different analysis scenarios, In the first scenario, a circular pipe is defined, for the second scenario first pipe is converted elliptical structure and for the last third scenario, pipe is made more elliptical. All pipes are designed as copper made and have same heat transfer surface area. Parameters are identical for all pipes as 30° C water that has 2.2 m/s velocity goes in the pipe and 650°C air passes all around the pipes with 1.2 m/s. For all scenarios numerical analyses are done for inlet and outlet flow, In conclusion; throughout modifying the construction to elliptical from circular; even air left temperature is decreased %15 and has %30 velocity less, heat transfer rate is increased about %60. In order to reach optimum solution, analytical analyses should be made before numerical analysis which has independency from mesh quantity.

Keywords: Heat exchangers, Pipe construction, Heat transfer performance, Circular pipe, Elliptical pipe.

1. GİRİŞ

Isı transferi tüm dünyada yaşam ve canlılığın sürdürülebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle tüm ısıl cihazlarda ısı transferinin artırılması yüksek verimliliğe sahip, çevreci cihazların kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Isı transferi kavramı, sektörde çoğunlukla eşanjörlerle sağlanmaktadır. Eşanjörlerde ise ısı transferini optimize edebilmek için boru ve kanat yapısı, eşanjör malzemesi üzerinde parametrik değişiklikler yapılmalıdır. Borularda yapılacak konstrüktif değişiklikler, genellikle tüm eşanjörün komponentlerinin yapısını değiştireceği için boru geometrisinin analitik

ve sayısal analizler sonrasında doğrulanması ve üretilebilirliği hususu düşünüldükten sonra uygun olan eşanjör kanat yapısı ve diğer komponentler tasarlanmalıdır. Bu nedenle boru tasarımı ısı transferini etkileyen ilk girdi olarak karışımıza çıkmaktadır.

Eşanjörler ısı cihazların verimliliğini belirleyen birinci etkin komponentlerdir. Eşanjörlerin verimliliğinde boru konstrüksiyonu yapısı ve malzeme büyük önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, eşanjörlerin genel çalışma parametreleri altında kullanılan boru konstrüksiyonu üzerinde daireselden elips geometriye geçiş yapılmasının iç akış ve dış akış açısından etkileri ve buna bağlı olarak ısı transfer performansındaki değişikliğin yorumlanmasıdır. Bu konuda yapılan geniş çaplı literatür araştırması sonucunda aşağıdaki akademik çalışmalara ulaşılmıştır.

Şahin ve Dal 2007 yılında yaptıkları kombi eşanjörünün verimini arttırmayı hedefleyen bir akademik çalışmada; kanatlı borulu bir eşanjörde, kanatların dikey eksene göre açılarında değişiklik yaparak ısı performans, basınç düşümüne etkileri ve hız dağılımı üzerine çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda yanmış gazın enerjisinden en iyi şekilde faydalanabilmek amacıyla optimum kanat mesafesini ve kanat açısını belirlenen parametreler doğrultusunda tespit etmişlerdir. Analizler üç boyutlu olarak laminer akış şartlarında Fluent programıyla yapılmıştır. Sayısal analizler sonucunda, kanat açılarının dikey eksenle $\theta = 30^\circ$ eğik açıda olduğu, kanatlar arasında $Lz = 2.75 - 3$ mm mesafede olduğu ve boru ekseninin $c1 = 16$ mm değerlerinde olması durumunda maksimum ısı transferine ulaşıldığı bulgusuna varılmıştır. [1]

Baysal E, 2008 yılında yaptığı akademik bir çalışmada eş merkezli olan boru tipi bir eşanjörde, türbülanslı akış koşullarında değişken debilerde sıcak hava ile sabit debili su arasındaki ısı transferi değişimini sayısal ve deneysel analiz yöntemleriyle incelemiştir. Deneysel analizler, Reynolds sayısının 2500-19200 aralığında olduğu değer aralığında yapılmıştır. Bu aralıkta hesaplanan ısı

transferi, Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü ile basınç kaybı değerleri üç boyutlu olacak şekilde sonlu hacimler yöntemiyle Fluent programında analiz edilerek iki analiz sonucu da karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda sayısal analizler incelendiğinde hava debisinin 8-48 m³/sa aralığında olduğu durumda giriş ve çıkışta sıcaklık farkının azalmakta olduğunu fakat suya transfer edilen ısı miktarının artmakta olduğunu ve hava debisindeki artışa oranla iç boruda basınç kaybının da artış eğiliminde olduğunu saptamıştır. [2]

Uralcan ve Özçelik 2012 yılında, kombide kullanılan kanatlı borulu ısı eşanjörü üzerinde yapılan fiziksel değişikliklerin yanma ve verimi üzerine üç farklı parametrik inceleme gerçekleştiren bir çalışma yapmışlardır. Bu parametrelerden ilki ve ikincisinde kanatlar arasındaki mesafe azaltılmış ve bu durumun yanma sonrası oluşan ısı transferine olan etkileri analiz edilmiştir. Üçüncü parametrik çalışmada ise kanatlar üzerindeki çıkıntıların yok edilmesinin yanma ve ısı transfer performansına olan etkileri araştırılmıştır. Analiz edilen birinci parametrik incelemede mevcut durumda 2.7 mm olan kanat aralık mesafesi 2.2 mm'ye düşürülmüş, ikinci parametrik inceleme sonucunda bu ölçü 2.0 mm'ye indirilmiştir. Yapılan tüm değişikliklerin yanma parametrelerine olumsuz etkileri olmadığı ve ısı transfer performansının arttırıldığı bulgusuna varılmıştır. Üçüncü parametrik inceleme sonucunda, kanatların üzerindeki çıkıntıların yok edilmesiyle ısı transfer performansında mevcut duruma göre %1'lik bir azalma olduğu anlaşılmıştır. [3]

Isı transfer performansını arttırmak amacıyla yapılan konstrüksiyon değişikliklerinde sistemin basınç kayını optimum düzeyde tutulmalıdır. Kılıçarslan ve Saraç, basınç düşümünde kanallardaki ısı transferinin iyileştirilmesini deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada silindirik ve üçgen yapısında iki çeşit kanatçık geometrisi kullanılmıştır. Optimum kanatçığın bulunması amaçlanmış olup, çalışma hem laminer hem de türbülanslı akışta, Reynolds sayısının 250-7000 aralığında yapılmıştır. Sabit duvar sıcaklığı sınır şartı kullanılarak yapılan araştırmada,

silindirik kanatçığın ısı transferinin iyileştirilmesi açısından daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. [4]

Forgo, ısı taşınım katsayısını yükseltmek için, kanat üzerine ilave çıkıntılar tasarlamıştır. Levha katlı boru demetlerinde yaptığı deneysel çalışmada, (ısı taşınım katsayısı x kanat verimi)'nin düz levha kanatlı olana göre çıkıntılı levha kanatlı boru 8 demetinin % 50 daha büyük olduğunu, basınç kaybının ise çıkıntılı levha kanatlarda daha fazla olduğunu bulmuştur. [5]

Lozza ve Merlo, hava ve sıvı soğutmalı kondenselerdeki ısı transferi artışı ile ilgili çeşitli düz ve dalgalı kanatçık yapılarına sahip ısı değiştiricilerinde araştırmalar yapmışlardır. Değişik kanatçık yüzey geometrisine (düz veya dalgalı) sahip kanatçıkları, 15 adet aynı tür boru kullanarak kanatçıkların ısı değiştiricisine etkisini incelemişlerdir. [6]

2. MALZEME VE METOT

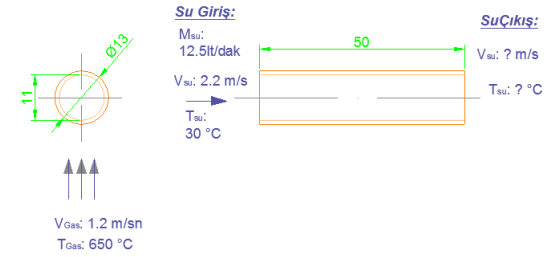
Kanatlı borulu eşanjörlerde kullanılan borular üzerinde ısı transferinin en iyileştirilmesi açısından boru ve kanat geometrisinde değişiklik içeren birçok çalışma yapılmaktadır. Hatta boru içinde akışı türbülanslı hale getirmek için değişik konstrüksiyonda türbülatorlerde eklenmektedir. Fakat öncelikli olarak dış akışın optimize edilebilmesi için boru geometrisinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Boru geometrisinin aynı ısı transfer yüzey alanında dairesel yerine elips konstrüksiyonda tercih edilmesinin ısı transferi üzerine etkileri enerji ve momentum korunumu ilkeleri gereğince analitik ve nümerik yöntemlerle çalışma kapsamında analiz edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

2.1 Analiz Edilecek Senaryolar

Kanatlı eşanjörde kullanıldığı varsayılan boru tipleri için üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Tüm senaryolarda boruların yüzey ısı transfer yüzey alanları aynıdır. Bakır borunun içine bir yandan 30 °C sıcaklıkta 2.2 m/s hızla su giriş yaparken borunun dışından, 650 °C sıcaklıkta 1.2 m/s hızla hava akışı olmaktadır. Bu

durumun sonucunda boru içinden çıkan suyun sıcaklığındaki, hızındaki değişimle, hız, basınç ve sıcaklık dağılımları analiz edilmiştir.

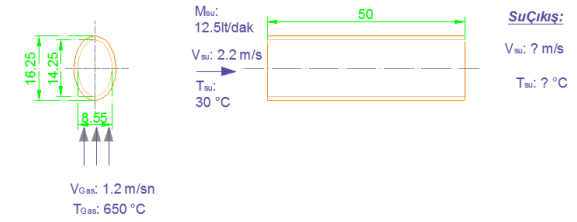
1. senaryoda; dairesel yüzey alanlı bir boru oluşturulmuştur. Şekil 1'de dizayn parametreleri ve boru boyutları gösterilmiştir.



Şekil 1 Dairesel yüzey alanlı boru parametreleri (senaryo 1)

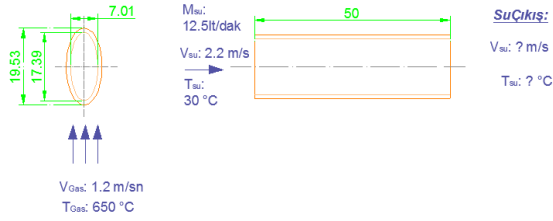
2. senaryoda; dairesel yüzey alanla aynı yüzey alanına sahip olacak şekilde boru konstrüksiyonu elips geometriye çevrilmiştir.

Şekil 2'de dizayn parametreleri ve boru boyutları gösterilmiştir.



Şekil 2 Elips yüzey alanlı boru parametreleri (senaryo 2)

3. senaryoda; ise aynı ısı transfer yüzey alanında elips geometrili borunun yüksekliği artırılarak üç senaryonun da hız basınç sıcaklık dağılımları ile ısı transfer performansına etkileri analiz edilmiştir. Üç farklı boru senaryoları içinden aynı hız ve debide su akışı sağlanmıştır. Tüm şartlar ve parametreler boru geometrileri dışında sabit tutularak boru geometrisinde yapılan değişikliğin ısı transfer, basınç ve sıcaklık dağılımına etkileri iç ve dış akış tipleri için aynı şartlarda çözümlenerek yorumlanmıştır. Şekil 3'de bu senaryonun dizayn parametreleri ile boru boyutları gösterilmiştir.



Şekil 3 Elips yüzey alanlı boru parametreleri (senaryo 3)

Üç farklı senaryo için üç boyutlu olarak yapılan nümerik analizler sonucunda iç ve dış akışta hız, sıcaklık ve basınç dağılımına boru konstrüksiyonunun etkisi anlaşılmıştır.

3. 3. BORU SENARYOLARININ SAYISAL YÖNTEMLERLE ANALİZ EDİLMESİ

Sayısal çözüm, üç boyutlu bir geometrideki kütle korunumu, momentum ve enerji korunumu denklemlerinin çözülmesinde kullanılan bir yöntemdir. Sayısal analizler yapılırken Fluent 19 versiyonu tercih edilmiştir. Boru modelleri üç boyutlu olarak 5 cm uzunluğunda oluşturulmuştur. Karşılaştırma yapıldığı için çözüm süresinin uzamaması açısından boru boyu minimize edilmiştir.

Tablo 1'de sayısal analizlerde kullanılacak hava ve suya ait sınır şartları gösterilmiştir

Tablo 1 Sayısal analiz sınır şartları

	Soğuk Akışkan H ₂ O(sıvı)	Sıcak Akışkan Hava (Gaz)
T (°C)	30	650
V (m/s)	1.2	2.2
Boru Malzemesi	CUSf22 (Bakır)	-

Tablo 2'de Fluent yazılımında sonuca yaklaşım için belirlenen çözüm parametreleri verilmiştir. Çözüm için türbülans model kullanılmıştır.

Tablo 2 Sayısal çözüm parametreleri [7]

Model	Ayarlar
Boyut	3D
Zaman	Sürekli
Viskoz	SST k-omega turbulence model
Isı Transferi	Etkin
Katılma ve Donma	Etkin değil
Radyasyon	Etkin değil
Dağıtılmış Faz	Etkin değil
NO _x Emisyonları	Etkin değil
SO _x Emisyonları	Etkin değil

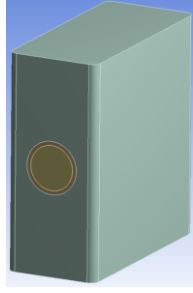
Tablo 3'de analizlerde kullanılan su ve havanın termofiziksel özellikleri verilen sıcaklık ve atmosfer basıncı şartlarında verilmiştir. Bu değerler analizlerin yapılması amacıyla programa tanımlanmıştır.

Tablo 3 Akışkanların Termofiziksel özellikleri [9]

	Su	Hava
Sıcaklık (°C)	30	650
Yoğunluk ρ (kg/m ³)	996	0,382
Özgül ısı c_p (kJ/kg°C)	4.178	1.125
Dinamik viskozite $\mu \cdot 10^{-3}$ (kg/ms)	$798 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$
Kf (W/mK)	0.615	0.058
Prandtl sayısı (Pr)	5.42	0.705

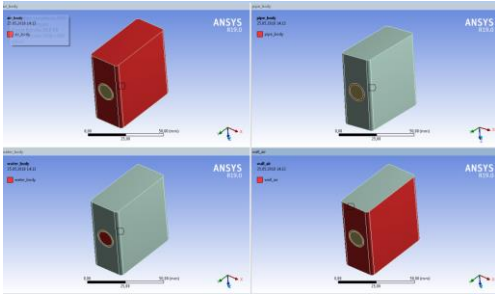
3.1 Senaryo 1, Dairesel Kesitli Borunun Analiz Edilmesi

Analitik hesaplamaları yapılan dairesel kesitli boru 3 boyutlu olacak şekilde sayısal yöntemlerle analiz edilmiştir. Şekil 4'de Fluent programı üzerinde model oluşumu ve hava hacmi tanımlanmıştır.



Şekil 4 Boru ve hava hacmi modeli

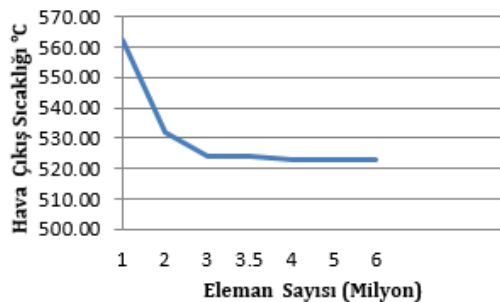
Model oluşumu tamamlandıktan sonra sınır şartlarıyla birebir aynı olacak şekilde yüzey tanımlamaları Şekil 5'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Sayısal analizlerde, boruya göre dış ve iç akış referans alınmıştır.



Şekil 5 Sınır şartlarının tanımlanması (senaryo 1)

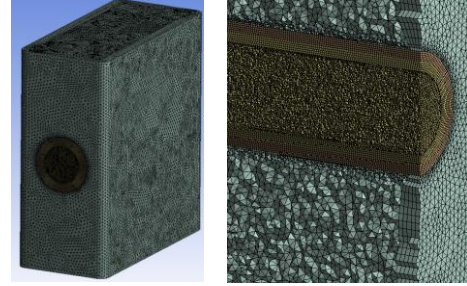
3.1.1 Hücre Sayısının Belirlenmesi

Borunun dışında kalan hava hacmi ve içinde dolaşan su için ayrı ayrı hücre sayısı belirlenmiş olup Şekil 6'da gösterilmiştir. Havanın boru sistemine temas ettikten sonraki sıcaklığı değişken hücre sayılarıyla denenmiş olup 3.5 milyon hücre sayısı sonrasında elde edilen gaz sıcaklığı değerinin aynı kaldığı ve bu durumda çözümün hücre sayısından bağımsız ve stabil olduğu anlaşılmıştır. [4]



Şekil 6 Hücre sayısının belirlenmesi

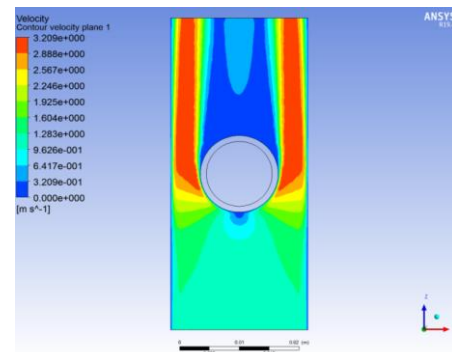
Şekil 7'de dairesel kesitli boruya ait hücre yapısı gösterimi verilmiştir. Toplamda 3.5 milyon eleman sayısı belirlenmiştir.



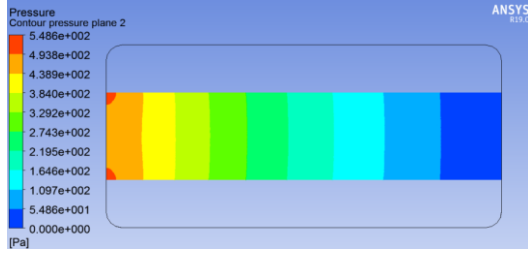
Şekil 7 Hücre sayısı gösterimi (senaryo 1)

3.1.2 Sayısal Sonuçlar (Senaryo 1)

Sistem çözüme ulaştıktan sonra iç akışta su hareketi ile dış akışta oluşan hava hareketleri için görseller alınmıştır. Şekil 8'de dış akış hız dağılımı verilmiştir. Bu sonuçlardan dairesel kesitli boruda dış akış hidrolik çapının yani havanın temas ettiği yüzeyin analitik analizlerde hesaplanan dış çap değerine göre üç boyutlu düzlemde çok daha küçük olduğu ve dolayısıyla ısı transfer performansının sanıldığından daha düşük olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 8 Dış akış hız dağılımı (senaryo 1)

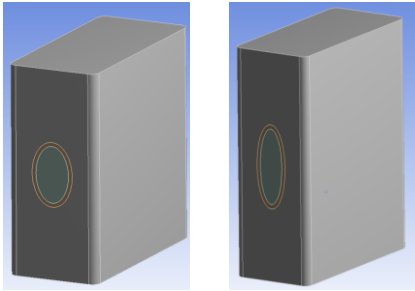


Şekil 9 İç akış basınç dağılımı (senaryo 1)

Basınç kayıpları iç ve dış akış yüzelerindeki sürtünme faktörlerine ve çalışma şartlarına bağlıdır. Şekil 9'da iç akışta basınç dağılımı görülmektedir.

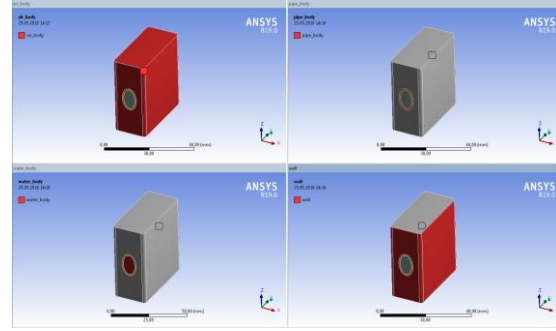
3.2 Senaryo 2 ve 3, Elips Kesitli Borunun Sayısal Yöntemle Analiz Edilmesi

Elips kesitli boru iki farklı alternatifi; 3 boyutlu olacak şekilde sayısal yöntemlerle analiz edilmiştir. Özellikle senaryo 2 ve 3'ün elips konstrüksiyona sahip olması ve tek farklılığın senaryo 3'de aynı dış ısı transfer yüzey alanında daralma ve yüksekliğin artırılması olduğu bilinmektedir. Bu nedenle analiz sonuçlarına karşılaştırmanın daha iyi yorumlanabilmesi için aynı bölümde yer verilmiştir. Şekil 10'da Fluent programı üzerinde model oluşumu ve hava hacmi sırasıyla 2. ve 3. Senaryo için tanımlanmıştır.

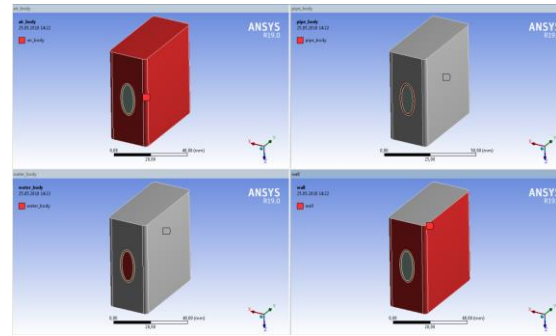


Şekil 10 Boru ve hava hacmi modeli

Şekil 11 ve 12'de sırasıyla her iki boruya ait parametreler ve sınır şartları tanımlanmıştır.



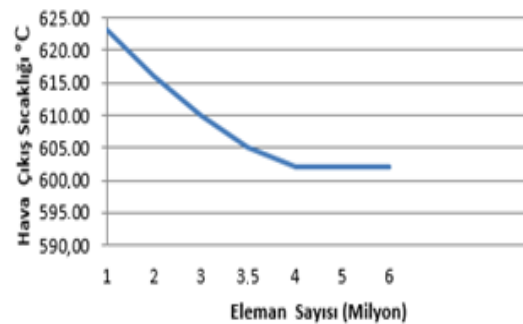
Şekil 11 Sınır şartlarının tanımlanması (senaryo 2)



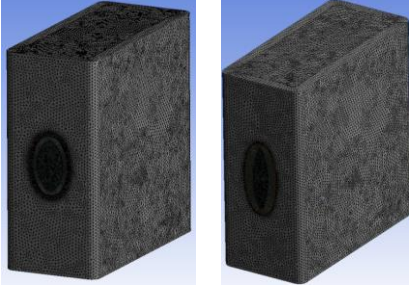
Şekil 12 Sınır şartlarının tanımlanması (senaryo 3)

3.2.1 Hücre Sayısının Belirlenmesi

Borunun dışında kalan hava hacmi ve içinde dolaşan su için ayrı ayrı hücreleme yapılmış olup her iki model için hücre sayısı optimizasyonu yapıldığında yaklaşık olarak 4 milyon hücre sayısı olduğu anlaşılmıştır. Şekil 13'de hesaplama açısından bağımsız hücre sayısının belirlenmesi için havanın boru yüzeyine temas ettikten sonra sistemi terk etme sıcaklığı incelenmiş ve 4 milyon hücre sayısından sonra sıcaklık değeri sabit kalma eğiliminde olduğu için hücre sayısı belirlenmiştir. Şekil 14'de hücre yapısı genel ve kesit görünümü gösterilmiştir.



Şekil 13 Hesaplama ağı hücre sayısı (senaryo 2-3)

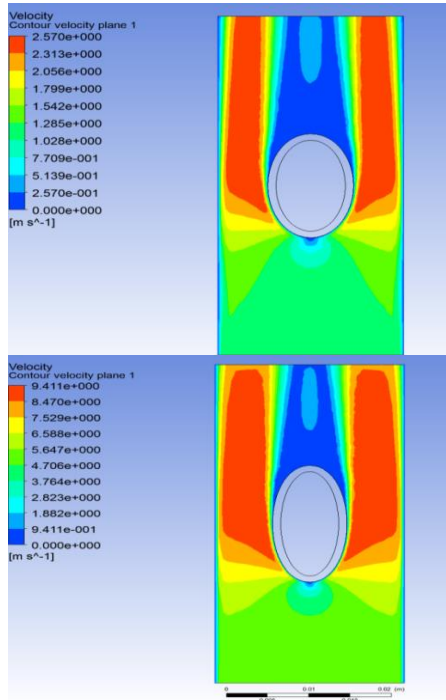


Şekil 14 Hücre sayısı gösterimi (senaryo 2-3)

3.2.2 Sayısal Sonuçlar (Senaryo 2-3)

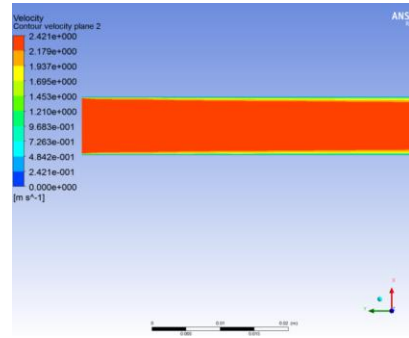
Sistem her iki senaryo için ayrı ayrı çözüme ulaştıktan sonra iç akışta su hareketi ile dış akışta oluşan hava hareketleri için görseller alınmıştır. Şekil 15'de görüldüğü gibi boru konstrüksiyonunun dairesel yerine elips olarak değiştirilmesi boru üzerinde havanın temas yüzeyini artırmaktadır.

Özellikle Senaryo 2'ye göre daha fazla elips konstrüksiyona dönüştürülmüş senaryo 3'de daha fazla dış yüzeye hava teması olduğu görülmektedir. Bu durum aynı dış akış ısı transfer yüzeyinden daha fazla ısı geçiş olacağını göstermektedir.

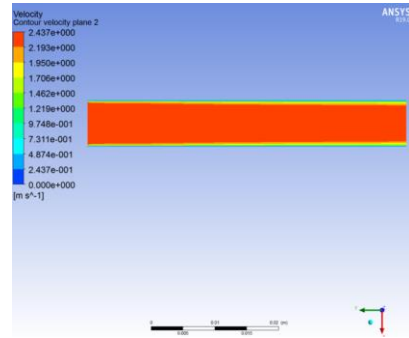


Şekil 15 Senaryo 2,3 dış akış hız dağılımı

Şekil 16 ve 17'de sırasıyla senaryo 2 ve senaryo 3'e ait iç akış hız dağılımı gösterilmiştir. Boru uzunluğu karşılaştırma yapılmasına bağlı olarak sayısal çözümleri kolaylaştırmak için 5 cm kabul edildiği için su hızında kaydadeğer bir değişiklik görülmediğinden tek renk bir akış elde edilmiştir. İç akışta oluşan basınç kaybı ve hız değişikliği ile ilgili sayısal analiz çıktıları karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

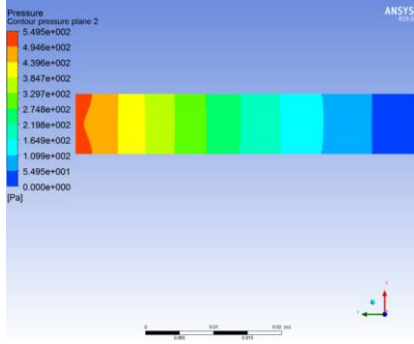


Şekil 16 İç akış hız dağılımı (senaryo 2)

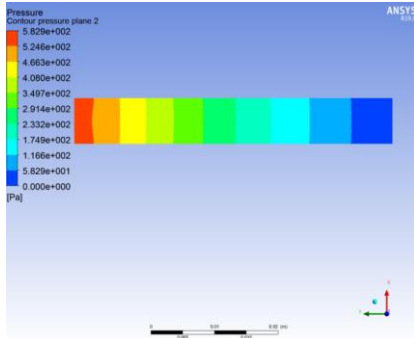


Şekil 17 İç akış hız dağılımı (senaryo 3)

Basınç kayıpları iç ve dış akış yüzelerindeki sürtünme faktörlerine ve çalışma şartlarına bağlıdır. Şekil 18 ve 19'da senaryo 2 ve senaryo 3 için basınç dağılım görselleri verilmiştir. Her iki senaryo için giriş ve çıkış basınçları göz önüne alındığında analitik analizler sonucunda çıkışta su hızında oluşan artışın senaryo 3'de, senaryo 2'den daha yüksek olacağı anlaşılmaktadır.

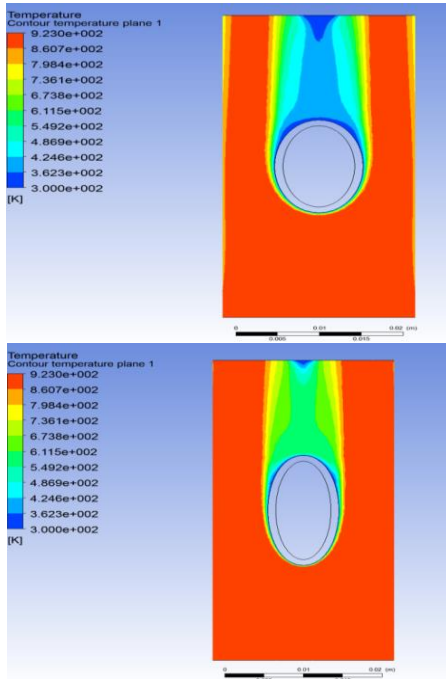


Şekil 18 İç akış basınç dağılımı (senaryo 2)



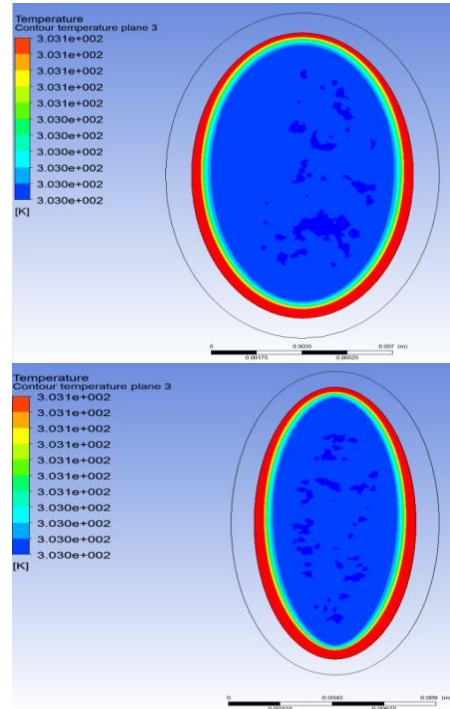
Şekil 19 İç akış basınç dağılımı (senaryo 3)

Sıcaklık dağılımları, hız vektörleri ile değerlendirildiğinde sistemin ısı transfer performansı üzerinde yorum yapılmasına yardımcı olduğu bilinmektedir.



Şekil 20 Dış akış sıcaklık dağılımı (senaryo 2-3)

Şekil 20'de sırasıyla senaryo 2 ve senaryo 3'e ait dış akış sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Aynı limit değerlerinde sıcaklık renk tonları farklılığından iki modelinde dış akış hareketleri karşılaştırıldığında senaryo 2'deki borunun üst yüzeyinde senaryo 3'e göre ölü bölgelerin olduğu ve havanın soğumuş şekilde geçerek ısı transferine katkısının daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Senaryo 1, dairesel kesitli boru da ise bu durumun etkisinin elips geometriye göre önemli ölçüde artış gösterdiği anlaşılmıştır. Bu nedenle dairesel borunun elips geometriye dönüştürülmesinin ısı transferini artırıcı yönde etki edeceği anlaşılmaktadır.



Şekil 21 İç akış sıcaklık dağılımı kesit görünümü (senaryo 2-3)

Şekil 21'de senaryo 2 ve senaryo 3'e ait boru iç akışında sıcaklık dağılımı görseli verilmiştir. İki dağılım görselinde özellikle boru cidarındaki renk tonlamaları karşılaştırmalı olarak incelendiğinde senaryo 3'ün boru üst noktalarında daha kalın kırmızı tonlamalı yüksek sıcaklıklara ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu durum ısı transferinin daha yüksek olduğunu ifade etmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Aynı dış ve iç ısı transfer yüzey alanına sahip bir adet dairesel ve iki adet elips konstrüksiyonlu boru dış ve iç akış analizi üç boyutlu olarak hesaplama ağından bağımsız olarak aynı parametrelerle yapılmıştır. Yapılan analizlerde elde edilen bulgular tablo 3'te gösterilerek aşağıdaki şekilde yorumlanmıştır.

Tablo 3 Sayısal çözüm sonuçları

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Dış yüzey alanı (m ²)	132.10 ⁻⁶	132.10 ⁻⁶	132.10 ⁻⁶
V _{sugiriş} (m/s)	2.2	2.2	2.2
V _{suçıkış} (m/s)	2.26	2.263	2.262
T _{su giriş} (°C)	30	30	30
T _{su çıkış} (°C)	300.542	300.546	301.366
T _{hava giriş} (°C)	650	650	650
T _{hava çıkış} (°C)	523	564	602
ΔP _{su} (Pa)	318	325.44	363.33

Hesaplama ağından bağımsız sonuçlar elde edebilmek için artarak giden hücre sayılarında program koşturularak sonuçlardaki değişiklikler yorumlanmıştır. Belirli sayıda hücre sayısından sonra ise sonuçlar sabit ve tutarlı forma ulaşmıştır. Bu durum hem alınan sonuçların güvenilirliğini arttırmakta hem de gereksiz fazlalıkta hücre sayısı belirleyerek analizin süresini arttırmayı engellemektedir.

Senaryo 1 olarak verilen dairesel kesitli borunun senaryo 2'de ısı transfer dış yüzey alanları sabit tutulacak şekilde analiz edildiğinde iç akışta su çıkış hızında %1 hız artışı olduğu elde edilmiştir. Bu durumun boru konstrüksiyonun elips geometriye dönüştürülmesi sonucunda iç yüzeyden su akışında sürtünme faktörü (λ)'nin düşüş eğiliminde olması sonucunda olduğu anlaşılmıştır. Böylece su akışında hızlanma meydana gelmektedir.

Dairesel kesitten elips geometriye gidildikçe dış akışta hava çıkış hızının yavaşlama eğiliminde olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun nedeninin hız akış vektörleri görsellerinden analiz edildiğinde geometrinin elips forma

dönüştükçe dış hidrolik çapının artmasından olduğu yorumlanmıştır. Bu durum senaryo 3'te daha belirgin şekilde görülmektedir. Dairesel kesitten elips geometriye geçildikçe senaryo 1 ile senaryo 2 arasında dış yüzey hava akışında basınç kaybının %107 azaldığı senaryo 3'de ise %203 azaldığı görülmektedir. Bu durum basınç dağılımında daha detaylı anlaşılmaktadır. Özellikle dairesel boru yapısının alt bölgesinde sürtünmenin fazla olduğu ve üst yüzeylere sıcak havanın ulaşamadığı ölü bölgeler olduğu tespit edilmiştir.

Üç farklı senaryo da yapılan sayısal analizler sonucunda bulgular aynı dış yüzey alanında dairesel kesitten elips geometri yapısı tercih edildiğinde ısı transfer performansının artması ve basınç kaybının azalarak dış akışta hız dağılımının daha üniform olduğu yönündedir. Fakat elips geometri genişlik ve yükseklik boyutlarının belirlenmeden önce analitik analizler yoluyla hesaplamalar yapıldıktan sonra alternatif dizaynların elenmesi ve sayısal analizler yapılırken hesaplama ağından bağımsız çalışma yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Kaynak

- [1] Dal A.R. Kombilerde Kullanılan Isı Değiştiricisi Farklı Kanatçık Geometrilerinin Kombi Verimine Etkisinin Sayısal Analizi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007
- [2] Baysal E. Eş Merkezli Borulu Isı Değiştiricilerinde Helisel Türbülatorlerin Etkilerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [3] Özçelik M. Doğrudan Ateşlemeli, Kanatlı Borulu Isı Değiştiricinin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [4] Kılıçaslan, İ., Saraç, H.İ., "Enhancement of Heat Transfer in Compact Heat Exchanger by Different Type of Rib With Holographic Interferometry", Experimental Thermal and Fluid Science, 17: 339-346 (1998).
- [5] Forgo, L., "Some Extra High Capacity Heat Exchangers of Special Design in Heat Exchanger" N.H. Afgan and EU

- Schlinder, Hemisphere, Washington, 101-120 (1974).
- [6] Lozza, G., and Merlo, U., "An Experimental Investigation of Heat Transfer and Friction Losses of Interrupted and Wavy Fins for Fin-And-Tube Heat Exchangers", *International Journal of Refrigeration*, 24: 409-416 (2001).
- [7] Boran K, Daştan F, Şahin M, Aktaş M. "Isı Eşanjörlerinde Isı Transferi İyileştirme Yöntemlerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi". *Politeknik Dergisi*, 17 (4), 183-191, 2014.
- [8] Omar M. Yoğuşmalı Kombiler İçin Çok Geçişli Kompakt Isı Değiştiricisi ve Yarı Küresel Metal Matrix Yakıcının geliştirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2014.
- [9] Çengel Y. Boles M., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Mc Graw Hill 2. Basım, 1996.
- [10] Ş.Ö. Atayılmaz, İ. Teke, "Experimental and numerical study of the natural convection from a heated horizontal cylinder", *International Communications in Heat and Mass Transfer (ISI)*, Volume 36, 731-738 pp., 2009
- [11] Şahin, H.M., Dal, A.R., and Baysal, E., "3-D Numerical Study on the Correlation Between Variable Inclined Fin Angles and Thermal Behavior in Plate Fin-Tube", *Applied Thermal Engineering*, 27: 1806-1816 (2007)
- [12] Y.J. Chang, C.C. Wang, A generalized heat transfer correlation for louver on geometry, *Int. J. of Heat and Mass Transfer* 40 (3) (1997) 533-544.
- [13] C.J. Davenport, Correlation for heat transfer and low friction characteristics of louvered @n, *AIChE Symposium Series* 79 (25) (1983) 19-27.
- [14] T. Tanaka, M. Itoh, M. Kudoh, A. Tomita, Improvement of compact heat exchangers with inclined louvered @ns, *Bulletin of JSME* 27 (224) (1984) 219-226.
- [15] Abuebid MA. A thermal contact conductance correlation for mechanically expanded finned tube heat exchangers. MS thesis, Univ. of Missouri-Rolla, 1984.
- [16] Shah PR. Microscopic and macroscopic fin collar effect in the prediction of finned tube contact conductance. PhD thesis, Univ. of Missouri-Rolla, 1986.
- [17] Park HB, et al. Experimental study of heat transfer and pressure drop characteristics for flow of water inside circular smooth and micro-fin tubes. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 1997;9:454-61.
- [18] Sheffield JW, Wood RA, Sauer Jr HJ. Experimental investigation of thermal conductance of finned tube contacts. *Experimental Thermal and Fluid Science* 1989:107-21.
- [19] N.C. DeJong, A.M. Jacobi, Flow, heat transfer, and pressure drop in the near-wall region of louvered-fin arrays, *Experimental Thermal and Fluid Science* 27 (2003) 237-250.
- [20] W.Q. Tao, Z.G. Qu, Y.L. He, Experimental and 3d numerical study of air side heat transfer and pressure drop of slotted fin surface, in: *Proceedings of the Fifth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology*, Fairfax, VA, USA, September 2005.
- [21] C.N. Kim, J. Jeong, B. Youn, Evaluation of thermal contact conductance using a new experimental-numerical method in fin-tube heat exchangers, *International Journal of Refrigeration* 26 (2003) 900-908.
- [22] J. Jeong, C.N. Kim, B. Youn, Y.S. Kim, A study on the correlation between the thermal contact conductance and effective factors in fintubeheat exchangers with 9.52 mm tube, *International Journal of Heat and Mass Flow* 25 (2004) 1006-1014.
- [23] A. Hought, M.S. Engelmann, Numerical and experimental simulation for airflow and heating in a tube fin heat exchanger, *Heat Transfer in Gas Turbines and Three Dimensional Flows* HTD-103 (1988) 107-