

## Gövde Borulu Bir Isı Değiştiricisinde Şaşırtma Levhasının Isı Taşınım Katsayısına ve Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi

Önder KIZILKAN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü / ISPARTA

Alınış tarihi: 05.11.2007, Kabul: 24.01.2008

**Özet:** Mühendislik uygulamalarının en çok karşılaşılan işlemlerinden birisi de, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimin yapıldığı cihazlara ısı değiştiricisi denilmekte olup uygulamada termik santraller, kimya endüstrileri, ısıtma, iklimlendirme, soğutma sistemleri gibi birçok yerde kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricileri tiplerinden birisi de gövde borulu ısı değiştiricileridir. Bu tip ısı değiştiricilerinde gövde tarafından bir akışkan ile borulardan diğer bir akışkan geçerek ısı değişimi işlemi sağlanır. Bu çalışmanın amacı gövde borulu bir ısı değiştiricisinde bulunan şaşırtma levhası kesmesinin ve aralığının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne etkisinin araştırılmasıdır. Bu maksatla standart boyutlarda bir ısı değiştiricisi için farklı şaşırtma levhası kesmesi ve aralıklarında analizler yapılmıştır. Şaşırtma levhası kesmesinin ve aralığının artmasıyla ısı taşınım katsayısının ve basınç düşmesinin azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Şaşırtma levhası kesmesi, Şaşırtma levhası aralığı, Isı taşınım katsayısı, Basınç düşümü.

## Investigation of the Effects of the Baffles on the Heat Transfer Coefficient and Pressure Drop in a Shell and Tube Heat Exchanger

**Abstract:** One of the most common processes of engineering applications is the exchange of heat between two or more fluids that are at different temperatures. These devices are named as heat exchangers and the applications of these devices includes power plants, chemical industries, heating, ventilation and cooling systems, etc. One of the most commonly used heat exchanger type is shell and tube heat exchanger. In this type heat exchanger, one of the fluids flows in shell side and the other flows in tube side maintaining heat transfer. The scope of this work is to investigate the effects of baffle cut and baffle spacing on the heat transfer coefficient and pressure drop in a shell and tube heat exchanger. For this aim, analyses are made for a standard dimensioned heat exchanger with variable baffle cut and spacing. It is observed that both heat transfer coefficient and pressure drops values decrease with the increase of baffle cut and baffle spacing.

**Key Words:** Baffle cut, Baffle spacing, Heat transfer coefficient, Pressure drop.

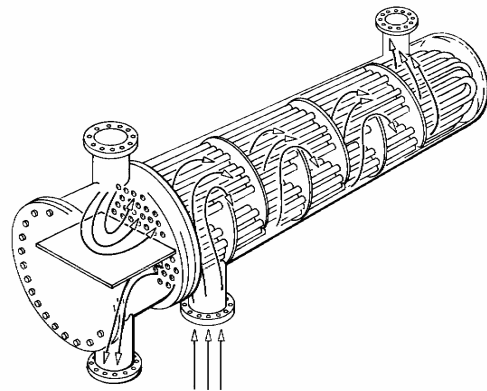
### Giriş

Birçok mühendislik uygulamalarında en önemli ve en çok karşılaşılan işlemlerden birisi, farklı sıcaklıklardaki, iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimi sağlayan cihaza ısı değiştiricisi denir (Genceli, 1999). Isı değiştiricileri, kimyasal ve proses endüstrilerinde buharlaştırma, yoğunlaştırma, sterilize etme, damıtmak, pastörize etme, kısımlara ayırma, kristalize etme, veya sıvı akışını ve kimyasal reaksiyon oranlarını kontrol etme gibi birçok işlemlerde kullanılmaktadır (Selbaş vd., 2006).

Çoğunlukla ısı değiştiricilerinde akışkanlar, birbirleriyle karışmadan ısı geçişinin doğrudan yapıldığı genellikle metal malzeme olan katı bir yüzey ile birbirinden ayrılırlar. Bu tip ısı değiştiricileri yüzeyli veya reküperatif olarak adlandırılır (Genceli, 1999).

En yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricileri tiplerinden birisi de gövde borulu ısı değiştiricileridir. Bu tip ısı değiştiricilerinde gövde tarafından bir akışkan ile borulardan diğer bir akışkan geçerek ısı değişimi işlemi sağlanır. Gövde borulu ısı değiştiricilerinin yaygın olarak kullanılmasının birçok sebebi vardır. Hacmine ve

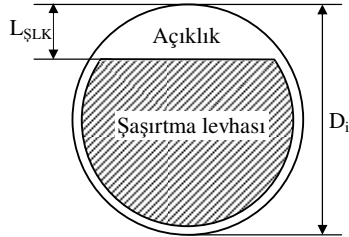
ağırlığına kıyasla oldukça büyük değerlerde ısı transferine olanak sağlarlar. Birçok özel uygulama için çok fazla değişik tipte çeşitleri mevcuttur. Ayrıca contaları ve boruları çıkarılarak kolayca temizlenebilirler (Selbaş vd., 2006). U-tipi gövde borulu bir ısı değiştiricisi ve gövde tarafındaki akış Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Gövde tarafı sıvı akışı (Shih, 2007)

Gövde borulu ısı değiştiricilerinde boruları destekleyerek yapısal rijitliği korumak, borulardaki titreşimi ve eğilmeyi engellemek için çoğunlukla şaşırtma levhaları kullanılır. Bu şaşırtma levhalarının diğer bir önemli görevi ise boru demetine dik olarak akışın yönünü değiştirerek ısı transfer katsayısını arttırmaktır (Çeteci, 1999).

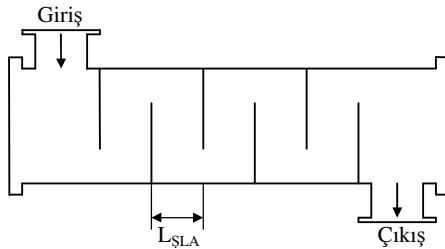
Şaşırtma levhaları ilk olarak 1951 yılında Tinker tarafından tanımlanmıştır. Bu levhalar sayesinde toplam akış dağılmakta ve dolayısıyla ısı transfer katsayısı da artmaktadır (Thome, 2004). Şaşırtma levhalarının kesme oranı % 25 - % 45 arasında alınabilmekte birlikte levhalarının % 25 ila % 35 oranında kesilmesi tavsiye edilmektedir (Çeteci, 1999). Bu oran levhanın kesme yüksekliğinin gövde iç çapına oranıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Şaşırtma levhası kesmesi

$$\text{Şaşırtma levhası kesmesi, \%} = \left[ \frac{L_{SLK}}{D_i} \right] \times 100 \quad (1)$$

Burada  $L_{SLK}$ , şaşırtma levhası kesmesi,  $D_i$ , gövde iç çapıdır (Thome, 2004). Şaşırtma levhaları arasındaki mesafenin seçilmesi son derece önemlidir. Çeşitli durumlarda bu mesafenin gövde çapının 0.4-0.6 katı olarak alınması tavsiye edilmektedir. Şaşırtma levhaları arasındaki mesafe gövde boyutunun bir fonksiyonudur. Gövde tarafındaki akışkanlarda herhangi bir faz değişimi yoksa perdeler arası mesafe gövde iç çapını aşmamalıdır (Çeteci, 1999). Bunun nedeni, levhalar arasındaki mesafe ne kadar fazla olursa, akışkan borulara paralel şekilde gelecek ve bu nedenle ısı transferi azalacaktır. Şekil 3'te gövde borulu bir ısı değiştiricisinde şaşırtma levhası aralığı görülmektedir.

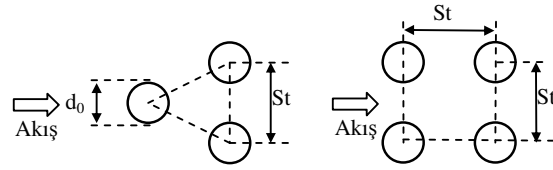


Şekil 3. Gövde borulu ısı değiştiricisinde şaşırtma levhası aralığı.

Şekil 3'te  $L_{SLA}$ , şaşırtma levhası aralığını göstermektedir. Bütün ısı değiştiricilerinde olduğu gibi gövde borulu ısı değiştiricilerinde de basınç düşümü büyük önem taşımaktadır. Basınç düşümünü etkileyen faktörler arasında, akışkanların hızının artması, ısı değiştirici tip

gibi faktörler etkin rol üstlenmektedirler. Basınç düşümünün artması, pompanın veya fanın gücünü arttıracığından sistemin işletme masrafları ile yatırım masraflarında da artışa sebep olur (Genceli, 1999). Basınç düşümü sınırlamaları, ekonomik nedenler veya işletme şartları tarafından belirlenir. Ekonomik tasarım için, belirlenen basınç düşümü sınırlamalarına tamamiyle uyulmalıdır. Bu yüzden bir ısı değiştiricisi tasarımında, ısı geçişi ile basınç düşümü birlikte düşünülmeli ve sistem için en uygun çözüm üretilmelidir (Yılmaz ve Şara, 2000).

Gövde borulu ısı değiştiricileri içindeki boru demeti eşkenar üçgen, kare, döndürülmüş üçgen ve döndürülmüş kare şeklinde olabilir. Kare ve döndürülmüş düzenlemeler daha çok kirletici akışkanlar için kullanılmaktadır. Çünkü bu tip düzenlemelerin temizlemesi daha kolaydır (Genceli, 1999). Bu çalışmada göz önüne alınan üçgen ve kare düzenlemeler Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Üçgen ve kare düzenlemeler (Selbaş vd., 2006)

Burada,  $d_0$  boru dış çapını ve  $St$  ise eksenler arası mesafeyi göstermektedir.

Gövde borulu ısı değiştiricileri ile ilgili yapılan çalışmalarda özellikle optimizasyon uygulamalarının yapıldığı görülmektedir. Li ve Kottke (1998a), yapmış oldukları çalışmada gövde borulu bir ısı değiştiricisindeki, gövde ve boru tarafındaki ısı transferini belirlemek için kütle transferi ölçüm metodu kullanmışlardır. Çalışmalarında şaşırtma levhası kesmesi ve aralığı değerlerini parametre olarak kullanmışlardır. Li ve Kottke (1998b) yapmış oldukları diğer bir çalışmada, yine gövde borulu bir ısı değiştiricisinde farklı şaşırtma levhası aralıkları için ısı transferi ve basınç düşümünü incelemişlerdir. Ko ve Anand (2003), her taraftan eşit olarak ısıtılan dikdörtgen bir kanal içerisine gözenekli şaşırtma levhaları koyarak ortalama ısı transferi katsayılarını incelemişlerdir. Tam gelişmiş akış ve ısı transferi için ısı transferi katsayıları ile basınç kayıpları her bir farklı gözenekli ortam için ve şaşırtma levhası kalınlığı için elde edilmiştir. Soltan vd. (2004), gövde borulu kondansör tipi ısı değiştiricisi tasarımında uygun şaşırtma levhası aralığını göz önüne alarak, en uygun aralığının tespiti için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Sonuç olarak en uygun şaşırtma levhası aralığının belirlenmesi için bir takım bağıntılar verilmiştir. Eryener (2006), yapmış olduğu çalışmada, gövde borulu bir ısı değiştiricisinde en uygun şaşırtma levhası aralığının tespiti için termoekonomik analiz yöntemini kullanmıştır. Selbaş vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada, gövde borulu ısı değiştiricilerinin en uygun tasarımı için, şaşırtma levhası kesmesi ve şaşırtma levhası aralığı gibi bazı parametreleri de içine alan genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır. Özçelik

(2007), gövde borulu ısı değiştiricilerin tasarımında boru uzunluğu, boru dış çapı, eksenler arası mesafe, boru diziliş biçimi, şaşırtma levhası kesmesi, boru geçiş sayısı gibi çok sayıdaki parametreleri kullanarak genetik algoritma tabanlı bir program geliştirmiştir. Ravagnani ve Caballero (2007) çalışmalarında, ısı değiştirici ağırları için detaylı tasarım ekipmanlarını da içeren bir optimizasyon modeli kurmuşlardır. Gövde ve boru tarafı basınç düşmeleri mekanik açıdan ele alınmış ve bu değerleri etkileyen faktörler incelenmiştir.

Bu çalışmada, gövde borulu bir ısı değiştiricisi içerisindeki şaşırtma levhası kesmesinin ve aralığının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne etkisi incelenmiştir. Farklı şaşırtma levhası kesmesi ve aralıkları için ısı transferi katsayısı ve gövde tarafı basınç düşümü hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile şaşırtma levhalarının gövde borulu ısı değiştiricileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analizlerde ayrıca, gövde borulu ısı değiştiricisi içerisindeki boruların üçgen ve kare düzenleme halinde olması durumu da göz önüne alınmıştır.

## Sistem Analizi

Gövde borulu ısı değiştiricilerinde şaşırtma levhasının ve aralığının etkisinin incelenmesi için öncelikle ısı taşınım katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Isı taşınım katsayısı ise Nusselt sayısı kullanılarak tespit edilir. Gövde tarafı ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı aşağıdaki gibi ifade edilir (Genceli, 1999):

$$Nu = \frac{h_G D_E}{k} = j Re Pr^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_0} \right)^{0.14} \quad (2)$$

Burada, Nu Nusselt sayısı,  $h_G$ , gövde tarafı ısı taşınım katsayısı,  $D_E$ , eşdeğer çap,  $k$ , ısı iletim katsayısı,  $j$ , Kern metoduna göre boyutsuz ısı faktör, Pr, Prandtl sayısı ve  $\mu_0$  ile  $\mu$  sırasıyla yüzey sıcaklığında ve ortalama sıcaklıkta gövde tarafı dinamik viskozitelerdir. Eşdeğer çap  $D_E$  akış düzenlemesine göre aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır (Genceli, 1999):

Kare düzenleme:

$$D_E = \frac{1.27}{d_0} (St^2 - 0.785d_0^2) \quad (3)$$

Üçgen Düzenleme

$$D_E = \frac{1.10}{d_0} (St^2 - 0.917d_0^2) \quad (4)$$

Burada  $d_0$  gövde içinden geçen borunun dış çapı çapıdır. Gövde tarafı Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{V D_E}{\nu} \quad (5)$$

Burada  $\nu$  ise kinematik viskozite ve  $V$  ise akışkan ortalama hızı olup aşağıdaki denklemle belirlenir (Selbaş vd., 2006):

$$V = \frac{\dot{V}}{A_s} \quad (6)$$

$\dot{V}$  değeri hacim debisini ve  $A_s$  değeri ise akış kesit alanını temsil etmektedir. Akış kesit alanı  $A_s$ ;

$$A_s = \frac{(St - d_0) L_{SLA} D_G}{St} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $D_G$ , gövde anma çapıdır.

Isı değiştirici tasarımlarında, hem ilk yatırım maliyeti ve hem de işletme maliyetlerini etkileyen en önemli unsurlardan biride basınç düşümdür. Gövde borulu ısı değiştiricilerinde gövde içindeki pürüzlülüğün de basınç düşümüne küçük bir etkisi vardır. Bu çalışma için gövde tarafı basınç düşümü, Kern yöntemine göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Selbaş vd., 2006):

$$\Delta P_G = 8 j_{f,k} \frac{D_G}{D_E} \frac{L}{L_{SLA}} \frac{\rho V^2}{2} \left( \frac{\mu}{\mu_0} \right)^{-0.14} \quad (8)$$

Burada,  $\Delta P_G$  gövde tarafı basınç düşümü,  $L$ , boru uzunluğu ve  $j_{f,k}$  ise Kern metoduna göre boyutsuz basınç faktörüdür.

## Araştırma Sonuçları

Gövde boru bir ısı değiştiricisinde şaşırtma levhası kesmesi ve aralığının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne etkisinin araştırılması için yapılan analizlerde, gövde tarafı ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümü hesaplanırken Denklem 2 ve Denklem 8'deki Kern metoduna göre boyutsuz ısı ve basınç faktörü  $j$  ve,  $j_{f,k}$  değerlerinin tespiti gerekmektedir. Bunun için boyutsuz ısı ve basınç faktörü  $j$  ve,  $j_{f,k}$  değerleri, Genceli (1999)'de verilen grafiklerden eğri uydurma yöntemi ile denklem haline getirilmiştir. Denklemin oluşturulması için MATLAB paket programı içindeki Curve Fitting Toolbox kullanılmıştır. Yapılan tüm eğri uydurma denemelerinde, yöntemin tutarlılık oranını temsil eden R-kare değeri 0.9995 ila 1 arasında çıkmıştır. Aşağıda hesaplamalarda kullanılan türetilmiş formüller verilmiştir.

$$\ln j = \frac{p_1 x^5 + p_2 x^4 + p_3 x^3 + p_4 x^2 + p_5 x + p_6}{x^3 + q_1 x^2 + q_2 x + q_3} \quad (9)$$

$$\ln j_{f,k} = \frac{p_1 x^5 + p_2 x^4 + p_3 x^3 + p_4 x^2 + p_5 x + p_6}{x^3 + q_1 x^2 + q_2 x + q_3} \quad (10)$$

Yukarıdaki denklemlerde verilen  $x$  değeri;

$$x = \ln Re \quad (11)$$

şeklinde ve  $p$  ile  $q$  katsayıları ise ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümü için Çizelge 1 ve 2'de farklı şaşırtma levhası kesmeleri açısından verilmiştir.

Çizelge 1.  $j$  değerinin tespiti için  $p$  ve  $q$  sabitleri

Şaşırtma levhası kesmesi	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$q_1$	$q_2$	$q_3$
15	0.002012	-0.5346	5.351	-17.75	13.69	19.93	-11.09	42.83	-57.21
25	-0.5152	17.8	-731.6	4331	-5957	-6109	1037	-7684	15370
35	-4.017	137	-3161	11860	-22730	7954	3092	-11160	18700
45	-0.001467	-0.4254	-2.138	-0.6995	-0.7722	0.6979	1.336	1.516	0.8636

Çizelge 2.  $j_{f,k}$  değeri tespiti için  $p$  ve  $q$  sabitleri

Şaşırtma levhası kesmesi	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$q_1$	$q_2$	$q_3$
15	-0.139	7.218	-168	1623	-7244	11730	82.04	-947.8	3172
25	-0.1292	6.332	-136.3	1257	-5232	7703	45.12	-604.9	2071
35	-0.0831	3.829	-81.15	723	-2851	3938	23.24	-341.6	1136
45	-0.0004412	-0.0702	-3.7	54.42	-254.3	369.4	-7.901	5.685	67.68

Gövde boru bir ısı değiştiricisinde şaşırtma levhası kesmesi ve aralığının ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümüne etkisinin araştırılması için yapılan analizde, gövde anma çapı, boru sayısı, boru geçiş sayısı, 1 m boru için ısıtma yüzeyi ve boruları çevreleyen daire çapı değerleri için DIN standartlarından yararlanılmıştır. Bu değerler Çizelge 3'te verilmiştir. Burada verilen değerler, boru dış çapı 25 mm, eksenler arası mesafe 32 mm içindir.

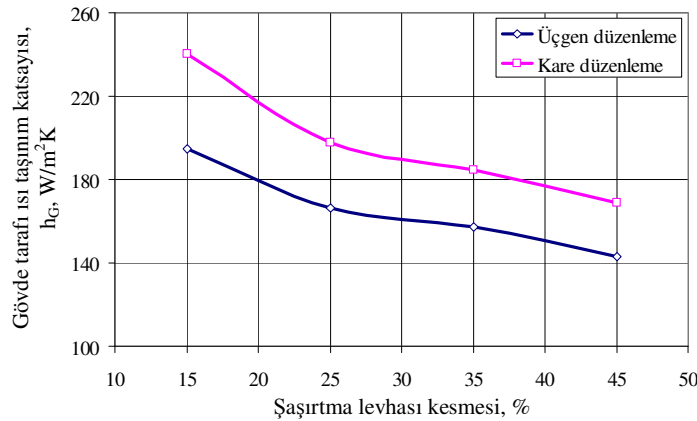
Çizelge 3. Gövde borulu ısı değiştiricileri geometrik ölçüleri (Genceli, 1999)

	Gövde anma çapı, mm	Boru sayısı	Geçiş sayısı	1 m boru için ısıtma yüzeyi, $m^2/m$	Boruları çevreleyen daire çapı, mm
Üçgen düzenleme DIN 28 190	200	18	2	1.41	167.7
Kare düzenleme DIN 28 191	200	18	2	1.41	167.7

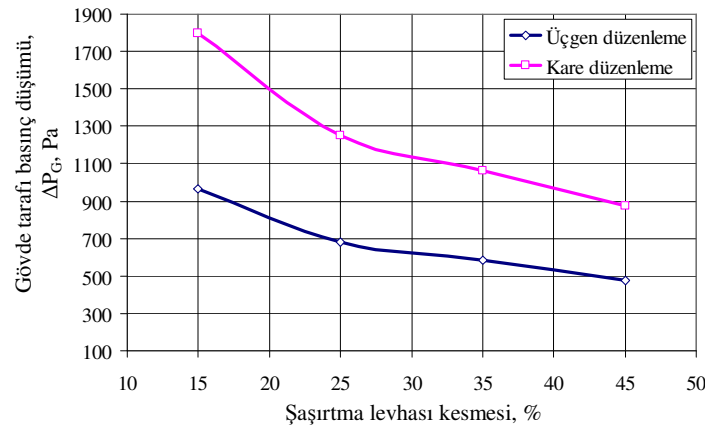
Analizler, gövde borulu ısı değiştiricisine suyun giriş sıcaklığı  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , çıkış sıcaklığı  $30\text{ }^\circ\text{C}$ , suyun hacim debisi  $2\text{ m}^3/\text{h}$  ve boru uzunluğu 1 m için hem üçgen düzenleme

ve hem de kare düzenleme için ayrı ayrı yapılmıştır. Şaşırtma levhası kesmesi, % 15, % 25, % 35 ve % 45 olarak alınmış, şaşırtma levhası aralığı ise 0.1 m ile 0.4 m arası alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılan suyun termodinamik özellikleri için Florides vd., (2003)'den yararlanılmıştır.

Yapılan analizler grafikler halinde Şekil 5-8'de verilmiştir. Şekil 5'ten görüldüğü gibi, şaşırtma levhası kesmesinin artmasıyla gövde tarafı ısı taşınım katsayısı hem üçgen düzenleme ve hem de kare düzenleme için de azalmaktadır. Benzer durumda Şekil 6'da gövde borulu ısı değiştiricisindeki şaşırtma levhası kesmesinin artmasıyla basınç düşümü her iki düzenleme için de azalmaktadır. Isı taşınım katsayısının azalması istenmeyen bir durum olmasına rağmen basınç düşümünün azalması istenen bir durumdur. Ayrıca şaşırtma levhası kesmesinin artmasıyla, kare düzenleme durumunda ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümü en büyük değerleri almaktadır. Isı taşınım katsayısının etkisinin basınç düşümüne göre daha önemli olduğu durumlarda kare düzenleme, basınç düşümünün etkisinin daha önemli olduğu durumlarda ise üçgen düzenleme seçilmelidir.



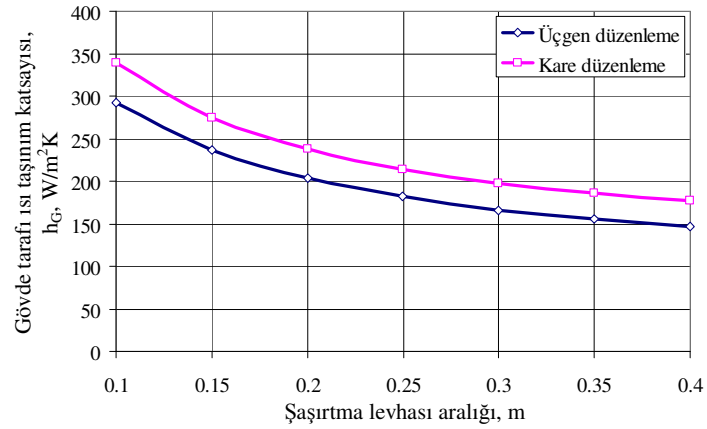
Şekil 5. Isı taşınım katsayısının şaşırtma levhası kesmesine göre değişimi



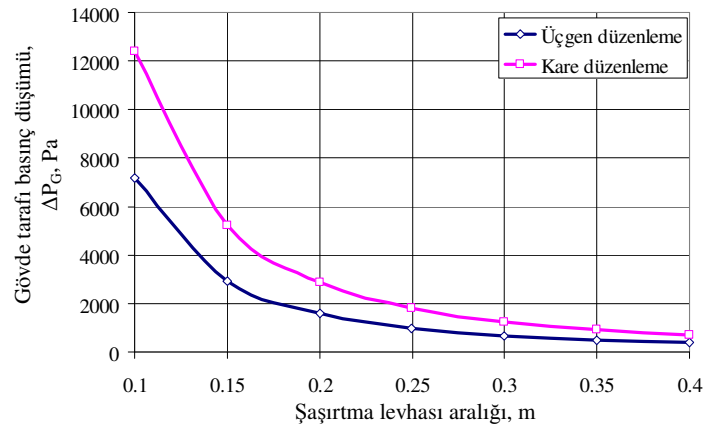
Şekil 6. Basınç düşümünün şaşırtma levhası kesmesine göre değişimi

Gövde tarafı ısı taşınım katsayısının ve basınç düşümünün şaşırtma levhası aralığıyla değişimi Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere şaşırtma levhası aralığı arttıkça hem ısı taşınım katsayısının ve hem de basınç düşümünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca şaşırtma levhası aralığı 0.1 ila 0.2 m arasında gövde

tarafındaki basınç düşümü hızla azalırken 0.2 m'den sonra ise biraz daha yataya yakın seyretmektedir. Şaşırtma levhası aralığının boru düzenlemeleri için göz önüne alınması halinde ise üçgen düzenlemede hem gövde tarafı ısı transfer katsayısı, hem de gövde tarafı basınç düşümü değeri, kare düzenlemeye göre daha düşüktür.



Şekil 7. Isı taşınım katsayısının şaşırtma levhası aralığına göre değişimi



Şekil 8. Basınç düşümünün şaşırtma levhası aralığına göre değişimi

## Tartışma ve Sonuç

Mühendislik uygulamalarının birçok değişik alanlarında kullanılan ve birçok farklı çeşidi bulunan gövde borulu ısı değiştiricilerinin performansını etkileyen parametreler vardır. Şaşırtma levhası kesmesi ve şaşırtma levhası aralığı bu parametrelerden ikisini temsil eder. Bu çalışmada bu iki parametrenin gövde tarafı ısı taşınım katsayısına ve gövde tarafı basınç düşümüne etkisi incelenmiştir. Sonuçta şaşırtma levhası kesmesinin ve şaşırtma levhası aralığının artmasıyla hem ısı taşınım katsayısı ve hem de basınç düşümünün azaldığı tespit edilmiştir. Bunlardan ikincisi arzu edilen bir durumdur. Çünkü basınç düşümünün azalması, pompanın veya fanın gücünü azaltacağından, dolayısı ile sistemin işletme ve yatırım masraflarında bir azalmaya sebep olacaktır. Fakat ısı taşınım katsayısının azalması ise gerekli ısı transferinin sağlanması için ısı transfer alanının artırılmasını gerektirdiğinden dolayı ilk yatırım maliyetini arttıracaktır. Sonuç olarak gövde borulu ısı değiştiricisi seçilirken, sistem parametreleri ve çalışma şartları göz önüne alınarak mutlaka optimizasyon yapılmalıdır. Literatürde, gövde borulu ısı değiştiricilerinin optimizasyonu hakkında (Selbaş vd., 2006) ve Babu ve Munawar (2000)'in çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalarda şaşırtma levhalarını da göz önüne alan en uygun tasarım analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada gövde borulu bir ısı değiştiricisinin performansını etkileyen parametrelerden biri olan şaşırtma levhasının etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda en uygun tasarım analizleri yapılırken şaşırtma levhasının önemi de bir kez daha açığa çıkmıştır. Burada önemli olan bir diğer husus ta, gövde çapı, boru uzunluğu, gövde uzunluğu gibi diğer parametrelerin de dikkatli bir şekilde göz önüne alınması gerektiğidir. Tüm sistem parametrelerine göre, ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri birlikte hesaplanarak en uygun şekilde gövde borulu ısı değiştiricisinin seçilmesi gereklidir.

## Kaynaklar

- Babu, B. V., Munawar, S. A. 2000. Differential evolution for the optimal design of heat exchangers. Proceedings of the All India Seminar on Chemical Engineering Progress on Resource Development: A Vision 2010 and Beyond, IE (I), Orissa State Centre, Bhubaneswar.
- Çeteci, M. 1999. Bilgisayar yardımıyla Isı değiştiricisi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95 s.
- Eryener, D. 2006. Thermoeconomic optimization of baffle spacing for shell and tube heat exchangers. Energy Conversion and Management, 47, 1478-1489.

- Florides, G. A., Kalogirou, S.A., Tassou, S.A., Wrobel, L. C. 2003. Design and construction of a LiBr-water absorption machine. Energy Conversion and Management, 44, 2483-2508.
- Genceli, O. F. 1999. Isı Değiştiricileri. Birsen Yayınevi, İstanbul, 424 s.
- Ko, K. H., Anand, N.K. 2003. Use of porous baffles to enhance heat transfer in a rectangular channel. International Journal of Heat and Mass Transfer, 46, 4191-4199.
- Li, H., Kottke, V. 1998a. Local heat transfer in the first baffle compartment of the shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement. Experimental Thermal and Fluid Science, 16, 342-348.
- Li, H., Kottke, V. 1998b. Effect of baffle spacing on pressure drop and local heat transfer in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement. International Journal of Heat and Mass Transfer, 41, 1303-1311.
- Özçelik, Y. 2007. Exergetic optimization of shell and tube heat exchangers using a genetic based algorithm. Applied Thermal Engineering, 27, 1849-1856.
- Ravagnani, M.A.S.S., Caballero, J.A. 2007. Optimal heat exchanger network synthesis with the detailed heat transfer equipment design. Computers and Chemical Engineering, 31, 1432-1448.
- Selbaş, R., Kızıllkan, Ö., Reppich, M. 2006. A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view. Chemical Engineering and Processing, 45, 268-275.
- Shih, C., 2007. Thermal-Fluids I, Lecture Notes. <http://www.eng.fsu.edu/~shih/eml3015/lecture%20notes/heat%20transfer%20examples.ppt> (Erişim tarihi: 01.12.2007).
- Soltan, B. K., Avval, M. S., Damangir, E. 2004. Minimizing capital and operating costs of shell and tube condensers using optimum baffle spacing. Applied Thermal Engineering, 24, 2801-2810.
- Thome, J.R. 2004. Engineering Data Book III. Wolverine Tube Inc. <http://www.wlv.com/products/index.html> (Erişim tarihi: 11.10.2007).
- Yılmaz, M., Şara, O. N. 2000. Isı Değiştirici Seçimi. Mühendis Makine, Kasım 2000 - Sayı 490. <http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2000/kasim/isi.htm> (Erişim tarihi: 10.10.2007).