



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **KANATLI BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİ ISIL / HİDROLİK PERFORMANSINI ETKİLEYEN İYİLEŞTİRME VE TASARIM PARAMETRE SEÇİMLERİNİN SİSTEM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**METE ÖZŞEN  
HÜSEYİN ONBAŞIOĞLU  
FRİTERM**

# KANATLI BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİ ISIL / HİDROLİK PERFORMANSINI ETKİLEYEN İYİLEŞTİRME VE TASARIM PARAMETRE SEÇİMLERİNİN SİSTEM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

*Investigation of the Improvements on Thermal/Hydrolic Performance of Finned and Tube Type Heat Exchanger and Effects of Coil Parameter Selection on System Performance*

**Mete ÖZŞEN**  
**Hüseyin ONBAŞIOĞLU**

## ÖZET

Kanatlı borulu ısı değıştircileri ısıtma/soğutma sistemlerinin en önemli bileşenleridir. Bu bileşenin ısı veya hidrolik performanslarını (ısı kapasite veya basınç düşüşü) arttıracak iyileştirmelerin sistem performansına etkileri de göz önüne alınmalıdır. Yapılacak iyileştirmelerin yanında ısı değıştirci tasarım parametreleri (hatve, boruların dizilimi, geçiş sayısı, boru uzunluğu vb...) seçiminde değışiklikler yapılarak sistem performansını daha da arttırmak mümkündür. Günümüzde, iyileştirmelerin ve tasarım parametrelerindeki seçimlerin etkilerinin incelenmesi bilgisayar programları yardımıyla kolay bir şekilde elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, tasarım iyileştirme örneği olarak panjurlu kanatların etkisi, sistem örneği olarak da kanatlı borulu ısı değıştirci ve fanın oluşan yapı ele alınmıştır. Sistem şartlarına göre tasarım parametrelerinden sıra sayısı ve hatve değerlerinin belirlenmesi tartışılmıştır. Ayrıca sistemde kullanılan fan devrinin tasarıma olan etkisi incelenmiştir. Yapılacak tüm analizlerde doğruluğu deneylerle kanıtlanmış kanatlı borulu ısı değıştirci tasarım ve seçim programı olan "FrtCoils" kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kanatlı borulu ısı değıştirci, Fan, Sıra sayısı, Hatve, Kanat tipi, Panjurlu kanat, kaburgalı kanat, Fan devri

## ABSTRACT

Fin and tube type heat exchangers are the most important part of heating and cooling systems. The effects of the improvements that helps enhance thermal or hydrolic performances (heat capacity or pressure drop) should be examined in terms of system performance. Besides the improvements it is possible to enhance system performance by changing design parameters (fin pitch, arrangement of the tubes, pass number, tube length etc...). The current technology enables us investigate various effects of the design parameters and improvements with the aid of a suitable software.

In this study, louvered fin effect was examined as improvement example and structure that consists of fin-tube heat exchanger and fan was considered as system example. Determining the row number and fin pitch among the design parameters was investigated according to system conditions. In addition the effect of fan revolution on the heat exchanger design parameter was investigated. All analyses were done by using "FrtCoils" that is fin and tube heat exchanger design and selection software.

**Key Words:** Fin and tube type heat exchanger, Fan, Row number, Fin pitch, Fin type, Louvered fin, corrugated fin, Fan revolution

## 1. GİRİŞ

Kanatlı borulu ısı değiştiriciler belirli aralıklarla birbirine paralel olarak dizilmiş ince levhalardan (kanat) ve bu kanatlara belirli bir düzen ile açılan deliklerden, kanada dik olarak, geçirilen borulardan oluşmaktadır. Genelde dış ortamdan yani kanatlar arasından hava, boru içinden ise akışkan (örn. Su, Glikol, R404A, R134A vb...) akmaktadır. Uygulamada, klima santrallerinde sulu ısıtma/soğutma bataryası veya buharlaştırıcı (evaporatör) ve yoğunlaştırıcı (kondenser) bataryası, trafo ve enerji sistemlerinde yağ soğutucu, enerji santrallerinde soğutma sıvısı soğutucu (kuru soğutucu), gıda depolama amacıyla yapılan soğuk odalarda oda soğutucu, soğutma çevrimlerinde hava soğutmalı yoğunlaştırıcı (kondenser), -50°C düşük sıcaklıklarda şok dondurucu, fabrikalarda proses sıvısı soğutucu, buhar ısıtmalı sistemlerde buhar bataryası, ısı geri kazanım bataryaları, doğal gaz depolama tesislerinde gaz soğutucu, transkritik CO<sub>2</sub> soğutma çevrimlerinde buharlaştırıcı ve gaz soğutucu vb. olarak kullanılmaktadır.

Kanatlı borulu ısı değiştiriciler istenilen ısı kapasite ve basınç kayıpları limitlerine göre tasarlanabilmektedir. Uygun tasarıma ulaşmak için belirlenmesi gereken birden fazla tasarım parametresi bulunmaktadır. Bunlar; borular arası dikey ve yatay mesafe, boru çapı, iki kanat arası mesafe (hatve), kanat kalınlığı, hava akışına dik boru sayısı, hava akışı yönünde boru sayısı (sıra sayısı), boru uzunluğu ve akış geçiş sayısıdır. Bu değişkenlerin yanında tasarımı etkileyen en önemli parametre kanat tipi ve boru tipidir çünkü akış koşullarını etkileyen değişkenlerdir. Bu yüzden ısı ve hidrolik performansı iyileştirmenin bir yolu olarak kanatlar üzerindeki (dış) ve boru içindeki (iç) akışı iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Dış taraf taşınım katsayısını arttırmaya yönelik literatürde yapılan çalışmalar ile değişik kanat tipleri geliştirilmiştir. Bunlar arasından en bilineni düz, kaburgalı ve panjurlu kanat tipleridir. Yapılan çalışmalardan "Hsieh & Jang" [1] panjurlu kanatların panjur açıları üzerinde sayısal çalışma yapmıştır. Yaptığı analizler sonucunda aynı ısı kapasite, sıcaklık farkı ve pompa gücünde düz kanatlara göre alanın %25,5 oranında azaltılabileceği sonucuna varmıştır. "Tao ve diğ." [2] kaburgalı kanat tipinde kaburga açısının etkisini sayısal olarak incelemiştir. Kaburga açısının artması ile Nusselt sayısının ve sürtünme faktörü değerlerinin artacağı sonucuna varmıştır. Bir diğer çalışma olan "Wang ve diğ." [3] düz, panjurlu ve girdap üreteçli kanatlar üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Sıra sayısı, hatve ve hava hızına bağlı olarak en iyi ısı performansını veren kanat tipinin değiştiğini göstermiştir.

Kanat tipi çalışmalarının yanında ısı değiştirici tasarım parametrelerinin ısı ve hidrolik performans üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır. "Wang ve diğ." [4] kaburgalı kanat tipi için sıra sayısı ve hatve değişiminin etkisini deneysel olarak incelemiştir. Düşük Reynolds sayılarında sıra sayısındaki artışın ısı performansını kötüleştirdiğini vurgulamıştır. 1,7 mm hatvede sıra sayısının 1' den 16' ya çıkması ile ısı performansının %85 oranında azaldığı sonucuna varmıştır. Ayrıca yüksek sıra sayılarında hatve değerinin artmasının ısı performansını iyileştirdiğini belirtmiştir. "Tao ve diğ." [2] kaburgalı kanat tipinde hatve ve sıra sayısının etkisini inceleyen bir diğer çalışmadır. Çalışmasını sayısal olarak gerçekleştirmiştir. ısı performans için sıra sayısının 3 değerinden düşük olmasını tavsiye etmiştir. Hatve değeri arttıkça da Nusselt sayısının önce arttığını sonra da sürekli azaldığını, sürtünme katsayısının ise sürekli azaldığını vurgulamıştır. "Halıcı ve diğ." [5] sıra sayısının etkisini farklı hava hızlarında incelemiştir. İncelenen tüm Reynolds sayılarında sıra sayısı arttıkça Colburn ve sürtünme faktörlerinin azaldığını vurgulamıştır.

Isı değiştirici performansını etkileyen değişikliklerin ısı değiştiricilerin kullanıldığı sistem performansını etkilemesi kaçınılmazdır. Bu etkiler genelde sistemdeki fan veya pompa performansı ile ilgilidir. Bu çalışmada ısı değiştirici tasarımının sistem üzerindeki etkileri araştırılmış ve bu etkilere göre tasarım parametresi seçiminde önerilerde bulunulmuştur. Ele alınan sistem fan ve kanatlı borulu ısı değiştiriciden oluşmaktadır. Ayrıca ısı performansı iyileştirici etkisi bulunan panjurlu kanat tipinin kullanılmasının sistem üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Analizler kanatlar üzerinden hava ve boru içinden ise su akışı olacak şekilde yapılmıştır. Yapılan incelemeler doğruluğu deneylerle kanıtlanmış kanatlı borulu ısı değiştirici hesaplama yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

## 2. HESAPLAMA YÖNTEMİ

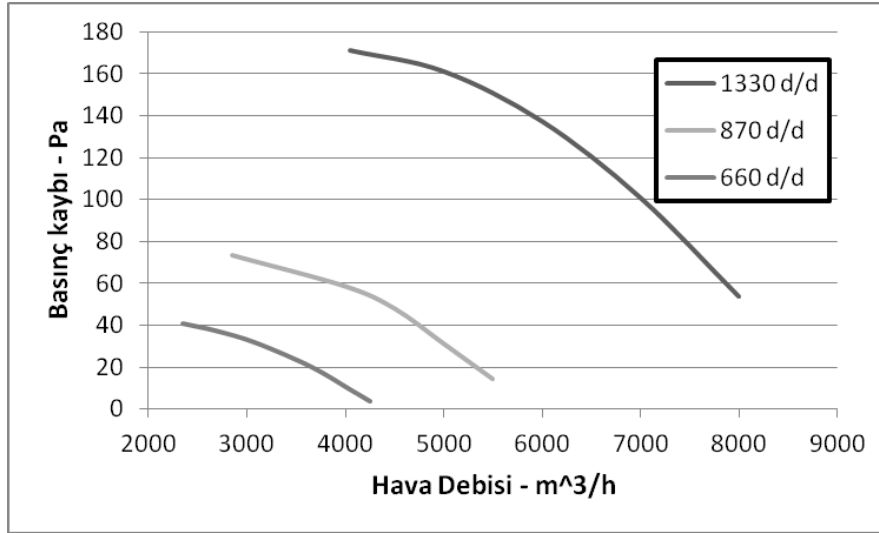
İncelenen sistem kanatlı borulu ısı değıştirci ve fandan oluşmaktadır. Fanın alışma noktasını belirlemek için üretici firma tarafından sağlanan hava debisi basınç kaybı eğrileri kullanılmıştır. Bu eğriler Şekil 1' de gösterilmiştir. Fan eğrilerinden 3. dereceden polinom denklemleri (Denklemler 1,2,3) elde edilmiştir. Çıkarılan bu denklemler sayesinde belirli bir hava debisine karşılık fanın karşılayabileceği basınç kaybı bulunmaktadırdır.

Sistemdeki fanın çalışma noktasını belirlemek için iteratif bir yöntem izlenmiştir. İterasyonda hava debisi tahmin edilen değerdir. Hava debisine karşılık gelen ısı değıştirci basınç kaybı değeri ve fan denklemlerinden bulunan fan basınç kaybı değeri karşılaştırılan değerlerdir. İterasyona karşılaştırılan basınç kaybı değerleri arasındaki fark  $\pm 1$  Pa değerinden küçük olana kadar devam edilmiştir. İstenilen farkın elde edildiği hava debisi fan çalışma noktasındaki debi olarak kabul edilmiştir.

$$P_{1330} = 6,0367V^3 - 109,19V^2 + 205,91V + 69,381 \quad (1)$$

$$P_{870} = 27,346V^3 - 178,21V^2 + 219,65V - 2,654 \quad (2)$$

$$P_{660} = 25,874V^3 - 150,38V^2 + 137,94V + 7,8268 \quad (3)$$



Şekil 1. Sistemde kullanılan fanların karakteristik eğrileri

Isı değıştircide oluşan basınç kaybı değerini hesaplama yazılımından elde edilmiştir. Bu programla elde edilen basınç kaybı değerlerinin hesaplama doğruluğu "Özşen&Şahin" [6] tarafından açıklanan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 1' de hesaplanan basınç kaybı değerleri ile test sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Hesaplama ile test sonuçları arasında ortalama % 7,13 fark elde edilmiştir. Bu fark standartta [7] belirtilen % 15 limit içinde olduğundan hava tarafı basınç kaybı hesaplama yönteminin uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 1. Hava tarafı basınç kaybı hesaplama yöntemi doğrulama test sonuçları

		Test Numarası*			
		1	2	3	Ortalama Fark %
Test	Hava Basınç Kaybı - Pa	54	8	143	
Hesaplama	Hava Basınç Kaybı - Pa	50,43	7,01	142,73	
	Fark - %	7,07%	14,14%	0,19%	7,13%

\* Test koşulları için "Özşen&Şahin" [6] kaynağından Ek-1' e bakınız.

Isı değiştirici ısı kapasite hesabı "Ortalama Logaritmik Sıcaklık Farkı (LMTD)" yöntemi ile yapılmıştır. Programının hesaplama yöntemi [6], [8] ve [9] nolu kaynaklar tarafından açıklandığından burada değinilmemiştir. "Özşen&Şahin" [6] tarafından yazılımdan elde edilen sonuçların doğruluğu ispatlandığından burada detay verilmeyecektir.

Bunların yanında karşılaştırmalarda kullanılan panjurlu kanat tipi için hava tarafı taşınım katsayısına ve basınç kaybına ait hesaplamalar için "Wang ve diğ." [10] tarafından verilen bağıntılar kullanılmıştır. Panjurlu kanat tipi ile elde edilen sonuçların doğruluğu için yapılan test sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 2' de verilmiştir. Testler fanlı montajlı ürünler üstünde gerçekleştirilmiştir. Prototip ve test detayları Ek-1' de açıklanmıştır. Test ve hesaplama sonuçları arasındaki fark kapasite için ortalama %-3,7 olup bu değer standartta [7] belirtilen  $\pm 8$  limit içindedir.

Fan tarafından sağlanan hava debisi basınç kaybına göre değiştiği için hava debisinin doğru hesaplanması basınç kaybının da doğru hesaplandığını göstermektedir. Bu yüzden basınç kaybının doğruluğu hava debisi karşılaştırması ile incelenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan hava debileri arasındaki fark ortalama %-0,77 olup bu değer standartta [7] belirtilen  $\pm 10$  limiti içine girdiğinden basınç kaybı hesaplaması sonuçları doğru kabul edilmiştir. Bu sonuç aynı zamanda fan hesaplama mantığının da doğru olduğunu göstermektedir.

**Tablo 2.** Panjurlu kanat tipi ısı kapasite ve basınç kaybı-hava debisi hesaplama yöntemi doğrulama test sonuçları

Prototip No	Fan Devri - d/d	Kapasite - kW		Kapasite Farkı - %	Hava Debisi - m <sup>3</sup> /h		Hava Debisi Farkı - %
		Test	Hesaplama		Test	Hesaplama	
1	1330	11,497	12,005	-4,23%	6555	7268	-9,81%
	940	10,193	10,408	-2,07%	5113	5179	-1,27%
2	1330	14,113	15,071	-6,36%	6391	6602	-3,19%
	940	11,573	12,232	-5,39%	4764	4539	4,96%
3	1330	15,253	16,298	-6,41%	5823	5840	-0,30%
	940	12,769	12,487	2,26%	4275	3928	8,84%

### 3. TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Isı değiştirici tasarım parametresi değişikliklerinin sistem performansı üzerindeki etkilerini incelemek için karakteristikleri Denklem 1, 2 ve 3 ile verilen 500mm çaplı fan ve Tablo 3' de belirtilen özelliklerde kanatlı borulu ısı değiştirici ele alınmıştır. Tasarım parametrelerinden sıra sayısı ve hatve değişiminin etkileri farklı fan devirlerinde incelenmiştir. İnceleme sırasında ısı performansı iyileştirici etkisi bulunan panjurlu kanat tipi mevcutta kullanılan kaburgalı kanat tipi ile karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3.** Karşılaştırmalarda kullanılan kanatlı borulu ısı değiştirici özellikleri

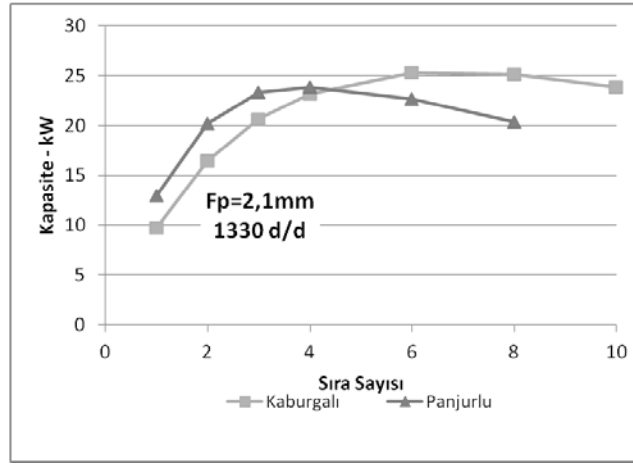
XT [mm]	XL [mm]	NT	NR	F <sub>p</sub> [mm]	NC	Lic [mm]	D <sub>dış</sub> [mm]	Kanat Kalınlığı [mm]	Boru Kalınlığı [mm]
31,75	27,5	24	1,2,3,4,6,8,10	2,1-2,5-3,2	12	800	9,525	0,15	0,3

İncelenen değişkenlerin ısı değiştirici hidrolik performansına etkisi direk fan çalışma noktasını değiştirmektedir. Bu da sistemde oluşan hava debisini yani hava hızını değiştirmektedir. Sonuç olarak ısı değiştirici hidrolik performanstaki değişimler fan çalışma noktasını etkileyerek sisteme yansımaktadır. Bu yüzden karşılaştırmalar direk ısı kapasitedeki değişime göre yapılmıştır.

Karşılaştırmalarda hava 25 °C kuru termometre ve %50 bağıl nem koşullarında girecek şekilde ayarlanmıştır. Boru içi tarafında akışkan olarak su alınmıştır ve su giriş sıcaklığı 40 °C ve su giriş debisi 4m<sup>3</sup>/h olarak alınmıştır.

### 3.1. Sıra Sayısı Etkisi

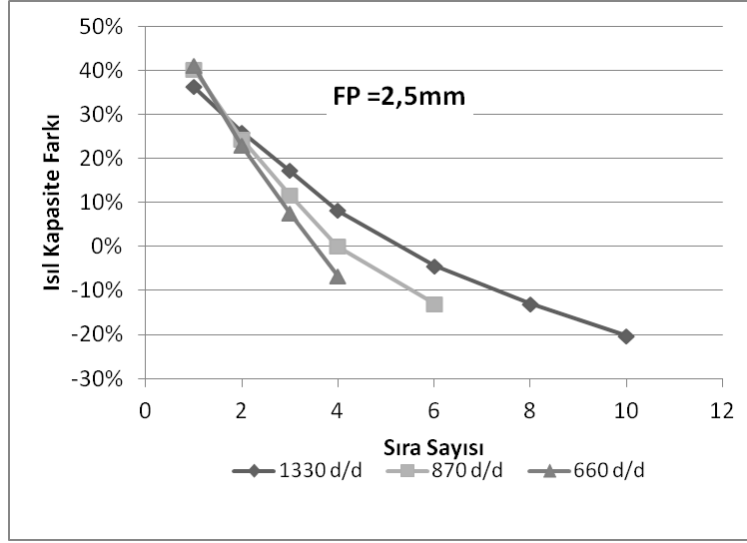
Şekil 2' de sıra sayısı değişimine karşılık kapasitede meydana gelen değişimler 2,1 mm hatve ve 1330 d/d fan devri için farklı kanat tiplerinde gösterilmiştir. Her iki kanat tipinde sıra sayısı artışı ile kapasite önce artmış daha sonra ise azalmıştır. Sıra sayısındaki artış ile yüzey alanı ve basınç kaybı artar. Yüzey alanındaki artış kapasiteyi artırıcı yönde etkilemesine karşılık basınç kaybındaki artış kapasiteyi azaltıcı yönde etkiler. Basınç kaybının artması ile kapasitenin azalması, fanın sağladığı hava debisi ve doğal olarak hava hızının azalmasından kaynaklanmaktadır. Belirli bir sıra sayısından sonra hava hızındaki düşüşün etkisi daha baskın olmuş ve alanın artmasına rağmen ısı kapasite düşmüştür. Isıl kapasitenin olumsuz yönde etkilendiği sıra sayısı kanat tipine göre değişmektedir. Kaburgalı kanat tipinde 6 sıradan sonra panjurlu kanat tipinde ise 4 sıradan sonra ısı kapasite azalmaktadır. Belirtilen sıra sayılarından daha büyük tasarımların yapılması alanı yani maliyeti arttırmasına rağmen ısı kapasiteyi düşürecektir.



Şekil 2. Sıra sayısına göre sistemin ısı kapasite değişimi. (1330 d/d ve 2,1 mm hatve için)

Şekil 2' de görüleceği üzere 4 sıra sayısından büyük sıralarda panjurlu kanat tipi ile elde edilen ısı kapasite kaburgalı kanat tipine göre daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi panjurlu kanat tipinde hidrolik performanstaki düşüşün belli bir sıra sayısından sonra fan performansını daha çok etkilemesidir. Fan performansındaki bu düşüş panjurlu kanadın getirdiği ısı performans üstünlüğünün önüne geçmektedir. Bu sonuç panjurlu kanat tipi iyileştirmesinin tasarım parametresi seçimi üzerindeki etkisini göstermesi açısından önemlidir.

Panjurlu kanat tipi kullanımında sıra sayısının seçimi fan devrine göre de değişiklik göstermektedir. Şekil 3' de 2,5mm hatve değeri için sıra sayısına bağlı olarak kaburgalı ve panjurlu kanat tipleri arasındaki ısı kapasite farkı değişik fan devirlerinde gösterilmiştir. Pozitif yüzde değeri panjurlu kanat tipinin negatif yüzde değeri ise kaburgalı kanat tipinin daha iyi ısı kapasite verdiğini göstermektedir. 660 d/d, 870 d/d ve 1330 d/d fan devirleri için sırasıyla 3, 4 ve 5 değerinden büyük sıra sayılarında panjurlu kanat tipi kullanımı uygun değildir.



**Şekil 3.** Panjurlu ve kaburgalı kanat tiplerinde ısı kapasite farkının sıra sayısına göre değişimi (2,5 mm hatve için)

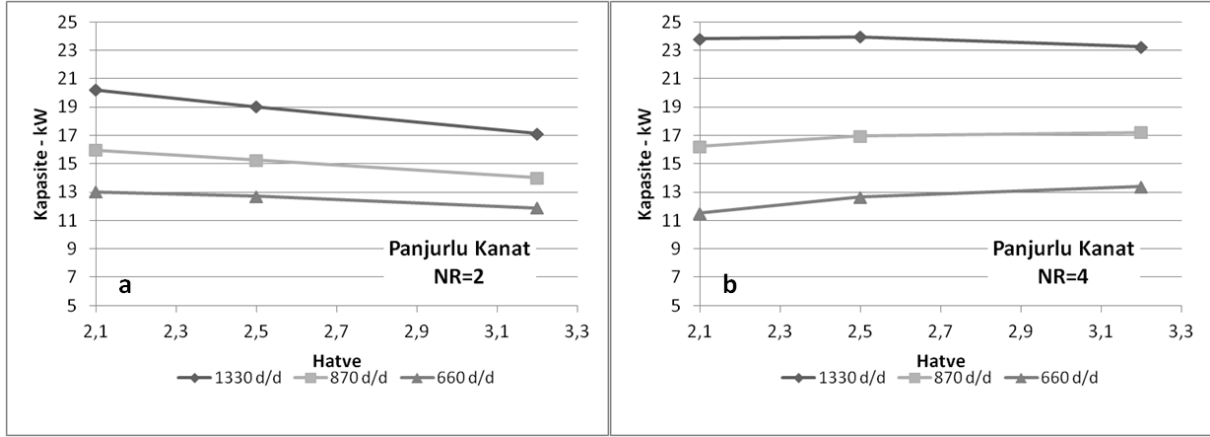
Sıra sayısının artışı basınç kaybını arttıracığından fan performansının düşeceği vurgulanmıştı. Şekil 2' de 10 sıra sayısı için panjurlu kanat tipinde herhangi bir sonucun olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi bu noktanın fanın verimli çalışma bölgesinin dışında kalmasıdır. Fan üreticisinin belirlediği bu bölge içinde kalan minimum hava debisinde ısı değiştiricide oluşan basınç kaybını fan karşılayamamaktadır. Bu durumda daha güçlü bir fan kullanılması gerekmektedir. Fan devri azaldıkça verimli bölgenin dışında kalan sıra sayısı değeri de düşmektedir. Şekil 3 incelendiğinde 660 d/d ve 870 d/d fan devri için sırasıyla 4 ve 6 sıra sayısından büyük değerlerde fan çalışma noktasının verimli bölgenin dışına çıktığı görülmektedir.

Sıra sayısının uygun değerinin belirlenmesi hatve ve fan devrine bağlı olarak değişmektedir. Ek 2' de yer alan grafiklere bakılarak uygun sıra sayısı değerleri incelenebilir.

### 3.2. Hatve Etkisi

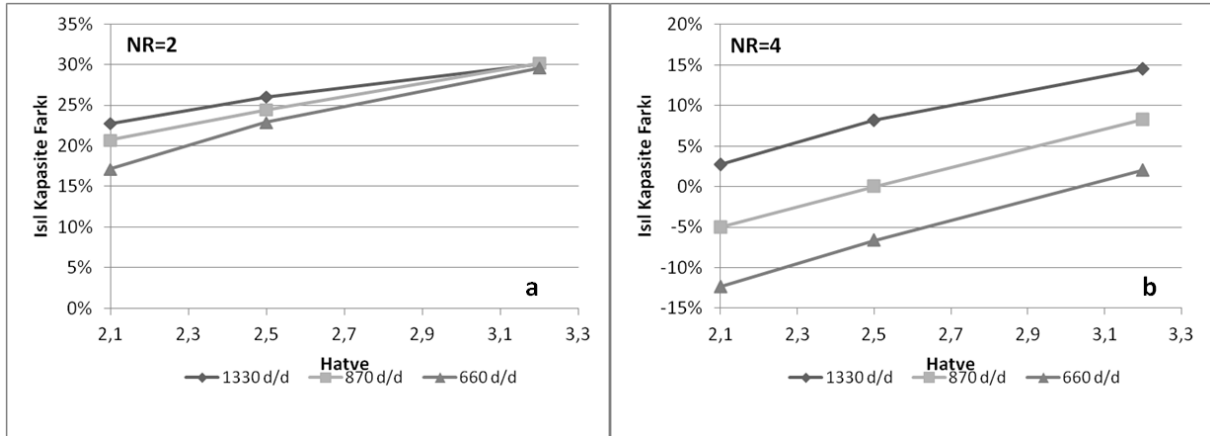
Şekil 4' de panjurlu kanat tipinde 2 sıra sayısı ve 4 sıra sayısı için hatve değişimine bağlı ısı kapasite değişimleri gösterilmektedir. Hatve arttıkça ısı değiştirici alanı azalmaktadır. Bu durum ısı kapasiteyi azaltır. Bunun yanında hatvenin artmasının basınç kaybını düşürücü yani hidrolik performansı artırıcı bir etkisi bulunmaktadır. Basınç kaybının düşmesi fanın sağlayacağı hava debisini arttıracığından ısı kapasiteye artırıcı yönde etkili olacaktır. Bu iki zıt etki belli durumlarda ısı kapasiteye olumlu yansımaktadır. Şekil 4.b' de 4 sıra sayısında hatve arttıkça düşük devirlerde kapasite artmıştır. Bu noktalarda hava debisindeki iyileşmenin etkisi alanın azalmasının etkisinden daha büyüktür. Şekil 5.a' da 2 sıra sayısında ise hatve arttıkça tüm devirlerde kapasite düşmektedir.

Şekil 4.b' den elde edilen bir diğer önemli sonuç ise 4 sıra sayısında 1330 d/d fan devrinde 2,1mm hatve ile 2,5 mm hatve arasında ısı kapasite farkının neredeyse yok denecek kadar az olmasıdır. Daha düşük hatve kullanılması ile alan %18 artmasına rağmen daha az ısı kapasite elde edilmiştir. Ek 2' de (b) ile gösterilen şekilde, 1330 d/d fan devrinde, 2,5 mm hatvede ve 4 sırada panjurlu kanat tipinin kullanılmasının uygun olduğu da görülmektedir. Bu çıkarımlarla belirtilen şartlarda en yüksek kapasiteyi veren hatve değeri olarak 2,5 mm değerinin seçilmesi gerektiği sonucuna varılır.



Şekil 4. Isıl kapasitenin hatve ile değişimi. (Panjurlu kanat tipi) a. 2 sıra sayısında b. 4 sıra sayısında

Kaburgalı ve panjurlu kanat tipleri arasındaki ısı kapasite farkının hatveye bağlı değişimi sıra sayısı ve devir sayısına göre farklılık göstermektedir. Şekil 5' de 2 sıra ve 4 sıra için ısı kapasite farkları yüzdesel olarak görülmektedir. Negatif değerlerde kaburgalı kanat tipi, pozitif değerlerde ise panjurlu kanat tipi daha iyi ısı kapasite vermektedir. 2 sıra sayısında tüm hatve ve fan devirlerinde panjurlu kanat daha iyi ısı kapasite vermektedir. 4 sıra sayısında ise 870 d/d devrinde 2,5mm hatveden, 660 d/d devrinde ise 3,1 mm hatveden büyük değerlerde panjurlu kanat daha iyi ısı performans göstermiştir. Sıra sayısı arttıkça panjurlu kanat tipi büyük hatvelerde daha avantajlı olmaktadır.



Şekil 5. Panjurlu ve kaburgalı kanat tiplerinde ısı kapasite farkının hatveye göre değişimi a. 2 sıra sayısında b. 4 sıra sayısında

## SONUÇ

Isı değiştirici tasarımının fan ve ısı değiştiriciden oluşan sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Fan devrine dolayısıyla karakteristiğine göre uygun ısı değiştirici tasarımının değişeceği görülmüştür.

Isı değiştirici basınç kaybını artırıcı değişikliklerin örneğin sıra sayısının veya hatvenin artması fan performansını azaltacağı ve belli bir değerden sonra bu etkinin sistemin ısı kapasitesini düşüreceği sonucuna varılmıştır. Genel olarak sıra sayısı arttıkça ısı kapasitenin düşmemesi için hatve değerinin yükseltilmesi gerektiği elde edilmiştir. Bu çıkarım "Wang ve diğ." [4] tarafından da elde edilmiştir. Özellikle düşük devirli fanlarda bu durum daha belirgin görülmektedir.



Daha iyi ısı performansına sahip kanat tipi olan panjurlu kanat kullanımı tasarıma göre değişiklik göstermektedir. Bu sonuç "Wang ve diğ." [3] tarafından verilen sonuç ile uyumludur. Yüksek basınç kaybının elde edileceği sıra sayısındaki artış veya hetvedeki azalış bir süre sonra panjurlu kanat ile elde edilecek sistem ısı kapasitesini daha çok düşürmektedir. Bu durumlarda kaburgalı kanat tipine geçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Hangi tasarımda hangi kanat tipinin kullanılacağı da incelemeler sonucu kolayca görülebilmektedir.

Sistemlerde bulunan bileşenlerin tasarımının birbirine olan etkileri ve toplam sistem üzerindeki etkileri oluşturulan bilgisayar programları aracılığıyla kolay bir şekilde analiz edilebilmektedir. Ayrıca hesaplama sonuçlarının doğruluğu da görüleceği üzere uygun ısı değiştirici tasarımına karar verirken önemlidir. Bu yüzden hesaplama yönteminin deneylerle test edilmesi ve doğrulanması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan "Kanatlı Borulu Isı Değiştirici Hesaplama" yazılımının doğruluğu gösterildikten sonra uygun tasarım için karşılaştırmalar yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

## KISALTMALAR

P	Basınç [Pa]
V	Hacimsel debi [ $m^3/s$ ]
XT	Borular arası dikey mesafe [mm]
XL	Borular arası yatay mesafe [mm]
NT	Tek sırada dikeydeki boru sayısı
NR	Yataydaki boru sayısı
Fp	Kanat hatvesi [mm]
NC	Devre sayısı
Lic	Boru uzunluğu (Lamel içi mesafe) [mm]
Ddiş	Boru dış çapı [mm]

## KAYNAKLAR

- [1] Hsieh, C., Jang J., "3-D Thermal-Hydraulic Analysis For Louver Fin Heat Exchangers With Variable Louver Angle", Applied Thermal Engineering, sayı 26, s.1629-1639, 2006.
- [2] Tao, Y.B., He, Y.L., Huang, J., Wu, Z.G., Tao, W.Q., "Three-Dimensional Numerical Study Of Wavy Fin-And-Tube Heat Exchangers And Field Synergy Principle Analysis", International Journal of Heat and Mass Transfer, sayı 50, s.1163-1175, 2007
- [3] Wang, C., Chen, K., Liaw, J., Tseng, C., "An Experimental Study Of The Air-Side Performance Of Fin-And-Tube Heat Exchangers Having Plain, Louver, And Semi-Dimple Vortex Generator Configuration", International Journal of Heat and Mass Transfer, sayı 80, s.271-287, 2015.
- [4] Wang, C., Liaw, J., Yang, B., "Airsides Performance Of Herringbone Wavy Fin-And-Tube Heat Exchangers – Data With Larger Diameter Tube", International Journal of Heat and Mass Transfer, sayı 54, s.1024-1029, 2011.
- [5] Halıcı, F., Taymaz, İ., Gündüz, M., "The Effect Of The Number Of Tube Rows On Heat, Mass And Momentum Transfer In Flat-Plate Finned Tube Heat Exchangers", Energy, sayı 26, s.963-972, 2001.
- [6] Özşen, M., Şahin, N., "Kanatlı Borulu Yoğuşturucularda İki-Fazlı Akış Bağlantılarının Isıl Kapasite Hesabına Etkilerinin İncelenmesi", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan 2015.
- [7] Eurovent RS 7/C/005-2012, "Eurovent Rating Standard for DX Air Coolers, Air Cooled Condenser and Dry Coolers", 2013.
- [8] KOCAMAN Y., TOSUN H., "Yeni Bir Yaklaşımla Kanatlı Borulu Isı Değiştiricilerinin Performans Analizi", X1. Ulusal Tesisat Mühendisliği Sempozyumu, Mayıs 2014
- [9] KOCAMAN Y., TOSUN H., "Kanatlı Borulu Isı Değiştiricileri", Mühendis ve Makine, cilt 54, sayı 646, s. 27-36, 2013
- [10] Wang, C., Lee, C., Chang, C., Lin, S., "Heat Transfer And Friction Correlation For Compact Louvered Fin-And-Tube Heat Exchangers", International Journal of Heat and Mass Transfer, sayı 42, s.1945-1956, 1999.

**EK-1 Panjurlu Kanat Tipi Hesaplama Doğrulama Test Özellikleri**

Panjurlu kanat tipi için hava tarafı ısı taşınım katsayısı ve basınç kaybı bağıntılarının doğruluğun kanıtlamak için yapılan testte kullanılan ısı değiştiricilerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

**Tablo Ek-1.** Panjurlu kanat hesaplama doğrulama çalışmasında kullanılan prototip batarya tasarımları

Prototip No	XT [mm]	XL [mm]	Boru Sayısı	Sıra Sayısı	Geçiş Sayısı	Lic [mm]	D <sub>dış</sub> [mm]	F <sub>p</sub> [mm]	Kanat Kalınlığı [mm]	Boru Kalınlığı [mm]
1	31,75	27,5	24	2	4	800	9,525	2,1	0,12	0,3
2				3	6					
3				4	8					

Kanat ve boru malzemesi sırasıyla alüminyum ve bakırdır. Kanat panjurlu formda olup, boru tipi yivlidir.

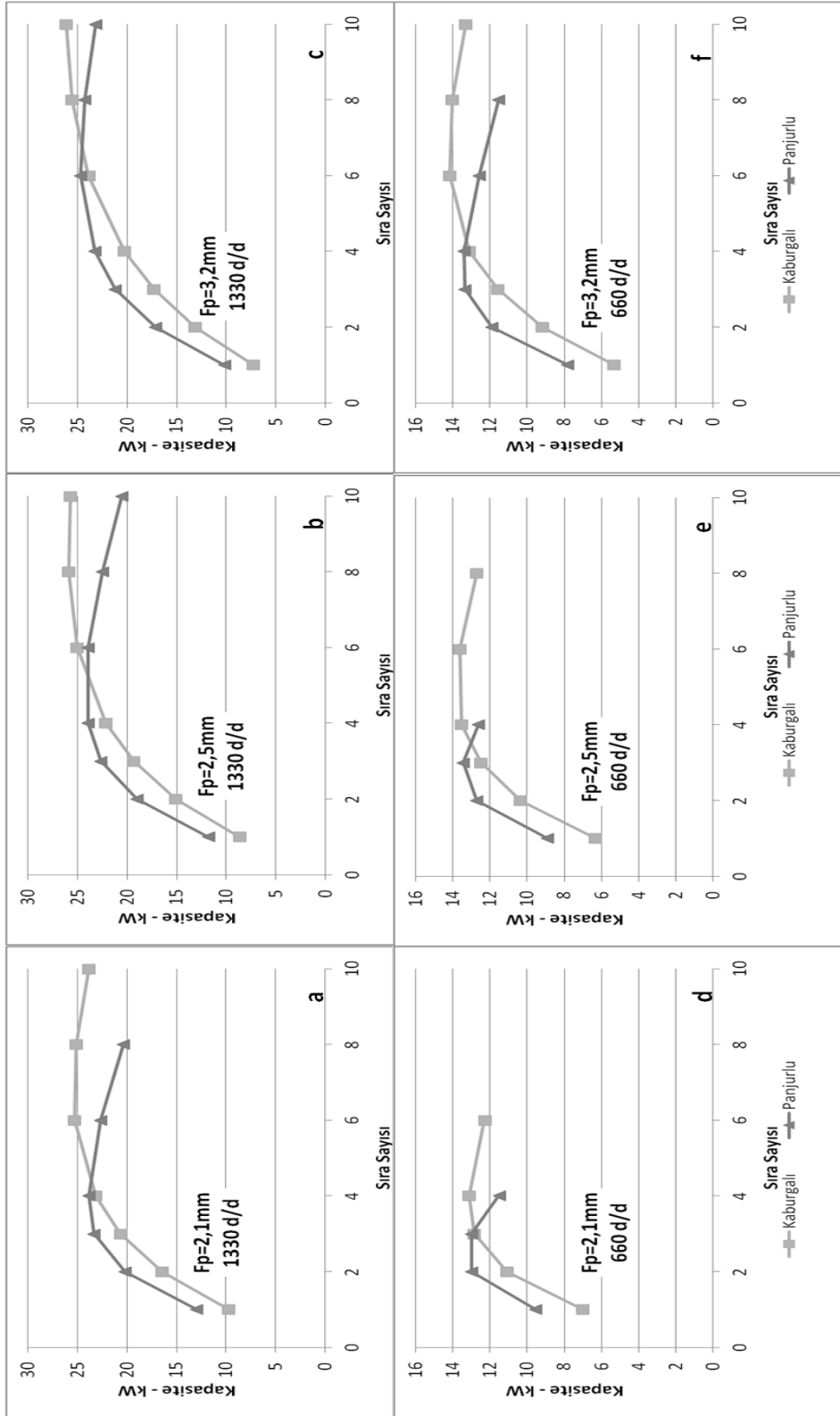
Fanlı kasetli kondenser testi gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği ile ilgili bilgilere Özşen ve Şahin'in [6] çalışmasından ulaşılabilir.

Yapılan test koşulları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Her bir prototip için fanın 1330 ve 940 devrinde ayrı ayrı testleri yapılmıştır.

**Tablo Ek-2.** Test şartları

Hava Giriş Sıcaklığı [°C]	Hava Giriş Bağıl Nemi [%]	Akışkan	Yoğuşma Sıcaklığı [°C]	Kondenser Giriş Sıcaklığı [C]	Aşırı Soğuma Derecesi[°C]
25	50	R404-A	40	65	1

**EK-2 Isıl Kapasitelerin Sıra Sayısına Göre Değişimleri**

**Şekil Ek-1** Isıl kapasitelerin sıra sayısına göre değişimleri. a) Fp=2,1mm / 1330 d/d, b) Fp=2,5mm / 1330 d/d, c) Fp=3,2mm / 1330 d/d, d) Fp=2,1mm / 660 d/d, e) Fp=2,5mm / 660 d/d, f) Fp=3,2mm / 660 d/d



## ÖZGEÇMİŞ

### Mete ÖZŞEN

1986 yılı İskenderun doğumludur. 2008 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2011 yılında aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji programında Yüksek Lisansını tamamlamıştır. 2016 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Isı Proses Doktora Programında Doktora eğitimine başlamıştır. Şu an Friterm Termik Cihazlar Sanayi ve Ticaret A.Ş.' de Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır. Isı transferi konuları üzerine çalışmalarını devam ettirmektedir.

### Hüseyin ONBAŞIOĞLU

1990 yılında, İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezuniyeti ardından, 1993 yılında yüksek lisans ve 1999 yılında da doktora derecelerini almış; ardından 1999 yılında A.B.D. Urbana-Champaign kentinde, University of Illinois bünyesindeki ACRC Laboratuvarlarında 9 ay süre ile misafir araştırmacı statüsünde post-doktora çalışması yapmıştır.

Onbaşıoğlu, 1992 yılında, İTÜ Makine Fakültesinde akademisyen olarak başladığı iş hayatına, 2002-2010 yılları arasında Panel Sistem Soğutma Sanayi firmasında Ar-Ge Müdürü pozisyonunda devam etmiştir. Mühendislik alanındaki değişik konularda İstanbul, İzmir, Bursa, Carsege-Fransa, Pforzheim-Almanya, Contanza-Romanya, Nürnberg-Almanya, Hannover-Almanya kentlerinde birçok seminer, eğitim ve çalışmalara katılmıştır.

Isıtma, soğutma, güneş enerjisi sistemleri, vb. konularda yurtdışı ve yurtiçi dergilerde 10'u aşkın yayın, makale ve bildirileri bulunan ONBAŞIOĞLU, Eylül 2010 Aralık 2014 tarihlerinde İZODER- Isı Su ses Yangın Yalıtımcıları Derneği bünyesinde Proje Yöneticisi olarak, birçok yurtiçi ve AB destekli proje yürütmüş, ortak olarak görev almıştır. Ocak 2015 yılında FRİTERM AŞ'de Ar-Ge Bölüm Müdürü olarak göreve başlayan Onbaşıoğlu halen bu görevine devam etmektedir. Yabancı dil olarak çok iyi derecede İngilizce bilmektedir.