

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KANALSIZ GİZLİ TAVAN TİPİ FANCOIL ISI
DEĞİŞTİRİCİSİNDE HAVA DAĞILIMININ
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Canberk YÜCEL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE İMALAT VE TASARIM
Tez Danışmanı : Dr. Öğretim Üyesi Murat ÖZSOY

Mart 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANALSIZ GİZLİ TAVAN TİPİ FANCOIL ISI
DEĞİŞTİRİCİSİNDE HAVA DAĞILIMININ
OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Canberk YÜCEL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : İMALAT VE TASARIM

Bu tez 26.03.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi.
Murat ÖZSOY
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Hüseyin PEHLİVAN
Üye



Dr. Öğretim Üyesi.
Emre ESENER
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Canberk YÜCEL

05.03.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar hiçbir aşamada yardımını esirgemeyen, beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZSOY'a ve eğitim hayatımda desteği bulunan tüm eğitimlerime teşekkür ederim.

Bilim ve irfan adına atılması gereken tüm adımları hiçbir fedakarlıktan çekinmeyerek; daima eylemleriyle teşvik eden annem Psikolog Serpil YÜCEL ve babam Eğitimci Atila YÜCEL başta olmak üzere tüm aileme minnetlerimi sunarım.

Ayrıca varlıklarıyla, hayatı değerli kılarak anlamlandıran kardeşlerim Özge YÜCEL, Rabia YÜCEL ve kıymetli eşim Gamze YÜCEL'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Isı Değiştirici Üzerindeki Hava Akış Dağılımının ve Hızının Performansa Etkisi	2
2.2. Isı Değiştiricinin Eğim Açısının Performansa Etkisi	3
2.3. Isı Değiştiricideki Fin Hatvesinin Performansa Etkisi	3
2.4. Isı Değiştiricideki Fin Şeklinin Performansa Etkisi	4

BÖLÜM 3.

FANCOIL ÜNİTESİ	7
3.1. Fancoil Ünitesi Hakkında Bilgiler	7
3.1.1. Tanımlamalar ve detaylar	7
3.1.2. Test gereksinimleri	9
3.1.3. Tasarımda teknik gereksinimlerin belirlenmesi	10

3.2. Kullanım Alanlarına Göre Fancoil Ünitesi Çeşitleri	12
3.3. Fancoil Ünitesinin Bileşenleri.....	13
BÖLÜM 4.	
ANALİZ ÇALIŞMASI	16
4.1. Çalışma İçin Belirlenen Fancoil Ünitesinin Özellikleri	16
4.2. Ünitenin Çalışma Prensibi	18
4.3. Analiz İçin Gerekli Tanımlandırmalar ve Detayları	18
4.3.1. Ortam şartları ve FCU girdileri	18
4.3.2. Sınır şartları ve ağ yapısının tanımlanması	19
4.4. Uygulama Metodu	21
4.5. Mevcut Hava Dağılımının Tespiti	21
4.6. 15 Derecelik Kanat Açısında Oluşan Hava Dağılımı	24
4.7. 30 Derecelik Kanat Açısında Oluşan Hava Dağılımı	26
4.8. 45 Derecelik Kanat Açısında Oluşan Hava Dağılımı	27
BÖLÜM 5.	
HAD SONUÇLARI	29
5.1. Isı Değiştiricide Oluşan Hava Dağılımlarının Karşılaştırılması	29
5.2. Tercih Edilen Kanat Tasarımı Verilerinin İyileştirilmesi	32
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif Akım
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
C_p	: Sabit Basıncıdaki Özgül Isı ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)
C_v	: Sabit Hacimdeki Özgül Isı ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)
DC	: Doğru Akım
e-NTU	: Etkinlik - Isı Transfer Ünitesi Sayısı
FCEER	: Fancoil Enerji Verimlilik Oranı
FCOP	: Fancoil Performans Katsayısı
FCU	: Fancoil Ünitesi
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
P	: Dış Statik Basınç (kPa)
P_{high}	: Yüksek Fan Hızında Soğutma Kapasitesi (kW)
P_{low}	: Düşük Fan Hızında Soğutma Kapasitesi (kW)
P_{med}	: Orta Fan Hızında Soğutma Kapasitesi (kW)
$P_{\text{e(c)high}}$: Soğutma Modu Yüksek Hızda Fan Gücü (kW)
$P_{\text{e(c)low}}$: Soğutma Modu Düşük Hızda Fan Gücü (kW)
$P_{\text{e(c)med}}$: Soğutma Modu Orta Hızda Fan Gücü (kW)
$P_{\text{e(h)high}}$: Isıtma Modu Yüksek Hızda Fan Gücü (kW)
$P_{\text{e(h)low}}$: Isıtma Modu Düşük Hızda Fan Gücü (kW)
$P_{\text{e(h)med}}$: Isıtma Modu Orta Hızda Fan Gücü (kW)
Ph_{high}	: Yüksek Fan Hızında Isıtma Kapasitesi (kW)
Ph_{low}	: Düşük Fan Hızında Isıtma Kapasitesi (kW)
Ph_{med}	: Orta Fan Hızında Isıtma Kapasitesi (kW)
Q	: Hava Debisi (m^3/h)
RPM	: Dakikada Devir Sayısı
VG	: Vortex Jeneratörlü Fin

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Fancoil çeşitleri	12
Şekil 3.2. Gizli tavan tipi fancoil ünitesinin başlıca parçaları	13
Şekil 4.1. Kanalsız tavan tipi fancoil ünitesi tasarımı	16
Şekil 4.2. Fancoil ünitesi ısıtma / soğutma çevrimi elemanları	18
Şekil 4.3. Fancoil ünitesi tanımlanan sınırlandırma alanı	20
Şekil 4.4. FCU bakır boru numaralandırması	22
Şekil 4.5. Başlangıç koşulunda ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)	22
Şekil 4.6. Başlangıç koşulunda ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)	22
Şekil 4.7. Kanat tasarımının fan ile ısı değiştirici arasına konumlandırılması	24
Şekil 4.8. 15 derece kanat açısı ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)	25
Şekil 4.9. 15 derece kanat açısı ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)	25
Şekil 4.10. 30 derece kanat açısı ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)	26
Şekil 4.11. 30 derece kanat açısı ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)	26
Şekil 4.12. 45 derece kanat açısı ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)	27
Şekil 4.13. 45 derece kanat açısı ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)	28
Şekil 5.1. Sol fan merkez düzleminde ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları	30

Şekil 5.2. Sağ dan merkez düzleminde ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları	31
Şekil 5.3. 30 derece kanat açısı (L=40 mm) ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)	33
Şekil 5.4. 30 derece kanat açısı (L=40 mm) ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)	33
Şekil 5.5. Kanat uzunluklarının hava dağılımındaki etkisinin karşılaştırılması (Sol fan)	34
Şekil 5.6. Kanat uzunluklarının hava dağılımındaki etkisinin karşılaştırılması (Sağ fan)	35

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Kanalsız fancoil üniteleri için soğutma ve ısıtmada enerji sınıfları	9
Tablo 4.1. Tanımlanan sınır ölçüleri	19
Tablo 4.2. Tanımlanan ağ yapısı detayları	20
Tablo 4.3. Başlangıçta ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları	23
Tablo 4.4. 15 derece kanat açısı ile ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları	25
Tablo 4.5. 30 derece kanat açısı ile ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları	27
Tablo 4.6. 45 derece kanat açısı ile ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları	28
Tablo 5.1. Farklı koşullardaki maksimum hava hızları, kanat uzunluğu L=60mm (Sol fan)	29
Tablo 5.2. Farklı koşullardaki maksimum hava hızları, kanat uzunluğu L=60mm (Sağ fan)	30
Tablo 5.3. Yönlendirici kanat uzunluklarına göre hava hızı verileri (Sol fan)	34
Tablo 5.4. Yönlendirici kanat uzunluklarına göre hava hızı verileri (Sağ fan)	35
Tablo 6.1. Kanat tasarımının ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımına etkisi (Sol fan)	37
Tablo 6.2. Kanat tasarımının ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımına etkisi (Sağ fan)	37

ÖZET

Anahtar kelimeler: Fancoil, hava dağılımı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

İnsanların barınma gereksinimleri çerçevesinde ortaya çıkan temel ihtiyaçlardan olan ısıtma, soğutma ve havalandırma taleplerini karşılayan bir çok ekipman bulunmaktadır. Bu ekipmanlar arasından, yaygın olarak tercih edilenlerden bir tanesi de kullanıcılara sunduğu avantajlı özellikleri ile fancoil ünitesidir. Az yer kaplaması, modüler yapıda olabilmesi, alçak ses seviyeleri sunması, geniş bütçe yelpazelerine hitap edebilmesi ve düşük enerji tüketimi gibi detaylar fancoil ünitesinin iklimlendirilecek mahallerde tercih edilmesinde rol oynayan önemli sebeplerdendir.

Bu doğrultuda özellikle enerji tüketimi değerlerinin önemi gerek yasal düzenlemeler vasıtasıyla belirlenen sınırlandırmalarla, gerekse üretici firmalar tarafından planlanan tasarım değişikliği hedefleriyle ön plana çıkmaktadır. Aynı şekilde, düşük çevresel etkiye sahip olan sistemlerin geliştirilip üretilebilmesi de ancak verimliliğin yükseltilmesiyle mümkündür. Bu temel sebeplerden ötürü de, verimlilik kavramı önceliklendirilmiş çalışma konularının başında yer almaktadır.

Bu çalışmada ise gizli tavan tipi bir fancoil ünitesine ait ısı değiştiricinin veriminin artırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, oluşturulan tasarım için fan hızı belirlenerek, kuru koşullarda mevcut ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı aracılığıyla incelenmiştir. Isı değiştiricinin alt ve üst kısımlarında önemli derecede düşük olan hava dağılımı tespit edilmiştir. Bu duruma çözüm oluşturarak verimi arttırmak amacıyla, tasarlanan yönlendirici kanat sayesinde hava dağılımının daha homojen bir yapıya dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Kanat açısına göre hava hızı ve dağılımının gösterdiği değişiklik incelenerek, optimum kanat açısı ile tasarlanan parça sayesinde hava akışı iyileştirilmiş ve daha homojen bir dağılım elde edilmiştir.

COMPUTER AIDED DESIGN OF A HEAT EXCHANGER

SUMMARY

Keywords: Fancoil, air distribution, computational fluid dynamics

There are wide range of systems that provide heating, cooling and ventilating requirements as an essential output of inhabitants' accommodation needs. Among these, fancoil unit is one of the most commonly selected equipments by providing users advantageous features. Details such as occupying small space, having the possibility of a modular design, creating low sound levels, catching needs of various budgets and low energy consumption play important role on preference of fancoil units for sites with air conditioning needs.

In this direction, the importance of energy consumption values stand out; not only limited with restrictions that are designated by legislations but also with design change targets that are being planned by manufacturers. Likewise, improvement and production of systems with low environmental impacts are only possible by increasing efficiency. Due to all these root causes, efficiency phenomenon is prioritized among study subjects.

In this study increasing efficiency of a heat exchanger, as a sub part of concealed ceiling type fancoil unit is aimed. Accordingly, by determining rotational speed of fans based on actual design; generated air distribution in dry condition on heat exchanger is investigated via computational fluid dynamics software. Significant low air distribution is detected in lower and higher sides of the heat exchanger. In order to create solution to this issue and to increase efficiency, by designed air distributor, homogenized air distribution is targeted. As a conclusion, differentiation of air velocities and air distribution is investigated based on various angles. By means of the distributor with an optimum design angle, air distribution is improved and more homogenous air distribution is achieved.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, günümüz dünyasının teknoloji, sanayi, üretim ve ekonomi sınırlarını belirleyen en hassas faktörlerden bir tanesidir. Özellikle son senelerde, gerek küresel gerekse milli ölçekte enerji verimliliği çok daha önemli bir hal almıştır. Enerji tüketimi kısıtlamaları çeşitli yasal düzenlemelerle birlikte sıkılaştırılmış; maliyetin önemini gözettiği kadar verimliliğin yükseltilmesini hedefleyen araştırmalar, geliştirme faaliyetleri ve yatırım çalışmaları kayda değer derecede ivme kazanmıştır. Bunlara ek olarak üreticilerin riayet göstermek zorunda oldukları yasal düzenlemelerin de ötesinde, nihai kullanıcılar bilinçli bir şekilde satın alacakları ürünlerin tercihinde daha yüksek verimlilik arayışı içerisine girmiştir.

Söz konusu durumlar göz önünde bulundurulduğunda ısıtma, soğutma ve iklimlendirme alanlarında da aynı arayışın geçerliliği kaçınılmazdır. Özellikle yaşam ortamlarının, mahallerin ve odaların en kayda değer tüketimlerini oluşturarak yüksek maliyetlere sebebiyet verebilen bu ihtiyaçlar, kişiler için finansal olarak büyük önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda ortaya çıkan ihtiyaçları karşılamak üzere bireysel klimalar, kombi sistemleri, klima santralleri, hibrit sistemler gibi bir çok çözüm imkanı bulunmaktadır. Bunların içerisinde, özellikle çoklu uygulama taleplerine uygun maliyetler ve teknik özelliklerle, fancoil üniteleri ön plana çıkmaktadır. Farklı kurulum kombinasyonları sayesinde esnek çözümler de sunabilen bu ekipmanların kullanımı, nüfus artışına paralel olarak mimari yatırımlardaki yükseliş göz önünde bulundurulduğunda, gün geçtikçe daha da yaygın hale gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı da, çalışmanın odak noktasını bir fancoil ünitesi oluşturmuştur.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Isı Değiştirici Üzerindeki Hava Akış Dağılımının ve Hızının Performansa Etkisi

Fan-coil tasarımında, cihazın kompakt yapıya sahip olması büyük önem taşımaktadır. Cihazın soğutma ve ısıtma kapasitesi, fan motorunun çektiği güce, havanın rahatlıkla ortamdanda emilmesine, havanın batarya yüzeyine homojen bir şekilde yayılmasına ve ortama uygun bir hız ve açıda üflenmesine bağlıdır. Cihazın sessiz çalışması için motor ve fan sesinin düşük olması yanında, hava hızının da düşük olması gerekmektedir. Belirli bir hava debisi olan ünitenin içinde, havanın hızı cihazın farklı kesitlerden geçerken değişmektedir. Bu değişimler özellikle batarya giriş yüzeyinde büyük önem taşımaktadır, çünkü hava batarya yüzeyine ne kadar homojen yayılır ise, batarya verimliliği ve dolayısıyla cihazın performansı artar [1].

Isı değiştiricilerin tasarımında, özellikle kompakt ısı değiştiricilerin hava taraflarında, genellikle giriş sıcaklığının ve akış dağılımının üniform olduğu varsayılır. Halbuki, genel itibariyle bu varsayım gerçek koşullarda değişik sebeplerden dolayı realistik değildir. Ana sebeplerden bir tanesi ise üniform olmayan akış ve kötü dağılımdır [2].

Üniform olmayan hava akımı ısı değiştiricilerin performansını etkilemektedir. Zhang [3] havadan havaya ısı değiştirici çeşidinde nümerik simülasyonlar gerçekleştirmiştir ve üniform olmayan bir hava dağılımının ısı değiştiricinin ısı transfer kapasitesini düşürdüğünü ortaya koymuştur [4].

Hava hızı, hava taraftaki kısmi ısı transfer katsayısını etkilediği için önemli bir kriterdir. Hava hızı arttıkça ısı transferi arttığı için daha küçük bir ısı değiştiricisi yeterli olacaktır; bununla birlikte hava tarafta basınç kaybının artması nedeniyle

yüksek hızlarda fan performansı düşer. Bu nedenle hava hızının optimum değerlerde seçilmesi gereklidir [5].

2.2. Isı Değiştiricinin Eğim Açısının Performansa Etkisi

Kaynak işlemi gerçekleştirilmiş ısı değiştiricilerin ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinde eğim açısının etkisi yaş koşullarda deneysel olarak araştırılmıştır. Farklı fin hatvelerine sahip (1,25, 1,5 ve 2,0 mm) üç örnek test edilmiştir. Sonuçlar, ısı transfer katsayılarının eğim açısından etkilenmediğini göstermektedir. Buna karşın, öne eğim ve arkaya eğim arasındaki ihmal edilebilir değişikliklerle beraber, sürtünme faktörleri eğim açısının artışıyla birlikte artmaktadır. Aynı şekilde, fin hatvesinin ısı transfer katsayısı ve basınç düşümü etkisi de değerlendirilmiştir. Kuru ve yaş yüzeylerdeki ısı değişim katsayılarının karşılaştırması açığa çıkarmaktadır ki, kuru yüzeydeki ısı transfer katsayıları yaş yüzeydeki ısı transfer katsayılarından kayda değer derecede yüksektir. Mümkün olan açıklama, yoğuşma drenaj düzeninin göz önünde bulundurulmasıyla belirtilmektedir [6].

2.3. Isı Değiştiricideki Fin Hatvesinin Performansa Etkisi

Yaş şartlarda patlatmalı fin-boru yapısındaki ısı değiştiricilerin boru sırasının, fin hatvesinin, hava tarafı giriş neminin ve kütle transfer performansının incelenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneysel koşullar üç farklı fin hatvesi, iki sıra ve iki giriş bağıl neme göre çeşitlendirilmiştir. Deneysel sonuçlardan, 2 sıralı ısı değiştirici için fin hatvesinin azaltılmasıyla birlikte ısı transfer performansının azaldığı ve sürtünme faktörünün artış gösterdiği belirlenmiştir. 3 sıralı ısı değiştirici için fin hatvesinin ısı transfer performansı üzerindeki etkisi ihmal edilebilirdir. Bağlı bağıl nemindeki değişiklik ise ısı transferine ve sürtünmeye etki etmemektedir. Buna karşın, bağıl nemin yükselmesi ve fin hatvesinin azaltılmasıyla birlikte kütle transfer performansı az miktarda düşüş göstermiştir. Kütle transfer performansı fin hatvesinin azaltılmasıyla birlikte düşüş göstermiştir. Patlatmalı fin-boru tipindeki ısı değiştiricilerin kütle transfer performansı tüp sıra sayısına göre değişiklik göstermektedir [7].

Patlatmalı fin ve düz borulu ısı değiştiricinin termo-hidrolik performansında detaylı bir parametrik analiz gerçekleştirilmiştir ve çeşitli parametrelerin etkileri analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen parametrik analiz çerçevesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Hava tarafındaki daha yüksek direnç sebebiyle fin hatvesindeki azalma verilen bir giriş hava hızında daha yüksek basınç düşüşüne sebep olmaktadır ve bu etki fin hatvesinin belirli bir aralığında hakim değildir. Konvektif ısı transfer katsayısı fin hatvesiyle orantılı olarak artmaktadır ve iyilik faktörü baz alınarak optimum fin hatvesi tercih edilmelidir.
- Yanlamasına ve uzunlamasına boru aralıklarının her ikisinin artışı da patlatmasız yüzey alanlarının artışına sebep vermesi sebebiyle yüksek basınç düşüşüne yol açmaktadır. Bu parametrelerin konvektif ısı transfer katsayısına etkisi patlatma konfigürasyonundaki aynılık sebebiyle oldukça düşüktür.
- Patlatma hatvesinin azaltılması ısı transfer katsayısındaki çok küçük artışla birlikte basınç düşüşünün yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır ve bu sebeple kompakt ısı değiştiricinin iyilik faktörü kayda değer derecede düşüş göstermektedir.
- Kompakt ısı değiştiricideki basınç düşüşü patlatma açısındaki yüksek giriş ve çıkış kayıpları ve yüksek patlatma açısındaki büyük akış engelleri gerekçesiyle büyüktür. Yüksek ısı değişim katsayısına erişmek amacıyla patlatmaya yönlendirilmiş akışı sağlayacak doğru patlatma açısını seçmek en doğrusu olacaktır [8].

2.4. Isı Değiştiricideki Fin Şeklinin Performansa Etkisi

Patlatmalı finli ısı değiştiricilerde fin patlatma geometrisinin optimizasyonu ısı transfer performansını arttırmak ve ağırlık, mesafe ve maliyet gereksinimlerini azaltmak adına temel gereksinimdir. Aynı Şekilde, patlatma kullanımının karlılığını arttırmak amacıyla, hava tarafı ısı transferini ve basınç düşüşünü anlamak en yüksek termal direnci temsil etmesi meydana getirmesi sebebiyle çok önemlidir. Bu maksatla, ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristiklerini belirlemek amacıyla

deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Burada iki farklı konfigürasyon çalışılmıştır. Simülasyon sonuçları e-NTU verileriyle kıyaslanmıştır. Ana sonuçlandırmalar ise şu şekildedir:

- Patlatma açısı, patlatma yüksekliği ya da patlatma kalınlığı gibi finlerdeki ana yapısal özellikleri değiştirmeksizin, boruların bir sırasındaki patlatmalı finlerin dizilişini değiştirerek ısı transfer oranı ve basınç karakteri iyileştirilebilir.
- Her boru sırasındaki patlatmalı finlerin miktarını artırarak (finlerin kuvvetini gözetererek), ısı transfer oranı arttırılmaktadır.
- Bitişik tüplerin arasındaki boşlukların (hava akışını türbülanslı hale getirecek) patlatmalı finlere ihtiyacı bulunmamaktadır, çünkü bu bölgelerde ısı transferi gerçekleşmemektedir.
- Hem simetrik hem de asimetric dizilişteki ısı transfer oranı ve basınç düşüşü göz önünde bulundurulduğunda, simetrik diziliş asimetric dizilişe göre ısı değiştiricilerde daha hafif bir ağırlığa sebebiyet vermektedir. [9]

12 boru sıralı ve 18 mm boru çaplı beş çeşit fin-boru yapısındaki ısı değiştiricinin hava tarafı ısı transferi ve sürtünme karakteristiği deneysel olarak incelenmiştir. Numune örnekleri beş çeşitten oluşmaktadır: kıvrımlı spiral fin, düz fin, yarıklı fin, ön 6 sıranın vortex-jeneratörlü fin ve arka 6 sıranın yarıklı fin ile birleştirilmesiyle oluşturulmuş fin ve delta-kanatlı doğrusal vortex jeneratörlü fin (VG). Farklı çeşitlerdeki ısı değiştiriciler için ısı transfer ve sürtünme faktörleri Reynolds sayılarının 4000'den 10000'e kadar değişkenlik göstermesiyle elde edilmiştir. Bulgulara göre, kıvrımlı spiral fin diğer dört fin çeşidinden daha fazla ısı transferi ve basınç düşüş değeri oluşturmaktadır. Yukarıdaki beş fin çeşidine sahip ısı değiştiricinin hava tarafı performansı üç gruptan oluşturulan kriterle incelenmiştir ve birleştirilmiş fine (önde vortex jeneratörlü fin ve arkada yarıklı fin) sahip ısı değiştiricinin delta kanatlı vortex jeneratörlü fine sahip ısı değiştiriciden daha iyi performansa sahiptir, ve yüksek Reynolds sayılarında yarıklı finin en iyi ısı transfer performansını sunmaktadır [10].

Akış dağılımı ve hızının performansa etkisi, eğim açısının performansa etkisi, fin hatvesinin performansa etkisi, fin şeklinin performansa etkisi gibi çeşitli parametrelerin ısı değiştiriciler üzerinde oluşturduğu etkileri gözlemleyen literatür çalışmaları incelendikten sonra, diğer çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada ısı değiştirici üzerindeki hız dağılımının homojenize edilerek iyileştirilmesi böylelikle fancoil ünitesinde daha üniform bir hava dağılımının elde edilmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM 3. FANCOIL ÜNİTESİ

3.1. Fancoil Ünitesi Hakkında Bilgiler

3.1.1. Tanımlamalar ve detaylar

Bir fancoil ünitesi, soğuk ya da sıcak su kullanarak bir veya daha fazla elektrikli fan sayesinde hava akışının mahale iletimiyle ısıtma ve/veya soğutma fonksiyonları sağlayan fabrika imali üründür.

Ana bileşenleri şu şekildedir:

- Bir veya daha fazla ısı değiştirici,
- Elektrik motoruyla çalışan bir veya daha fazla fan,
- Uygun bir gövde,
- Soğutma esnasında suyu toplayan parçalar,
- Hava filtresi

Toplam Soğutma Kapasitesi (kW): Ünite aracılığıyla havadan alınan, duyulur ve gizli kapasitelerin farkıyla ifade edilen ısı enerjisidir.

Duyulur Soğutma Kapasitesi (kW): Kuru termometre sıcaklığının düşürülmesi aracılığıyla havadan alınan ısı enerjisidir.

Gizli Soğutma Kapasitesi (kW): Soğutma serpantini üzerinden hava yoğuşması aracılığıyla alınan ısıdır.

Isıtma Kapasitesi (kW): Ünite tarafından havaya eklenen toplam ısıdır.

Fan Giriş Gücü (W): Ünite fanı veya fanları tarafından çekilen güçtür.

Su Basınç Düşüşü (kPa): Ünite su devresinin giriş ve çıkış bağlantıları arasında ölçülen negatif basınç farkıdır.

Ses Gücü Seviyesi (dB): Fancoil ünitesi tarafından yayılan toplam ses gücüdür.

A-Ağırlıklı Ses Gücü Seviyesi (dB(A)): Bir gürültü seviyesinin öznel olarak incelenmesine yarayan spesifik bir ölçekteki münferit hesaplamadır.

Hava Debisi (m³/h): Standart koşullarda ünite içerisinden geçen hava hacmidir.

FCEER ve FCOOP: İmalatçılar beyan edecekleri her bir fancoil ünitesi için yüksek, orta ve düşük olarak adlandırılan üç hız seçmektedir. Fancoil Enerji Verimlilik Oranı (FCEER) ve Fancoil Performans Katsayısı (FCOP) aşağıda belirtilen şekildedir:

$$FCEER = \frac{5\%.Pc_{high}+30\%.Pc_{med}+65\%.Pc_{low}}{5\%.Pe(c)_{high}+30\%.Pe(c)_{med}+65\%.Pe(c)_{low}} \quad (1.1)$$

$$FCOP = \frac{5\%.Ph_{high}+25\%.Ph_{med}+70\%.Ph_{low}}{5\%.Pe(h)_{high}+25\%.Pe(h)_{med}+70\%.Pe(h)_{low}} \quad (1.2)$$

Burada,

$P_{c,high,med,low}$: Yüksek, orta ve düşük fan hızlarında standart koşullardaki toplam soğutma kapasitesidir. (kW)

$Pe(c,h)_{high,med,low}$: Yüksek, orta ve düşük fan hızlarında standart koşullardaki fan gücüdür. (kW)

$Ph_{high,med,low}$: Yüksek, orta ve düşük fan hızlarında standart koşullardaki toplam ısıtma kapasitesidir. (kW)

Soğutma ve Isıtmada Enerji Verimlilik Sınıfları: Fancoil ünitelerinde FCEER ve FCOOP değerlerine göre belirlenen A'dan E'ye kadar olan verimlilik ölçeğidir ve aşağıda Tablo 3.1. ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Kanalsız fancoil üniteleri için soğutma ve ısıtmada enerji sınıfları

Sınıf	Soğutma Modu	Isıtma Modu
A	$FCEER \geq 185$	$FCCOP \geq 265$
B	$185 > FCEER \geq 120$	$265 > FCCOP \geq 160$
C	$120 > FCEER \geq 80$	$160 > FCCOP \geq 100$
D	$80 > FCEER \geq 55$	$100 > FCCOP \geq 70$
E	$55 > FCEER$	$70 > FCCOP$

3.1.2. Test gereksinimleri

Standart ve uygulama derecelendirmeleri esnasında Eurovent tarafından yapılan testler, seçilen laboratuarlarda aşağıdaki standartlara riayet edilerek gerçekleştirilmektedir:

Isıl test, EN 1397:2015 "Isı değiştiricileri (eşanjörler)- Isıtıcı/soğutucu (fan coil) üniteler- Sulu- Fanlı performans tayini için deney metotları" standardına göre Eurovent tarafından seçilen fan devrinde (düşük, orta ve yüksek) gerçekleştirilmektedir.

Hava debisi testi (opsiyonel), EN 1397:2015 "Isı değiştiricileri (eşanjörler)- Isıtıcı/soğutucu (fan coil) üniteler- Sulu- Fanlı performans tayini için deney metotları" standardına göre deklere edilen 3 fan devrinde (düşük, orta ve yüksek) gerçekleştirilmektedir.

Ses gücü testi, EN 16583:2015 "Eşanjörler - Hidronik oda fan coil üniteleri - ses gücü seviyesi belirlenmesi" standardına göre deklere edilen 3 fan devrinde (düşük, orta ve yüksek) gerçekleştirilmektedir [11].

3.1.3. Tasarımda teknik gereksinimlerin belirlenmesi

Bir fancoil ünitesi tasarımında teknik gereksinimlerin belirlenmesinde, öncelikli olarak ihtiyaç duyulan ve ortaya konması gereken çıktılar şu şekildedir:

- Isı değiştiricisine ait teknik özellikler (sıra sayısı,kullanılmayacak deliklerin adedi, efektif uzunluk, devre sayısı ve devreleme düzeni)
- Hedeflenen fan hızı
- Hedeflenen ses basıncı seviyesi (yalnız fan operasyonu)
- Hedeflenen hava debisi (yalnız fan operasyonu)
- Q-P (Hava Debisi - Dış Statik Basıncı) karakteristiği

FCU soğutma ve ısıtma kapasitesini ölçerek, ölçüm verilerini doğru bir şekilde değerlendirmek için ise aşağıdaki hususlar net bit şekilde anlaşılmalıdır:

- Fancoil ünitesinde hava tarafı ve su tarafı kapasite ölçüm metotları (Hava entalpi metodu)
- Gizli Isı, Duyulur Isı
- Duyulur ısı faktörünün anlamı ve uygulamadaki kullanımı
- Kapasiteyi ve ona ilişkin karakteristikleri etkileyen ısı değiştirici özellikleri (sıra sayısı, boş delikler, fin hatvesi, efektif uzunluk v.b.), hava debisi, ısı değiştirici üzerindeki hava akış dağılımı, devre sayısı, devreleme düzeni

Q-P Karakteristiğinin Ölçümü:

Fancoil ünitesinde çalışma sınırlarının doğru belirlenmesi çok büyük önem arz etmektedir. Çünkü teknik verileri doğru sınırlandırılmamış ünitelerde titreşim, yüksek ses seviyeleri, parça kırılmaları ve kapasite eksikliği gibi çeşitlendirilebilecek bir çok sorun ortaya çıkabilir. Bu sorunları önleyici bir yaklaşım sergilemek amacıyla şu iki veri çeşitini derinlemesine incelenerek sınırlar belirlenmelidir:

- AC indüksiyon motoru kullanılan ürünlerde, yalnız fan operasyonu ile oluşturulan Q-P karakteristiği
- AC indüksiyon motoru kullanılan ürünlerde, soğutma operasyonu ile oluşturulan Q-P karakteristiği

Aynı ısı değiştirici ve fan sistemine (fan-fan motoru) sahip olsalar dahi, ünitenin yalnız fan modu ve soğutma operasyonu arasında fan devri, hava debisi, iç statik basınç (ısı değiştirici tarafından oluşturulan direnç) gibi konularda farklılıklar bulunmaktadır. Bu sebeple fancoil ünitesinin tasarımını belirlerken her iki karakteristiğe de hakim olmak ve ortaya çıkardıkları sonuçları yorumlamak büyük önem taşımaktadır. Aynı doğrultuda, karakteristiklerde oluşacak farklılıkların iç direnci (Pa) ne kadar arttırdığı veya azalttığını incelemek gerekmektedir. Q-P karakteristik verilerini doğru (veya isabetli) olarak anlayıp değerlendirebilmek adına ise, sistemde kullanılan fan motorunun RPM - Tork karakteristiğine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu bilgiler fan motoru tedarikçisinden edinilebilmektedir.

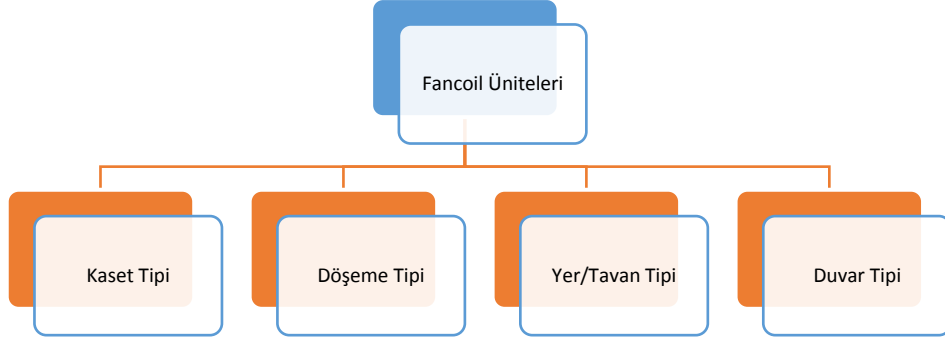
AC Motorun Değerlendirilmesi:

Bir fancoil ünitesine ait AC motorun değerlendirilmesi için başlıca şu kriterlerin incelenmesi gerekmektedir:

- Motor dönüş hızının sürekliliği ve tutarlılığı, üniteden istenilen kapasite değerlerinin düzenli ve kesintisiz bir şekilde çalışabilmesi için gereklidir.
- Motordan gelen ses seviyesinin yüksekliği, ulaşılmak istenen hedef ses seviyesinde en önemli faktörlerden biri olduğu için motor seçimi esnasında göz önünde bulundurulmalıdır.
- Motor sarımının ve yataklamasının sıcaklık artış değerleri, hem standartlarla belirlenmiş sıcaklık artış kriterlerinin sağlanabilmesi hem de alevlenme gibi tehlike arz eden koşulların önlenmesi için önemlidir.

3.2. Kullanım Alanlarına Göre Fancoil Ünitesi Çeşitleri

Kullanım alanları göz önünde bulundurulduğunda fancoil üniteleri Şekil 3.1.'de gösterildiği üzere 4 çeşittir:



Şekil 3.1. Fancoil çeşitleri

Kaset Tipi Fancoil Ünitesi: Kullanım alanı olarak uygulama mahalinin tavanına yerleştirilirler ve tasarımsal yapıları aracılığıyla değerlendirilebilecek iki yöne üfleme, dört yöne üfleme ya da dairesel üfleme olanları bulunur.

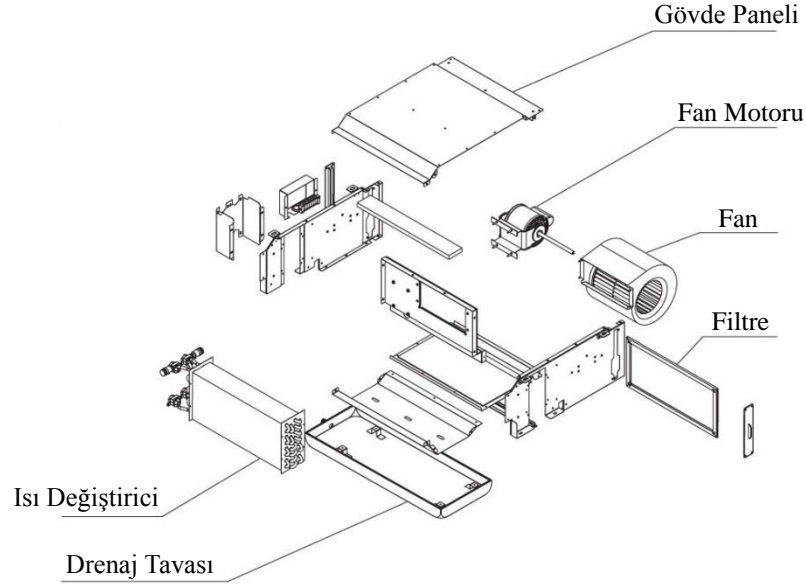
Döşeme Tipi Fancoil Ünitesi: Kullanım tercih alanları, uygun tavan veya döşeme aralığı olmayan mahallerdir ve genellikle pencere önü alanlara yerleştirilirler. Ana olarak döşeme tipi ve gizli döşeme tipi olacak şekilde iki çeşittirler.

Yer / Tavan Tipi Fancoil Ünitesi: Genellikle mahale doğrudan açık olmayan tavan veya zemin aralıklarında kullanılırlar. Havanın odaya yayılması, fancoil atış ağzındaki kanallara bağlanmış menfezlerden gerçekleşir. Düşük, orta ve yüksek statik basınçlı çeşitleri sayesinde farklı basınç yükü tiplerine göre çözüm sunarlar.

Duvar Tipi Fancoil Ünitesi: Asma tavanı bulunmayan ve zemin uygulama alanları kısıtlı mahallerde konfor koşullarını sunmak için tasarlanırlar. Yenileme projelerine kolaylıkla uyum gerçekleştirebilirler.

3.3. Fancoil Ünitesinin Bileşenleri

Fancoil ünitesini oluşturan başlıca bileşenler aşağıda Şekil 3.2. ile gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Gizli tavan tipi fancoil ünitesinin başlıca parçaları

Isı Değiştirici (Eşanjör):

Isı değiştiricilerin ana görevi fancoile emilen havayı iklimlendirerek soğutmak, ısıtmak ya da hava içerisindeki nemi gidermektir. Soğutma operasyonunda sisteme soğuk su, ısıtma operasyonunda ise sıcak su sağlanmaktadır. İlgili standart aracılığıyla belirlenen koşullara göre [11], standart çalışma koşulları soğutma modu için $7^{\circ}\text{C} / 12^{\circ}\text{C}$ (giriş sıcaklığı / çıkış sıcaklığı), ısıtma modu için ise $65^{\circ}\text{C} / 55^{\circ}\text{C}$ (giriş sıcaklığı / çıkış sıcaklığı) olacak şekilde tasarım belirlenmektedir. İki borulu ve dört borulu olarak ayrılan tasarımlarından, iki borulu ısı değiştiricide soğutma operasyonu esnasında ısıtma işlemi gerçekleştirilmez. Dört borulu ısı değiştirici ise iki bağımsız devreleme sayesinde aynı anda ısıtma ve soğutma işlemlerini gerçekleştirebilmektedir.

Isı değiştirici yapısını, havayla temas yüzeyini yüksek oranda artırarak ısı transferine önemli derecede katkı sağlayan fin (genellikle alüminyum malzemenen), içerisinde

geçen sıvı (genellikle su) aracılığıyla sıcaklık farkını yaratan boru (genellikle bakır malzemeden) ve besleme hattına bağlantıya olanak verecek purjörli vanalar (genellikle pirinç malzemeden) oluşturmaktadır.

Sağladığı ısı kapasite değerleri aşağıdaki değişkenlere bağlıdır:

- Efektif uzunluk
- Yükseklik
- Boru malzemesi, kalınlığı, çapı, tipi, sayısı, sırası, mesafesi
- Devre sayısı
- Fin malzemesi, şekli, kalınlığı, hatvesi,

Fan:

Görevi mahalden gelen havayı emerek ısı değiştirici üzerine aktarmaktır. Soğutma, ısıtma ve iklimlendirme sektöründe en fazla tercih edilen çeşitleri çok kanatlı radyal fan ve çok kanatlı aksel fanlardır. Fancoil ünitelerinde ise çok büyük oranda santrifüj fanlar tercih edilmektedir. Polimer ya da galvaniz malzemelerden üretilebilirler. Fancoil ünitelerinde tercih edilecek fan sayısı, hedeflenen kapasite ve ses değerlerine göre değişiklik gösterir.

Fan Motoru:

Kullanım amacı fanlara hareket kazandırmaktır. Fancoil ünitelerinde tasarım kriterleri değerlendirilerek, yapılacak tercihe göre AC ya da DC fan motorları kullanılmaktadır. AC fan motorlarında, önceden belirlenmiş fan hızları arasından seçim yapılarak bağlantı gerçekleştirilir. DC fan motorlarında ise kademesiz hız değişimi mümkündür. Genellikle titreşim ve ses oluşmasını engellemek amacıyla sönümleyici desteklere sabitlenir.

Gövde:

Dış ortama karşı gerek ısıl gerekse mekanik bir koruma sağlayarak hava akışının gerçekleşmesinde rol alır. Çoğunlukla çelik saçlardan ve polimer parçalardan oluşmaktadır. Tasarımının doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi titreşim, ses seviyesi ve hava akışının verimliliği gibi konularda önemli bir etmendir.

Drenaj Tavası:

Görevi soğutma operasyonu esnasında ısı değiştirici veya gövde saçları üzerinde gerçekleşen yoğuşma sebebiyle oluşan suyu toplayarak, suyun tahliye edilmesine yardımcı olmaktır. Doğru tasarlanmadığı takdirde fancoil içerisinden sızıntılara sebebiyet vererek kullanıcı için büyük sorunlar oluşturabilir.

Filtre:

Sınıflandırmasına göre hava içerisinde bulunan partikül ve tozları toplayarak, ısı değiştiricide oluşması muhtemel birikimleri önler ve verimliliği yüksek tutar.

BÖLÜM 4. ANALİZ ÇALIŞMASI

4.1. Çalışma İçin Belirlenen Fancoil Ünitesinin Özellikleri

Akış simülasyonu ile değerlendirilmek üzere, projelerde en yaygın tercih edilen FCU çeşitlerinden olması, kompakt yapısı sebebiyle ısı değiştiricisi hava dağılım değerlerinin daha büyük önem arz etmesi ve kullanım alanlarının düşük dış statik basınçlarda olması gibi başlıca sebepler dolayısıyla kanalsız gizli tavan tipi fancoil ünitesi tercih edilmiştir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Kanalsız tavan tipi fancoil ünitesi tasarımı

Hava dağılımının tespiti ve iyileştirilmesi hedeflenen FCU alt parçaları, Solidworks 2015 CAD yazılımı ile modellenmiş ve parçaların montaj işlemi aynı yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, yazılımın alt modülü olan ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği konusunda çözüm sunan Solidworks Flow Simulation için gerekli modelleme oluşturulmuştur.

Modelleme için tercih edilen ve Şekil 4.1. ile gösterilen fancoil ünitesini oluşturan elemanlara ait özellikler aşağıda verilmiştir:

Boyutlar:

716 x 200 x 612 mm

Hava Filtresi:

G2 sınıfı poliüretan filtre

Fan Motoru:

Tipi: Ayrık kapasitörlü bilyeli yataklı AC fan motoru

Güç Beslemesi: 220 - 240 V / 1 / 50 Hz

IP Koruma Sınıfı: IP20

Kutup: 4 Kutuplu

Fan:

2 adet öne eğimli polimer santrifüj fan

Isı Değiştirici:

Efektif Uzunluk: 500 mm

Sıra Sayısı: 3

Devre Sayısı: 6

Boru Sayısı: 36

Fin Tipi: Düz Fin

Fin Malzemesi: Hidrofilik kaplı alüminyum

Fin Kalınlığı: 0,105 mm

Fin Hatvesi: 1,5 mm

Boru Tipi: Yivli bakır boru

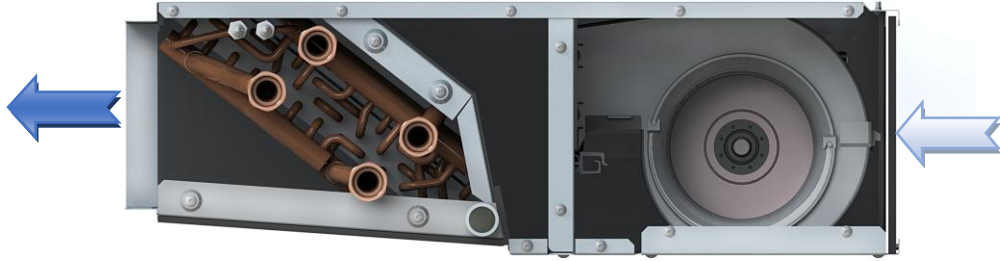
Boru Çapı: 7 mm

Gövde:

0,8 mm galvaniz çelik tasarım

4.2. Ünitenin Çalışma Prensibi

Şekil 4.2.'de ekipman detaylarıyla gösterilen soğutma çevriminde, FCU tarafından mahalden emilen hava fan vasıtasıyla ısı değiştiriciye iletilir. Eş zamanlı olarak, ısı değiştiricinin alt kısmında konumlandırılmış giriş borularından, su girişi gerçekleşir. Mahalden alınan ısı enerjisinin suya aktarılmasıyla üst kısımda konumlandırılan borulardan su çıkışı gerçekleştirilir ve tekrar soğutulmak üzere ana sisteme aktarılır. İklimlendirilmiş hava ise FCU çıkışından ayrılarak yeniden mahale gönderilir ve bu sayede konfor koşulları gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 4.2. Fancoil ünitesi ısıtma / soğutma çevrimi elemanları

Bu sürece kadar belirtilen tüm çalışma şartları göz önünde bulundurulduğunda, ısı değiştiricinin verimli olarak kullanılmasının bakır borular üzerindeki ısı transferini etkilediği belirlenmiştir. Bu sebeple, hava akışının gerçekleştiği ısı değiştirici üzerindeki verileri sayısal olarak incelemek ve HAD yazılımı aracılığıyla analiz gerçekleştirerek akışı daha üniform bir yapıya ulaştırmak hedeflenmiştir.

4.3. Analiz İçin Gerekli Tanımlandırmalar ve Detayları

4.3.1. Ortam şartları ve FCU girdileri

Solidworks 2015 yazılımı ile modellenen fancoil ünitesinin, entegre olarak gelen analiz modülü olan Flow Simulation aracılığıyla değerlendirilebilmesi amacıyla giriş parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu çerçevede, fancoil ünitelerinde hava akış değerlendirmeleri yalnız fan modunda gerçekleştirildiğinden hava akış simülasyonu da yalnız fan modunda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede ortam şartlarında

çalışan ünite de ısı değiştiricide oluşan akış formu tespit edilmiştir. Akış analizi gerçekleştirmek için belirlenen ortam şartlarına ait detaylar ise şu şekildedir:

Ortam akışkanı: Hava (laminer ve türbülanslı akışlı, spesifik ısı oranı $c_p / c_v = 1,399$)

Ortam basıncı: 0,1013 MPa

Ortam Sıcaklığı: 20 °C

Bağıl Nem Oranı: %50

Akış, sıkıştırılmaz ve zamandan bağımsız kabul edilmiştir.

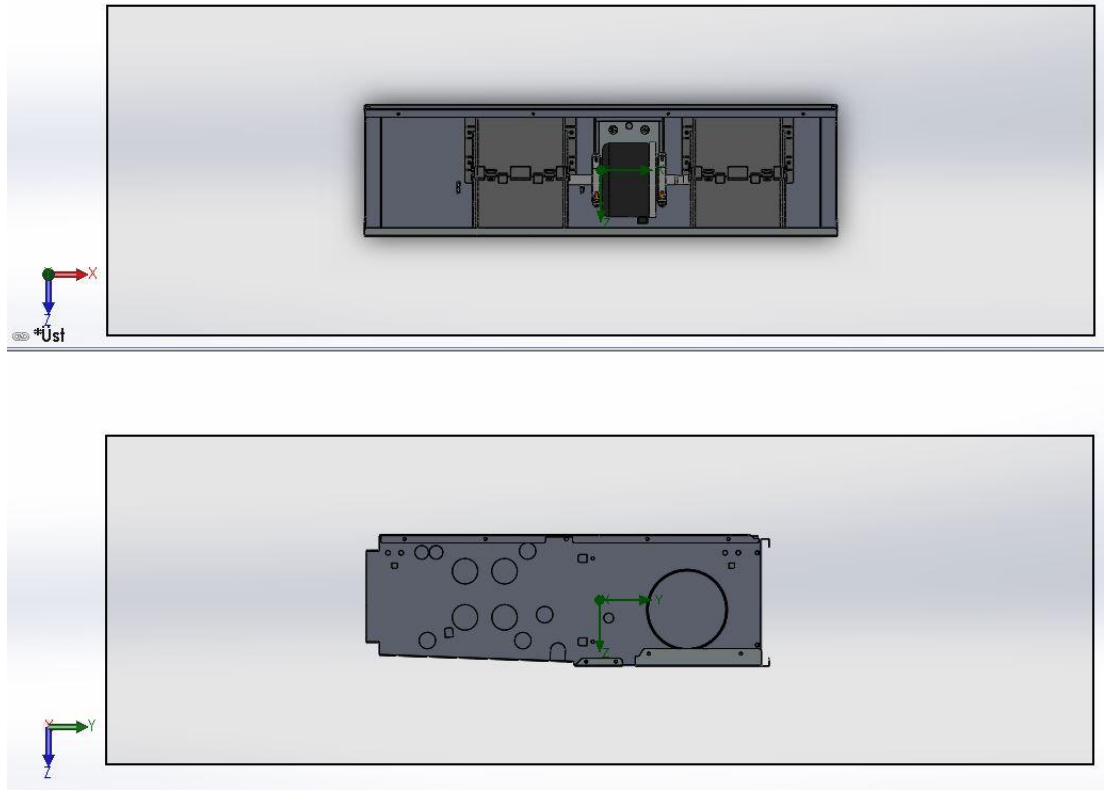
Girdi olmak üzere belirlenmesi gereken bir başka parametre olan fan hızı seçimi için ise esas belirleyici husus, fancoil ünitesini yüksek hız modunda çalıştırmak üzere tanımlanacak fan motor devir sayısının tercihidir. Eğer tasarım kriteri, fan motor gücünün çok düşük olduğu bir bölgeden seçilirse, motor mili ısı değiştirici ve sistemden oluşan yükler sebebiyle, düşük fan devrine alındığında gerekli dönme kuvvetini oluşturamaz ve FCU yerine getirmesi gereken operasyonu gerçekleştirmeyerek ısıtma veya soğutma işlevini sağlayamaz. Bu sebeple, fan motoru üreticilerinden tedarik edilebilecek fan verim eğrileri aracılığıyla optimum fan devir sayısı tercih edilmelidir. Bu çalışmada ise mevcuttaki AC fan motoru çerçevesinde belirlenen fan dönüş hızı 950 RPM'dir.

4.3.2. Sınır şartları ve ağ yapısının tanımlanması

Analizde hesaplama gerçekleştirmek üzere kullanılacak alan, fancoil ünitesinin boyutları ve gerçek uygulamadaki tavan boşluğu koşulları göz önünde bulundurarak tercih edilmiştir. Bu tanımlama ise şekil 4.3. ve ilgili sınır şartlarının lsel detayları ise Tablo 4.1. ile gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Tanımlanan sınır lleri

$X_{min} = - 750 \text{ mm}$	$X_{max} = 750 \text{ mm}$
$Y_{min} = - 750 \text{ mm}$	$Y_{max} = 750 \text{ mm}$
$Z_{min} = - 250 \text{ mm}$	$Z_{max} = 250 \text{ mm}$



Şekil 4.3. Fancoil ünitesi tanımlanan sınırlandırma alanı

Veri analizini gerçekleştirmenin öncesinde, sınır koşullarının tanımlanmasına ek olarak mevcut bulunan gereksinimlerden bir diğeri de çözüm ağı yapısının belirlenmesidir. Mevcut şartlarla en uygun çözümleme hızı ve çözümleme doğruluğuna ulaşabilmek adına, Solidworks Flow Simulation arayüzünün olanak sunduğu, ve 8 seviyeden oluşan başlangıç ağ yapısı koşullarından 6. seviye tercih edilmiştir. Bu doğrultuda ortaya çıkan ağ yapısı detayları Tablo 4.2. ile gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Tanımlanan Ağ Yapısı Detayları

Toplam Hücre Adedi	53697
Akışkan Hücresi	35578
Katı Hücre	163
Parçalı Hücre	17956
Kırılmış Hücre	3

4.4. Uygulama Metodu

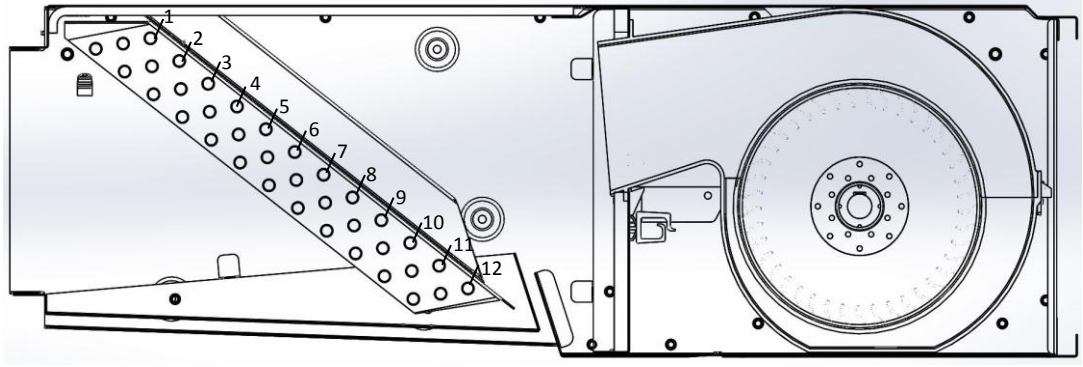
Bu çalışmadaki amacın ısı değiştiricideki hava dağılımını iyileştirerek akışı homojen hale getirmek olduğu göz önünde bulundurulduğunda, uygulamada atılması gereken ilk adım mevcut durumda ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımının tespitidir. Böylelikle etrafındaki hava dağılımının iyileştirilmesi gereken borular ve konumları tespit edilecektir.

İkinci olarak, tasarlanacak kanat yapısı sayesinde oluşan yeni akış dağılımları incelenecek ve kanat açıları değiştirilerek meydana gelecek veriler kayıt altına alınacaktır. Farklı kanat açıları ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımını etkileyeceğinden, optimum kanat açısını belirlemek bu veriler sayesinde mümkün olacaktır.

Nihai olarak, analiz çerçevesinde elde edilen bulgulardan hava dağılımını optimum şekilde yönlendiren kanat tespit edilecektir. Bu amaçla, birincil veriler ile yönlendirici kanat tasarımı sonrasında oluşan veriler kıyaslanacak ve optimum kanat tasarımı uygulama için belirlenecektir.

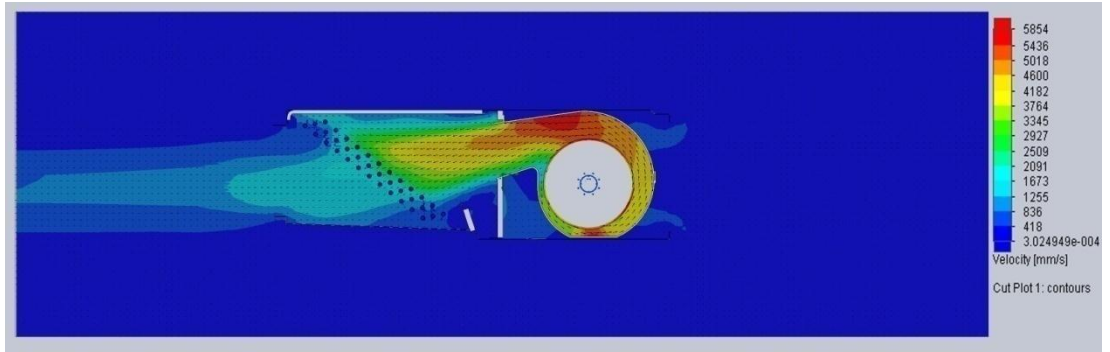
4.5. Mevcut Hava Dağılımının Tespiti

Uygulama metodu açıklamasında da belirtildiği üzere çalışmanın birinci aşamasında, ısı değiştiricideki mevcut hava dağılımının tespiti hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, oluşacak dağılımı yorumlayabilmek amaçıyla, ısı değiştirici üzerinde sıralanan bakır borular şekil 4.4.'te gösterildiği üzere yukarıdan aşağıya artan sayılarla numaralandırılmıştır. Bu sayede, her bir sırada yer alan bakır boruların etrafındaki akış hızı kayıt altına alınacak ve değerlendirmek üzere incelenecektir.

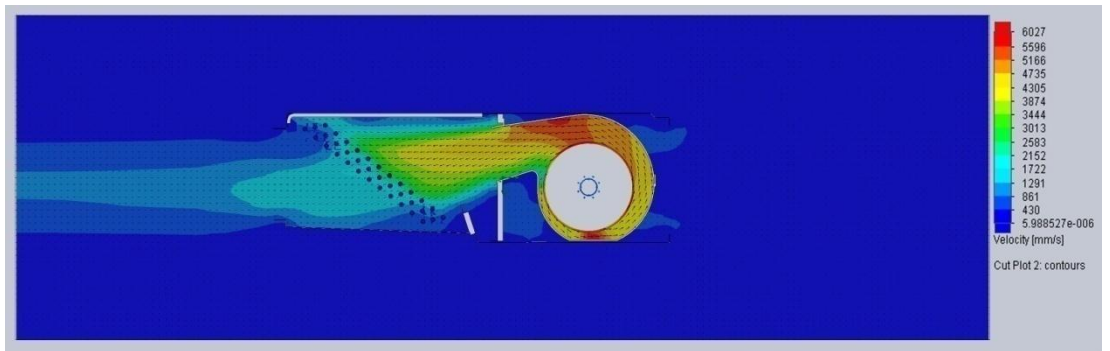


Şekil 4.4. FCU bakır boru numaralandırması

Fan tarafından emilen havanın ısı değiştiriciye öncelikli olarak temas ettiği borular numaralandırıldıktan sonra çalışmanın belirtilen ortam şartları, sınır koşulları ve ağ yapısı ile sayısal çözümleme gerçekleştirilmiştir. Boru etrafındaki akış hızları, fan merkezi düzlemi baz alınarak belirlenen kesit üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Başlangıç koşulunda ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)



Şekil 4.6. Başlangıç koşulunda ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)

Analizin gerçekleştirilmesiyle birlikte oluşan hava akışına ve ısı değiştirici üzerinde ortaya çıkan dağılıma ilişkin sonuçlar, fan merkez kesitleri üzerinde izdüşüm olarak Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. ile gösterilmiştir. Bakır borular etrafında gerçekleşen maksimum hava akış hızını incelemek üzere elde edilen veriler ise aşağıda Tablo 4.3. ile verilmiştir.

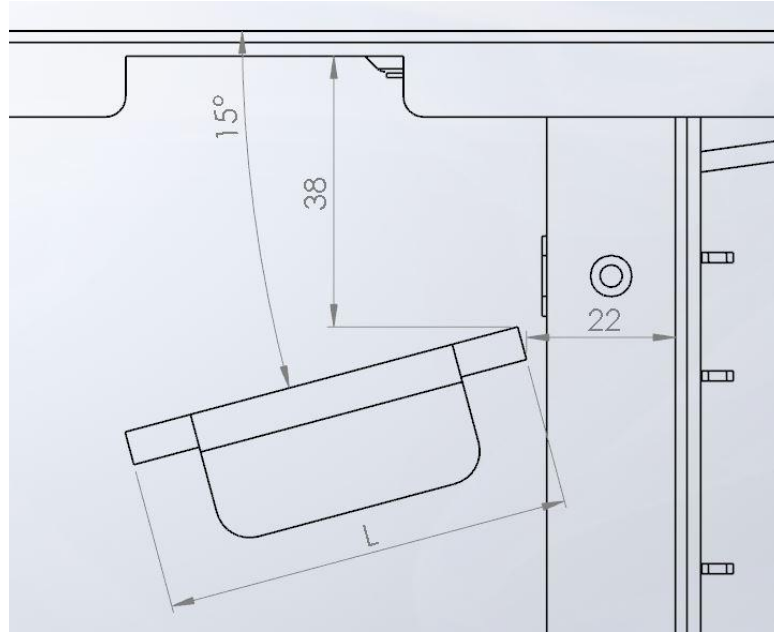
Tablo 4.3. Başlangıçta ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları

Bakır Boru	Sol Fan	Sağ Fan
No	Max Hava Akış Hızı (mm/s)	Max Hava Akış Hızı (mm/s)
1	396,934	437,354
2	504,890	549,828
3	919,998	886,105
4	2513,850	2474,688
5	2508,369	2489,996
6	2623,353	2661,750
7	2642,554	2703,829
8	2443,594	2265,297
9	2421,774	2212,368
10	631,439	716,374
11	1022,991	1316,357
12	493,804	713,529

Mevcut FCU tasarımı üzerinde akış analizinin gerçekleştirilmesiyle oluşturulan Tablo 4.3. incelendiğinde, homojen olmayan hava dağılımı sayısal olarak gözlemlenmektedir. Isı değiştiricinin üst (1. Bölge) ve alt (3. Bölge) bölgelerinde yer alan bakır boruların etrafında oluşan akış hızı, merkez bölgesinde (2. Bölge) oluşan hava hızına oranla çok düşüktür. 1, 2, 3 numaralı bakır boruların çevresinde oluşan hava akımı değerlerinden sonra çok yüksek bir artış gerçekleşmektedir. Aynı şekilde, 9 numaralı bakır borudan sonra ise, yüksek bir düşüş gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda noktalar tespit edildiğinde ısı değiştiricinin üst bölgesinde bulunan 1, 2, 3 ve alt bölgesinde bulunan 10, 11, 12 numaralı bakır borulara etki eden hava hızının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

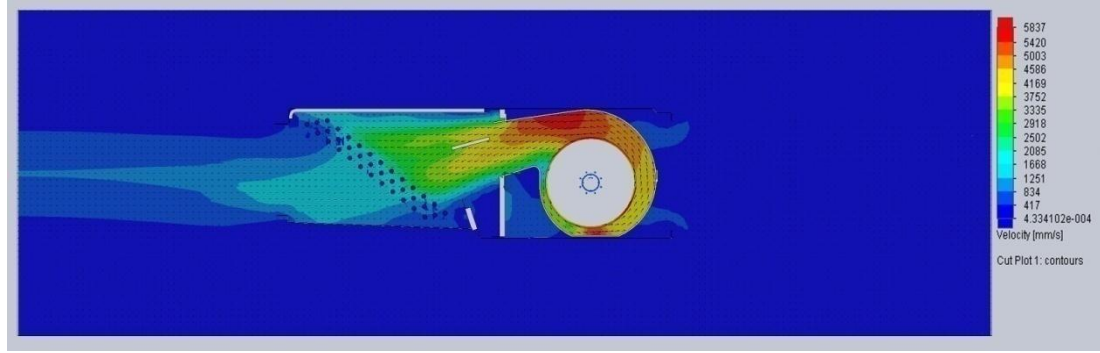
4.6. 15 Derece Açılı Kanat Konumlandırmasıyla Oluşan Hava Dağılımının Tespiti

Isı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımındaki düzensizliği ortaya çıkaran kritik noktaların tespitinden sonra, hava yönlendirici kanat tasarımı gerçekleştirilmiştir. FCU içerisinde sağ ve sol yan saçlar arasında uzanan ve Şekil 4.7. ile gösterilen konumlandırmada bulunan 60 mm uzunluğunda ve 5 mm kalınlığındaki kanat, fan ile ısı değiştirici arasına yerleştirilmiştir. İlk olarak, kanat FCU üst sacı ile 15 derecelik açı oluşturacak şekilde konumlandırılmış, sonrasında bir önceki kanatsız çözümlerle aynı koşullarda akış analizi gerçekleştirilmiştir.

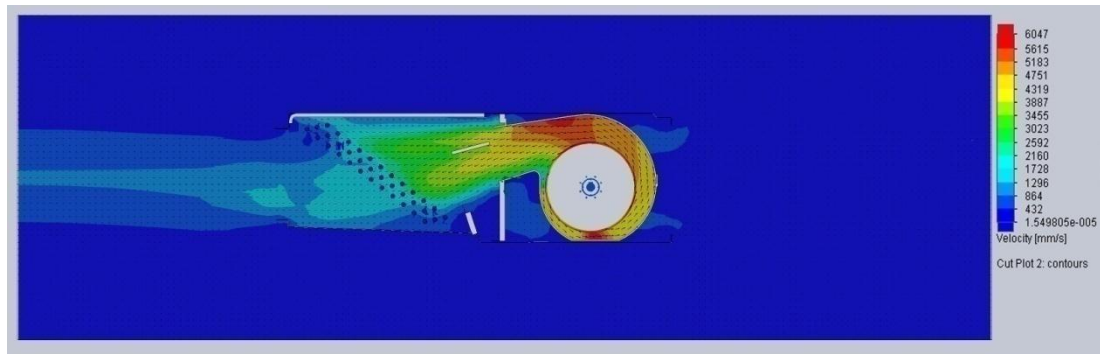


Şekil 4.7. Kanat tasarımının fan ile ısı değiştirici arasına konumlandırılması

Isı değiştirici üzerindeki hava dağılımını iyileştirmek amacıyla tasarlanıp 15 derecelik açıyla konumlandırılan kanatla gerçekleştirilen analiz sonrasında, FCU içerisinde oluşan hava akış dağılımı Şekil 4.8. ve Şekil 4.9. ile gösterilmiştir. Numaralandırılan boruların etrafında oluşan maksimum akış hızları ise Tablo 4.4. ile gösterilmiştir.



Şekil 4.8. 15 derece kanat açısı ile ısı değıştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)



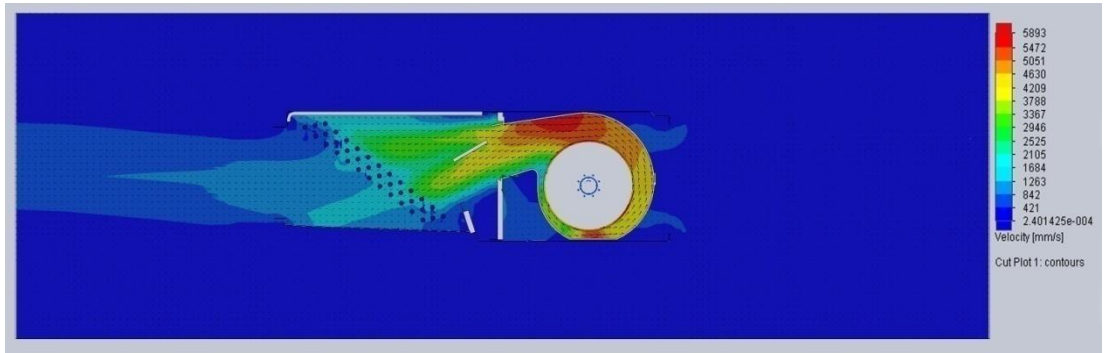
Şekil 4.9. 15 derece kanat açısı ile ısı değıştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)

Tablo 4.4. 15 derece kanat açısı ile ısı değıştiricisinde oluşan maksimum hava hızları

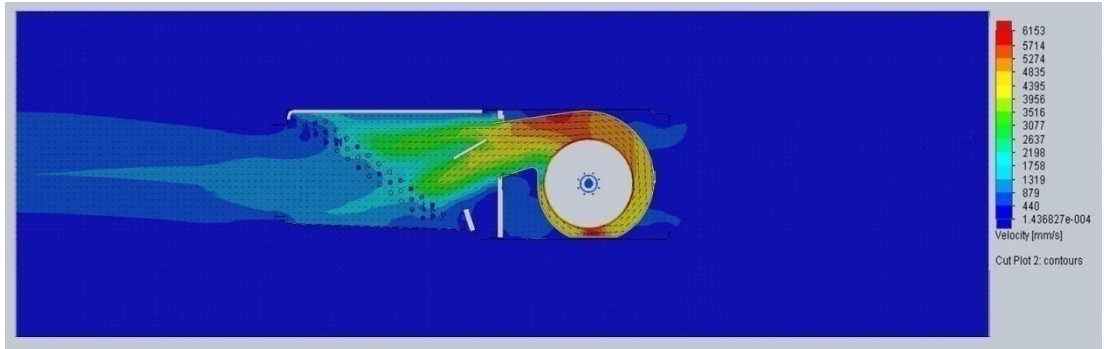
Bakır Boru	Sol Fan	Sağ Fan
No	Max Hava Akış Hızı (mm/s)	Max Hava Akış Hızı (mm/s)
1	1119,313	805,192
2	602,208	521,444
3	940,572	893,457
4	2217,612	2121,312
5	1997,290	1870,041
6	2060,850	2028,221
7	2262,714	2287,110
8	2330,730	2405,143
9	2605,061	2698,027
10	784,401	895,974
11	1312,201	1480,876
12	670,718	790,266

4.7. 30 Derece Açılı Kanat Konumlandırmasıyla Oluşan Hava Dağılımının Tespiti

Bu aşamada, ısı değıştirci üzerinde gerçekleşen bir diğer hava dağılımını tespit etmek amacıyla kanat açısı 30 derece olacak şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle daha geniş açıda yerleştilen kanadın yönlendirme etkisi gözlemlenmiştir. Başta belirtilen koşullarda hava dağılımını oluşturan analiz gerçekleştirilmiş, oluşan dağılım Şekil 4.10. ve 4.11. ile gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 30 derece kanat açısı ile ısı değıştirci üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)



Şekil 4.11. 30 derece kanat açısı ile ısı değıştirci üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)

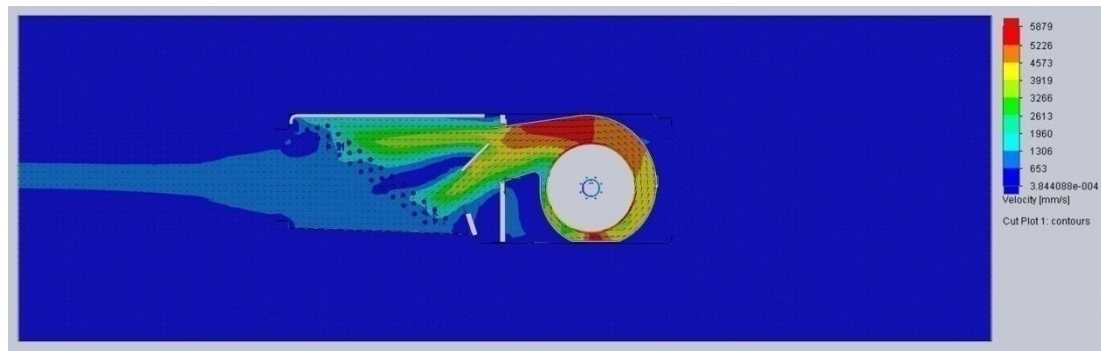
Bu doğrultuda, bakır boruların etrafında oluşan verileri sayısal olarak yorumlayabilmek amacıyla bir önceki aşamada yapıldığı gibi maksimum akış hızları alınarak Tablo 4.5. ile gösterilmiştir.

Tablo 4.5. 30 derece kanat açısı ile ısı değıştircide oluşan maksimum hava hızları

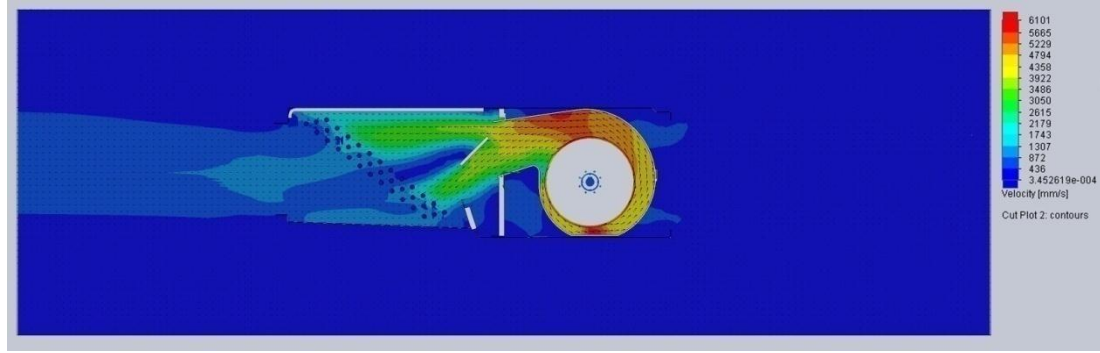
Bakır Boru No	Sol Fan Max Hava Akış Hızı (mm/s)	Sağ Fan Max Hava Akış Hızı (mm/s)
1	1097,501	812,566
2	595,675	587,544
3	1021,164	926,747
4	2217,510	2172,401
5	1973,297	1936,934
6	1971,924	1862,860
7	1746,690	1588,740
8	1894,531	1735,192
9	2654,620	2601,390
10	1001,666	1060,501
11	1650,643	1680,563
12	874,681	920,291

4.8. 45 Derece Açılı Kanat Konumlandırmasıyla Oluşan Hava Dağılımının Tespiti

Bu bölümde, hava dağılımı analizinin bir başka aşaması olan 45 derecelik kanat yerleşimi ile gerçekleştirilen çalışma verileri incelenmiştir. Kanat FCU üst sacı ile 45 derece açı yapacak şekilde güncellendikten sonra, çözümleme işlemi gerçekleştirilmiş; sonuçlar Şekil 4.12. ve 4.13. ile görselleştirilmiştir. Ayrıca, çalışmanın tabanını oluşturan değerleri içeren veriler, Tablo 4.6. ile incelenmiştir.



Şekil 4.12. 45 derece kanat açısı ile ısı değıştirci üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)



Şekil 4.13. 45 derece kanat açısı ile ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)

Tablo 4.6. 45 derece kanat açısı ile ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları

Bakır Boru No	Sol Fan Max Hava Akış Hızı (mm/s)	Sağ Fan Max Hava Akış Hızı (mm/s)
1	1188,125	482,982
2	563,770	627,594
3	957,161	932,029
4	2279,099	2334,190
5	2005,287	1866,790
6	1813,844	1604,060
7	1244,674	964,850
8	688,620	647,760
9	1655,825	1698,171
10	732,367	754,393
11	1830,345	1852,444
12	1215,076	1277,246

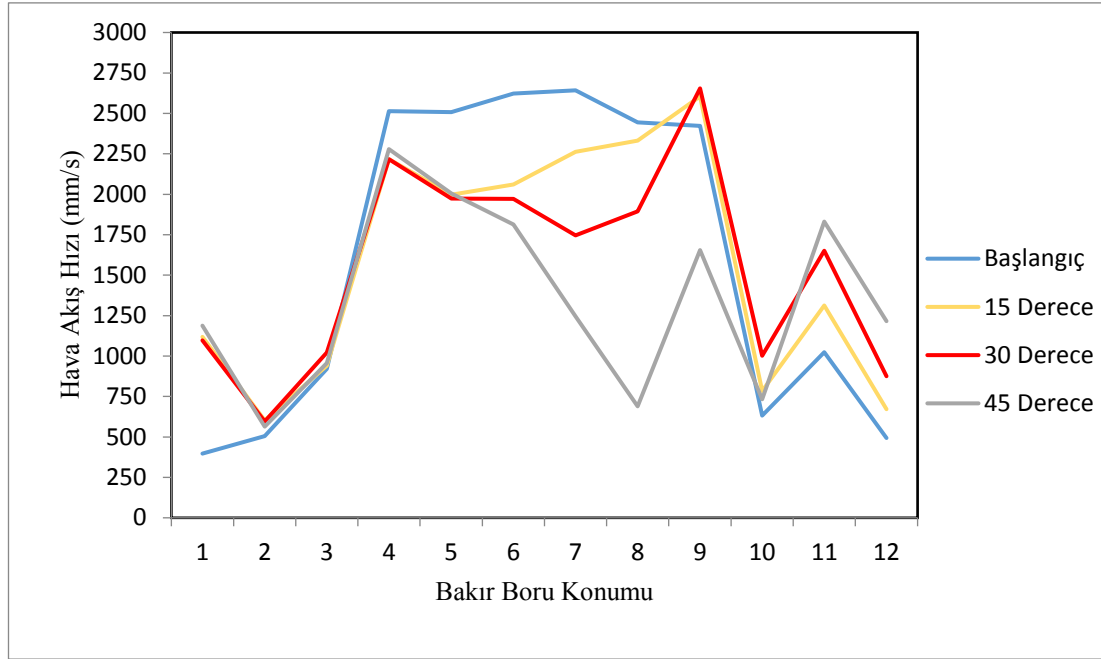
BÖLÜM 5. HAD SONUÇLARI

5.1. Isı Değiştiricide Oluşan Hava Dağılımlarının Karşılaştırılması

Öncelikli olarak mevcut koşuldaki hava dağılımının tespiti gerçekleştirilmiş, sonrasında ise 15, 30 ve 45 derecelik açılarla yerleştirilmiş yönlendirici kanat tasarımıyla oluşan akış koşullarında veriler belirlenmiştir. Tespit edilen bu akış verileri ile ilgili değerleri kıyaslamak, bu dağılımların daha net bir şekilde görünmesine hizmet edecek grafikler sayesinde mümkün olacaktır. Böylelikle hangi yönlendirici kanat konumunun, FCU sistemi içerisinde yer alan ısı değiştiricideki hava dağılımına en uygun hizmet ettiği tespit edilecektir. Bu doğrultuda, numaralandırılan bakır boruların çevresinde oluşan maksimum akış hızları Tablo 5.1. ve Tablo 5.2. ile verilmiştir. Bu verilerle oluşturulan ve yorumlamaya katkı sağlayacak akış hızı grafikleri ise Şekil 5.1. ve Şekil 5.2. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Farklı koşullardaki maksimum hava hızları, kanat uzunluğu L=60 mm (Sol fan)

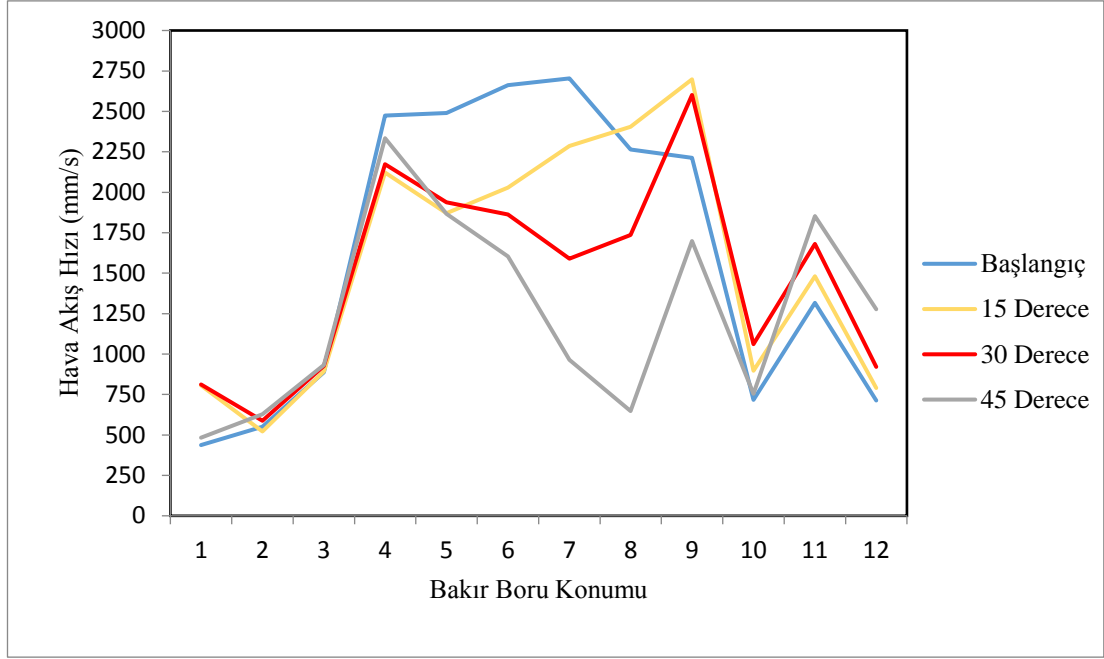
Bakır Boru No	Başlangıçta Max Akış Hızı (mm/s)	15 Derece Kanat Açısında Max Akış Hızı (mm/s)	30 Derece Kanat Açısında Max Akış Hızı (mm/s)	45 Derece Kanat Açısında Max Akış Hızı (mm/s)
1	396,934	1119,313	1097,501	1188,125
2	504,890	602,208	595,675	563,770
3	919,998	940,572	1021,164	957,161
4	2513,850	2217,612	2217,510	2279,099
5	2508,369	1997,290	1973,297	2005,287
6	2623,353	2060,850	1971,924	1813,844
7	2642,554	2262,714	1746,690	1244,674
8	2443,594	2330,730	1894,531	688,620
9	2421,774	2605,061	2654,620	1655,825
10	631,439	784,401	1001,666	732,367
11	1022,991	1312,201	1650,643	1830,345
12	493,804	670,718	874,681	1215,076



Şekil 5.1. Sol fan merkez düzleminde ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları

Tablo 5.2. Farklı koşullardaki maksimum hava hızları, kanat uzunluğu L=60 mm (Sağ fan)

Bakır Boru No	Başlangıç Koşulunda Max Akış Hızı (mm/s)	15 Derece Kanat Açısında Max Akış Hızı (mm/s)	30 Derece Kanat Açısında Max Akış Hızı (mm/s)	45 Derece Kanat Açısında Max Akış Hızı (mm/s)
1	437,354	805,192	812,566	482,982
2	549,828	521,444	587,544	627,594
3	886,105	893,457	926,747	932,029
4	2474,688	2121,312	2172,401	2334,190
5	2489,996	1870,041	1936,934	1866,790
6	2661,750	2028,221	1862,860	1604,060
7	2703,829	2287,110	1588,740	964,850
8	2265,297	2405,143	1735,192	647,760
9	2212,368	2698,027	2601,390	1698,171
10	716,374	895,974	1060,501	754,393
11	1316,357	1480,876	1680,563	1852,444
12	713,529	790,266	920,291	1277,246



Şekil 5.2. Sağ fan merkez düzleminde ısı değiştiricide oluşan maksimum hava hızları

Numaralandırılan bakır boruların etrafında oluşan hava akışına ait hız grafikleri, analizlerle elde edilen veriler vasıtasıyla oluşturulmuştur. Böylelikle, hedeflenen iyileştirilmiş hava dağılımına ulaşmak için tercih edilmesi gereken uygun kanat açısının belirlenmesi mümkün hale gelmiştir.

Bu doğrultuda öncelikli olarak, başlangıç koşulundaki FCU sisteminde gerçekleştirilen akış analizi (Tablo 4.3.) ile tespit edilen kritik noktalar olan 1, 2, 3 ve 10, 11, 12 numaralı bakır borular etrafında oluşan akış hızları değerlendirilmiştir.

15 derecelik kanat yerleşimi ile, ısı değiştiricinin alt ve st bölgelerinde %183'e varan akış hızı artışı gerçekleştiği görülmektedir. Fakat özellikle alt bölgedeki artış, 30 derecelik yönlendirici kanat ile elde edilen değerlere eşdeğer değildir. Öte yandan ısı değiştiricinin merkez bölgesinde yer alan 5, 6, 7 ve 8 numaralı bakır borularda; başlangıç koşullarına kıyasla gerçekleşen en düşük azalma bu yerleşimde tespit edilmiştir.

30 derecelik kanat yerleşimi ile, tasarım iyileştirme kriteri olarak belirlenen bölgelerde %177'ye varan akış hızı gerçekleşmektedir. Bir nceki değerlendirmede

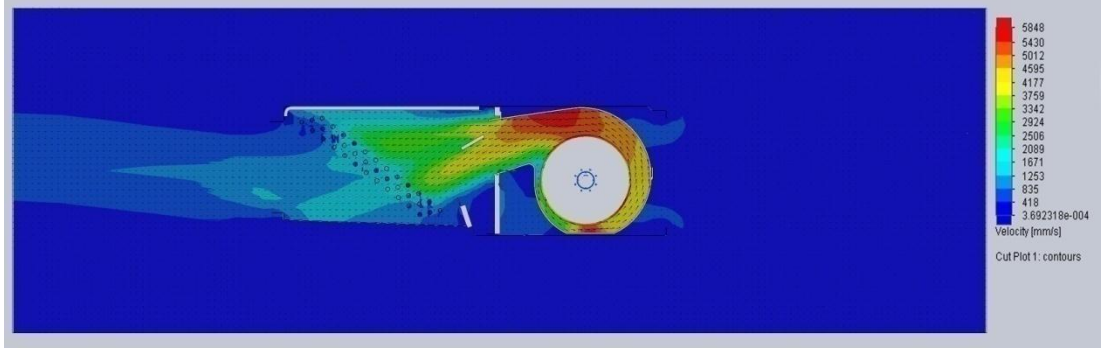
belirtildiği üzere, özellikle alt bölgelerdeki hız artışı 15 derecelik yerleşime göre daha yüksektir. Hedeflenen bu alt bölgedeki artış miktarları sırasıyla %59, %61 ve %77'lik oranlarla en önemli tasarım çıktısını oluşturmuştur.

45 derecelik kanat yerleşimi, fan atış ağız ile ısı değiştirici arasında oluşturduğu blokaj etkisi ile ön plana çıkmıştır. Orta bölgede oluşturduğu % 86'ya varan aşırı derecedeki hız düşüşü, ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımında yüksek dalgalanma meydana getirmektedir. Diğer taraftan, ısı değiştiricinin alt bölgesindeki en yüksek hız değerleri bu yerleşimde gözlemlenmiştir.

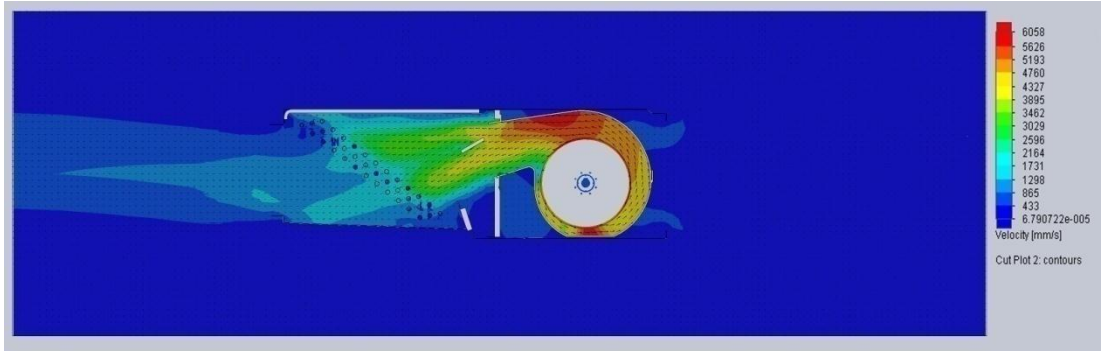
Çalışmanın başında hedeflenen, ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımının optimum değerlere erişebilmesi adına üç farklı yerleşimin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Bu doğrultudaki veriler değerlendirildiğinde en uygun tercihin 30 derecelik kanat yerleşimi olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Tercih Edilen Kanat Tasarımı Verilerinin İyileştirilmesi

30 derecelik kanat yerleşimi özellikle, hedeflenen alanlarda meydana gelen hava akımı artışı sayesinde ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımının homojen forma yaklaşmasına büyük oranda katkıda bulunmaktadır. Buna rağmen, 15 derecelik kanat yapısının fan atış ağızına yaptığı minimum blokaj göz önünde bulundurulduğunda, tasarımda iyileştirme çalışmasının mümkün olacağı düşünülmüştür. Kanat açısını değiştirmeden uzunluğunun azaltılmasıyla, orta bölgede yer alan boruların hava temasının doğrudan engellenmesinin azaltılacağı, ısı değiştirici ile fan arasındaki etkileşimin iyileştirileceği öngörülmüştür. Bu sebeple kanat uzunluğu 60 mm'den 40 mm ölçüsüne azaltılarak bir başka akış analizi gerçekleştirilmiş, sonuçlar Şekil 5.3. ve Şekil 5.4. ile gösterilmiştir. Gerçekleştirilen nihai analiz sonucunda oluşan hava dağılımına ait veriler, bir önceki kanat yapısıyla karşılaştırılarak Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.'te verilmiştir. Ek olarak, Şekil 5.5. ve Şekil 5.6. ile ısı değiştiricide oluşan dağılımlar gösterilmiştir.



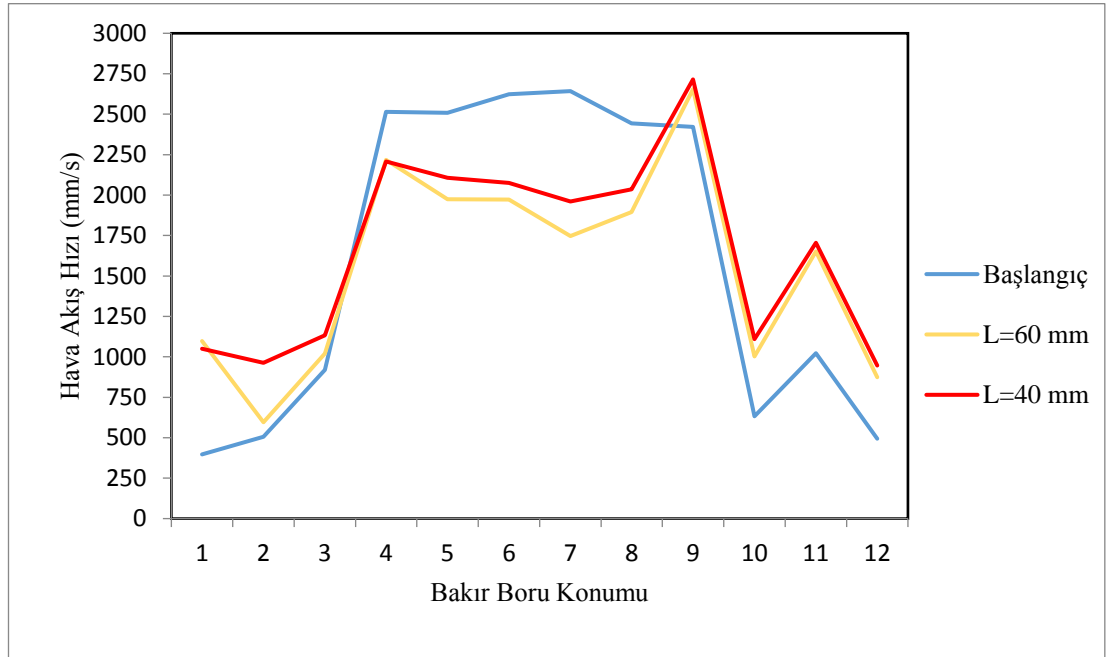
Şekil 5.3. 30 derece kanat açısı (L=40 mm) ile ısı değıştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sol fan merkez düzlemi)



Şekil 5.4. 30 derece kanat açısı (L=40 mm) ile ısı değıştirici üzerinde oluşan hava dağılımı (Sağ fan merkez düzlemi)

Tablo 5.3. Yönlendirici kanat uzunluklarına göre hava hızı verileri (Sol fan)

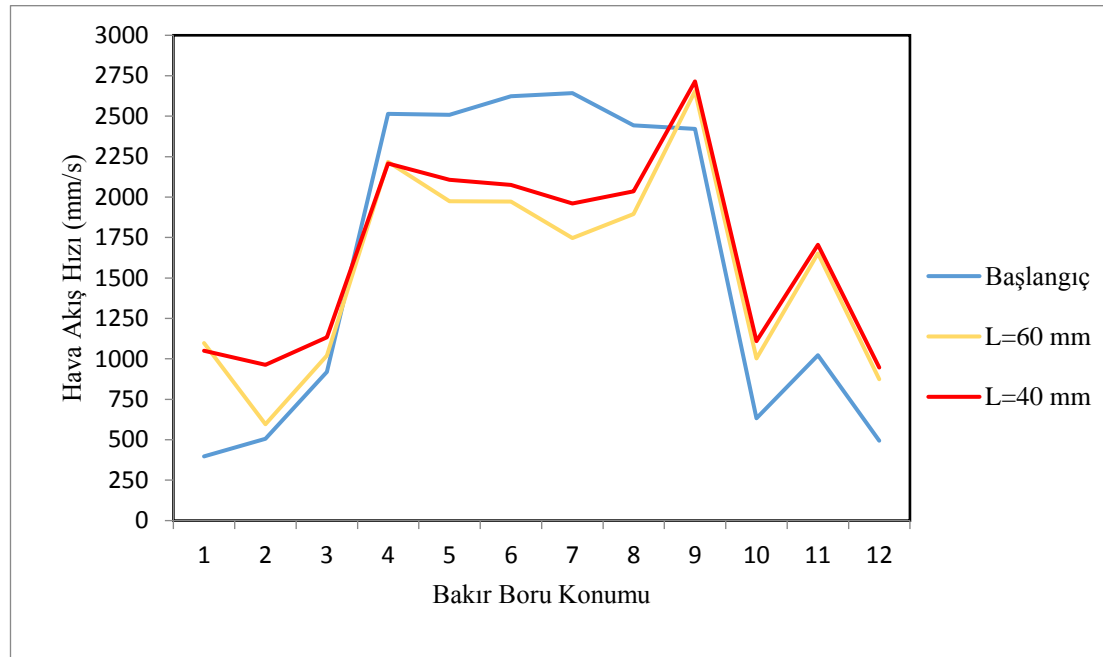
Bakır Boru No	Başlangıç Koşulunda Max Akış Hızı (mm/s)	L=60 mm Kanat Boyunda Hava Akış Hızı (mm/s)	L=60 mm Kanat Boyunda Bölgesel Hız Değişim Oranı	L=40 mm Kanat Boyunda Hava Akış Hızı (mm/s)	L=40 mm Kanat Boyunda Bölgesel Hız Değişim Oranı
1	396,934	1097,501	%49	1049,231	%73
2	504,890	595,675	%49	962,682	%73
3	919,998	1021,164	%49	1132,134	%73
4	2513,850	2217,510	- %18	2208,586	- %14
5	2508,369	1973,297	- %18	2107,038	- %14
6	2623,353	1971,924	- %18	2075,489	- %14
7	2642,554	1746,690	- %18	1959,941	- %14
8	2443,594	1894,531	- %18	2035,393	- %14
9	2421,774	2654,620	- %18	2714,845	- %14
10	631,439	1001,666	%64	1110,296	%75
11	1022,991	1650,643	%64	1704,748	%75
12	493,804	874,681	%64	946,201	%75



Şekil 5.5. Kanat uzunluklarının hava dağılımındaki etkisinin karşılaştırılması (Sol fan)

Tablo 5.4. Yönlendirici kanat uzunluğuna göre hava hızı verileri (Sağ fan)

Bakır Boru No	Başlangıç Koşulunda Max Akış Hızı (mm/s)	L=60 mm Kanat Boyunda Hava Akış Hızı (mm/s)	L=60 mm Kanat Boyunda Bölgesel Hız Değişim Oranı	L=40 mm Kanat Boyunda Hava Akış Hızı (mm/s)	L=40 mm Kanat Boyunda Bölgesel Hız Değişim Oranı
1	437,354	812,566	%24	1010,764	%52
2	549,828	587,544	% 24	830,835	%52
3	886,105	926,747	%24	1008,906	%52
4	2474,688	2172,401	- %20	2278,987	- %15
5	2489,996	1936,934	- %20	2080,049	- %15
6	2661,750	1862,860	- %20	2094,120	- %15
7	2703,829	1588,740	- %20	1906,191	- %15
8	2265,297	1735,192	- %20	1989,737	- %15
9	2212,368	2601,390	- %20	2198,661	- %15
10	716,374	1060,501	%33	1358,595	%49
11	1316,357	1680,563	%33	1761,624	%49
12	713,529	920,291	%33	965,453	%49



Şekil 5.6. Kanat uzunluklarının hava dağılımındaki etkisinin karşılaştırılması (Sağ fan)

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, devrinde kanalsız gizli tavan tipi FCU ısı değiştiricisi üzerindeki hava dağılımını yüksek fan devri için incelenerek; tasarlanan hava yönlendirici kanat sayesinde, fan çıkış ağzından yayılan havanın ısı değiştirici üzerindeki dağılımının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Mevcut FCU tasarımında meydana gelen dağılım hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi aracılığıyla analiz edilmiş, veriler farklı kanat yerleşimlerinde (15 derece, 30 derece ve 45 derece) elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır. Buna göre, ısı değiştiricinin üst bölgesinde yer alan 1, 2 ve 3 numaralı borular ile alt bölgesinde yer alan 10, 11, 12 numaralı borularda hava dağılımının etkin olarak kullanılmadığı gözlemlenmiştir. Akış hızının düşük olduğu bu noktalar, çalışmanın temelini oluşturmuştur.

Isı değiştiricinin alt ve üst bölgelerinde oluşan büyük hava akımı farklılıkları göz önünde bulundurulduğunda, yönlendirme açısıyla optimum hava dağılımını sağlayan 30 derecelik kanat tasarım için tercih edilmiştir. Bu sayede sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü sıralarda yer alan bakır borularda hava debisi %177, %18 ve %11 artış göstermiştir. Diğer taraftan, ısı değiştiricinin merkez bölgesine etki gelen akış hızlarındaki %30'a varan azalmayı en az seviyede tutmak adına, FCU için seçilen kanat tasarım güncellemesine tabi tutulmuştur.

Gerçekleştirilen analizler sonrasında elde edilen bulgular aracılığıyla, nihai hava akış etkileşimi Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 ile incelenmiştir. Güncellenen tasarım, ısı değiştirici üzerindeki hava akış dağılımı yapısının daha homojen bir vaziyet kazanmasına destek olarak; aynı koşullarda ısı değiştirici bakır borularının ve yüzeyinin daha etkin kullanılması adına kazanım sağlamıştır.

Tablo 6.1. Kanat tasarımının ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımına etkisi (Sol fan)

Isı Değiştirici Bölgesi	Başlangıçta Toplam Hız Değeri (mm/s)	30° Kanat Açısında Toplam Hız Değeri (mm/s)	Başlangıçta Oluşan Ortalama Hız Değeri (mm/s)	30° Kanat Açısında Ortalama Hız Değeri (mm/s)	Tasarım Sonucundaki Değişim Oranı
1. Bölge (Üst Bölge)	1821,822	3144,047	607,274	1048,015	+ %73
2. Bölge (Orta Bölge)	15153,494	13101,292	2525,582	2183,548	- %14
3. Bölge (Alt Bölge)	2148,234	3761,245	716,078	1253,748	+ %75

Tablo 6.2. Kanat tasarımının ısı değiştirici üzerinde oluşan hava dağılımına etkisi (Sağ fan)

Isı Değiştirici Bölgesi	Başlangıçta Toplam Hız Değeri (mm/s)	30° Kanat Açısında Toplam Hız Değeri (mm/s)	Başlangıçta Oluşan Ortalama Hız Değeri (mm/s)	30° Kanat Açısında Ortalama Hız Değeri (mm/s)	Tasarım Sonucundaki Değişim Oranı
1. Bölge (Üst Bölge)	1873,287	2850,505	624,429	950,168	+ % 52
2. Bölge (Orta Bölge)	14807,928	12547,745	2467,988	2091,291	- %15
3. Bölge (Alt Bölge)	2746,261	4085,672	915,420	1361,891	+ %49

Elde edilen bulgular çerçevesinde değerlendirilen hava akış verileri incelendiğinde, gerçekleştirilen tasarım ile elde edilen sonuç şu şekilde özetlenebilir:

- Isı değiştiricinin 1, 2 ve 3 numaralı bakır borularından oluşan üst bölgedeki hava akışında sol fan için 1322,225 mm/s, sağ fan için 977,218 mm/s artış sağlanarak bu bölgede hava dağılımı %73 ve %52 oranlarında iyileştirilmiştir.
- Isı değiştiricinin 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 numaralı bakır borularından oluşan merkez bölgesinde hava akışında sol fan için 2052,252 mm/s, sağ fan için 2260 mm/s'lik toplam bir azalma ile mevcut hava dağılımı % 15 düşüş göstermiştir. Buna rağmen, 1. ve 3. bölgelerde elde edilen toplamdaki 2899,236 mm/s ve 2376,629 mm/s'lik artışlarla bu bölgedeki azalmalar dengelenmiştir.
- Isı değiştiricinin 10, 11 ve 12 numaralı bakır borularından oluşan alt bölgesinde hava akışında sol fan için 1577,011 mm/s, sağ fan için 1399,411 mm/s artış sağlanmış ve bu bölgede hava dağılımı %75 ve %49'luk oranlarda iyileştirilmiştir.

Yapılan araştırmalar ve elde edilen bulgular göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmanın sonucunda ısı değiştirici üzerindeki hava dağılımının daha üniform bir yapı kazanması, akışın daha homojen bir hale ulaşması sağlanmıştır. Böylelikle Zhang [3] tarafından da belirtildiği üzere, ısı değiştiricinin ulaştığı daha homojen yapı ve hava akış dağılımının iyileşmesi ile ısı değiştirici üzerinde performans artışı gözlemlenecektir. Bu çalışmaya ek olarak, HAD sonuçları ile karşılaştırmak ve uygulamada gerçekleşecek değişkenliklerle birlikte homojenliğin sağladığı verimliliği ortaya koymak adına deneysel çalışma gerçekleştirmek yeni ufuklar açacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Firouzar, A., Bir Fan-Coil Ünitesinin Performansının Deneysel ve Sayısal Olarak Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [2] Hajabdollahi, H., Seifoori, S., Effect of flow maldistribution on the optimal design of a cross flow heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 109:242-252, 2016.
- [3] Zhang, L. Z., Flow Maldistribution and Thermal Performance Deterioration In A Cross-Flow Air to Air Heat Exchanger With Plate-Fin Cores. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(19): 4500-4509, 2009.
- [4] Lee, W. J., Jeong J. H., Heat Transfer Performance Variations of Condensers Due to Non-Uniform Air Velocity Distributions. *International Journal of Refrigeration*, 69:85-95, 2016.
- [5] Acül, H., Kanatlı Borulu Tip Hava Soğutmalı Kondenserler ve Sistem Enerji Verimliliğine Etkileri. Soğutma Teknolojileri Sempozyumu, 2008.
- [6] Kim, N., Kim, D., Choi, Y., Byun, H., Hwang, J., Effect of Inclination Angle on the Air-Side Performance of Alluminum Parallel Flow Heat Exchangers Under Wet Conditions. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, 2008.
- [7] Phan, T. L., Chang, K. S., Kwon, Y. C., Kwon, J. T., Experimental Study on Heat and Mass Transfer Characteristics of Louvred Fin-Tube Heat Exchangers Under Wet Condition. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(7): 893-899, 2011.
- [8] Karthik, P., Kumaresan, V., Velraj, R., Experimental and Parametric Studies of A Louvred Fin and Flat Tube Compact Heat Exchanger Using Computational Fluid Dynamics. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4): 905-915, 2015.

- [9] Vaisi, A., Esmaeilpour, M., Taherian, H., Experimental Investigation of Geometry Effects on the Performance of A Compact Louvred Heat Exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 31(16): 3337-3346, 2011.
- [10] Tang, L. H., Zeng, M., Wang, Q. W., Experimental and Numerical Investigation on Air-Side Performance of Fin-and-Tube Heat Exchangers with Various Fin Patterns. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(5): 818-827, 2009.
- [11] Eurovent RS 6/C/002-2017, Rating Standard For The Certification of Non-Ducted Fan-coil Units. Paris: Eurovent Certita Certification 4-7.

ÖZGEÇMİŞ

Canberk YÜCEL, 13.07.1989'da Sakarya'da dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2008 yılında başladığı Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında, yüzde onluk derecede bitirdi. Mezuniyeti takiben Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Profesyonel çalışma hayatına 2014 yılında demiryolu sektöründe adım atarak yurt içi ve yurt dışı projelerin, tasarımdan kontrole kadar sorumluluğunu üstlendi. 2016 yılında Amerika Birleşik Devletleri'ne giderek çeşitli eğitimlere ve tasarım faaliyetlerine katıldı. Aynı sene, Daikin Isıtma ve Soğutma Sistemleri Ar-Ge Bölümü'nde tasarım mühendisi olarak çalışmaya başlayarak, soğutma ekipmanları tasarım ve iyileştirme faaliyetlerinde rol aldı. Halen aktif görevine devam etmektedir.