

KURU SOĞUTUCULARDA LAMEL GİRİŞ TARAFI HAVA HIZI PROFİLİNİN CFD YAZILIMI İLE ANALİZ EDİLEREK İYİLEŞTİRİLMESİ

Feridun YAVAŞ
Hüseyin ONBAŞIOĞLU

ÖZET

Kanatlı borulu ısı değiştiricilerinde lamel bloğu içinden geçen hava, lamel bloğunun girişindeki her noktada aynı hızla geçmeyebilmektedir. Bu hız farkı lamel bloğuna gelen havanın karşılaştığı çeşitli üniteye ait olmayan engellerden, çalışma alanındaki rüzgârdan, fan ile lamel bloğu arasında kalan davalumbaz boşluğuna ait büyüklük ve bu boşluktaki yapısal unsurlara ait şekil ve çıkıntılardan kaynaklı olabilir.

Lamel bloğuna giren havanın bölgesel olarak farklı hızlarda olması ısı transferi ve basınç kayıplarında bölgesel farklılıklara sebep olduğundan verimliliği etkileyebilir. Bu sebeple söz konusu hız farklılıklarının mümkün olan en düşük değerde olması gerekmektedir.

Bu çalışmada yatık tip kuru soğutucularda hava akışının durumu lamel bloğu girişinde ve çıkışında CFD yazılımı ile incelenmiş, akışın düzelmesi için ünitenin yapısal unsurlarında yapılabilecek değişiklikler gösterilmiştir. Çıkan sonuçlar lamel bloğu girişindeki hava hızı dağılımı düzgünlüğü kıstas alınarak incelenmiş, alınan sonuçlar kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Akışkan Dinamiği, Hesaplamalı Isı Transferi, Basınç Kaybı, Hava Dağılımı Dengesizliği

ABSTRACT

In a finned-tubed heat exchanger, the air passing through coil block could have uneven velocity distribution at the inlet side of the coil block. This difference may occur due to any barrier outside of the unit, external wind flows, size of the space between the coil block and the fan, and the shape and the spurs of the constructional members.

Due to the uneven velocity distribution at the entrance of the coil block may cause local differences in heat transfer and pressure loss, the situation may affect the efficiency. Therefore, these differences must be minimal.

In this study, the state of the air flow has been examined by a CFD software at the entrance and the exit of the coil block in a horizontal type dry cooler, and possible changes in the sheet metal structure were investigated. The results were compared with the air velocity distribution at the entrance of the lamella block, and the results were compared.

Key Words: Computational Fluid Dynamics, Computational Heat Transfer, Pressure Drop, Maldistributed Air Flow

1. GİRİŞ

Kuru soğutucular içerisindeki hava, fan ile bir kanal kesitine sahip alanın içinden geçmektedir. Bu nedenle kanal kesitinin geometrisi, akışı etkileyecek unsurları barındıracağından önem arz eder. Kanal içerisinde akan havanın akış karakteri, havanın hızına, kanalın kesit geometrisine, büyüklüğüne ve havanın lamel bloğu girişinden ve çıkışına kadar kat ettiği toplam mesafeye bağlıdır [1]. Fanın verimi, fanın hava emiş tarafındaki akışın düzgünlüğünden etkilenir. Eğer kesit boyunca ilerleyen hava fana girmeden döngü oluşturuyorsa, fan bu döngüden dolayı oluşan ilave basınç kaybını yenmek için de enerji harcayacağından, fan verimini olumsuz etkilenir. Akış kesiti içerisine sac aksamda bulunan bükümler, keskin köşeler ya da akışın içine dolduğu cepler bu döngü akımlarına sebep olan unsurlardır. Bununla birlikte yapının temel bileşenlerine ait ölçüler (ayak yüksekliği, davlumbaz boşluğu) akışın gelişmesinde doğrudan etkilidir.

Havanın lameller arasındaki akışının düzgün dağılımı, ısı değiştiricisinin verimi ve istenen ısı iletiminin sağlanabilmesi üzerinde ciddi etkisi vardır [2]. İdeal olan kanatlı borulu ısı değiştiricisinde, lamel bloğuna giren hava, lamel bloğu girişindeki her noktada aynı karakterde olmalıdır. Pratikte ünitenin yapısı, yerleştirileceği konum, ünite tasarımında ve üretiminde var olan kısıtlamalar ya da maliyetteki ekonomiklik gibi sebeplerden, seçilen yapı ve yapıyı oluşturan ölçüler, hava hızlarındaki bu istenen dengeli dağılımın oluşturulmasını etkiler. Bunun yanında basınç kayıpları hıza bağlı olarak doğrusal olmayan bir artış gösterir. Lamel kesiti boyunca fanın daha yüksek hızla çektiği hava, bölgesel olarak nispeten daha yüksek basınç kaybı doğurur. Bu durum da hava hızlarının birbirine yakın değerlere sahip olması konusunun önemini açıklamaktadır.

Isı değiştiriciler içinde akan havanın gözlenmesi gerçek hayatta zordur. Her ne kadar geleneksel yöntemlerle görselleştirme yapılabilse de, gerçek bir model üzerinde çalışmak maliyetlidir. Akışa ait sayısal değerleri elde etmek için ölçüm ekipmanları ya da PIV (Particle Image Velocimetry) sistemlerle hava akışı görselleştirmesi üzerinden veri elde edilebilir. Ancak bu test ekipmanları da oldukça maliyetlidir. Bilgisayar destekli analiz sistemleri bir prototip ve test düzeneği ihtiyacı duymadığından, incelediğimiz modeli test etme maliyetleri düşmüştür. Yine de üzerinde analiz yapılan bilgisayara ait kaynaklar kullanıldığından oluşacak maliyet, analizlerin yoğunluğu ve kabul kriterlerinin belirlenmesi bu konuda bir strateji oluşturur [3].

Bu çalışmada seçilen bir ünitenin mevcut akış karakteristikleri bilinen bir CFD uygulaması olan Fluent® ile yapılan çözümle belirlenmiş ve ortaya çıkan akış bozuklukları tespit edilerek düzeltilmiştir. Analiz 2 boyutta çözüldüğünden optimizasyon 2 farklı kesitte gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon adım adım her iki kesitte yapılan denemelerle tamamlanmıştır. Boruları kesen kesit incelenerek lamel girişindeki akış mümkün olan en iyi hale getirilmeye çalışılmıştır, benzer yaklaşımla lamelleri kesen kesit incelenerek lamel girişindeki hız profili iyileştirilmiştir. Bu kesitte yapısal bir değişiklik olması halinde birinci kesitte tekrar analiz yapılmış ve eğer değişim gözlenirse bu yeni duruma göre yeniden analiz edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

2. ANALİZİ YAPILACAK KURU SOĞUTUCU ÜNİTESİNİN İNCELENMESİ

Üniteye ait kapasite bilgilerinin hesaplanabilmesi için güvenilirliği Eurovent tarafından sertifikalandırılmış bir yazılım olan FRTCoils yazılımı kullanıldı. Bu çalışma için seçilen ünitenin özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

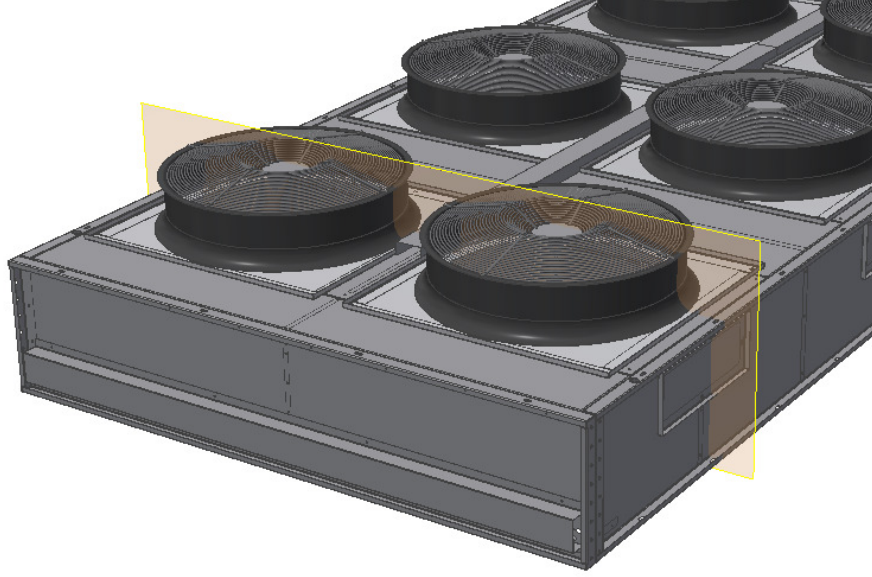
Ünite Tipi	Kuru Soğutucu
Kapasite (kW)	97,4
Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	25
Hava Çıkış Sıcaklığı (°C)	36,2
Hava Tarafı Basınç Kaybı (Pa)	187,18

Tablo 1. Analizi yapılacak üniteye ait özellikler

3. ANALİZ

3.1. Analizi Yapılacak Kesitin Belirlenmesi

CFD yazılımında akış modellemesi yapabilmek için, üniteye ait katı tasarım programlarında hazırlanmış 3 boyutlu modele ihtiyaç vardır. Analiz 3 boyutlu modelin tamamını içerecek şekilde veya modele ait bir kesitte yapılabilir. 3 boyutlu bir analizde kullanılacak eleman sayısı çok olduğundan ve her bir eleman için çözüm yapılıyor olduğundan, bu durum çözüm süresini dramatik bir şekilde uzatacaktır. Buna karşın model üzerindeki bir kesit akışa ait karakteristik yapıyı görmemize yardımcı olabilir. Bu durumda modelin tamamını çözdürmeye gerek kalmaz. Çözümü yapılacak ünitenin fan merkezinden geçen kesit çözüm için uygundur ve bu kesit üzerinden analiz yapılacaktır [4].

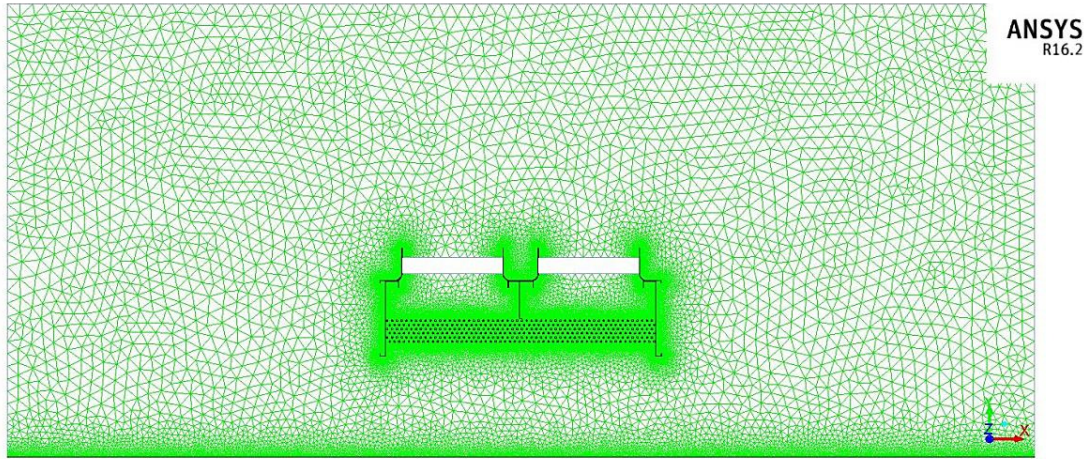


Şekil 1. Seçilen üniteye analizi yapılacak kesit

Ünite içindeki akışa davalumbaz yüksekliği etki edebilmektedir. Bir kaynaktan belirli bir hızla çıkan akışkanın homojen bir akış profiline ulaşabilmesi için, kaynaktan çıktıktan sonra belirli bir mesafe yol alması gereklidir. Kuru soğutucu ünitesinde fanın lamel bloğuna olan mesafesi, akışın fana kadar ilerlediği mesafenin, kesitin her noktasında hava hızlarının eşit değerde veya eşit değere yakın oluncaya kadar değiştirilmesi gereklidir. Yapılan analizde hazırlanan çözüm alanı borulara paralel yönde, lamelleri kesecek bir kesitte oluşturulmuştur. Bu kesit için sadece hava akışı düzeltilmeye çalışılacağından ısı transferi hesaba eklenmemiştir.

3.2. Ağ Yapısı (Mesh) ve Sayısal Modelleme

Akışın gerçekleşeceği hacmin, akışı canlandıracak sonlu elemanlara bölünme işlemine “mesh oluşturma” adı verilir. Bu işlemde kritik olan eleman adedi ve elemanın bulunduğu konuma göre eleman yoğunluğunun, akışı en uygun seviyede canlandıracak şekilde seçilmesidir. Eleman sayısı ve yoğunluğunun az seçilmesi, çözüm alanında (domain) çözümün yeterli hassasiyetle gerçekleştirilememesine sebep olurken, çok seçilmesi zaman ve kaynak kullanımını artıracaktır. Bu bilgiler ışığında elemanlara ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir [5]. Ağ yapısından bağımsız çözüm elde etmek için 476809, 702679 ve 1033804 elemanla çözümler yapılmış ve incelenmiş, sonuçlar birbirine yakın bulunmuştur. Analiz 476809 elemanlı ağ yapısı üzerinden yapılmıştır. Çözüm için k-ε Türbülans modeli seçilmiştir. k-ε Türbülans modeli, yüksek Re sayılı akışlar için tanımlanan bir model olduğundan burada tercih edilmiştir. Ayrıca hesaplama zamanı açısından da en uygun modellerden biridir.



Şekil 2. Analizi yapılacak kesite ait oluşturulan ağ yapısı

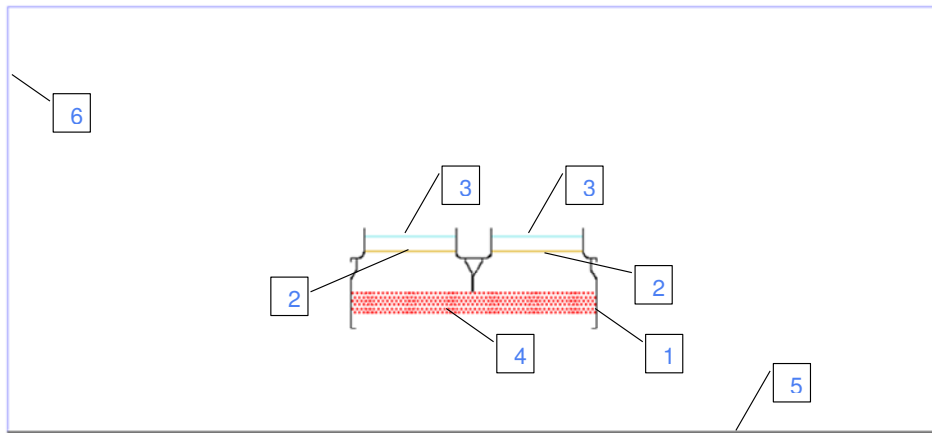
Node Sayısı	307169
Eleman Sayısı	476809

Tablo 2. Ağ yapısına ait değerler

Ünite modelinin çözümünde sınır koşulu atamaları aşağıdaki gibi yapılmıştır. Bu sınır değerler, modelin yüzeylerine verilen değerlerdir.

Model unsuru	Numara	Sınır Koşul Tipi ve İşlemler	Sınır Koşullarına Ait Skaler Değerler
Sac aksam	1	Duvar, Isı Transferi yok	-
Fan giriş	2	İçeri yönlü hız profili tanımlı	25°C
Fan çıkış	3	Dışarı yönlü hız profili tanımlı	-
Borular	4	Duvar, Isı akısı tanımlandı	7689 W/m ²
Zemin	5	Duvar, Isı Transferi yok	-
Atmosfer sınırları	6	Sabit Basınç	25°C, 101325 Pa

Tablo 3. Çözüm alanına ait sınır koşulları



Şekil 3. Analizi yapılacak kesite ait sınır koşullar

Hacim içerisinde tanımlamalar, hacmi oluşturan ortamın tipi ve işlevi tanımlanarak yapılmıştır. Ünitenin lamelleri tek tek modellendiğinde çözüm süresini ciddi seviyede olumsuz etkileyecek kadar çok fazla eleman kullanılacaktır. Bu durum, lameli içerecek hacmi gözenekli ortam olarak kabul ederek kolaylaştırılmıştır. Fluent® yazılımında bu tanımlama “Porous Media” olarak yapılmıştır [1].

Gözenekli ortam yaklaşımı ile, gözenekli yapıdan geçen havanın, gözenekli hacim içinde havanın ilerlediği birim uzunluk için oluşan basınç kaybı hesaplanmalıdır. Basınç kaybını veren ifade aşağıdaki gibidir. [6]

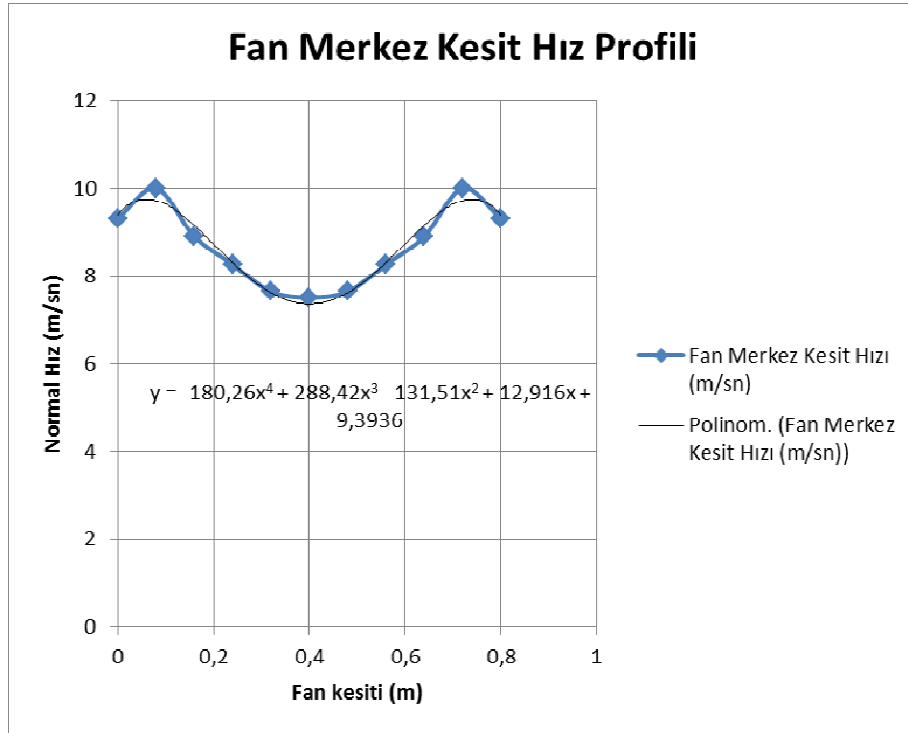
$$S_i = -\left(\frac{\mu}{\alpha} v_i + C_2 \frac{1}{2} \rho |v| v_i\right)$$

Bu denklemde 1.terim gözenekli ortamdaki viskoz direnci, 2.terim ise atalet direncini tanımlar. Fluent® yazılımına denklemdeki $\frac{1}{\alpha}$ ve C_2 katsayıları girilmelidir. Bu katsayılar, FRTCoils yazılımı kullanılarak, girilen hız değerleri için elde edilen basınç kaybı sonuçlarına göre belirlenmiştir. [7].

$\frac{1}{\alpha}$	2948751
C_2	67

Tablo 4. Gözenekli ortam kabulünde kullanılacak değerler

Fan giriş ve çıkışlarına ait sınır koşulları “hız girişi” olarak yapılmıştır. Ancak fanların akış kesitinde hız dağılımı sabit olmadığından, fan üzerinden ölçülen değerlerle oluşan hız eğrisine ait tanım, bir kullanıcı tanımlı fonksiyon (UDF-User Defined Function) aracılığı ile Fluent®’e tanımlanmıştır [7].



Şekil 4. Fanın merkez kesitindeki hız profili

Jianying'in çalışmalarında adı geçen hava akış dengesizliği tanımı (AMD - air flow maldistribution) bu çalışmada kıyas kriteri olarak kullanılmıştır. Buna göre, kesit üzerinde lamel girişinde okunan hız değerlerinin standart sapmasının ortalama hıza oranı bize hava dağılımı dengesizlik oranını verecektir. Formül aşağıdaki gibidir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i - \bar{v}}{\bar{v}} \right)^2}$$

Formülde v_i ağ yapısı üzerinde lamel girişindeki noktalardan okunan hız değeri, $\bar{v}$ okunan hız değerlerinin ortalamasından alınan ortalama hız, n ise verinin okunduğu nokta sayısıdır.

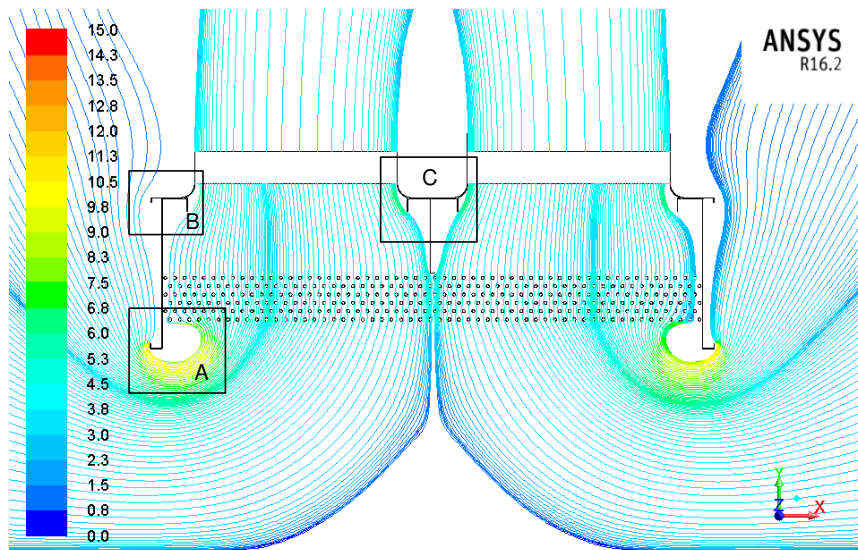
Jianying, hava dengesizliğinin sistem dinamiğine etkilerini incelediği çalışmasında, üç farklı hız profilinde test işlemlerini gerçekleştirmiş ve sonuçta %18 oranında hava dağılımı dengesizliğinin uniform, %49 oranında dengesizliğin non-uniform, %93 seviyesinde dengesizliğin ağır non-uniform olduğunu belirtmiştir.

3.3. Bulgular ve Değerlendirme

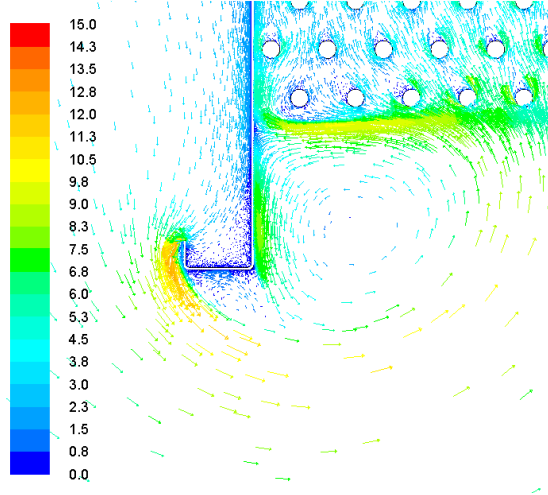
Akış kesitindeki akış yörüngeleri incelendiğinde ilk göze çarpan sac aksamın lamel girişinden önce oluşturduğu köşede akışın ayrılmasıdır. Bu ayrılmaya hava hızının bölgesel olarak artışı sebep olmaktadır. Havanın aktığı açıklığın ünite ile zemin arasındaki boşluk kadar olduğu göz önünde bulundurularak, fanların sağladığı debi sabit olduğundan, döngünün olduğu bölgede ünitenin zemine olan uzaklığının büyüklüğü hava hızlarını etkileyecektir. Fan emişinden önceki sorunlu akış bölgeleri Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu dağılımda hava dağılımı dengesizliği oranı % 29,5 olarak bulunmuştur. Bu sonuç hava dağılımının non-uniform olduğunu gösteriyor. Analiz sonucu elde edilen değerler aşağıdaki gibidir.

Lamel Giriş Ortalama Sıcaklık (°C)	25
Lamel Çıkış Ortalama Sıcaklık (°C)	36.81
Ortalama Sıcaklık Farkı ΔT (°C)	11,16
Ortalama Basınç Kaybı (Pa)	200,8
Lamel Girişindeki Akış Düzgünsüzlük Oranı	%29,5

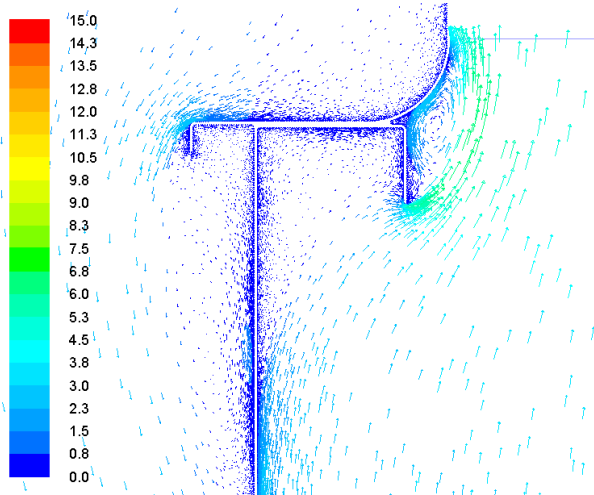
Tablo 5. Analiz sonucu elde edilen değerler



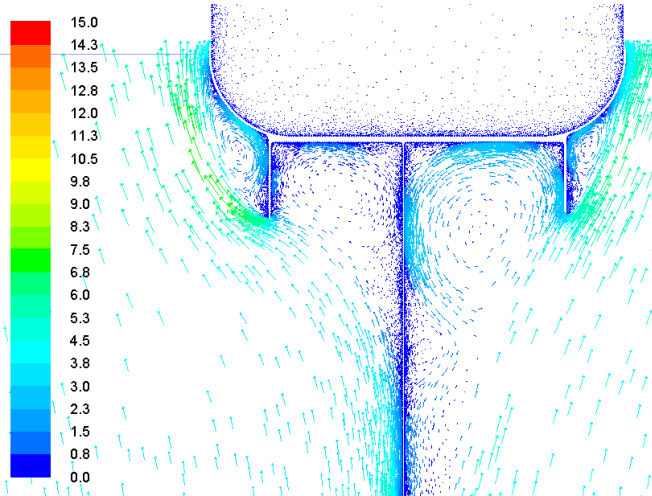
Şekil 5. Mevcut ünite üzerindeki akış kesitinde oluşan akış yörüngeleri (Renk paleti hıza göre düzenlenmiştir.)



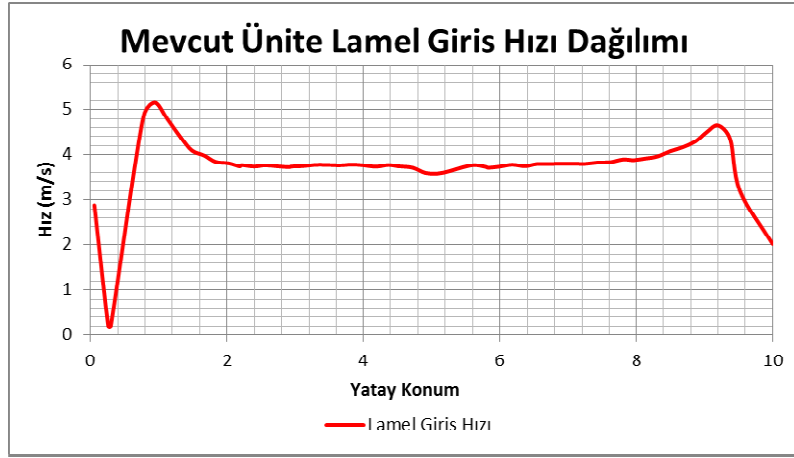
Şekil 6. (A Detayı) Lamel girişinde oluşan döngü
(Renk paleti hızla göre düzenlenmiştir.)



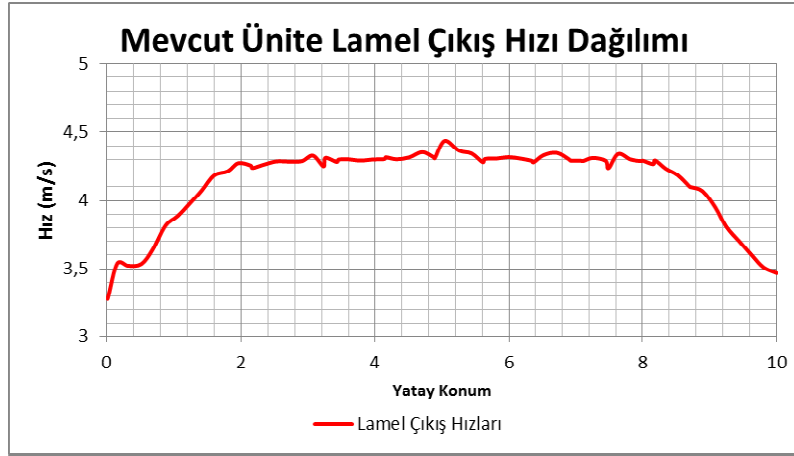
Şekil 7. (B Detayı) Fan girişine yakın, akışın olmadığı bölge
(Renk paleti hızla göre düzenlenmiştir.)



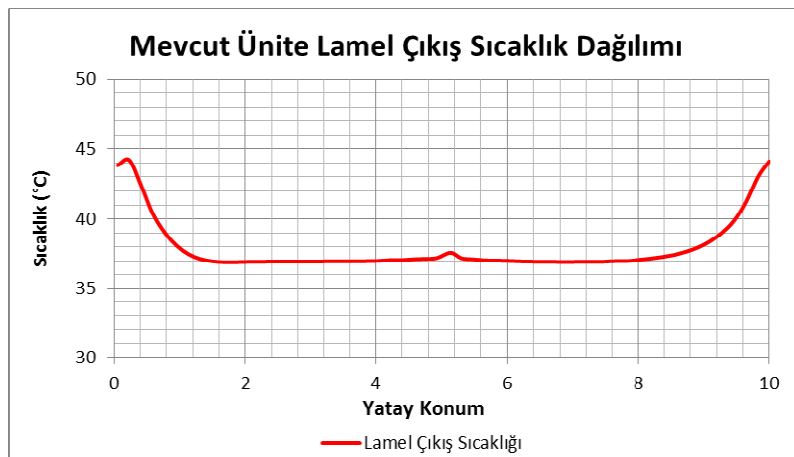
Şekil 8. (C Detayı) Fan girişine yakın, akışın döngü oluşturduğu bölge
(Renk paleti hızla göre düzenlenmiştir.)



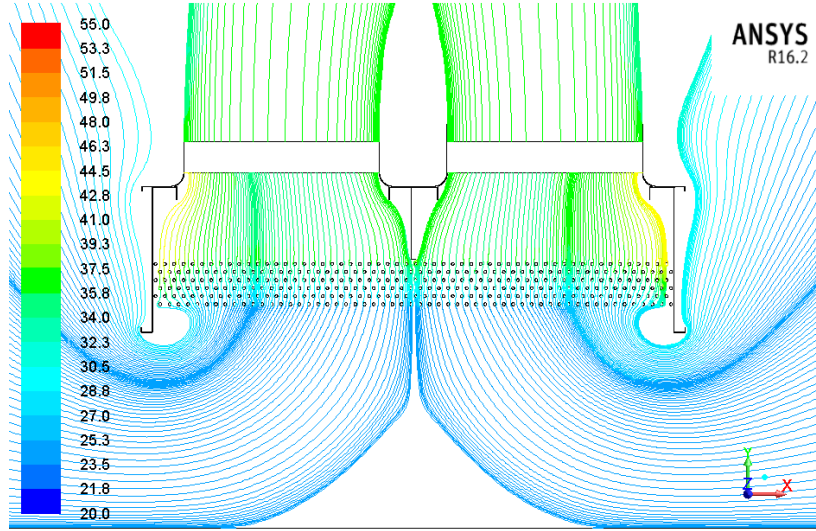
Şekil 9. Mevcut ünite lamel giriş hızı dağılımı



Şekil 10. Mevcut ünite lamel çıkış hızı dağılımı

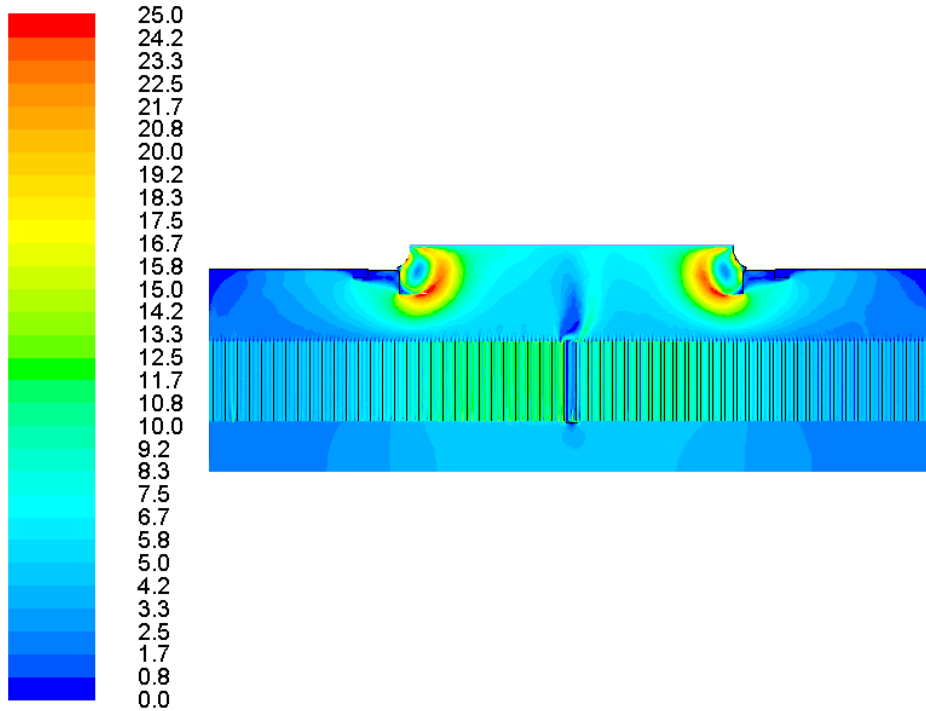


Şekil 11. Mevcut ünite lamel çıkış sıcaklığı dağılımı



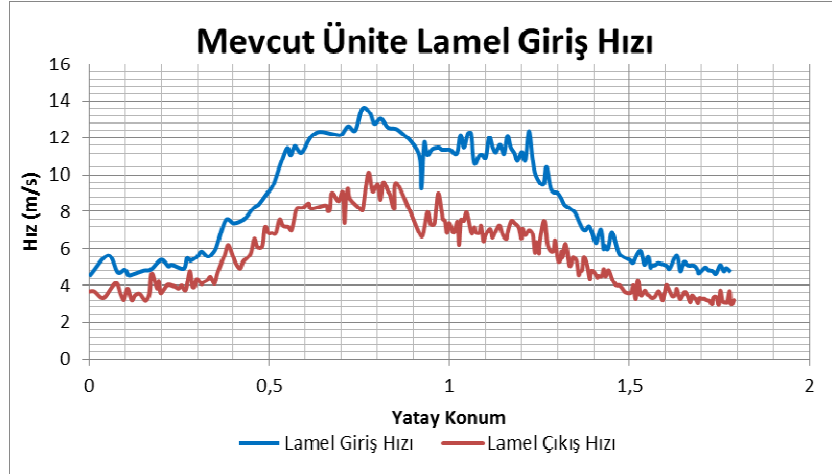
Şekil 12. Akış yörüngelerinde sıcaklık dağılımı (°C)

2. kesitte yapılan analizde kullanılan çözüm alanında davlumbaz yüksekliği kısa tutulmuştur. Şekil13'den görüldüğü gibi, lamel bloğu kesitinde fana yakın bölgelerde hızlar daha yüksektir. İstenen homojen dağılımın gerçekleşmesi için akışın gelişebilmesine olanak sağlayacak mesafe bulunmuyor. Şekil-13'te gözlenen bir diğer durum da, fana yakın bölgelerde bulunan sac unsurlarına ait çıkıntıların ürettiği döngülerdir.



Şekil 13. Verilen ölçülere göre sonuçlanan CFD analizi sonucunda oluşan hız dağılımı

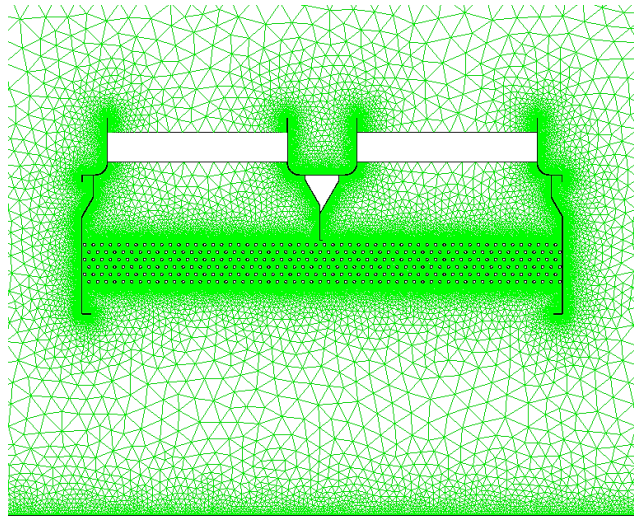
Şekil 14'te lamel dizili uzunluk boyunca oluşan hız dağılımı gösterilmiştir. Fanın altında kalan bölgede hız ortalamasının oldukça üzerindedir. Hava dağılımındaki dengesizlik oranı % 35,9 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. Verilen başlangıç davlumbaz yüksekliğine göre oluşan kesitteki hız dağılımı

3.4. Geliştirmeler

Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi, akışta döngü görülen bölgelerin giderilmesi gerekmektedir. Havanın lamelden sonra fana kadar olan kanal kesitinde, bu bölgeler kapatılarak ya da sac aksamın kesitinde yapılacak modifikasyonlarla akışı düzeltmek mümkündür. Giriş bölgesinde oluşan döngüyü gidermek için, havanın hızını etkileyeceğinden ünitenin yerden olan uzaklığı artırıldı. Bu değişikliklerle hedeflenen, davlumbaz boşluğu içerisindeki döngülerin giderilmesi, akışın daha düzgün gelişmesi ve lamel girişi ve çıkışına ait hız ve sıcaklık profillerinin eşit dağılım göstermesinin sağlanmasıdır.



Şekil 15. İyileştirilen kesit geometrisine ait çözüm alanı ve ağ yapısı

Node Sayısı	289420
Eleman Sayısı	449731

Tablo 6. Geliştirilen ünite kesitinde ağ yapısına ait değerler

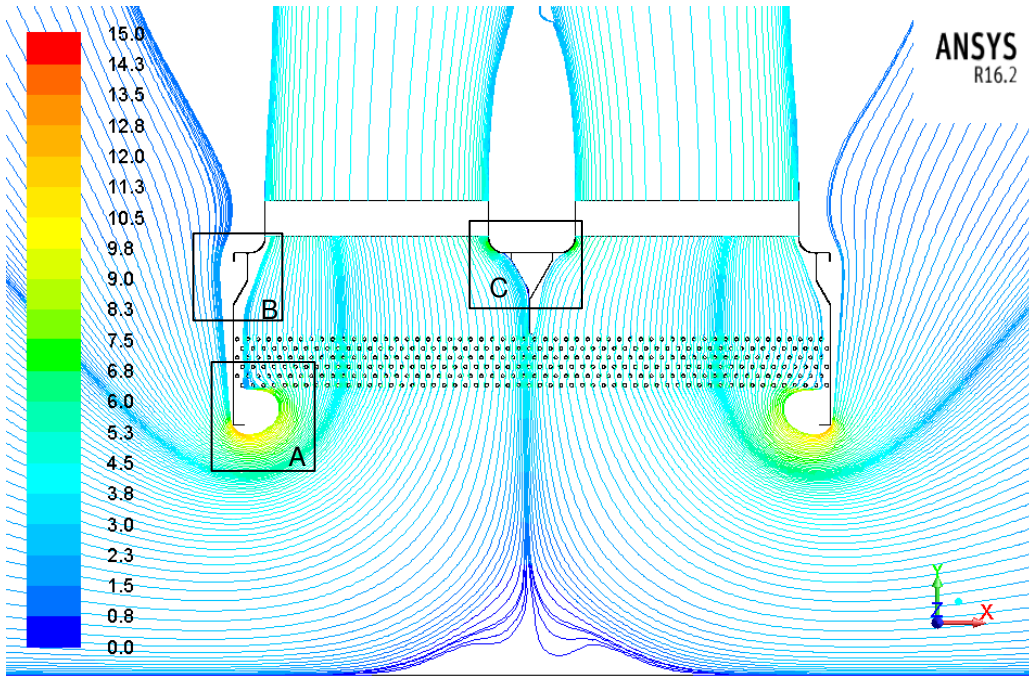
3.5. Geliştirilen Üniteye Ait Sonuçlar

Analiz sonucu elde edilen skaler değerler aşağıdaki gibidir.

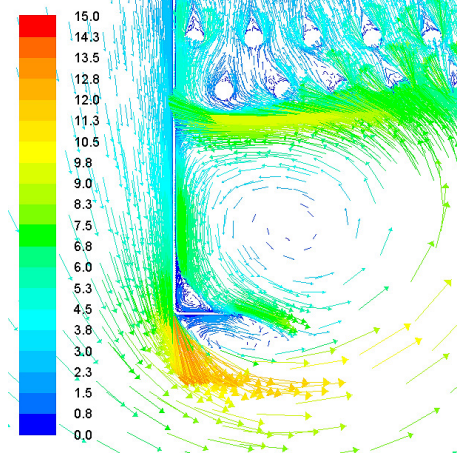
Lamel Giriş Ortalama Sıcaklık (°C)	25
Lamel Çıkış Ortalama Sıcaklık (°C)	36.85
Ortalama Sıcaklık Farkı ΔT (°C)	11,85
Ortalama Basınç Kaybı (Pa)	200,7
Lamel Girişindeki Akış Düzgünsüzlük Oranı (Maldistribution Ratio)	% 19,5

Tablo 7. Geliştirilen ünite analiz sonucu elde edilen değerler

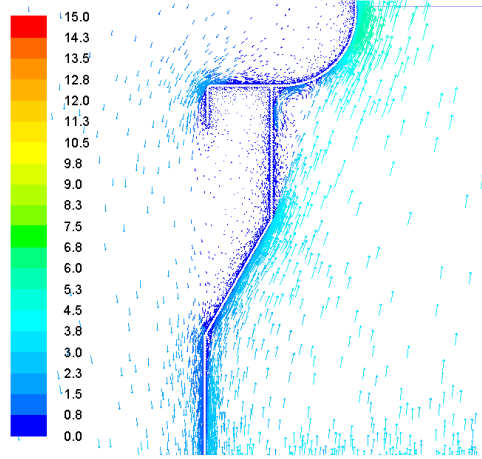
Akış kesitindeki akış yörüngeleri incelendiğinde, lamelden önce gelişen döngünün giderilemediği gözlemlendi. Ancak lamel giriş hızı profilinin sanılanın aksine daha düzgün olduğu gözlemlendi. (Akış Düzgünsüzlük Oranı % 19,5) Bununla birlikte davlumbaz boşluğu içerisinde oluşan döngülerin azaldığı, bazı bölgelerde tamamına yakınının giderildiği görüldü (Şekil 18 ve Şekil 19).



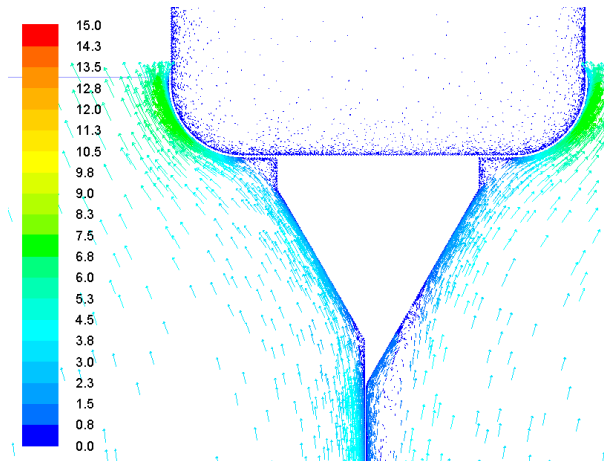
Şekil 16. Geliştirilen üniteadaki akış kesitinde oluşan akış yörüngeleri (Renk paleti hıza göre düzenlenmiştir.)



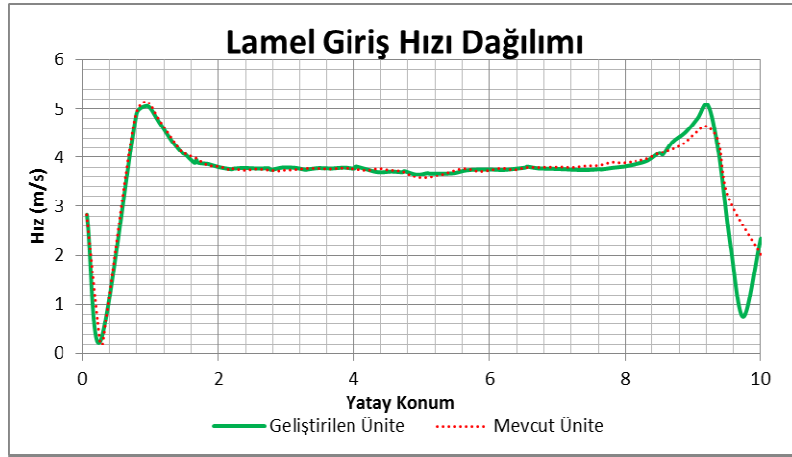
Şekil 17. (A Detayı) Lamel girişinde oluşan döngü
(Renk paleti hıza göre düzenlenmiştir.)



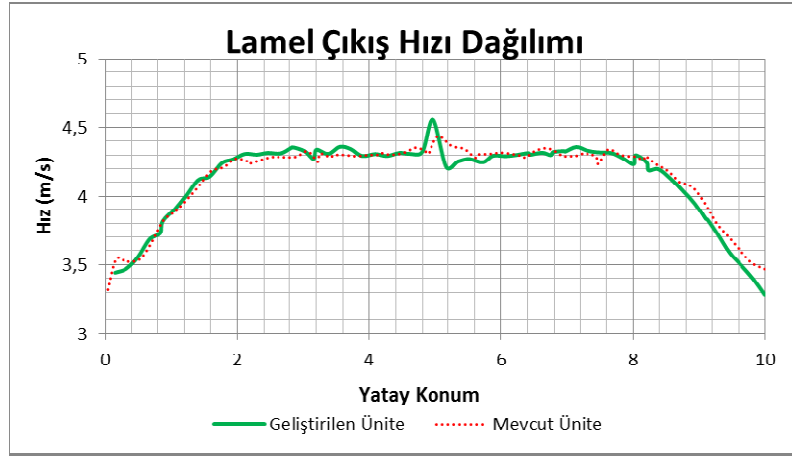
Şekil 18. (B Detayı) Fan girişinden önce hava akışı
(Renk paleti hıza göre düzenlenmiştir.)



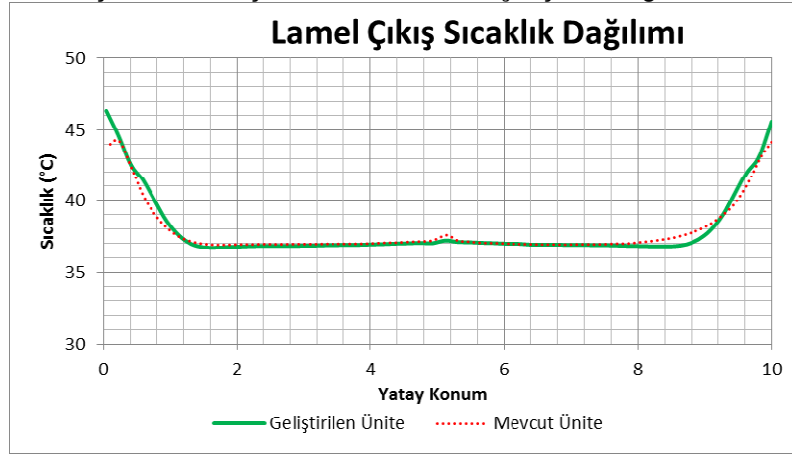
Şekil 19. (C Detayı) Fan girişinden önce
hava akışı (Renk paleti hıza göre
düzenlenmiştir.)



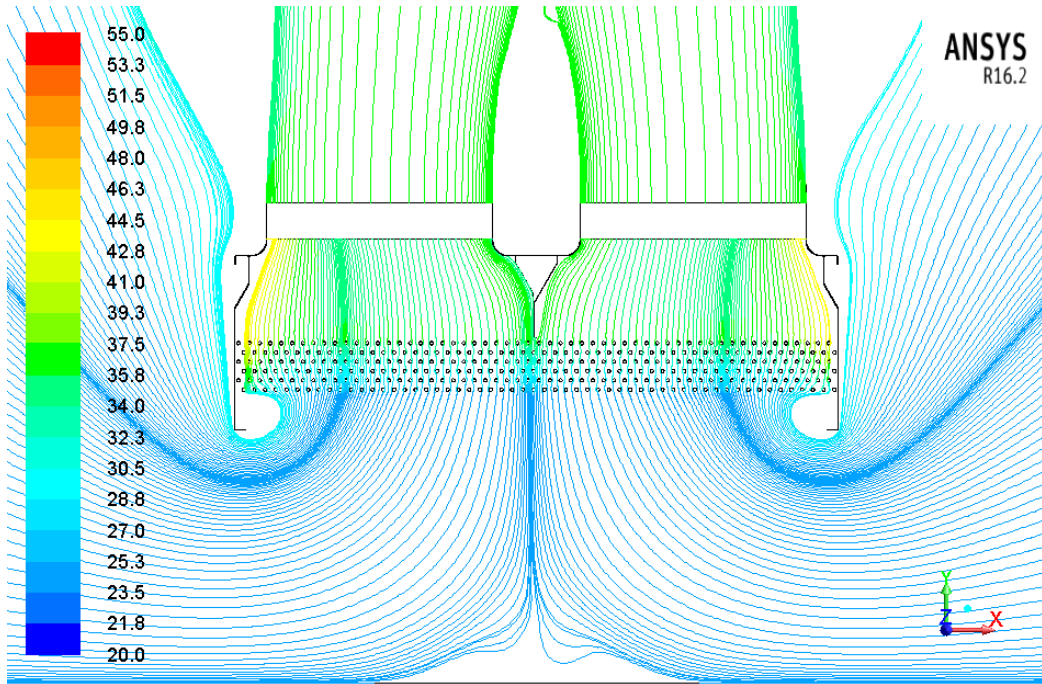
Şekil 20. Geliştirilen üniteye lamel giriş hızı dağılımı



Şekil 21. Geliştirilen üniteye lamel çıkış hızı dağılımı

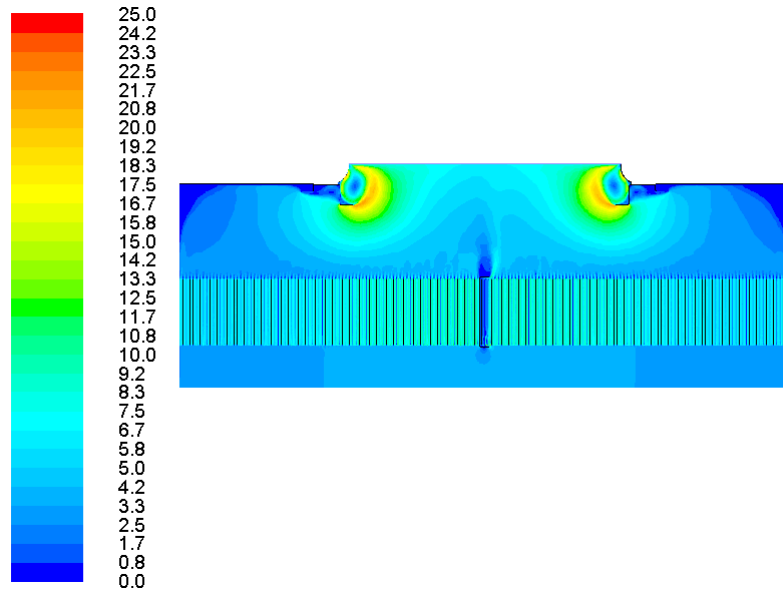


Şekil 22. Geliştirilen üniteye lamel çıkış sıcaklığı dağılımı

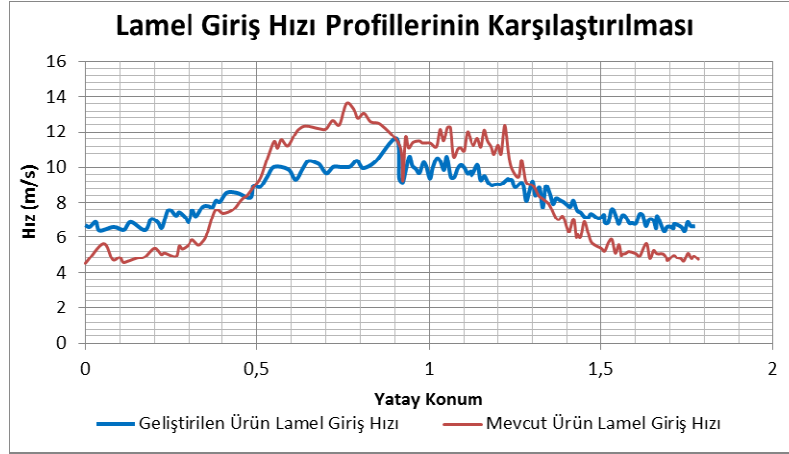


Şekil 23. Akış yörüngelerinde sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 24'te ise davlumbaz yüksekliği optimize edildikten sonraki hız dağılımı görülmektedir. Her ne kadar akışın dengelenmesi için davlumbaz yüksekliği etkili rol alsada, hız profilinin dengeli dağılması için lamel dizili uzunluk ölçüsünde de bazı kısıtlamalar yapılmalıdır. Hesaplanan hava dağılımındaki dengesizlik oranı % 16,3 seviyelerine kadar düşmüştür. Şekil 25'te bu değişim açıkça görülmektedir.



Şekil 24. Optimizasyon sonucunda oluşan hız dağılımı



Şekil 25. Optimizasyon öncesi ve sonrasında oluşan kesitteki hız dağılım profillerinin mukayesesi

4. SONUÇ

Yapılan analizlerin sonucuna göre, 1.kesitte ve 2.kesitte özellikle davlumbaz boşluğunda yapılan geliştirmeler lamel bloğunun girişindeki hız profilinde % 34 iyileşme sağlamıştır. Davlumbaz boşluğunda akışın yumuşak geçişlerle yer değiştirmesi, akışın olduğu boşlukta sac aksama dair çıkıntıların olmaması ve fanın lamele olan uzaklığının doğru seçilmesi, hava akışının düzgünlüğünü etkilemektedir. Özellikle davlumbaz yüksekliği, lamel çıkışındaki akışın gelişmesini olumlu etkileyerek, lamel girişindeki hava akışının düzgün bir profil elde etmesine yardımcı olur. Öte yandan ünitenin içine çekilen havanın girişte döngü oluşturmasının giderilmesi çok önemli bir geliştirme konusu olacaktır. Şekil 20'de Yatay Konum'da 0-2 ve 8-10 değerleri arasında kalan bölgelerde oluşan düzgünlüklükler, bu döngü akışlarının etkisi ile oluşmaktadır. Giderilmesi akış düzgünlüklük oranını düşürecektir.

Grafiklerden ve tablodan okunan verilere göre akışta elde edilen iyileştirmenin ısı transferine ve basınç kaybına çok büyük etkisi olmamıştır. Hesaplama programı ve sonlu elemanlar programı ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkların, analitik hesaplama için yapılan kabullerdeki hata paylarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca sonlu elemanlar programı ile yapılan çözümde geometrinin 2 boyutlu seçilmesi de ünitenin tamamını inceleme fırsatı tanımadığından, kıyaslama için yeterli değildir.

	FRTCoils	Mevcut Ünite	Geliştirilen Ünite
Lamel Giriş Ortalama Sıcaklık (°C)	25	25	25
Lamel Çıkış Ortalama Sıcaklık (°C)	36,2	36.81	36.85
Ortalama Sıcaklık Farkı ΔT (°C)	11,2	11,16	11,85
Ortalama Basınç Kaybı (Pa)	187,18	200,8	200,7
Lamel Girişindeki Akış Düzgünlüklük Oranı (Maldistribution Ratio)	% 0	% 29,5	% 19,5

Tablo 8. Analiz sonucu elde edilen değerlerin mukayesesi

KAYNAKLAR

- [1] Bengt Sundén, “Computational Fluid Dynamics in Research and Design of Heat Exchangers”, Heat Transfer Engineering, 28:11, 898-910, 2007
- [2] Xinzhou Song, Dong Huang, Xiaoyu Liu, Qun Chen, “Effect of non-uniform air velocity distribution on evaporator performance and its improvement on a residential air conditioner “, Applied Thermal Engineering 40 (2012) s284-293, 2012
- [3] Muhammad Mahmood Aslam Bhutta, Nasir Hayat, Muhammad Hassan Bashir, Ahmer Rais Khan, Kanwar Naveed Ahmad, Sarfaraz Khan, “CFD applications in various heat exchangers design: A review”, Applied Thermal Engineering 32 (2012) 1-12, 2012
- [4] Patankar, S. V., and Spalding, D. B., A Calculation Procedure for Transient and Steady State Behavior of Shell-and-Tube Heat Exchangers, in Heat Exchanger Design and Theory Source Book, eds. N. F. Afgan and E. U. Schlunder, McGraw-Hill, New York, 1974.
- [5] ANSYS Meshing User's Guide, (2013), ANSYS, Inc. Release 15.0, USA
- [6] “ANSYS FLUENT® 12.0 User's Guide”, 2009
- [7] “ANSYS FLUENT® 12.0 UDF Manual”, 2009
- [8] Jianying, G., Tieyu G., Xiuling, Y., Dong, H. 2008. Effects of air flow maldistribution on refrigeration system dynamics of an air source heat pump chiller under frosting conditions, Energy Conversion and Management, Vol 49, pp 1645–1651.

ÖZGEÇMİŞ**Feridun YAVAŞ**

1987 yılı İstanbul doğumludur. 2012 yılında Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Sektörde yapısal tasarım ve analiz-optimizasyon süreçlerinde tecrübe sahibidir. Şu an Friterm Termik Cihazlar A.Ş.' de Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır. Konstrüksiyon ve hesaplamalı akışkan dinamiği konuları üzerine çalışmalarını devam ettirmektedir.

Dr. 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, v.b. 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 A.Ş.'de Ar-Ge Bölüm Müdürü olarak göreve başlayan Onbaşıoğlu halen bu görevine devam etmektedir. Yabancı dil olarak çok iyi derecede İngilizce bilmektedir.