

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CEBRİ ISITILAN BİR HACİMDEKİ CİSMİN ISINMA
PERFORMANSININ DENEYSEL VE NÜMERİK
İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Nilay YALÇINKAYA

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Enerji Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS BİTİRME TEZİ

Tez Danışmanları: Prof.Dr. Hasan A. HEPERKAN (YTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iv
SİMGE LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1 Patentler	2
2.2 Makaleler	6
2.2.1 Radyal Fan İçin Basitleştirilmiş CFD Modeli	6
2.2.2 Tünel Ekmek Pişirici Cihazının CFD Modelinin Proses Kontrolünün Tasarımı	8
2.2.3 Çok Küçük Santrifüj Fanın İncelenmesi	9
2.2.4 Bir Santralin Bacasındaki Basınç Kaybının Azaltılmasının Nümerik İncelenmesi	11
2.2.5 Yüksek Hızlı Bir Radyal Fanın Ses Gürültüsünün Tahmini	15
2.2.6 Tavan Fanı Kullanarak Termal Konforun İyileştirilmesi	18
2.2.7 Split Tip Bir Klimadaki Ters Akışlı Fanın Modellenmesi	21
2.2.8 Bir Zorlamalı Konveksiyon Pişirici Cihazdaki İzotermal Akışın CFD Modellemesi ve Doğrulaması	24
2.3 Literatür Araştırmasından Elde Edilen Sonuçlar	27
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
3.1 Deney Düzeneginin Kurulması	28
3.2 Deney Sonuçları	29
4. FAN TASARIMLARININ CFD ANALİZLERİ	30
4.1 Analizlerde Kullanılan Model	30
4.2 Analizin Yapılışı	32
4.3 Analizlerde Kullanılan Sınır Koşulları	35
4.4 Analiz Sonuçları	39
5. SONUÇLAR	47

KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	50

KISALTMA LİSTESİ

<i>CFD</i>	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
<i>UDF</i>	User Defined Function (Kullanıcı Tanımlı Fonksiyon)

SİMGE LİSTESİ

H	Basınç (m su sütunu)
Q	Debi (m^3s^{-1})
N	Devir (d/d)
N_{sq}	Özgül hız
T_{ref}	Başlangıç sıcaklığı (C)
μ	Momentum kg/(m.s)
c_p	Özgül ısı (kJ/kg)
k	Isı transfer katsayısı (W/(m.K))
$V_{giriş}$	Havanın hacme giriş hızı (m/s)
w	Bağıl nem (kg/kg hava)
q_{motor}	Motorun ürettiği ısı miktarı (W/m^2)
q_{lamba}	Lambanın ürettiği ısı miktarı (W/m^2)
T_{insan}	İnsanın yüzey sıcaklığı (C)
q_{insan}	İnsandan çıkan nem
V_{fan}	Fanın normal hızı
V_{ortam}	Odadaki ortalama hava hızı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Pişirici cihazın konveksiyon ünitesi	2
Şekil 2.2 Fan koruma sacı ve üzerindeki yönlendirme plakaları, fan ve ısıtıcı ünitesi	3
Şekil 2.3 Patentte anlatılan fan	3
Şekil 2.4 Patentte anlatılan pişirici cihaz, fan ve ısıtıcı	4
Şekil 2.5 Konveksiyon ünitesinin patlatma resmi	4
Şekil 2.6 Patentte Anlatılan Pişirici cihaz Ve Havayı Dağıtan Eleman	5
Şekil 2.7 Radyal fanın katı modeli	6
Şekil 2.8 Icepak yazılımdan seçilen fana ait ve seçilen fanın düzeltilmiş (yeni) haline ait fan eğrileri	6
Şekil 2.9 Makaledeki CFD modeli (solda) ve deney düzeneği (sağda).....	7
Şekil 2.10 CFD sonuçlarına göre (solda) ve deney sonuçlarına göre (sağda) hız dağılımları	7
Şekil 2.11 CFD analizinden elde edilen sıcaklık değişim sonuçları.....	9
Şekil 2.12 İncelemede kullanılan akış diyagramı	9
Şekil 2.13 Analizi yapılan fan	10
Şekil 2.14 STAR-CD ile yapılan analiz sonuçları	10
Şekil 2.15 Tasarlanan fana ait deneysel sonuçlar	11
Şekil 2.16 Sistemin yandan görünüşü	12
Şekil 2.17 Bacanın ve manifold sisteminin genel görünüşü (solda), mesh li görünüşü (sağ altta) ve yönlendirme plakalarının yeri (sağ üstte).....	13
Şekil 2.18 Deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	14
Şekil 2.19 Türbülans kinetik enerjisinin yönlendirme plakasının olmadığı (a) ve olduğu (b) durum için karşılaştırılması	14
Şekil 2.20 Analizi yapılan radyal fan	15
Şekil 2.21 Modelin akışkan hacimleri	16
Şekil 2.22 Deney düzeneği	17
Şekil 2.23 $r=1$ m de deneysel ve nümerik ses ölçüm sonuçları.....	18
Şekil 2.24 Analizde kullanılan model	19
Şekil 2.25 2D modelde yapılan analizin fanın çalışmadığı (solda) ve çalıştığı (sağda) durumlar için sonuçları	20
Şekil 2.26 3D modelle yapılan analizin sonuçları	21
Şekil 2.27 Makalede anlatılan analizde kullanılan birinci ve ikinci analiz modeli	22
Şekil 2.28 Analiz modelinde fanda kullanılan ara yüzeyler ve meshler	22
Şekil 2.29 Makalede anlatılan analizin sonucuna elde edilen basınç (üst) ve hız (alt) değerleri	23
Şekil 2.30 Analiz ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	24
Şekil 2.31 Makalede modellemesi anlatılan pişirici cihaza ait resimler.....	25
Şekil 2.32 Bir, dört ve yedi nolu raflarda CFD ile hesaplanan ve deneylerde ölçülen hız dağılımlarının karşılaştırılması (CFD ile hesaplanan sonuçlar solda, deneylerde ölçülen sonuçlar sağda).....	26
Şekil 3.1 Deneylerde cismin birim zamandaki sıcaklık artışı	29
Şekil 4.1 Analiz Modeli.....	30
Şekil 4.2 2D ve 3D mesh çeşitleri	31
Şekil 4.3 Türbülans modelinin seçildiği panel	33
Şekil 4.4 “Patch” İşleminin Yolu	34
Şekil 4.5 “Patch” komutunun kullanıldığı panel	34
Şekil 4.6 Fanın Sınır Şartlarının Girişinin Yapıldığı Pencere	36
Şekil 4.7 Isıtıcı için sınır şartlarının girişinin yapıldığı panel	38
Şekil 4.8 Fanın Etrafındaki dönen hacim için sınır şartlarının girişinin yapıldığı panel.....	38

Şekil 4.9 Hacmin ortasındaki cismin ısınma hızı	43
Şekil 4.10 Analiz sonuçlarına göre ısıtıcının yüzey sıcaklığı.....	44

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Farklı devirlerde fandan elde edilen verim değerleri	11
Çizelge 2.2 Çalışma noktasının aerodinamik karakteristikleri.....	15
Çizelge 2.3 Radyal fanın geometrik karakteristikleri.....	16
Çizelge 2.4 2D Analizdeki hız ile ilgili sınır şartları.....	19
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan fanlar	28
Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan fanların debi miktarları	29
Çizelge 4.1 Fan analizlerinin yapıldığı analiz modelinin özellikleri.....	31
Çizelge 4.2 Analizi Yapılan Fanlar	33
Çizelge 4.3 Fan analizlerinin yapıldığı analiz modelinin özellikleri.....	35
Çizelge 4.4 Analiz Modelinde Kullanılan Sınır Şartları.....	35
Çizelge 4.5 Analiz Modelinde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	37
Çizelge 4.6 US2006289426 nolu patentteki fana ait akış analiz sonuçları	39
Çizelge 4.7 CA2411379 fanına ait akış analiz sonuçları.....	40
Çizelge 4.8 US7345261 fanına ait akış analiz sonuçları	41
Çizelge 4.9 Üfleme Deliklerindeki Debi Miktarları (L/s).....	42
Çizelge 4.10 Fanların yüzey basınçları.....	45

ÖNSÖZ

Günümüzde teknoloji sürekli gelişmekte, geliştikçe yeni alanlar oluşmaktadır. Bu yeni teknolojik alanlarda yeni ihtiyaçlar doğmaktadır. Hesaplmalı akışkanlar mekaniği hızlı gelişme gösteren bir teknoloji dalıdır. CFD (Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği) bilgisayar destekli analiz teknikleriyle gaz ve akışkanların davranışlarının incelenmesinde kullanılır.

Bu çalışmada cebri ısıtılan bir hacmin farklı fan kullanılmasına bağlı olarak ısınma performansı CFD analizleri ile incelenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında çalışmanın farklı aşamalarında verdikleri bilgi ve önerileri ile çalışmamı yöneten hocalarım Sn. Prof. Dr. Hasan HEPERKAN'a ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e katkılarından dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamın analiz aşamasında bilgi ve tecrübesiyle her zaman destek olan, CFD hocam Sn. Murat KANTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Fatih ÖZKADI'ya ve Sn. Dr. Levent AKDAĞ'a teşekkür ederim.

Değerleri fikirleri, eleştirileri ve önerileri için Dr. Bekir ÖZYURT'a ve Aslı KAYIHAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen, büyük özveride bulunarak benim günlere gelmemi sağlayan, aileme en içten şükranlarımı sunarım.

Ağustos 2009

Nilay Yalçinkaya

AR-GE Mühendisi

ÖZET

Bu çalışmada cebri ısıtılan bir hacmin farklı fan kullanılmasına bağlı olarak ısınma performansı CFD analizleri ve deneyler ile incelenmiştir.

Analizlerde ve deneylerde hacmin ortasındaki bir cismin ısınma performansı incelenmiştir. CFD analizleri ve deney düzeneği için model oluştururken pişirici cihazlardan esinlenilmiştir. Bir pişirici cihazdan yola çıkarak oluşturulan modelde fan ve ısıtıcıdan oluşan bir konveksiyon ünitesi mevcuttur. Hacmi ve hacmin ortasındaki cismi bu konveksiyon sistemi ısıtmaktadır.

Modelin oluşturulması sırasında pişirici cihazlardan esinlenildiğinden, pişirici cihazlarla ilgili patent ve makale araştırması yapılmıştır. Pişirici cihazlarla ilgili ulaşılan makale sayısı sınırlı olmakla birlikte pişirici cihazlarda kullanılan fanlarla ilgili birçok patente ulaşılmıştır.

Patent araştırmasında bulunan patentler incelenmiş ve bazı fanlar analizler için seçilmiştir. Bu fanlar oluşturulan modelde analiz edilerek performansları karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu çalışma benzer sistemlerin ısıtılması ile ilgili çalışmalara kaynaklık edecek özelliklere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Zorlanmış taşınım, fan, ısı transferi

ABSTRACT

In this study, heating performance of fan-forced heated volume according to the different fan designs is examined with CFD analysis and experiments.

In the analysis and experiments heating performance of an object in the middle of volume are investigated. While creating CFD analysis model; it is inspired from cooking devices. The CFD model consists of a convection on a fan and heater unit. The volume and object in the middle of this volume are heated by this convection heat transfer system.

During the establishing of model inspired from cooking devices, research patents and articles related with cooking devices are investigated. Limited number of articles about cooking devices was reached, although many patents related to fan used in cooking devices were reached.

Patents about fan designs have been examined and some fans have been selected for analysis. The selected fans were analysed for performance and results of this analysis are compared with the established model.

This study has included many features that can be resource for similar systems.

Keywords: forced convection, fan, heat transfer

1. GİRİŞ

Bu çalışma cebri ısıtılan bir hacmin fana bağılı olarak ısınma performansının nümerik ve deneysel incelenmesi ile ilgilidir.

Analiz modeli ve deney düzeneği oluşturulurken pişirici cihazlardan esinlenilmiştir. Çalışmada bahsedilen hacim fan ve ısıtıcıdan oluşan bir konveksiyon ünitesi içermektedir. Bu ünite farklı fanlar kullanılarak hacmin ortasındaki cismin ısınma karakteri incelenmiştir.

Analiz süresinin ve sınır şartlarının optimum sayıda kalması için sistemin oluşturulması sırasında modelin en temel elemanlardan oluşmasına dikkat edilmiştir. Böylece sistemin analizi ve değerlendirmesi açısından zaman kazanılmıştır.

Modelin oluşturulmasının ardından, modelin pişirici cihaza benzemesinden yola çıkarak pişirici cihaz ve fanlarla ilgili patent ve makaleleri araştırılmıştır. Makale araştırması sonucunda bulunan makaleler incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda fanın performansı ile ilgili analizlerde basit sistemler kullanıldığı görülmüştür. Yani sistemin tamamı değil, sadece akıştan etkilenen kısımlar modele dâhil edilir.

Fanların incelenmesi sonucunda analiz modeline uygun fanlar belirlenmiş ve analiz modelinin analize hazırlık işlemleri olan “pre-processing” kısmına başlanmıştır. “Pre-processing” işlemlerinde “mesh” atma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada analiz modelinin hassas kısımları ince, diğer kısımları ise hassas kısımlara nazaran daha büyük “mesh”lenmiştir.

Analiz sonuçları akış ve enerji analizi olarak iki ayrı kısımda incelenmiştir. Akış analizlerinden enerji analizlerini destekleyici sonuçlar elde edilmiştir.

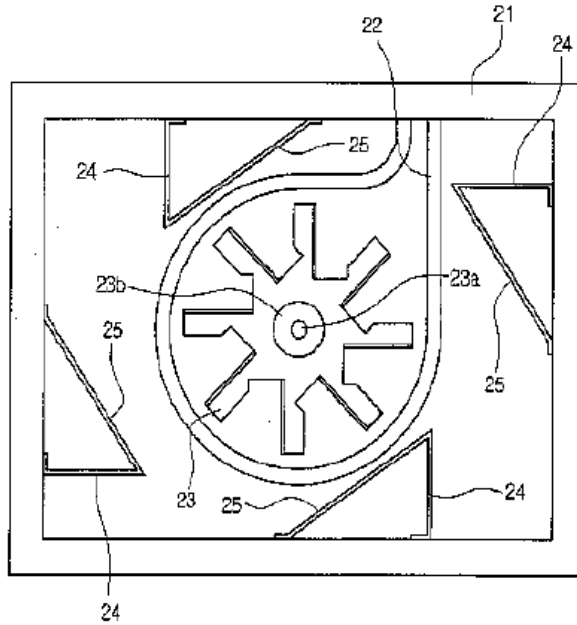
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Patentler

Avrupa Patent Ofisinin (Espacenet.com) veritabanından araştırılan patentler aşağıdaki gibidir.

US7345261 (B2) – Ankastre Mikrodalga Pişirici Cihaz

Patent bir mikrodalga pişirici cihazdaki konveksiyon sistemi hakkındadır. Şekil 2.1’de; (22) ısıtıcı, (23) fan, (24) ve (25) yönlendirme elemanlarıdır. Patentte anlatılan mikrodalga pişirici cihazda konveksiyon özelliği ek bir özelliktir. Pişirmeyi iyileştirdiği iddia edilmiştir. Patentte turbo fan (23) ile ilgili bir açıklama yer almaktadır.



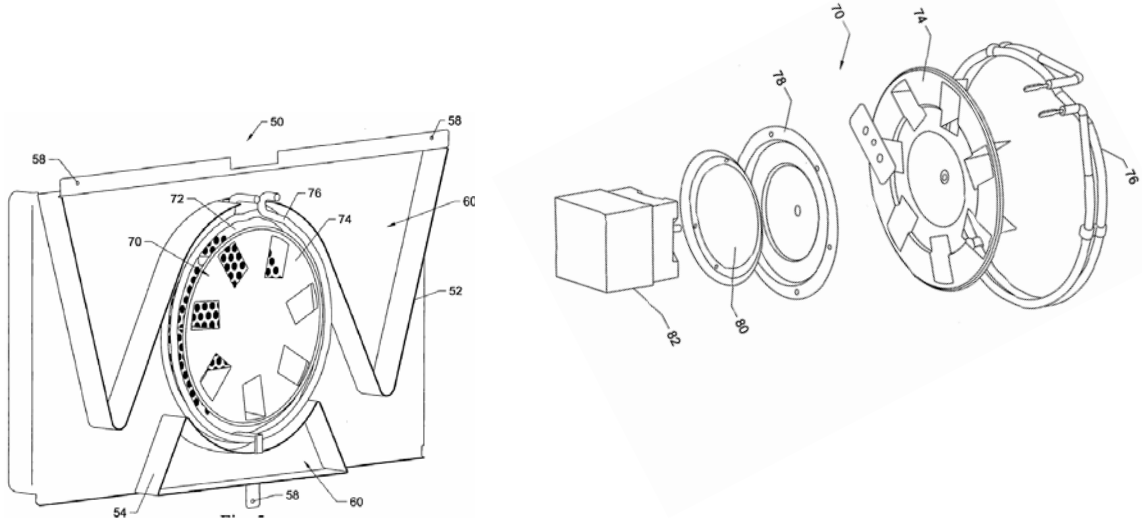
Şekil 2.1 Pişirici cihazın konveksiyon ünitesi

US2006289436 (A1) – Multifonksiyonlu Pişirme Cihazının Fan Koruma Sacı

Patent çift hızlı ve çift yönlü bir fana sahip pişirici cihaz hakkındadır. Patent aynı zamanda fan koruma sacının arkasındaki yönlendirme plakalarından da bahsetmiştir. Patentte pişirici cihazın tüm pişirme fonksiyonları anlatılmıştır.

Fan koruma sacının arka tarafında fandan çıkan havayı yönlendirmek için bazı plakalar (52 ve 54) mevcuttur. Fan saat yönünde dönüyorsa plakalar havanın yaklaşık %70 ini sağ tarafa; saat yönünün tersi yönünde dönüyorsa sol tarafa yönlendirir. Çift yönlü dönüşün homojen

dağılımının iyi ve ısı transferinin yüksek olmasını sağladığı iddia edilmektedir. Fan koruma sacında giriş delikleri çıkış deliklerinin iki katıdır. Bu sayede hava hızının arttığı ve ısı transferinin iyileştiği belirtilmiştir.



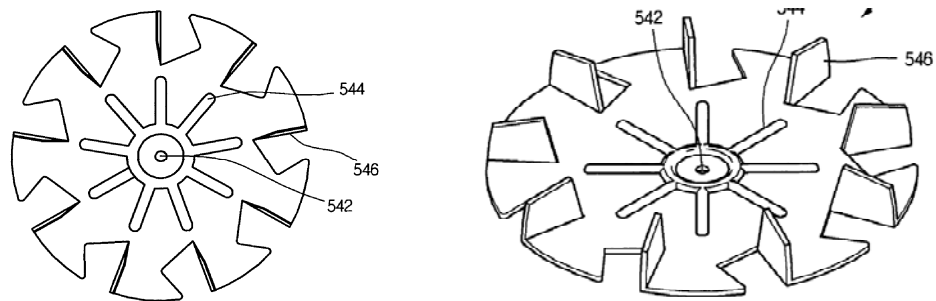
Şekil 2.2 Fan koruma sacı ve üzerindeki yönlendirme plakaları, fan ve ısıtıcı ünitesi

US2006027560 (A1) – Pişirme Cihazına Ait Konveksiyon Ünitesi

Patent bir turbo fan ve fan kutusu tasarımı hakkındadır.

Patente anlatılan fan tek parçadır. Kesilen kısımların kıvrılmasıyla kanat formu verilmiştir. Kanatların açısı en verimli yüzey alanını verecek şekilde tasarlanmaktadır.

Patente vurgulanan kısım fanın ve fanı çevreleyen fan kutusunun tasarımıdır. Fanın üretim kolaylığı ve akış verimliliğinden bahsedilmiştir.

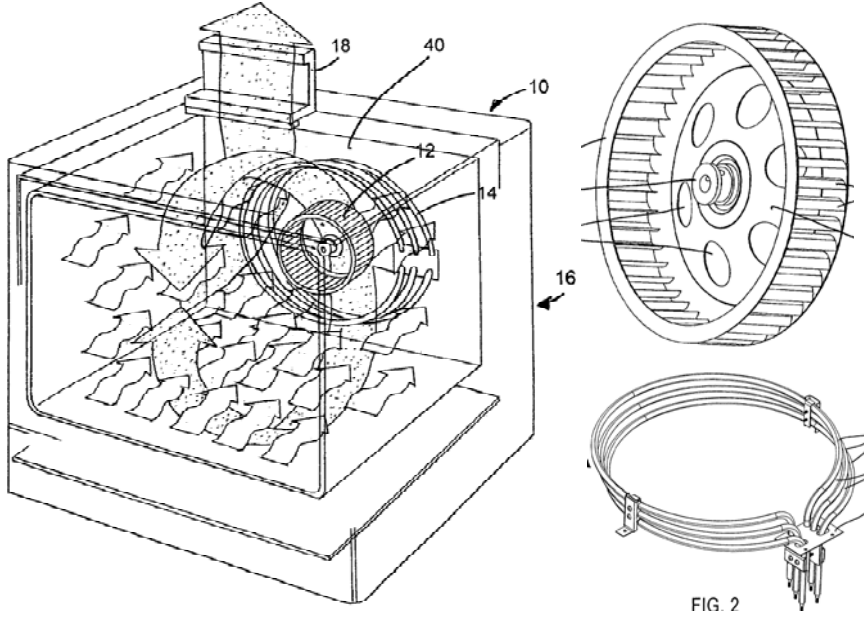


Şekil 2.3 Patentte anlatılan fan

US6933472 (B1) – Elektrikli Pişirme Cihazı

Patent "squirrel-cage" de denilen sincap kafesi tipi fana sahip bir pişirici cihaz hakkındadır. Bu fan normalde gazlı pişirici cihazlarda kullanılırken bu patentte elektrikli bir pişirici cihazda kullanılmıştır. Fanla birlikte kullanılan ısıtıcı 3 sarmallıdır.

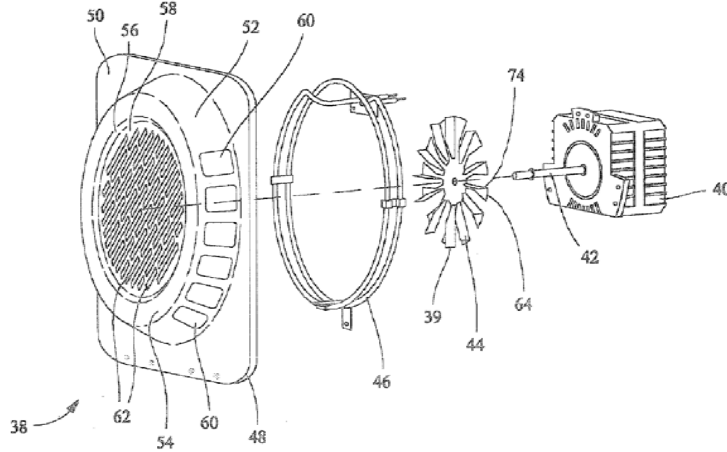
Patentte vurgulanan kısım fan tasarımı ve bacadır.



Şekil 2.4 Patentte anlatılan pişirici cihaz, fan ve ısıtıcı

CA2409538 (A1) – Pişirici Cihaz

Patent her iki yönde de dönen bir fan sayesinde oluşturulabilen algoritmalar ve hava dağıtımına yardımcı "blocking fan" adlı eleman hakkındadır.



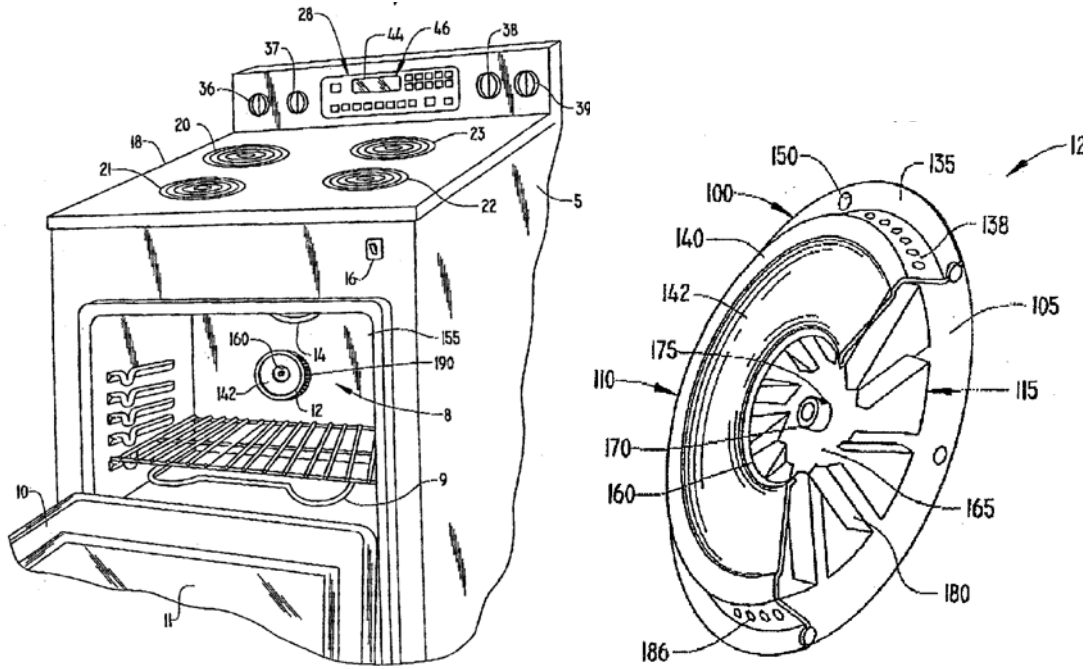
Şekil 2.5 Konveksiyon ünitesinin patlatma resmi

Patentte pişirici cihazda kullanılabilir bir algoritma tablosu verilmiştir. Örneğin kullanıcı çok tepsili konveksiyon pişirme yapmak istiyor olsun. Bu durumda fan 20 saniye saat yönünde çalışır, 10 saniye durur, 40 saniye saat yönünün tersi yönünde çalışır ve yine 10 saniye durur. Bu çevrim tekrarlanarak devam eder. Turbo ısıtıcı da belirli periyotlarda çalışır ve durur. Pişirici cihazın iç sıcaklığı sürekli kontrol edilir. Isıtıcı sıcaklığa bağlı olarak gerektiğinde devreye girer veya çıkar. Fanın çalışması ise pişirici cihazın iç sıcaklığından bağımsızdır.

CA2411379 (A1) – Pişirici Cihaz İçin Konveksiyon Fan

Patent hava dağıtımını iyileştiren bir eleman hakkındadır. Şekil 2.7’de alt ısıtıcı, (12) fan sistemi, (100) fanı örten kutu, (105) arka plaka ve (115) fandır. Kullanılan turbo fan (115) çift hızlıdır.

Şekildeki elemanın ön kısmındaki açıklıktan hava girer. Fana gelir. Fanın savurduğu hava elemanın çevresindeki deliklerden çıkar ve pişirici cihaza girer. Değişken hızlı motor sayesinde de daha etkin bir hava dağıtımı gerçekleştirildiği iddia edilmiştir.



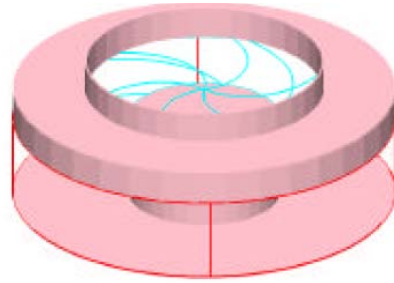
Şekil 2.6 Patentte Anlatılan Pişirici cihaz Ve Havayı Dağıtan Eleman

2.2 Makaleler

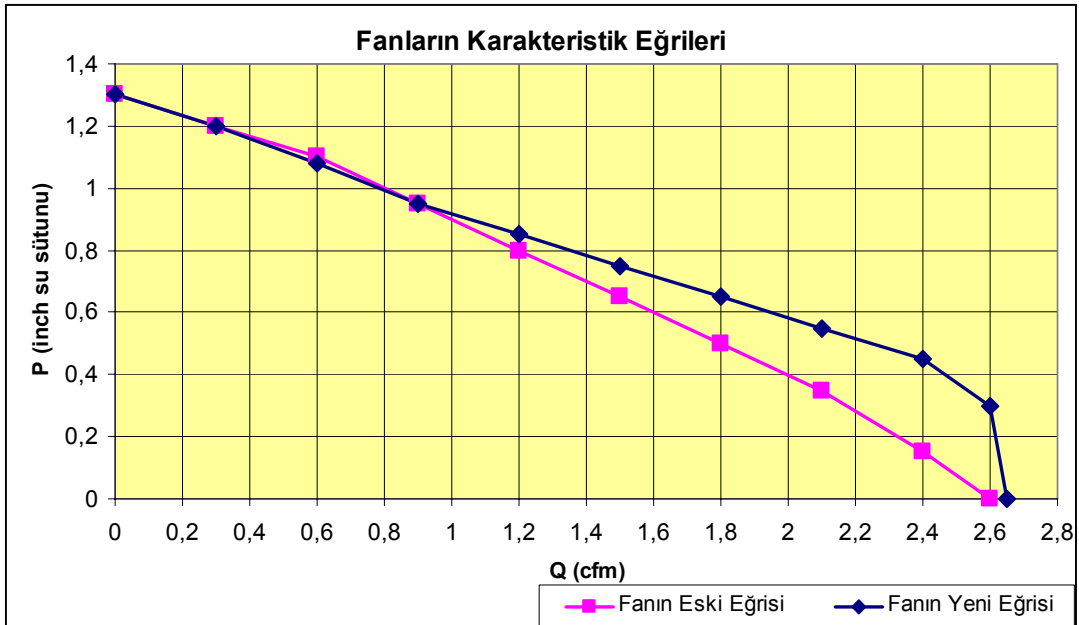
2.2.1 Radyal Fan İçin Basitleştirilmiş CFD Modeli

Roknaldin ve çalışma arkadaşları tarafından yazılan bu makale bir radyal fan grubu için oluşturulan basit CFD modeli hakkındadır. Makalede CFD analiz sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Fan olarak Icepak adlı CFD yazılımındaki mevcut fanlardan biri seçilmiştir. Seçilen bu fanın özellikleri istenilen şartlara göre modifiye edilmiştir. Böylece yeni bir fan eğrisine sahip yeni bir fan elde edilmiştir. Seçilen fanların (EBM R2G175 model) yeni ve eski fan eğrileri Şekil 2.8’de verilmiştir. Grafikteki eğrilerde de görüldüğü gibi seçilen fan ile referans alınan fanın özellikleri birbirine yakındır.

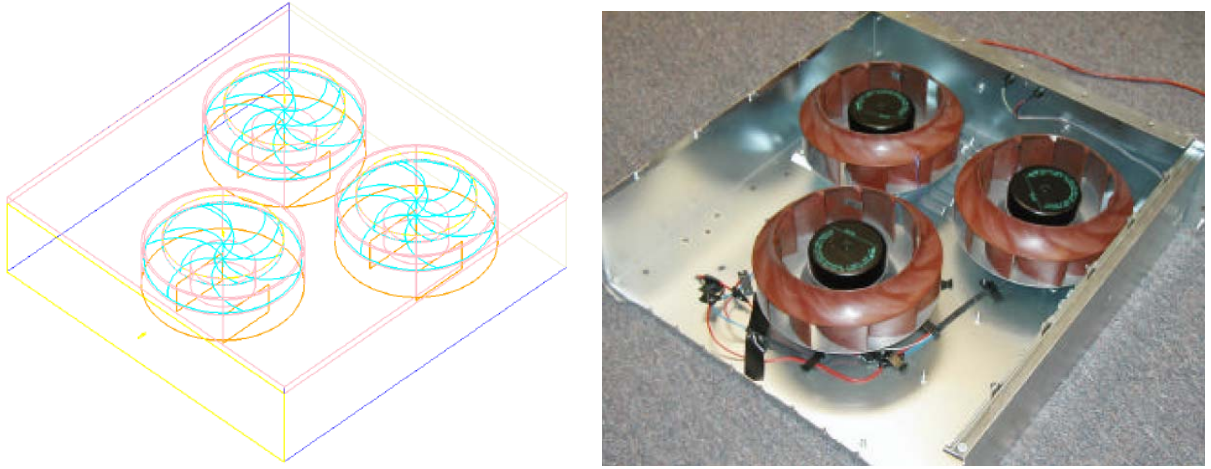


Şekil 2.7 Radyal fanın katı modeli



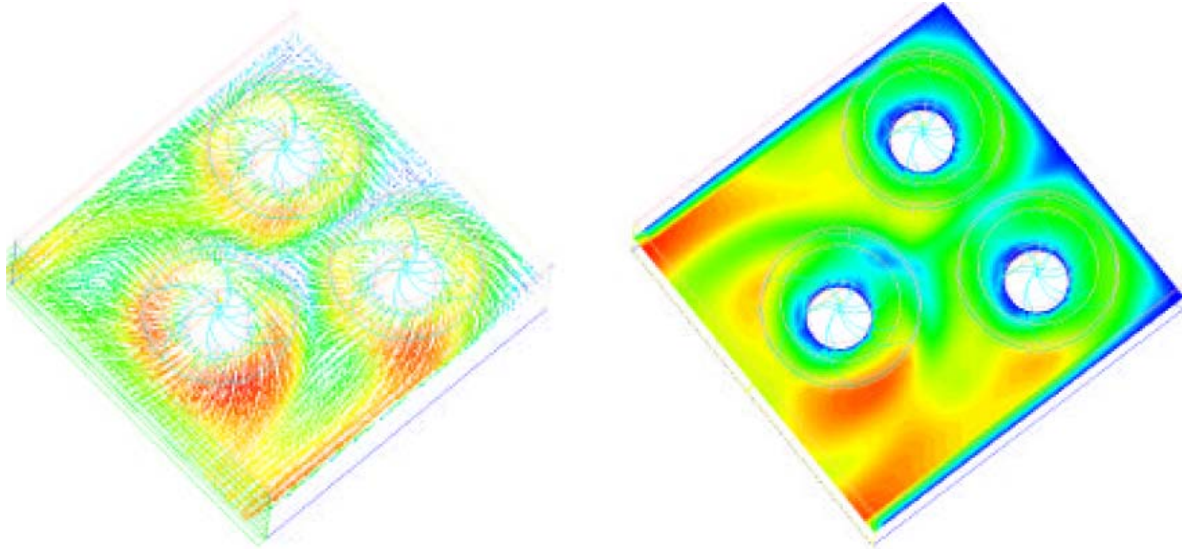
Şekil 2.8 Icepak yazılımdan seçilen fana ait ve seçilen fanın düzeltilmiş (yeni) haline ait fan eğrileri

Seçilen fanın Icepak yazılımında analizi yapılmıştır. Daha sonra da aşağıdaki şekilde gösterilen fan düzeneği rüzgâr tüneline test edilmiştir. İki sistem için hız dağılımları çıkarılmıştır.



Şekil 2.9 Makaledeki CFD modeli (solda) ve deney düzeneği (sağda)

Elde edilen sonuçlara göre CFD analizlerinden elde edilen hız dağılımları ile rüzgâr tüneline elde edilen hız dağılımları benzerdir. Deneylerde $P=0$ için 1600,20 cm su sütunu geri basınç ve sol çıkış deliğinden 10,5 m/s lik hava hızı ölçülürken aynı yer ve şartlar için CFD analizlerinde 1638,30 cm su sütunu geri basınç ve 10,1 m/s hız ölçülmüştür. CFD analizinde bazı basınç kayıpları ihmal edildiğinden basınç değeri daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 2.10 CFD sonuçlarına göre (solda) ve deney sonuçlarına göre (sağda) hız dağılımları

2.2.2 Tünel Ekmek Pişirici Cihazının CFD Modelinin Proses Kontrolünün Tasarımı

Wong ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen bu makale tünel tipi bir pişirici cihaz için oluşturulan CFD modelinin proses kontrolünün iyileştirilmesi ile ilgilidir.

Matematik modellerin iyi kontrol edilebilmesi için birçok deneysel dataya ihtiyaç vardır. Elde edilen deneysel verilerin ışığında yazılan UDF (user defined function- kullanıcı tanımlı fonksiyon) yazılımları sayesinde CFD modeli gerçeğe yakın bir şekilde kontrol edilebilir.

Özellikle pişirici cihaz uygulamalarında, iç ortam sıcaklığına bağlı olarak kontrol edilen ısı akışları bu fonksiyonlar yardımıyla modele dâhil edilir.

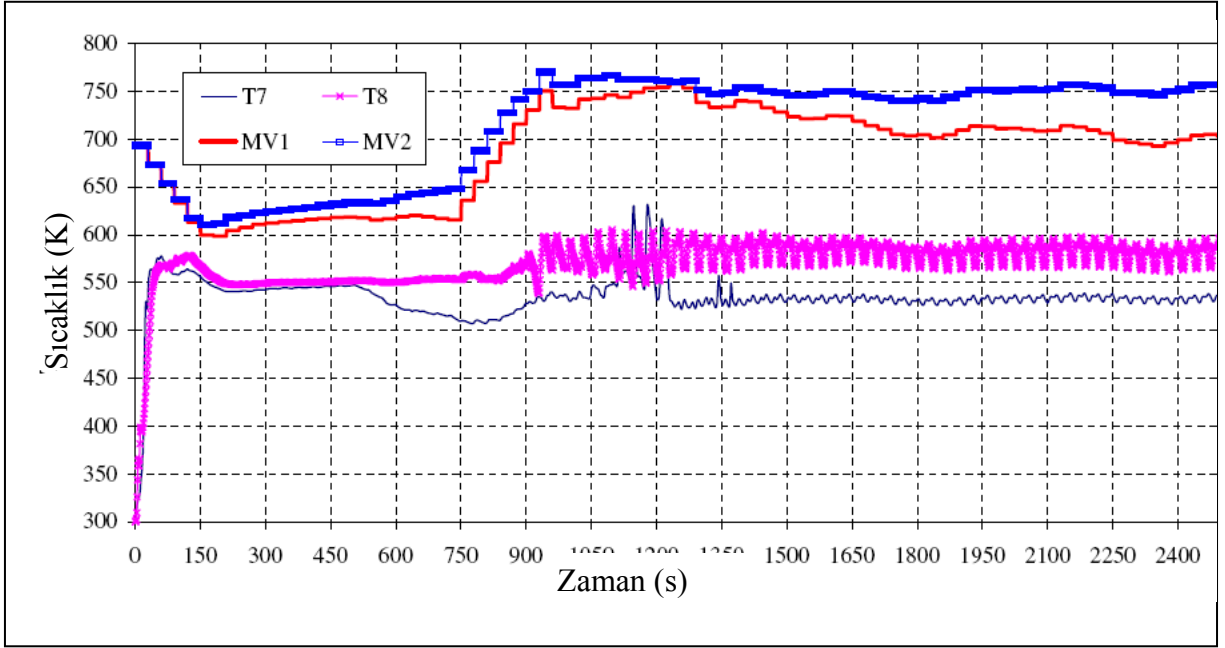
Enerji analizlerinde (özellikle UDF kullanıldığında) sonuçların yakınsayabilmesi için düşük zaman adımları gerekir. Düşük zaman adımları modelin işlem süresini arttırır. Bu sebeple makaledeki uygulamada işlem süresinin kısaltmak için;

- Önce akış analizi, sonra enerji analizi yapılmıştır.
- Sınır şartları 30 saniyelik adımlarda bir değiştirilmiştir.

Bazı analizlerin başlangıç sıcaklıkları 300 K (23°C) olarak belirlenmişken bazılarında işlem süresini kısaltmak için 673 K (400 °C) den başlanmıştır.

Makalede pişirici cihazın 550 K (276,85 °C) set sıcaklığına ayarlandığı var sayılmaktadır. Bu sıcaklığı CFD modelinde de sağlayabilmek için pişirici cihaz modelindeki iki noktanın sıcaklığı UDF de farklı değerlere ayarlanarak analiz yapılmıştır ve sıcaklıkların değişimi takip edilmiştir. Makalede analiz modeli hakkında detaylı bilgi verilmemekle birlikte “sliding mesh” denilen hareketli hücreler kullanılmıştır. Sınır koşulları veya UDF fonksiyonları hakkında bilgi verilmemiştir. Modelde hamurların, pişirici cihazın ön ısıtması bittiği anda pişirici cihaza girdiği kabul edilmiştir. Farklı set sıcaklıkları kullanılarak pişirici cihaz içi sıcaklık değişimleri incelenmiştir.

Şekil 2.12 ‘de T_7 deneyden elde edilen sıcaklık, T_8 ise analizlerden elde edilen sıcaklıktır. Grafikte de görüldüğü gibi sıcaklıklar birbirine çok yakındır yani analiz sonucunda elde edilen sonuçlar gerçeğe yakındır.



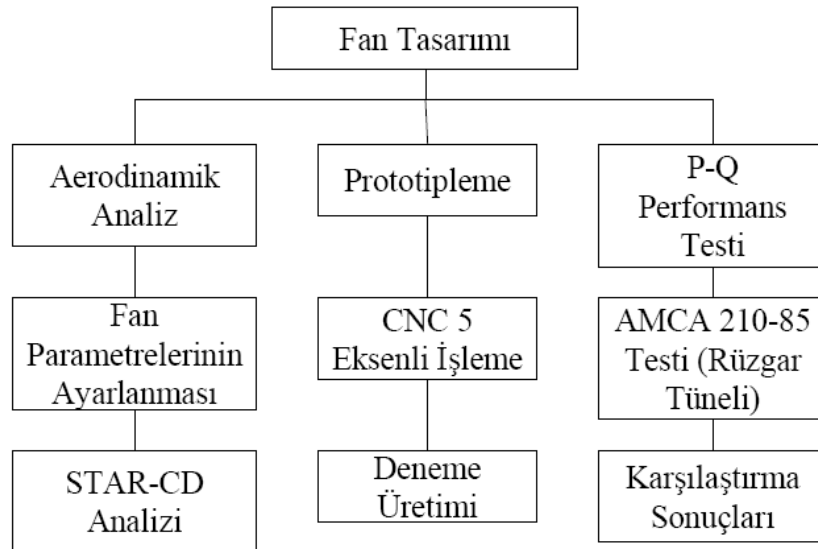
Şekil 2.11 CFD analizinden elde edilen sıcaklık değişim sonuçları

2.2.3 Çok Küçük Santrifüj Fanın İncelenmesi

Tsai ve çalışma arkadaşlarının geliştirdiği bu makale bilgisayar soğutma için tasarlanmış çok küçük bir fanın incelenmesi hakkındadır.

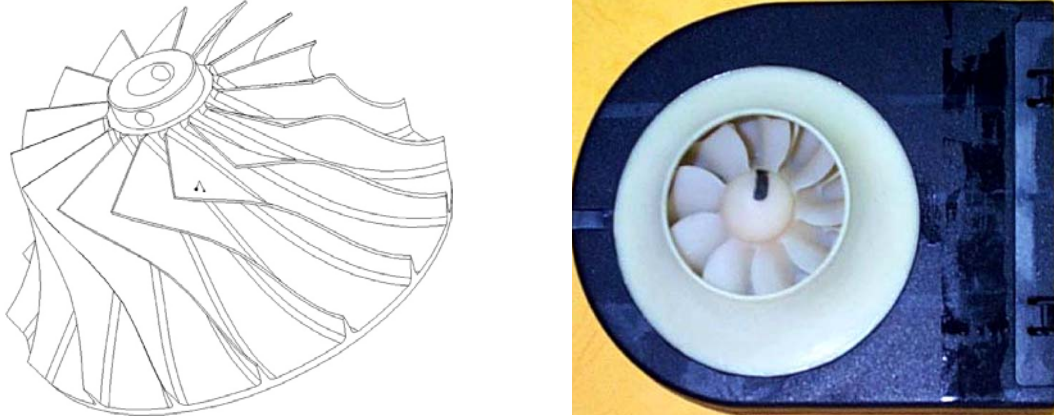
İnceleme işlemi üç parçaya ayrılmıştır:

- Tasarım ve analiz,
- Prototip üretimi,
- Performans ölçümü

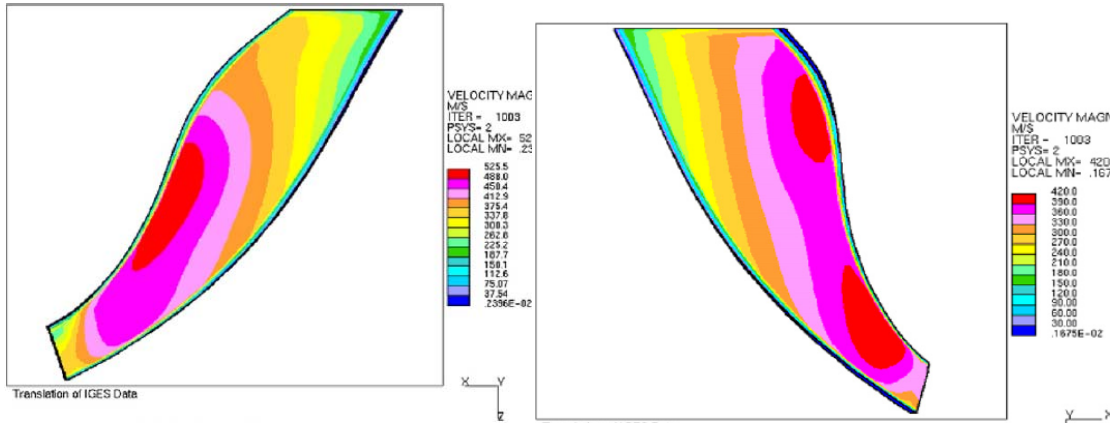


Şekil 2.12 İncelemede kullanılan akış diyagramı

İncelemenin tasarım ve analiz aşamasında fanın temel parametreleri belirlenirken klasik aerodinamik formülleri kullanılmıştır. Yapılan tasarım analize tabi tutulmuştur. Analizlerde STAR-CD adlı yazılım kullanılmıştır. Yapılan analizin sonucuna göre fanın tasarım parametreleri tekrar düzenlenmiş ve tasarım son haline ulaşmıştır. Analizin sonucunda fan kanadının her iki yüzeyindeki basınç dağılımı incelenmiştir. Bu inceleme fan kanadının en fazla basınca maruz kalan kısmının ve zarar görmesi en muhtemel kısmının belirlenmesi için gerekli bir değerlendirmedir.



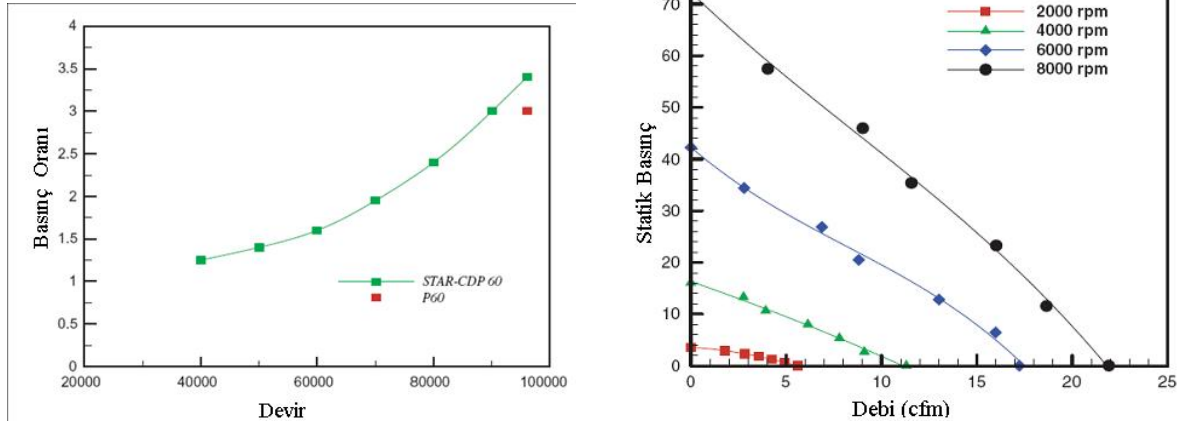
Şekil 2.13 Analizi yapılan fan



Şekil 2.14 STAR-CD ile yapılan analiz sonuçları

Tasarlanan fan beş eksenli CNC tezgâhta plastik malzemedен üretilmiştir. Üretilen prototipin performans ölçümleri yapılmıştır. Yapılan performans ölçümlerine göre analizlerde elde edilen basınç ve debiler ölçümlerden farklı çıkmıştır. Bunun sebebi analiz sırasında bazı kayıpların ihmal edilmesidir.

Şekil 2.16'da deneysel ve analiz sonuçlarına göre fan eğrileri verilmiştir.



Şekil 2.15 Tasarlanan fana ait deneysel sonuçlar

Yapılan P-Q performans ölçümlerine göre fanın farklı devirlerdeki verimi şöyledir:

Çizelge 2.1 Farklı devirlerde fandan elde edilen verim değerleri

Devir (d/d)	Verim (%)
2000	6,35
4000	11,42
6000	12,89
8000	13,91

Yapılan ölçümler debi ve basınç olarak piyasadaki benzer bir fanla kıyaslandığında 2000 d/d da debi olarak %32, basınç olarak %59 daha düşüktür. Buna rağmen 4000 d/d da debi olarak %38, basınç olarak ise %82 daha iyidir.

Yapılan gürültü ölçümlerine göre fanın 2000 d/d daki gürültüsü 34,57 dBA dır. Piyasadaki fanlar göz önünde bulundurulduğunda bu gürültü değeri iyi olarak değerlendirilebilmektedir.

2.2.4 Bir Santralin Bacasındaki Basınç Kaybının Azaltılmasının Nümerik İncelenmesi

Santrallerde bacanın çekişi ve bacadaki basınç kaybının oldukça az olması önemlidir. Bu sebeple genelde baca ağzına santrifüj fan yerleştirilir. Lakshmiraju ve çalışma arkadaşlarının geliştirdiği bu makalede bacanın girişinde yapılan bazı tasarım değişikliklerinin akışa ve basınç düşüşüne etkisi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel incelemeler analizlerle karşılaştırılmıştır. Analizlerde FLUENT 6.2 kullanılmıştır.

Söz konusu baca 0,305 m çapında, 5,49 m boyundadır. Bacanın giriş ağzında 8 girişli bir

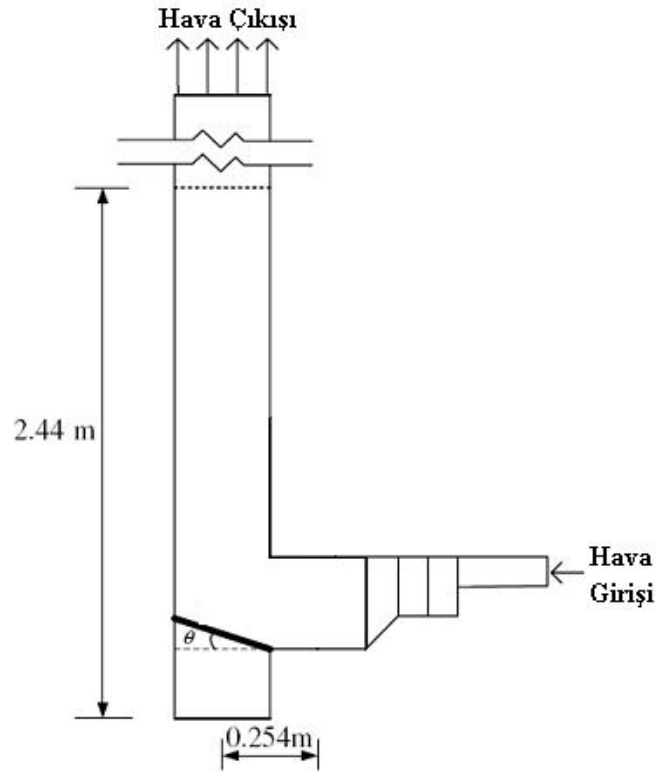
manifold vardır. Mevcut tasarımın yanı sıra baca girişinin eğim açısı ve yönlendirme plakalarının varlığının akışa etkisi incelenmiştir. Sistemin bazı noktalarında basınç ölçümü yapılmıştır.

Bacanın ve manifoldun girişine ince mesh atılmıştır. Farklı sayılardaki meshlere sahip modellerle yapılan analizlerin sonuçları değerlendirilerek yaklaşık bir milyon elemana sahip olan modelin kullanılmasına karar verilmiştir. Analizde sınır şartı olarak baca çıkışı “pressure outlet”, manifold girişi ise “pressure inlet” kabul edilmiştir. Baca ve manifold yüzeyinin 0,15 mm lik bir pürüzlülüğe sahip olduğu ve galvanizlenmiş demir malzemedен üretildiği kabul edilmiştir. Akış modeli olarak k-ε modelin kullanılmıştır.

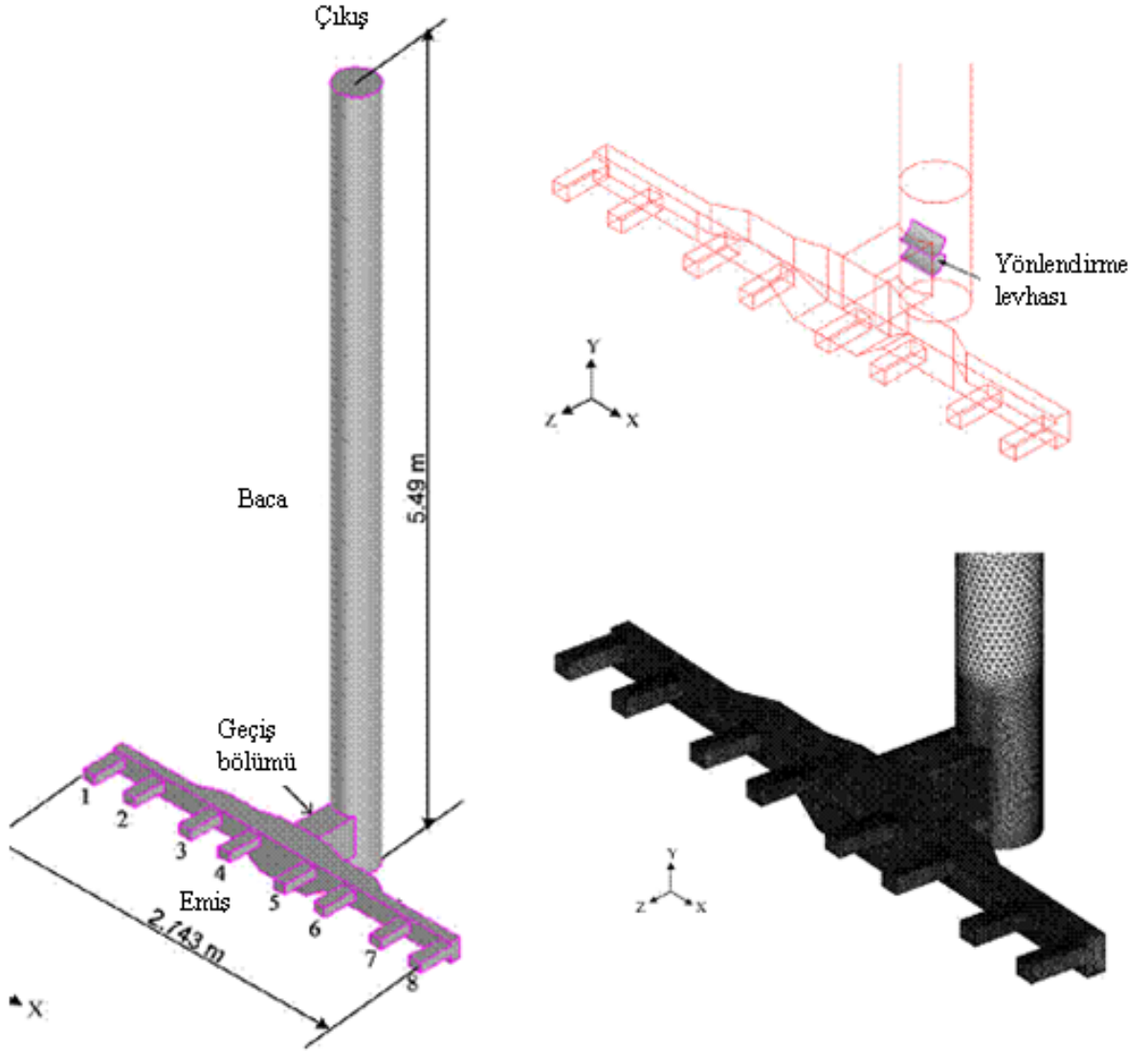
İlk yapılan analizlerin sonucunda bazı hatalar tespit edilmiştir. Bu durum iki sebebe dayandırılmıştır:

- Mesh boyutunun yeterince küçük olmaması
- k-ε modelinin, yüzey pürüzlülüğünün fazla olduğu durumlarda yetersiz kalması

Bilgisayarın kapasitesi sebebiyle mesh boyutu değiştirilememiştir. Daha doğru bir çözüm için Reynolds Stres Modeli tercih edilmiştir.



Şekil 2.16 Sistemin yandan görünüşü

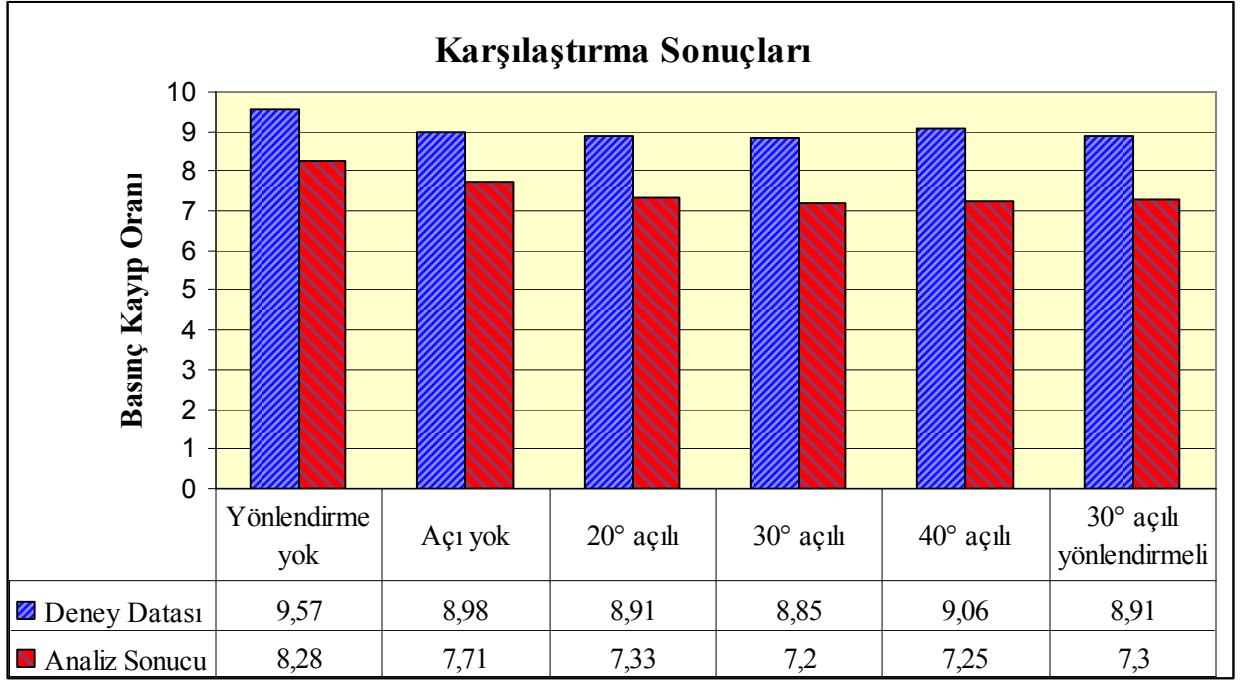


Şekil 2.17 Bacanın ve manifold sisteminin genel görünüşü (solda), mesh li görünüşü (sağ altta) ve yönlendirme plakalarının yeri (sağ üstte)

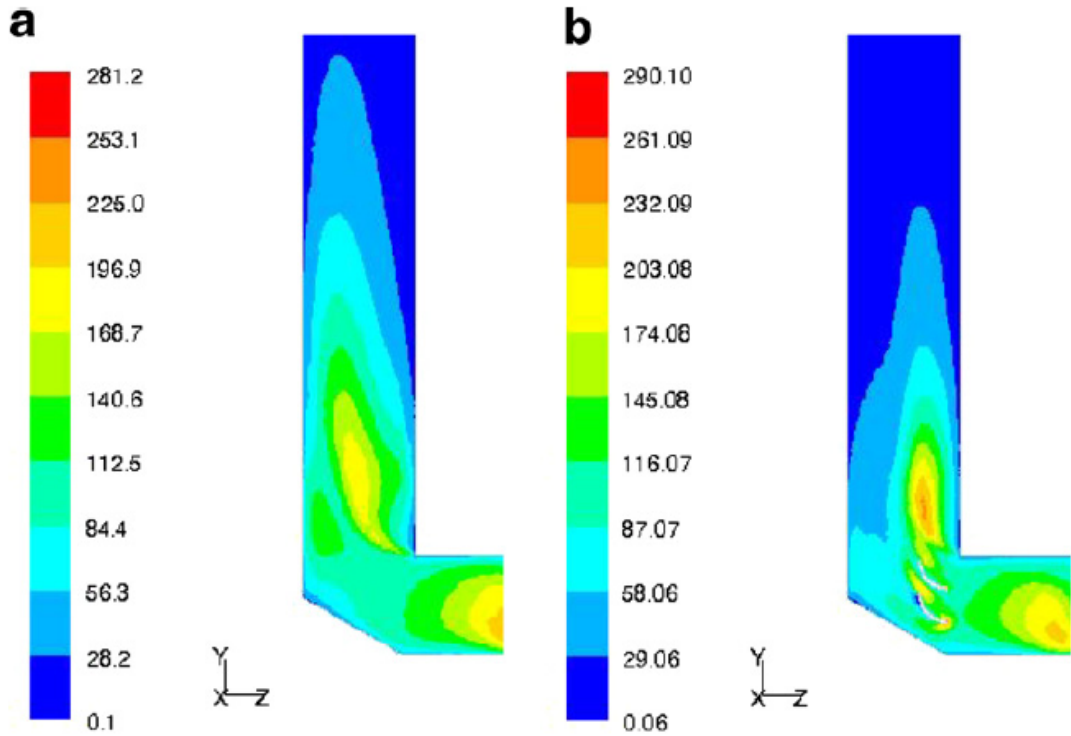
Yapılan analizlere göre manifoldun sekiz girişinin debi miktarları eşit değildir.

Baca girişindeki yönlendirme elemanının akışa ve basınç düşümüne etkisinin incelenmesi için o kısma 0–50 arasında açılar vererek analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde basınç düşüşünün 30° e kadar iyileştiği sonra kötüleştiği görülmüştür.

Baca girişine koyulan yönlendirme plakalarının az da olsa bir etkisi olduğu görülmüştür. Etkisinin az olmasının sebebi bacanın yüzey pürüzlülüğünün fazla olmasına bağlanmıştır. Yönlendirme plakalarının etkisi türbülans kinetik enerji dağılımı incelendiğinde daha belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.18 Deneysel sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 2.19 Türbülans kinetik enerjisinin yönlendirme plakasının olmadığı (a) ve olduğu (b) durum için karşılaştırılması

Deneysel ve analizler basınç düşüşü açısından incelendiğinde benzer sonuçların elde edildiği

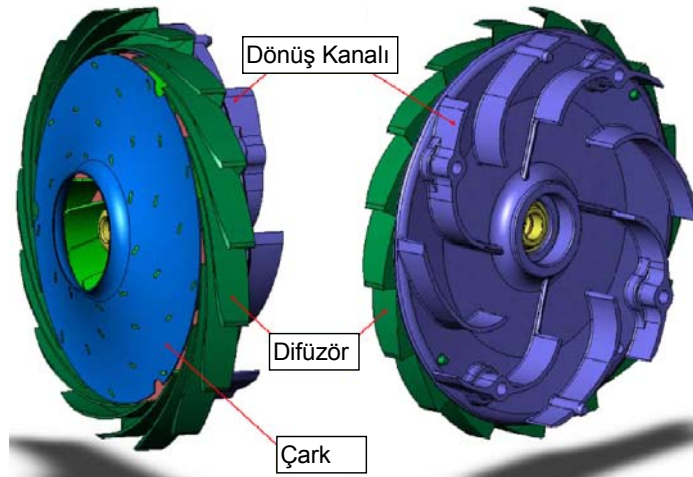
görülmüştür.

2.2.5 Yüksek Hızlı Bir Radyal Fanın Ses Gürültüsünün Tahmini

Khelladi ve çalışma arkadaşlarının geliştirdiği makalede bir elektrikli süpürge de kullanılan radyal fanın gürültü analizinden bahsedilmiştir.

Endüstride birçok alanda kullanılan radyal fanlar için gürültüyü azaltmak önemlidir. Bu sebeple birçok çalışma yapılmıştır.

Makalede gürültünün analizi FLUENT adlı programda Frfowcs Williams and Hawkings (FW&H) yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde üç adet kaynak tanımlamak gerekmektedir. Analizlerde kullanılan model aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.20 Analizi yapılan radyal fan

Fana ait parametreler ve geometrik karakteristikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

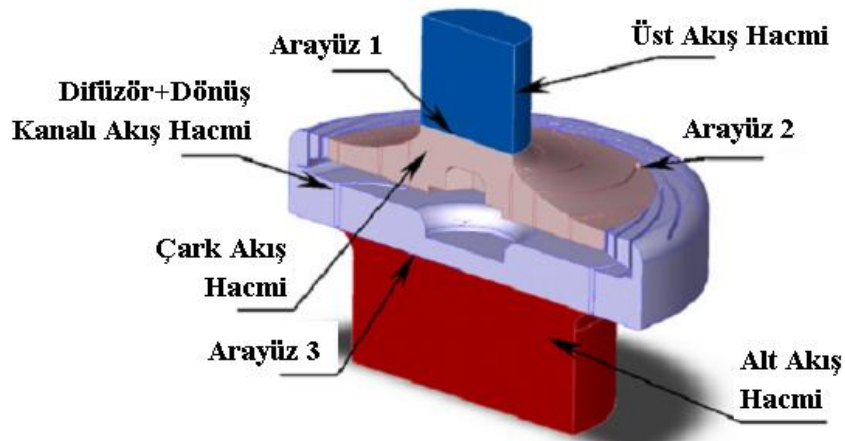
Çizelge 2.2 Çalışma noktasının aerodinamik karakteristikleri

Parametre	Değer
Basınç (H)	1300 m su sütunu
Debi (Q)	$35 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{s}^{-1}\text{)}$
Devir (N)	34560 (d/d)
Özgül Hız ($N_{sq} = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$)	29

Çizelge 2.3 Radyal fanın geometrik karakteristikleri

Parametre	Çark	Difüzör	Geri Dönüş Kanalı
Kanat girişinin yarıçapı (mm)	18	52,7	60
Girişte kanat uçları arasındaki mesafe (mm)	13	6,48	11
Giriş kanat açısı (°)	64	85	74
Kanat girişinin eğim açısı (°)	85,8	0	0
Kanat çıkışının yarıçapı (mm)	52	66,1	33
Çıkışta kanat uçları arasındaki mesafe (mm)	5,4	8,43	12
Çıkış kanat açısı (°)	64	71,6	15
Kanat çıkışının eğim açısı (°)	0	0	0
Kanat sayısı (adet)	9	17	8
Kanat kalınlığı (mm)	0,8	0,9	1,6

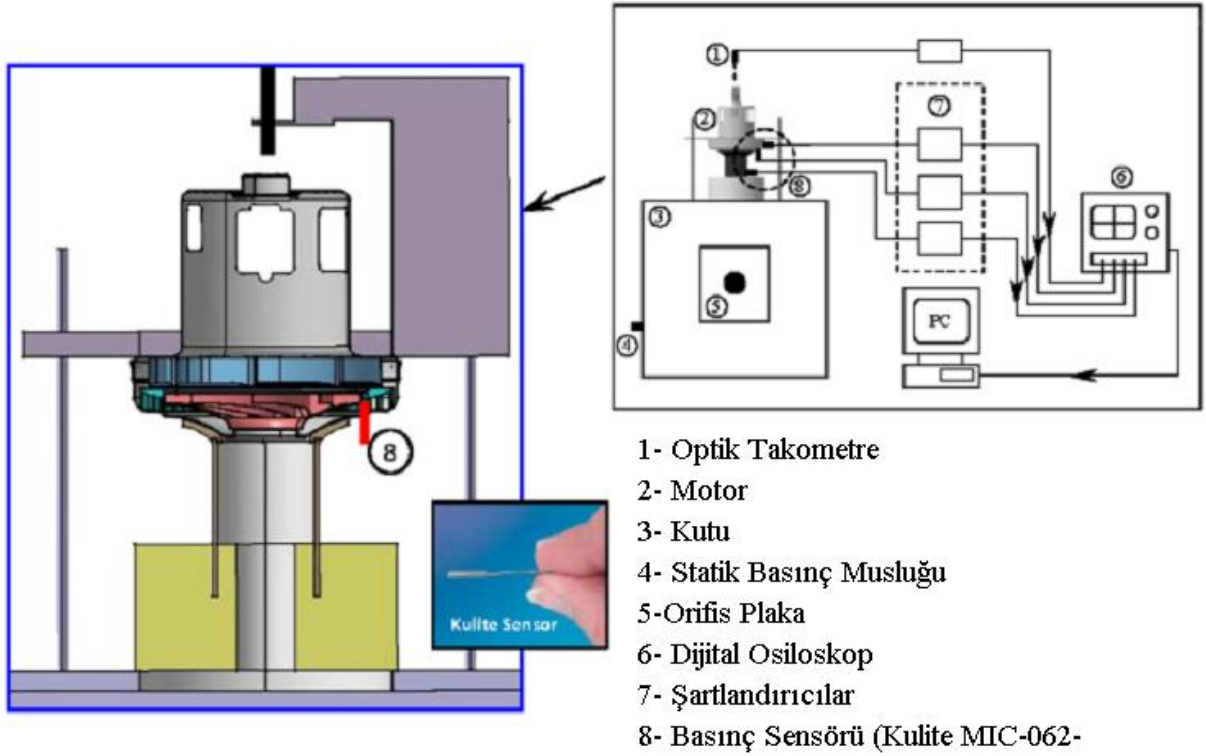
Analizlerde fan; katı hacim olan fandan ve onu çevreleyen akışkan hacimlerinden yani havadan oluşmaktadır. Türbülans modeli olarak k-w SST adı verilen model seçilmiştir. “k-w SST” türbülans modeli standart k-w türbülans modeline göre daha fazla çeşit ve daha kompleks akışların çözümü için kullanılmaktadır.



Şekil 2.21 Modelin akışkan hacimleri

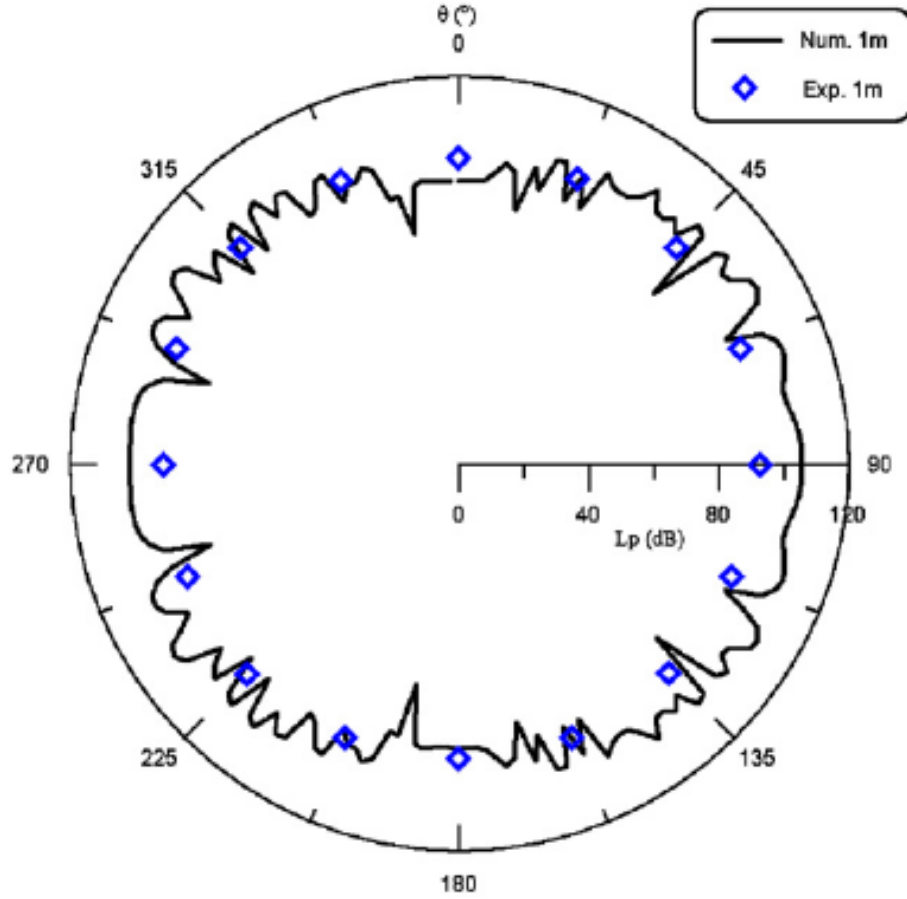
Yapılan analizler deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler Şekil 2.24'te görülen

düzenekte yapılmıştır. 8 numara ile gösterilen yere 5 adet Kulite MIC 062-2D model dinamik sensör yerleştirilmiş, bu sayede ses ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2.22 Deney düzeneği

Şekil 2.25'te nümerik ses analiz sonuçları siyah çizgi ile deney sonuçları ise mavi nokta ile gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi yapılan analizlerle ses ölçümleri arasında toplam ses düzeyi olarak 10 dB'lik fark vardır. Makalede analizler ile deneysel sonuçların birbirine yakın olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 2.23 $r=1$ m de deneysel ve nümerik ses ölçüm sonuçları

2.2.6 Tavan Fanı Kullanarak Termal Konforun İyileştirilmesi

Ho Son ve çalışma arkadaşlarının geliştirdiği bu makalede, fanın kullanıldığı ve kullanılmadığı bir sistemdeki insanın konfor koşulları 2D ve 3D olarak incelenmiştir.

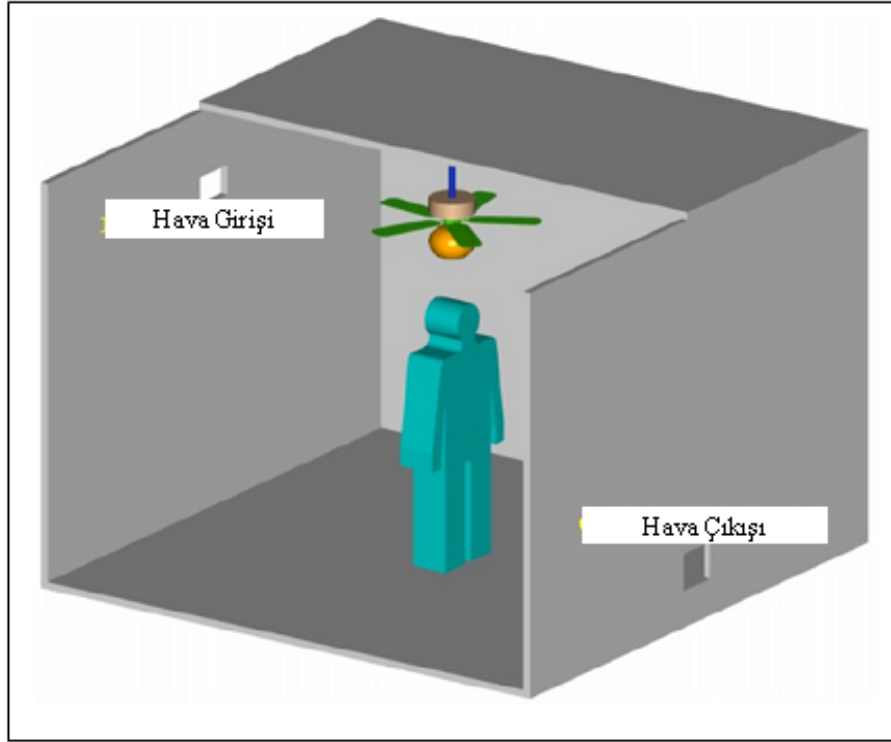
Kullanılan analiz modelinde fan, fan motoru, bir giriş, bir çıkış ve insan vardır. Oluşturulan model için öncelikle korunum denklemleriyle bazı sınır şartları hesaplanmıştır. Havanın çıkışında ve girişindeki hızlar, sıcaklıklar ve nem değerleri hesaplanmıştır ve elde edilen değerler analizlerde kullanılmıştır. Analizde insanı temsil eden hacmin etrafına “body” diye tanımlanan ayrı bir hacim tanımlanmıştır. İnsanın konfor koşulları bu hacimdeki sonuçlara bağlı olarak hesaplanmıştır.

Analizde kullanılan havanın özellikleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{array}{llll}
 T_{ref}=22^{\circ}\text{C} & \rho=1,1967 \text{ kg/m}^3 & \mu=1,8273 \times 10^{-5} \text{ kg/(m.s)} & c_p=1,0043 \text{ kJ/kgK} \\
 k=0,025776 \text{ W/(m.K)} & \beta=0,003932 \text{ 1/K} & & D=2,5449 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}
 \end{array}$$

$$V_{\text{giriş}}=1 \text{ m/s} \quad w=0,0148 \text{ kg/kg hava} \quad q_{\text{motor}}=10 \text{ W/m}^2 \quad q_{\text{lamba}}=300 \text{ W/m}^2$$

$$T_{\text{insan}}=34^{\circ}\text{C} \quad q_{\text{insan}}=\text{İnsandan çıkan nem}=5 \times 10^{-7} \text{ kg/(m}^2\text{s)}$$



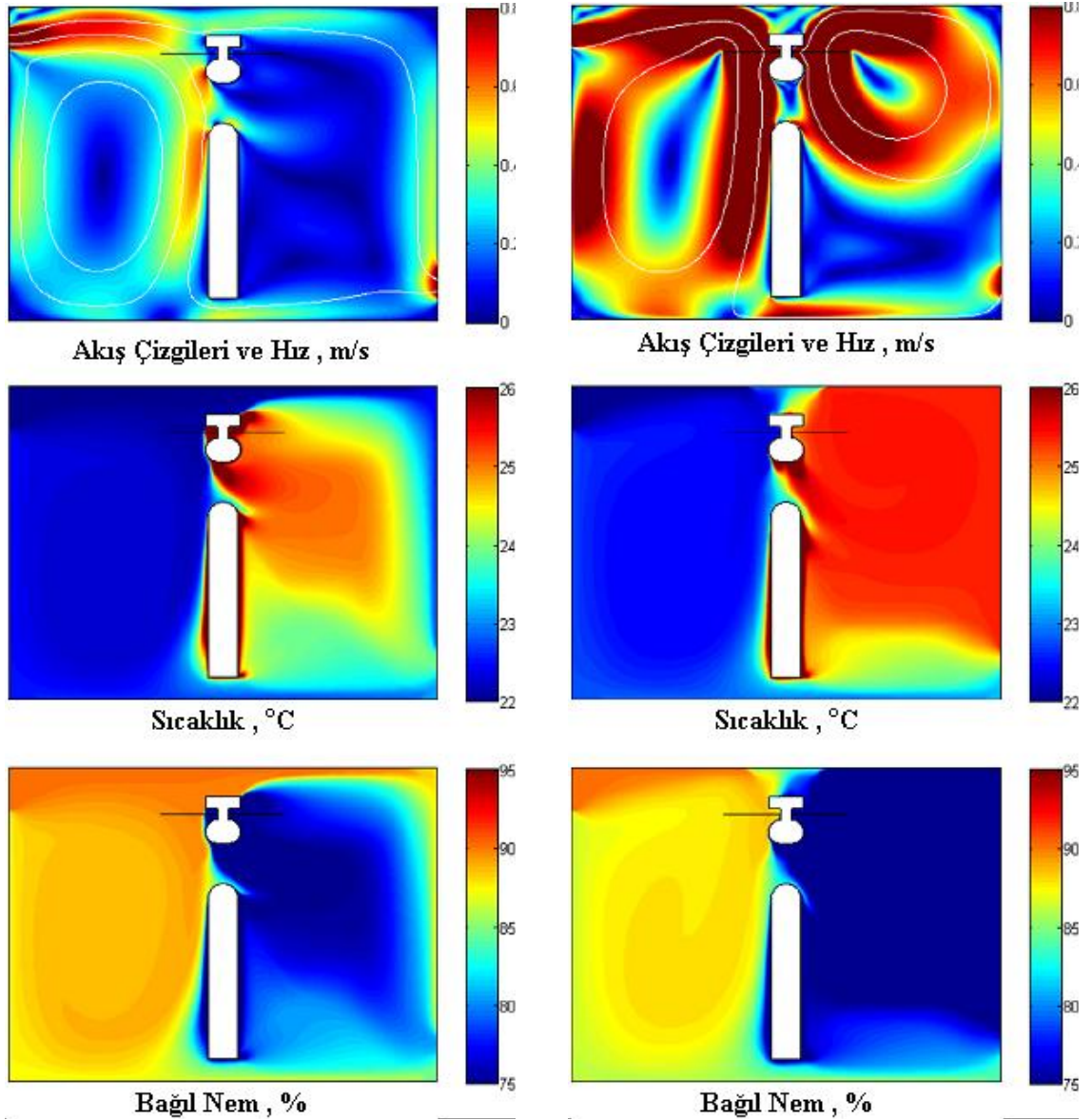
Şekil 2.24 Analizde kullanılan model

Çizelge 2.4 2D Analizdeki hız ile ilgili sınır şartları

2D Simülasyon Modeli	1	2	3	4
Fan Normal Hava Hızı V_{fan} , m/s	0	1,1	1,3	1,5
Odadaki Ortalama Hava Hızı, m/s	0,235	0,571	0,652	0,743
"Body" deki Ortalama Hava Hızı, m/s	0,223	0,459	0,567	0,63

2D olarak 4 farklı fan hızında analiz yapılmıştır. Fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlar için sıcaklık, nem ve hava hızı sonuçları karşılaştırıldığında hava hızları ve nem değerleri arasında belirgin bir fark olduğu görülmüştür. Özellikle "body" hacminde hava hızları oldukça artmıştır. Sistemde çıkışın ve girişin olduğu kısımları iki ayrı bölüm olarak düşünülürse fanın çalıştığı durumda hava sıcaklıkları bazı bölümlerde daha homojendir.

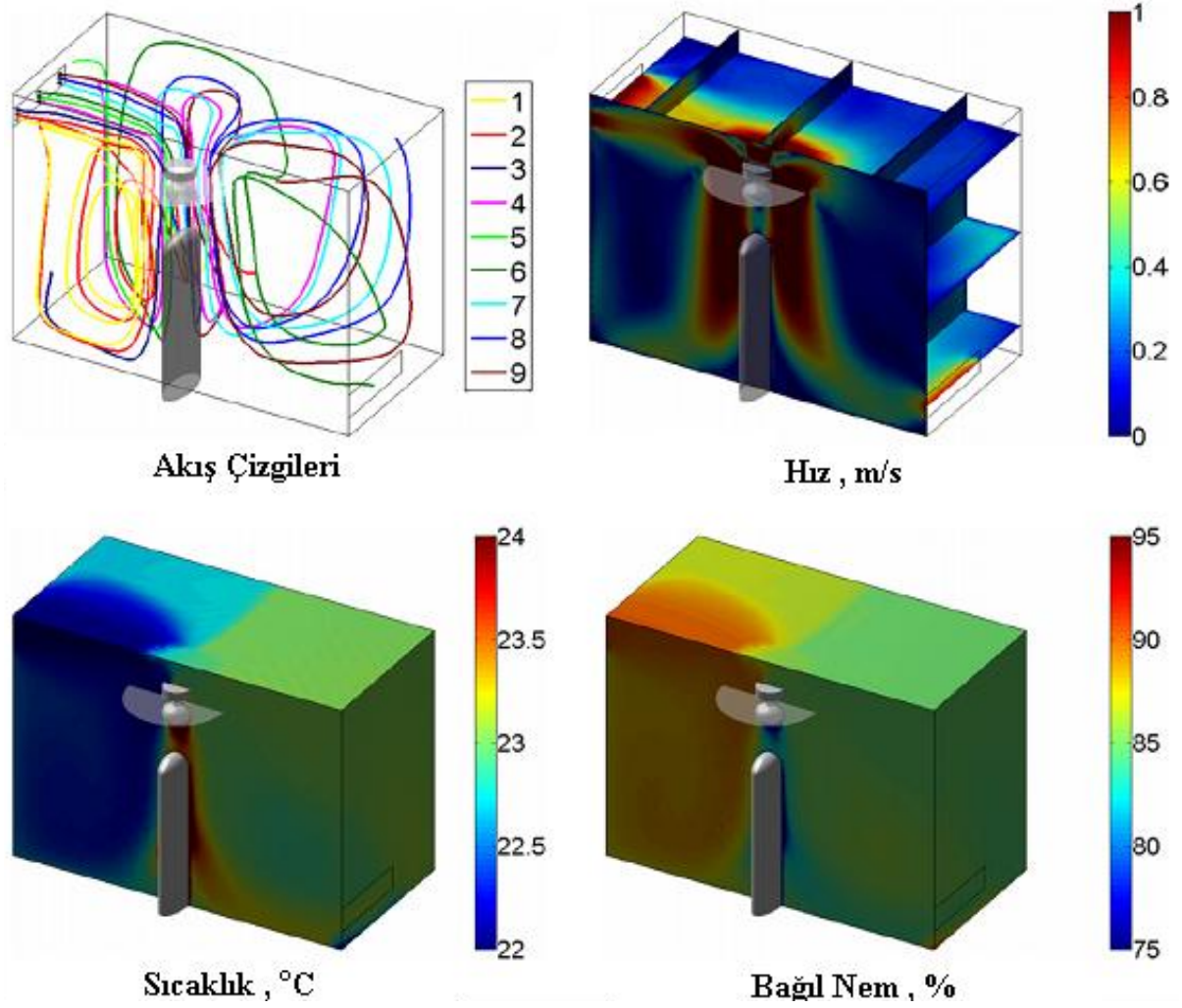
Fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlar arasında ortalama sıcaklık farkı vardır. Fanın çalıştığı durumda motor da çalışıp ısı ürettiği için ortalama sıcaklıklar daha fazladır.



Şekil 2.25 2D modelde yapılan analiz için fanın çalışmadığı (solda) ve çalıştığı (sağda) durumlar için sonuçları

3 boyutlu analizlerde 2 boyutlu analizlerdekine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 3D modelde iki bölüm arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 1°C iken, 2D modelde $3-4^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Ortalama sıcaklıklar ise birbirine yakındır.

ASHREA standartlarındaki ortalama ısı konfor (PMV) hesabından yola çıkılarak yapılan hesaplara göre fan hızı arttıkça PMV değeri (-0,2) ile (-0,6) arasında azalır. PMV nin bu aralıkta azalması soğutma durumu için olumlu bir sonuç anlamına gelmektedir.



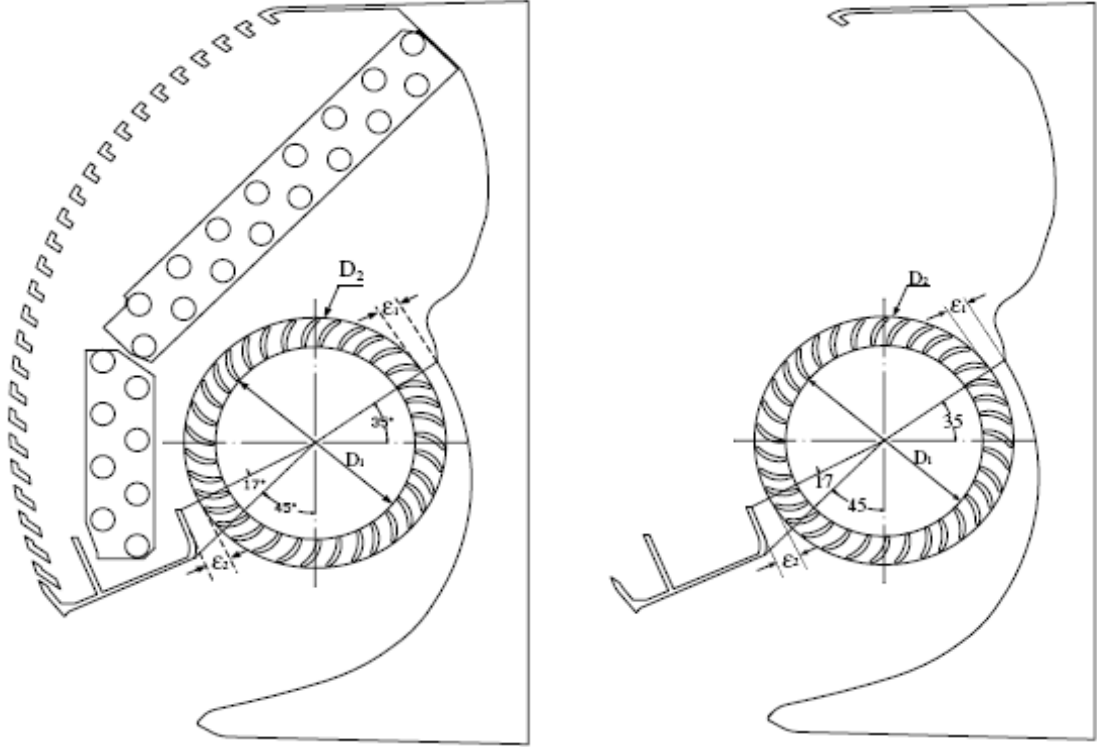
Şekil 2.26 3D modelle yapılan analiz sonuçları

2.2.7 Split Tip Bir Klimadaki Ters Akışlı Fanın Modellenmesi

Shih ve çalışma arkadaşlarının geliştirdiği makalede split klimalarda kullanılan tipte bir ters akışlı fanın analizi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması anlatılmıştır.

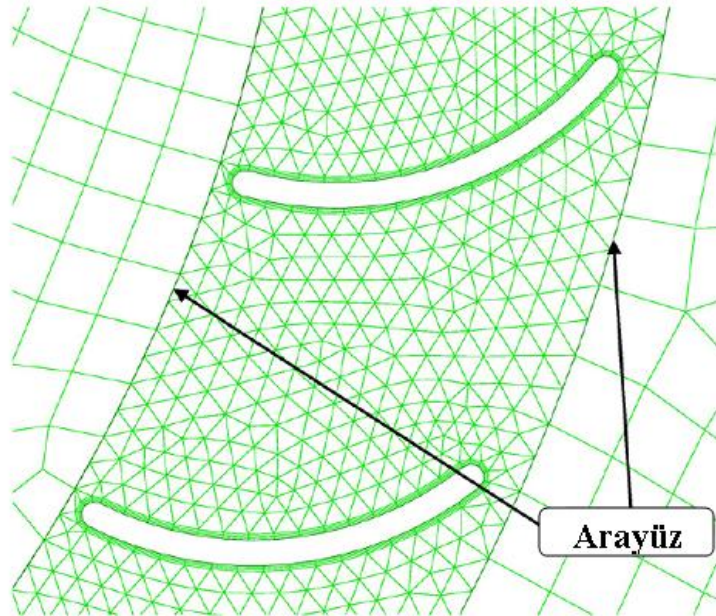
Ters akışlı fanlar için belirlenmiş bir tasarım metodu yoktur. Tasarımlar daha çok deneme yanılma yoluyla yapılır. Bu makalede de tasarlanan bir fan oluşturulan analiz modeli ile incelenmiştir.

Analizlerde FLUENT yazılımı kullanılmıştır. Türbülanslı akışın çözümlenebilmesi için k-ε türbülans modeli tercih edilmiştir. Dönen hacim için “sliding mesh” adı verilen hareketli meshler kullanılmıştır. Zamana bağlı olarak yapılan analizlerde zaman adımı $1,1 \cdot 10^{-4}$ – $5,56 \cdot 10^{-4}$ saniye arasında, analizi yapılacak fan devrine uygun olarak, seçilmiştir. Analizler 600, 750, 900, 1050, 1200 d/d devirleri için yapılmıştır.



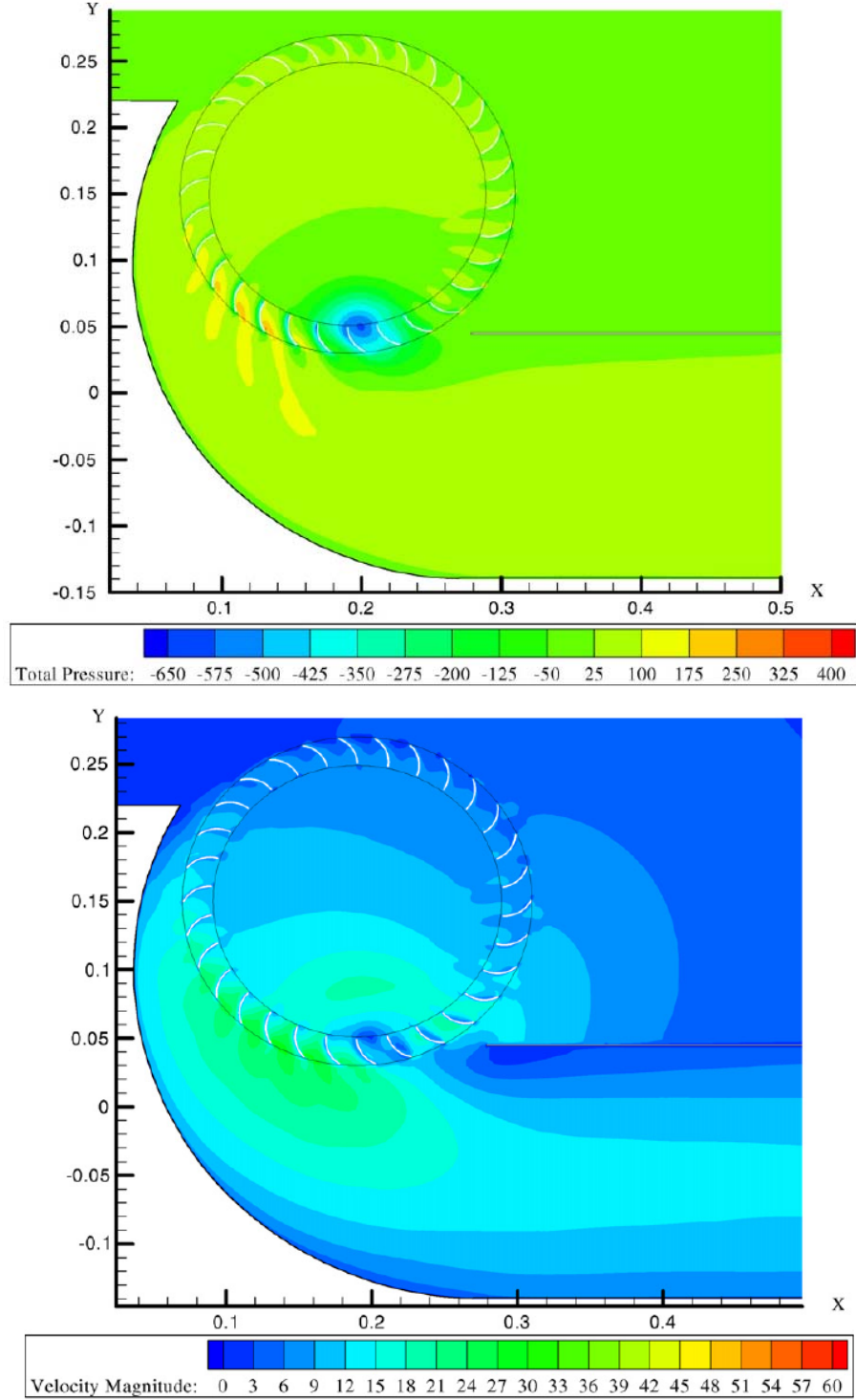
Şekil 2.27 Makalede anlatılan analizde kullanılan birinci ve ikinci analiz modeli

Analizler için iki adet analiz modeli kullanılmıştır. İlk analiz modelinde hava geri dönüş ızgaraları ve ısı değiştirici varken, diğer modelde bu elemanlar yoktur.



Şekil 2.28 Analiz modelinde fanda kullanılan ara yüzeyler ve meshler

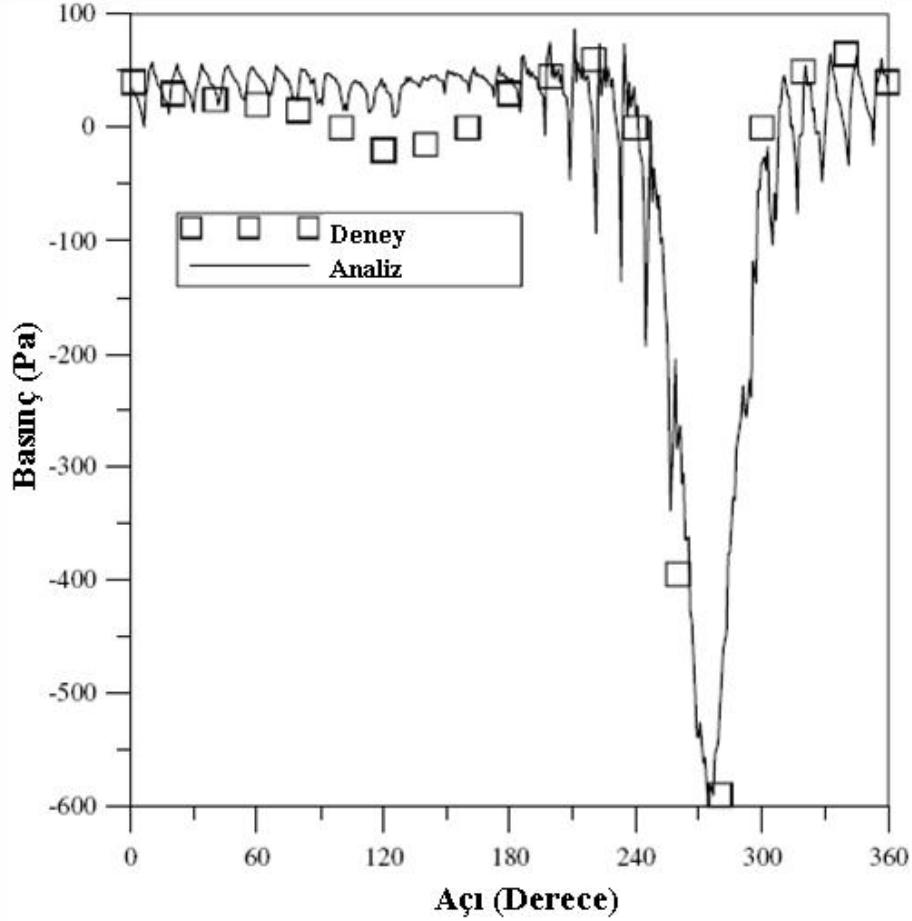
Analizlerde, farklı sayılarda mesh elemanı içeren modeller denenmiştir. Hem doğru hem de işlem süresini uzatmayacak miktarda mesh elemanına sahip olan model tercih edilmiş ve analizlere o modellerle devam edilmiştir. Modelin hareketli mesh e sahip olan bölgelerindeki sonuçların daha iyi çıkması için o bölgeye daha küçük boyutta mesh atılmıştır. Toplam mesh in yaklaşık %9 u bu bölgeye aittir.



Şekil 2.29 Makalede anlatılan analizin sonucuna elde edilen basınç (üst) ve hız (alt) değerleri

Analizler ve deneysel çalışmalar tamamlandığında sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- Deneysel sonuçlar ile analiz sonuçları uyum içindedir. Yani yapılan analizler başarılıdır.
- Devir sayısı arttıkça fanın performansı iyileşmektedir.
- Fanın oluşturduğu türbülansın basıncı (vortex pressure), fan devrinin karesiyle doğru orantılıdır.



Şekil 2.30 Analiz ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

2.2.8 Bir Zorlamalı Konveksiyon Pişirici Cihazdaki İzotermal Akışın CFD Modellemesi ve Doğrulaması

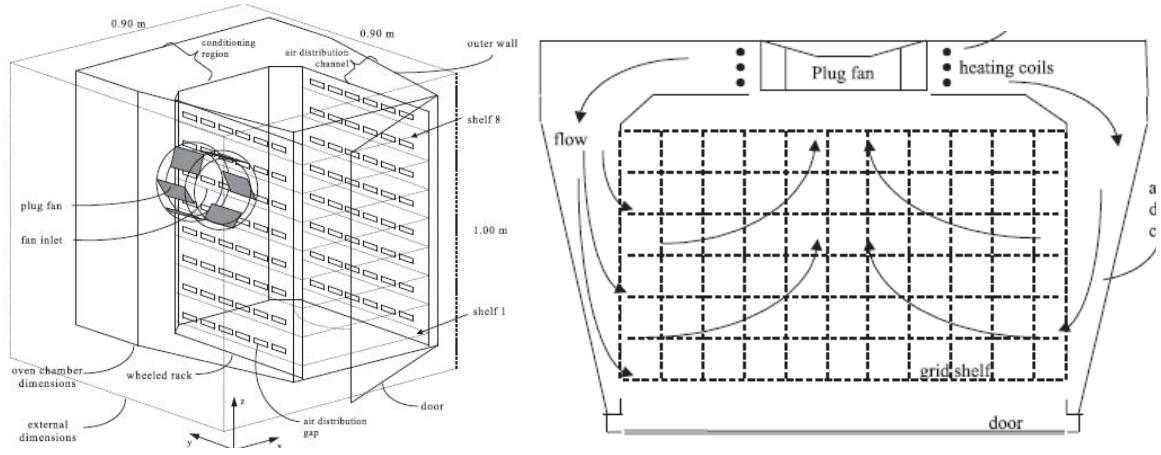
Verboven ve çalışma arkadaşlarının geliştirdiği bu makalede bir konveksiyon pişirici cihazdaki akış analizi ve bu analizin sonucunun deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmasından bahsedilmiştir.

Modelde arkada bir fan ve ısıtıcısı bulunan, zorlamalı konveksiyon tipi bir pişirici cihaz kullanılmıştır. Modelleme sırasında fan ve ısıtıcı şekillerinin kompleks olması sebebiyle modele dahil edilmemiştir. Fan ve ısıtıcının olduğu bölgedeki hava hızları ve yönleri

hesaplanmış ve modelde bu hesapların sonuçları kullanılmıştır. Modelde pişirici cihazın boş olduğu kabul edilmiştir. Analizler CFX adlı program kullanılmıştır.

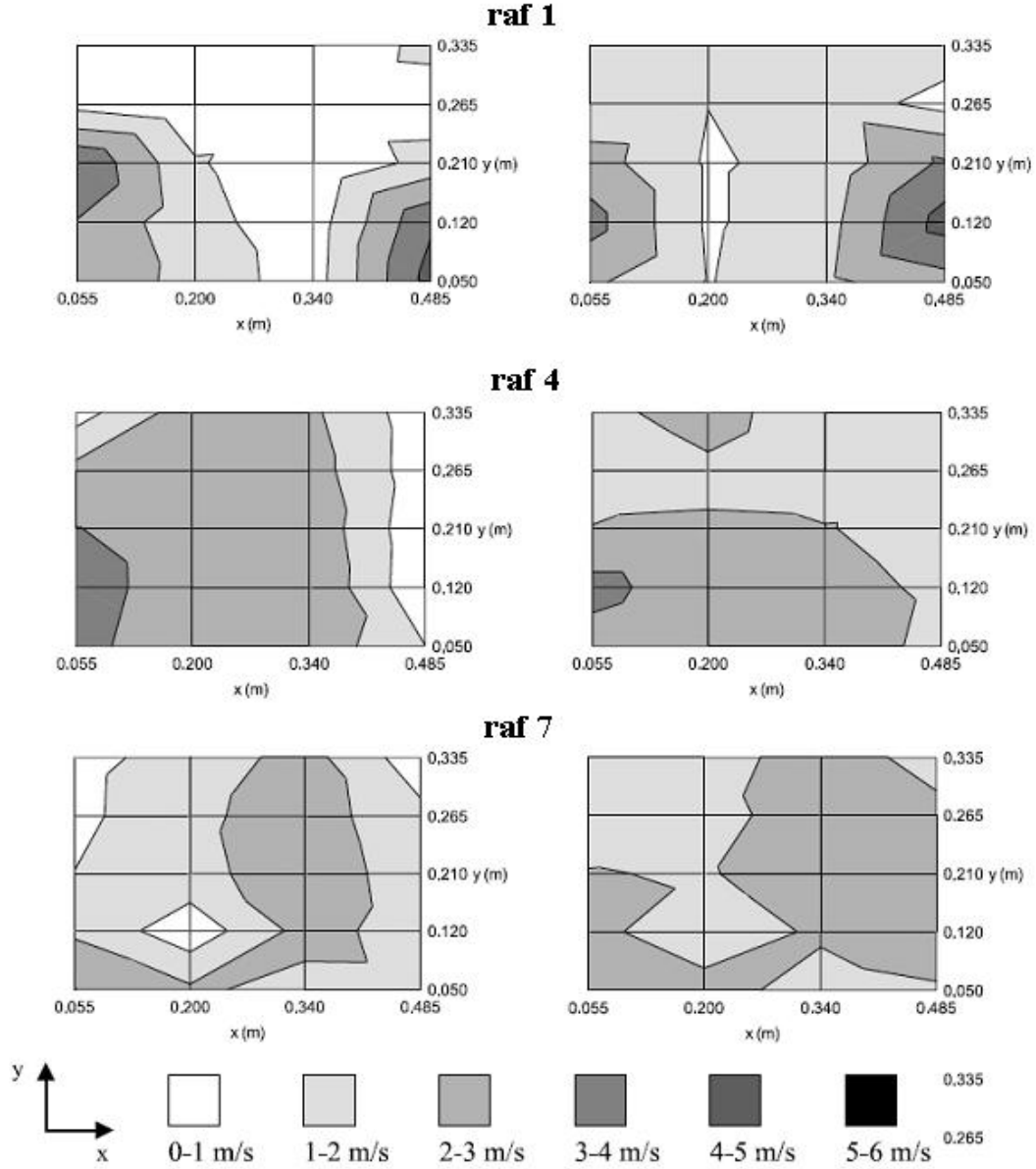
Analiz modeli, öncelikle üç farklı mesh boyutunda denenmiştir. Sonuçlar kendi aralarında ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ve ince mesh e sahip modelden daha iyi sonuç elde edildiği görülmüştür. İnce mesh e sahip model ile yapılan her analizin yaklaşık 24 saat sürdüğü iddia edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda pişirici cihazın yüzeyine “hot-film probe” adı verilen sensörler yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Deneylerden önce bir rüzgâr tüneline kalibre edilmiş bu sensörler ile ortalama hızlar hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.31 Makalede modellemesi anlatılan pişirici cihaza ait resimler

Makalede yapılan değerlendirmeye göre hesaplanan ortalama hız değerleri ile ölçülen ortalama hız değerleri arasında ortalama % 5 hata vardır. Bir, dört ve yedi nolu raflarda yapılan ölçüm ve hesap sonuçları aşağıdaki resimde verilmiştir.



Şekil 2.32 Bir, dört ve yedi nolu raflarda CFD ile hesaplanan ve deneylerde ölçülen hız dağılımlarının karşılaştırılması (CFD ile hesaplanan sonuçlar solda, deneylerde ölçülen sonuçlar sağda)

Sonuçlara göre bazı noktalarda, analiz sonuçları ölçüm sonuçlarına göre oldukça yüksektir. Bu durum sensörlerin çok küçük hızları ölçmemesine bağlanmıştır.

Köşelerdeki ölçüm değerleri birbirine uymamaktadır. Bu durum köşe kısımlarda sensörün ölçüm zorluğu yaşamasına bağlanmıştır.

Tabloda analiz ve ölçüm sonuçlarına göre ortalama hız değerleri verilmiştir. Bazı raflarda sensörlerin ölçüm zorluğu çektiği görülmüştür.

Yapılan analizlerin sonucunda k- ϵ RNG türbülans modelinin k- ϵ RNG standart modeline göre daha iyi olduğu görülmüştür.

2.3 Literatür Araştırmasından Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan literatür araştırmasından elde edilen çıkarımlar aşağıdaki gibidir:

- Homojen ısı dağılımı elde etmek için fan tasarımına bağlı iki yöntem vardır: bunlardan ilki amaca uygun yüksek debili fan tasarımı, ikincisi ise fanın dönme davranışını değiştirmek. Fanın dönme davranışından kasıt; farklı hızda ve farklı yönde dönebilmesidir. Özellikle farklı yönlerde dönebilmesi homojen ısı dağılımı elde etme de önemli avantajlara sahiptir.
- Fan tasarımlarının CFD analizleri ile irdelenmesi için oluşturulan analiz modelleri basit olmalıdır. Fanın kullanıldığı bütün sistem analiz modeline dahil olmak zorunda değildir. Sistemin sadece fanı ilgilendiren kısımlarının dahil olması yeterlidir. Analiz modeli oluşturulurken sistemi basitleştirmek için deneysel verilerden yararlanmak mümkündür. Deneysel verilerden elde edilen bilgiler analiz modelinde sınır şartı olarak kullanılırsa analiz modeli basitleşecektir. Analiz modelinin basitleşmesi; tüm analiz sürecinin kısılmasını sağlayacaktır. Basit modellerin mesh işlemi daha kısa sürdüğünden ve analizleri daha erken bittiğinden dolayı analiz yapan kişiye zaman kazandıracaktır.
- CFD analizleri deneysel çalışmalarla desteklenmelidir. Deneysel çalışmalar CFD analizinden önce yapılırsa analiz modeli için yararlı bilgiler edinilmiş olur. Deneysel çalışma CFD analizlerden sonra yapıldığında analizlerden elde edilen bilgilerin doğrulanması için kullanılır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında; mevcut durumun belirlenmesi ve analiz çalışmalarına kaynak oluşturması için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar analiz modeli için tasarlanan sistemde yapılmıştır.

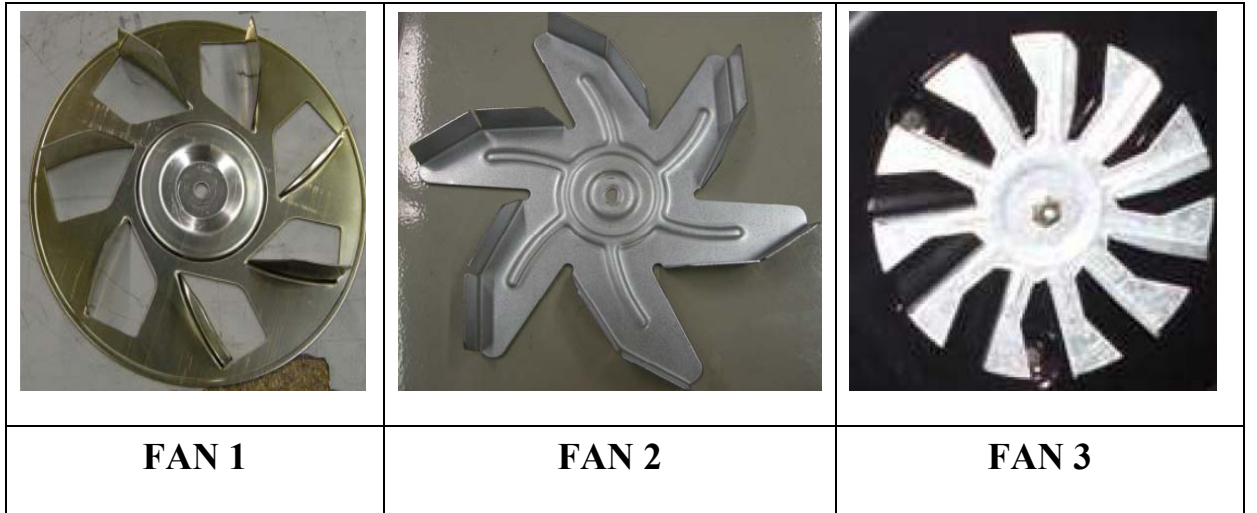
3.1 Deney Düzenekinin Kurulması

Deneysel çalışmalarda etrafında izolasyon olan kapalı bir dış hacmin ortasına bir başka hacim yerleştirilmiştir. Dış hacmin içine bir ısı üretim sistemi yerleştirilerek cismin ısıtılması sağlanmıştır. Bu sistem havayı dağıtan bir kutu, bir ısıtıcı ve bir fan oluşmaktadır. Fanın değişimine bağlı olarak, hacmin ortasındaki cismin ısınma performansı incelenmiştir.

Sistemde sadece fan değiştirilerek gözlem yapılmıştır. Deney süresi boyunca büyük hacmin ortasındaki cismin sıcaklık değişimi ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan fanlar bazı cihazlarda ısıtıcı ile birlikte kullanılan fanlardır.

Kullanılan fanlar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan fanlar



Deneylerde cisim fırının içine yerleştirilmiştir. 1500 W gücündeki ısıtıcı fanın etrafına yerleştirilmiştir. 1500 W gücündeki ısıtıcı sürekli çalışmaktadır. Fan havayı ısıtıcının üzerinden geçirmekte ve dış büyük hacmin içine yollanmaktadır.

Fan tasarımının ısınma performansına etkisini incelemek için sistemde sadece fan değiştirilmiştir. Yapılan debi ölçümlerine göre her bir fanın debi miktarı aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan fanların debi miktarları

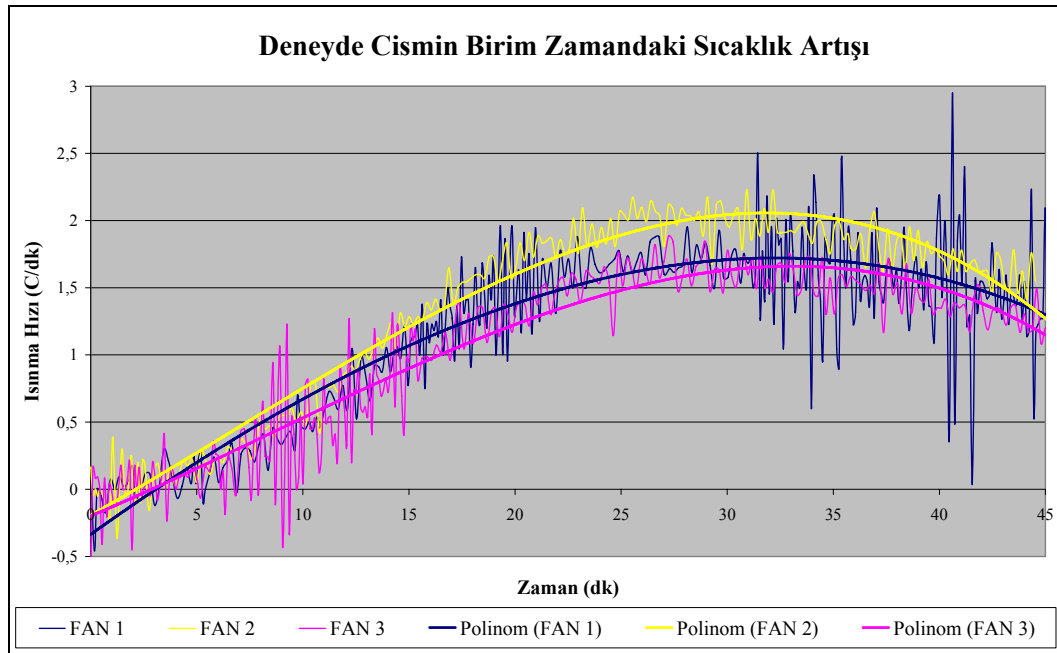
FAN	DEBİ (lt/s)
FAN 1	12,5
FAN 2	14,3
FAN 3	15,3

3.2 Deney Sonuçları

Deney boyunca kaydedilen sıcaklık ölçümleri değerlendirilmiştir. Cismin birim zamandaki sıcaklık artışı fana bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu hesap cismin farklı zamanlardaki ısınma hızını göstermektedir. Deney datalarının salınımlı göstermesi sebebiyle karşılaştırmayı kolaylaştırmak için eğrilerin eğilim çizgileri de grafikte yer almaktadır.

Grafığe göre cismin ısınma hızı fana göre değişim göstermektedir. Bu değişim debiyle doğru orantılı değildir. Bu durum fanın üfleme deliklerindeki üfleme açısını farklılaştırmasından dolayı olmaktadır. Bu gerekçe analizlerle doğrulanmıştır.

Cismin ısınma hızı (birim zamandaki sıcaklık artışı) 30. dakikaya kadar gittikçe artmaktadır. 30. dakikadan sonra ısınma hızı düşmektedir. Bu durum cismin özgül ısısının sıcaklığa bağlı değişiminden kaynaklanmaktadır.



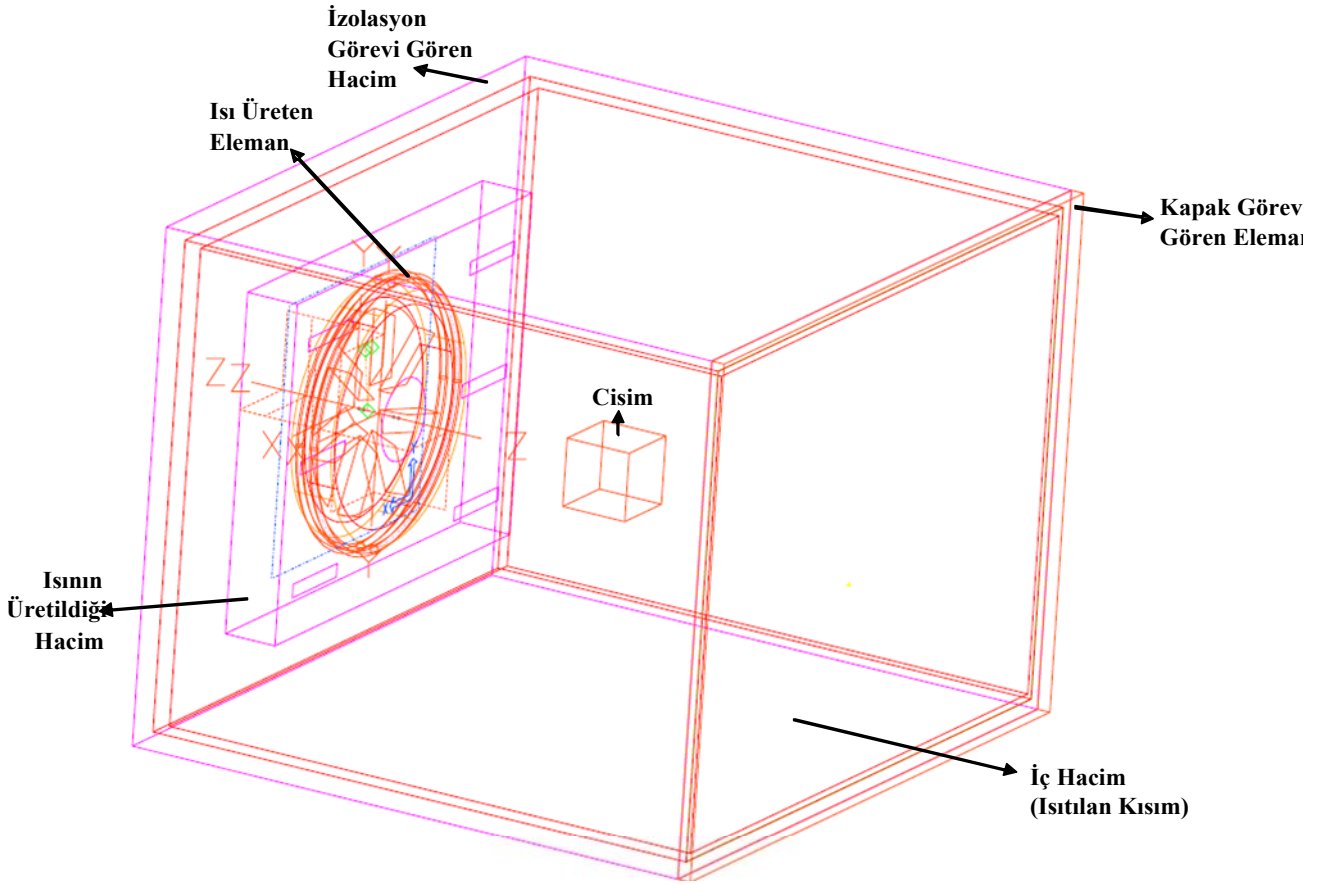
Şekil 3.1 Deneylerde cismin birim zamandaki sıcaklık artışı

4. FAN TASARIMLARININ CFD ANALİZLERİ

4.1 Analizlerde Kullanılan Model

Yapılan makale araştırmasından edinilen bilgilere göre bir fanın değerlendirilmesinde kullanılacak analiz modeli, o fanın kullanılacağı sistemin sadece en temel elemanlarından oluşmalıdır. Sistemin karışık ve kalabalık olması analiz süresini ve sistem için tanımlanması gereken sınır şartı sayısını arttırmaktadır. Analiz süresi uzamaktadır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi zorlaşmakta, gerekenden fazla parametrenin değerlendirilmesi zaman almaktadır.

Yapılan çalışmada karşılaştırması yapılacak fanların analizi için kullanılacak model, fikir verecek düzeyde ayrıntılı ve zaman kaybına yol açmayacak kadar basittir. Model ile deney düzeneği aynı özelliğe sahiptir. Analiz modeli ile ilgili bilgi aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Şekil 4.1 Analiz Modeli

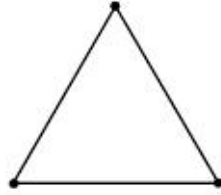
Analiz modeli büyük bir hacim, ısıtılan havayı bu büyük hacme aktaran bir başka hacim, ısı

üreten 2 dairesel eleman ve fandan oluşmaktadır. Sistemi izolasyon görevi gören bir başka hacim çevrelemektedir. Analizler sırasında fanı çevreleyen dönen hacim (rotating volume) dışındaki bütün elemanların mesh'leri sabit kalmıştır. Böylece mesh'e bağlı bir problemle karşılaşılmamıştır.

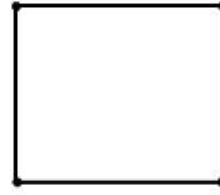
Çizelge 4.1 Fan analizlerinin yapıldığı analiz modelinin özellikleri

Toplam hacim	0,08379 m ³
Toplam mesh sayısı	1460560
Skewness	0,87

2D Mesh Tipleri

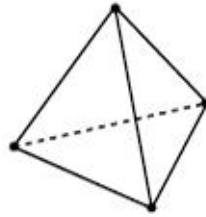


Triangle

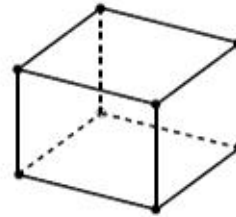


Quadrilateral

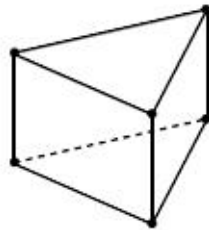
3D Mesh Tipleri



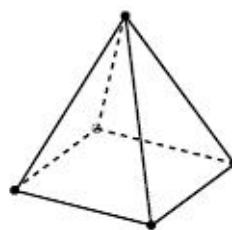
Tetrahedron



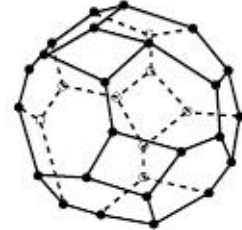
Hexahedron



Prism/Wedge



Pyramid



Polyhedron

Şekil 4.2 2D ve 3D mesh çeşitleri

Yukarıdaki tabloda yer alan “skewness” ifadesi mesh kalitesini göstermektedir. GAMBIT programı ile atılan mesh’ler tetrahedral, hegzagonal, prizmatik veya piramit tiplerindedir. Polyhedral denilen altıgen özellikli mesh ise FLUENT programında oluşturulabilmektedir. Bu elemanların kenar açıları, o elemanın çözümdeki güvenilirliği konusunda fikir vermektedir. Mesh atmak için kullandığımız program “GAMBIT”; bu açılardan yola çıkarak yaptığı hesap sonucu “skewness” denilen bir değere ulaşmaktadır.. Bu değer 0 ile 1 arasındadır. “Skewness” 1 e yaklaştıkça mesh’in kalitesi düşer. Modelin güvenilirliği azalır. Öngörülen maksimum değer ise 0,90 dır. Modelin skewness değeri 0,87 olduğundan modelin mesh’e bağlı güvenilirliği yüksektir.

Modelin “skewness” değerinin güvenilir değerlere gelmesi için GAMBIT programının sunduğu özelliklerden biri olan boyut fonksiyonları kullanılmıştır. Yani bazı hacimlerin tamamı için sabit bir mesh boyutu tanımlamak yerine mesh boyutunun belirli bir aralıkta belirli oranda artmasını sağlayan fonksiyonlar kullanılmıştır.

Modeldeki cisim dikdörtgen prizma şeklinde olduğundan dolayı hegzagonal mesh ile mesh’lenmiştir. Diğer elemanlar ise tetrahedral mesh ile mesh’lenmiştir. Önce küçük mesh kullanılacak elemanlar (dönen hacim, cisim gibi...) meshlenmiştir.

4.2 Analizin Yapılışı

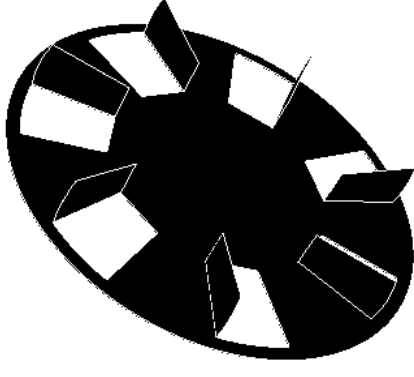
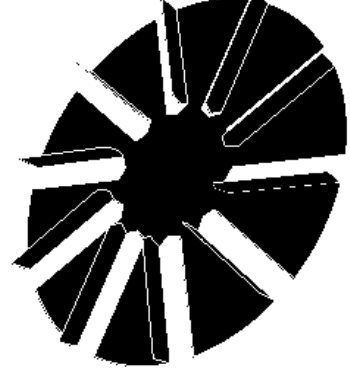
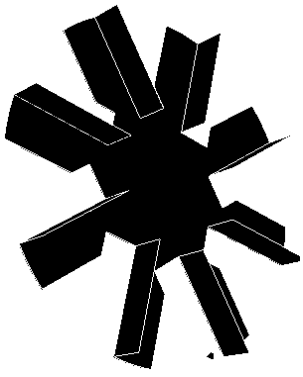
Analizlerde türbülans modeli olarak RNG k- ϵ modeli kullanılmıştır. Bu model default değerlerle kullanılmıştır. “Near-wall treatment” bölümünde “Standart wall functions” fonksiyonu seçilmiştir. Bu seçim tecrübelerle dayanarak yapılmıştır. RNG “renormalization group theory” k- ϵ modeli kullanılan istatistiksel tekniklerden üretilmiştir. Standart k- ϵ model ile arasında şu farklar vardır.

- RNG k- ϵ modelinde hızlı akan akışkanların doğruluğunu düzenleyen ek denklemler kullanılır.
- RNG modelinde girdap etkisi, türbülanslı viskozite tanımı ile temsil edilebilir.
- RNG teorisinde Prandtl sayısı sabit değildir. Bir denklem ile tanımlanır.

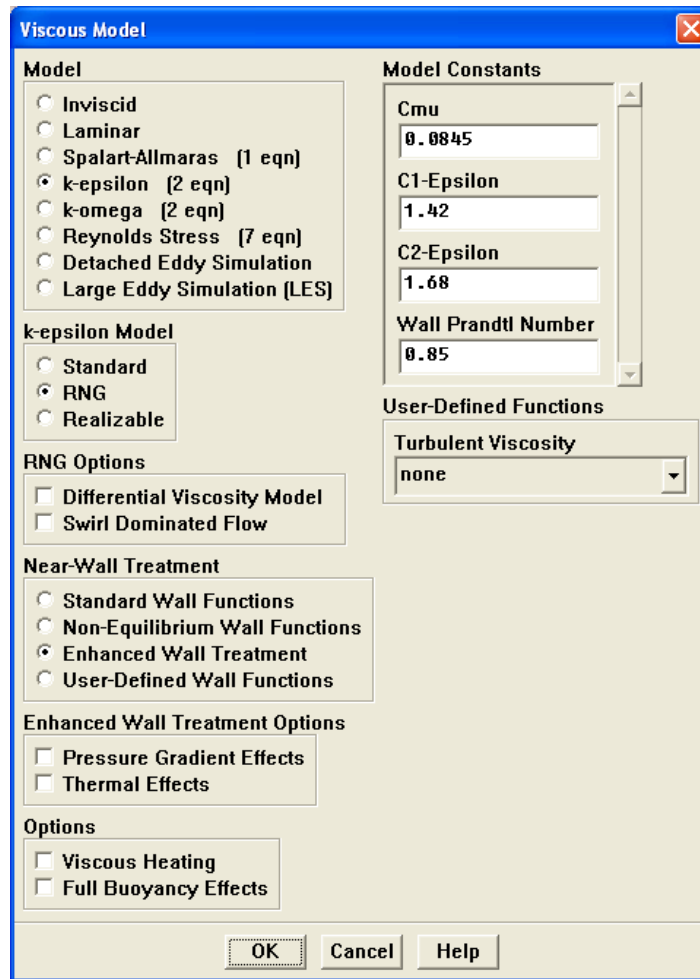
Standart k- ϵ modeli daha çok yüksek Reynolds sayısının söz konusu olduğu durumlarda kullanılırken RNG k- ϵ modeli özel denklemler sayesinde düşük Reynolds sayısının söz konusu olduğu durumlarda da kullanılabilir (Koçyiğit ve çalışma arkadaşları, 2005).

Analizi yapılan fanlar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.2 Analizi Yapılan Fanlar

		
US2006289426	CA2411379	US7345261

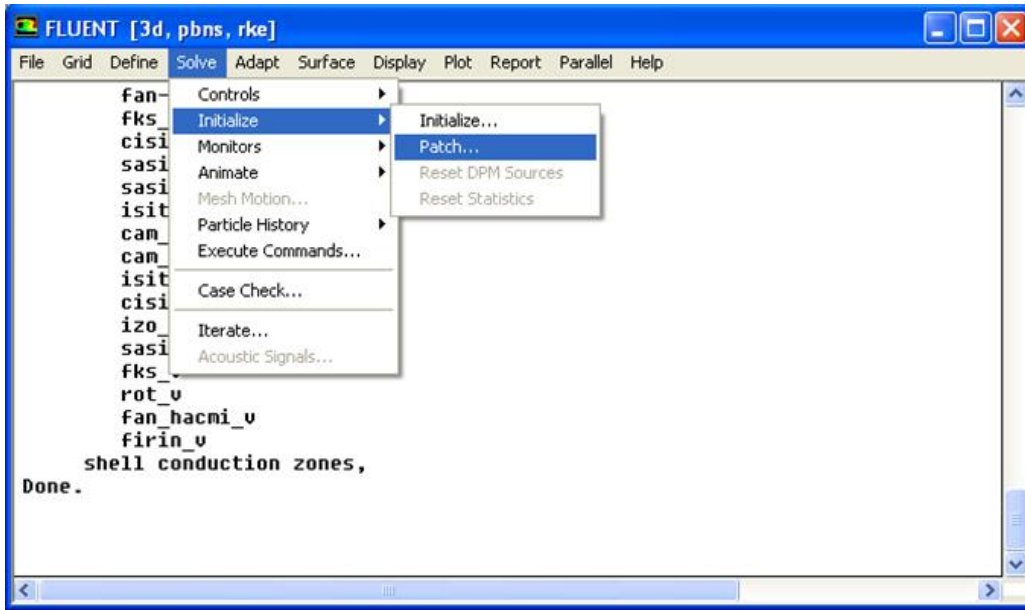
Analizde, ısı üreten elemanların 15×10^6 W/cm² lik güç yoğunluğuyla ısı ürettiği kabul edilmiştir. Fan havayı hacmin içinden emip ısı üreten elemanın üzerinden geçirmektedir. Isınan hava üfleme deliklerinden çıkıp hacmin içine dağılmaktadır. Bu sayede hacmin ortasındaki cisim ısınmaktadır.



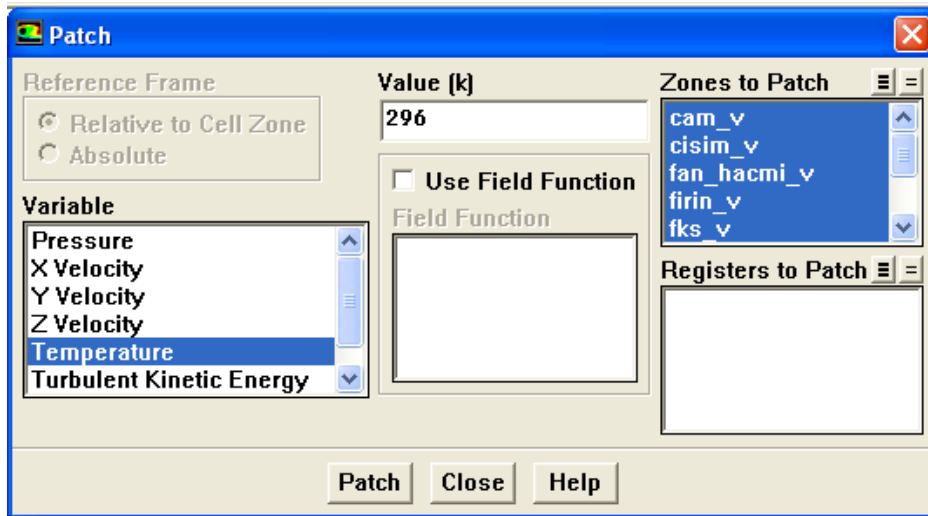
Şekil 4.3 Türbülans modelinin seçildiği panel

Analiz başlamadan önce tüm hacmin başlangıç sıcaklığı 23°C olarak ayarlanmıştır. Bu işlem FLUENT programının “Patch” komutu ile yapılmıştır. Patch komutu ile istenilen hacmin istenilen özelliğine (sıcaklık, hız, basınç ...) başlangıç değeri verilebilmektedir (FLUENT 6.3 Kullanıcı Kılavuzu).

Analizde önce akış analizi yapılmıştır. Akış analizi yakınsayınca enerji hesabı aktif hale getirilmiş ve enerji çözümü başlatılmıştır. Enerji çözümü zamana bağlı yapılmıştır. 10 saniyelik zaman adımlarıyla yapılan enerji analizlerinde ısıtıcının yüzey sıcaklığı ve cismin merkez sıcaklığı analiz süresince kaydedilmiş ve değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4 “Patch” İşleminin Yolu



Şekil 4.5 “Patch” komutunun kullanıldığı panel

4.3 Analizlerde Kullanılan Sınır Koşulları

Analizlerde kullanılan sınır şartları deney düzeneğinden esinlenerek belirlenmiştir. Bazı değerler birebir alınırken bazı değerler ise yapılan ihmallerden dolayı bir miktar azaltılarak veya artırılarak kullanılmıştır. Örneğin ısıtıcının ürettiği ısı miktarı, radyasyon ihmal edildiğinden dolayı bir miktar azaltılmıştır. Bu belirlemeler yapılan analizlerde deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Analiz modelindeki sınır koşulları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.3 Fan analizlerinin yapıldığı analiz modelinin özellikleri

Üfleme Delikleri	İnterior (İç Bölme)
Emiş Delikleri	İnterior (İç Bölme)
Dış Duvarlar	Wall (Duvar)
Fan	Wall (Duvar)
Dış Hacim	Fluid (Akışkan)
Havayı Dağıtan Hacim	Fluid (Akışkan)
Dönen Hacim (Rotating Volume)	Fluid (Akışkan)
Cisim	Solid (Kati)
Isı Üreten Elemanlar	Solid (Kati)

Çizelge 4.4 Analiz Modelinde Kullanılan Sınır Şartları

ELEMAN	ÖZELLİK	SINIR ŞARTI
Isıtıcı	Güç Yoğunluğu	$15 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$
Fan	Devir	1200 RPM (d/d)
İzolasyon	Isı Transfer Katsayısı	$120 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Wall

Zone Name
fan

Adjacent Cell Zone
rot_v

Shadow Face Zone
fan-shadow

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Wall Motion
 Stationary Wall
 Moving Wall

Motion
 Relative to Adjacent Cell Zone
 Absolute

Speed (rpm)
0

Rotation-Axis Origin
 X (m) 0
 Y (m) 0
 Z (m) 0

Rotation-Axis Direction
 X 0
 Y 0
 Z 1

Shear Condition
 No Slip
 Specified Shear
 Specularity Coefficient
 Marangoni Stress

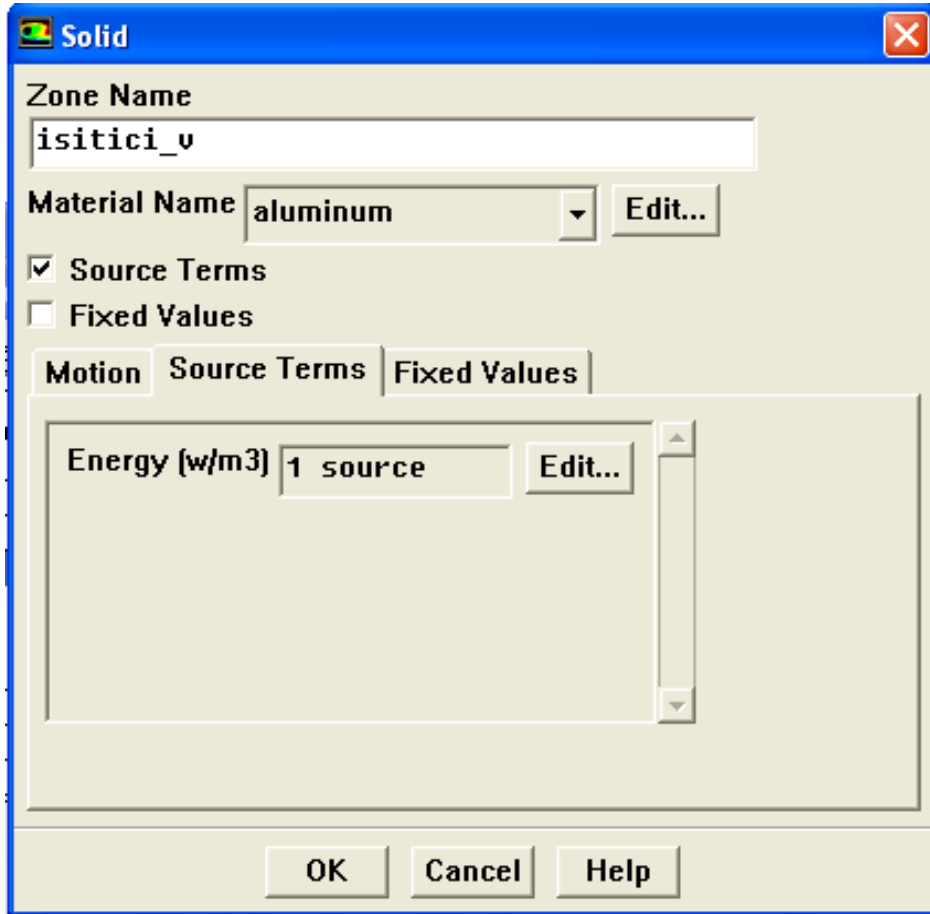
Wall Roughness
 Roughness Height (m) 0 constant
 Roughness Constant 0.5 constant

OK Cancel Help

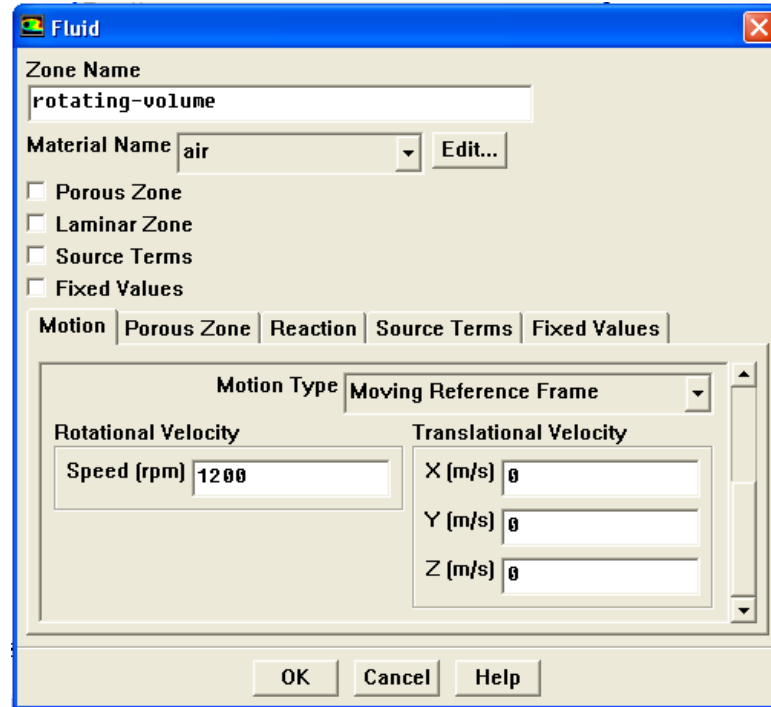
Şekil 4.6 Fanın Sınır Şartlarının Girişinin Yapıldığı Pencere

Çizelge 4.5 Analiz Modelinde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

KAPAK	
Yoğunluk	2225 kg/m ³
Özgül Isı Kapasitesi	1046 J/kg.K
Isı Transfer Katsayısı	2,68 W/m.K
CİSİM	
Yoğunluk	550 kg/m ³
Özgül Isı Kapasitesi	800 J/kg.K
Isı Transfer Katsayısı	0,1 W/m.K
İZOLASYON	
Yoğunluk	128 kg/m ³
Özgül Isı Kapasitesi	100 J/kg.K
Isı Transfer Katsayısı	0,057 W/m.K
ÇELİK	
Yoğunluk	8030 kg/m ³
Özgül Isı Kapasitesi	502,48 J/kg.K
Isı Transfer Katsayısı	16,27 W/m.K
HAVA	
Yoğunluk	1,225 kg/m ³
Özgül Isı Kapasitesi	1006,43 J/kg.K
Isı Transfer Katsayısı	0,0242 W/m.K
Viskozite	1,7894 x 10 ⁻⁵ kg/m.s



Şekil 4.7 Isıtıcı için sınır şartlarının girişinin yapıldığı panel

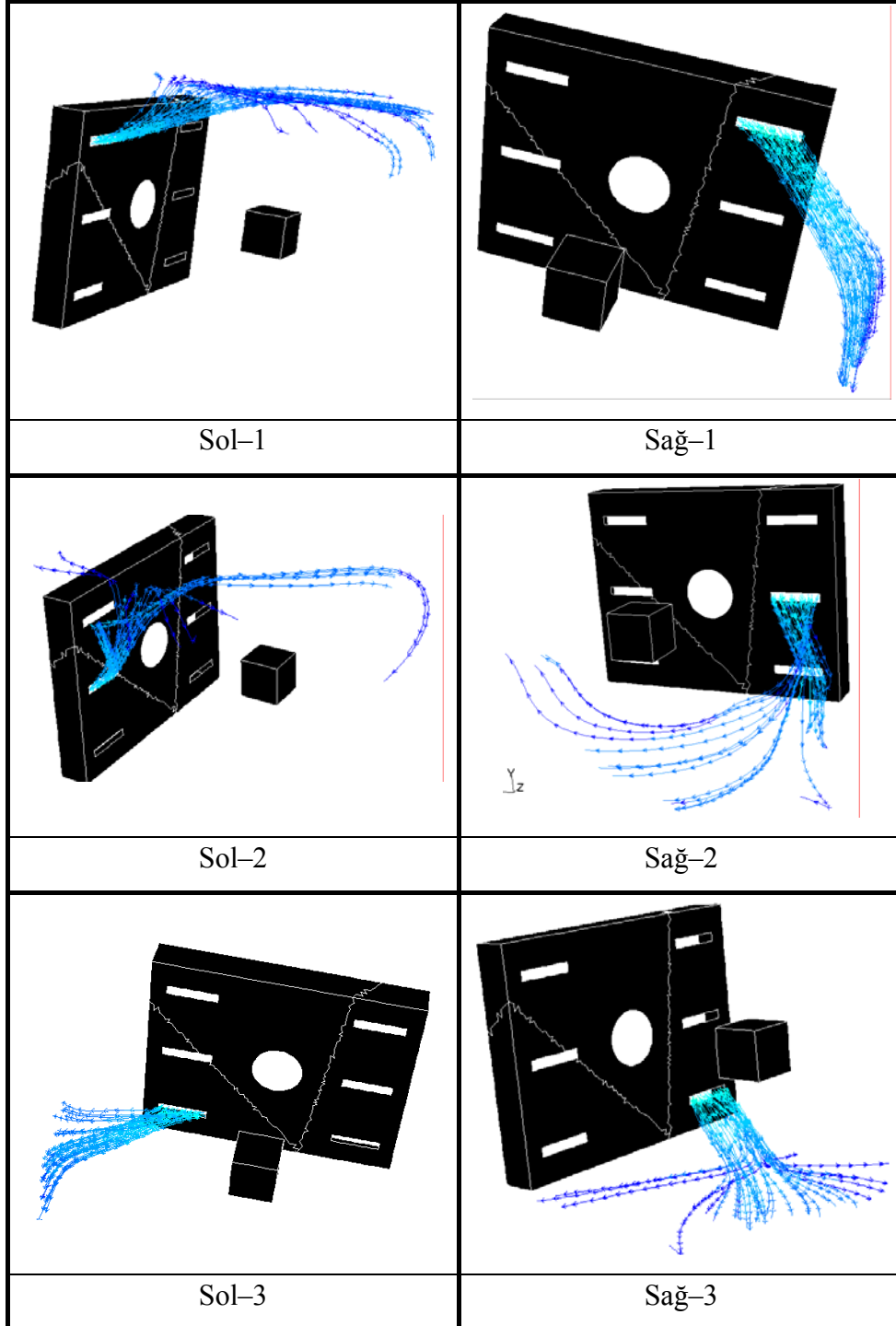


Şekil 4.8 Fannın Etrafındaki dönen hacim için sınır şartlarının girişinin yapıldığı panel

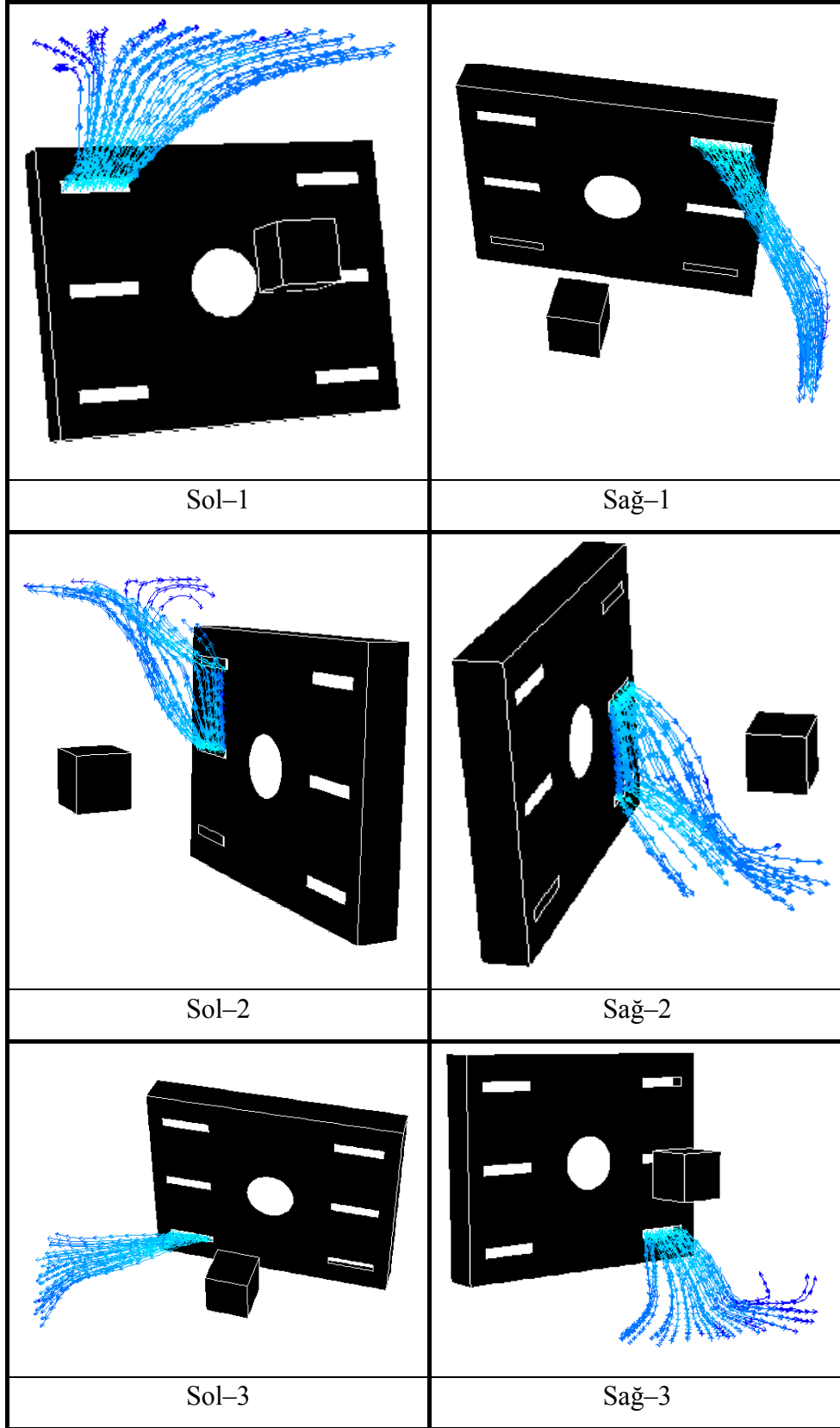
4.4 Analiz Sonuçları

Patentlerdeki fanların analizlerine ait akış sonuçları aşağıdaki gibidir:

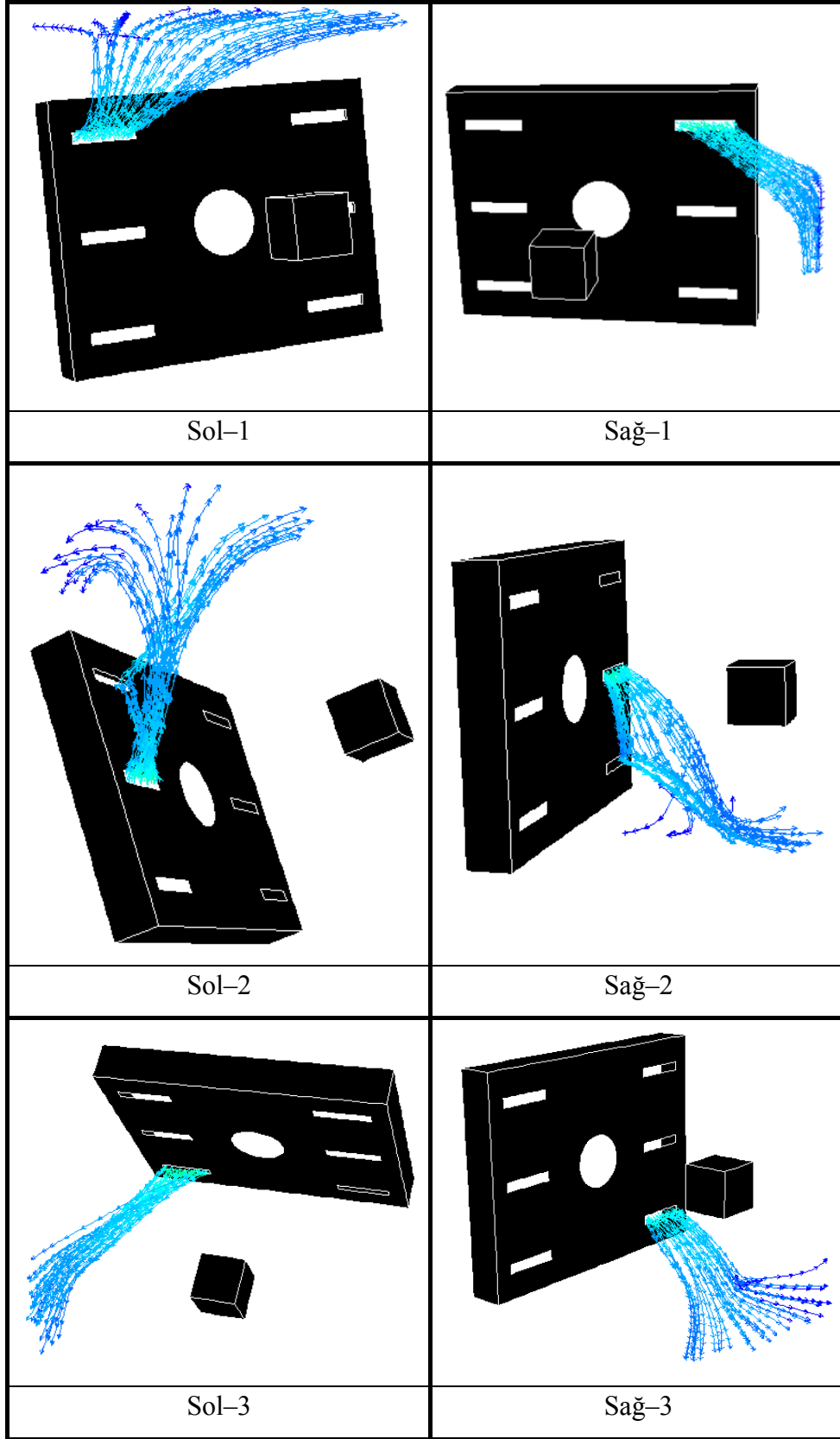
Çizelge 4.6 US2006289426 nolu patentteki fana ait akış analiz sonuçları



Çizelge 4.7 CA2411379 fanına ait akış analiz sonuçları



Çizelge 4.8 US7345261 fanına ait akış analiz sonuçları



Çizelge 4.9 Üfleme Deliklerindeki Debi Miktarları (L/s)

	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sağ 1	Sağ 2	Sağ 3	Emiş
US2006289426	1,66	1,21	1,58	1,58	1,28	1,65	8,97
CA2411379	1,68	1,22	1,62	1,61	1,24	1,67	9,04
US7345261	2,04	1,65	1,97	1,98	1,68	2,03	11,35

Yukarıdaki tablolarda her fanın her üfleme deliği için akış sonuçları verilmiştir. Akışın hangi üfleme deliğine ait olduğu yazılmıştır. Her bir delikteki hava debisi belirtilmiştir.

Farklı fanlarla yapılan analizlerin sonuçları üfleme deliği açısından kıyaslandığında bazı üfleme deliklerinde farklılıklar, bazılarında ise benzerlikler görülmüştür. Her bir delik için değerlendirme yapıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

Sol 1 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda yukarı doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir. Bu delikten çıkan hava hacmin üst duvarından ısı kaybının artmasına sebep olmaktadır.

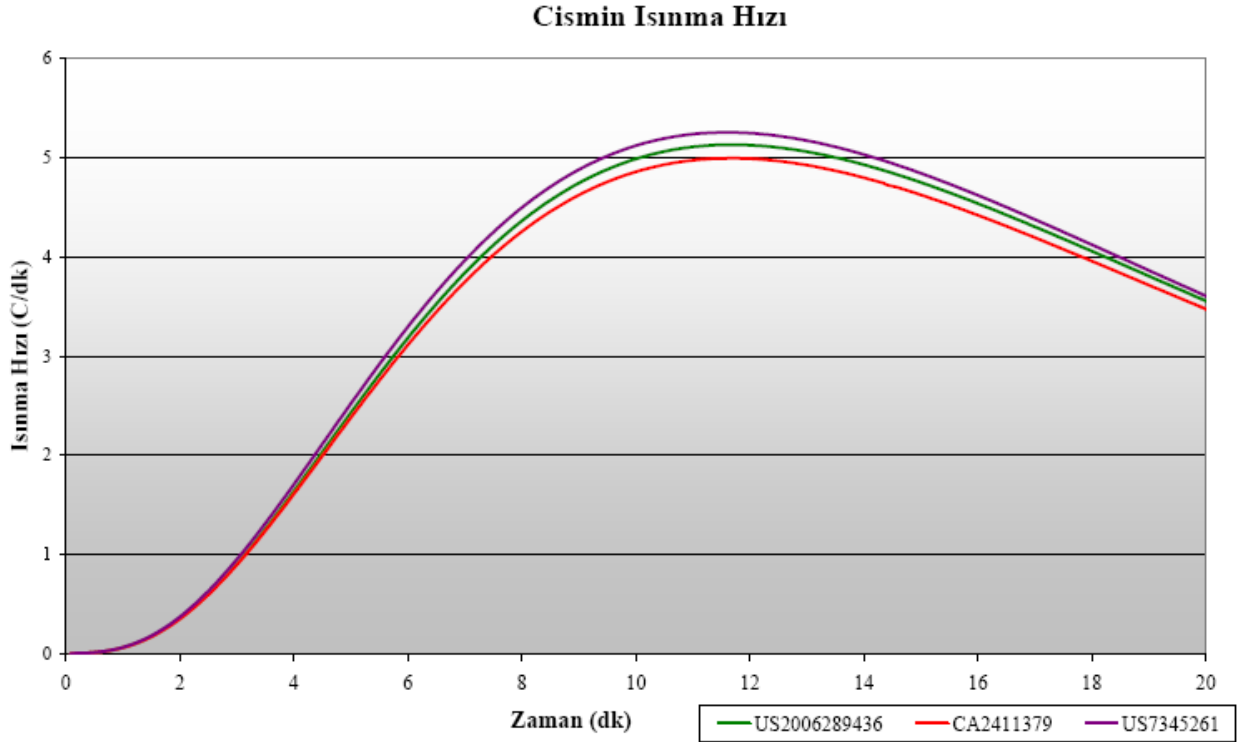
Sol 2 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda yukarı doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir. Bütün fanlarda hava yukarı doğru yönelip Sol-1 deliğinin akışına katılmaktadır. US2006289426 fanında akış diğer fanlardan farklı olarak yukarı yönlenmemiştir. Hacmin üst duvarını ısıtmamaktadır.

Sol 3 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir.

Sağ 1 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda yana doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir. Diğer fanlardan farklı olarak US7345261 fanında hava yan duvara daha dik bir açıyla yönelmektedir.

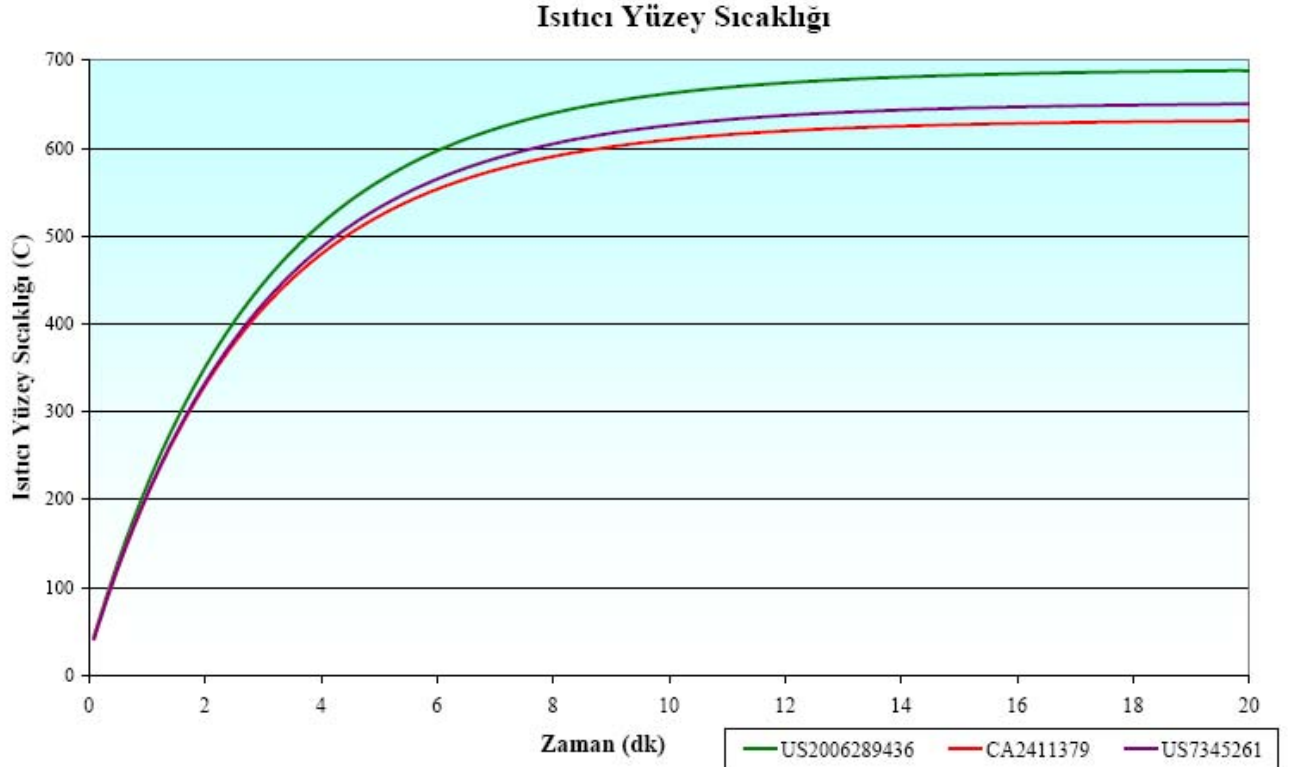
Sağ 2 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda aşağı doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir. Hava aşağı doğru yönelip Sağ 3 üfleme deliğinin akışıyla birleşmektedir. US2006289426 fanında diğerlerinden farklı olarak akış bir miktar sola yönelmektedir.

Sağ 3 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda aşağı doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir.



Şekil 4.9 Hacmin ortasındaki cismin ısınma hızı

Fanların aynı devirde dönmelerine rağmen farklı miktarda debi üretmeleri hacmin ortasındaki cismin ısınma hızını doğrudan etkilemiştir. Fakat aynen deneylerde olduğu gibi cismin ısınma hızı debiyle ve ısıtıcı yüzey sıcaklığı ile doğru orantılı değildir. Cisim ısındıkça verilen ısıya farklı cevap vermektedir. Belirli bir süreden sonra verilen ısıdan yeterince yararlanılamamaktadır. Bu durum deney datalarında da gözlenmiştir. Analizlerde deney datalarından farklı olarak cismin ısınma hızı 30. dakikadan sonra değil 12. dakikadan sonra azalmaya başlamıştır. Bu durum analizlerde bazı parametrelerin ihmal edilmesinden kaynaklanmaktadır. İhmaller sebebiyle cisim analizlerde daha hızlı ısınmıştır. Fakat genel davranış itibariyle cismin deneylerdeki ve analizlerdeki davranışı benzerlik göstermektedir. Bu da analizlerin ısınma hızı açısından deneylerle uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.10 Analiz sonuçlarına göre ısıtıcının yüzey sıcaklığı

Yapılan analizlerin sonucuna göre ısıtıcı yüzey sıcaklıkları debi ile orantılı değildir. Bu da ısıtıcının yüzey sıcaklığından yararlanma miktarını doğrudan debi ile ilgili olmadığını göstermektedir.

Isıtıcının yüzey sıcaklığı önce hızlı bir şekilde artmakta, daha sonra ısınma hızı yavaşlamaktadır.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde;

US2006289436 ⇒ Bu fanla yapılan analizlerin sonucuna göre sol2 ve sağ2 üfleme deliklerinden çıkan havalar duvarlara yönelmemektedir. Bu sebeple cismin ısınmasına katkı sağlamaktadır. Bu da debisinin az olmasına rağmen cismin ısınma hızının fazla olmasını sağlamaktadır.

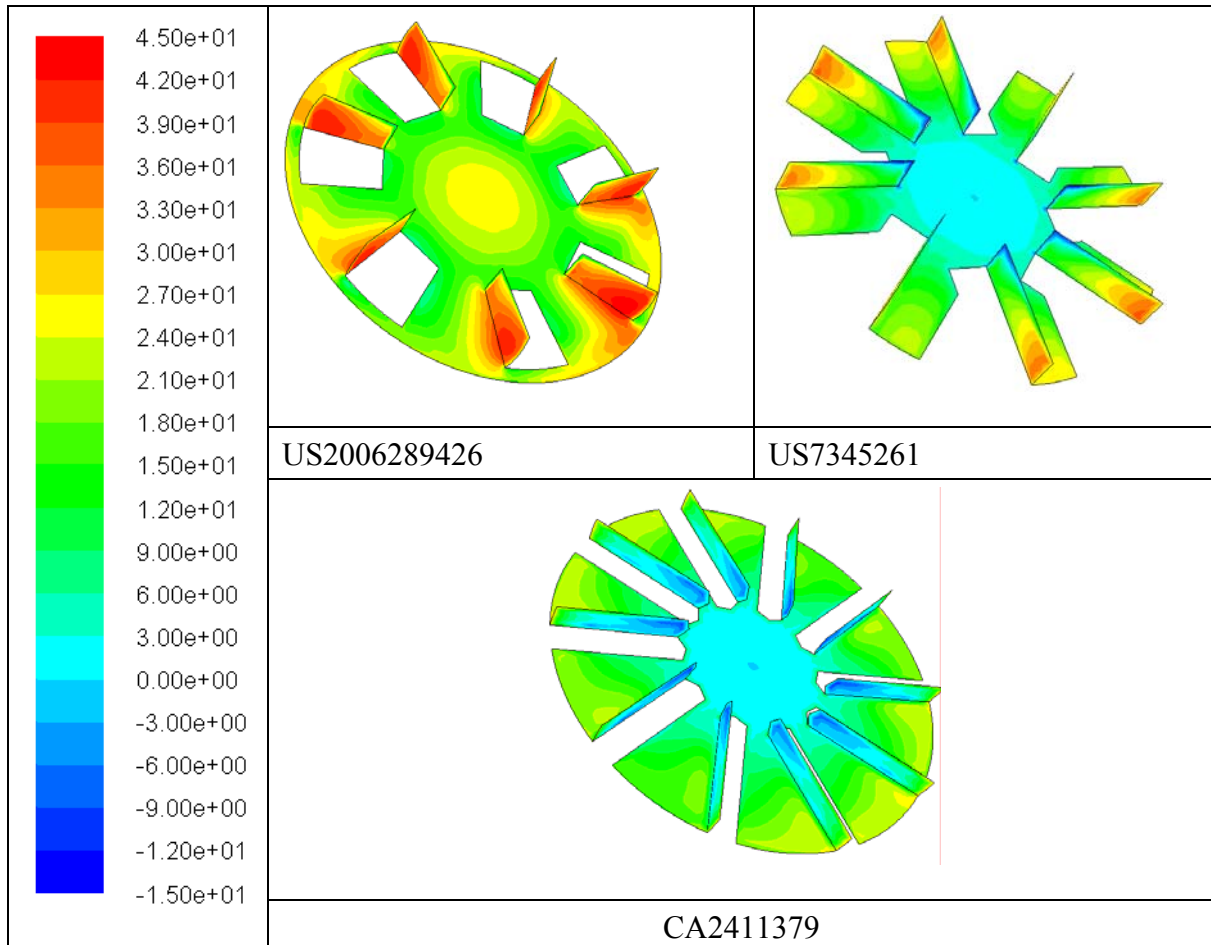
CA2411379 ⇒ Bu fanın US2006289436 patentinin fanına göre debisi daha fazladır. Buna rağmen cismin ısınma hızı daha azdır. Çünkü yan duvarlara doğru yönelen hava miktarı fazladır. Yan duvarların ısınması ve hacmin ısıya doyması cismin ısınmasına yardım olmasına rağmen kayıpların fazla olması cismin yeterli ısıda ısınmasını engellemiştir. Isıtıcı yüzey sıcaklığının az olması fanın savurduğu havanın ısıtıcının yeterli miktarda yararlandığını

göstermiştir. Isınan hava yan duvarlara yöneldiği için ısı kaybı diğer fanlardakine kıyasla daha azdır.

US7345261 ⇒ Bu fanın debisi diğer fanlara oranla yüksektir. Isıtıcının yüzey sıcaklığı CA2411379 fanının analizine göre yüksek olmakla birlikte arada çok fazla fark yoktur. Isıtıcı yüzey sıcaklığı düşük olduğu için fan ısıtıcının ısısından iyi yararlanmış denebilmektedir. Yüksek debili ve sıcak akışın hacmin içine yönelmesi hacim içinde diğer fanlara göre daha sıcak bir ortam oluşacaktır. Bu da cismin hızlı ısınmasını sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıkta ve debideki hava kayıpları da arttırmasına rağmen cismin de ısınmasını olumlu etkilediği için avantaj sağlamıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde sıcak havanın yan duvarlardan kaçışı cismin ısınmasını olumsuz etkiler gibi düşünülse de yan duvarların ısınması hacmin iç havasının ısınmasına yardımcı olduğundan belirli bir değere kadar olumlu etkilemektedir. Üfleme deliklerinden çıkan havanın cisme yönelmemesi sebebiyle cismi bu şekilde dolaylı yoldan ısıtan etkiler önem kazanmaktadır.

Çizelge 4.10 Fanların yüzey basınçları



Yukarıdaki çizelgede fanların yüzey basınç dağılımları verilmiştir. Makalelerden elde edilen bilgilere göre fanın yüzey basıncı gürültü hakkında bilgi vermektedir (Khelladi ve çalışma arkadaşları, 2008). Bu bağlamda değerlendirildiğinde US2006289426 nolu patentteki fan tasarımındaki yüzey basınç değerleri daha yüksek olduğundan fanın gürültüsü daha fazladır denebilmektedir. Gürültüsünün en düşük olması beklenen fan CA2411379 nolu patentteki fan tasarımıdır. Fan tasarımlarından beklenen özelliklerden biri olan düşük ses gücü düzeyi şartını ortalama bir debi ile CA2411379 patentindeki tasarım sağlamaktadır. US2006289426 fanı ise düşük debi değerine karşın yüksek ses gücü düzeyi sebebiyle her alanda kullanıma uygun değildir.

5. SONUÇLAR

Yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Çalışmanın başında benzer uygulamaların olup olmadığının incelenmesi için patent ve makale araştırması yapılmıştır. Benzer uygulamalara ait patentlerdeki fan tasarımları oluşturulan analiz modelinde irdelenmiştir.
- Yapılan literatür araştırmasına göre şu husus dikkat çekmektedir: Fan tasarımlarının CFD analizleri ile irdelenmesi için oluşturulan analiz modelleri basit olmalıdır. Fanın kullanıldığı bütün sistem analiz modeline dâhil olmak zorunda değildir. Sistemin sadece fanı ilgilendiren kısımlarının dâhil olması yeterlidir. Analiz modeli oluşturulurken sistemi basitleştirmek için deneysel verilerden yararlanmak mümkündür. Deneysel verilerden elde edilen bilgiler analiz modelinde sınır şartı olarak kullanılırsa analiz modeli basitleşecektir. Analiz modelinin basitleşmesi; tüm analiz sürecinin kısalmasını sağlayacaktır. Basit modellerin mesh işlemi daha kısa sürdüğünden ve analizleri daha erken bittiğinden dolayı analiz yapan kişiye zaman kazandıracaktır.
- Çalışmalar deneysel çalışmalar ile başlamıştır. Farklı fanların ısınma performansının incelenmesine uygun bir düzenek ile üç farklı fanla deneyler yapılmıştır. Hacmin ortasındaki cismin ısınma hızı hesaplanarak fanlar kıyaslanmıştır.
- Çalışmada kullanılan analiz modeli seçilirken mevcut deney düzeneğinden ve daha önce yapılan deneysel çalışmalardan faydalanılmıştır. Kapalı bir hacim ortasındaki cismin ısınma hızına bağlı olarak ve diğer parametreler irdelenerek patentlerden alınan fan tasarımları karşılaştırılmıştır. Kullanılan model ihtiyaca cevap verecek nitelikte ve basitliktedir.
- Yapılan analiz sonucu FLUENT programının post-processing modüllerinden yararlanılarak çıkarılmıştır. Sonuçlar çıkarılırken makalelerden yararlanılmıştır.
- Elde edilen çıktılar değerlendirildiğinde doğrudan veya dolaylı sonuçlar elde edilebilmektedir. Cismin ısınma hızı incelendiğinde fan tasarımları doğrudan kıyaslanabilmektedir. Söz konusu ses gücü düzeyi ise doğrudan bir çıktı elde edilmemiştir. Makalelerden elde edilen bilgilere göre yüzey basıncı ses gücü düzeyi ile ilgili bilgileri vermektedir. Basınç ne kadar yüksekse ses gücü düzeyi o kadar yüksektir.
- Farklı fanlarla yapılan analizlerin sonuçları üfleme deliği açısından kıyaslandığında bazı üfleme deliklerinde farklılıklar, bazılarında ise benzerlikler görülmüştür. Her bir delik

için değerlendirme yapıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

Sol 2 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda yukarı doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir. Bütün fanlarda hava yukarı doğru yönelip Sol-1 deliğinin akışına katılmaktadır. US2006289426 fanında akış diğer fanlardan farklı olarak yukarı yönlenmemiştir. Hacmin üst duvarını ısıtmamaktadır.

Sağ 1 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda yana doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir. Diğer fanlardan farklı olarak US7345261 fanında hava yan duvara daha dik bir açıyla yönelmektedir.

Sağ 2 \Rightarrow Bütün fanlarda aynı şekilde ve benzer açılarda aşağı doğru üfleme gerçekleşmektedir. Cisme doğrudan üfleme söz konusu değildir. Hava aşağı doğru yönelip Sağ 3 üfleme deliğinin akışıyla birleşmektedir. US2006289426 fanında diğerlerinden farklı olarak akış bir miktar sola yönelmektedir.

- Deney ve analiz sonuçlarına göre cisim önce artan bir hızla ısınmaktadır. Bu hız belirli bir süreden sonra azalmaktadır. Ortam ısınırsa da cisim o ısıdan yeterli düzeyde yararlanılamamaktadır. Bu durum analizlerde de deneylerde de aynıdır. Bu da analizlerin bu açıdan doğru sonuç verdiğini göstermektedir.
- Genel olarak değerlendirildiğinde sıcak havanın yan duvarlardan kaçışı cismin ısınmasını olumsuz etkiler gibi düşünülse de yan duvarların ısınması hacmin iç havasının ısınmasına yardımcı olduğundan dolayı belirli bir değere kadar olumlu etkilemektedir. Üfleme deliklerinden çıkan havanın cisme yönlenmemesi sebebiyle cismi bu şekilde dolaylı yoldan ısıtan etkiler önem kazanmaktadır.

KAYNAKLAR

ARS 138 :EV TİPİ ELEKTRİKLİ FIRINLARIN PERFORMANSININ SAYISAL VE DENEYSEL İNCELENMESİ , Murat KANTAŞ, ARÇELİK Araştırma Raporları

FLUENT 6.3 Kullanıcı Kılavuzu, FLUENT Inc., 2006

Ho Son H., Rosario Luis, Rahman Muhammad M., "Thermal Comfort Enhancement by Using a Ceiling Fan", Applied Thermal Engineering, 2008

Khelladi S., Kouidri S., Bakir F., Rey R., "Predicting Tonal Noise From A High Rotational Speed Fan", Journal of Sound and Vibration, Volume 313, 113-133, 2008

Koçyiğit Niyazi, ÜNAL M. Fevzi, "Askı ve İleri Uçuştaki Bir Helikopter Gövdesinin Aerodinamik katsayılarının FLUENT Kullanılarak Hesaplanması", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 57-64, 2005

Lakshmiraju Murthy, Cui Jie, "Numerical investigation of pressure loss reduction in a power plant stack", Applied Mathematical Modeling, Volume 31, 2007

Roknaldin Farzam, Sahan Ridvan Amir, "A Simplified CFD Model For The Radial Blower", Thermal and Thermomechanical Phenomeno in Electric Systems (ITHERM 2002), 600–604, 2002

Shih Yang-Cheng, Hou Hung-Chi, Chiang Hsucheng, "On Similitude of the Cross Flow Fan in an Split-Type Air-Conditioner", Applied Thermal Engineering, Volume 28, 2008

Tsai B.J., Wu C.L., "Invesitgation of a Miniature Centrifugal Fan", Applied Thermal Engineering, Volume 27, 229-239, 2007

Verboven P., Scheerlinch N., De Baerdemaeker J. , B. M. Nicolai, "Computational fluid dynamics modelling and validation of the isothermal airflow in a forced convection oven", Journal of Food Engineering, Volume 43, 2000

Wong Shin-Yee, Zhou Weibaio, Hua Jinsong, "Designing Process Controller For A Continuous Bread Baking Process Based On CFD Modelling", Journal Of Food Engineering, Volume 81, 523-534, 2007

www.cfdonline.com

www.espacenet.com

www.sciencedirect.com

www.thermalcooling.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.09.1985

Doğum yeri Elazığ

Lise 2000-2003 Malatya Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2007 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2006-2008 ARÇELİK A.Ş. Yüksek Lisans Öğrencisi
2008-Devam Ediyor ARÇELİK A.Ş. AR-GE Mühendisi