

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EV TİPİ ELEKTRİKLİ FIRINLARIN
PERFORMANSININ SAYISAL VE DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Mak. Müh. Murat KANTAŞ

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan HEPERKAN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. LİTERATÜR ve PATENT ARAŞTIRMASINDAN ÇIKARIMLAR	14
4. DENEY DÜZENEGİ	16
4.1 Deney Laboratuvarı ve Kullanılan Fırınlar	16
4.2 Debi ölçümü	20
5. DENEYSEL ÖN ÇALIŞMALAR	21
5.1 Statik modda fırın içi sıcaklık dağılımı	21
5.2 Pişirme deneyleri	24
5.2.1 Börek pişirme deneyi	24
5.2.2 Kek pişirme deneyi	27
5.3 Sayısal çalışmalarda kullanılacak sınır koşullarının belirlenmesi	29
5.3.1 Ortalama ısıtıcı yüzey sıcaklığının belirlenmesi	29
5.3.2 İzolasyon dışında hava sıcaklığının belirlenmesi	31
5.3.3 Fan devrinin belirlenmesi	32
6. HAVA DAĞITIM KANALI TASARIMI ve SAYISAL ÇÖZÜM ÇALIŞMALARI	34
6.1 Hava dağıtım kanalı tasarımı	35
6.1.1 Tasarım 1 sayısal çözüm sonuçları	37
6.1.2 Tasarım 2 sayısal çözüm sonuçları	39
6.2 Fırın şasisi içinde hava dağılımının belirlenmesi ve sayısal çözüm çalışmaları ...	41
6.3 Sayısal çözüm ile fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi	49
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SAYISAL ÇÖZÜM SONUÇLARININ	

	KARŞILAŞTIRILMASI	53
7.1	Pitot tüpü ile debi ölçümü.....	53
7.2	Prototip hava dağıtım kanalının kullanıldığı fırındaki sıcaklık dağılımının belirlenmesi ve sayısal çözüm sonuçları ile karşılaştırılması	54
7.3	Statik mod ile hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumdaki fırın içi sıcaklık dağılımının karşılaştırılması	57
7.4	Metal prototip hava dağıtım kanalı ile börek pişirme deneyi ve pişirme sonuçlarının statik mod ile karşılaştırılması	58
8.	SONUÇLAR.....	60
	KAYNAKLAR.....	62
	ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGE LİSTESİ

c_p	Özgöl ısı (J/kg.K)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ν	Kinematik viskozite (kg/m.s)
k	Isı iletim katsayısı (W/m.K)

KISALTMA LİSTESİ

CFD	Computational Fluid Dynamics
PIV	Particle Image Velocimetry
LDA	Laser Doppler Anemometry
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
RNG	Re-Normalization Group

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Zorlanmış taşınımlı ticari fırın sayısal modeli (Verboven vd., 1999a)	3
Şekil 2.2 Sayısal çözüm ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımının karşılaştırılması (Verboven vd., 1999b).....	4
Şekil 2.3 Akdağ vd (2006) tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalı.....	5
Şekil 2.4 Akdağ vd (2006) tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalında, sayısal çözüm ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen hava dağılımının karşılaştırılması ..	6
Şekil 2.5 Düşük emisiviteli fırın; (1) kontrol paneli, (2) termoeleman, (3) çıkarılabilir yan panel, (4) kapı contası, (5) ısıtıcılar, (6) üzeri alüminyum folyo ile kaplı izolasyon (Shaughnessy ve Newborough, 1999)	6
Şekil 2.6 Düşük emisiviteli fırın ile standart bir fırının ön ısıtma sürelerinin karşılaştırılması (Shaughnessy ve Newborough, 1999)	7
Şekil 2.7 Ekmek pişirme deneyinde, ekmeğin çeşitli bölgelerindeki sıcaklıkların zamana göre değişimi (Thorvaldsson ve Skjöldebrand, 1998)	8
Şekil 2.8 Bosch Siemens (2000) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının önden görünüşü.....	9
Şekil 2.9 Bosch Siemens (2000) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının arkadan görünüşü ve kullanılan yönlendiriciler	10
Şekil 2.10 Bosch Siemens (1998) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının fırın içinde yerleşiminin şematik görünüşü ve kullanılan yönlendiriciler	10
Şekil 2.11 Bosch Siemens (1982) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının şematik görünüşü	11
Şekil 2.12 Electrolux (1998) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının (a) önden ve (b) üstten şematik görünüşü	12
Şekil 2.13 Whirlpool (1994) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının şematik görünüşü.....	12
Şekil 2.14 Whirlpool (1994) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının şematik görünüşü.....	13
Şekil 2.15 Whirlpool (1994) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalındaki yönlendiricilerin yerleşimi	13
Şekil 4.1 EN 50304 standartlarına göre enerji tüketimi deney düzeneğinin şematik görüntüsü ve boyutları	16
Şekil 4.2 Enerji tüketimi deney düzeneğinin görünüşü.....	17
Şekil 4.3 Fırındaki ısıtıcıların yerleşimi ve fırının şasisinin şematik görünüşü	18
Şekil 4.4 Veri toplama ünitesi ve sıcaklık ölçüm kanalının gösterilmesi.....	19
Şekil 4.5 Standart enerji deneyi sonucunda elde edilen verilen verilere ait grafik	19
Şekil 4.6 Debi ölçümünde kullanılan dijital manometre ve bilgisayar.....	20
Şekil 5.1 Fırın içi sıcaklık dağılımının incelenmesi amacıyla oluşturulan ızgara ve ızgara üzerine yerleştirilen termoelemanlar.....	21
Şekil 5.2 Fırın şasisi içinde ızgaraların yerleşimi.....	22
Şekil 5.3 Statik moda fırın içi sıcaklığın zamana bağlı değişimi	22
Şekil 5.4 Statik modda fırın içi sıcaklık dağılımı	23
Şekil 5.5 Tepsi alt yüzey, börek alt yüzey ve börek üst yüzey sıcaklıklarının ölçümde kullanılan ızgaraların yerleşimi.....	24
Şekil 5.6 Börek pişirme süresince tepsi alt yüzey, börek alt yüzey ve börek üst yüzeyindeki sıcaklık değişimi ve ortalama sıcaklıklar	25
Şekil 5.7 Pişirme sonrası börek alt yüzey fotoğrafı ve yüzey sıcaklık dağılımı.....	25
Şekil 5.8 Pişirme sonrası börek üst yüzey fotoğrafı ve yüzey sıcaklık dağılımı	26
Şekil 5.9 Pişirme sonrası tepsi alt yüzey sıcaklık dağılımı ile börek alt yüzey sıcaklık dağılımının karşılaştırılması.....	26

Şekil 5.10 Kek pişirme sonrası alt ve üst yüzey fotoğrafları ve sıcaklık dağılımları.....	27
Şekil 5.11 Kek pişirme süresince tepsi alt yüzey, börek alt yüzey ve börek üst yüzeyindeki sıcaklık değişimi ve ortalama sıcaklıklar	28
Şekil 5.12 Fırın şasisinin şematik görünümü ve sayısal çözüm için sınır şartı olarak kabul edilen bölgelerden bazıları	29
Şekil 5.13 Isıtıcı yüzey sıcaklığının ölçülmesi amacıyla ısıtıcı yüzeyine yerleştirilen termoelemanlar	30
Şekil 5.14 Isıtıcı yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	30
Şekil 5.15 İzolasyon dışındaki hava sıcaklığının ölçülmesi amacıyla yerleştirilen termoelemanlar	31
Şekil 5.16 İzolasyon dışındaki hava sıcaklığının farklı noktalarda zamana bağlı değişimi	32
Şekil 5.17 Deneysel çalışmalarda kullanılan 25W gücündeki motor	33
Şekil 5.18 Fan devrinin belirlenmesi amacıyla kullanılan stroboskop	33
Şekil 6.1 Tepsiler üzerinde oluşturulmak istenen hava dağılımının şematik görünüşü	34
Şekil 6.2 Sayısal çözüm çalışmalarında izlenen yol (Pordal, 2006).....	35
Şekil 6.3 Hava dağıtım kanalı ve hava dağıtım kanalında oluşturulan sayısal elemanlar	35
Şekil 6.4 Hava dağıtım kanalının emiş bölgesinde oluşturulan sayısal elemanlar	36
Şekil 6.5 Fan ve fan üzerinde oluşturulan sayısal elemanlar	36
Şekil 6.6 Tasarım 1 sayısal çözüm sonucunda elde edilen hız dağılımı ve eş-hız eğrileri.....	37
Şekil 6.7 Tasarım 1’de sayısal çözüm sonucunda elde edilen üfleme deliklerindeki hız vektörleri	38
Şekil 6.8 Alt yüzeyinde patlatma yapılmış ava dağıtım kanalı ve hava dağıtım kanalında oluşturulan sayısal elemanlar	39
Şekil 6.9 Tasarım 2 sayısal çözüm sonucunda elde edilen hız dağılımı ve eş-hız eğrileri.....	40
Şekil 6.10 Tasarım 2’de sayısal çözüm sonucunda elde edilen üfleme deliklerindeki hız vektörleri	40
Şekil 6.11 Fırın şasisi içinde hava dağılımının belirlenmesi amacıyla oluşturulan sayısal model ve sayısal elemanlar	41
Şekil 6.12 Fırın şasisi içinde hava dağılımının belirlenmesi amacıyla oluşturulan sayısal elemanların detaylı görünümü	42
Şekil 6.13 Tepsi düzlemine paralel olarak üfleme delik kesitlerindeki fırın içi hız dağılımı...	43
Şekil 6.14 Sayısal çözüm sonucunda elde edilen akım çizgileri	44
Şekil 6.15 Tepsi düzlemine dik düzlemdeki hız dağılımı ve hava hareketleri	45
Şekil 6.16 Hava dağıtım kanalı içinde fanın dönüş yönü	46
Şekil 6.17 Yönlendirme parçalarının olduğu ve olmadığı durumda, tepsi düzlemine dik kesitteki hız dağılımları.....	46
Şekil 6.18 Yönlendirici parçaların olduğu hava dağıtım kanalı ile yönlendiricisiz hava dağıtım kanalında tepsi düzlemine paralel delik kesitlerindeki eş-hız eğrileri	47
Şekil 6.19 Yönlendirici parçaların olduğu hava dağıtım kanalı ile yönlendiricisiz hava dağıtım kanalındaki akım çizgileri.....	48
Şekil 6.20 Fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla oluşturulan model	49
Şekil 6.21 Sayısal çözümde kullanılacak olan malzemeler	50
Şekil 6.22 Fan ve ısıtıcıda oluşturulan sayısal elemanlar	51
Şekil 6.23 Sayısal çözüm sonrasında elde edilen fırın içi sıcaklık dağılımı ve hız dağılımı karşılaştırması	52
Şekil 7.1 Plastik hava dağıtım kanalı prototipi.....	53
Şekil 7.2 Debi ölçümünde kullanılan deney düzeneği	53
Şekil 7.3 (a) Deneyde kullanılan fırın, fırın içine yerleştirilen ızgaralar ve veri toplama ünitesi, (b) Deneysel çalışma ve analiz çalışması sonrasında sıcaklık dağılım grafiğinin çizilebildiği alanlar.....	55
Şekil 7.4 Sayısal çözümde elde edilen sıcaklık dağılımı ile deneysel çalışmada elde edilen	

sıcaklık dağılımının karşılaştırılması	56
Şekil 7.5 Sayısal çözümde elde edilen sıcaklık dağılımı ile deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık dağılımının karşılaştırılması	57
Şekil 7.6 Statik modda ve hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda börek pişirme süresinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 7.7 Statik modda ve hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda börek yüzeyindeki kahverengileşmenin karşılaştırılması.....	59
Şekil 7.8 Statik modda ve hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda börek yüzeyindeki sıcaklıkların karşılaştırılması	59

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 5.1 Farklı konumlarda ısıtıcı yüzey sıcaklığı	31
Çizelge 6.1 Tasarım 1’de üfleme deliklerindeki hava debisi dağılımı	38
Çizelge 6.2 Tasarım 2’de üfleme deliklerindeki hava debisi dağılımı	41
Çizelge 6.3 Sayısal çözümde kullanılacak malzemelere ait özellikler (Incropera ve DeWitt, 2001)	50
Çizelge 7.1 Hava dağıtım kanalında deneysel olarak ölçülen hava debisi ile sayısal çözümde elde edilen hava debisinin karşılaştırılması	54

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince çok değerli önerileri ile katkıda bulunan danışman hocam Sn. Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN'a sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve destek olan Arçelik Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Fatih ÖZKADI'nın şahsında teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince yol gösterici tavsiyelerinden sıkça yararlandığım Sn. Dr. Levent AKDAĞ ve Sn. Dr. Deniz ŞEKER'e teşekkürü bir borç bilirim

Çalışmanın her aşamasında yardım ve tavsiyelerini esirgemeyen ve deneyimlerinden çokça faydalandığım, deney düzeneklerinin hazırlanması aşamasında özveri ile çalışan teknisyen arkadaşlarım Sn. Nihat KANDEMİR, Sn. Mehmet MARAŞLI, Sn. Çetin LALE ve tüm Arçelik ARGE Akışkanlar Dinamiği Teknolojileri Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının idari boyutunda gösterdiği çabalardan ve desteklerinden ötürü Sn. Burak OLGUN'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen AİLEME teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2007

Murat KANTAŞ

ÖZET

Enerjinin daha verimli kullanılması ve fırın üreticilerinin pazarda kendilerine yer bulabilmeleri açısından, fırın performansının arttırılmasına yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Fırın performansını belirleyen en önemli unsurlar; enerji tüketimi ve pişirme kalitesidir. Bu tez çalışmanın amacı ev tipi elektrikli fırınların pişirme performansının arttırılmasına yönelik hava dağıtım kanalının tasarlanmasıdır.

Elektrikli fırınların performansının arttırılması için kullanılan yöntemlerin ve hava dağıtım kanalının tasarlama aşamalarının belirlenmesi amacıyla literatür araştırması yapılmıştır. Fırın üreticisi firmaların hava dağıtım kanalı tasarlarken uyguladığı yöntemlerin ve tasarlanan hava dağıtım kanallarının geometrilerinin belirlenmesi amacıyla da patent araştırması yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar, tasarım öncesi deneysel çalışmalar ve tasarım sonuçlarının irdelendiği deneysel çalışmalar olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Ön deneysel çalışmalar; sadece alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durumda fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi, pişirme deneyleri ve sayısal modelde kullanılmak amacıyla sınır koşullarının belirlenmesi deneylerini kapsamaktadır.

Hava dağıtım kanalının tasarımı, bilgisayar destekli tasarım yazılımı ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Sayısal çözüm sonuçları irdelenerek tasarım üzerinde bazı değişiklikler yapılmış ve nihai hava dağıtım kanalı geometrisine ulaşılmıştır.

Deneysel çalışmaların ikinci bölümünde, tasarım çalışması sonucunda ortaya çıkan hava dağıtım kanalının prototipi hazırlanmıştır. Bu prototip kullanılarak debi ölçümü ve fırın içi sıcaklık ölçümü yapılarak sayısal çözümde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca hava dağıtım kanalının kullanılarak ve statik modda (alt ve üst ısıtıcı) pişirme deneyleri yapılarak, pişirme süresi, sıcaklık dağılımı ve pişirme sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: fırın, hava dağıtım kanalı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, fluent, bilgisayar destekli tasarım, deneysel çalışma

ABSTRACT

Efficient use of energy issues and the struggle of domestic ovens manufacturers to find a place in the market have increased studies related to the performance of domestic ovens steadily. The performance of a domestic oven is determined by two important parameters, namely the energy consumption and the cooking quality. This study aims to design the air distribution system to increase the performance of domestic electric ovens

A literature survey has been carried out to establish the methods used to increase the performance of domestic electric ovens and to determine the design phases of the air distribution system. Patents have been investigated to find methods practiced by domestic oven manufacturers while designing air distribution systems and to determine the geometries of the air distribution systems.

Experimental studies were carried out in two phases, pre-design studies and the ones carried out according to the results of the design. Pre-experimental studies included the following; to determine the temperature distribution inside the domestic oven while only the upper and bottom heaters were powered and to determine the boundary conditions to be used in the cooking experiments and the numerical model.

The air distribution system was designed using Computer-Aided Design software and Computational Fluid Dynamics software. The numerical solution results were interpreted to make a couple of corrections on the design and the final geometry of the air distribution system was established.

During the second part of the experimental studies, a prototype of the air distribution system was built according to the results of the design studies. Flow rate and temperature distribution measurements inside the domestic oven were performed using the prototype and the results were compared with results found from the numerical solution. In addition, utilizing the new air distribution system, cooking experiments at the static mode (upper and bottom heaters) were carried out to compare the cooking time, temperature distribution and the cooking results.

Keywords: oven, air distribution system, computational fluid dynamics, Fluent, computer-aided design, experimental study

1. GİRİŞ

Günümüzde; enerjinin daha verimli kullanılması ve fırın üreticilerinin pazarda kendilerine yer bulabilmeleri açısından, fırın performansının iyileştirilmesine yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Fırın performansını belirleyen en önemli unsurlar; enerji tüketimi ve pişirme kalitesidir. Bu tez çalışmanın amacı ev tipi elektrikli fırınların pişirme performansının artırılmasına yönelik hava dağıtım kanalının tasarlanmasıdır.

Yapılan literatür araştırmasında; hava dağıtım kanalı tasarlama aşamaları, kullanılan yöntemler ve sayısal çözümlerin doğrulanmasında amacıyla yapılan deneysel çalışmalar belirlenmiştir. Ayrıca fırın enerji performansının artırılması ve pişirme süresince yiyecekteki sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalara rastlanmıştır.

Fırın üreten firmaların tasarladıkları hava dağıtım kanalı geometrilerinin belirlenmesi amacıyla patent araştırması yapılmıştır. Patent araştırması sonucunda; fanın dönüş yönünden kaynaklanan asimetrik hava dağılımının iyileştirilmesi amacıyla farklı geometrilerde yönlendirme kanatçıklarının kullanıldığı belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar, iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama olan ön deneysel çalışmalarda, fırının sadece alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durumda fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi, pişirme deneyleri ve sayısal modelde kullanılmak amacıyla sınır koşullarının belirlenmesi deneylerini kapsamaktadır. Fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla fırın içerisine 96 adet termoeleman yerleştirilerek detaylı sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Pişirme deneyleri kapsamında, börek ve kek pişirme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde pişirilen yiyeceğin alt ve üst yüzeylerine, ayrıca tepsi alt yüzeyine termoelemanlar yerleştirilerek pişirme süresince meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenmiştir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak yapılan sayısal çözüm için gerekli olan sınır koşullarının belirlenmesi amacıyla ısıtıcı yüzey sıcaklığı, izolasyon dışındaki hava sıcaklığı ve fan devri ölçüm deneyleri yapılmıştır.

Hava dağıtım kanalının tasarımında, I-Deas bilgisayar destekli tasarım yazılımı ve Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılmıştır. Hava dağıtım kanalının akış hacminde sayısal ağ oluşturmak amacıyla GAMBIT 2.3 ve Tgrid 4.0 yazılımları kullanılmıştır. Sayısal çözüm çalışmaları üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde hava dağıtım kanalında hava akışının düzeltilmesi ve tüm deliklerden eşit debide hava çıkmasını sağlamak amacıyla çalışmalar yapılmıştır. İkinci bölümde, hava dağıtım kanalının fırın

içindeki etkinliğinin belirlenmesi ve akışın iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Sayısal çözüm çalışmalarının son bölümünde ise, ulaşılan nihai tasarımı kullanarak fırın içerisindeki sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Bu çalışmada, fırının gerçek çalışma durumdaki hava kaçakları, ısıtıcı köprüler ve diğer kayıplar ihmal edilmiştir.

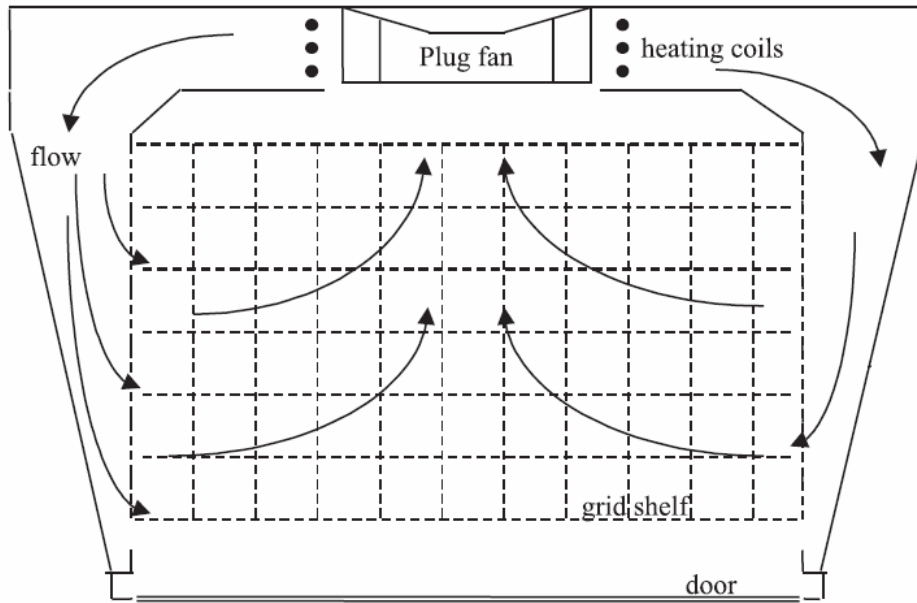
Deneysel çalışmaların ikinci bölümünde, tasarım çalışması sonucunda ortaya çıkan hava dağıtım kanalının prototipi hazırlanmıştır. Bu prototip kullanılarak debi ölçümü ve fırın içi sıcaklık ölçümü yapılarak sayısal çözümde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde; sayısal çalışma sonucunda elde edilen toplam hava debisinin, deneysel çalışmalardaki sonuçlardan ortalama %15 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sayısal çözüm ve deneysel çalışmalarda elde edilen sıcaklık dağılımları karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçların benzer olduğu görülmektedir.

Tasarlanan hava dağıtım kanalıyla yapılan pişirme deneylerinde, sadece alt ve üst ısıtıcının çalıştığı statik moda kıyasla benzer pişirme sonuçları elde edilmiştir. Pişirme performansının artırılmasına yönelik olarak pişirme süresinde yaklaşık 13 dk kısalma meydana gelmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Verboven vd. (1999a) zorlanmış taşınımli bir ticari fırın inceleyerek, fırının sayısal modelini oluşturmuşlardır. Bu sayısal model kullanılarak yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İncelenen endüstriyel fırının pişirme bölgesinin boyutları; genişlik 54 cm, derinlik 38 cm ve yükseklik 72 cm olarak belirtilmiştir. Fırının arka duvarında fan bulunmaktadır. Fanın üflediği hava, fan etrafındaki ısıtıcıda ısıtılarak fırın şasisi içine üflenmektedir. Sayısal model oluşturulurken sıcaklık farkına bağlı yoğunluk değişimleri az olduğu ve hava hızının ses hızına göre çok düşük olduğu için hava sıkıştırılmaz akışkan olarak kabul edilmiştir. Sayısal modelinin çözümünde mevcut süreklilik ve momentum denklemleri kullanılmıştır. Türbülans modellemesi için türbülans viskoziteyi artıran bir değer olarak kabul edilmiştir. Böylece, normal viskozite ile türbülans viskozitesi toplamına eşit olan toplam viskozite değeri denklemlerde kullanılmıştır.

Fırındaki yüzeyler modelde duvar olarak tanımlanmış ve bu yüzeylerde hız sıfır kabul edilmiştir. Ayrıca düzgün yüzeylerin yakınındaki akış için türbülanslı sınır tabakası modeli kullanılmıştır.

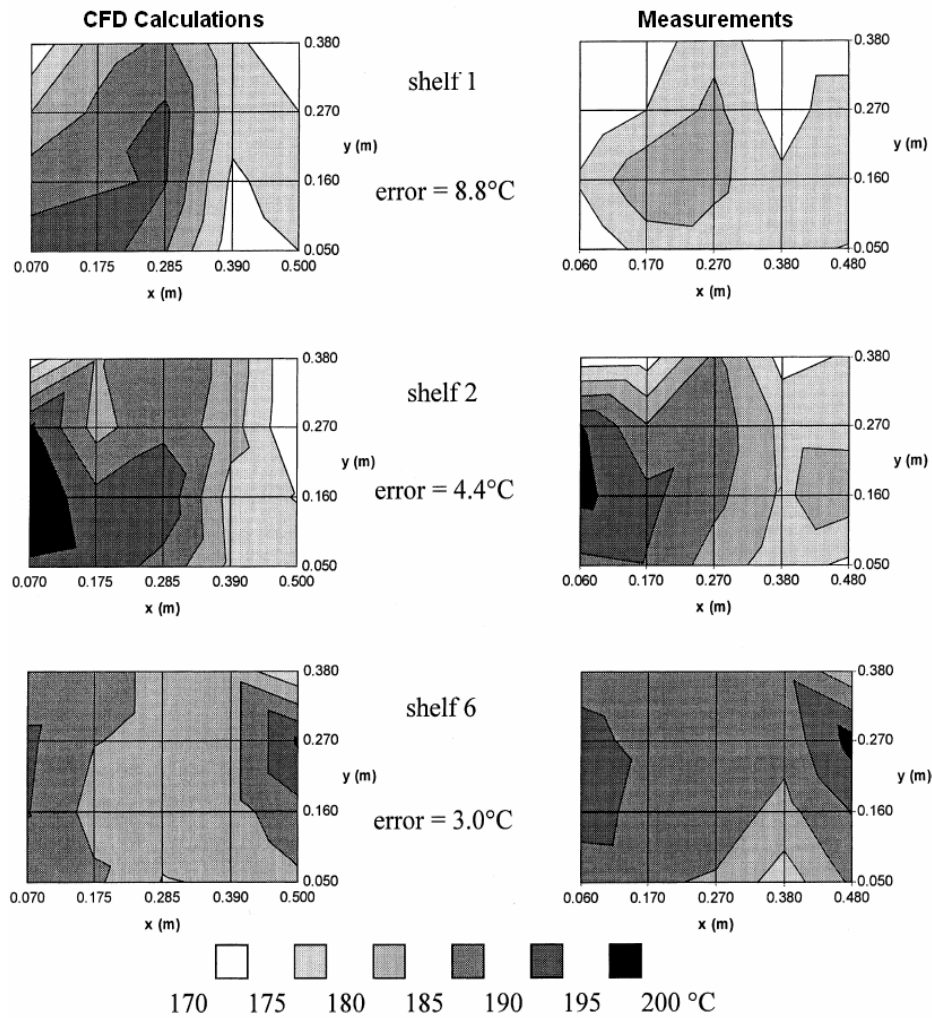


Şekil 2.1 Zorlanmış taşınımli ticari fırın sayısal modeli (Verboven vd., 1999a)

Sayısal çözüm çalışmalarında RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. RNG k-ε türbülans modelinin standart k-ε türbülans modeline kıyasla daha iyi sonuç verdiği belirtilmektedir. Sayısal çözümler, 8190, 30030 ve 55944 adet sayısal elemana sahip üç farklı model

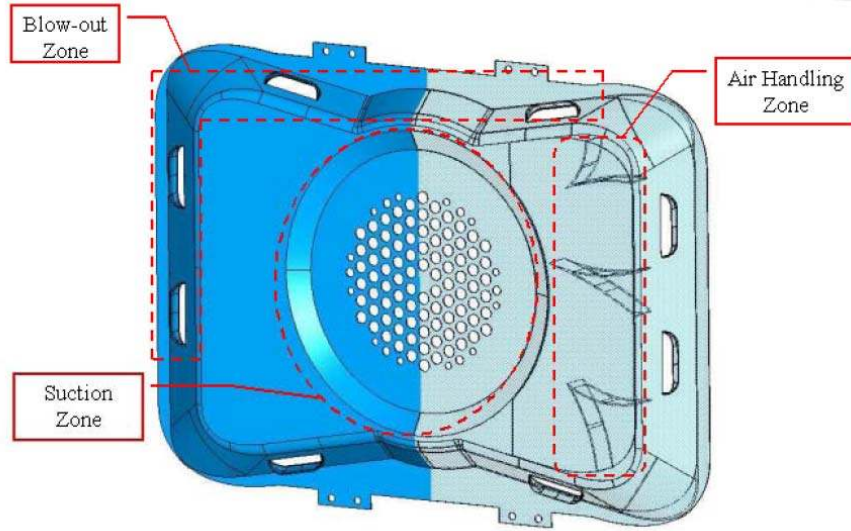
kullanılarak yapılmıştır. Sayısal çözüm çalışmaları ile deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen hız değerleri karşılaştırıldığında, en doğru sonuçlar 55944 sayısal elemana sahip modelde elde edilmiştir. Deney ve sayısal modelde elde edilen hız değerleri karşılaştırıldığında hata yüzdesinin %22 olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, sayısal eleman sayısının daha da artırılmasıyla hata yüzdesinin azalacağı belirtilmiştir.

Verboven vd. (1999b) yaptığı diğer bir çalışmada ise aynı endüstriyel fırın modelinde sıcaklık dağılımlarını incelemiştir. Sayısal modelin çözümünde radyasyonla olan ısı transferi ihmal edilmiştir. Sınır koşulları ve ısıtıcının ürettiği ısı MATLAB paket programı kullanılarak hesaplatılmıştır. Elde edilen sınır koşulları CFX 4.1 hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımında kullanılarak fırın içi sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Sayısal çözümün sonuçları ile deneysel çalışmaların sonuçları karşılaştırıldığında hata yüzdesinin %3-8,8 aralığında olduğu görülmüştür.



Şekil 2.2 Sayısal çözüm ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımının karşılaştırılması (Verboven vd., 1999b)

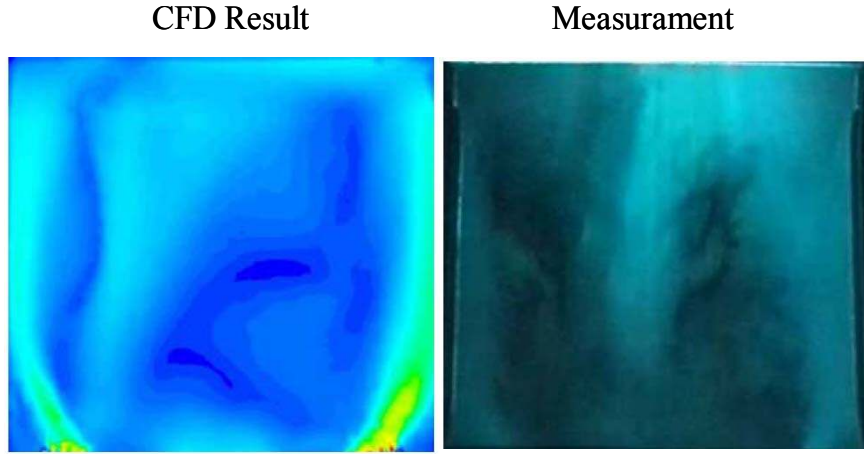
Akdağ vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada; homojen pişirme performansı sağlayacak bir hava dağıtım kanalı tasarlanmıştır. Ayrıca, hava dağıtım kanalının tasarlanması sürecinde izlenmesi gereken tasarım aşamaları da belirtilmiştir. Yapılan tasarım çalışmaları sonucunda; emme, üfleme ve hava yönlendirme bölgelerine sahip bir hava dağıtım kanalı elde edilmiştir.



Şekil 2.3 Akdağ vd (2006) tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalı

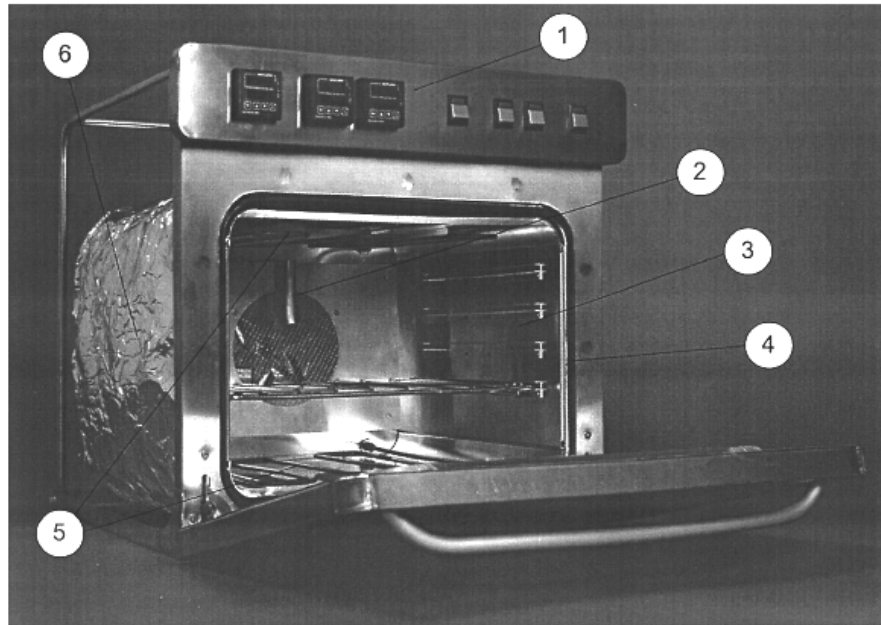
Hava dağıtım kanalı tasarlandıktan sonra, pişirme hacmi, hava dağıtım kanalı, fan, tepsi ve turbo ısıtıcıyı da içeren bir model oluşturulmuştur. Sayısal çözüm için ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı kullanılmıştır. Sayısal çözüm sonuçlarının doğrulanması ve ilave bilgiler edilmesi amacıyla, hızlı prototipleme teknikleri kullanılarak plastik prototip hava dağıtım kanalı üretilmiştir.

Daha hızlı ve daha kesin sonuçlar vermesi nedeniyle, akış ölçümleri Lazer Doppler Anemometer (LDA) ile Particle Image Velocimeter (PIV) cihazlarıyla yapılmıştır. Metal prototiplerin oluşturulmasından sonra eski ve yeni hava dağıtım kanalları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda yeni hava dağıtım kanalıyla daha homojen pişirme elde edildiği, ayrıca enerji tüketiminde 16Wh ve pişirme süresinde ise 1 dk azalma olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.4 Akdağ vd (2006) tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalında, sayısal çözüm ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen hava dağılımının karşılaştırılması

Shaughnessy ve Newborough (1999) ev tipi elektrikli fırınların enerji tüketim performansını arttırmak amacıyla düşük emisiviteli bir fırın prototipi oluşturmuştur. Bu prototipin pişirme hacmi ve kapak iç yüzeyi tamamen 0.9 mm kalınlığındaki alüminyum levha ile kaplanmıştır.



Şekil 2.5 Düşük emisiviteli fırın; (1) kontrol paneli, (2) termoeleman, (3) çıkarılabilir yan panel, (4) kapı contası, (5) ısıtıcılar, (6) üzeri alüminyum folyo ile kaplı izolasyon (Shaughnessy ve Newborough, 1999)

Performansta meydana gelen değişikliklerin gözlenmesi amacıyla, düşük emisivite uygulaması yapılan prototip fırın ile standart bir fırın üzerinde CENELEC standartlarına uygun olarak enerji deneyleri yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. CENELEC enerji

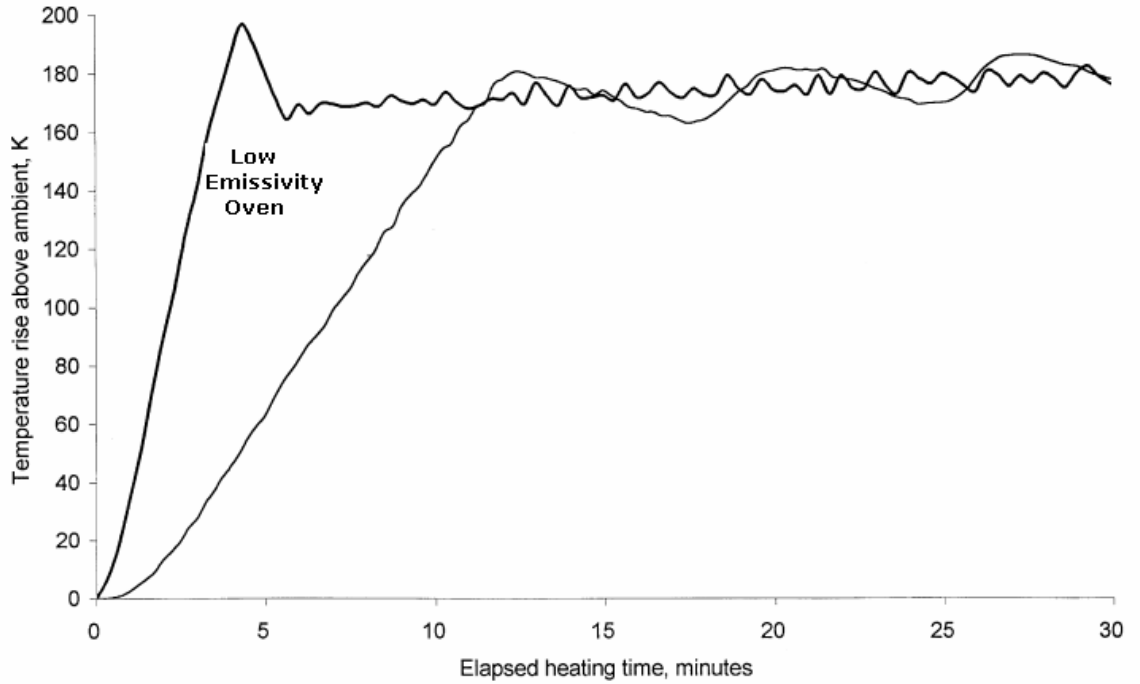
tüketim deneyi standardında, alt ve üst ısıtıcının çalıştığı statik mod için tuğla merkez sıcaklığında elde edilmesi gereken sıcaklık değişiminin 180 ± 10 K olması gerektiği belirtilmiştir.

Enerji tüketim deneyleri sonucunda;

- Düşük emisivite uygulaması yapılan fırında deney süresi 34 dk ve enerji tüketimi 624Wh,
- Standart fırında deney süresi 51 dk ve enerji tüketimi 977 Wh,

olarak belirlenmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde düşük emisivite uygulamasının yaklaşık %35'lik iyileşme sağladığı görülmektedir.

Düşük emisivite uygulaması yapılan prototip fırın ile standart fırının ön ısıtma süreleri karşılaştırıldığında, düşük emisiviteli fırında yaklaşık 8 dk'lık iyileşmenin olduğu görülmektedir.

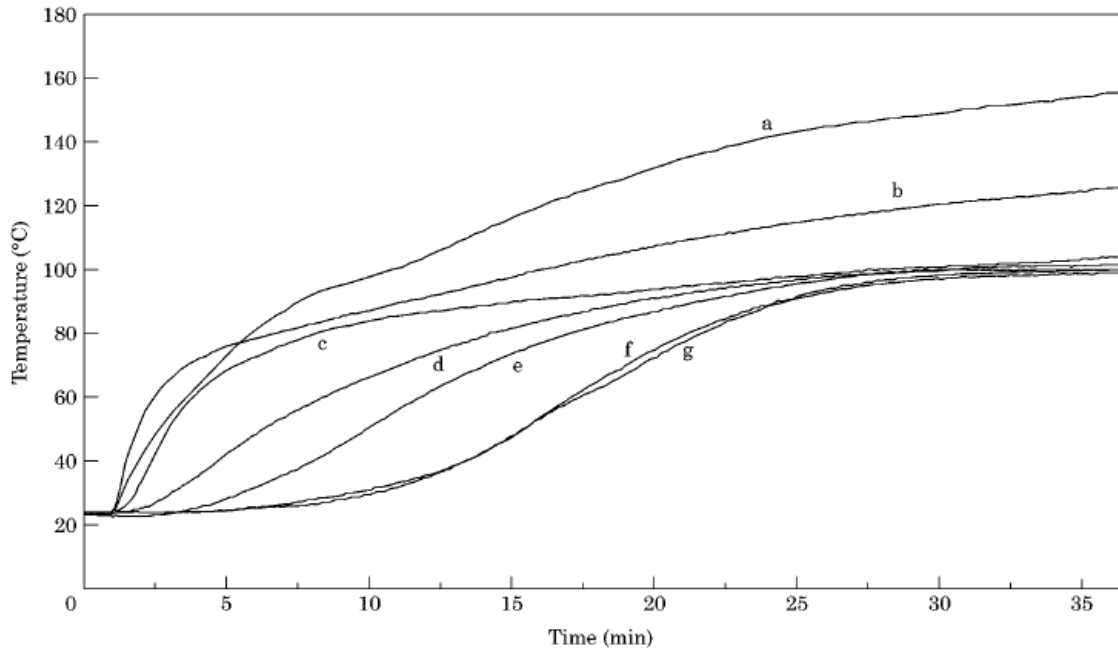


Şekil 2.6 Düşük emisiviteli fırın ile standart bir fırının ön ısıtma sürelerinin karşılaştırılması (Shaughnessy ve Newborough, 1999)

Verboven vd. (1997) yaptığı çalışmada farklı geometrilerdeki yiyeceklerin ısıl prosesleri esnasında ve farklı ısıtma durumları için yüzey ısı geçiş katsayısını hesaplamalı akışkanlar

dinamiği (CFD) teknikleri ile hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzey ısı geçiş katsayıları literatürden elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sayısal çözümde, yiyeceğin zorlanmış taşınımli fırında pişirildiği ve hava hızının 0,5m/s ile 6 m/s arasında değiştiği kabul edilmiştir. Ayrıca hava akışının yiyeceğe paralel ve uniform olarak geldiği kabul edilmiştir. Suyun iletim ve yüzey ısı geçiş katsayısı, yoğunluk, viskozite, özgül ısı gibi özelliklerinin farklı sıcaklıklar için literatürde kolayca bulunması nedeniyle yiyecek olarak su tanımlanmıştır. Çalışma sonucunda hesaplanan ortalama yüzey ısı geçiş katsayısı deneyler ile elde edilenlerden maksimum 14% daha küçük olduğu görülmüştür. 10000'den daha küçük Reynolds sayıları için hesaplanan yerel yüzey ısı geçiş katsayısı dağılımı ise deneysel örneklerle uyum göstermektedir.

Thorvaldsson ve Skjöldebrand (1998) konvensiyonel bir fırında ekmek pişirme süresince meydana gelen ısı ve kütle transferi incelenmiştir. Ekmek, konvensiyonel bir fırında 225°C sıcaklıkta 35 dakika süresince pişirilmiştir. Deney süresince ekmek içerisindeki su miktarı ve çeşitli bölgelerdeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Su miktarı ekmek tabanında, ekmek tabanının 1 cm yukarıda, üst yüzeyde ve üst yüzeyin 1cm aşağısında ölçülmüştür. Sıcaklıklar ise sadece alt yüzey, merkez ve ekmek üst yüzeyinde ölçülmüştür. Deney sonucunda ekmek hamurunun 70°C'ye ulaştığı bölgelerde yapısal değişikliklerin başladığı ve 100°C'yi aşan bölgelerde kabuklaşma oluşumu başladığı gözlenmiştir.



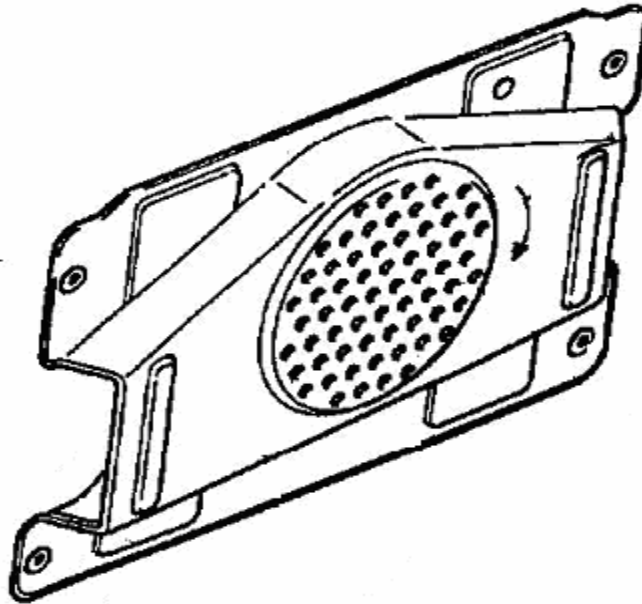
Şekil 2.7 Ekmek pişirme deneyinde, ekmeğin çeşitli bölgelerindeki sıcaklıkların zamana göre değişimi (Thorvaldsson ve Skjöldebrand, 1998)

Şekil 2.7'deki grafikte

- a : Ekmek üst yüzey sıcaklığı
- b : Alt yüzey sıcaklığı
- c : Yan yüzey sıcaklığı
- d : Alt yüzeyden 1 cm yukarıdaki sıcaklık
- e : Alt yüzeyden 6.8 cm yukarıdaki sıcaklık
- f : Alt yüzeyden 4.6 cm yukarıdaki sıcaklık
- g : Alt yüzeyden 3.5 cm yukarıdaki sıcaklık

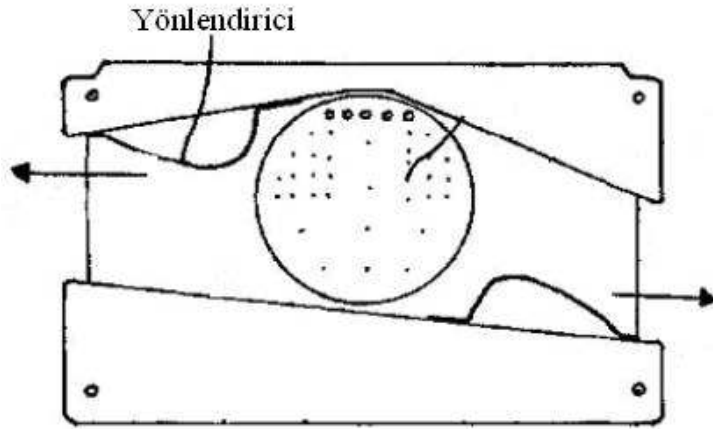
olarak gösterilmektedir.

Bosch Siemens (2000) firmasının DE19831087 numaralı patenti, fırın içinde hava dağıtımı yapan ve yönlendiricileri sahip bir hava dağıtım kanalının tasarımını konu almaktadır. Hava dağıtım kanalı, ortada bir emiş bölgesi ve yalnızca iki kenarda bulunan büyük üfleme deliklerini içermektedir (Şekil 2.8). Fan dönüş yönünden kaynaklanan simetri probleminin giderilmesi için iki tarafta hava yönlendirici parçalar kullanılmıştır (Şekil 2.9). Yönlendiriciler hava dağıtım kanalı üzerine monte edilmiştir.



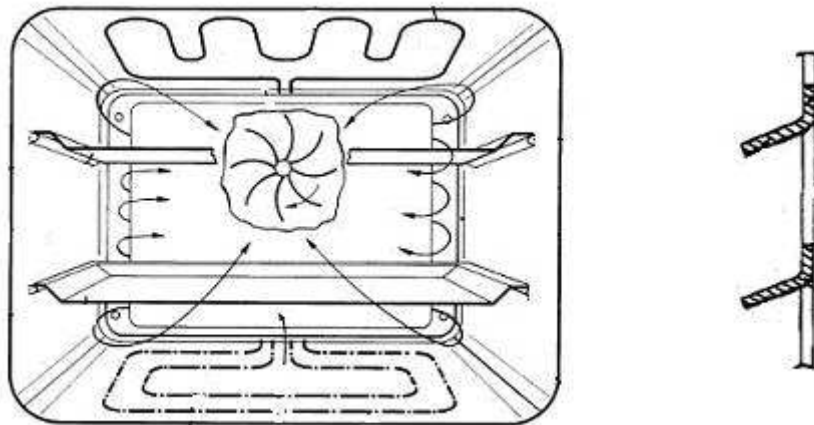
Şekil 2.8 Bosch Siemens (2000) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının önden görünüşü

Ayrıca fanın dönüş hızı iki kademeli olarak seçilmiştir. Fanın dönüş hızı pişirme süresince belirlenen algoritmaya göre değişebilmektedir.



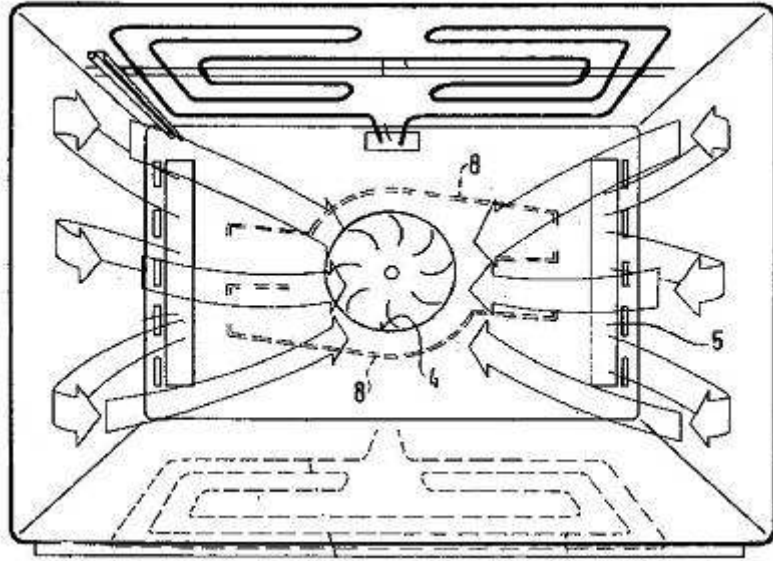
Şekil 2.9 Bosch Siemens (2000) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının arkadan görünüşü ve kullanılan yönlendiriciler

Bosch Siemens (1998) firmasının EP0833110 numaralı patentinde, hava dağıtım kanalının ön tarafında yalnızca emiş delikleri bulunmaktadır. Hava dağıtım kanalının yan kenarlarında yukarıdan aşağı sıralanmış şekilde üfleme delikleri bulunmaktadır (Şekil 2.10). Üfleme delikleri, hava dağıtım kanalı yüksekliği boyunca dikdörtgen kesitli ve eşit boyutlarda açılmıştır. Bu delikler açılırken kesilen parçalar her bir delik için yönlendirici oluşturacak şekilde içeri bükülmüştür. Bu yönlendiriciler fanın dönüş yönünden kaynaklanan asimetrisinin giderilmesi için bir tarafta yukarı bükülmüşken, diğer tarafta aşağı bükülmüştür.



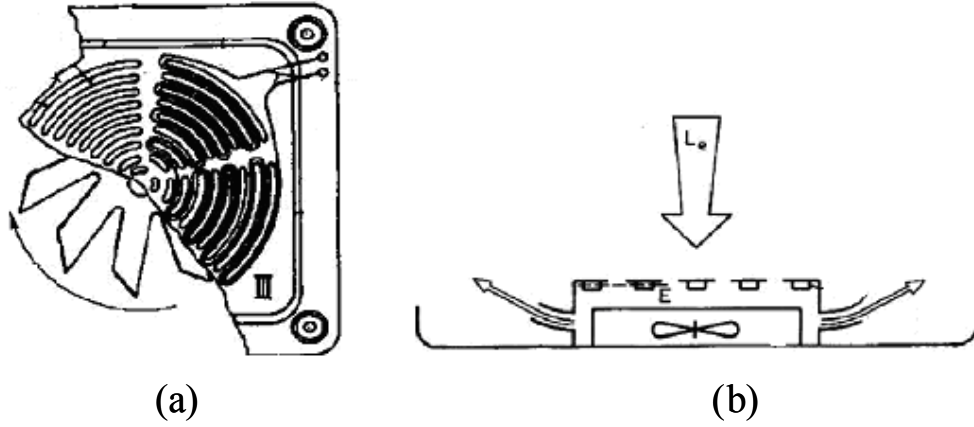
Şekil 2.10 Bosch Siemens (1998) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının fırın içinde yerleşiminin şematik görünüşü ve kullanılan yönlendiriciler

Bosch Siemens (1982) firmasının US4357522 numaralı patenti; bir fırın kavitesini, arka tarafa yerleştirilmiş bir fanı, hava yönlendirme elemanlarını ve üfleme deliklerini içermektedir (Şekil 2.11). Bu hava dağıtım kanalından çıkan havanın alt ve üst ısıtıcı arasında orta bölgelerde ısıtıcıların bulunduğu yüzeylere paralel şekilde olması amaçlanmıştır. Hava dağıtım kanalının arka bölgesinde, havanın yönlendirilmesi için plakalar kullanılmıştır. Bu plakaların yönleri, fanın dönüş yönüne uyum göstermesi için, asimetrik olacak şekilde tasarlanmıştır.



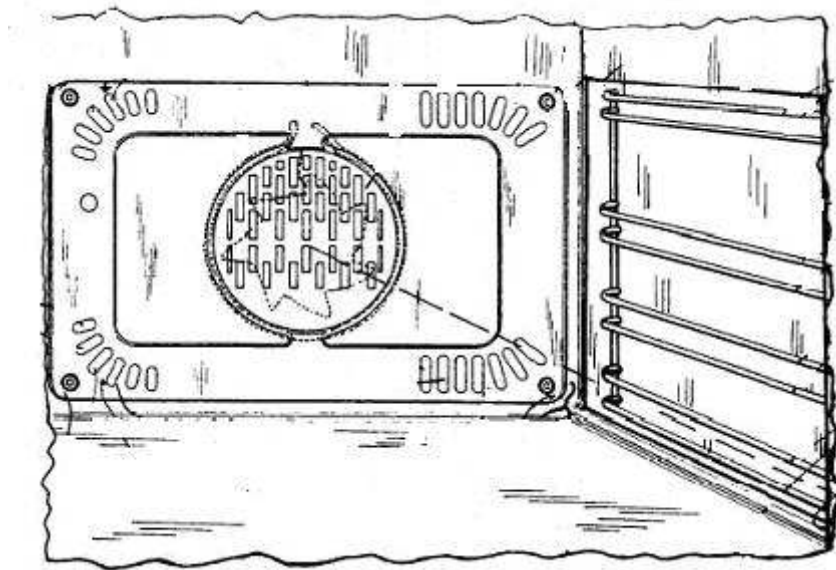
Şekil 2.11 Bosch Siemens (1982) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının şematik görünüşü

Electrolux (1998) firmasının EP0852317 numaralı patentinde; hava dağıtım kanalının emiş bölgesinde, dairesel çizgiyi takip eden delikler açılmıştır. Arka duvarın tamamını kaplamayacak büyüklükteki hava dağıtım kanalının yanlarında, fırın şasisi içerisine yönlendirilmiş delikler bulunmaktadır (Şekil 2.12). Ön yüzden emilen hava, yanlarda bulunan deliklerden fırın şasisi içerisine verilmektedir. Ayrıca havanın ısıtılması için hava dağıtım kanalının ön yüzeyine ince tabaka şeklinde bir ısıtıcı yerleştirilmiştir.



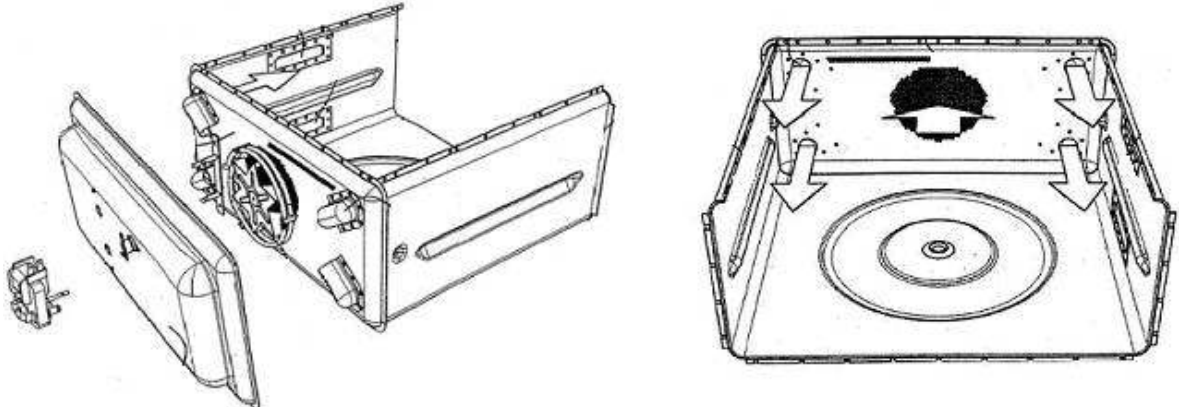
Şekil 2.12 Electrolux (1998) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının (a) önden ve (b) üstten şematik görünüşü

Whirlpool (1994) firmasının EP0695915 numaralı patentinde, fırın arka duvarına bir radyal fan ve elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir. Hava dağıtım kanalının ortasındaki delikler emiş için, köşelerdeki delikler ise üfleme için kullanılmaktadır (Şekil 2.13). Hava dağıtım kanalının köşelerinden yüksek hızda hava üflenerek fırın şasisinin tümüne etki eden bir hava akışı elde edilmeye çalışılmıştır.



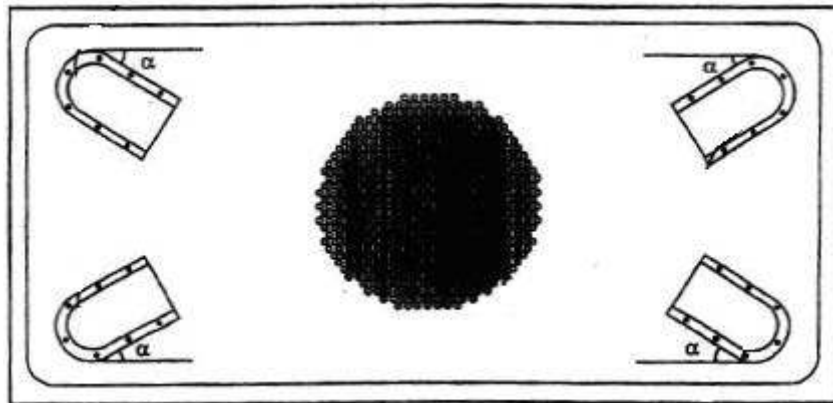
Şekil 2.13 Whirlpool (1994) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının şematik görünüşü

Whirlpool (2005) firmasının EP1513375 numaralı patentinde fan tarafından emilen hava, arka duvarda bulunan dört delikten üflenmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Whirlpool (1994) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalının şematik görünüşü

Havanın bu deliklerden çıkışını kolaylaştırmak amacıyla deliklerin arka tarafında, ucu kapalı yarım boru şeklinde yönlendirme elemanları bulunmaktadır. Deliklerin çapı en az 10 mm, yönlendirme elemanlarının çapı ise en az 30 mm'dir. Yönlendirme elemanlarının kullanılması; mikrodalga enerjisinin deliklerden içeriye sızan miktarını azaltmakta, ayrıca sıcak havaya kılavuzluk ederek havanın arka duvara dik yönde hareket etmesini ve diğer yönlerdeki hız bileşenlerinin en aza indirilmesini sağlamaktadır. Bu uygulama, üflenen havanın yan duvarlara paralel olarak fırın kapağına kadar ulaşmasını mümkün kılmaktadır. İyi bir pişirme sağlayabilmek için üst deliklerden 0,5-2,5 m/s, alt deliklerden ise 2,0 – 6,0 m/s hızda havanın üflenmesi gerekmektedir. İstenilen hızların elde edilebilmesinde; yönlendirme elemanlarının fanın dönüş yönüne bağlı olarak, uygun bir α açısıyla monte edilmesi önem kazanmaktadır.



Şekil 2.15 Whirlpool (1994) firması tarafından tasarlanan hava dağıtım kanalındaki yönlendiricilerin yerleşimi

3. LİTERATÜR ve PATENT ARAŞTIRMASINDAN ÇIKARIMLAR

Literatür ve patent araştırmasında ev tipi elektrikli fırınların performansının arttırılmasına yönelik çok sayıda çalışmanın bulunduğu görülmüştür. Ev tipi elektrikli fırınlarının, enerji tüketimi ve pişirme kalitesi olmak üzere iki temel performans göstergesi bulunmaktadır.

Fırınlarda enerji tüketiminin azaltılması amacıyla, çeşitli yalıtım malzemelerinin farklı yöntemlerle fırın şasisi etrafına uygulanması, farklı kapak konstrüksiyonları ve camlarla ilgili yöntemler dikkat çekmektedir. Diğer uygulamalar ise, fırın şasisi üzerinde oluşan ısı köprüleri üzerinden çevreye kaybolan ısıyı azaltmak için uygulanan yöntemler ve yansıtıcı yüzeyler kullanarak ısıyı yiyecek üzerine yönlendirilmesidir (Bozgeyik, 2006). Bu yöntemlerden bir veya bir kaç kullanılarak fırınların enerji performansında iyileşme gözlenebilir. Enerji performansındaki iyileşmeler standart enerji tüketim deneyleri ile belirlenebilmektedir.

Fırınların pişirme performansının belirlenmesi amacıyla oluşturulmuş bir standart bulunmamaktadır. Bu nedenle pişirme performansının iyileştirilmesi amacıyla homojen sıcaklık dağılımı elde etmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Homojen sıcaklık dağılımının sağlanması durumunda pişirme sonrasında yiyecek yüzeylerinde benzer kahverengileşmelerin oluşması beklenmektedir. Homojen sıcaklık dağılımının yanı sıra pişirme süresinin kısaltılması da pişirme performansını arttıran bir etkidir.

Literatür araştırması sonucunda, homojen sıcaklık dağılımı elde etmek amacıyla çeşitli hava dağıtım kanallarının tasarlandığı görülmektedir. Hava dağıtım kanalının tasarlanması aşamasında, tasarım sürecinin hızlanmasını sağlamak amacıyla, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımları kullanılmaktadır.

Verboven vd. (1999a) hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanarak endüstriyel bir fırındaki sıcaklık ve hız dağılımlarını belirlemiştir. Sayısal çözümde, RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Fırın içindeki ısı transferinin sadece iletim ve taşınım olduğu kabul edilmiş, radyasyonla ısı transferi hesaplanmamıştır. Sayısal çözüm ile deneysel çalışmaların sonuçları karşılaştırıldığında; sıcaklık dağılımında %3-8.8, hız dağılımında ise %22 hata yüzdesi olduğu görülmüştür.

Akdağ vd. (2006) yaptığı çalışmada, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanarak tasarladıkları hava dağıtım kanalı ile homojen pişirme elde edildiği, ayrıca enerji tüketiminde 16Wh ve pişirme süresinde ise 1 dk azalma olduğu belirtilmiştir.

Patent araştırması sonucunda; pişirme performansının arttırılması amacıyla tasarlanmış, farklı

geometrilere hava dağıtım kanallarına rastlanmıştır. Patentlerde; hava dağıtım kanallarının geometrileri, yönlendirici parçaların yerleşimi ve geometrileri koruma altına alınmaktadır. Fan dönüş yönünden kaynaklanan simetri probleminin giderilmesi yönlendirici parçaların yerleşiminin ve tasarımının önem taşıdığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında ev tipi elektrikli fırınların performansının iyileştirilmesi amacıyla deneysel çalışmalar, tasarım çalışmaları ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı kullanarak sayısal çözümler yapılarak hava dağıtım kanalı tasarlanacaktır. Deneysel çalışmalar kapsamında pişirme deneyleri, sayısal çözümlerde kullanmak üzere sınır şartlarının belirlenmesi deneyleri ve sayısal çözüm sonuçları karşılaştırmak amacıyla deneyler yapılacaktır.

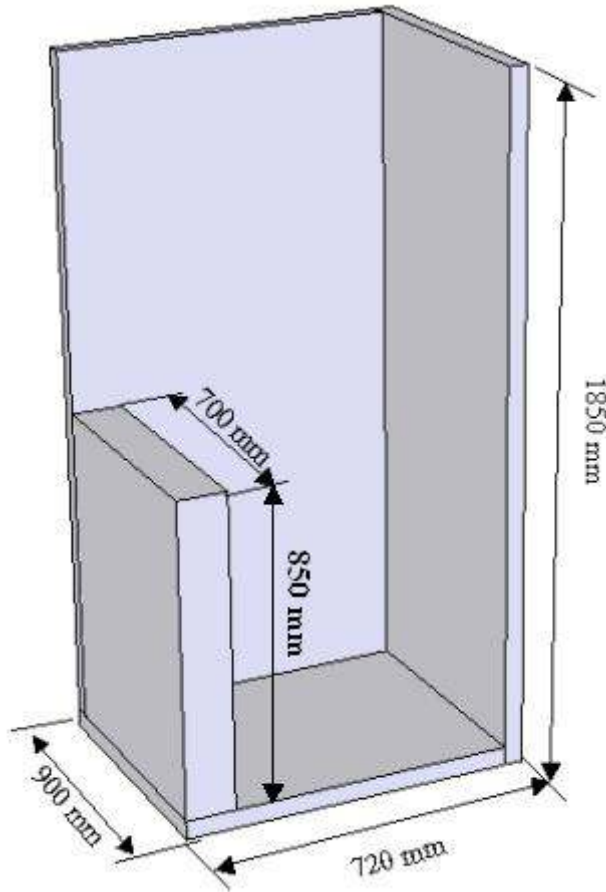
Tasarım çalışmaları ve sayısal çözümler birbirine paralel olarak gerçekleştirilecektir. Sayısal çözümlerde elde edilen veriler doğrultusunda tasarımda değişiklikler yapılarak nihai tasarım oluşturulacaktır.

4. DENEY DÜZENEGİ

4.1 Deney Laboratuvarı ve Kullanılan Fırımlar

Ev tipi elektrikli fırınların enerji tüketimini belirlemek amacıyla; fırının bulunacağı mutfakı simgeleyen, EN 50304 fırın enerji tüketim deneyi standartlarına uygun bir deney düzeneği kullanılmaktadır. Ayrıca fırın içi sıcaklıkların sıcaklık ölçümlerinde de bu deney düzeneği kullanılmaktadır. Deney düzeneği Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Deneylerde kullanılan standart kabin boyutları aşağıda verilmiştir

- Arka duvar :Yükseklik x Genişlik = 185 x 72 (cm)
- Sağ yan duvar : Yükseklik x Genişlik = 185 x 90 (cm)
- Sol yan duvar : Yükseklik x Genişlik x Derinlik = 85 x 15 x 70 (cm)



Şekil 4.1 EN 50304 standartlarına göre enerji tüketimi deney düzeneğinin şematik görüntüsü ve boyutları



Şekil 4.2 Enerji tüketimi deney düzeneğinin görünüşü

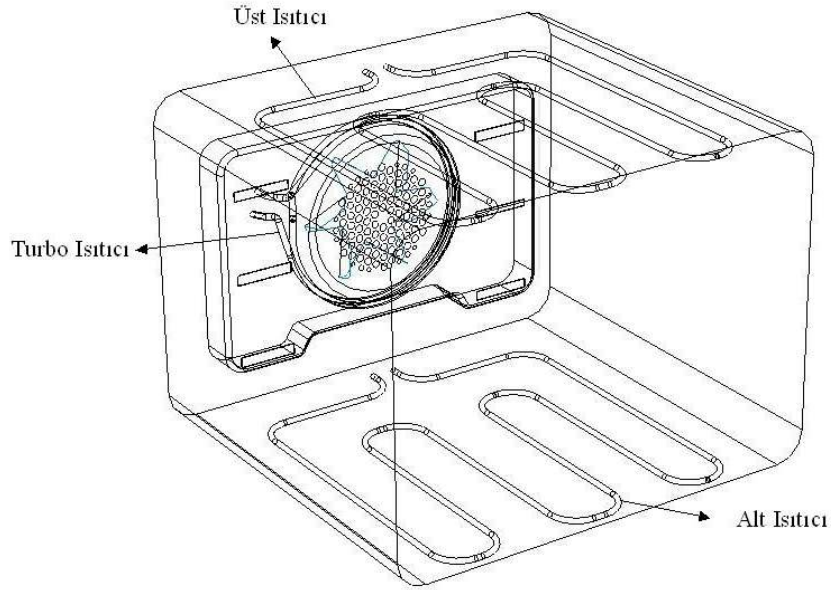
Yapılan deneylerde kullanılan fırınların genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Hacim : 58 lt
- Yüksekli : 85 cm
- Genişlik : 60 cm
- Derinlik : 60 cm

Deneylerde kullanılan fırınlarda bir pişirme bölgesi ve 3 adet ısıtıcı bulunmaktadır. Bu ısıtıcıların bir tanesi fırın arka duvarındaki hava dağıtım kanalı içinde bulunur ve turbo ısıtıcı olarak adlandırılır. Turbo ısıtıcı pişirme bölgesinin dışındadır. Diğer bir ısıtıcı, üst ısıtıcı olarak adlandırılır. Üst ısıtıcı, fırın şasının üst tarafında ve pişirme bölgesi içerisinde. Alt ısıtıcı ise pişirme bölgesinin altında ve dışında bulunmaktadır. Fırının şematik görünüşü Şekil 4.3’de gösterilmektedir.

Fırında kullanılan ısıtıcıların güçleri aşağıdaki gibidir.

- Turbo ısıtıcı: 2100 W
- Üst ısıtıcı : 1100 W
- Alt ısıtıcı : 1300 W



Şekil 4.3 Fırındaki ısıtıcıların yerleşimi ve fırının şasisinin şematik görünüşü

Turbo ısıtıcının merkezine yerleştirilen, ısınan havanın fırın içerisine gönderilmesini sağlayan bir adet radyal fan bulunmaktadır. Isınan havanın fırın içinde dağıtılmasını sağlayan ve üzerindeki formlarla havanın yönlendirilmesini sağlayan bir hava dağıtım kanalı bulunmaktadır. Turbo ısıtıcı vasıtasıyla ısınan hava, hava dağıtım kanalı üzerinde bulunan deliklerden geçirilerek fırın pişirme bölgesine gönderilmektedir.

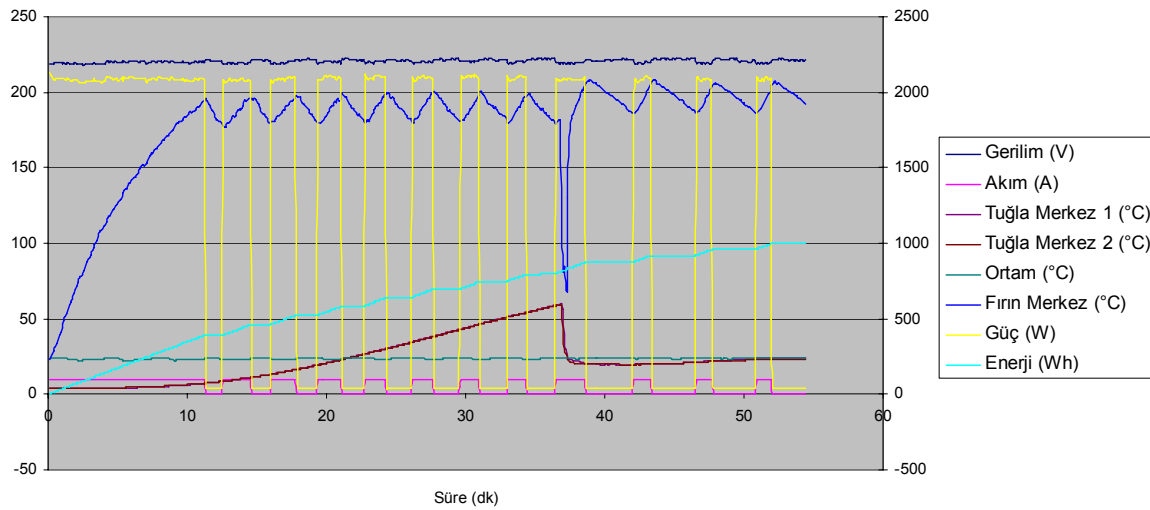
Fırınlr, turbo çalışma modunda veya statik çalışma modunda çalışabilmektedir. Turbo çalışma durumunda, turbo ısıtıcı olarak adlandırılan ısıtıcı ve fan birlikte çalışır. Statik durumda ise, alt ve üstte bulunan ısıtıcılar çalışır, fan çalışmaz. Bu fırınlarda ayrıca, alt ve üst ısıtıcılarla birlikte fanın da beraber çalıştığı elektro-turbo olarak adlandırılan çalışma modu ve tüm ısıtıcılarla birlikte fanın beraber çalıştığı 3-D modu da bulunmaktadır.

Fırınlrın enerji tüketim deneyleri için hazırlanan istasyonların her birinde J tipi termoeleman kanalları bulunmaktadır. Bu termoelemanlar vasıtasıyla sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Ölçümler veri toplama üniteleriyle alınmaktadır. Enerji, güç, gerilim

ve akım ölçümleri ise analiz cihazları ile yapılmaktadır. Laboratuarda test edilen fırınların, test süresince gerilimleri 3 adet regülatör ile kontrol edilmektedir. Veri toplama ünitesi ve sıcaklık ölçüm kanalı Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Deneylerde alınan verilere ait grafik Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Veri toplama ünitesi ve sıcaklık ölçüm kanalının gösterilmesi



Şekil 4.5 Standart enerji deneyi sonucunda elde edilen verilere ait grafik

4.2 Debi ölçümü

Hava dağıtım kanalının tasarlanması aşamasında, sayısal çözümlerden elde edilen sonuçların doğrulanması amacıyla debi ölçümü yapılacaktır. Debi ölçümünde Furness Controls Limited firmasının ürettiği FCO510 model dijital manometre kullanılacaktır.



Şekil 4.6 Debi ölçümünde kullanılan dijital manometre ve bilgisayar

Manometre, RS232 bağlantı kablosuyla bilgisayara bağlanabilmektedir. Bilgisayarda yüklü olan HP Vee yazılımı ile manometreden okunan değerler eş zamanlı olarak bilgisayara kaydedilmektedir. Hava dağıtım kanalının debisinin ölçümü deneyinde, delik kesitleri manometre ile taranacak ve üfleme deliklerinden çıkan hava hızları ölçülecektir. Üfleme deliklerinin kesit alanı ile deliklerdeki ortalama hızlar çarpılarak debi hesaplanacaktır.

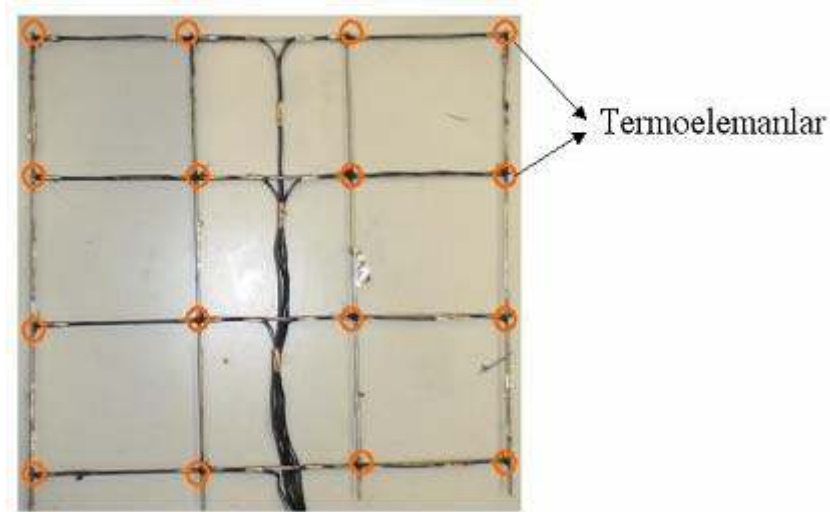
Kullanılan manometre 200-2000 Pa aralığında basınç, 0-57 m/s aralığında hız ölçümü yapabilmektedir. Kalibrasyonu yapılmış olan bu manometre, %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır.

5. DENEYSEL ÖN ÇALIŞMALAR

Hava dağıtım kanalının tasarlanması aşamasında önce yapılacak olan deneysel çalışmalar 3 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde sadece alt ve üst ısıtıcıların çalıştırıldığı statik modda fırın içi sıcaklık dağılımı belirlenecektir. İkinci bölümde börek ve kek pişirme deneyleri yapılarak, pişirme için ihtiyaç duyulan sıcaklıklar ve sıcaklık dağılımının pişirme üzerindeki etkisi belirlenecektir. Üçüncü bölümde ise sayısal çözümlerde kullanmak için sınır şartlarının belirlenmesi amacıyla sıcaklık ölçümü ve fan devrinin ölçümü yapılacaktır.

5.1 Statik modda fırın içi sıcaklık dağılımı

Ev tipi fırınlarda, bir pişirme bölgesi ve 3 adet ısıtıcı bulunmaktadır. Bu ısıtıcıların bir tanesi fırın arka duvarındaki hava dağıtım kanalı içinde bulunur ve turbo ısıtıcı olarak adlandırılır. Turbo ısıtıcı pişirme bölgesinin dışındadır. Statik durumda ise, fırının sadece alt ve üst ısıtıcı çalışmaktadır. Üst ısıtıcı pişirme bölgesinin içinde, alt ısıtıcı ise pişirme bölgesinin dışında bulunmaktadır. Statik durumda kullanılan ısıtıcılar alt ve üst duvarın çok büyük bir alanını kaplamaktadır. Havanın durağan olması ve ısıtıcıların pişirilen yiyeceklerin yüzeyinin tamamında etkili olmasından dolayı statik durumda yiyecek yüzeylerinde homojen pişirme sağlanmaktadır.



Şekil 5.1 Fırın içi sıcaklık dağılımının incelenmesi amacıyla oluşturulan ızgara ve ızgara üzerine yerleştirilen termoelemanlar

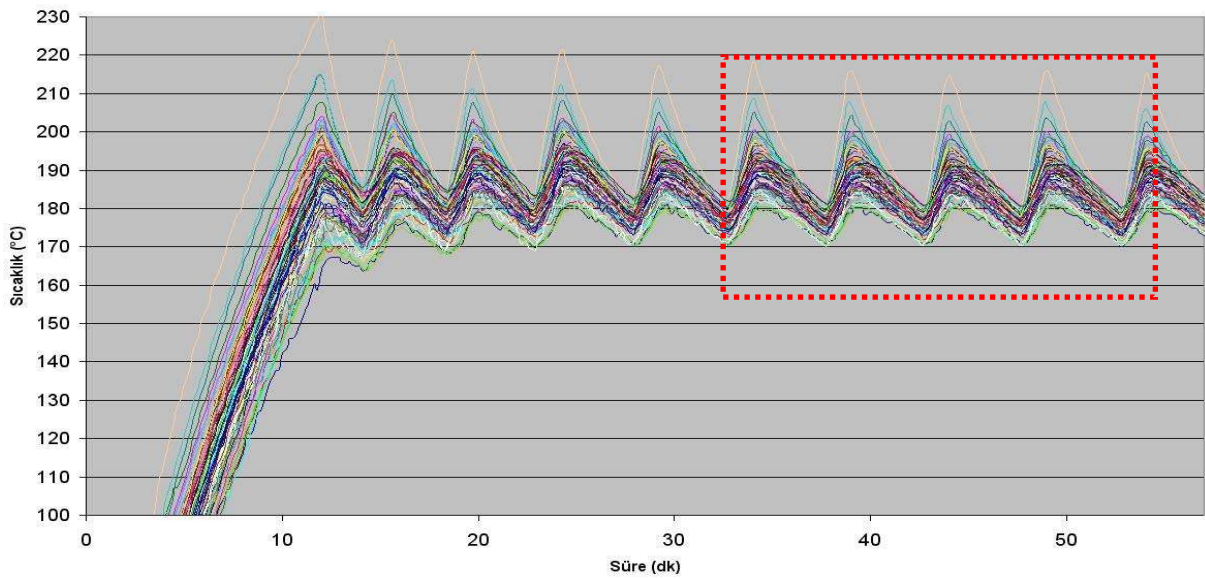
Statik durumda çalışan bir fırındaki sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla Şekil 5.1’de gösterilen ızgara kullanılmıştır. Bu ızgara üzerinde 16 adet J tipi termoeleman bulunmaktadır. Fırın içindeki sıcaklığın detaylı olarak belirlenmesi amacıyla 6 adet ızgara kullanılarak 96

noktadan sıcaklık değeri alınmıştır. Şekil 5.2’de altı adet ızgaranın fırın içerisinde yerleşimi gösterilmektedir.



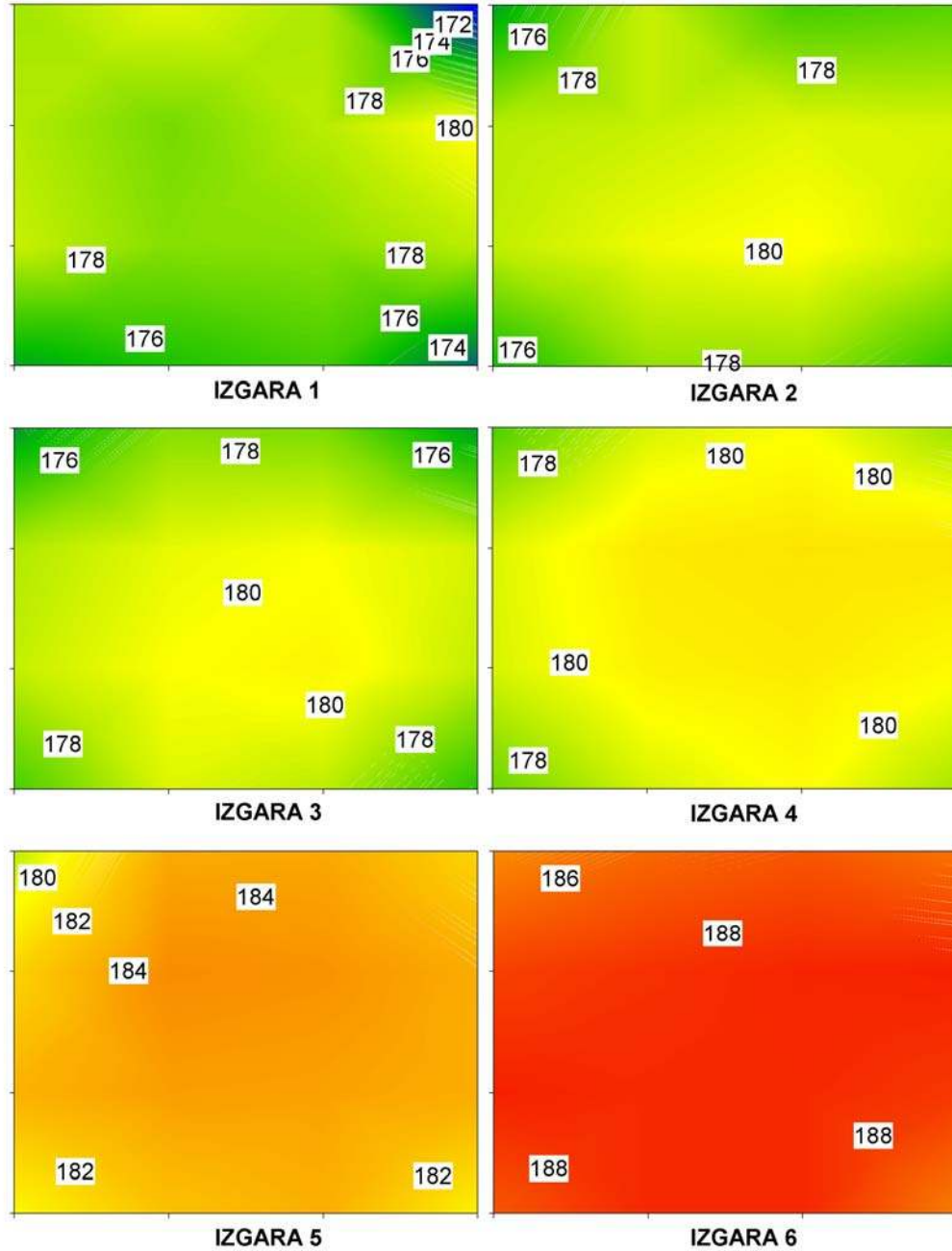
Şekil 5.2 Fırın şasisi içinde ızgaraların yerleşimi

Fırın içerisine yerleştirilen 1 ve 2 numaralı ızgaralar alt, 3 ve 4 numaralı ızgaralar orta, 5 ve 6 numaralı ızgaralar ise üst tepsiyi temsil etmektedir. ızgaralar fırın içinde konumlandırıldıktan sonra, fırın standart deney kabinine yerleştirilmiştir. Bu deneyde fırın merkez sıcaklığı; kek, börek ve benzeri gıdaların pişirilme sıcaklığı olan 180°C olarak ayarlanmıştır. Fırın merkez sıcaklığını takip etmek amacıyla ızgaralara ilave olarak, fırın şasisinin merkezine bir termoeleman yerleştirilmiştir. Deney süresince alınan sıcaklık değeri Şekil 5.3’te gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Statik moda fırın içi sıcaklığın zamana bağlı değişimi

Deney, fırın merkez sıcaklığı ortalaması 180°C ulaştıktan sonra yaptığı son 5 çevrimin ortalaması alınarak yüzey sıcaklık dağılım grafiği çizilmiştir. Yüzey sıcaklık dağılım grafiklerinde her bir ızgara kendi içinde incelendiğinde, genel olarak homojen bir sıcaklık dağılımı görülmektedir. Fakat, pişirme hacmi içerisinde bulunan tüm ızgaralar karşılaştırıldığında, üst ısıtıcıya yakın olan 5 ve 6 numaralı ızgaraların ise diğer ızgaralara kıyasla daha sıcak olduğu görülmektedir.



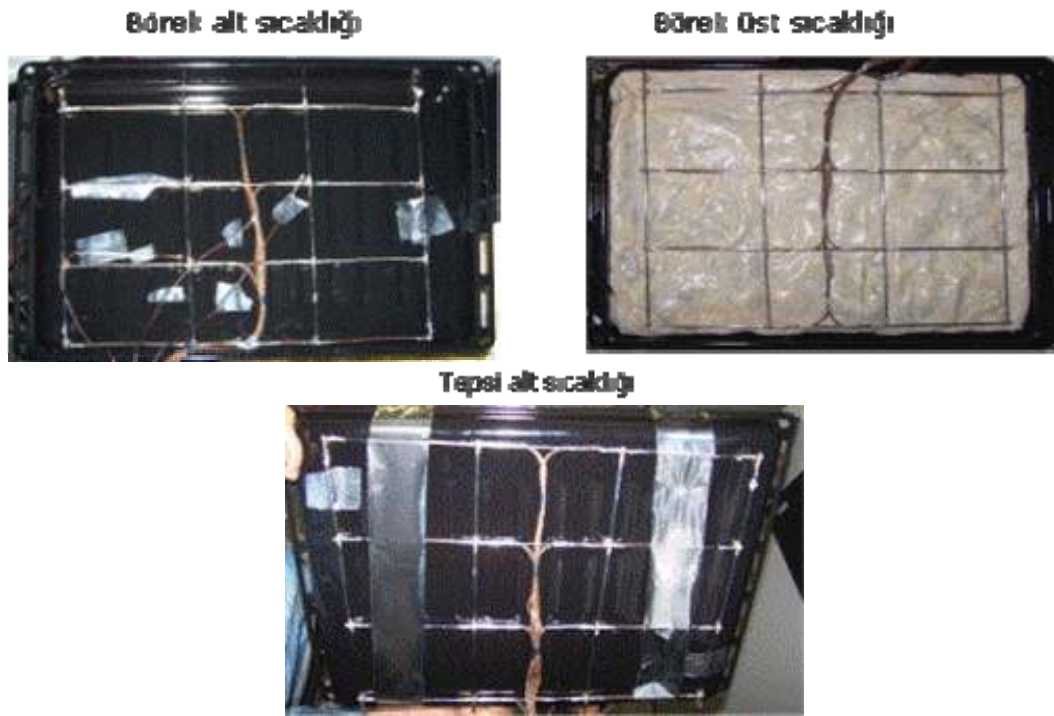
Şekil 5.4 Statik modda fırın içi sıcaklık dağılımı

5.2 Pişirme deneyleri

Bu bölümde, pişirmenin gerçekleşmesi için gerekli olan sıcaklıkların ve sıcaklık dağılımının pişirme üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla pişirme deneyleri yapılmıştır. Börek ve kek pişirme deneylerinde tepsi alt metal yüzeyinde 16 noktadan sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ayrıca pişirilen yiyeceğin alt yüzeyi ve üst yüzeyinden de sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Böreğin alt ve üst yüzeyine, fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi için hazırlanan ızgaralar yerleştirilmiştir.

5.2.1 Börek pişirme deneyi

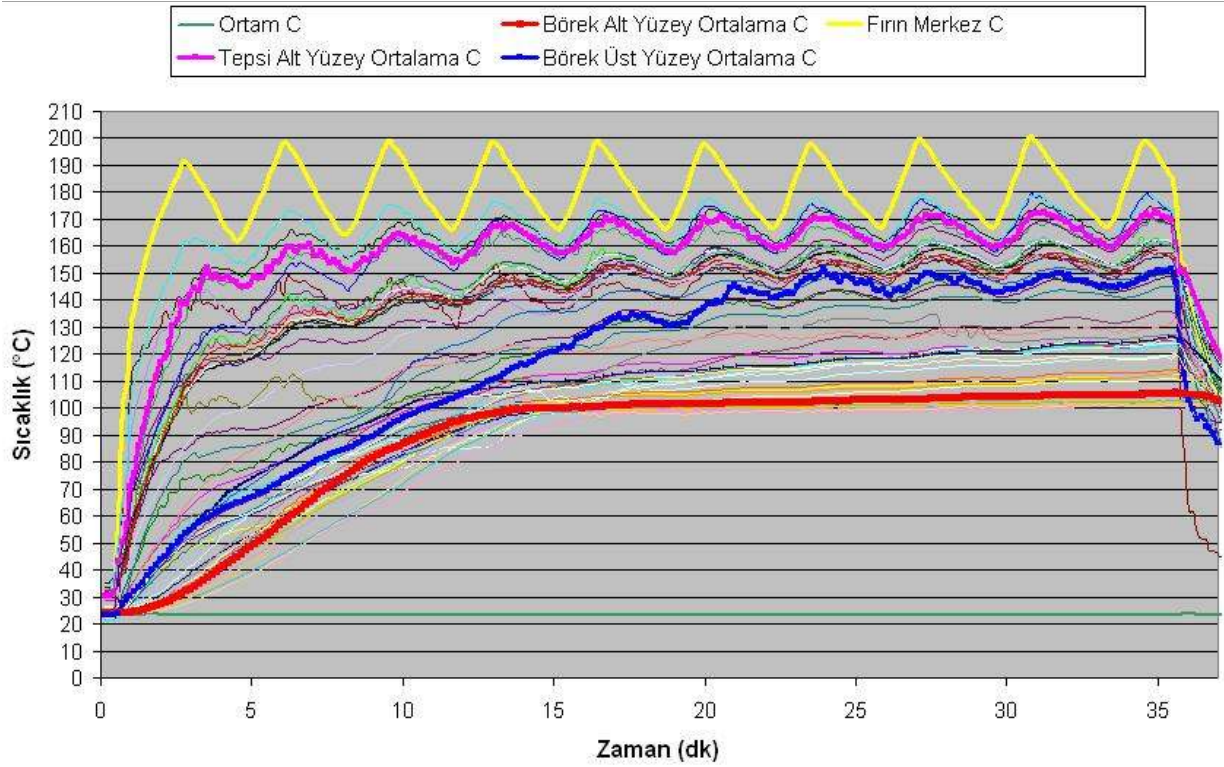
Börek pişirme deneyleri için tepsi alt yüzeyine ve tepsi içine 16 termoelemanndan oluşan ızgaralar yerleştirilmiştir. Tepsi içine yerleştirilen termoelemanlar börek alt yüzeyinin yaklaşık 2-3 mm içerisine girecek şekilde yerleştirilmiştir. Tepsi altına yerleştirilen termoelemanlarla ise tepsi alt yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Hazırlanan börek tepsi içine yerleştirildikten sonra diğer bir ızgara da börek yüzeyine yerleştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.5 Tepsi alt yüzey, börek alt yüzey ve börek üst yüzey sıcaklıklarının ölçümde kullanılan ızgaraların yerleşimi

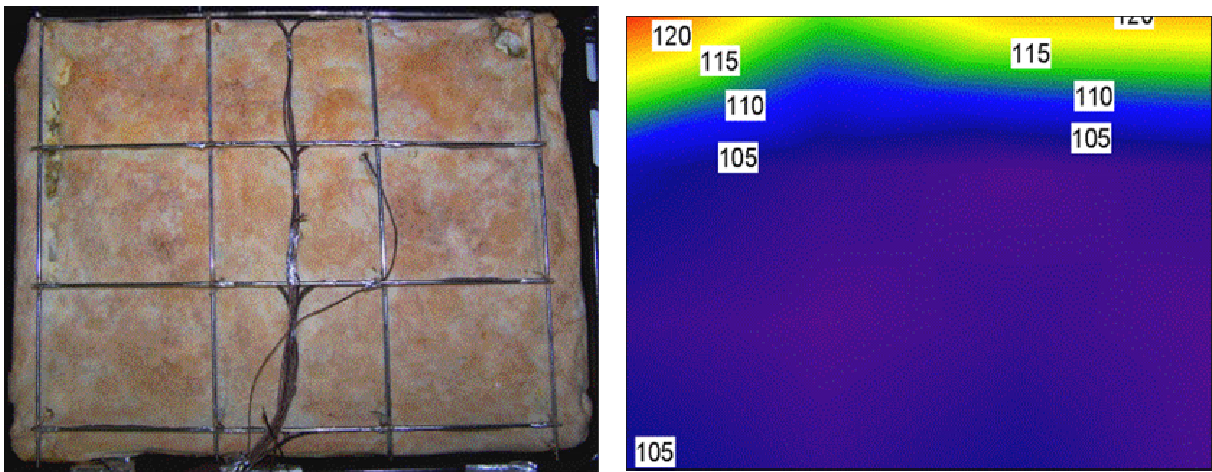
Fırının ön ısıtması tamamlanıp, fırın içi sıcaklık 180°C'ye ulaştığında börek fırına yerleştirilmiştir. Börek yüzeyinde istenilen kahverengileşme sağlandığında, pişirme işleminin tamamlandığı kabul edilerek deney sonlandırılmıştır.

Börek pişirme süresince tepsi alt yüzey, börek alt yüzey ve börek üst yüzeyindeki sıcaklık değişimi ve ortalama sıcaklıklar Şekil 5.6’da gösterilmektedir.

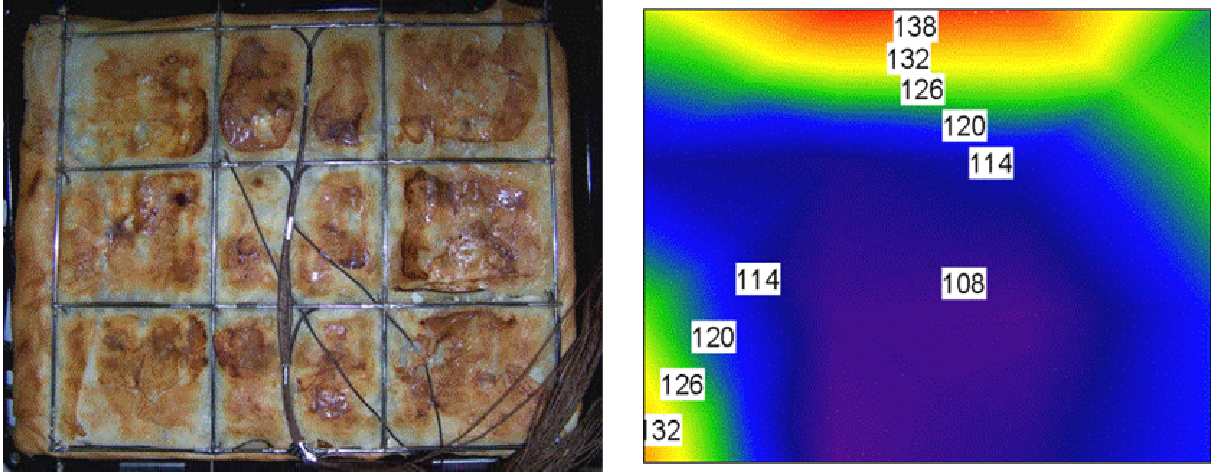


Şekil 5.6 Börek pişirme süresince tepsi alt yüzey, börek alt yüzey ve börek üst yüzeyindeki sıcaklık değişimi ve ortalama sıcaklıklar

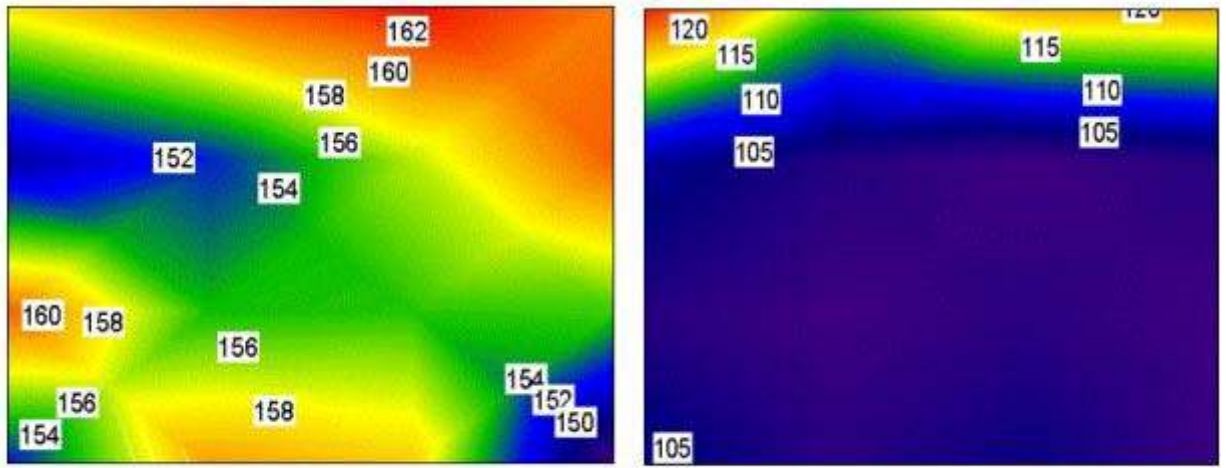
Deneyin son iki çevriminin ortalamasına göre çizilen börek alt ve üst yüzey sıcaklık dağılımları Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.7 Pişirme sonrası börek alt yüzey fotoğrafı ve yüzey sıcaklık dağılımı



Şekil 5.8 Pişirme sonrası börek üst yüzey fotoğrafı ve yüzey sıcaklık dağılımı



Tepsi alt yüzey sıcaklık dağılımı

Börek alt yüzey sıcaklık dağılımı

Şekil 5.9 Pişirme sonrası tepsi alt yüzey sıcaklık dağılımı ile börek alt yüzey sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

Deney sonuçları incelendiğinde;

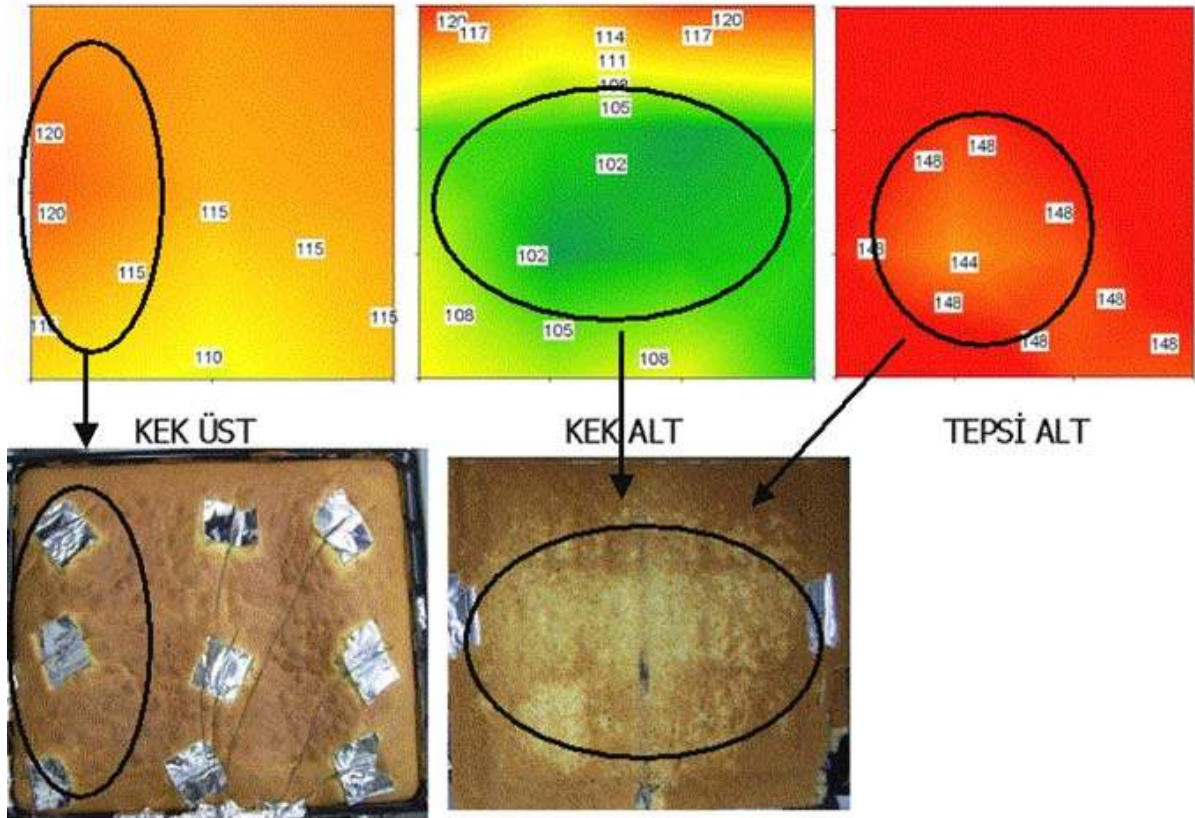
- Sıcaklığın 100°C 'yi bölgelerde kabuk oluşumu ve kahverengileşme başlamaktadır,
- Börek üst yüzeyindeki kabuklaşmanın alt yüzeye kıyasla daha önce gerçekleşmektedir.
- Pişirme tamamlandığında, tepsi alt yüzeyinin sıcaklığının $150\text{-}160^{\circ}\text{C}$ arasında olmasına rağmen börek alt yüzey sıcaklığının $105\text{-}120^{\circ}\text{C}$ aralığında olduğu görülmektedir.

- Deney, 10 dk ön ısıtma ve 35 dk pişirme süresi olmak üzere 45 dk'da tamamlanmıştır.
- Elde edilen veriler, Thorvaldsson ve Skjöldebrand'ın (1998) yaptığı ekmek pişirme deneyi ile uyum göstermektedir.

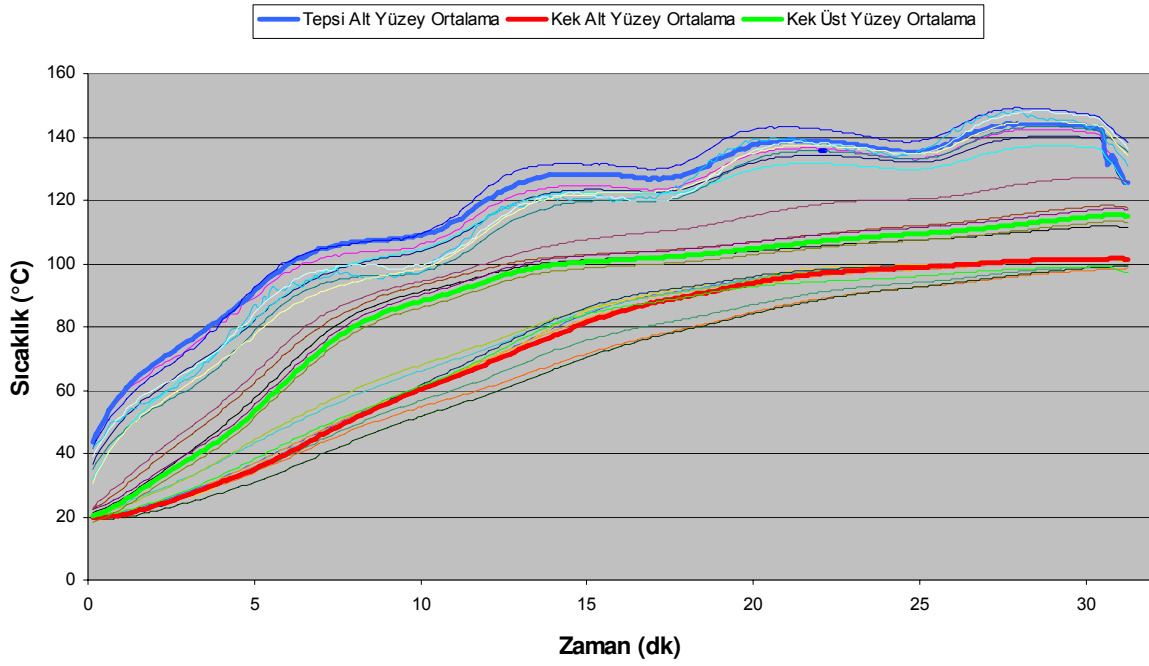
5.2.2 Kek pişirme deneyi

Kek pişirme deneyinde; börek pişirme deneyinde olduğu gibi, tepsi altı, kek altı ve üstünden sıcaklık değerleri alınmıştır. Kekin, böreğe kıyasla daha homojen bir yapıda olmasından dolayı fırın içi sıcaklık dağılımının pişirme üzerindeki etkisi kolayca görülebilmektedir.

Kek pişirme deneyinde, börek pişirme deneyine benzer şekilde, tepsi altına ve kek altına termoelemanların bulunduğu ızgara yerleştirilmiştir. Kek hamurunun sıvı olduğu ve pişme esnasında kabarma meydana geldiği göz önüne alınarak kek üst yüzeyine ızgara yerleştirilmemiştir. Üst yüzey sıcaklığını ölçmek için, kek yüzeyinde batmayacak şekilde hafif ve geniş yüzeyli plakalar hazırlanmıştır. Termoelemanlar bu plakalar üzerine sabitlenerek kek üst yüzey sıcaklık değişimi belirlenmiştir.



Şekil 5.10 Kek pişirme sonrası alt ve üst yüzey fotoğrafları ve sıcaklık dağılımları



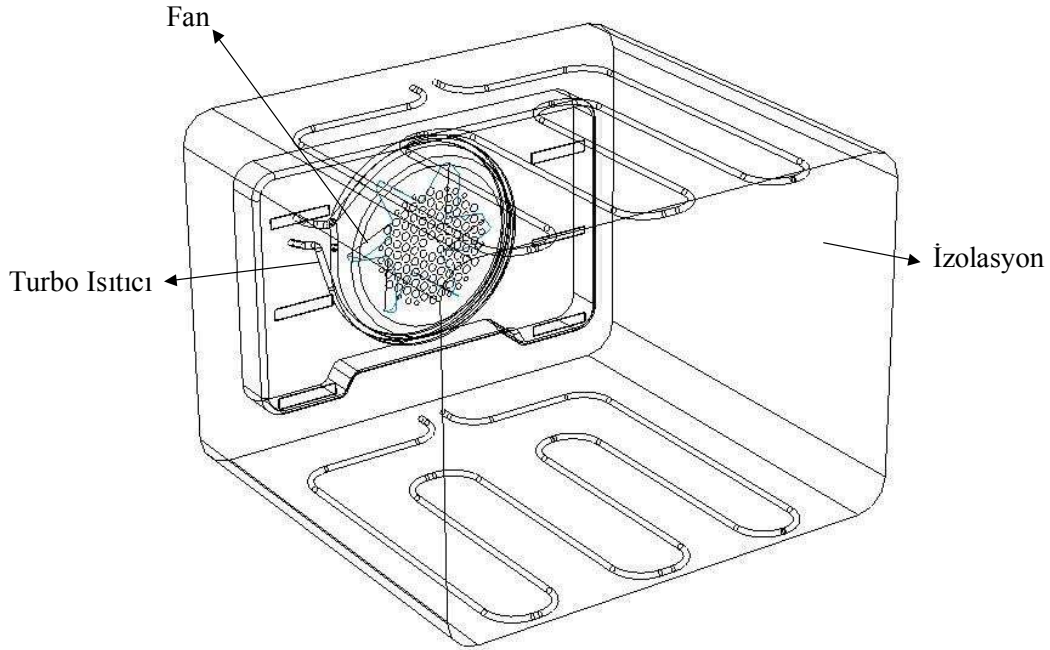
Şekil 5.11 Kek pişirme süresince tepsi alt yüzey, börek alt yüzey ve börek üst yüzeyindeki sıcaklık değişimi ve ortalama sıcaklıklar

Deney sonuçları incelendiğinde;

- Börek pişirme deneyine benzer şekilde, sıcaklığı 100°C 'yi aşan bölgelerde kahverengileşme başlamıştır.
- Kek alt ve üst yüzey sıcaklık dağılımı, pişirme sonucundaki yüzey renk değişimi ile karşılaştırıldığında, sıcaklık dağılımının pişirme kalitesi üzerinde etkisi olduğu görülmektedir.
- Kek üst yüzeyinde 120°C 'ye ulaşan bölgelerde daha fazla kahverengileşme meydana gelmiştir.
- Kek alt yüzey sıcaklığının 100°C 'ye yakın olduğu bölgeler diğer bölgelere kıyasla daha az pişmiştir.
- Deney, 10 dk ön ısıtma ve 30 dk pişirme süresi olmak üzere 40 dk'da tamamlanmıştır.
- Elde edilen veriler, Thorvaldsson ve Skjöldebrand'ın (1998) yaptığı ekmek pişirme deneyi ile uyum göstermektedir.

5.3 Sayısal çalışmalarda kullanılacak sınır koşullarının belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında, fırın pişirme performansını arttırmak amacıyla hava dağıtım kanalı tasarlanacaktır. Tasarlanan hava dağıtım kanalının performansının belirlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla FLUENT hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı kullanarak sayısal çözümler yapılacaktır.



Şekil 5.12 Fırın şasisinin şematik görünümü ve sayısal çözüm için sınır şartı olarak kabul edilen bölgelerden bazıları

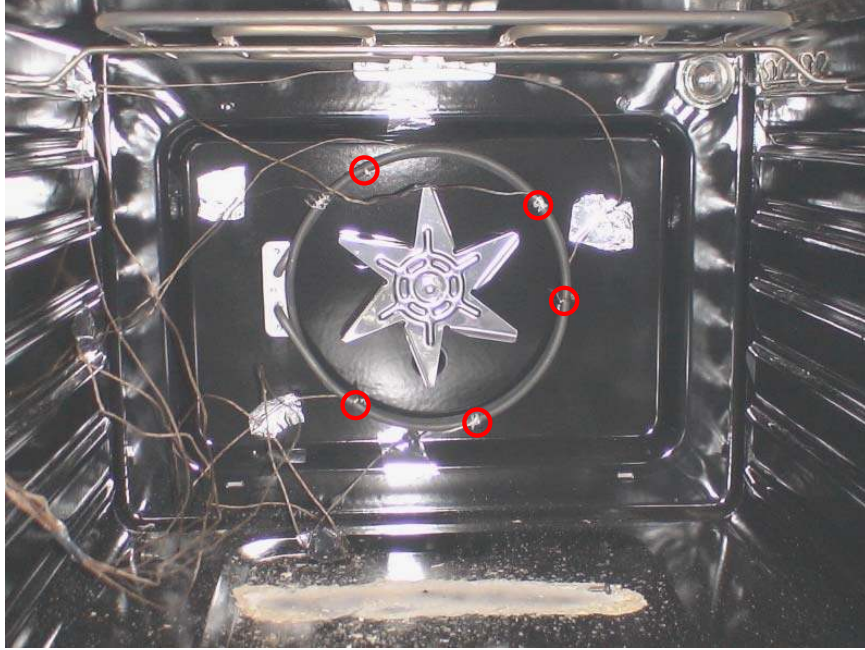
Bu bölümde, sayısal çözümlerde kullanmak üzere, ısıtıcı yüzey sıcaklığı, izolasyon dışı ortam sıcaklığı ve fan devri deneysel olarak belirlenecektir.

5.3.1 Ortalama ısıtıcı yüzey sıcaklığının belirlenmesi

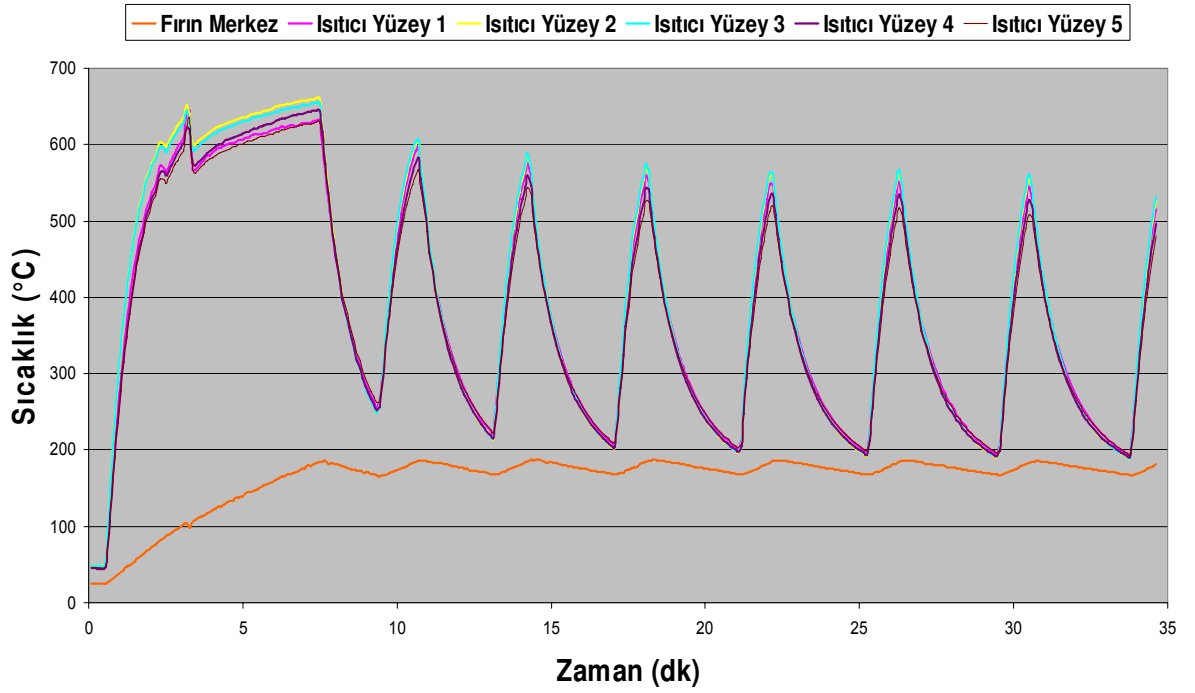
Fırınlarda, pişirme öncesinde ayarlanan sıcaklığın sabit kalmasını sağlamak amacıyla termostat kullanılmaktadır. Termostat, fırın içi sıcaklık, belirli toleranslar dahilinde, ayarlanan değerin üstüne çıktığında ısıtıcıyı kapatmakta, sıcaklık düştüğünde ise ısıtıcıyı tekrar devreye sokmaktadır. Sayısal çözüm aşamasında termostatin çalışma durumunun modellenmesi için zamana bağlı çözüm yapılmasını gerektirmektedir ve modellenmesi zordur. Bu nedenle, ısıtıcı yüzey sıcaklığı deneysel olarak ölçülecek ve sayısal çözümlerde sınır koşulu olarak sabit ısıtıcı yüzey sıcaklığı sınır koşulu verilecektir.

Deneysel 2100 W gücünde ısıtıcı kullanılmaktadır. Bu ısıtıcının yüzeyine eşit aralıklarda 5

adet J tipi termoeleman yerleştirilmiştir. Ayrıca fırın merkez sıcaklığını ölçmek amacıyla fırın merkezine de bir adet termoeleman yerleştirilmiştir. Şekil 5.13'te termoelemanların ısıtıcı üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Isıtıcı yüzey sıcaklığının ölçülmesi amacıyla ısıtıcı yüzeyine yerleştirilen termoelemanlar



Şekil 5.14 Isıtıcı yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi

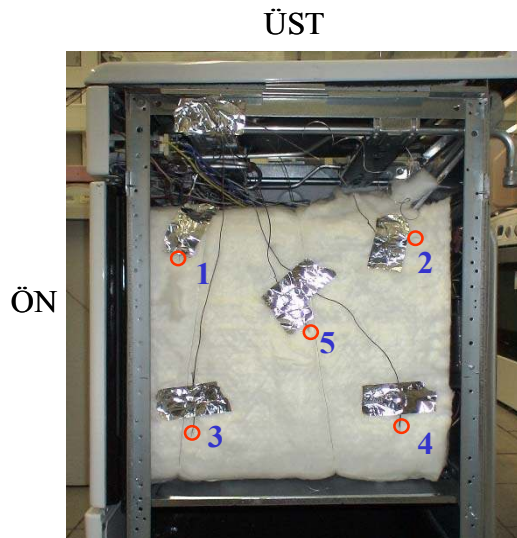
Şekil 5.14'te ısıtıcı yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği verilmektedir. Isıtıcı yüzeyine yerleştirilen termoelemanlardan son iki çevrimde alınan sıcaklık değerlerinin ortalamaları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak, ortalama ısıtıcı yüzey sıcaklığı 332,7 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 Farklı konumlarda ısıtıcı yüzey sıcaklığı

Konum	Sıcaklık (°C)
Fırın merkez	178,9
Isıtıcı Yüzey 1	336,8
Isıtıcı Yüzey 2	337,2
Isıtıcı Yüzey 3	340,0
Isıtıcı Yüzey 4	326,0
Isıtıcı Yüzey 5	323,5

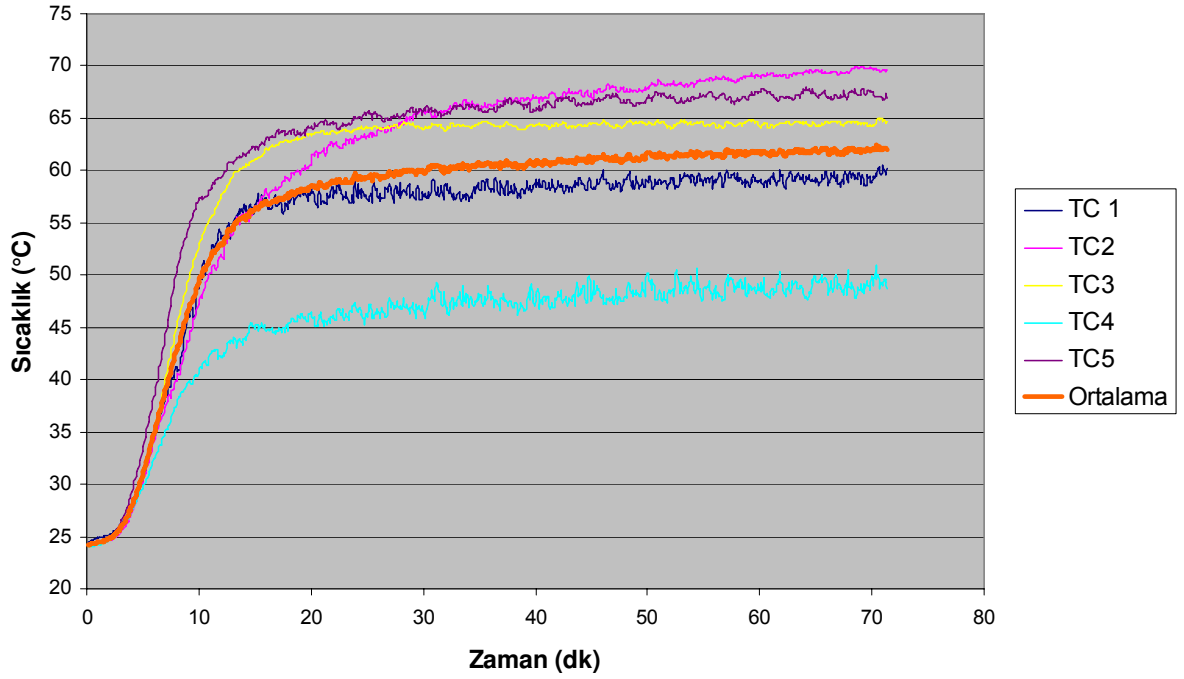
5.3.2 İzolasyon dışında hava sıcaklığının belirlenmesi

Sayısal çözümlerde kullanmak amacıyla izolasyon etrafındaki hava sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. İzolasyon etrafındaki hava sıcaklığı izolasyon üzerine sabitlenen termoelemanlarla ölçülmüştür.



Şekil 5.15 İzolasyon dışındaki hava sıcaklığının ölçülmesi amacıyla yerleştirilen termoelemanlar

İzolasyon etrafındaki hava sıcaklığını ölçmek için izolasyon yan duvarına 5 adet termoeleman yerleştirilmiştir. Termoelemanların yerleşimi Şekil 5.15'te gösterilmektedir. Termoelemanlar yerleştirildikten sonra fırının yan kapağı kapatılarak standart deney kabini içinde deney yapılmıştır. Şekil 5.16'da deney sonucunda elde edilen hava sıcaklık değerleri ve bu değerlerin ortalaması gösterilmektedir.

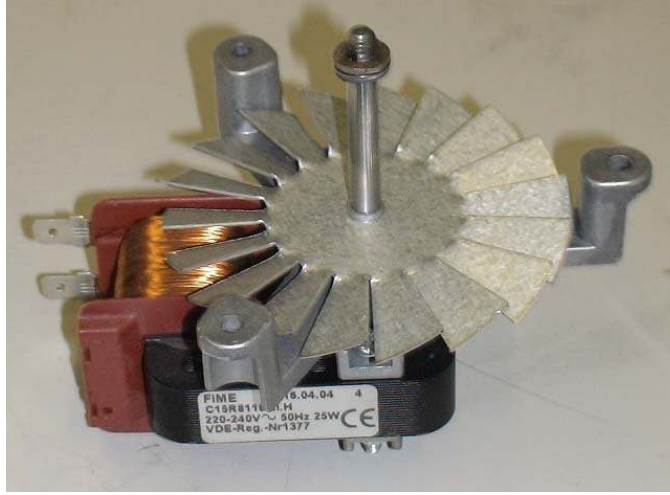


Şekil 5.16 İzolasyon dışındaki hava sıcaklığının farklı noktalarda zamana bağlı değişimi

Bu deney sonucunda; tüm noktalardan okunan sıcaklıkların ortalaması alınarak, izolasyon dışındaki ortalama hava sıcaklığı 62°C olarak belirlenmiştir. Sayısal çözümlerde izolasyon dışındaki hava sıcaklığı 62°C olarak alınacaktır.

5.3.3 Fan devrinin belirlenmesi

Bu tez çalışması kapsamında, deneysel çalışmaların yapıldığı fırında 25 W gücünde motor kullanılmaktadır. Sayısal çözümlerde kullanmak üzere fan devrinin belirlenmesi amacıyla, dijital stroboskop kullanarak fan devir sayısı ölçülmüştür.



Şekil 5.17 Deneyisel çalışmalarda kullanılan 25W gücündeki motor

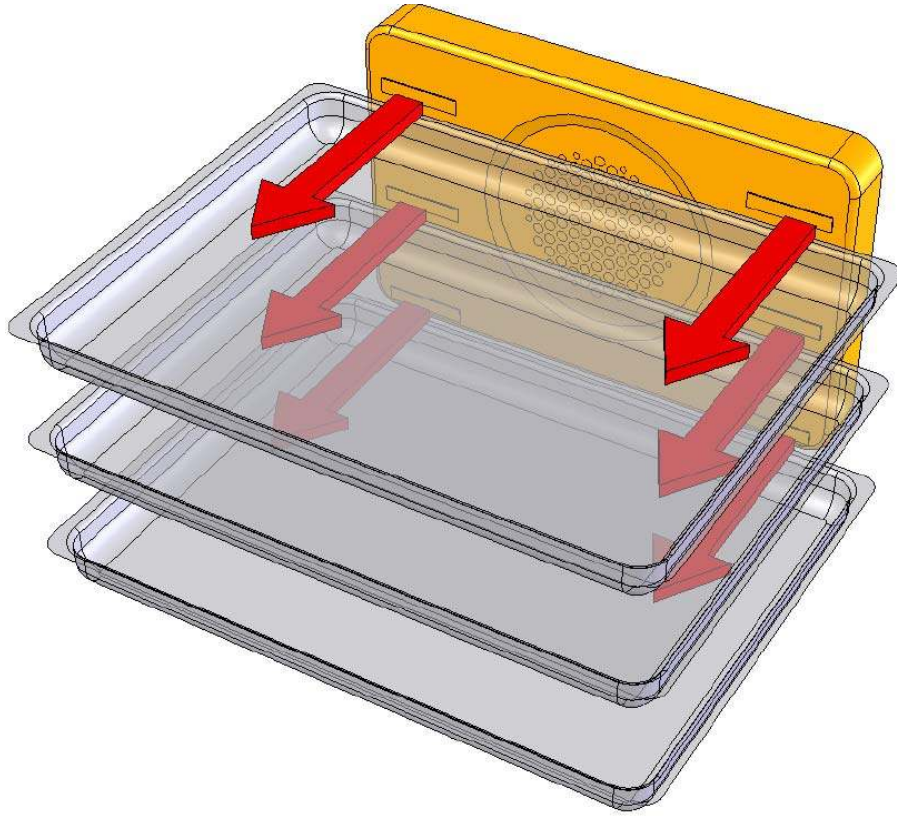


Şekil 5.18 Fan devrinin belirlenmesi amacıyla kullanılan stroboskop

Stroboskop, düzenli ve kısa çakışlarla kuvvetli ışık veren bir alettir. Bir cisim herhangi bir devirde dönerken stroboskop'un çakma frekansı değiştirilerek, cisim duruyormuş gibi gözüktüğündeki frekans belirlenir. Bu durumda cismin dönme frekansı ve stroboskop'un çakma frekansı birbirine eşittir. Bu durumda, stroboskop göstergesinden cismin devir sayısı okunmaktadır.

Stroboskop ile yapılan ölçüm sonucunda fanın devir sayısı yaklaşık 1400 d/d olarak belirlenmiştir.

6. HAVA DAĞITIM KANALI TASARIMI ve SAYISAL ÇÖZÜM ÇALIŞMALARI



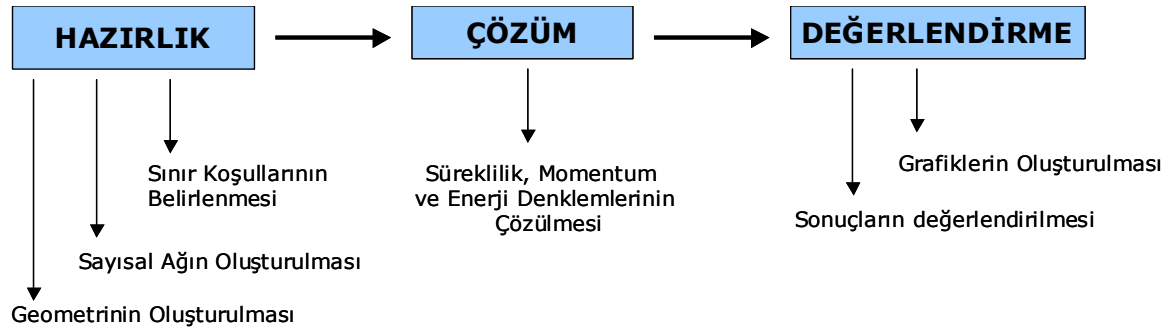
Şekil 6.1 Tepsiler üzerinde oluşturulmak istenen hava dağılımının şematik görünüşü

Bu bölümde, ev tipi elektrikli fırınların performansını arttırmak amacıyla, hava dağıtım kanalı tasarımı ve Fluent 6.3 hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı kullanarak sayısal çözüm çalışmaları yapılacaktır.

Tasarlanacak olan hava dağıtım kanalından beklenen özellikler şunlardır;

- Hava dağıtım kanalı üzerindeki üfleme deliklerinden eşit debide hava üflenmesi,
- Tepsiler üzerinde homojen hava ve sıcaklık dağılımının elde edilmesidir.

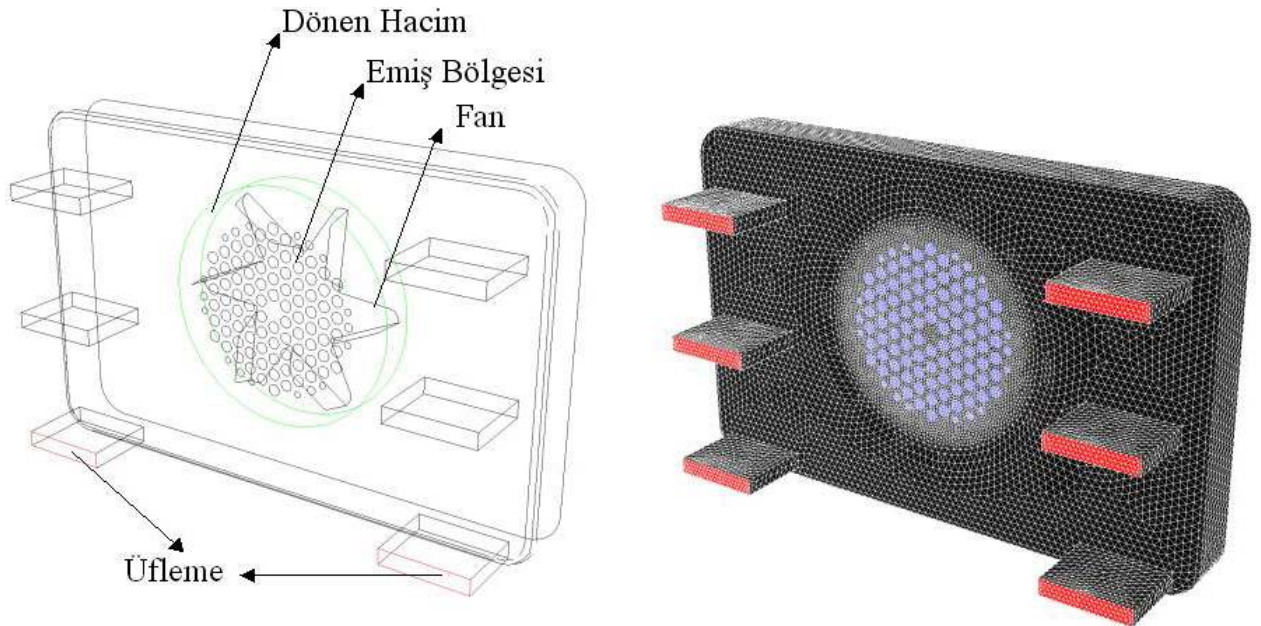
Tasarım çalışmalarının ilk bölümünde, her delikten eşit debide hava çıkması sağlamaya yönelik tasarım ve analizler yapılacaktır. İkinci bölümde, hava dağıtım kanalının fırın şasisi içindeki etkinliği ve tepsiler üzerindeki hava dağılımı incelenecektir. Son bölümde ise bir fırın modeli oluşturularak fırın içindeki sıcaklık dağılımı incelenecektir. Sayısal çözüm çalışmalarında izlenen yol Şekil 6.2’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Sayısal çözüm çalışmalarında izlenen yol (Pordal, 2006)

6.1 Hava dağıtım kanalı tasarımı

Hava dağıtım kanalının tasarımı; fanın fırın içindeki yerleşimi, tepsileri yerleşimi gibi kısıtlar göz önüne alınarak yapılacaktır. Fan ve tepsilerin yerinin sabit olmasından dolayı fan, havalandırma kanalının merkezine yerleştirilememiştir. Bu kısıtlar göz önüne alınarak Şekil 6.3'te gösterilen ilk tasarım oluşturulmuştur. Hava dağıtım kanalının oluşturulması aşamasında I-Deas bilgisayar destekli tasarım yazılımı kullanılmıştır. Üfleme deliklerinin kesitleri 10x60 mm olarak belirlenmiştir.

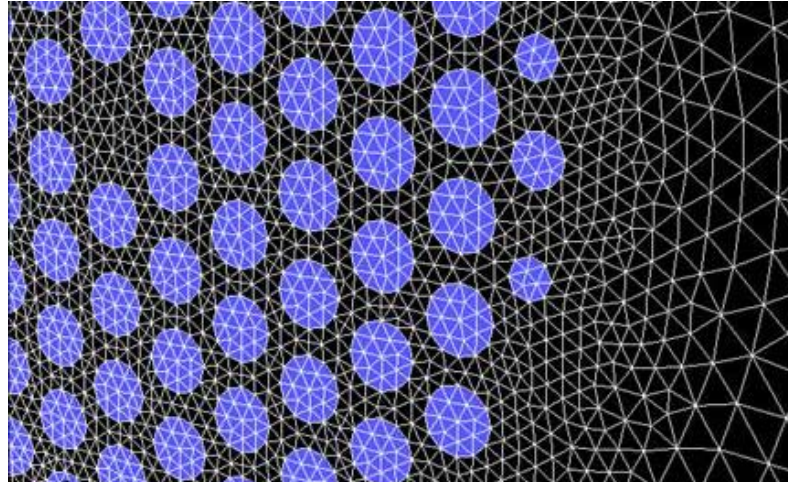


Şekil 6.3 Hava dağıtım kanalı ve hava dağıtım kanalında oluşturulan sayısal elemanlar

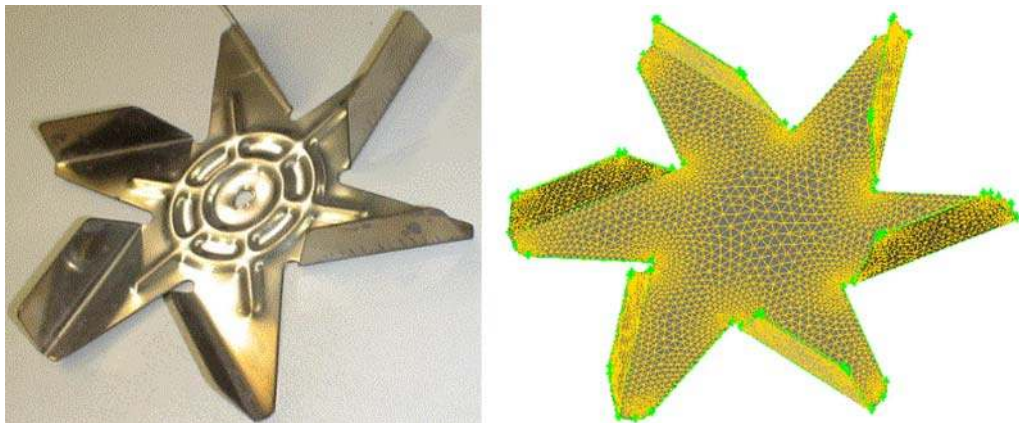
Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizinin yapılabilmesi için katı modeli bulunan akış hacminin sonlu sayıda ufak parçalara bölünmesi gerekmektedir. Bu işleme sayısal ağ oluşturma işlemi sonucunda oluşan modele de sayısal ağ veya sayısal model denir. Bu

parçaların (elemanların) sayısı ne kadar küçük ise sonuçlar o kadar hassas olur. Ancak bu parçaların sayısı analiz süresine de doğrudan etki eder. Bu nedenle yüksek gradyenlerin olduğu bölgelerde yoğun, diğer bölgelerde daha seyrek elemanlar kullanılarak optimum bir sayı bulunmak zorundadır. (Gelişli, 2004)

Hava dağıtım kanalının akış hacminde sayısal ağ oluşturmak amacıyla GAMBIT 2.3 ve Tgrid 4.0 yazılımları kullanılmıştır. Hava kanalında akışın kritik olduğu yerlerde (emiş ve üfleme bölgesi, fan) küçük ve çok sayıda sayısal eleman, diğer bölgelerde ise daha büyük sayısal elemanlar oluşturulmuştur. Emiş bölgesi ve fan üzerinde oluşturulan sayısal elemanlar Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te gösterilmektedir. Hava dağıtım kanalı üzerinde toplam 346356 adet sayısal eleman bulunmaktadır.



Şekil 6.4 Hava dağıtım kanalının emiş bölgesinde oluşturulan sayısal elemanlar



Şekil 6.5 Fan ve fan üzerinde oluşturulan sayısal elemanlar

Fanın dönüşünü modelleyebilmek için Moving Reference Frame yöntemi kullanılmıştır. Bu

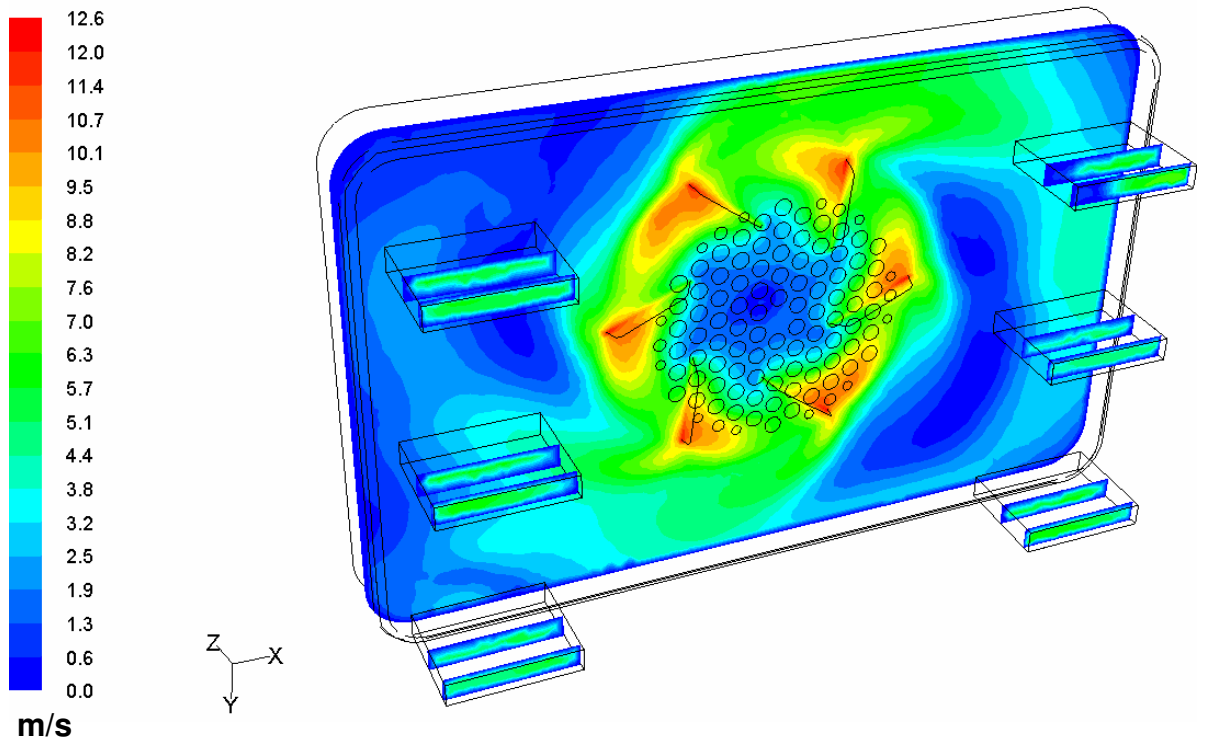
yöntemde fanın dönme hızı ve dönüş eksenini verilerek dönme etkileri modellenilebilmektedir. Yapılan analizlerde fanın dönme hızı için saat yönünde 1400 devir/dakika değeri girilmiştir. Türbülans modeli olarak Verboven vd. (1999a) önerdiği RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Çözümleme işlemi, Fluent 6.3 hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak HP xw6400 Workstation bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bilgisayar; her biri 3,0 GHz hızında 4 adet işlemciye ve 2 GB RAM hafızaya sahiptir.

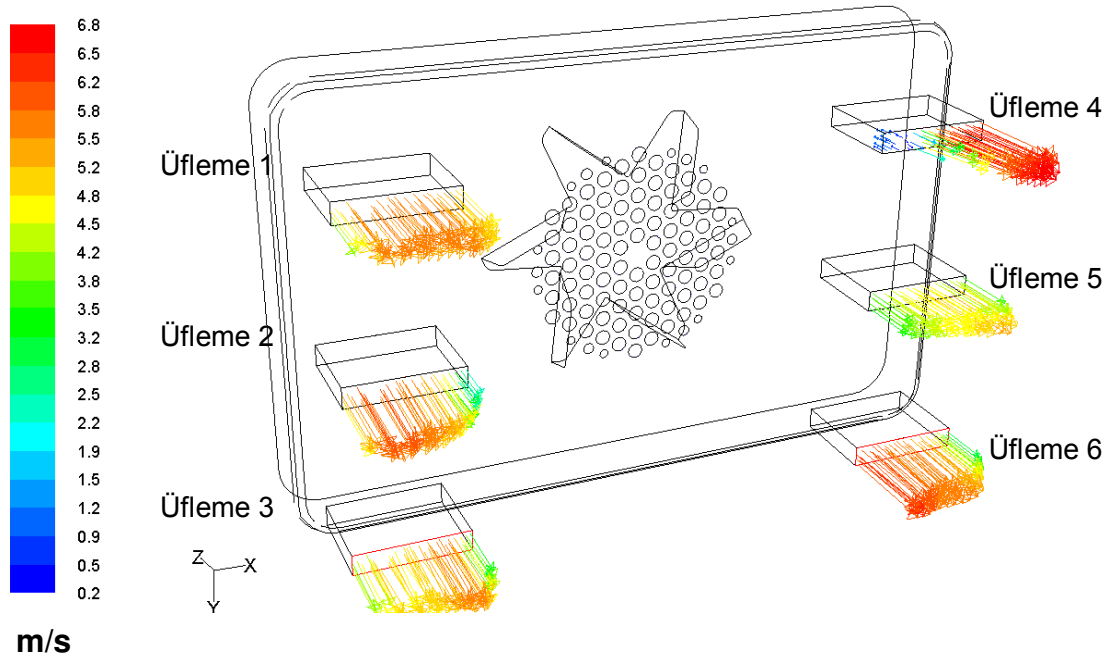
6.1.1 Tasarım 1 sayısal çözüm sonuçları

Hava dağıtım kanalının akış hacminde sayısal ağ oluşturulduktan sonra, emiş bölgesinde pressure-inlet sınır şartı, üfleme bölgesinde ise pressure-outlet sınır şartı kullanılmış ve değer olarak da 0 pa girilmiştir. Türbülans modeli olarak Verboven vd. (1999a) önerdiği RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Sayısal çözüm sonucunda elde edilen eş-hız eğrileri ve üfleme deliklerindeki hız vektörleri Şekil 6.6'da ve Şekil 6.7'de gösterilmektedir.



Şekil 6.6 Tasarım 1 sayısal çözüm sonucunda elde edilen hız dağılımı ve eş-hız eğrileri



Şekil 6.7 Tasarım 1’de sayısal çözüm sonucunda elde edilen üfleme deliklerindeki hız vektörleri

Yapılan sayısal çözüm çalışması sonucunda toplam debi 19,6 l/dk olarak bulunmuştur. Toplam debinin üfleme kanallarına göre dağılımı Çizelge 6.1’de verilmektedir.

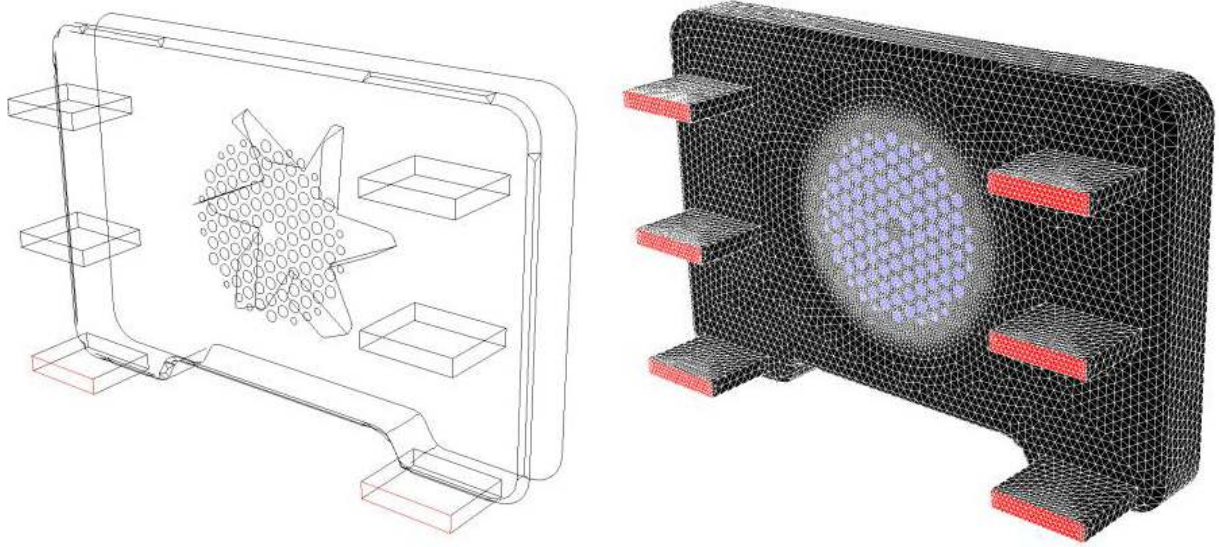
Çizelge 6.1 Tasarım 1’de üfleme deliklerindeki hava debisi dağılımı

Debi (l/s)		Debi (l/s)	
Üfleme 1	3,6	Üfleme 4	2,6
Üfleme 2	3,4	Üfleme 5	3,0
Üfleme 3	3,3	Üfleme 6	3,7
Sol Toplam	10,3	Sağ Toplam	9,3

Debilerin kanallara göre dağılımına bakıldığında homojen bir dağılım elde edilemediği ve sol taraftaki kanalların debisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca fanın dönüş yönüne bağlı olarak kanallar arasında farklılaşmaların olduğu görülmektedir. Tasarım kısıtlarından dolayı; fanın hava kanalının merkezine yerleştirilememesi, fanın alt ve üst bölgesinde farklı hava hızlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu farklılaşmaların giderilmesi amacıyla tasarımda bazı değişikliklerin yapılması gerekmektedir.

6.1.2 Tasarım 2 sayısal çözüm sonuçları

İlk tasarımda ortaya çıkan sorunların giderilmesi amacıyla ikinci bir tasarım oluşturulmuştur. Bu tasarımda, fanın alt ve üst bölgesinde kalan kesitin eşitlenmesi, dolayısıyla fanın dönüşünden kaynaklanan simetri problemlerinin azaltılması amaçlanmaktadır Şekil 6.8’de görüldüğü gibi, hava dağıtım kanalının alt duvarında içeriye doğru bir patlatma yapılmıştır.

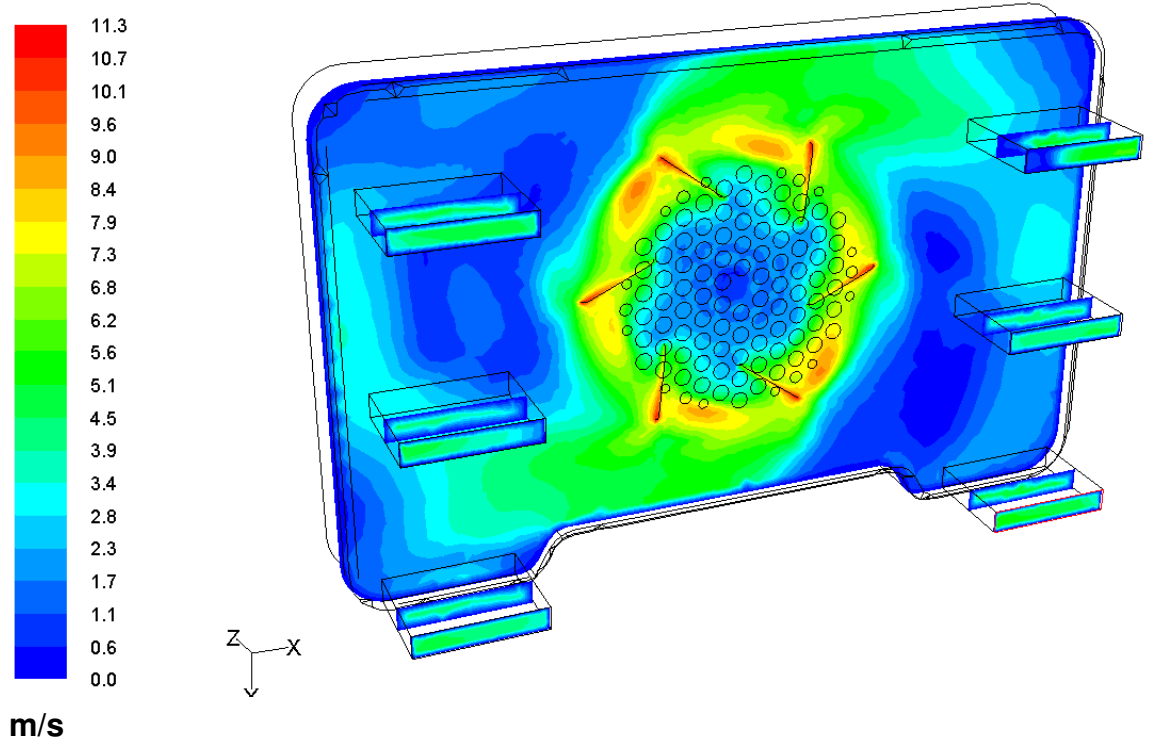


Şekil 6.8 Alt yüzeyinde patlatma yapılmış hava dağıtım kanalı ve hava dağıtım kanalında oluşturulan sayısal elemanlar

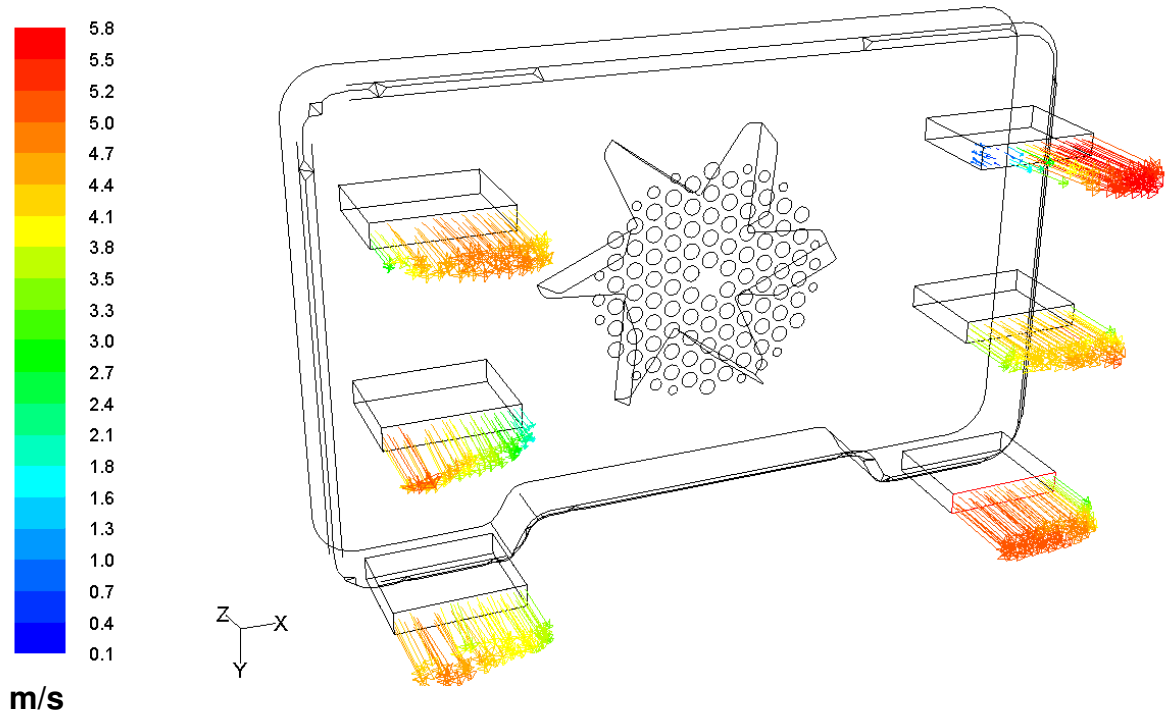
Tasarım 1’de kullanılan sınır şartları bu tasarımda da kullanılmıştır. Analiz sonucunda; oluşturulan patlatmadan dolayı kayıpların arttığı, fakat daha simetrik ve homojen bir hava dağılımının elde edildiği görülmektedir.

Analiz sonucunda toplam debi 16,9 l/s olarak bulunmuştur. İlave edilen patlamada meydana gelen sürtünmelerden dolayı toplam debide 3,1 l/s azalma meydana gelmiştir. Toplam debinin üfleme deliklerine göre dağılımı Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Sayısal çözüm sonucunda elde edilen eş-hız eğrileri ve üfleme deliklerindeki hız vektörleri Şekil 6.9’da ve Şekil 6.10’da gösterilmektedir.



Şekil 6.9 Tasarım 2 sayısal çözüm sonucunda elde edilen hız dağılımı ve eş-hız eğrileri



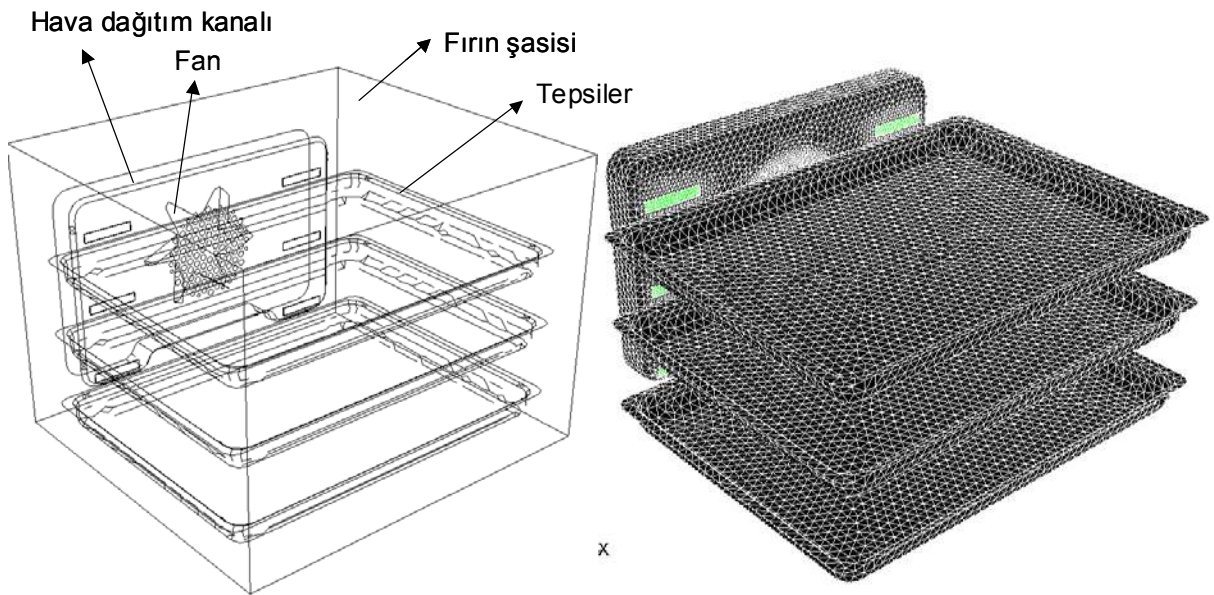
Şekil 6.10 Tasarım 2’de sayısal çözüm sonucunda elde edilen üfleme deliklerindeki hız vektörleri

Çizelge 6.2 Tasarım 2’de üfleme deliklerindeki hava debisi dağılımı

	Debi (l/s)		Debi (l/s)
Üfleme 1	3,0	Üfleme 4	2,5
Üfleme 2	2,5	Üfleme 5	2,9
Üfleme 3	2,8	Üfleme 6	3,2
Sol Toplam	8,3	Sağ Toplam	8,6

6.2 Fırın şasisi içinde hava dağılımının belirlenmesi ve sayısal çözüm çalışmaları

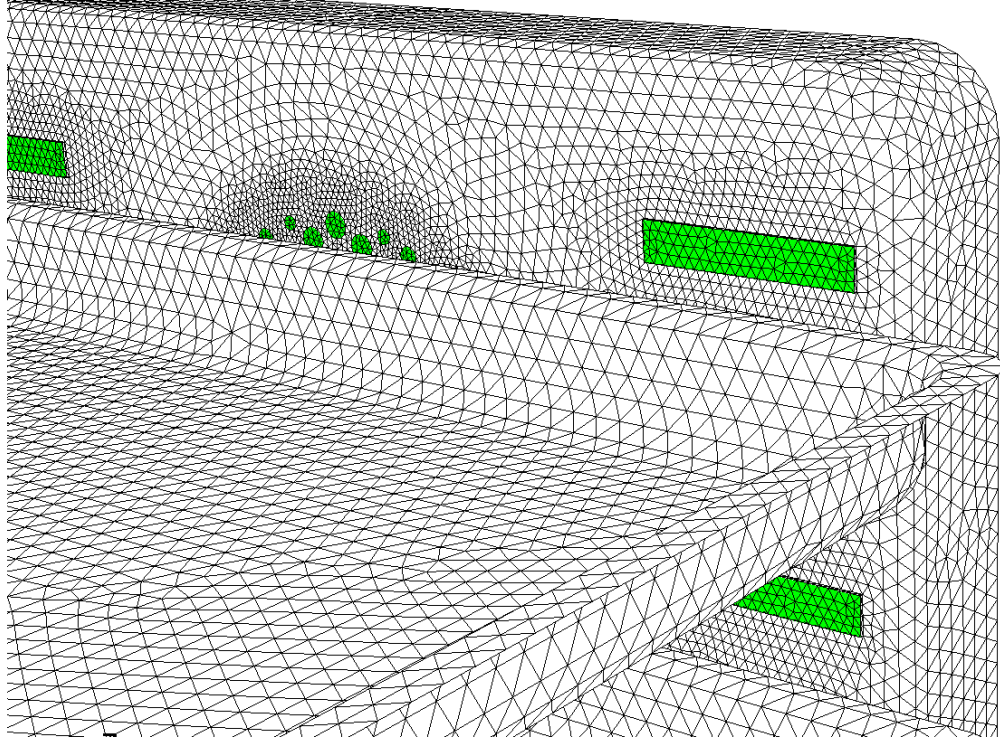
Hava dağıtım kanalının fırın şasisi içindeki etkinliğinin belirlenmesi amacıyla, fırın şasisinin basitleştirilmiş modeli oluşturulmuştur. Bu modelde hava dağıtım kanalı, fan, üç adet tepsi ve fırın şasisi bulunmaktadır. Oluşturulan sayısal model ve sayısal elemanlar Şekil 6.11’de gösterilmektedir.



Şekil 6.11 Fırın şasisi içinde hava dağılımının belirlenmesi amacıyla oluşturulan sayısal model ve sayısal elemanlar

Analizde; hava dağıtım kanallarının yüzeyleri, tepsiler ve fırın şasisinin yüzeyleri duvar olarak tanımlanmıştır. Üfleme ve emiş deliklerine, hava geçişine olanak sağlayan, ara yüzey sınır şartı verilmiştir. Sayısal çözümde fan devri, saat yönünde 1400 devir/dakika olarak

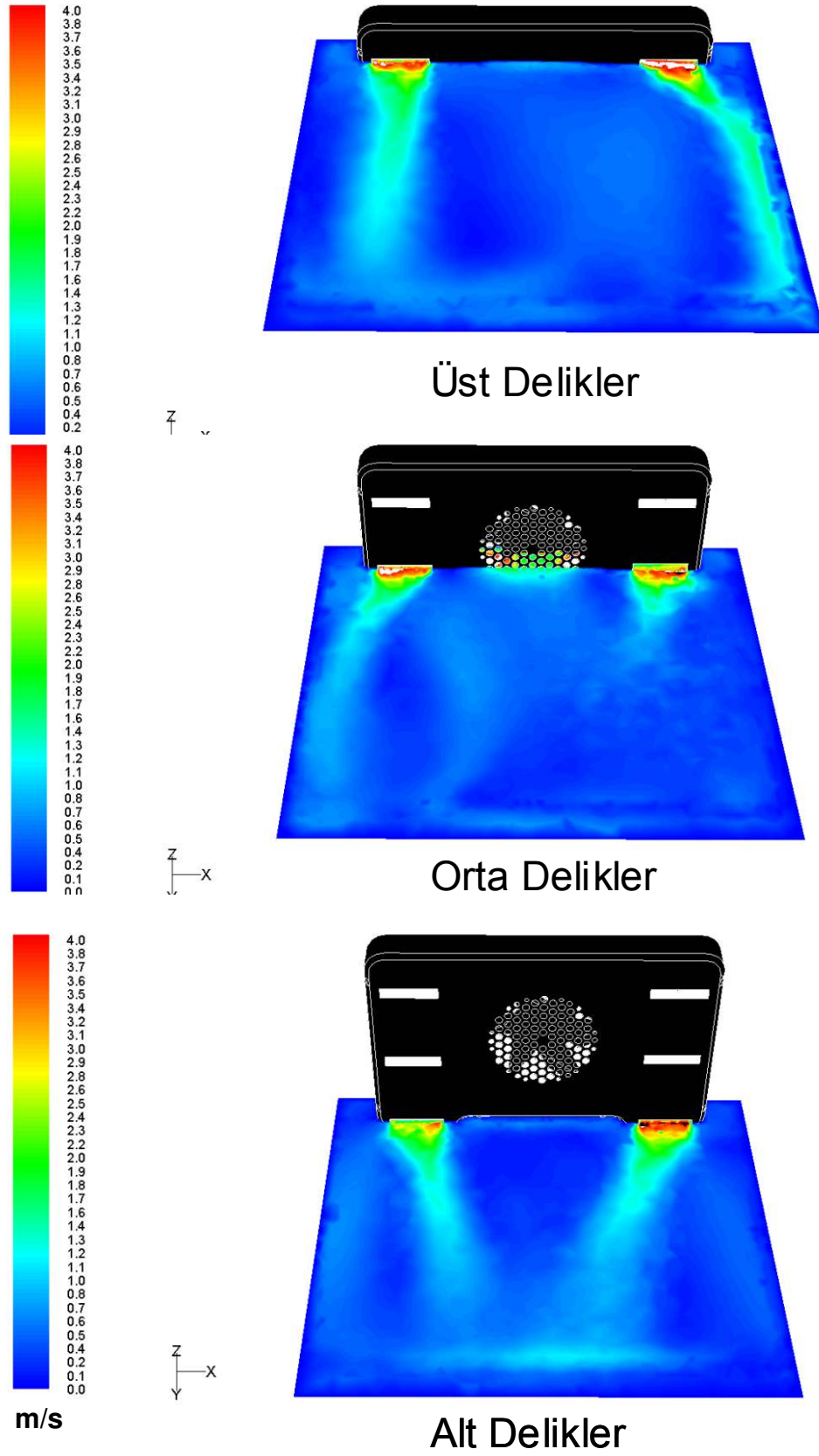
kullanılmıştır.



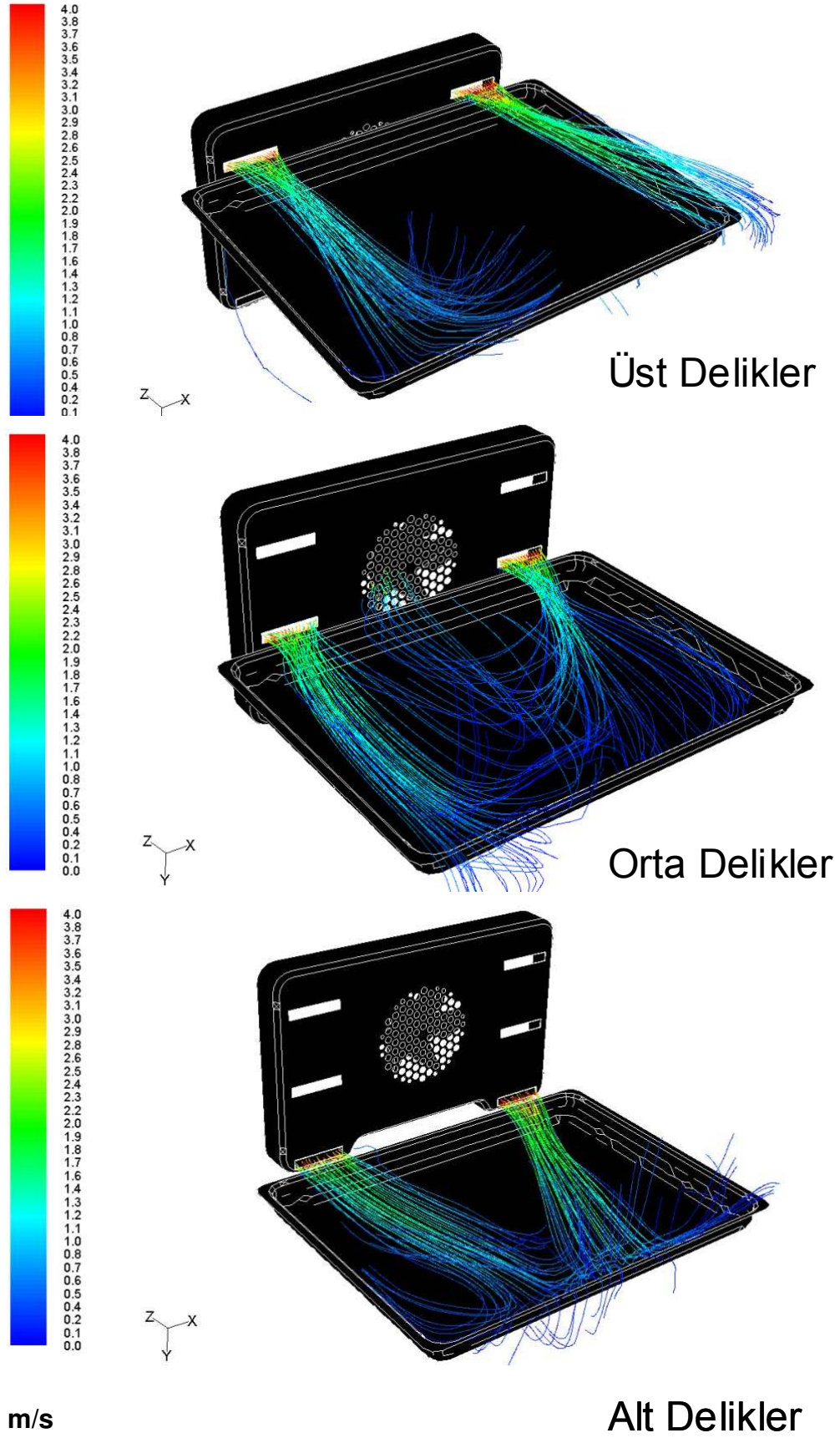
Şekil 6.12 Fırın şasisi içinde hava dağılımının belirlenmesi amacıyla oluşturulan sayısal elemanların detaylı görünümü

Oluşturulan geometri üzerinde fan, emiş ve üfleme delikleri gibi kritik bölgelerde daha yoğun sayısal eleman oluşturulmuştur. Geri kalan bölgelerde ise daha seyrek sayısal elemanlar bulunmaktadır (Şekil 6.12). Fırın şasisinde toplam 1120092 adet eleman oluşturulmuştur. Verboven vd. (1999a) modelledikleri endüstriyel fırın için 55944 sayısal eleman kullanmıştır ve kullanılan eleman sayısı arttıkça sayısal çözüm doğruluğunun artacağını belirtmişlerdir.

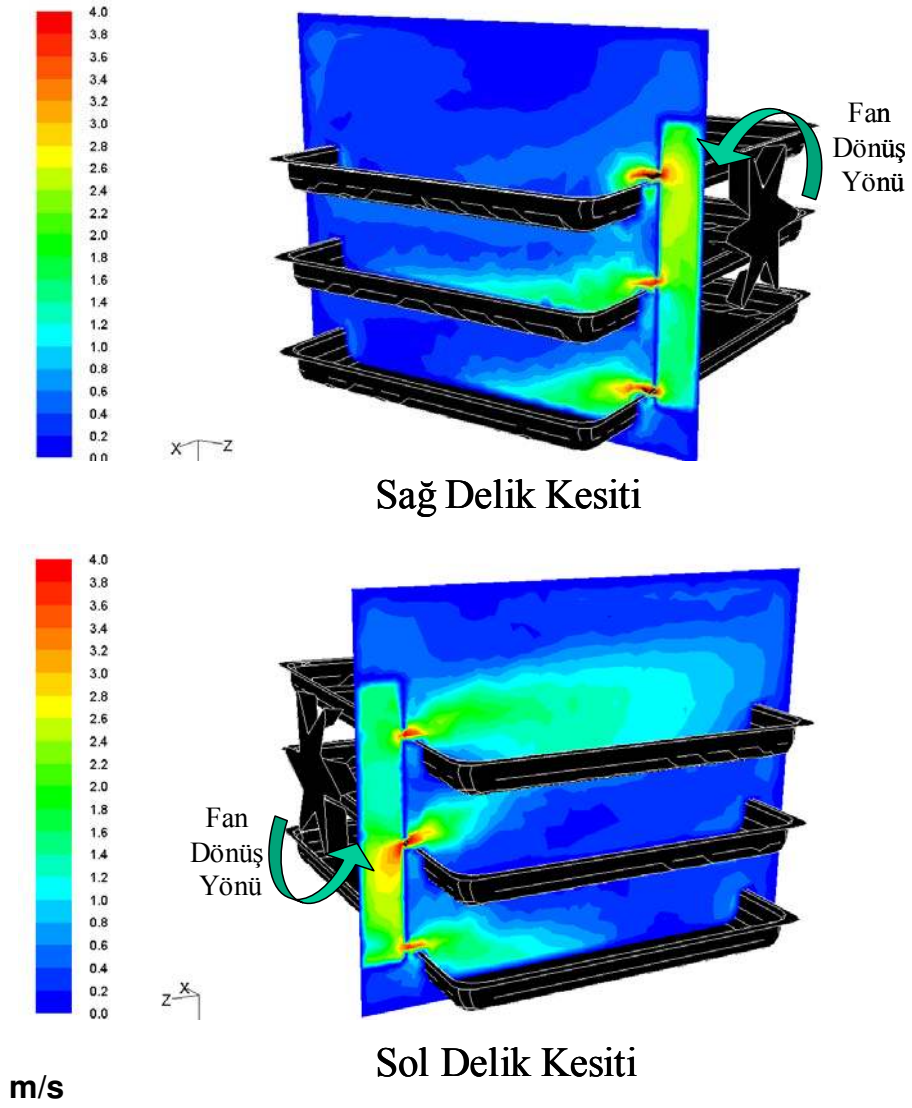
Sayısal çözüm sonucunda, tepsi düzlemine paralel olarak deliklerde kesitler alınarak fırın içi hız dağılımı incelenmiştir (Şekil 6.13). Hava dağıtım kanalından çıkan hava, fanın dönüş yönüne bağlı olarak fırın içinde farklı bölgelere yönlendirilmektedir. Şekil 6.14'te sayısal çözüm sonucunda elde edilen akım çizgileri gösterilmektedir.



Şekil 6.13 Tepsi düzlemine paralel olarak üfleme delik kesitlerindeki fırın içi hız dağılımı



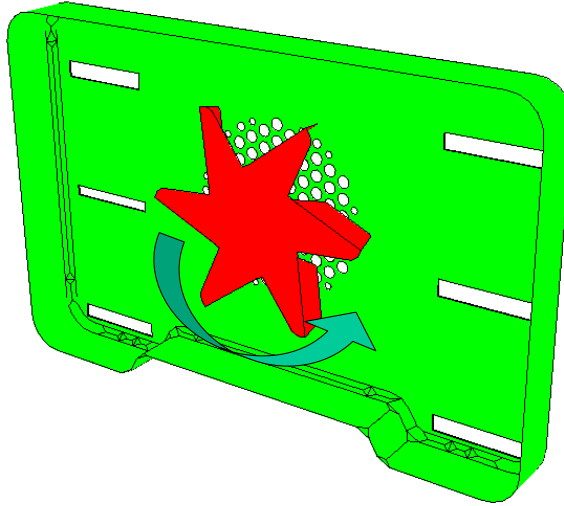
Şekil 6.14 Sayısal çözüm sonucunda elde edilen akım çizgileri



Şekil 6.15 Tepsi düzlemine dik düzlemdeki hız dağılımı ve hava hareketleri

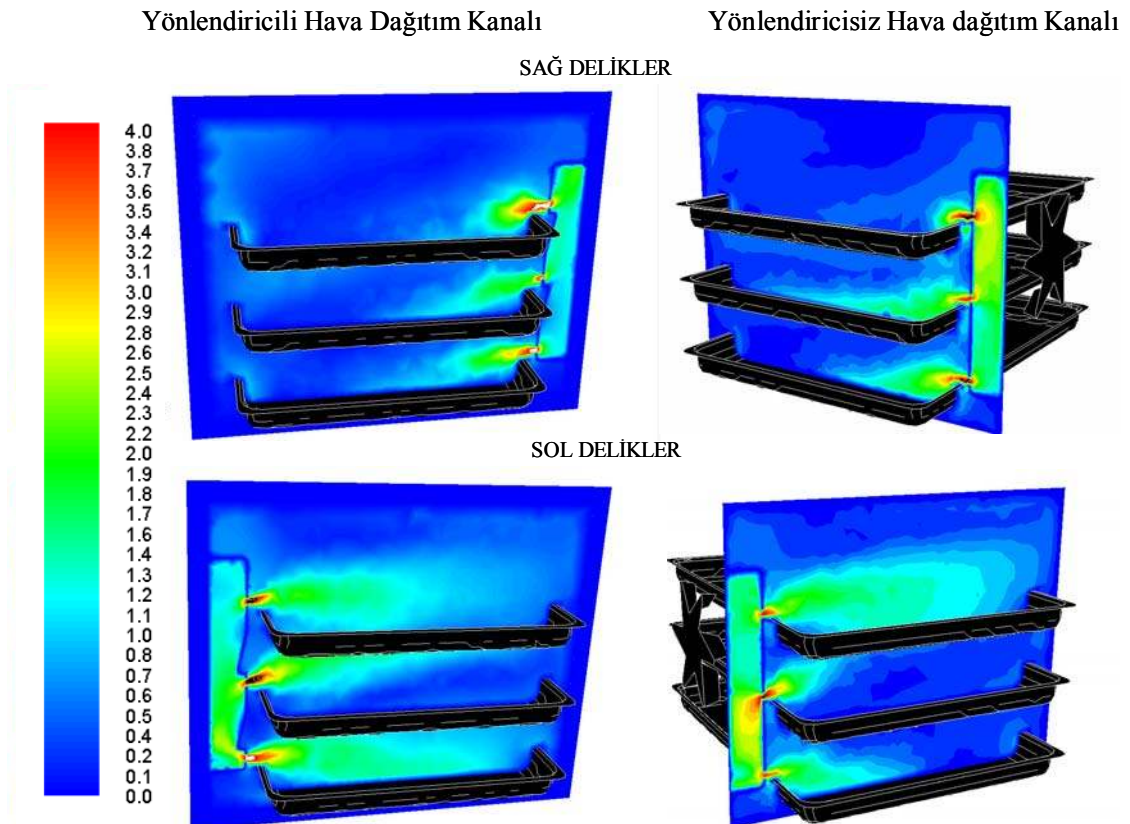
Tepsi düzlemine dik olarak oluşturulan düzlemdeki hız dağılımı ve hava hareketi incelendiğinde, fanın dönüş yönüne bağlı olarak, sağ deliklerin aşağıya doğru, sol deliklerin ise yukarıya doğru üfledikleri görülmektedir (Şekil 6.15).

Patent araştırmasında, fanın dönüşünden kaynaklanan problemlerin giderilmesi amacıyla yönlendirme parçalarının kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada da, tasarlanan hava dağıtım kanalındaki problemlerin azaltılması amacıyla yönlendirme parçaları kullanılacaktır. Üfleme deliklerinden çıkan havanın tepsi düzlemine paralel olarak hareket etmesini sağlamak amacıyla yönlendirme parçalarının konulması gerekmektedir. Yönlendiriciler yardımıyla hava dağıtım kanalından çıkan havanın, mümkün olduğunca tepsi düzlemine paralel hareket etmesi amaçlanmaktadır.



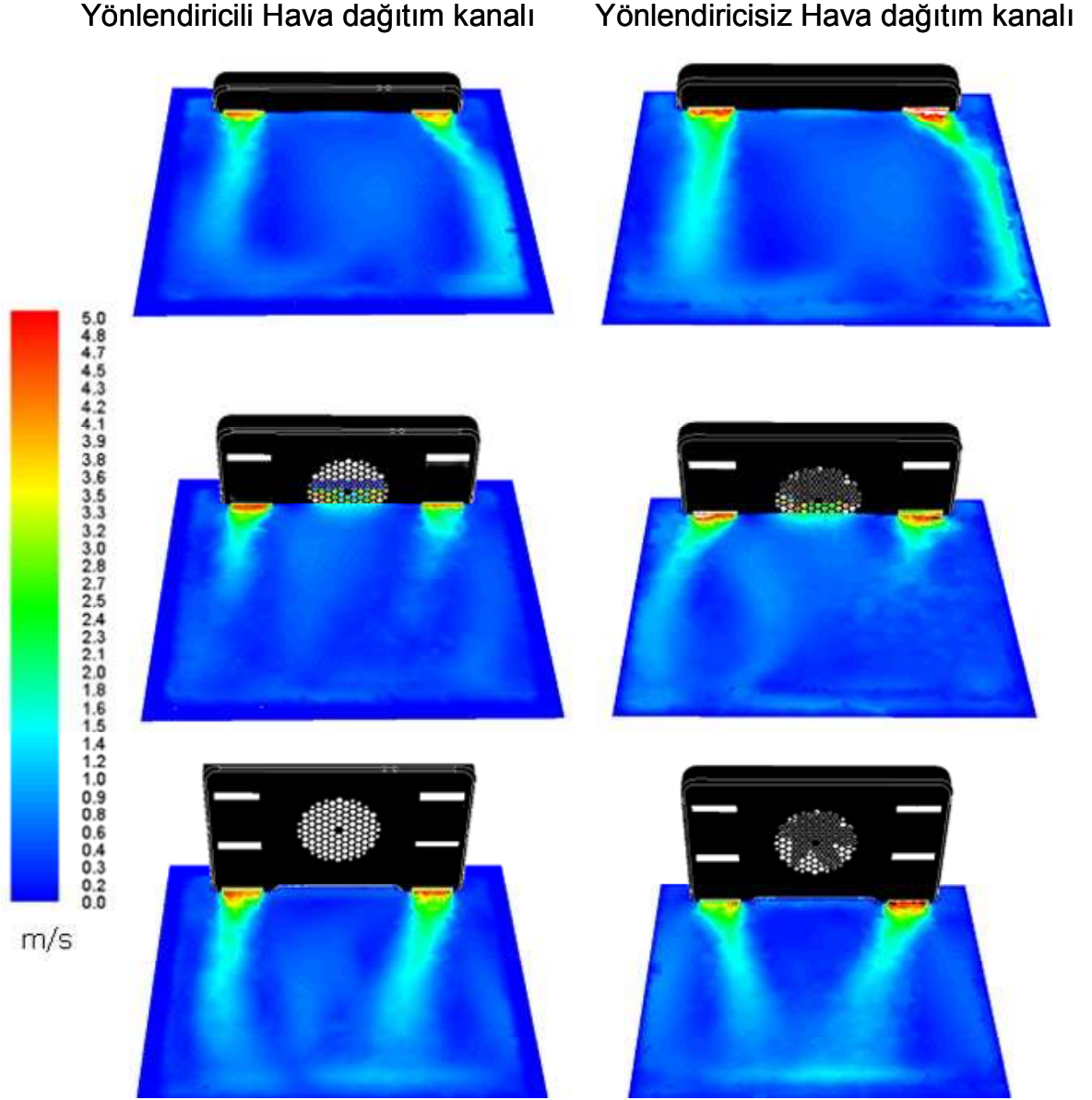
Şekil 6.16 Hava dağıtım kanalı içinde fanın dönüş yönü

Yönlendirici parçaların olduğu hava dağıtım kanalıyla yapılan sayısal çözümde, özellikle alt ve orta deliklerde iyileşme görülmektedir. Yönlendirme parçalarının olduğu ve olmadığı durumda tepsi düzlemine dik kesitteki hız dağılımları Şekil 6.17’de gösterilmektedir.



Şekil 6.17 Yönlendirme parçalarının olduğu ve olmadığı durumda, tepsi düzlemine dik kesitteki hız dağılımları

Yönlendirici parçaların olduğu hava dağıtım kanalı ile yönlendiricisiz hava dağıtım kanalında tepsi düzlemine paralel delik kesitlerindeki eş-hız eğrileri Şekil 6.18’de gösterilmektedir.

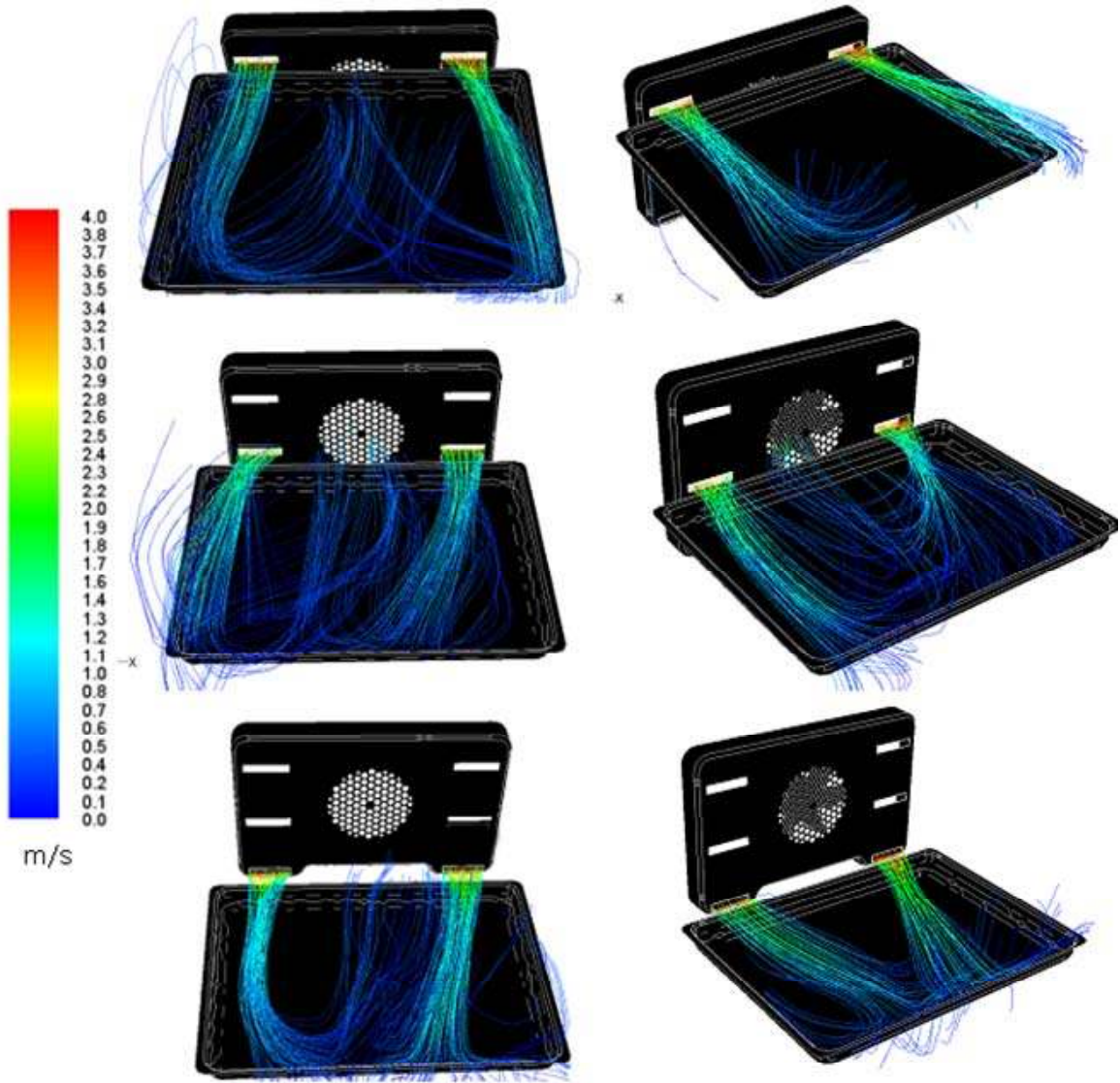


Şekil 6.18 Yönlendirici parçaların olduğu hava dağıtım kanalı ile yönlendiricisiz hava dağıtım kanalında tepsi düzlemine paralel delik kesitlerindeki eş-hız eğrileri

Her iki hava dağıtım kanalında, üfleme deliklerinden çıkan havanın izlediği akım çizgileri Şekil 6.19’da karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Yönlendiricili Hava dağıtım kanalı

Yönlendiricisiz Hava dağıtım kanalı



Şekil 6.19 Yönlendirici parçaların olduğu hava dağıtım kanalı ile yönlendiricisiz hava dağıtım kanalındaki akım çizgileri

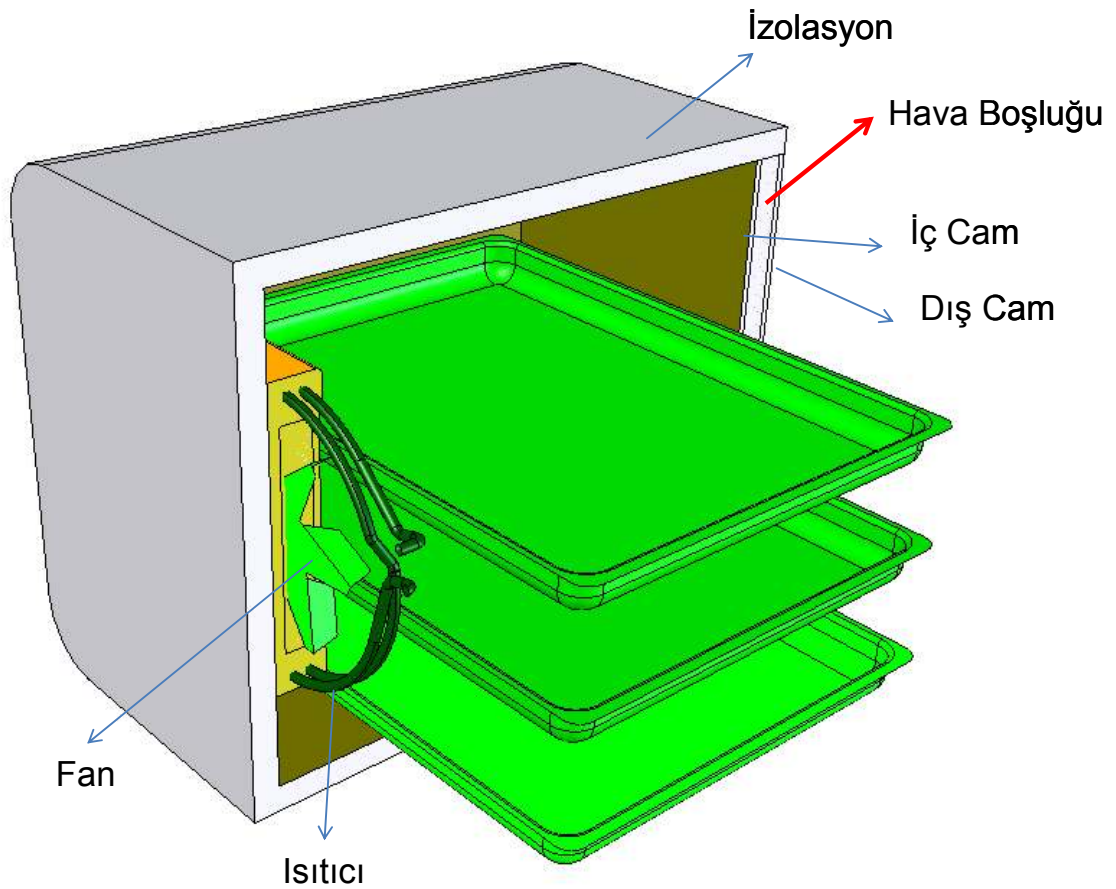
Sayısal çözüm sonuçları incelendiğinde yönlendirici kullanılan hava dağıtım kanalı ile fırın içi hava dağılımında iyileşme görülmektedir. Yönlendirici parçaların olmadığı tasarımda, üfleme delikleri tepsi içerisine üfleemektedir. Bu durumda pişirilen yiyeceğin bazı bölümlerinde yanma problemleri oluşabilmektedir. Yönlendirici parçalar kullanıldığında üfleme deliklerinde çıkan havanın tepsi düzlemine paralel hareket etmesi sağlanmakta ve yanma problemleri azaltılmaktadır.

6.3 Sayısal çözüm ile fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi

Bu bölümde, fırın pişirme performansını iyileştirmek amacıyla tasarlanan yönlendiricili hava dağıtım kanalı ile fırın içinde elde edilen sıcaklık dağılımı incelenecektir. Fırın içi sıcaklık dağılımı sayısal çözümü için,

- Isıtıcı yüzey sıcaklığı
- Fan devri
- Ortam sıcaklığı
- İzolasyon dışı hava sıcaklığı

sınır şartları kullanılacaktır. Bu sınır şartlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar Bölüm 5’te verilmektedir. Sayısal çözüm için oluşturulan model Şekil 6.20’de gösterilmektedir. Bu modelde, fırın şasisi üzerinde cam yünü izolasyon, kapakta çift cam, üç adet tepsi, ısıtıcı, fan ve hava dağıtım kanalı bulunmaktadır.



Şekil 6.20 Fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla oluşturulan model



Şekil 6.21 Sayısal çözümde kullanılacak olan malzemeler

Sayısal çözüm çalışmalarında cam, emayeli sac, çelik, cam yünü, sac malzemeleri ve akışkan olarak ise hava kullanılacaktır. Fırın çalışma sıcaklığının ortalama 180°C olduğu göz önüne alınarak, bu malzemelerin 450K'deki özellikleri literatürden araştırılmıştır (Çizelge 6.3).

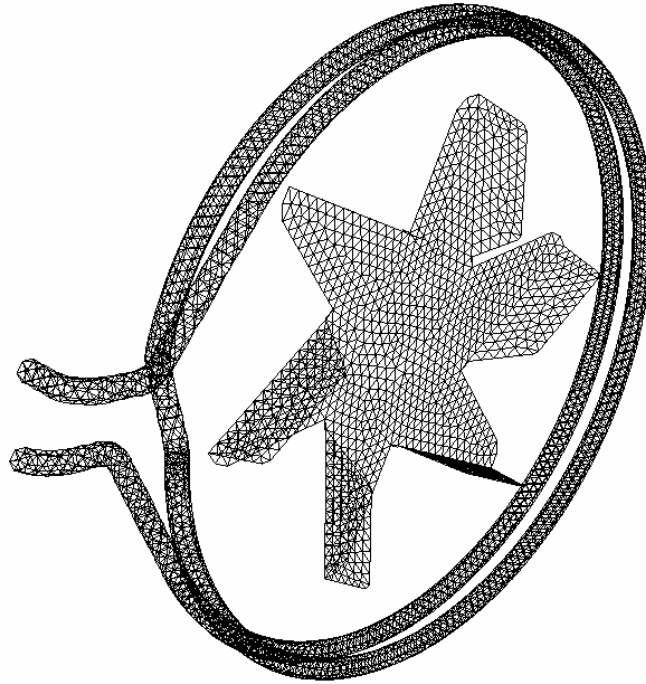
Çizelge 6.3 Sayısal çözümde kullanılacak malzemelere ait özellikler (Incropera ve DeWitt, 2001)

	Yoğunluk (ρ) kg/m^3	Isı iletim katsayısı (k) W/m.K	Özgül ısı (c_p) J/kg.K	Viskozite (kg/m.s)
Cam (Pyrex)	2225,00	2,68	1046,00	-
Cam yünü	32,00	0,048	1030,00	-
Çelik (Düşük kromlu çelik)	7836,00	46,10	512,00	-
Sac (Demir)	7870,00	66,50	510,00	-
Emayeli sac	7053,00	10,96	518,00	-
Hava	0,77	0,0373	1021,000	0,0000327894

Fırın içi sıcaklık dağılımı sayısal çözümünde;

- Kapaktaki contada meydana gelen ısı kaybı,
- Metal yüzeylerin birbirine montajı ile oluşan ısı köprülerindeki ısı kaybı,
- Fırın şasisi üst duvarında bulunan ve pişirme esnasında oluşan fazla nemin atılmasını sağlayan bacadaki ısı kayıpları,
- Radyasyonla meydana gelen ısı transferi,

ihmal edilmektedir.

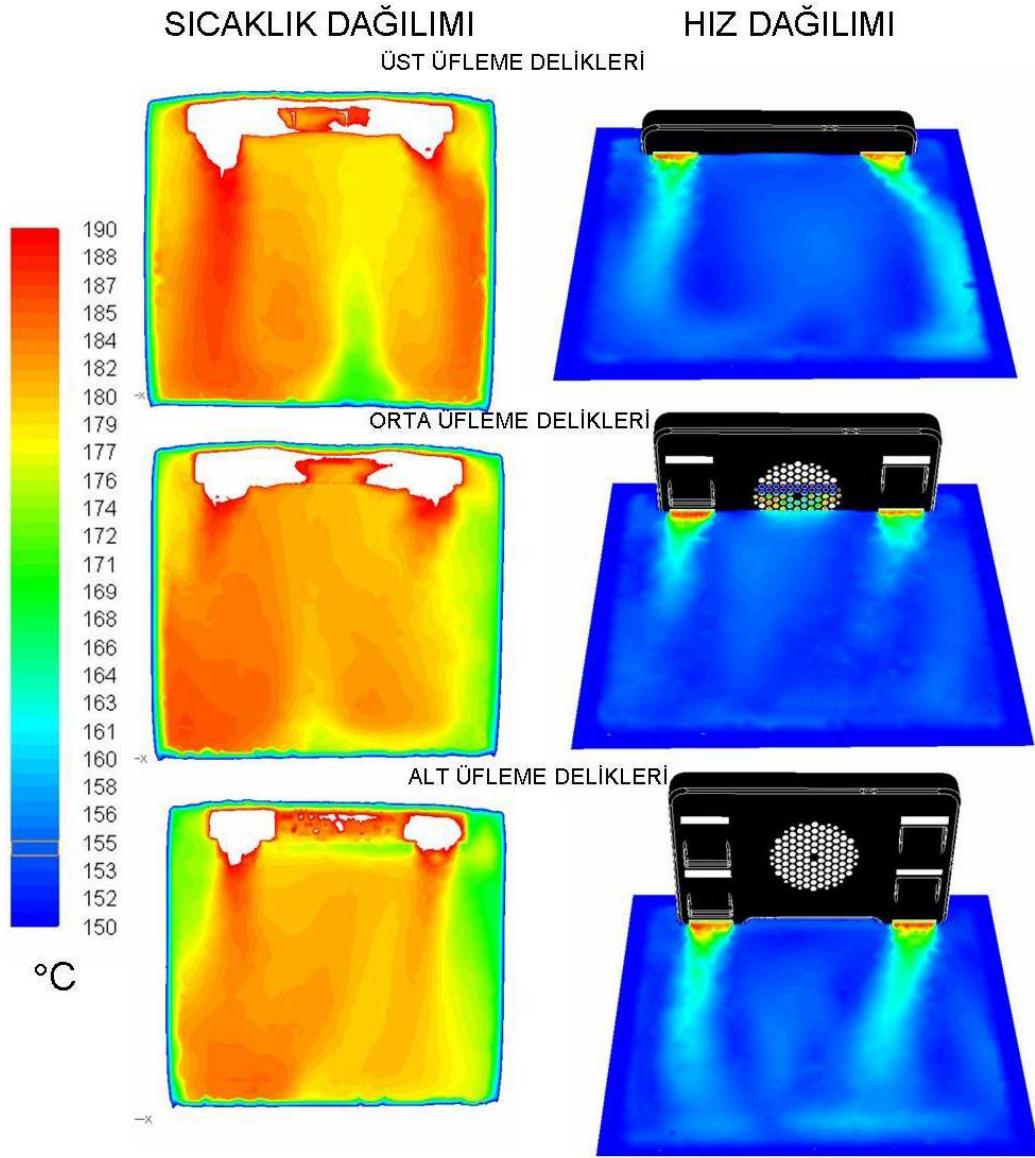


Şekil 6.22 Fan ve ısıtıcıda oluşturulan sayısal elemanlar

Isı kaynağı olan ve analiz için kritik olan ısıtıcı üzerinde diğer bölgelere kıyasla daha yoğun sayısal elemanlar oluşturulmuştur. Şekil 6.22’de fan ve ısıtıcıda oluşturulan sayısal elemanlar gösterilmektedir.

Şekil 6.23’te sayısal çözüm sonrasında elde edilen fırın içi sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Tepsi düzlemine paralel olarak alınan kesitlerdeki sıcaklık dağılımları, hız dağılımları ile karşılaştırıldığında hava hızının yüksek olduğu bölgelerde sıcaklığında yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca bu karşılaştırmada fırın içi hava dağılımı ile sıcaklık dağılımının çok büyük benzerlik gösterdiği görülmektedir. Hava dağılımının daha iyi hale getirilmesiyle daha

homojen sıcaklık dağılımı elde edilebilir.



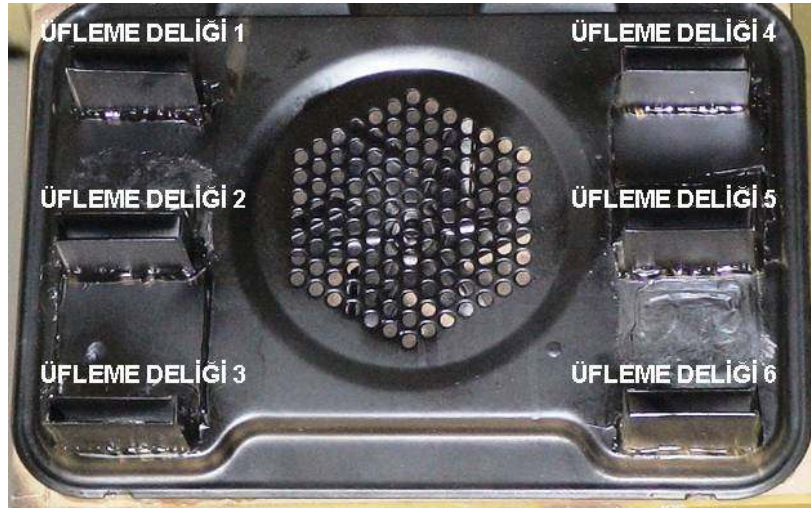
Şekil 6.23 Sayısal çözüm sonrasında elde edilen fırın içi sıcaklık dağılımı ve hız dağılımı karşılaştırması

Elde edilen sıcaklık dağılımının doğrulanması amacıyla Bölüm 7’de bir metal hava dağıtım kanalı prototipi kullanarak fırın içi sıcaklık dağılımı belirlenecektir. Fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla önceki deneysel çalışmalarda kullanılan 16 adet termoelemandan oluşan ızgaralar kullanılacaktır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SAYISAL ÇÖZÜM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

7.1 Pitot tüpü ile debi ölçümü

Yapılan analiz sonuçlarının doğrulanması amacıyla yönlendiricili plastik prototip hava dağıtım hazırlanarak pitot tüpü ile debi ölçümü yapılmıştır. Pitot tüpü ile debi ölçümünde bilgisayara bağlanmış bir dijital manometre kullanılmıştır. Her bir üfleme deliği üç kesit olarak pitot tüpüyle taranmış ve deneyler üç tekrarlı olarak yapılarak ortalaması alınmıştır.



Şekil 7.1 Plastik hava dağıtım kanalı prototipi

Pitot tüpüyle ölçüm yapılan prototip hava dağıtım kanalı Şekil 7.1’de, deney düzeneği ise Şekil 7.2’de gösterilmektedir. Deney sonunda elde edilen ortalama hız ile üfleme deliklerinin alanlarını çarparak debiler elde edilmiştir. Deneysel olarak ölçülen hava debileri ile sayısal çözüm sonucunda elde edilen hava debilerinin karşılaştırması Çizelge 7.1’de verilmektedir.



Şekil 7.2 Debi ölçümünde kullanılan deney düzeneği

Çizelge 7.1 Hava dağıtım kanalında deneysel olarak ölçülen hava debisi ile sayısal çözümde elde edilen hava debisinin karşılaştırılması

	Debi (l/s)		
	Deneysel	Sayısal Çözüm	Fark (%)
Üfleme Deliği 1	3,6	3,0	16,67
Üfleme Deliği 2	2,9	2,5	13,79
Üfleme Deliği 3	3,3	2,8	15,15
Üfleme Deliği 4	2,9	2,5	13,79
Üfleme Deliği 5	3,4	2,9	14,71
Üfleme Deliği 6	3,8	3,2	15,79
Toplam	19,99	16,9	

Deney sonucu ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında, analizde elde edilen hava debilerinin deneydekilerden %13,79-16,67 aralığında daha düşük olduğu görülmektedir. Toplam debide ise %15,1 fark bulunmaktadır. Verboven vd. (1999a) yaptığı çalışmada ortalama %22 fark bulunmaktadır ve bu farkın kabul edilebilir olduğu belirtilmektedir.

7.2 Prototip hava dağıtım kanalının kullanıldığı fırındaki sıcaklık dağılımının belirlenmesi ve sayısal çözüm sonuçları ile karşılaştırılması

Hava dağıtım kanalının performansının görülmesi ve analiz sonuçlarında elde edilen fırın içi sıcaklık dağılımının doğrulanması amacıyla metal hava dağıtım kanalı prototipi yapılmıştır. Fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla önceki deneysel çalışmalarda kullanılan 16 adet termoelemanndan oluşan ızgaralar kullanılmıştır.

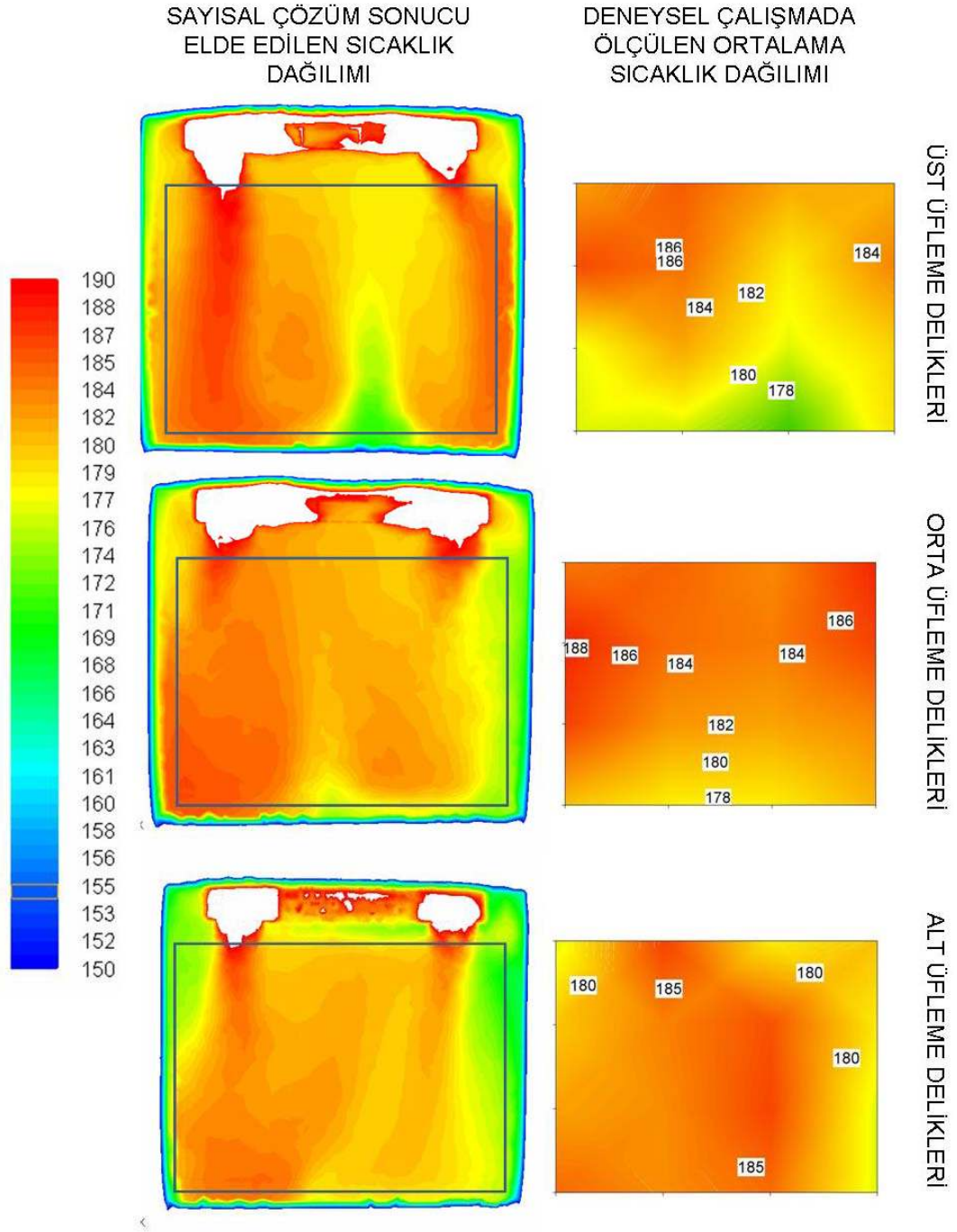
Deney, fırın merkez sıcaklığı 180°C için yapılmıştır. Fırın merkez sıcaklığı merkezde bulunan bir termoeleman ile takip edilmektedir. Şekil 7.3a'da deneyde kullanılan fırın, fırın içine yerleştirilen ızgaralar ve veri toplama ünitesi gösterilmektedir.



Şekil 7.3 (a) Deneyde kullanılan fırın, fırın içine yerleştirilen ızgaralar ve veri toplama ünitesi, (b) Deneysel çalışma ve analiz çalışması sonrasında sıcaklık dağılım grafiğinin çizilebildiği alanlar

Analiz sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla ızgaralar, analizde olduğu gibi, tepsi düzlemine paralel olacak şekilde üfleme deliklerinin önüne yerleştirilmiştir. Deneysel çalışma ve analiz çalışması sonrasında sıcaklık dağılım grafiğinin çizilebildiği alanlar Şekil 7.3b’de şematik olarak gösterilmiştir. Sıcaklık dağılımı karşılaştırmaları bu alanlar göz önüne alınarak yapılacaktır.

Deney sonucunda çizilen yüzey sıcaklık dağılımları, fırın merkez sıcaklığının 180°C ’de rejime girdikten sonraki 5 çevrimde okunan sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak çizilmiştir.

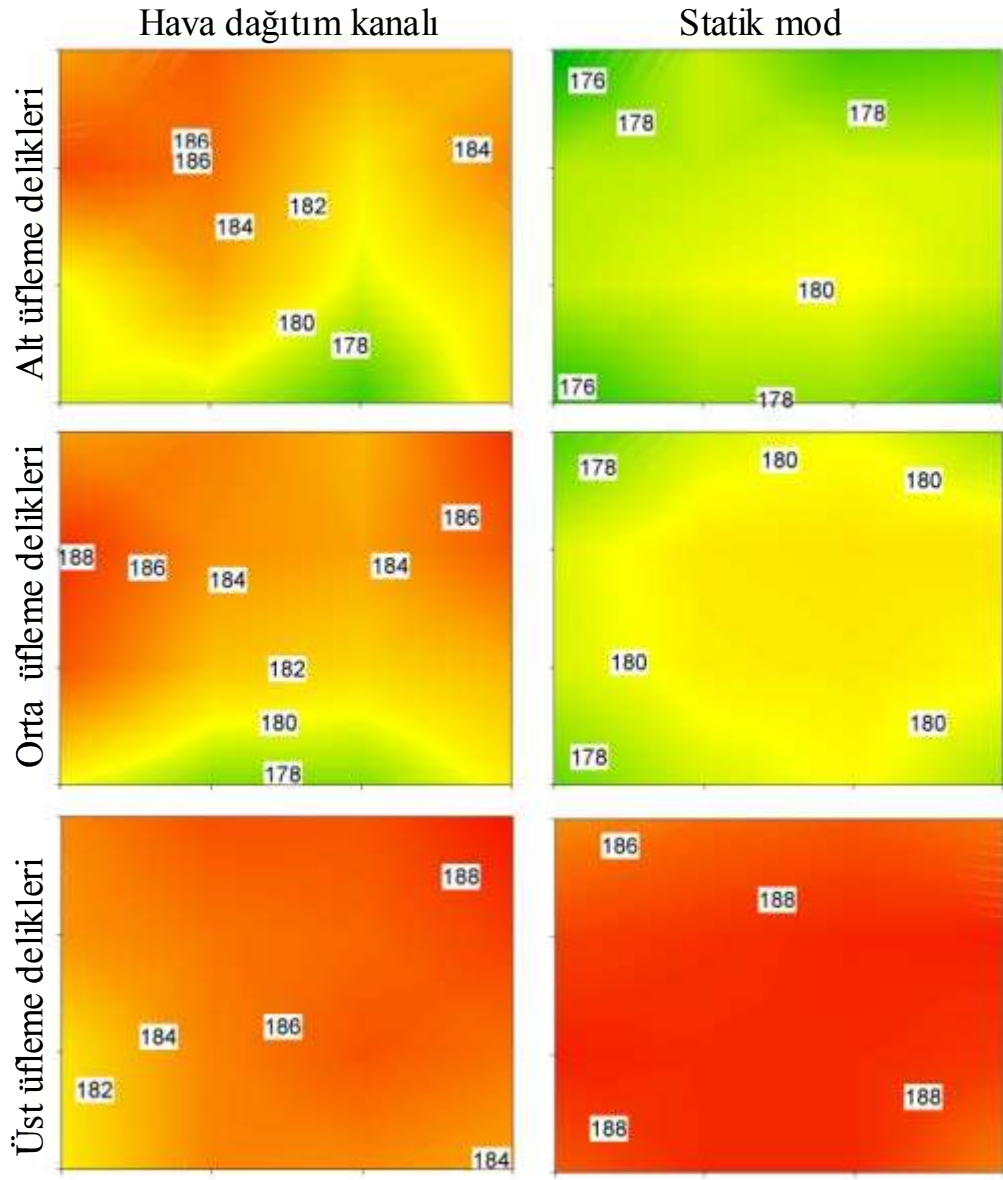


Şekil 7.4 Sayısal çözümde elde edilen sıcaklık dağılımı ile deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

Analiz çalışması için yapılan kabuller ve ihmaller göz önüne alınarak analiz sonuçları ve deneysel çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, genel olarak benzer sıcaklık dağılımı elde edildiği görülmektedir.

7.3 Statik mod ile hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumdaki fırın içi sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

Tasarlanan hava dağıtım kanalı ile deneysel olarak elde edilen sıcaklık dağılımı ile statik moddaki sıcaklık dağılımının karşılaştırması Şekil 7.5'te verilmiştir.



Şekil 7.5 Sayısal çözümde elde edilen sıcaklık dağılımı ile deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık dağılımının karşılaştırılması

Sıcaklık dağılımlarını belirlemek amacıyla ızgaralar, tepsi düzlemine paralel olmak üzere, üfleme deliklerinin karşısına yerleştirilmiştir.

Her iki sıcaklık dağılımının da fırın merkez sıcaklığının 180°C olduğu göz önüne alındığında,

- Hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda fırın genelinde benzer sıcaklık dağılımı

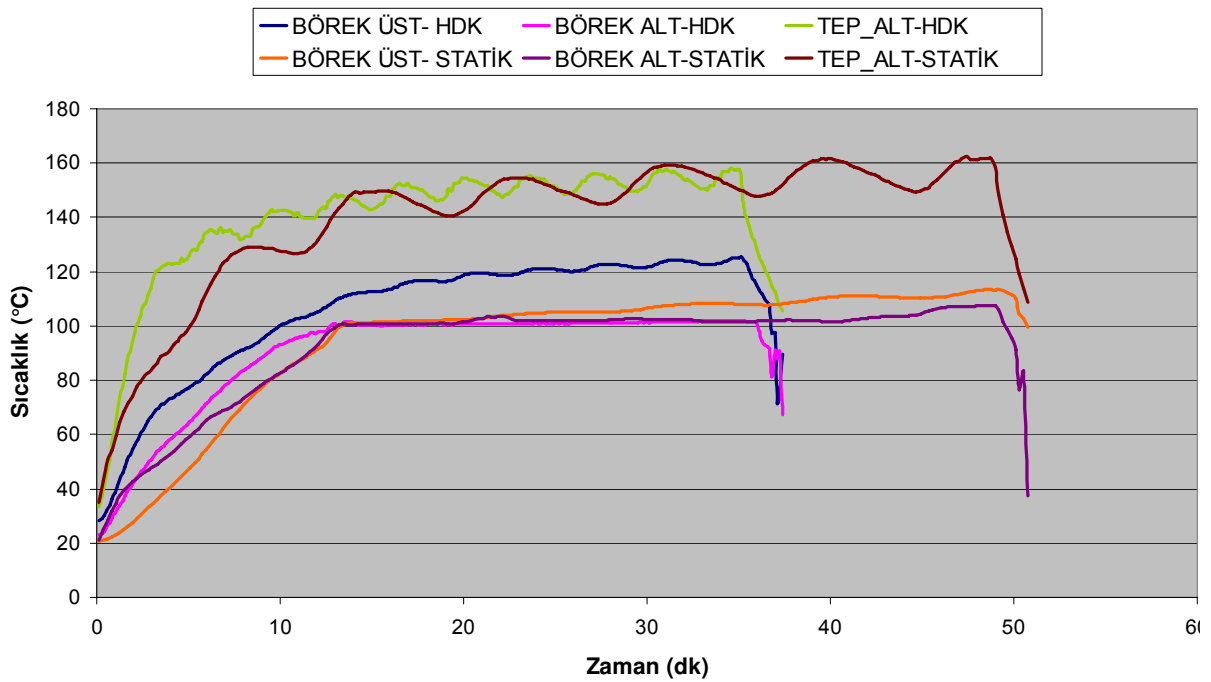
elde edilmiştir. Statik modda ise üst ısıtıcıya yakın olan bölgeler diğer bölgelere kıyasla daha sıcaktır. Hava dağıtım kanalının, statik moda kıyasla, fırın genelinde homojen sıcaklık dağılımı sağladığı görülmektedir.

- Hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda tepsi düzlemine paralel kesitlerde bazı sıcaklık farklılıkları meydana gelmiştir.

7.4 Metal prototip hava dağıtım kanalı ile börek pişirme deneyi ve pişirme sonuçlarının statik mod ile karşılaştırılması

Statik modda yapılan pişirme deneylerine benzer şekilde, hava dağıtım kanalının bulunduğu fırında pişirme deneyi yapılacaktır. Pişirme sonuçları ve pişirme süresi statik mod ile karşılaştırılacaktır.

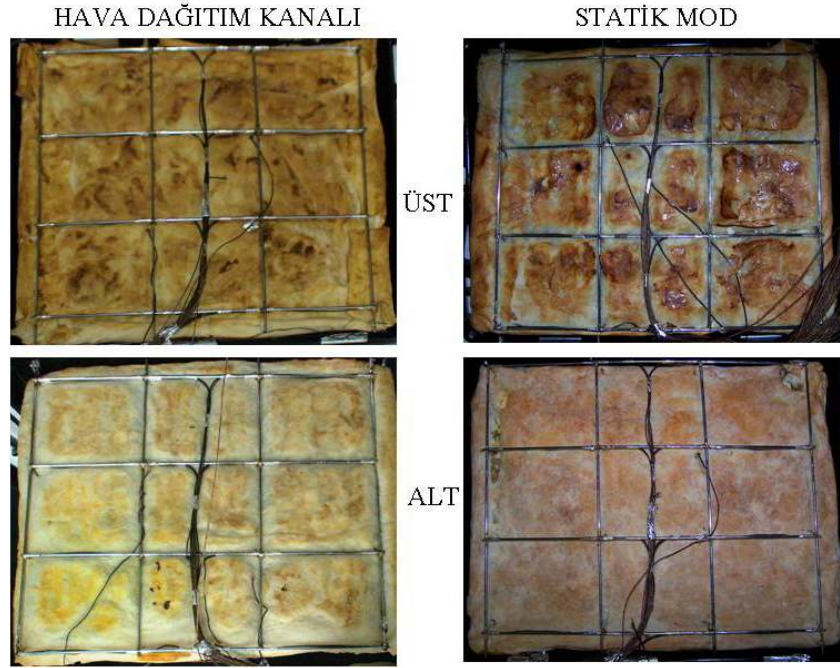
Statik modda yapılan börek deneyinde olduğu gibi bu deneyde de; börek alt ve üstüne, ayrıca tepsi alt yüzeyine ızgaralar yerleştirilmiştir. Deney sonucunda, böreğin yüzey kahverengileşmesi, pişirme süresi ve yüzey sıcaklık dağılımları statik mod ile karşılaştırılmıştır.



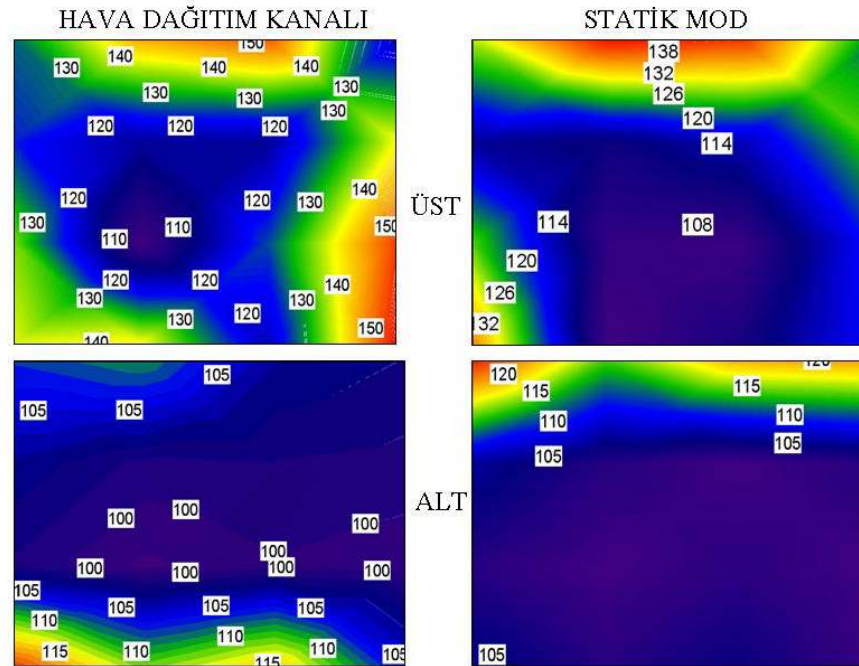
Şekil 7.6 Statik modda ve hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda börek pişirme süresinin karşılaştırılması

Pişirme sonuçlarına bakıldığında, hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda pişirme süresi

13 dk kısalmıştır. Ayrıca her iki durumda da börek yüzeylerinde istenilen kahverengileşme meydana gelmiştir.



Şekil 7.7 Statik modda ve hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda börek yüzeyindeki kahverengileşmenin karşılaştırılması



Şekil 7.8 Statik modda ve hava dağıtım kanalının kullanıldığı durumda börek yüzeyindeki sıcaklıkların karşılaştırılması

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ev tipi elektrikli fırınların performansının iyileştirilmesi amacıyla hava kanalı tasarımı yapılmış ve deneysel olarak performansı incelenmiştir. Yapılan patent ve literatür araştırmasında; hava dağıtım kanalı tasarım aşamaları, fanın dönüşünden kaynaklanan asimetrikliğin giderilme yöntemleri belirlenmiştir.

Deneysel ön çalışmalar kapsamında, statik modda fırın içi sıcaklık dağılımı, pişirme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca sayısal çözümlerde kullanmak amacıyla, izolasyon dışı hava sıcaklığı, ısıtıcı yüzey sıcaklığı ve fan devri deneysel olarak belirlenmiştir.

Tasarım çalışmalarının ilk bölümünde; hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanarak, tüm deliklerinden aynı debide hava üfleyen bir hava dağıtım kanalı tasarlanmaya çalışılmıştır. Fanın dönüşünden kaynaklanan asimetrikliğin giderilmesi amacıyla hava dağıtım kanalının alt yüzeyinde bir patlatma oluşturulmuştur. Bu patlatma sayesinde tüm deliklerden birbirine yakın debide hava üflenmesi sağlanmıştır.

Tasarım çalışmalarının ikinci bölümünde, bir fırın modeli oluşturularak hava dağıtım kanalının fırın içindeki etkinliği incelenmiştir. Yapılan sayısal çözümler incelendiğinde, bazı deliklerin doğrudan tepsi içine üflediği görülmüştür. Havanın doğrudan tepsi içine üflenmesi, pişirme esnasında deliğe yakın bölgelerde yiyeceğin yanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, havanın tepsi düzlemine paralel hareket etmesini sağlayacak yönlendiriciler kullanılmıştır. Yönlendiricilerin kullanıldığı durumda hava dağılımında bir miktar iyileşme sağlanmıştır.

Sayısal çalışmaların son bölümünde; ısıtıcı, cam ve izolasyonun bulunduğu gerçeğe yakın bir fırın modeli oluşturulmuştur. Fırının gerçek çalışma koşullarında kapak contasında ve bacada meydana gelen hava ve ısı kayıpları sayısal çözümde ihmal edilmiştir. Ayrıca literatürde radyasyonla ısı transferinin ihmal edildiği göz önüne alınarak, radyasyonla ısı transferi sayısal modele katılmamıştır. Sayısal çözüm sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımları incelendiğinde pişirme için gerekli sıcaklık dağılımının elde edildiği görülmüştür.

Tasarım tamamlandıktan sonra hava dağıtım kanalının plastik prototipi oluşturulmuştur. Bu prototip kullanılarak pitot tüpü ile debi ölçümü yapılmıştır. Deney sonuçları ile sayısal çözüm sonuçları karşılaştırıldığında, toplam debide %15,1 fark bulunduğu görülmüştür. Verboven vd. (1999a) yaptığı çalışmada ortalama %22 fark bulunmaktadır ve bu farkın kabul edilebilir olduğu belirtilmektedir.

Deneysel çalışmaların son bölümünde hava dağıtım kanalının metal prototipi kullanılarak fırın içi sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Statik mod ve tasarlanan hava dağıtım kanalında elde edilen sıcaklık dağılımı karşılaştırıldığında, hava dağıtım kanalı ile fırın genelinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Tepsı düzlemindeki sıcaklık dağılımları göz önüne alındığında; statik modun daha iyi sonuç verdiğı görülmektedir. Her iki durum için yapılan pişirme deneylerinin sonucunda, her iki yöntemle de istenilen yüzey kahverengileşmesine ulaşıldığı ve hava dağıtım kanalı kullanıldığı durumda pişirme süresinin 13 dk kısaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akdağ, L., Karataş, H., Çağlar, T., (2006), “Design Procedure for Air Distribution in Forced-Air Convection Ovens”, International Appliance Technical Conference
- Bosch Siemens Hausgeraete, (1982), “Baking Oven”, US4357522
- Bosch Siemens Hausgeraete, (1998), “Oven with a Blower”, EP0833110
- Bosch Siemens Hausgeraete, (2000), “Oven with Blower Assisted Circulation Promoting More Uniform Heating and Browning Even at Lower Air Flow Rates”, DE19831087
- Bozgeyik A., Akdağ L., Maraşlı M., (2005), Fırın Laboratuvarı Ölçüm Sistemi Analizi Raporu, Arçelik Ar-Ge raporu, İstanbul
- Bozgeyik, A., (2006), “Elektrikli Fırınlarda Enerji Tüketimini Azaltmaya Yönelik Yöntemlerin Deneysel Olarak Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Carson, K., Willix, J., North, M.F., “Measurements of Heat Transfer Coefficients within Convection Ovens”, Journal of Food Engineering, 72, 293-301
- DeWitt D.P., Incropera F.P., (2001), Isı Ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Electrolux, (1998), “Cooking Chamber with an Air Inlet and a Heating Element Arrangement”, EP0852317
- Hoffmann, K.A., Chiang, S.T., (2000), Computational Fluid Dynamics - Volume 1, Engeneering Education System, USA
- Mistry, H., Subbu, G., Dey, S., Bishnoi, P., Castillo, J.L., (2006), “Modeling of Transient Natural Convection Heat Transfer in Electric Ovens”, Applied Thermal Engineering, 26, 2448-2456
- Pordal, H.S., (2006), Practicing the Science Of Computational Fluid Dynamics, Stress Engineering Services, Inc
- Sakin, M., Kaymak, F., Ilıcalı, C., (2006), “Modeling the Moisture Transfer During Baking of White Cake”
- Shaughnessy, B.M., Newborough, M., (1999), “Energy Performance of a Low-Emissivity Electrically Heated Oven”, Applied Thermal Engineering, 20, 813-830
- Therdthai, N., Zhao, W., Adamczak, T., (2003), “Two-Dimensional CFD Modelling and Simulation of an Industrial Continuous Bread Baking Oven”, Journal of Food Engineering, 60, 211-217
- Thorvaldsson, K., Skjöldebrand, C., (1998), “Water Diffusion in Bread During Baking”, Lebensm-Wiss. u. Technol, 31, 658-663
- Verboven, P., Nicolai, B. M., Scheerlinck, (1997), “The Local Surface Heat Transfer Coefficient in Thermal Food Process Calculations A CFD Approach”, Journal of Food Engineering, 33, 15-35
- Verboven, P., Scheerlinck, N., Baerdemaeker, J. D., Nicolai, B. M., (1999a) “Computational Fluid Dynamics Modelling and Validation of the Isothermal Airflow in a Forced Convection

Oven”, *Journal of Food Engineering*, 43, 41-53

Verboven, P., Scheerlinck, N., Baerdemaeker, J. D., Nicolai, B. M., (1999b) “Computational Fluid Dynamics Modelling and Validation of the Temperature Distribution in a Forced Convection Oven”, *Journal of Food Engineering*, 43, 61-73

Wang, L., Sun, D.W., (2003), “Recent Developments In Numerical Modelling of Heating and Cooling Processes in the Food Industry”, *Trends in Food Science & Technology*, 14, 408-423

Whirlpool, (1996), “Fan-Assisted Oven with Improved Air Circulation”, EP0695915

Whirlpool, (2005), “Microwave Oven with Convection Heating”, EP1513375

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 14.10.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1997–2000 Üsküdar Halide Edip Adıvar Lisesi

Lisans 2000-2005 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği BölümüYüksek Lisans 2005-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı**Çalıştığı kurum(lar)**2005-Devam ediyor Arçelik AŞ. ARGE Akışkanlar Dinamiği
Teknoloji Ailesi