

3 TEPİLİ ENDÜSTRİYEL GIDA FIRINININ PİİLME
HACMI İÇİNDEKİ MOMENTUM VE ISIL
MEKANİZMALARININ FARKLI ÇALIŞMA
ŞARTLARINDA NÜMERİK İNCELENMESİ
Burak KİŞİN



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**3 TEPSİLİ ENDÜSTRİYEL GIDA FIRINININ PİŞİRME HACMİ İÇİNDEKİ
MOMENTUM VE ISIL MEKANİZMALARININ FARKLI ÇALIŞMA
ŞARTLARINDA NÜMERİK İNCELENMESİ**

Burak KİŞİN

0000-0003-0908-7977

Prof. Dr. A. Alper ÖZALP
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TERMODİNAMİK ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Burak KİŞİN tarafından hazırlanan “3 TEPİLİ ENDÜSTRİYEL GIDA FIRINININ PİŞİRME HACMI İÇİNDEKİ MOMENTUM VE ISIL MEKANİZMALARININ FARKLI ÇALIŞMA ŞARTLARINDA NÜMERİK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. A. Alper ÖZALP
ORCID-ID 0000-0002-4976-9027

Başkan: Prof. Dr. Tahsin ENGİN
ORCID-ID 0000-0002-7231-408X
Sakarya Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. M. Özgün KORUKÇU
ORCID-ID 0000-0002-4761-4304
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Enerji Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr.
Enstitü Müdürü
.././../(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

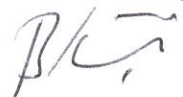
beyan ederim.

11.09.2020

İmza

Ad ve Soyadı

Burak KİŞİN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

3 TEPSİLİ ENDÜSTRİYEL GIDA FIRINININ PİŞİRME HACMİ İÇİNDEKİ MOMENTUM VE ISIL MEKANİZMALARININ FARKLI ÇALIŞMA ŞARTLARINDA NÜMERİK İNCELENMESİ

Burak KİŞİN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Termodinamik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Alper ÖZALP

Bu çalışmanın amacı öncelikli olarak üç tepsili endüstriyel gıda fırınında pişirme verimi artırmak üzere kullanılan fan ve ısıtıcıların pişirme üzerindeki etkisini nümerik incelemektir. Çalışma bilgisayar ortamında parametrik olarak iki farklı ısıtıcı ve iki farklı fan eğrisine sahip fan ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ısıtıcılar 1 ve 1,5 kW değerindedir. Fanlar ise aynı basınç farkı durumunda farklı debilerde akış sağlamaktadır. Fanların üfleme ağızları fırının arka tarafına üst üste paralel şekilde konumlandırılmıştır. Arkadan üflenilen havanın fırının ön camına çarptıktan sonra tepsi rafları ile fırın kabini arasında bulunan boşluktan emişi gerçekleştirilerek hava çevrimi sağlanmaktadır. Yukarıda belirtilen parametreler dışında fırının pişirme veriminin artırılması amacı ile fanların üfleme ağızlarının olduğu fırının arka yüzeyinde hareketli dikey kanatlar konumlandırılmıştır. Bu kanatlar pişirme sırasında belirli bir açıda hareket ederek fırın içindeki havanın nispeten daha soğuk olan bölgelerine ulaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada dikkate alınan diğer konu ise bu kanat hareketinin pişirmeye olan etkisidir. Bahsedilen unsurların etkisi ise tepsi yüzey sıcaklıklarının tespiti ile değerlendirilmektedir. Kanat açısının tepsi sıcaklığına olan etkisi bazı senaryolarda seçilen bölgelerde 5°C'ye kadar olumlu katkı sağlarken, bazı senaryolarda seçilen bölgelerde 5°C'ye kadar düşme gözlemlenmiştir. Bunun haricinde ısıtıcı ve fan kombinasyonlarının verime olan etkisinin olumlu olabilmesi için uyum halinde olması gerektiği görülmüştür. Düşük debili fan ve düşük kapasiteli ısıtıcı olan fırındaki en yüksek ve en düşük sıcaklık farkı 5,40°C derece iken fan debisinin yükseltilmesi bu farkı 3,61°C indirmektedir fakat ısıtıcı kapasitesinin yükseltilmesi ise sıcaklık farkını 5,91°C'ye kadar yükseltmektedir.

Anahtar Kelimeler: Homojen ısıtma, zorlanmış taşınım, tanjansiyel fan, turbo fırın, CFD

ABSTRACT

MSc Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT AND MOMENTUM MECHANISM OF INDUSTRIAL FOOD OVEN WITH 3 TRAYED UNDER DIFFERENT OPERATION CONDITIONS

Burak KİŞİN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Thermodynamics

Supervisor: Prof. Dr. A. Alper ÖZALP

The aim of this study is to numerically examine the effect of the fans and heaters used in the 3-tray industrial food oven to increase the cooking efficiency. The study was carried out parametrically with two different heaters and two different fan curves. The heaters used in the study are 1 and 1.5 kW. The fans provide flow at different flow rates in the same pressure difference. The blowing nozzles of the fans are positioned parallel to the back of the oven. Air circulation is ensured by absorbing the air blown from the back through the space between the tray shelves and the oven cabin after it hits the windshield of the oven. In order to increase the cooking efficiency of the oven, except for the above mentioned parameters, vertical blades are located on the back surface of the oven, where the fans have blowing nozzles. These wings are intended to move at a certain angle during cooking to deliver the air inside the oven to relatively cooler areas. Another issue considered in the study is the effect of this wing movement on cooking. The effect of the mentioned elements is evaluated by determining the tray surface temperatures. While the effect of the flap angle on the tray temperature contributes up to 5°C in the selected regions in some scenarios, a decrease of up to 5°C in the selected regions has been observed in some scenarios. Apart from this, it has been observed that the combination of heater and fan combinations must be in harmony in order to have a positive effect. While the highest and lowest temperature difference in the oven, which is a low flow fan and low capacity heater, is 5,40°C, increasing the fan flow decreases this difference to 3,61°C, but increasing the heater capacity increases the temperature difference up to 5,91°C.

Key Words: Homogeneous heating, forced convection, tangential fan, turbo oven, CFD

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında her türlü özveri ve desteği benden esirgemeyen, elindeki imkânları bana sunan sayın tez danışmanım Prof. Dr. A. Alper ÖZALP'e öncelikli olarak teşekkürü ve saygıyı bir borç bilirim. Bunun yanı sıra tez çalışmasını kendi bünyelerinde hazırlamama izin veren İNOKSAN A.Ş.'ye teşekkürlerimi iletirim.

Adı SOYADI
Burak KİŞİN
11...08/2020


İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	1
ABSTRACT	2
TEŞEKKÜR	3
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	6
ŞEKİLLER DİZİNİ	7
ÇİZELGELER DİZİNİ	9
1. GİRİŞ	10
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
2.1. KURAMSAL TEMELLER	12
2.1.1. SÜREKLİLİK VE MOMENTUM	12
2.2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. MATERYAL	17
3.1.1. FIRIN GEOMETRİSİ	17
3.1.2. PIŞIRME HACMİ	18
3.1.2. TEPŞİ	20
3.1.3. YÖNLENDİRİCİ KANAT	20
3.1.4. FAN	23
3.1.5. FAN EMİŞ-BASMA	26
3.1.6. ELEKTRİKLİ ISITICI	27
3.1.7. YALITIM MALZEMELERİ	29
3.1.8. FIRIN CAMI	29
3.2. YÖNTEM	30
3.2.1. TEMEL DENKLEMLER	30
3.2.2. BİRLEŞİK ISI TRANSFERİ	32
3.2.3. SAYISAL ÇÖZÜM TEKNİKLERİ	32
3.2.4. ÇÖZÜM AĞI	33
3.2.5. 2 KADEMELİ DUVAR FONKSİYONU MODELİ	34
3.2.6. UZAYSAL YAKLAŞIM	35
3.2.7. HESAPLAMAYI SONLANDIRMA	36
3.2.8. SICAKLIK BELİRLEME NOKTALARI	37
3.2.9. TEPŞİ ÜSTÜ SICAKLIK DEĞERLERİ	38
3.2.10. HAVA AKIŞ YÖNLENDİRME KANATLARININ AÇISAL HAREKETİ	39
3.2.11. ELEKTRİKLİ ISITICI KONTROLÜ	40
3.2.12. FAN KONTROLÜ	40
3.2.13. ANALİZ SONLANDIRMA	42
3.2.14. AĞDAN BAĞIMSIZLIK ÇALIŞMASI	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. TEPŞİ YÜZEYİ SICAKLIKLARI	49
4.1.1. DÜŞÜK KAPASİTELİ ISITICI VE DÜŞÜK KAPASİTELİ FAN	49
4.1.2. DÜŞÜK KAPASİTELİ ISITICI VE YÜKSEK KAPASİTELİ FAN	52
4.1.3. YÜKSEK KAPASİTELİ ISITICI VE DÜŞÜK KAPASİTELİ FAN	55
4.1.4. YÜKSEK KAPASİTELİ ISITICI VE YÜKSEK KAPASİTELİ FAN	58
4.2. AKIM ÇİZGİLERİ	63
5. SONUÇ	68

KAYNAKLAR	70
EKLER.....	72
Ek 1 AISI 304 Paslanmaz Çelik Özellikleri.....	73
Ek 2 Fan Geometrik Ölçüleri	74
Ek 3 Taş Yünü Özellikleri.....	75
Ek 4 GN Normu Tepsi Ölçüleri	76
Ek 5 Ağdan Bağımsızlık Sonuçları.....	77
Ek 6 dk1 ve dkf Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları	78
Ek 7 dk1 ve ykf Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları	79
Ek 8 yk1 ve dkf Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları	80
Ek 9 yk1 ve ykf Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları	81
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Yüzey alanı [m^2]
c	Özgül ısı [$\text{kJ}/(\text{kg K})$]
$\dot{e}$	Birim kütle için birim zamanda enerji üretimi [W/m^3]
h	Isıl taşınım katsayısı [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$]
k	Isıl iletkenlik katsayısı [$\text{W}/(\text{m K})$]
L	Uzunluk [m]
R	Isıl direnç [K/W]
r	Yarıçap [m]
T	Sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
t	Zaman [s]
u,v	Hız [m/s]
y,z,x	Mesafe [m]
α	Isıl yayılım katsayısı [m^2/s]
λ	Isıl iletim tensörü
μ	Dinamik viskozite [$\text{kg}/(\text{m s})$]
ρ	Yoğunluk [kg/m^3]
τ	Kayma gerilmesi [N/m^2]
ϕ	Açı [derece]

Kısaltmalar

kW	Kilowatt
Ma	Mach sayısı
CFD	Computational fluid dynamics
DKI	Düşük kapasiteli ısıtıcı
YKI	Yüksek kapasiteli ısıtıcı
DKF	Düşük kapasiteli fan
YKF	Yüksek kapasiteli fan

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Fırın genel görünümü.....	17
Şekil 3.2. Pişirme hacmi ön görünüş.....	18
Şekil 3.3. Fırın yan kesit görünüşü	19
Şekil 3.4. Pişirme hacmi ve tepsi genel görünüşü.....	19
Şekil 3.5. GN 1/1 tepsi	20
Şekil 3.6. Tepsi modeli	20
Şekil 3.7. Hava yönlendirme kanatları ön görünüşü	21
Şekil 3.8. Kanat ön görünüş (tepsi ile birlikte)	21
Şekil 3.9. Kanat genel görünüş (tepsi ile birlikte).....	22
Şekil 3.10. Hava yönlendirici kanat	22
Şekil 3.11. Radyal Fan	23
Şekil 3.12. Radyal Fan Modeli.....	23
Şekil 3.13. Fan Konumu Ön Görünüş	24
Şekil 3.14. Fan Konumu Genel Görünüş	24
Şekil 3.15. Düşük kapasiteli fan eğrisi.....	25
Şekil 3.16. Yüksek kapasiteli fan eğrisi	25
Şekil 3.17. Fan eğrileri	26
Şekil 3.18. Fırın arkası fan emiş ve basma yüzey boşluğu	27
Şekil 3.19. Elektrikli ısıtıcı.....	27
Şekil 3.20. Elektrikli ısıtıcı model.....	28
Şekil 3.21. Isıtıcı konumu genel görünüş	28
Şekil 3.22. Isıtıcı konumu genel görünüm	29
Şekil 3.23. Kabin yalıtımı	29
Şekil 3.24. Katı/akışkan ara yüzeyindeki sayısal ağ yapısı.....	34
Şekil 3.25. Analiz gruplandırması.....	36
Şekil 3.26. Sıcaklık noktaları 3 tepsi ve fırın görünümü	37
Şekil 3.25. Sıcaklık noktalarının isimlendirmesi	38
Şekil 3.26. Tepsi sıcaklık değerlendirme şeması	39
Şekil 3.27. Farklı kanat açılarının görünümü.....	40
Şekil 3.28. Yüksek kapasiteli fan eğrişinin sayısal veri girişi	41
Şekil 3.29. Düşük kapasiteli fan eğrisinin sayısal veri girişi	41
Şekil 3.30. Fan emiş ve üfleme bölgeleri.....	42
Şekil 3.29. Analiz sonlandırma kriter şeması.....	43
Şekil 3.30. Mesh yapısı yan kesit (646 753 eleman).....	45
Şekil 3.31. Mesh yapısı yan kesit detayı (646 753 eleman).....	45
Şekil 3.32. Mesh yapısı ön kesit (646 753 eleman)	46
Şekil 3.33. Mesh yapısı üst kesit (646 753 eleman).....	46
Şekil 3.34. Mesh yapısı yan kesit (782 460 eleman).....	47
Şekil 3.35. Mesh yapısı yan kesit detayı (782 460 eleman).....	47
Şekil 3.36. Mesh yapısı ön kesit (782 460 eleman)	48
Şekil 3.37. Mesh yapısı üst kesit (782 460 eleman).....	48
Şekil 4.1. Düşük kapasiteli ısıtıcı, düşük kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları	50
Şekil 4.2. Düşük kapasiteli ısıtıcı, yüksek kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları	53

Şekil 4.3. Yüksek kapasiteli ısıtıcı, düşük kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları	56
Şekil 4.4. Yüksek kapasiteli ısıtıcı, yüksek kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları	59
Şekil 4.5. Fırın içi debi ölçüm yüzeyleri görüntüsü	62
Şekil 4.6. Kanat açılarına bağlı akım çizgileri	64
Şekil 4.7. Analizlerin, fırın orta kesitinden hava yoğunluk, sıcaklık, hız konturları	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. DKI ve DKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri.....	51
Çizelge 4.2. DKI ve DKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları.....	52
Çizelge 4.3. DKI ve DKF fırında tepsi sıcaklık değerleri.....	52
Çizelge 4.4. DKI ve YKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri.....	54
Çizelge 4.5. DKI ve YKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları.....	54
Çizelge 4.6. DKI ve YKF fırında tepsi sıcaklık değerleri.....	55
Çizelge 4.7. YKI ve DKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri.....	57
Çizelge 4.8. YKI ve DKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları.....	57
Çizelge 4.9. YKI ve DKF fırında tepsi sıcaklık değerleri.....	58
Çizelge 4.10. YKI ve YKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri.....	60
Çizelge 4.11. YKI ve YKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları.....	60
Çizelge 4.12. YKI ve YKF fırında tepsi sıcaklık değerleri.....	61
Çizelge 4.13. Düşük kapasiteli ısıtıcı fırınların fan kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması.....	61
Çizelge 4.14. Yüksek kapasiteli ısıtıcı fırınların fan kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması.....	61
Çizelge 4.15. Düşük kapasiteli fanlı fırınların ısıtıcı kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması.....	61
Çizelge 4.16. Yüksek kapasiteli fanlı fırınların ısıtıcı kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması.....	62
Çizelge 4.17. Fırın içi debi ölçüm yüzey alanları ve debi değerleri	63
Çizelge 4.18. Isıtıcı ve fan kapasitelerine göre fırınlardaki üst ve alt fanların giriş-çıkış basınçları ve debileri	65

1. GİRİŞ

Hem ev içi tekil kullanıcılar olarak hem de sanayide çeşitli pişiriciler aktif olarak kullanılmaktadır. Bunlar ocak, fırın vb. şekillerde kullanım koşul ve amaçlarına göre çeşitlenmektedir. Mevcut pişirme çözümleri arasında fırınlar, homojen ısı ve sıcaklık dağılımı sağlayabildiği için verimli pişirme sağlamaktadır.

Günümüzde, dünyadaki en önemli sorunlardan biri enerjinin verimli şekilde elde edilmesi ve kullanılmasıdır. Üretim sorunu ile baş edebilmek için alternatif enerji kaynaklarına ve üretim yöntemlerine başvurulmaktadır. Enerjinin kullanım noktasında ise endişe edilen nokta ise verimdir. Mevcut tüketim alanlarının hepsinde elde olan enerjinin verimli şekilde tüketilmesi ana endişe unsuru olmaktadır.

Gıda sektörü bütün aşamalarında yoğun olarak enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu aşamaların sonuncu olan pişirmede ise ana enerji tüketim kaynağı pişiricilerdir. Pişiriciler doğalgaz, kömür, odun gibi doğal kaynaklardan kullanacağı ısıyı elde edebildiği gibi aynı zamanda elektrik de kullanmaktadır.

Fırınlar, kapalı bir hacmin çeşitli ısı kaynaklarıyla ısıtılması ile elde edilen sıcak ortamın pişirme hacmi olarak kullanılmasıyla ortaya çıkmış pişirme yöntemidir. Fırınların pişirme sürecinde yüksek sıcaklıklara çıkılmaktadır. Yüksek sıcaklıklara çıkılması ise çok fazla enerji tüketilmesi anlamına gelmektedir. Eldeki mevcut ısının verimli kullanılması aşamasında ise yalıtım malzemeleri öncelikli önlem olmaktadır. Bunların yanında enerjinin verimli kullanımı ve daha iyi pişirme elde etmek amacıyla ısınmış havanın homojen dağılımını sağlamak için fan gibi hava yönlendiricileri ve karıştırıcıları kullanılmaktadır.

Bu alandaki akademik çalışmalara bakıldığında ise çeşitli parametrelerin özellikle konu edildiği veya bir bütün olarak ele alınan çalışmalar görülmektedir.

Çalışmaların bir kısmı öncelikli olarak yalıtımın enerji tüketimine olan etkisini veya yalıtım verimini incelemiştir. (Sari ve ark. 2003, Altun ve ark. 2019)

Fırın verimliliğini araştırırken yapılan bazı çalışmalarda ise fırın performans parametresi olarak pişen ürünün BI (Browning index) üzerinden değerlendirilmesi yapılmıştır. (Kokolj ve ark. 2017, Seo ve ark. 2019)

Fan aracılığı ile zorlanmış taşınım mekanizmasını kullanan fırınlarda ise ağırlıklı olarak akışın yönlendirilmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. (Rek ve ark. 2012, Diaz-Ovalle ve ark. 2017)

Fan ve ısıtıcı performansını birlikte değerlendiren çalışmalar da araştırma bu alanda görülmektedir. Bu çalışmaların bazıları parametriklerdir. (Melike ve ark. 2009, Park ve ark. 2018). Bazı çalışmalar ise sadece çalışmaya konu olan fırını nümerik veya deneysel inceleyip fırın üzerinde performans değerlendirmesinde bulunmuştur. (Kim ve ark. 1998, Illés ve ark. 2009, Illés 2010, Lau ve ark. 2012, Illés ve ark. 2014, Najib ve ark. 2015) Bu çalışmaların yanında sadece optimizasyon noktasında daha doğru yaklaşımlar sergilemek için yöntem araştırmaları da literatüre dahil edilmiştir. (Pask ve ark. 2014)

Yapılan bu çalışmada ise yalıtım ve fan gibi unsurların yanı sıra havayı yönlendirmek amacıyla hareketli yönlendirici kanatlar kullanılmaktadır. Tasarımın verimlilik noktasında ise günümüzde akademik alanda ve sanayide sıklıkla başvurulmuş hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile yapılmıştır. Parametrik olarak farklı ısıtıcı ve fan güçlerinin yanında farklı yönlendirici kanat açılarında tepsi yüzeyi sıcaklıklarının tespit edilip bu değerlerin karşılaştırılması ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda tepsiler hem birbirleri arasında hem de kendi içlerinde elde edilen en homojen dağılım göz önünde bulundurulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kuramsal Temeller

2.1.1. Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri

3 boyutlu kartezyen koordinatlarda süreklilik denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

3 boyutlu kartezyen koordinatlarda sıkıştırılamaz akışlar için Navier-Stokes denklemi:

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (2.2)$$

2.2. Kaynak Araştırması

Kim ve ark. yaptığı çalışmada 2 boyutlu olarak geri akışlı infrared bir fırının sayısal analizi yapılmaktadır. Ayrıca sonuçların doğrulanması için gerçek hayat modeli kullanılmış ve sonuçlar yüksek dereceli yakınlık göstermiştir. Sonuç olarak ise radyasyon, taşıyıcı bant hızı, hava hızı gibi faktörlerin işlem verimi açısından önemli olduğu bulunmuştur. (Kim ve ark. 1998)

Illés ve ark. fırın merkezinden itibaren çeşitli noktalardaki ısı transferi katsayısı ölçümleri sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan deneyde ölçüm noktaları arasındaki sıcaklık değişimlerine bakılmıştır. Sonuç olarak ise değerlendirme radyal konum açısından farklı konumlardaki ısıtma kapasiteleri ölçülüp değerlendirilmiştir. Analizlerde bulunan sonuç ise duvarlara paralel ölçüm noktalarındaki noktaların duvara dik konumda olan noktalara göre daha yüksek ısı transfer katsayısına sahip olduğudur. Ayrıca karşılıklı duran duvar dibindeki noktaların ise asimetriden dolayı ısı kapasiteleri arasında büyük farklar olduğu gözlemlenmektedir. (Illés ve ark. 2009)

Sakin ve ark. tarafından yapılan çalışmada nümerik olarak analiz yapılması durumunda kullanılabilecek olan iki farklı metodun deneysel veriler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma ise fırın içindeki yüzeyler üzerindeki bileşke ısı transferi katsayısı ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler 70°C-200°C arasındaki fırın sıcaklıkları ile ve “fanlı”, “fansız” ısıtma seçenekleri ile gerçekleştirilmiştir. Ardından bu veriler bilgisayar

üzerindeki tasarımlarla “Lumped capacity” ve “Time-Temperature Matching” metodu ile gerçekleştirilen nümerik çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iki metodunda iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmekle beraber sistemde katıların iç dirençlerinin de hesaba katılması durumunda “Time-Temperature Matching Method” kullanımının daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmüştür. (Sakin ve ark. 2009)

Illés bu çalışmada, gaz akış matrisine sahip geri akışlı fırının ısı transfer katsayısının tespiti ve ölçümü ile ilgili yöntemler tartışılmaktadır. Yapılan deneylerde sıcaklık farkları ölçülmüş ve ısı transfer katsayısını hesaplamak için ısı denklemleri kullanılmıştır. İlk aşamada ısıtıcı gaz akışı, yüksekliğin bir fonksiyon olarak alındığı durum ele alınmıştır. İkinci aşamada ise gaz akış hatları karşılaştırılmış ve ısı taşınım katsayılım dağılımları değerlendirilmiştir. Son durumda ise bilgisayar hesaplamaları gerçek üretim modelindeki verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak görülmektedir ki, h değerinin yüksekliğe bağlı değişimi çok fazladır ve doğrusal hat üzerinde farklı gradyenlere sahiptir. (Illés 2010)

Lau ve ark. yaptığı çalışmanın amacı geri akışlı fırın için termal bir model geliştirmek ve bu modeli gerçek hayat deneyi ile kıyaslayarak doğrulamak. Sonuç olarak görülmektedir ki fırın içinde ısıtma işlemi gerçekleştirecek yapının yüzeysel karmaşıklığına bağlı olarak akışta, dolayısıyla ısı transfer katsayısında çok fazla değişiklik yaşanmaktadır. Bulunan diğer bir sonuç ise taşıyıcı bant hızının azaltılması içerde ısı işlem uygulanan üründe oluşan sıcaklık farkının da azalması ise sonuçlanması. Fakat bant hızının belirli bir değerin altındaki değerlere düşmesi durumunda aşırı sıcaklık birikmesi olup istenmeyen sonuçlara da yol açabileceği gözlemlenmiştir. (Lau ve ark. 2012)

Rek ve ark. tarafından yapılan çalışmada elektrikli ısıtıcıya sahip fırının, geometrik parametreleri ve fırının içine hava çevrim fanı konması ile birlikte oluşan verim artışı nümerik şekilde incelenmiş ardından sonuçlar deneysel olarak karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır. Toplam 4 tane olan analizlerin ilkinde tek tepsi, sadece ısıtıcı kullanılırken, iki modelde ısıtıcı ve hava çevrim fanı ile birlikte farklı hava yönlendirme plakası kullanılmış, son modelde 2 tepsili durumda ısıtıcı ve hava çevrim fanı analiz edilmiştir. Sonuç olarak fırın geometrisinin, ısıtıcı gücünün, fan karakteristiğinin ve izolasyon seçiminin fırın tasarımında etkili olduğu görülmüştür. (Rek ve ark. 2012)

Sari ve ark. ev tipi fırınlarda kullanılan yalıtım malzeme seçiminin enerji tüketimi üzerine deneysel olarak çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada 2 farklı yalıtım malzemesi ve bunlara bağlı 3 farklı yalıtım seçimi yapılmıştır. Referans tasarımı ile beraber 4 farklı tipte fırın 3 farklı fırın içi sıcaklığı ile ölçümler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en iyi sonuçları veren yalıtım tasarımının enerji tüketimini %4,5'e kadar azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. (Sari ve ark. 2013)

Illés ve ark. bu çalışmada geri gaz akışlı konveksiyon fırın sayısal olarak incelenmektedir. Çalışmada göz önünde bulundurulacak parametreler; bileşen boyutları, taşıyıcı bandın konumu, gaz akışı sağlanan alanlar arasındaki havalandırma davlumbazlarıdır. Çalışmada görülmektedir ki gaz akışı iki yanal akış halinde şekillenmektedir. Bu akış laminar olmakla birlikte merkezde düşük, giriş-çıkış bölgelerinde ise yükselen profil göstermektedir. x-z kesitine göre x-y kesiti daha homojen bir gaz akışının gerçekleştiği tespit edilmiştir. x doğrultusunda boyunca ısı transfer katsayısı çok fazla değişim gösterirken, y doğrultusunda neredeyse homojenlik söz konusudur. Bölgeler arasındaki havalandırma davlumbazlarının etkisi önemsenmeyecek kadardır. x doğrultusu boyunca asimetric bileşen yerleşimi dikkate değer şekilde yanal gaz akışını kart üzerinde değiştirirken alt kısımda ise dikkate değer bir değişim olmamaktadır. Diğer taraftan y doğrultusunda ise bu duruma bakıldığında zaman tam tersi sonuçlar alınmaktadır. Yüksek bileşenler ise yanal akışları x doğrultusunda bozduğu görülürken y doğrultusunda bir değişim gözlenmemiştir. (Illés ve ark. 2014)

Pask ve ark. endüstriyel fırınlardaki enerji tüketiminin optimize edilmesi konusunda sistematik bir yaklaşım konusunda çalışma yapmıştır. Bu yaklaşımda optimize edilmek istenen sistem genel olarak 5 farklı basamağa ayrılmıştır. Bu aşamalar: Tanımlama, Ölçüm, Analiz, İyileştirme ve Kontrol şeklindedir. Tanımlama aşamasında sistemin genel olarak bileşenlerinin tanımlanması, ölçüm kısmında optimizasyona etki edecek değişikliklerin değerlerinin bulunması, analiz kısmında ölçümdeki parametrelerin birbiri ile olan bağlantısı, iyileştirme kısmında değişikliklerin uygulanması ve kontrol kısmında ise yapılan iyileştirmenin uygulanıp değerlendirmeye alınması ile ilerlemektedir. (Pask ve ark. 2014)

Najib ve ark. infrared ısıtıcıya ve sirkülasyon fanına sahip geri dönüşümlü fırının numerik ve deneysel olarak sıcaklık dağılımı incelemiştir. Çalışmada üst bölgeye ve üst bölgedeki infrared ısıtıcıya yakın konumdaki tepsinin sıcaklık olarak daha yüksek çıktığı, bunun dışında fana yakın gölgelerde sıcaklığın daha yüksek ve tabanda bulunan hava çıkış bölgesinde ve fırının ön bölümünde sıcaklığın düştüğü gözlemlenmiştir. (Najib ve ark. 2015)

Diaz-Ovalle ve ark. yaptığı çalışmada konveksiyon fırınlarındaki ön ısıtma süresinin kısaltılmasına dair nümerik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu ön ısıtma süresinin kısaltılması amacı ile hava dağıtıcı fanın önünde bulunan yönlendirme plakasının geometrisinin çeşitli varyasyonları denenmiştir. Yapılan nümerik çalışma aynı zamanda deneysel olarak da veri anlamında karşılaştırması yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu nümerik ve deneysel çalışmada iki farklı ısıtıcı sıcaklığı kullanılmış ve veriler fırın içi duvar yüzeylerinden alınmıştır. 6 farklı yönlendirme plakasının kullanıldığı çalışmada büyük çaplı dairesel plakanın en iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. (Diaz-Ovalle ve ark. 2017)

Kokolj ve ark. tarafından yapılan çalışma ağırlıklı olarak fan örtüsü tasarımı üzerinedir. Öncelikli olarak fan örtüsü tasarımı değiştirilmeden deneysel olarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ardından ise bilgisayar ortamında modelleme gerçekleştirilip hem gerçek hayat ile karşılaştırma hem de fan örtüsü tasarım verimleri değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sırasında kriter ise fırın hacmi içindeki kurabiye'nin pişme sırdaşındaki esmerleşmesi ile optik olarak yapılmıştır. Sonuç olarak ise farklı noktalardan hava akışına zorlayan fan örtüsünün pişirme (%25,9 düşük esmerleşme farkı) homojenliğini artırdığı görülmüştür. (Kokolj ve ark. 2017)

Park ve ark. tarafından yapılan çalışmada farklı fan ve ısıtıcı parametreleri kullanarak ön ısıtma, pişirme ve izolasyon verimleri nümerik olarak değerlendirilmiş ve bu çalışmalar deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sonuç olarak ise ısıtıcı güç oranı ve ısıtıcı iş oranlarının azalması güç tüketimi ve ön ısıtma süresinin arttırdığı görülmüştür. Isıtıcı güç oranının 1.0'e yakın olması en optimal sonucu vermektedir. Bununla birlikte fan devrinin değişmesi tüketim ve ön ısıtma süresinde önemli bir değişikliğe sebep

olmamaktadır. Son olarak ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğinin öz ısısına oranla ön ısıtma süresince enerji tüketiminde daha önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. (Park ve ark. 2018)

Altun ve ark. tarafından yapılan deneysel çalışmada fırın kapağına alüminyum plaka koyarak enerji tüketiminde azalma değerleri araştırılmıştır. Deneylerde kaplamasız kapak, tamamen kaplı kapak ve üstüne pencere açılmış kapak kullanılmıştır. Bunun haricindeki diğer bir parametre ise fırın içi sıcaklıktır. Sonuç olarak ise tamamen kapalı ve pencere açılmış deneyler arasında çok fark olmamakla birlikte kapak üstüne konulan alüminyum plakanın enerji tüketiminde %12'ye kadar iyileşme sağlanabildiği gözlemlenmiştir. (Altun ve ark. 2019)

Seo ve ark. bu çalışmada, ev tipi fırının, esmerleşme indeksi kullanılarak pişirme tekdüzeliği elde etme amacıyla tasarım çalışmaları yapmıştır. Öncelikli seçilen tasarımın deneysel çalışması gerçekleştirilmiş ve fırın içindeki belirlenen noktalara yerleştirilen gıdanın esmerleşme değerleri ve fırın içi sıcaklık değerleri okunmuştur. Deneysel çalışmanın ardından nümerik çalışmanın daha iyi sonuç vermesi amacıyla ısıtıcı için aç/kapa algoritması geliştirilmiştir. Deneysel/Nümerik uygunluk elde edildikten sonra sıcaklık tekdüzeliğini iyileştirmek amacı ile hava çıkış bölgelerini geometrik olarak değişimi yapılmıştır. Sonuç olarak çıkış bölgelerinin simetri dışı tasarımlarının sistem üzerinde olumlu etki yaptığı görölmüştür. (Seo ve ark. 2019)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal başlığı altında teze konu olan geometrik unsurlar açıklanacaktır. Bu amaçla ise her türlü geometrik ölçülendirme, malzeme seçimi, verilerin sayısallaştırılması yapılmıştır.

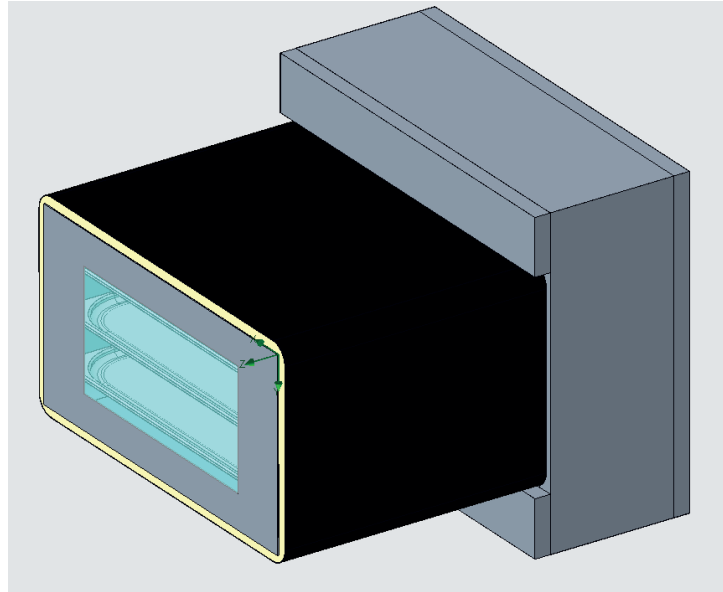
Yöntem kısmında ise sırası ile kullanılan CFD programının temel denklemleri, çözüm sırasında kullandığı bağıntılardan bahsedilecek sonrasında ise analizdeki sınır koşulları, varsayımlar ele alınacaktır.

3.1. Materyal

Materyal bölümünde teze konu olan fırının ve içindeki unsurların her türlü boyut ve kapasite değerleri ile bu verilerin sayısal karşılıklarından bahsedilecektir.

3.1.1. Fırın geometrisi

Şekil 3.1’de görülen tasarımı ve analizi yapılan geometri, elektrikli ısıtıcı ve radyal fana sahip zorlanmış taşınım ile pişirme işlemini gerçekleştiren, üç tepsili, endüstriyel tip turbo fırındır. Aynı zamanda pişirme performansını artırmak amacıyla fanın üfleme ağzının bulunduğu fırının arka yüzeye konumlandırılmış ve dikey ekseninde açısal hareket edebilen kanatçıklar yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Fırın genel görünümü

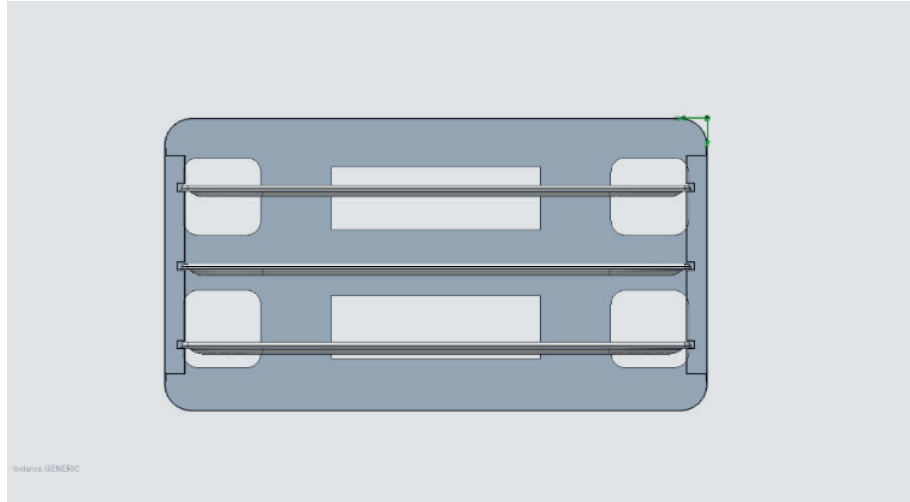
3.1.2. Pişirme hacmi

Fırın üst üste dizili şekilde 3 tepsi alabilecek şekilde tasarlanmıştır. Aynı zamanda yan yüzeylerde bulunan tepsi tutma saclarının ön yüzeyinden ise hava emişi sağlanmaktadır.

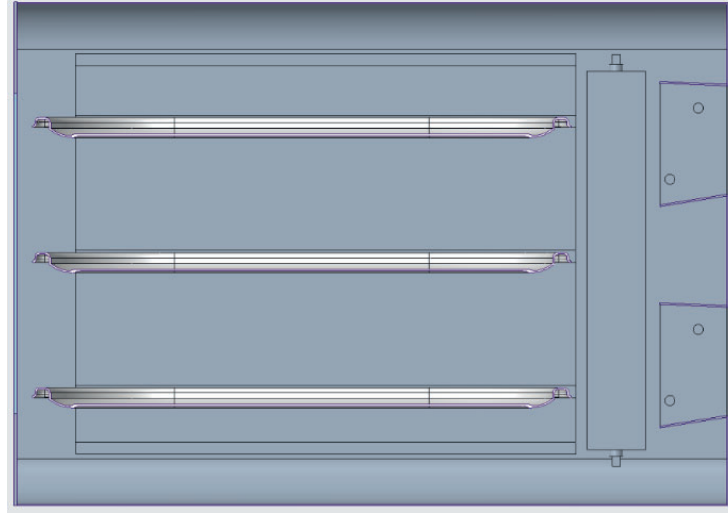
Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de görüldüğü gibi fırın tepsi rafı ve hava geri dönüş kanalı olarak kullanılan sac dahil fırının toplam genişliği 558 mm’dir. Yükseklik 300 mm, derinlik ise 425 mm’dir.

Tepsiler arası mesafe eşit ve 69 mm’dir. Tepsi ön yüzeyi ile kapak arasındaki mesafe 9 mm’dir. Bunun dışında hava geri dönüş kanalının yüksekliği 224 mm, genişliği ise 20 mm’dir. Kanalin kapak ile olan mesafesi 35 mm’dir. Kanalin fırın içi alttan, üstten mesafesi eşit 37,2 mm’dir.

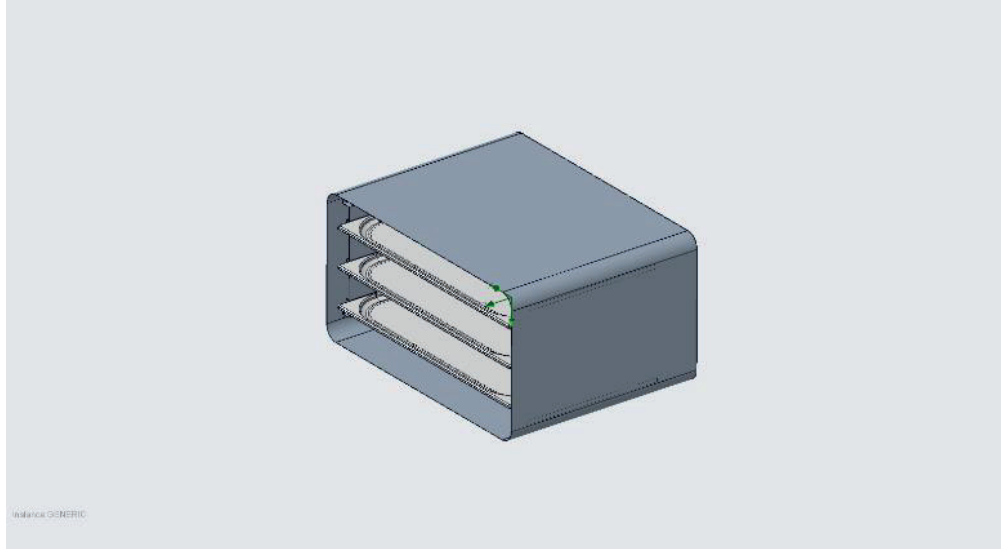
Fırının alt yüzeyi ve alt tepsi arasındaki mesafe 58 mm’dir. Fırının üst yüzeyi ile üst tepsi arasındaki mesafe 68,2 mm’dir.



Şekil 3.2. Pişirme hacmi ön görünüş



Şekil 3.3. Fırın yan kesit görünüşü



Şekil 3.4. Pişirme hacmi ve tepsi genel görünüşü

Fırında gövde ve tepsi 0,8 mm kalınlığında AISI 304 tip paslanmaz çelik kullanılmıştır. Gövde malzemesine yüzey parlatma işlemi uygulanmıştır.

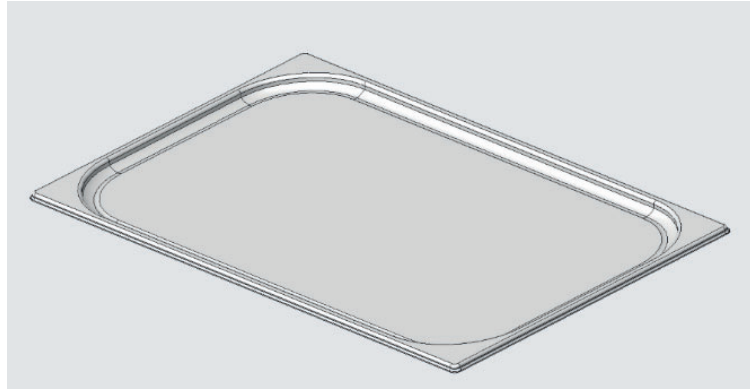
AISI 304 tip paslanmaz çeliğin termal özellikleri ve yüzey kalitesi bilgileri Ek1’de verilmiştir.

3.1.2. Tepsi

Şekil 3.5’deki tepsi AISI304 paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Tepsi ölçüleri gastronomi normlarda GN1/1 boyutlarında, derinliği 10 mm ve analizlerde kullanılan tepsi modellemesi bu norm üzerinden gerçekleştirilmiştir ve Şekil 3.6’deki gibidir.



Şekil 3.5. GN 1/1 tepsi



Şekil 3.6. Tepsi modeli

Gastronomik Normdaki tepsi ölçüleri Ek4’te verilmiştir.

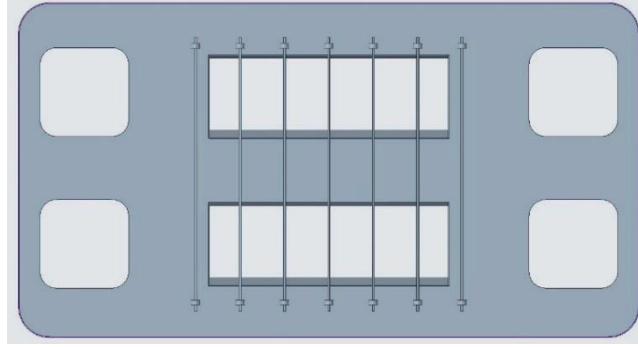
3.1.3. Yönlendirici kanat

Kanatlar fırın gövdesinde olduğu gibi AISI 304 tipi paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Fırın aynı zamanda arka yüzeyinde bulunan hareketli, dikey kanatçıklar sayesinde fırın

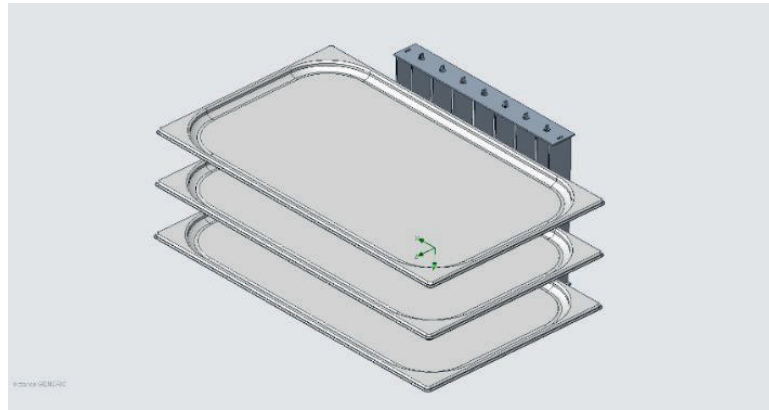
içerisinde dolaşımı olan sıcak havayı tepsiler üzerine dağıtarak olabilecek en homojen ısı dağılımını gerçekleştirmeye çalışmaktadır.

Yönlendirici kanatların fırındaki yerleşimi Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'daki gibidir. Tepsi arka yüzeyi ile dik konumdaki yönlendirici kanatlar arasındaki mesafe 9,5 mm'dir. Dik konumda duran yönlendirici kanatlar ile fan üfleme ağzı arasındaki mesafe ise 8,7 mm'dir.

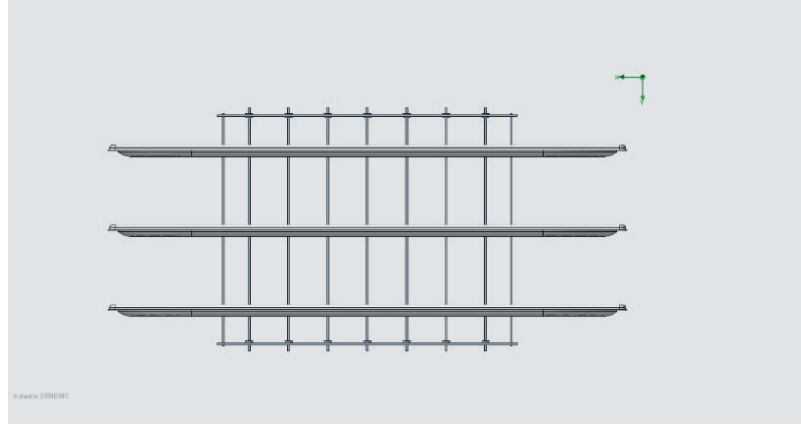
Yönlendirici kanatların fırının alt yüzeyinden mesafesi 32,8 mm, fırının üst yüzeyinden olan mesafesi ise 40,2 mm'dir. Kanatların fırın yan yüzeylerinden ise uzaklığı sağ ve soldan eşit şekilde 158 mm'dir.



Şekil 3.7. Hava yönlendirme kanatları ön görünüşü

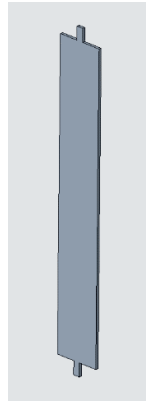


Şekil 3.8. Kanat ön görünüş (tepsi ile birlikte)



Şekil 3.9. Kanat genel görünüş (tepsi ile birlikte)

Kanatlar uzun kenarı dikey olacak şekilde paralel olarak yan yana konumlandırılmıştır. Şekil 3.10.'daki modellenmiş kanat ölçüleri 35 mm. x 227 mm'dir. Kanatlar toplamda 7 tanedir ve kanatlar arasındaki boşluk 38 mm'dir.



Şekil 3.10. Hava yönlendirici kanat

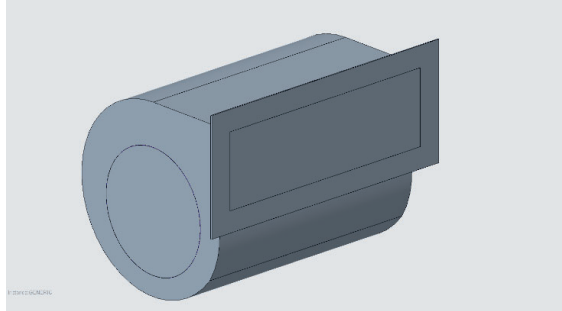
3.1.4. Fan

Fan geometrik ölçüleri ve performans değerlerine ait veriler ebm-papst firmasından alınmıştır.

Şekil 3.11’de görülen fan, analiz için Şekil 3.12’deki CAD ortamında modellenip kullanılmıştır.



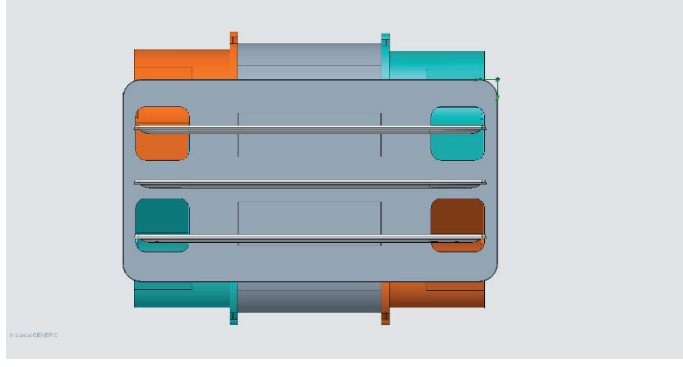
Şekil 3.11. Radyal Fan



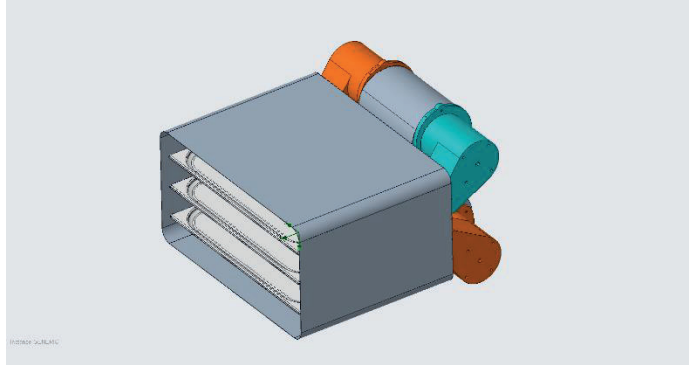
Şekil 3.12. Radyal Fan Modeli

Fanın geometrik ölçüleri Ek2’de belirtildiği gibidir.

Fırında pişirme alanının arka yüzeyine yatay olarak yerleştirilmiş biri üst kısımda biri ise alt kısımda olmak üzere iki adet radyal fan bulunmaktadır. Fanlar Şekil 3.13 ve 3.14’deki gibi kanatların konumlandırıldığı yüzeyden üfleme yapıyor, emiş ise fırının iki yanında bulunan emiş kanallarından sağlanmaktadır.

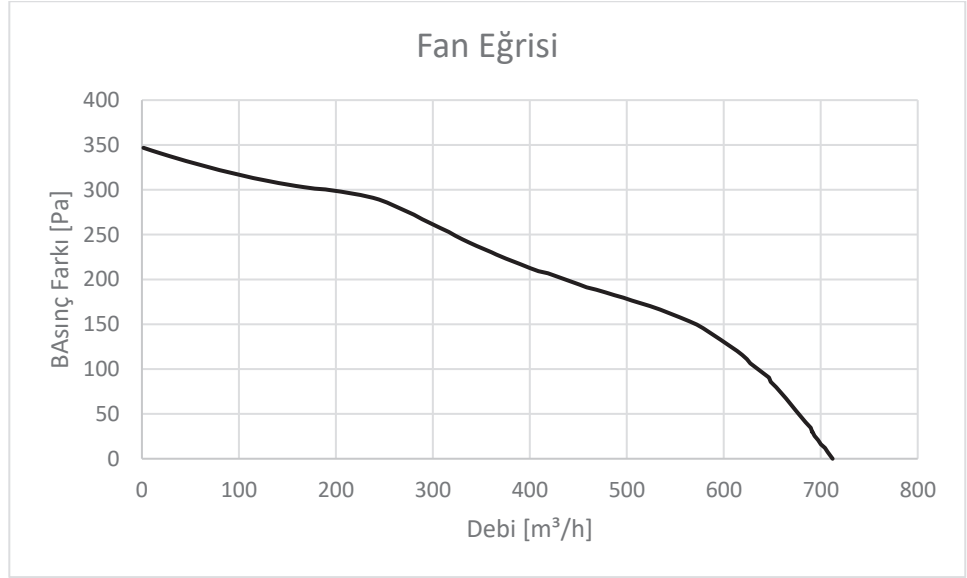


Şekil 3.13. Fan Konumu Ön Görünüş

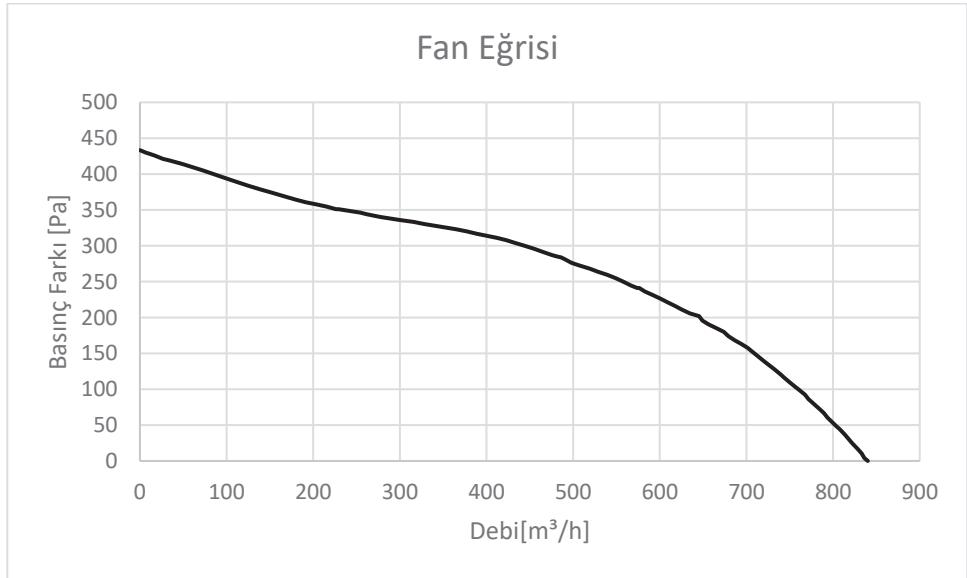


Şekil 3.14. Fan Konumu Genel Görünüş

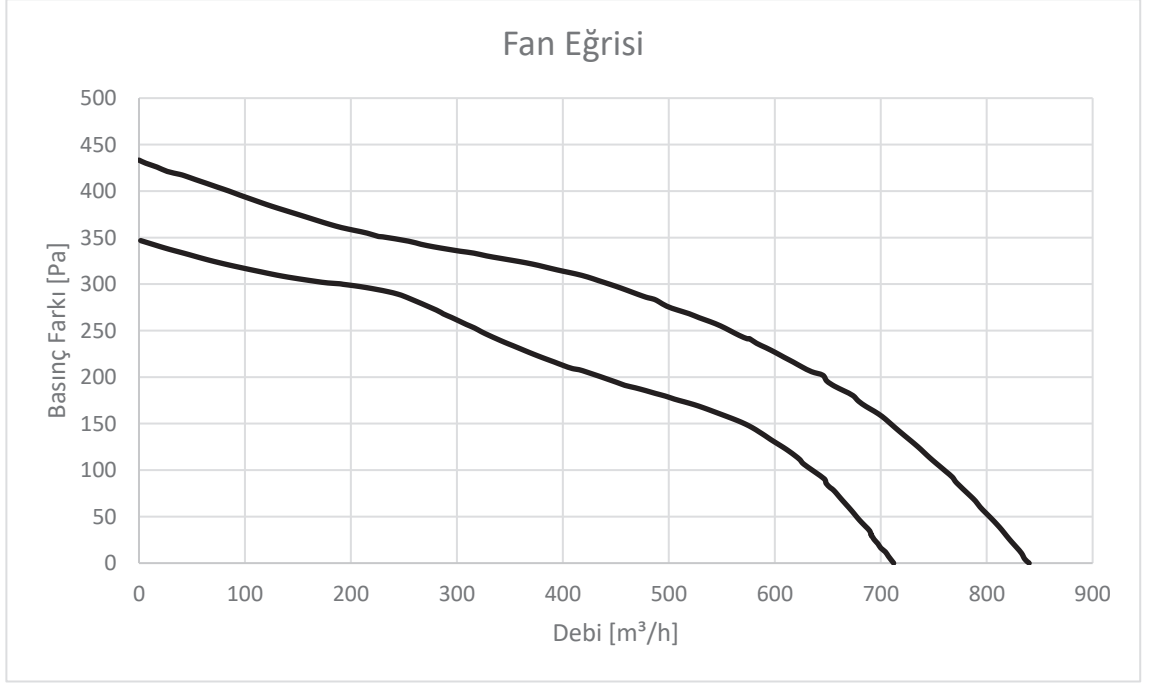
Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'daki fan eğrileri tek bir grafik altında birleştirilmesi durumunda ise Şekil 3.17'deki grafik ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.17'den görüldüğü üzere fanlardan biri daha yüksek basınç farkı değerlerinde çalışabilmekte ayrıca daha yüksek debi üretebilmektedir. Bunun yanında fanlar arasındaki temel fark ise aynı basınç farkı değerinde birinin sağladığı hava debisi diğerine göre daha fazladır. Tezin bu noktasından sonra zaman zaman aynı basınç farkında daha yüksek debi sağlayan yüksek kapasiteli fan (YKF), diğerinden ise düşük kapasiteli fan (DKF) olarak bahsedilecektir.



Şekil 3.15. Düşük kapasiteli fan eğrisi



Şekil 3.16. Yüksek kapasiteli fan eğrisi



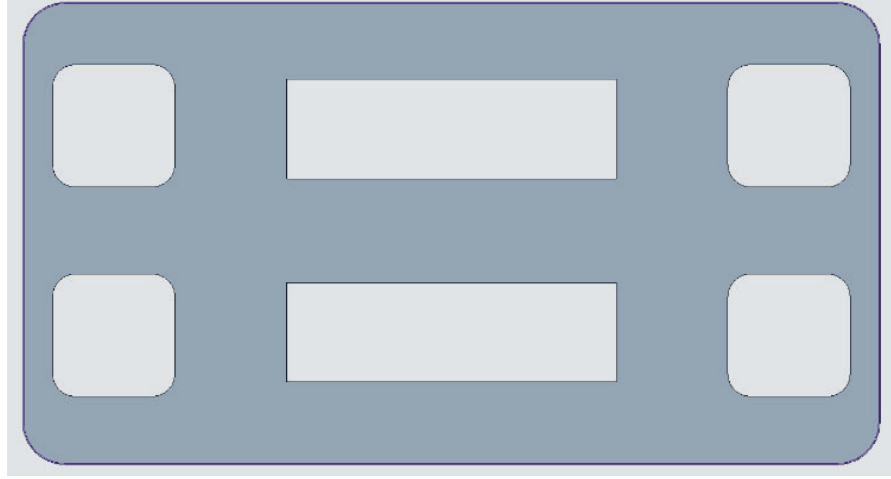
Şekil 3.17. Fan eğrileri

3.1.5. Fan emiş-basma

Fırının arka yüzeyinde toplamda 4 adet emiş ve 2 adet basma boşluğu bulunmaktadır. Hava basma, Şekil 3.18’de görüldüğü üzere merkezdeki alt alta duran dikdörtgen boşluklarken, hava emiş boşlukları ise basma boşluklarının iki yanında bulunan kare kesimlerdir. Hava basma 215 mm x 65 mm alanına sahipken, emiş 80 mm x 80 mm alanına sahiptir.

Basma ve emiş boşlukları arasındaki sağ-sol mesafe eşit ve 72 mm’dir. Üst basma boşluğunun fırının üst yüzeyinden olan mesafesi 49,2 mm iken, emiş boşluğunun fırının üst yüzeyinden olan mesafesi 39,7 mm’dir. Aynı sıra ile alt konumdaki boşlukların alt yüzeyden olan mesafesi ise 53,1 mm ve 43,7 mm’dir.

Son olarak emiş boşluklarının fırının sağ-sol yan yüzeyinden olan mesafesi eşit 18,7 mm’dir.



Şekil 3.18. Fırın arkası fan emiş ve basma yüzey boşluğu

3.1.6. Elektrikli ısıtıcı

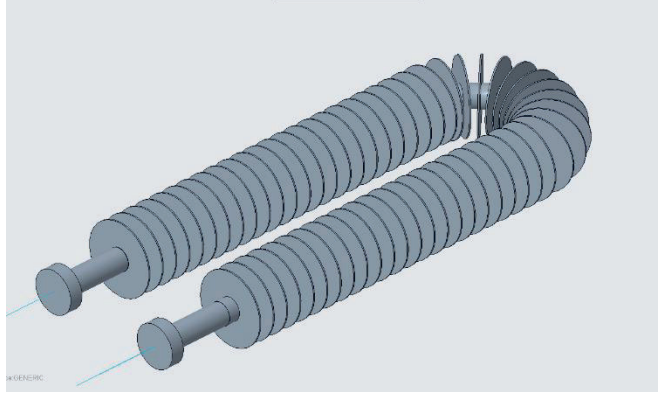
Fırında kullanılan ısıtıcılar Şekil 3.19'daki kanatlı borulu u tipi elektrikli ısıtıcılardır.

Tezde biri 1,0 kW, diğeri ise 1,5 kW gücünde olmak üzere geometrik oral özdeş iki farklı adet ısıtıcı kullanılmıştır. Tezin bu noktasından sonra zaman zaman 1,5 kW değerinde olan ısıtıcı yüksek kapasiteli ısıtıcı (YKI), 1,0 kW değerinde olan ısıtıcıdan ise düşük kapasiteli ısıtıcı (DKI) olarak bahsedilecektir.



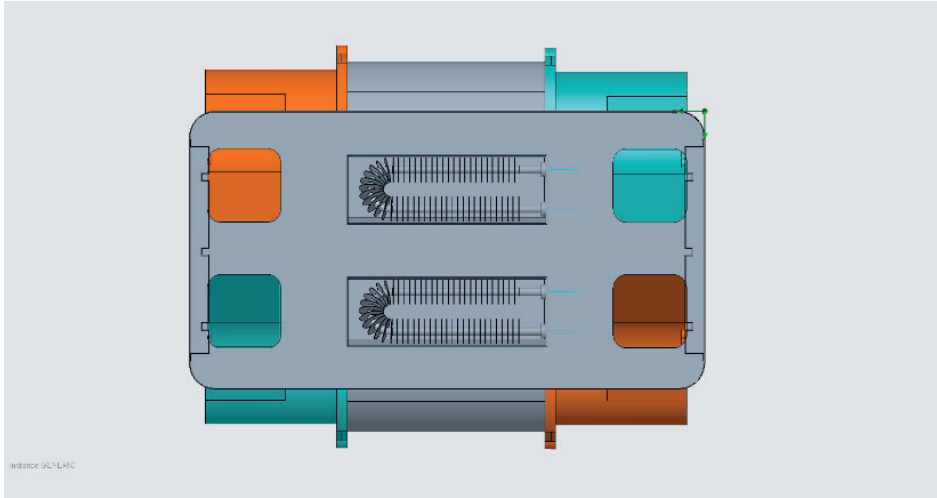
Şekil 3.19. Elektrikli ısıtıcı

Analiz için modellenmiş hali Şekil 3.20'deki gibidir.

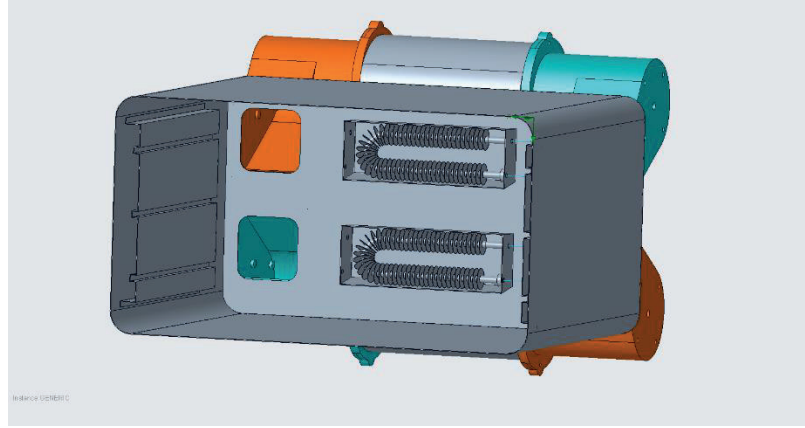


Şekil 3.20. Elektrikli ısıtıcı model

Elektrikli ısıtıcılar Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’deki gibi radyal fanlarının üfleme ağzının önüne yatay şekilde konumlandırılmıştır. Her bir fan için ayrı olarak birer ısıtıcı bulunmaktadır.



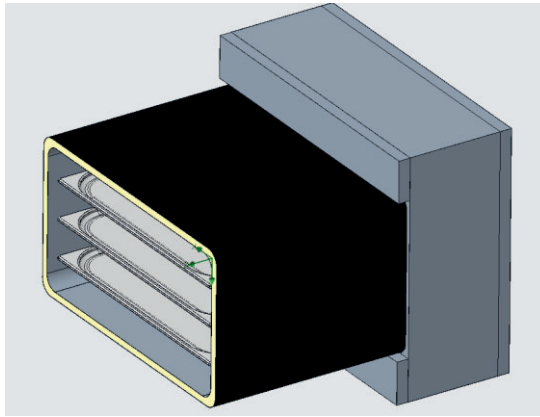
Şekil 3.21. Isıtıcı konumu genel görünüş



Şekil 3.22. Isıtıcı konumu genel görünüm

3.1.7. Yalıtım malzemeleri

Fırında yalıtım olarak Şekil 3.23’de görüldüğü gibi gövdenin ve fanların etrafında 3 mm kalınlığında taş yünü ve onun etrafında teflon bant kullanılmıştır.



Şekil 3.23. Kabin yalıtımı

Taş yününün termal özellikleri Ek3’de verilmiştir.

3.1.8. Fırın camı

Fırının kapağında bulunan cam ise ısı yalıtımı sağlamak amacı ile temperli cam olarak kullanılmıştır. Camın ölçüleri 304 mm x 109 mm’dir.

3.2. Yöntem

Tezin bu bölümünde kullanılan CFD programının ısı ve akış çözümlemesi yaparken kullandığı temel denklemlerden bahsedilecektir. Daha sonrasında ise programın sayısal ağ oluşturma mantığı ve analiz sonlandırma kriterleri incelenecektir.

Program ile açıklamaların ardından tezin konusu olan fırının dijital verilere dönüştürülüp programa girişi sırasında kullanılan sınır şartları, varsayımlar, analiz sonlandırma kriterleri ve bulunan sonuçların işlenmesi ile ilgili sunulacaktır.

3.2.1. Temel denklemler

FloEFD programı, akışkanlar için, kütle, momentum ve enerji korunum yasalarını içeren Navier-Stokes denklemlerini çözer. Denklemler, akışkanın içinde bulunduğu ve kendi doğasına özgü durumlara ait özellikler ve sıcaklığa bağlı olarak akışkanın yoğunluğu, viskozitesini, termal iletkenliği gibi ampirik değişkenler ile desteklenmektedir.

FloEFD programı türbülanslı akışı çözerken Favre-ortalamalı Navier-Stokes denklemlerini (zaman ortalamalı türbülans ve akış parametreleri dikkate alınır. Diğer büyük ölçekli zamana bağımlı değişkenler direk hesaplanır.) kullanır. Bu prosedürden dolayı denklemde Reynolds gerilme terimleri ortaya çıkar ve bu fazladan bilginin sağlanması gerekir. Bu gibi bilgileri elde etmek içinse FloEFD taşınım denklemlerine türbülans kinetik enerjisi ve dağılım oranı terimlerini ilave eder. Buna κ - ϵ modeli denir. Tabakalı/türbülans sınır tabaka modeli duvar dibi akışı ifade etmek için kullanılır. Bu model hem türbülanslı akışı hem tabakalı akışı hem de türbülans ve tabakalı geçiş akışını ifade edebilmektedir.

Standart κ - ϵ için taşınım denklemleri şu şekildedir:

Türbülans kinetik enerjisi κ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3.1)$$

Dağılım oranı ϵ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3.2)$$

Türbülans viskozitesi:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.3)$$

κ değeri üretimi:

$$P_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.4)$$

Kaldırma etkisi:

$$P_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3.5)$$

Burada Pr_t türbülans Prandtl sayısı, g_i i yönündeki yerçekimi vektörü komponentidir. (Standart model için $Pr_t = 0,85$ dir.)

β ise termal genişleme katsayıdır.

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (3.6)$$

Son olarak model sabitleri:

$$C_{1\epsilon} = 1.44, \quad C_{2\epsilon} = 1.92, \quad C_\mu = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.3$$

Düzenlenme yapılmış duvar fonksiyonu logaritmik profil yerine Van Driest's profil kullanır. Eğer duvar dibi mesh boyutu sınır tabaka kalınlığından fazla ise integral sınır tabaka teknolojisi kullanılır.

Navier-Stokes denklemleri sistemi termoplastik özellik tanımları ve akışkanın durumsal denklemleri ile desteklenmektedir.

İdeal gaz durum denklemleri yüksek basınç veya gaz-akışkan faz geçişi civarındaki bölgelerde hassaslığını yitirmektedir. Bu durumlar için ideal gazların hal denklemlerinde termodinamik ve termofiziksel özellikleri göz önünde bulundurmak gerekir.

3.2.2. Birleşik Isı Transferi

FloEFD programı anlık olarak katı ve akışkan ortamları arasındaki enerji değişimlerini tahmin etmeye izin verir. Katı ortamdaki anizotropik ısı iletimi aşağıdaki denklemle açıklanır:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q_H \quad (3.7)$$

Burada e spesifik integral enerji, $e = c \cdot T$, c spesifik ısı, Q_H birim hacim için spesifik ısı salınımı ve λ_i ise ısı iletim tensörünün eigen değeridir. Isı iletim tensörünün varsayılan koordinat sistemine dik olması beklenmektedir. İzotropik ortamlar için $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda$ tür.

3.2.3. Sayısal Çözüm Teknikleri

FloEFD, yönetici denklemleri sonlu hacim metoduna dayanan ayrık nümerik tekniğe dayanarak çözer. Dörtgensel kartezyen koordinat sistemini kullanır. Uzayı ayırklaştırmak için geometrik sınırlarına dayanan eksen hizalaması ile dörtgen ızgarası kullanır. Yani, kontrol hacimleri dörtgensel paralel kenar halini alır. Sınır-dibi durumlarında ise mesh elemanları cut-cell yaklaşımı ile oluşturulur. Bu yaklaşıma göre, arka plan kartezyen temel alınarak sınır-dibi meshler kesilerek elde edilir. Sonuç olarak, çokgen sınır-dibi meshleri elde edilmiş olur.

Bunun yanında çözüm metodu ve geometri hesaba katılarak yerel iyileştirmeler de yapılır. Bu işlem çoğunlukla katı/akışkan ara yüzlerinde ve yüksek gradyenli vb. alanlarda uygulanır.

Bütün fiziksel parametrelerde kütle merkezli kontrol hacimleri referans alınmıştır. Bu sonlu hacim yaklaşımını takiben korunum yasalarının integral formu direkt ayrıştırmada kullanılır. Bu yaklaşım temel nicel kütle, momentum ve enerji korunumlarını ayrıklaştırılmış şekilde ifade edilmesini garanti eder.

Uzaysal türeve ikinci derece hassasiyetle kapalı şekilde yaklaşım sağlanır. Zaman türevi kapalı, birinci dereceden Euler-taslağı ile yaklaşım sağlanır.

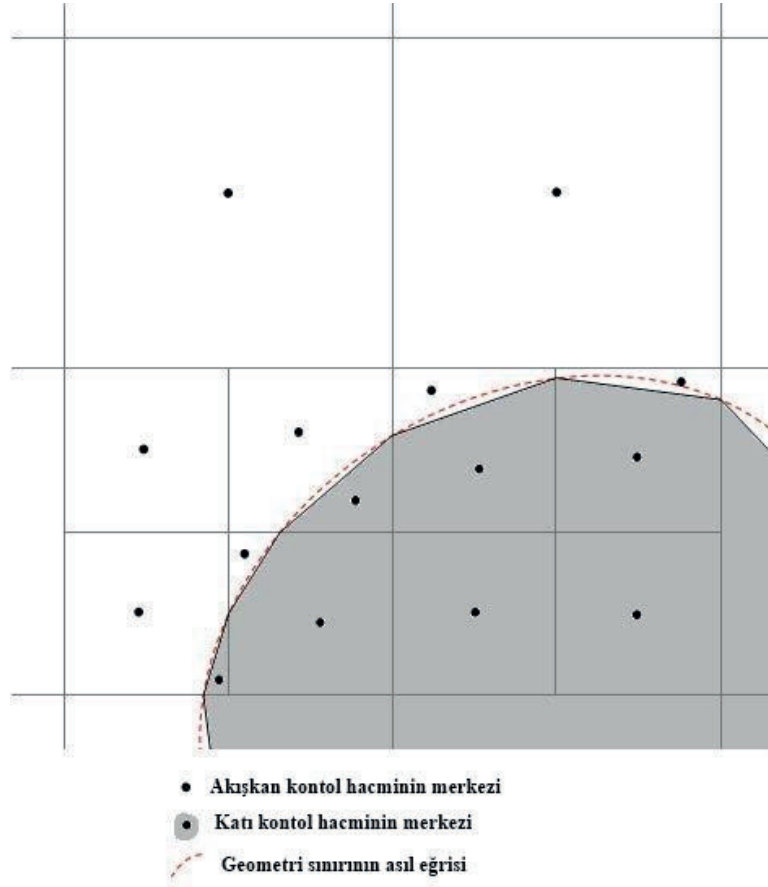
3.2.4. Çözüm ağı

FloEFD geometri sınırlarında yerel olarak dörtgensel iyileştirme yaklaşımı kullanır. Mesh elemanları kartezyen koordinat sistemine ortogonal şekilde yüzeyleri bulunan dörtgensel yüzeyi bulunan paralel çokyüzlü şeklindedir. Bunun yanında sınırdaki mesh elemanları çok daha karmaşık şekildedir. Eğri yüzeyler ise birtakım kenar noktaları kesişimi yaklaşımı ile yaklaşım sağlanır. Bu düzlemsel poligonlar orijinal paralelyüzlü hücreleri keser. Böylece, sonuç olarak, sınır-dibi hücreler çokyüzlü, aynı zamanda hem eksen yönelimli hem de rastgele yönelimli hale gelir. Orijinal paralelyüzlü hücre sadece katı veya sadece akışkan ortam içeren sınırlar içerecek şekilde bölünmüştür.

Dikdörtgensel hesaplama alanı otomatik olarak oluşturulur ve istenirse manuel olarak değiştirilebilir. Bu alan hesaplanacak olan gövdeyi belirtilen kartezyen koordinat eksenlerine ortogonal olacak şekilde yüzey alanı ile çevreler.

Bundan sonra mesh oluşturma birkaç aşama ile gerçekleştirilir. İlk önce temel mesh oluşturulur. Bunun için kartezyen koordinat eksenlerine ortogonal olarak şekilde düzlemlerle bölünerek dilimler oluşturulur. Bu oluşturulan bölme işlemi sadece hesaplama alanını böler. Herhangi bir katı/akışkan kesişimi gözetmez. Sonra, Şekil 3.24'deki gibi temel ağ elemanları katı/akışkan kesişimi kontrolü yaparak düzenli olarak daha küçük hücrelere bölünür. Bu bölme işlemi meshin katı/akışkan kesişim yüzeyini sağlayana kadar devam eder. Meshin daha küçük elemanlara bölünme işlemi ise şu aşamaları takip eder. Mesh bölünmesi gerektiği zaman 8 özdeş alt elemana bölünür. Bu süreç az önce belirtilen koşul sağlanana kadar devam eder. Bunun dışında kontrol edilen bir diğer koşul ise özel olarak belirtilen mesh elemanı boyutunun sağlanmasıdır.

Meshin alt meshlere bölünmesi sırasında geometrik olarak kontrol ettiği unsurlardan bir diğeri ise hücre yüzeylerinin yüzey normali ile yaptığı açının belirli bir eşik değerini geçmemesi. Eşik değerinin geçilmesi durumunda ise eleman tekrar 8 alt meshe bölünerek prosedür devam ettirilir.



Şekil 3.24. Katı/akışkan ara yüzeyindeki sayısal ağ yapısı

3.2.5. 2 Kademeli duvar fonksiyonu modeli

FloEFD de 2 kademeli duvar fonksiyonu ana akış ve sınır tabaka akışı eşleştirmek için iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır.

Bunlardan biri sık mesh atıldığı durumlarda “kalın-sınır-tabaka” yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın kabul edilmesi için sınır tabakada 6 veya daha fazla mesh eleman bulunması gerekmektedir. Bu yaklaşımda laminar akış için Navier-Stokes denklemleri kullanılırken, türbülanslı akış için ise modifiye edilmiş duvar fonksiyonu kullanılır. Ancak, klasik yaklaşımdaki logaritmik hız profili yerine Van Driest tarafından sunulan tam profil kullanılır. Diğer tüm varsayımlar klasik duvar fonksiyonu yaklaşımı gibi yapılmaktadır. “ince-sınır-tabaka” yaklaşımı ise kaba mesh yapısında kullanılır. Bu koşul için ise sınır tabaka boyunca mesh sayısının 4 veya daha az olması gerekir. Bu yaklaşımda Prandtl sınır tabaka denklemi duvar yüzeyinin normalinden 0 olmak koşulu ile duvarı kaplayacak

şekilde tabaka kalınlığındaki akım çizgileri boyunca çözülür. Eğer sınır tabakası laminar ise doğru bir yaklaşımla Shvitz deneme fonksiyon teknolojisi metodu ile çözülür. Eğer bu tabaka türbülanslı ve geçiş bölgesinde ise Van Driest'in türbülans sınır tabakası için karışım uzunluğu hipotezi kullanılır.

Bu iki duruma yakın olan senaryolarda ise iki yaklaşımın karışım şeklinde yumuşak bir geçiş alanı elde edilecek şekilde çözülür.

3.2.6. Uzaysal Yaklaşım

Hücre-merkezli sonlu hacim metodu hücrelerde korunum yaklaşımı sağlamak için kullanılmaktadır. Bu metotta yönetici denklemler mesh hücrelerinin oluşturduğu kontrol hacmi üzerinde entegre edilerek yaklaşım sağlanır. Bütün temel değerler kontrol hacminin kütle merkezinden referans almaktadır. Bu hücre-merkezli değerler yaklaşım için kullanılır.

Hücre hacmi ve yüzey alanı integrali korunum yasaları için şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int U dv + \oint F \cdot ds = \int Q dv \quad (3.8)$$

Bu formül şu şekilde de düzenlenebilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (U_v) + \sum_{\substack{\text{hücre} \\ \text{yüzeyleri}}} F \cdot S = Q_v \quad (3.9)$$

Burada akıyı belirten F ilişkili yüzeylerle alakalı şekilde yaklaşım yapılır. Yüzeyler özelliklerine göre 2 gruba bölünür ve sınıflandırılır. Eksen yönelimli ve 2 komşu kontrol hacmine sahip olanlar ve rastgele yönelimli sınır yüzeyine sahip olanlar. Bu iki durum içinde farklı yaklaşım yolları inşa edilmektedir.

Sıradan iki bitişik kontrol hacmine sahip yüzeylerde ise ikinci dereceden yaklaşım kullanılır. Taşınım akısı için upwind yaklaşımı kullanılır. Monotonik ayırık çözümler için limitli non-lineer yaklaşım kullanılır. Yayıcı terimi için ise merkezi yaklaşım kullanılır. Yaklaşımlar kapalı formda işleme geçer.

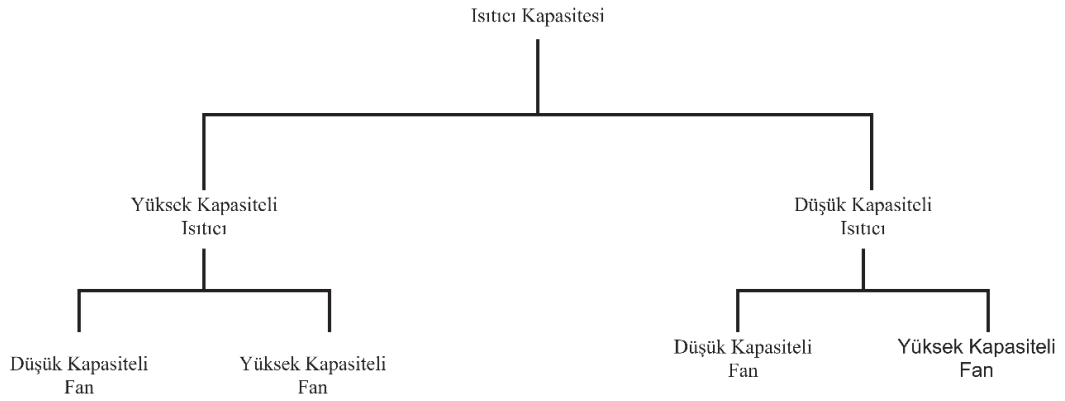
3.2.7. Hesaplamayı sonlandırma

FloEFD programında hesaplamayı durdurmak için birkaç tane seçenek vardır:

- Maksimum sayıda rafine/düzenleme
- Maksimum sayıda iterasyon
- Maksimum fiziksel zaman
- Maksimum CPU zamanı
- Maksimum sayıda döngü
- Hedef yakınsaması

Analizlerin amacı nümerik ortamda farklı fan ve ısıtıcı kapasitelerine ait üç tepsili endüstriyel tip turbo fırının tepsi üstü sıcaklıklarının homojenliğini değerlendirmektir. Bunun yanında homojenliğe katkı sağlayacak hava yönlendirme kanatlarının da etkisi incelenecektir.

Toplam iki ana ve bir alt parametreden toplam 28 analiz gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen iki ana parametre fan ve elektrikli ısıtıcıya aittir. Bahsi geçen alt parametre ise hava yönlendirici kanat açısıdır.



Şekil 3.25. Analiz gruplandırması

Mevcut 2 ana parametre Şekil 3.25’de görüldüğü gibi düzende kurgulanmış ve analiz edilmiştir.

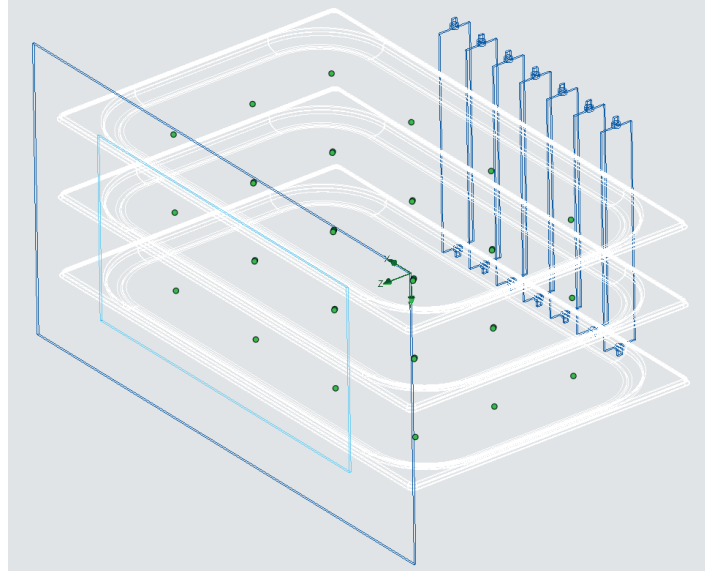
Bu analizler gerçekleştirildikten sonra tepsi üstü sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

3.2.8. Sıcaklık Belirleme Noktaları

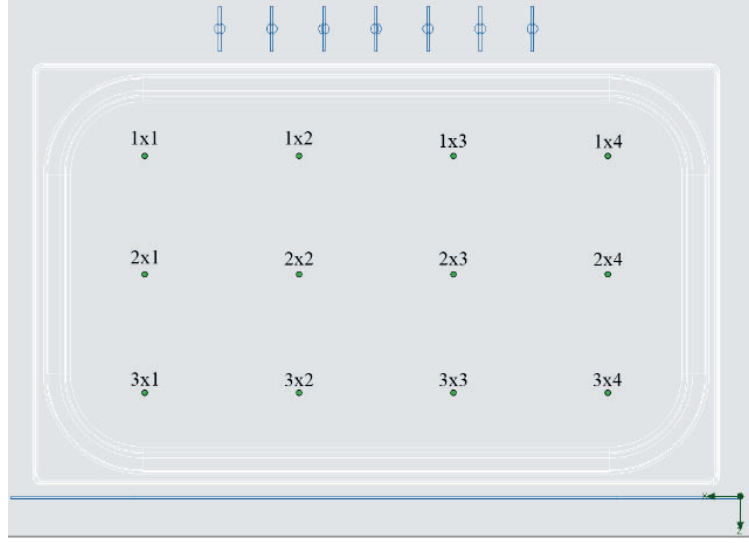
Şekil 3.24'te görüldüğü gibi değerler tepsi üstünden her tepside 12 adet olmak üzere toplam 36 noktadan alınmıştır.

Tepsinin uzun kenarından alınan 4 adet sıcaklık değerinin konumları arasındaki mesafe 12 cm'dir. Kısa kenarından alınan ölçüm değerleri arasındaki mesafe ise 9 cm'dir. Ölçüm koordinatları hakkında daha ayrıntılı bilgi için Ek-5'e bakılabilir.

Bu bilgiler dışında Şekil 3.26'da sıcaklık değerlerinin konumlarının isimlendirmesi yapılmıştır. İsimlendirme, fırının arka-sol köşesinden başlayarak satır x sütun şeklinde yapılmıştır. Üst tepsi için (ü); orta tepsi için (o); alt tepsi için (a) ön eki kullanılmıştır.



Şekil 3.26. Sıcaklık noktaları 3 tepsi ve fırın görünümü

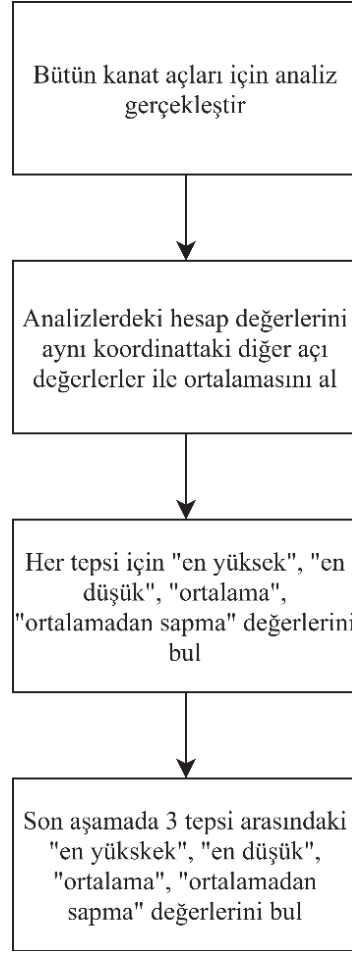


Şekil 3.25. Sıcaklık noktalarının isimlendirmesi

3.2.9. Tepsi üstü sıcaklık değerleri

Zaman ve teknik imkân yetersizliğinden dolayı analizler zamandan bağımsız (steady state) olarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumdan dolayı Şekil 3.27’de görüldüğü gibi açısal hareket yapan yönlendirme kanatlarını 22,5° derecelik açısal değişimlerle toplamda 145° açı tarayacak şekilde toplamda 7 farklı analiz gerçekleştirilmiştir.

Tepsi üstündeki sıcaklıklar elde edildikten sonra aşağıdaki yöntem izlenmiştir:

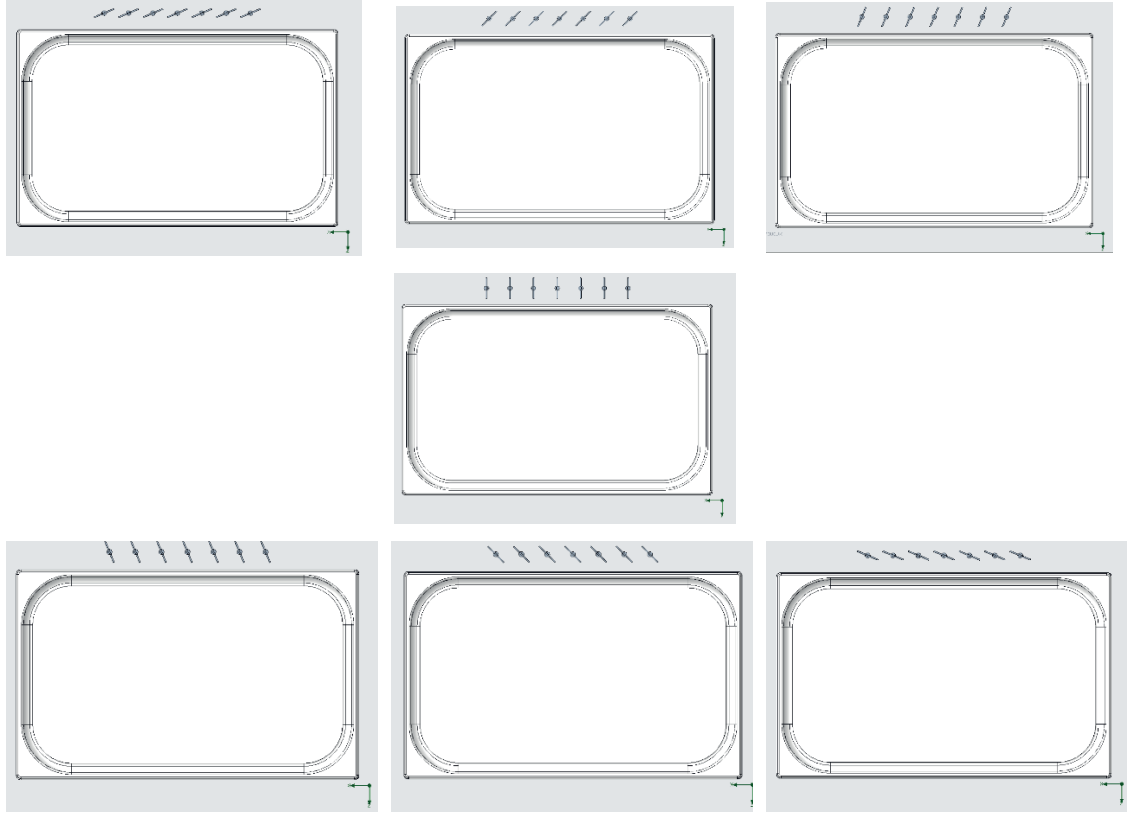


Şekil 3.26. Tepsi sıcaklık değerlendirme şeması

Şekil 3.26’da açıklanan diyagram her kapasite fan ve ısıtıcı için ayrı ayrı 4 kez tekrarlanmış ve son değerlere ulaşılmıştır.

3.2.10. Hava akış yönlendirme kanatlarının açısal hareketi

Analizdeki var olan parametrelerden biri de hava yönlendirici kanatlardır. Bu kanatlar sırası 0° ve 180° tamamen kapalı kanatlar olarak düşünülürse $22,5^\circ$ - $45,0^\circ$ - $67,5^\circ$ - $90,0^\circ$ - $112,5^\circ$ - $135,0^\circ$ - $157,5^\circ$ derecelik açılarda toplam 7 adet kanat açısı ile analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.27. Farklı kanat açılarının görünümü

3.2.11. Elektrikli ısıtıcı kontrolü

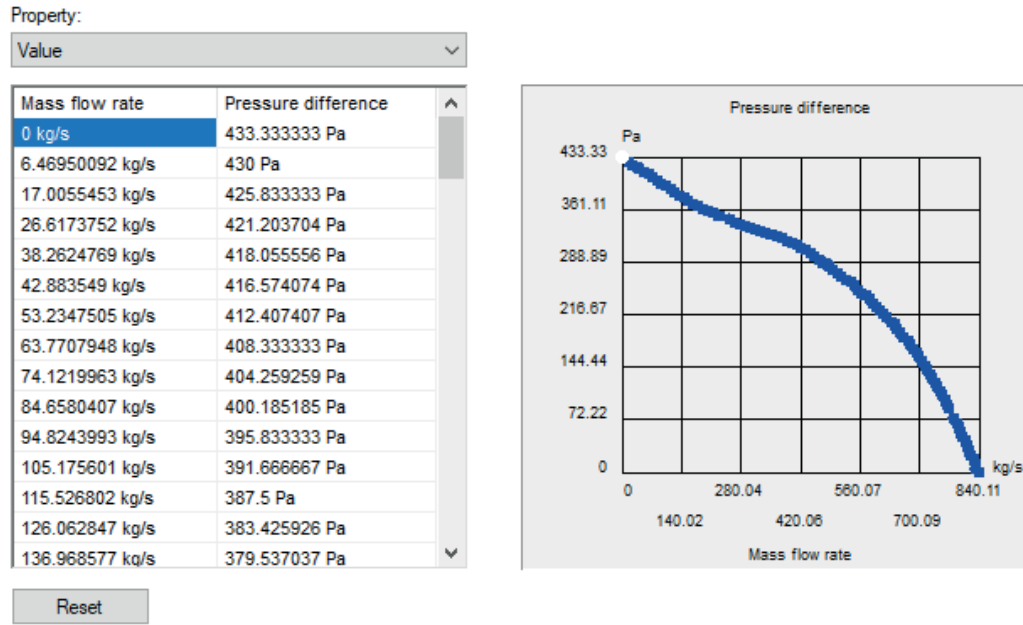
Diğer analiz parametresi olan ısıtıcı değeri ise 1 kW ve 1,5 kW olmak üzere iki farklı değerdir.

Analizler zamandan bağımsız olarak gerçekleştirildiği için, ısıtıcıların sisteme dahil edilmesi durumunda sistemin hedeflenen sıcaklık aralığında dengeye oturma durumu söz konusu olamayacağından ısıtıcılar koşula bağlı aç-kapa yöntemi ile kullanılmıştır.

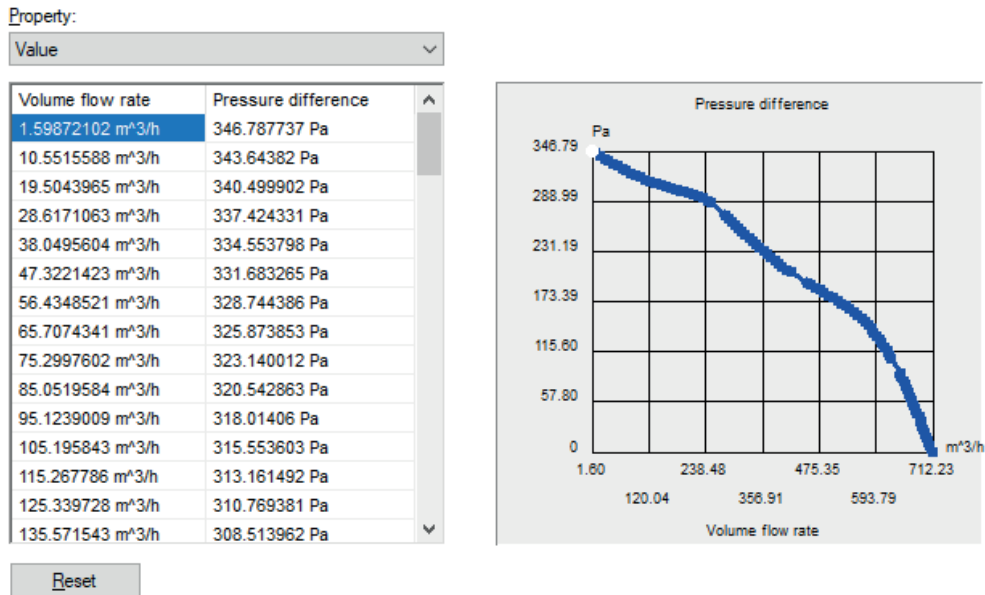
3.2.12. Fan kontrolü

Analizdeki son parametrik değer ise değişken fan eğrilerine sahip fanlardır. Farklı fan eğrilerine sahip iki farklı fan tipi seçilip analize dahil edilmiştir. Kullanılan iki farklı fan eğrileri Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da gösterildiği gibidir.

Bu eğriler sayısal değere dönüştürülüp veri olarak Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 'da görüldüğü gibi giriş yapılmıştır.

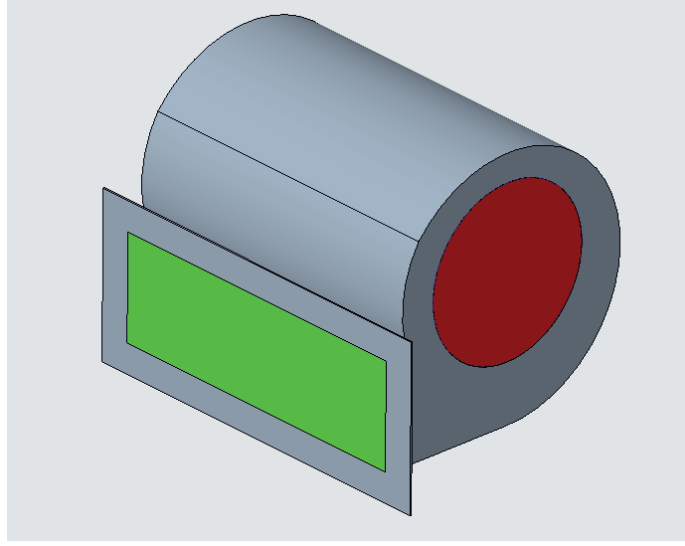


Şekil 3.28. Yüksek kapasiteli fan eğrişinin sayısal veri girişi



Şekil 3.29. Düşük kapasiteli fan eğrisinin sayısal veri girişi

Fanları analizlerde sisteme dahil ederken fanların modellenmesi yapıp fiziksel olarak hareket vermek yerine sadece fanın içinde bulunduğu geometri modellenmiş, daha sonra ise Şekil 3.30’da görülen emiş(kırmızı) ve üfleme(yeşil) boşlukları yüzey ile kapatılarak fan eğrisi tanımlanmıştır.

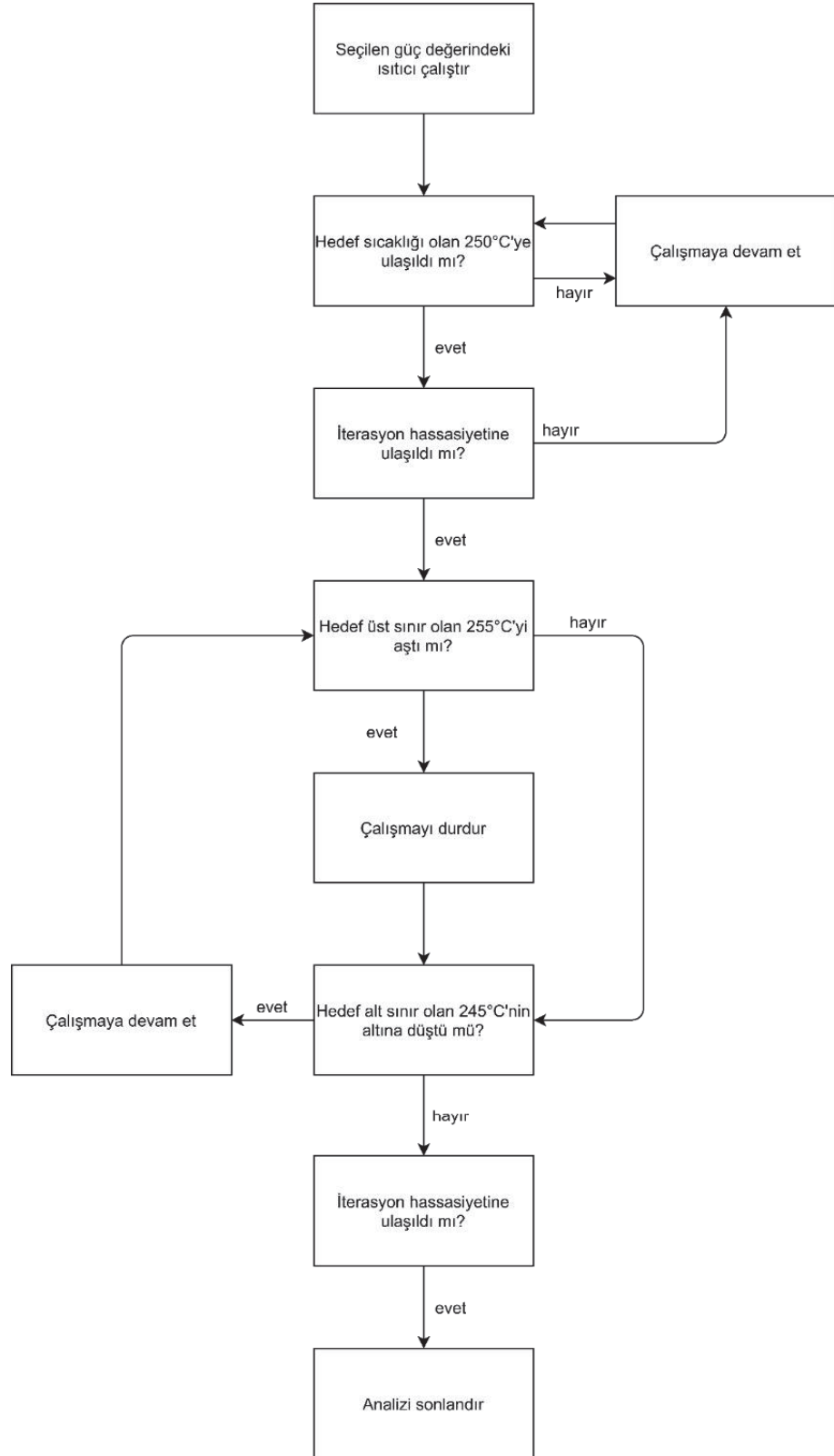


Şekil 3.30. Fan emiş ve üfleme bölgeleri

3.2.13. Analiz sonlandırma

Analizlerdeki iterasyon hassasiyeti 10^{-2} dir.

Elektrikli ısıtıcı kontrolünde bahsedildiği gibi sistemin dengeye oturma durumu söz konusu olamayacağından sistemin hedef sıcaklığı ve sıcaklık aralığı belirlenmiştir. Bu hedef sıcaklığı ve sıcaklık aralığı, analizlerin daha gerçekçi senaryoya sahip olması açısından gerçek hayatta olduğu gibi fırının pişirme hacminin içine termostat yerleştirilmiştir. Termostatın ölçüm noktası ise, fırın kapağına yakın hava geri dönüş kanalı içinde, yükseklik olarak kanalın merkezinde bulunmaktadır. Bu noktanın seçilme sebebi havanın hem ısı hem de momentum değerleri bakımından en yorgun olabilecek noktadır. Analizlerin gerçekleştirilme ve sonlanma koşulları Şekil 3.29’daki gibi gerçekleştirilmiştir:



Şekil 3.29. Analiz sonlandırma kriter şeması

Şekil 3.29’da gösterilen elektrikli ısıtıcı çalışma diyagramı dışında fanlardaki debi ve basınç değerleri için de kontrol yapılarak süreklilik takibi yapılmıştır.

Fırın ile ilgili performans parametrelerini incelerken bilgisayar ortamında modellenip aynı şekilde yine bilgisayar ortamında ısı ve akış analizleri gerçekleştirilecektir.

Modelleme aşamasında CREO programı, analiz aşaması için ise floEFD programından yararlanılacaktır.

Tasarımda amaçlanan nokta ise tepsi yüzeyi sıcaklıklarının hem bağımsız olarak her tepsinin kendi içinde hem de tepsiler arasında homojen olmasını sağlamaktır.

Homojenlik durumunu elde etmek için öncelikle fırında akışın sağlandığı hava giriş ve çıkış bölgelerinin belirlenmesi, ardından havanın yeterli akışını sağlayacak fanın, son olarak ise istenilen fırın içi sıcaklığı sağlayacak olan ısıtıcının seçilmesidir.

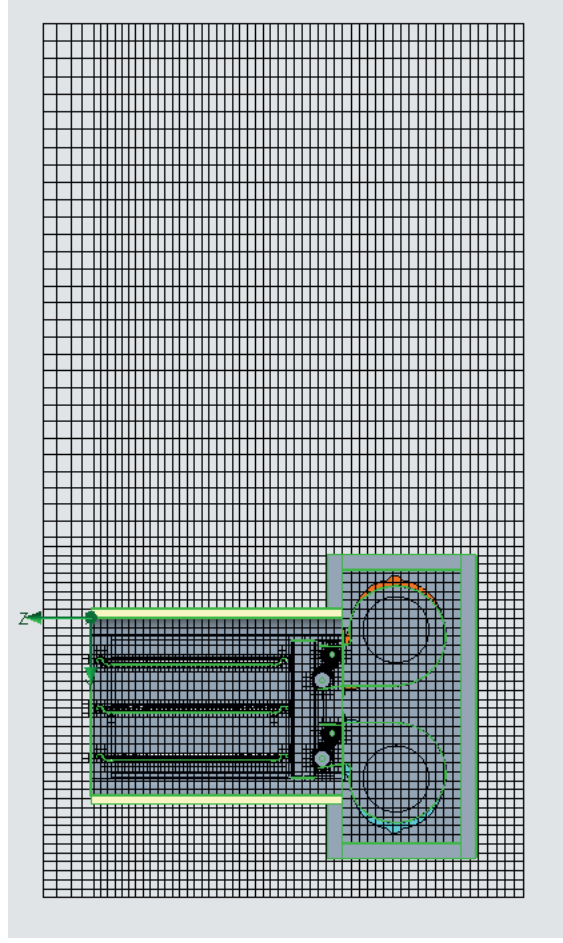
Fan ve ısıtıcı gibi ana unsurların belirlenmesinin yanı sıra pişirme kalitesini etkileyecek etken olan kanatçıklar ise ısı dağılımını homojenize etmek amacıyla farklı açılarda tutularak mevcut enerjinin en az kullanılması için değerlendirme yapılacaktır.

3.2.14. Ağdan bağımsızlık çalışması

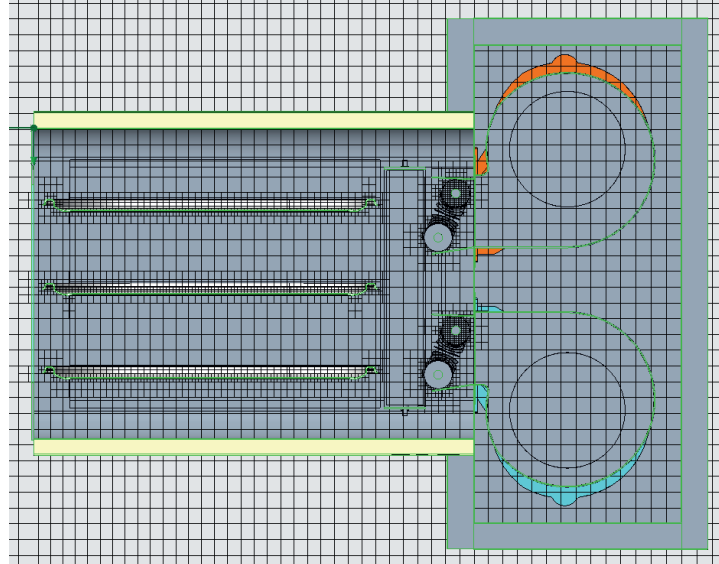
Analizin gerçekleştirileceği mesh sayısının belirlenmesi için toplamda 2 farklı sayıda meshe sahip analiz gerçekleştirilmiştir. Mesh sayısının belirlendiği geometride kanatlar 90° dik konumdadır.

Analizi yapılan ilk mesh miktarı 646 753’dir.

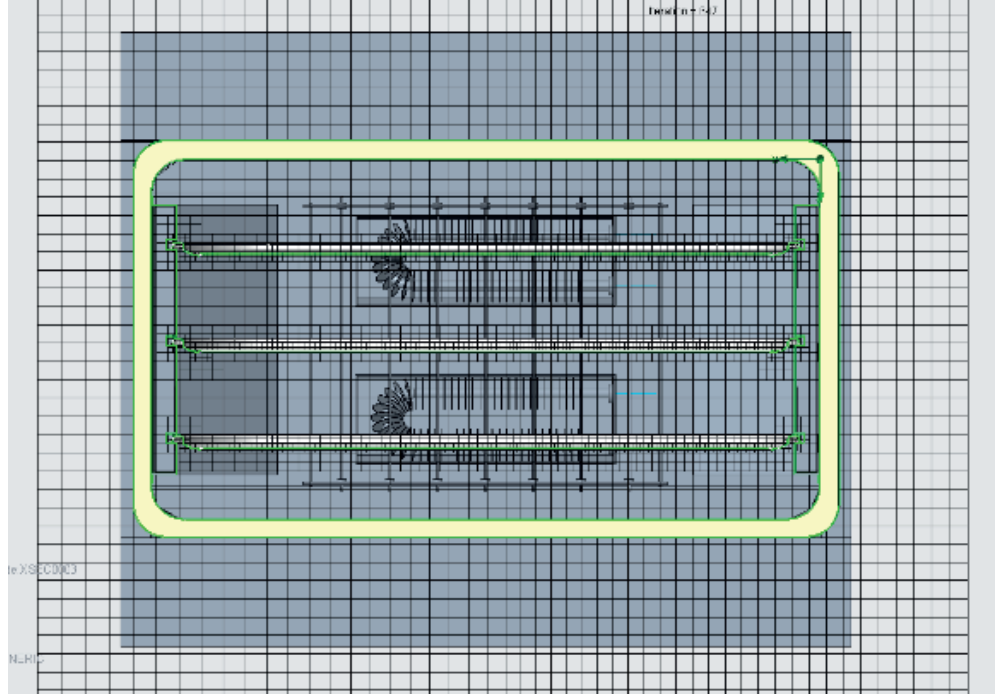
Oluşturulan ağların çeşitli kesitlerden görüntüsü Şekil 3.30, 3.31, 3.32 3.33, 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37’deki gibidir.



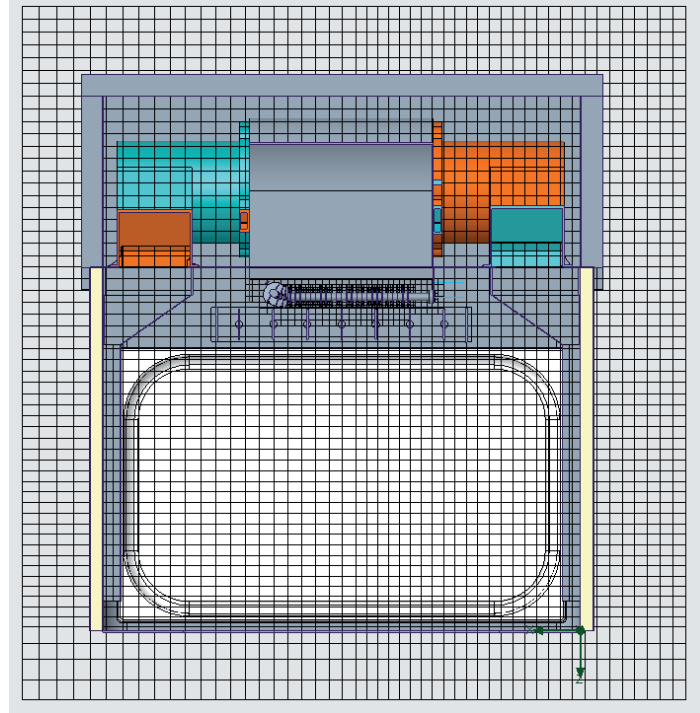
Şekil 3.30. Mesh yapısı yan kesit (646 753 eleman)



Şekil 3.31. Mesh yapısı yan kesit detayı (646 753 eleman)

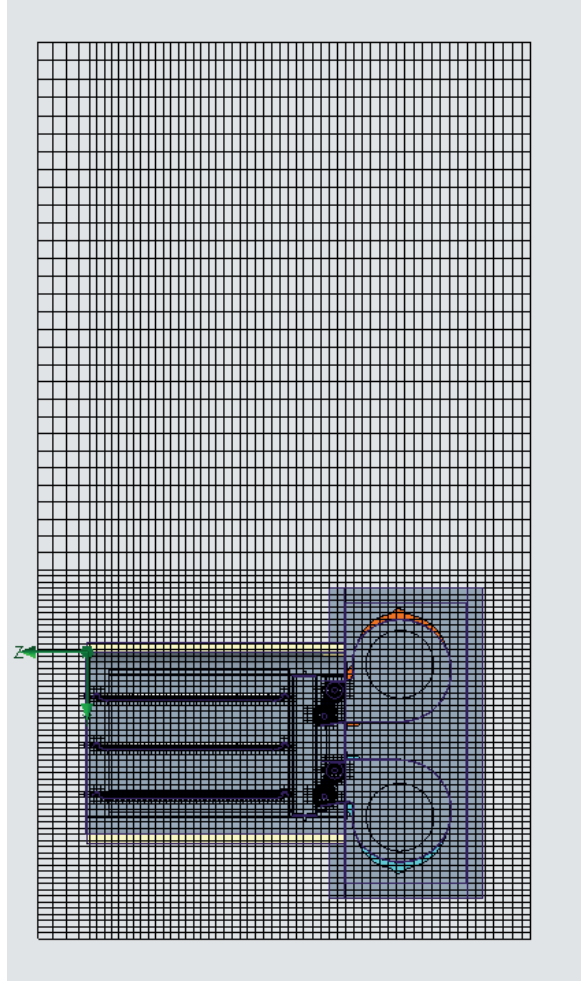


Şekil 3.32. Mesh yapısı ön kesit (646 753 eleman)

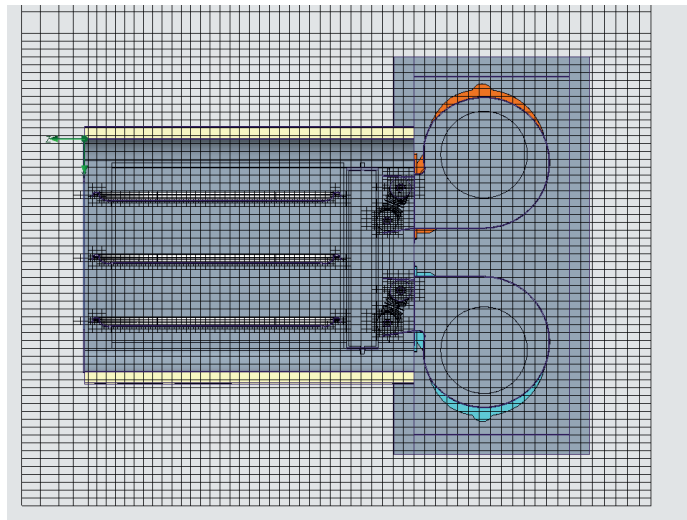


Şekil 3.33. Mesh yapısı üst kesit (646 753 eleman)

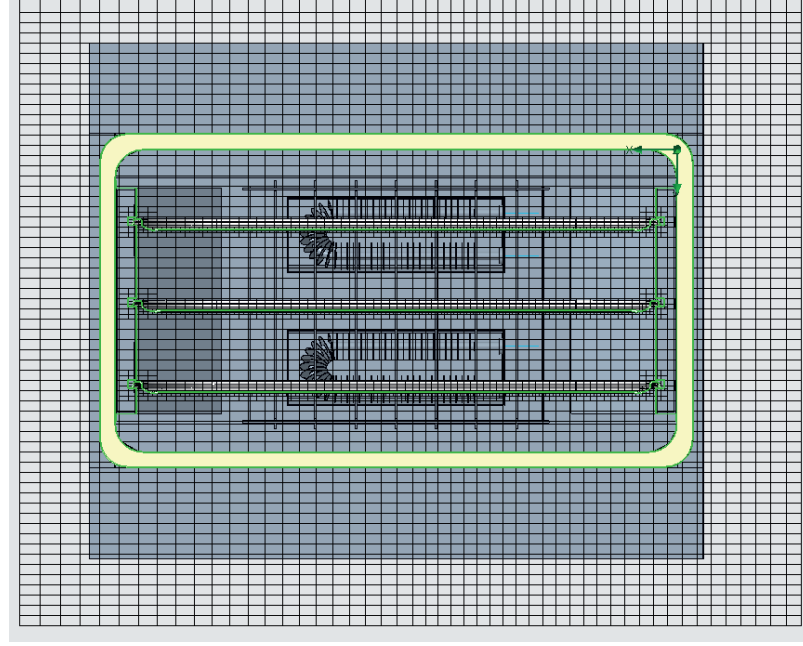
Analizi yapılan ikinci mesh miktarı ise 782 460'dir



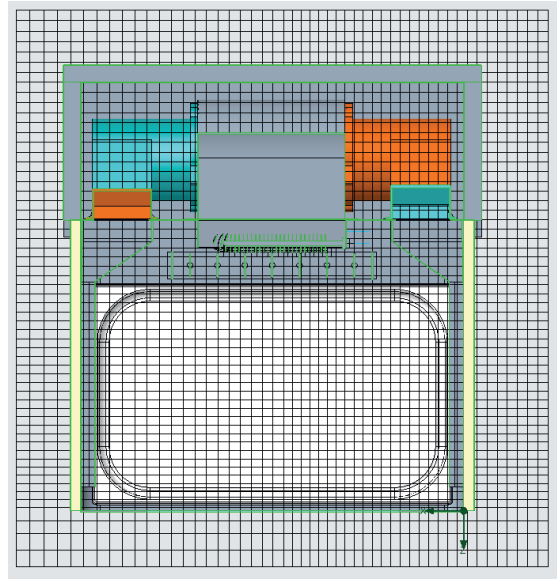
Şekil 3.34. Mesh yapısı yan kesit (782 460 eleman)



Şekil 3.35. Mesh yapısı yan kesit detayı (782 460 eleman)



Şekil 3.36. Mesh yapısı ön kesit (782 460 eleman)



Şekil 3.37. Mesh yapısı üst kesit (782 460 eleman)

Yapılan ağdan bağımsızlık analiz sonuçları Ek5'te verilmiştir.

Bu çalışmada iki analiz arasındaki sıcaklık değerlerinin farkının yaklaşık %1,5 olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda ise düşük eleman sayısına sahip mesh yapısı kullanılmaya karar verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan analizlerin sayısal ve görsel sonuçları ele alınacak, tasarımın amaçladığı hedeflere ne ölçüde yaklaşıldığı değerlendirilecektir.

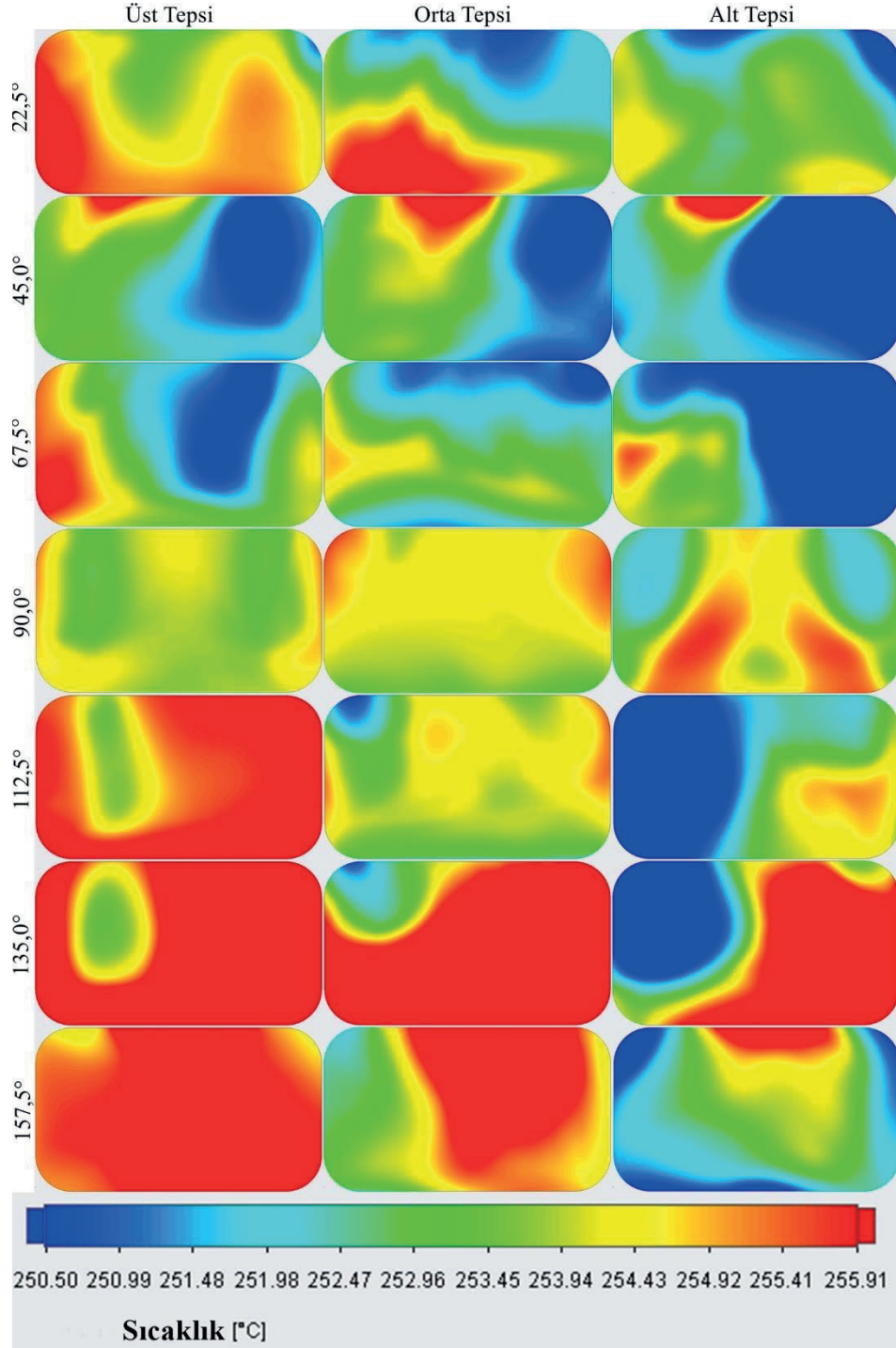
4.1. Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları

Analizler sonucunda tepsi yüzeyi sıcaklık sonuçları elde edilmiş ve bu sonuçlar görsel olarak tek bir şekil altında bir araya getirilmiştir. Dikey sütunlar tepsilerin fırın içindeki konumunu gösterirken, yatay konumda ise hava yönlendirme kanatlarının açılarını temsil etmektedir.

Tepsi üstü sıcaklıklar dışında elde edilen sonuçlardan bir diğeri hava yönlendirme kanatlarının farklı ısıtıcı ve fan seçimlerine göre performansdır. Sola yönelmiş ($22,5^\circ$, $45,0^\circ$, $67,5^\circ$) kanatların tepsinin sol bölgesindeki (ü1x1, ü2x1, o1x1, o2x1, a1x1, a2x1) soğuk kalan bölgeleri sıcaklık açısından kanat hareketinden öncesine kıyaslaması yapılmıştır. Aynı çizelge içinde kıyaslama sağa yönelmiş kanatlar ($112,5^\circ$, $135,0^\circ$, $157,5^\circ$) için de gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Düşük kapasiteli ısıtıcı ve düşük kapasiteli fan

Şekil 4.1’de dik konumdaki hava yönlendirme kanadına sahip analiz ile belirlenen hava yönlendirme kanat açısına sahip analizler karşılaştırıldığı zaman, dik kanat açısına sahip analizde nispeten soğuk olan bölgelerin sıcaklığını arttığını görmekteyiz.



Şekil 4.1. Düşük kapasiteli ısıtıcı, düşük kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları

Çizelge 4.1’de tepsinin sol veya sağ bölgesinde bulunan noktaların kanatlar aracılığı ile havayı yönlendirmesine olan etkisinin görülmesi için havayı sola yönlendirmiş olan üç kanat açısının tepsi üst sıcaklık ortalaması (22,5°- 45,0°-67,5°) alınmış ve tepsinin sol

gölgesinde bulunan noktaların sıcaklık tespiti gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde sağa yönelmiş kanatlar için ise (112,5°- 135,0°- 157,5°) aynı süreç tekrarlanmıştır.

Burada amaç yönlendirme kanatlarının havayı yönlendirdiği bölgelerdeki sıcaklık değişim değerleri olduğu için havanın yönlendiği ters açılar (sağa yönelmiş kanat için sol bölge veya tam tersi) çizelgede dikkate alınmamıştır.

90° kanat açısına sahip analizde a1x4 noktasın sıcaklığı 251,93°C iken, o bölgeye yönlendirilmiş kanatlar ile yapılmış analizlerde ortalama olarak sıcaklık 253,63°C sıcaklık değerinde görmekteyiz.

Çizelge 4.1’de a1x1 noktasına bakıldığı zaman sıcaklık 251,90°C iken, o bölgeye yönlendirilmiş kanat açısı ile yapılmış analizlerde ortalama sıcaklık değeri 252,37°C’ye ulaşmaktadır. Benzer örüntüye üst tepside de rastlamak mümkündür.

Çizelge 4.1. DKI ve DKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]			
	Sola yönelmiş kanat	Dik	Sağa yönelmiş kanat
ü1x1	254,43	253,50	
ü1x4		253,50	257,60
ü2x1	254,78	253,40	
ü2x4		253,54	258,12
o1x1	252,59	254,80	
o1x4		254,95	256,01
o2x1	253,91	254,48	
o2x4		254,61	256,88
a1x1	252,37	251,90	
a1x4		251,93	253,63
a2x1	253,72	252,14	
a2x4		252,30	255,77

Orta tepsiye bakıldığında ise kanatların açısına bağlı olarak bazı bölgelerde istendiği gibi sıcaklık artışı sağlanmışken, bazı bölgelerde ise sıcaklık düşmeleri ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.2. DKI ve DKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Üst tepsi	254,70	252,17	252,94	253,85	255,77	258,68	256,44
Orta Tepsi	253,48	252,61	252,71	254,30	253,85	258,60	255,66
Alt Tepsi	253,16	250,65	249,96	253,83	251,36	254,34	252,99

3 tepsi arasında değerlendirme yaptığımızda ise kanat açısından bağımsız olarak her durumda alt tepsinin sıcaklığının diğer tepsilerden daha düşük olduğu sonucu ortaya çıkar. Orta tepsideki dengesizlikten dolayı bazı kanat açılarında üst tepsi daha sıcakken, bazı açılarda ise orta tepsi daha sıcak olmaktadır.

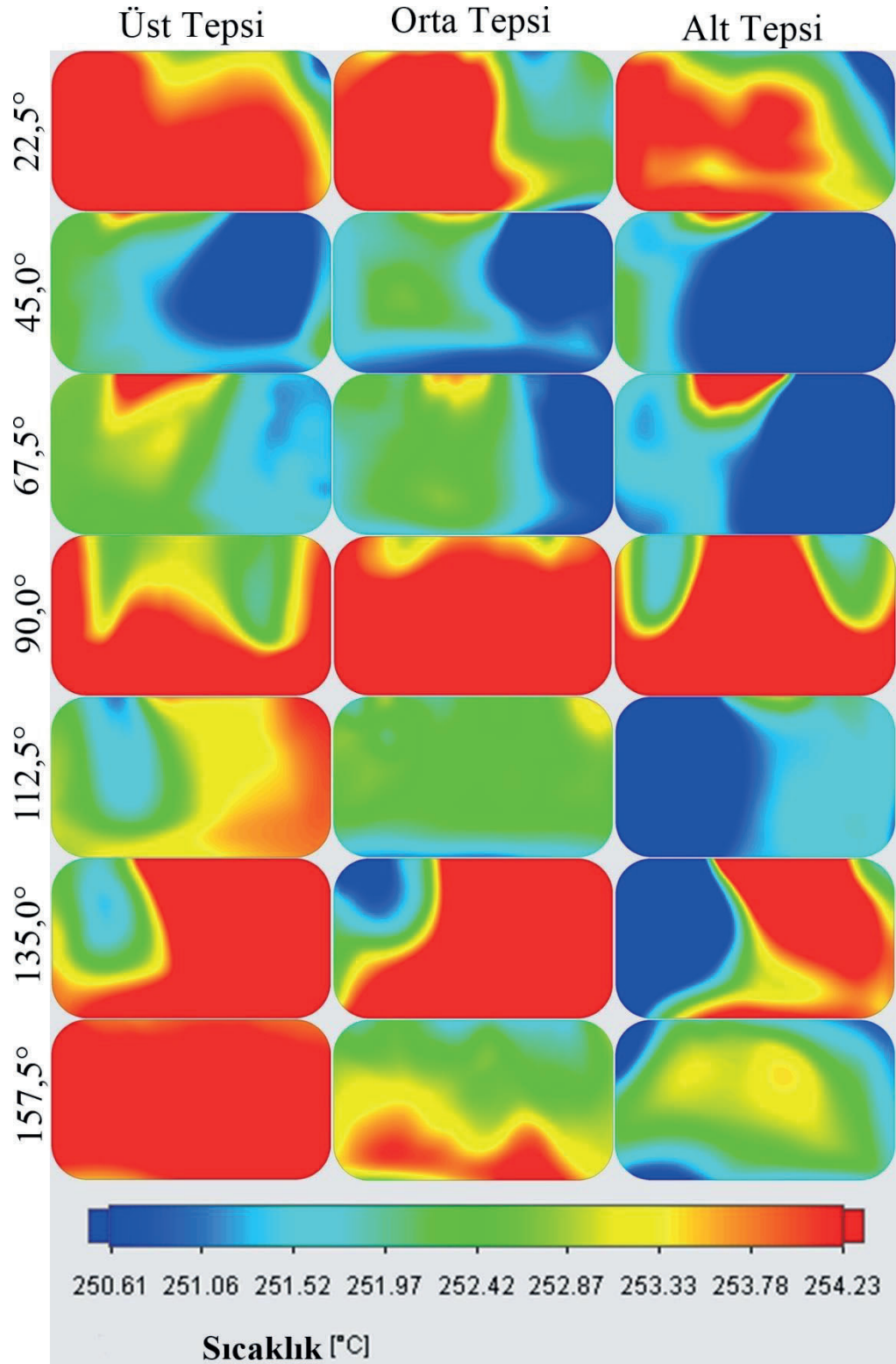
Çizelge 4.3. DKI ve DKF fırında tepsi sıcaklık değerleri

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan					
°C	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	Fark	
				En Yüksek	En Düşük
Üst Tepsi	255,90	254,93	253,91	0,96	1,02
Orta Tepsi	255,39	254,46	252,65	0,93	1,80
Alt Tepsi	253,51	252,32	250,50	1,18	1,82
3 Tepsi Toplam	255,90	253,90	250,50	1,99	3,40

Bunların yanında bütün tepsilerin sıcaklık ölçüm noktalarındaki değerler Şekil 3.26'daki gibi işlendiği zaman sıcaklık açısından homojenlik olarak sırasıyla en iyi üst tepsi, orta tepsi ve alt tepsidir.

4.1.2. Düşük kapasiteli ısıtıcı ve yüksek kapasiteli fan

Şekil 4.2. incelendiği zaman 90° kanat açısında sahip analizde sıcaklıklar belirlenen sıcaklık aralığının üstüne çıkmışken, diğer açılarda yapılan analizlerde daha önce sıcak olan bölgelerin yönlendirmeye bağlı sıcaklık artışı ile iyileşme olması gerekirken soğuduğu görülmektedir. Bazı bölgelerde ise 90° kanat açısına sahip analizin tam tersi olarak yine sıcaklık aralığının dışına çıkarak soğuk kaldığı görülür.



Şekil 4.2. Düşük kapasiteli ısıtıcı, yüksek kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları

Çizelge 4.4. DKI ve YKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]			
	Sola yönelmiş kanat	Dik	Sağa yönelmiş kanat
ü1x1	253,57	253,63	
ü1x4		253,04	255,05
ü2x1	253,74	253,84	
ü2x4		253,38	255,67
o1x1	252,82	253,80	
o1x4		254,07	253,88
o2x1	253,50	257,00	
o2x4		256,37	252,56
a1x1	252,36	251,77	
a1x4		251,97	252,51
a2x1	252,53	252,15	
a2x4		252,74	253,09

Üst tepside ısınması beklenen 1x4 ve 2x1 noktaları, 253,63°C ve 253,84°C iken soğuyarak 253,57°C ve 253,74°C olmuşlardır.

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan analizinde de olduğu gibi şekilde orta tepside hava kanat yönlendirmeleri ile soğuk olan bölgelerin ısınması beklenirken soğuma gerçekleşmiştir. Ama önceki durumdan farklı olarak tepsinin seçilen noktaların tamamında soğuma olmuştur.

Çizelge 4.5. DKI ve YKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Üst tepsi	254,69	250,99	252,22	254,20	252,89	255,72	254,73
Orta Tepsi	254,52	250,97	251,75	255,55	252,36	256,30	252,97
Alt Tepsi	253,42	249,51	250,00	255,43	250,41	252,68	252,41

Düşük kapasiteli ısıtıcı ve yüksek kapasiteli fan analizinde 90° hava yönlendirme kanadına sahip analiz dışındaki bütün analizlerde alt tepsi açıdan bağımsız olarak en soğuk tepsidir. Üst ve orta tepsilerdeki sıcaklık dengesizliğinden dolayı ise kanadın bulunduğu açığa bağlı olarak en yüksek sıcaklığa sahip tepsi değişmektedir.

Çizelge 4.6. DKI ve YKF fırında tepsi sıcaklık değerleri

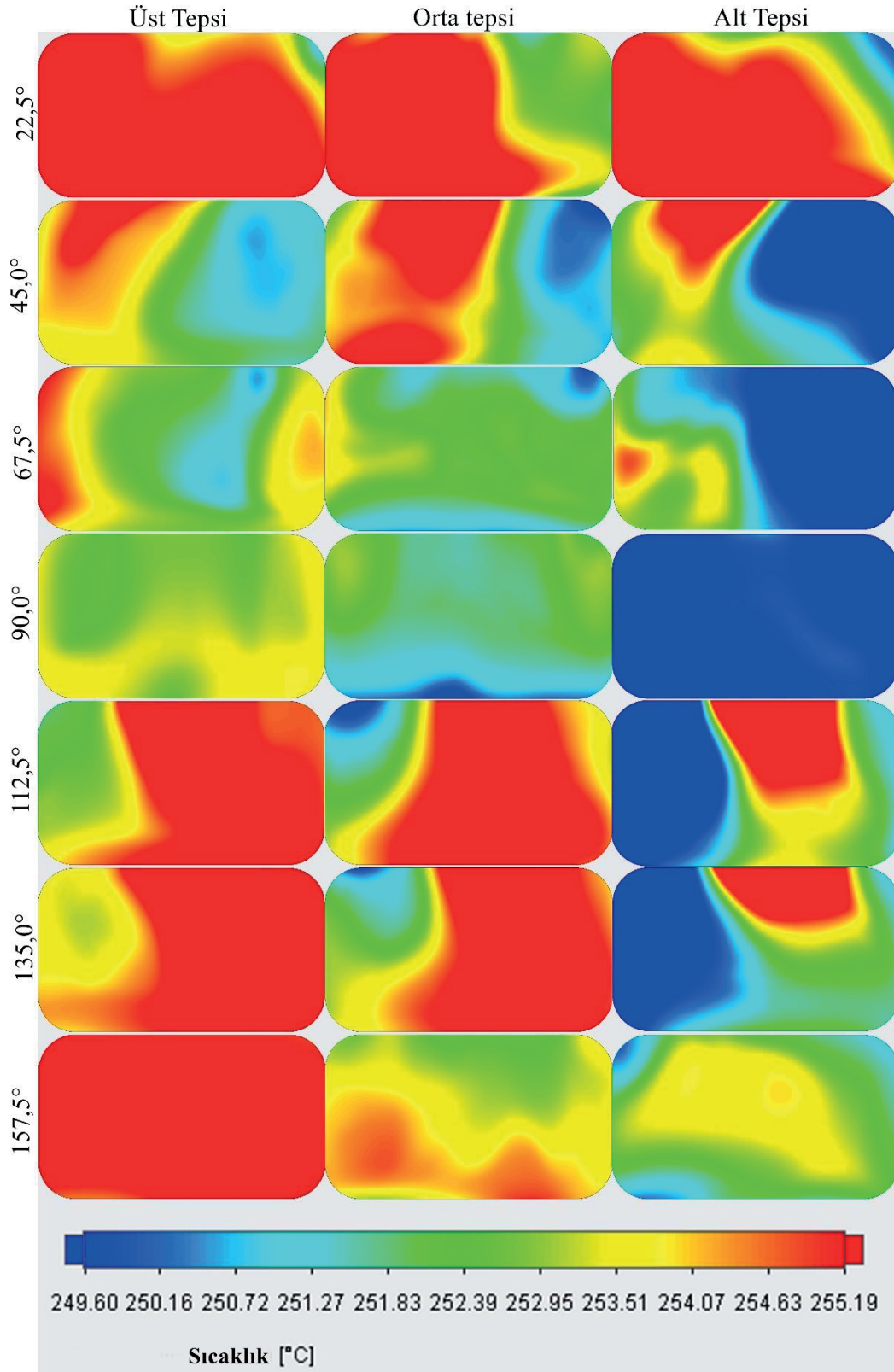
Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan					
°C	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	Fark	
				En Yüksek	En Düşük
Üst Tepsi	254,22	253,64	252,98	0,58	0,66
Orta Tepsi	254,17	253,48	252,12	0,68	1,35
Alt Tepsi	253,18	251,98	250,61	1,20	1,369
3 Tepsi Toplam	254,22	253,03	250,61	1,19	2,42

Sıcaklık verileri Şekil 3.26'daki gibi işlendiği zaman ise sıcaklık olarak en homojen tepsi önceki analizdeki gibi üst tepsi olmaktadır. Alt tepsi ise sıcaklık homojenliği açısından en kötü tepsidir. Önceki analize göre 3 tepsinin ortalama sıcaklık sapmaları daha iyi olduğu halde tepsiler kendi içinde değerlendirildiğinde beklenenin aksine daha dengesiz sonuçlar çıkmaktadır.

4.1.3. Yüksek kapasiteli ısıtıcı ve düşük kapasiteli fan

Şekil 4.3'deki Yüksek kapasiteli ısıtıcı ve düşük kapasiteli fan analizine baktığımız zaman ise diğer analizlere kıyasla hava yönlendirme kanatlarının 90° olduğu durumlarda tepsilerin sıcaklıkları birbirine yakınken, bu analizde ise tepsi sıcaklık farkları çok daha yüksektir.

Diğer yandan, önceki analizlere göre bu analizde ise 90° kanat açısında ise tepsilerin kendi içlerinde daha homojen olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. Yüksek kapasiteli ısıtıcı, düşük kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları

Çizelge 4.7. YKI ve DKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]			
	Sola yönelmiş kanat	Dik	Sağa yönelmiş kanat
ü1x1	255,81	252,56	
ü1x4		253,18	255,54
ü2x1	255,95	252,42	
ü2x4		253,09	256,47
o1x1	254,16	252,86	
o1x4		252,85	254,32
o2x1	255,36	252,28	
o2x4		252,56	255,00
a1x1	253,96	248,17	
a1x4		248,31	252,37
a2x1	254,69	248,31	
a2x4		248,80	252,82

DKI ve DKF ve DKI ve YPF analizlerinden farklı olarak bu analizde göz önüne alınan noktaların tamamında istenilen şekilde sıcaklık artışı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.8. YKI ve DKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları

Yüksek Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Üst tepsi	256,69	252,72	252,91	253,07	255,36	255,97	256,29
Orta Tepsi	256,44	253,60	252,18	251,91	255,20	255,03	253,69
Alt Tepsi	255,38	251,31	249,67	249,14	252,10	251,60	252,88

Bu analizde açıdan bağımsız olarak en soğuk tepsi alt tepsidir. Yine DKI ve DKF ve DKI ve YPF analizlerinden farklı olarak açıdan bağımsız olarak en sıcak tepsi üst tepsidir.

Çizelge 4.9. YKI ve DKF fırında tepsi sıcaklık değerleri

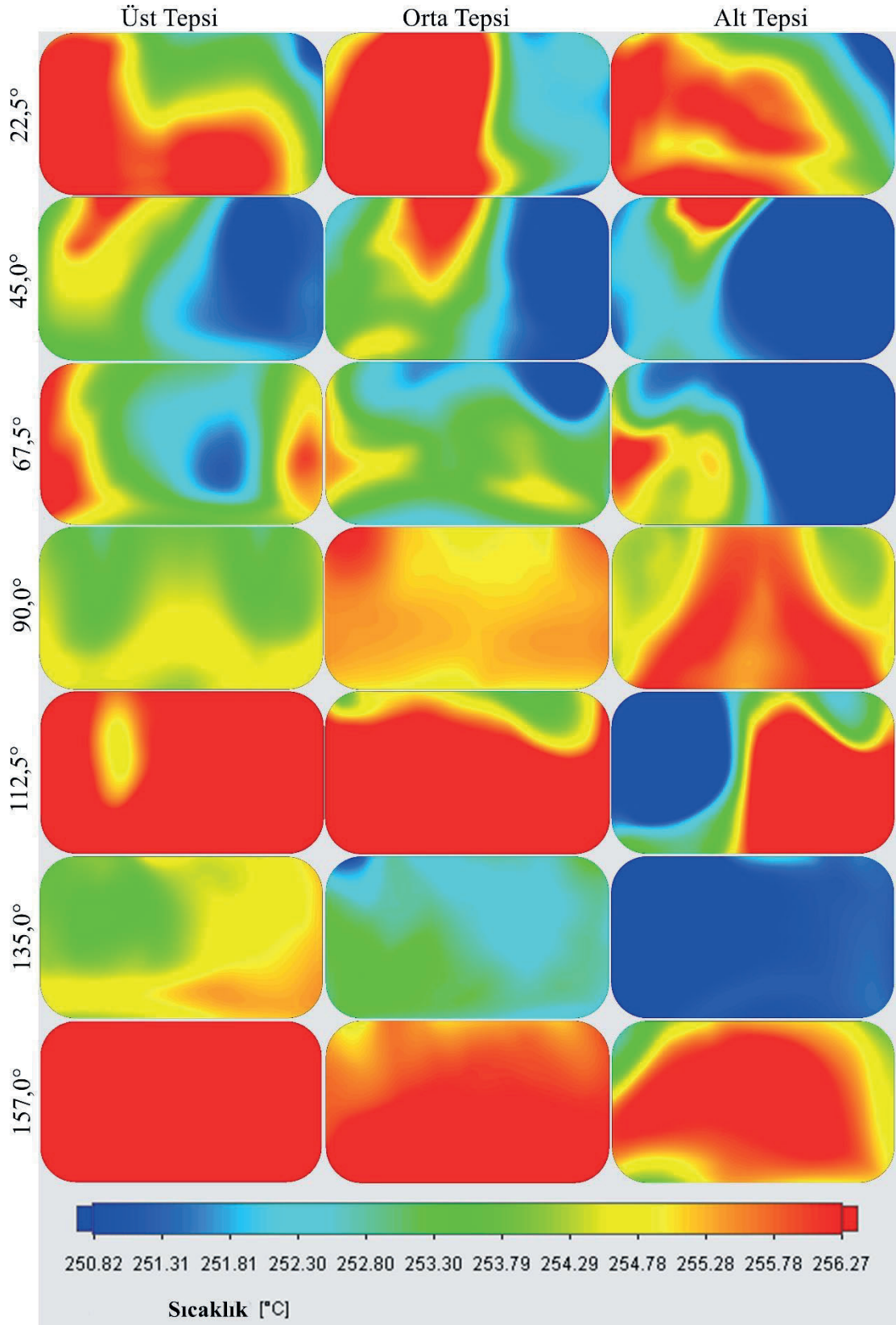
Yüksek Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan					
°C	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	Fark	
				En Yüksek	En Düşük
Üst Tepsi	255,18	254,73	253,98	0,96	1,02
Orta Tepsi	254,88	254,00	252,79	0,87	1,21
Alt Tepsi	254,09	251,72	249,59	2,37	2,12
3 Tepsi Toplam	255,18	253,48	249,59	1,70	3,89

3 tepsi geneline bakıldığı zaman DKI ve DKF ve DKI ve YPF analizlerine göre daha kötü sonuç vermiş olmasına rağmen tepsiler bireysel incelendiği zaman sıcaklık artışı gözlemlenmesi beklenen noktaların tamamında sıcaklık artışı beklendiği şekilde olmuştur.

Bunun yanında tepsiler arasındaki en iyi homojenliğe sahip olan üst tepsi, en kötü sıcaklık homojenliği ise alt tepside görülmektedir.

4.1.4. Yüksek kapasiteli ısıtıcı ve yüksek kapasiteli fan

Şekil 4.4'deki bu analizde sıcaklık bölgeleri sadece üst tepside beklendiği gibi yükselme göstermiştir. Orta tepside bütün açılarda sıcaklık düşmesi yaşanırken, alt tepside ise açığa bağlı olarak sıcaklık yükselmesi veya düşmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4. Yüksek kapasiteli ısıtıcı, yüksek kapasiteli fan analizi açılara göre tepsi üstü sıcaklıkları

Çizelge 4.10. YKI ve YKF fırında seçilen noktaların ve kanat açısına bağlı sıcaklık değişimleri

Yüksek Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]			
	Sola yönelmiş kanat	Dik	Sağa yönelmiş kanat
ü1x1	255,79	253,65	
ü1x4		253,71	256,60
ü2x1	256,02	253,84	
ü2x4		253,73	257,89
o1x1	254,12	256,08	
o1x4		255,42	254,16
o2x1	255,39	255,49	
o2x4		255,31	258,56
a1x1	253,67	254,27	
a1x4		253,97	253,07
a2x1	254,87	254,40	
a2x4		254,44	255,65

Çizelge 4.11. YKI ve YKF fırında kanat açısına göre ortalama tepsi sıcaklıkları

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Üst tepsi	255,44	252,73	253,79	254,16	259,03	254,51	257,19
Orta Tepsi	256,20	252,74	253,14	255,33	257,96	252,85	256,42
Alt Tepsi	254,90	250,40	250,90	255,38	254,28	250,35	255,87

Diğer analizlerin tamamında dik hava yönlendirme kanadına sahip fırınlarda üst tepsi en sıcak, alt tepsi ise en soğuk durumundayken bu analizde ise tam tersi şekilde en sıcak tepsi alttaki, en soğuk tepsi ise üsttekidir. Bunun dışında diğer kanat açılarında ise en sıcak tepsi üst tepsi, en soğuk tepsi ise alt tepsidir.

Çizelge 4.12. YKI ve YKF fırında tepsi sıcaklık değerleri

Yüksek Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan					
°C	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	Fark	
				En Yüksek	En Düşük
Üst Tepsi	256,24	255,24	254,42	1,00	0,81
Orta Tepsi	256,27	254,94	252,79	1,32	2,15
Alt Tepsi	254,21	253,15	250,81	1,05	2,33
3 Tepsi Toplam	256,27	254,44	250,81	1,82	3,63

3 tepsinin genel sıcaklık değerlerine baktığımızda en homojen tepsinin diğer fırınlarda olduğu gibi üst tepsi olduğunu görüyoruz. Sıcaklık homojenliği konusunda en kötü tepsi orta tepsidir.

Çizelge 4.13. Düşük kapasiteli ısıtıcılı fırınların fan kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması

DKI	Fark [°C]	
	Ortalamanın Üstünde	Ortalamanın Altında
DKF	1,99	3,40
YKF	1,19	2,42

Çizelge 4.14. Yüksek kapasiteli ısıtıcılı fırınların fan kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması

YKI	Fark [°C]	
	Ortalamanın Üstünde	Ortalamanın Altında
DKF	1,70	3,89
YKF	1,82	3,63

Çizelge 4.15. Düşük kapasiteli fanlı fırınların ısıtıcı kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması

DKF	Fark [°C]	
	Ortalamanın Üstünde	Ortalamanın Altında
DKI	1,99	3,40
YKI	1,70	3,89

Çizelge 4.16. Yüksek kapasiteli fanlı fırınların ısıtıcı kapasitesine göre ortalama tepsi üstü sıcaklıktan sapması

YKF	Fark [°C]	
	Ortalamanı Üstünde	Ortalamanın Altında
DKI	1,19	2,42
YKI	1,82	3,63

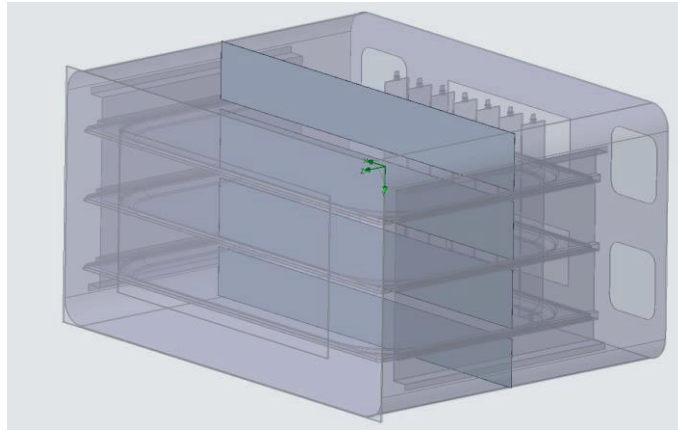
4 analiz son olarak ortalama sıcaklıklardan sapma değerlerine göre değerlendirilecek olursa;

Düşük kapasiteli ısıtıcılı (düşük güç değerli) sistemde fan kapasitesinin yükselmesi (aynı basınç farkında yüksek debi) sisteme olumlu olarak yansımıştır.

Yüksek kapasiteli ısıtıcılı (yüksek güç değeri) sistemde ise fan kapasite değişimi herhangi bir iyileşme veya kötüleşmeye sebep olmamıştır.

Düşük kapasiteli fanlı (aynı basınç farkında düşük debi sağlayan) sistemde herhangi bir iyileşme veya kötüleşme gerçekleşmemiştir.

Yüksek kapasiteli fanlı (aynı basınç farkında yüksek debi sağlayan) sistemde ise yüksek kapasiteli ısıtıcının (yüksek güç değeri) kullanılması sistemi olumsuz yönde etkileyerek ortalama sıcaklık sapmasını artırmıştır.



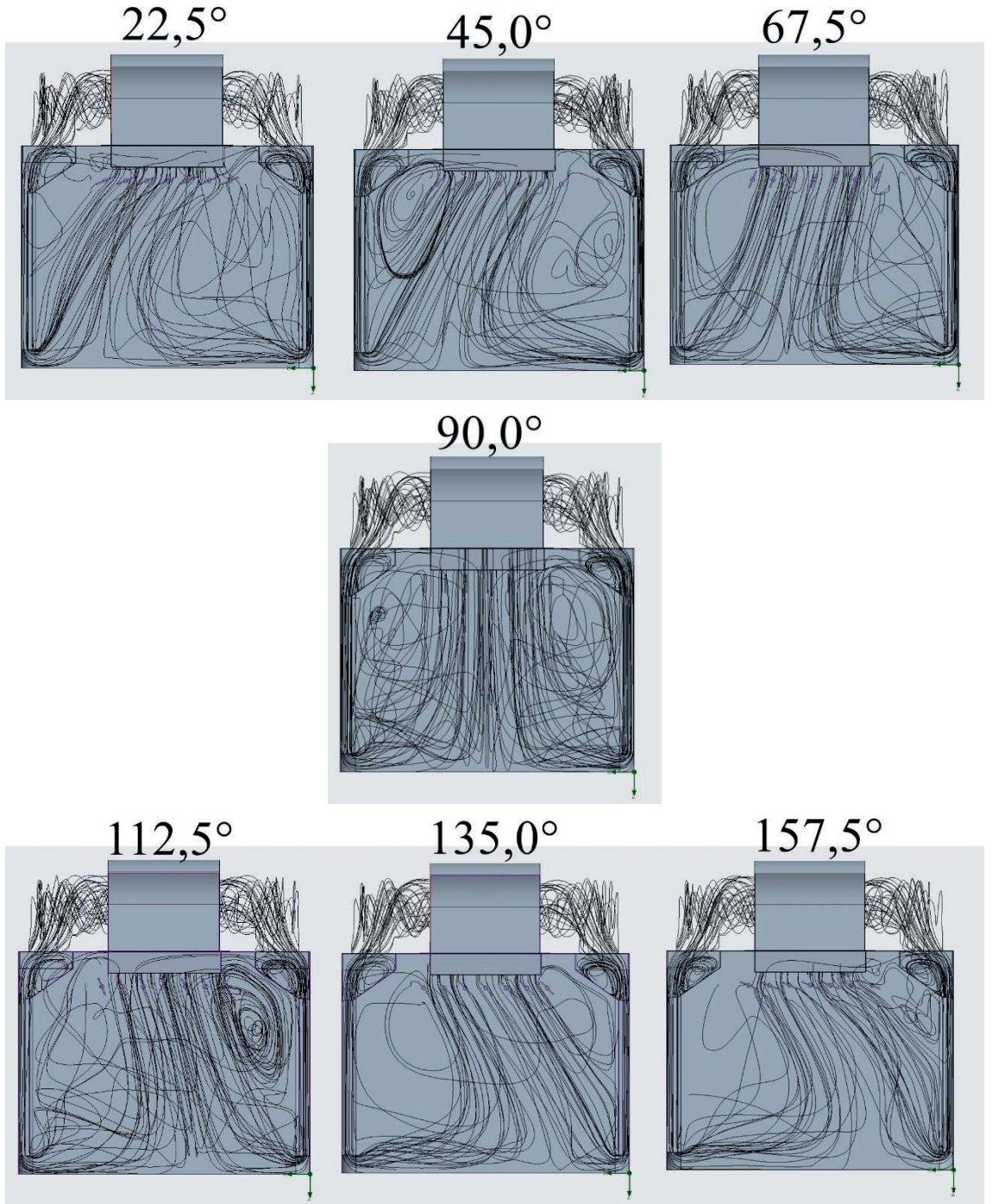
Şekil 4.5. Fırın içi debi ölçüm yüzeyleri görüntüsü

Çizelge 4.17. Fırın içi debi ölçüm yüzey alanları ve debi değerleri

		DKI ve DKF	YKI ve DKF	DKI ve YKF	YKI ve YKF
	Alan [cm ²]	Debi [gs ⁻¹]			
Üst Tepsi Üst	352	19,7	19,3	23,8	24
Üst Tepsi - Orta Tepsi	356	52,4	45,9	65,2	64,7
Orta Tepsi - Alt Tepsi	356	50,6	57,4	59,3	59,7
Alt Tepsi Alt	298	7,9	8,9	9,3	8,9

4.2. Akım çizgileri

Akım çizgilerine fırının üst kesitinden baktığımızda Şekil 4.6'daki sonuçlar çıkmaktadır. Fırının üstünden kesit görüntüsüne bakıldığı zaman yönlendirme kanatlarının bulunduğu açıya göre havayı fırın pişirme hacminin ağırlıklı olarak sol kısmına, sağ kısmına veya orta kısmına yönlendirdiği görülür.

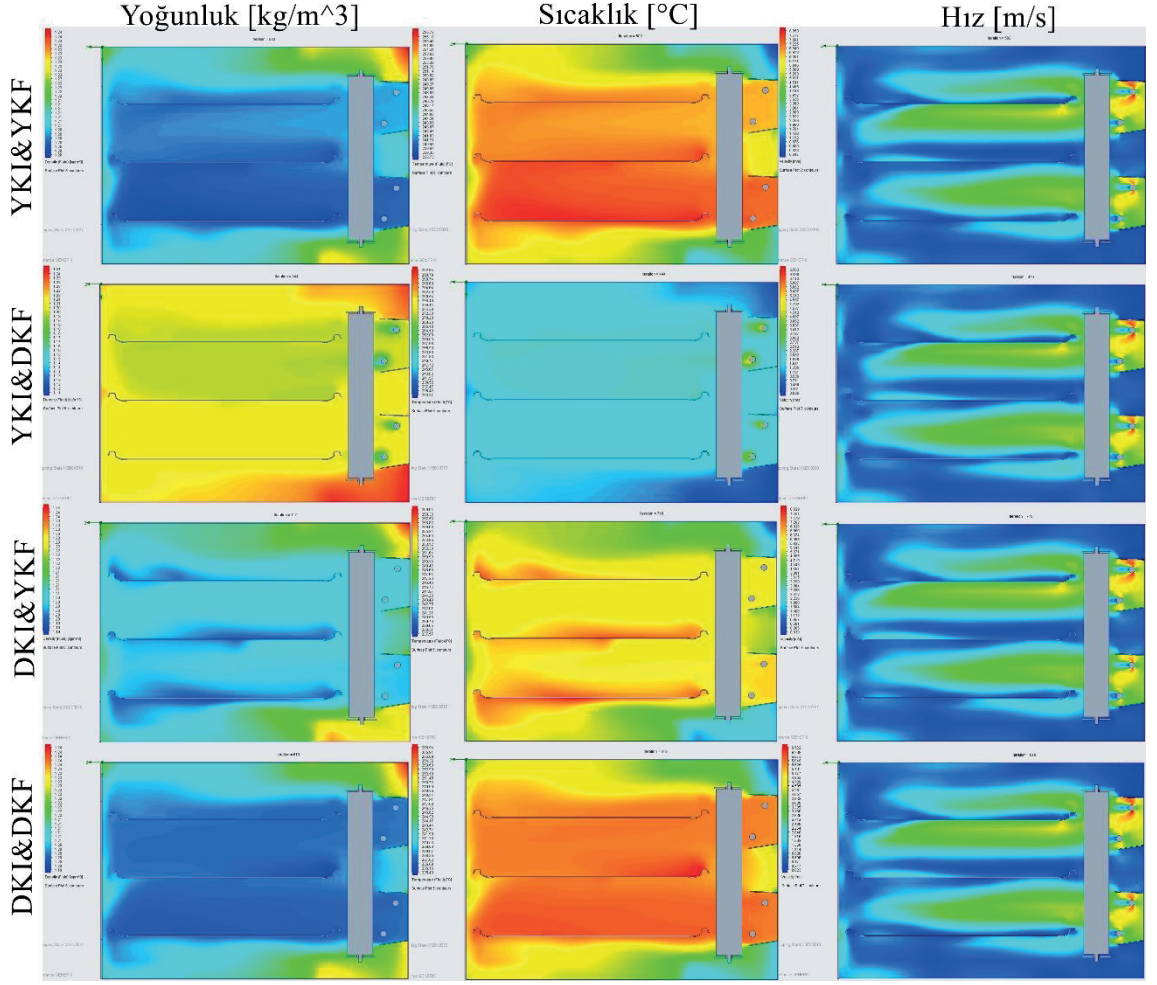


Şekil 4.6. Kanat açılarına bağlı akım çizgileri

Çizelge 4.18. Isıtıcı ve fan kapasitelerine göre fırınlardaki üst ve alt fanların giriş-çıkış basınçları ve debileri

		Giriş [Pa]	Çıkış [Pa]	Fark [Pa]	Debi [g*s ⁻¹]
DKI	Üst Fan	181308,07	181605,54	297,47	71,4
DKF	Alt Fan	181308,55	181606,06	297,51	67,4
YKI	Üst Fan	180409,52	180706,62	297,1	71
DKF	Alt Fan	180408,35	180707,13	298,78	68,2
DKI	Üst Fan	181405,03	181840,57	435,54	88,2
YKF	Alt Fan	181407,24	181839,84	432,6	79,8
YKI	Üst Fan	181522,58	181958,25	435,67	88,4
YKF	Alt Fan	181525,06	181957,49	432,43	79,8

Çizelge 1.18'deki 90° hava yönlendirme kanat açısına sahip fırınlardaki fan basınçlarına ve debilerine baktığımızda, YKI ve YKF ve DKI ve YKF sistemlerde alt fan daha düşük basınçta çalışırken, DKI ve DKF ve YKI ve DKF sistemlerde alt fan daha yüksek basınçta çalışmaktadır. Bu duruma paralel olarak YKI ve YKF ve DKI ve YKF sistemlerde üst fanlar daha fazla debi sağlarken, DKI ve DKF ve YKI ve DKF sistemlerde üst fanlar daha fazla debi sağlamaktadır.



Şekil 4.7. Analizlerin, fırın orta kesitinden hava yoğunluk, sıcaklık, hız konturları

Fırınlrın orta kesitinden hız, sıcaklık ve yoğunluk konturlarına baktığımız zaman ise Şekil 4.7’deki görsel elde edilir.

Ortalama sıcaklık değerlerinden sapması en düşük olan Düşük kapasiteli ısıtıcı ve Yüksek kapasiteli fan’lı fırına baktığımız sıcaklık yoğunlaşmasının tepsiler etrafında olduğunu görüyoruz.

Düşük kapasiteli ısıtıcı ve Yüksek kapasiteli fan’lı fırına baktığımızda sıcaklığın genel olarak daha homojen görmemize karşın orta-üst tepsisi arasındaki bölgedeki sıcaklık artışından dolayı tepsisi üstü sıcaklıkların homojenliğini kaybettiğini görüyoruz.

Orta kesitten alınan hava yoğunluğu konturlarına baktığımızda da bu durumu görmekteyiz. Düşük kapasiteli ısıtıcı ve Yüksek kapasiteli fan'lı fırında düşük yoğunluklu havanın tepsi civarında bulunması, bunun yanında Düşük kapasiteli ısıtıcı ve Yüksek kapasiteli fan'lı fırında ise üst, üst-orta tepsi arasındaki havanın daha düşük yoğunluğa sahip olduğu görmekteyiz.

5. SONUÇ

Sonuçlar incelendiğinde görülmektedir ki, incelenen 4 durum arasında en düşük sıcaklık farkı düşük kapasiteli ısıtıcı ve yüksek kapasiteli fanlı durumda olmaktadır. En kötü senaryo ise yüksek kapasiteli ısıtıcı ve düşük kapasiteli fanlı olmaktadır. Yukarıdaki bilgiler göz önüne alındığında ortalama sıcaklık sapması bakımından en iyiden en kötüye sistemleri; düşük kapasiteli ısıtıcı ve yüksek kapasiteli fan, düşük kapasiteli ısıtıcı ve düşük kapasiteli fan, yüksek kapasiteli ısıtıcı ve yüksek kapasiteli fan, yüksek kapasiteli ısıtıcı ve düşük kapasiteli fan şeklinde sıralamak mümkündür.

Bu çalışmasının bir diğer konusu olan yönlendirici kanatların etkisi ise alınan tepsi yüzü sıcaklık dağılım görsellerinden rahatlıkla görülebilmektedir. Kanatların dik konumda olduğu, diğer bir deyişle yönlendirme kanatlarının bulunmadığı durumlardaki tepsi yüzeyi sıcaklıklarına bakıldığında soğuk kalan bölgeler kanat açılarının değiştirilip analiz edildiği durumlarda önceden soğuk kalan bölgelerin ısıtılabilirdiği gözlemlenebilmektedir. Yönlendirici kanatların etkisinin görülebildiği bir diğer durum ise akım çizgileridir. Akım çizgilerine baktığımız zaman havanın kanatlar etkisinde yönlendiği yöne doğru yoğunluklu olarak aktığını tespit edilmektedir.

Sonuç olarak söylemek gerekirse, elektrikli ısıtıcı turbo fırın için ısıtıcı – fan kapasitelerin dengesinin çok önemli olduğudur. Isıtıcıya karşılık gelen fan kapasitesine göre ısıyı çok iyi dağıtabilir veya ısının dağılması konusunda yeterli olamama gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir.

Bundan dolayı bir parametrenin daha iyi sonuçlar verdiğini düşünmek yerine iki parametrenin denge içinde optimum etkiyi verdiği sonucuna ulaşmak daha isabetli olmaktadır.

Diğer bir yandan göz önünde bulundurmanız gereken durum ise sistemin normal şartlar altında zamana bağlı olarak kanatların sürekli hareket ediyor olmasıdır. Bu kanat hareketinin sürekliliği ise, bu analizlerde zamandan bağımsız olarak gerçekleştirilmesi durumundaki gibi sabit yönlendirme kanadına bağlı olarak sıcaklık düşmesi

yaşanmayacağıdır. Fırının tasarlanıp gerçek hayat ölçümleri yapılacağı zaman sistemin çok daha homojen çıkacağıdır.

Bu tezde göz önünde bulundurulmayan iki konudan biri olan ısımadır. Sisteme ısıma etkisi dahil edildiği zaman ısıtıcıya yakın bölgelerde daha yüksek sıcaklıklar olacak ve çalışmadaki tespit edilen sıcaklıklarda daha yüksek sıcaklıklar bulunacaktır.

Tezde göz önünde bulundurulmayan unsurlardan bir diğeri ise hava kaçaklarıdır. Her ne kadar yalıtım gerçekleştirilse bile fırın kapağından ve bağlantı noktalarından hava kaçakları gerçekleşecektir. Bu ise hava akışını az da olsa değiştirerek genel sıcaklık değerlerine etkisi olacaktır.

KAYNAKLAR

- Altun, Ö., Yıldız, Ş., Anık, T. 2019.** Ankastre ev tipi fırınlarda fırın kapağının enerji tüketimi ve enerji seviyesine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 25(4): 403-409.
- Çengel, Y. 2012.** Isı ve kütle transferi pratik bir yaklaşım, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 879 s.
- Çengel, Y.A., Cimbala, J.M. 2012.** Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 938 s.
- Diaz-Ovalle, C.O., Martinez-Zamora, R., Gonzalez-Alatorre, G., Rosales-Marines, L., Lesso-Arroyo R. 2017.** An approach to reduce the pre-heating time in a convection oven via CFD simulation. *Food And Bioproducts Processing*, 102: 98-106.
- Illés, B. 2010.** Distribution of the heat transfer coefficient in convection reflow oven. *Applied Thermal Engineering Applied Thermal Engineering*, 30: 1523-1530.
- Illés, B., Bakó, I. 2014.** Numerical study of the gas flow velocity space in convection reflow oven. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 70: 185-191.
- Illés, B., Harsányi G. 2009.** Investigating direction characteristics of the heat transfer coefficient in forced convection reflow oven. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33: 642-650.
- Kim, R.M., Choi Y.K., Lee, G.B., Chung, I.Y., Kim, J.D., Lee, J.H. 1998.** Thermal Investigation of an Infrared Reflow Oven with a Convection Fan. *KSME International Journal*, 12(5): 972-979.
- Kokolj, U., Škerget L., Ravnik J. 2017.** The Validation of Numerical Methodology for Oven Design Optimization Using Numerical Simulations and Baking Experiments. *Journal of Mechanical Engineering*, 2017(4): 215-224.
- Lau, C.S., Abdullah, M.Z., Ani, F.C. 2012.** Three-dimensional thermal investigations at board level in a reflow oven using thermal-coupling method. *Soldering ve Surface Mount Technology*, 24(3): 167-182.
- Mentor Graphics Corporation, FloEFD™** Technical Reference Software Version 17. USA, 165 p.
- Mentor Graphics Corporation, FloEFD™** for Creo Technical Reference Software Version 18. USA, 176 p.
- Najib, A.M., Abdullah, M.Z., Khor, C.Y., Saad. A.A. 2015.** Experimental and numerical investigation of 3D gas flow temperature field in infrared heating reflow oven with circulating fan. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 87: 49-58.

Pask, F., Sadhukhan, J., Lake, P., McKenna, S., Perez, E.B., Yang, A. 2014. Systematic approach to industrial oven optimisation for energy saving. *Applied Thermal Engineering*, 71: 72-77.

Park, D.H., Seo, E.R., Kwon, M.K., Park, Y.J. 2018. The study on the heater usage for better energy efficiency of domestic convection oven. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(2): 907-914.

Rek, Z., Rudolf, M., Zun, I. 2012. Application of CFD Simulation in the Development of a New Generation Heating Oven. *Journal of Mechanical Engineering*, 58: 134-144.

Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F., Ilicali, C. 2009. Convection and radiation combined surface heat transfer coefficient in baking ovens. *Journal of Food Engineering*, 94: 344-349.

Sari, T., Celik, A., Isik, O., Temel, O., Onbasioglu, S.U. 2013. Effects of insulation parameters on the energy consumption in domestic ovens and the most efficient insulation design. EPJ Web of Conferences 45, 2013.

Seo, J.W., Kwak, H.S., Chun, S.H., Kim, C. 2019. Design of domestic electric oven using uniformity of browning index of bread in baking process. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(9): 4311-4318.

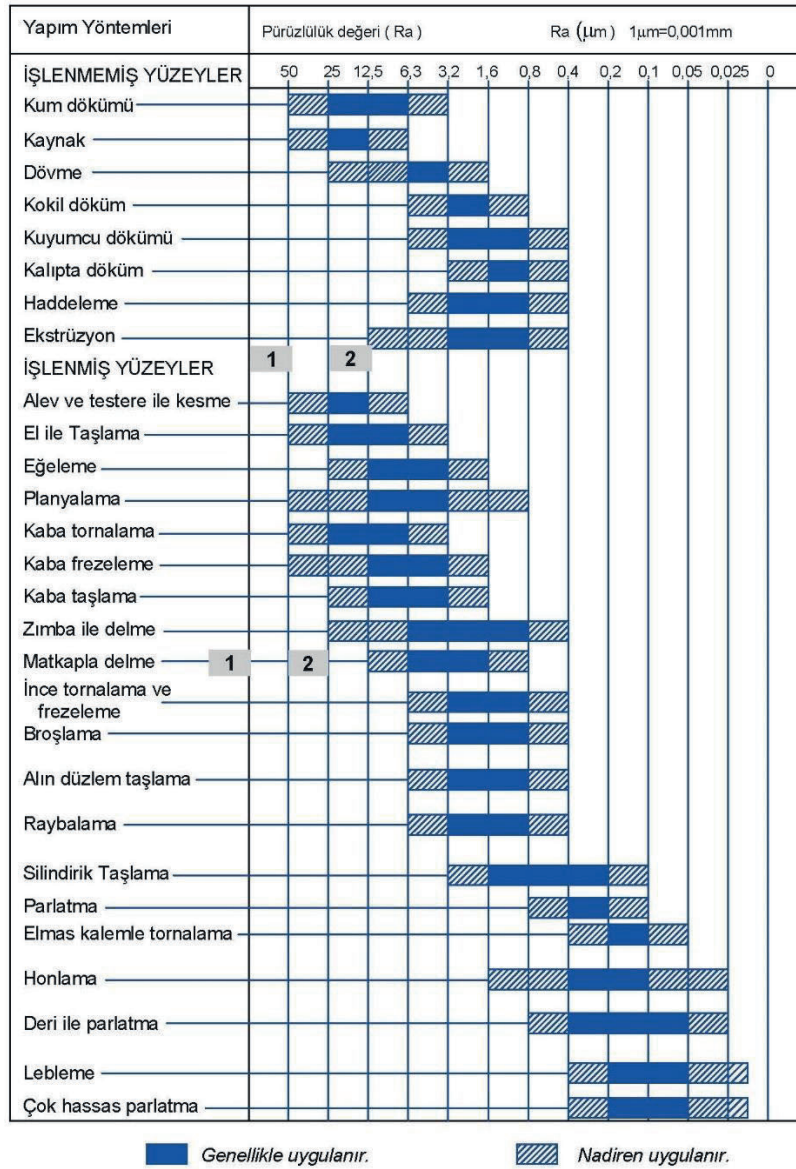
EKLER

- EK 1** AISI 304 Paslanmaz Çelik Özellikleri
- EK 2** Fan Geometrik Ölçüleri
- EK 3** Taş Yünü Özellikleri
- EK 4** GN Normu Tepsi Ölçüleri
- EK 5** Ağdan Bağımsızlık Sonuçları
- EK 6** DKI ve DKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları
- EK 7** DKI ve YKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları
- EK 8** YKI ve DKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları
- EK 9** YKI ve YKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları

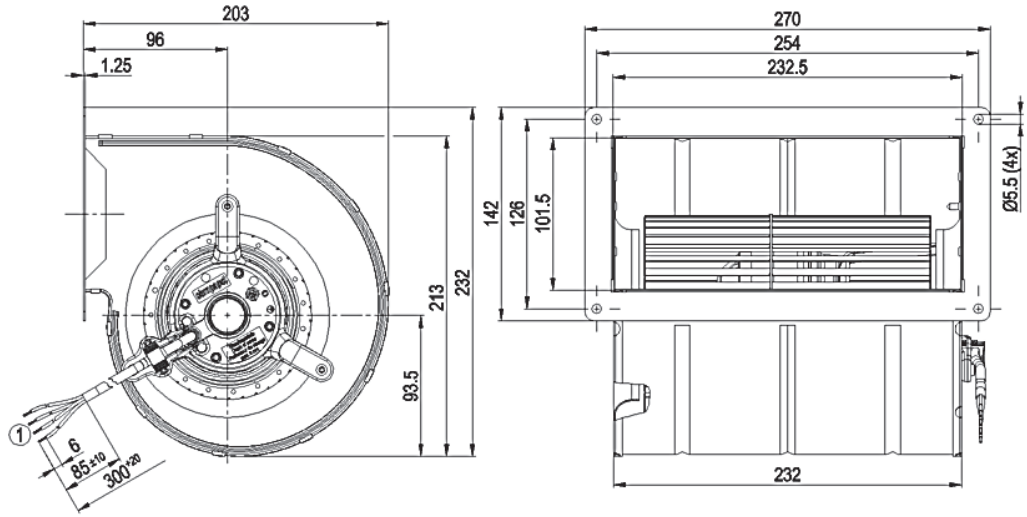
EK 1 AISI 304 Paslanmaz Çelik Özellikleri

AISI 304 tipi paslanmaz çelik termal özellikleri ve yüzey işleme özellikleri

Özgül Isı Kapasitesi	0.5 J/g-°C
Isı İletkenlik	16.2 W/m-K
Erime noktası	1400..1455 °C
Solidus	1400 °C
Liquidus	1455 °C



EK 2 Fan Geometrik Ölçüleri



EK 3 Taş Yünü Özellikleri

Taş yünü teknik özellikleri:

Isı iletkenlik beyan değeri $\lambda \leq 0,040$ W/mK'dir.

Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ 'dir.

Kullanım sıcaklığı -50/+600, -50/+650°C aralığındadır.

Sıcak ve rutubetten etkilendiğinde boyutlarında bir değişme olmaz.

Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz. Böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez.

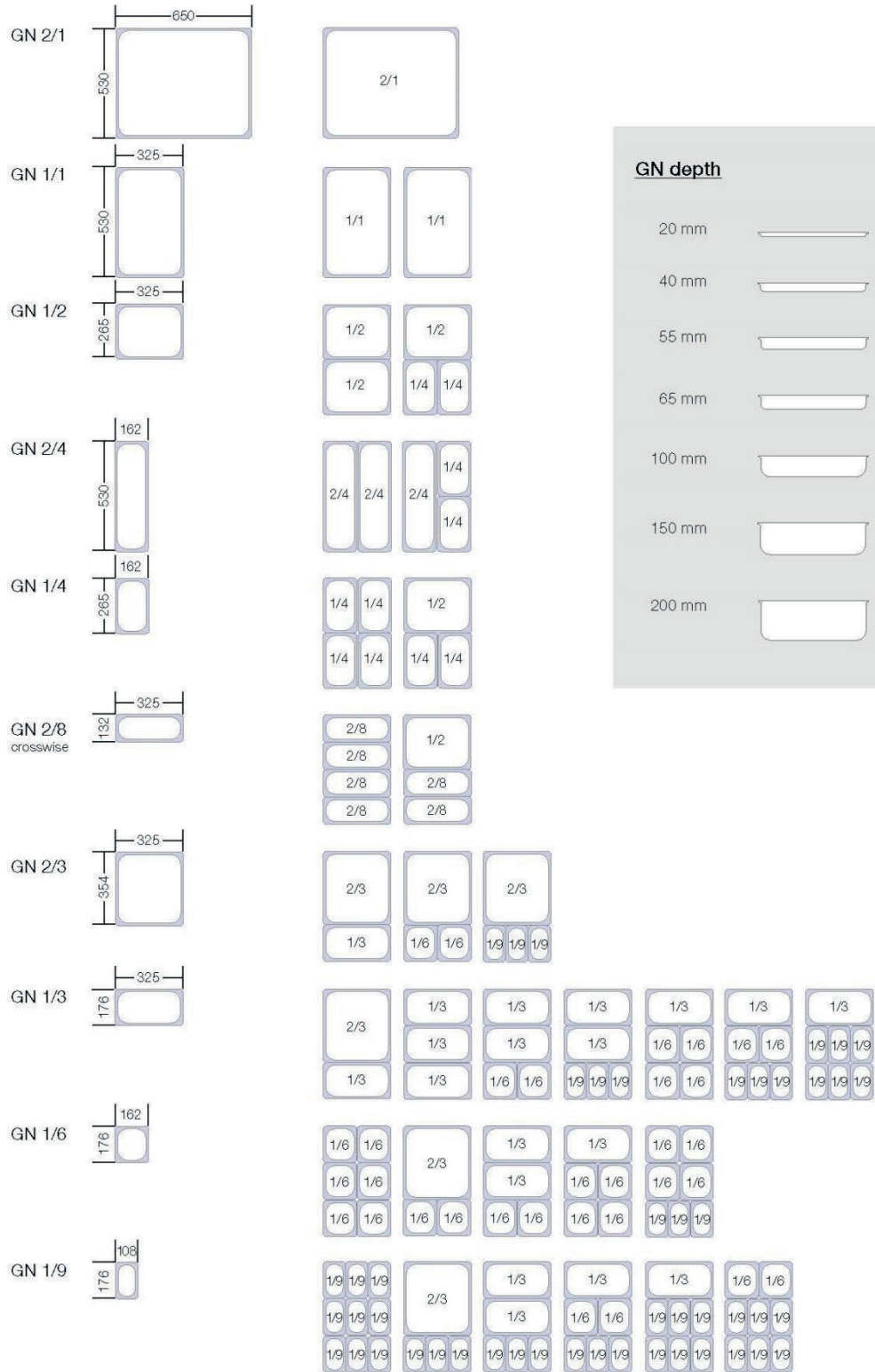
Higroskopik ve kapiler değildir.

TS EN 13501-1'e göre "yanmaz malzemeler" olan A sınıfındandır.

BVQI tarafından verilen ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ve OHSAS 18001 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği

Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (89/106/EEC) çerçevesinde CE işareti taşır.

EK 4 GN Normu Tepsi Ölçüleri



EK 5 Ağdan Bağımsızlık Sonuçları

782460 Mesh

646753 Mesh

X [m]	Y [m]	Z [m]	Sıcaklık[°C]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Sıcaklık[°C]	Fark [%]
0,34	0,24	-0,26	258,75	0,34	0,24	-0,26	254,14	1,81
0,22	0,24	-0,26	256,05	0,22	0,24	-0,26	253,84	0,87
0,10	0,24	-0,26	252,45	0,10	0,24	-0,26	251,73	0,29
0,46	0,24	-0,26	252,31	0,46	0,24	-0,26	251,82	0,20
0,34	0,24	-0,17	261,44	0,34	0,24	-0,17	255,02	2,52
0,22	0,24	-0,17	260,49	0,22	0,24	-0,17	254,36	2,41
0,10	0,24	-0,17	252,99	0,10	0,24	-0,17	251,98	0,40
0,46	0,24	-0,17	253,13	0,46	0,24	-0,17	251,89	0,49
0,34	0,24	-0,08	261,27	0,34	0,24	-0,08	254,41	2,70
0,22	0,24	-0,08	261,66	0,22	0,24	-0,08	253,94	3,04
0,10	0,24	-0,08	256,58	0,10	0,24	-0,08	254,34	0,88
0,46	0,24	-0,08	257,76	0,46	0,24	-0,08	254,18	1,41
0,34	0,16	-0,26	255,18	0,34	0,16	-0,26	254,19	0,39
0,22	0,16	-0,26	254,98	0,22	0,16	-0,26	254,16	0,32
0,10	0,16	-0,26	254,30	0,10	0,16	-0,26	254,46	-0,07
0,46	0,16	-0,26	253,49	0,46	0,16	-0,26	254,65	-0,46
0,34	0,16	-0,17	259,30	0,34	0,16	-0,17	253,90	2,13
0,22	0,16	-0,17	258,99	0,22	0,16	-0,17	253,89	2,01
0,10	0,16	-0,17	259,01	0,10	0,16	-0,17	254,24	1,87
0,46	0,16	-0,17	258,33	0,46	0,16	-0,17	254,17	1,64
0,34	0,16	-0,08	259,16	0,34	0,16	-0,08	253,47	2,24
0,22	0,16	-0,08	259,53	0,22	0,16	-0,08	253,73	2,29
0,10	0,16	-0,08	259,66	0,10	0,16	-0,08	253,47	2,44
0,46	0,16	-0,08	260,42	0,46	0,16	-0,08	253,54	2,71
0,34	0,08	-0,26	254,18	0,34	0,08	-0,26	253,82	0,14
0,22	0,08	-0,26	258,05	0,22	0,08	-0,26	253,81	1,67
0,10	0,08	-0,26	257,25	0,10	0,08	-0,26	253,22	1,59
0,46	0,08	-0,26	253,56	0,46	0,08	-0,26	253,25	0,12
0,34	0,08	-0,17	256,25	0,34	0,08	-0,17	253,61	1,04
0,22	0,08	-0,17	258,56	0,22	0,08	-0,17	253,61	1,95
0,10	0,08	-0,17	258,36	0,10	0,08	-0,17	253,32	1,99
0,46	0,08	-0,17	255,01	0,46	0,08	-0,17	253,22	0,71
0,34	0,08	-0,08	258,85	0,34	0,08	-0,08	253,72	2,02
0,22	0,08	-0,08	258,06	0,22	0,08	-0,08	253,49	1,80
0,10	0,08	-0,08	258,52	0,10	0,08	-0,08	254,18	1,71
0,46	0,08	-0,08	257,03	0,46	0,08	-0,08	254,19	1,12

EK 6 DKI VE DKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Konum							
a1x2	251,80	254,67	250,97	254,44	250,44	251,19	254,42
a1x3	253,45	248,30	246,16	254,18	252,47	257,22	255,18
a1x4	251,13	246,01	244,01	251,93	252,40	255,54	252,94
a1x1	253,15	252,91	251,05	251,90	246,52	247,02	250,95
a2x2	252,90	251,69	253,97	255,41	249,77	250,84	253,43
a2x3	253,74	248,55	246,61	254,81	254,22	257,56	253,95
a2x4	253,02	248,18	246,32	252,30	254,58	259,83	252,90
a2x1	254,04	252,23	254,90	252,14	246,79	248,53	252,29
a3x2	252,73	251,89	253,42	254,93	251,13	255,09	252,19
a3x3	253,88	251,15	249,87	254,30	254,09	256,99	253,30
a3x4	254,08	249,97	248,45	255,11	254,77	259,42	252,78
a3x1	254,05	252,30	253,82	254,53	249,14	252,85	251,55
o1x2	252,53	255,80	251,57	254,47	254,73	254,24	257,84
o1x3	250,90	252,41	251,68	254,53	254,36	257,49	261,11
o1x4	251,88	249,91	250,69	254,95	254,25	257,01	256,76
o1x1	252,15	253,35	252,27	254,80	251,49	251,93	252,57
o2x2	254,22	254,14	253,83	254,22	254,43	257,96	254,82
o2x3	252,08	252,08	252,93	254,17	253,98	260,68	257,43
o2x4	252,21	250,58	252,76	254,61	254,62	260,25	255,78
o2x1	254,37	253,45	253,92	254,48	253,35	255,54	252,94
o3x2	256,29	253,27	252,53	253,78	253,69	261,73	254,75
o3x3	255,02	251,73	253,50	254,05	253,85	264,17	255,47
o3x4	253,77	251,25	253,62	253,75	253,72	262,72	254,74
o3x1	256,37	253,34	253,18	253,86	253,79	259,53	253,71
ü1x2	253,33	253,83	252,00	254,01	254,92	255,01	257,32
ü1x3	254,19	251,34	250,81	254,00	255,96	258,15	256,91
ü1x4	254,02	250,43	252,09	253,50	257,44	260,01	255,37
ü1x1	254,99	254,35	253,94	253,50	255,01	255,51	255,07
ü2x2	253,63	252,49	252,45	253,80	254,23	254,40	256,41
ü2x3	254,62	250,94	250,26	253,79	255,53	261,07	257,20
ü2x4	254,94	250,52	253,40	253,54	256,57	261,53	256,26
ü2x1	255,79	253,22	255,34	253,40	255,37	255,09	255,78
ü3x2	254,78	252,46	253,74	253,98	255,39	259,53	256,80
ü3x3	254,96	251,65	251,89	253,75	256,18	262,15	257,94
ü3x4	254,97	251,83	253,55	254,51	256,72	263,17	256,59
ü3x1	256,22	252,99	255,82	254,44	255,94	258,59	255,58

EK 7 DKI VE YKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları

Düşük Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Konum							
a1x2	253,02	251,35	254,38	255,98	249,91	251,35	252,90
a1x3	253,12	247,48	249,07	255,57	251,60	262,59	252,88
a1x4	251,13	246,91	246,74	251,97	251,87	254,07	251,59
a1x1	254,47	251,30	251,31	251,77	247,81	246,69	251,56
a2x2	254,20	250,07	251,36	259,35	249,44	250,07	252,94
a2x3	254,14	247,92	248,29	258,37	251,44	254,74	253,28
a2x4	252,20	247,40	247,09	252,74	251,70	255,27	252,31
a2x1	254,34	251,83	251,42	252,15	248,25	247,95	252,81
a3x2	253,76	250,17	251,36	257,95	250,38	252,50	252,04
a3x3	253,74	249,18	249,61	257,53	251,55	253,10	252,52
a3x4	252,97	248,67	248,12	256,06	251,81	253,83	252,56
a3x1	253,99	251,80	251,29	255,71	249,16	249,99	251,60
o1x2	256,40	252,24	252,79	254,28	252,20	253,54	252,28
o1x3	252,54	250,29	252,11	254,24	252,43	261,45	252,30
o1x4	252,03	247,73	249,42	254,07	252,90	256,75	252,00
o1x1	254,33	251,86	252,25	253,80	252,41	250,47	252,42
o2x2	257,86	252,21	252,47	256,47	252,30	254,62	253,06
o2x3	252,81	250,59	251,95	255,80	252,24	259,80	252,70
o2x4	252,02	249,23	250,24	256,37	252,56	257,90	252,53
o2x1	256,29	252,16	252,06	257,00	252,71	252,18	253,24
o3x2	256,76	251,35	252,67	255,42	252,12	256,97	253,93
o3x3	254,08	251,24	251,93	255,77	252,19	259,04	253,98
o3x4	252,50	251,28	250,92	256,69	252,20	258,44	253,18
o3x1	256,56	251,49	252,14	256,70	252,01	254,42	254,00
ü1x2	253,54	251,87	253,43	253,02	252,43	255,29	254,37
ü1x3	253,58	250,29	252,30	252,62	253,19	261,14	254,60
ü1x4	252,67	248,81	251,20	253,04	253,97	256,93	254,26
ü1x1	255,75	252,31	252,64	253,63	251,93	251,72	254,60
ü2x2	254,28	251,22	253,04	254,30	251,95	253,08	255,02
ü2x3	254,59	249,50	251,77	253,17	253,27	258,63	255,00
ü2x4	254,02	249,76	251,42	253,38	253,66	258,55	254,79
ü2x1	256,47	252,06	252,68	253,84	252,23	251,93	255,09
ü3x2	255,18	251,56	252,47	256,30	252,75	254,61	254,74
ü3x3	255,55	251,10	251,62	254,78	253,58	255,72	254,89
ü3x4	254,40	251,45	251,71	255,90	253,82	257,41	254,91
ü3x1	256,21	251,98	252,37	256,42	252,81	253,66	254,46

EK 8 YKI VE DKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları

Yüksek Kapasiteli Isıtıcı ve Düşük Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Konum							
a1x2	254,32	258,29	250,35	249,42	253,36	252,42	253,66
a1x3	254,60	248,34	246,51	249,62	265,89	260,33	253,38
a1x4	251,69	245,57	244,51	248,31	251,97	253,19	251,94
a1x1	256,69	254,06	251,14	248,17	245,42	246,90	251,88
a2x2	256,54	252,81	252,88	249,60	249,25	249,91	253,65
a2x3	256,08	248,52	246,64	249,89	255,27	253,05	253,80
a2x4	253,68	248,38	246,30	248,80	252,99	252,76	252,70
a2x1	257,17	253,03	253,87	248,31	246,17	247,73	253,48
a3x2	256,32	252,60	253,41	249,14	250,70	250,48	252,20
a3x3	256,14	251,20	249,51	249,33	253,43	251,67	253,01
a3x4	254,81	249,86	248,14	249,81	252,57	251,83	253,10
a3x1	256,52	253,01	252,76	249,25	248,13	248,91	251,75
o1x2	258,70	258,35	251,97	251,69	254,72	253,40	252,93
o1x3	253,48	253,17	252,22	251,84	258,88	259,88	252,64
o1x4	252,94	250,16	250,67	252,85	254,28	255,63	253,04
o1x1	255,87	254,26	252,33	252,86	250,45	251,44	253,30
o2x2	260,81	256,01	252,71	251,82	255,30	253,79	253,78
o2x3	253,87	252,55	252,53	251,86	257,33	256,53	253,28
o2x4	252,60	250,52	252,42	252,56	255,00	255,81	253,48
o2x1	258,75	254,33	252,99	252,28	252,08	252,68	254,36
o3x2	260,28	255,16	251,73	250,94	256,40	255,14	254,31
o3x3	256,36	252,46	252,03	251,39	257,93	256,43	254,53
o3x4	253,96	251,13	252,58	251,52	256,10	255,99	254,01
o3x1	259,66	255,15	252,02	251,30	253,97	253,66	254,64
ü1x2	254,89	254,28	252,50	252,71	258,83	256,16	255,98
ü1x3	254,81	251,70	251,93	252,77	258,41	260,67	256,03
ü1x4	254,10	251,04	252,97	253,18	254,78	256,35	255,49
ü1x1	258,08	255,44	253,92	252,56	252,17	253,31	256,76
ü2x2	255,73	253,38	252,12	253,04	255,04	254,33	256,89
ü2x3	256,38	251,32	251,14	253,16	257,78	257,84	256,71
ü2x4	256,02	250,80	253,83	253,09	255,98	257,28	256,15
ü2x1	259,38	254,55	253,93	252,42	252,72	253,34	256,91
ü3x2	257,11	253,04	252,83	253,22	254,42	255,17	256,01
ü3x3	258,04	251,84	251,51	253,40	256,31	256,15	256,39
ü3x4	256,89	251,54	253,69	253,84	255,76	256,59	256,48
ü3x1	258,81	253,74	254,51	253,51	253,51	254,43	255,74

EK 9 YKI VE YKF Tepsi Yüzeyi Sıcaklıkları

Yüksek Kapasiteli Isıtıcı ve Yüksek Kapasiteli Fan Sıcaklık [°C]							
Kanat Açısı	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°	112,5°	135,0°	157,5°
Konum							
a1x2	254,86	256,20	251,45	255,77	250,32	249,84	256,22
a1x3	254,19	247,72	247,11	255,68	256,52	251,03	256,57
a1x4	251,45	244,83	246,25	253,97	252,92	251,23	255,06
a1x1	256,53	252,85	251,63	254,27	246,46	247,94	254,16
a2x2	256,29	252,03	254,56	256,27	249,97	250,12	256,55
a2x3	255,65	248,02	247,31	256,16	260,87	250,91	257,00
a2x4	253,12	247,46	246,99	254,44	260,04	251,31	255,60
a2x1	256,17	252,36	256,07	254,40	248,86	248,84	256,47
a3x2	255,73	251,86	254,70	255,83	253,36	251,09	255,69
a3x3	255,18	250,37	250,67	255,84	260,12	251,17	256,14
a3x4	253,93	248,82	249,44	256,29	260,28	251,38	255,89
a3x1	255,66	252,32	254,63	255,65	251,64	249,33	255,15
o1x2	260,62	256,55	252,28	255,10	256,34	252,63	255,72
o1x3	253,97	252,34	252,79	255,02	255,07	252,53	255,86
o1x4	252,34	249,56	249,76	255,42	254,10	252,80	255,59
o1x1	256,37	253,32	252,68	256,08	255,37	252,12	255,21
o2x2	261,50	255,22	253,37	255,28	258,83	253,22	256,47
o2x3	253,51	252,07	254,02	255,17	257,97	252,43	256,34
o2x4	252,09	249,97	253,20	255,31	258,56	252,78	256,15
o2x1	258,46	253,58	254,13	255,49	258,86	253,27	255,83
o3x2	259,18	253,75	253,15	255,15	260,41	253,20	257,80
o3x3	254,84	251,79	254,13	255,28	258,95	252,93	257,94
o3x4	252,67	250,55	254,39	255,36	260,10	252,89	256,74
o3x1	258,81	254,21	253,82	255,32	261,00	253,39	257,36
ü1x2	254,00	254,45	252,92	253,92	256,02	253,70	256,86
ü1x3	253,65	251,85	252,50	253,94	257,50	254,43	257,20
ü1x4	252,65	250,81	254,05	253,71	257,96	254,75	257,08
ü1x1	257,58	255,12	254,66	253,65	257,20	253,75	256,85
ü2x2	254,73	253,41	252,72	254,32	256,11	253,78	257,28
ü2x3	255,14	251,44	251,47	254,43	259,44	254,65	257,28
ü2x4	254,42	251,01	254,82	253,73	261,38	254,98	257,30
ü2x1	257,89	254,74	255,42	253,84	257,68	253,60	257,51
ü3x2	255,86	253,02	253,92	254,58	261,06	254,96	257,34
ü3x3	257,07	251,68	252,29	254,64	261,16	255,42	257,27
ü3x4	255,24	251,30	254,66	254,68	260,74	255,30	257,12
ü3x1	257,10	253,96	256,08	254,50	260,10	254,76	257,24

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak KİŞİN
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir - 20.07.1992
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : İzmir Teğmen Ali Rıza Akıncı Anadolu Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi – Makine Mühendisliği
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

İletişim (e-posta) : burakkisin@gmail.com

Yayınları :