

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MUTFAK PİŞİRİCİLERİN CFD MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ma k. Mih. N hat Bİ ÇER

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Program : ENERJİ

OCAK 2003

MUTFAK PİŞİRCİLERİN CFD MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Nihat HİÇER
(503961018)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Ocak 2003

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Erhan BÖKE
Diğer Jüri Üyeleri **Prof. Dr. Ahmet ARISOY**
Prof. Dr. Cem SORUŞBAY

OCAK 2003

ÖNSÖZ

Günümüz mühendislik dünyasında önemli bir yer edinen modelleme çalışmaları pişirici cihazlar sektöründe de uzun bir dönemdir kullanılmaktadır. Bu çalışmalar deneyler ile birlikte yapıldığında son derece başarılı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Türkiye'de beyaz eşya sektörünün en büyük, dünyada ise sayılı şirketlerinden olan Arçelik A.Ş. içinde ürün modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Değerli hocam Sayın Erhan Böke ile birlikte çalışarak tamamladığımız yüksek lisans tezi bu çalışmalardan esinlenilerek hazırlanmıştır. Ancak hazırlanan yüksek lisans tezi de tümüyle bilimsel gerçeklerden yola çıkılmış ve hiçbir biçimde ticari amaç taşınmamıştır. Yüksek lisans tezi modelleme çalışmalarına bir örnek olarak hazırlanmıştır. Yoğun çalışmalar sonucunda tamamlanan bu tezin hazırlanmasında bana her türlü yardımı sağlayan değerli hocam Sayın Erhan Böke'ye, fırınların deney aşamasını birlikte gerçekleştirdiğimiz Sayın Cengiz Açar, Erkan Gündüz ve Murat Topsakal'a, yüksek lisans çalışmalarına verdiği destekten dolayı başta Arçelik Pişirici Cihazlar İşletmesi Ürün Direktörü Sayın Adnan Tüfekçi, Ürün Geliştirme Yöneticisi Sayın Cemalettin Kalaycı, Üretim Mühendisliği Yöneticisi Sayın Gökhan Engin ve Ürün Geliştirme Yöneticiliği Yapısal Takım Lideri Sayın Hasan Umur'a, Pişirme Teknolojileri isimli çalışmamı benimle paylaşan değerli çalışma arkadaşım Sayın Ümrân Elmas'a ve mensubu olmakla onur duyduğum Arçelik Pişirici Cihazlar İşletmesi Çalışanları'na ve aileme teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum. Çalışmamın daha büyük ve kapsamlı projeler için bir başlangıç olmasını diliyorum.

Ocak 2003

Nihat HİÇER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. CFD UYGULAMALARI	3
2.1. CFD kodunun çalışması	4
2.2. Gambit ve Fluent programlarının kullanılması	5
3. AKIŞIN MATEMATİKSEL MODELİ	16
4. MUTFAK PİŞİRCİLERİNİN TANITILMASI	28
4.1. Anaç ve Kapsam	28
4.2. Konstrüksiyondaki gelişmeler	28
4.3. Fırınlar	31
5. FIRINIÇ GÖVDESİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ	34
5.1. Deney tesisatı	34
5.2. Deney yöntemi	38
6. FIRINIÇ GÖVDESİNİN CFD MODELLENMESİ	44
6.1. Fırınıç gövdesi geometrisinin oluşturulması	44
6.2. Fırınıç gövdesinin fluent programında modellenmesi	52
6.3. Fluent programından elde edilen sonuçlar ile deney sonuçlarının karşılaştırılması	66
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	68

KI SALT MALAR

CFD : Computational Fluid Dynamics

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Canbit programında geometri komutları	8
Tablo 2.2 : Canbit programında koordinat sistemleri.....	9
Tablo 2.3 : Canbit programında koordinat sistemi dönüşümleri	9
Tablo 2.4 : Canbit programında meshleme işlemine ait komutlar.....	10
Tablo 2.5 : Canbit programında sınır tabaka işlemlerine ait komutlar.....	11
Tablo 2.6 : Canbit programında meshleme işlemlerine ait komutlar	12
Tablo 5.1 : Deney şartları bilgileri tablosu.....	22
Tablo 5.2 : Tepsisiz sıcaklık deneyi sıcaklık değerleri.....	27
Tablo 5.3 : Tepsili sıcaklık deneyi sıcaklık değerleri.....	31

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Canbit programında oluşturulmuş bir uygulamaya örneği	6
Şekil 2.2 : Canbit programında geometri komutları.....	7
Şekil 2.3 : Canbit programında hesaplama hacimleri ne bir örnek	13
Şekil 2.4 : Fluent programında modellenme	14
Şekil 3.1 : Akışkan parçacığı na olan kütle akışı.....	17
Şekil 3.2 : Akışkan elemanı nın üç yüzeyindeki gerili m bileşenleri.....	19
Şekil 3.3 : x-yönündeki gerili m bileşenleri.....	19
Şekil 3.4 : Isı akı m vektör ü bileşenleri.....	22
Şekil 4.1 : Cebri dol aşım ile pi şirme	29
Şekil 4.2 : Statik pi şirme.....	31
Şekil 4.3 : Turbo pi şirme.....	31
Şekil 4.4 : Elektroturbo pi şirme.....	31
Şekil 4.5 : Izgara pi şirme.....	32
Şekil 4.6 : Buz çöz me seçeneği.....	32
Şekil 4.7 : Yeni sistem gazlı fır ın pi şirme tekni ği.	33
Şekil 5.1 : Deney tesisatı nın görünt üsü.....	35
Şekil 5.2 : Deneyde kullanılan fır ın n görünt üsü	36
Şekil 5.3 : Fır ın iç gövdesi ve sıcaklık ölç ü m nokt aları görünt ü leri.....	37
Şekil 5.4 : Tepsisiz şasi deneyi sıcaklık ölç ü m nokt aları.....	38
Şekil 5.5 : Tepsisiz sıcaklık deneyi sıcaklı ğ ın süre ile değ iş imi	40
Şekil 5.6 : Tepsili şasi deneyi sıcaklık ölç ü m nokt aları.....	41
Şekil 5.7 : Tepsili sıcaklık deneyi sıcaklı ğ ın süre ile değ iş imi	43
Şekil 6.1 : Unigraphics programında oluşturulan fır ın iç gövdesi geometrisi	45
Şekil 6.2 : Çerçekte kullanılan fır ın iç gövdesi ni n res mi.....	46
Şekil 6.3 : Unigraphics te oluşturulan model geometrisi.....	47
Şekil 6.4 : Solid Works programında dönüşt ü röl en model geometrisi.....	48
Şekil 6.5 : Canbit programında oluşturulan tepsisiz şasi model geometrisi.....	49
Şekil 6.6 : Canbit programında oluşturulan tepsili şasi model geometrisi.....	50
Şekil 6.7 : Canbit programında meshlenmiş şasi model geometrisi.....	51
Şekil 6.8 : Fluent programında meshlenmiş geometri ni n okun ması	52
Şekil 6.9 : Geometri ni n ölç ü m bir i ni ne dönüşt ü röl mesi	53
Şekil 6.10 : Fluent programında model tanı mla maları	53
Şekil 6.11 : Enerji tanı mla ması	54
Şekil 6.12 : Akış şartları nı n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	54
Şekil 6.13 : Radyasyon modeli ni n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	55
Şekil 6.14 : Değerleri n onaylan ması gerekti ğ ini belirten bilgi mesajı.....	55
Şekil 6.15 : Dosya nı n oluşturul ması	55
Şekil 6.16 : Mal ze me bil gileri ni n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	56
Şekil 6.17 : Operasyon şartları nı n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	57
Şekil 6.18 : Sın ır şartları nı n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	58
Şekil 6.19 : Tepsisiz şasi iç i n giriş şartları nı n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	58
Şekil 6.20 : Tepsisiz şasi iç i n çık ışı şartları nı n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	59
Şekil 6.21 : Tepsisiz şasi iç i n duvar şartları nı n tanı mla ndı ğ ı böl ü m.....	59

Şekil 6 22 :	Akışkan şartlarını tanımladığı bölüm.....	60
Şekil 6 23 :	Tepsisiz şasi için üst yüzey şartlarını tanımladığı bölüm.....	60
Şekil 6 24 :	Tepsisiz şasi için alt yüzey şartlarını tanımladığı bölüm.....	61
Şekil 6 25 :	Tepsili şasi için giriş şartlarını tanımladığı bölüm.....	61
Şekil 6 26 :	Tepsili şasi için çıkış şartlarını tanımladığı bölüm.....	62
Şekil 6 27 :	Tepsili şasi için duvar şartlarını tanımladığı bölüm.....	62
Şekil 6 28 :	Tepsili şasi için üst yüzey şartlarını tanımladığı bölüm.....	63
Şekil 6 29 :	Tepsili şasi için alt yüzey şartlarını tanımladığı bölüm.....	63
Şekil 6 30 :	Çözüm kontrol parametrelerini tanımladığı bölüm.....	64
Şekil 6 31 :	Çözüm parametrelerinin tanımladığı bölüm.....	64
Şekil 6 32 :	Çözüm görüntüleme parametrelerini tanımladığı bölüm.....	65
Şekil 6 33 :	İterasyon parametrelerini tanımladığı bölüm.....	65
Şekil 6 34 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program çözümü	66
Şekil 6 35 :	Tepsili şasi modeli fluent program çözümü	67
Şekil 7 1 :	Tepsili şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü	68
Şekil 7 2 :	Tepsili şasi modeli toplamıcaklık bileşeni çözümü.....	68
Şekil 7 3 :	Yeni tasarımgazlı fırın iç gövdesi.....	69
Şekil A 1 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program model geometrisi.....	72
Şekil A 2 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü.....	73
Şekil A 3 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü.....	73
Şekil A 4 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın y bileşeni çözümü.....	74
Şekil A 5 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın z bileşeni çözümü.....	74
Şekil A 6 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program toplamıcaklık çözümü	75
Şekil A 7 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program toplamıcaklık çözümü	75
Şekil A 8 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü.....	76
Şekil A 9 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü.....	76
Şekil A 10 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın y bileşeni çözümü.....	77
Şekil A 11 :	Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın z bileşeni çözümü.....	77
Şekil A 12 :	Tepsili şasi modeli fluent program model geometrisi.....	78
Şekil A 13 :	Tepsili şasi modeli fluent program üst yüzey bileşke hız.....	79
Şekil A 14 :	Tepsili şasi modeli fluent program üst yüzey hızın x bileşeni.....	79
Şekil A 15 :	Tepsili şasi modeli fluent program üst yüzey hızın y bileşeni.....	80
Şekil A 16 :	Tepsili şasi modeli fluent program üst yüzey hızın z bileşeni.....	80
Şekil A 17 :	Tepsili şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü.....	81
Şekil A 18 :	Tepsili şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü.....	81
Şekil A 19 :	Tepsili şasi modeli fluent program hızın y bileşeni çözümü.....	82
Şekil A 20 :	Tepsili şasi modeli fluent program hızın z bileşeni çözümü.....	82
Şekil A 21 :	Tepsili şasi modeli fluent program toplamıcaklık çözümü	83
Şekil A 22 :	Tepsili şasi modeli fluent program toplamıcaklık çözümü	83
Şekil A 23 :	Tepsili şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü.....	84
Şekil A 24 :	Tepsili şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü.....	84
Şekil A 25 :	Tepsili şasi modeli fluent program hızın y bileşeni çözümü.....	85
Şekil A 26 :	Tepsili şasi modeli fluent program hızın z bileşeni çözümü.....	85
Şekil A 27 :	Tepsili şasi modeli fluent program toplamıcaklık çözümü	86
Şekil A 28 :	Tepsili şasi modeli fluent program toplamıcaklık çözümü	86

SEMBOL LİSTESİ

t	: Zaman
ρ	: Yoğunluk
$\delta x, \delta y, \delta z$	: Akışkan parçacığının boyutları
u, v, w	: Akışkan parçacığının x, y ve z yönündeki hızları
p	: Akışkan parçacığına etki eden basınç
$\tau_{xx}, \tau_{yx}, \tau_{zx}$	: Akışkan parçacığına x -yönünde etki eden gerilim bileşenleri
$\tau_{xy}, \tau_{yy}, \tau_{zy}$	: Akışkan parçacığına y -yönünde etki eden gerilim bileşenleri
$\tau_{xz}, \tau_{yz}, \tau_{zz}$	: Akışkan parçacığına z -yönünde etki eden gerilim bileşenleri
S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}	: x, y ve z momentum denklemlerindeki kütle kuvvetleri
g	: Yerçekimi ivmesi
E	: Akışkan parçacığının enerjisi
q	: Isı akı vektörü
q_x, q_y, q_z	: Isı akı vektörünün x, y ve z yönündeki bileşenleri
T	: Sıcaklık
i	: İç enerji
c	: Sıcaklık katsayısı
R	: İdeal gaz katsayısı
Re	: Reynold's sayısı
Γ	: Difüzyon katsayısı
ϕ	: Akışkan denklemlerinde korunumforunun genel değişkeni
S_ϕ	: Genel değişkenin kaynak terimi
CV	: Kontrol hacmi
V	: Hacim

MUTFAK PİŞİRİCİLERİN CFD MODELLENMESİ

ÖZET

Fırın teknolojisindeki müşteri beklentileri gün geçtikçe artmaktadır. Bu sektörde özgün tasarımların yanı sıra enerji tüketiminin düşük olması gibi beklentiler de artmaktadır. Yemek pişirme işleminin gerçekleştirildiği fırın iç gövdesinde ısı dağılımının uygun şekilde oluşturulması enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Deneyler yardımıyla hız ve sıcaklık değerlerini ölçmek mümkündür. Ancak bu yöntem oldukça pahalı, uzun süren ve sınırlı sayıda bilgiye ulaşabileceğiniz bir çözümdür. Fırın iç gövdesinin modellenmesi çalışmasında 14 noktada ölçüm alabilirken bu rakam model sonucunda 300.000 noktayı bulmaktadır. Bunun anlamı belirli bir doğrulukla elde edilen modellenme çözümünün çok daha fazla bilgiyi sağladığıdır.

Modellenme çalışmaları aynı zamanda daha tasarım aşamasında iken ürünün veri bilişini önceden görebilme ve gerekli değişiklikleri üretiye taşımasından önce yapma fırsatı sağlar. Bu avantaj çok büyük maliyetler ile üretiye taşımasına getirilen yeni tasarımların üründe çıkabilecek olası problemleri önceden çözme fırsatı sağlar. Günümüz teknolojisinde daha hızlı bilgisayarların ve daha kapsamlı yazılımların geliştirilmesi ile modellenme çalışmalarının kullanımı alanları oldukça artacaktır. Özellikle deney maliyetlerinin yüksek olduğu otomotiv sektörü gibi sektörlerde bu durumşimiden oluşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada etkinliği ve kullanımları artan modellenme çalışmaları ile birlikte deneysel çalışmalar yardımıyla fırın iç gövdesinde oluşan sıcaklık ve hız dağılımının ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile de desteklenmiştir.

CFD MODELLING OF COOKERS

SUMMARY

Customer expectations are increasing in cooker technology day by day. These expectations include also consumption of energy by devices. Obtaining a homogeneous heat distribution inside the cooking volume of an oven, culminates to the reduction of energy consumption.

Velocity and temperature can be measured by performing experiments. However this method is very expensive, its duration is very long and limited number of data can be obtained. Data is being obtained from 14 points in the experimental method, however 300.000 points should be defined to the computer in order to obtain an analytical solution. This means that a high accuracy analytical solution gives much more accurate results.

Modelling procedure also helps to predict the efficiency of the product during the design procedure and also helps to make obligatory changes in the design. This is advantageous for the fact that necessary solutions of the problems can be obtained before the costly manufacturing process. Modelling procedure will become more widespread by the development of faster computers and more specific software. Yet this can be already seen in the automotive industry.

In this study velocity and heat distribution in the oven cooking volume has been researched by using experimental and modelling procedure. At the end of the study, both results have been compared with each other.

1. GİRİŞ

Piştirici Ghazlar teknoloji si sürekli geliş en bir sektördür. Ateş in keş fi ile başlayan piş irme; günümüzde teknoloji nin geliş mesine paralel olarak insanların yaş a m ve düşünce tarzları nın de ğ iş mesi ile birçok yenilik ortaya çı kmıştır [5]. İnsanlar, ye mek piş irme ki ç in birçok farklı teknoloji yi kullanabil mekte ve farklı tasarı mlarla daha iyi, daha hızlı ve daha lezzetli ye mekler yapabil mektedir.

Fırın lar müşteri beklentilerini sürekli araştır makt a, bu araştır ma sonuç ları nı analiz edip ürün tasarı mları na bu verileri yansı t makt a, dolayısı yla he mfonksiyonel ve he m estetik olarak müşterilerin ilgisini ve be ğ enisini çe kecek ürünleri piyasaya arz et mektedir.

Son dönemde sadece görünüm yada tasarı mla ilgili beklentilerin dışında enerji tüketi minin düşük ol ması gibi hedefler önem kazan mıştır. Fırın iç gövdesinde ısı da ğ ılı mın uygun şekilde oluş ması nı sağlayacak şekilde üretilen fırın lar he m ye meklerin piş irme süresini kısaltacağı gibi enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Deneyler yoluyla sıcaklık, hız ve basınç de ğ erlerinin ölçül mesi mümkündür. Bu sayede hedeflenen de ğ erlere ulaş ılabilir. Ancak deney yöntemi oldukça pahalı ve uzun bir yöntemdir. Bütün bu dezavantajları nın üstünde en büyük dezavantajı deneylerin ürün ta ma mlandıktan sonra yapılabilmesi dir. CFD metodu ise sonuç ların daha tasarı maş a masında alın ması nı sağ la maktadır. CFD günümüzde bir çok sekt ö r de yaygın bir kullanım alanı bul muştur. Plastik enjeksiyonda kalıp tasarı m yapılırken eriyen plastik ha m maddesinin davranış ı nı modellemek amacıyla, inşaat sektöründe tünel tasarımı yapılırken, otomotiv sektöründe araç tasarımı nda CFD metodundan yararlanılmaktadır.

Bu günkü mühendislik dünyasında akış kanlar mekani ğ i ile ilgili konulara üç temel yaklaşım bulunmaktadır [1]. Bunlar deneysel, teorik (analitik) ve bilgisayar teknolojisi (sayısal) metotlardır. Bilgisayar teknolojisi ndeki geliş melere ba ğ lı olarak günümüzde tasarı m mühendisleri bilgisayar teknolojisini daha yaygın bir biçimde kullanmaya baş lamışlardır. Geç mişte ürün tasarlanırken yada bir mühendislik

probleminin çözümünde ilk akla gelen deneysel çözümler iken bu gün deneysel çözümlerin yerini bilgisayar yardımıyla modellenmeler almış, deneysel çözümler ile bilgisayar yardımıyla elde edilen çözümler arasındaki sonuç farkları ortadan kalkmaya başlamıştır.

Bilgisayar yardımıyla yapılan çözümler deneysel metotlara oranla çok daha avantajlıdır. Bu avantajlardan en önemileri deneysel metotların maliyetinin yüksek oluşu ve uzun zaman alışıdır. Deneysel çözümlerin maliyeti hızla artarken bilgisayar yardımıyla ulaşılan çözümlerin maliyetleri aynı hızla düşmektedir. Ancak bu bilgisayar teknolojisinin tümüyle deneysel çözümlerin yerini alacağı anlamına gelmemelidir. Bu gelişmelerin asıl sonucu bilgisayar teknolojisinin daha yaygın bir şekilde kullanılacağıdır. Deneysel metotların üstünlüklerinden biri deneysel çalışmanın sonucu elde edilen verilerin daha gerçekçi veriler olmasıdır. Teorik metotlar daha kolay anlaşılabilir ve analitik çözümlerdir. Ancak basit geometri ve fiziksel problemlerin çözümlerinin dışında kullanılamazlar. Buna karşılık bilgisayar yardımıyla çok daha zor geometriler ve fiziksel olaylar çözülebilir.

Hayatımızda önemli bir yer tutan pişirici cihazlarıntasarımında ve teknolojisinde son yıllarda büyük gelişmeler yaşanmaktadır. Enerjinin daha verimli kullanılması, hatta alternatif enerji kaynaklarının kullanılması bu sektördeki önemli beklentilerden biri haline gelmiştir. Pişirici cihaz üreticileri çok daha değişik ürünler ile müşterilerinin karşısına çıkmaktadır. Halojen lambalı fırınlar, mikrodalga teknolojisi, jet püskürtmeli fırınlar günümüzde ismini yeni duyduğumuz teknolojik yeniliklerdir. Müşteri beklentisi daha hızlı pişirme ve enerjinin verimli kullanılmasıdır.

Pişirici cihazlarıntasarımında, cihaz iç gövdesinde oluşan ısınn verimli bir şekilde dağıtılması ve iç akışın modellenmesi çalışmanın amacıdır. Piyasaya sunulan ürünlerden estetik görüntüsü ve kullanım kolaylığının yanında enerjiyi verimli kullanması hızlı pişirme özelliklerine sahip olması da beklenmektedir. Fırının iç gövdesinde uygun ısı dağılımının sağlanması aynı zamanda pişirme kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Pişirme kalitesinin artırılması yolu ile firmalar müşterilerinin beklentilerini daha iyi karşılayacaklarının bilincindedirler.

2 CFD UYGULAMALARI

Tasarımda CFD kullanımı son 20 yılda çok büyük bir oranda artmıştır [2]. 1980'li yıllarda akışkanlar mekaniği problemlerin CFD yardımıyla çözümü akademisyenlerin ve çok uzun yıllar bu konuda eğitilmiş kişilerin yapabileceği bir işlemdir. Mühendislik programlarının yaygınlaşması ticari uygulamaların önünü açmıştır. Mühendislik programları oldukça etkili algoritmalara sahip olsalar da CFD uygulamaları halen önemli bir bilgi birikimi ve çalışma gerektirmektedir.

CFD ; akışkanlar, ısı transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi ilgili sistemlerin bilgisayar temelli analizidir. Bu teknik oldukça etkilidir ve geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bazı örnekler aşağıdadır.

- Taşıtların ve hava araçlarının aerodinamiği (Kaldırma ve direnç)
- Gemilerin hidrodinamiği
- Güç istasyonları (Gaz türbinlerinde ve motorlarda yanma)
- Turbo makineler (Dönen bölümlerinde akış)
- Elektrik - Elektronik Mühendisliği (Mikrodevre ekipmanlarının soğutulması)
- Binaların iç ve dış çevresi (Rüzgar gücü ve ısıtma, havalandırma)
- Çevre Mühendisliği (Kirliliğe yol açan maddelerin yayılımı)
- Hidroloji ve okyanus bilimi (Nehirlerde, denizlerde ve okyanuslarda akış)
- Meteoroloji (Hava tahminlerinde)
- Tıp (Damarlarda kan akışı)

1960'lı yıllarda havacılık endüstrisi CFD tekniklerini tasarımı uygulayarak hava taşıtlarının ve jet motorlarının üretimini gerçekleştirmiştir. Son zamanlarda CFD iç yanma motorlarına ve gaz türbinlerinin yanma odalarının tasarımına uygulanmıştır. Günümüzde otomotiv endüstrisi hava direncini, hava akışlarını, taşıt içerisindeki atmosferi tahmin etmek amacıyla CFD kullanmaktadır.

CFD kullanımının artmasına neden olan etkenleri aşağıda sıralanabilir ;

- Tasarım sürecini kısaltması ve tasarım maliyetlerini düşürmesi

- Deneysel çalışmanın imkansız ve zor olduğu durumlarda çalışabilme (Büyük sistemler)
- Deneysel çalışmanın tehlikeli olduğu durumlarda çalışabilme
- Sınırsız seviyede sonuçların detayı

Bir deneyin maliyeti ; alınan veri noktaları ve test edilen deney parametrelerinin sayısı ile orantılı olarak artarken CFD kodları çok büyük bir hacimdeki sonuçları fazladan bir deney ekipmanına gerek duymadan çıkarabilir.

CFD kullanımı çözümlere ulaşabilmek için çok nitelikli insanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu durumda CFD'nin en büyük dezavantajıdır.

2.1 CFD KODUNUN ÇALIŞMASI

CFD kodu akışı ifade eden sayısal algoritmaların yardımıyla yapılandırılır. Tüm kodlar üç ana bölüme sahiptir.

1. Ön işleme
2. Çözücü
3. Son işleme

Ön İşleme : Bir ön işleme operatörün gireceği akış verilerini çözücünün kullanacağı veri tipine dönüştürür. Ön işleme süreci aşağıdadır.

- Akış probleminin çözüleceği bölgenin geometrik tanımlamaları (Hesaplama hacmi)
- Hesaplama hacminin daha küçük hacimlere indirgenmesi (meshleme)
- Modellenmesi gereken fiziksel yada kimyasal olayın seçimi
- Akışkan özelliklerini tanımlanması
- Hücrelerdeki uygun sınır tabaka şartlarının seçimi

Bir akış probleminin çözümü (hız, basınç, sıcaklık) her bir hücrenin içinde tanımlıdır. Bir CFD çözümün doğruluğu gridlerdeki hücrelerin sayısı ile doğru orantılıdır. Genel olarak ne kadar fazla hücre seçilirse elde edilen çözümün doğruluk derecesi o kadar yüksek olmaktadır. Operatör yeteneği CFD çözümünü etkilemektedir. Çünkü seçilecek hücrelerin özelliği ve sayısı çözümün doğruluğunu büyük oranda etkilemektedir.

Çözücü : Üç adet sayısal çözüm tekniği bulunmaktadır; sonlu farklar, sonlu elemanlar ve spektral metodlar. Çözücü aşağıdaki adımları takip eder.

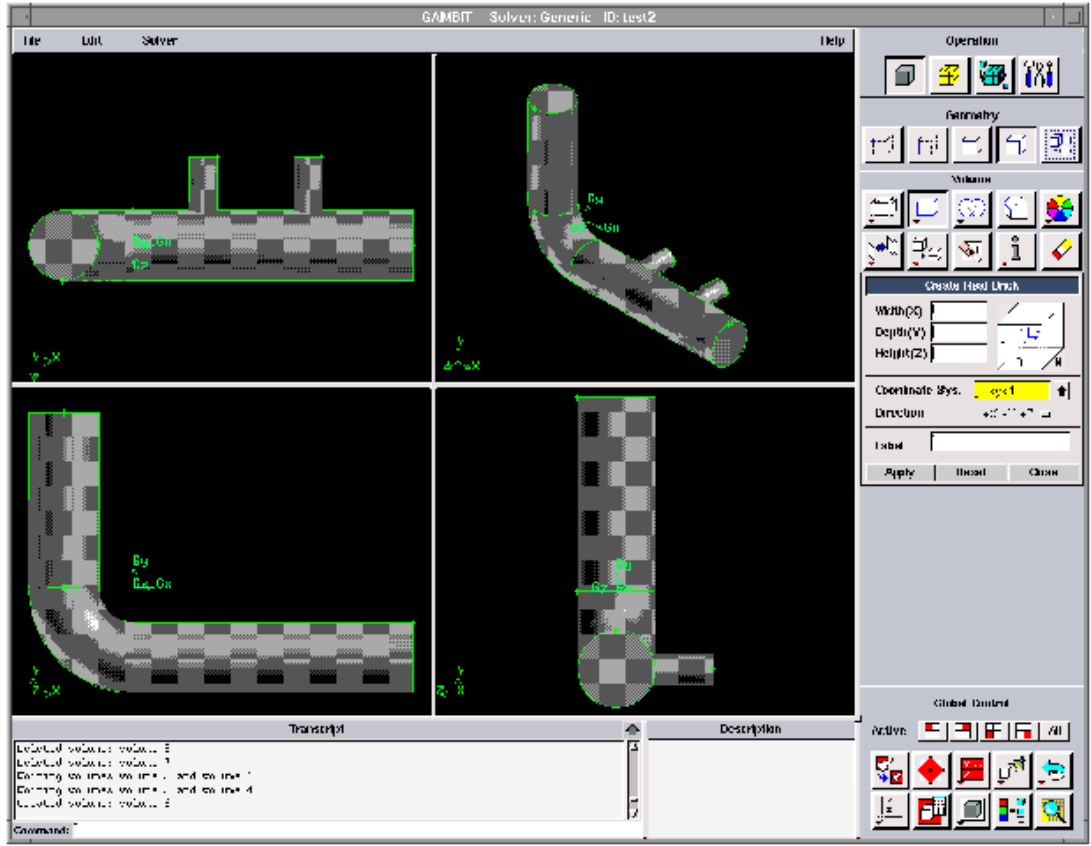
- Basit fonksiyonlarının yardımıyla bilinmeyen akış değişkenlerinin hesaplanması
- Hesapların ilgili akış denklemlerine uyarlanması
- Denklemlerin çözümü

Son İşlemi : Bu aşama aşağıdakileri içerir.

- Alan geometrisi ve grid görüntüsü
- Vektör işaretlemeleri
- Doğru ve kontür işaretlemeleri

2.2 GAMBIT VE FLUENT PROGRAMLARININ KULLANILMASI

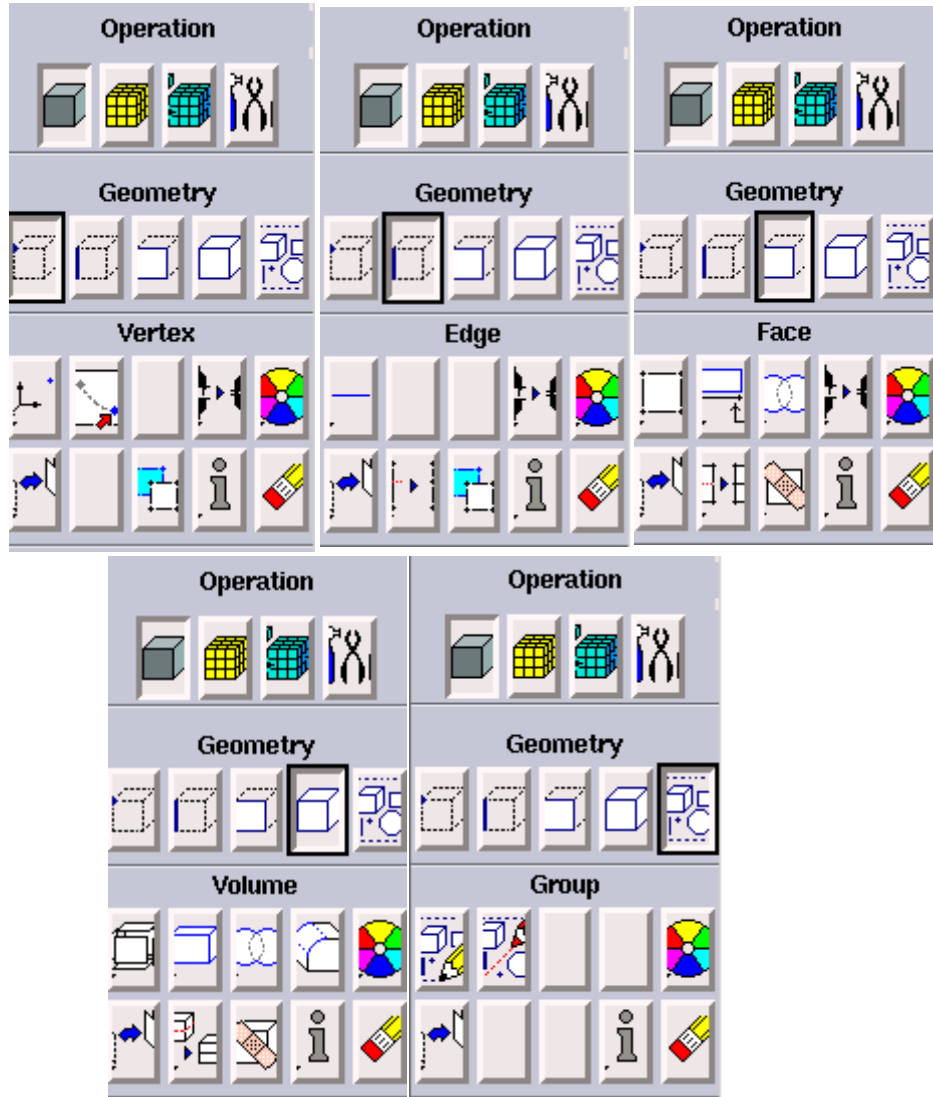
Fırın iç gövdesinin CFD modellenmesinde Gambit [3] ve Fluent [4] programları kullanılmıştır. Gambit programı analizcilere ve tasarımcılara CFD ve diğer bilimsel uygulamalar için modeller oluşturmak ve bu modelleri, hesaplamak için gerekli hacimlere indirmek (meshleme) için geliştirilmiş bir yazılım programıdır.



Şekil 2.1 Gambit programında oluşturulmuş bir uygulamaya örneği

Gambit programı yardımıyla hesaplanması planlanan hacim çizilebilir, ayrıca CFD ve diğer bilimsel uygulamalar için tüm grafiksel uygulamalar yapılabilir. Gambit programı aynı zamanda diğer çizim programları ile oluşturulmuş dosyaların da CFD ve diğer bilimsel uygulamalar için tanımlanması ve tanımlanan geometrinin küçük hacimlere indirgenmesini (meshleme) sağlar.

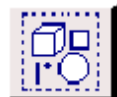
Gambit programında modellenmenin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle geometrinin oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 2.2 Gambit programında geometri komutları

Geometri oluşturmak için nokta, çizgi, yüzey, hacim ve grupların koordinat sistemine göre oluşturulmasını, kopyalanmasını, kaydırılmasını ve silinmesini sağlayan ve Şekil 2.2’de gösterilen komutlardan yararlanılır.

Tablo 2.1 Cambit program ında geometri komutları

<i>Sembol</i>	<i>Komut Seti</i>
	Nokta
	Çizgi
	Yüzey
	Hacim
	Grup

Cambit programının önemli özelliklerinden biri de oluşturulan nokta, çizgi, yüzey, hacim yada gruplara isim verilmesine izin vermesidir. Oluşturulan şekle isim verilmesi durumunda 1, 2, 3, ... şeklinde program tarafından isim verilir.

Cambit programında kartezyen, silindirik ve küresel koordinat sistemlerinde çalışmak mümkündür.

Tablo 2.2 Gambit programındaki koordinat sistemleri

<i>Sistem Tipi</i>	<i>Parametreler</i>	<i>GAMBIT başlıkları</i>
Kartezyen	x, y, z	x, y, z
Silindirik	r, θ, z	r, t, z
Küresel	r, θ, ϕ	r, t, p

θ ve ϕ parametreleri açı değerleridir ve açı dereceleri olarak girilir.

θ ve ϕ parametrelerinin dönüşümleri Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

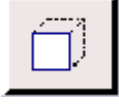
Tablo 2.3 Gambit programında koordinat sistemi dönüşümleri

<i>Sistem</i>	<i>Açı Parametresi</i>	<i>Koordinat</i>	<i>Yön</i>
Silindirik	$\theta = 0, z = 0$ $\theta = 90^\circ, z = 0$	x y	$+x$ $+y$
Küresel	$\theta = 0, \phi = 90^\circ$ $\theta = 90^\circ, \phi = 90^\circ$	z x	$+z$ $+x$

Geometriğin oluşturulmasından sonra modellemenin 2. aşaması başlar. Bu aşamada oluşturulan geometriğin küçük hesaplama hacimlerine indirgenmesi (meshleme) gerekmektedir.

Gambit programının bu bölümünde sınır tabakalar, (boundary layer) noktalar, yüzeyler, hacimler ve grupları kapsayan işlemlere ait komutlar bulunmaktadır.

Tablo 2.4 Gambit programında meshleme işlemlerine ait komutlar

<i>Sembol</i>	<i>Komut Seti</i>
	Sınır Tabaka
	Çizgi
	Yüzey
	Hacim
	Grup

Bu aşamanın en önemli noktası sınır tabakaya ait parametrelerin doğru tanımlanmış olmasıdır. Sınır tabakalar hesaplama hacimlerinin büyüklüklerini belirler. Bunun anlamı oluşturulan model geometrisinin içindeki bilgi boyutunu sınır tabaka geometrisinin belirlemesidir. Sınır tabaka geometrisinin doğru belirlenmesi durumunda program modellenen geometrisini hesaplama hacimlerine bölmek. Örneğini içinden sıvının aktığı boruyu gösteren bir silindirin hesaplama modeli içindeki sınır tabaka uygulamasını ele alalım. Normal şartlar altında sıvının hız gradyanları boru duvarına yakın yerlerde daha büyük borunun merkezinde ise küçük olduğu söylenebilir. Bu nedenle boru duvarına yakın yerlerdeki hesaplama hacmi yoğunluğunu yükseltip merkezdeki düşürerek modeldeki hesaplama hacmi yoğunluğunu olayı daha iyi karakterize eder duruma getirecek mümkündür.

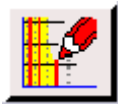
Sınır tabakanın belirlenmesinde aşağıdaki genel parametrelere dikkat edilmelidir.

- Sınır tabakanın bulunduğu çizgiler yada yüzey
- Sınır tabakanın yönünü belirleyen yüzey yada hacim
- İlk hesaplama hacim birimlerinin sırasının yüksekliği
- Her bir sırasının yüksekliğindeki artışı gösteren büyütme katsayısı
- Sınır tabakanın derinliğini belirleyen sıraların toplam sayısı

Her tabaka ile birlikte değişen geçiş sınır tabakasının oluşumunu da aşağıdaki parametreleri belirleyerek tanımlamak mümkündür.

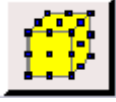
- Sınır tabaka geçiş geometrisi
- Geçiş sıralarının sayısı

Tablo 2.5 Gambit programında sınır tabaka işlemlerine ait komutlar

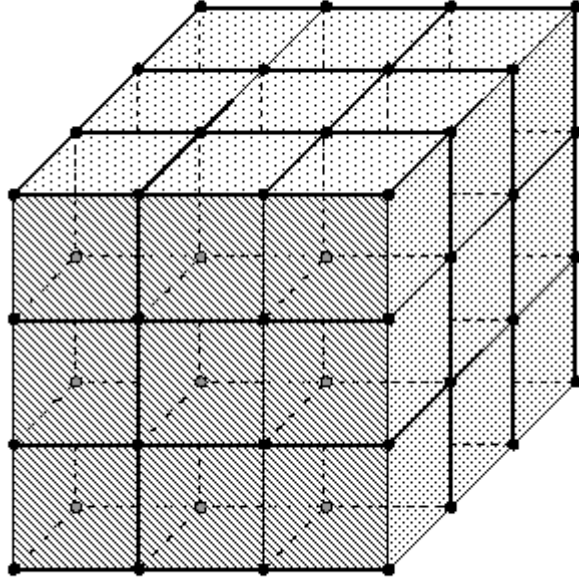
<i>Sembol</i>	<i>Komut</i>	<i>Tanım</i>
	Sınır tabaka oluştur	Sınır tabakanın olduğu çizgiyi yada yüzeyi oluşturur.
	Sınır tabakayı düzenle	Oluşturulmuş sınır tabakayı düzenler
	Sınır tabaka etiketini düzenle	Sınır tabaka etiketini düzenler
	Sınır tabaka bilgisi	Sınır tabaka bilgilerini gösterir.
	Sınır tabakayı sil	Sınır tabakaları siler

Gambit programında sınır tabakalarının ve giriş ve çıkış geometrisinin tanımlanmasından sonra modellenen geometrisinin hesaplama hacimlerine indirgenmesi işlemine geçilir.

Tablo 2.6 Gambit programında hesaplama hacimleri işlemlerine ait komutlar

Se nbol	Ko mut	Ta m m
	Hac mi hesaplama hac mleri ne i ndir ge	Büt ün hac m boyunca hesaplama hac mleri ol uşt ur ur.
	Hesaplama hac mleri ri dü zenle	Model le me geo metrisi ndeki hesaplama hac mleri ni n boyut ları nı dü zenler
	Hac me le ment ti pleri ni ayarla	Model boyunca hac me le ment ti pleri ni ayarlar
	Hesaplama hac mleri ri bi rbi ri ne ba ğ a yada çöz	Hac mler arası ndaki ba ğ antı ları ol uşt ur ur yada ba ğ antı ları çöz er.
	Hesaplama hac m geo metrisi ri dü zenle	Hesaplama hac mleri ni dü zenler.
	Hesaplama hac mleri ri kont rol et yada bil gi ver	Hesaplama hac mleri hak kı nda bil gi verir.
	Hesaplama hac mleri ri sil	Model geo metrisi ndeki hesaplama hac mleri ni siler.

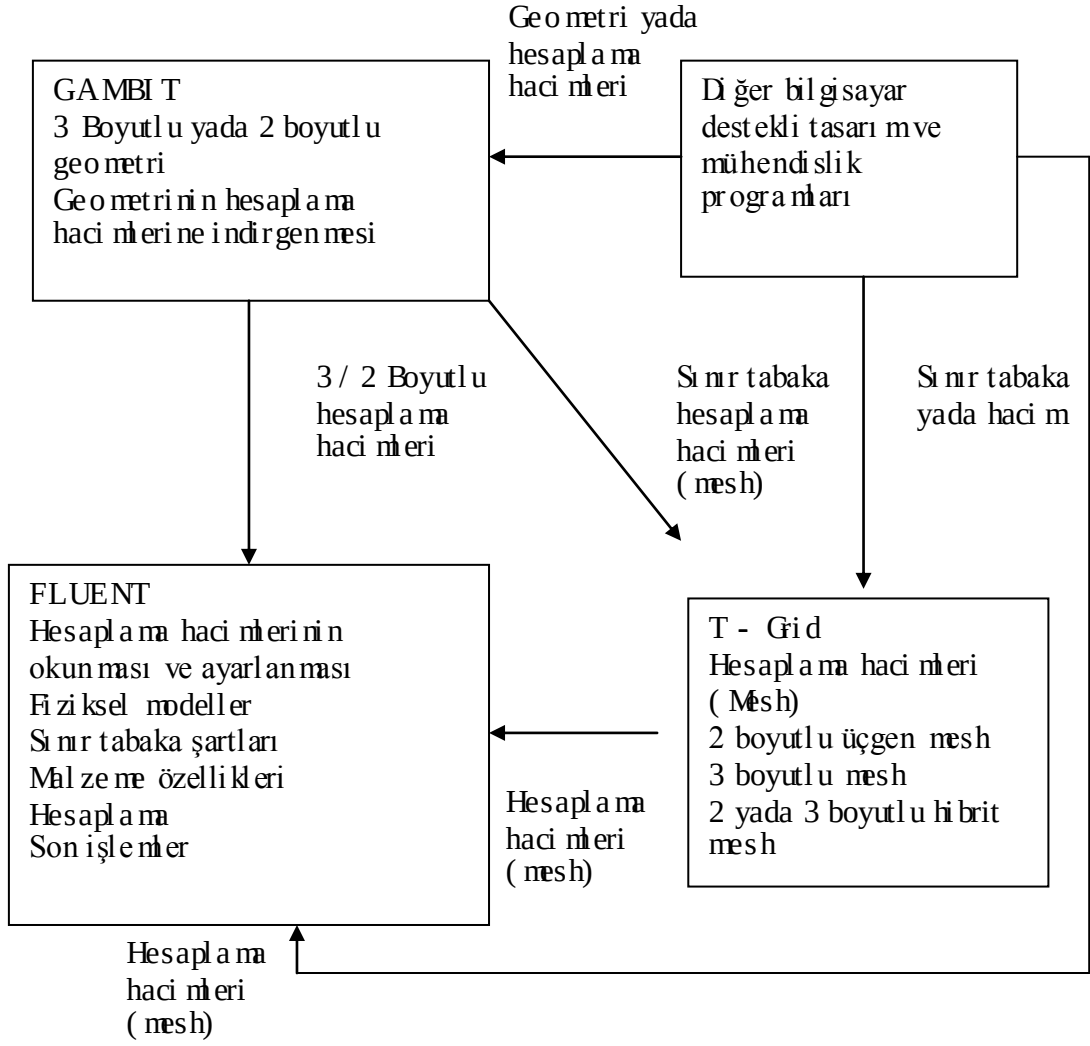
Bu böl ü mde hesaplama hac mleri mesafeleri girilerek model geo metrisi hesaplama
hac mleri ne i ndir genir.



Şekil 2.3 Gambit programında hesaplama hacimlerine bir örnek

Modelleme geometrisi hesaplama hacimlerine indirgendiikten sonra kaydedilir ve gambit programındaki uygulamaya tamamlanır.

Fluent programı ise, hesaplama hacimlerine indirgenmiş modelleme geometrisindeki bilgileri okur.



Şekil 2.4 Fluent programında modellenme

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi Fluent program değişik programlar yardımıyla hesaplama hacimlerine indirgenmiş (meshlenmiş) dosyaları okuyarak CFD yada diğer bilimsel uygulamaları gerçekleştirir.

Fluent program aşağıdaki modellere gerçekleştirebilmektedir.

- 2 yada 3 boyutlu tüm geometrilerdeki akış problemlerinin çözümü
- Sıkıştırılabilir yada sıkıştırılamaz akışların çözümü
- Visköz olmayan, laminar yada türbülanslı akışların çözümü
- Newtonien yada newtonien olmayan akışların çözümü
- Doğal yada zorlanmış taşınım ısı transferi çözümleri
- İletim ve taşınımın birlikte gerçekleştiği ısı transferi çözümleri
- Işınım ısı transferi çözümleri

- Hareket problemleri
- Kimyasal olayların çözümü (yanma ve reaksiyon problemleri)
- Isı, kütle, momentum problemlerinin çözümü
- Bir boyutlu ısı değiştiricisi ve fan performans modelleri
- 2 Boyutlu akış problemleri (Kavitasyon)
- Karışık şekillerdeki yüzeylerde akış problemleri

Fluent program endüstride aşağıdaki uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Proses ve proses cihazları uygulamaları
- Güç üretimi ve petrol/gaz ve çevresel uygulamalar
- Havacılık ve turbo makine uygulamaları
- Otomotiv uygulamaları
- Isı değiştiricisi uygulamaları
- Elektronik/ HVAC uygulamaları
- Malzeme işleme uygulamaları
- Mimarî tasarım ve yangın araştırması

Özet olarak, FLUENT karışık geometrilerde sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış simülasyonları için ideal bir programdır.

3. AKIŞKAN MATEMATİKSEL MODELİ

Akışkanlar mekaniği ve ısı transferi olaylarını açıklarken öncelikle kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden başlanır [2]. Bu denklemler fiziğin korunum kanunlarının matematiksel anlatımlarını gösterir.

- Akışkanın kütlesi korunur.
- Momentumun değişiminin toplamı, akışkan parçacığının üzerine etki eden kuvvetlerin toplamına eşittir. (Newton'un ikinci kanunu)
- Enerjinin değişimi, akışkan parçacığına verilen ısı enerjisinin toplamına parçacık üzerinde yapılan toplam işin eklenmesi ile bulunur.
(Termodinamiğin birinci kanunu)

Kütlenin korunumu denkleminin oluşturulmasındaki adımlar; bir akışkan elementinin kütle dengesi yazmaktır.

$$\begin{array}{lcl} \text{Akışkan parçacığının} & & \text{Akışkan parçacığının içine} \\ \text{kütlesiindeki değişim} & = & \text{akan akışın net kütlesi} \end{array}$$

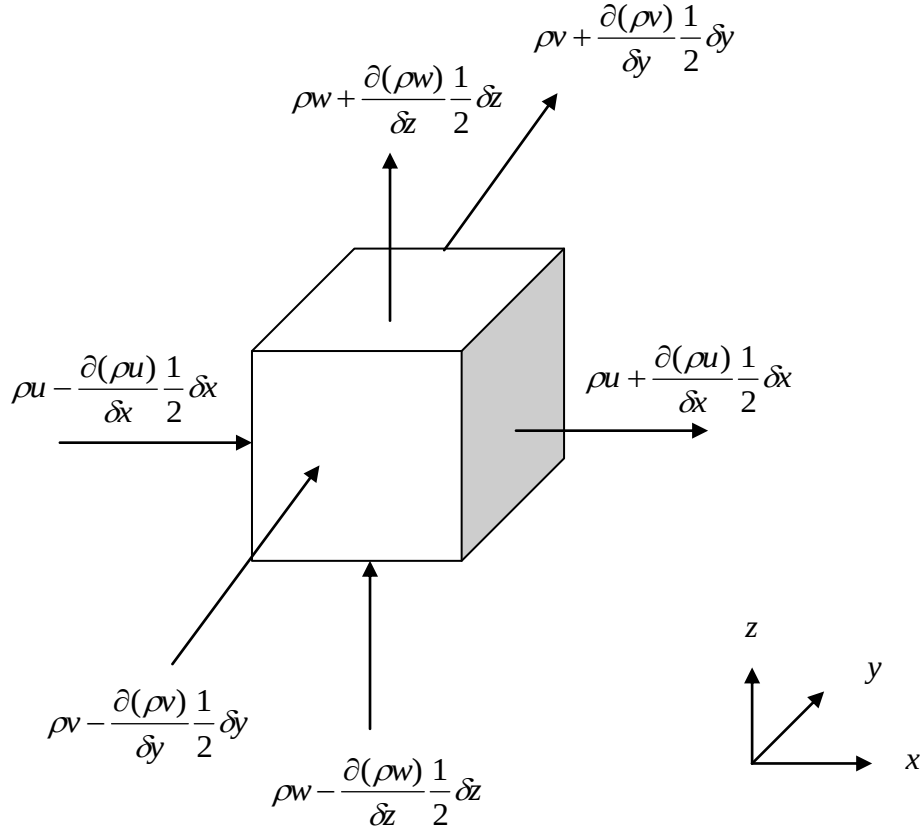
Akışkan parçacığının kütlesiindeki artışın toplam aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \delta x \delta y \delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \delta x \delta y \delta z \quad (3.1)$$

Sonraki bölümde; yoğunluk, alan ve hız bileşeninin olduğu parçacığın yüzeyine akan akışkan kütlesini ifade eden denklemyazılmaktadır. Şekil 3.1'de akışkan parçacığının içine akan kütle miktarı görülmektedir.

$$\begin{aligned} & \left(\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left(\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z + \left(\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \\ & \left(\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left(\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y - \left(\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \end{aligned} \quad (3.2)$$

Akışkan parçacığının kütlesinde artışa neden olan akışlar pozitif işaret, parçacığın dışına doğru olan ve kütlede azalmaya neden olan akışlar negatif işaret alırlar.



Şekil 3.1 Akışkan parçacığına olan kütle akışı

Parçacığın içindeki kütle artışı parçacığın yüzeylerinden içine akan kütle net kütle akışı ile eşitlenmiştir. Denklem (3.1) ve (3.2)'deki ifadeleri sol tarafta toplayıp hacmi ifade eden ifadesine $\delta x \delta y \delta z$ bölersek, denklem(3.3) elde edilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.3)$$

Vektör işaret sistemiyle yazıldığında ise (3.4) denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) **kararlı olmayan, 3 boyutlu sıkıştırılabilir akışkanda** bir noktadaki **kütle korunumu yada süreklilik** ifadesidir. Sol taraftaki birinci terim yoğunluğun birim zamandaki değişimi (birim hacim başına kütle), ikinci terim ise konvektif term olarak adlandırılan parçacığın sınır şartlarından dışarıya doğru olan net kütle akışıdır.

Sıkıştırılmaz akışkan için yoğunluk sabittir. Bu durumda denklem (3.5)'teki ifadeye dönüşür.

$$(3.5)$$

$$\text{div} \mathbf{v} = 0$$

Denklem (3.5) uzun ifade ile yazılacak olursa denklem (3.6) elde edilir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.6)$$

Akışkanlar mekaniğinde korunum yasalarından ikinci si momentumun korunumudur. Newton'un 2. kanunu bir akışkan parçacığındaki momentumun değişiminin toplam, parçacığa etki eden kuvvetlerin toplamına eşittir.

$$\begin{array}{ccc} \text{Akışkan parçacığındaki} & & \text{Akışkan parçacığına etki} \\ \text{momentumun artışındaki} & = & \text{eden kuvvetlerin toplam} \\ \text{değişim} & & \end{array}$$

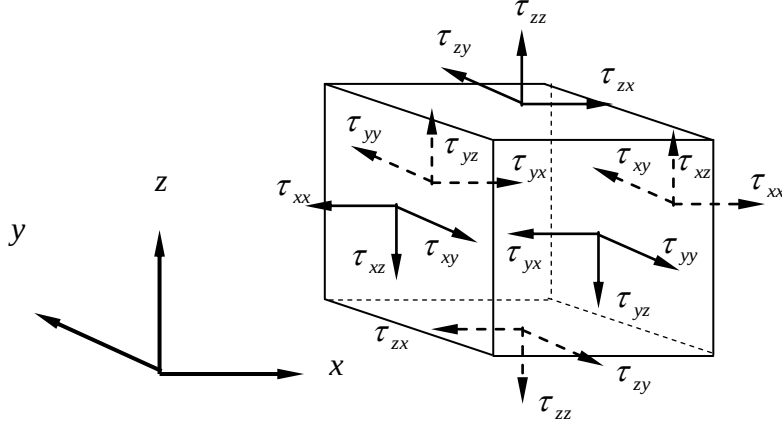
x,y,z yönlerindeki parçacığın birim hacimdeki momentum artışındaki değişim aşağıdaki ifadeler ile gösterilir.

$$\rho \frac{Du}{Dt} \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (3.7)$$

Akışkan parçacığındaki kuvvetleri aşağıdaki şekilde ayırarak gerekmektedir.

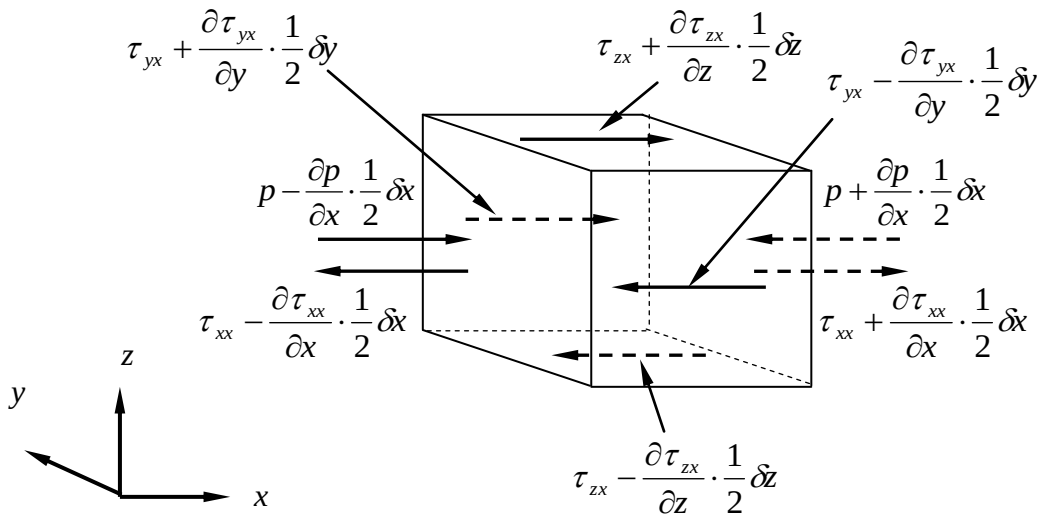
- Yüzeye etki eden kuvvetler
 - basınç kuvvetleri
 - viskoz kuvvetler
- Cisme etki eden kuvvetler
 - yerçekimi kuvveti
 - merkezkaç kuvveti
 - Coriolis kuvveti
 - elektromagnetik kuvvet

Bir akışkan elemanındaki gerilim basınç ve şekil 3.3'te gösterilen dokuz viskoz gerilim bileşkesidir. Basınç, normal gerilim p ile gösterilir. Viskoz gerilimler ise τ ile gösterilir. Viskoz gerilimin yönünü belirtmek amacıyla τ_{ij} gösterimi kullanılır. τ_{ij} deki i ve j ekleri i yüzeyindeki ve j yönündeki gerilim bileşeni göstermek amacıyla kullanılır.



Şekil 3.2 Akışkan elemanının üç yüzeyindeki gerilim bileşenleri

Öncelikle, şekil 3.3'te gösterilen x yönündeki gerilim bileşenleri τ_{xx} , τ_{yx} ve τ_{zx} ve basınçtan dolayı oluşan kuvvetin x bileşeni dikkate alınır. Yüzey gerilimi sonucu oluşan kuvvetin büyüklüğü, gerilim ve alanın çarpımıdır. Koordinat eksenini aynı yöndeki kuvvetler pozitif işaret alırken, zıt yöndeki kuvvetler negatif işaret alırlar. x yönündeki net kuvvet bu yöndeki kuvvetlerin toplamıdır.



Şekil 3.3 x yönündeki gerilim bileşenleri

Akışkan parçacığı na (y-z) düzleminde x yönünde etki eden kuvvetleri yazdığı mızda aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\left[\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z + \left[- \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z$$

$$= \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \quad (3.8a)$$

(x-z) düzlemindeki kuvvetler yazıldığında;

$$- \left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad (3.8b)$$

Son olarak (x-y) düzlemindeki kuvvetler yazıldığında;

$$- \left(\tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \cdot \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \cdot \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (3.8c)$$

Yüzey gerilmelerinden dolayı oluşan birim hacim başına toplam kuvvet, (3.8a), (3.8b) ve (3.8c) denklemlerinin toplanarak $\delta x \delta y \delta z$ ile bölünmesiyle elde edilir.

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (3.9)$$

Kütle kuvvetlerini birim zamanda, birim hacimdeki x momentini gösterir şekilde S_{mx} ile tanımlamak mümkündür.

Momentum denkleminin x bileşeni, (3.7) ile ifade edilen akışkan parçacığının x-momentumundaki değişim değerinin gerilim kuvvetleri ve kütle kuvvetlerinin toplamına eşitlenmesi ile bulunur.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{mx} \quad (3.10)$$

benzer şekilde momentum denkleminin y ve z bileşenleri yazılabilir.

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{my} \quad (3.11)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial (-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{mz} \quad (3.12)$$

Yerçekimi dolayısıyla oluşan kütle kuvveti dikkate alındığında;

$S_{mx} = S_{my} = 0$ ve $S_{mz} = -\rho g$ olarak momentum denkleminde yerini alır.

Enerji denklemi ise, akışkan parçacığının enerjisindeki değişim değerinin parçacığa verilen ısı enerjisi ile parçacık üzerinde yapılan işin toplam değerine eşitliğini ifade eden termodinamiğin birinci kanunundan elde edilir.

Akışkan parçacığındaki Akışkan parçacığına Akışkan parçacığının enerjisindeki değişim = verilen ısı değeri + üzerinde yapılan iş değeri

Akışkan parçacığının birim hacimdeki enerjisindeki değişim değeri, aşağıda ifade edilmiştir.

$$\rho \frac{DE}{Dt} \quad (3.13)$$

Yüzey kuvvetleri tarafından yapılan iş, kuvvet ve kuvvet yönündeki hızın çarpımına eşittir. Örnek olarak x yönündeki kuvvetlerin yaptıkları iş (3.14) ile ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} & \left[\left(pu - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} u - \frac{\partial(\tau_{xx} u)}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(pu + \frac{\partial(pu)}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} u + \frac{\partial(\tau_{xx} u)}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z \\ & + \left[- \left(\tau_{yx} u - \frac{\partial(\tau_{yx} u)}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \delta y \right) + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial(\tau_{yx} u)}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \delta y \right) \right] \delta x \delta z + \\ & \left[- \left(\tau_{zx} u - \frac{\partial(\tau_{zx} u)}{\partial z} \cdot \frac{1}{2} \delta z \right) + \left(\tau_{zx} u + \frac{\partial(\tau_{zx} u)}{\partial z} \cdot \frac{1}{2} \delta z \right) \right] \delta x \delta y \end{aligned} \quad (3.14)$$

x-yönünde yüzey kuvvetleri tarafından yapılan işin değeri (3.14a) ile verilmiştir.

$$\left[\frac{\partial[u(-p + \tau_{xx})]}{\partial x} + \frac{\partial(u \tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u \tau_{zx})}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (3.14a)$$

benzer şekilde y ve z yönlerindeki yüzey kuvvetleri tarafından yapılan işin değerleri (3.14b) ve (3.14c) ile tanımlanmıştır.

$$\left[\frac{\partial[v(\tau_{xy})]}{\partial x} + \frac{\partial[v(-p + \tau_{yy})]}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (3.14b)$$

$$\left[\frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial[w(-p + \tau_{zz})]}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (3.14c)$$

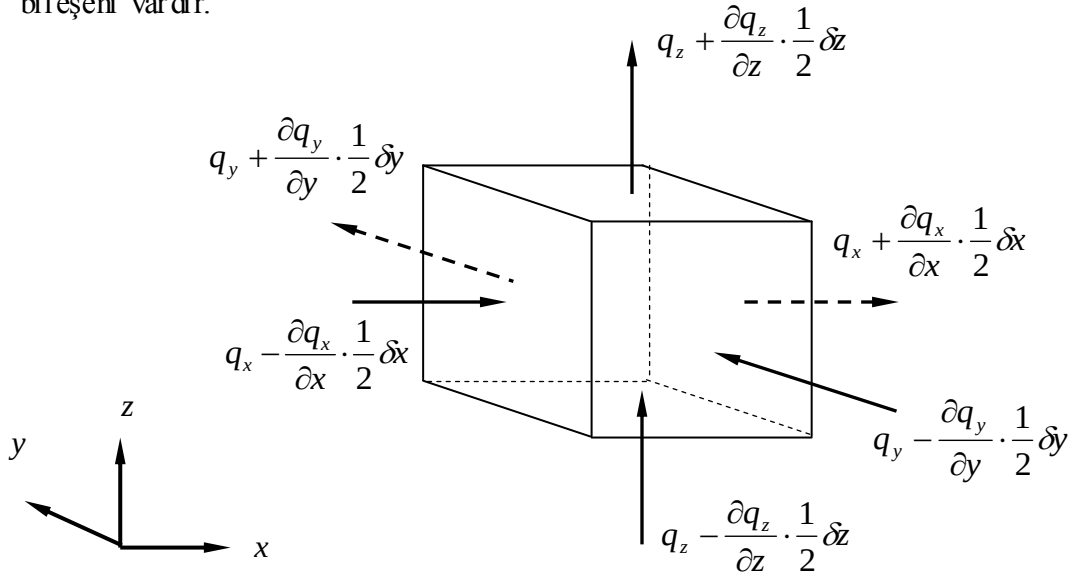
Akışkan parçacığının üzerinde bütün yüzey kuvvetleri tarafından yapılan birim hacim başına işlerin toplanması ve vektör gösterimi ile yazılması sonucu (3.15) denklemi elde edilmiştir.

$$-\frac{\partial(up)}{\partial x} - \frac{\partial(vp)}{\partial y} - \frac{\partial(wp)}{\partial z} = -\text{div}(\rho u) \quad (3.15)$$

Bu denklemde gerilmeler tarafından akışkan parçacığı üzerinde yapılan toplam işi ifade eden (3.16) denklemini sonuç verir.

$$\begin{aligned} [-\text{div}(pu)] + & \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} \right. \\ & \left. + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] \end{aligned} \quad (3.16)$$

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi ısı akım vektörü q 'nin q_x, q_y, q_z olmak üzere üç bileşeni vardır.



Şekil 3.4 Isı akım vektörü bileşenleri

Akışkan parçacığına ısı akımından dolayı olan x yönündeki net ısı transferi, y-z düzlemindeki ısı girişi miktarı ile ısı kaybı miktarı arasındaki farktır.

$$\left[\left(q_x - \frac{\partial q_x}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = \frac{\partial q_x}{\partial x} \delta x \delta y \delta z \quad (3.17)$$

Benzer şekilde, y ve z yönündeki ısı akımından dolayı oluşan net ısı transferi (3.18) ile ifade edilir.

$$-\frac{\partial q_y}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad \text{ve} \quad -\frac{\partial q_z}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (3.18)$$

Parçacığa ısı akımından dolayı eklenen birim hacim başına ısı, (3.17) ve (3.18) denklemlerinin $\delta x \delta y \delta z$ ile bölünmesiyle elde edilir.

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = -\text{div} q \quad (3.19)$$

Fourier ısı iletim denklemi yazıldığında ;

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3.20)$$

Isı iletim denklemi vektörel gösterim kullanılarak yazıldığında aşağıdaki gibi yazılır.

$$\mathbf{q} = -k \text{ grad } T \quad (3.21)$$

(3.19) ve (3.21) birleştirilerek yazıldığında, akışkan parçacığına sınırlar elemanlar boyunca ısı iletim nedeniyle eklenen ısı miktarı elde edilmiştir.

Genellikle akışkanın enerjisi E , iç enerji (ısı) i , kinetik enerji $\frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)$ ve yerçekiminden kaynaklanan potansiyel enerjinin toplamı olarak tanımlanır. Bu tanım akışkan elemanının yerçekim potansiyel enerjisi depoladığı anlamını taşır. Aynı zamanda, kütleli kuvvet olarak yerçekimi kuvvetinin yerçekimi alanında hareket eden akışkan elemanının üzerinde iş yaptığını belirlemek mümkündür.

Potansiyel enerji değişiminin etkilerini kaynak termi olarak almak mümkündür. Birim zamanda birim hacimdeki enerji kaynağı ise daha önceden S_E olarak tanımlanmıştır.

Akışkanın enerjisinin korunumu, akışkan üzerinde yapılan toplam işin (3.16) ve akışkana eklenen net ısı'nın (3.21) toplanarak, akışkanın enerjisiindeki değişimi (3.13) eşitlenmesi ile sağlanır.

$$\rho \frac{DE}{Dt} = -\text{div}(pu) + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \text{div}(k\text{grad}T) + S_E \quad (3.22)$$

Denklemin (3.22)'de $E = i + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)$ dir. (3.22) denklemi enerji korunumunu ifade etmesi açısından yeterli olması na rağmen, iç enerji ve sıcaklık için bir denklem elde etmek için kinetik (mekanik) enerjideki değişim ortaya çıkartılır. Enerji denkleminin bir bölümü, x- moment denklemi (3.10) ile hız bileşeni u çarpımına y- moment denklemi (3.11) ile hız bileşeni v çarpımına, z- moment denklemi (3.12) ile hız bileşeni w çarpımına ile bulunabilen kinetik enerjiye bağlanabilir. Bu durum da aşağıdaki kinetik enerji için korunum denklemini sonuç verir.

$$\rho \frac{D\left[\frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)\right]}{Dt} = -u.\text{grad}p + u\left(\frac{\partial\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z}\right) + v\left(\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zy}}{\partial z}\right) + w\left(\frac{\partial\tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zz}}{\partial z}\right) + u.S_M \quad (3.23)$$

(3.22) denkleminden (3.23) denkleminin çıkarılması ve $S_i = S_E - uS_M$ şeklinde yeni bir kaynak terimin tanımlanması iç enerjinin korunumu denklemini verir.

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p\text{div}u + \text{div}(k\text{grad}T) + \tau_{xx}\frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yx}\frac{\partial u}{\partial y} + \tau_{zx}\frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{xy}\frac{\partial v}{\partial x} + \tau_{yy}\frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zy}\frac{\partial v}{\partial z} + \tau_{xz}\frac{\partial w}{\partial x} + \tau_{yz}\frac{\partial w}{\partial y} + \tau_{zz}\frac{\partial w}{\partial z} + S_i \quad (3.24)$$

Akışkanın sıkıştırılamaz kabul edildiği durumlarda, $i = cT$ ve $\text{div} \mathbf{u} = 0$ eşitlikleri geçerlidir. Böylece (3.24) denklemi sıcaklık cinsinden ifade edilir.

$$\rho c \frac{DT}{Dt} = \text{div}(k \text{grad} T) + \tau_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_{zx} \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zy} \frac{\partial v}{\partial z} + \tau_{xz} \frac{\partial w}{\partial x} + \tau_{yz} \frac{\partial w}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} + S_i \quad (3.25)$$

Sıkıştırılabilir akışlar için (3.22) denklemi, genellikle entalpiyi ifade etmek için yeniden düzenlenir. Entalpi denklemleri aşağıdaki biçimde gösterilir.

$$h = i + \frac{p}{\rho} \quad \text{ve} \quad h_0 = h + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) \quad (3.26)$$

Bu tanımları enerji için birleştirdiğimizde (3.27) eşitliği elde edilir.

$$h_0 = i + \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) = E + \frac{p}{\rho} \quad (3.27)$$

(3.27) eşitliğinin (3.22) denkleminde yerine konması ve bir takım yeniden düzenlemeler sonucu, toplam entalpi denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial(\rho h_0)}{\partial t} + \text{div}(\rho h_0 u) = \text{div}(k \text{grad} T) + \frac{\partial p}{\partial t} + \left[\frac{\partial(u \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u \tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u \tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v \tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v \tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w \tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w \tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w \tau_{zz})}{\partial z} \right] + S_h \quad (3.28)$$

Bir akışkanın üç boyutlu hareketi, beş parçalı diferansiyel denklemin sistemi ile ifade edilir. Kütle korunumu, x-, y- ve z- moment denklemleri ve enerji denklemleri akışkanın üç boyutlu hareketinin matematiksel modelini oluştururlar. Termodinamik değişkenler ise, ρ , p , i ve T olarak gösterilir. Termodinamik değişkenler arasındaki ilişkiler termodinamik eşitlikler ile tanımlanır. Akışkan hızları yüksek olabilir, ancak akışkanın özellikleri bir yerden bir yere değişse bile akışkan yeni şartlara termodinamik olarak hızlı bir biçimde uyabilir. Bu nedenle akışkan daima termodinamik dengededir.

İki durum değişkeni yardımıyla bir maddenin termodinamik denge durumunu tanımlamak mümkündür. Durum denklemleri diğer değişkenleri bu iki değişkenle ilişkilendirir. Durumdeğişkeni olarak ρ ve T kullanıldığında denklemler basınç p ve iç enerji i için aşağıdaki biçimde yazılır.

$$p = p(\rho, T) \text{ ve } i = i(\rho, T) \quad (3.29)$$

İdeal gaz tanımlarında ise durum denklemleri (3.30) ile tanımlanır.

$$p = \rho RT \text{ ve } i = C_v T \quad (3.30)$$

Sıkıştırılabilir akışlarda durum denklemleri enerji denklemi ile kütle korunumu ve momentum denklemleri arasında ilişki kurulmasını sağlar. Bu ilişki, akış alanında basınç ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan yoğunluk değişimlerinde ortadan kalkar.

Sıvılar ve gazlar düşük hızlarda sıkıştırılmaz akışkan gibi davranırlar. Basınç ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan yoğunluk değişimlerinde enerji denklemi ile kütle korunumu ve momentum denklemleri arasında ilişki kurulamaz. Akış alanı sadece kütle korunumu ve momentum denklemleri ile çözülebilir.

Reynold's sayısı, atalet kuvvetleri (iletim etkileri) ve viskoz kuvvetler arasındaki ilişkiyi tanımlar. Akışkan sistemlerde yapılan deneylerde, kritik Reynold's sayısının (Re_{kritik}) altındaki değerlerde akışın düzgün ve birbirinin üzerinde düzenli kayan bitişik tabakaların olduğu gözlenmiştir. Sınır şartları zanaana bağılı olarak değişmez, akış sabittir. Bu akış alanı ner akış adı verilir.

Reynold's sayısının kritik Reynold's sayısından yüksek olduğu değerlerde, akış karakterinde kökten değişime yol açan karışık olaylar serisi başlar. Son bölümde akış davranışı karışık, rastgele ve düzensizdir. Hız ve diğer akış özellikler karışık, rastgele ve düzensiz bir biçimde değişir. Bu akışa turbülanslı akış denir.

Sonlu hacimler yöntemi akışın matematiksel modelini oluşturan denklemlerin sayısal yöntemler ile çözülmesidir. Bu denklemlerin en basit halini aldığı, durgun durumda sadece yayılımın (diffusion) olduğu denklemlerin çözümünde sonlu hacimler metodu uygulanabilir.

$$\text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi) + S_\phi = 0 \quad (3.31)$$

Sonlu hacimler yöntemi diğer CFD (Sayısal Akışkanlar Dinamiği) tekniklerinden ayıran anahtar adımlar, kontrol hacmi integrasyonu (3.31) denklemini aşağıdaki forma dönüştürür.

$$\int_{CV} \text{div}(\Gamma \text{grad } \phi) dV + \int_{CV} S_{\phi} dV = \int_A n \cdot (\Gamma \text{grad } \phi) dA + \int_{CV} S_{\phi} dV = 0 \quad (3.32)$$

Bir boyutlu, durgun durumda difüzyon denklemlerinin çözümünde, ayrı k denklemler (discretised equations) olarak adlandırılan yaklaşım tekniklerinden yararlanılır. Bu metod iki yada üç boyutlu difüzyon problemlerine uygulanabilir. Metodun basit bir boyutlu, durgun hal, ısı transferi problemleri için uygulanması bir seri çalışılmış durum ile örneklenir ve metodun doğruluğu sayısal sonuçların, analitik sonuçlar ile karşılaştırılması ile ölçülür.

Sıvı akışının önemli bir rol oynadığı, problemlerde konveksiyon (convection) etkileri dikkate alınmak zorundadır. Difüzyon da konveksiyonun yanında yer alır. Bu nedenle, konveksiyon ve difüzyonun birlikte gerçekleştiği olaylar incelenmelidir.

$$\text{div}(\rho u \phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \phi) + S_{\phi} \quad (3.33)$$

Kontrol hacmi boyunca integral alındığında (3.34) elde edilir.

$$\int_A n \cdot (\rho u \phi) dA = \int_a n \cdot (\Gamma \text{grad } \phi) dA + \int_{CV} S_{\phi} dV \quad (3.34)$$

(3.34) denklemi kontrol hacmi içinde akış dengesini gösterir. Denklemin sol tarafı net konveksiyon akışını, sağ tarafı ise net difüzyon akışını ve genel özellik ϕ 'nin kontrol hacmi içinde üretimi yada yok olmasını gösterir.

Konveksiyon terimlerinin ayrıştırılmasındaki (discretisation) belli başlı problem kontrol hacmi yüzeylerinde ϕ 'nin değerinin hesaplanması ve bu sınır tabakalarındaki konveksiyon akışıdır. Denklemin sağ tarafındaki difüzyon ve kaynak terimleri merkezi ayrıştırma (central-differencing) metodu ile ayrıştırılır. Difüzyon süreci, bütün yönlerde, gradyenleri boyunca taşınan miktarın yayılımını etkilerken, konveksiyon sadece akış yönünde etki eder. Bu can alıcı fark grid büyüklüğünü, konveksiyon yada difüzyonun ağırlığına göre belirler.

4. MUTFAK PİŞİRİCİLERİNİN TANITILMASI

4.1 AMAÇ ve KAPSAM

Günümüzde insanlar, yemeklerini birçok pişirme tekniğini ve fonksiyonunu bünyesinde barındıran ürünlerle lezzetli yemekler pişirebilmeye imkanına sahiptir. Halojenli lambalardan hava jet kanallı fırınlara, buhar ve güneş enerjisinden mikrodalgalı teknolojisini kullanan fırınlara kadar oldukça geniş yelpaze bulunmaktadır. Bununla beraber, internet bağlantılı ve telefonla komut verilebilen, pizza-pilav-yoğurt-ekmek yapabilen fonksiyonlarına sahip, dokunmatik kontrol özelliklerini de içinde barındıran pişirici cihazlar da kullanıcıların beğenisine sunulmaktadır.

Bu özellik ve fonksiyonlar tasarımlarla da desteklendiğinde kendi kendini temizleme özelliği, fırın kapağı kapalı iken ızgara yapabilen, sıvı ve yemek taşmalarından etkilenmeyen bek tasarımı fırınlar ortaya çıkmaktadır.

4.2 KONSTRÜKSİYONDAKİ GELİŞMELER

Günümüzde gelişen teknoloji ve insanların yaşam tarzlarında görülen değişikliklere paralel olarak her üründe olduğu gibi pişirici cihazlarda da gelişmeler ortaya atıldı.

Her sene, pişirici cihaz üreticileri daha hızlı, daha iyi pişiren, basit pişirme fonksiyonlarına nitelikler ekleyen ve yeni stil trendlerine uygun fırınlar üreterek kullanıcıları büyümektedir.

Bu durumda üretici firmalara düşen, müşterilerinin ne istediklerini araştırmak, analiz etmek ve gelecekte ne isteyebileceklerini kestirebilmektir.

Pişirici cihazlar genellikle üç kategoriye ayrılabilir.

- ticari ürünler
- yüksek teknoloji ürünler
- geleneksel tip ürünler

Kullanıcı yukarıdaki kategorilerden hangisini seçerse seçsin, kendisi için önemli olan, temiz dış tasarım, göze çarpan performans, temizlenebilirlik ve güvenlik kriterleridir.

Aşağıdaki özellikler fırınların yukarıdaki kriterleri sağlama-na yarayan özelliklerdir.

- Cebri dolaşım ile pişirme: Fırının arka tarafında bulunan üçüncü bir ısıtıcı sayesinde hava fırının iç gövdesine girmeden önce ısıtılır ve yine fırının arkasında bulunan bir fan ile sıcak hava fırın şasisine homojen olarak dağıtılır.

Avantajları;

- Birden fazla tepsi ile farklı yemekleri aynı anda pişirme
- Tek tepside homojen ısı dağılımı
- Fırının önüne konulan bir fan filtresi ile farklı yemek kokularının ve tatlarının birbirine karışması engellenebilir.
- Pişirme süreleri ve enerji tüketimi statik pişirmeye göre %25'e kadar azaltılabilir.
- Cebri pişirme sayesinde, meyve ve sebzeler yıl boyunca kullanılmak üzere hazırlanabilir. Meyve ve sebzeler düşük sıcaklıklarda bu fırına atılıp 4-5 saat bekletilip kurutulur ve tüm yıl boyunca kullanıma hazır hale getirilir.



Şekil 4.1 Cebri dolaşım ile pişirme

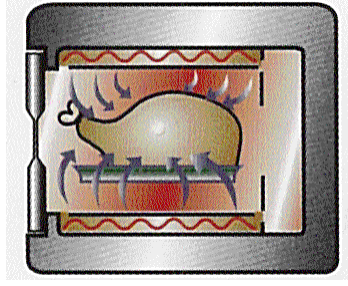
- Kendi kendine temizleme (Self-cleaning) opsiyonu: Fırın şasisinin iç duvarları özel bir emaye ile kaplanır. Fırının iç sıcaklığı bu opsiyon seçildiğinde ortalama 450°C'ye kadar çıkar. Bu sıcaklıkta duvarlara yapışmış olan yağlar küllenir ve dökülür. Küllenmiş olan bu yağlar rahatça temizlenebilir. Bu konuda fırının iç sıcaklıkları çok yüksek olduğundan fırının ön kapağı, güvenlik nedeni ile, fırının iç sıcaklığı 350°C olduğunda kilitlenmış olmalıdır.

Avantajları;

- Kolay temizlenebilirlik
- Kapalı kapak ızgara; Piyasadaki çoğu fırında ızgara opsiyonu kullanılırken fırının ön kapağı açılarak tutulmalıdır. Bu güvenlik ve ayrıca mutfak konforu açısından çok kullanışlı değildir. Kapalı kapak ızgara opsiyonu bu sorunlara çözüm getirmektedir.

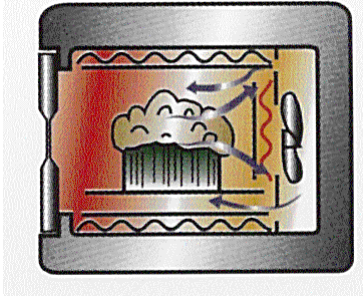
4.3 FIRINLAR

Statik pişirme



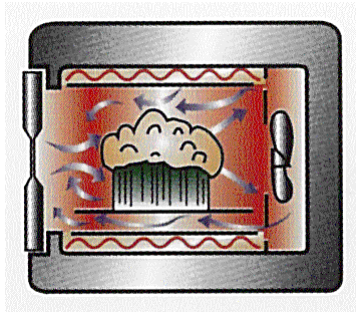
Şekil 4.2 Statik pişirme

Turbo pişirme;



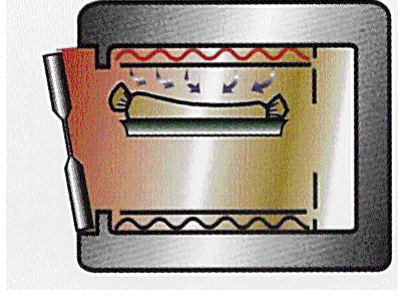
Şekil 4.3 Turbo pişirme

Elektro-turbo ; Alt-üst ısıtıcılar ve fanın birlikte çalışmasıdır.



Şekil 4.4 Elektro - turbo pişirme

Izgara; fırınlar da bulunan başka bir fonksiyondur.

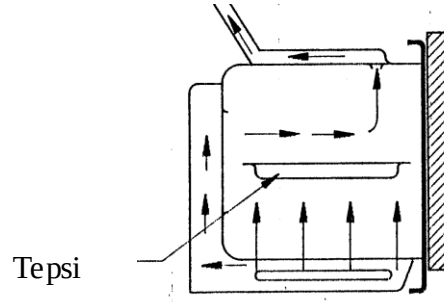


Şekil 4 5 Izgara pişirme

Buz çözme seçeneği ; Sadece fanın çalıştığı konumdur. Herhangi bir ısıtıcı çalışmaz.



Şekil 4 6 Buz çözme seçeneği



YENİ SİSTEM GAZLI FIRIN PIŞIRMA TEKNİĞİ

Şekil 4.7 Gazlı ürünlerde, klasik pişirme ile farklı olarak sıcak havayı arkadan tepsi üzerine yönlendiren bir sistem bulunmaktadır. Ancak modellenmesi düşünülen fırın iç gövdesinde ısı akışının en iyi şekilde gerçekleşmesi düşünülmüştür.

5. FIRINIÇ GÖVDESİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

5.1 DENEY TESİSATI

Deney tesisatı özellikle fırın sıcaklıklarının ölçülmesi için tasarlanmıştır. Sıcaklık ölçümü için kullanılan sıcaklık ölçüm elemanları (termocouple) 0 - 400 C içinde en kesin ölçüm sonuçlarını sağlayan J tipi sıcaklık ölçüm elemanlarıdır.

Veri toplama (Data Acquisition) sistemi kalibrasyon sertifikasına sahip uluslararası izlenebilirlik sisteminin içindedir. Yokogawa D100 model donanım Daqlogger yazılımı kullanılmıştır.

Deney tümüyle fırın iç sıcaklık ölçümlerinin alınması için tasarlanan bir düzenek yardımıyla yapılmıştır. Fırın iç gövdesi duvarlarından sıcaklık alınmasında sıcaklık ölçüm elemanları duvara temas ettirilmiş ve alüminyum folyo bantta sıcaklığa dayanıklı silikon sürülerek deney sırasında düşmesi engellenmiştir.

Fırında yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. 20 mbar basınçta ölçümler sıcaklıklar kararlı hale gelene kadar sürekli kayıt alınarak yapılmıştır. Fırın maksimum konumunda çalıştırılmıştır.

Aşağıdaki tabloda deney şartlarına ilişkin bilgiler yer almaktadır.

Tablo 5.1 Deney şartları bilgileri tablosu

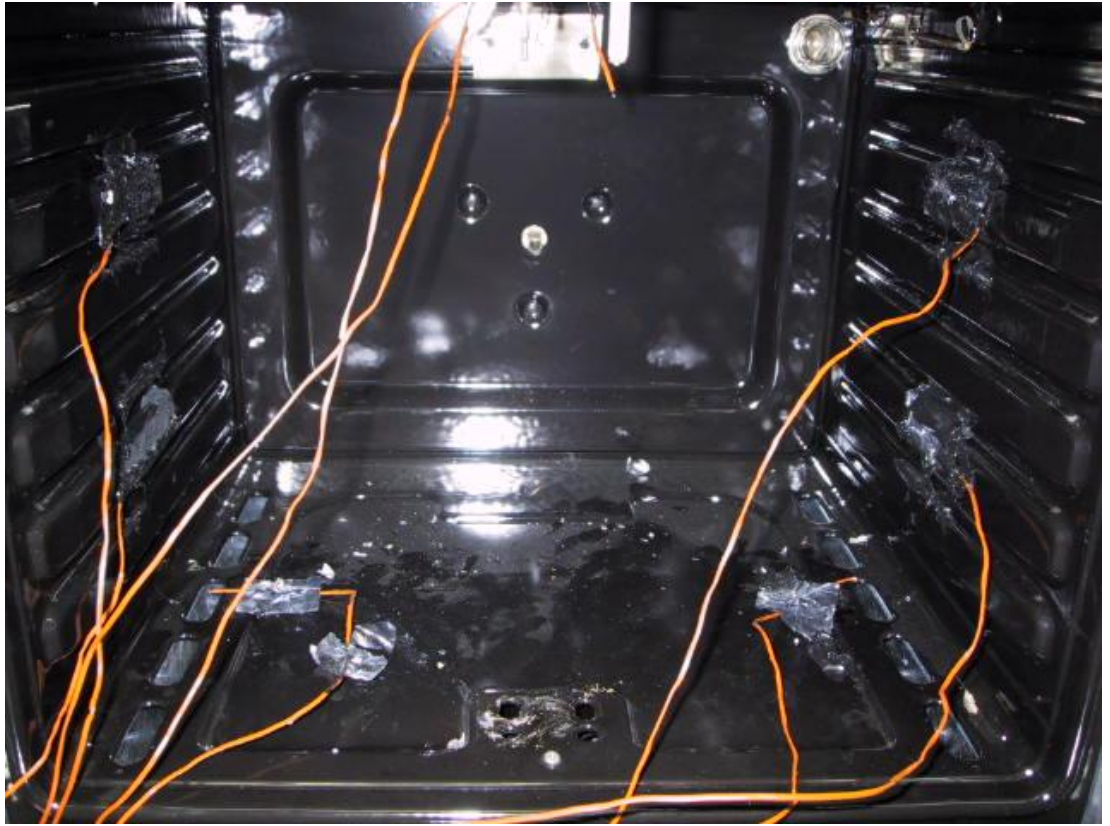
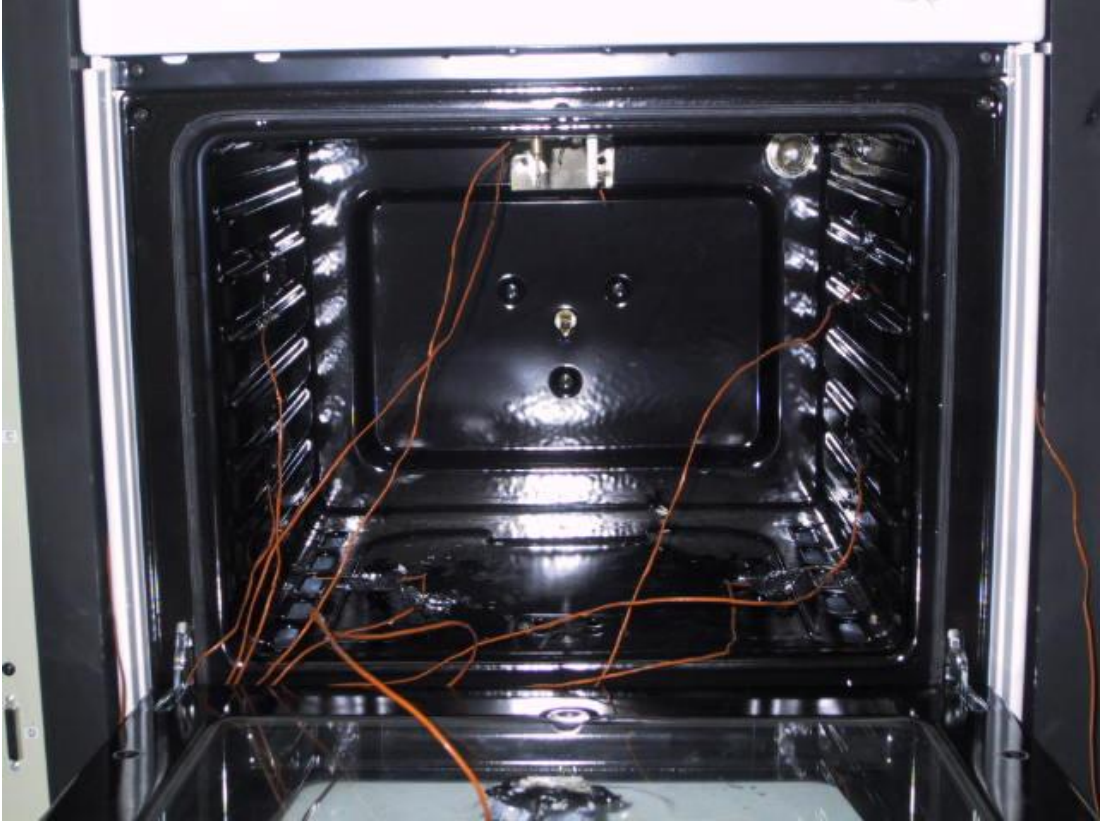
	Tepsisiz	Tepsili
Güç	3 Kw	3 Kw
Kullanılan gaz	G20 ; 20 mbar	G20 ; 20 mbar
Yakıt sarfıyatı	230 lt	231 lt
Gaz Sıcaklığı	21 C	22 C
Orta mbasıncı	928 mbar	928 mbar



Şekil 5.1 Deney tesisatının görüntüsü

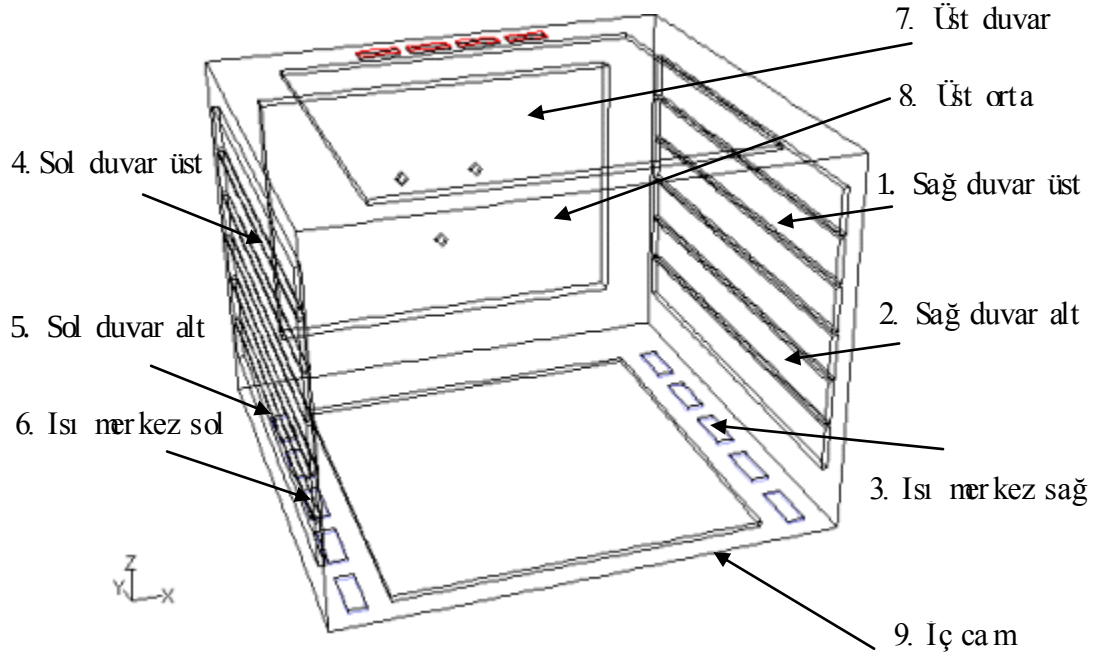


Şekil 5.2 Deneyde kullanılan fırının görüntüsü



Şekil 5.3 Fırın iç gövdesi ve sıcaklık ölçüm noktaları görüntüleri

5.2 DENEY YÖNTE Mİ



Şekil 5.4 Tepsisiz şasi deneyi sıcaklık ölçüm noktaları

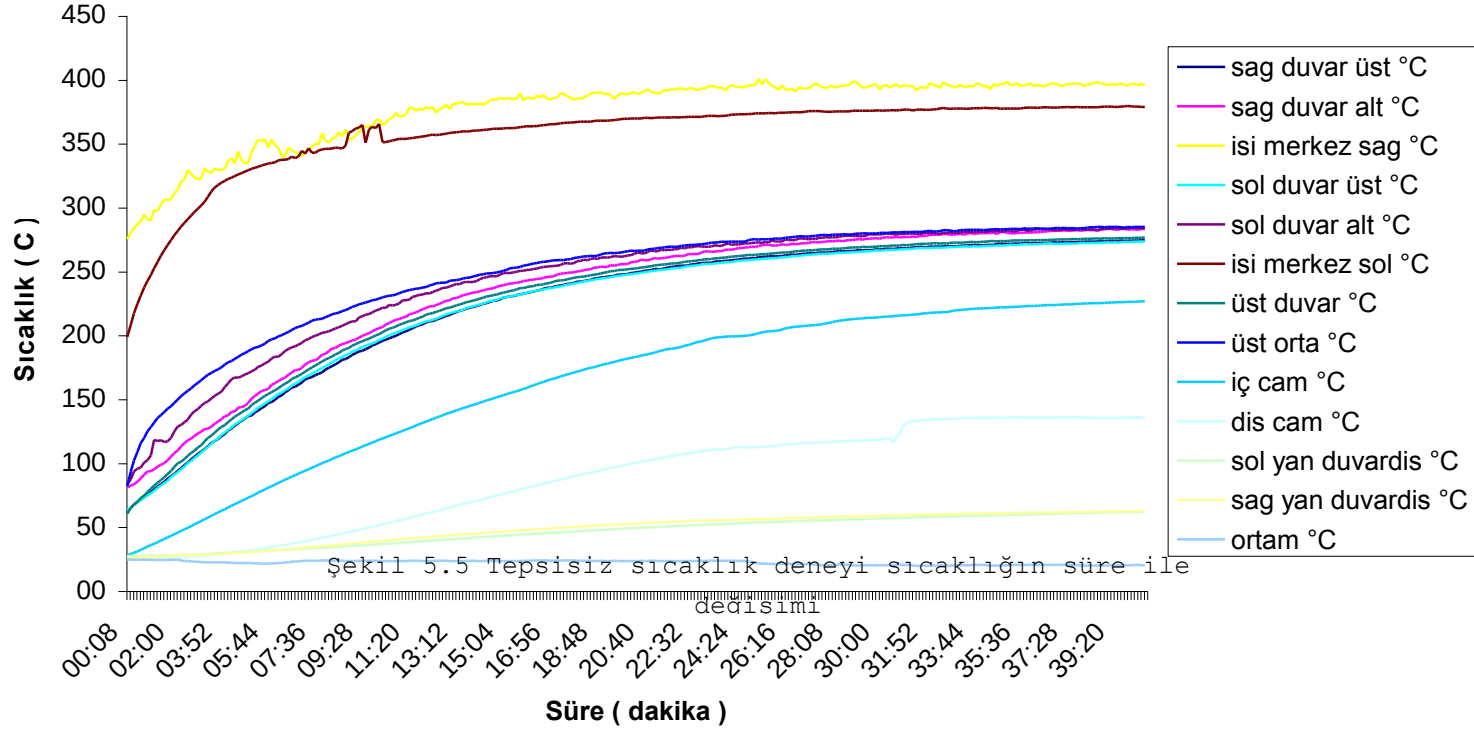
Deney iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde fırın iç gövdesine (şasi) tepsi yerleştirilmeden sıcaklık ölçüm elemanları (termo couple) yerleştirilerek, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca fırın dışından dört noktada ölçümlenmiştir. Sıcaklık ölçüm değerleri sabit kaldığında (bir saat sonra) deneye son verilmiştir.

Deney bir saat sürdür÷lmüş ve sıcaklık noktalarındaki değışim bu süre boyunca kaydedilmiştir. Alınan sıcaklık değerleri aşağıdadır.

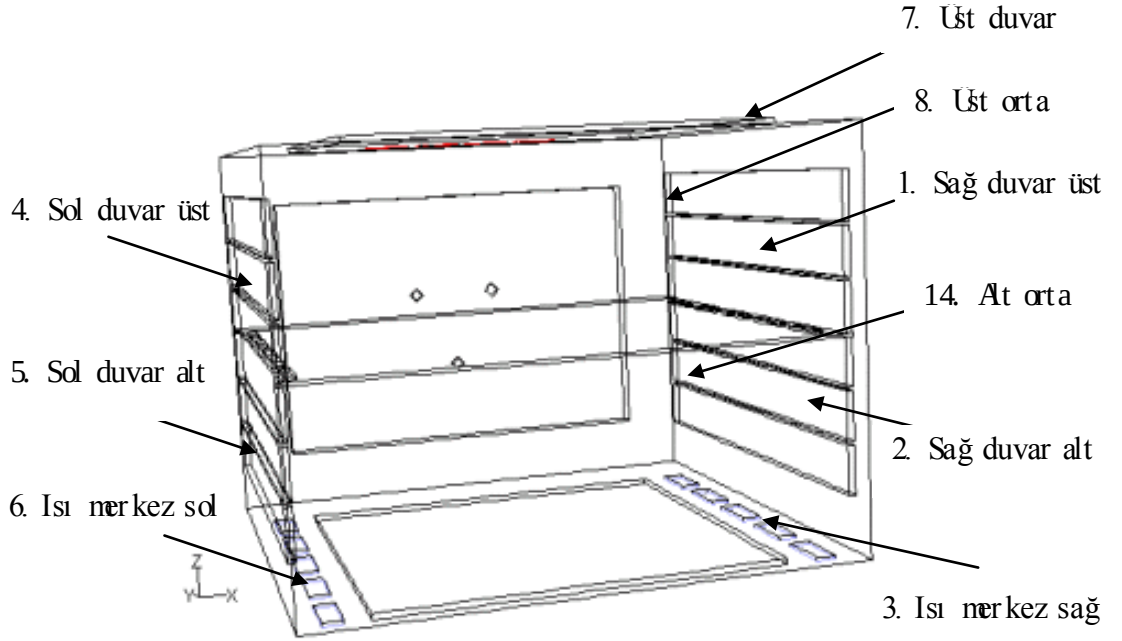
Tablo 5.2 Tepsisiz sıcaklık deneyi sıcaklık değerleri

Sıcaklık Ölçüm No	Açıklama	Sıcaklık (°C)
1	Sağ Duvar Üst	274
2	Sağ Duvar Alt	283
3	Isı Merkez Sağ	395
4	Sol Duvar Üst	273
5	Sol Duvar Alt	283
6	Isı Merkez Sol	378
7	Üst Duvar	276
8	Üst Orta	284
9	İç Cam	226
10	Dış Cam	135
11	Sol Yan Duvar Dış	61
12	Sağ Yan Duvar Dış	62
13	Orta m	20

Tepsisiz Şasi Deneyi



Deneyin ikinci bölümünde ise fırın şasisine tepsi yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri alınmıştır.



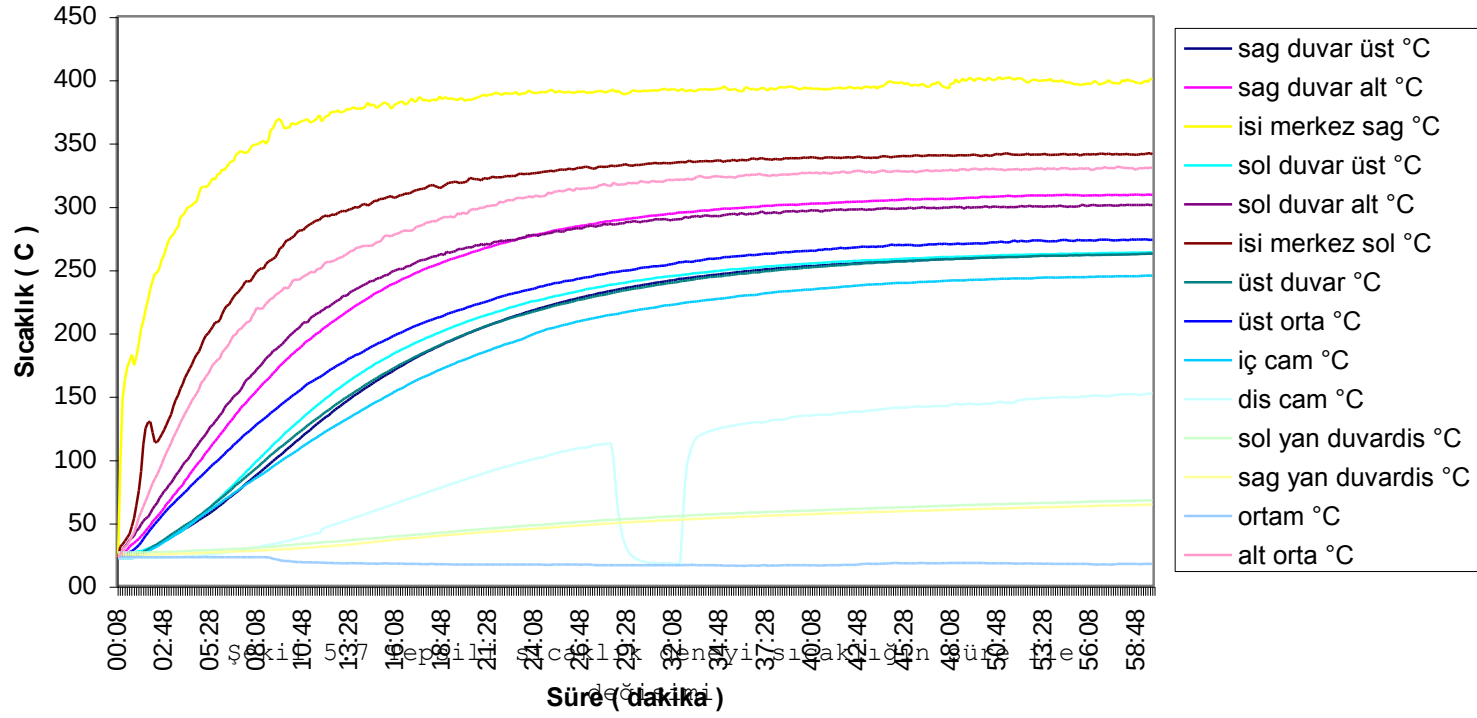
Şekil 5.6 Tepsili şasi deneyi sıcaklık ölçüm noktaları

Birinci deneyde olduğu gibi ikinci deneyde de süre bir saattir. Bu süre içinde ölçüm noktalarından alınan sıcaklıklar belli değerlerde sabit kalmıştır. Ölçüm noktalarından alınan son sıcaklık değerleri Tablo 5.2'dedir.

Tablo 5.3 Tepsili sıcaklık deneyi sıcaklık değerleri

Sıcaklık Ölçüm No	Açıklama	Sıcaklık (°C)
1	Sağ Duvar Üst	263
2	Sağ Duvar Alt	309
3	Isı Merkezi Sağ	401
4	Sol Duvar Üst	264
5	Sol Duvar Alt	301
6	Isı Merkezi Sol	341
7	Üst Duvar	263
8	Üst Orta	274
9	İç Cam	245
10	Dış Cam	152
11	Sol Yan Duvar Dış	68
12	Sağ Yan Duvar Dış	64
13	Ortam	18
14	Alt Orta	330

Tepsili Şasi Deneyi

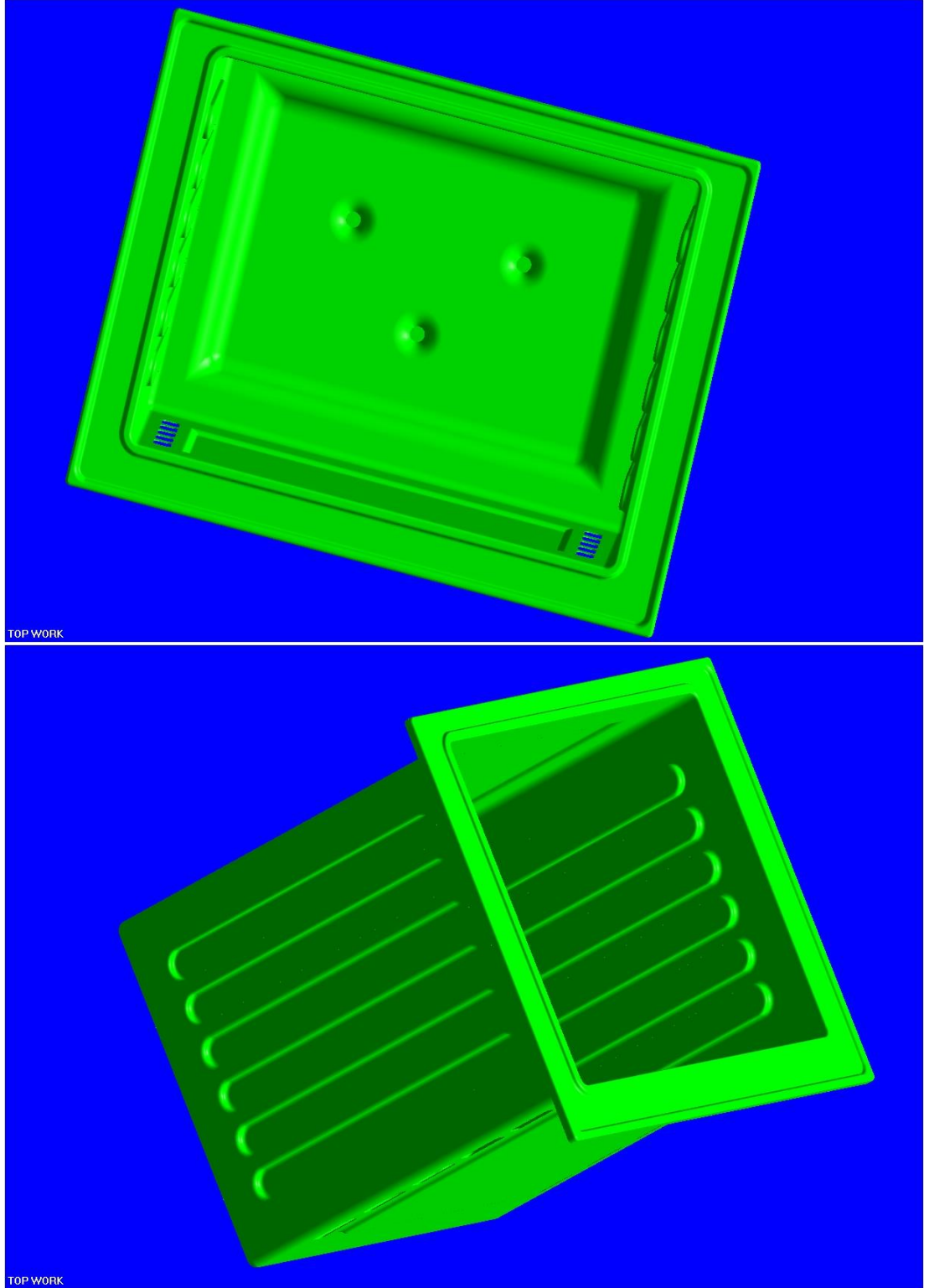


6. FIRIN İÇ GÖVDESİNİN CFD MODELLENMESİ

6.1 FIRIN İÇ GÖVDESİ GEOMETRİSİNİN OLUŞTURULMASI

İkinci bölümde CFD modellenmenin ana hatları özetlenmişti. Bu bölümde ise ikinci bölümde belirtilen esasların çözümü uygulanışı belirtilecektir. CFD modellenmenin birinci aşaması geometrinin oluşturulmasıdır. Günümüzde pek çok bilgisayar destekli tasarımyada bilgisayar destekli çizimprogram üç boyutlu tasarımkonusunda çok geniş olanaklar sağlamaktadır. Ancak modelleme için gerekli hacim oluşturma ve bu hacmin birim hesaplama hacimlerine indirgenmesi (meshleme) bu programlarda mümkün olamamaktadır. Gambit program ise oluşturulan geometrinin birim hesaplama hacimlerine indirgenmesi konusunda başarılı ancak istenen geometrinin oluşturulması konusunda zorlayıcı olunsuzluklara sahiptir. Bu nedenle fırın iç gövdesinin oluşturulması üç boyutlu tasarımiçin kullanılan günümüz programları içinde en iyi olanaklara sahip programlardan biri olan uni graphics tasarım programında oluşturulmuştur. Uni graphics program [6] geometrinin oluşturulmasında kullanıcılara geniş olanaklar sağlar. Bu olanaklardan bazıları katı modellenme olarak bilinen hacim çalışmalarında geometrinin daha hızlı ve sağlıklı (gerçeğe uygun) oluşturulmasını sağlamasıdır. Uni graphics programında modellenmesi düşünülen geometri katı model tekniği kullanılarak tek parça halinde oluşturuldu. Bunun bir diğer amacı da bu tasarım programında oluşturulan geometrinin gambit programında hacim şeklinde okunması ve birim hesaplama hacimlerine indirgenmesini sağlamaktır. Uni graphics programında oluşturulan geometri doğrudan gambit programına okutturulamaz. Bunun nedeni uni graphics dönüşüm programlarının gambit dönüşüm programları ile uyuşmasıdır. Bu nedenle gambit programna dönüşüm için başka bir tasarım programından yararlanılmıştır. Solid works [7] olarak bilinen tasarımprogram günümüz tasarım programları arasında en çok dönüşümlanağı sağlayan programdır. Katı modellenme tekniği kullanılarak oluşturulan geometri solid works program yardımıyla gambit programna dönüştürülebilen ACIS formatındaki bilgiye dönüştürülmüş ve gambit programında bu dosya okutulmuştur. Böylece modellenmesi düşünülen geometrinin

ol uşturul maşı ta ma nı an m ştır. Bu s üreci n ta ma nı an maşı ol dukça ö ne mli ve zor dur. Bunun nedeni geometrinin gerç ek durumu yansıt maşı aynı za m anda Fluent progra m ndaki ç ı ktı lar ın deney sonuç ları ile uy uşmaşı nı sa ğ lar. A řa ğ ı da uni graphi cs progra m nda ol uşturul an uygul a ma ö rnekleri yer al ma ktadı r.



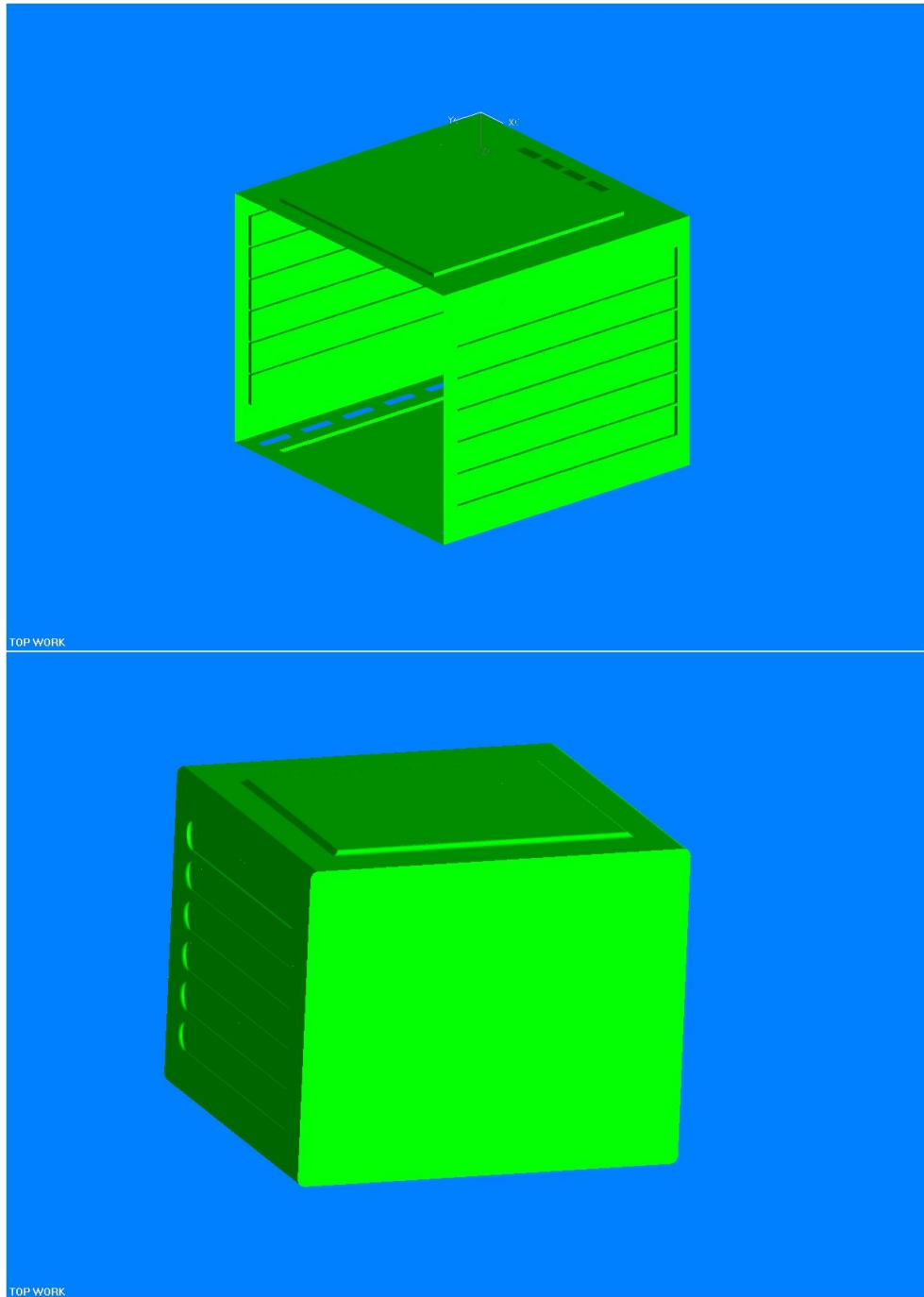
şekil 6 1 Uni graphi cs progra m nda ol uşturul an fır ın ı ç gövdesi geometrisi

Şekil 6.1’de oluşturulan geometri gerçekte kullanılan fırın şasisi boyutlarında ve aynı şekilde oluşturulmuştur. Şekil 6.2’de modellenmesi düşünülen şasi resimleri görülmektedir.



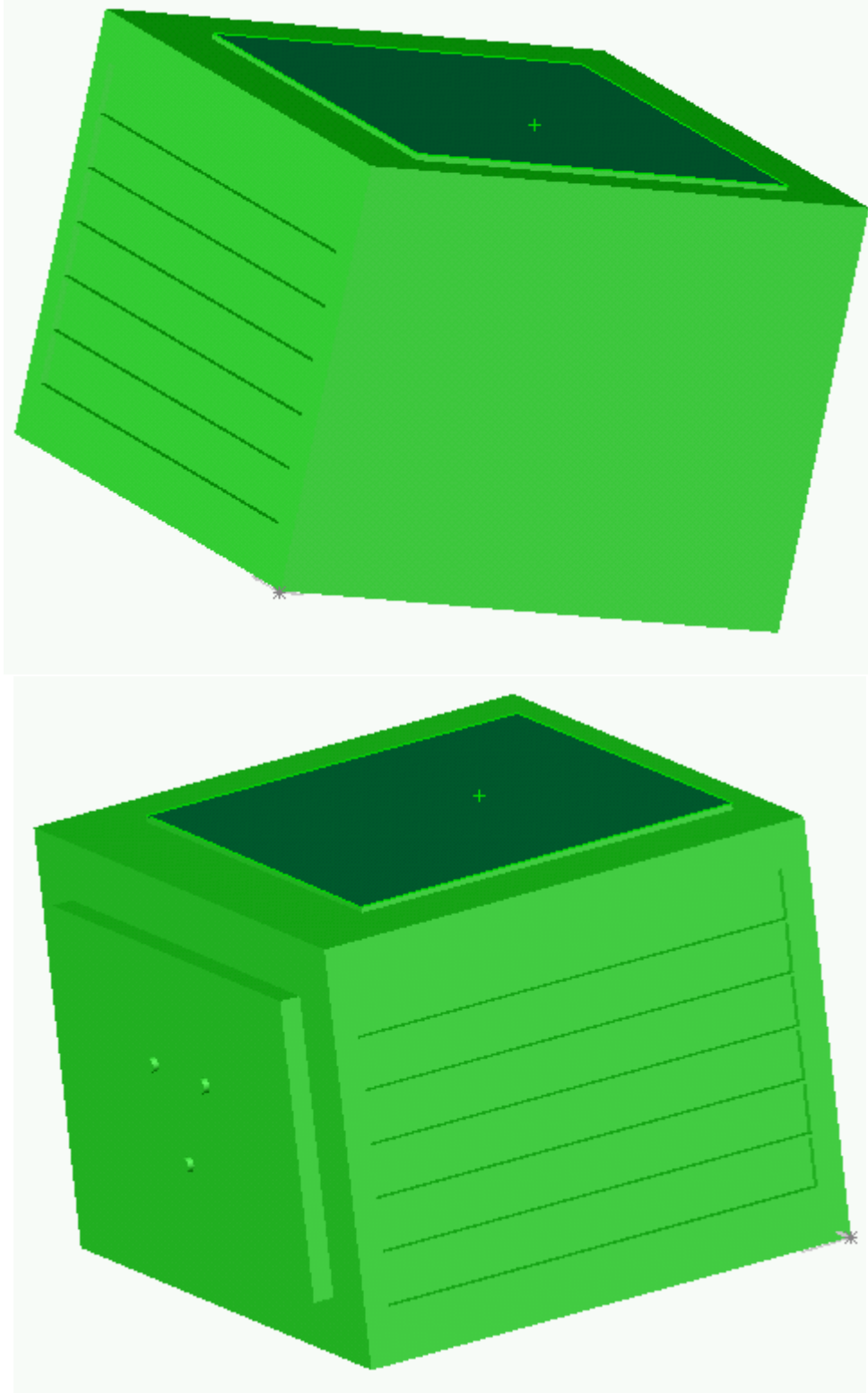
Şekil 6.2 Gerçekte kullanılan fırın iç gövdesinin resmi

Ancak uni graphics'te oluşturulan gerçek fırın şasisine bire bir uyumlu şasi resminin birimhesaplanma hacimlerine indirgenmesi (meshleme) tümüyle mümkün olamıştır. Bu nedenle oluşturulan geometrinin modellemeye uygun hale getirilmesi aşaması ortaya çıkmıştır. Bu aşamada uni graphics programında oluşturulan geometrideki yüzeyler tek tek çıkarılarak birbirine dikilniş ve geri kalan hacim silinmiştir. Böylece uni graphics programındaki modelleme aşaması tamamlanmıştır. Aşağıdaki resimde modelleme için oluşturulan geometrinin resmi Şekil 5.3'tedir.



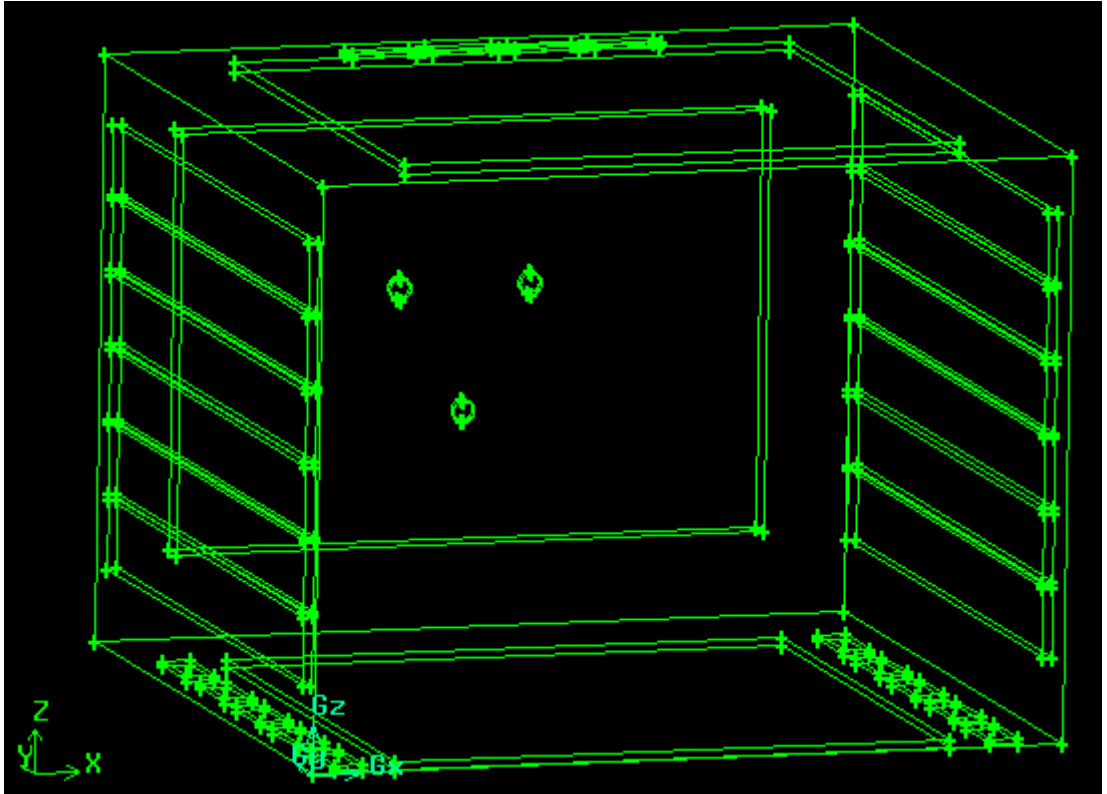
Şekil 6.3 Uni graphics'te oluşturulan model geometrisi

Şekil 6.3'te oluşturulan model geometrisi Solid works programında gambit programına okutulabilecek olan acis formatına dönüştürülmüştür.



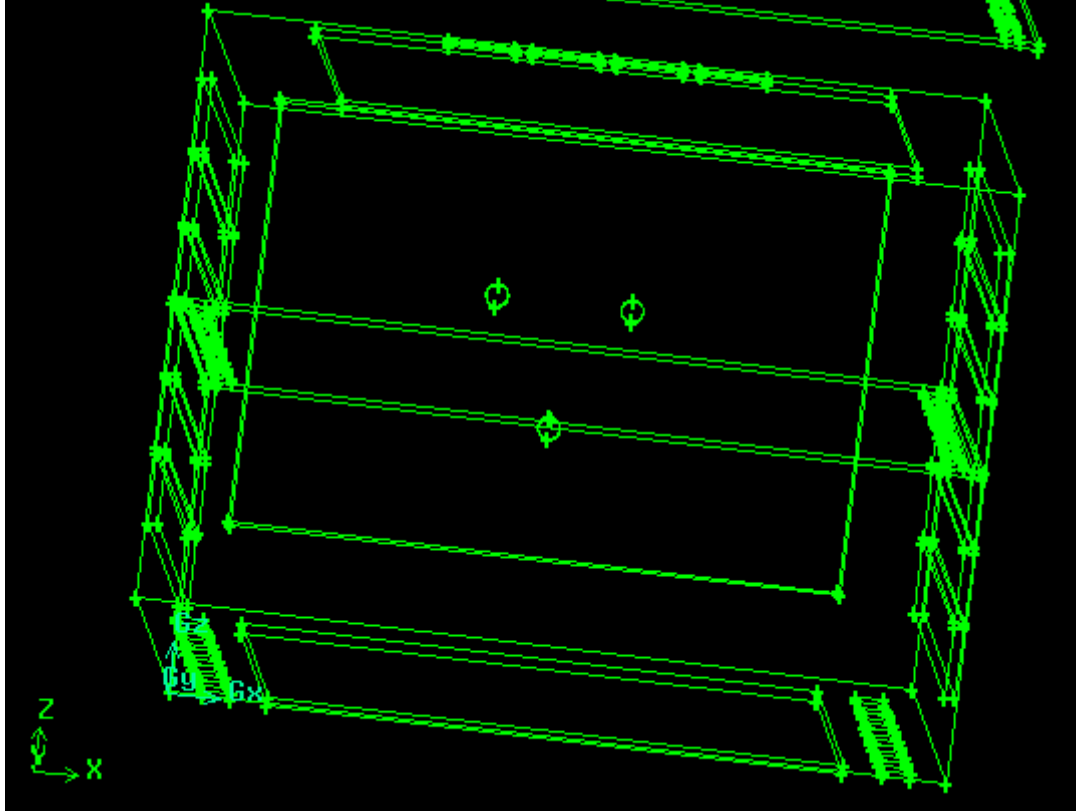
Şekil 6.4 Solid works programında dönüştürülen model geometrisi

Solid works programında oluşturulan dosya gambit programında okutulmuştur. Ancak geometrinin oluşturulma aşaması tamamlanmamıştır. Gambit programında oluşturulan geometride olması gereken giriş ve çıkış delikleri çizilmiştir. Aynı zamanda tepsi geometrisi bu program yardımıyla şasi resminin içinde oluşturulmuştur. Şekil 6.4'te gambit programında oluşturulan tepsisiz şasi geometrisi görülmektedir.



Şekil 6.5 Gambit programında oluşturulan tepsisiz şasi model geometrisi

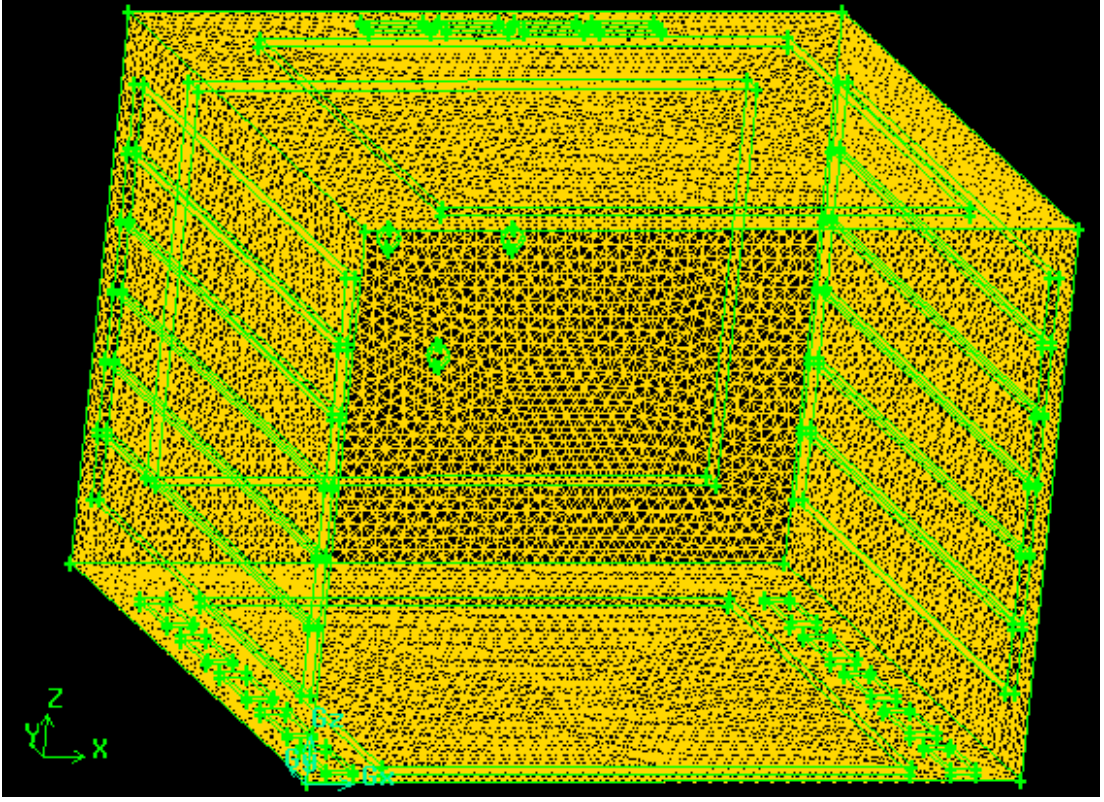
Cambit program yardımıyla oluşturulan tepsili şasi model geometrisi Şekil 6.6'dadır.



Şekil 6.6 Gambit programında oluşturulan tepsili şasi model geometrisi

Gambit programında giriş ve çıkış şartlarının tanımlanmasından sonra oluşturulan hacimlerin birim hesaplama hacimlerine indirgenmesi (meshleme) işlemine geçilmiştir.

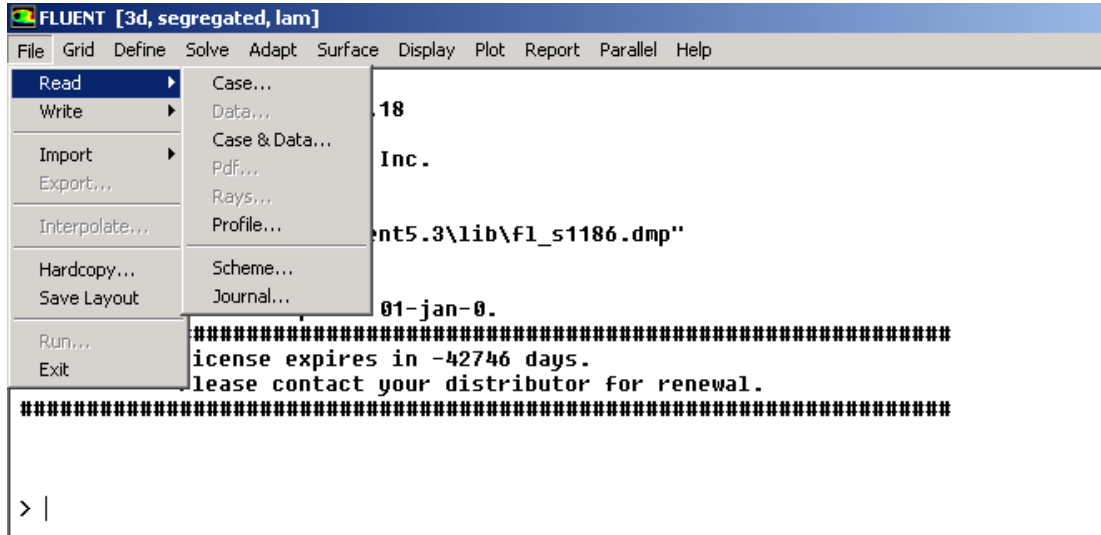
Şekil 6.7’de gambit programında birim hacimlere indirgenmiş (meshlenmiş) şasi görüntüsü görülmektedir.



Şekil 6.7 Gambit programında meshlenmiş şasi model geometrisi

Fırın geometrisi birim hesaplama hacimlerine indirgendikten sonra gambit programında *.mesh dosyası şeklinde kaydedilir. Böylece fırın iç gövdesinin (şasi) geometrisinin oluşturulması aşağıya tamamlanmış olmaktadır.

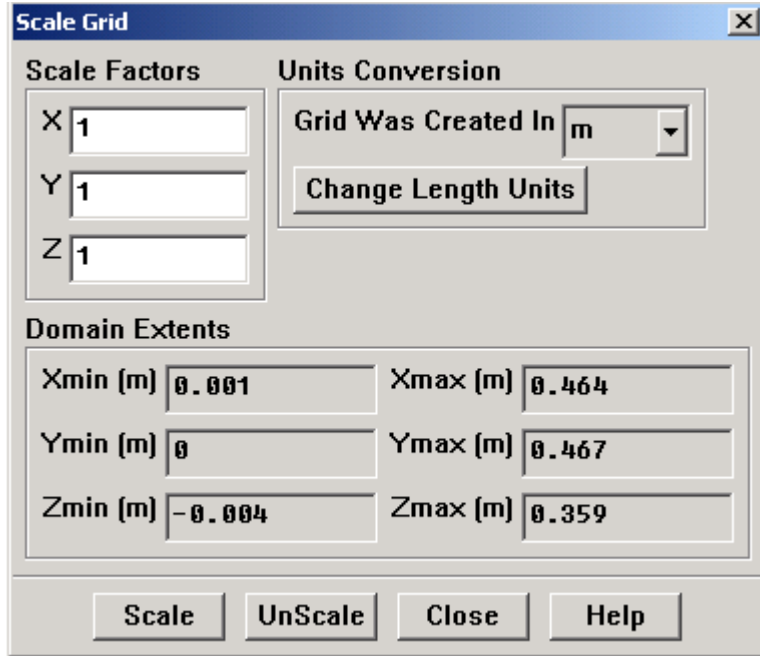
6.2 FİRİNİÇ GÖVDESİ NİN FLUENT PROGRAM NDA MODELLENMESİ



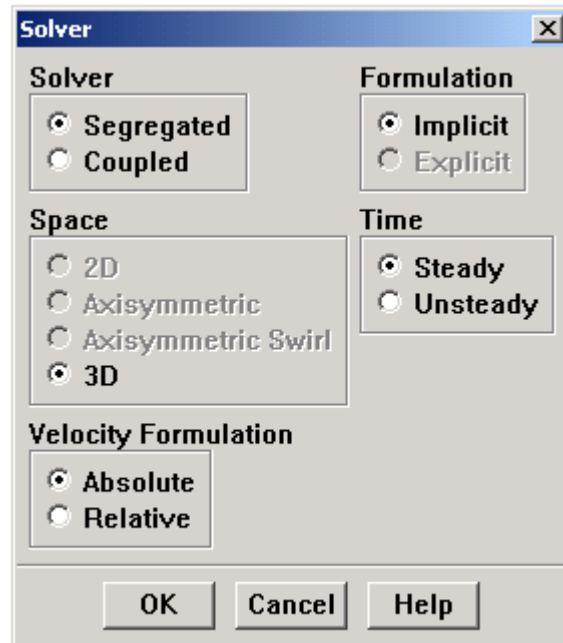
Şekil 6.8 Fluent program nda birim hacimlere indirgenmiş geometri nin okunması

Şekil 6.8’de görüldüğü gibi Gambit programında birim hacimlere indirgendiikten sonra *.nsh olarak kaydedilen dosya fluent programında durum(case) dosyası olarak okutulur. Gambit programından okutulan dosyada mm olarak tasarlanmış geometri nin fluent programında mbirime dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem Şekil 6.9’daki gibi yapılır.

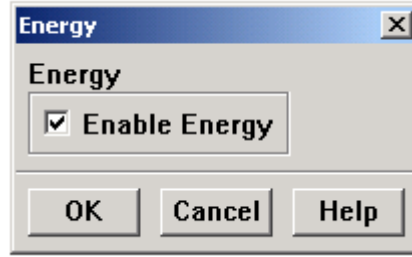
Fluent programında tanımlamalar (define) bölümünde modeller (models), malzemeler (materials), operasyon şartları (operating conditions) ve sınır şartları tanımlanır.



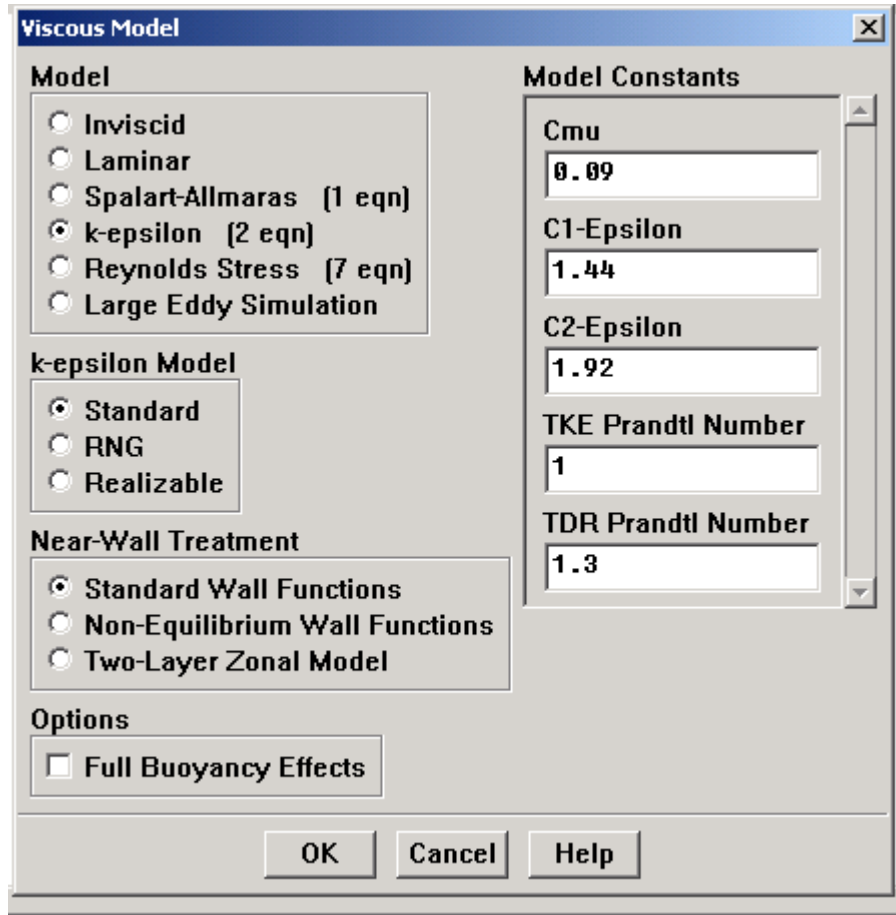
Şekil 6.9 Geometrinin mđçümbiri nine dönüştürülmesi



Şekil 6.10 Fluent programındaki model tanımlamaları

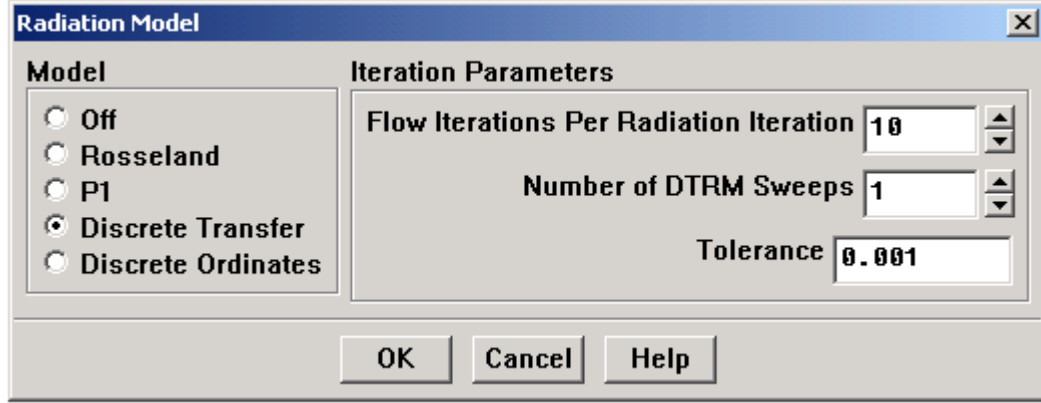


Şekil 6 11 Enerji tanımlaması



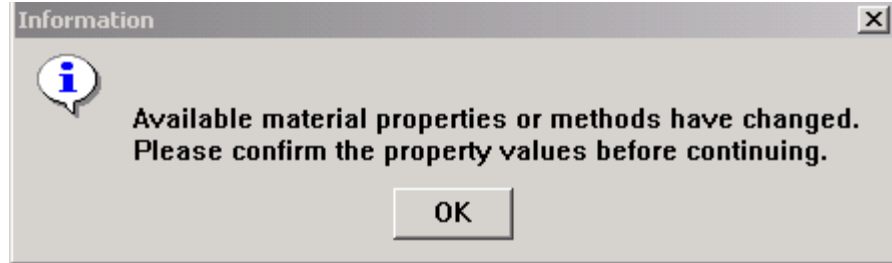
Şekil 6 12 Akış şartlarının tanımlandığı bölüm

Model de k-epsilon seçilmesi nin nedeni türbülans etkisi ni n di kkat e alı nması gerekti ğ i içi ndir.



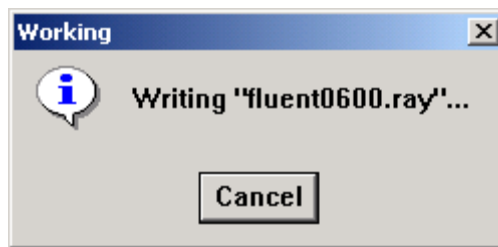
Şekil 6.13 Radyasyon modelinin tanımlandığı bölüm

Radyasyon modeli dikkate alınırken yine türbülans etkisinin dikkate alınması gerektiği için Discrete Transfer seçeneği işaretlenir. Bu seçeneğin işaretlenmesiinden sonra program Şekil 5.12'deki bilgi mesajını verir.



Şekil 6.14 Malzeme özelliklerinin değiştiğini ve değerlerin devam etmeden önce onaylanması gerektiğini belirten bilgi mesajı

Bu mesajdan sonra program modelde kullanılacak *.ray uzantılı dosya oluşturur.



Şekil 6.15 Dosyanın oluşturulması

Materials

Name: air

Material Type: fluid

Order Materials By: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula:

Fluid Materials: air

Database...

Properties

Cp (j/kg-k)	constant	Edit...
	1006.43	
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...
	0.0242	
Viscosity (kg/m-s)	constant	Edit...
	1.7894e-05	
Absorption Coefficient (1/m)	constant	Edit...
	0.3	

Change/Create Delete Close Help

Şekil 6.16 Malzeme bilgilerinin tanımlandığı bölüm

Malzeme bilgileri olarak hava ve absorpsiyon katsayısı tanımlanmıştır.

Operating Conditions

Pressure

Operating Pressure (pascal)
101325

Reference Pressure Location

X (m) 0
Y (m) 0
Z (m) 0

Gravity

☒ Gravity

Gravitational Acceleration

X (m/s²) 0
Y (m/s²) 0
Z (m/s²) -9.81

Boussinesq Parameters

Operating Temperature (k)
288.16

Variable-Density Parameters

☒ Specified Operating Density

Operating Density (kg/m³)
1.225

OK Cancel Help

Şekil 6.17 Operasyon şartlarının tanımlandığı bölüm

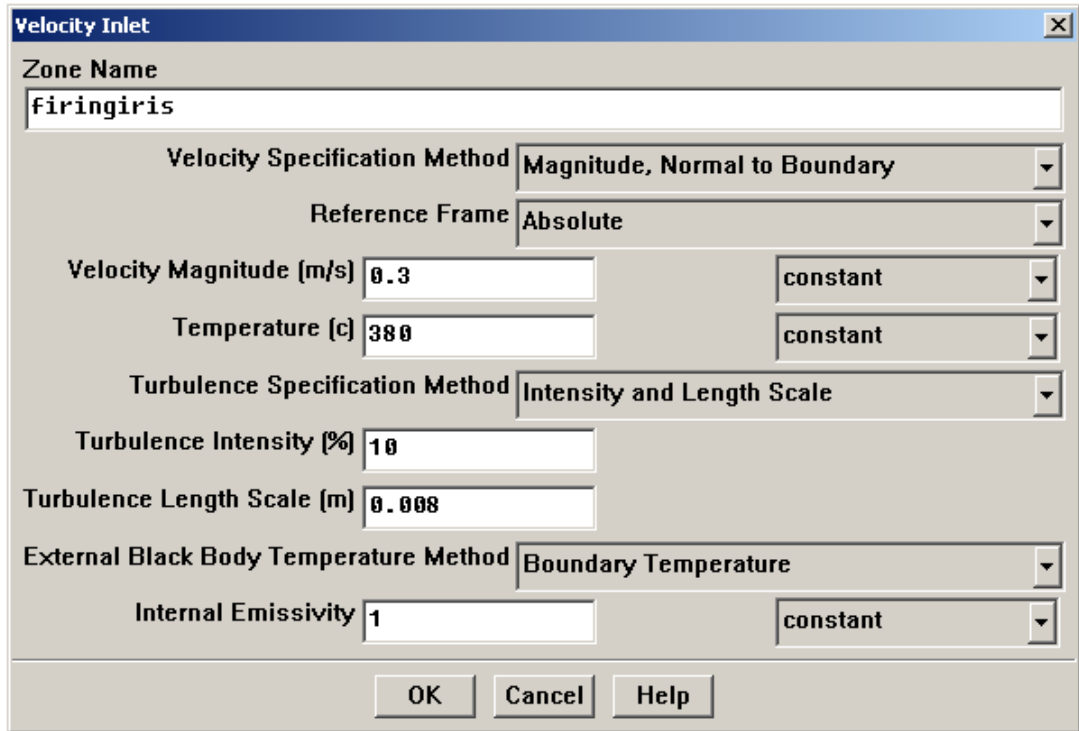
Operasyon şartları olarak yerçekimi ivmesi yönü tanımlanmıştır. Şekil 6.17’de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.

Fluent programında modellenen sonuçlarını en çok etkileyen parametrelerden biri olan sınır şartlarının tanımlanması için bölüm 2’deki deney sonuçlarından yararlanılmıştır. Tepsisiz çözüm ve tepsili çözüm için farklı sınır şartlarından yararlanılmıştır.

Fluent programında sınır şartlarının belirlenmesinde şekil 6.18’deki bölümden yararlanılır. Bu bölümde fırın giriş şartları, çıkış şartları, malzeme özellikleri ve duvar değerleri belirlenir.



Şekil 6.18 Sınır şartlarının tanımlandığı bölüm



Şekil 6.19 Tepsisiz şasi için giriş şartlarının tanımlandığı bölüm

Pressure Outlet

Zone Name
firincikis

Gauge Pressure (pascal) 0 constant

☐ Radial Equilibrium Pressure Distribution

Backflow Total Temperature (c) 27 constant

Turbulence Specification Method Intensity and Length Scale

Backflow Turbulence Intensity (%) 10

Backflow Turbulence Length Scale (m) 0.008

External Black Body Temperature Method Boundary Temperature

Internal Emissivity 1 constant

OK Cancel Help

Şekil 6 20 Tepsisiz şasi için çıkış şartlarını tanımladığı bölüm

Wall

Zone Name
wall

Adjacent Cell Zone
fluid

Thermal Conditions

☐ Heat Flux
☒ Temperature
☐ Convection
☐ Radiation
☐ Mixed

Temperature (c) 262 constant

Internal Emissivity 1 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0

Material Name
aluminum

Wall Roughness

Roughness Height (m) 0 Roughness Constant 0.5

☐ Moving Wall
☐ Specified Shear Stress

OK Cancel Help

Şekil 6 21 Tepsisiz şasi için duvar şartlarını tanımladığı bölüm

Sıcaklık değerleri tanımlanmıştır. Bu değerler bölüm 2’deki deney sonuçlarından elde edilmiştir.

Fluid

Zone Name
fluid

Material Name air

☐ Source Terms
☐ Laminar Zone
☐ Porous Zone

Rotation-Axis Origin	Rotation-Axis Direction
X (m) 0	X 0
Y (m) 0	Y 0
Z (m) 0	Z 1

Motion Type Stationary

OK Cancel Help

Şekil 6 22 Akışkan şartları nı tanımladığı bölüm

Wall

Zone Name
ustyuzey

Adjacent Cell Zone
fluid

Thermal Conditions

☐ Heat Flux
☒ Temperature
☐ Convection
☐ Radiation
☐ Mixed

Temperature (c) 289 constant

Internal Emissivity 1 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0

Material Name
aluminum

Wall Roughness

Roughness Height (m)	Roughness Constant
0	0.5

☐ Moving Wall
☐ Specified Shear Stress

OK Cancel Help

Şekil 6 23 Tepsisiz şasi için üst yüzey şartları nı tanımladığı bölüm

Wall

Zone Name
altguzey

Adjacent Cell Zone
Fluid

Thermal Conditions

☐ Heat Flux
☒ Temperature
☐ Convection
☐ Radiation
☐ Mixed

Temperature (c) 320 constant

Internal Emissivity 1 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0

Material Name
aluminum

Wall Roughness

Roughness Height (m) 0 Roughness Constant 0.5

☐ Moving Wall
☐ Specified Shear Stress

OK Cancel Help

Şekil 6 24 Tepsisiz şasi için alt yüzey şartlarının tanımlandığı bölüm

Tepsili şasi çözümü için ise aşağıdaki sınır şartları kullanılmıştır.

Velocity Inlet

Zone Name
firingiris

Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame Absolute

Velocity Magnitude (m/s) 0.3 constant

Temperature (c) 390 constant

Turbulence Specification Method Intensity and Length Scale

Turbulence Intensity (%) 10

Turbulence Length Scale (m) 0.008

External Black Body Temperature Method Boundary Temperature

Internal Emissivity 1 constant

OK Cancel Help

Şekil 6 25 Tepsili şasi için giriş şartlarının tanımlandığı bölüm

Pressure Outlet

Zone Name
firincikis

Gauge Pressure (pascal) 0 constant

☐ Radial Equilibrium Pressure Distribution

Backflow Total Temperature (c) 26.85001 constant

Turbulence Specification Method Intensity and Length Scale

Backflow Turbulence Intensity (%) 10

Backflow Turbulence Length Scale (m) 0.008

External Black Body Temperature Method Boundary Temperature

Internal Emissivity 1 constant

OK Cancel Help

Şekil 6 26 Tepsili şasi için çıkış şartlarının tanımlandığı bölüm

Wall

Zone Name
wall

Adjacent Cell Zone
Fluid

Thermal Conditions

☐ Heat Flux
☒ Temperature
☐ Convection
☐ Radiation
☐ Mixed

Temperature (c) 290 constant

Internal Emissivity 1 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0

Material Name
aluminum

Wall Roughness

Roughness Height (m) Roughness Constant
0 0.5

☐ Moving Wall
☐ Specified Shear Stress

OK Cancel Help

Şekil 6 27 Tepsili şasi için duvar şartlarının tanımlandığı bölüm

Wall

Zone Name
ustyuzey

Adjacent Cell Zone
Fluid

Thermal Conditions

☐ Heat Flux
☒ Temperature
☐ Convection
☐ Radiation
☐ Mixed

Temperature (c) 270 constant

Internal Emissivity 1 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0

Material Name
aluminum

Wall Roughness

Roughness Height (m) 0 Roughness Constant 0.5

☐ Moving Wall
☐ Specified Shear Stress

OK Cancel Help

Şekil 6.28 Tepsili şasi için üst yüzey şartlarının tanımlandığı bölüm

Wall

Zone Name
altuyuzey

Adjacent Cell Zone
Fluid

Thermal Conditions

☐ Heat Flux
☒ Temperature
☐ Convection
☐ Radiation
☐ Mixed

Temperature (c) 330 constant

Internal Emissivity 1 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0

Material Name
aluminum

Wall Roughness

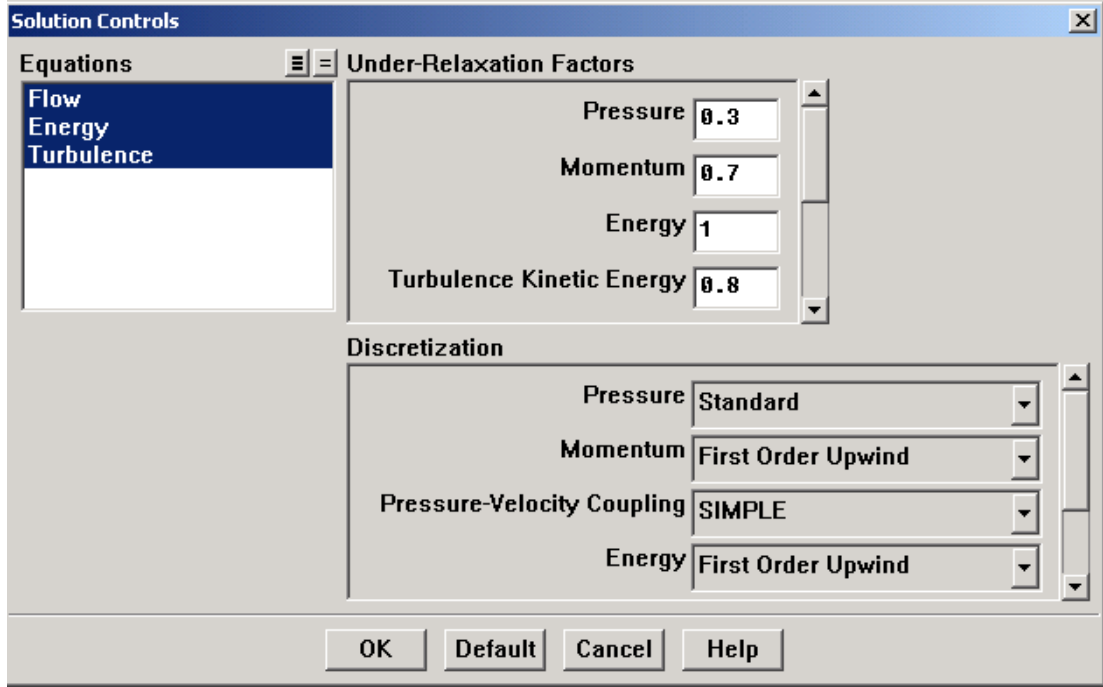
Roughness Height (m) 0 Roughness Constant 0.5

☐ Moving Wall
☐ Specified Shear Stress

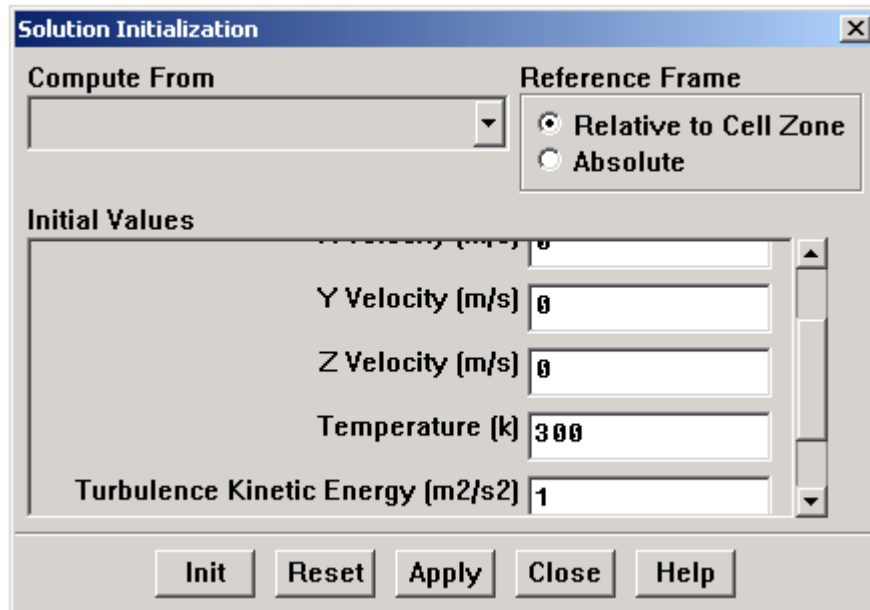
OK Cancel Help

Şekil 6.29 Tepsili şasi için alt yüzey şartlarının tanımlandığı bölüm

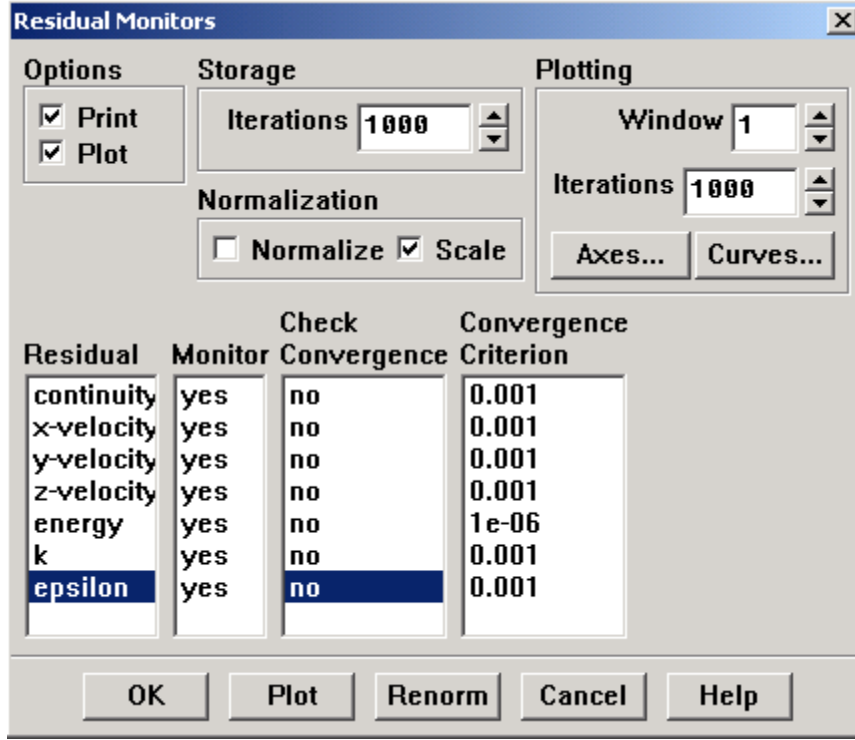
Sınır şartlarını tanımlanması ndan sonra çözümü için gerekli parametrelerin girilmesi işlemi başlatılır.



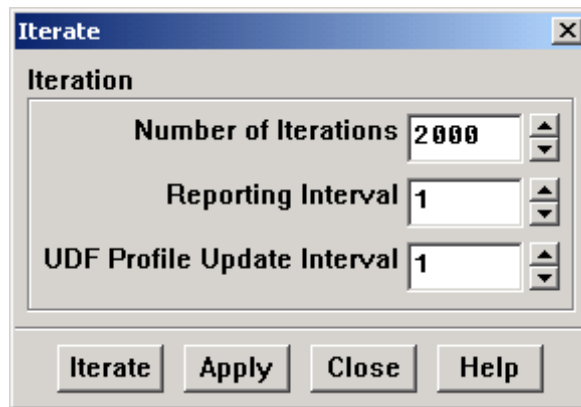
Şekil 6 30 Çözüm kontrol parametrelerini tanımladığı bölüm



Şekil 6 31 Çözüm parametrelerini tanımladığı bölüm



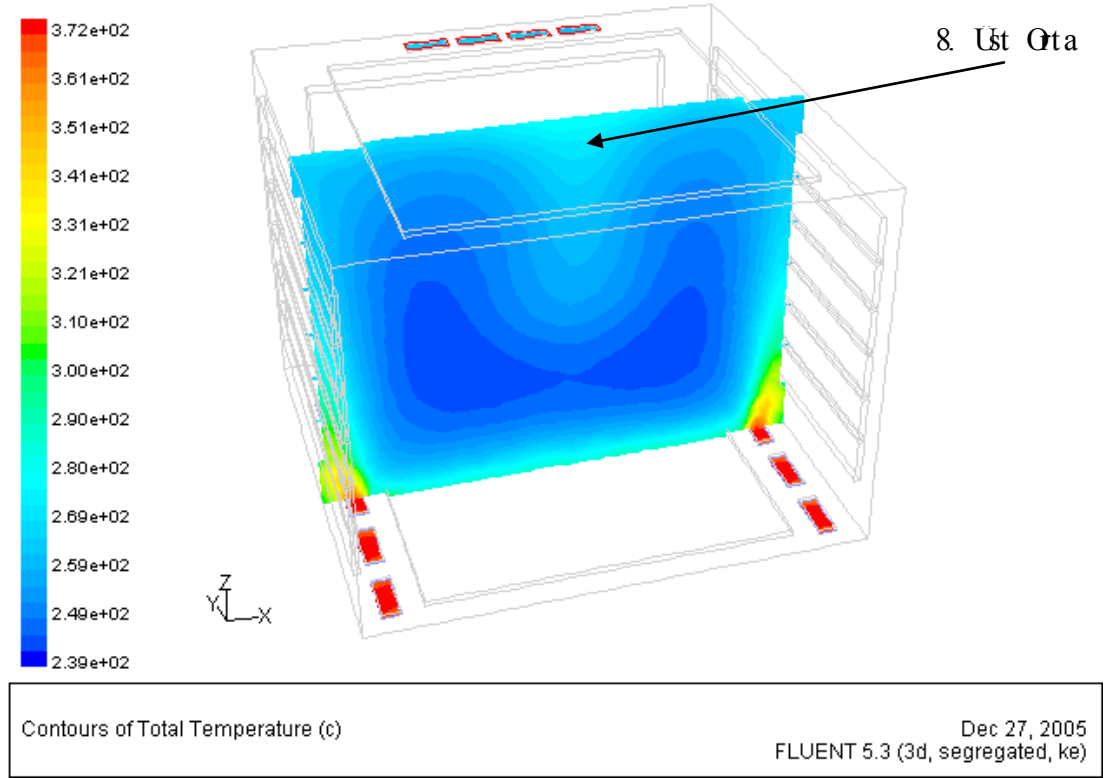
Şekil 6.32 Çözüm görüntüleme parametrelerinin tanımlandığı bölüm



Şekil 6.33 İterasyon parametrelerinin tanımlandığı bölüm

İterasyon parametrelerinin tanımlanmasından sonra fluent program çözüm işlemlerini başlatır. İşlemler tanımlandığında modelleme sonuçları da elde edilmiş olur.

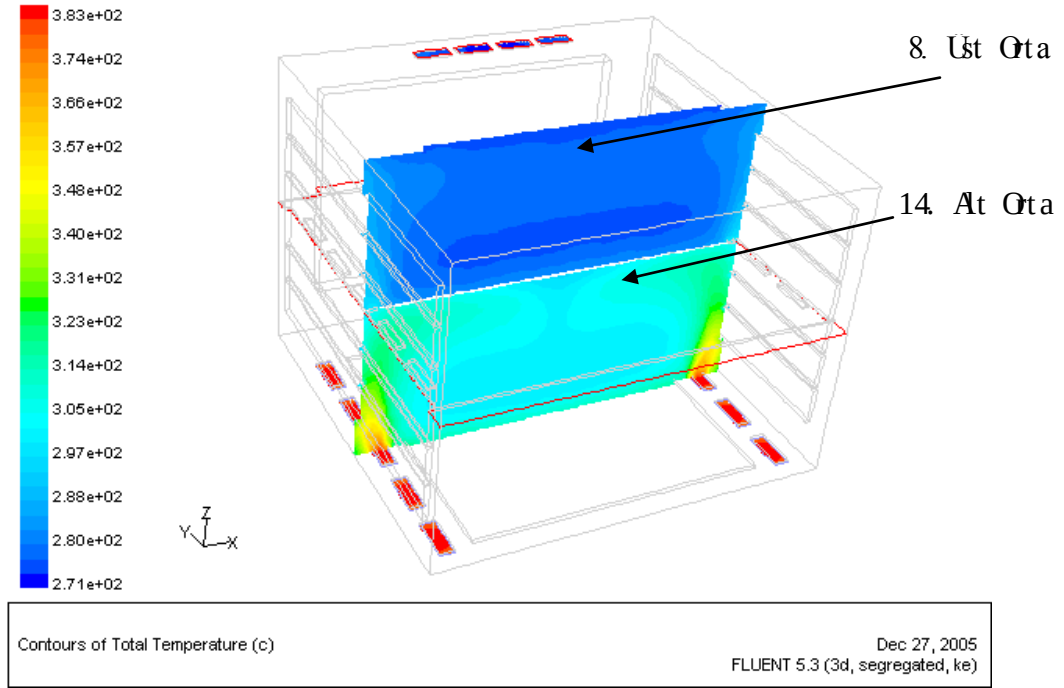
6.3 FLUENT PROGRAMINDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR İLE DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI



Şekil 6.34 Tepsisiz şasi modeli fluent program çözümü

Şekil 5.28'de iletkenlik incelendiğinde bölüm 2'de tanımlanan üst orta olarak tanımlanan noktada sıcaklığın 280 C'ye varıncaya kadar olduğu görülmektedir. Deneyle bulunan değeri ise 284 C'dir. Bu sonuçta fluent çözümünün gerçek değerle büyük oranda aynı sonuçları gösterdiği anlaşılmaktadır.

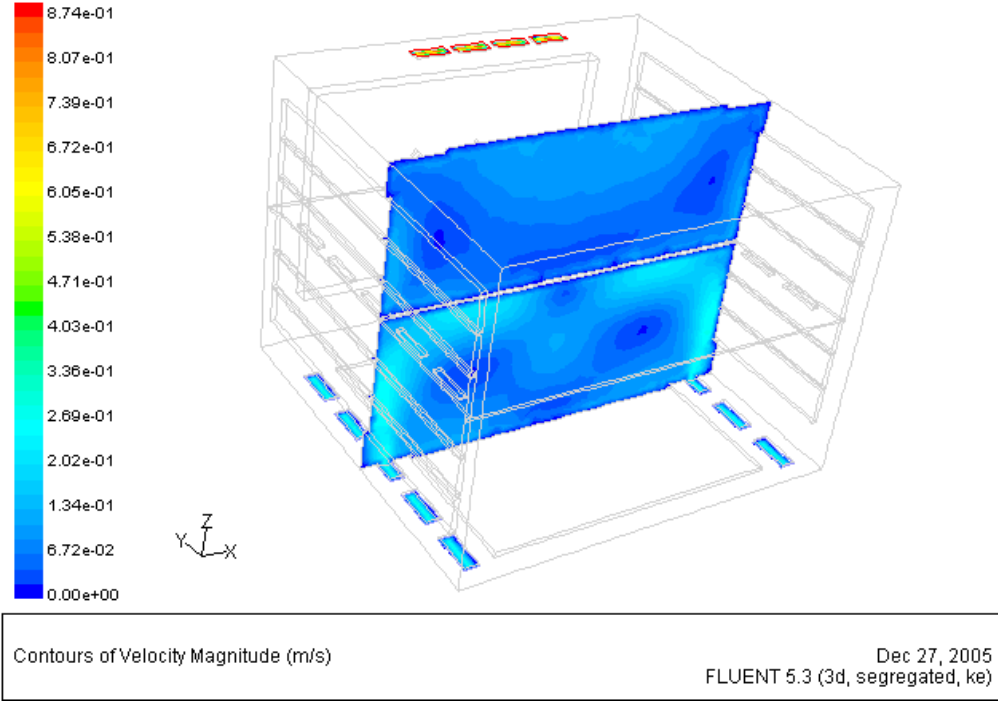
Tepsili durumu içinde deneyde tanımlanan 8. üst orta ve 14. alt orta noktaları kontrol edilecektir.



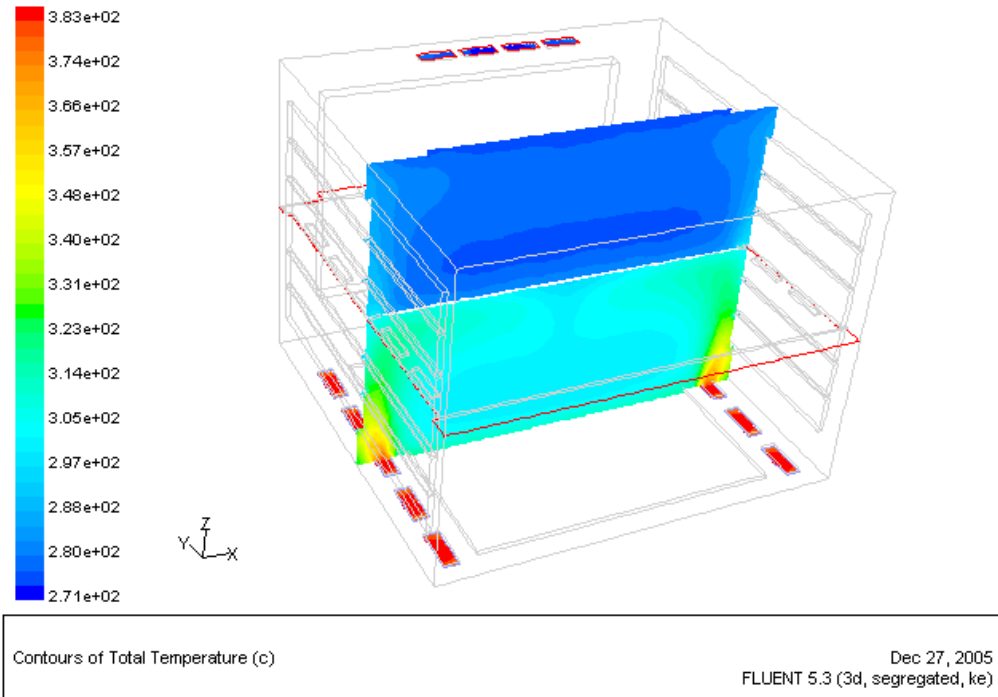
Şekil 6.35 Tepsili şasi modeli fluent program sıcaklık çözümü

Tepsili şasi çözümünü gösteren şekil 5.29 incelendiğinde 8. üst orta bölümde sıcaklığın 270 C civarında olduğu 14. alt orta bölümde ise sıcaklığın 300 C'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu sonuca elde edilen sonucun deney sonuçları ile uyduğu anlaşılmaktadır. Tepsili fluent çözümünde, tepsi geometrisi deneyde kullanılan tepsi ile tam olarak aynı olmadığından deney sonuçları ile fluent çözümü arasında az da olsa bir fark oluşmuştur. Fluent çözümünde tepsi'nin alt kısmında daha yüksek sıcaklıklar, üst kısmında ise daha düşük sıcaklıklar oluşmuştur. Bunun nedeni gerçekte kullanılan tepsinin aşağı doğru olan derinliği'dir. Bu formlardan gelen sıcaklık akımını üst kısma daha iyi aktarmaktadır. Gambit programında oluşturulan tepsi geometrisinde böyle bir form oluşturulmadığından çözüm ile deney sonuçları arasında küçük bir fark oluşmuştur. Bu durum fırın içinde tepsi geometrisinin sıcaklık dağılımını etkilemesi açısından önemli bir sonuçtur.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

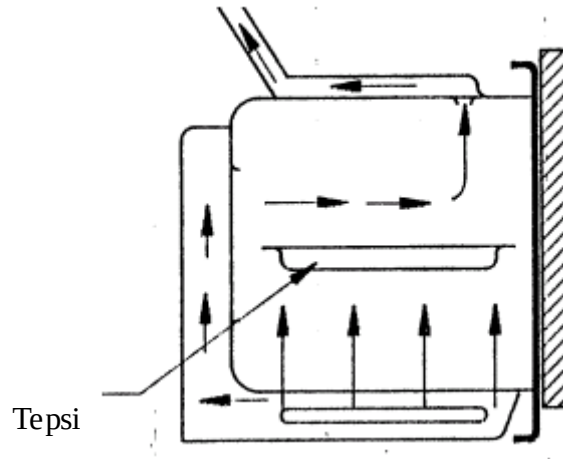


Şekil 7.1 Tepsili şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü



Şekil 7.2 Tepsili şasi modeli toplam sıcaklık bileşeni çözümü

Şekil 7.1’de görüldüğü gibi bileşke hız çözümünde tepsinin altında iki tarafta ve tepsinin hemen üst tarafında düşük bileşke hıza sahip bölgelerin olduğu gözlenmiştir. Bu durum aynı zamanda Şekil 7.2’de görüleceği üzere göreceli olarak düşük sıcaklıklara sahip bölgelerin oluşmasına neden olmuştur. Pişirme kalitesi açısından üst bölgede alt bölgeye oranla düşük sıcaklıklara sahip bölgelerin oluşması önemlidir. Börek gibi yiyeceklerin pişirme kalitesi bu tür fırınlarda oldukça yüksektir. Ancak bu durumu iyi bir ısı dağılımının oluşmasını engellediği gibi pişirme hızını da düşürmektedir. Günümüzde tüketici beklentilerine cevap vermenin en önemli yolu, ürünün kullanıma macına uygun çözümler üretmektir. Ülkemizde fırınların kullanış şekli ile yurtdışındaki kullanıma yönelik kültüre bağlı olarak oldukça değişmektedir. Bunun anlamı, deniz ürünlerinin yoğunlukla tüketildiği bölgeler ile hamur ürünlerinin tüketildiği bölgelerde fırın kalitesinden anlaşılan farklıdır. Mutfak pişiricilerin tanıtım bölümünde ayrıntıları ile belirtildiği gibi pişirici cihazlar endüstrisi bir anlamda kültür farklılığını da açık şekilde ortaya koyan ürün tasarımlarında fırın içi sıcaklık dağılımını yoğunluklu olarak pişirilen yiyeceklere göre düzenlemeye çalışmaktadır. Yeni tasarlanan ürünlerde pişirme hızını artırmak ve daha iyi bir ısı dağılımı oluşturmak amacıyla Şekil 7.3’te görüldüğü gibi modellenen şasi tasarımından farklı bir şasi geliştirilmiştir.



Şekil 7.3 Yeni tasarımlı fırın iç gövdesi

Bu şasi de görüleceği üzere tepsi ısı akışını engellemektedir. Aşağı kısımda ısıyan hava akımı ayrı bir bölümü kullanarak tepsinin üst bölümüne buradan da baca kısmına yönelmektedir. Böylece tepsinin altında ve üstünde sıcaklık farkı

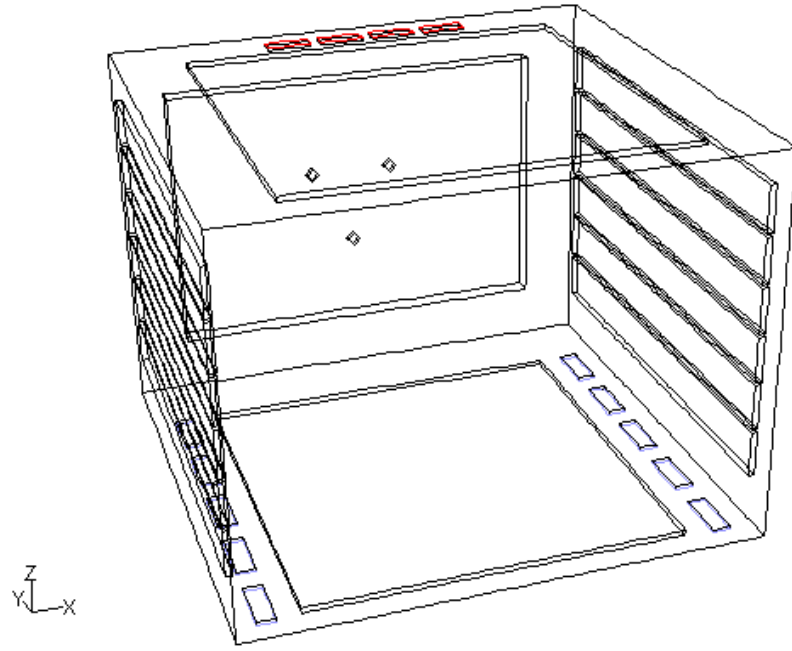
modellenen şasideki kadar oluşmamakta, yiyeceğin altı ve üstü eşit derecede pişirilmiştir. Ancak bu pişirme tarzı unlu yiyeceklerin pişirilmesiinde çok uygun değildir. Bunun nedeni böreğin üstünde kızartılması ve kuru olması anlamına gelir. Ancak özellikle balık tüketimi yoğun olan ülkelerde bu pişirme şekli oldukça avantajlıdır.

Sonuç olarak pişirme sürecinin gerçekleştiği fırın iç gövdesinin geometrisi ile yiyeceklerin pişirme kalitesi arasında yakın bir ilişki söz konusudur. Bu ilişki fırın üreticilerini kullanıcı beklentilerini karşılamak açısından, yemek kültürünü daha iyi anlamaya ve müşteriye özel çözümler üretmeye zorlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Krkköprü, Kadir**, 1997. Computational Fluid Mechanics
İTÜ Maki na Fakültesi, İstanbul.
- [2] **Versteeg, H K ve Malasekera W**, 1995. An introduction to computational
fluid mechanics The finite volume method, Loughborough.
- [3] **Huent Inc.**, 1996. Gambit 3.1
- [4] **Huent Inc.**, 1996. Huent 5.3.18
- [5] **H mas, Ümr an ve Kalpakçı, Seçil.**, 1997. Pişir me Teknolojileri
Ar çelik Pişirici Ghazlar İşlet nesi, Bol u
- [6] **Unigraphics Inc.**, 1998. Unigraphics V16
- [7] **Solid Works Corporation**, 1995-2001 SolidWorks 2001

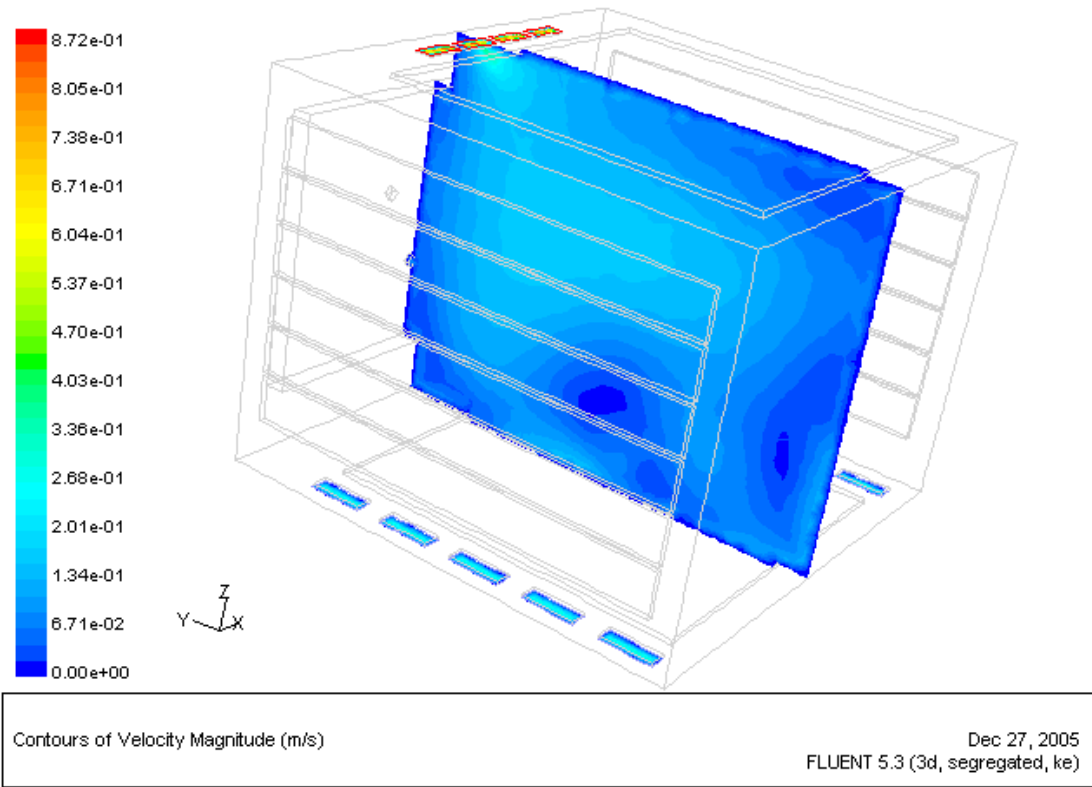
EK A FLUENT PROGRAM NDAN ELDE EDİ LEN SONUÇLAR



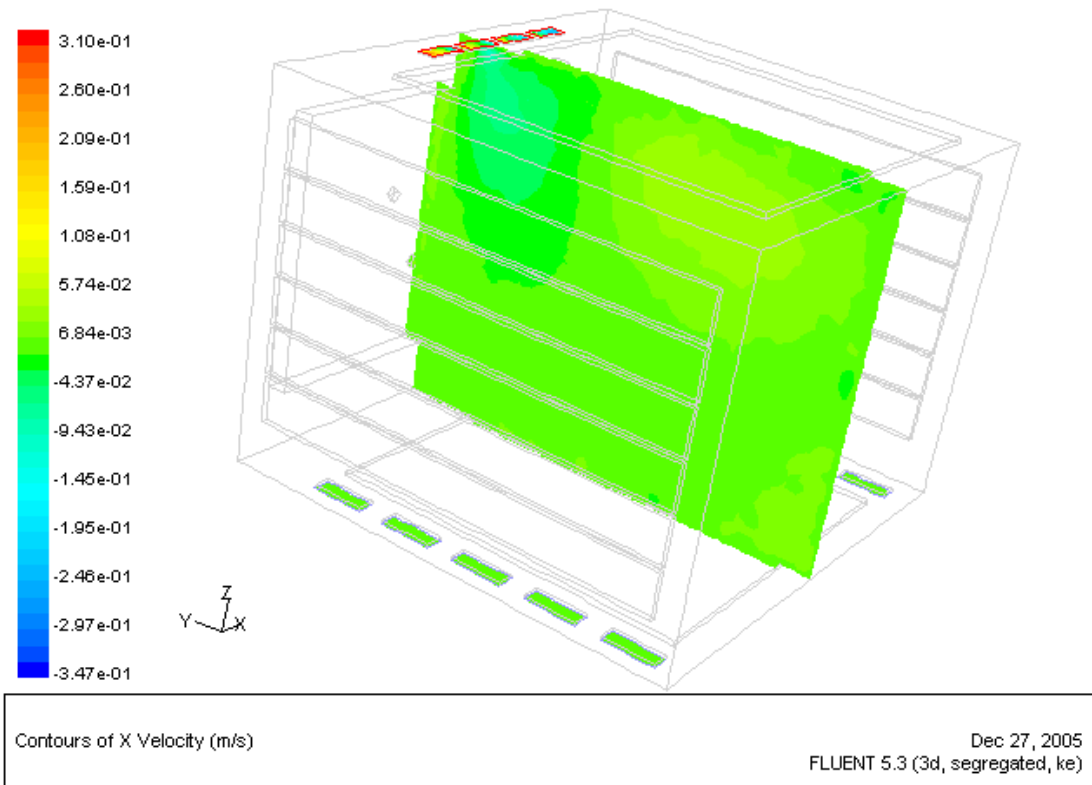
Grid

Dec 27, 2005
FLUENT 5.3 (3d, segregated, ke)

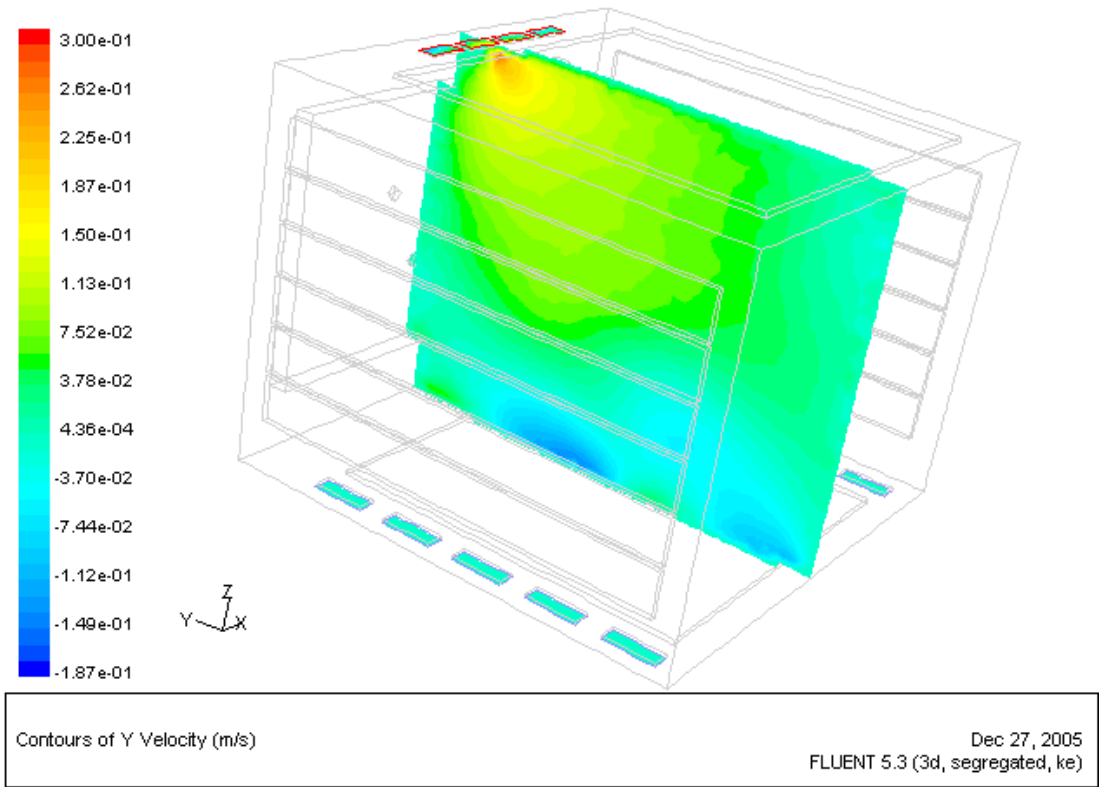
Şekil A1 Tepsisiz şasi modeli fluent program model geometrisi



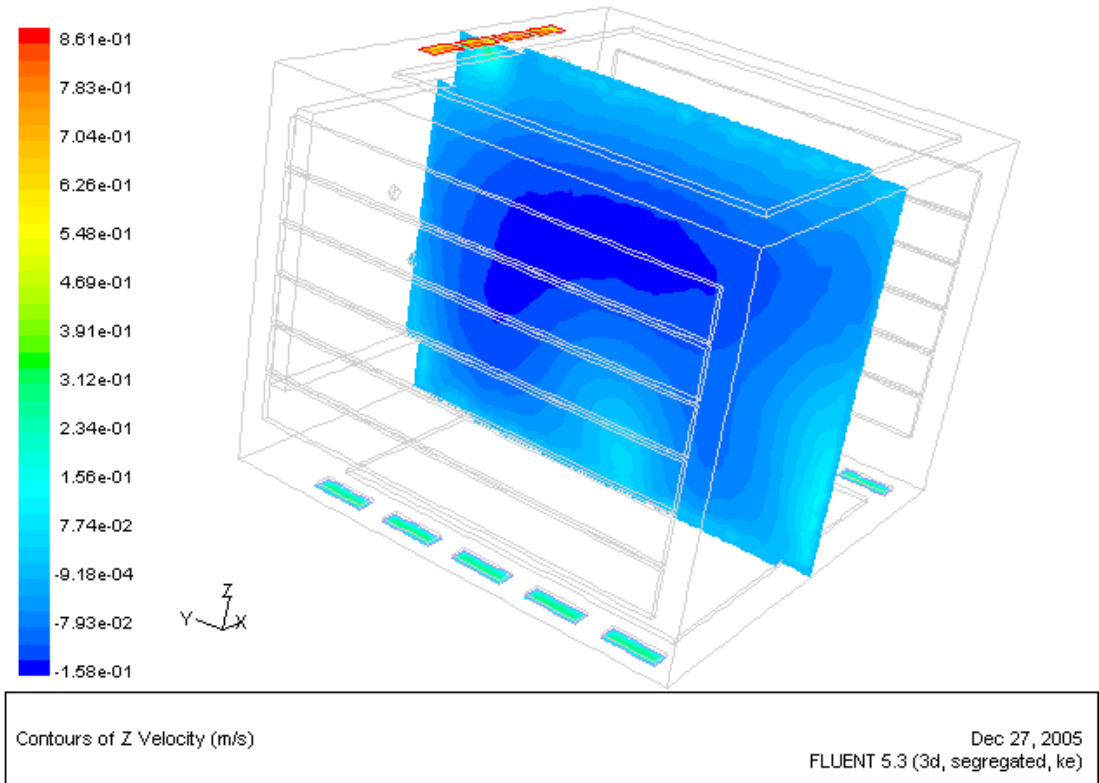
Şekil A2 Tepsisiz şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü



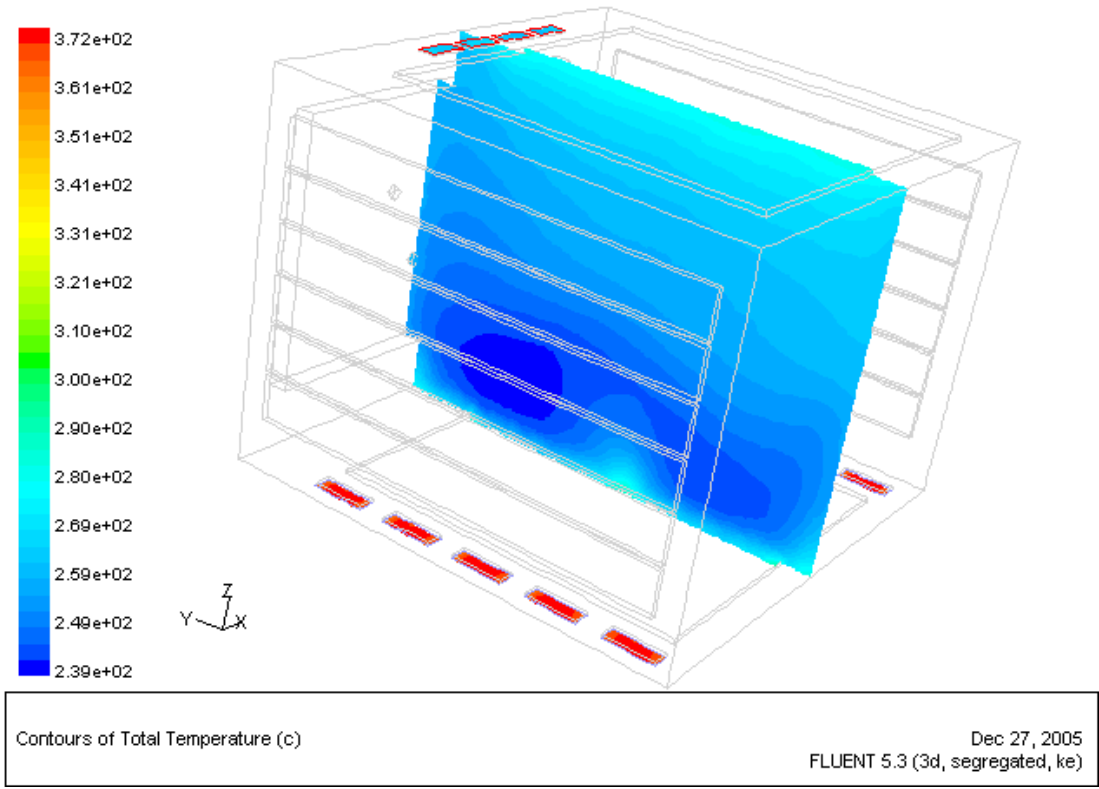
Şekil A3 Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü



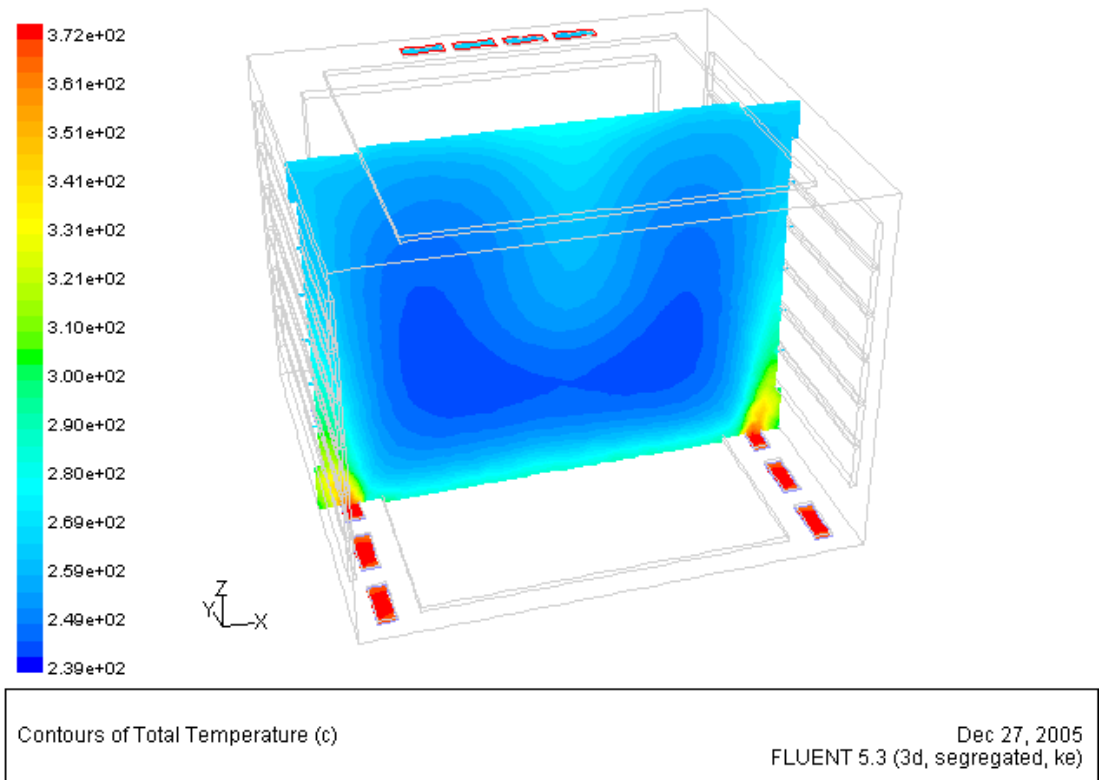
Şekil A4 Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın y bileşeni çözümü



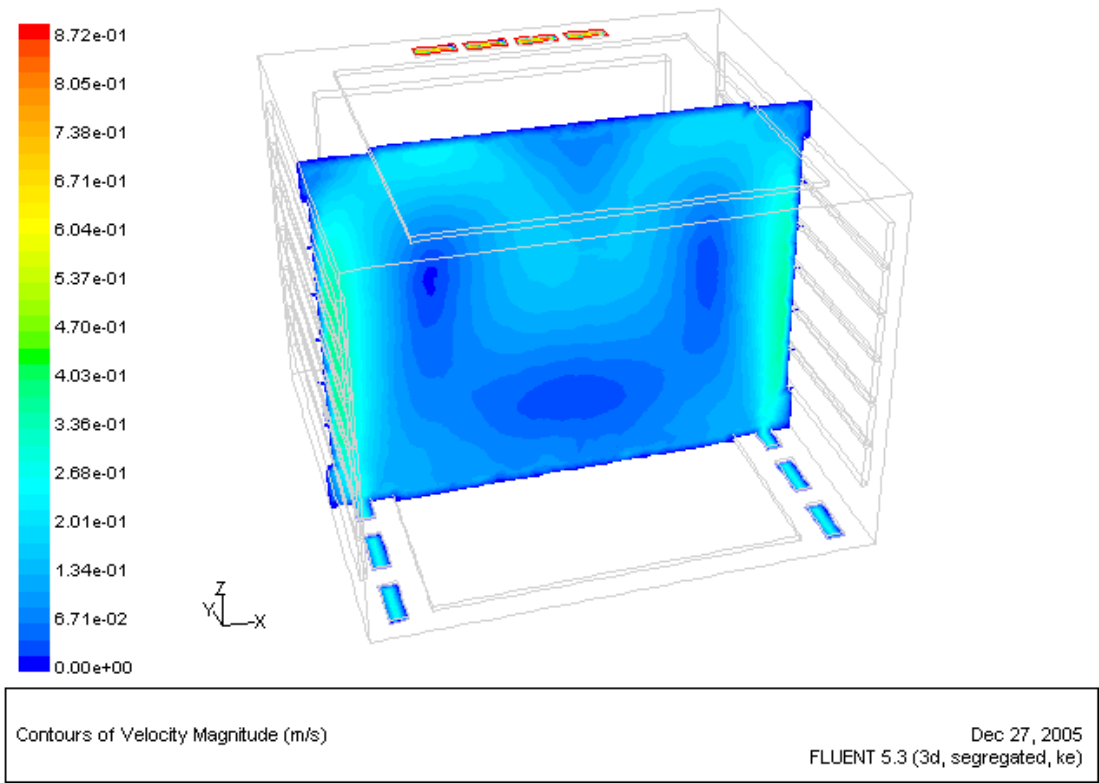
Şekil A5 Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın z bileşeni çözümü



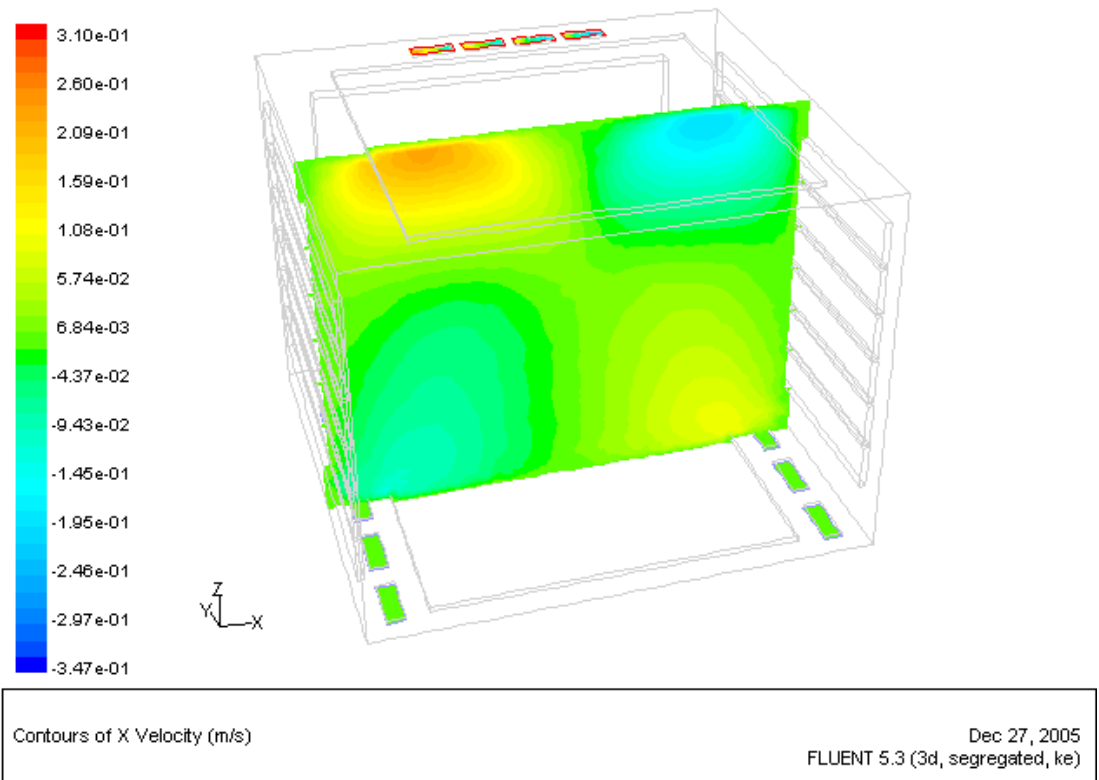
Şekil A6 Tepsisiz şasi modeli fluent program toplam sıcaklık çözümü



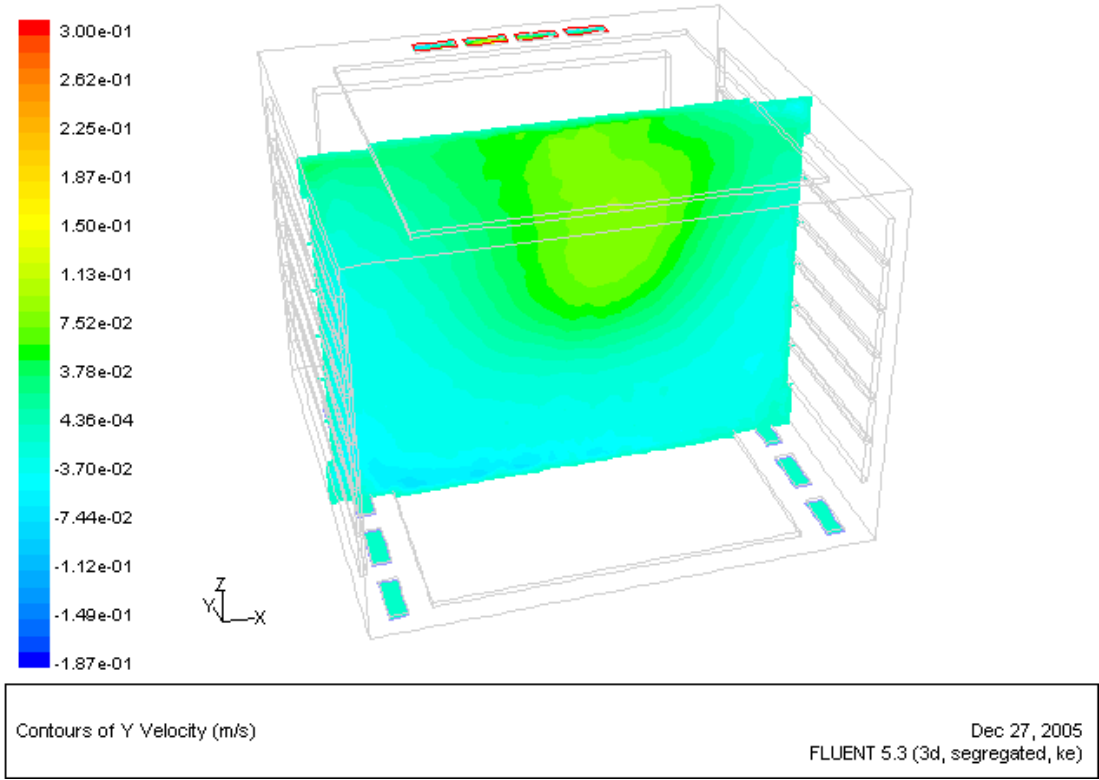
Şekil A7 Tepsisiz şasi modeli fluent program toplam sıcaklık çözümü



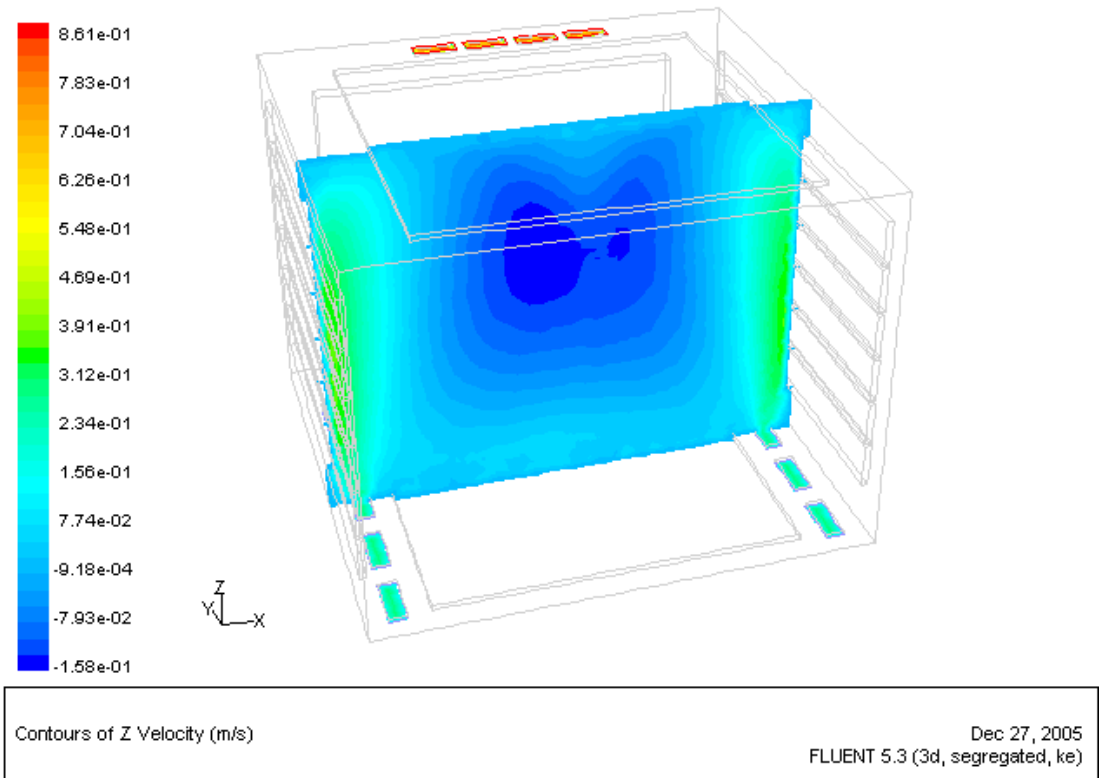
Şekil A8 Tepsisiz şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü



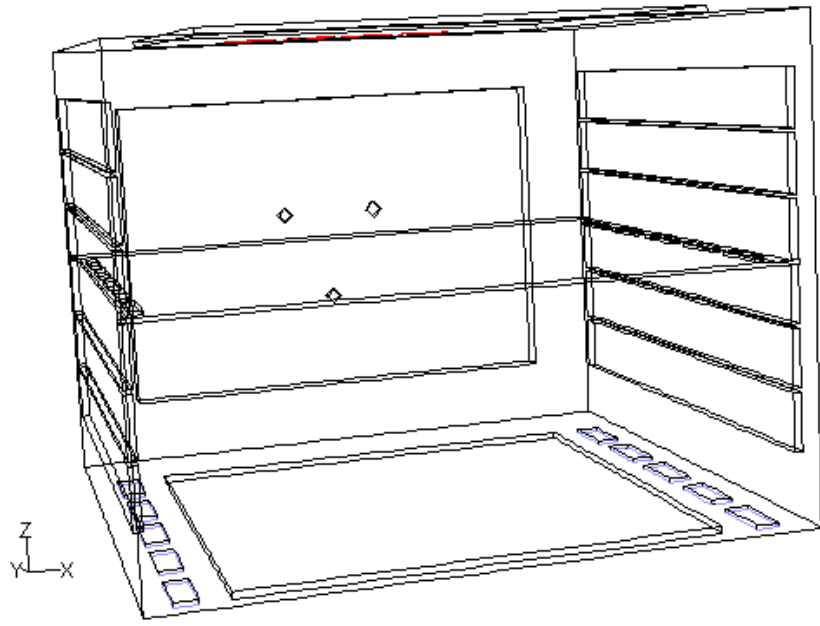
Şekil A9 Tepsisiz şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü



Şekil A 10 Tepsisiz şasi modeli fluent program hız n y bileşeni



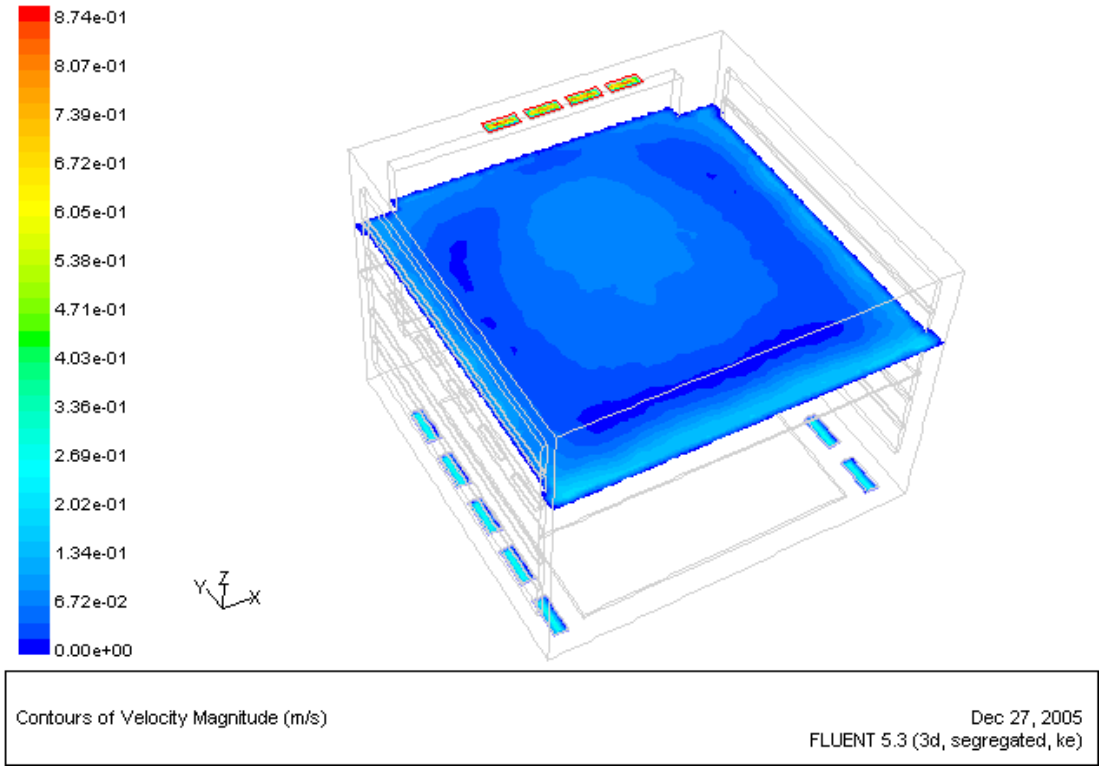
Şekil A 11 Tepsisiz şasi modeli fluent program hız n z bileşeni



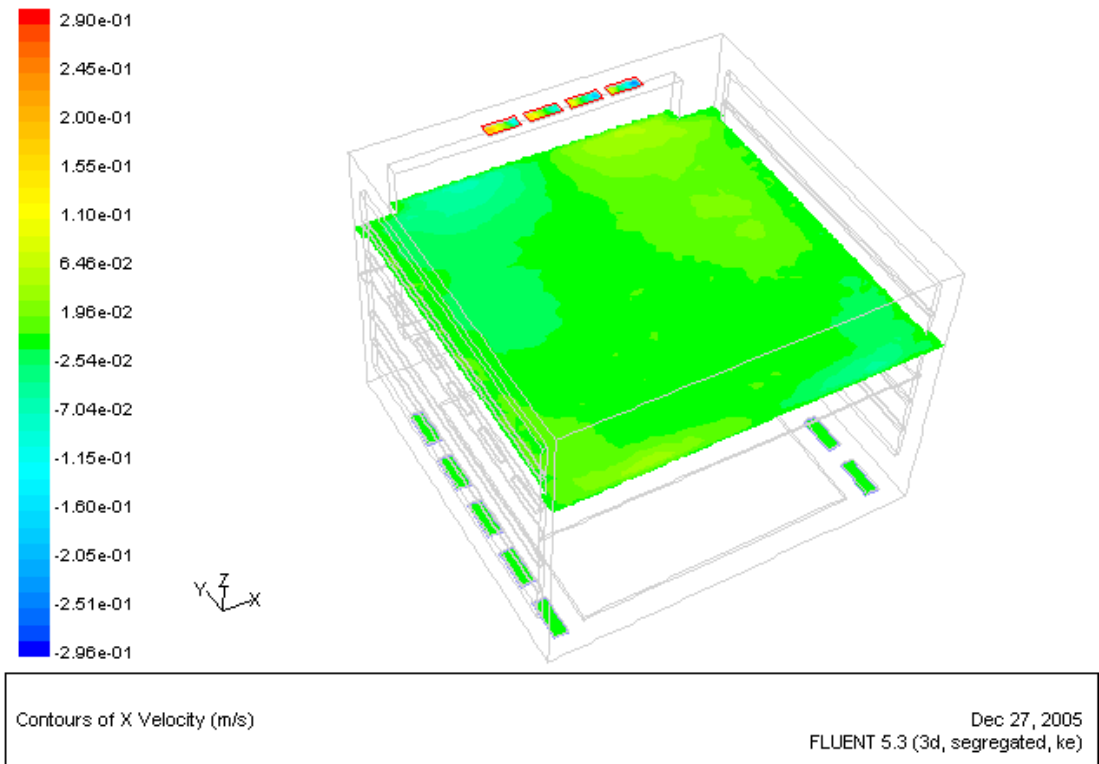
Grid

Dec 27, 2005
FLUENT 5.3 (3d, segregated, ke)

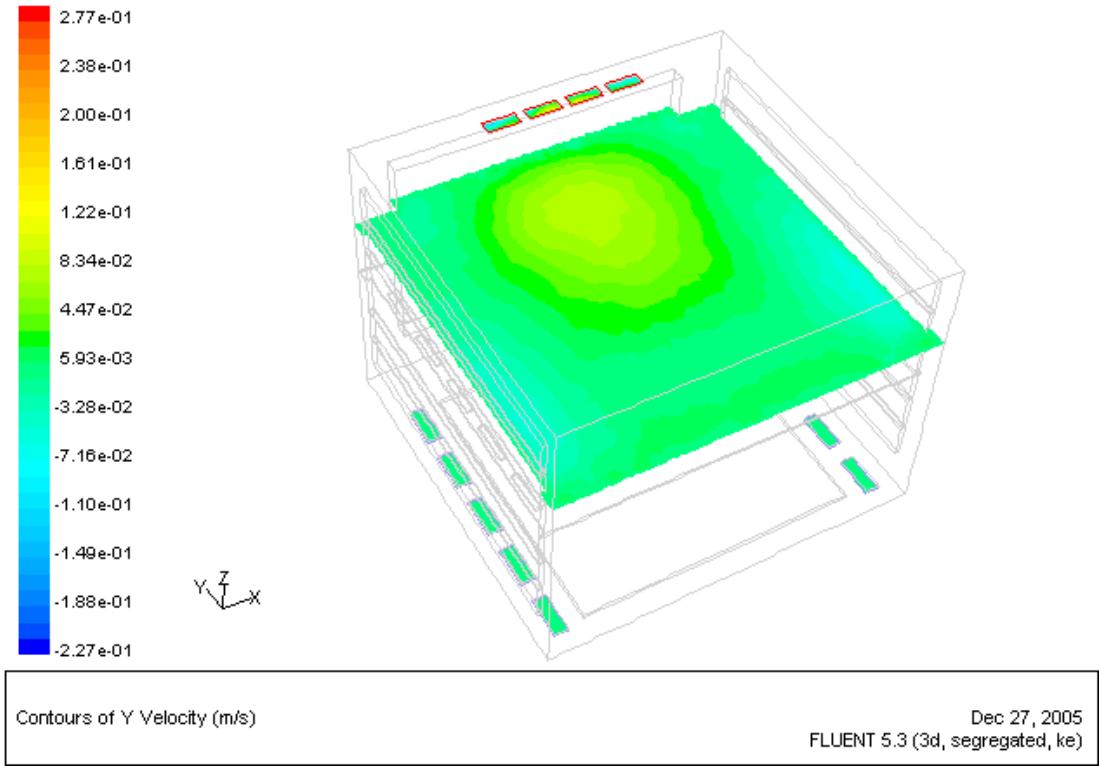
Şekil A12 Tepsili şasi modeli fluent program model geometrisi



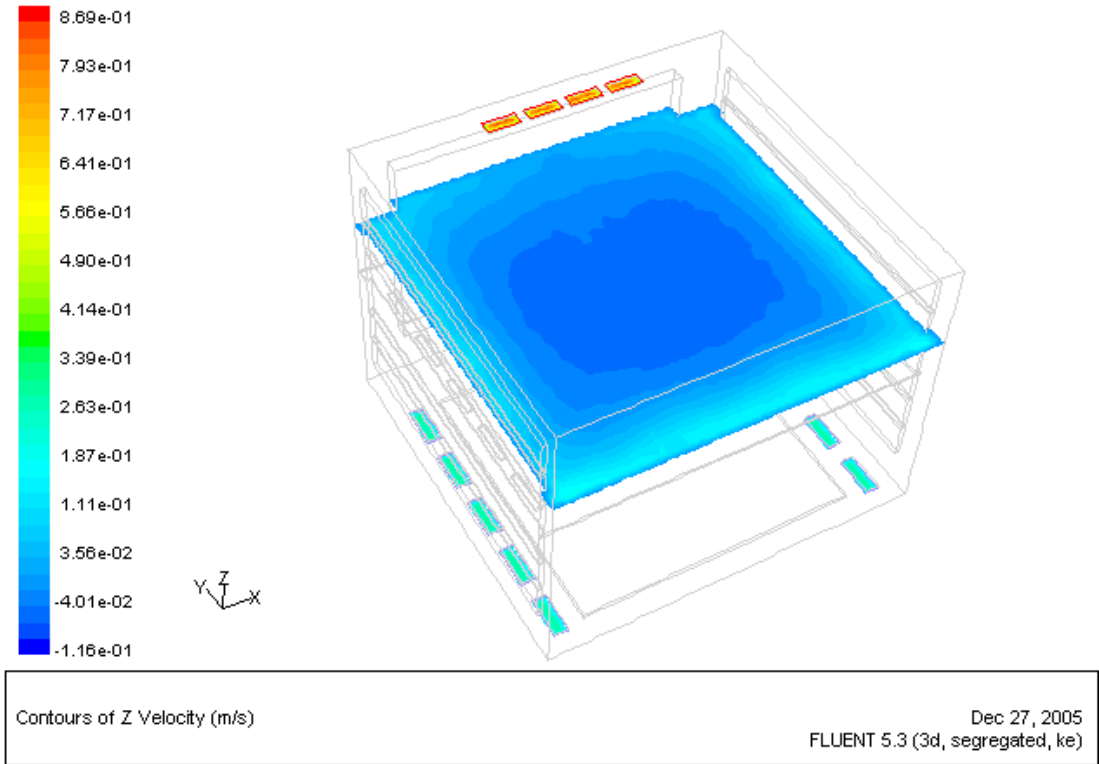
Şekil A 13 Tepsilı şasi modeli fluent program ıst yüzey bileşke hız



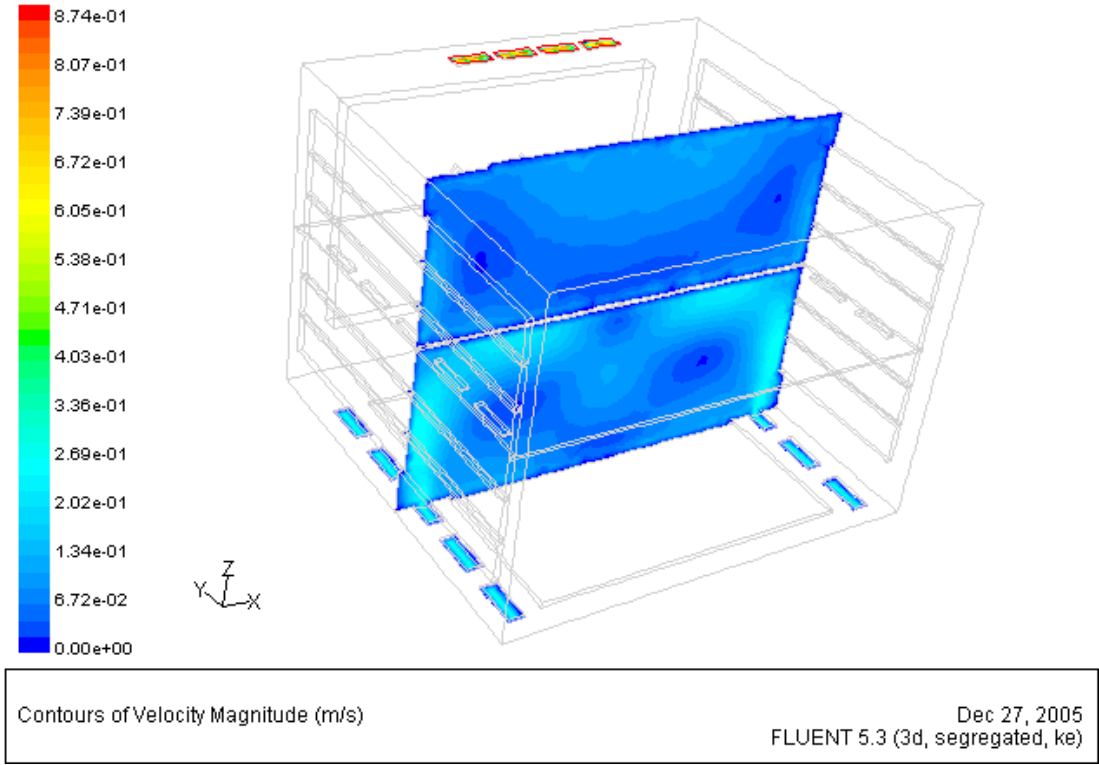
Şekil A 14 Tepsilı şasi modeli fluent program ıst yüzey hız ın x bileşeni



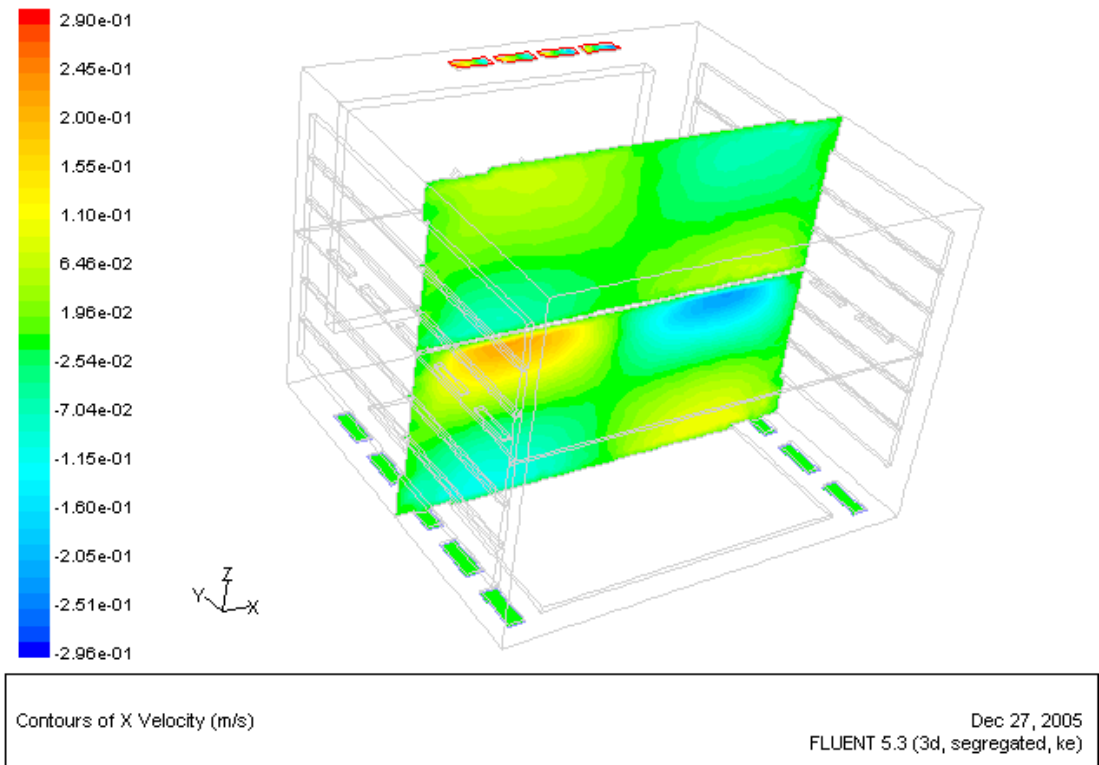
Şekil A15 Tepsili şasi modeli fluent program üst yüzey hız n y bileşeni



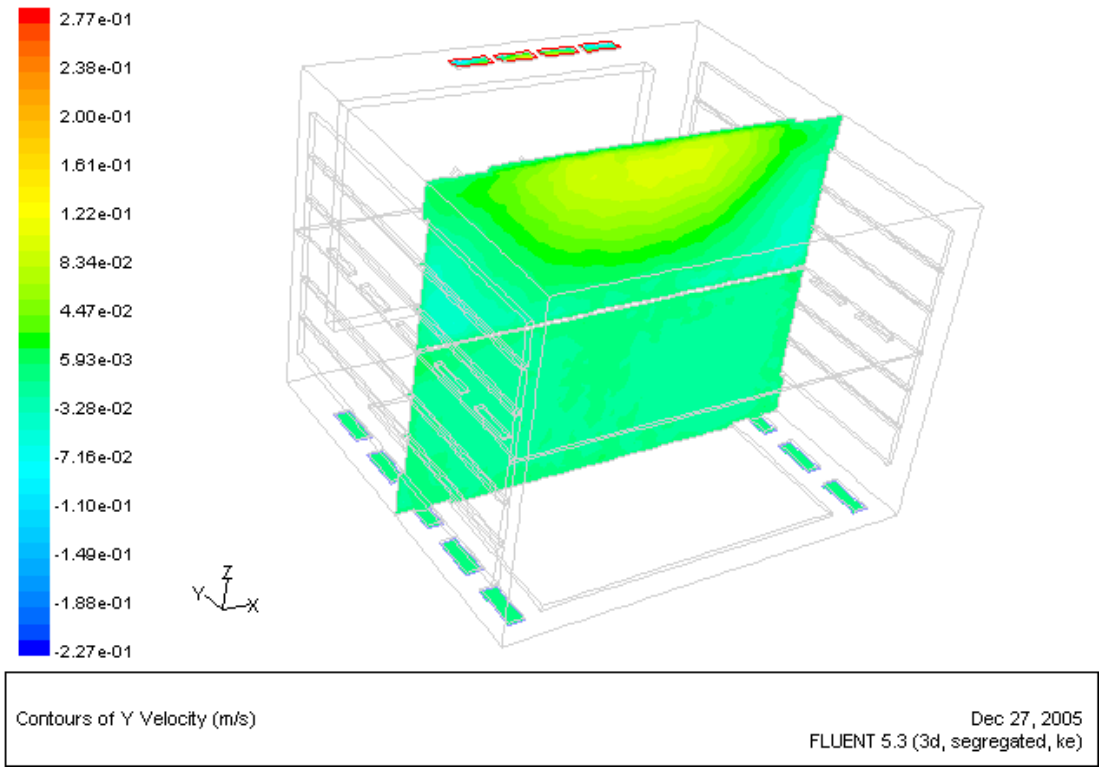
Şekil A16 Tepsili şasi modeli fluent program üst yüzey hız n z bileşeni



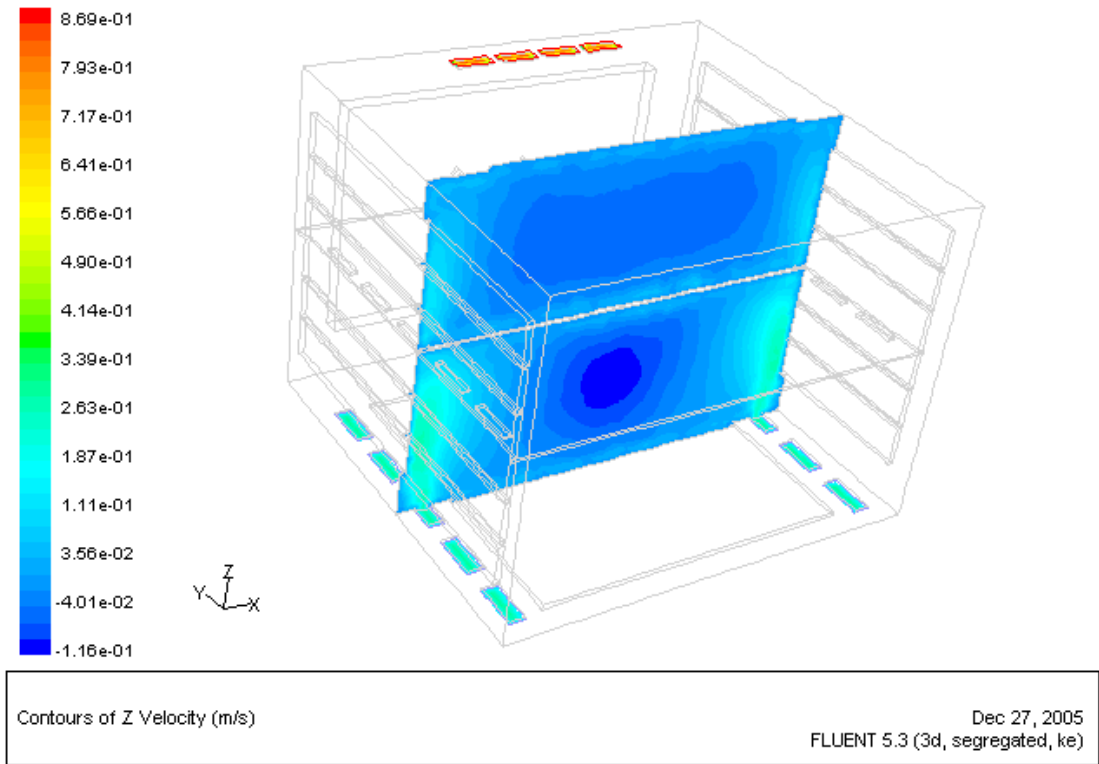
Şekil A17 Tepsili şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü



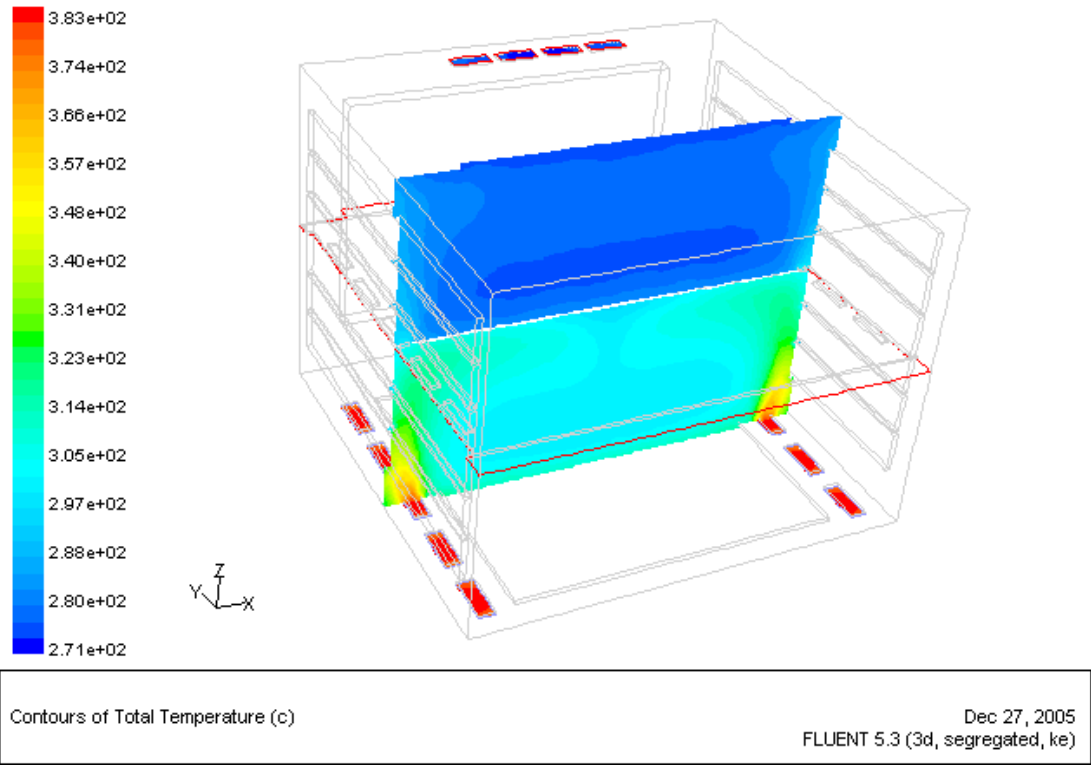
Şekil A18 Tepsili şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü



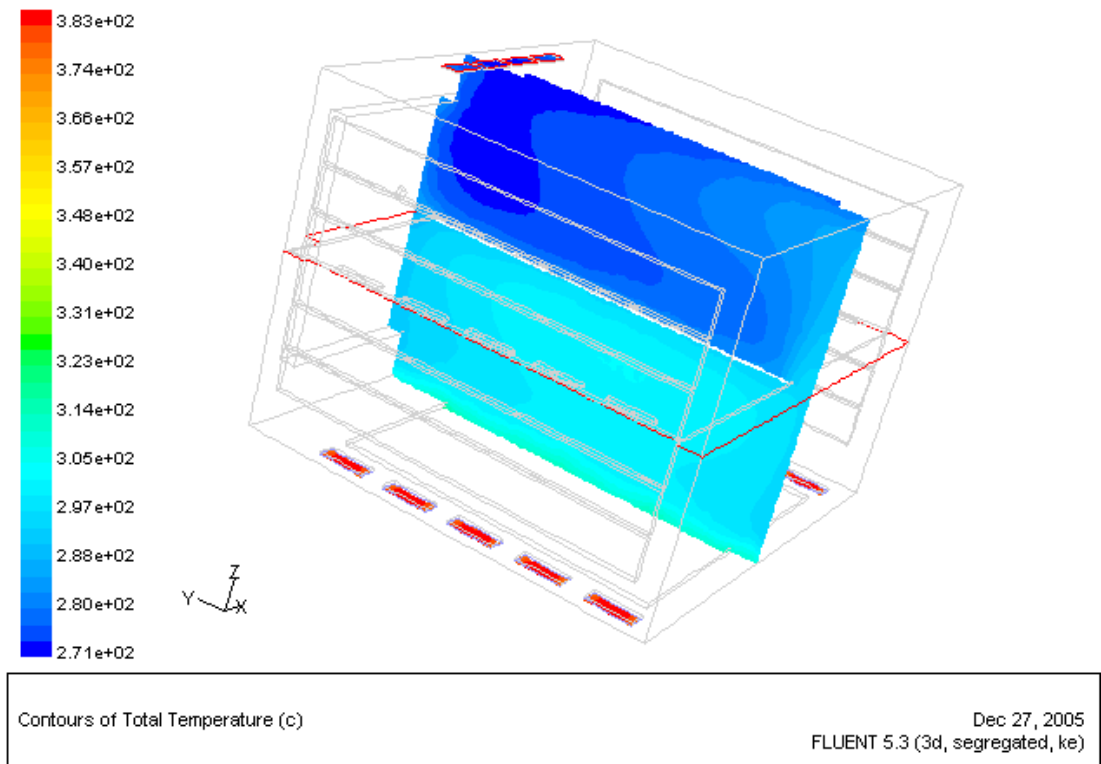
Şekil A19 Tepsili şasi modeli fluent program hızın y bileşeni çözümü



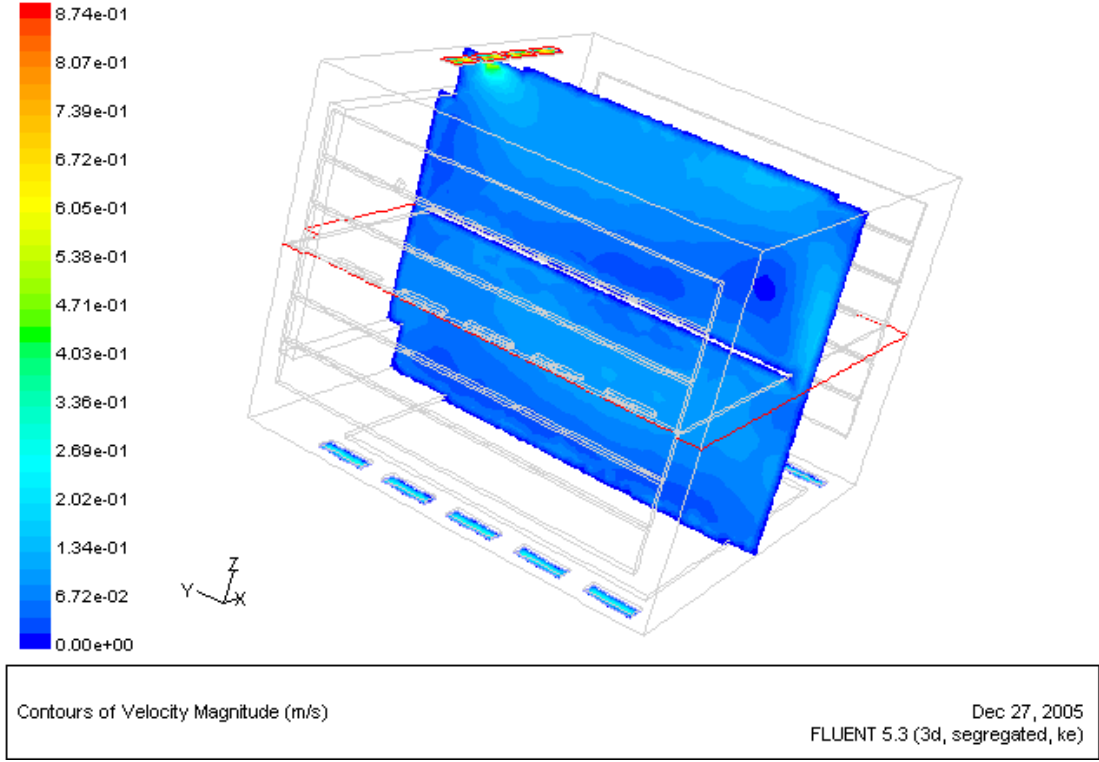
Şekil A20 Tepsili şasi modeli fluent program hızın z bileşeni çözümü



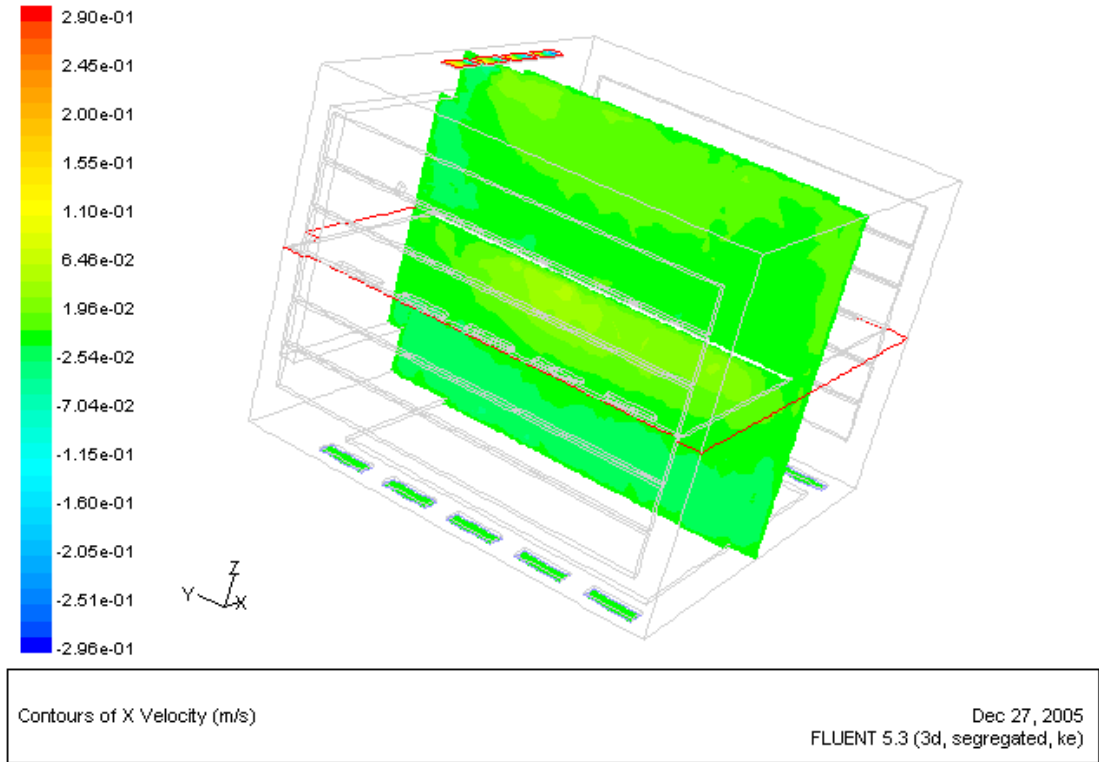
Şekil A21 Tepsili şasi modeli fluent programı toplam sıcaklık çözümü



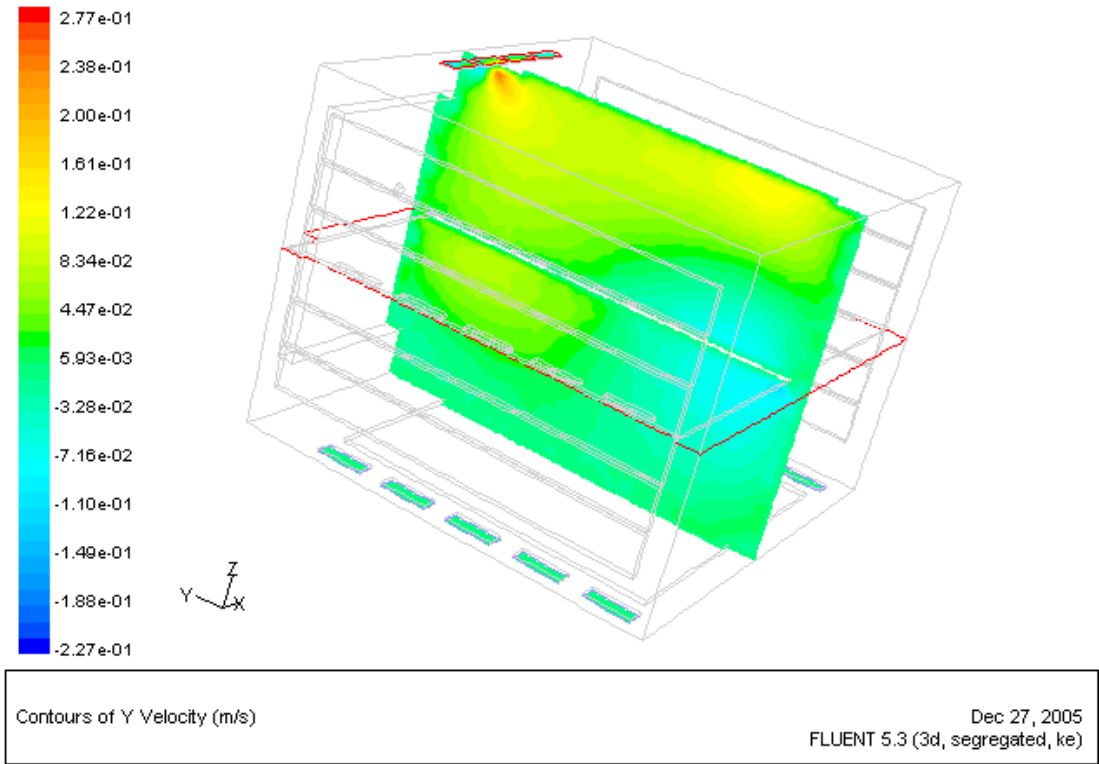
Şekil A22 Tepsili şasi modeli fluent programı toplam sıcaklık çözümü



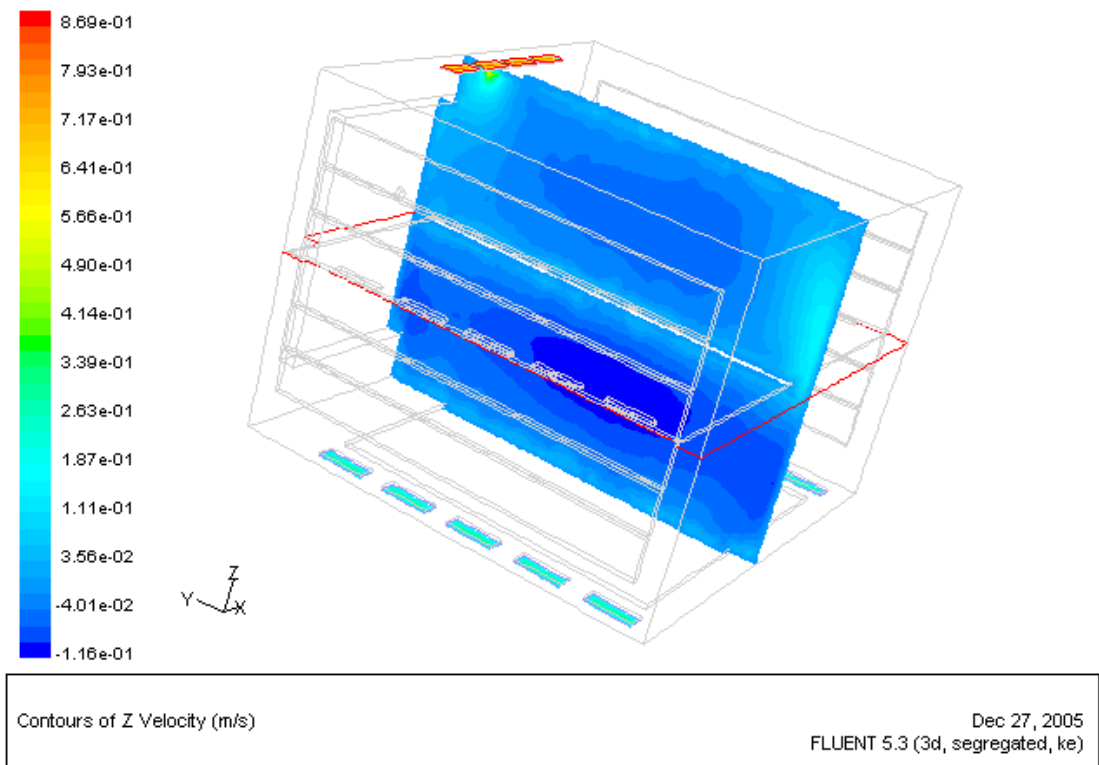
Şekil A23 Tepsilı şasi modeli fluent program bileşke hız çözümü



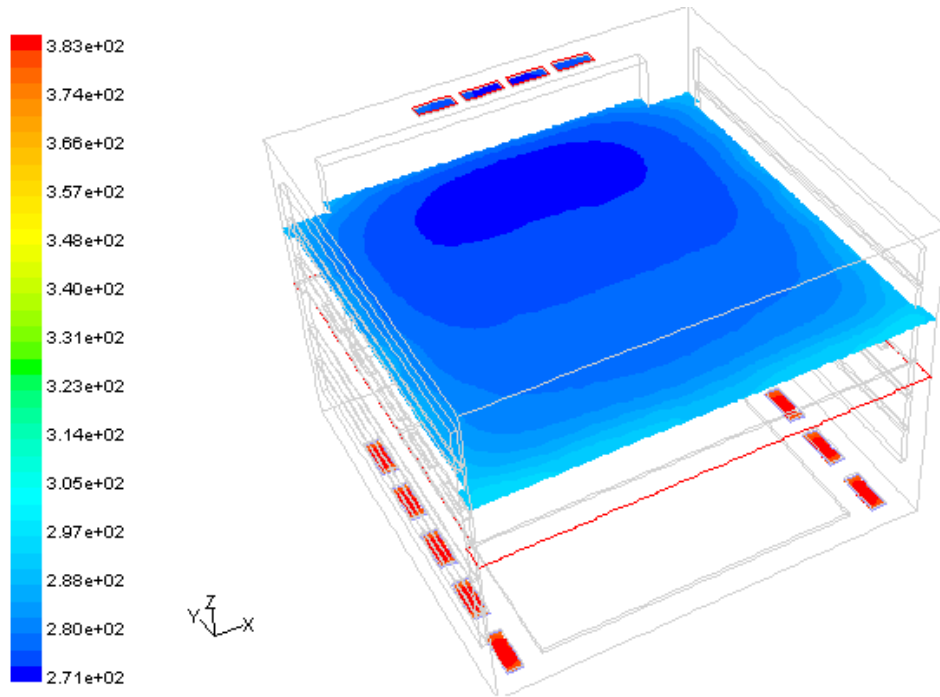
Şekil A24 Tepsilı şasi modeli fluent program hızın x bileşeni çözümü



Şekil A25 Tepsili şasi modeli fluent program hızın y bileşeni çözümü



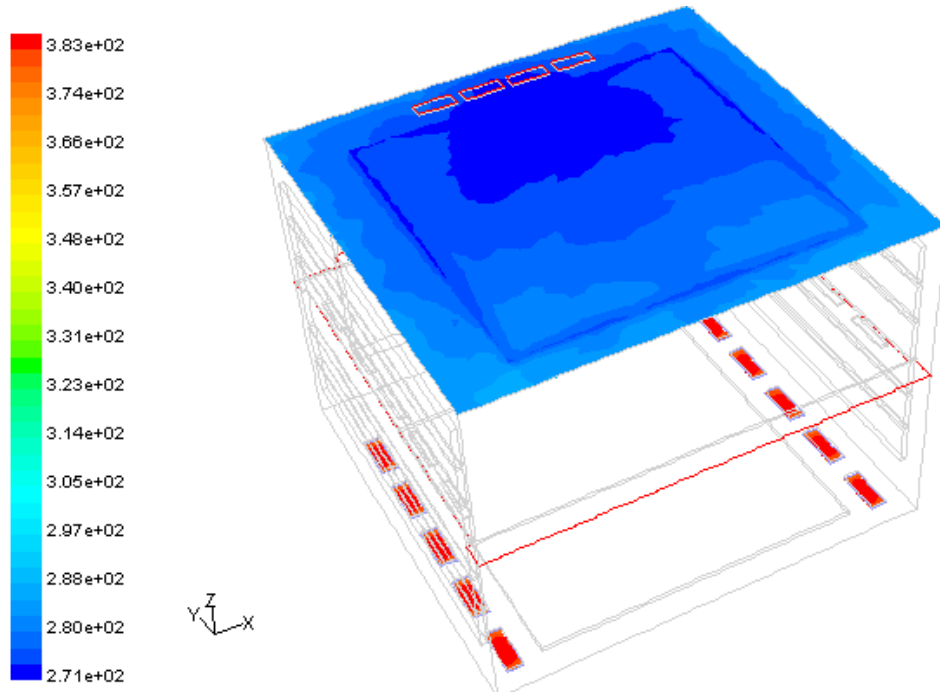
Şekil A26 Tepsili şasi modeli fluent program hızın z bileşeni çözümü



Contours of Total Temperature (c)

Dec 27, 2005
FLUENT 5.3 (3d, segregated, ke)

Şekil A27 Tepsili şasi modeli fluent program toplam sıcaklık çözümü



Contours of Total Temperature (c)

Dec 27, 2005
FLUENT 5.3 (3d, segregated, ke)

Şekil A28 Tepsili şasi modeli fluent program toplam sıcaklık çözümü

ÖZGEÇMİŞ

Nihat Bıçer 1975 yılında Bolu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Atatürk İlköğretim Okulu ve Bolu Atatürk Lisesinde tamamladı. 1992 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. 1996 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği anabilim dalı enerji programında yüksek lisans eğitimi başladı. Halen Arçelik pişirici cihazlar işletmesi üretim mühendisliği yöneticiliği'nde takım mühendisi olarak çalışmaktadır.