



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK SICAKLIKTAKİ AKIŞA SAHİP EKONOMİZERSİZ
ENDÜSTRİYEL BACALARDA HESAPLAMALI AKIŞKANLAR
DİNAMİĞİ ANALİZİ**

AYKUT GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

Haziran-2013

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK SICAKLIKTAKİ AKIŞA SAHİP EKONOMİZERSİZ
ENDÜSTRİYEL BACALARDA HESAPLAMALI AKIŞKANLAR
DİNAMİĞİ ANALİZİ**

Aykut GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. N. Adil ÖZTÜRK danışmanlığında hazırlanan bu tez 17 / 06 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

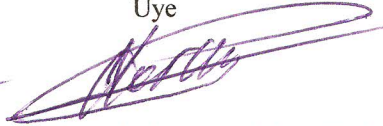
Yrd. Doç. Dr. N. Adil ÖZTÜRK

Başkan



Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ

Üye



Doç. Dr. Azize AKÇAYOĞLU

Üye



Bu tez Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1. Materyal	6
3.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)	7
3.3. Korunum Denklemleri	7
3.4. Baca İçerisindeki Akışın Matematiksel Formülleri	8
3.4.1. Dairesel Kesitli Borularda Hız Hesabı (V).....	8
3.4.2. Dairesel Kesitli Borularda Reynolds Sayısı	8
3.5. Türbülans Parametrelerinin Belirlenmesi	8
3.5.1. Türbülans Yoğunluğu	9
3.5.2. Türbülans Uzunluk Skalası ve Hidrolik Çap	10
3.5.3. Türbülans Kinetik Enerjisinin Türbülans Yoğunluğu İle Hesaplanması ..	10
3.5.4. Türbülans Yayılımının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması	10
3.5.5. Spesifik Dağılım Oranının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması	10
3.6. Sınır Şartları.....	11
3.6.1. Tav Fırın Bacasının Geometrik Modelinin Oluşturulması.....	14
3.6.2. Tav Fırın Bacasının Model Ağının Oluşturulması.....	19
3.6.3. Tav Fırın Bacasının Sayısal Çözümü.....	26
3.6.3.1. Türbülans Modelleri Çözüm Araçları	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
TEŞEKKÜR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	58

ÖZET

YÜKSEK SICAKLIKTAKİ AKIŞA SAHİP EKONOMİZERSİZ ENDÜSTRİYEL BACALARDA HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ

Bu çalışmada, demir ve çelik sektöründe kullanılan 85 m yükseklik ve 3,62 m giriş çapına sahip ekonomizersiz bir tav fırın bacasının iç akışı Standart k-epsilon, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon ve Standart k-omega modelleri ile Ansys 14.0 paket programı ile çözülmüştür.

101 MW kapasiteli endüstriyel tav fırın bacasının iç akışının her bölgesindeki sıcaklık ve hız alanlarının etkileşimi $Re=178.810$ için ortaya konulmuştur. İncelenen türbülans modelleri arasında standart k-omega türbülans modelinin, baca içerisindeki akım ve sıcaklık alanlarını belirlemede daha başarılı olduğu, realizable k-epsilon türbülans modelinin ise baca içi akışı modellemede oldukça yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak ekonomizer kullanılmayan tav fırınlarında ısı geri kazanımı uygulamalarında ve geliştirilmesinde tav fırını içerisindeki akış yapısının belirlenmesi ve bu akış yapısına uygun sıcaklık dağılımlarının elde edilmesi ve yorumlanması ile katkıda bulunulmuştur.

2013, 58 sayfa

Anahtar Sözcükler: Tav Fırını Bacası, Sayısal Analiz, Fluent, HAD

ABSTRACT

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF INDUSTRIAL CHIMNEYS (WITHOUT ECONOMIZERS) HAVING HIGH TEMPERATURE FLOW

In this study, the internal flow of a annealing furnace chimney without economizer used in the iron and steel industry, having a 85 m height and a 3,62 m inlet diameter, using Standart k-epsilon, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon and Standart k-omega models has been solved by Ansys 14.0 software for $Re=178.810$.

The capacity of the hot rolling mill furnace is 101 MW. Among the turbulence models, the Standard k-omega model is found more successful in predicting flow and temperature fields inside the chimney and the realizable k-epsilon model is found quite inadequate among all turbulence models tested.

The results of the present study are expected to be used in annealing furnaces without economizer, contributed to the heat recovery applications and development determination of the flow pattern in the annealing furnace and obtaining temperature distribution within the flow according to the structure and with interpretation.

2013, 58 pages

Keywords: Annealing Furnaces Chimney, Numerical Analysis, Fluent, CFD

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
Q	: Kütleli Debi
A	: Alan
V	: Hız
Re	: Reynolds Sayısı
Pr	: Prandtl Sayısı
ρ	: Yoğunluk
u_{ort}	: Ortalama Hız
μ	: Dinamik Viskozite
$L=D_H$	: Hidrolik Çap
I	: Türbülans Yoğunluğu
ℓ	: Türbülans Uzunluk Skalası
k	: Türbülans Kinetik Enerjisi
ε	: Türbülans Yayılımı
ω	: Spesifik Dağılıma Oranı
C_μ	: Türbülans Model Sabiti
u, v ve w	: x, y ve z yönlerinde hız alanı bileşenleri
x, y ve z	: Kartezyen koordinatları sistemi
P	: Basınç
τ_{ij}	: Gerilme Tensörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Demir ve Çelik Fabrikası (www.erdemir.com.tr ‘dan alınmıştır., 2013)	1
Şekil 1.2. Sıcak Haddehane Tesisi(www.erdemir.com.tr ‘dan alınmıştır., 2013).....	2
Şekil 1.3. Sıcak haddehane tesisi üretim şeması (www.isdemir.com.tr’den alınmıştır., 2013)	2
Şekil 1.4. Tav fırın bacası görüntüsü	3
Şekil 3.1. Kok gazı analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri (Kaya, 2011)	6
Şekil 3.2. Sınır şartlarının geometride gösterimi	12
Şekil 3.3. Tav fırın bacası geometrisi.....	15
Şekil 3.4. Tav fırın bacası ölçüleri	16
Şekil 3.5. Detay A	16
Şekil 3.6. Surfaces from edges penceresi.....	17
Şekil 3.7. Fill penceresi.....	17
Şekil 3.8. Bacanın duvar ve akış hacminin görünümü.....	18
Şekil 3.9. Bacanın iç akış hacminin detayları	18
Şekil 3.10. Tav fırın bacasının akış hacmi	19
Şekil 3.11. Ağ donanımının ekran görünümü	20
Şekil 3.12. Çözüm yöntemi ve Relevance değeri seçimi	20
Şekil 3.13. Sizing bölümü	21
Şekil 3.14. Face Sizing bölümü	22
Şekil 3.15. Mesh Metod Bölümü	22
Şekil 3.16. Mesh Metod Bölümü Seçenekleri.....	23
Şekil 3.17. Create Named Selection Bölümü.....	24
Şekil 3.18. Statistics Bölümü	24
Şekil 3.19. Orthogonal Quality değer tablosu	25
Şekil 3.20. Elde edilen ağ yapısı	25
Şekil 3.21. Fluent ekran görünümü	26
Şekil 3.22. Ağ yapısının programa aktarımı	27
Şekil 3.23. Giriş Sınır Şartları	27
Şekil 3.24. Akış türü seçim ekranı	28
Şekil 3.25. Karışımı oluşturan gazların seçimi	29
Şekil 3.26. Ateş tuğlası seçim ekranı	30
Şekil 3.27. Karışımı oluşturan gazların seçimi	31
Şekil 3.28. Standart k-epsilon modeli seçim ekranı.....	32
Şekil 3.29. Momentum bölümü seçim ekranı	33
Şekil 3.30. Thermal bölümü seçim ekranı	34
Şekil 3.31. Species bölümü seçim ekranı.....	34
Şekil 3.32. Operating Conditions bölümü seçim ekranı	35
Şekil 3.33. Solition Initialization bölümü seçim ekranı	36

Şekil 3.34. Run Calculation bölümü seçim ekranı	37
Şekil 3.35. Standart k-epsilon modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü.....	37
Şekil 3.36. RNG k-epsilon modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü.....	38
Şekil 3.37. Realizable k-epsilon modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü.....	38
Şekil 3.38. Standart k-omega modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü.....	39
Şekil 4.1. L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin model üzerinde görünümü.....	40
Şekil 4.2. L1 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları.....	41
Şekil 4.3. L2 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları.....	42
Şekil 4.4. L3 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları.....	43
Şekil 4.5. L4 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları.....	44
Şekil 4.6. L1 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri.....	45
Şekil 4.7. L2 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri.....	46
Şekil 4.8. L3 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri.....	47
Şekil 4.9. L4 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri.....	48
Şekil 4.10. L3 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi üzerindeki sıcaklık dağılımı	49
Şekil 4.11. L4 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi üzerindeki sıcaklık dağılımı	49
Şekil 4.12. L3 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi boyunca hız dağılımı .	50
Şekil 4.13. L4 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi boyunca hız dağılımı .	51
Şekil 4.14. Standart k-e, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon ve Standart k-omega modellerinin $z = 0.75$ m'deki sıcaklık dağılımları	52
Şekil 4.15. Standart k-epsilon, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon ve Standart k-omega modellerinin $z = 0.75$ m'deki hız dağılımları	52
Şekil 4.16. Standart k-epsilon, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon ve Standart k-omega modellerinin $z = -0.75$ m'deki hız dağılımları	53

1. GİRİŞ

Dünyada enerji kaynaklarının zamanla azalması, ileri teknolojinin kullanımının insanlar arasında yaygınlaşması ve sanayileşmenin gün geçtikçe daha fazla gelişmesi sonucunda enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Ancak artan bu enerji ihtiyacı günümüzde yeterince karşılanamamaktadır. Enerji tüketiminin tam olarak karşılanamaması, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açığın hızla artmasına neden olmaktadır. Bu durum da özellikle ülkemizde artan enerji ihtiyacını en aza indirebilmek için tüketilen enerjinin verimli kullanılmasının zorunluluğunu gündeme getirmiştir. Ayrıca tüketilen enerji kaynaklarının oluşturduğu çevre kirliliğinin azaltılması açısından da verimli enerji kullanımı büyük önem arz etmektedir.



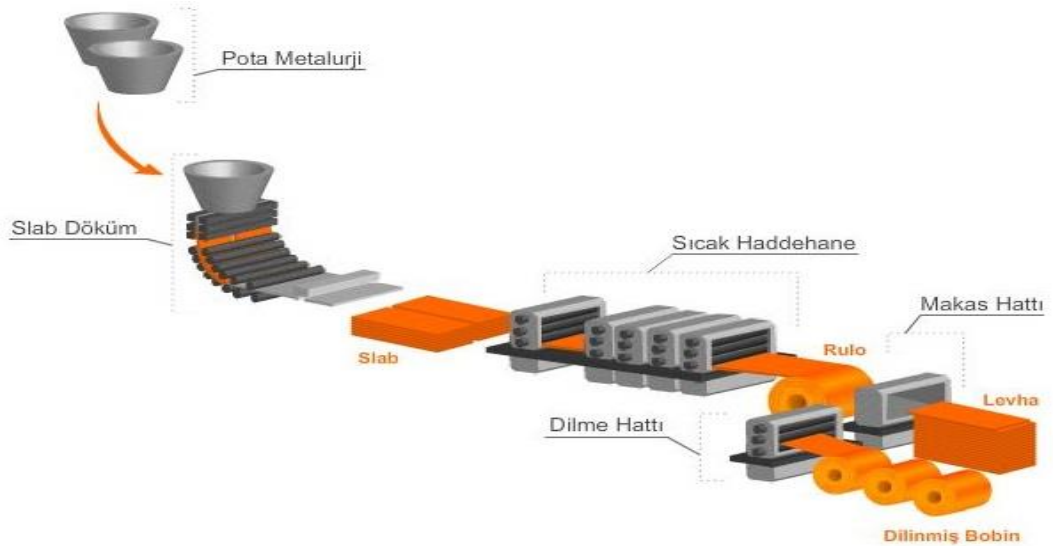
Şekil 1.1. Demir ve Çelik Fabrikası (www.erdemir.com.tr ‘dan alınmıştır., 2013)

Endüstriyel sistemler enerjinin en yoğun tüketildiği yerlerdir. Endüstriyel sistemlerde enerjinin kullanılması sırasında enerji kayıpları da meydana gelmektedir. Endüstriyel sistemlerde bu enerji kayıpları yüksek miktarlarda meydana gelmektedir. Demir ve Çelik fabrikaları (Şekil 1.1) enerjinin çok yoğun kullanıldığı endüstriyel sistemlere örnek gösterilebilir. Endüstriyel sistemlerde enerjinin verimli kullanılması; enerji kayıplarını azaltmakla beraber dünya enerji ihtiyacının giderilmesi hususunda da önemli katkı sağlamaktadır. Enerji verimliliğinde artışın sağlanabilmesi endüstriyel sistemlerdeki ısı kayıplarının yerlerini ve miktarlarını belirleyerek bu kayıpların en aza indirgenmesi ile ilgili yapılacak çalışmaların hayata geçirilmesi ile mümkün olabilir.



Şekil 1.2. Sıcak Haddehane Tesisi(www.erdemir.com.tr ‘dan alınmıştır., 2013)

Bu çalışma ile endüstriyel sistemlerde enerjinin en yoğun kullanıldığı yerlerden biri olan demir ve çelik sektörüne ait sıcak haddehane tesisi bacası gündeme getirilmektedir. Sıcak haddehane tesisleri yüksek sıcaklıklarda çalışan ve ısı kaybının çok fazla olduğu sistemlerdir. Bu tür tesislerde gerek yakıt tüketimi açısından gerekse sistemin çevreye verdiği atık gazların oluşturduğu çevre kirliliği açısından enerjinin mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gereken sistemlerdir.



Şekil 1.3. Sıcak haddehane tesisi üretim şeması (www.isdemir.com.tr’den alınmıştır., 2013)

Sıcak haddehane tesislerine ait tav fırın bacaları egzoz gazlarını 650 °C sıcaklıkta atmosfere göndermektedir. Tav fırınlarının genelde ısı verimleri %35-45 arasındadır. Isıl verimin bu denli düşük oluşunun sebebi ısı kayıpların çok yüksek miktarlarda olmasıdır. Isıl kayıpların tav fırınlarında en çok baca gazı ile %30-35 değerinde olduğu bilinmektedir. Bu kayıpların en aza indirgenmesi açısından yapılan çalışmalar ile bazı uygulamalar kullanıma sunulmuştur.



Şekil 1.4. Tav fırın bacası görüntüsü

Günümüzde bazı uygulamalar hayata geçirilmiş ve enerji verimliliği ile ilgili önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu uygulamalar baca gazı enerjisinin geri dönüşümün yapılmasına yönelik geliştirilen sistemlerdir. Baca gazı enerjisi baca gazı debisi çok düşük olmamak kaydıyla muhtelif ekonomizer ve esanjör uygulamaları ile ortam ısıtmasında, sistem girdilerinin ön ısıtmasında, kızgın su buharı ihtiyacının karşılanmasında ya da sıcak su üretiminde kullanılabilir. Ancak; yine de bu uygulamaların yeterli olmadığı ve ısı kayıplarının halen çok fazla olduğu görülmektedir. Bu sistemlerin geliştirilmesi ve yeni uygulamaların ortaya çıkarılması açısından tav fırın bacalarının daha ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir. Yapılacak incelemeler doğrultusunda yüksek sıcaklıkta çalışan bir tav fırın bacasının içerisinde oluşan akışın

hız ve sıcaklık alanlarının incelenmesi, günümüzde kullanılan ve gelecekte tasarlanabilecek ısı geri kazanımı sistemlerine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada ısı geri kazanımı yapılmayan tav fırın bacalarının günümüz teknolojisiyle geliştirilmiş hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemlerinin çözümünde kullanılan Ansys Fluent 14.0 programı ile sayısal analizi yapılarak incelenmiştir. İncelenen tav fırın bacası içerisinde oluşan akış ve sıcaklık alanları incelenmiş ve baca boyunca oluşan sıcaklık alanlarının hız alanına olan etkileri ortaya konulmuştur. Bu analiz, Ansys Fluent 14.0 programının geometri, ağ ve sayısal modelleme bölümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geometri bu program kapsamındaki Design Modeler modülü ile, ağ donanımı Ansys Mesh Platform modülü ile ve sayısal modelleme ise Ansys Fluent modülü ile gerçekleştirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yüksek sıcaklıkta akışa sahip endüstriyel tav fırın bacalarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi ile ilgili literatürde deneysel veya teorik bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma bir temel çalışması niteliğinde olup yüksek sıcaklıklarda çalışan ekonomizersiz gerçek bir bacanın içerisinde oluşan hız ve sıcaklık alanları incelenmiş ve birbirlerine olan etkileşimleri literatüre kazandırılmıştır.

Versteeg ve arkadaşlarının (1995) yaptıkları çalışmada grid yapısı ile ilgili, modelde simülasyona başlamadan önce uygun grid yapısının oluşturulmasının gerekli olduğunu söylemişlerdir. Grid'in, hesaplama alanının çok küçük alt hesaplama alanlarına (veya hacimlerine) bölünmesi ve gerekli matematiksel çözümlerin tüm bu gridlerde ayrı ayrı yapıp daha sonra hepsinin birleştirilerek tüm hesaplama alanı içindeki nihai çözümün elde edilmesi için kullanıldığını belirtmişlerdir.

Grid yapısının, simülasyonun sayısal çözüm dengesi ve doğruluğu üzerinde geniş bir etki oluşturduğu bilinmektedir. Kayataş ve arkadaşlarının (2003) yaptıkları çalışmada hesaplama alanı içindeki grid yoğunluğu ne kadar fazla olursa, genel olarak akışkan dinamiği çözümünün hassasiyeti de o kadar arttığını söylemişlerdir.

Ertem ve arkadaşları (2008) tav fırınlarının genelde ısı verimleri %35-45 arasında olduğunu verimlilik analizi yaptıkları fırında doğrulamışlar ve verimi %38.3 olarak bulmuşlardır. Kayıpların en çok baca gazından olduğunu, bunun nedeni olarak ise tav fırınlarının işlevleri gereği çok yüksek sıcaklıklarda ısıtma yapması, bunun için brülörlerde gerçekleşen yanma sonucunda sistemden dışarıya atılan gazın yüksek sıcaklıkta olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca baca gazı enerjisinin 650°C civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Kaya ve arkadaşları (2011) yaptıkları çalışmada kok gazının analizini yapmışlar ve kok gazının yanma ürünlerinin incelenmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre kok gazının yanma ürünlerinin gaz bileşimlerinin; %6,06 CO₂, %0,00 SO₂, %69,22 N₂, %0,81 Argon, %19,3 H₂O, %4,49 O₂ ve %0,11 etkisiz gazlardan meydana gelmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada yüksek sıcaklıkta çalışan ekonomizersiz bir sıcak haddehane tesisi bacasının içerisinde oluşan akış ve sıcaklık alanları incelenmiş, sıcaklık ve hız alanlarının etkileşimi ortaya konulmuştur. Bu çalışmada kok gazının yakıt olarak kullanıldığı ve saatlik kok gazı tüketim miktarının $2.100.000 \text{ m}^3$ olduğu gerçek bir bacanın analizi, Ansys Fluent 14.0 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar Mersin Üniversitesi Tarsus Teknoloji Fakültesinde yürütülen “111M726” numaralı Tübitak Araştırma Projesi için hazırlanmış olan bilgisayar laboratuvarında yürütülmüştür. Bu çalışmalar laboratuvar bünyesinde bulunan Ansys Fluent 14.0 programı kurulu yüksek kapasiteli bilgisayarlar kullanılarak hazırlanmıştır.

Yakıt			Yanma Ürünleri (Nm ³ /h)						
Yakıt Analizi	% (ob)	Stok. O ₂	CO ₂	SO ₂	N ₂	Argon	H ₂ O	O ₂	İnert
CO ₂ (%)	3,01	0,00	108,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄ (%)	1,62	174,96	116,89	0,00	652,07	7,77	131,95	0,00	0,00
O ₂ (%)	0,37	-13,32	0,00	0,00	-49,64	-0,59	-0,59	0,00	0,00
CO (%)	6,68	120,24	240,65	0,00	448,13	5,34	10,52	0,00	0,00
H ₂ (%)	57,75	1039,50	1,49	0,00	3874,18	46,14	2169,95	0,00	0,00
CH ₄ (%)	22,28	1604,16	804,38	0,00	5978,65	71,21	1744,51	0,00	0,00
C ₂ H ₆ (%)	0,62	78,12	44,75	0,00	291,15	3,47	73,80	0,00	0,00
C ₂ H ₂ (%)	0,11	9,90	7,93	0,00	36,90	0,44	4,83	0,00	0,00
N ₂ (%)	6,87	0,00	0,00	0,00	247,32	0,00	0,00	0,00	0,00
İnert (%)	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,84
Toplam (%)	100,00	3013,56	1324,45	0,00	11478,76	133,78	4134,96	0,00	24,84
Fazla hava			1,41	0,00	3660,03	43,59	85,92	982,04	0,00
Gaz Bileşimi % (ob):			6,06	0,00	69,22	0,81	19,30	4,49	0,11

Şekil 3.1. Kok gazı analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri (Kaya, 2011)

Yanma ürünleri CO₂, N₂, Argon, H₂O ve O₂ gazlarından oluşmaktadır. Kaya ve arkadaşları kok gazının yanma analizini çalışmış ve elde ettikleri sonuçları (Şekil 3.1) bir tablo halinde sunmuşlardır. Analizi yapılan tav fırın bacası, kok gazının yanma ürünlerinin atmosfere çıkışını sağlamaktadır. CO₂, N₂, H₂O, Argon ve O₂ gazlarından oluşan yanma ürünleri, bacaya ortalama 92000 m^3 kütle debisi ile girmektedir.

Akış analizinde bu gazlar bir gaz karışımı (mixture) olarak değerlendirilmiş ve karışımın yüzdelik derişimi %4,5 O₂, %6 CO₂, %19,5 H₂O ve %70 N₂ olarak alınmıştır. Argon gazının yüzdelik derişimi çok düşük olduğundan dolayı hesaplamalara dâhil edilmemiştir.

3.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve ilerlemeler, akışkanlar mekaniğinde HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) adıyla yeni bir çalışma alanı doğmasına neden olmuştur. HAD çalışmalarında, bilgisayar yardımıyla akış simülasyonu yapılacak olan alan ve bu alanda meydana gelen etkileşimler detaylı olarak HAD çalışmalarından elde edilen en önemli sonuçlardan birisi, bir tasarım yapılmadan önce bilgisayar simülasyonu aracılığıyla elde edilen veriler yardımıyla verim artırma yöntemleri ve tasarıma yönelik bir takım problemlerin deney aşamasına gelmeden önce rahatlıkla çözülebilmesidir. Ayrıca, HAD ile yapılan çalışmalar daha az maliyetli ve daha farklı düşünceler geliştirebilme yönünde büyük katkılar sağladığı için tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalar esnasında ayrıntılı ve birleşik geometri içerisindeki değişiklikler daha kolay ve daha hızlı şekilde yapılabilmektedir.

Yüksek hızlı süper bilgisayarların geliştirilmesiyle kompleks akış problemlerinin çözülmesinde bilgisayar kullanımını kaçınılmaz hâle gelmiştir. İşte bu noktada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), temel akış problemleriyle bilgisayar teknolojisi arasında bir köprü görevi görmektedir. HAD tekniği endüstriyel veya endüstriyel olmayan birçok uygulama alanında kullanılmaktadır (Soruşbay, 2003).

3.3. Korunum Denklemleri

Temel olarak bir akışın incelenmesi için süreklilik, momentum (Navier Stokes denklemleri) ve enerji denklemlerinin, uygun başlangıç ve sınır koşulları ile beraber çözülmesi gerekir. Üç boyutlu baca akışı için genel korunum denklemleri aşağıda verilmiştir.

- Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

- Momentum denklemi

$$\rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (2)$$

- Enerji denklemi

$$\frac{1}{RePr} \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right] + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\mu \tau_{xx} + \nu \tau_{yy}) \right] \quad (3)$$

3.4. Baca İçerisindeki Akışın Matematiksel Formülleri

3.4.1. Dairesel Kesitli Borularda Hız Hesabı (V)

Ortalama debisi bilinen dairese kesitli borular için hız hesabı;

$$V = A/Q \quad (4)$$

Burada, V hızı, Q kütlese debiyi ve A yüzey alanını ifade etmektedir.

3.4.2. Dairesel Kesitli Borularda Reynolds Sayısı

Dairesel kesitli borulardaki iç akış için akış tipini belirleyen Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetleri}} = \frac{\rho \cdot u_{ort} \cdot D}{\mu} \quad (5)$$

Burada, ρ akışkanın yoğunluğunu, u_{ort} akışın ortalama hız değerini, D dairese borunun hidrolik yarıçapını ve μ akışkanın viskozitesini ifade etmektedir. Reynolds sayısı, akışkana etkiyen atalet kuvvetlerinin viskoz etkilere oranı olarak tanımlanır. Akışın türbülanslı olmaya başladığı Reynolds sayısına kritik Reynolds sayısı denir. Farklı geometriler ve akış şartları için kritik Reynolds sayısı değeri farklıdır. Dairesel borulardaki iç akış için kritik Reynolds sayısının genelde kabul edilen değeri $Re = 2300$ 'dür (Çengel, 2008).

3.5. Türbülans Parametrelerinin Belirlenmesi

Bilindiği gibi akışlar, laminar ve türbülanslı olmak üzere ikiye ayrılır. Akışın karakteristiği, boyutsuz olan Reynolds sayısının değerine bağlıdır. Reynolds sayısının değeri ise akışkanın fiziksel özelliği olan viskozite, akış hızı ve akış ortamını

karakterize eden karakteristik uzunluğunun fonksiyonudur. Laminer akış çizgisel bir akış olup, akım ipliciği boyunca akış tabakaları birbirinden tamamen ayrı ve karışmaksızın kaldıkları düzgün akımdır (Çengel, 2008).

Türbülans akımda ise, akışkan yörüngeleri karışarak, akış çalkantılı bir şekilde oluşmaktadır. Pompalardaki akış, yüksek hızdan dolayı genellikle türbülanslıdır. Türbülanslı akışların incelenmesi laminer akışlara oranla oldukça zordur. Bu tip problemlerde türbülansın etkisini katmak için modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde akışkanın fiziksel viskozitesine ilave olarak, akışın özelliklerine bağlı diğer bir viskozite terimi tanımlanmakta ve ona türbülans viskozitesi denilmektedir. Bu ek viskozite terimini hesaplamak için araştırmacılar tarafından değişik modeller sunulmakta, bu modellerin arasında ise ‘‘Standart k-epsilon modeli’’ yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modelde ‘‘k’’ türbülansın kinetik enerjisini, ‘‘ε’’ ise türbülansın yayılımını belirtir. Bu nedenle türbülanslı akışlarda süreklilik ve momentum denklemlerine, türbülans kinetik enerji ve yayılım denklemleri de eklenmekte, çözülmesi gereken denklemlerin sayısı artmakta ve bu da denklem sisteminin çözümünü zorlaştırmaktadır (Fluent User’s Guide Version 6.1, 1998). Standart, RNG ve Realizable olmak üzere k-epsilon modelleri üçe ayrılır. Üç modelde k (türbülans kinetik enerjisi) ve ε (türbülans yayılma oranı) için aktarım denklemleri benzer formattadır. Üç model arasındaki temel farklar ise türbülans viskozitesini hesaplama metodu, k ve ε’un türbülans yayılmasını etkileyen Prandtl sayıları ve epsilon denkleminde kullanılan ve kullanılmayan terimlerdir. Aktarım denklemleri, türbülans viskozitesini hesaplama metodu ve model sabitleri her model için farklıdır. Türbülansın oluşması, kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans oluşması, sıkıştırılabilirliğin etkilerini hesaplama ısı ve kütle transferinin modellenmesi her model içinde esas olarak ortaktır (Versteeg, 1995).

3.5.1. Türbülans Yoğunluğu

Türbülans yoğunluğu I ile ifade edilir. Türbülans yoğunluğu türbülans kinetik enerjisinin (k) hesaplanmasında kullanılır.

$$I = 0.16(Re_{DH})^{-1/8} \quad (6)$$

Örneğin Reynolds sayısı 50000 olursa yukarıdaki formüle göre türbülans yoğunluğu %4 olarak bulunur (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013).

3.5.2. Türbülans Uzunluk Skalası ve Hidrolik Çap

Türbülans uzunluk skalası ℓ ile ifade edilir. Türbülans uzunluk skalası fiziksel bir özellik olup büyük girdaplarla alakalı türbülanslı akışlarda enerjiyi ifade eder.

$$\ell = 0.07L \quad (7)$$

Türbülans uzunluk skalası akışın hidrolik çapına bağlıdır. Ancak türbülans uzunluk skalası hidrolik çaptan büyük olamaz. L , hidrolik çap olarak ifade edilir (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013). ($L=D_H$)

3.5.3. Türbülans Kinetik Enerjisinin Türbülans Yoğunluğu İle Hesaplanması

Türbülans kinetik enerjisinin türbülans yoğunluğu ile bağlantısı aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir. Burada, u_{ort} ortalama hızı ifade etmektedir (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013).

$$k = \frac{3}{2} (u_{ort} I)^2 \quad (8)$$

3.5.4. Türbülans Yayılımının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması

Türbülans uzunluk skalası bilinen akışlarda türbülans yayılımı (ε) aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{\ell} \quad (9)$$

C_μ deneysel bir sabit olup türbülans modelleri için kullanılır. Yaklaşık olarak bu değer 0,09 alınır (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013).

3.5.5. Spesifik Dağılma Oranının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması

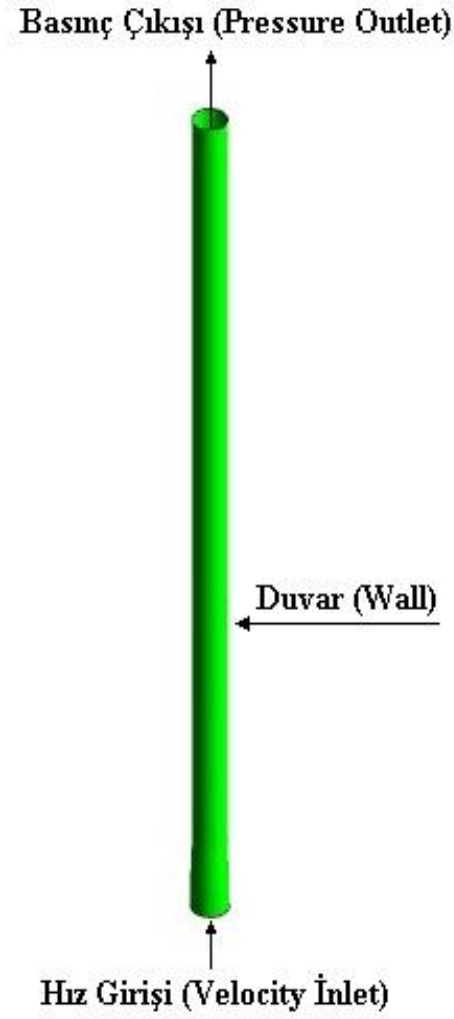
Türbülans uzunluk skalası bilinen akışlarda spesifik dağılma oranını (ω) aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\omega = \frac{k^{1/2}}{C_\mu^{1/4} \ell} \quad (10)$$

C_μ deneysel bir sabit olup türbülans modelleri için kullanılır. Yaklaşık olarak bu değer 0,09 alınır (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013).

3.6. Sınır Şartları

Atık gazların bacaya girişinde “hız girişi” sınır şartı, atık gazların bacadan çıkış sınırında “basınç çıkışı” sınır şartı kullanılmıştır. Katı (baca duvarları) yüzeylerde kaymama koşulu ve “duvar” sınır şartı kullanılmıştır. Duvar sıcaklığı 300 K olarak atanmıştır. Giriş sınırında yerçekimi etkileri dikkate alınmış ve yerçekimi ivmesi 9,81 m/s olarak tanımlanmıştır. Giriş sınırında gaz karışımının bacaya giriş sıcaklığı 923 K, basıncı 1,00001 atm, hızı 2,483009 m/s ve atık gaz karışımının yüzdelik oranları tanımlanmıştır. Tav fırın bacasının yalıtım malzemesi olarak ateş tuğlası kullanılmıştır. Akışkanın yoğunluğunun (ρ) 0,3421637 kg/m³ ve akışkanın viskozitesinin (μ) 1,72e-05 kg/ms olduğu program tarafından atık gaz karışımında bulunan gazların yüzdelik derişimine göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Sınır şartlarının geometride gösterimi

Çözümde türbülans modeli olarak aşağıda verilen k-epsilon ve k-omega modelleri kullanılmıştır.

- Standart k- ϵ metodu
- RNG k- ϵ metodu
- Realizable k- ϵ metodu
- Standart k- ω metodu

Standart k- ω modeli problemin çözümünde duvar modeline ihtiyaç duymaksızın çözüm uygular. k-epsilon türbülans modellerinde duvar modeli olarak “Enhanced Wall Function” kullanılmıştır. Enhanced Wall Function duvar modelleri arasında en gelişmiş modeldir. Bu model cidarlardaki viskoz etkilerini de çözüme dâhil ederek

problemin çözümünde daha uygun çözüm yapılmasını sağlar. Ayrıca cidarlarda sınır tabaka etkisi oluşturarak bu çalışmada akış yapısının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Aktarım denklemleri, türbülans viskozitesini hesaplama metodu ve model sabitleri her model için farklıdır. Türbülansın oluşması, kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans oluşması, sıkıştırılabilirliğin etkilerini hesaplama ısı ve kütle transferinin modellenmesi her model içinde esas olarak ortaktır (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013). Bu modeller için aktarım denklemleri aşağıda verilmiştir;

Standart k- ε modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (12)$$

RNG k- ε modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (14)$$

Realizable k- ε modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (15)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\varepsilon} S_\varepsilon - \rho C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (16)$$

Burada;

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (17)$$

Bu denklemlerde G_k ortalama hız değişiminden dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, G_b kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, Y_M bütün yayılma oranlarında sıkıştırılabilir türbülantta genişleyen çalkantıların katkısını simgelemektedir. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ model sabitleridir. α_k ve α_ε

sırasıyla k ve ε için zıt efektif Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013).

Standart k - ω modeli aktarım denklemi;

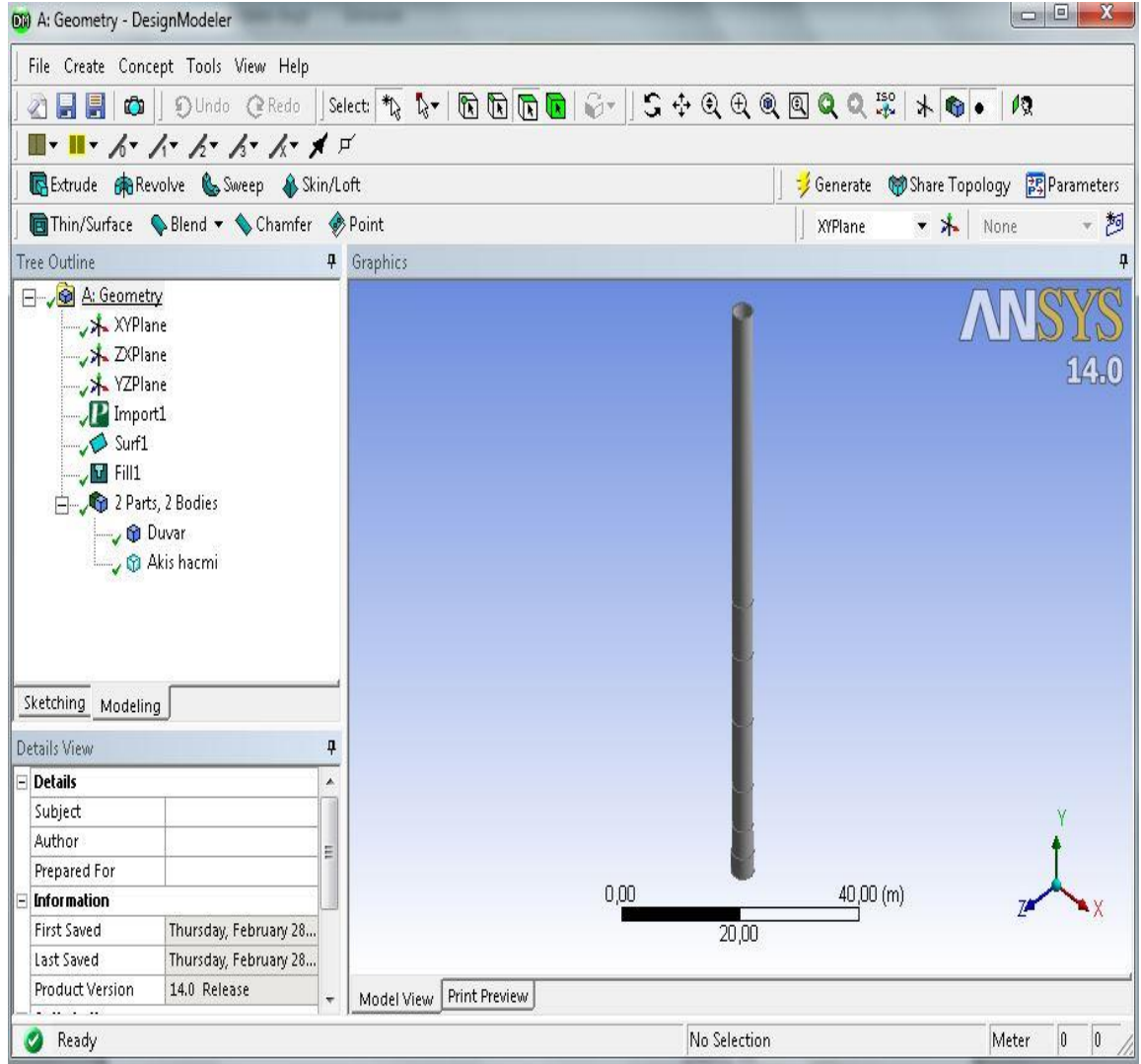
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad (18)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (19)$$

Bu denklemde G_ω ; ω üretimi, Γ_k ; k ve ω 'nın efektif yayılma gücü, Y_k ve Y_ω ; k ve ω 'nın türbülansdan dolayı dağıtımı, S_k ve S_ε ; kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir (Ansys Fluent 14.0 User's Guide, 2013). Hesaplamalarda tüm model katsayılarının varsayılan değerleri kullanılmış, model katsayıları değerlendirilmemiştir.

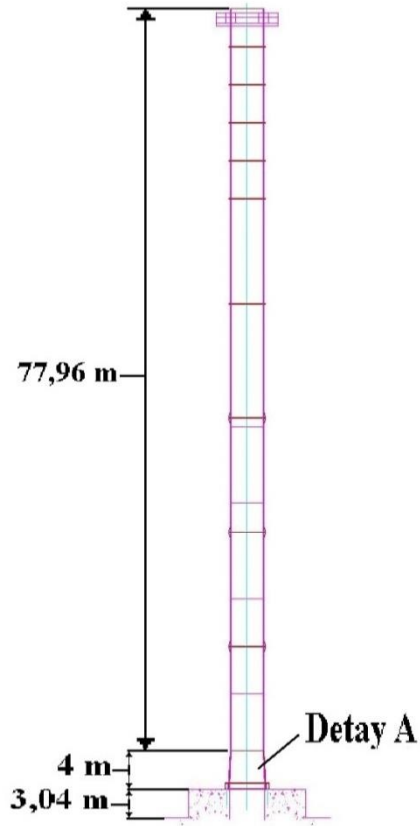
3.6.1. Tav Fırın Bacasının Geometrik Modelinin Oluşturulması

Üç boyutlu model geometrisi Ansys Fluent 14.0 programının Desing Modeler modülü ile oluşturulan ilk 7 m boyunca %7 çap küçülmesi ve sonraki 78 m boyunca da %5 çap büyümesine sahip tav fırın bacasının geometrisi Şekil 3.3'te verilmiştir.



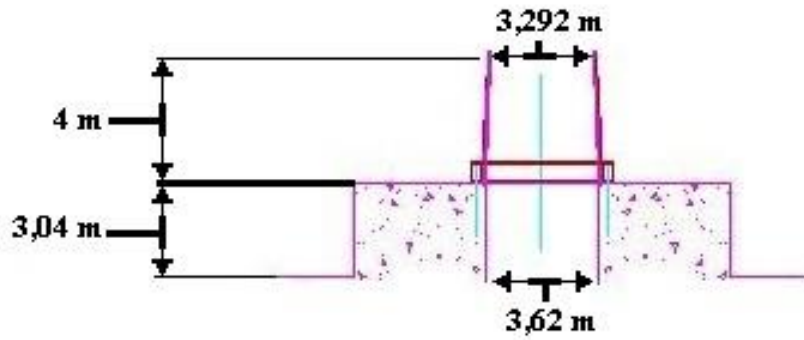
Şekil 3.3. Tav fırın bacası geometrisi

Yüksekliği 85 m, giriş çapı 3,62 m olan tav fırın bacasının ölçüleri Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Tav fırın bacası ölçüleri

Bacanın girişinde ilk 3 m boyunca çap sabit kalmakta fakat 3. metreden sonra 4 m boyunca çap küçülmesi meydana gelmektedir. Bu küçülme detayı Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Detay A

Desing modeller modülü ile oluşturulan tav fırını bacasının analizi yapılırken akış hacmi dikkate alınacağından dolayı katı yüzeyleri etkisiz hale getirilmiştir. Bu işlem yapılırken aşağıdaki adımlar izlenmiştir;

Concept → Surfaces From Edges

Details of Surf1	
Line-Body Tool	Surf1
Edges	Apply Cancel
Flip Surface Normal?	No
Thickness (>=0)	0 m

Şekil 3.6. Surfaces from edges penceresi

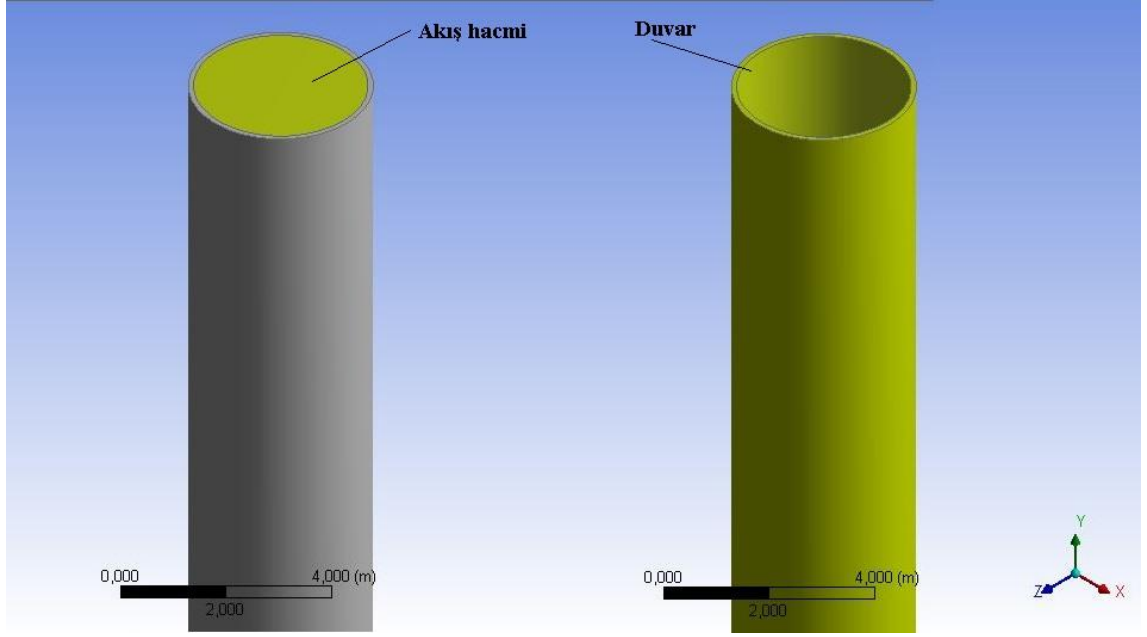
Şekil 3.6’da açılan pencerede Edges bölümünde bizden giriş yüzey kenarı ile çıkış yüzey kenarının seçimi istenmektedir. Bu seçimleri yaptıktan sonra Apply ve daha sonra Generate butonuna tıklayıp bu adım tamamlanmıştır. Daha sonra yapılan bu kenar seçimleri arasında akış hacmi oluşturmak için aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir.

Tools → Fill

Details of Fill1	
Fill	Fill1
Extraction Type	By Caps
Target Bodies	All Bodies
Preserve Capping Bodies	No
Preserve Solids	Yes

Şekil 3.7. Fill penceresi

Şekil 3.7’de Extraction Type bölümünde By Caps seçimini seçtikten sonra Generate butonuna tıklayıp işlem tamamlanmıştır. Bu işlem sonucunda Şekil 3.8’de görüldüğü duvar hacmi ve akış hacmi olmak üzere iç içe iki farklı hacim oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. Bacanın duvar ve akış hacminin görünümü

Analizlerde akış hacmi kullanılacağı için duvar katı modeli etkisiz hale getirilmiştir. Bu işlem yapılırken şu adımlar izlenmiştir;

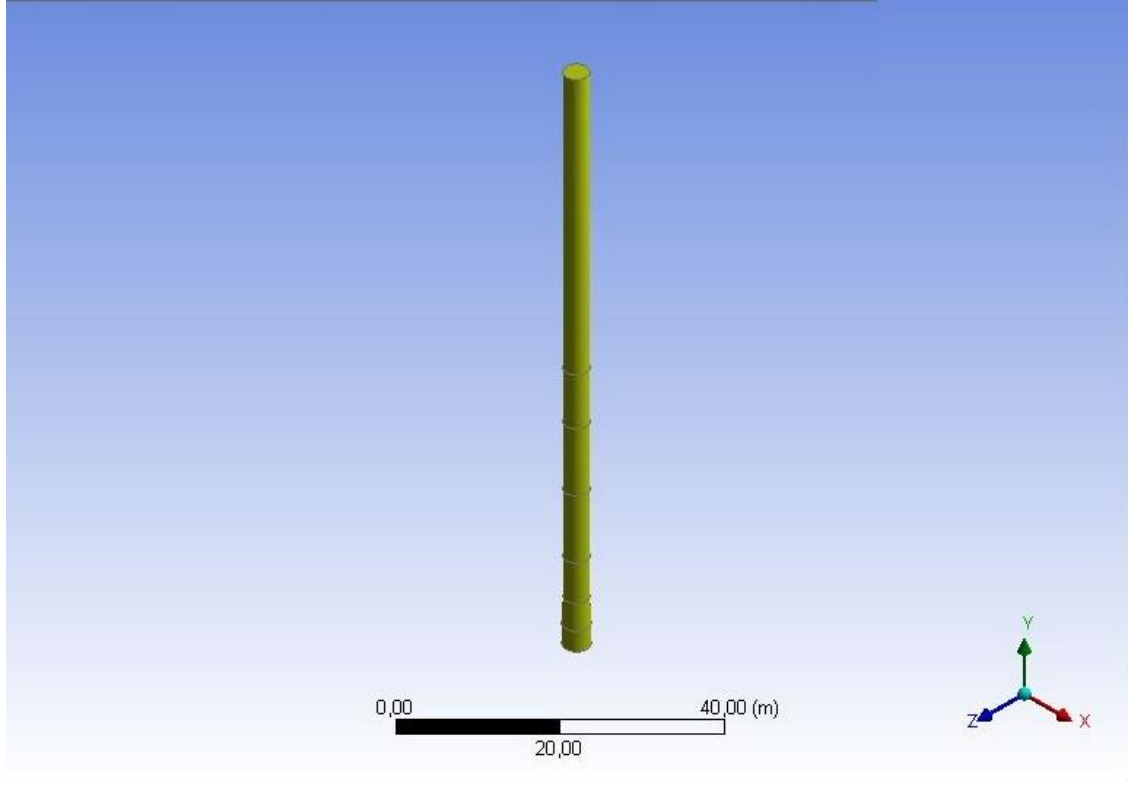
Modelling → Geometry → 2 Parts, 2 Body → Solid → Hide Body

Tav fırın bacasının geometrik detayları Şekil 3.9’da verilmiştir. Akış hacmi ‘‘Fluid’’ olarak tanımlanan tav fırın bacası 737,17 m³ hacim, 906,17 m² yüzey alanı, 13 yüzey ve 12 kenardan oluşmaktadır.

Details of Body	
Body	Solid
Volume	737,17 m ³
Surface Area	906,17 m ²
Faces	13
Edges	12
Vertices	0
Fluid/Solid	Fluid

Şekil 3.9. Bacanın iç akış hacminin detayları

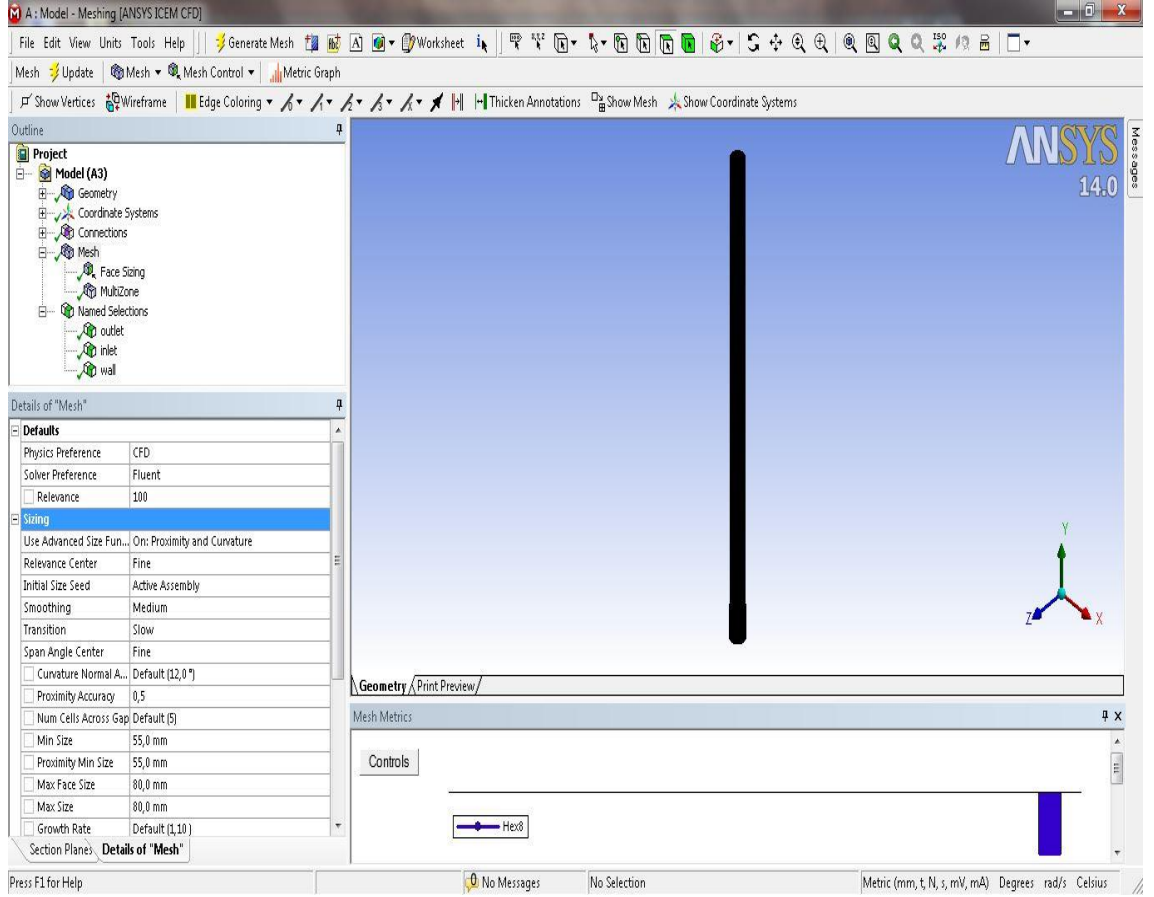
Analizlerde kullanılacak olan tav fırın bacası akış hacminin geometrik modeli Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tav fırın bacasının akış hacmi

3.6.2. Tav Fırın Bacasının Model Ağının Oluşturulması

Model ağı, hesaplama alanının çok küçük alt hesaplama alanlarına (veya kontrol hacimlerine) bölünmesi ve gerekli matematiksel çözümlerin tüm bu ağlarda ayrı ayrı yapıp daha sonra hepsinin birleştirilerek tüm hesaplama alanı içindeki nihai çözümün elde edilmesi için kullanılır (3). Ağ yapısının, simülasyonun sayısal çözüm dengesi ve doğruluğu üzerinde geniş bir etki oluşturduğu bilinmektedir (4). Bu nedenle üç boyutlu model oluşturulduktan sonra, uygun ağ yapısının oluşturulması için, çok sayıda denemeler yapılmış ve en uygun metot “Multizone” metodu olarak belirlenmiştir. Oluşturulan ağ donanımının ekran görünümü Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Ağ donanımının ekran görünümü

Ağ donanımının özellikleri Şekil 3.11’de sol alt bölümde gösterilmiştir. Tav fırın bacasının akış analizi yapılacağından çözüm yöntemi CFD seçilmiştir. Ağ donanımının en uygun Relevance değerinin 100 olduğu farklı denemeler sonucunda elde edilmiştir. Bu seçimler Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
☐ Relevance	100

Şekil 3.12. Çözüm yöntemi ve Relevance değeri seçimi

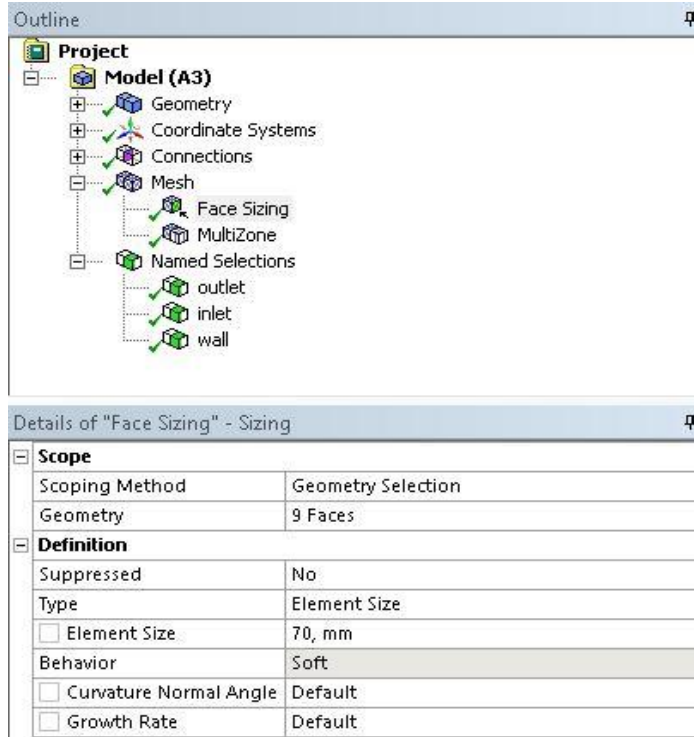
Mesh platform’da oluşturulacak ağ yapısında kare ve üçgen hücrelerinin program tarafından daha düzgün yapıda oluşturulması için Use Advance Size Function bölümünde On: Proximity and Curvature seçeneği ve Span Angle Center bölümünde

“Fine” seçeneği seçilmiştir. Bu seçimler sayesinde ağ donanımının daha düzgün bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu iki bölüm Şekil 3.13’te gösterilmiştir.

Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
☐ Curvature Normal Angle	Default (12,0 °)
☐ Proximity Accuracy	0,5
☐ Num Cells Across Gap	Default (5)
☐ Min Size	55,0 mm
☐ Proximity Min Size	55,0 mm
☐ Max Face Size	80,0 mm
☐ Max Size	80,0 mm
☐ Growth Rate	Default (1,10)
Minimum Edge Length	10342 mm

Şekil 3.13. Sizing bölümü

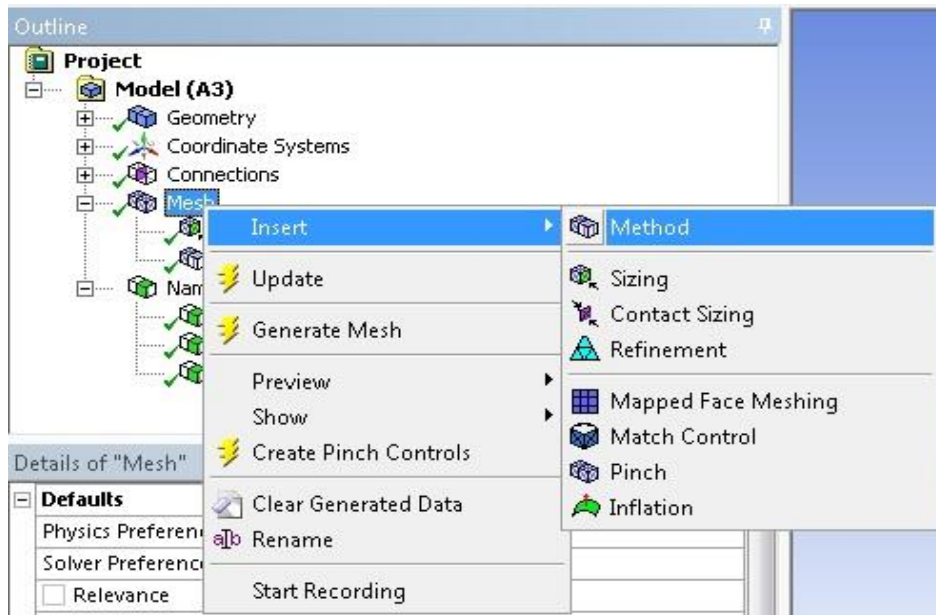
Şekil 3.13’te görüldüğü gibi oluşturulan ağ donanımının hücre boyutlarını hedeflenen toplam hücre sayısına bağlı olarak; en küçük hücre boyutu (Min Size) 55 mm ve en büyük hücre boyutu (Max Size) ise 80 mm seçilmiştir. Bu seçimlerden sonra Duvar yüzeylerinin hücre yapısının düzgünlüğünü sağlayabilmek için bu yüzeylerin hücre boyutu değeri (Face Sizing) 70 mm seçilmiştir. Face Sizing bölümü Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Face Sizing bölümü

Ağ donanımının ağ yöntemi seçimi Şekil 3.15'deki adımları uyguladıktan sonra açılan pencerede seçilmiştir.

Mesh → Insert → Metod



Şekil 3.15. Mesh Metod Bölümü

Bu adımları uyguladıktan sonra açılan pencerede Metod bölümünden “Multizone” seçilmiştir. Bu seçim Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

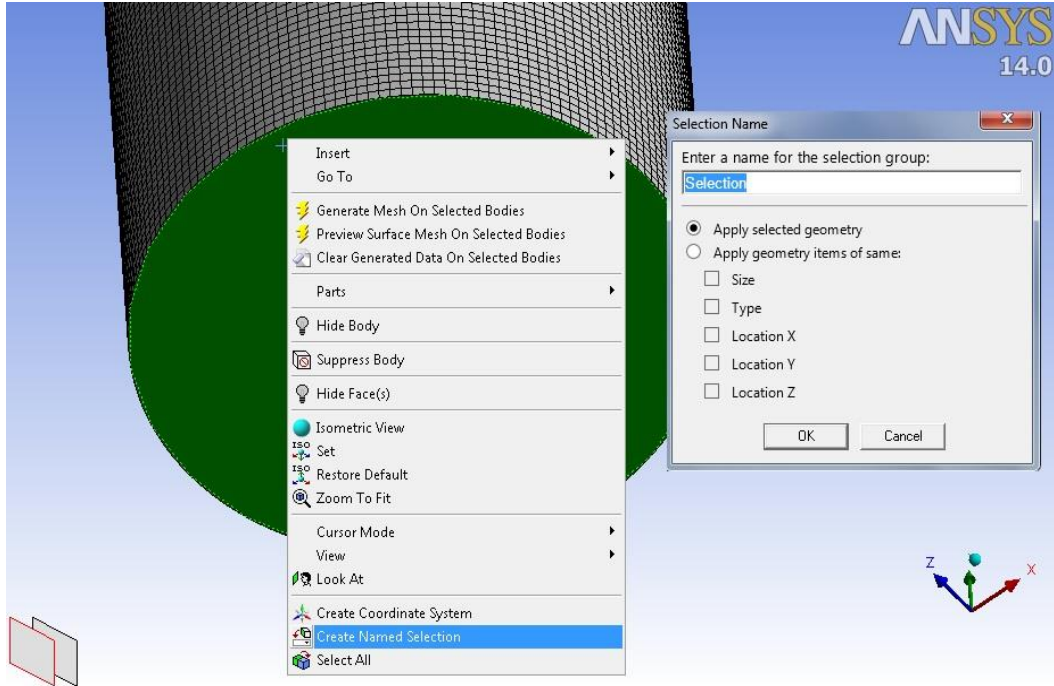
Details of "MultiZone" - Method	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone
Mapped Mesh Type	Hexa
Free Mesh Type	Not Allowed
Element Midside Nodes	Use Global Setting
Src/Trg Selection	Automatic
Source	Program Controlled
Advanced	
Mesh Based Defeaturing	Off
Minimum Edge Length	10342 mm
Write ICEM CFD Files	No

Şekil 3.16. Mesh Metod Bölümü Seçenekleri

Şekil 3.16’da görülen Mesh Metod penceresinde öncelikle “Geometry” seçimi yapılmıştır. Bu seçim metodun hangi geometriye uygulanacağını belirtmektedir. Burada “Geometry” ve “Metod” bölümlerinde seçimler yapıldıktan sonra programın otomatik seçmiş olduğu diğer seçimlerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Akış analizi yapılırken kontrol hacmine giren akışkanın nereden ve hangi yönde ilerlediği Mesh Platform’da belirtilmelidir. Bu yüzden egzoz gazlarının bacaya giriş yüzeyine “Inlet”, bacadan çıkış yüzeyine “Outlet” ve duvar yüzeylerine ise “Wall” isimleri verilmiştir. Bu işlemler aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır.

İsim tanımlanacak yüzey seçilir → Yüzeye sağ tıklanır → Create Named Selection

Açılan pencerede yüzeye tanımlanması istenen isim “Selection” bölümüne yazılarak “Ok” butonuna tıklayıp işlem tamamlanmıştır. Şekil 3.17’de bacanın girişi için yapılan isim tanımlama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Create Named Selection Bölümü

Ağ donanımının planlanan bu seçimleri de tamamlandıktan sonra programın ağ yapısını oluşturması için “Generate Mesh” butonuna tıklayıp ağ yapısı oluşturulmaya başlanmıştır.

Statistics	
☐ Nodes	2725884
☐ Elements	2622635
Mesh Metric	Orthogonal Quality
☐ Min	0,742271821521525
☐ Max	0,999998538925553
☐ Average	0,984626091929635
☐ Standard Deviation	3,84480492859115E-02

Şekil 3.18. Statistics Bölümü

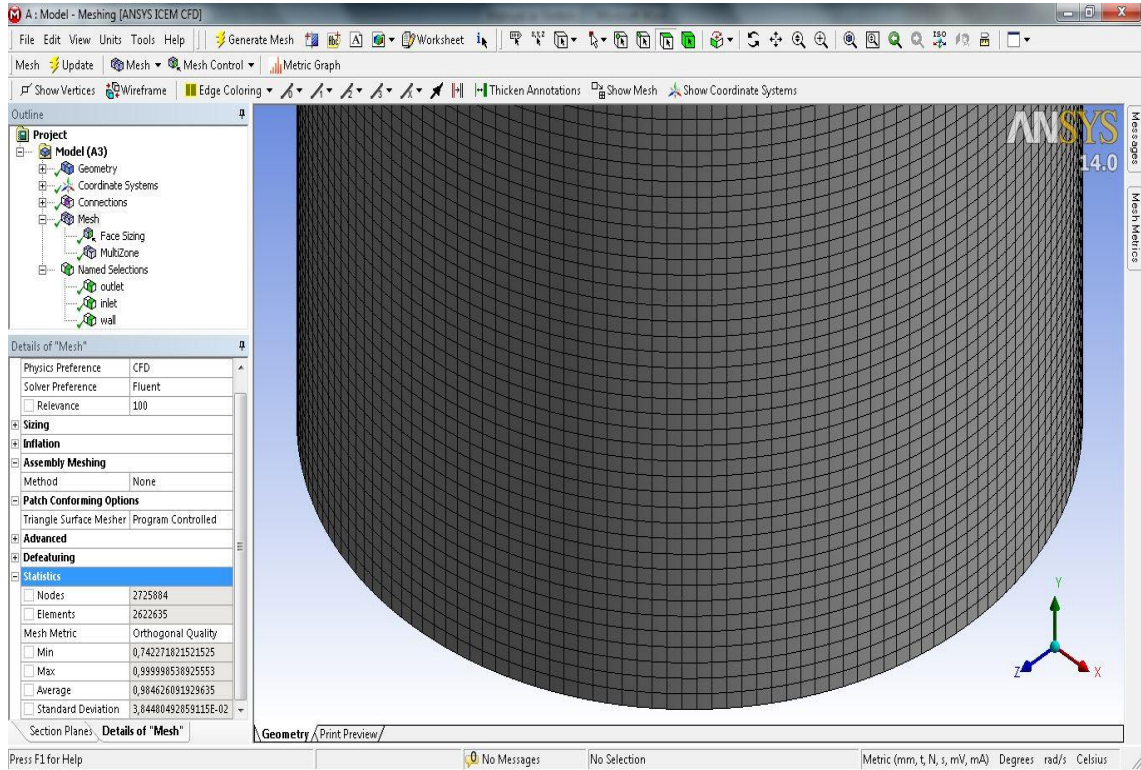
Ağ donanımı oluşturulduktan sonra elde edilen istatistik değerleri “Statistics” Şekil 3.18’de görüldüğü gibi elde edilmektedir. Oluşturulan ağ donanımının hücre sayısı “Elements” bölümünde 2 milyon 622 bin 635 olduğu görülmektedir. İstatistiklere bakıldığında “Mesh Metric” bölümünde “Orthogonal Quality” seçeneği ağ yapısının düzgünlüğünü ifade eden bir kalite değeri belirlemektedir. Orthogonal

Quality değerini program otomatik olarak hesaplamaktadır. Şekil 3.19’da gösterilen tabloda Orthogonal Quality değerinin hangi aralıkta iyi veya kötü olduğu belirtilmiştir.

Orthogonal quality mesh metrics spectrum					
Inacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00
14	© 2011 ANSYS, Inc. December 27, 2011				Release 14.0

Şekil 3.19. Orthogonal Quality değer tablosu

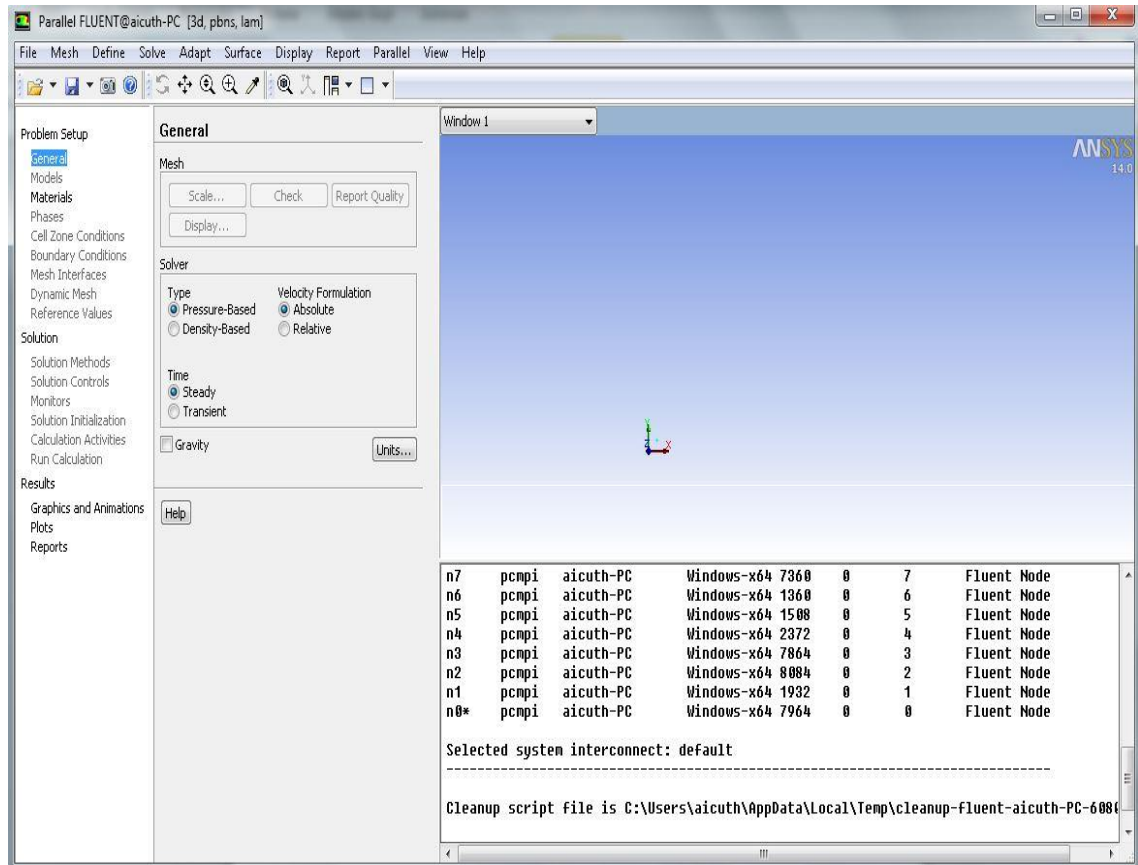
Bu seçeneği seçtiğimizde ağ yapısının Orthogonal Quality değerinin Şekil 3.17’de 0,74 olduğu görülmektedir. Şekil 3.19’da tabloya bakıldığı zaman Orthogonal Quality değeri bu ağ yapısı için “Very good” aralığında olduğu görülmektedir. Ağ yoğunluğu ve Orthogonal Quality değeri ile ilgili pek çok deneme sonucunda aynı çözüm sonuçları elde edilmiştir. Ağ yoğunluğu ile ilgili yapılan denemeler bu çözümün ağ yoğunluğundan bağımsız olduğunu garantilemiştir. Elde edilen ağ yapısı Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Elde edilen ağ yapısı

3.6.3. Tav Fırın Bacasının Sayısal Çözümü

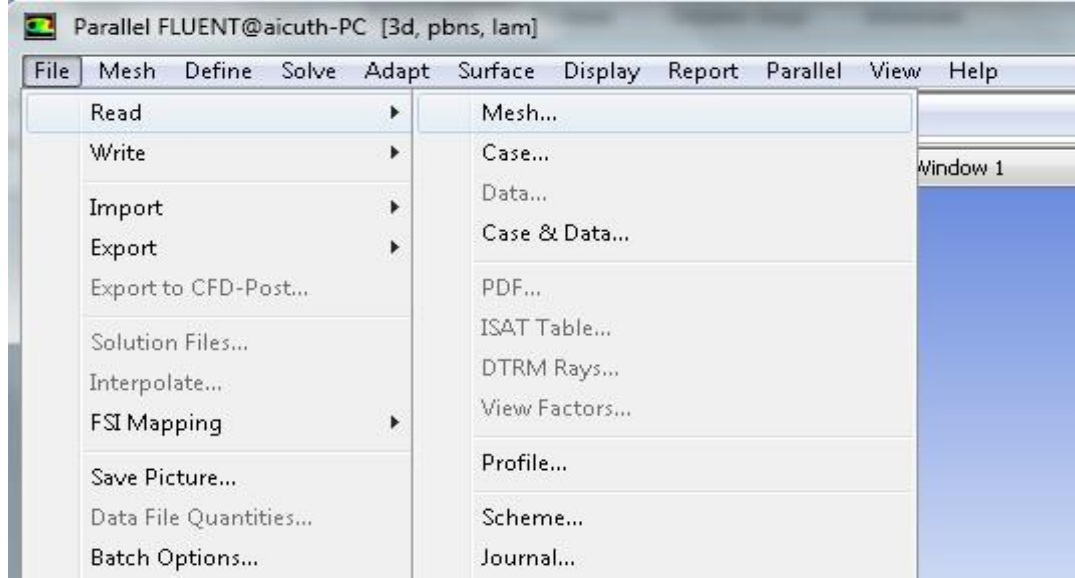
Ağ donanımı Mesh Platform modülü ile oluşturulan tav fırın bacasının sayısal çözümünde ise Ansys Fluent 14.0 programının sonlu hacim metodunu kullanan Fluent modülü ile gerçekleştirilmiştir. Sayısal Çözümde türbülans modeli olarak k-epsilon ve k-omega modelleri kullanılmıştır. Program çalıştırıldığında Fluent programının ekran görünümü Şekil 3.21’de görülmektedir.



Şekil 3.21. Fluent ekran görünümü

Ağ yapısını programa aktarmak için aşağıdaki işlemler uygulanır bu işlemler Şekil 3.22’de görülmektedir.

File → Read → Mesh



Şekil 3.22. Ağ yapısının programa aktarımı

Fluent ağ yapısını okuduktan sonra yapılacak analizin çözüm yöntemi ve giriş sınır şartları seçilmiştir. Bu işlemler bütün modeller için ayrı ayrı yapılmıştır. Giriş sınır şartları Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

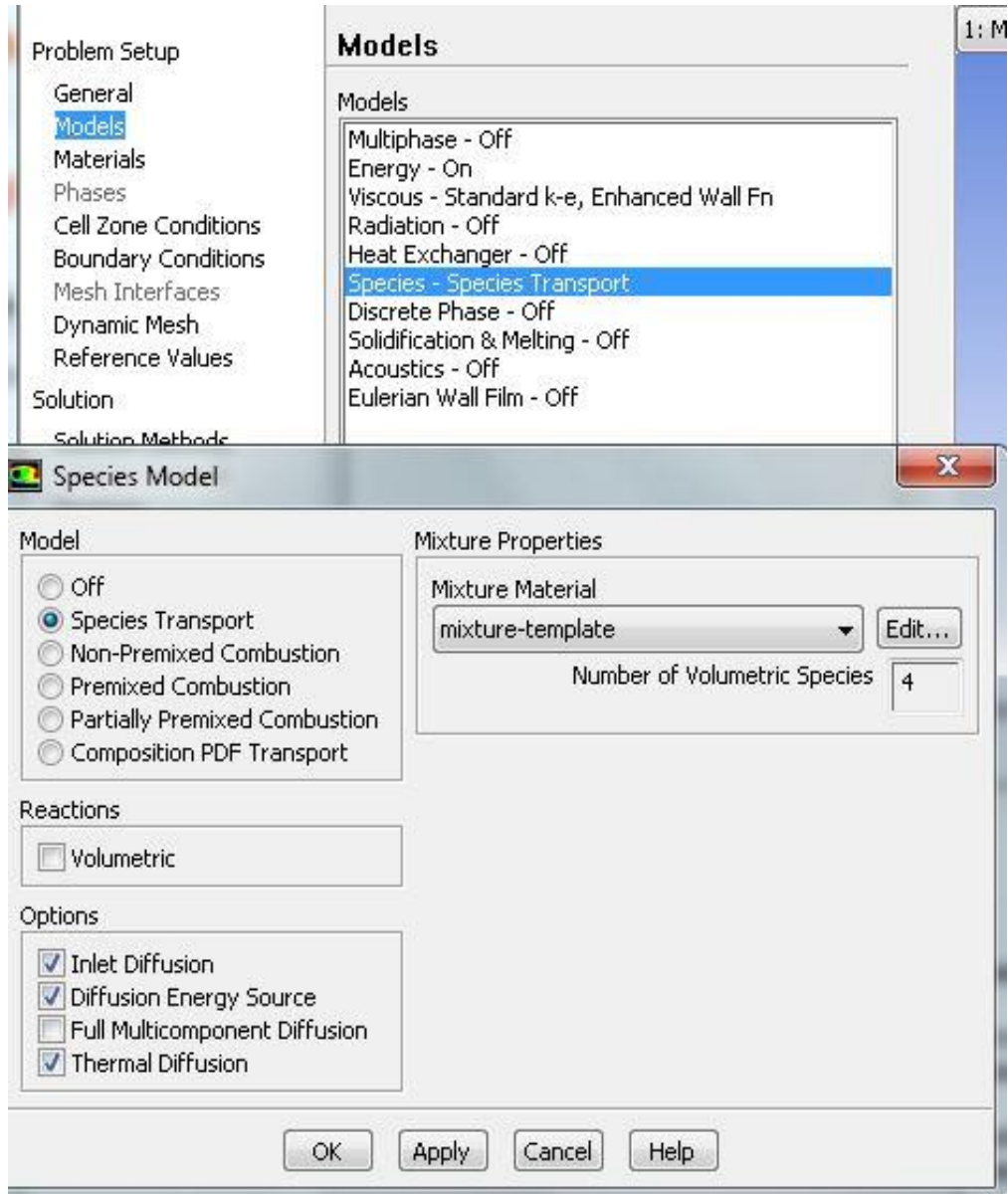
Giriş Sınır Şartları	
Bacanın Giriş Sıcaklığı	923,15 [K]
Bacanın Giriş Basıncı	1,0001 atm
Bacanın Giriş Hızı	2.483009 m/s
Turbulent Kinetic Energy(k)	0.01151303 m ² /s ²
Turbulent Dissipation Rate(ε)	5.48782e-10 m ² /s ³
Specific Dissipation Rate(ω)	1.009649 1/s

Şekil 3.23. Giriş Sınır Şartları

Bu çalışmada kullanılan akışkan kok gazının yanma ürünleridir. Yanma ürünleri programa karışım (Mixture) olarak tanıtılmıştır.

Bu seçim için aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir. Seçim ekranı Şekil 3.24'de gösterilmiştir.

Program Setup → General → Models → Species

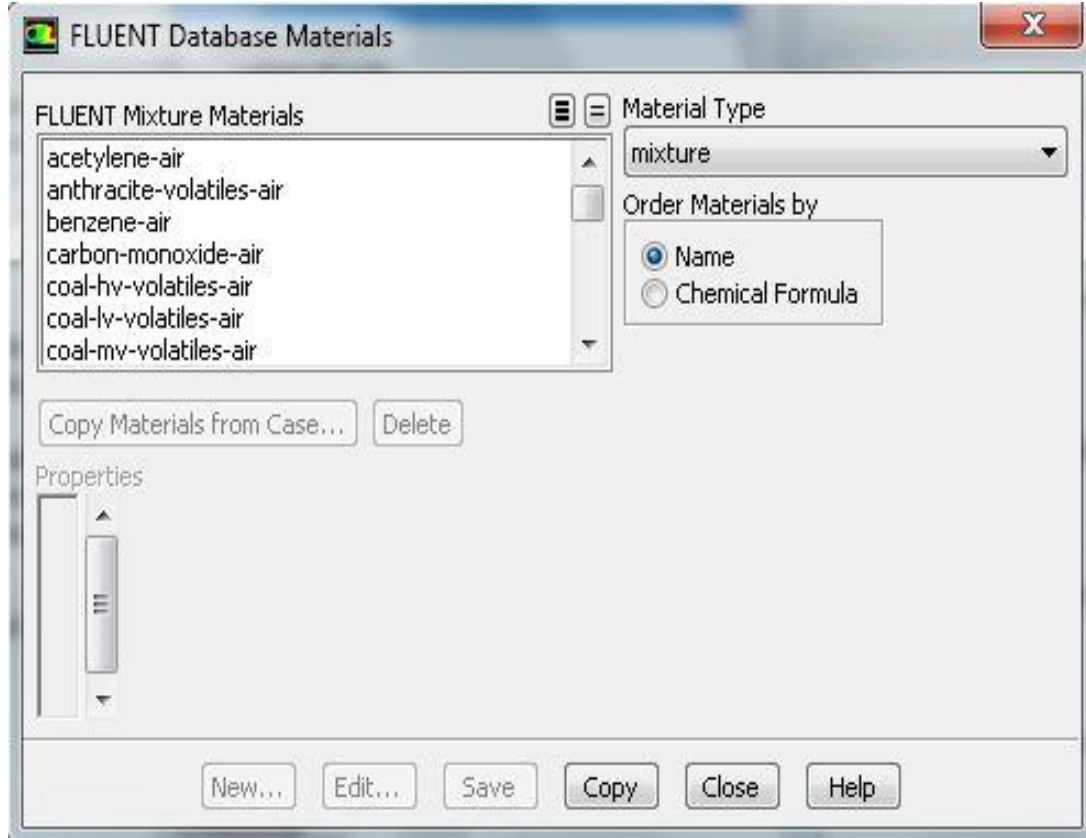


Şekil 3.24. Akış türü seçim ekranı

Karışımı oluşturan gazların seçimi aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır.

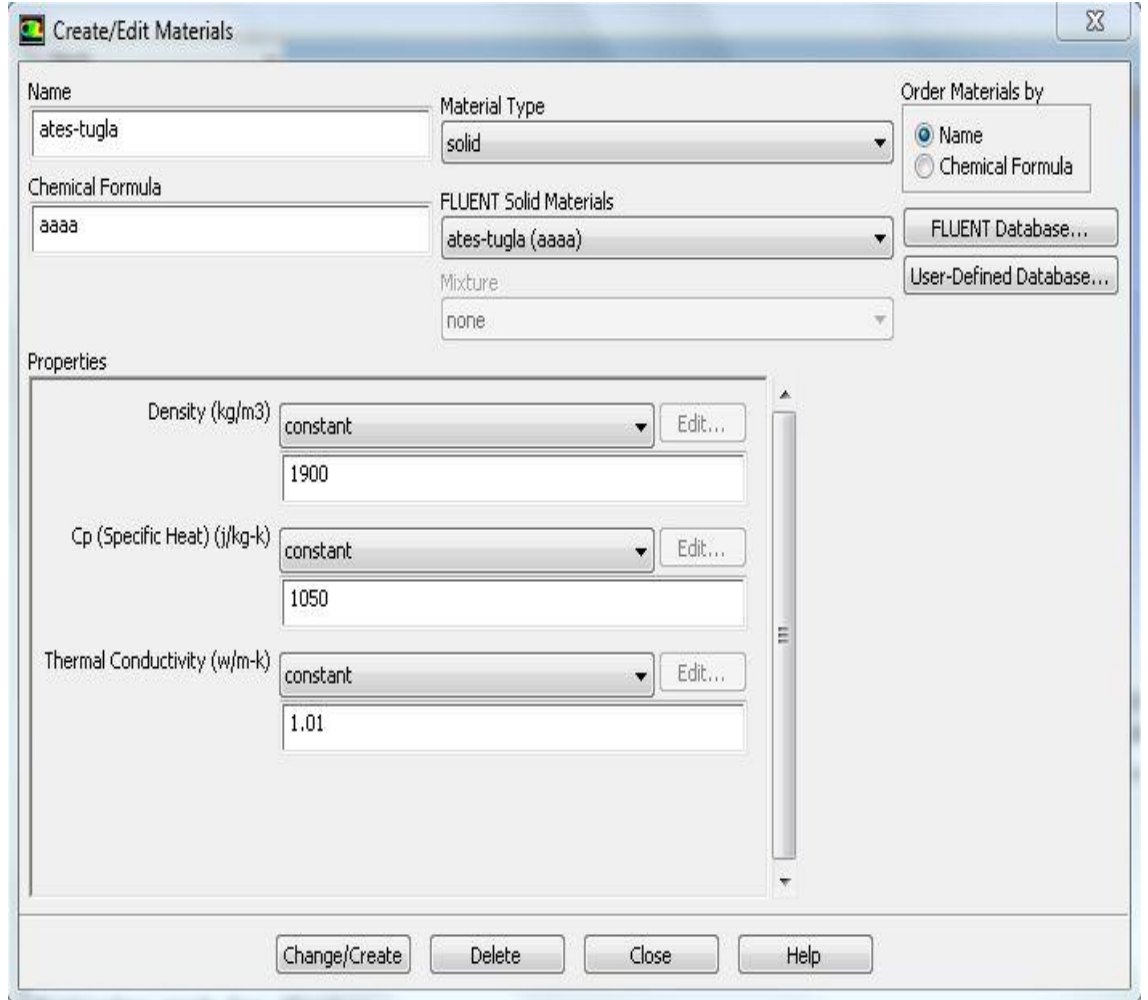
Program Setup → General → Materials → Create / Edit Materials → Fluent Database

Bu adımlardan sonra çıkan ekranda Material Type Fluid seçilmiştir. Daha sonra karışımı oluşturan O_2 , CO_2 , H_2O ve N_2 gazları seçilmiştir. Bu seçim ekranı Şekil 3.25’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Karışımı oluşturan gazların seçimi

Ayrıca bacanın duvarlarındaki yalıtım malzemesi de bu bölümde tanımlanmıştır. Bu çalışmada yalıtım malzemesi olarak ateş tuğlası kullanılmaktadır. Ateş tuğlasının tam karşılığı Fluent programının malzeme listesinde bulunmadığı için otomatik olarak tanımlanmış alüminyum malzemesin özelliklerini ateş tuğlasının yoğunluk, özgül ısı kapasitesi, ısıl iletkenlik ve viskozite özellikleri ile değiştirilerek tanımlanmıştır. Ateş tuğlasının yoğunluğunu 1900 kg/m^3 , ısıl iletkenliğini $1,01 \text{ W/m-K}$ ve özgül ısı kapasitesini 1050 J/kg-K olarak belirledikten sonra malzeme adı ve kimyasal formülü de değiştirilmiştir. Bu seçim ekranı Şekil 3.26’da gösterilmiştir.

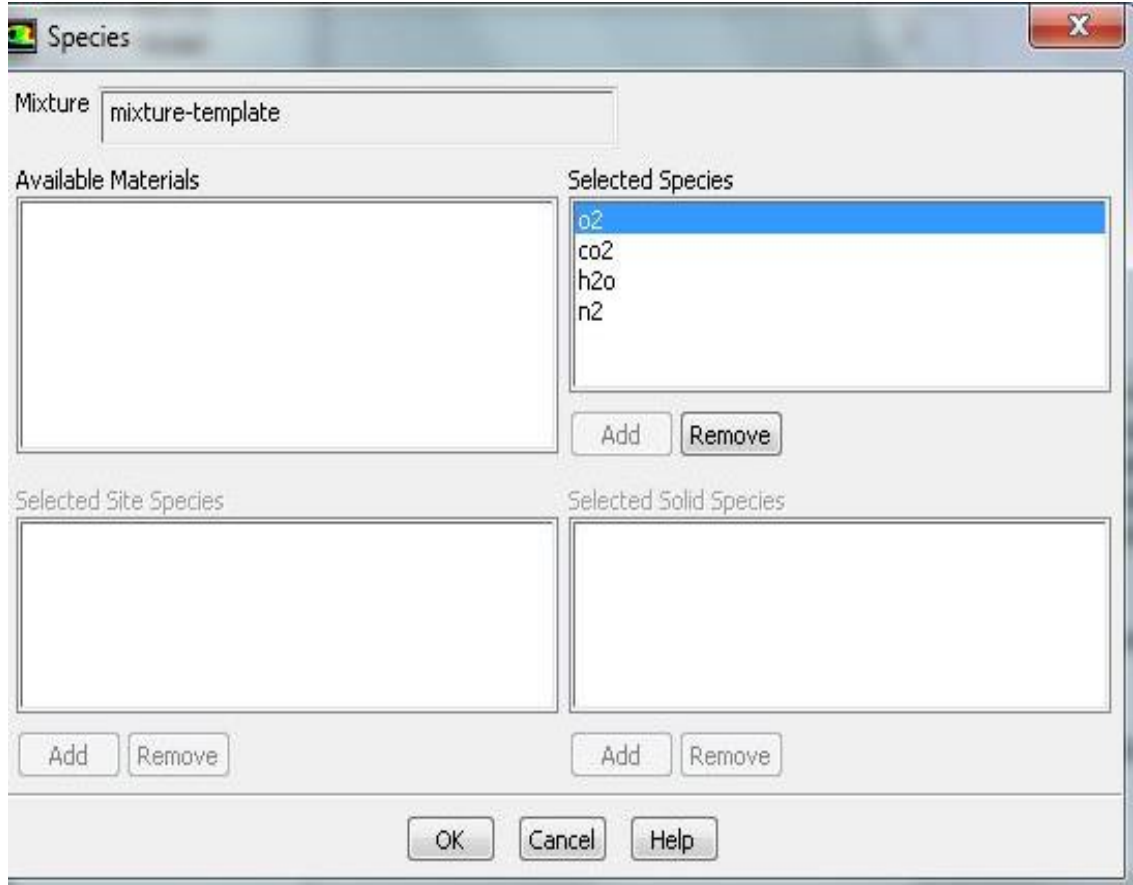


Şekil 3.26. Ateş tuğlası seçim ekranı

Tav fırın bacasının iç akışını oluşturan gazların bir karışım olarak tanımlanması için aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

Mixture Properties → Mixture Material → Edit → Mixture Species → Edit

Yukarıdaki adımları uyguladığımızda karşımıza çıkan seçim ekranında karışıma eklenilecek gazların seçilmesi istenmektedir. Bu seçimde gazların karışım içerisindeki yüzdelik oranı girdisi yapılırken; oranı en düşük olan gaz ile başlayarak yüzdelik oranı en yüksek olan gaza doğru seçimlerin yapılması gerekmektedir. Seçim ekranı Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Karışımı oluşturan gazların seçimi

Bu çalışmada karışımı oluşturan gazların yüzdelik oranlarına göre yapılan sıralama;

%4,5 O₂,

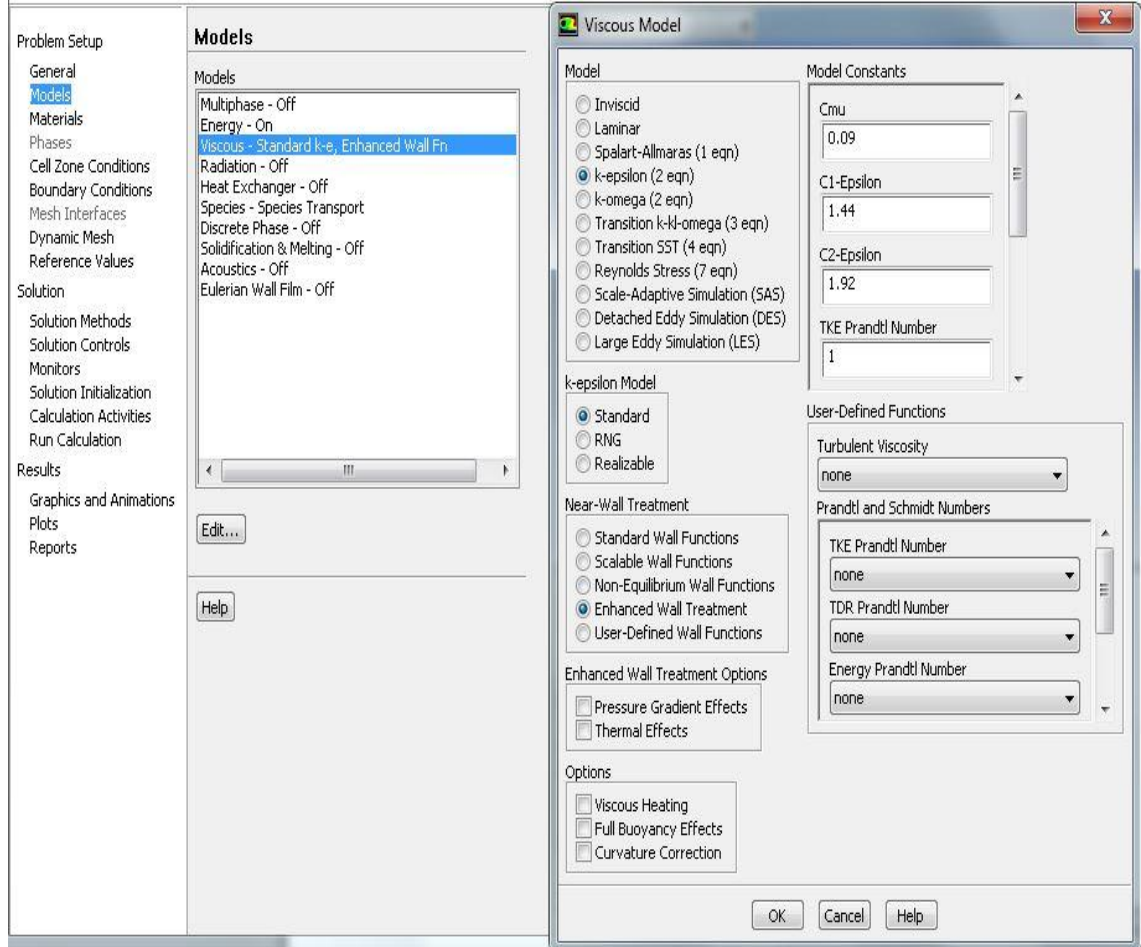
%6 CO₂,

%19,5 H₂O

ve %70 N₂ olarak belirlenmiştir.

3.6.3.1. Türbülans Modelleri Çözüm Araçları

Bu çalışmada yapılan akış analizi için seçilen türbülans modellerinden biri olan Standart k-epsilon modelinin seçim ekranı Şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.28. Standart k-epsilon modeli seçim ekranı

Bu seçim aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Program Setup → General → Models → Viscous

Bu seçim ekranında çözümün k-epsilon metodu ile yapılacağı çözüm modelinin Standart k-epsilon modeli olduğu ve duvar modelinin ‘‘Enhanced Wall Function’’ olduğu gösterilmiştir. k-epsilon türbülans modellerinde duvar modeli olarak ‘‘Enhanced Wall Function’’ kullanılmıştır. Enhanced Wall Function duvar modelleri arasında en gelişmiş modeldir. Bu model cidarlardaki viskoz etkilerini de çözüme dâhil ederek problemin çözümünde daha uygun çözüm yapılmasını sağlar. Ayrıca, cidarlarda sınır tabaka etkisi oluşturarak bu çalışmada akış yapısının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Standart k-omega modeli problemin çözümünde duvar modeline ihtiyaç duymaksızın çözüm uyguladığından bu modelde duvar modeli seçimi yapılmamıştır. Bu

seçimler tamamlandıktan sonra giriş sınır şartları aşığıdaki adımlar izlenmiş ve seçim ekranları Şekil 3.29, 3.30 ve 3.31’de gösterilmiştir.

Program Setup → General → Boundary Conditions → Inlet → Edit

Velocity Inlet

Zone Name
inlet

Momentum | Thermal | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s): 2.483009 constant

Supersonic/Initial Gauge Pressure (atm): 1.00001 constant

Turbulence

Specification Method: K and Epsilon

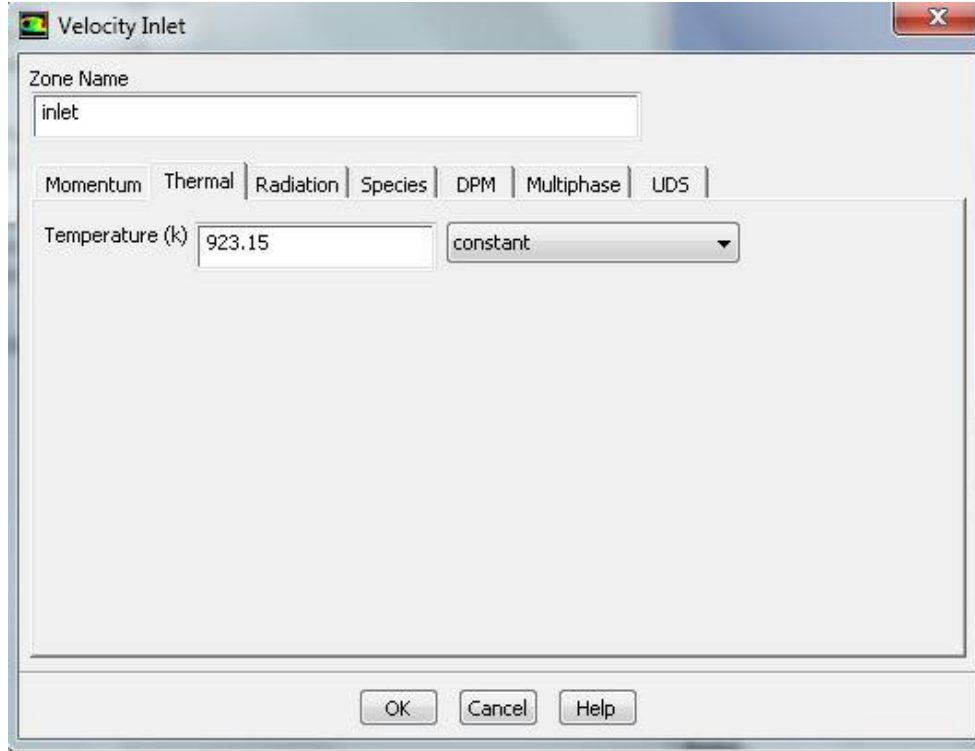
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2): 0.01151303 constant

Turbulent Dissipation Rate (m2/s3): 5.48782e-10 constant

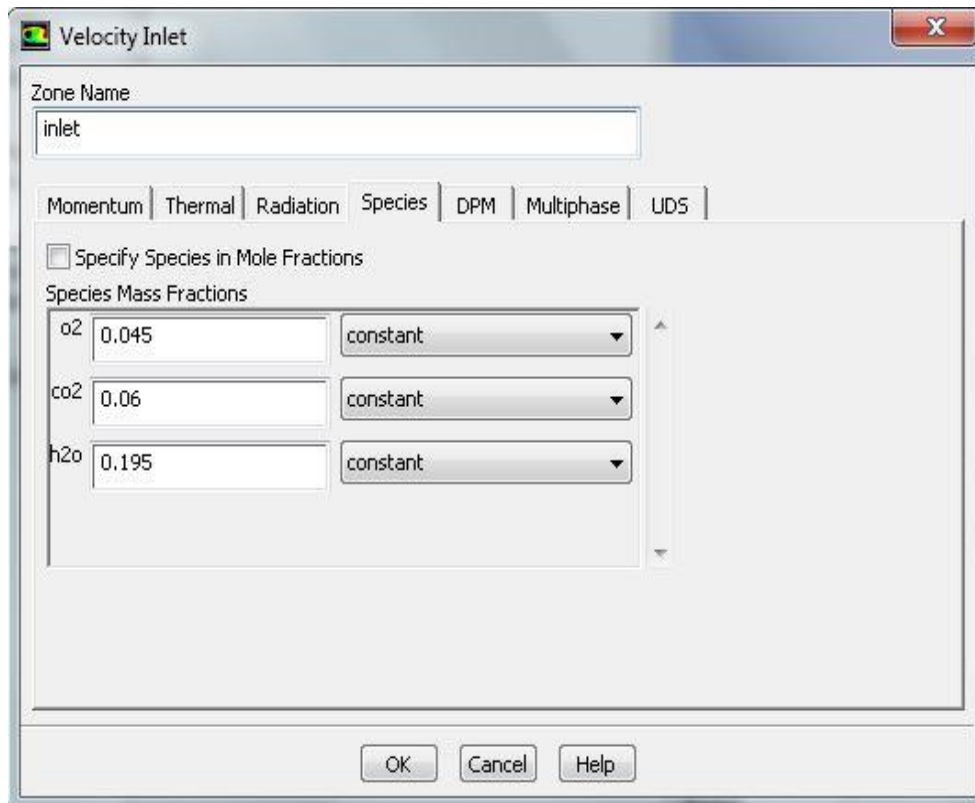
OK Cancel Help

Şekil 3.29. Momentum bölümü seçim ekranı

Seçim ekranında momentum bölümünde; hız, basınç, k ve epsilon değerleri, Thermal bölümünde; sıcaklık değeri ve Species bölümünde ise karışımı oluşturan gazların yüzdelik oranları girilmiştir. Standart k-omega modelinde epsilon değerinin yerine omega değeri girilmiştir.



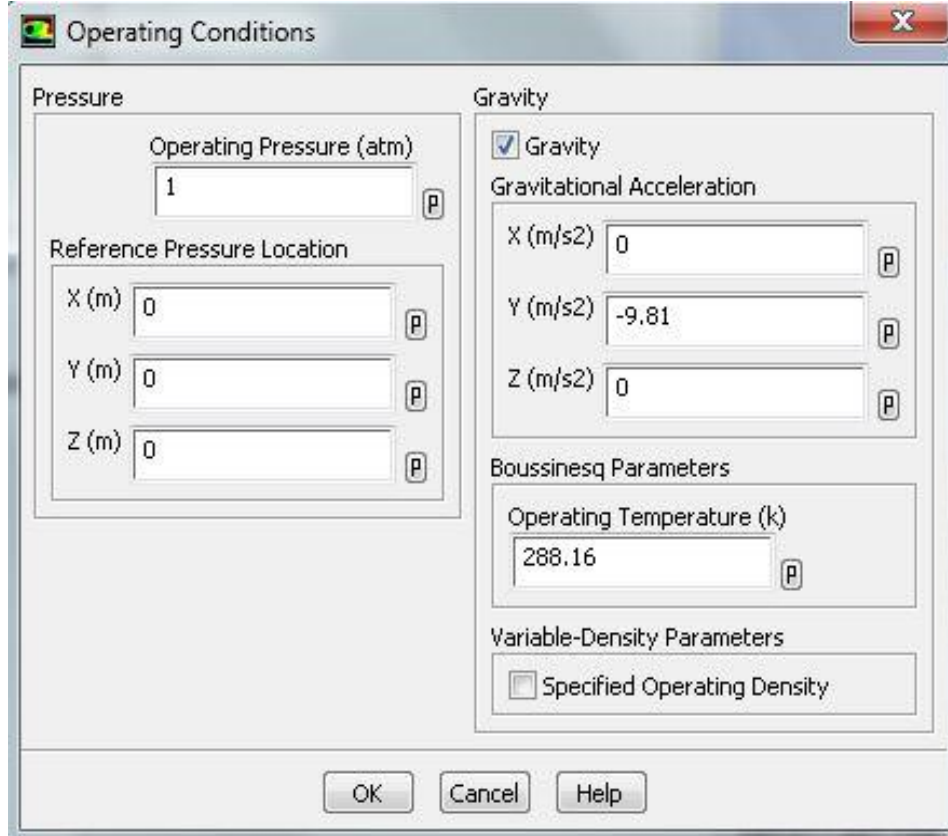
Şekil 3.30. Thermal bölümü seçim ekranı



Şekil 3.31. Species bölümü seçim ekranı

Bu seçimlerden sonra yerçekimi ivmesi ve dış ortam sıcaklığı aşağıdaki adımlar izlenmiş ve seçim ekranı Şekil 3.32’de gösterilmiştir.

Program Setup → General → Boundary Conditions → Inlet → Operating Conditions



Şekil 3.32. Operating Conditions bölümü seçim ekranı

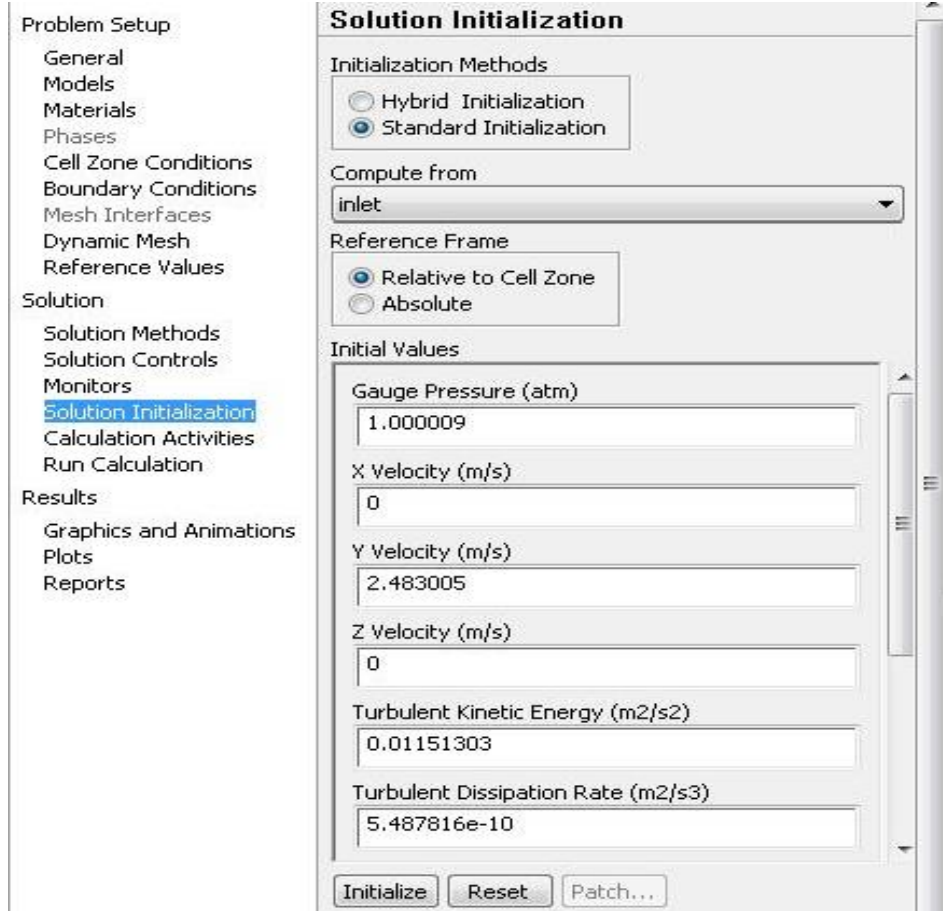
Bu işlemler tamamlandıktan sonra programı çalıştırmak için sınır şartlarını programa tanımlamak gerekmektedir. Bu işlem için aşağıdaki adımlar izlenip Şekil 3.33’te gösterildiği gibi tamamlanmıştır.

Program Setup → General

Initialize Methods → Solition Initialization

Compute From → Inlet

Yukarıdaki adımlar tamamlandıktan sonra problemin çözümünde uygulanacak olan sınır şartları liste halinde “Initial Values” bölümünde gösterilmiştir. Bu bölümde sınır şartları doğrulandıktan sonra “Initialize” butonu ile bu adımlar onaylanmıştır.

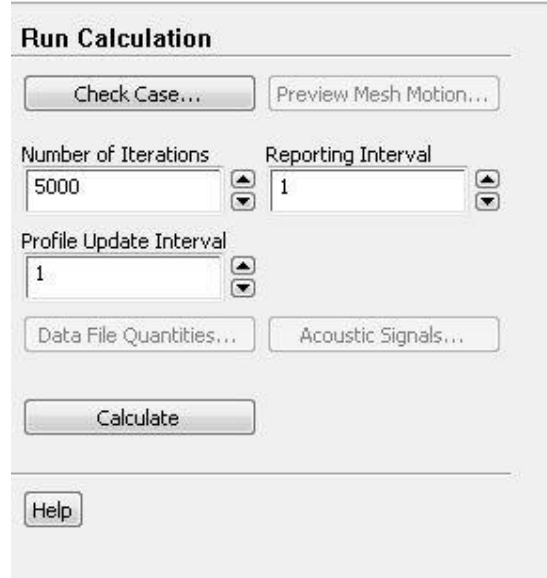


Şekil 3.33. Solition Initialization bölümü seçim ekranı

Ansyes Fluent programında sınır şartları tanımlandıktan sonra programı çalıştırmak için aşağıdaki adımların izlenmesi gerekmektedir.

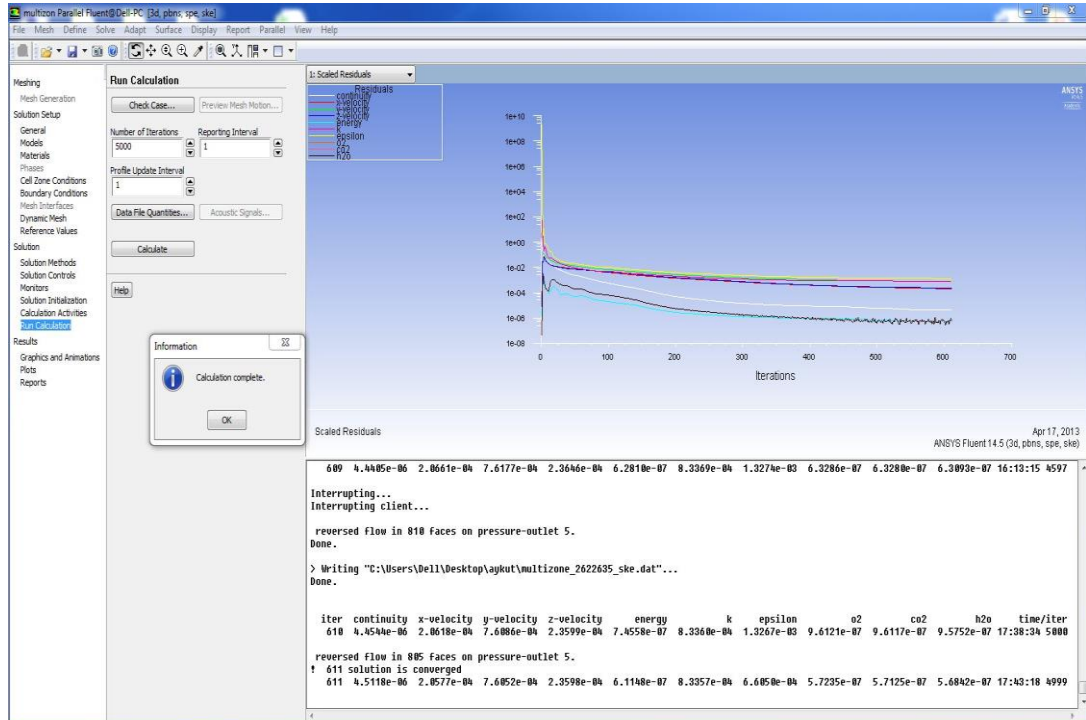
Program Setup → General → Run Calculation

Bu kabuller neticesinde elde edilen diferansiyel denklemler, program içinde sıralı şekilde arka arkaya çözülmüştür. Programın bir özelliği de Navier-Stokes denklemlerini bir basınç düzeltme yöntemi kullanılması gerekmesidir. Basınç düzeltme faktörü olarak SIMPLE (Semi Implicit Method of Pressure Linked Equations) yöntemi seçilmiştir. Diğer basınç düzeltme faktörleri olarak ise ayrıca SIMPLEC, SIMPLER ve PISO metotları mevcuttur. Daha sonra ise diğer denklemler (türbülans ve enerji denklemleri) çözülmüştür. Bu adımlar tamamlandıktan sonra Şekil 3.34'deki seçim ekranında Number of Iterations bölümünde programın Iteration sayısı belirlenmiştir. Programı çalıştırırken seçilecek Iterations sayısı her türbülans modelinde farklılık gösterdiğinden dolayı yaklaşık olarak bu değer 5000 seçilmiştir.



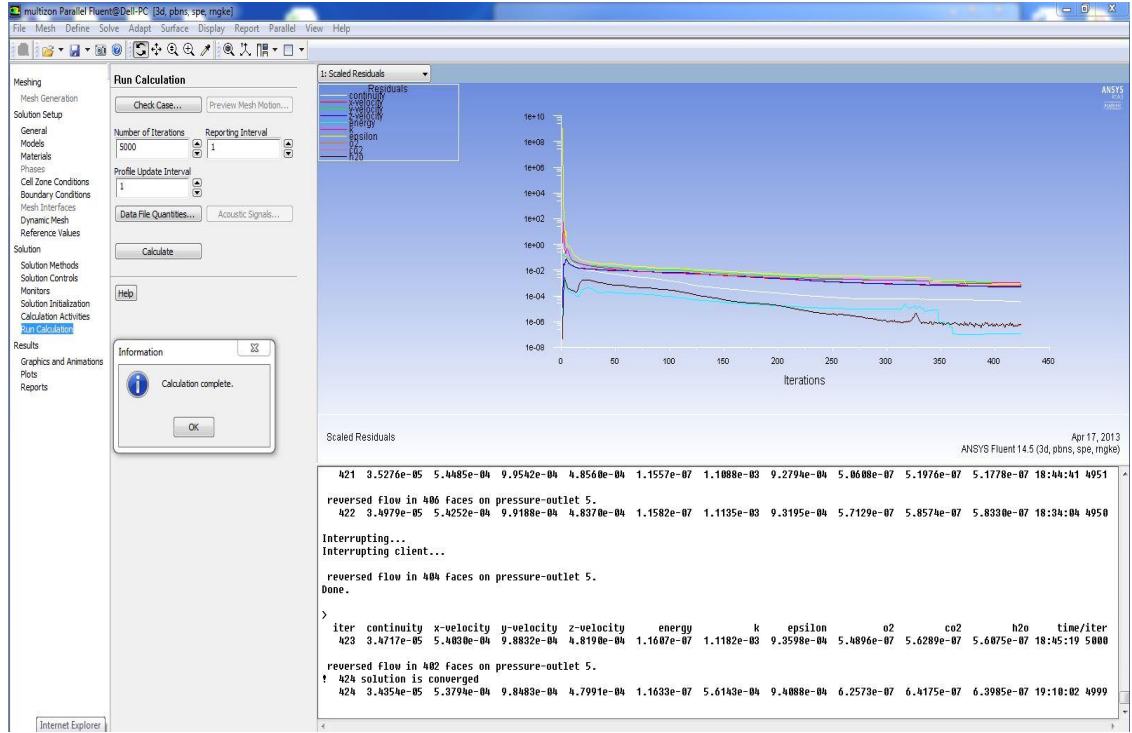
Şekil 3.34. Run Calculation bölümü seçim ekranı

Analizler tamamlandığında Ansys Fluent programı “Calculation Complete” uyarısı vermiştir. Bu uyarı çözümün tamamlandığını göstermektedir.

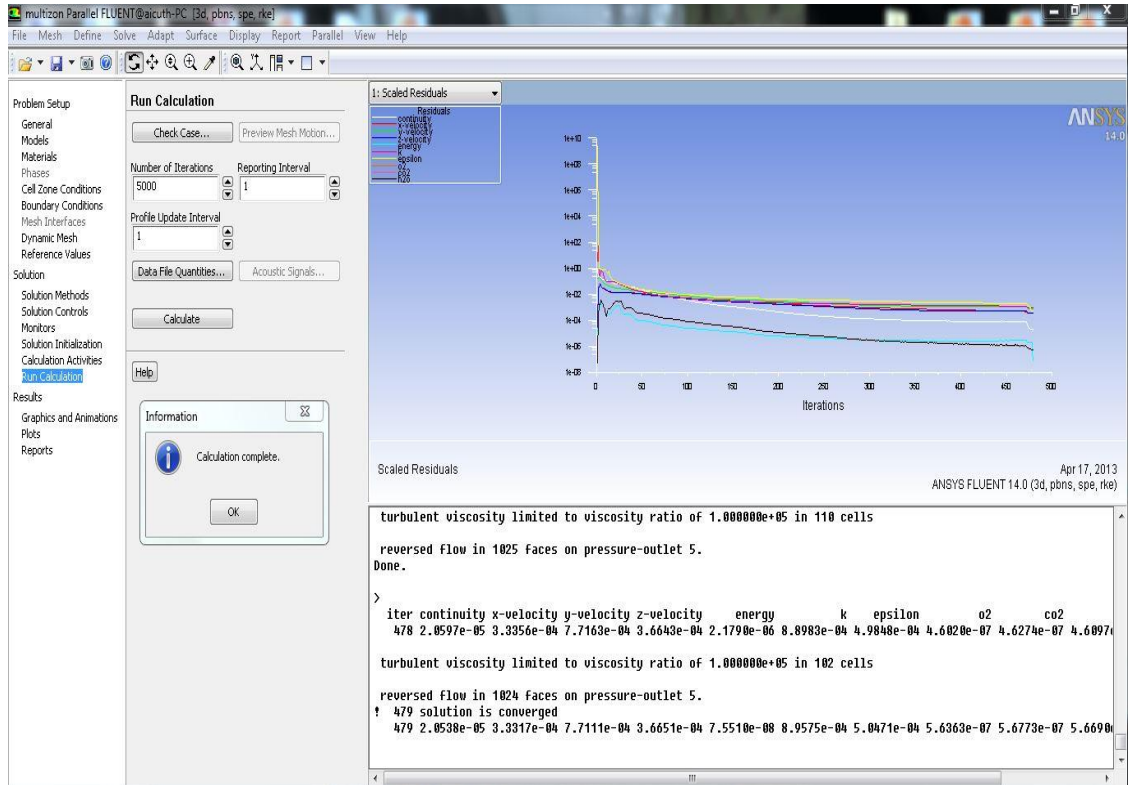


Şekil 3.35. Standart k-epsilon modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü

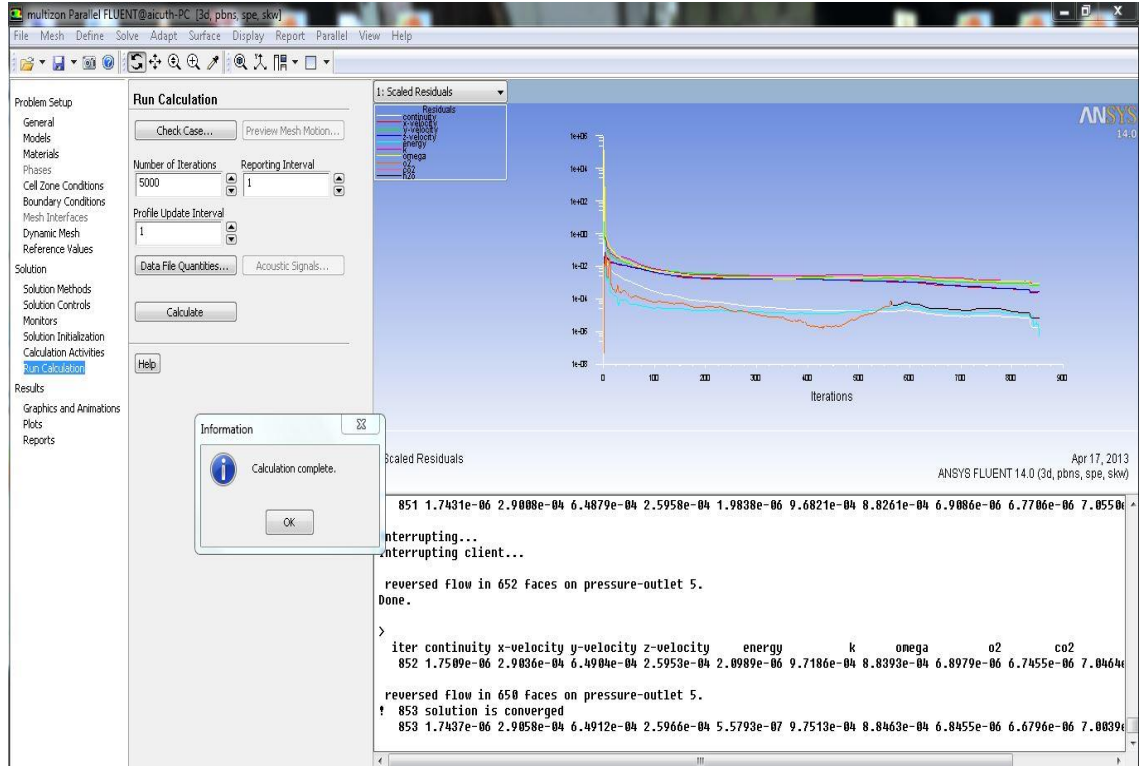
Şekil 3.35’de Standart k-epsilon modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü verilmiştir. Diğer türbülans modellerine ait ekran görüntüleri Şekil 3.36, 3.37 ve 3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3.36. RNG k-epsilon modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü



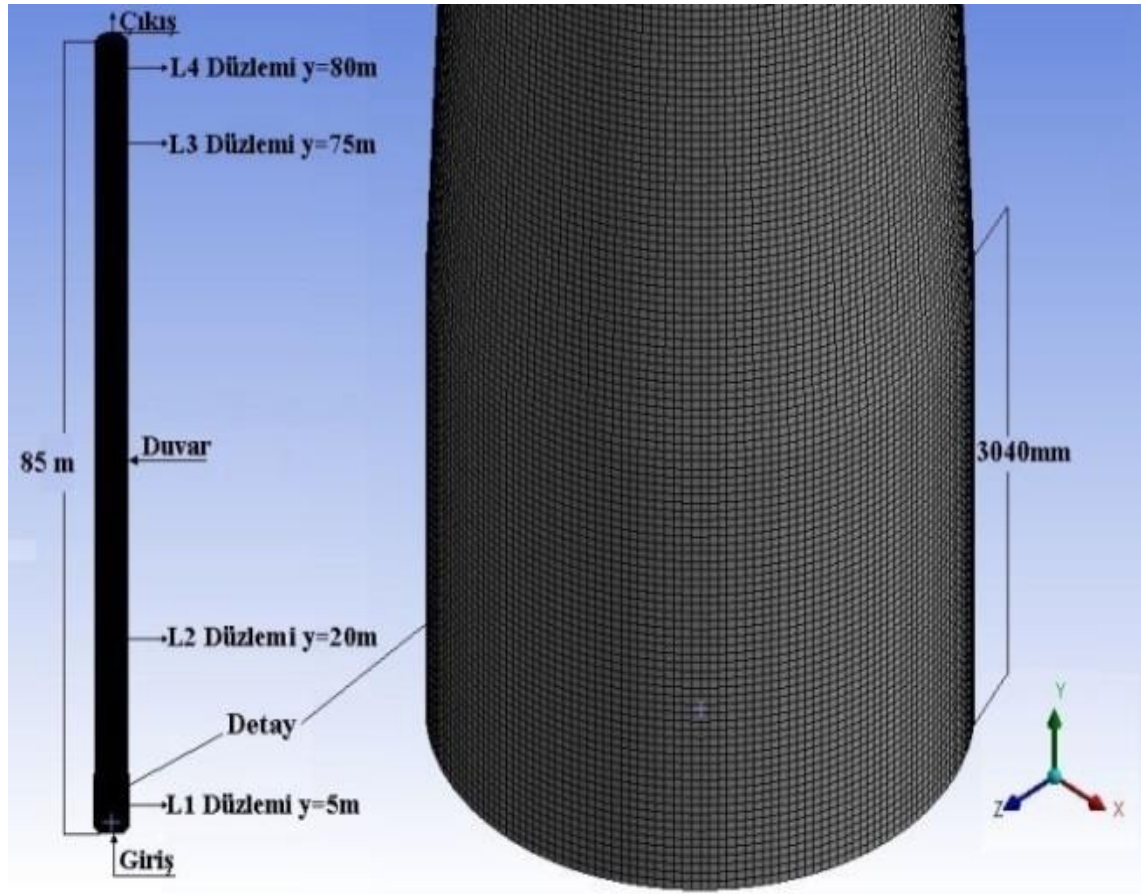
Şekil 3.37. Realizable k-epsilon modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü



Şekil 3.38. Standart k-omega modeli analizinin tamamlandığını gösteren ekran görüntüsü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği modellemesi yapılan tav fırın bacasında meydana gelen türbülanslı akış, bacanın çeşitli kesitlerinden elde edilen sıcaklık dağılımları ve akım çizgileri cinsinden sunulmuştur. Çözüm sonuçları, Ansys Fluent 14.0 programının CFD Post modülü ile alınmıştır. Sonuçların düzlemsel ve çizgisel olarak hız ve sıcaklık dağılımlarının incelenmesi için çözüm alanının farklı bölgelerinde düzlemler ve çizgiler oluşturulmuştur. Bu düzlemler ve çizgiler üzerinde elemeler yapılmış ve nihai sonuca ulaşabileceğimiz düzlemler ve çizgiler üzerinde çalışılmıştır. Çözüm alanında L1, L2, L3 ve L4 düzlemleri Şekil 4.1’de belirtildiği gibi oluşturulmuştur. L1 düzlemi baca tabanından 5 m, L2 düzlemi 20 m, L3 düzlemi 75 m ve L4 düzlemi 80 m yüksekliktedir.

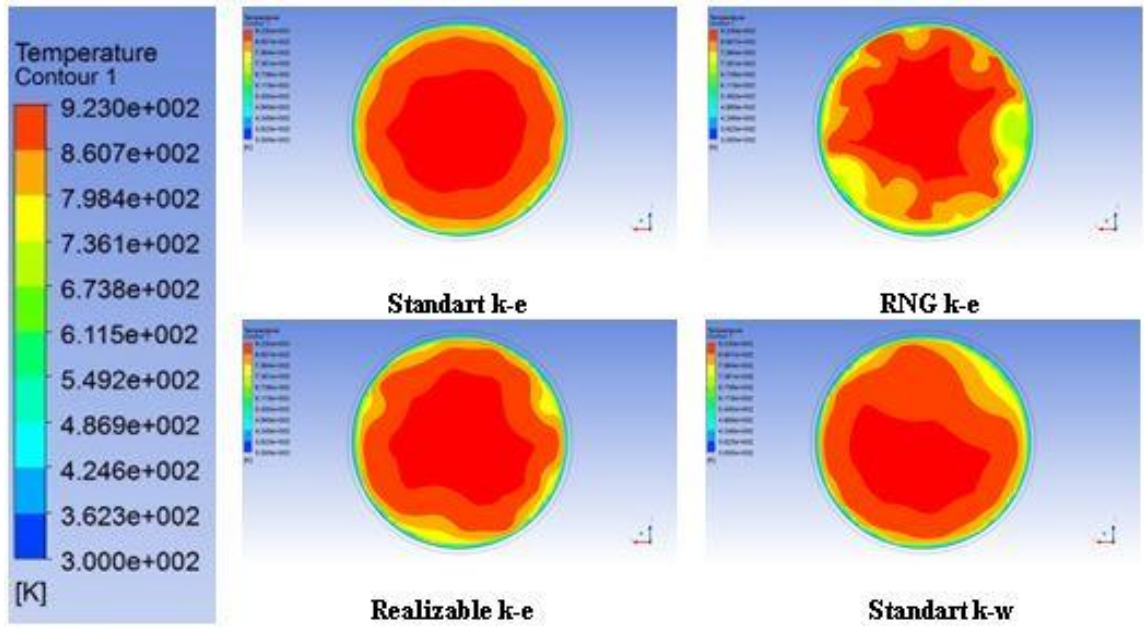


Şekil 4.1. L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin model üzerinde görünümü

Ayrıca her model için geometrinin belirli bölgelerinde çizgiler oluşturulmuş ve bu çizgiler üzerinde sıcaklık ve hız dağılımları incelenmiştir. Çözüm alanında L3 ve L4

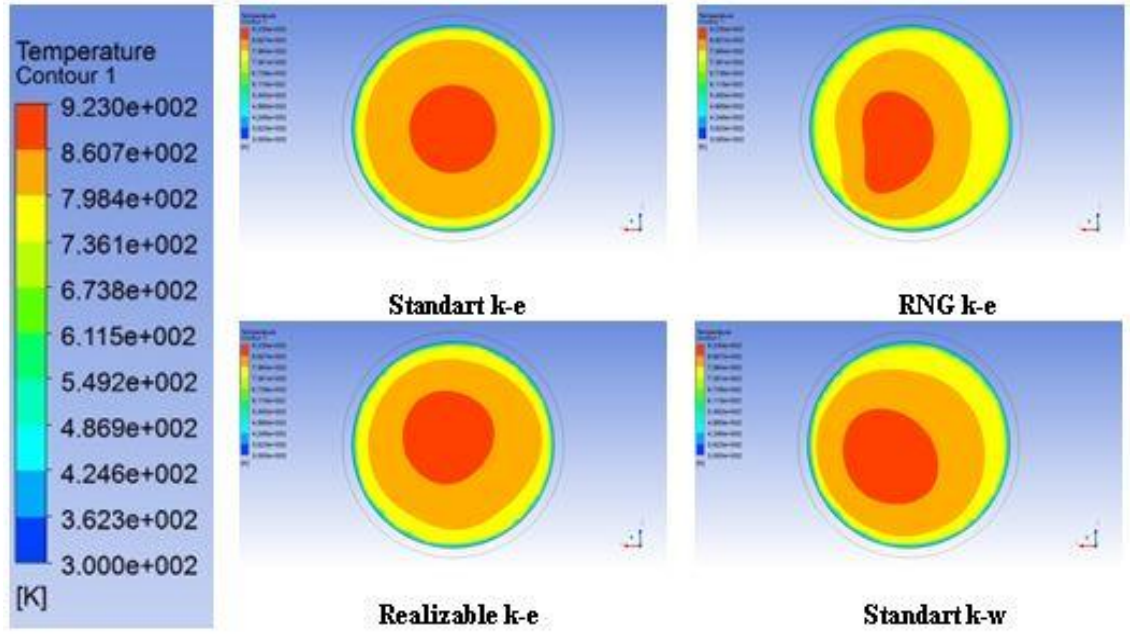
düzlemlerinin x-simetri çizgileri üzerinde ve $z = 0,75$ m ve $z = -0,75$ m’de bacanın girişinden çıkışına kadar çizgiler oluşturulmuştur.

Sıcaklık dağılımları ve akım çizgilerinin sıcaklık ve hız değerleri bir skala halinde şekillerin sol tarafında ve elde edilen sonuçlar bir dizi halinde şekillerde gösterilmiştir. Sıcaklık dağılımlarında en yüksek sıcaklık 923 K değerinde olup, baca merkezinde oluşmuş, en düşük sıcaklık değeri ise 300 K değerinde olup, duvarlarda meydana gelmiştir. Akım çizgilerinin hız dağılımı her bir düzlem için farklı değerlerden oluşturulmuştur.



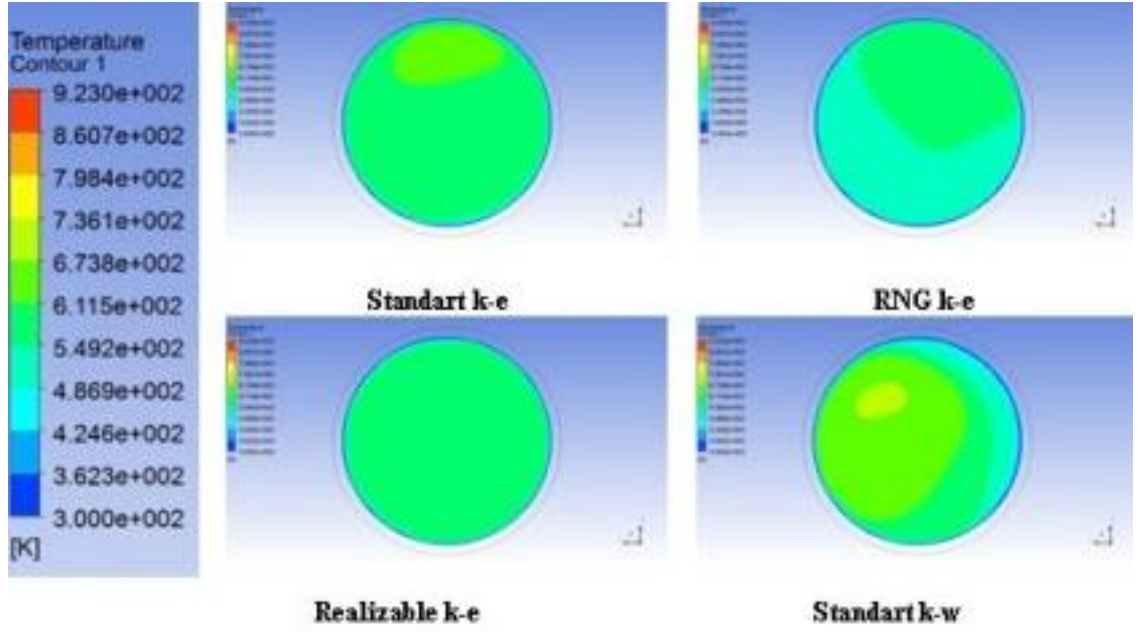
Şekil 4.2. L1 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları

Şekil 4.2’de L1 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen sıcaklık dağılımları verilmiştir. Bu düzlemde ortalama sıcaklık değerleri Standart k-epsilon modelinde 887,288 K, RNG k-epsilon modelinde 864,509 K, Realizable k-epsilon modelinde 884,665 K ve Standart k-omega modelinde 881,762 K olarak hesaplanmıştır. Tüm türbülans model simülasyonlarında baca merkezindeki sıcaklık maksimum seviyede olup, bu seviye merkezden duvarlara doğru yaklaştıkça çok az bir azalma göstererek korunmakta, duvar yakınlığında ise aniden düşmektedir. RNG k-epsilon modelinde merkezden duvarlara doğru yaklaştıkça, bu ani sıcaklık düşüşünün daha erken başlaması dikkat çekmektedir.



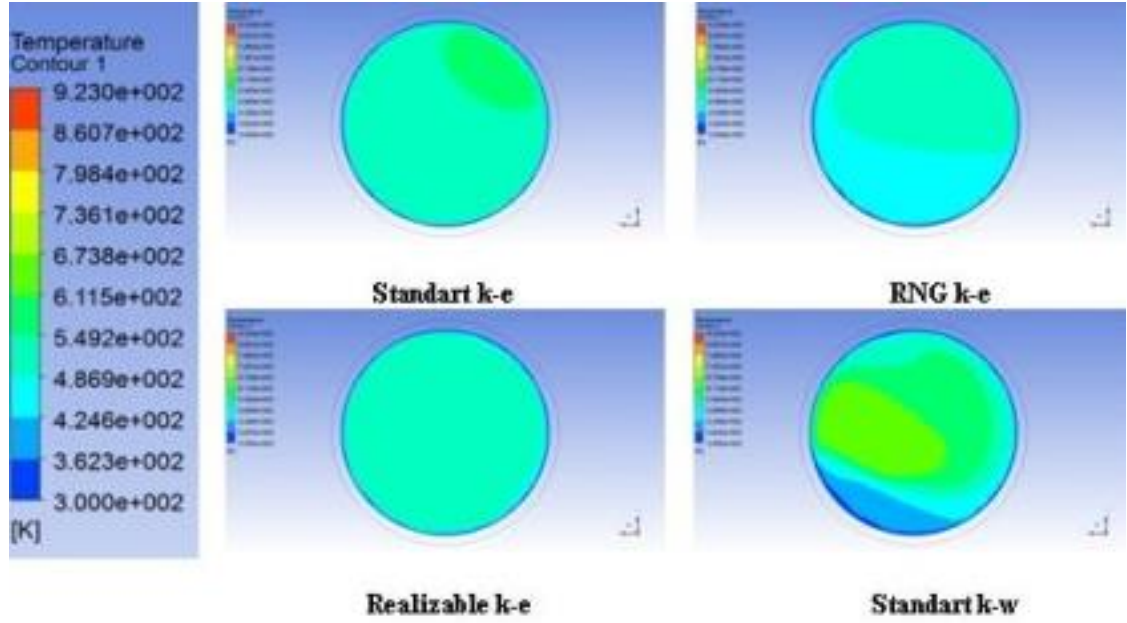
Şekil 4.3. L2 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları

Şekil 4.3'te L2 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen sıcaklık dağılımları verilmiştir. Şekil 4.3'te L2 düzleminde hesaplanan ortalama sıcaklık değerleri Standart k-epsilon modelinde 823,394 K, RNG k-epsilon modelinde 808,546 K, Realizable k-epsilon modelinde 821,981 K ve Standart k-omega modelinde 819,286 K olduğu görülmüştür. Bu düzlemde tüm model simülasyon sonuçlarına göre, baca duvarlarında 300 K olan sıcaklık değeri, merkezde yaklaşık 923 K değerine ulaşarak, baca merkezinde bir maksimum nokta yaratacak şekilde bir sıcaklık profili meydana getirmiştir.



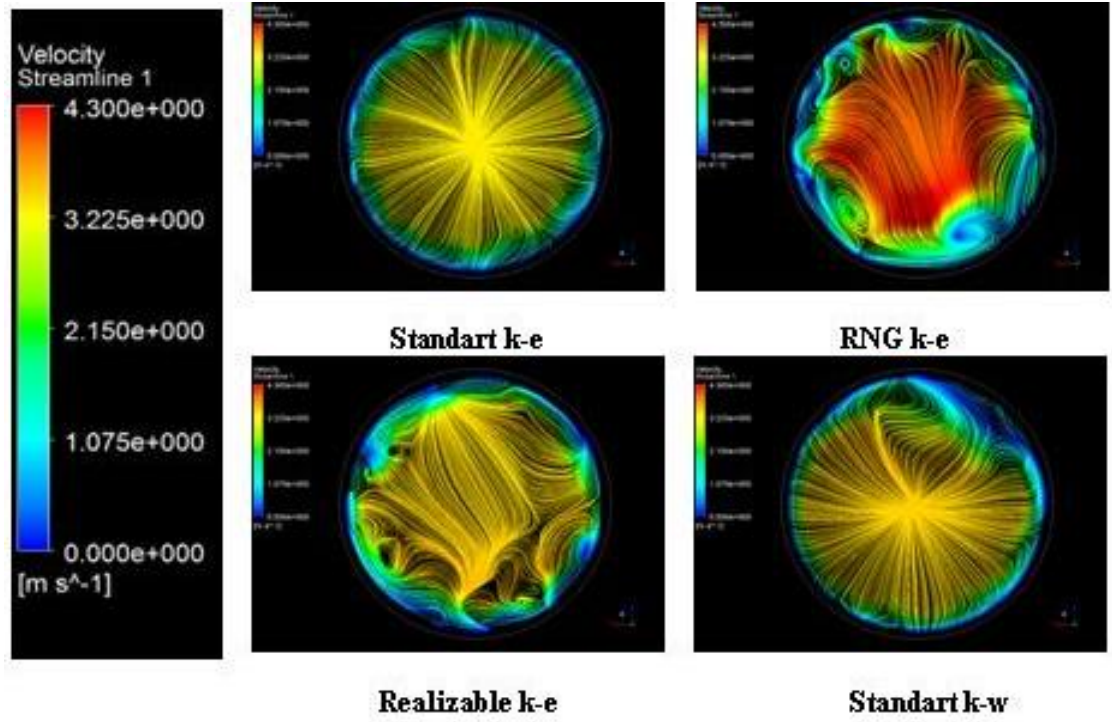
Şekil 4.4. L3 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları

Şekil 4.4’de L3 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen sıcaklık dağılımları verilmiştir. Şekil 4.4’de L3 düzleminde hesaplanan ortalama sıcaklık değerleri Standart k-epsilon modelinde 588,774 K, RNG k-epsilon modelinde 545,523 K, Realizable k-epsilon modelinde 585,438 K ve Standart k-omega modelinde 603,616 K olarak hesaplanmıştır. Standart k-omega modelinde baca merkezinden geçen x-simetri ekseninin sağ üst bölümünde sıcaklığın daha yüksek olduğu bir bölgeye rastlanmaktadır.



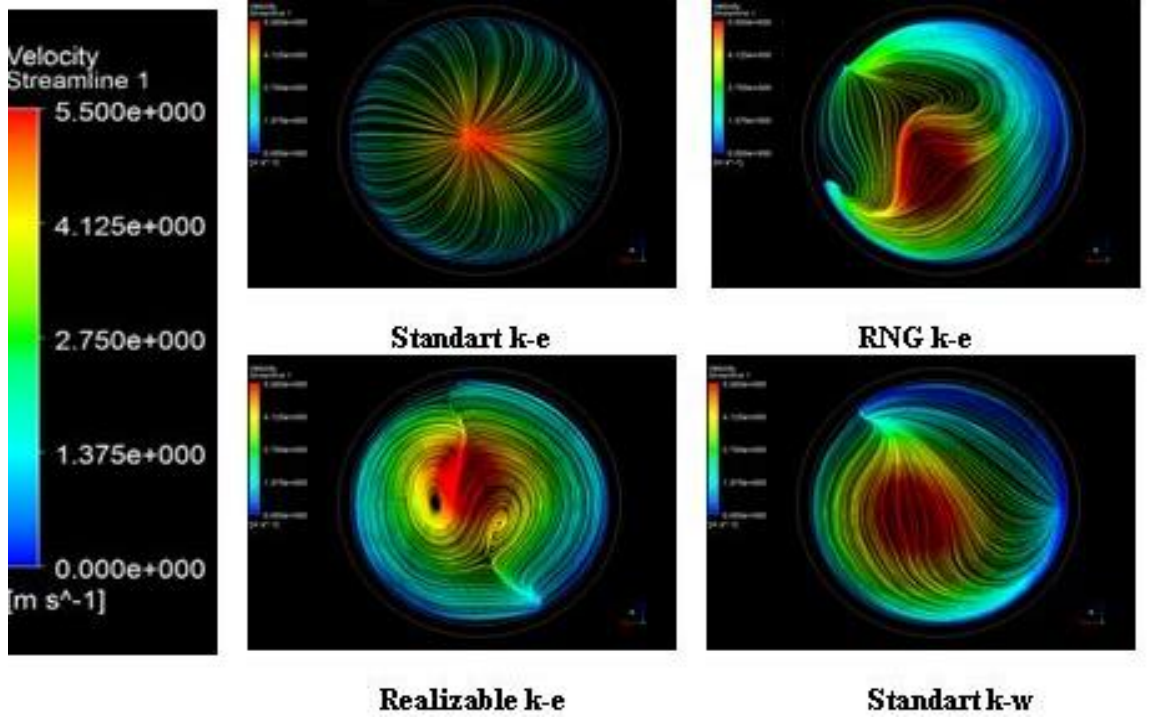
Şekil 4.5. L4 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları

Şekil 4.5’de L4 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen sıcaklık dağılımları verilmiştir. Şekil 4.5’de L4 düzleminde hesaplanan ortalama sıcaklık değerleri L4 düzleminde Standart k-epsilon modelinde 531,736 K, RNG k-epsilon modelinde 493,403 K, Realizable k-epsilon modelinde 515,898 K ve Standart k-omega modelinde 546,152 K olarak hesaplanmıştır. Bu düzlemde Standart k-epsilon, Realizable k-epsilon ve RNG k-epsilon model çözüm sonuçlarına göre, sıcaklık konturları neredeyse homojen bir dağılım göstermektedir. Ancak Standart k-omega modelinde baca merkezinden geçen x-simetri ekseninin sol alt bölümünde sıcaklığın daha düşük olduğu bir bölgeye rastlanmıştır.



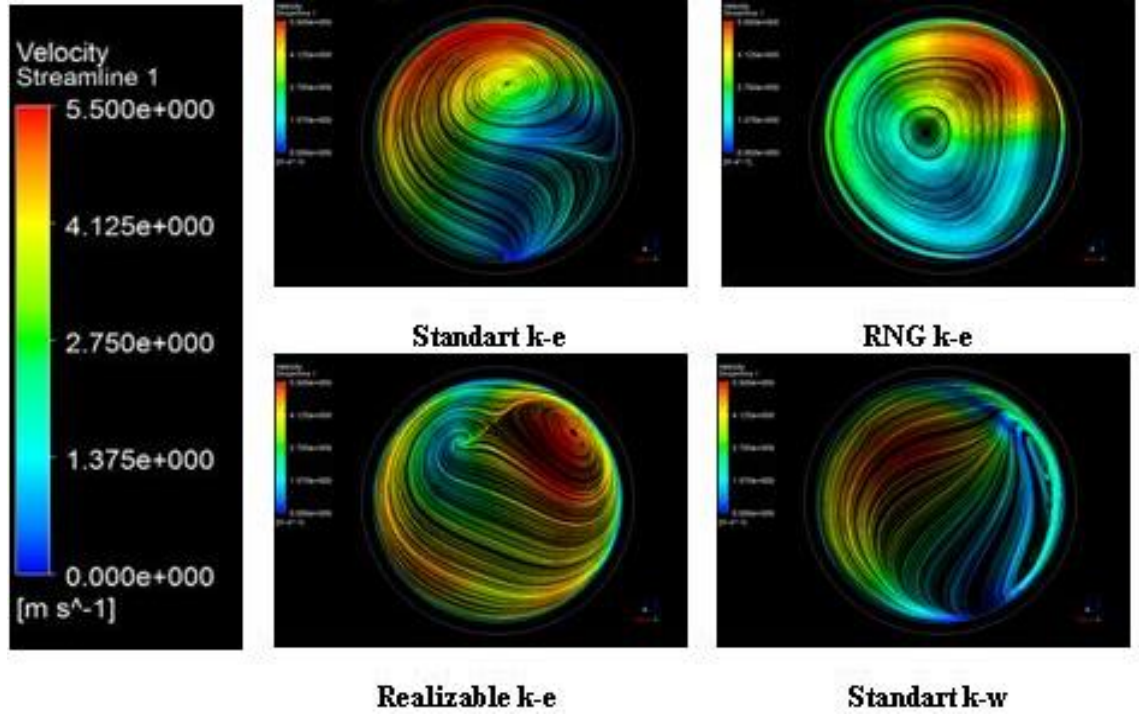
Şekil 4.6. L1 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri

Şekil 4.6’da L1 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen akım çizgileri verilmiştir. Bu düzlemdeki ortalama hız değerleri Standart k-epsilon modelinde 2,67 m/s, RNG k-epsilon modelinde 2,86 m/s, Realizable k-epsilon modelinde 2,71 m/s ve Standart k-omega modelinde 2,73 m/s olarak hesaplanmıştır. Standart k-epsilon ve Standart k-omega modellerinde L1 düzleminde meydana gelen akım çizgileri baca duvarlarından merkeze doğru yönlendirilmiş; RNG k-epsilon ve Realizable k-epsilon modellerinde ise baca duvarlarına yakın bölgelerde yer yer girdaplar meydana gelmiştir. RNG k-epsilon modelinde hız mertebesinin, diğer modellere göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.



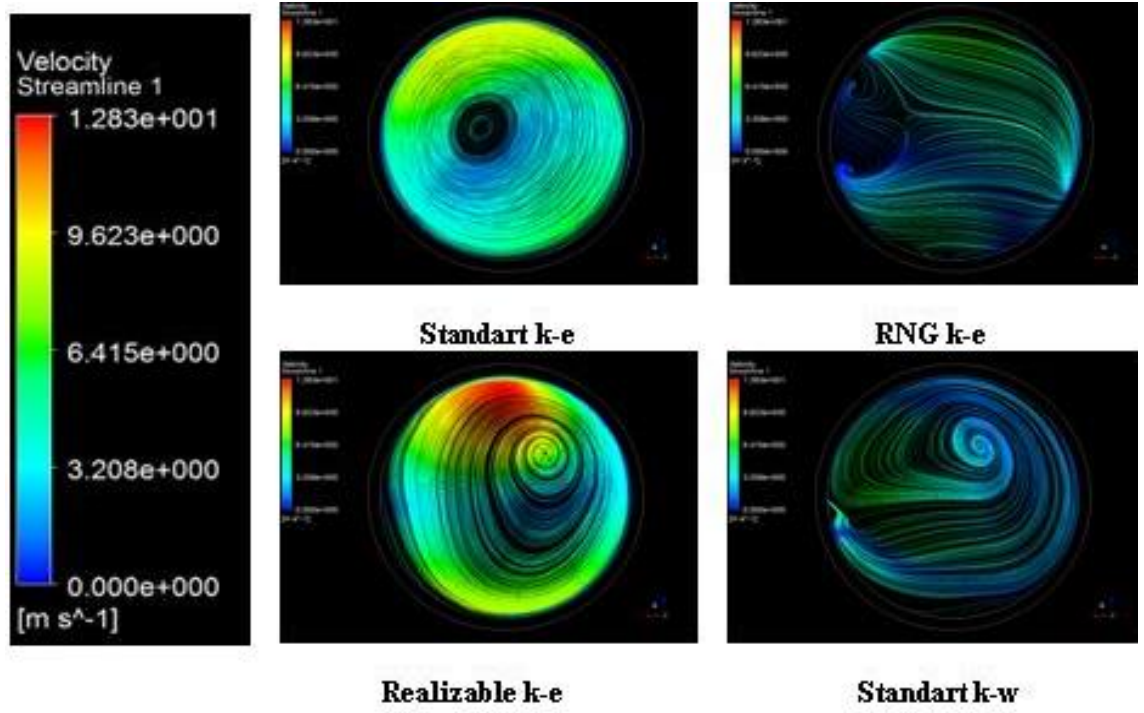
Şekil 4.7. L2 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri

Şekil 4.7’de L2 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen akım çizgileri verilmiştir. Bu düzlemdeki ortalama hız değerleri Standart k-epsilon modelinde 2,72 m/s, RNG k-epsilon modelinde 2,81 m/s, Realizable k-epsilon modelinde 2,75 m/s ve Standart k-omega modelinde 2,71 m/s olarak hesaplanmıştır. L2 düzleminde Standart k-epsilon model simülasyonuna göre akış merkezden duvarlara doğru yönelmiştir. Standart k-omega modelinde akış, bacanın merkezinden geçen x-simetri düzleminin sol-üstündeki bir noktadan başlayarak, aynı simetri ekseninin sağındaki bir noktaya doğru hareket edecek şekilde tüm düzleme yayılarak gelişmiştir. RNG k-epsilon modelinde de yaklaşık aynı noktadan yayılmaya başlayan akış, simetri ekseninin sol-altında bulunan bir noktaya doğru hareket ederek, bu noktada saat yönünde dönen bir girdap meydana getirmiştir. Realizable k-epsilon modelinde bacanın merkezi civarında iki tane girdap meydana gelmiş, ayrıca akış simetri ekseninin altında bir noktaya doğru yönelmiştir. Şekil 4.7’nin sol tarafında bulunan hız kontur değerleri incelendiğinde, L2 düzlemindeki tüm modellerde, duvarlarda hız sıfır iken, merkezde bir maksimum hız yaratacak şekilde yaklaşık 6 m/s değerine kadar yükselmiştir.



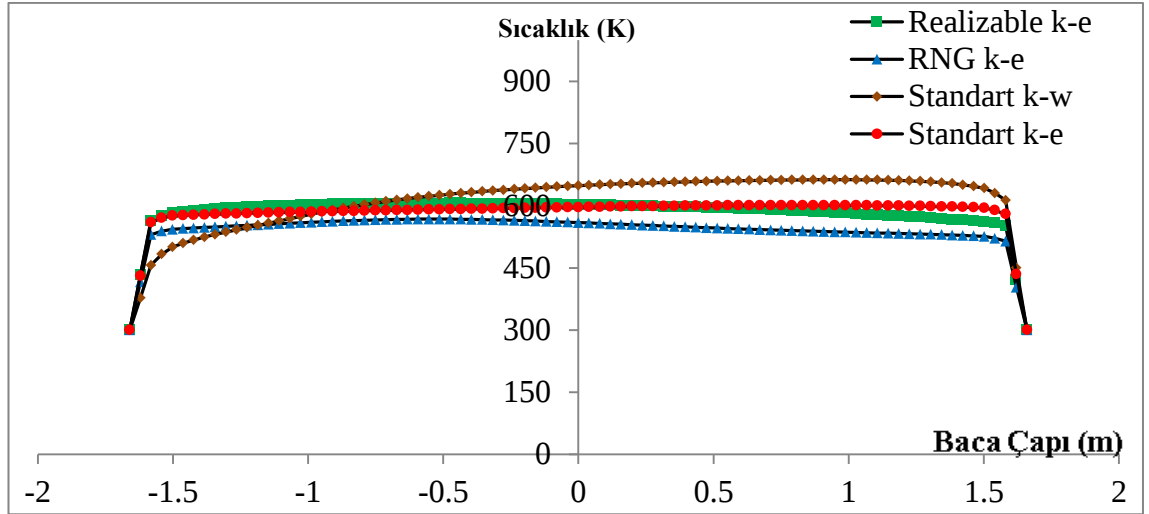
Şekil 4.8. L3 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri

Şekil 4.8’de L3 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen akım çizgileri verilmiştir. Bu düzlemdeki ortalama hız değerleri Standart k-epsilon modelinde 2,70 m/s, RNG k-epsilon modelinde 2,63 m/s, Realizable k-epsilon modelinde 3,86 m/s ve Standart k-omega modelinde 2,72 m/s olarak hesaplanmıştır. RNG k-epsilon model çözümüne göre, L3 düzleminin orta bölgesinde çok güçlü girdap meydana gelmiş, Realizable k-epsilon modelinde bir büyük ve bir küçük olmak üzere iki tane, Standart k-epsilon modelinde bir büyük, Standart k-omega modelinde sağ kenarda bir küçük girdap oluşmuştur. L3 düzleminde her model çok farklı bir akış yapısının oluşmasına neden olmuştur.



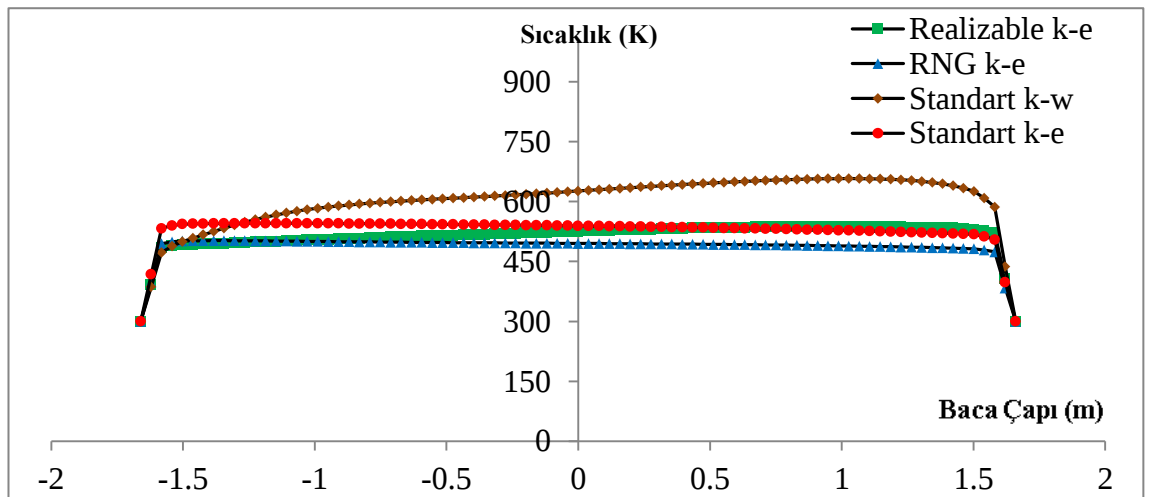
Şekil 4.9. L4 düzleminde farklı türbülans model simülasyonlarından elde edilen akım çizgileri

Şekil 4.9’da L4 düzleminde türbülans modellerinden elde edilen akım çizgileri verilmiştir. Bu düzlemdeki ortalama hız değerleri Standart k-epsilon modelinde 4,99 m/s, RNG k-epsilon modelinde 3,42 m/s, Realizable k-epsilon modelinde 6,07 m/s ve Standart k-omega modelinde 3,27 m/s olarak hesaplanmıştır. Standart k-epsilon ve Realizable k-epsilon model çözümlerinde L4 düzleminin merkezine yakın bölgede saat yönünde dönen çok güçlü bir girdap oluşmuştur. RNG k-epsilon model çözümünde düzlemin sol tarafında iki küçük girdap, Standart k-omega model çözümünde ise düzlemin ortalarında ve sol köşesinde birer küçük girdap oluşmuştur.



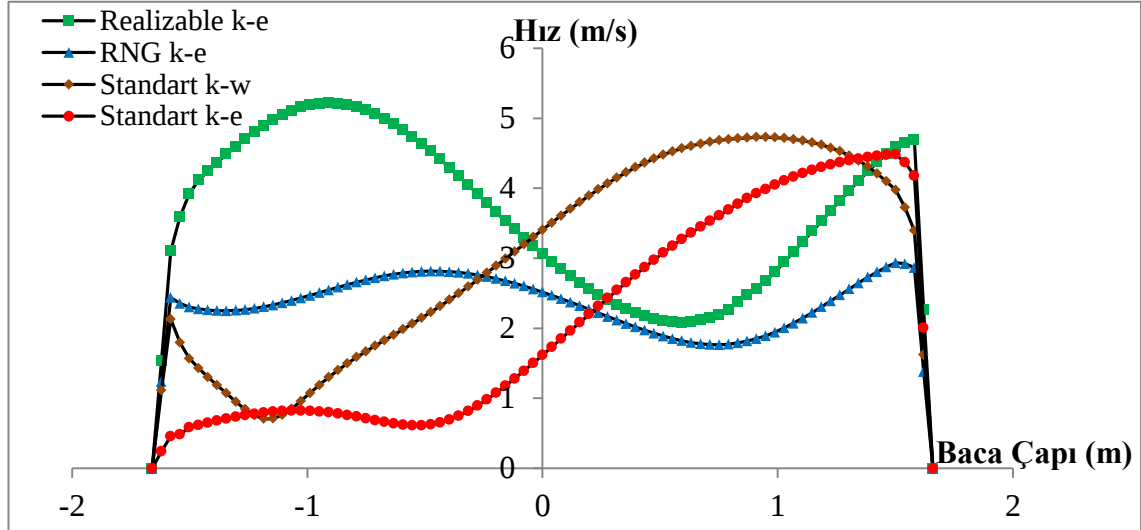
Şekil 4.10. L3 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.10'da L3 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi üzerindeki sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. 0 noktası bacanın merkez noktasına karşılık gelmektedir. Standart k-epsilon, RNG k-epsilon ve Realizable k-epsilon modellerinde, bacanın merkez çizgisi boyunca sıcaklık neredeyse sabit kalmıştır. Baca merkezindeki en yüksek sıcaklık standart k-omega modelinde, en düşük sıcaklık ise RNG k-epsilon modelinde elde edilmiştir. Standart k-epsilon ve Realizable k-epsilon modellerinden elde edilen sıcaklık değerleri neredeyse eşit bulunmuştur. Merkez noktasının sağ tarafında en yüksek sıcaklık değeri yine Standart k-omega model çözümünden elde edilmiştir.



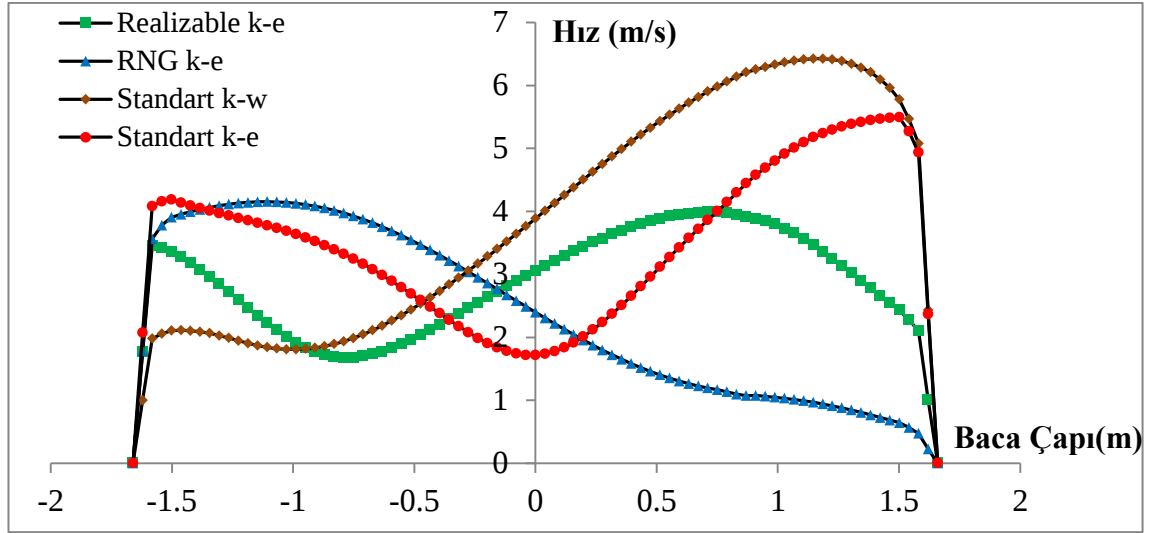
Şekil 4.11. L4 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.11, L4 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi üzerindeki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Şekil 4.11'e göre L4 düzleminde Standart k-omega model çözümünden elde edilen sıcaklık dağılımı ile diğer model çözümlerinden elde edilen sıcaklık dağılımları arasındaki fark L3 düzlemine göre artış göstermiştir.



Şekil 4.12. L3 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi boyunca hız dağılımı

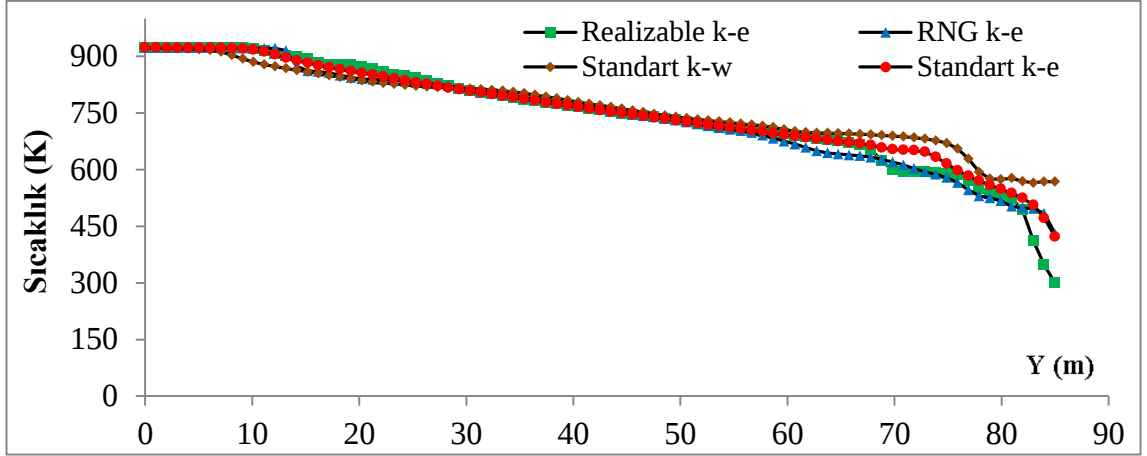
Şekil 4.12, L3 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi boyunca türbülans model çözümlerinden elde edilen hız dağılımlarını göstermektedir. Şekil 4.12'ye göre, L3 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi boyunca elde edilen hız dağılımına göre; Realizable k-epsilon modeline göre düzlemin sol tarafında bir maksimum, sağ tarafında ise bir minimum hız noktası oluşmaktadır. Standart k-omega modelinde ise sol tarafta bir minimum hız noktası, sağ tarafta ise bir maksimum hız noktası oluşmaktadır. Standart k-epsilon modelinde sağ tarafta hız sürekli olarak bir artış göstermektedir.



Şekil 4.13. L4 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi boyunca hız dağılımı

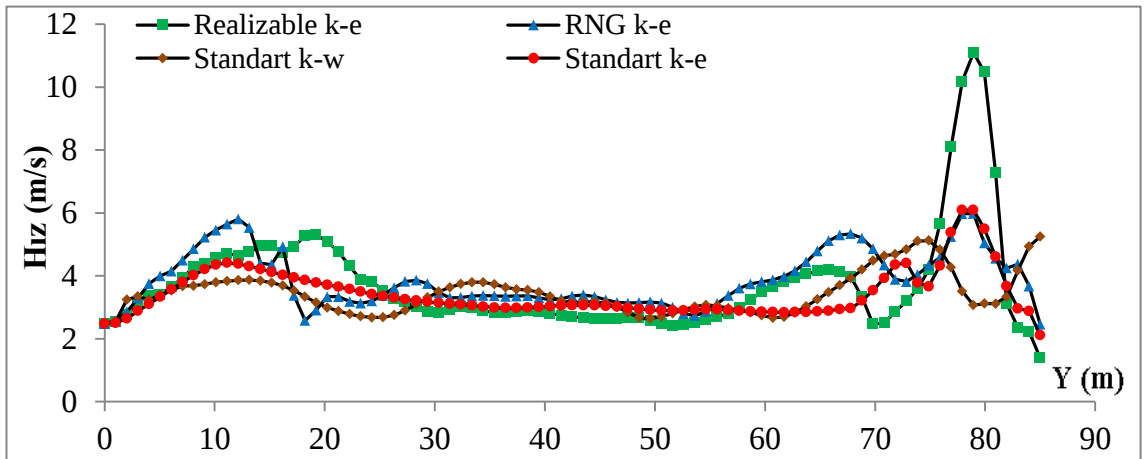
Şekil 4.13, L4 düzleminin merkezinden geçen x-simetri çizgisi boyunca türbülans model çözümlerinden elde edilen hız dağılımlarını göstermektedir. Şekil 4.13'e göre, L4 düzleminde ise Standart k-omega modeli yine aynı eğilimde olup, solda ve sağda sırasıyla bir minimum ve bir maksimum hız noktası oluşmuştur. Standart k-epsilon modeli ise minimum noktasını tam merkezde oluşturmuştur. Realizable k-epsilon, L3 düzlemindeki davranışın aksine, solda bir minimum ve sağda bir maksimum nokta meydana getirmiştir. RNG k-epsilon modeli ise sağ tarafta sürekli azalan bir hız profili meydana getirmiştir.

L3 düzlemindeki hız ve sıcaklık alanları (Şekil 4.10 ve Şekil 4.12) ile ve L4 düzlemindeki hız ve sıcaklık alanları (Şekil 4.11. ve Şekil 4.13.) karşılaştırıldığında, Standart k-omega modelinde hız yüksek olduğunda sıcaklıkta buna paralel olarak yüksek olmaktadır. Her iki düzlemde de Standart k-epsilon ve Realizable k-epsilon modellerinde sıcaklık değerleri birbirine çok yakın olmasına rağmen, hız alanlarında bu eğilim gözlenmemiştir.



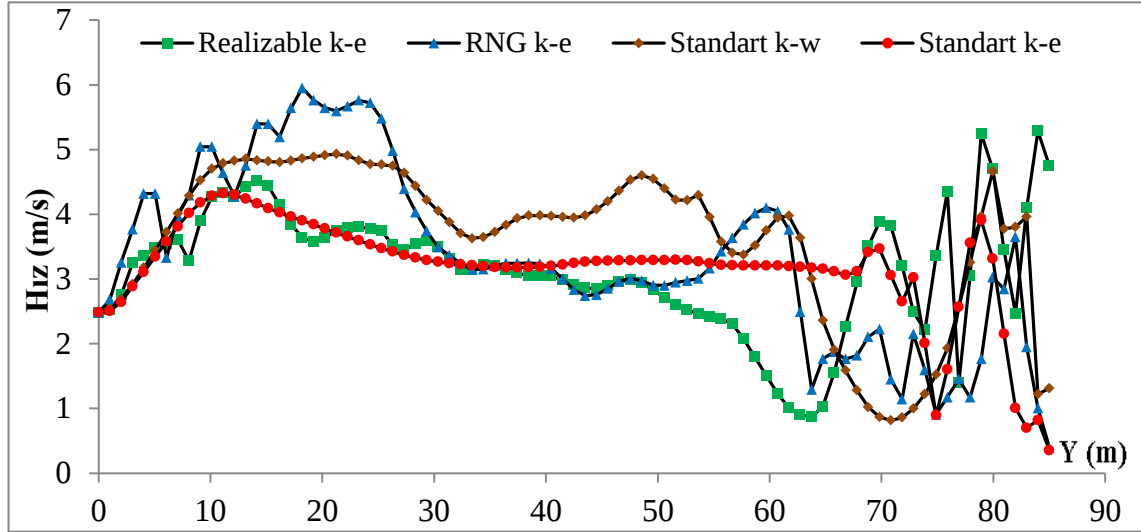
Şekil 4.14. Standart k-e, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon ve Standart k-omega modellerinin $z = 0.75$ m'deki sıcaklık dağılımları

Şekil 4.14, baca merkezinin $z = 0.75$ m sağında bacanın girişinden çıkışına kadar y-ekseni doğrultusunda çizilen çizgiler üzerindeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Şekil 4.14'de problemin çözümünde kullanılan türbülans model çözümlerinden elde edilen sıcaklık profilleri karşılaştırıldığında, baca girişinden 60 m'lik yüksekliğe kadar $z = 0.75$ m çizgileri boyunca sıcaklık dağılımı birbirine çok yakın olup, 60. m'den sonra Standart k-omega hariç diğer modellerde sıcaklık değerlerinde lokal artışlar ve lokal azalmalar meydana gelse de, sıcaklık değerleri genel olarak azalmış, ancak Standart k-omega metodunda sıcaklık değerleri özellikle baca çıkışına doğru yaklaştıkça sabit kalmıştır.



Şekil 4.15. Standart k-epsilon, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon ve Standart k-omega modellerinin $z = 0.75$ m'deki hız dağılımları

Şekil 4.15’de baca merkezinin $z = 0.75$ m sağında bacanın girişinden çıkışına kadar y-ekseni doğrultusunda çizilen çizgi üzerindeki hız dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Standart k-epsilon, RNG k-epsilon, Realizable k-epsilon ve Standart k-omega modellerinin $z = -0.75$ m’deki hız dağılımları

Şekil 4.16’da baca merkezinin $z = -0.75$ m solunda bacanın girişinden çıkışına kadar y-ekseni doğrultusunda çizilen çizgi üzerindeki hız dağılımları gösterilmektedir.

Şekillere göre, baca girişinden çıkışına kadar hızın ve sıcaklığın sürekli değiştiği gözlenmiştir. Her iki şekilde Standart k-epsilon modelinde hız dalgalanmaları daha az hissedilmiştir. $z = 0.75$ m’de baca çıkışına doğru Realizable k-epsilon modelindeki hız artışı diğer modellere göre çok yüksek mertebededir. $z = -0.75$ m’de ise 60 m yükseklikten sonra çıkışa kadar Standart k-omega modeli hariç diğer modellerde çok aşırı hız dalgalanmaları gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan tav fırın bacası girişinden çıkışına kadar çeşitli kesitlerde meydana gelen sıcaklık ve hız alanları belirlenmiş ve kullanılan türbülans modeline bağlı olarak bu alanların etkileşimleri araştırılmıştır. Elde edilen ilk belirlemelere göre, tav fırın bacası girişinden çıkışına doğru ilerledikçe, gaz karışımının sıcaklığı azalmaktadır. Tav fırın bacası içinde daha yüksek seviyelere çıkıldıkça, bacanın merkezi ile duvarları arasında oluşan sıcaklık farkında da bir azalma meydana gelmektedir. Tav fırın bacası içerisinde hareket eden gaz karışımının hız ve sıcaklık verileri her türbülans modelinde farklı bir eğilim göstermiştir.

Standart k-epsilon türbülans model sonuçlarına göre, baca içerisinde sıcaklık profili yaklaşık olarak sabit kaldığı halde, lokal hız profilinde ya sürekli bir artış meydana gelmiş, ya da merkezde bir minimum nokta oluşmuştur. Bu modelde tav fırın bacası boyunca hız dalgalanmaları diğer modellere göre çok daha az olmuş, hatta bacanın ortalarında hemen hemen sabit bir hız değeri elde edilmiştir. Baca çıkışına doğru yaklaşıldıkça, hız dalgalanmaları şiddetlenmiştir. Bu model difüzyon etkilerini modellemede yetersiz kaldığından dolayı böyle bir etkinin meydana geldiği söylenebilir.

RNG k-epsilon türbülans modelinde difüzyon etkileri daha hassas bir şekilde modellendiğinden dolayı, düzlemlerde meydana gelen küçük girdap hareketleri diğer modellere göre çok daha iyi yakalanabilmiştir. Bu modelde lokal sıcaklık profilleri yaklaşık olarak sabit kaldığı halde, hız profilleri ya sürekli bir azalma eğilimi göstermiş, ya da lokal maksimum ve minimum hız noktaları oluşmuştur. Tav fırın bacası çıkışında hız profilinde ani bir artış ve hemen ardından ani bir azalma meydana gelirken, sıcaklıkta keskin bir azalma meydana gelmiştir.

Realizable k-epsilon türbülans modeli girdap hareketlerini daha iyi modelleme özelliğine sahip olmasına rağmen, baca içi akış söz konusu olduğunda, bu modelde hız ve sıcaklık arasında doğru ya da ters orantılı herhangi bir etkileşimin söz konusu olmadığı ve bu nedenle bu modelin baca içi akışı modellemede oldukça yetersiz kaldığı sonucuna varılabilir.

Standart k-omega türbülans modeli sonuçlarına göre, hızın yüksek olduğu baca kesitlerinde sıcaklık da aynı Şekilde yüksek bulunmuŐ, hızın maksimum ve minimum olduğu noktalarda sıcaklığın da maksimum ve minimum olduğu belirlenmiştir. Baca çıkışına yakın bölgelerde hız dalgalanmaları diğer modellere göre daha az oluşmuş ve aynı lokal noktalarda sıcaklık dalgalanmaları da daha az olmuştur. Sonuç olarak Standart k-omega türbülans modeli hariç diğer türbülans modellerinde hız dalgalanmalarının baca içinde oluşan sıcaklık alanını belirli bir eğilim dahilinde etkilemediği, bu nedenle Standart k-omega türbülans modelinin tav fırın bacası i akışını daha doğru ve hassas bir Şekilde modellediğinin sonucuna varılabilir. Bir temel çalışması niteliğinde olan bu çalışmada kullanılan türbülans model sonuçlarına göre ekonomizerli bacaların HAD ile modellenmesinde doğru ısı geri kazanımı bilgilerinin elde edilmesi için Standart k-omega türbülans modelinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Ertem, G., Çelik, B., Yeşilyurt, S., “**Endüstriyel tav fırınlarında ısı dengliği hesaplamaları ve enerji verimliliğinin belirlenmesi**”, IV. Ege Enerji Sempozyumu, İzmir: Ege Üniversitesi, Mayıs 2008.

Kaya, D., Eyidogan, M., Kılınç, “**E. Karışık Yakıtlı (Katı ve Sıvı) Endüstriyel Buhar Kazanlarında Enerji Tasarrufu ve Çevresel Etkisi**”, III. Enerji Verimliliği Kongresi, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, Sayfa 37-49, 31 Mart-2 Nisan 2011.

Versteeg, H.K., and Malalasekera, W., “**Computational Fluid Dynamics**”, London, 1995.

Kayataş, N., “**İç İç Borulu Bir Isı değiştiricisinde Isı Transferinin İyileştirilmesinin Nümerik Olarak İncelenmesi**”, Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2003.

Soruşbay, C., İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgi İşlem Dairesi, www.itu.edu.tr/bid/yazilim/fluent.htm, Kasım 2003.

CENGEL, Y.A., CIMBALA, J.M., “**Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları**”, Çeviri Editörü: ENGIN, T., İzmir Güven Bilimsel Kitabevi, İzmir, 2008.

MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 91, s. 46-55, 2006

Ansys FLuent 14.0 User's Guide, 2013.

Fluent Incorporated Fluent User's Guide Version 6.1, 1998.

BAŞARAN, T., “**Akışkanlar Mekaniği ders notları**”, İzmir, 2007

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu seçmemde ve tez çalışmamda benden yardımlarını ve fikirlerini esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. N. Adil ÖZTÜRK'e yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın her aşamasında, büyük titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yoğun akademik görevlerine rağmen her fırsatta zaman ve ilgisini esirgemeyen, yol gösteren ve bilimsel çalışmamda bana yardımcı olan, bir hocadan çok bana aile sevgisiyle yaklaşan ve bitmez tükenmez enerjileriyle bana çalışma azmi veren saygıdeğer hocam Doç. Dr. Azize AKÇAYOĞLU'na en derin saygılarımı ve minnettarlığımı iletmek isterim.

Çalışmamın her aşamasında gece-gündüz yanımda olan ve yardımlarını hiç unutamayacağım saygıdeğer abilerim Öğr. Gör. Salih ÇELİK'e, Makina Yüksek Mühendisi İbrahim YAPICI'ya, Arş. Gör. H. Turan ARAT'a ve Makina Mühendisi Umut MALKOÇ'a, ayrıca yüksek lisans arkadaşlarım Makina Mühendisi Halil CEBECİ Su Ürünleri Mühendisi H. Tuğçe VURMAY ve Mekatronik Öğretmeni Armağan YILMAZ'a, sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım sırasında gerek mühendislik açısından teknik desteklerini gerekse de manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen Selahaddin SAVRAN, Volkan AKIN, Mesut TUTAL, N. Gürkan GÜRPINAR, Cumali ŞEVİK, Serkan SIKI ve Tarık Efe KENDİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak hayatımın her aşamasında geleceğimi düşünerek bana her türlü imkânı sağlayan ve bugünlere gelmemin tek sebebi olan aileme ve tanıştığımız günden beri maddi manevi desteğini benden esirgemeyen nişanlıma sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Adıyaman’da doğdu. İlkokul ve Ortaokul eğitimini Adıyaman’da 50. Yıl İlköğretim okulunda tamamladı. Lise öğrenimine Adıyaman’da 2003 yılında Erdemir Lisesinde başlayıp Özel Merkez Lisesinde 2006 yılında tamamladı. 2007 yılında Hatay’da Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne yerleşti. 2011 yılında bu bölümden “Makine Mühendisi” unvanıyla mezun oldu. 2011-2012 eğitim öğretim yılından beri Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans yapmaktadır.