

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANGIN DAYANIM TEST FIRINI MODELLENMESİ
VE
TERMODİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Ogan KARABAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANGIN DAYANIM TEST FIRINI MODELLENMESİ
VE
TERMODİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa Ogan KARABAŞ
(503131124)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mesut GÜR

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503131124 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa Ogan KARABAŞ** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YANGIN DAYANIM TEST FIRINI MODELLENMESİ VE TERMODİNAMİK ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mesut GÜR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nurdil ESKİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadri Süleyman YİĞİT
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Kasım 2015**
Savunma Tarihi : **24 Aralık 2015**

Aileme ve dostlarıma,

ÖNSÖZ

Öncelikle yüksek lisans tez çalışmama verdiği tüm desteklerden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Mesut GÜR'e, yüksek lisans eğitimimin başından sonuna kadar verdiği tüm destekler ve tavsiyeler için Prof. Dr. Kadri Süleyman YİĞİT'e, tez çalışmam boyunca değerli görüş ve önerileri ile bana yol gösteren Prof. Dr. Halil İbrahim SARAÇ, Prof. Dr. Hüseyin Şinasi ONUR, Prof. Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK ve Doç. Dr. Hasan KARABAY'a teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca bu sürecin tamamında bana yardımcı olan meslektaşlarım Mak. Müh. Ünal ALTINTAŞ'a, Mak. Yük. Müh. Ahmet YILDIZ'a ve mesai arkadaşım da olan Mak. Yük. Müh. Özgür KAPLAN'a teşekkür ederim.

Aralık 2015

Mustafa Ogan KARABAŞ
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Sıcaklık-Zaman Eğrileri	2
1.2.1 ISO 834 sıcaklık-zaman eğrisi	3
1.2.2 HC (Hidrokarbon) sıcaklı-zaman eğrisi	3
1.2.3 HCM (Modifiye Hidrokarbon) sıcaklık-zaman eğrisi	4
1.2.4 RABT-ZTC sıcaklık-zaman eğrisi	4
1.2.5 RWS (Rijkswaterstaat) sıcaklık-zaman eğrisi.....	4
1.3 Yapı Malzemelerinin Yangın Dayanım Performanslarına Göre Sınıflandırılması	4
1.3.1 Yapı malzemelerinin yangın dayanım performanslarına göre temel sınıflandırma kriterleri	5
1.3.1.1 Yük taşıma kapasitesi (R)	5
1.3.1.2 Bütünlük(E).....	6
1.3.1.3 Yalıtım(I).....	6
1.3.2 Yapı malzemelerinin yangın dayanım performanslarına göre sınıflandırılması	6
1.3.2.1 Strüktürel elemanlar	6
1.3.2.2 Strüktürel olmayan elemanlar	7
1.3.3 Yapı malzemelerinin yangın dayanım performanslarına göre sınıflandırılmasında kullanılan diğer kriterleri	7
1.4 Literatür Araştırması	8
2. FIRIN ISIL ANALİZİ	17
2.1 Yapılan Kabuller	17
2.2 Reaksiyon Tanımı	17
2.3 Termodinamik Analiz	18
2.3.1 Kontrol hacminin belirlenmesi.....	18
2.3.2 Termodinamik hesaplamalar	18
2.3.2.1 Yakıt miktarının belirlenmesi	25
2.3.2.2 Hava miktarının belirlenmesi	29
3. FIRIN YAPISININ ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ	31
3.1 Fırın Geometrisi	31
3.2 Brülör Tasarımı	32
3.2.1 Alev oluşumu	32

3.2.2 Brülör yerleşimi optimizasyonu	33
3.3 Egzoz Tasarımı	34
4. HAD ANALİZİ.....	35
4.1 HAD analizinde kullanılacak denklemler ve yapılan kabuller	35
4.1.1 Korunum denklemleri	35
4.1.1.1 Kütlenin korunumu	35
4.1.1.2 Momentumun korunumu	35
4.1.1.3 Enerjinin korunumu.....	36
4.1.2 Türbülans denklemi.....	36
4.1.3 Işınım denklemi.....	37
4.1.4 Kimyasal tepkime denklemleri.....	39
4.1.4.1 Bileşenlerin molar korunumu	39
4.1.4.2 Taşınım-difüzyon denklemi	39
4.1.5 Özel modeller	42
4.1.5.1 Eddy dissipasyon modeli.....	42
4.1.5.2 P-1 ışıınım modeli	43
4.1.5.3 The weighted-sum of gray gases model (WSGGM).....	44
4.2 Sonlu Hacimler Metodu	45
4.3 Diğer Parametreler.....	47
4.3.1 Zaman adımı.....	47
4.3.2 Propan ve hava debisi.....	47
5. HAD ANALİZİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	49
6. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	75

KISALTMALAR

ISO	: International Organization for Standardization
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
EN	: European Standard
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
FDS	: Fire Dynamic Simulator
WSGGM	: Weighted Sum of Gray Gas Model
BS	: British Standard
DIN	: Deutsches Institut für Normung
AS	: Australian Standard

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Propan, oksijen ve azot mol kütlesi [19,20].	18
Çizelge 2.2 : CO ₂ , H ₂ O ve N ₂ için ideal gaz sabitleri [20,21].	22
Çizelge 2.3 : Kontrol hacmi içinde CO ₂ , H ₂ O ve N ₂ kütleleri.....	22
Çizelge 2.4: Sıcaklığa bağlı C_v hesabında yer alan katsayılar [22].....	23
Çizelge 2.5: C ₃ H ₈ , O ₂ , CO ₂ , H ₂ O _(g) ve N ₂ için entalpi değerleri [23, 24, 25, 26,27].	25
Çizelge 2.6: Başlangıç verileri.....	26
Çizelge 2.7: Kullanılan entalpi [25,26,27] ve hesaplanan C _v değerleri.	26
Çizelge 2.8: $0 \leq t \leq 300$ [saniye]-zaman aralığında propan kütleli debisi.....	29
Çizelge 2.9: $0 \leq t \leq 300$ [saniye]-zaman aralığında hava kütleli debisi.	29

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Bir yangın dayanım test fırını şematik görünümü.	1
Şekil 1.2: ISO 834 sıcaklık eğrisi.	2
Şekil 1.3: Yangın modeli çeşitleri [3].	3
Şekil 1.4: Yük taşıma kapasitesi [11].	5
Şekil 1.5: Bütünlük [11].	6
Şekil 1.6: Fırın geometrisi [14].	8
Şekil 1.7: Fırın içi anlık sıcaklık ve toplam gaz debisi [14].	9
Şekil 1.8: Fırın içi, egzoz çıkışı ve tanımlı yüzey sıcaklığı [14].	9
Şekil 1.9: Fırın geometrisi [15].	10
Şekil 1.10: Isıl tabladan elde edilecek ısı güç [15].	10
Şekil 1.11: Deneysel ve FDS modelin 7. dakikadaki görüntüsü [15].	11
Şekil 1.12: PT1 ve PT2 noktalarında deneysel ve FDS model sonuçlarının karşılaştırılması [15].	11
Şekil 1.13: TC1 ve PT3 noktalarında deneysel ve FDS model sonuçlarının karşılaştırılması [15].	12
Şekil 1.14: TC2, TC3, PT4 ve PT5 noktalarında deneysel ve FDS model sonuçlarının karşılaştırılması [15].	12
Şekil 1.15: Deney düzeneğine ait fotoğraflar [17].	13
Şekil 1.16: HAD analizi ile deneysel sonuçların karşılaştırılması [17].	13
Şekil 1.17: NIST’de yer alan deney düzeneği [18].	14
Şekil 1.18: Çıplak çelik deneyi esnasında bir fotoğraf [18].	14
Şekil 1.19a: Kolon üst ön bölgesi [18].	15
Şekil 1.19b: Kolon üst arka bölgesi [18].	15
Şekil 1.20a: Kolon orta ön bölgesi [18].	15
Şekil 1.20b: Kolon orta arka bölgesi [18].	15
Şekil 1.21a: Kolon alt ön bölgesi [18].	15
Şekil 1.21b: Kolon alt arka bölgesi [18].	15
Şekil 2.1: Kontrol hacmine girenler ve çıkanlar.	18
Şekil 2.2: Zaman bağlı propan debisi.	27
Şekil 2.3: $1 \leq t < 30$ [saniye]-zaman aralığında propan debisi.	28
Şekil 2.4: $30 \leq t \leq 300$ [saniye]-zaman aralığında propan debisi.	28
Şekil 3.1: Tasarlanan yangın dayanım test fırını.	31
Şekil 3.2: Tasarlanan brülör kesit görüntüsü	32
Şekil 3.3: İlk brülör tasarımı.	32
Şekil 3.4: Son brülör tasarımı.	33
Şekil 3.5: Brülör yerleşimi soldan görünüş.	33
Şekil 3.6: Brülör yerleşimi sağdan görünüş.	34
Şekil 3.7: Tasarlanan yangın dayanım fırını arkadan görünüşü.	34
Şekil 4.1: Işınım ile ısı geçişi.	37
Şekil 4.2: Sonlu hacimler metodu ile ayrıklaştırma.	45
Şekil 4.3: Düğüm noktaları izometrik görünüşü.	46

Şekil 4.4: Yakıt ve hava girişlerinde düğüm noktaları.	46
Şekil 4.5: Çıkış bölgesi düğüm noktaları gösterimi.	47
Şekil 5.1: Kontrol hacmine tanımlanan yüzeyler.	49
Şekil 5.2: 1. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	50
Şekil 5.3: 5. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	50
Şekil 5.4: 10. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	51
Şekil 5.5: 20. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	51
Şekil 5.6: 30. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	52
Şekil 5.7: 40. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	52
Şekil 5.8: 50. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	53
Şekil 5.9: 60. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.	53
Şekil 5.10: 1.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	54
Şekil 5.11: 5.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	54
Şekil 5.12: 10.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	55
Şekil 5.13: 20.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	55
Şekil 5.14: 30.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	56
Şekil 5.15: 40.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	56
Şekil 5.16: 50.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	57
Şekil 5.17: 60.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.	57
Şekil 5.18: 1.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	58
Şekil 5.19: 5.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	58
Şekil 5.20: 10.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	59
Şekil 5.21: 20.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	59
Şekil 5.22: 30.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	60
Şekil 5.23: 40.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	60
Şekil 5.24: 50.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	61
Şekil 5.25: 60.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.	61
Şekil 5.26: Yüzey-z50, Yüzey-x50, Yüzey-y50 ortalama sıcaklığı.	62
Şekil 5.27: Yüzey-x15, Yüzey-x85 ortalama sıcaklığı.	62
Şekil 5.28: Tüm yüzeyler ortalama sıcaklık.	63
Şekil 5.29: Kontrol hacmi içi ortalama sıcaklık.	63
Şekil 5.30: Kontrol hacmi çıkışı ortalama sıcaklık.	64
Şekil 5.31: Kontrol hacmi ortalama sıcaklığı ve kontrol hacmi çıkışı ortalama sıcaklığının zamanla değişimi.	65
Şekil 5.32: Kontrol hacminden ortalama çıkış sıcaklığı % hata oranı.	65
Şekil 5.33: Kontrol hacmi içi ortalama sıcaklığı % hata oranı.	66
Şekil A.1: Zamana bağlı propan ve hava kütleli debileri için yazılan kod.	73

YANGIN DAYANIM TEST FIRINI MODELLENMESİ VE TERMODİNAMİK ANALİZİ

ÖZET

Teknolojik gelişimin hızlanarak devam ettiği günümüzde çalışmalar sadece yaşam konforunu arttırmaya yönelik değil aynı zamanda can güvenliği önlemlerini artırma hedefi ile devam etmektedir. Kalabalıklaşan dünyamızda kentsel yaşam oranının da giderek artmasıyla toplu yaşam alanları daha da kalabalıklaşmış ve bu toplu yaşam alanlarının sayıları da giderek artmıştır.(örneğin; alışveriş merkezleri, yüksek katlı binalar)

Yaşam alanlarının kalabalıklaşması can güvenliği risklerinin artmasına sebep olmuştur. Kalabalık yaşam alanlarındaki en önemli can güvenliği risklerinden biri de yangın durumudur.

Yangın durumunda risklerin oldukça fazla olması günümüzde yangın durumunda can güvenliği önlemlerinin giderek artmasına sebep olmuştur. Bu konudaki çalışmalar sadece yangın söndürme üzerine değil aynı zamanda yangın durumunda yaşam alanlarının yangın şartlarından olabildiğince az etkilenmesini sağlayıp yangın süresince can güvenliği risklerini en aza indirmeye yöneliktir.

Yaşam alanlarının yangın şartlarından etkilenme oranlarını azaltma hedefi, yapı malzemelerinin dayanımlarının yangın durumunda sorgulanmasına sebep olmuştur. Yapı malzemelerinin yangın dayanımları günümüzde çeşitli standartlarla belirlenmiştir. Bu malzemelerin standartlara uygun olup olmadığının belirlenebilmesi için yangın durumundaki şartlar oluşturularak bu malzemelerin test edilmesi gerekmektedir.

Aynı yapı malzemelerinin yangın dayanımında olduğu gibi bu malzemelerin yangın dayanımlarının testleri de standartlarla belirlenmiştir. Günümüzde yangın durumundaki ortam şartlarını sağlayan yangın dayanım test fırınları bulunmakta, sanki yangın şartları oluşturularak malzemeler zamana bağlı olarak belirli standartlara göre test edilebilmektedir.

Bu çalışmada TS EN 1363-1 standardında yer alan yangına dayanıklılık deneyleri genel kuralları baz alınarak bir yangın dayanım test fırını SolidWorks programı ile üç boyutlu modellenmiş, termodinamik hesaplamalar yapılmış ve HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analiz programlarından ANSY Fluent yazılımı ile HAD analizleri yapılmıştır.

TS EN 1363-1’de yer alan en önemli kriterlerden zamana bağlı fırın içi ortalama sıcaklığı elde edebilmek için tasarlanan bu modelin yanma reaksiyonu içermesi nedeniyle HAD analizlerinin yüksek işlem güçlü E tipi işlemciye sahip bilgisayarla dahi çok uzun süreceği belirlenmiştir. Bu sebeple HAD analizinde ayrıklaştırma sonucu ortaya çıkacak düğüm noktası sayısı mümkün olduğunca az olmalıdır. Termodinamik ve HAD analizi yapılacak yangın dayanım test fırınının bu sebepten dolayı nispeten küçük sayılabilecek 1m eninde, 1m genişliğinde ve 1m yüksekliğinde kübik ayrıtlar ile toplam 1m³ hacme sahip olması kararlaştırılmıştır.

HAD analizine başlanmadan önce tasarlanan yangın dayanım test fırını için termodinamik analiz yapılmış, termodinamik analizdeki hesaplamalar ile TS EN

1363-1’de yer alan ve ISO 834 sıcaklık eğrisi olarak da adlandırılan zamana bağlı fırın içi ortalama sıcaklık değerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Bu hedef ile yapılan termodinamik hesaplamalar sonucunda bu çalışmada yakıt olarak kullanılan propan ve yakıcı olarak kullanılan havanın zamana bağlı olarak değişen kütsel debileri belirlenmiştir. Böylece yapılan kabuller ile birlikte gerçekleştirilecek HAD analizi için başlangıç ve sınır koşulları elde edilmiştir.

Termodinamik analizin tamamlanmasının ardından ANSYS Fluent yazılımı ile HAD analizleri yapılmış; yapılan bu analizlerin sonuçlarına göre tasarlanan yangın dayanım test fırını için brülör tasarımı ve yerleşimi ile egzoz tasarım ve yerleşimi optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Yine yapılan HAD analizleri sonucunda propan ve havanın yangın dayanım test fırınına giriş hızlarına belirleyen giriş kesitleri de optimize edilmiştir.

HAD analizleri sonuçlarına göre yapılan optimizasyonlar ile yanma reaksiyonu propan-hava karışımının fırın içerisinde oluşmasını sağlayan çapraz simetrik yerleştirilmiş dört adet brülör ile sağlanmıştır.

Propan ve havanın yangın dayanım test fırınına girişi iç içe geçmiş iki kare kesitten gerçekleşmektedir. Propan girişi 10mm x 10mm kare kesiti ile hava girişi ise 30mm x 30mm kare kesiti ile sağlanmıştır.

Termodinamik analiz sonucu belirlenen zamana bağlı değişen propan ve hava kütsel debileri yazılan kod ile ANSYS Fluent HAD analiz programına aktararak yangın dayanım test fırınına girecek propan ve hava miktarının zamanla nasıl değiştiği HAD analiz programına tanıtılmıştır.

Zaman adımının 0,01 saniye, düğüm noktaları arasındaki mesafenin 10 mm olarak belirlenmesi ile birlikte termodinamik hesaplamalarda yapılan tüm kabullerin HAD analizine de aynen uygulanmasıyla tasarlanan yangın dayanım test fırını için HAD analiz sonuçları elde edilmiştir.

HAD analizinden elde edilen sonuçlara göre yapılan analiz süresince fırın içi ortalama sıcaklığın ISO 834 sıcaklık eğrisinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu yangın dayanım test fırını içerisine istenenden daha fazla ısı aktarıldığını anlamına gelmektedir.

Bu fazla ısının kaynağı araştırıldığında ortalama egzoz çıkış sıcaklığının ilk 21 saniye boyunca beklenenden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Egzoz çıkış sıcaklığının beklenenden düşük olması fırın içerisine istenenden daha fazla ısı aktarılmasına sebep olmuştur. Egzoz çıkış sıcaklığının istenen sıcaklıkta olmamasının sebebi ise fırın içi sıcaklık dağılımının ilk 21 saniye boyunca uniform olmaması olarak belirlenmiştir.

Yapılan hata analizlerinde yangın dayanım test fırını içerisi sıcaklık dağılımının uniform hala gelmesi ile birlikte ortalama egzoz çıkış sıcaklığının ISO 834 sıcaklık eğrisine göre % hata oranı sabitlenmektedir.

Ortalama egzoz çıkış sıcaklığı hata oranının sabitlenmesi ile birlikte yangın dayanım test fırını içi ortalama sıcaklığının ISO 834 sıcaklık eğrisine göre % hata oranının azalmaya başladığı görülmüştür.

Ortalama egzoz çıkış sıcaklığı % hata oranının sabitlenmesi ve yangın dayanım test fırını içi ortalama sıcaklığı % hata oranının azalmaya başlamasının görülmesi sonucu analizin 60. saniyede kesilmesinin uygun olduğu karara varılmış ve analiz 60. saniyede kesilmiştir. Analizin 60.saniyeye gelmesi toplam 15 gün sürmüştür.

Yangın dayanım test fırını ortalama sıcaklığının ISO 834 sıcaklık eğrisinin üzerinde kalmasının, ilk 21 saniyede fırın içi sıcaklık dağılımının uniform olmamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

MODELLING AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF A FIRE RESISTANCE TEST FURNANCE

SUMMARY

Nowadays, technological developments swiftly accelerating not only to improve living conditions and comfort, but also to improve the security of life. The earth gets crowded every day and the ratio of people living in urban areas is increasing which causes an increase in the number of buildings such as malls, skyscrapers etc.

The crowded condition of living spaces increases security of life issues. Fire is one of the most important security of life issue in crowded life spaces.

The higher risks in fire are resulted with increased security of life and safety measures. These studies are not only conducted for firefighting conditions but also for decreasing security of life issues during fire conditions by increasing the fire resistance of the living spaces and materials such as furniture's, in the living spaces.

The target of increasing fire resistance of living spaces and living space materials, fire resistance of the construction materials are questioned. Fire resistance of construction materials are defined in various standards. In order to determine whether the construction materials provide the necessities in the standard, conditions during a fire incident should be simulated and materials need to be tested in this simulated environment.

Just as fire resistance of construction materials are defined with various standards, fire resistance testing also defined by standards. Fire resistance test furnaces which can simulate the environment and conditions during a fire incident are used to determine whether the construction materials provide the necessities in the standard or not.

In this study, according to the general rules for fire resistance experiments defined in TS EN 1363-1 standard, a fire resistance test furnace is designed three dimensionally with SolidWorks three dimensional design program, thermodynamic calculations are made to determine the gas mass flow rates of the fire resistance test furnace and computational fluid dynamics analysis of the fire test furnace is done with ANSYS Fluent computational fluid dynamics analysis program in order to evaluate and determine the temperature, gas mass flow rate, pressure etc. distribution inside the furnace.

One of the most important criteria in TS EN 1363-1 is time dependent temperature of the fire resistance test furnace. Since this modeling study includes combustion reactions, it is determined that even with using workstations that has E type processers; analyses would consume too much time. For this reason, the number of nodes in the computational fluid dynamic analysis which is a result of discretization should be as low as it can. Because of this time problem, dimensions of the fire resistance test furnace which thermodynamic and computational fluid dynamics analyses are planned to be conducted, determined as 1 meter width, 1 meter height

and 1 meter length. The designed fire resistance test furnace has a cubic shape with 1 cubic meter total volume.

Before computational fluid dynamics analysis, a thermodynamic analysis is done for the fire test furnace. It is targeted to obtain the time dependent temperature curve which is given in TS EN 1363-1 and named as ISO 834 curve with these thermodynamic calculations.

As a result of these thermodynamic calculations which are targeted to obtain the time dependent temperature curve which is given in TS EN 1363-1 and named as ISO 834 curve, mass flow rates of the propane which is the fuel and air which is the oxidant are determined. Along with the assumptions, initial and boundary conditions for computational fluid dynamics analysis are determined.

After the thermodynamic analysis, studies are directed to computational fluid dynamics analysis. Placement of the burners and exhaust on the fire test furnace is determined with conducted computational fluid dynamics analyses. Inlet sections of the burners, that transport propane and air to fire resistance test furnace, are optimized according the velocities of air and propane on the inlet section.

According to the computational fluid dynamics analyses, four burners which transport propane and air to fire resistance test furnace, are placed as cross symmetrically on the cubic fire resistance test furnace.

Transport of air and propane to the fire resistance test furnace is provided by two concentric square sections. Propane and air entrances are provided by 10mm x 10mm and 30mm x 30 mm square sections.

Time dependent propane and air mass flow rates which are entering fire resistance test furnace and determined in the thermodynamic analysis, is identified to ANSYS Fluent computational fluid dynamics program with user defined codes.

Computational fluid dynamics analyses of fire resistance test furnace are conducted with the assumptions that were made in the thermodynamic analysis, 0,01 second time step, 10 mm distance between nodes considerations.

According to the computational fluid dynamics analyses, temperature inside the fire resistance test furnace found higher than ISO 834 curve. This means more heat is transferred to fire resistance test furnace than needed.

When this increase in the fire resistance test furnace temperature was investigated, it was found that exhaust temperatures were much lower than expected for the first 21 seconds. It was figured out that the lower value of exhaust gas temperature then expected caused the increase of the fire resistance test furnace temperature in the previous computational fluid dynamics analyses. The reason of the decreased exhaust gas temperature is found to be related with the nonuniformity of temperature distribution inside the fire resistance test furnace during the first 21 second of the computational fluid dynamics analyses.

Error analysis studies showed that after the temperature distribution inside the fire resistance test furnace became uniform, % error rate of the average exhaust gas temperature according to ISO 834 curve stayed constant.

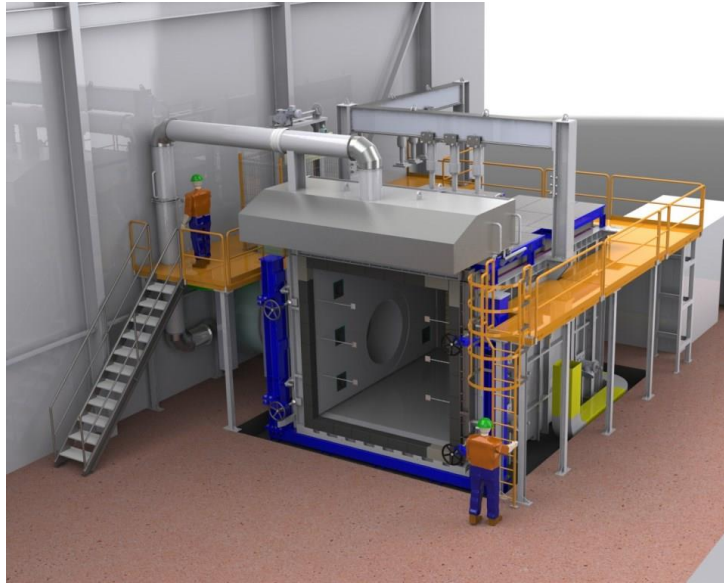
With the fixed value of exhaust gas temperature error rate, % error rate of the average fire resistance test furnace temperature according to ISO 834 curve started to decrease.

As a result of the fixed value of exhaust gas temperature error rate and the decrease of the % error rate of the average fire resistance test furnace temperature according to ISO 834 curve, the computational fluid dynamics analyses was ended on the 60th second. I took 15 days to conduct a fire resistance test furnace computational fluid dynamics analysis for 60 seconds.

It was concluded that the higher values of mean temperature of the fire resistance test furnace which were obtained with the computational fluid dynamics analyses, then ISO 834 curve resulted because of the nonuniformity of temperature distribution inside the fire resistance test furnace during the first 21 second.

1. GİRİŞ

Her alanda güvenlik önlemlerinin artırılmasına çalışıldığı günümüzde yangın güvenlik önlemleri de ön planda olan çalışma alanlarından biridir. Yangın güvenlik önlemleri, günümüzde sadece söndürme odaklı değil; yangın durumunda ortamdan sağlıklı bir şekilde uzaklaşabilecek şartların sağlanması ve yaşam mahallinin yangın sonuçlarından olabildiğince az etkilenmesi gibi başlıklar üzerine yoğunlaşarak geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda en önemli unsurun yapı malzemeleri olduğu aşikardır. Yapı elemanlarının çeşitli özelliklerinin geliştirilmesi yangın güvenlik önlemlerinin iyileştirilmesinde temel unsurdur. Yangın güvenlik önlemlerinde büyük önem taşıyan yapı malzemelerinin hangi özelliklerinin etkin rol oynadığı, yapı malzemelerine genel bir yaklaşım getiren Yapı Malzemeleri Direktifi'nde "Yangın Durumunda Emniyet" alt başlığında yer almaktadır [1]. Yapı malzemelerinin bu özelliklerinin test edilebilmesi için yangın şartları oluşturulmalıdır. Bu şartların oluşturulduğu deney düzeneğine Yangın Dayanım Test Fırını adı verilmekte ve TS EN 1363-1'de yangına dayanıklılık deney kuralları yer almaktadır [2]. Aşağıda Şekil 1.1'de bir yangın dayanım test fırını şematik olarak gösterilmiştir.

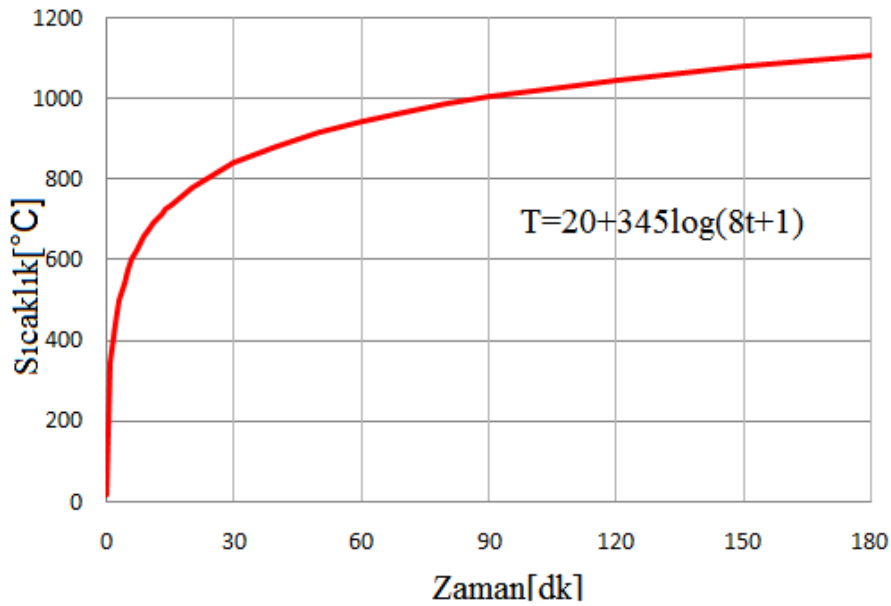


Şekil 1.1: Bir yangın dayanım test fırını şematik görünümü.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Yapı malzemelerinin yangın dayanım özelliklerinin test edilip belirlenebilmesi için ihtiyaç duyulan yangın dayanım test fırınının TS EN 1363-1’de yer alan, ISO 834 eğrisi olarak adlandırılan ve aşağıda Şekil 1.2’de gösterilen, en önemli kriterlerden biri olan zamana bağlı fırın içi ortalama sıcaklığın elde edildiği fırın modelinin tasarlanması ve bu fırının termodinamik analizinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) çözüm metotları ile yapılması bu tezin amacıdır.

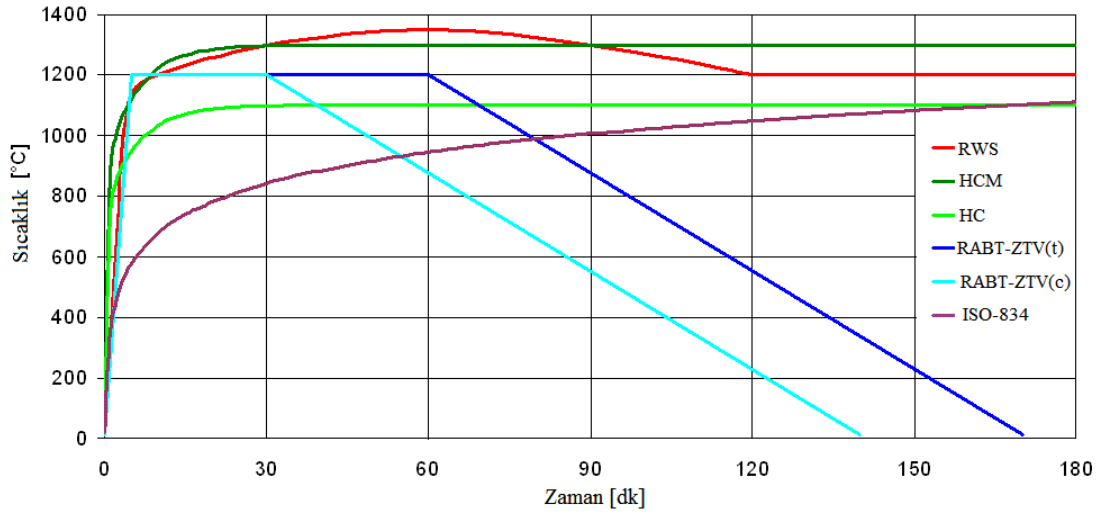
Paket program tarafından sonlu hacimler ayrıklaştırma metodu kullanılarak HAD analizi yapılacak olan yangın dayanım test fırınında yanma reaksiyonu gerçekleşeceği için yapılan çalışmalar ve denemeler sonucu bu analizin yüksek işlem güçlü bilgisayarlar da dahi oldukça uzun süreceği belirlenmiştir. Bu sebeple fırın hacminin nispeten küçük belirlenmesi gerektiği ortaya çıkmış ve termodinamik analizi yapılacak olan yangın dayanım test fırını 1m yüksekliğinde, 1m genişliğinde ve 1m derinliğinde tasarlanmıştır.



Şekil 1.2: ISO 834 sıcaklık eğrisi.

1.2 Sıcaklık-Zaman Eğrileri

Yangın dayanım test fırınlarında yapılan testlerde kullanılmak üzere çeşitli standartlara dayandırılan ulusal ve uluslararası zamana bağlı sıcaklık eğrileri geliştirilmiştir. Şekil 1.3'te bu eğriler gösterilmektedir.



Şekil 1.3: Yangın modeli çeşitleri [3].

1.2.1 ISO 834 sıcaklık-zaman eğrisi

ISO 834, BS 476, DIN 4102, AS 1530 gibi standartlara dayanan yapı malzemeleri ve bileşenlerini esas alan sıcaklık-zaman eğrisidir. Bu eğriye göre zamana bağlı sıcaklık, aşağıda gösterilen denklem 1.1 ile hesaplanır.

$$T=20+345\log(8t+1) \quad (1.1)$$

t: Zaman [dk]

T: Sıcaklık [°C]

Bu sıcaklık-zaman eğrisi TS EN 1363-1 standardına aynen alınmış, standartta bu sıcaklık, fırın içi ortalama sıcaklık olarak tanımlanmıştır. TS EN 1363-1 standardında fırın sıcaklığını ölçmek için kullanılan plaka termometrelerin, fırın tutuşturucusundan çıkan alevlerle teması olmayacak şekilde ve fırın çeper, tavan veya tabanından en az 450 mm uzakta olacak şekilde konumlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Yine bu standartta plaka termometrelerin, deney numesinin yangına maruz kalan yüzeyinden 100±50 mm uzakta olması gerektiği belirtilmektedir.

1.2.2 HC (Hidrokarbon) sıcaklık-zaman eğrisi

Daha çok petrokimya endüstrisinde kullanılan, araç yakıt depoları, petrol tankerleri yada kimyasal tankerlerde yangın şartlarını sağladığı kabul edilen zamana bağlı

sıcaklık eğrisidir [3]. Bu eğriye göre zamana bağlı sıcaklık, aşağıda gösterilen denklem 1.2 ile hesaplanır.

$$T = 20 + 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) \quad (1.2)$$

t: Zaman [dk]

T: Sıcaklık [°C]

1.2.3 HCM (Modifiye Hidrokarbon) sıcaklık-zaman eğrisi

Hidrokarbon sıcaklık-zaman eğrisinin yükseltilmiş halidir. Maksimum sıcaklık 1100°C yerine 1300 °C olarak belirlenmiştir. Bu eğriye göre zamana bağlı sıcaklık, aşağıda gösterilen denklem 1.3 ile hesaplanır.

$$T = 20 + 1280 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) \quad (1.3)$$

t: Zaman [dk]

T: Sıcaklık [°C]

1.2.4 RABT-ZTC sıcaklık-zaman eğrisi

Almanya’da Eureka projesi dahilinde yapılan testler sonucu geliştirilmiş olan sıcaklık-zaman eğrisidir [3]. Araç ve tren yangınları gibi iki farklı yangın ortamı için ayrı ayrı belirtilmiştir. Araç yangınları için ortamın ilk beş dakikada 1200 °C’ye çıktığı, otuzuncu dakikadan itibaren soğumanın başladığı tren yangınları için ise soğumanın altmışıncı dakikadan itibaren başladığı kabul edilmiştir.

1.2.5 RWS (Rijkswaterstaat) sıcaklık-zaman eğrisi

Hollanda ulaştırma bakanlığı tarafından geliştirilen yangın durumu sıcaklık-zaman eğrisidir. 50m³’lük yakıt yada petrol tankerinde çıkabilecek bir yangın kabul edilerek belirlenen özel bir durumdaki şartları göstermektedir [3].

1.3 Yapı Malzemelerinin Yangın Dayanım Performanslarına Göre Sınıflandırılması

Yapı Malzemeleri Yönetmeliği [4], Avrupa Birliği Teknik Mevzuatı’nın uyumlaştırılması aşamalarından biri olarak 8 Eylül 2002 tarihinde yayımlanmıştır.

Bu yönetmeliğe bağlı olarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 29 Temmuz 2004 tarihinde yayımlanan tebliğ [5] ve TSE tarafından yayımlanan TS EN 13501-2 standardı [6] ile yapı malzemelerinin yangın dayanım performans sınıfları AB kriterlerine göre belirtilmiştir. Ayrıca TS EN ISO 13943 standardında da yangın güvenliği terim ve tarifleri yer almaktadır [7].

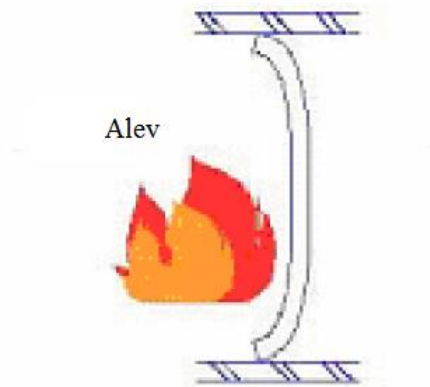
Yapı Malzemeleri Direktifi'nde yer alan her temel noktayı açıklamak üzere "Açıklayıcı Doküman" yayımlanmıştır. Bu dokümanlar bilgilendirme amaçlı olup, temel noktalar bu dokümanlarda açıklanıp detaylandırılmaktadır. Yangınla ilgili açıklayıcı doküman; "Interpretative Document Number 2: Safety in Case of Fire" adı altında Avrupa Birliği Resmi Gazetesi'nde yayımlanmıştır [8]. Türkiye'de Yapı Malzemeleri Yönetmeliği' ne bağlı olarak Açıklayıcı Dökümanlar 29 Kasım 2004 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanmıştır [9].

1.3.1 Yapı malzemelerinin yangın dayanım performanslarına göre temel sınıflandırma kriterleri

29 Kasım 2004'te yayımlanan Açıklayıcı Döküman'da [9] "Bir yapı elemanının yangın dayanımı; yük taşıma, bütünlük ve yalıtım kapasitesinin, Standart Yangın Dayanım Testi'nde [2] belirli bir süre koruyarak, yangına karşı direnç göstermesi." şeklinde tanımlanmaktadır. Bu temel kriterler aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

1.3.1.1 Yük taşıma kapasitesi (R)

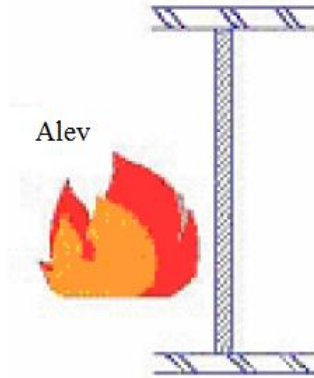
Yıkılmaya veya aşırı eğilmeye dayanımı ifade eder. Başka bir deyişle; yapı elemanının yangına maruz kalma durumunda belirli bir süre yapısal kararlılığını (stabilite) koruma kapasitesidir [10]. İlgili görsel Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4: Yük taşıma kapasitesi [11].

1.3.1.2 Bütünlük(E)

Yapı elemanının sıcak gaz ve alev geçirmezlik dayanımını ifade etmektedir [10]. İlgili görsel aşağıda Şekil 1.5’te gösterilmiştir.



Şekil 1.5: Bütünlük [11].

1.3.1.3 Yalıtım(I)

Aleve maruz kalan yüzeydeki yoğun sıcaklık artışına karşı dayanımı ifade eder. Başka bir ifade ile yapı elemanının yangına maruz kalan taraftan diğer tarafa ısı transferi sonucunda önemli bir ısı aktarımı olmadan, yalnız bir taraftan yangına maruz kalmaya dayanım yeteneğidir [12].

1.3.2 Yapı malzemelerinin yangın dayanım performanslarına göre sınıflandırılması

Sınıflandırma kriterlerinde belirtilen özellikler deney süresine göre “dakika” cinsinden ifade edilir. Performans süresi; 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360 sürelerinden hangisini sağlıyorsa o süreye göre ifade edilir.

1.3.2.1 Strüktürel elemanlar

R Süresi: Sadece yük taşıma kapasitesi kriterinin karşılandığı sürenin dakika cinsinden ifade edilmesidir.

RE Süresi: Yük taşıma kapasitesi ve bütünlüğün karşılandığı sürenin dakika cinsinden ifade edilmesidir.

REI Süresi: Yük taşıma kapasitesi, bütünlük ve yalıtım kriterlerinin karşılandığı sürenin dakika cinsinden ifade edilmesidir.

R 15, R 30,...,RE 15, RE 30,...,REI 15, REI 30,..., şeklinde tanımlamalar yapılabilmektedir.[10]

160 dakika yük taşıma kapasitesine, 85 dakika bütünlüğe ve 43 dakika yalıtıma sahip bir yapı elemanı R 120/RE 60/REI 30 olarak veya 75 dakika yük taşıma kapasitesine ve 40 dakika bütünlüğe sahip bir yapı elemanı R 60/RE 30 olarak sınıflandırılır. Bu örnekte görüldüğü gibi test sonuçları daima en yakın alt zaman sınıfına yuvarlanmaktadır. Kriterler birleşik semboller şeklinde gösterilmek istendiğinde (RE, REI gibi) belirtilen zaman en düşük dayanıma sahip sembolün zamanı ile ifade edilir.[12,13]

1.3.2.2 Strüktürel olmayan elemanlar

E Süresi: Sadece bütünlük kriterinin karşılandığı sürenin dakika cinsinden ifade edilmesidir.

EI Süresi: Bütünlük ve yalıtım kriterlerinin birlikte karşılandığı sürenin dakika cinsinden ifade edilmesidir.

E 15, E 30,...,EI 15, EI 30,...,şeklinde tanımlamalar yapılabilmektedir.

85 dakika bütünlüğe ve 43 dakika yalıtıma sahip bir yapı elemanı E 60/EI 30 olarak veya 75 dakika bütünlüğe sahip bir yapı elemanı E 60/EI 30 olarak sınıflandırılır. Bu örnekte görüldüğü gibi test sonuçları daima en yakın alt zaman sınıfına yuvarlanmaktadır. Kriterler birleşik semboller şeklinde gösterilmek istendiğinde (EI) belirtilen zaman en düşük dayanıma sahip sembolün zamanı ile ifade edilir.

1.3.3 Yapı malzemelerinin yangın dayanım performanslarına göre sınıflandırılmasında kullanılan diğer kriterleri

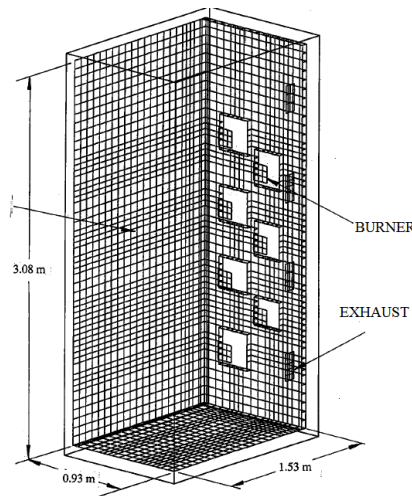
Yapı malzemelerinin yangın dayanım performanslarına göre sınıflandırılmasında kullanılan temel kriterler aşağıdaki gibi genişletilebilir [8];

- W: Yayılan radyasyon kontrol edildiği zaman kullanılır.
- M: Mekanik eylemler göz önüne alındığı zaman kullanılır.
- C: Kapılar içinden kendiliğinden kapanma söz konusu olduğu zaman kullanılır.

- S: Duman sızıntısı ile ilgili belirli sınırlamalara sahip elemanlar söz konusu olduğu zaman kullanılır.
- P (PH): Gücün sürekliliği veya sinyal verilmesi dikkate alındığı zaman kullanılır.
- G: İslı yangın direnci göz önüne alındığı zaman kullanılır.
- K: Koruyucu kaplamalar için, yangına karşı koruma yeteneği söz konusu olduğu zaman kullanılır.

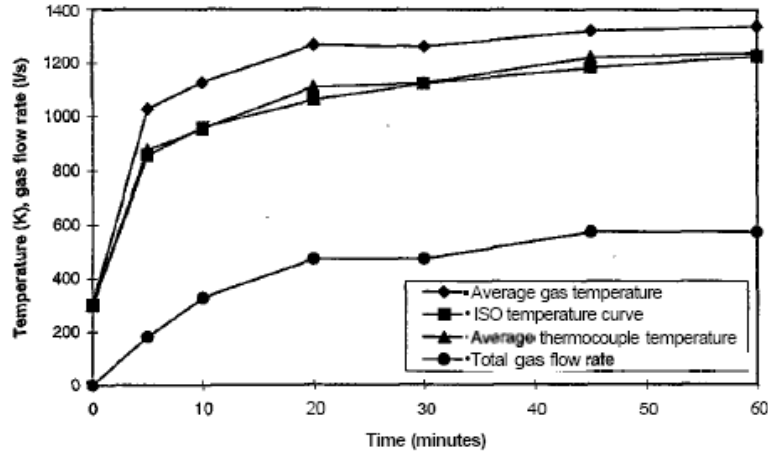
1.4 Literatür Araştırması

Literatür taraması yapıldığında yurt dışında çeşitli HAD analiz programları kullanarak benzer çalışmaların bulunduğu fakat hiçbir çalışmada çalışılan HAD programı analizinde kullanılan veriler hakkında bu çalışmada olduğu kadar detaylı bilgi verilmediği görülmüştür. 1997 yılında S.Welch ve P.A. Rubini tarafından ilk defa bir HAD analiz programı ile tam boyutlu bir yangın dayanım test fırını ISO 834 eğrisi takip edilerek modellenmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir [14]. Bu çalışmada İngiltere’de bulunan “Fire Research Station”, İsveç’te bulunan “SP Boras”, Finlandiya’da bulunan “VTT” ve Fransa’da bulunan “CSTB” laboratuvarlarının destekleri ile Cranfield Üniversitesi’nde yazılan “SOFIE(Simulation Of Fires In Enclosures)” isimli HAD kodu kullanılmıştır. 3.08m yüksekliğinde, 3.06m genişliğinde ve 0.93m derinliğinde 8.76m^3 iç hacme sahip bir yangın dayanım test fırını 14 brülör (yakıcı) ile modellenmiş yakıt olarak saf metan kullanılmış ve hava ile yanma sağlanmıştır. Şekil 1.6’da bu çalışmadaki fırın geometrisi gösterilmektedir.

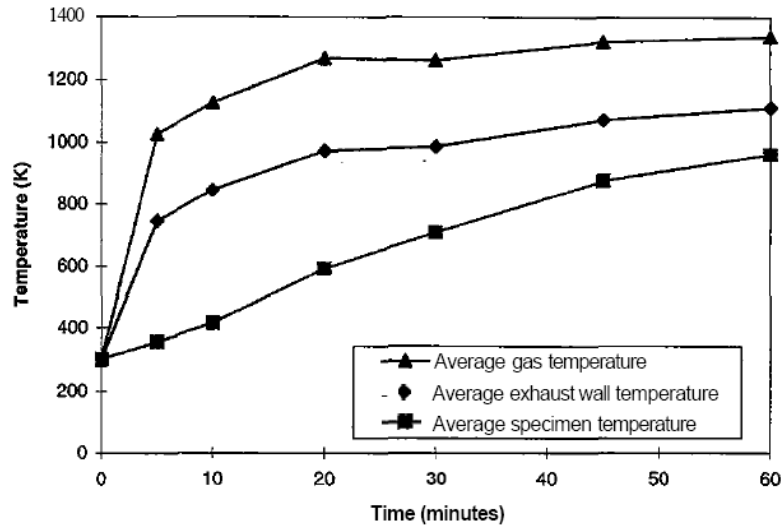


Şekil 1.6: Fırın geometrisi [14].

Bu çalışmada başlangıç ve sınır koşullar diğer çalışmalara göre nispeten daha detaylı olarak verilmiştir. Bu çalışmada yazılan kod içerisinde fırında çeşitli sıcaklık ölçerler tanımlanmış, bu sıcaklık ölçerlerin analiz süresince ortalama sıcaklıkları ve fırın içi ortalama gaz sıcaklığı zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Tanımlanan sıcaklık ölçerlerde ISO 834 sıcaklık-zaman eğrisi yakalanmış, fırın içi ortalama gaz sıcaklığı ise ISO 834 sıcaklık-zaman eğrisinin ortalama 200 K üstünde kalmıştır. Bu çalışma sonuçları ve zamana bağlı toplam gaz debisi Şekil 1.7 ve Şekil 1.8’de gösterilmiştir.



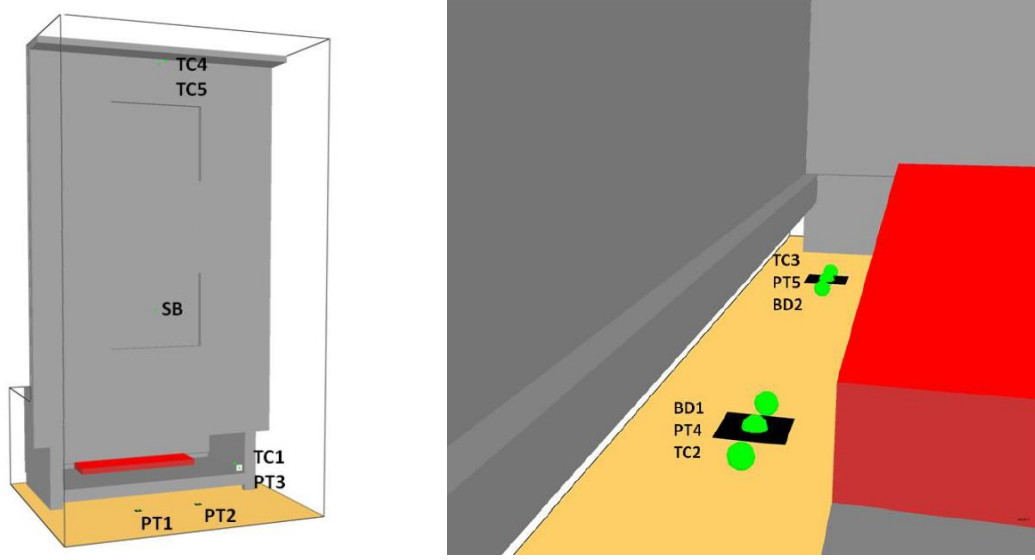
Şekil 1.7: Fırın içi anlık sıcaklık ve toplam gaz debisi [14].



Şekil 1.8: Fırın içi, egzoz çıkışı ve tanımlı yüzey sıcaklığı [14].

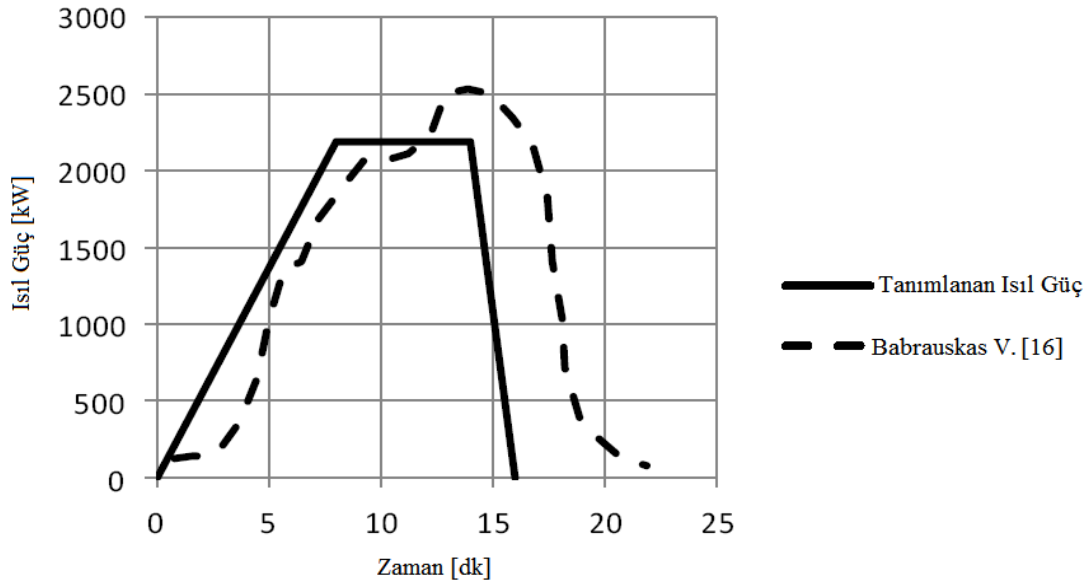
“SP Technical Research Institute of Sweeden” ’de Jansson R. ve Anderson J. tarafından yapılan çalışmada [15] 6.7m yüksekliğinde, 4m genişliğinde, 1.6m derinliğinde bir fırın FDS (Fire Dynamic Simulator) HAD analiz programı kullanılarak modellenmiş aynı zamanda bu fırın için deneysel olarak da çalışılmış,

sonuçlar gerçek ve nümerik olmak üzere kıyaslanmıştır. Şekil 1.9’da yapılan modelleme ve sıcaklığı takip edilecek noktalar gösterilmektedir.



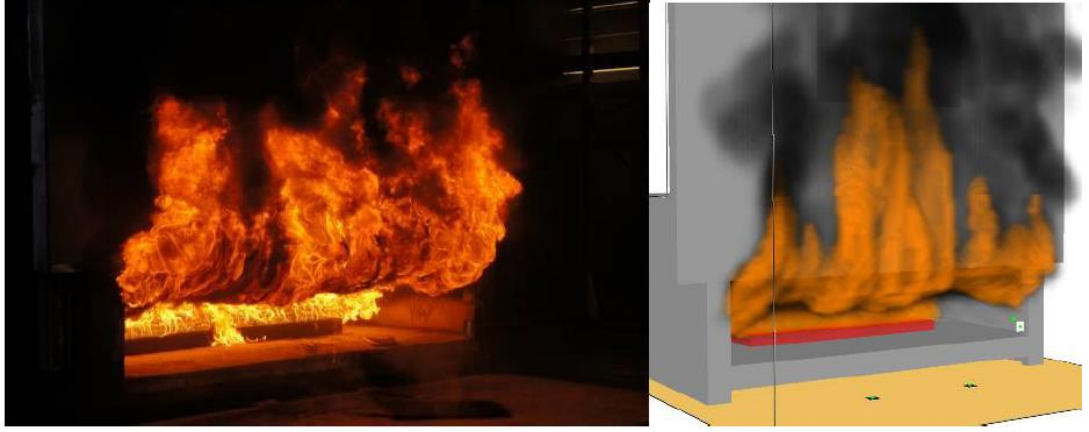
Şekil 1.9: Fırın geometrisi [15].

Yapılan bu çalışmada yakıt olarak heptan kullanılmış ve toplamda 60 litre heptan yakıldığı belirtilmiştir. %80 yanma gerçekleştiği kabulü ile Şekil 1.9’da gösterilen yanma tablasından zaman bağılı olarak çıkan ısı gücü aşağıdaki Şekil 1.10’da gösterilmiştir. Aynı şekilde ısı tablasından elde edilecek ısı gücü ile 1996 yılında Babrauskas V. tarafından yapılan geniş çaplı ölçümler sonucu elde edilen ısı gücü miktarının [16] karşılaştırılması verilmiştir.



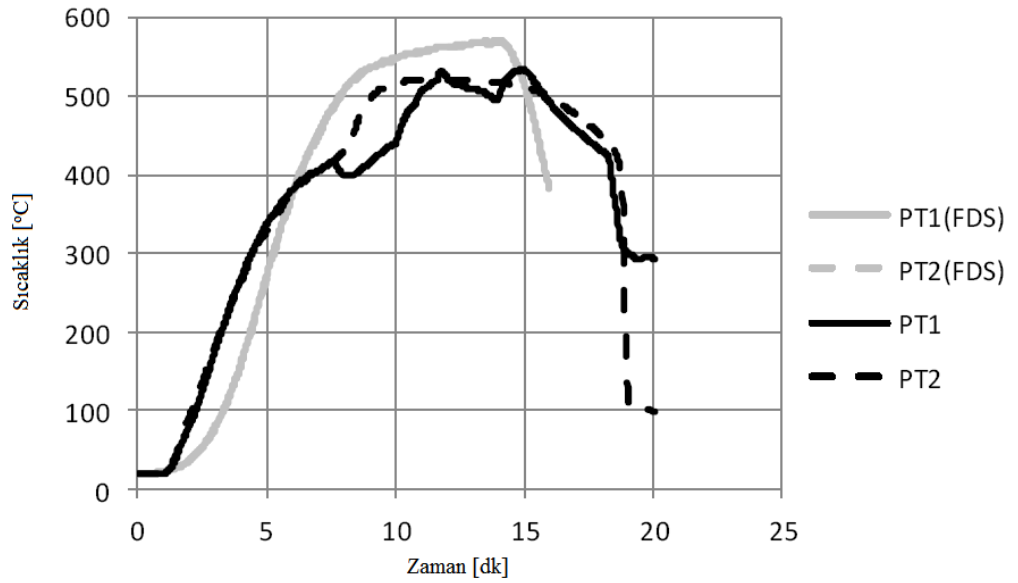
Şekil 1.10: Isıl tabladan elde edilecek ısı gücü [15].

Şekil 1.10’da gösterilen ısıl güç-zaman eğrisinin elde ediliş yöntemi ile ilgili herhangi bir bilgi bu çalışmada yer almamaktadır. Aşağıda yer alan Şekil 1.11’de çalışmanın yedinci dakikasından bir görüntü verilmiştir.

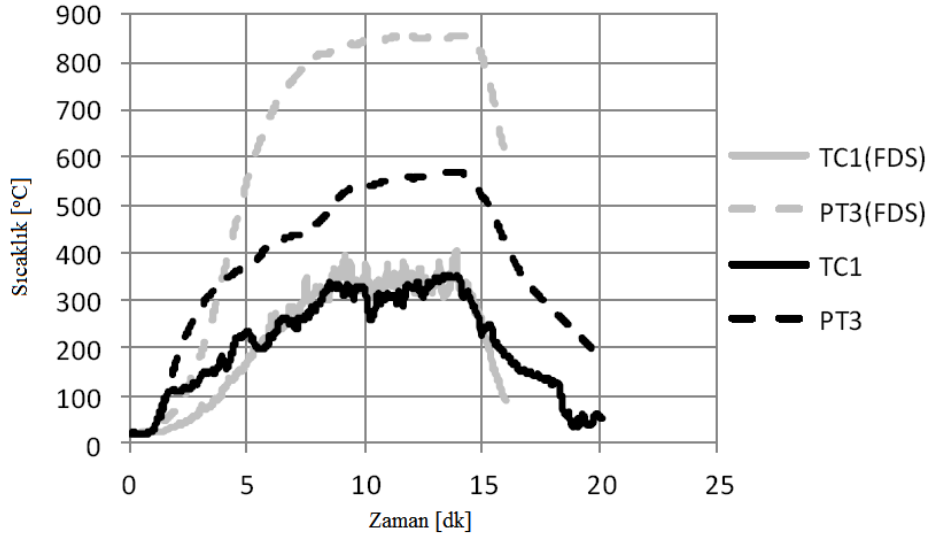


Şekil 1.11: Deneysel ve FDS modelin 7. dakikadaki görüntüsü [15].

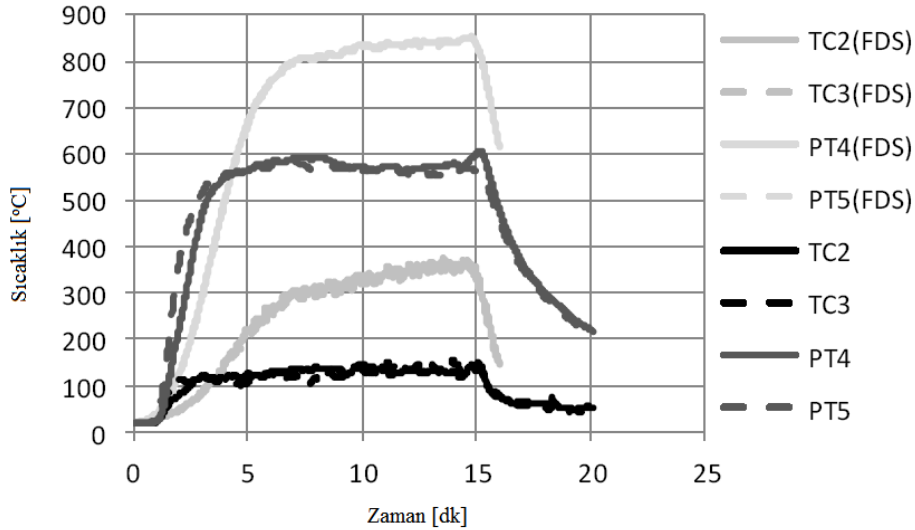
Jansson R. ve Anderson J.’nin çalışmalarının deneysel ve FDS model sonuçlarının belirlenen çeşitli noktalar için karşılaştırıldığı grafik aşağıda yer alan Şekil 1.12, Şekil 1.13 ve Şekil 1.14’te gösterilmiştir.



Şekil 1.12: PT1 ve PT2 noktalarında deneysel ve FDS model sonuçlarının karşılaştırılması [15].



Şekil 1.13: TC1 ve PT3 noktalarında deneysel ve FDS model sonuçlarının karşılaştırılması [15].



Şekil 1.14: TC2, TC3, PT4 ve PT5 noktalarında deneysel ve FDS model sonuçlarının karşılaştırılması [15].

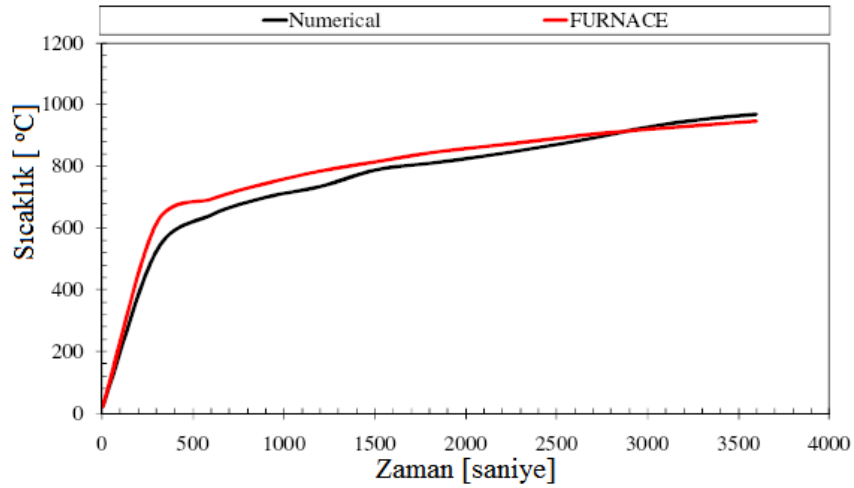
Jansson R. ve Anderson J.'nin çalışmalarının sonuçlarını gösteren grafiklere bakıldığında deneysel çalışma ile FDS modelin sonuçları tam olarak örtüşmese de FDS modelin iyi bir yaklaşım sağladığı görülmektedir.

“Polytechnic Inst. Of Bragança” ‘dan Piloto P.A.G. ve Mesquita L.M.R. arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada [17] 1m³ hacminde bir yangın dayanım test fırını ISO 834 eğrisine göre ANSYS Fluent HAD analiz programı ile modellenmiş; deneysel ve numerik sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Şekil 1.15’te deney düzeneğine ait fotoğraflar yer almaktadır.



Şekil 1.15: Deney düzeneğine ait fotoğraflar [17].

Bu çalışmada yakıt olarak propan seçilmiş, hava ile yanma sağlanmış ve maksimum 90 kw ısıl gücünde yakıcılar kullanıldığı belirtilmiştir. S2S ısıtım modelinin kullanıldığı ve adiyabatik şartların kabul edildiği belirtilen çalışmada propan ve hava hızının zamana bağlı olarak belirli oranlarda değiştirildiği ifade edilirken bu oranlarla ilgili herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların gerçek ve nümerik olmak üzere kıyaslanması Şekil 1.16’da gösterilmiştir.



Şekil 1.16: HAD analizi ile deneysel sonuçların karşılaştırılması [17].

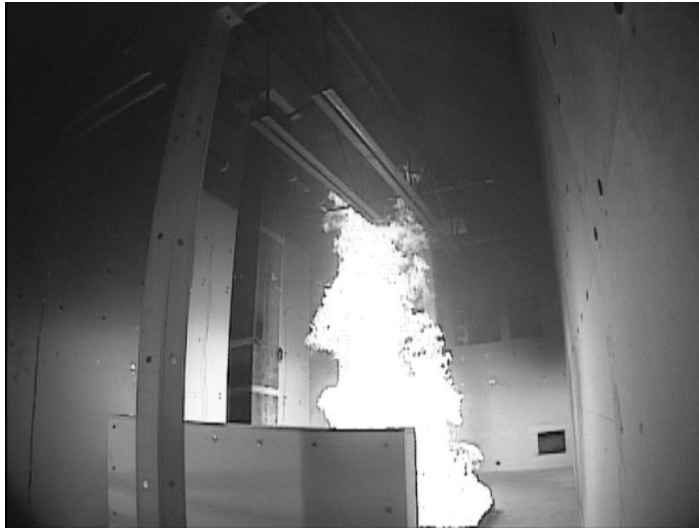
“Sweedish National Testing and Research Institute (SP)” ’den Ulf Wickström, “National Institute of Standarts and Technology (NIST)” ’den Dat Duthinh ve Kevin McGrattan tarafından yapılan bir çalışmada 2001 yılında Dünya Ticaret Merkezi’nde

ıkan yangında etkilenen yapı malzemelerinden elik kolonların yangın suresince sıcaklıklarının nasıl değiştiği deneysel ve HAD analiz programları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. HAD analiz programları olarak FDS ve ANSYS kullanılmış, iki analiz programı ile elde edilen sonuçlar da birbirleri ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. elik kolon üzerine yerleştirilen sıcaklık ölçerler ile sonuçların elde edildiği deney düzeneği şekil 1.17 ve şekil 1.18’de gösterilmiştir.



şekil 1.17 : NIST’de yer alan deney düzeneği [18].

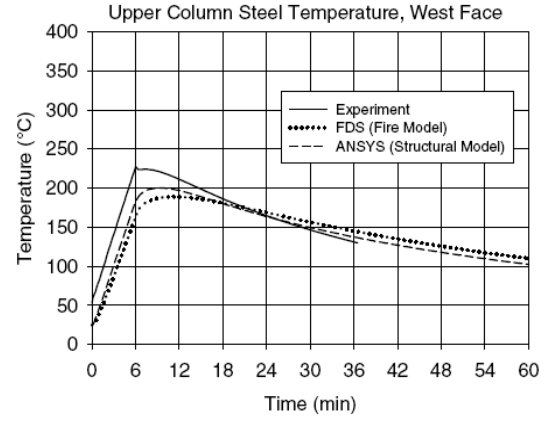
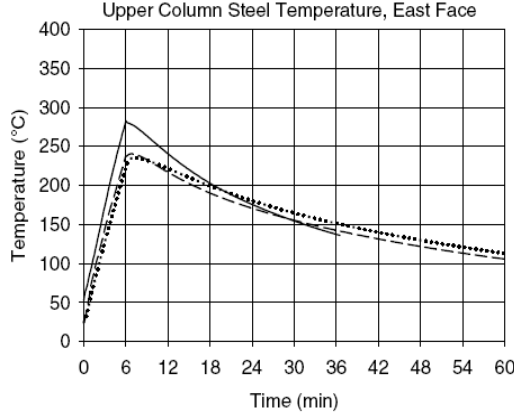
Bu çalışmada ayrıca bu elik kolonların yalıtım malzemeleri ile kaplandıktan sonra sıcaklıklarındaki değişim de incelenmiştir.



şekil 1.18: Çıplak elik deneyi esnasında bir fotoğraf [18].

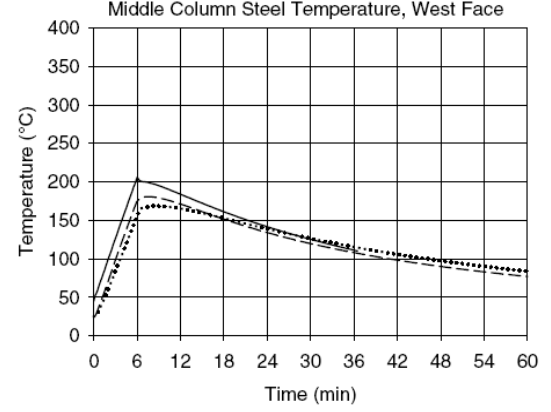
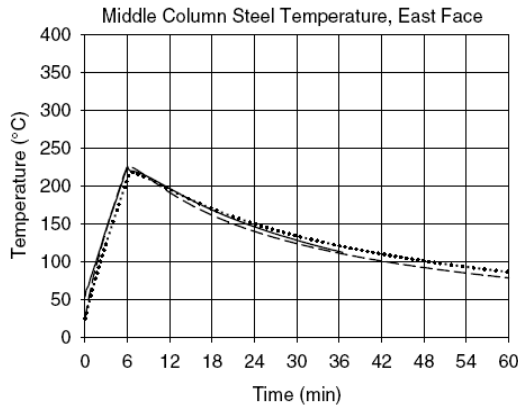
Deney düzeneği içerisinde herhangi bir zamana bağlı sıcaklık eğrisinin belirtilmediği çalışmada kolon üzerinde belirli noktalarda, kolonun nnden (yangın tarafı) ve arkasından elde edilen deneysel sonuçlar ile FDS ve ANSYS sonuçlarının

karşılaştırıldığı grafikler Şekil 1.18(a,b), Şekil 1.19(a,b) ve Şekil 1.20(a,b)'de gösterilmiştir.



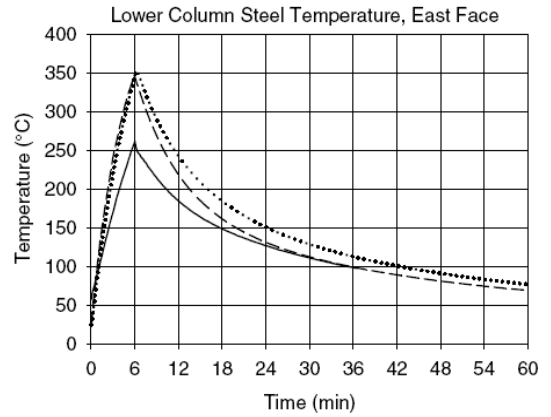
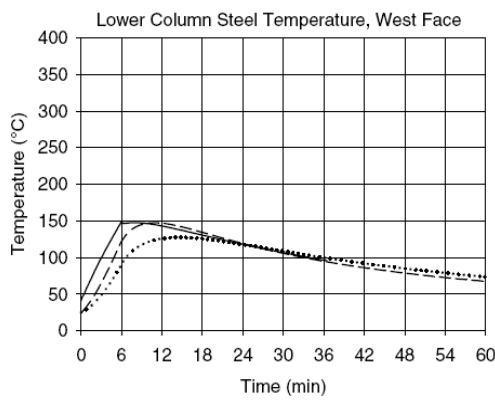
Şekil 1.19a: Kolon üst ön bölgesi [18].

Şekil 1.19b: Kolon üst arka bölgesi [18].



Şekil 1.20a: Kolon orta ön bölgesi [18].

Şekil 1.20b: Kolon orta arka bölgesi [18].



Şekil 1.21a: Kolon alt ön bölgesi [18].

Şekil 1.21b: Kolon alt arka bölgesi [18].

2. FIRIN ISIL ANALİZİ

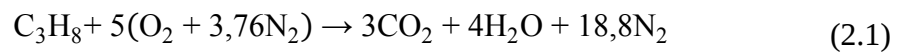
HAD analizi yapılacak olan yangın dayanım test fırının 1m yüksekliğinde, 1m genişliğinde ve 1m derinliğinde modelleneceği birinci bölümde belirtilmişti. Toplam hacmi 1m³ olarak modellenecek yangın dayanım test fırını için başlangıç ve sınır şartların belirleneceği termodinamik hesaplamalar bu bölümde incelenecektir.

2.1 Yapılan Kabuller

- Tüm gazlar sıkıştırılmaz kabul edilmiştir.
- İdeal gaz kabulü yapılmıştır.
- Kontrol hacmi adiyabatik kabul edilmiştir.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Işınım ile ısı geçişi hesaplarında gri gaz kabulü yapılmıştır.
- Tam yanma gerçekleştiği kabul edilmiştir.
- Yanma reaksiyonu stokiometrik kabul edilmiştir.
- Kuru havanın hacimsel olarak %21 oksijen ve %79 azottan ibaret olduğu kabul edilmiştir.
- Başlangıçta fırın içinin yanma sonu ürünlerle dolu olduğu varsayılmıştır.

2.2 Reaksiyon Tanımı

Bu modellemede yakıt olarak propan(C₃H₈), yakıcı olarak ise hava kullanılmıştır. Havanın hacimsel olarak %21 oksijen ve %79 azot içerdiği kabulü ile her mol oksijen ile birlikte 3.76 mol azotun tepkimeye girdiği göz önüne alınarak tepkime kütlenin korunumu ilkesine göre denkleştirildiğinde aşağıda yer alan denklem 2.1 elde edilir.



Stokiyometrik yanma kabulü ile tam yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli hava miktarına bağlı olan hava-yakıt oranını veren denklem 2.2 elde edilir. Denklem 2.2’de kullanılan değerler aşağıda yer alan Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Propan, oksijen ve azot mol kütlesi [19,20].

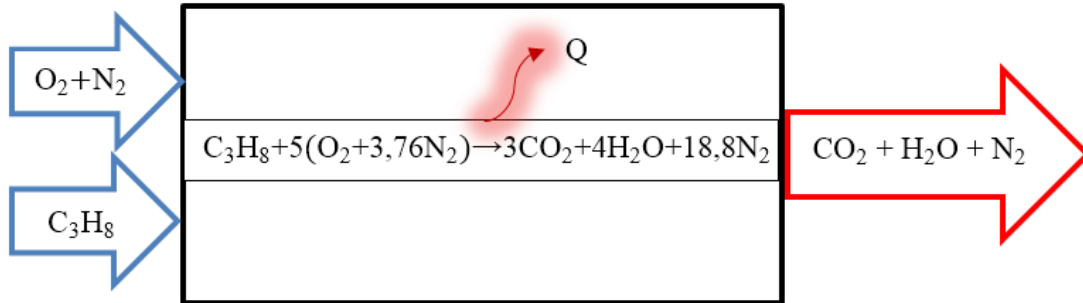
	C_3H_8	O_2	N_2
M_A [kg/kmol]	44,097	31,999	28,013

$$HY = \frac{m_{Hava} [kg/kmol]}{m_{Propan} [kg/kmol]} = \frac{[(N_{O_2} \cdot M_{A,O_2}) + (N_{N_2} \cdot M_{A,N_2})]}{(N_{C_3H_8} \cdot M_{A,C_3H_8})} = 15,6 \quad (2.2)$$

2.3 Termodinamik Analiz

2.3.1 Kontrol hacminin belirlenmesi

Reaksiyona giren ve reaksiyon sonucu oluşan ürünler ile reaksiyon sonucu çıkan ısıнын kontrol hacminde gösterildiği Şekil 2.1 aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Kontrol hacmine girenler ve çıkanlar.

2.3.2 Termodinamik hesaplamalar

Termodinamik 1.Kanuna göre;

$$Q - W = \Delta E \quad (2.3)$$

Düzgün akışlı dengeli açık sistemler için termodinamik birinci kanun yazılırsa denklem 2.4 elde edilir.

$$(Q_g + W_g + \sum m_g \cdot h) - (Q_c + W_c + \sum m_c \cdot h) = \Delta E \quad (2.4)$$

$$\Delta E = m_{\text{son}} \cdot u_{\text{son}} - m_{\text{ilk}} \cdot u_{\text{ilk}} \quad (2.5)$$

Denklem 2.4 zamana bağılı yazılırsa denklem aşağıda gösterilen denklem 2.6 elde edilir.

$$(\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum \dot{m}_g \cdot h) - (\dot{Q}_c + \dot{W}_c + \sum \dot{m}_c \cdot h) = \frac{dE}{dt} \quad (2.6)$$

Kontrol hacmi adiyabatik kabul edildiği ve sistemin yaptığı yada sisteme yapılan iş olmadığı için denklem 2.7 aşağıda gösterilen hali alır.

$$(\sum \dot{m}_g \cdot h) - (\sum \dot{m}_c \cdot h) = \frac{dE}{dt} \quad (2.7)$$

Kontrol hacmine, karışımın sağlanması ile birlikte yanma reaksiyonu sonucu ısı gireceği için denklem 2.7'ye reaksiyon ısısı eklenmelidir. Bu şekilde denklem 2.8 elde edilir.

$$(\sum \dot{m}_g \cdot h) - (\sum \dot{m}_c \cdot h) + \dot{Q}_R = \frac{dE}{dt} \quad (2.8)$$

Termodinamikte, bir işlem sırasında belli hallerdeki enerji değerleri ile değil sistemin enerjisindeki değişim ile ilgilenilmektedir. Bu yüzden referans olarak herhangi bir hal seçilebilir ve o haldeki maddenin iç enerjisi veya entalpisi sıfır kabul edilebilir. Kontrol hacminde kimyasal tepkimeler olduğu zaman, süreç sonunda sistemin bileşimi süreç başlangıcında sahip olduğu halde uzun süre kalmaz. Bu durumda, tüm maddeler için genel bir referans haline gerek vardır. Bu sebeple bir bileşenin entalpisinin tepkimeli sistemler için yeniden yazılması gerekir. Yani; entalpinin standart referans hale göre ve kimyasal enerji terimleri açıkça görülebilecek bir biçimde ifade edilmesi gerekir. Seçilen referans hal, standart referans hal olarak da bilinen 25°C ve 1 atm'dir [19]. Entalpi terimi standart referans haldeki oluşum entalpisine indirgenirse;

$$\text{Entalpi} = \bar{h}_{01}^0 + (\bar{h} - \bar{h}^0) \quad (2.9)$$

$(\bar{h} - \bar{h}^0)$ terimi; belirli bir haldeki entalpi olan $\bar{h}$ ile 25 °C ve 1 atm'deki standart referans haldeki entalpiyi ifade eden $\bar{h}^0$ arasındaki fark olan standart referans hale göre entalpiyi göstermektedir.

Denklem 2.8 ile gösterilen enerji denklik bağıntısında eşitliğin sol tarafı tepkimeli sistemler için yazılırsa aşağıda belirtilen denklem 2.10 elde edilir.

$$\sum \dot{m}_g \cdot h - \sum \dot{m}_\zeta \cdot h + \dot{Q}_R = \dot{m}_{Yakıt,t} \cdot \frac{1}{M_{AYakıt}} \cdot (\sum N_g (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_g - \sum N_\zeta (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_\zeta) \quad (2.10)$$

$\dot{m}_g$: Kontrol hacmine girenler kütleli debisi [kg/s]

$\dot{m}_\zeta$: Kontrol hacminden çıkanlar kütleli debisi [kg/s]

h : Belirli haldeki entalpi [kJ/kg]

$\dot{m}_{Yakıt,t}$: Kontrol hacmine giren zamana bağlı yakıt kütleli debisi [kg/s]

$M_{AYakıt}$: Kontrol hacmine giren yakıt mol kütlesi [kg/kmol]

N_g : Kontrol hacmine girenler mol sayısı

N_ζ : Kontrol hacminden çıkanlar mol sayısı

$\bar{h}_{ol}^0$: Oluşum entalpisi [kJ/kmol]

$\bar{h}$: Belirli haldeki entalpi [kJ/kmol]

$\bar{h}^0$: Standart referans haldeki entalpi [kJ/kmol]

Yakıt olarak propanın seçilmesi ve propanın hava ile yanma reaksiyonu girenler ve ürünleri denklem 2.10'a yazılırsa aşağıda gösterilen denklem 2.11 ile gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \sum \dot{m}_g \cdot h - \sum \dot{m}_\zeta \cdot h + \dot{Q}_R = & \dot{m}_{propan,t} \cdot \left(\frac{1}{M_{C_3H_8}} \right) \cdot \left[(1 \text{ kmol } C_3H_8) \cdot (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{C_3H_8} + \right. \\ & (5 \text{ kmol } O_2) \cdot (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{O_2} + (18,8 \text{ kmol } N_2) \cdot (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{N_2} \Big] - \\ & \left[(3 \text{ kmol } CO_2) \cdot (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{CO_2} + (4 \text{ kmol } H_2O) \cdot (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{H_2O} + \right. \\ & \left. (18,8 \text{ kmol } N_2) \cdot (\bar{h}_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{N_2} \right] \end{aligned} \quad (2.11)$$

Propanın yanması ve kontrol hacmine girenler ile çıkanların entalpileri farkı sonucu elde edilen ısı, kontrol hacminin sıcaklığını zamana bağlı olarak nasıl değiştireceğinin belirlenebilmesi için denklem 2.7'de eşitliğin sağ tarafı adiyabatik ortam şartlarında aşağıda belirtilen denklem 2.12 ile kontrol hacmi için tanımlanır.

$$\frac{dE}{dt} = m \cdot C_v \cdot \frac{dT}{dt} \quad (2.12)$$

Kararlı rejimde kontrol hacminin yanma sonu ürünleri ile dolacağı düşünülerek yapılan; başlangıçta kontrol hacminin yanma sonu ürünleriyle dolu olacağı kabulü ile kontrol hacmi içerisindeki toplam kütle 2.13 denklemi ile tanımlanır.

$$m_{\text{Toplam}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{N}_2} \quad (2.13)$$

İdeal gaz kabulü ile kontrol hacmi içerisindeki gazların kütleleri aşağıdaki 2.14 ideal gaz denklemi ile hesaplanabilir.

$$m_i = \frac{P \cdot V_i}{R_i \cdot T} \quad (2.14)$$

Denklem 2.14 ile kütlenin hesaplanabilmesi için yanma sonu ürünlerin kontrol hacmi içinde kapladıkları hacimlerinin bilinmesi gereklidir. 1 kmol C_3H_8 'ın yanması ile 3 kmol CO_2 , 4 kmol H_2O ve 18,8 kmol N_2 olmak üzere toplam 25,8 kmol ürün oluşur. İdeal gaz kabulü ile 2.15, 2.16 ve 2.17 denklemleri ile gösterildiği gibi Amagat Yasası'na göre bir gaz karışımının hacmi, karışımı oluşturan gazların aynı koşullarda ayrı ayrı kaplayacakları hacimlerin toplamına eşittir.

$$P \cdot V_i = N_i \cdot R_u \cdot T \quad (2.15)$$

$$P \cdot V_{\text{Toplam}} = N_{\text{Toplam}} \cdot R_u \cdot T \quad (2.16)$$

$$\frac{V_i}{V_{\text{Toplam}}} = \frac{\frac{N_i \cdot R_u \cdot T}{P}}{\frac{N_{\text{Toplam}} \cdot R_u \cdot T}{P}} = \frac{N_i}{N_{\text{Toplam}}} \quad (2.17)$$

2.17 denklemine göre içerisi yanma ürünleri ile dolu toplam V hacmindeki kontrol hacmi içerisindeki gazların hacimleri 2.18, 2.19 ve 2.20 denklemleri ile bulunur.

$$V_{CO_2} = \frac{3.V}{25.8} \quad (2.18)$$

$$V_{H_2O} = \frac{4.V}{25.8} \quad (2.19)$$

$$V_{N_2} = \frac{18.8.V}{25.8} \quad (2.20)$$

2.14 denklemi atmosfere açık sisteme uygulanacağı için 1 atm basınç, kontrol hacmi başlangıç sıcaklığı olan $T_0=293$ K, kontrol hacmi $V=1m^3$ ve her gazın kendi ideal gaz sabiti değerleri ile kullanılır. Denklemden yer alan ideal gaz sabiti yanma sonu ürünleri için aşağıda yer alan Çizelge 2.2’ de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : CO₂, H₂O ve N₂ için ideal gaz sabitleri [20,21].

	CO ₂	H ₂ O	N ₂
R [kJ/kg.K]	0.1889	0.4615	0.2968

Denklem 2.14 ile yapılan hesaplar ile kontrol hacmi içerisinde yer alan yanma sonucu ürünlerin kütleleri aşağıda yer alan Çizelge 2.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Kontrol hacmi içinde CO₂, H₂O ve N₂ kütleleri.

	CO ₂	H ₂ O	N ₂
m [kg]	0.213	0.11617631	0.85

Denklem 2.12’ de yer alan özgül ısı (C_v) değerleri yanma sonu ürünleri için sıcaklığa bağlı olarak hesaplanmalıdır. Özgül ısı değerlerini sıcaklığa bağlı olarak veren ifade denklem 2.23 ile gösterilmiştir.

$$C_p \text{ [kJ/kg.K]} = (a + b.T + c.T^2 + d.T^3 + e.T^4). 10^{-3} \quad (2.21)$$

$$C_v = C_p - R \quad (2.22)$$

$$C_v \text{ [kJ/kg.K]} = (a + b.T + c.T^2 + d.T^3 + e.T^4). 10^{-3} - R \quad (2.23)$$

Yukarıda gösterilen denklemde yer alan a, b, c, d ve e değerleri [J/kg. K] cinsinden olup şu ana kadar yapılan hesaplamalar hep [kJ] cinsinden olduğu için polinomal ifade 10^{-3} çarpanı ile çarpılmıştır.

Yanma sonu ürünleri olan CO₂, H₂O ve N₂ için sıcaklığa bağlı C_v değerlerini veren denklem 2.15'te yer alan a, b, c, d ve e değerleri aşağıda gösterilen Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4: Sıcaklığa bağlı C_v hesabında yer alan katsayılar [22].

	a	b	c	d	e
CO ₂	429,9289	1,874473	-0,001966485	1,297251.10 ⁻⁶	-3,999956.10 ⁻¹⁰
H ₂ O	1563,077	1,603755	-0,002932784	3,216101.10 ⁻⁶	-1,156827.10 ⁻⁹
N ₂	979,043	0,4179639	-0,001176279	1,674394. 10 ⁻⁶	-7,246297.10 ⁻¹⁰

Her yanma sonu ürün için sıcaklığa bağlı C_v hesaplama yöntemi belirtildikten sonra denklem 2.12 kontrol hacmine göre düzenlenirse denklem 2.22 elde edilir.

$$\frac{dE}{dt} = m_{CO_2} \cdot C_{vCO_2,T} \cdot \frac{dT}{dt} + m_{H_2O} \cdot C_{vH_2O,T} \cdot \frac{dT}{dt} + m_{N_2} \cdot C_{vN_2,T} \cdot \frac{dT}{dt} \quad (2.22)$$

Denklem 2.11 ve denklem 2.22 'nin denklem 2.7'ye yerleştirilmesi ile adiyabatik ortam şartlarında kontrol hacmi sıcaklığının zamanla değişimini veren denklem 2.23 elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{propan,t} \cdot \left(\frac{1}{M_{AC_3H_8}} \right) \cdot \left[(1 \text{ kmol } C_3H_8) \cdot (\bar{h}_{o1}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{C_3H_8} \right. \\ + (5 \text{ kmol } O_2) \cdot (\bar{h}_{o1}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{O_2} \\ + (18,8 \text{ kmol } N_2) \cdot (\bar{h}_{o1}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{N_2} \left. \right] \\ - \left[(3 \text{ kmol } CO_2) \cdot (\bar{h}_{o1}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{CO_2} \right. \\ + (4 \text{ kmol } H_2O) \cdot (\bar{h}_{o1}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{H_2O} \\ + (18,8 \text{ kmol } N_2) \cdot (\bar{h}_{o1}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{N_2} \left. \right] \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$= m_{CO_2} \cdot C_{vCO_2,T} \cdot \frac{dT}{dt} + m_{H_2O} \cdot C_{vH_2O,T} \cdot \frac{dT}{dt} + m_{N_2} \cdot C_{vN_2,T} \cdot \frac{dT}{dt}$$

Aşağıda fırın içerisinde olması gereken sıcaklığın zamanla değişimini veren ISO 834 eğrisini sağlayan denklem 2.24 verilmiştir.

$$T = 20 + 345 \log(8t + 1) \quad (2.24)$$

Denklem 2.24 dakika-Celcius cinsinden olup bu denklemin denklem 2.23'te kullanılabilmesi için saniye-Kelvin cinsinden olması gerekir. ISO 834 eğrisini saniye-Kelvin cinsinden sağlayan eşitlik aşağıda denklem 2.25'te verilmiştir.

$$T = 293 + 345 \log\left(\frac{8}{60}t + 1\right) \quad (2.25)$$

Denklem 2.23'te yer alan $\frac{dT}{dt}$ teriminin karşılığı aşağıda denklem 2.26'da verilmiştir.

$$\frac{dT}{dt} = 345 \cdot \left(\frac{\frac{8}{60}}{\frac{8}{60}t + 1}\right) \cdot \frac{1}{\ln 10} \cong \frac{19,97754617}{\frac{8}{60}t + 1} \quad (2.26)$$

Denklem 2.26'nın denklem 2.23'e yerleştirilmesi ile elde edilen denklem 2.27 aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{propan},t} \cdot \left(\frac{1}{M_{\text{A}_{\text{C}_3\text{H}_8}}}\right) \cdot \left[(1 \text{ kmol } \text{C}_3\text{H}_8) \cdot (\bar{h}_{\text{ol}}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\text{C}_3\text{H}_8} \right. \\ + (5 \text{ kmol } \text{O}_2) \cdot (\bar{h}_{\text{ol}}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\text{O}_2} \\ + (18,8 \text{ kmol } \text{N}_2) \cdot (\bar{h}_{\text{ol}}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\text{N}_2} \Big] \\ - \left[(3 \text{ kmol } \text{CO}_2) \cdot (\bar{h}_{\text{ol}}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\text{CO}_2} \right. \\ + (4 \text{ kmol } \text{H}_2\text{O}) \cdot (\bar{h}_{\text{ol}}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\text{H}_2\text{O}} \\ + (18,8 \text{ kmol } \text{N}_2) \cdot (\bar{h}_{\text{ol}}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\text{N}_2} \Big] \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} = \left(\frac{19,97754617}{\frac{8}{60}t + 1}\right) \cdot \left[(m_{\text{CO}_2} \cdot C_{v_{\text{CO}_2,T}}) + (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{v_{\text{H}_2\text{O},T}}) \right. \\ \left. + (m_{\text{N}_2} \cdot C_{v_{\text{N}_2,T}}) \right] \end{aligned}$$

Denklem 2.27’de yer alan 25 °C ve 1 atm’deki oluşum entalpileri ($\bar{h}_{01}^0$) ile 25 °C ve 1 atm’deki standart referans haldeki duyulan entalpi ($\bar{h}^0$) değerleri aşağıda yer alan Çizelge 2.4’te verilmiştir. Ayrıca kontrol hacmine giriş sıcaklığı olan T=293 K’de kontrol hacminde bulunan tüm bileşenlerin entalpileri de Çizelge 2.5’te yer almaktadır.

Çizelge 2.5: C₃H₈, O₂, CO₂, H₂O(g) ve N₂ için entalpi değerleri [23, 24, 25, 26,27].

	$\bar{h}_{01}^0$ (kj/kmol)	$\bar{h}^0$ (kj/kmol)	$\bar{h}_{293}$ (kj/kmol)
C ₃ H ₈	-103850	14750	14235,5
O ₂	0	8682	8532,625
CO ₂	-393520	9364	-
H ₂ O(g)	-241820	9904	-
N ₂	0	8669	8520,875

Başlangıç noktası oluşturmak üzere tüm kararlı elementlerin 25 °C ve 1 atm’deki standart referans haldeki oluşum entalpileri sıfır kabul edilir. Yani tüm kararlı elementler için $\bar{h}_{01}^0=0$ ’dır [28].

Çizelge 2.4’te verilen entalpi değerlerinin denklem 2.27’ye yerleştirilmesi ile elde edilen denklem 2.28 aşağıda gösterilmiştir.

$$\dot{m}_{\text{propan,t}} \cdot \left(\frac{2270773 - 3\bar{h}_{\text{CO}_2,\text{T}} - 4\bar{h}_{\text{H}_2\text{O},\text{T}} - 18.8 \bar{h}_{\text{N}_2,\text{T}}}{M_{\text{A C}_3\text{H}_8}} \right) = \left(\frac{19,97754617}{\frac{8}{60}t+1} \right) \cdot \left[(m_{\text{CO}_2} \cdot C_{v\text{CO}_2,\text{T}}) + (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{v\text{H}_2\text{O},\text{T}}) + (m_{\text{N}_2} \cdot C_{v\text{N}_2,\text{T}}) \right] \quad (2.28)$$

2.3.2.1 Yakıt miktarının belirlenmesi

Yakıt olarak belirlenen propanın mol kütlesi; $M_{\text{A C}_3\text{H}_8} = 44.097$ kg/kmol’dür [20,21]. Denklem 2.28’ de yer alan propan debisi denklemde yalnız bırakılırsa aşağıda yer alan denklem 2.29 elde edilir.

$$\dot{m}_{\text{propan,t}} = \frac{880,95054 \left((0,213 \cdot C_{v\text{CO}_2,\text{T}}) + (0,11617631 \cdot C_{v\text{H}_2\text{O},\text{T}}) + (0,85 \cdot C_{v\text{N}_2,\text{T}}) \right)}{\left(\frac{8}{60}t+1 \right) \cdot (2270773 - 3\bar{h}_{\text{CO}_2,\text{T}} - 4\bar{h}_{\text{H}_2\text{O},\text{T}} - 18.8 \bar{h}_{\text{N}_2,\text{T}})} \quad (2.29)$$

Denklem 2.29, denklem 2.25’e göre fırın içerisinde zaman göre istenen ortalama sıcaklığın sağlanabilmesi için, birim zamanda yakılması gereken propan miktarını

[kg/s] cinsinden ifade etmektedir. Yanma sonu ürünlerin; istenen zamanda denklem 2.25'e göre belirlenen sıcaklıktaki entalpilerinin, denklem 2.29'a yerleştirilmesi ve aynı şekilde Çizelge 2.3'te verilen değerlerin denklem 2.21 ile kullanılmasıyla hesaplanan özgül ısıların da denklem 2.29'a yerleştirilmesi ile anlık yakılması gereken propan miktarı bulunur.

Başlangıç propan debisinin belirlenebilmesi için kullanılacak değerler aşağıda yer alan Çizelge 2.6' da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6: Başlangıç verileri.

T= 293 K	CO ₂	H ₂ O	N ₂
C _v [kJ/kg. K]	0,6511	1,4	0,74
$\bar{h}$ [kJ/kmol]	9175,875	9733,375	8520,875

Çizelge 2.5'te gösterilen değerlerin denklem 2.29'da kullanılması ile propan için başlangıç debisi;

$$\dot{m}_{\text{Propan},t=0} = 0.00041 \text{ kg/s olarak bulunur.}$$

Denklem 2.29'dan anlaşılaçağı üzere analizin devamında propan debisi sürekli olarak değişecektir. İlk 300 saniyelik analizde kullanılacak yakıt miktarının belirlenebilmesi için denklem 2.29' da kullanılacak değerler Çizelge 2.7' de gösterilmiştir.

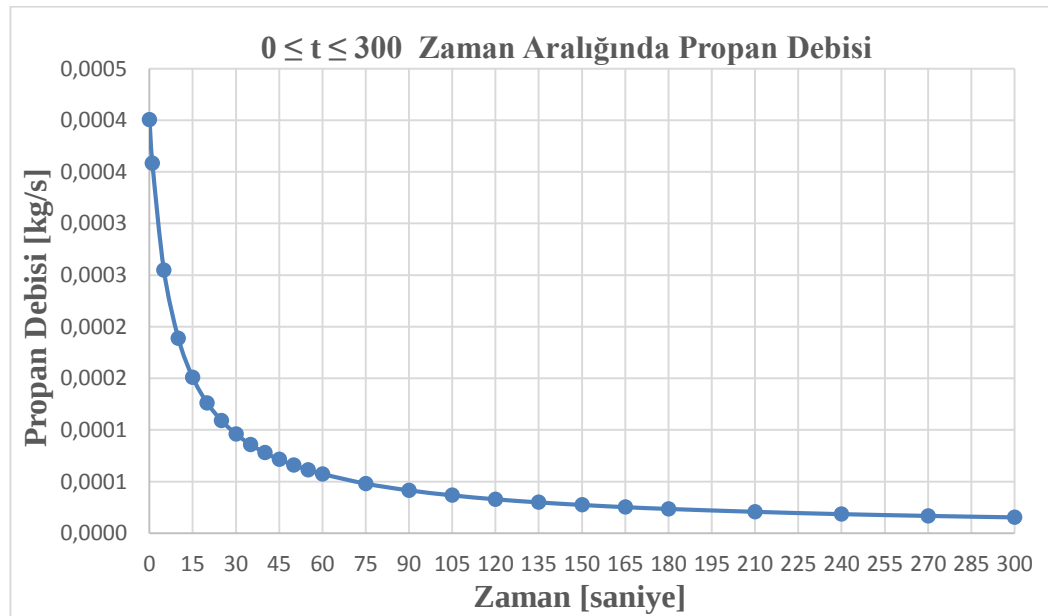
Çizelge 2.7: Kullanılan entalpi [25,26,27] ve hesaplanan C_v değerleri.

Zaman	Sıcaklık	$\bar{h}_{\text{CO}_2}$	$\bar{h}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\bar{h}_{\text{N}_2}$	C _{vCO₂}	C _{vH₂O}	C _{vN₂}
[Saniye]	[Kelvin]	$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}\right]$	$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}\right]$	$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}\right]$	$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg. K}}\right]$	$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg. K}}\right]$	$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg. K}}\right]$
1	311,7534	9807	10302	9014	0,669807	1,403034	0,742101
5	369,5378	12148	12331	10763	0,723182	1,434452	0,74703
10	419,952	14206	14043	12225	0,765046	1,460065	0,75176
15	457,6068	15700	15254	13252	0,79378	1,478785	0,755818
20	487,6736	17011	16301	14136	0,815312	1,493771	0,75948
25	512,7036	18126	17181	14935	0,832352	1,506407	0,762854
30	534,1447	19257	18067	15617	0,846347	1,517416	0,765996
35	552,898	19945	18601	16064	0,858154	1,527225	0,768944
40	569,5632	20870	19318	16662	0,868323	1,536106	0,771723
45	584,5588	21572	19858	17112	0,877222	1,544243	0,774353
50	598,1893	22280	20402	17563	0,885111	1,551771	0,776849
55	610,6825	22754	20765	17864	0,892179	1,558786	0,779226

Çizelge 2.7 (devam): Kullanılan entalpi ve hesaplanan C_v değerleri.

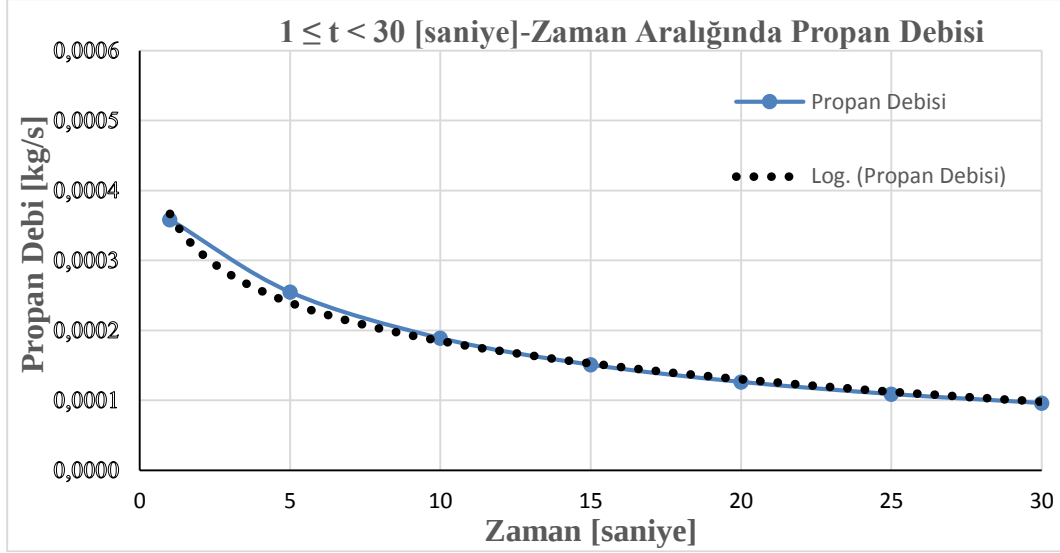
Zaman	Sıcaklık	$\overline{h_{CO_2}}$	$\overline{h_{H_2O}}$	$\overline{h_{N_2}}$	$C_{v_{CO_2}}$	$C_{v_{H_2O}}$	$C_{v_{N_2}}$
[Saniye]	[Kelvin]	$\left[\frac{kJ}{kmol}\right]$	$\left[\frac{kJ}{kmol}\right]$	$\left[\frac{kJ}{kmol}\right]$	$\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$	$\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$	$\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$
60	622,2137	23470	21130	18317	0,898569	1,565364	0,781493
75	652,2805	24674	22230	19136	0,914642	1,583	0,787732
90	677,3105	25991	23156	19900	0,927402	1,598242	0,793268
105	698,7515	27125	24088	20604	0,937901	1,611713	0,798239
120	717,5049	27972	24652	21128	0,946768	1,623813	0,802744
135	734,17	28873	25407	21684	0,954405	1,63481	0,806858
150	749,1657	29629	25977	22149	0,961086	1,644901	0,810638
165	762,7961	30135	26358	22460	0,967003	1,654229	0,81413
180	775,2893	30899	26933	22929	0,972298	1,662905	0,817371
210	797,5273	32179	27896	23714	0,981421	1,678636	0,823213
240	816,8873	32953	28478	24185	0,989049	1,692611	0,82835
270	834,0296	33990	29258	24816	0,99556	1,705184	0,832912
300	849,4104	34773	29846	25292	1,001207	1,716609	0,836998

Yukarda gösterilen çizelgede yer alan değerlerden, kontrol hacminden çıkan gazların entalpilerinin sıcaklığa bağlı olarak giderek artacağı anlaşılmaktadır. Buna karşın kontrol hacminin adiyabatik seçilmesi ve kontrol hacmi içerisindeki sıcaklığın ISO 834 sıcaklık eğrisine göre azalarak artan bir eğilim ile tanımlanmış olması yapılan hesaplamalar sonucu kontrol hacmine girecek propan miktarının giderek azalacağını göstermektedir. Çizelge 2.7'deki değerler kullanılarak yapılan analiz boyunca kontrol hacmine giren propan miktarını zaman bağlı olarak gösteren grafik Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Zaman bağlı propan debisi.

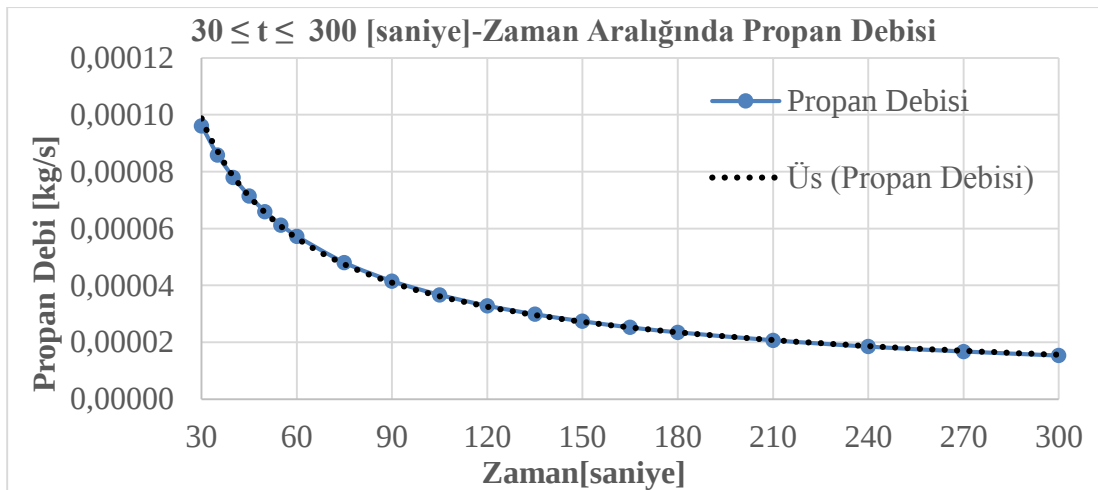
HAD analiz programına bu değişken debiyi tanımlayabilmek için Şekil 2.2’de gösterilen eğrinin bir fonksiyona uydurulması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu bu eğrinin düzgün bir fonksiyona uydurulabilmesi için parçalanması gerektiği ortaya çıkmıştır. Eğri, uydurulacak fonksiyon için; başlangıç değeri, $1 \leq t < 30$ ve $30 \leq t \leq 300$ olmak üzere üç parçaya bölünmüştür.



Şekil 2.3: $1 \leq t < 30$ [saniye]-zaman aralığında propan debisi.

Şekil 2.3’te $1 \leq t < 30$ [saniye] zaman aralığı için hesaplanan değişken propan debisi eğrisi ve bu eğriye uygun uydurulmuş olan logaritmik fonksiyon gösterilmektedir. Aşağı verilen denklem 2.30’da bu fonksiyon belirtilmektedir.

$$\dot{m}_{\text{Propan},t} = -0,000079017 \cdot \ln(t) + 0,000366752 \quad (2.30)$$



Şekil 2.4: $30 \leq t \leq 300$ [saniye]-zaman aralığında propan debisi.

Şekil 2.4'te $30 \leq t \leq 300$ [saniye] zaman aralığı için hesaplanan değişken propan debisi eğrisi ve bu eğriye uygun uydurulmuş olan üs fonksiyon gösterilmektedir. Aşağıda verilen denklem 2.31'de bu fonksiyon belirtilmektedir.

$$\dot{m}_{\text{Propan},t}=0,00150254.t^{-0,800449486} \quad (2.31)$$

Çizelge 2.7' de zamana bağlı propan debisini veren fonksiyonlar bir arada gösterilmiştir.

Çizelge 2.8: $0 \leq t \leq 300$ [saniye]-zaman aralığında propan kütleli debisi.

t [saniye]	$\dot{m}_{\text{Propan}}$ [kg/s]
$0 \leq t < 1$	0.00041
$1 \leq t < 30$	$-0,000079017\ln(t) + 0,000366752$
$30 \leq t \leq 300$	$0,00150254.t^{-0,800449486}$

2.3.2.2 Hava miktarının belirlenmesi

Denklem 2.2'de HY oranı hesaplanmış, $\left(HY = \frac{m_{\text{Hava}}}{m_{\text{Propan}}} = 15,6\right)$ olarak bulunmuştu.

Bulunan bu oran kontrol hacmine giren her kg propan için 15,6 kg havanın kontrol hacmine girmesi gerektiğini ifade eder. Dolayısıyla Çizelge 2.8'de propan için belirlenen zamana bağlı propan debisi fonksiyonlarının HY oranı ile çarpılması sonucu kontrol hacmine giren zaman bağlı hava miktarını veren fonksiyonlar elde edilir. Bu fonksiyonlar Çizelge 2.9' da gösterilmiştir.

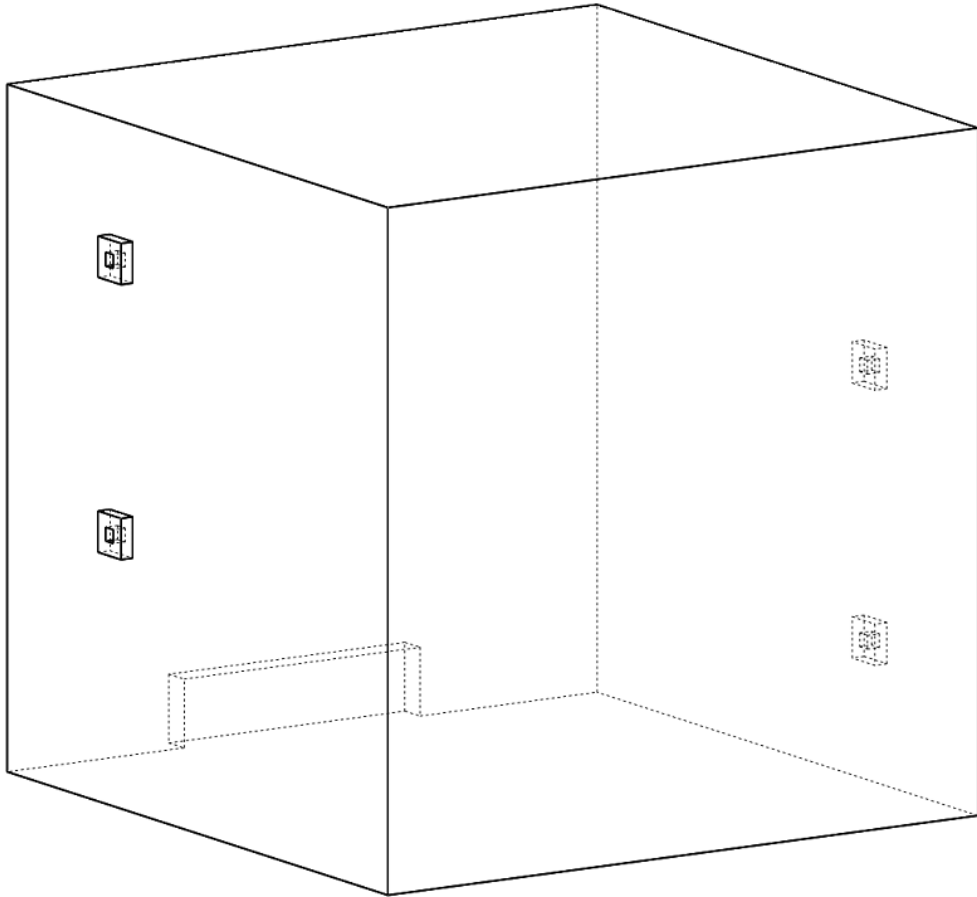
Çizelge 2.9: $0 \leq t \leq 300$ [saniye]-zaman aralığında hava kütleli debisi.

t [saniye]	$\dot{m}_{\text{Hava}}$ [kg/s]
$0 \leq t < 1$	0.0064
$1 \leq t < 30$	$15,6.(-0,000079017\ln(t) + 0,000366752)$
$30 \leq t \leq 300$	$15,6.(0,00150254.t^{-0,800449486})$

3. FIRIN YAPISININ ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ

3.1 Fırın Geometrisi

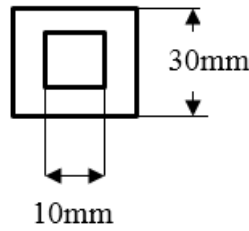
Paket program tarafından sonlu hacimler ayrıklaştırma metodu kullanılarak HAD analizi yapılacak olan tasarımda yanma reaksiyonun gerçekleşeceği için yapılan çalışmalar ve denemeler sonucu bu analizin yüksek işlem güçlü bilgisayarlarda dahi oldukça uzun süreceği belirlenmiştir. Bu sebeple fırın hacminin nispeten küçük belirlenmesi gerektiği ortaya çıkmış ve termodinamik analizi yapılacak olan yangın dayanım test fırını 1m uzunluğunda, 1m genişliğinde ve 1m derinliğinde tasarlanmıştır. Tasarlanan yangın dayanım test fırını Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Tasarlanan yangın dayanım test fırını.

3.2 Brülör Tasarımı

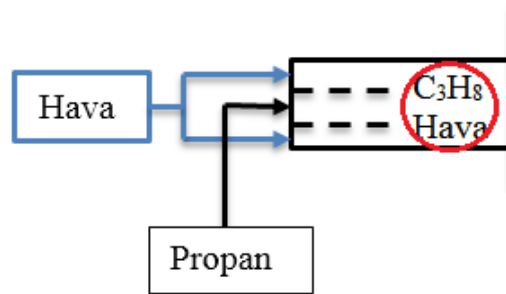
HAD analiz programında yapılacak ayırıklaştırmanın düzgün ve kolay olması için brülörler de fırın gibi kare kesitli belirlenmiştir. Tasarlanan brülörlerde propan ve havanın iç içe geçmiş iki kare kesitle karışması sağlanacaktır. Yanma reaksiyonunun istenilen şekilde sağlanabilmesi için uygun kesit ölçülerinin propan için 10x10 mm hava içinse 30x30mm olması gerektiği belirlenmiştir. Şekil 3.2' te tasarlanan brülör gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Tasarlanan brülör kesit görüntüsü

3.2.1 Alev oluşumu

Yapılan çalışmalarda ilk önce propan-hava karışımının fırın içerisine girmeden brülörde oluşturulan yanma odasında gerçekleşmesi düşünülmüş ve Şekil 3.3'te gösterilen tasarım elde edilmiştir.

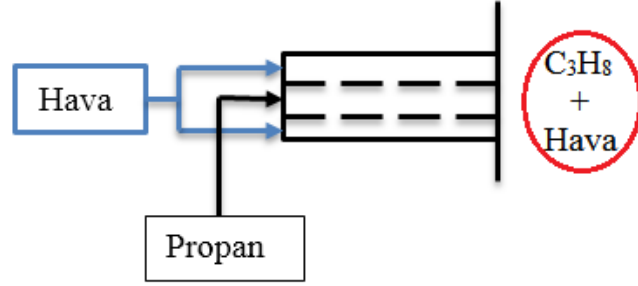


Şekil 3.3: İlk brülör tasarımı.

Yapılan ilk tasarımla paket program aracılığıyla gerçekleştirilen HAD analizlerinde yanma sonucu ortaya çıkan ısının brülör cidarında kaldığı ve fırın içerisine istenen ısının gönderilemediği belirlenmiştir. Bunun sebebi ise ikinci bölümde hesaplanan zamanla değişen propan ve hava debisinin oldukça küçük olmasıdır.

Yapılan çalışmalar sonucu propan-hava karışımının direkt olarak fırın içerisinde gerçekleşmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu şekilde alev oluşumu fırın içerisinde gerçekleşecek ve yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan ısı direkt olarak fırın

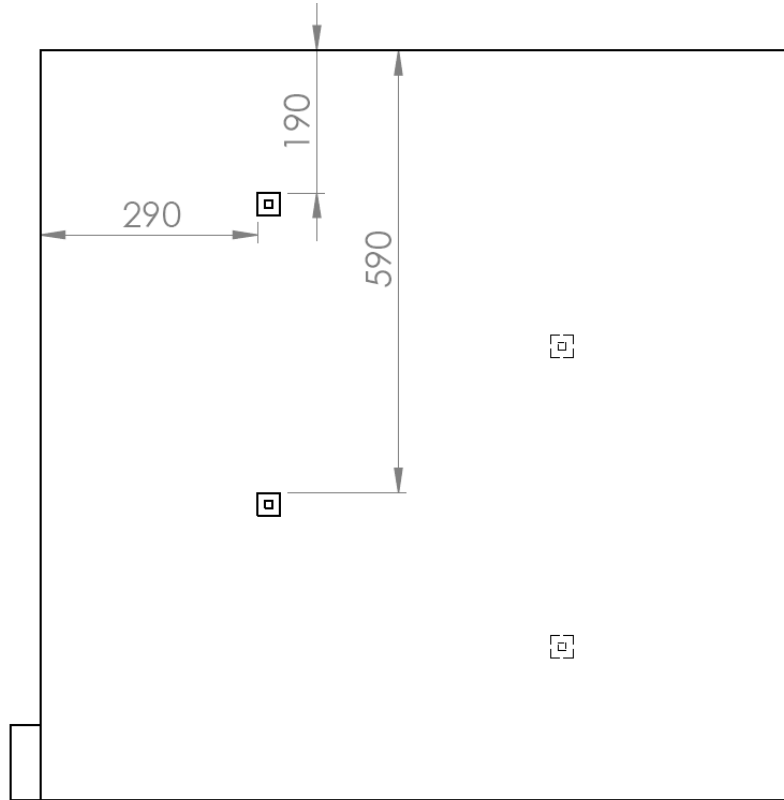
içerisine ulaşmış olacaktır. Yapılan ve HAD analizinde kullanılan son brülör tasarımı aşağıda yer alan Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



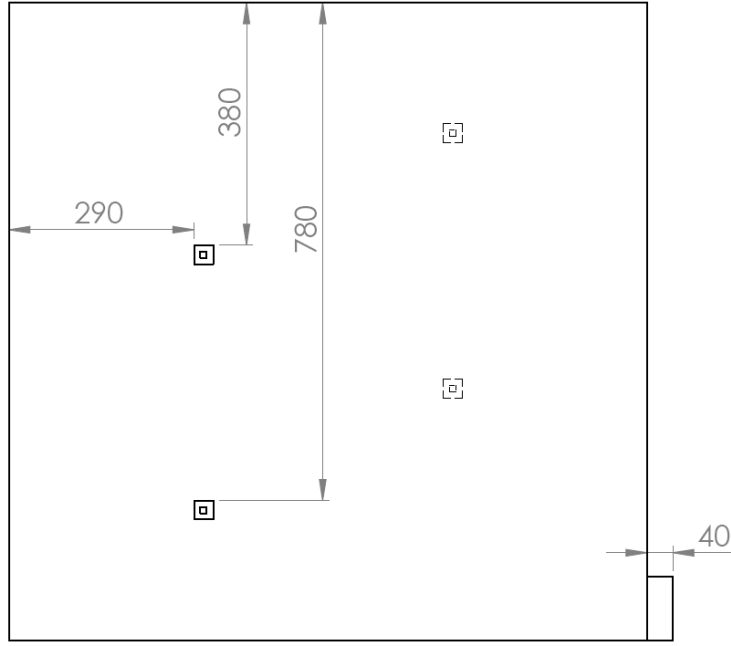
Şekil 3.4: Son brülör tasarımı.

3.2.2 Brülör yerleşimi optimizasyonu

Yapılan çalışmalar ve literatür taraması sonucu fırın içi termal difüzyonun en iyi sağlandığı tasarımın çapraz simetrik yerleştirilmiş dört brülör ile gerçekleştiği belirlenmiştir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da tasarlanan fırında brülörlerin yerleşimleri gösterilmektedir.



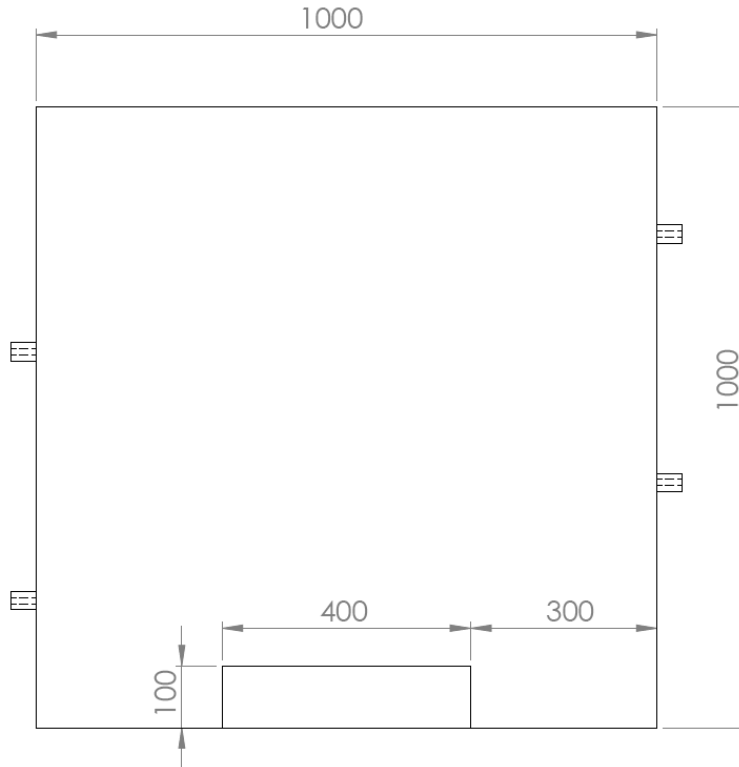
Şekil 3.5: Brülör yerleşimi soldan görünüş.



Şekil 3.6: Brülör yerleşimi sağdan görünüş.

3.3 Egzoz Tasarımı

Yapılan çalışmalar ve literatür taraması sonucu yanma sonu ürünlerinin fırın dışına çıkması için tasarlanan çıkışın 100 x 400 (mm) ölçütlerinde olması gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 3.7: Tasarlanan yangın dayanım fırını arkadan görünüşü.

4. HAD ANALİZİ

Yapılan çalışmada, HAD analizi ikinci ve dördüncü bölümde yapılan kabuller ve belirtilen modeller kullanılarak ANSYS Fluent yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

4.1 HAD analizinde kullanılacak denklemler ve yapılan kabuller

HAD analizinde ve ANSYS Fluent yazılımında kullanılan modeller bu başlık altında belirtilmiştir.

4.1.1 Korunum denklemleri

4.1.1.1 Kütlenin korunumu

Kütlenin korunumu diğer bir deyişle süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = \dot{S}_m''' \quad (4.1)$$

ρ : Yoğunluk $[\frac{kg}{m^3}]$

V : Akış hızı $[\frac{m}{s}]$

$\dot{S}_m'''$: Birim zamanda üretilen kütle miktarı $[\frac{kg}{m^3 s}]$

4.1.1.2 Momentumun korunumu

Momentumun korunumu şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau} + \rho \cdot \vec{g} \quad (4.2)$$

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{V} + \vec{V}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} I \right] \quad (4.3)$$

μ : Viskozite $[Pa \cdot s]$

I : Birim tensör

4.1.1.3 Enerjinin korunumu

Enerjinin korunumu eşitliği şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{V}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\vec{\tau} \cdot \vec{V}) \right) + S_h \quad (4.4)$$

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (4.5)$$

İdeal gazlar için hissedilir entalpi şu şekilde ifade edilir:

$$h = \sum_j Y_j h_j \quad (4.6)$$

$$h_j = \int_{T_{ref}}^T C_{p,j} dT \quad (4.7)$$

$$k_{eff} : k + k_t \left[\frac{kW}{m} \right]$$

$$\vec{J}_j : \text{Kütle difüzyonu} \left[\frac{kg}{m^2.s} \right]$$

$$h_j : \text{Entalpi} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$Y_j : \text{Kütle kesri}$$

$$S_h : \text{Kaynak terim}$$

4.1.2 Türbülans denklemleri

Yapılan çalışmalar ve literatür araştırmaları sonucu bu tezde “realizable k-ε” türbülans modeli kullanılmıştır. Kullanılan türbülans modeli için transport denklemi şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$G_k : \text{Ortalama hız ile türbülans kinetik enerji üretimi}$$

$$G_b : \text{Kaldırma kuvvetleri ile türbülans kinetik enerji üretimi}$$

Y_M : Sıkıştırılabilir türbülansla çalkantı genişlemesi

σ_k, S_k : Türbülans Prandtl sayısı (k), Kaynak terim

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \quad (4.9)$$

C_2 : Sabit

$C_{1\epsilon}$: Sabit

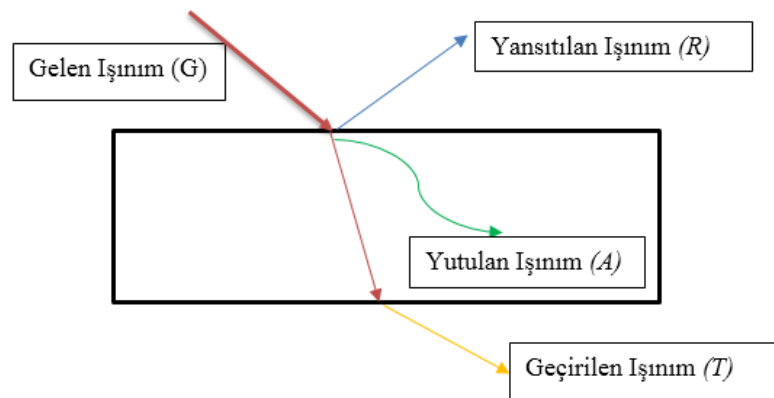
$$C_1 = \max \left(0,43; \frac{\eta}{\eta + 5} \right) \quad (4.10)$$

$$\eta = S \frac{k}{\epsilon} \quad (4.11)$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (4.12)$$

4.1.3 Işınım denklemi

Mühendislikte karşılaşılan birçok problemde, bir gaz ile onu çevreleyen yüzeyler arasında ışınlama ile ısı geçişinin hesaplanması gerekir. Birçok gazın (Ne, Ar, Xe, N₂, O₂, H₂ gibi) ışınlama geçirir oranı oldukça yüksek; bire yakındır. Ancak bazı gazların ışınlama neşretmeleri ve ışınlama yutmaları ihmal edilemez. Genel olarak CO₂, CO, H₂O(g), SO₂, amonyak buharı, hidrokarbon gazlar vb. gazların değişik dalga boyu aralıklarında ışınlama geçirir oranları birden küçüktür; ışınlama neşreder, yutar, ve saçarlar [29]. Bu gazların maruz kalacağı ışınlama ile ısı geçişi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Işınım ile ısı geçişi.

$$G = R + A + T \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'te bütün terimler G'ye bölünürse; ışıınımı yansıtma oranı (ρ) ,ışıınımı yutma oranı (α) ve ışıınımı geçirme oranı (τ) elde edilir.

$$\rho = \frac{R}{G} \quad (4.13)$$

$$\alpha = \frac{A}{G} \quad (4.14)$$

$$\tau = \frac{T}{G} \quad (4.15)$$

Bu oranların toplamı ile aşağıda gösterilen denklem 4.16 elde edilir.

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (4.16)$$

İşınım geçiş denklemi aşağıda denklem 4.17 ile gösterilmiştir.

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (\alpha + \sigma_s)I(\vec{r}, \vec{s}) = \alpha n^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}', \vec{s}) d\Omega' \quad (4.17)$$

$\vec{r}$: Konum vektörü

$\vec{s}$: Doğrultu vektörü

$\vec{s}'$: Saçınım doğrultu vektörü

α : Absorpsiyon katsayısı

n : Kırılma indisi

σ_s : Saçınım katsayısı

σ : Stefan-Boltzman sabiti [$5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/ m}^2\text{-K}^4$]

I : Konum ve doğrultu vektörüne bağlı gelen ışıınım

T : Bölgesel sıcaklık

Φ : Faz fonksiyonu

Ω' : Tam (katı) açı

4.1.4 Kimyasal tepkime denklemleri

4.1.4.1 Bileşenlerin molar korunumu

Kimyasal reaksiyonlar için bileşenlerin molar korunumu şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\nabla \cdot (C_i \vec{V} - D \nabla C_i) + S_i \quad (4.18)$$

C_i : i bileşeninin molar derişimi [$\frac{mol}{m^3}$],

V : Bileşenin akış hızı [$\frac{m}{s}$],

D : Kimyasal bileşenlerin molar difüzyon katsayısı [$\frac{mol}{m.s}$],

S_i : i bileşeninin kimyasal tepkimelere bağlı olarak üretim/tüketim terimi [$\frac{mol}{m^3.s}$].

4.1.4.2 Taşınım-difüzyon denklemi

Kimyasal reaksiyonlar için kombine edilmiş taşınım-difüzyon denklemi şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (4.19)$$

Y_i : i bileşeni kütle kesri

J_i : i bileşeni difüzyon akısı

R_i : Reaksiyon kaynak terimi

S_i : Diğer etkenler

Laminer akışta kütle akısı “Fick Kanunu” ’na göre şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\vec{J}_i = -\rho D_{i,m} \nabla Y_i - D_{T,i} \frac{\nabla T}{T} \quad (4.20)$$

$D_{i,m}$: Kütle difüzyon katsayısı

$D_{T,i}$: Termal difüzyon katsayısı

Türbülanslı akışta kütle akısı “Fick Kanunu” ’na göre şu şekilde ifade edilmektedir [30]:

$$\vec{J}_i = - \left(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \nabla Y_i - D_{T,i} \frac{\nabla T}{T} \quad (4.21)$$

$$Sc_t = \frac{\mu_t}{\rho D_t} \quad (4.22)$$

$D_{i,m}$: Kütle difüzyon katsayısı

$D_{T,i}$: Termal difüzyon katsayısı

Sc_t : Türbülans Schmidt sayısı

μ_t : Türbülans viskozitesi

D_t : Türbülans difüzivitesi

Denklem (4.23) ile gösterilen reaksiyon kaynak terimi enerji denkleminde reaksiyon ısısı olarak eklenir.

Reaksiyon kaynak terimi şu şekilde ifade edilmektedir [31]:

$$R_i = M_{w,i} \sum_{r=1}^{N_R} \widehat{R}_{i,r} \quad (4.23)$$

$M_{w,i}$: i bileşeni moleküler ağırlığı

$\widehat{R}_{i,r}$: r reaksiyonunda; i bileşeni için molar üretim/ molar tüketim oranı

$$\widehat{R}_{i,r} = \Gamma (v''_{i,r} - v'_{i,r}) \left(k_{f,r} \prod_{j=1}^{N_r} (C_{j,r})^{\eta'_{j,r}} - k_{b,r} \prod_{j=1}^{N_r} (C_{j,r})^{\eta''_{j,r}} \right) \quad (4.24)$$

N_r : r reaksiyonundaki kimyasak bileşen sayısı

$C_{j,r}$: j reaksiyonundaki her girdi ve ürünün molar derişimi

$\eta'_{j,r}$: r reaksiyonundaki j bileşeni ürün ve girdileri için ileri artırım oranı

$\eta''_{j,r}$: r reaksiyonundaki j bileşeni ürün ve girdileri için geri artırım oranı

Γ : Katalitik etkisi

$$\Gamma = \sum_j^{N_r} \gamma_{j,r} C_{j,r} \quad (4.24)$$

Reaksiyon kinetiği aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilmektedir [31].

$$\sum_{i=1}^N v'_{i,r} M_i \stackrel{k_{f,r}}{\rightleftharpoons} \sum_{i=1}^N v''_{i,r} M_i \quad (4.25)$$

M_i : i bileşenini göstergesi

N : Sistemdeki kimyasal bileşen sayısı

$v'_{i,r}$: r reaksiyonundaki i girdisi için stokiyometrik katsayı

$v''_{i,r}$: r reaksiyonundaki i ürünü için stokiyometrik katsayı

$k_{f,r}$: r reaksiyonu için ileri artırım oranı

$k_{b,r}$: r reaksiyonu için geri artırım oranı

Reaksiyon ileri artırım oranı $k_{f,r}$; Arrhenius ifadesi ile hesaplanabilir. Arrhenius ifadesinin açılmış hali aşağıda gösterilmektedir.

$$k_{f,r} = A_r T^{\beta_r} \cdot e^{-\frac{E_r}{RT}} \quad (4.26)$$

A_r : r tepkimesi için frekans

E_r : r tepkimesi için aktivasyon enerjisi [J/mol]

R : Evrensel gaz sabiti [J/mol.K]

T : Ortam sıcaklığı

β_r : r tepkimesi için sıcaklık üssü

Reaksiyon geri artırım oranı $k_{b,r}$ aşağıda gösterilen denklem 4.27 ile gösterilebilir.

$$k_{b,r} = \frac{k_{f,r}}{K_r} \quad (4.27)$$

K_r : r reaksiyonu için denge sabiti

4.1.5 Özel modeller

4.1.5.1 Eddy dissipasyon modeli

Model ilk olarak 1971 yılında Spalding tarafından tanıtılmış, 1976 yılında ise Magnussen ve Hjertager tarafından genelleştirilmiştir. Reaksiyon kimyasal bileşenleri için ortalama reaksiyon hızında, türbülanslı karışım hızına dayanan bir modeldir. Yapılan literatür taraması sonucu bu çalışmada Eddy dissipasyon modeli kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu modelde yapılan kabuller şu şekildedir:

- Reaksiyonda yakıt olarak kullanılan bileşen hızlı yanıcıdır.
- Kimyasal reaksiyon, karışım oluşumu ve reaksiyon alanına ısı girişinden önce gerçekleşir. ($Da \gg 1$)
- Çok hızlı reaksiyonlarda reaksiyon hızı türbülanslı karışım hızı ile sınırlandırılmıştır.
- Türbülanslı karışım hızı Eddy ömrü denilen $\tau = k/\varepsilon$ zaman ölçeği ile ilişkili kabul edilir.

Aşağıda yer alan denklem 4.28 ile girdilerin kütle kesri temelli, denklem 4.29' da ise ürünlerin kütle kesri temelli olmak üzere; r reaksiyonunda i bileşeni üretim hızları verilmiştir.

$$R_{i,r} = v'_{I,r} M_{w,i} A \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left(\frac{Y_R}{v'_{R,r} M_{w,R}} \right) \quad (4.28)$$

$$R_{i,r} = v'_{I,r} M_{w,i} A B \rho \frac{\varepsilon}{k} \left(\frac{\sum_P Y_P}{\sum_j^N v''_{j,r} M_{w,j}} \right) \quad (4.29)$$

k : Türbülans kinetik enerjisi

ε : Türbülans dissipasyon hızı

Y_P, Y_R : Bileşenlerin kütle kesirleri

A : Girdiler için Magnussen sabiti (4,0)

B : Ürünler için Magnussen sabiti (0,5)

$M_{w,i}$: Moleküler ağırlık

R, P : Girdiler, ürünler

4.1.5.2 P-1 ışınlm modeli

P-1 ışınlm modeli P-N modelin basit bir halidir. Gri ışınlm kabulü yapıldığında aşağıda yer alan denklemler ve ışınlm akısı elde edilir.

$$q_r = -\frac{1}{3(a + \sigma_s) - C\sigma_s} \nabla G \quad (4.30)$$

a : Absorpsiyon katsayısı

σ_s : Saçınım katsayısı

G : Gelen ışınlm

C : Lineer-anizotropic faz fonksiyonu katsayısı

$$\Gamma = \frac{1}{(3(a + \sigma_s) - C\sigma_s)} \quad (4.31)$$

$$q_r = -\Gamma \nabla G \quad (4.32)$$

Yukarıda elde edilen denklemler ışınlm geçiş denklemine yerleştirilirse aşağı yer alan denklem (4.31) elde edilir.

$$\nabla \cdot (\Gamma \nabla G) - aG + 4an^2\sigma T^4 = S_G \quad (4.33)$$

n : Kırılma indisi

σ : Stefan-Boltzman sabiti ($5,669.10^{-8} \text{ W/ m}^2\text{-K}^4$)

S_G : Işınlm kaynak terimi

Denklem 4.32'nin denklem 4.33'e yerleştirilmesi ile aşağıda yer alan denklem 4.34 elde edilir.

$$-\nabla \cdot q_r = aG - 4an^2\sigma T^4 \quad (4.34)$$

$(-\nabla \cdot q_r)$ terimi enerji denklemine ısı kaynağı olarak direkt olarak eklenebilir.

- Yapılacak olan HAD analizinde faz fonksiyonu izotropik kabul edilmiştir.

4.1.5.3 The weighted-sum of gray gases model (WSGGM)

Bu çalışmada HAD analizi yapılacak olan kontrol hacmi içerisi CO₂, H₂O_(g) gibi ışınlı neşretmeleri, yutmaları ihmal edilemez gazlar ile dolu olacağı için absorpsiyon katsayısını ve neşretme oranını gri gaz kabulü ile sıcaklığa bağlı olarak hesaplayan WSGMM modeli kullanılacaktır. Be hesapların nasıl yapıldığını gösteren denklemler aşağıda gösterilmiştir [32].

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^I a_{\varepsilon,i}(T)(1 - e^{-k_i p s}) \quad (4.35)$$

ε : Toplam neşretme oranı

$a_{\varepsilon,i}$: Her hayali gri gaz için absorpsiyon katsayısı

k_i : Her hayali gaz için neşretme oranı

P : Kısmi basınç

s : Yörünge uzunluğu

Absorpsiyon katsayısı katsayısı başlangıç değeri sıfır kabulü ile aşağıdaki denklemler elde edilir [30].

$$a_{\varepsilon,0} = 1 - \sum_{i=1}^I a_{\varepsilon,i} \quad (4.36)$$

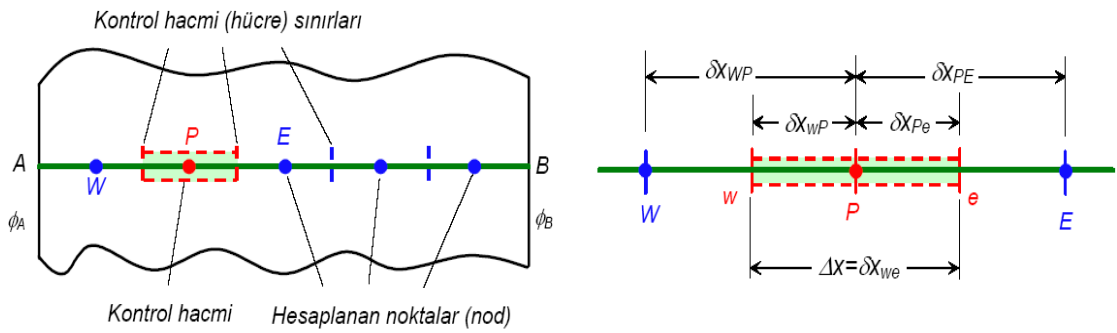
$$a_{\varepsilon,i} = \sum_{j=1}^J b_{\varepsilon,i,j} T^{j-1} \quad (4.37)$$

$b_{\varepsilon,i,j}$: Neşretme gaz sıcaklığı polinom katsayıları [30].

4.2 Sonlu Hacimler Metodu

Dördüncü bölümde belirtilen zamana bağlı diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünün yapılabilmesi için bu denklemlerin uzayda ve zamanda ayrıklaştırılması gerekir. Bu çalışmada HAD analizinin yapılacağı ANSYS Fluent yazılımında ayrıklaştırma tekniği olarak “Sonlu Hacimler Metodu” kullanılmaktadır.

Sonlu hacimler metodu bütünü, sonlu sayıda parçalara ayırarak çözüm üretmek amacıyla kullanılan bir ayrıklaştırma yöntemidir. Çözüm bölgesinin ayrık kontrol hacimlerine bir başka deyişle hücrelere bölünmesi şu şekilde gerçekleştirilmektedir:

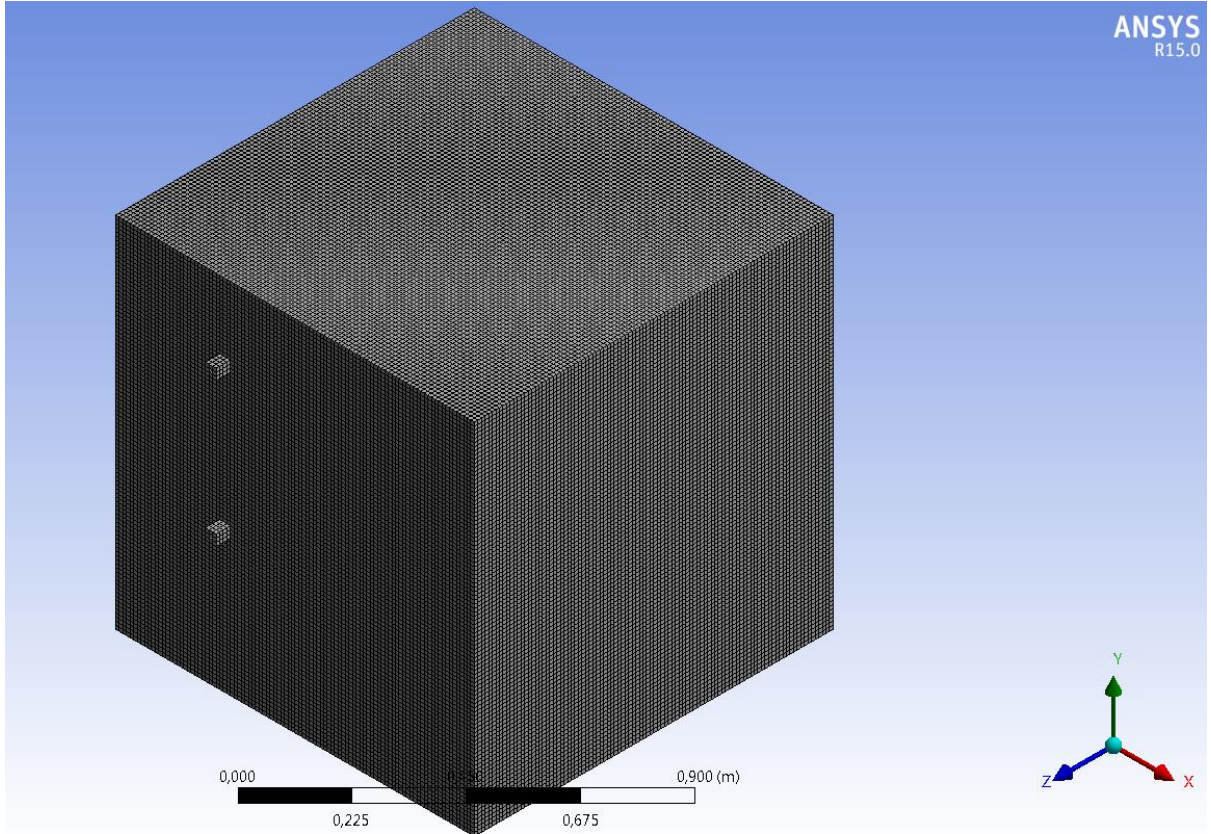


Şekil 4.2: Sonlu hacimler metodu ile ayrıklaştırma.

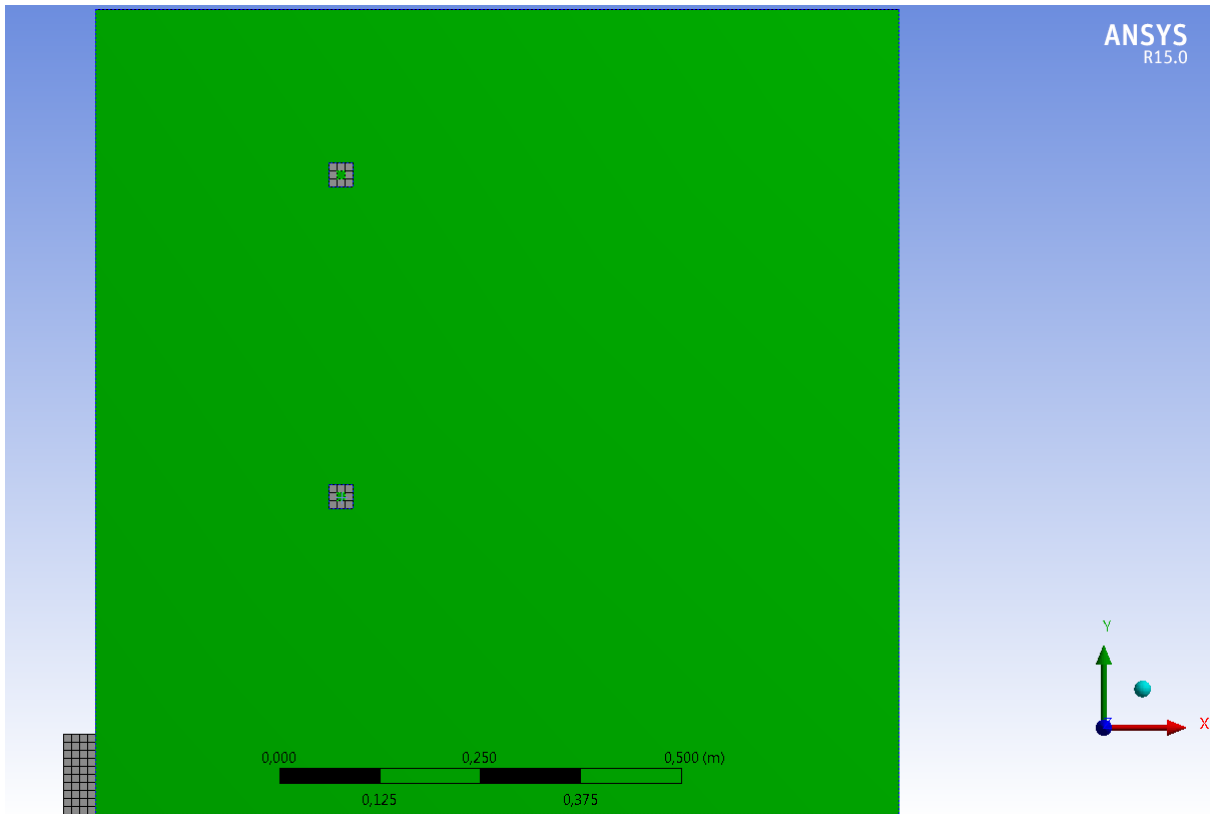
A ve B sınırları arasında çeşitli kontrol noktaları alınır. Kontrol hacimlerinin sınırları artarda gelen noktalar arasındaki orta noktalar olarak belirlenir. Böylece her bir kontrol noktası bir kontrol hacmiyle çevrelenmiş olacaktır. Hesap bölgesinin sınırlarına komşu hücre sınırlarının fiziksel sınırlarla çakışık alınması çözümün daha doğru olmasını sağlayacaktır.

Dördüncü bölümde bahsedilen her bir diferansiyel denklem, öncelikle karşılıkları olan integral gösterimle yazılır, daha sonra her bir kontrol hacmi için bu integral ifadeler çözülür.

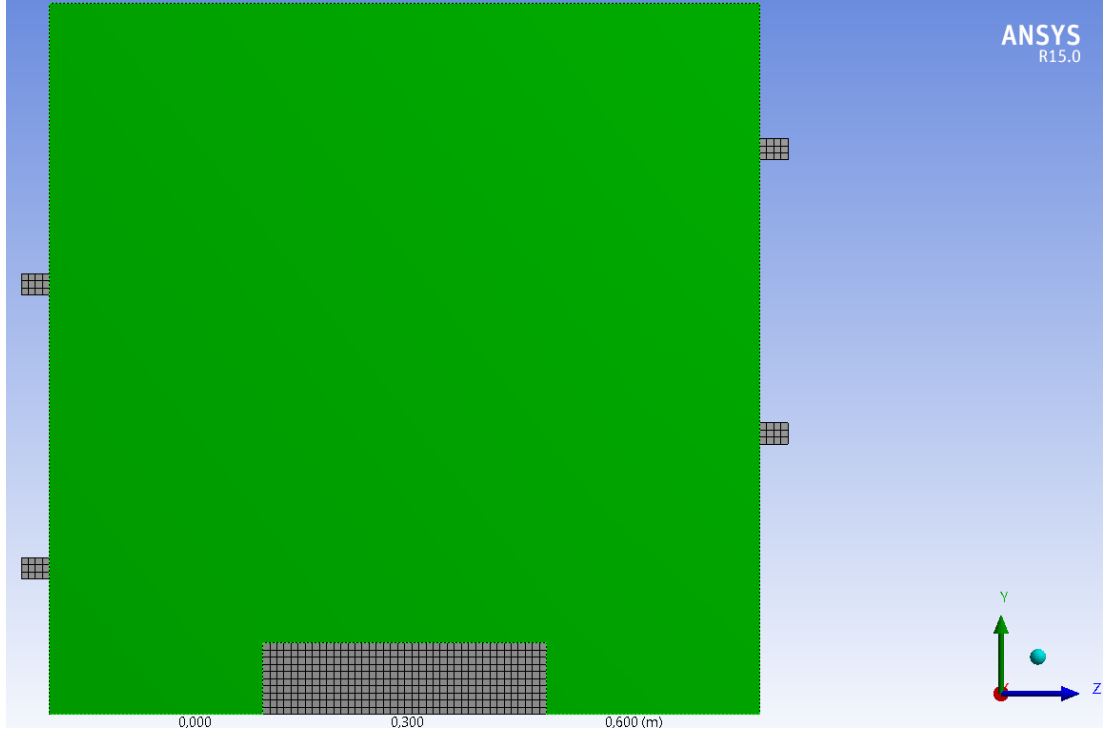
Bu çalışmada ANSYS Mesh yazılımı kullanılarak kontrol hacminde birbirinden eşit uzaklıkta noktalar belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu iki nokta arasındaki uzaklığın 10 mm olması gerektiği belirlenmiştir. Belirlenen bu değer sonucu 1032361 düğüm noktası oluşturulmuştur. Şekil 4.3'te tasarlanan yangın dayanım test fırınının Şekil 4.4'te brülörlerin, Şekil 4.5'te egzozun düğüm noktalarına ayrıklaştırılmış görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.3: Düğüm noktaları izometrik görünüşü.



Şekil 4.4: Yakıt ve hava girişlerinde düğüm noktaları.



Şekil 4.5: Çıkış bölgesi düğüm noktaları gösterimi.

4.3 Diğer Parametreler

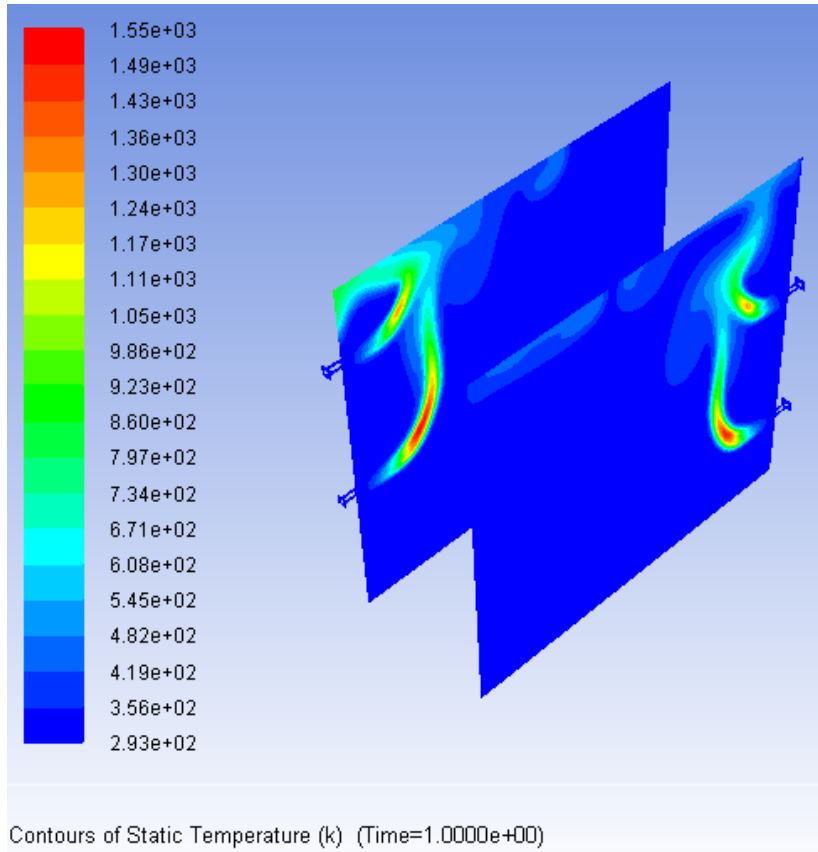
4.3.1 Zaman adımı

Yapılacak analiz zamana bağlı olduğu için bir zaman adımı belirlenmesi gerekmektedir. Zamandan bağımsız ve zamana bağlı yapılan çalışmalar sonucu programa girilmesi gereken zaman adımı 0,01 saniye olarak belirlenmiş; bu durum çözümün ilerleme hızının oldukça düşmesine sebep olmuş fakat daha büyük zaman adımları ile çözüm yapıldığında yakınsama hataları alınmıştır.

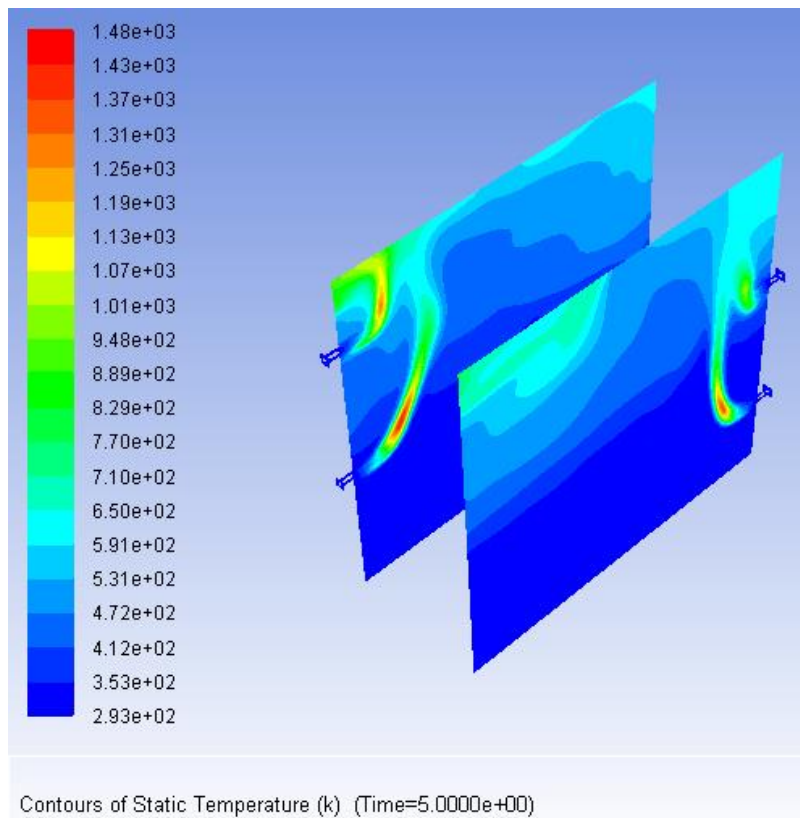
4.3.2 Propan ve hava debisi

İkinci bölümde yapılan hesaplamalar sonucu kontrol hacmine giren propan ve hava debisinin zamana bağlı değişmesi gerektiği belirtilmiş ve bu değişimin yazılan fonksiyonlarla sağlandığı gösterilmişti. HAD analizi için kullanılacak ANSYS Fluent yazılımında bu şartın sağlanabilmesi için kullanıcı tanımlı fonksiyon yazılması ve yazılan fonksiyonların program içine dahil edilmesi gerekmektedir. Bu şart C yazılım dilinde yazılan kod ile sağlanmış ve bu kod programa sınır şartı olarak girilmiştir. Kütleli debi için yazılan kod ile sağlanan sınır şartında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarda zamana bağlı hesaplanan kütleli debi değerlerinin tutmadığı görülmüş, bu hatayı engellemek adına yazılan koddaki fonksiyonlar kütleli akıya

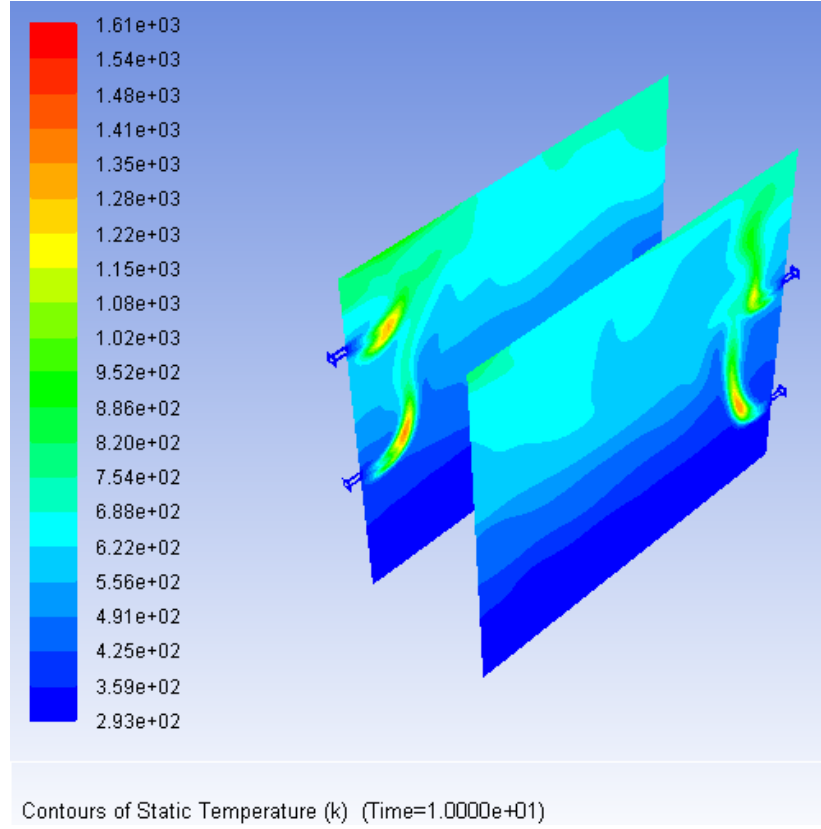
çevrilmiştir. Böylece kontrol hacmine giren zamana göre değişen propan ve hava miktarı tam olarak hesaplandığı gibi elde edilmiştir. Bu şekilde yazılan kod Ek-A’da gösterilmiştir.



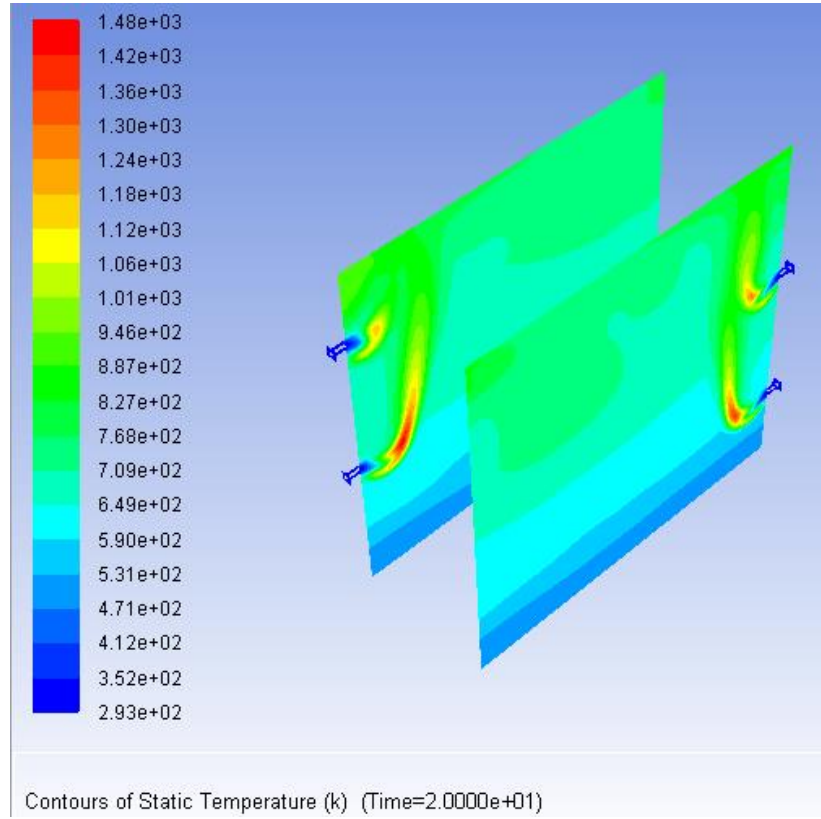
Şekil 5.2: 1. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.



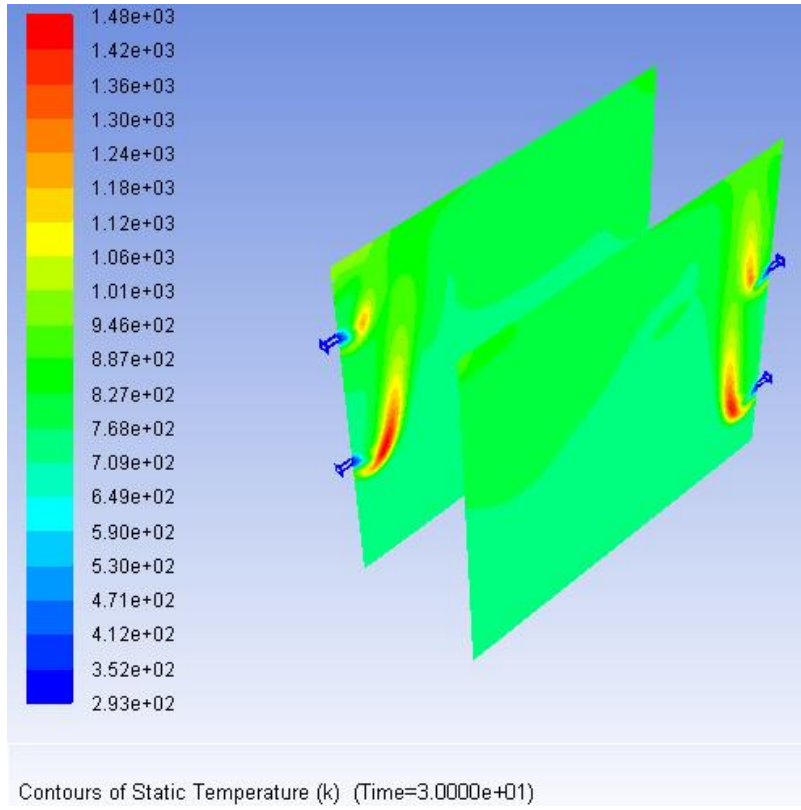
Şekil 5.3: 5. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.



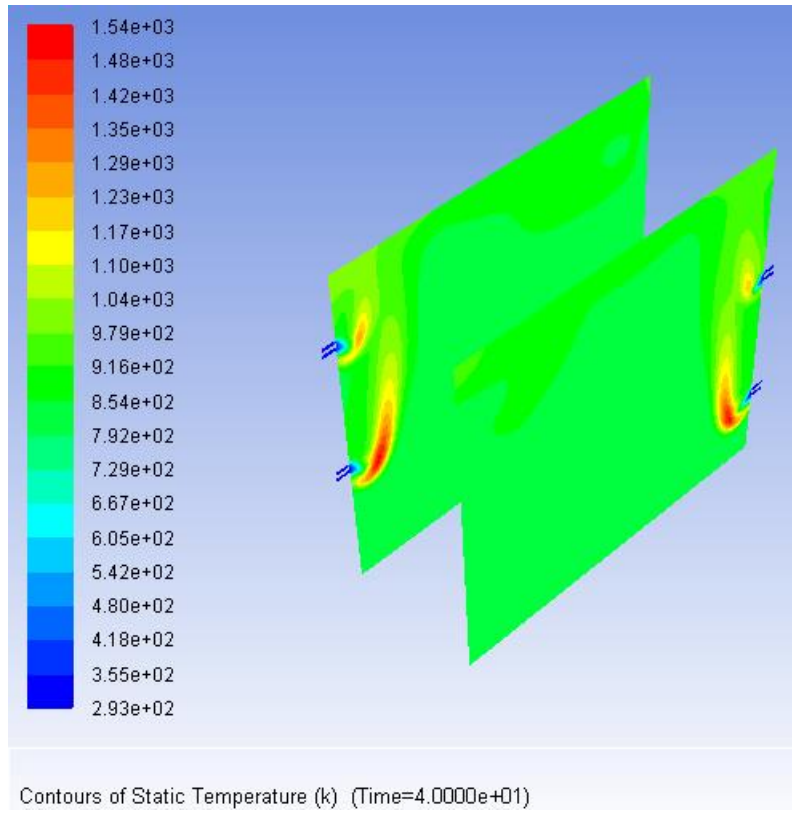
Şekil 5.4: 10. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.



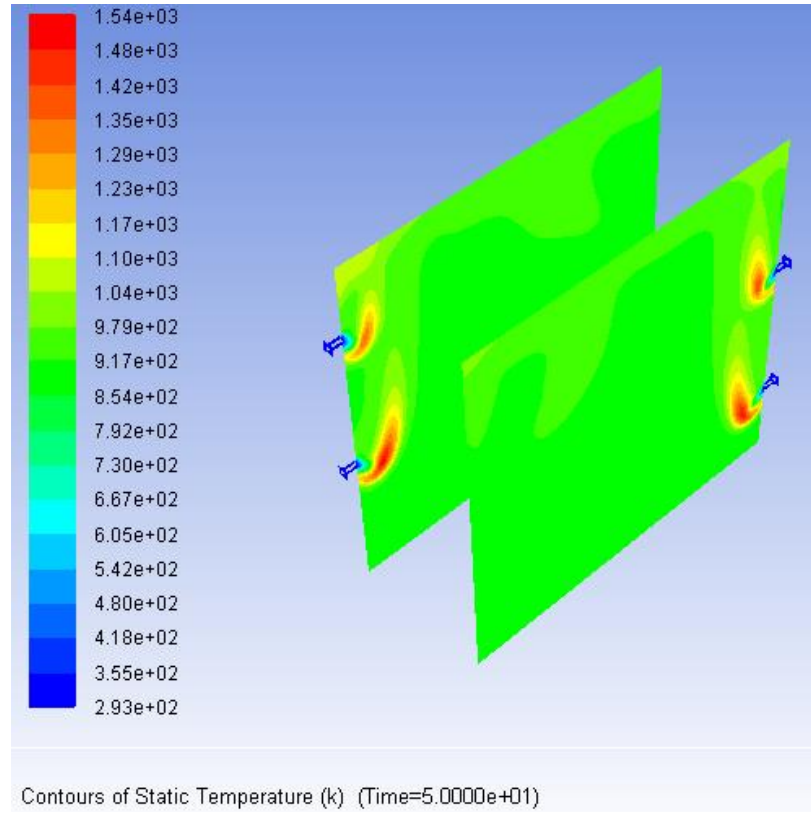
Şekil 5.5: 20. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.



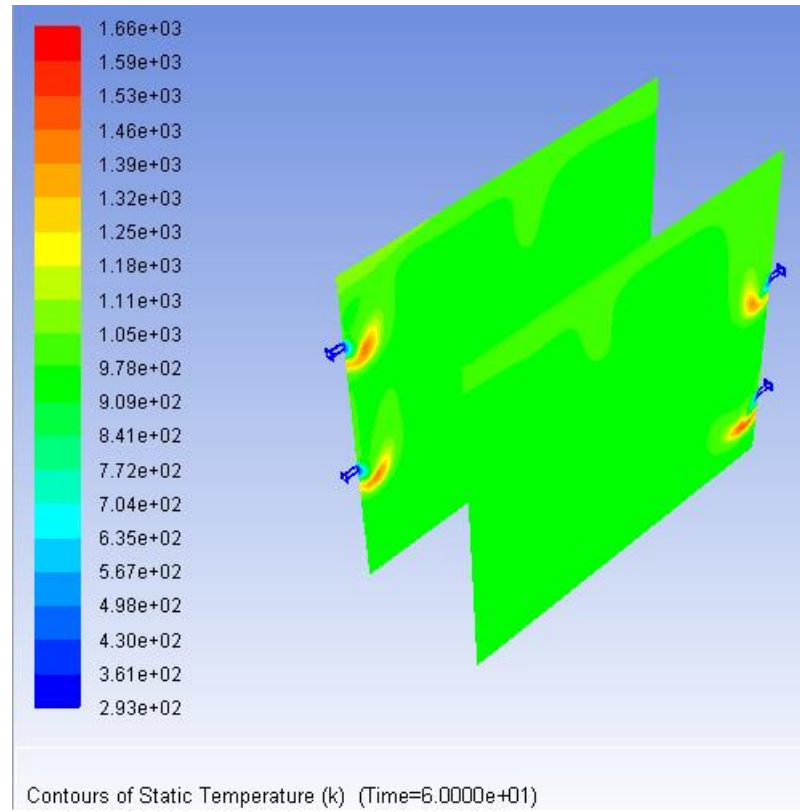
Şekil 5.6: 30. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.



Şekil 5.7: 40. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.

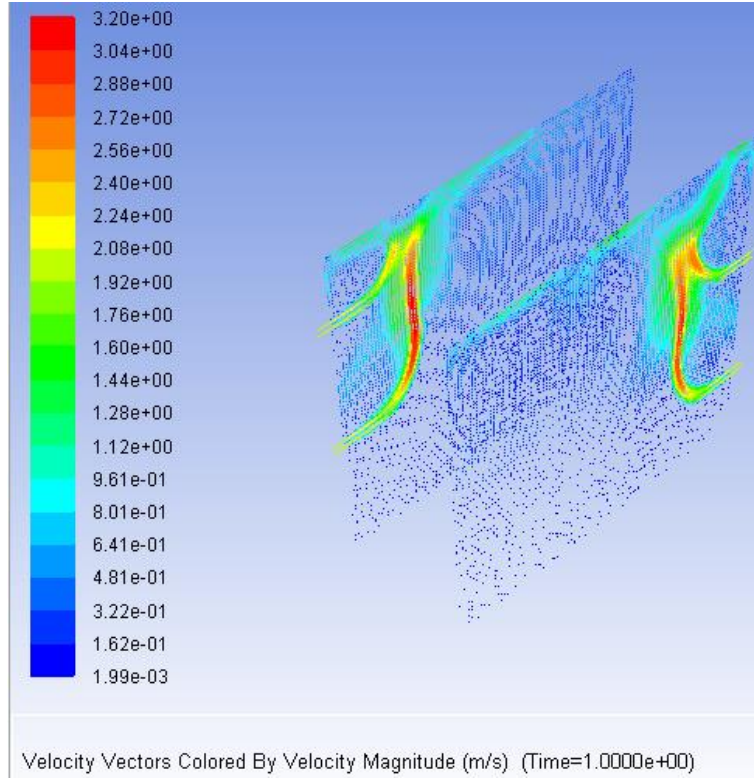


Şekil 5.8: 50. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.

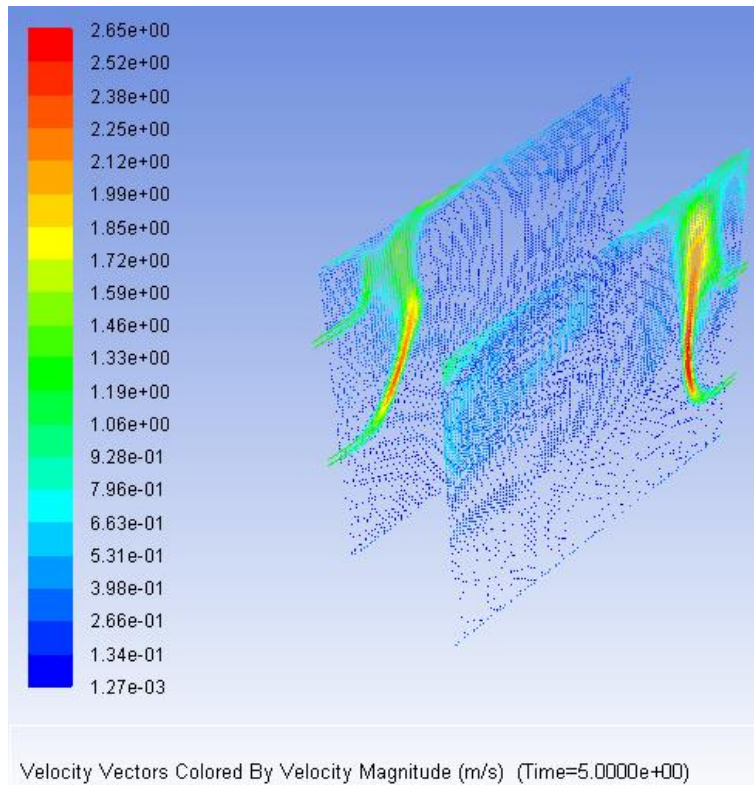


Şekil 5.9: 60. saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de sıcaklık dağılımı.

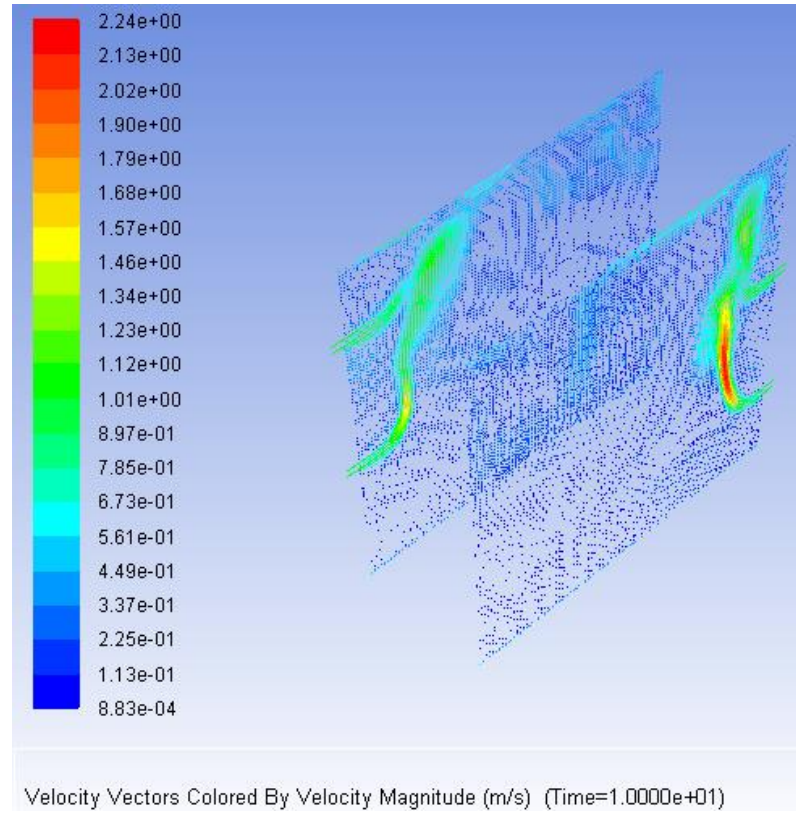
Aşağıda yer alan Şekil 5.10-11-12-13-14-15-16-17’de Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akış hızlarını gösteren anlık görüntüler gösterilmiştir.



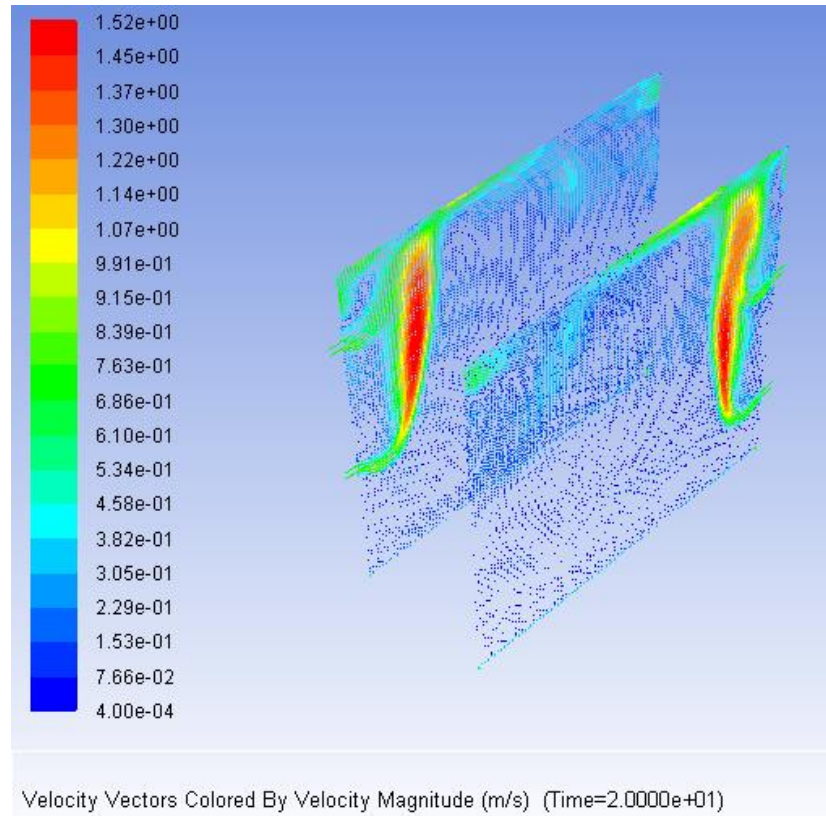
Şekil 5.10: 1.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.



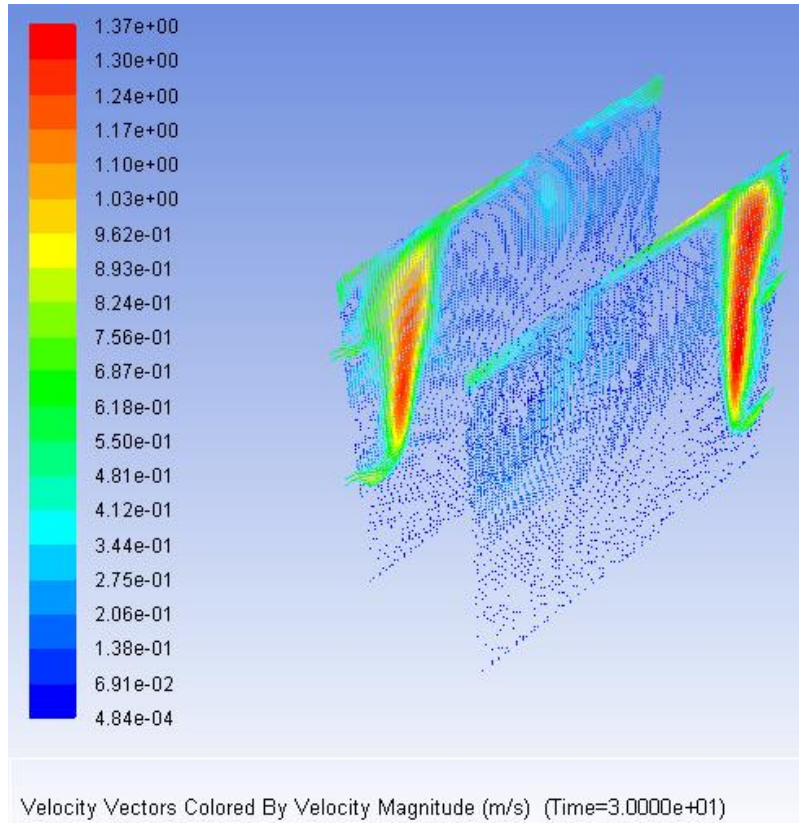
Şekil 5.11: 5.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.



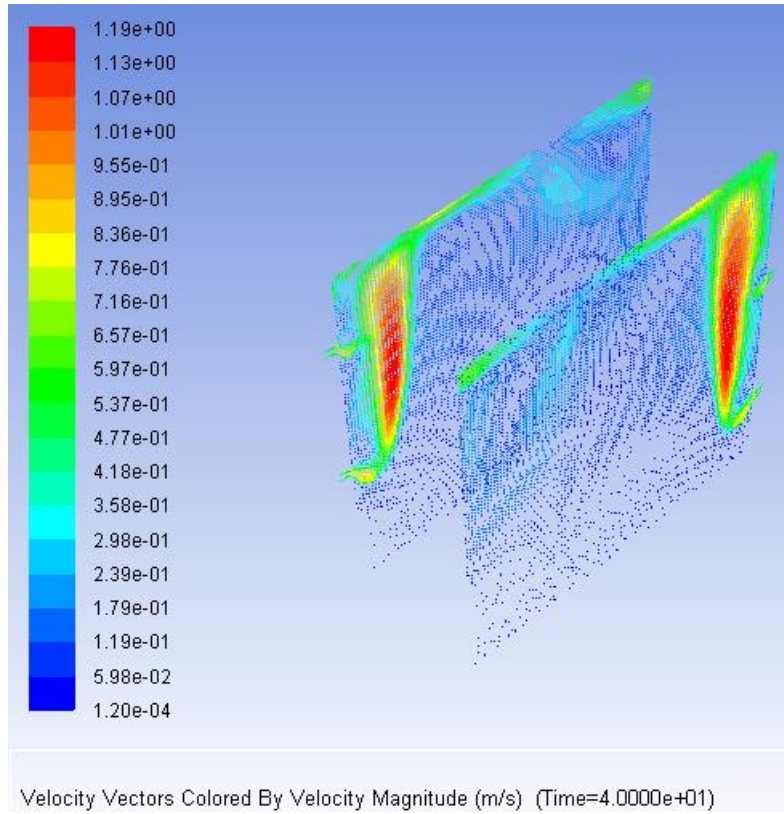
Şekil 5.12: 10.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.



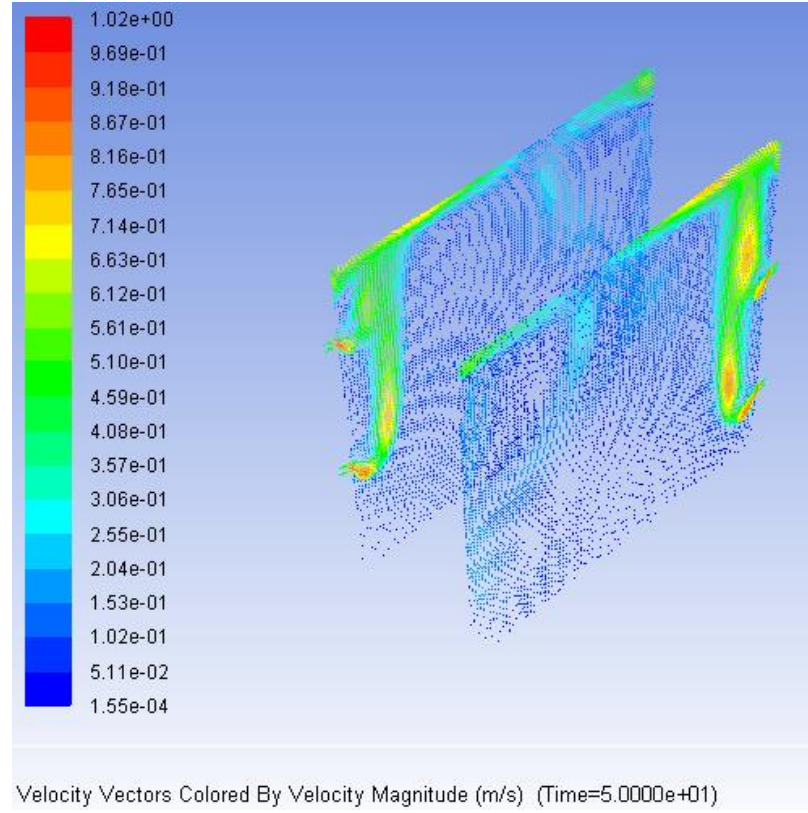
Şekil 5.13: 20.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.



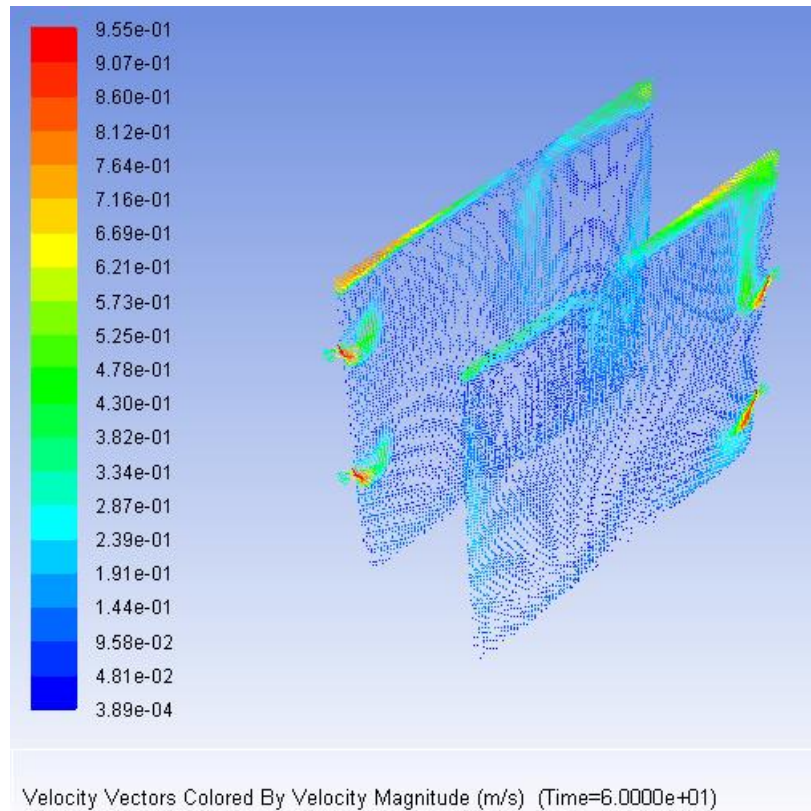
Şekil 5.14: 30.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.



Şekil 5.15: 40.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.



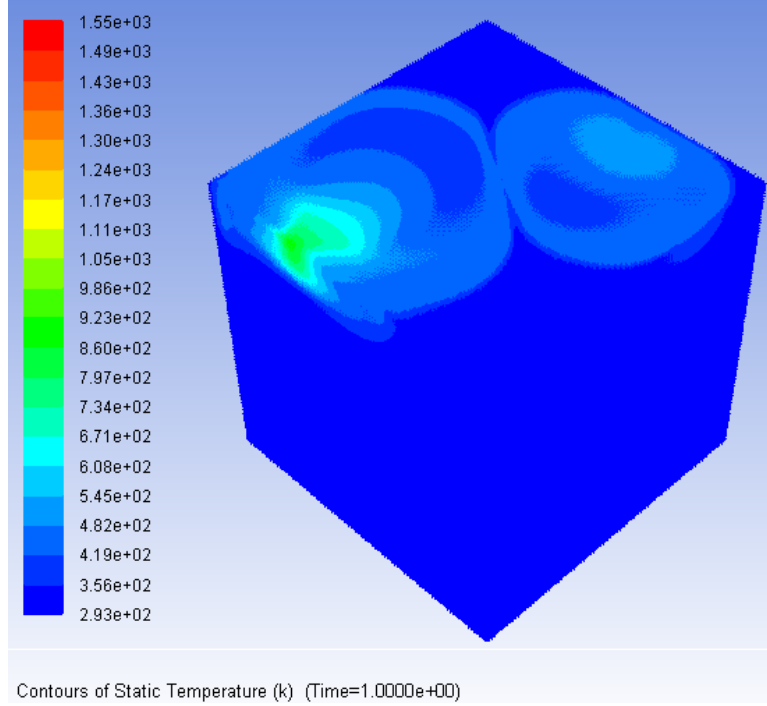
Şekil 5.16: 50.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.



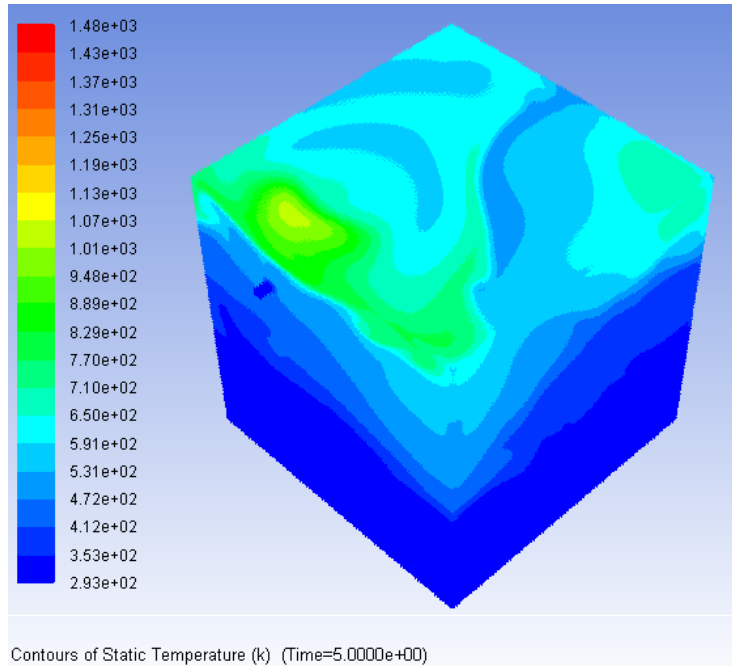
Şekil 5.17: 60.saniyede Yüzey-1 ve Yüzey-2’de akışın vektörel gösterimi.

Şekil 5.10-11-12-13-14-15-16-17' den Yüzey-1 ve Yüzey-2'de akış hızının giderek azaldığı görülmektedir. Bunu sebebi kontrol hacmine giren propan ve havanın kütleli debilerinin giderek azalan bir eğilimde tanımlanmış olmasıdır.

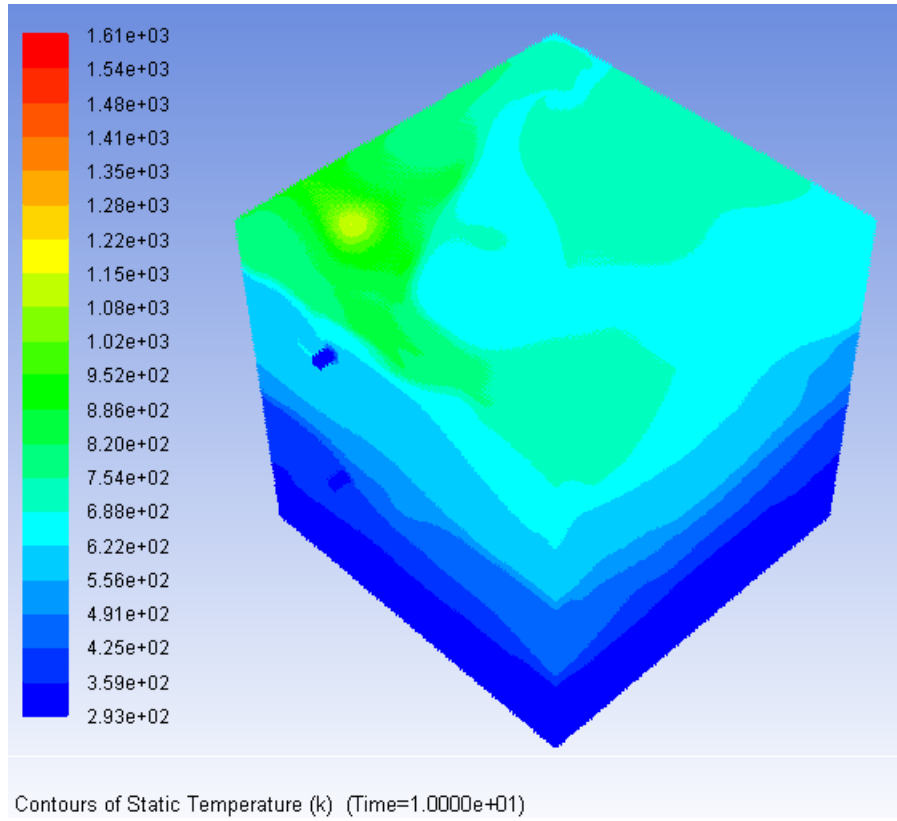
Aşağıda yer alan Şekil 5.18-19-20-21-22-23-24-25' te kontrol hacmi dışından alınan görüntülerle sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.



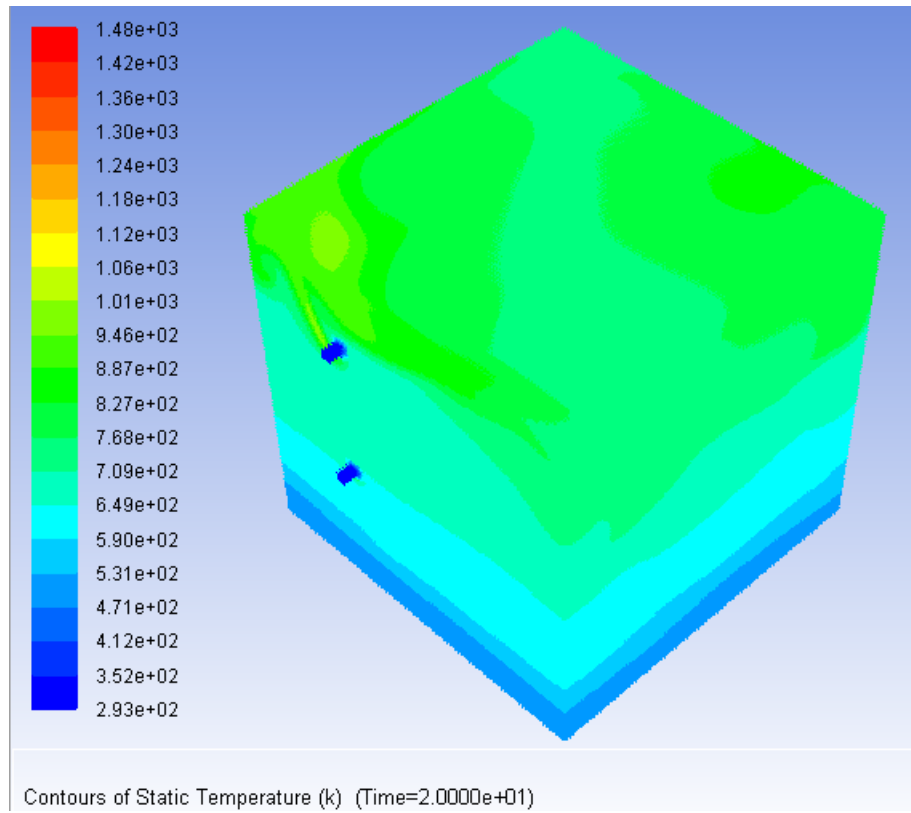
Şekil 5.18: 1.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.



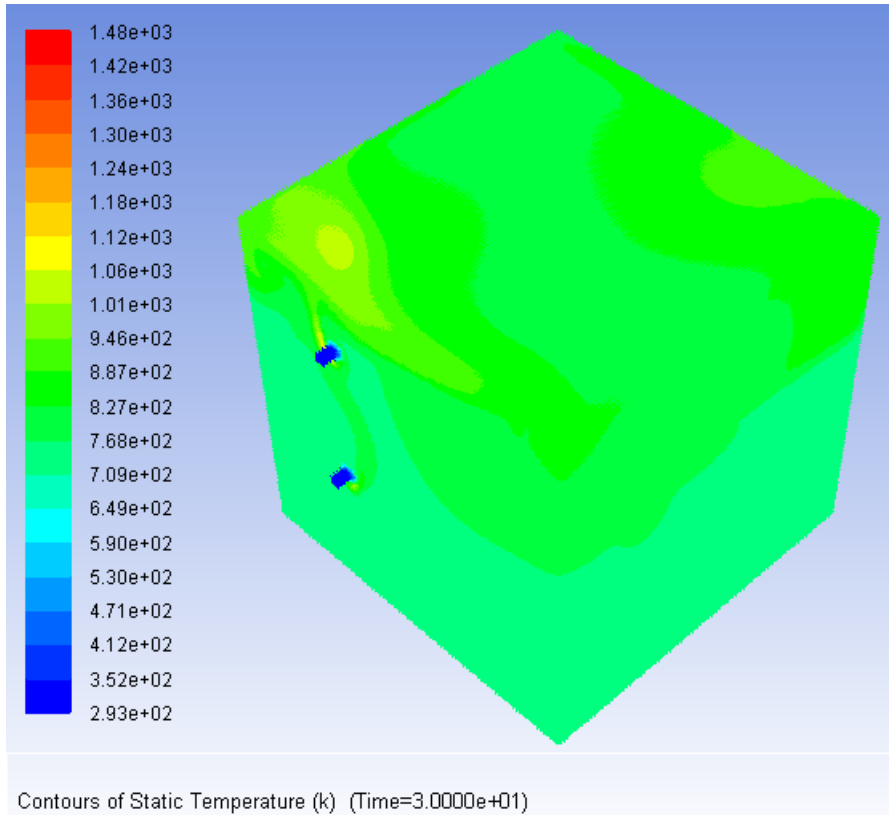
Şekil 5.19: 5.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.



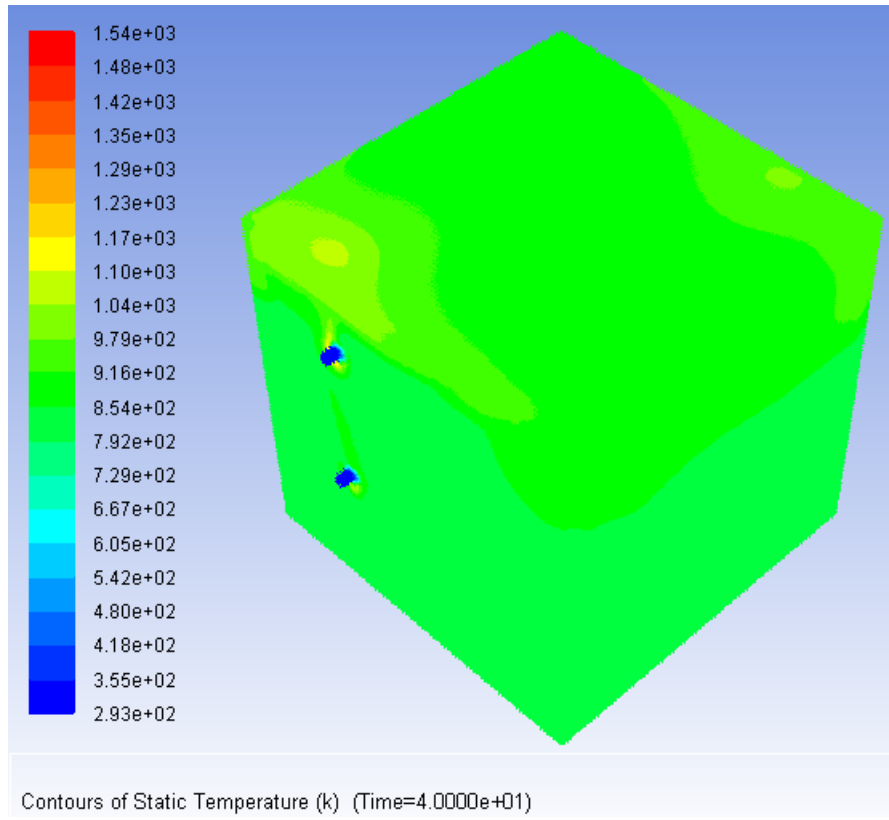
Şekil 5.20: 10.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.



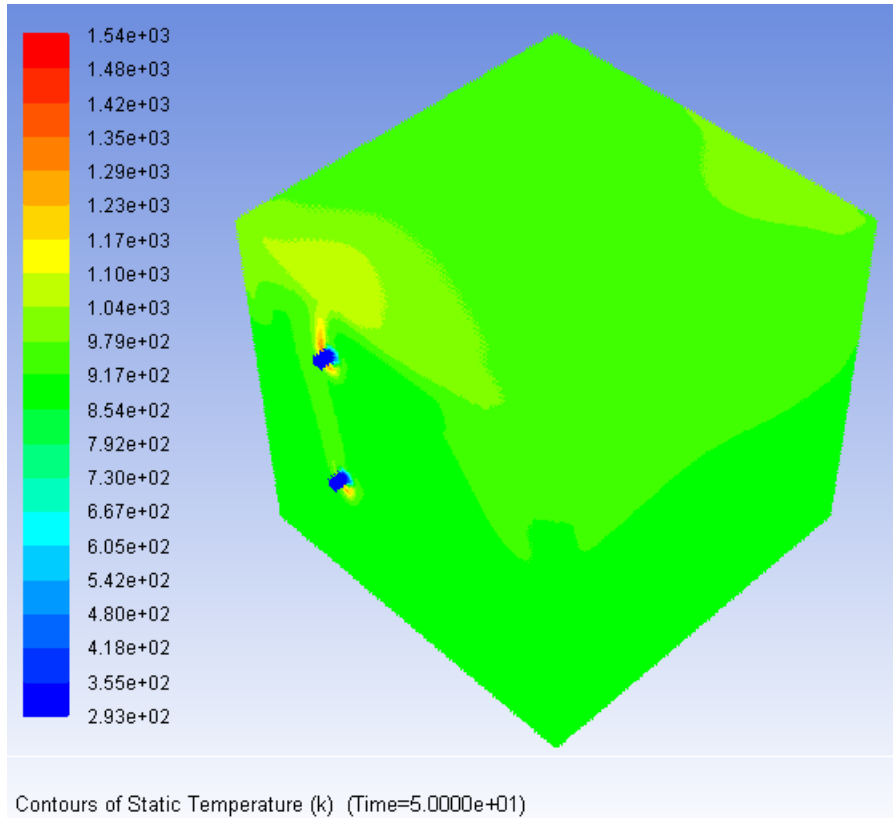
Şekil 5.21: 20.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.



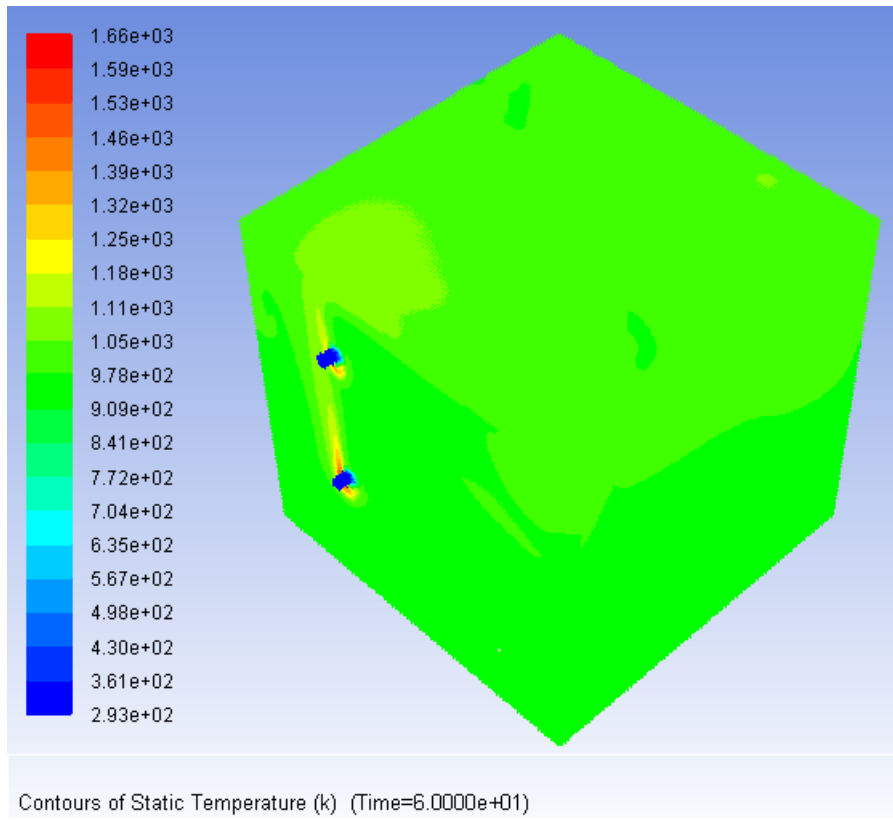
Şekil 5.22: 30.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.



Şekil 5.23: 40.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.

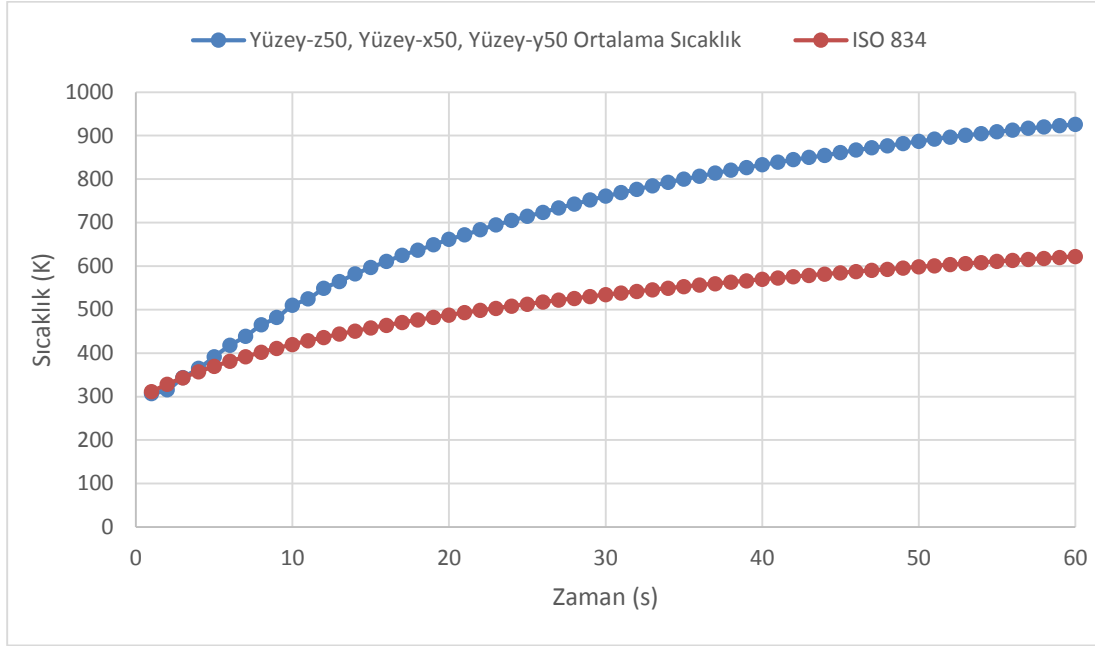


Şekil 5.24: 50.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.

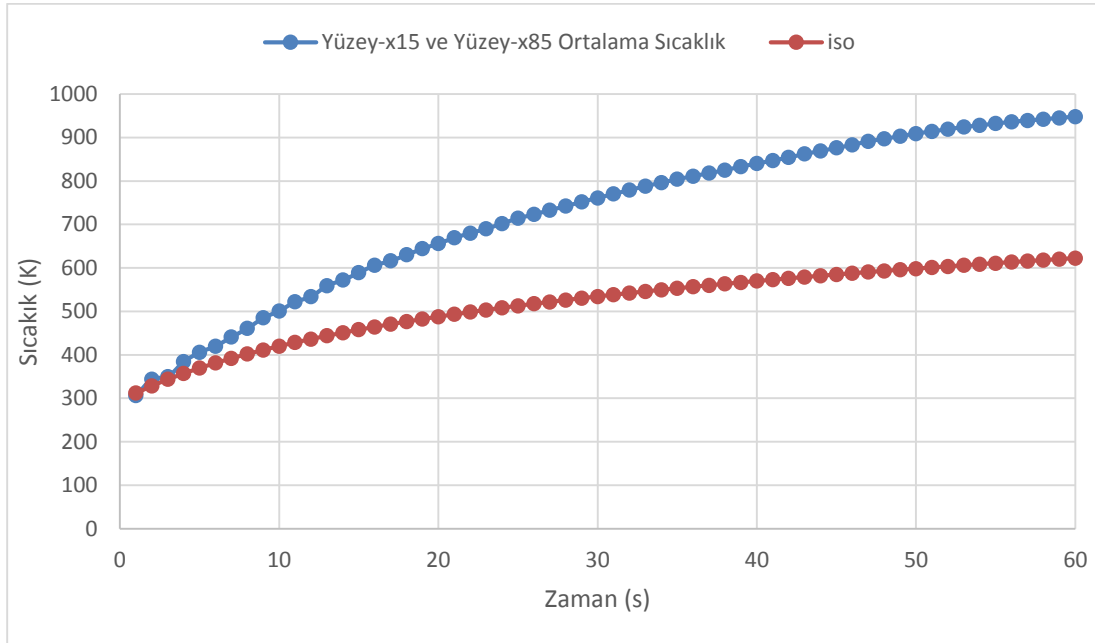


Şekil 5.25: 60.saniyede kontrol hacmi sıcaklık dağılımı.

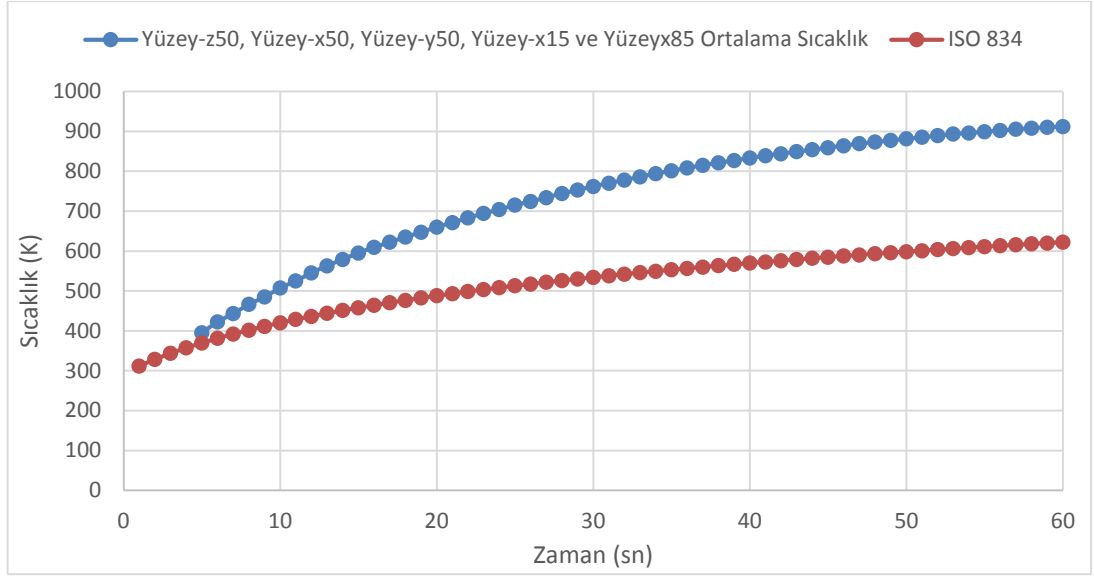
Aşağıda yer alan şekillerde kontrol hacmi içerisinde tanımlanan yüzeylerin ortalama sıcaklıklarının zaman bağılı değişimleri ve ISO 834 eğrisi ile kıyaslamaları gösterilmiştir.



Şekil 5.26: Yüzey-z50, Yüzey-x50, Yüzey-y50 ortalama sıcaklığı.



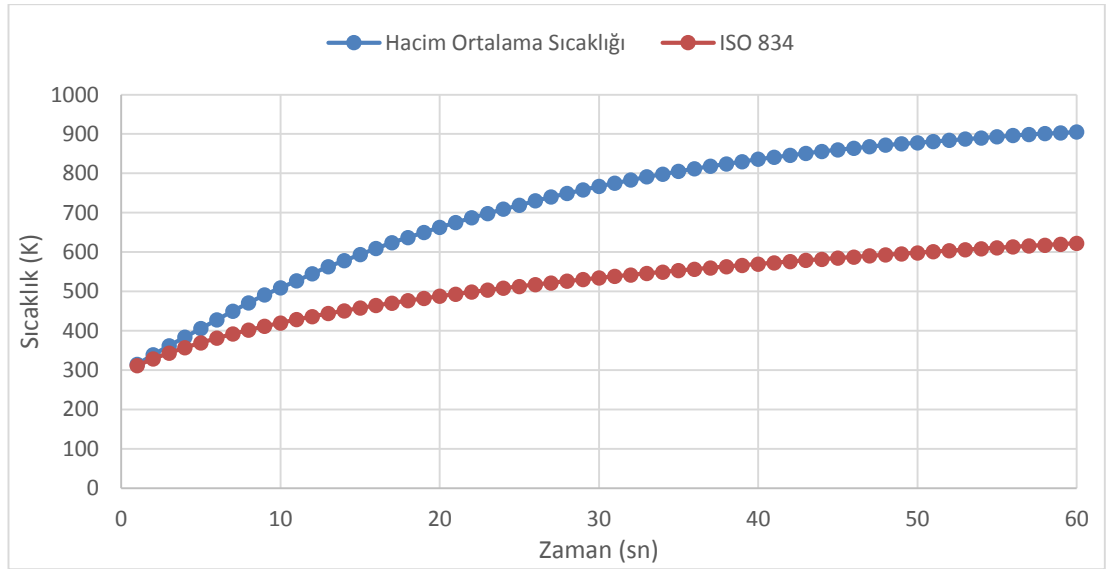
Şekil 5.27: Yüzey-x15, Yüzey-x85 ortalama sıcaklığı.



Şekil 5.28: Tüm yüzeyler ortalama sıcaklık.

Şekil 5.26-27-28' de gösterilen grafiklerden kontrol hacmi içerisinde Şekil 5.1'de gösterilen XZ düzleminde termal difüzyonun uniform olarak sağlandığı sonucuna varılmıştır.

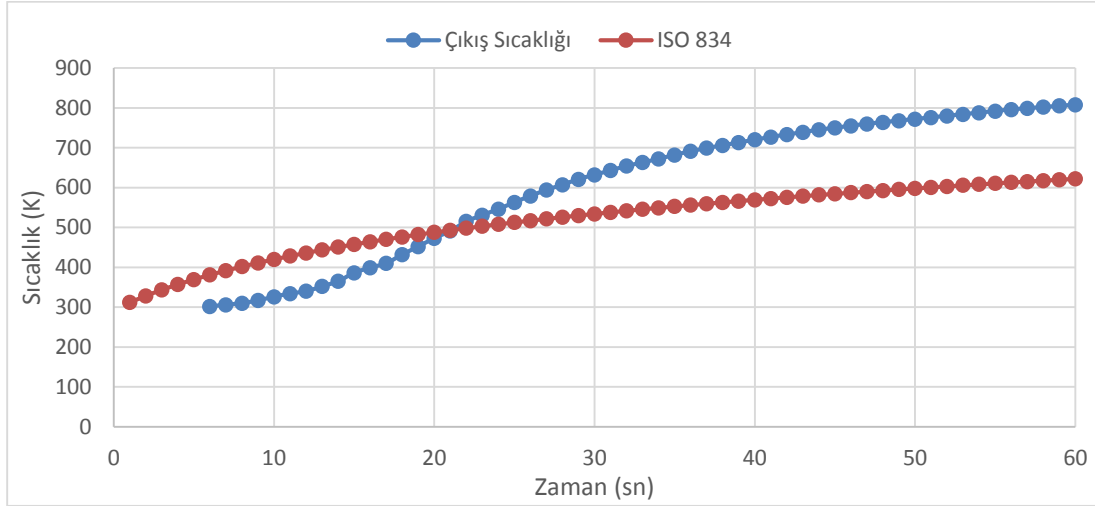
Aşağıda yer alan Şekil 5.29'da kontrol hacmi içinde yer alan tüm gazların ortalama sıcaklığının zamanla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.29: Kontrol hacmi içi ortalama sıcaklık.

Şekil 5.29' dan görüldüğü gibi kontrol hacmi içi ortalama sıcaklık bu çalışmada hedeflenen ISO 834 eğrisi sıcaklık değerlerinin üzerindedir. Bunun sebepleri araştırıldığında kontrol hacminde olması gerekenden fazla enerji olduğu sonucuna varılmıştır. Bu fazla enerjinin kaynağı araştırılırken kontrol hacminden çıkan

gazların sıcaklıkları incelenmiş ve aşağıda yer alan Şekil 5.30'da gösterilen kontrol hacminden çıkan tüm gazların ortalama sıcaklığının zamanla değişimini ifade eden grafik elde edilmiştir.

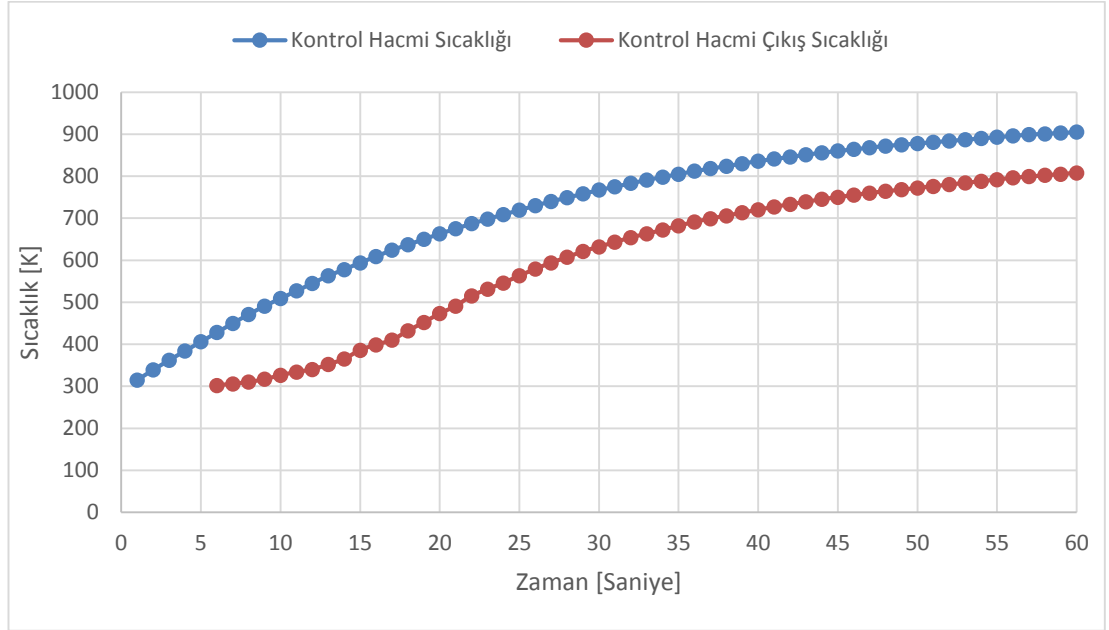


Şekil 5.30: Kontrol hacmi çıkışı ortalama sıcaklık.

Şekil 5.30'dan görüldüğü gibi kontrol hacminden çıkan tüm gazların ortalama sıcaklığı 20 saniyede ISO 834 eğrisi sıcaklık değerlerinin altındadır. İkinci bölümde propan debisini belirlemek için yapılan hesaplarda kontrol hacminden çıkan gazların kontrol hacmi ortalama sıcaklığında çıkacağı düşünülmüş, bu sıcaklık da hedeflenen ISO 834 eğrisine göre belirlenmiş ve bu şartlara göre zamana bağlı propan debisi hesaplanmıştı. Şekil 5.30'dan görüldüğü gibi kontrol hacminden çıkan gazlar ilk 20 saniyede düşünülen sıcaklığın altında kalmış, kontrol hacminden çıkış sıcaklığının beklenenden düşük olması yanma sonu ürünlerinin kontrol hacmine hesaplanandan daha fazla ısı enerjisi aktarmasına sebep olmuştur. Kontrol hacmine hedeflenenden fazla ısı enerjisi aktarılması ise ortalama kontrol hacmi sıcaklığının istenen sıcaklıktan yüksek olmasına sebep olmuştur.

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'dan görüldüğü gibi kontrol hacmi ortalama çıkış sıcaklığı hedeflenen sıcaklıktan uzaklaşmamaya başladığı andan itibaren kontrol hacmi içi ortalama sıcaklık da hedeflenen sıcaklıktan uzaklaşmamaktadır. Bu da kontrol hacmi içi ortalama sıcaklıkta hedeflenen değere ulaşamamasının sebebinin; hesaplanan kontrol hacmi ortalama çıkış sıcaklığı ile HAD analizi süresince elde edilen kontrol hacmi ortalama çıkış sıcaklık değerlerinin birbirini tutmamasından kaynaklandığını göstermektedir. Bu farkın HAD analiz sonuçlarından görüldüğü gibi YZ düzleminde sıcaklık dağılımının uniform olmadığından kaynaklandığı belirlenmiştir.

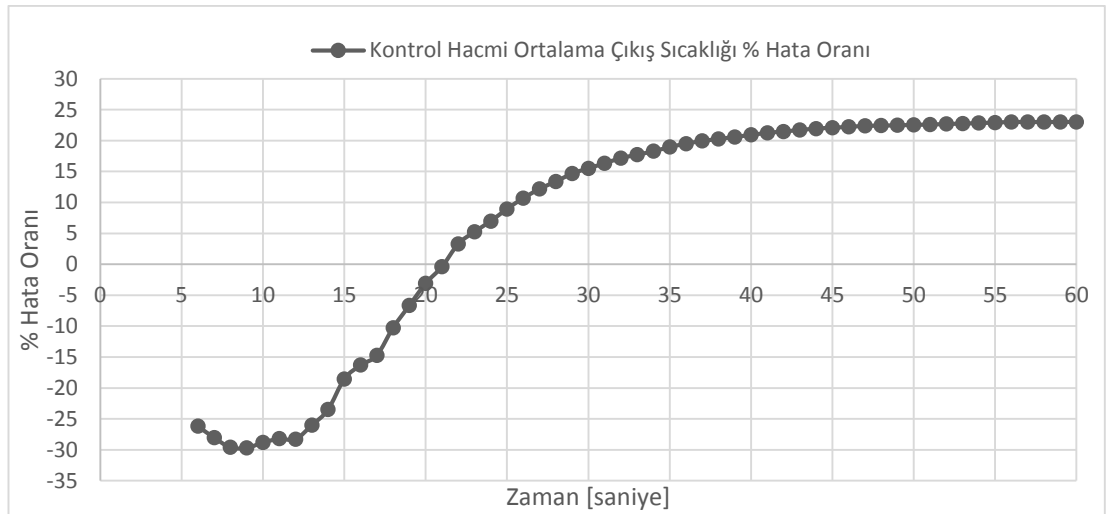
Şekil 5.31’de HAD analizinden elde edilen kontrol hacmi içi ortalama sıcaklığı ve kontrol hacmi ortalama çıkış sıcaklığının zamanla değişimi aynı grafikte gösterilmiştir.



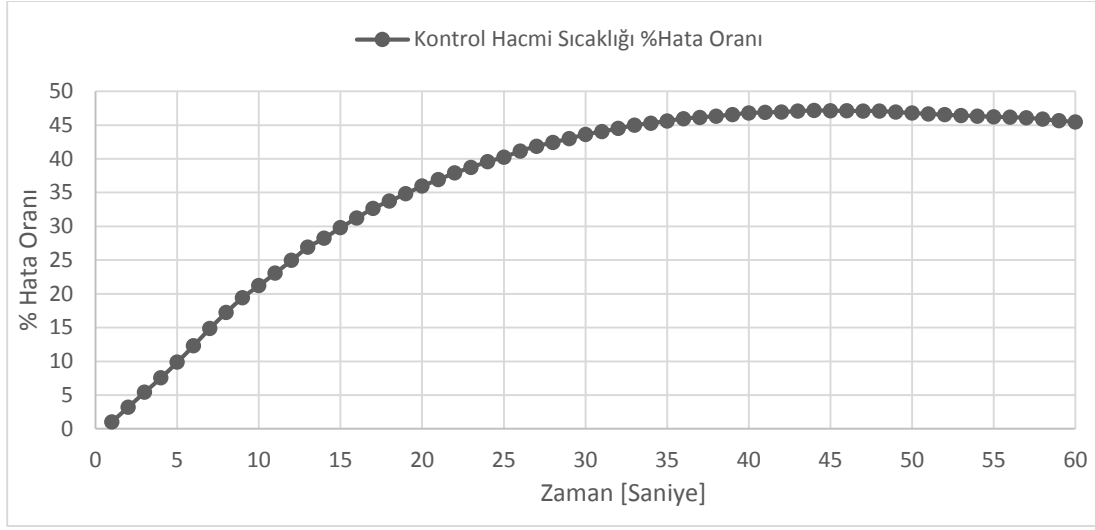
Şekil 5.31: Kontrol hacmi ortalama sıcaklığı ve kontrol hacmi çıkışı ortalama sıcaklığının zamanla değişimi.

Şekil 5.31’den de görüldüğü gibi kontrol hacmi içi ortalama sıcaklığı ve kontrol hacmi ortalama çıkış sıcaklığı arasındaki fark giderek azalmaktadır.

Şekil 5.32’de kontrol hacminden ortalama çıkış sıcaklığı için hedeflenen sıcaklığa göre, Şekil 5.33’te ise kontrol hacmi içi ortalama sıcaklık için hedeflenen sıcaklığa göre % hata oranlarının zamanla değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 5.32: Kontrol hacminden ortalama çıkış sıcaklığı % hata oranı.



Şekil 5.33: Kontrol hacmi içi ortalama sıcaklığı % hata oranı.

Şekil 5.32’den görüldüğü gibi kontrol hacmi ortalama çıkış sıcaklığı % hata oranı 50. saniyeden itibaren sabitlenmektedir. Buna bağlı olarak Şekil 5.33’ten görüldüğü gibi kontrol hacmi ortalama sıcaklığı % hata oranı ise 45. saniyeden itibaren azalmaktadır. Bu sebeple analiz 60. Saniyede kesilmiştir. Bu da kontrol hacmi ortalama sıcaklığının hedeflenen sıcaklıktan yüksek olmasının sebebinin, kontrol hacmi ortalama çıkış sıcaklığının ilk 20 saniyede hedeflenen sıcaklıktan düşük olmasından kaynaklandığını ispatlamaktadır.

Kontrol hacminden ortalama çıkış sıcaklığı % hata oranının 50.saniyeden itibaren sabitlenmesi ve kontrol hacmi ortalama sıcaklığı % hata oranının 45.saniyeden itibaren azaldığının belirlenmesi üzerine analiz 60.saniyede kesilmiştir.

6. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 1m x 1m x1m ölçülerinde bir yangın dayanım test fırını modellenmiş hem termodinamik hem de HAD analizleri yapılmıştır.

Analizlerde yakıt olarak propan, yakıcı olarak hava kullanılmış, HAD analizleri ANSYS Fluent yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Termodinamik analizlerdeki tüm kabuller aynen HAD analizlerinde de uygulanmıştır.

Termodinamik analizler, zamana bağlı fırın içi ortalama sıcaklığın ISO 834 sıcaklık eğrisine uygun olması hedefi ile öncelikle adiyabatik ortam şartlarında, ideal gaz kabulü ve ortalama özgül ısılar ile yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen zamana bağlı propan ve hava kütleli debilerinin zamanla artan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama özgül ısılar ile hesaplanan propan ve hava kütleli debileri yazılan kod ile ANSYS Fluent yazılımına aktararak HAD analizi yapılmıştır. HAD analizi sonuçlarına göre fırın içi ortalama sıcaklık, hedeflenen sıcaklığın çok üzerinde çıkmış ve fırının istenmeyen şekilde çok çabuk ısındığı görülmüştür. Bunun üzerine ortalama özgül ısı kabulü ile yapılan hesaplamalarda hata olduğu anlaşılmış ve termodinamik analiz ortalama özgül ısılar yerine sıcaklıkla değişen özgül ısılar ile tekrar yapılmıştır. Sıcaklığa bağlı özgül ısılar ile yapılan hesaplamalar sonucu zamana bağlı propan ve hava kütleli debilerinin zamanla azalan bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Sıcaklığa bağlı özgül ısılar ile yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen propan ve hava kütleli debileri yazılan kod (Ek-A) ile ANSYS Fluent yazılımına aktarılmış, beşinci bölümde yer alan HAD analiz sonuçları elde edilmiştir.

HAD analizleri 0,01 saniye zaman adımı ile yapılmış, daha büyük zaman adımları ile ANSYS Fluent yazılımında yapılan HAD analizlerinde yazılımın arka planda çözdüğü denklemlerin sonuca ulaşmasında sorunlar yaşanmış ve HAD analizi sonuca ulaşamamıştır. Zaman adımının 0,01 saniyeden daha büyük seçilememesi zamana bağlı yapılan HAD analizinin sonuca ulaşma süresinin çok uzun sürmesine sebep olmuştur. Örnek olarak ilk 60 saniye için yapılan HAD analizinin sonuca ulaşması E serisi işlemciye sahip bir bilgisayarda 15 gün sürmüştür.

Fırın içi sıcaklık dağılımı ile ilgili HAD analizleri ilk önce, üçüncü bölümde (3.2.1) bahsedildiği gibi propan ve havanın fırın içerisine girmeden brülör içinde karışıp yanma reaksiyonunun gerçekleşmesi düşüncesi ile yapılmıştır. Fakat yanmanın propan ve havanın fırın içerisine girmeden brülör içinde karışarak gerçekleşmesi, reaksiyon sonucu oluşan alevin fırın cidarında kalmasına sebep olmuştur. Bu şekilde yapılan HAD analizi sonuçlarında fırın içi ortalama sıcaklığının hedeflenen sıcaklığın altında kaldığı ve yanma sonucu ortama giren ısının sadece fırın cidarlarında sıcaklık artışına sebep olduğu görülmüştür. Bunu sebebinin ise yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen zamana bağlı propan ve hava kütsel debilerinin başlangıçta dahi oldukça küçük olması ve zamanla giderek azalan bir eğilim göstermesi olarak belirlenmiştir. Propan ve hava kütsel debilerinin oldukça küçük olması reaksiyon sonucu alev oluşumunun fırın içerisinde gerçekleşmesini zorunlu kılmıştır. Bu sebeple yapılan ilk tasarım değiştirilmiş propan ve hava karışımının Şekil 3.4'te gösterildiği gibi brülör içerisinde değil, fırın içerisinde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Bu şekilde reaksiyon sonucu ortaya çıkan ısının fırın cidarları yerine fırın içerisine yayılması sağlanmıştır.

Sıcaklık dağılımını incelemeyen önce yapılan diğer bir çalışma ise fırın tasarımında öncelikle, yanma sonu ürünlerin dışarı çıkışı sağlayan egzoz çıkış yerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla ilk başlangıçta fırın üst ve alt bölgesinde olmak üzere iki egzoz çıkışı düşünülmüştür. Bu tasarım ile yapılan HAD analizlerinde yanma sonu ürünlerinin yer çekimi aksine yönelmesi sonucu fırın üst bölgesinde bulunan egzozdan fırını hızlıca terk ettiği görülmüştür. Bu da sıcak olan yanma sonu ürünlerinden fırın içerisine yeteri kadar ısı aktarılamamasına sebep olmuş ve fırın içi ortalama sıcaklık ISO 834 sıcaklık eğrisinin altında kalmıştır. Bu sonuçların ardından egzoz tasarımı Şekil 3.5'te gösterildiği gibi yapılmış ve beşinci bölümde yer alan HAD analiz sonuçları bu tasarımla elde edilmiştir.

Termodinamik hesapların detaylandırılması, brülör ve egzoz tasarımının iyileştirilmesi ile beşinci bölümde yer alan HAD analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ilk 60 saniye süresince fırın içi ortalama sıcaklık hedeflen ISO 834 sıcaklık eğrisinin üzerindedir. Bunun sebebi araştırıldığında fırından çıkan gazların, ilk 21 saniye boyunca beklenen ortalama sıcaklığın altında kalarak fırını terk ettiği görülmüştür. Bu da yanma sonu ürünlerinin fırın içerisine istenenden daha fazla ısı aktarmasına sebep olmuştur. Adiyabatik ortam şartlarında ilk 21 saniye boyunca fırın içerisine fazladan ısı aktarılması analizin devamında da bir süre fırın içi ortalama

sıcaklığının hedeflene ISO 834 sıcaklık eğrisinden uzaklaşmasına sebep olmuştur. Ortalama egzoz çıkış sıcaklığının ilk 21 saniye boyunca ISO 834 sıcaklık eğrisinin altında kalmasının sebebi ise ilk 21 saniye boyunca fırın içi termal difüzyonun uniform sağlanamaması olarak belirlenmiştir.

Fırın içi termal difüzyonun ilk 21 saniyede uniform olmamasından kaynaklanan fırın içerisine fazla ısı aktarımı, egzoz çıkış ortalama sıcaklığının da ilk 21 saniyeden sonra hedeflenen ISO 834 sıcaklık eğrisinin üzerine çıkmasına sebep olmuştur.

İlk 21 saniyede kontrol hacmi içerisinde sıcaklık dağılımının uniform olmaması yanma sonu ürünlerinin beklenenden daha düşük sıcaklıkta kontrol hacminden çıkmasına sebep olmuştur. Bu da kontrol hacmine istenenden daha fazla ısı enerji aktararak kontrol hacmi içi ortalama sıcaklığının istenenden daha yüksek sıcaklıkta olmasına sebep olmuştur.

Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'ten görüldüğü gibi ortalama egzoz çıkış sıcaklığı % hata oranının sabitlenmeye başlaması ile birlikte fırın içi ortalama sıcaklık % hata oranı azalmaya başlamaktadır. Bu da analizin devamı ile ilgili yeterince fikir vermektedir ve bu sebeple analizin 60. saniyede kesilmesi uygundur.

TS EN 1363-1 standardında belirtilen zamana bağlı fırın içi ortalama sıcaklık dağılımının elde edilebilmesi için ilk öneri fırın hacminin, özellikle de yüksekliğinin büyütülmesidir. Buna bağlı olarak brülör ve egzoz çıkışı sayısı artırılırsa veya brülörler tarafından yakıt-hava karışımı fırın içerisine dik değil açılı gönderilirse kontrol hacmi içerisindeki gazların sirkülasyonu iyileştirilebilir. Bu da fırın içi sıcaklık dağılımının uniform olmasını sağlayacaktır. Fırın geometrisinin büyütülmesi düğüm noktası sayısının artmasına sebep olacağı için, daha büyük geometride yapılacak bir analiz için daha fazla zamana ve daha yüksek işlem güçlü bilgisayarlar ihtiyacı vardır.

İstenen uniform sıcaklık dağılımının elde edilebilmesi için ikinci öneri ise çalışmanın yapıldığı aynı kontrol hacmine bir karıştırıcı eklenerek kontrol hacmi içi sıcaklık dağılımının daha çabuk uniform bir hale gelmesinin sağlanmasıdır.

Yukarıda bahsedilen bu iki konu, üzerinde çalışılması gereken yeni konular olup bundan sonra detaylı araştırma yapacak araştırmacıların yukarıda belirtilen noktalara dikkat etmesi tavsiye edilir.

KAYNAKLAR

- [1] **EEC** (1989). Construction Product Directive. Official Journal of the European Union L 40, P:92.
- [2] **TSE** (2001). TS EN 1363-1
- [3] **Url-1** <<http://www.promat-tunnel.com/en/advices/fireprotection/fire%20curves>>, erişim tarihi 10.07.2015
- [4] **Resmi Gazete** (2002). Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Sayı:24870
- [5] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı** (2004). Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Kapsamında, Yapı Malzemelerinin Yangına Tepki Sınıflarına ve Yapı Elemanlarının Yangına Dayanıklılığına Dair Tebliğ, Resmi Gazete Sayı:25537
- [6] **TSE** (2003). TS EN 13501-2.
- [7] **TSE** (2002). TS EN ISO 13943.
- [8] **EEC** (1994). Interpretative Document Number 2: Safety in case of fire, Journal of the European Union, C 62
- [9] **Resmi Gazete** (2004). Yapı Malzemeleri Yönetmeliğine ilişkin Açıklayıcı Dökümanlar Hakkında Tebliğ, Sayı:25537
- [10] **Demirel, F., Altındaş, S.** (2005). Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması ve Konunun Türkiye-Avrupa Geneline İrdelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 4, 381-395
- [11] **Url-2** < http://www.scdf.gov.sg/html/info/new_fire_code_master.html> erişim tarihi, 10.09.2015.
- [12] **European Committee for Standardization** (2003). EN 13501-2.
- [13] **European Committee for Standardization** (2004). prEN 13501-3.
- [14] **Welch, S., Rubini, P.** (1997). Three Dimensional of a Fire Resistance Furnace, *Proceeding of 5th International Symposium of Fire Safety Science*, (pp. 1009-1020). Melbourne, Australia, March.

- [15] **Jason, R., Anderson, J.** .Experimental and Numerical Investigation of Fire Dynamics in a Facade Test Rig, Sweeden
- [16] **Babrauskas, V.** (1996). Facede Fire Tests: Towards an International Test Standart, Fire Technology 32, 219-230.
- [17] **Url-3** <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/2129>>, erişim tarihi 21.05.2015.
- [18] **Url-4** <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07074.pdf>> erişim tarihi 21.05.2015.
- [19] **Çengel, Y., Boles, M.** (2008). Mühendislik Yaklamıyla Termodinamik, Güven Bilimsel, 5. Baskı, sy762,766.
- [20] **Kobe, K., Lynn, R.** (1953). Chemical Review 52, pp. 117-236
- [21] **ASHRE** (1993). Handbook of fundemantals, pp. 16.4-36.1
- [22] **ANSYS Fluent 15.0** [Computer Software]. ANSYS, Inc.
- [23] **Younglove, B., Ely, J.,** (1987). Thermo physical Propertis of Fluids.II , National Engineering Laboraty.
- [24] **Wark, K.** (1983). Thermodynamic, New York: McGraw-Hill, 4th ed., pp.78798
- [25] **JANAF** (1971). Thermochemical Tables.
- [26] **NBS** (1968). Selected Values of Chemical Thermodynamic Propreties, NBS Technical Note 270-3
- [27] **NBS** (1943). API Research Projet 44.
- [28] **Çengel, Y., Boles, M.** (2008). Termodinamik, Güven Bilimsel, 5. Baskı, sy763.
- [29] **Öztürk, A., Yavuz, H.** (1995). Uygulamalarla ısı geçişi: Tanıtım ve Işınım
- [30] **ANSYS Inc.** (2013). ANSYS Fluent Theory Guide, pg 188.
- [31] **Url-3** <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07074.pdf>> alındığı tarih, 22.07.2015.
- [32] **ANSYS Inc.** (2013). ANSYS Fluent Theory Guide, pg 170.

EKLER

EK A: Propan ve Hava Kütlesel Akısını İçeren Kod

```
1  #include "udf.h"
2
3  DEFINE_PROFILE(propanflux,t,nv)
4  {
5      face_t f;
6      real time;
7      time=CURRENT_TIME;
8      begin_f_loop(f,t)
9      {
10         if (time<300)
11         {
12             if (time<1)
13             {
14                 F_PROFILE(f,t,nv)=2500*0.00041;
15             }
16             else if (time<30)
17             {
18                 F_PROFILE(f,t,nv)=2500*((-0.000079017*log(time))+0.000366752);
19             }
20             else
21             {
22                 F_PROFILE(f,t,nv)=2500*(0.00150254*pow(time,-0.800449486));
23             }
24         }
25         else
26         {
27             F_PROFILE(f,t,nv)=2500*0.000015369;
28         }
29     }
30     end_f_loop(f,t)
31 }
32
33 DEFINE_PROFILE(airflux,t,nv)
34 {
35     face_t f;
36     real time;
37     time=CURRENT_TIME;
38     begin_f_loop(f,t)
39     {
40         if (time<300)
41         {
42             if (time<1)
43             {
44                 F_PROFILE(f,t,nv)=312.5*0.0064;
45             }
46             else if (time<30)
47             {
48                 F_PROFILE(f,t,nv)=312.5*15.6*((-0.000079017*log(time))+0.000366752);
49             }
50             else
51             {
52                 F_PROFILE(f,t,nv)=312.5*15.6*(0.00150254*pow(time,-0.800449486));
53             }
54         }
55         else
56         {
57             F_PROFILE(f,t,nv)=312.5*0.0002397564
58         }
59     }
60 }
61 end_f_loop(f,t)
62 }
```

Şekil A.1: Zamana bağlı propan ve hava kütlesel debileri için yazılan kod.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Mustafa Ogan KARABAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : Konya, 15.04.1990

E-Posta : ogankarabas@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lise** : 2007, Konya Selçuklu Anadolu Lisesi
- **Lisans** : 2013, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Isı-Akışkan Programı