İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE DAİRESİ YANGINLARINA AÇIKLIKLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gemi İnş. Ve Gemi Mak. Müh. Aydın SÜLÜS
(508041001)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selma ERGİN

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Abdi KÜKNER (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT (İ.T.Ü.)

Haziran 2008

ÖNSÖZ

Önceki yıllarda meydana gelen deniz kazaları gemilerdeki yangın güvenliği konusunda hala yapılması gereken birçok şey olduğunu göstermiştir. Gemi birçok bölgesinde potansiyel yangın tehlikesi bulundurur ve çalışmalar bu bölümler üzerinde yoğunlaşarak yapılmaktadır. Çalışmalar sırasında gerçek modeller veya sayısal modeller kullanılmaktadır. Bilgisayarlar yardımı ile oluşturulan sayısal modeller, gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde günümüzde deneysel sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadırlar.

Yangını oluşturan yakıtın cinsi ve miktarı yangın büyüklüğünü etkileyen en önemli kriterlerdir. Yangının meydana geldiği hacim ve hacme ait yapısal özellikler, yangının etkisini incelerken kullanılan parametrelerdir. Bu çalışmada tipik bir makine dairesi yangınında doğal havalandırma açıklıklarının yangın üzerindeki etkileri incelenmektedir. Yangına müdahale için kullanılan yangın söndürme ekipmanları modele ilave edilerek gerçeğe en yakın yangın modeli oluşturulmuştur. Matematik modelin doğruluğunun gösterilmesi için dikdörtgenler prizması hacminde oluşturulan yangın modeli analitik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Yüksek lisans tezimi hazırlamamda değerli katkılarından dolayı değerli tez hocam Prof. Dr. Selma ERGİN' e teşekkürlerimi sunarım. Bana her konuda manevi destek veren aileme ayrıca teşekkür ederim.

Mayıs 2008 Aydın SÜLÜS

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **xi**
ÖZET **xii**
SUMMARY **xiii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAPALI HACİM YANGINLARI **5**
2.1. Yangın Modelleri 5
2.1.1. Bölge Modelleri 5
2.1.2. Alan Modelleri 7
2.2. Yangın Modellemeleri 8
2.2.1. Büyüme Safhası 9
2.2.2. Sabit Safha 9
2.2.3. Sönme Safhası 10
2.3. Duman Miktarının Belirlenmesi 10
2.4. Havuz Tipi Yangınlar 13
2.5. Açıklıkların Yangına Olan Etkisi 13

3. SAYISAL MODEL **17**
3.1. Genel Korunum Denklemleri 17
3.2. Türbülans Modeli 18
3.3. Radyasyon Modeli 20
3.4. Kimyasal Reaksiyonlar 21
3.5. Ağ Yapısı 21
3.6. Yangın Söndürücüler 25
3.7. Kabuller ve Sınır Şartları 26

4. İNCELENEN DEĞİŞKENLER VE TASARIM KRİTERLERİ **28**
4.1. Doğal Havalandırma Açıklıklarının Etkisi 28
4.2. Açık Kapı Etkisi 29
4.3. Yangın Söndürme Sistemleri 29
4.4. Yangın Büyüklüğü 30
4.5. Emniyetli Kaçış Süresi 30

5. SONUÇLAR **32**
5.1. Makine Dairesinde Sürekli Yangın Modeli 32
5.1.1. Durum A İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları 33

5.1.2. Durum B İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları 35
5.1.3. Durum C İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları 37
5.1.4. Durum D İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları 38
5.1.5. Sürekli Durum İçin Sonuçların Değerlendirilmesi 40
5.2. Makine Dairesinde Zamana Bağlı Yangın Modeli 41
5.2.1. Durum A İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları 41
5.2.2. Durum B İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları 48
5.2.3. Durum C İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları 53
5.2.4. Durum D İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları 59
5.2.5. Zamana Bağlı Durum İçin Sonuçların Değerlendirilmesi 62
5.3. Matematik Modelin Doğruluğunun Gösterilmesi 63
5.3.1. Analitik Sonuçlar 64
5.3.2. Sayısal Sonuçlar 66
5.3.3. Analitik ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması 66
5.4. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler 67

KAYNAKLAR **69**

ÖZGEÇMİŞ **71**

KISALTMALAR

ASET : Avaliable Safety Egress Time
CFAST : Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport
CFD : Computational Fluid Dynamics
IMO : International Maritime Organization
NFPA : National Fire Protection Association
P1 : P1 Işınım Modeli
RNG : Renormalization Group Theory
RSET : Required Safety Egress Time
SIMPLE : Semi-Implicit Method for the Pressure Linked Equations
SOLAS : Safety Of Life At Sea

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1	Yangının farklı büyüme oranları için α değerleri ……	4
Tablo 2.1	McCafrey sabitleri ……...	12
Tablo 2.2	Fueloil yanma oranı sabitleri ……...	13
Tablo 5.1	İncelenen yangın senaryoları……	32
Tablo 5.2	Çelik için termal özellikler ……..	64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Tipik bölge modeli kesit görüntüsü..... 6
Şekil 2.2 : Tipik CFD model kesit görüntüsü..... 7
Şekil 2.3 : Basit bir dizayn yangını eğrisi..... 9
Şekil 2.4 : Alev bölgesi..... 11
Şekil 2.5 : Tavan ve duvar açıklıkları boyunca akışların şematik gösterimi. 15
Şekil 3.1 : Dikdörtgenler prizması hacmi ağ yapısı..... 22
Şekil 3.2 : Model olarak ele alınan makine dairesi hacmi..... 23
Şekil 3.3 : Makine dairesi_1 hacminin hesaplama ağı dağılımı..... 24
Şekil 3.4 : Makine dairesi_2 hacminin hesaplama ağı dağılımı..... 25
Şekil 3.5 : Yangın söndürücülerin makine dairesi tavanındaki yerleri…….. 26
Şekil 5.1 : Sürekli yangın modelinde Durum A için z = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı..... 33
Şekil 5.2 : Sürekli yangın modelinde Durum A için z = 0.0m' deki basınç dağılımı..... 33
Şekil 5.3 : Sürekli yangın modelinde Durum A için z = 0.0m' deki hız dağılımı..... 33
Şekil 5.4 : Sürekli yangın modelinde Durum A için x = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı..... 34
Şekil 5.5 : Sürekli yangın modelinde Durum A için x = 0.0m' deki basınç dağılımı..... 34
Şekil 5.6 : Sürekli yangın modelinde Durum A için x = 0.0m' deki hız dağılımı..... 34
Şekil 5.7 : Sürekli yangın modelinde Durum B için z = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı..... 35
Şekil 5.8 : Sürekli yangın modelinde Durum B için z = 0.0m' deki basınç dağılımı…..... 35
Şekil 5.9 : Sürekli yangın modelinde Durum B için z = 0.0m' deki hız dağılımı..... 36
Şekil 5.10 : Sürekli yangın modelinde Durum B için x = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı..... 36
Şekil 5.11 : Sürekli yangın modelinde Durum B için x = 0.0m' deki basınç dağılımı..... 37
Şekil 5.12 : Sürekli yangın modelinde Durum B için x = 0.0m' deki hız dağılımı..... 37
Şekil 5.13 : Sürekli yangın modelinde Durum D için z = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı..... 38
Şekil 5.14 : Sürekli yangın modelinde Durum D için z = 0.0m' deki basınç dağılımı..... 38
Şekil 5.15 : Sürekli yangın modelinde Durum D için z = 0.0m' deki hız dağılımı..... 39

Şekil 5.16 : Sürekli yangın modelinde Durum D için x = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı..... 39
Şekil 5.17 : Sürekli yangın modelinde Durum D için x = 0.0m' deki basınç dağılımı..... 40
Şekil 5.18 : Sürekli yangın modelinde Durum D için x = 0.0m' deki hız dağılımı..... 40
Şekil 5.19 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı…..... 42
Şekil 5.20 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki hız dağılımı…….....42
Şekil 5.21 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki, basınç dağılımı……..... 43
Şekil 5.22 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki, CO_2 dağılımı..... 43
Şekil 5.23 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı..... 43
Şekil 5.24 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki, hız dağılımı..... 44
Şekil 5.25 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki basınç dağılımı..... 44
Şekil 5.26 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonundak, x = 0.0m 'deki CO_2 dağılımı..... 45
Şekil 5.27 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı..... 45
Şekil 5.28 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki, hız dağılımı..... 46
Şekil 5.29 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda, z = 0.0m'deki basınç dağılımı..... 46
Şekil 5.30 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonundak, z = 0.0m 'deki CO_2 dağılımı..... 46
Şekil 5.31 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı..... 47
Şekil 5.32 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda x = 0.0m'deki hız dağılımı……..……..…. 47
Şekil 5.33 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda x = 0.0m'deki basınç dağılımı……..……..…. 47
Şekil 5.34 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonundak, x = 0.0m 'deki CO_2 dağılımı..... 48
Şekil 5.35 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, z = 0.0m'deki sıcaklık dağılımı..... 48
Şekil 5.36 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, z = 0.0m'deki hız dağılımı..... 49
Şekil 5.37 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, z = 0.0m kesit için basınç dağılımı..... 49
Şekil 5.38 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m'deki sıcaklık dağılımı..... 50
Şekil 5.39 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m'deki hız dağılımı..... 50
Şekil 5.40 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m'deki basınç dağılımı..... 51

Şekil 5.41 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m' deki CO_2 konsantrasyonu..... 51
Şekil 5.42 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı.....52
Şekil 5.43 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki basınç dağılımı.....52
Şekil 5.44 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki H_2O konsantrasyonu…….52
Şekil 5.45 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı.....53
Şekil 5.46 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki basınç dağılımı.....53
Şekil 5.47 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı..... 54
Şekil 5.48 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, z = 0.0m'deki basınç dağılımı..... 54
Şekil 5.49 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, z = 0.0m'deki hız dağılımı..... 54
Şekil 5.50 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı..... 55
Şekil 5.51 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m'deki hız dağılımı..... 55
Şekil 5.52 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m'deki basınç dağılımı..... 56
Şekil 5.53 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki CO_2 konsantrasyonu..... 56
Şekil 5.54 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m'deki sıcaklık dağılımı.....57
Şekil 5.55 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m'deki hız dağılımı..... 57
Şekil 5.56 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m'deki basınç dağılımı.....57
Şekil 5.57 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m'deki H_2O konsantrasyonu..... 58
Şekil 5.58 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, x = 0.0m'deki sıcaklık dağılımı.....58
Şekil 5.59 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, x = 0.0m'deki hız dağılımı.....58
Şekil 5.60 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, x = 0.0m'deki basınç dağılımı.....59
Şekil 5.61 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 30 sn. sonunda, z = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı..... 60
Şekil 5.62 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 30 sn. sonunda, x = 0.0m'deki CO_2 konsantrasyonu..... 60
Şekil 5.63 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m'deki sıcaklık dağılımı……. 61
Şekil 5.64 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m' deki hız dağılımı..... 61
Şekil 5.65 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m' deki basınç dağılımı..... 62

Şekil 5.66 : Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m'deki H_2O konsantrasyonu..... 62
Şekil 5.67 : Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacim boyutları..... 63
Şekil 5.68 : 100 saniye sonunda odaki sıcaklık dağılımı..... 67

SEMBOL LİSTESİ

c_p	: Sabit basınçta özgül ısı
c_μ, $c_{1\varepsilon}$, $c_{2\varepsilon}$	: Türbülans modeli sabitleri
D	: Kütlesel yayılma katsayısı, Toplam türev operatörü
E	: İç enerji
J	: Difüzyon enerji akısı
k	: Isı iletim katsayısı, Türbülansın kinetik enerjisi
k_1, k_2	: Boyutsuz katsayılar
k_{eff}	: Efektif ısı iletim katsayısı
κ,η	: McCafrey sabitleri
L	: Alevin ortalama yüksekliği
X	: Yanma verimi
m	: Açığa çıkan duman miktarı
P	: Basınç
Q_c	: Yangın büyüklüğü
q_r	: Isı akısı
R	: Kimyasal reaksiyonla kütle üretimi, Işınım ısı akısı
Ra	: Rayleigh sayısı
S_m	: İkinci fazdan gelen kütle üretimi
S_u	: Kimyasal reaksiyonun ısı üretimi
T	: Sıcaklık
t	: Zaman
u	: Akışkanın hızı
u_j	: j yönündeki hız bileşeni
z	: Temiz alt bölge yüksekliği
∇	: Diverjans operatörü
∂	: Kısmi türev operatörü
α	: Işınım yutma katsayısı
β	: Isıl genleşme katsayısı
I	: Birim Tansör
ε	: Işınım yayma katsayısı, Türbülansın disipasyonu
κ	: Işınım azaltma katsayısı
μ	: Dinamik viskozite
μ_{eff}	: Efektif dinamik viskozite
ν	: Kinematik viskozite
ρ	: Yoğunluk
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
τ_{ij}	: Kayma gerilmesi tansörü

MAKİNE DAİRESİ YANGINLARINA AÇIKLIKLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Gemilerde yangın emniyetini artırmaya yönelik olarak yapılan bu çalışmada; yangın sonucu olarak açığa çıkan duman gazlarının kapalı gemi hacmindeki hareketi ve ısıl etkileri incelenmiştir. Yangın güvenliğinin dizayn aşamasının son adımında koyulan bir güvenlik paketi olmasından çok bir dizayn kriteri olarak ele alınması daha yararlıdır. Gemiyi dizayn eden kişinin yangın söndürme ve yangından korunma konularındaki kurallara uyması, yangın söndürme ve yangın ikaz sistemlerinin avantajlarından tam olarak yararlanılabilmeyi sağlayacaktır. Yangın önleme teknikleri dizayn aşamasında dikkatle incelenmesi gereken hususlardan biridir, giderek yaygınlaşan bilgisayarla modelleme teknikleri ile yapılan çalışmalar, tasarımcıların ve bu konuda çalışanların olası yangın senaryolarını yorumlayıp doğru kararlar almalarını kolaylaştırmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile bir gemide yangın çıkma olasılığı en yüksek yerlerden biri olan makine dairesi ele alınıp, çeşitli yangın senaryoları kurgulanarak, doğal havalandırma açıklıklarının yangının yayılımına ve makine dairesine olan etkileri, sayısal olarak incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, yangın söndürme sistemlerinden karbondioksit ve yağmurlama sistemleri modellenerek yangına olan etkileri de incelenmiştir. Sonuçların doğruluğu ise sayısal hesaplamaların analitik sonuçlar ile karşılaştırılması ile gösterilmiştir.

Makine dairesindeki yangınının belirli bir aşamaya gelmesinden sonra yangın söndürme cihazlarının devreye girmesi veya yangın algılama cihazlarının yeri, türü, boyutları ve kullanılan malzemeler IMO tarafından belirlenen ve uluslararası klas kuruluşları tarafından istenen bazı kurallara tabidir. Çalışmada yangın modeli oluşturulurken bu kurallar göz önüne alınmış ve bu sayede yangın modelinin gerçeğe yakın olması sağlanmıştır.

Çalışmada 10000 DWT 'luk bir kimyasal tankerin makine dairesindeki yangın çeşitli yangın senaryoları için sürekli ve zamana bağlı olarak modellenmiştir. Bu kapsamda makine dairesindeki açıklıkların ve ayrıca değişik yangın söndürme sistemlerinin yangına olan etkileri incelenmiştir. Hesaplamalarda bir CFD programı olan FLUENT kullanılmıştır. Çalışmada değişik yangın senaryoları için hesaplanan basınç, sıcaklık, hız ve konsantrasyon alanları sunulmuş ve karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar makine dairesindeki açıklıkların yangının gelişiminde ve yayılımında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca sonuçlar, makine dairesinde yangının başlaması ve yangın söndürme sistemlerinin devreye girmesinden sonra yangının 1 ila 3 dakika içinde sona erdiğini göstermiştir. Bu durum uluslararası klas kuruluşlarının öngördüğü kriterler içindedir ve uygulanan modelde yangın söndürücülerin yeterli olduğunu göstermektedir.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF OPENINGS ON ENGINE ROOM FIRES

SUMMARY

This study investigates the effects of fire in enclosed spaces of ships with aiming to improve the fire safety of ships. It is helpful to take fire safety as a design criteria, not as a safety package put in at a later stage in the design process. Ship designers conform to rules about fire fighting and fire protection, that provides the advantages of fire fighting and fire detection systems may be utilised completely. Fire protection tecnique is the one of the matter which must be considered carefully during design process, studies with wide spreading computer modelling techniques, make easier to interpreting the scenarios of fire and make decisions correctly for designer and persons who work on this topic.

In this study, the engine room which has one of the high fire risk place in the ship was considered and, the effects of openings on the spreading of fire and the engine room for different fire scenerios were studied numerically. Furthermore, the fire extinguishing systems such as carbondioxide and water spray systems were modelled and their effects on the fire were investigated. The results validated by comparing the computational results with the analytical ones.

The responce time of the fire extinguishing systems, the place, type, number and dimensions of fire detection devices and the type of the construction materials are subject to regulations and rules established by International Maritime Organization (IMO) and asked by international classification societies. In this study, by considering these fire related international regulations and rules, the fire in the engine room was modelled very close to real one.

In this study, the fire in the engine room of 10,000 DWT chemical tanker was investigated for different fire sizes as the steady and unsteady cases. The effects of openings and different fire extinguishing systems on the fire in the engine room were investigated. The computed pressure, temperature, velocity and concantation areas for diffrent fire scenarios were presented and discussed.

The results of the study show that the openings have an important effect on the growing and spreading of fire in the engine room. Furthermore, the results indicate that the fire was extinguished between 1 and 3 minutes after the beginning of fire and start of the fire extinguishing system. This complies with the international class society rules and it indicates that the fire extinguishing system is adequate.

1. GİRİŞ

Deniz taşımacılığının temel korkularından biri gemi yangınlarıdır. Özellikle makine dairesi yangınları tehlike açısından ilk sıralarda yer almaktadır. Bu tür yangınların önlenmesi ve güvenlik sistemlerinin geliştirilmesi pek güç olup; bu konuda çalışmalar çeşitli klas kuruluşları ve üniversiteler tarafından yürütülmektedir.

Yangında oluşan can kayıplarının en önemli nedenlerinden biri dumandır. İçerdiği katı ve sıvı tanecikler de göz, solunum yolları gibi organlara büyük zararlar vermektedir. Duman sonucu oluşan panik ve görüş mesafesinin azalmasıyla, dumana maruz kalınan süre uzamakta; böylelikle hayati tehlikeler doğmaktadır.

Yangınla mücadelede en zor durumlardan biri havalandırma kontrolüdür. Çünkü havalandırma yangının şiddetini arttırmaktadır. Havalandırma sisteminin yangın sırasında kapatılması fanlardan kaynaklanan zorlanmış duman akışını ve oksijen girişini engeller. Sadece dumanın özkütlesinden kaynaklanan hareket meydana gelir [1]. Havalandırma yapılmadığı takdirde ise yanan bölümde duman ve sıcaklık gittikçe artar ve personel tarafından yangına müdahale etmek daha da zorlaşır.

Gemilerde yaşanan yangın facialarını, dikkatle takip edilip; bu konuda olası yangın senaryolarını inceleyerek dizayna başlamak, mühendislik adına çok önemli gelişmelerdendir. Yangın önleme teknikleri, ve denizde can güvenliği dizayn aşamasında dikkatle incelenmesi gereken hususlar arasında olup, giderek yaygınlaşan bilgisayarla modelleme teknikleri ile yapılan çalışmalar, dizaynerlerin ve bu konuda çalışanların olası yangın senaryolarını yorumlayıp doğru kararlar almalarını kolaylaştırmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile örnek bir gemi hacmi olarak makine dairesi ele alınıp çeşitli yangın senaryoları kurgulanarak, havalandırmanın yerinin ve büyüklüğünün yangının yayılımına ve yangın üzerindeki etkisine, sayısal modelleme tekniği ile hesaplanmaya çalışılmıştır.

Yanma işleminin başlaması ve sürmesi için yangın üçgeninde belirtilen üç elemanın doğru oranlarda bir araya gelmesi gerekmektedir. Bu üç elemandan birinin ortadan kaldırılması durumunda yanma işlemi başlayamaz ya da başlamış olan yanma son bulur. Temel prensip olarak söndürme işleminde başarıya ulaşmak için bu üç elemandan en az birinin ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Yangın söndürücülerin genel özellikleri soğutucu, boğucu ve alev kırıcı olmalarıdır.

Gemilerde yangın söndürme malzemesi olarak su, köpük, karbondioksit gazı, kuru kimyasal tozlar, halon gazı ve yangın battaniyesi kullanılır. Makine dairesindeki yangın modellenirken yangın söndürücülerde modele ilave edilmiştir. Tezin model aşamasında yangın söndürücü olarak karbondioksit gazı ve su kullanılmıştır. Su, soğutucu, sis veya sprey şeklinde kullanıldığında boğucu özelliğe sahiptir. Elektriği iletir. Portatif yangın söndürme tüplerinin kapasiteleri etkili kullanım için yeterli olmadığından yangını söndürmek için portatif tüplerinin kullanımı yaygın değildir. Bu sebeple, tezde yangın söndürücü olarak suyun kullanımı, makine dairesi tavanından su spreyi şeklindedir.

Modelde kullanılan bir diğer yangın söndürücü ise karbon dioksit gazıdır. Karbon dioksit gazı havadan 1.5 kat daha ağırdır. Karbondioksit gazı basınç altında tüplerde saklanır, gemilerde 6, 12, 45 kg' lik tüplerde bulunur. Alevlerin üzerini çöker, bu nedenle birincil olarak boğucu özelliğe sahiptir. Yalıtkandır, elektriği iletmez, bu nedenle elektrik kaynaklı ve motor bölmesi yangınlarında etkili söndürücü olarak kullanılmalıdır. İkincil olarak, soğutucu özelliği sahip olması nedeniyle yüzey yangınlarında etkindir. Genel maksatlı kullanılabilir [2]. Makine dairesi ve yaşam mahallerinde bulunan yangın dedektörleri 56 °C' yi geçtiği anda sıcaklık artışı dakikada 1 °C 'den fazla olursa devreye girer aksi durumda 72 °C' den sonra yangın söndürücüleri devreye sokar [3].

Bu çalışmada da örnek bir hacim ele alınarak tasarım şartlarının öngördüğü durumlar model üzerine işlenmiştir. İki farklı yangın modeli için makine dairesinde ki doğal havalandırma açıklığının büyüklüğü değiştirilmiştir. Tasarım şartları olarak IMO 'nun gemilerde yangın ile ilgili kuralları uygulanıp, gerçeğe en yakın durum modelde uygulanmıştır.

Tasarım şartı olarak makine dairesinin uygun yerlerine su sprinklerleri yerleştirilmiştir. Bunun yanına belirli yerlerden model hacmine karbondioksit gazı verilerek yangının hem büyümesi, hem de yangından kaynaklanan ısının yayılması gözlenmiştir.

Bu çalışmada makine dairesindeki yangın incelenirken yangının başladığı alan değişken alınmıştır. Yangının başladığı alan yangın büyüklüğünü etkilemektedir. Yangının başladığı alanda belirli bir yakıt var olduğu düşünülmüş ve bu yakıtın vereceği ısı miktarı fluent programı ile hesaplanmıştır. Yangın alanı iki farklı şekilde alınarak makine dairesindeki yangının büyük ve küçük yangınları temsil etmesi sağlanmıştır.

Makine dairesi hacmi boyutları sabit alınarak, makine dairesindeki doğal havalandırma açıklığının yeri ve boyutları değiştirilmiştir. Farklı yerlerde ve boyutlardaki doğal havalandırma açıklıklarının yangının oluşturdu ısının yayılımı açısından incelenmiştir.

Bu çalışmada yanma olayı ve kimyasal reaksiyonlar açısından incelenmiştir. Kimyasal reaksiyona giren ve çıkan maddelerin miktarı grafikler yardımı ile gözlenmiştir. Hacme taban seviyesinden giren yakıtın alanı daha önce yapılmış çalışmalara benzer bir büyüklük alınmıştır [4].

Gemide makine dairesinde yangın başladığında ilk olarak mekanik havalandırma sistemleri kapatılarak içeriye oksijen girişi engellenir. İçeriye oksijenin girebileceği tek alan olarak doğal havalandırma açıklığı kalır. Daha sonra yangının boğulması amacı ile kapalı hacme karbondioksit gazı verilir, soğutma amacı ile de su sprinklerleri devreye girer. Yangın kontrol altına alınmaya ve ortamın ısısı düşmeye başladıktan sonra görevli personel seyyar yangın söndürücüler ve gerekli donanım yardımıyla yangına müdahale ederek, yangını söndürür.

Bu çalışmada da örnek yangın senaryosu gerçekteki durumla aynı alınmıştır. Görevli personelin yangına müdahale edebilmesi için geçen zaman, yangına müdahalede kullanılan karbon dioksit gazı ve su miktarı, yangın süresince makine dairesinde kullanılan malzemenin dayanımı yangını modellerken göz ardı edilmemesi gereken maddelerdir.

Kapalı hacimde bulunan duman miktarı da görevli personelin yangına müdahalesi açısından önemlidir. Duman kontrolü dizaynı yapılırken kütlenin ve enerjinin korunumunu temel almalıdır. Zira açıklılardan çıkan gazın kütle debisi ortamda oluşan basınç farklılıklarına dayanmaktadır. Bölgeler arası oluşan basınç farkları da gaz sıcaklıkları arasındaki farktan meydana gelmektedir. Bu yüzden korunum denklemleri çözülürken birbirleri arasında iterasyon yapılarak çözülmelidir. Makine dairesi gibi büyük bir kapalı hacimde yangını modelleyerek korunum denklemlerini çözmek bilgisayar yardımı ile mümkün olabilmektedir.

Oluşan gazların sıcaklığı yanıcı maddenin cinsine ve miktarına göre değişiklik gösterir. Yangın büyüklüğünü de ifade eden ortamdaki ısı gücü bulunurken ortamdaki yanıcı maddelerin ısı akılarının toplamı kullanılır. NFPA gibi kuruluşlar belirli ortamlar için uygun ısı akısı değerleri kullanmayı uygun görmüşlerdir. Mesela endüstriyel hacimler için 200–300 kW/m^2 veya birim yangın alanları için 500 kW/m^2 ısı akısı değerleri kullanılması uygun olmaktadır [5].

Ortaya çıkan ısı hesaplanırken iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, yangın süresince sabit bir kütlesel debi ile sıcak gazların oluştuğunu kabul eden yangın modeli, bir diğeri ise oluşan ısının zamanın karesi ile değiştiğini kabul eden yangın modelidir. Gerçek yangınlarda ki yangın başlangıcından itibaren hızlanarak büyür. Bunu matematik olarak açıklamanın en kolay yolu daha öncede bahsedildiği gibi t^2 modelidir.

Tablo 1.1: Yangının farklı büyüme oranları için α değerleri

GELİŞME HIZI	**KW/s^2**	**1055 KW' ye ulaşma süresi**
Çok hızlı	0,19	75
Hızlı	0,047	150
Orta	0,012	300
Yavaş	0,003	600

Isı akısı bulunurken ortamdaki malzemeye bağlı olarak bulunan α, bir katsayı olarak formüle girer. Tablo 1.1, farklı büyüme oranları için α değerlerini vermiştir [6]. Bu çalışmada zamana bağlı çözümlerde t^2 modeli kullanılmaktadır. Zamana bağlı olmayan durumlarda ısı miktarı sabit alınmıştır.

2. KAPALI HACİM YANGINLARI

Yangın fiziksel ve kimyasal olaylar sayesinde incelenir, doğada ise fiziksel ve kimyasal olaylar iç içe geçmiş durumdadır. Alev, yakıt ve çevre arasındaki etkileşim hiç bir zaman lineer olmaması olay hakkında sayısal tahmin yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Yangın hakkında sayısal tahminler yapılırken yangın için kullanılabilecek farklı sayısal çözümlemeler vardır. Bu bölümde, modelleme aşamasında yangını ifade etmek için tercih edilen sayısal yöntemlerden bahsedilmiştir.

2.1 Yangın Modelleri

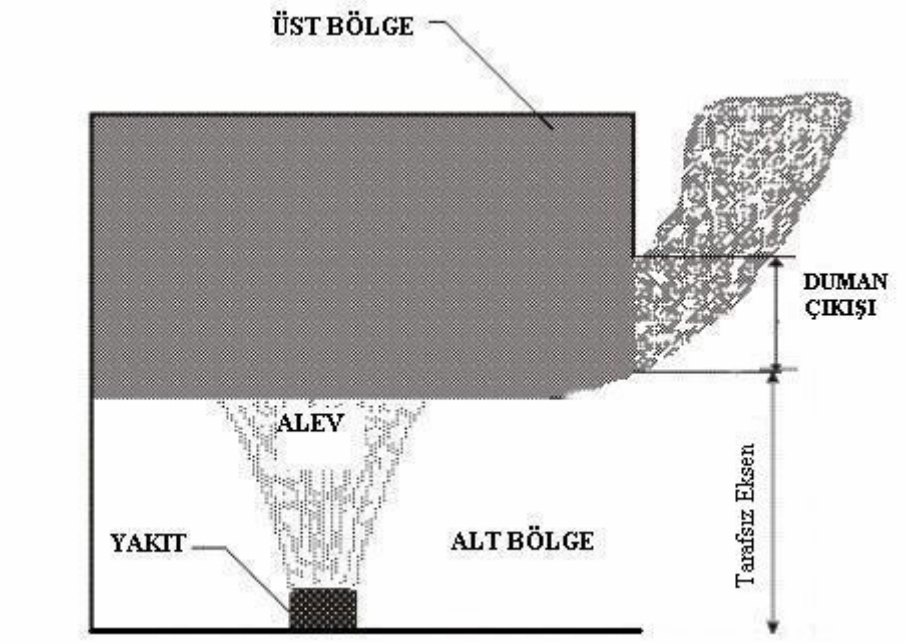
Yangın konusunda araştırma yapılırken model deneyleri kullanılması mümkün olduğu halde araştırmacılar için daha maliyetli olduğundan daha az tercih edilmektedir. Buna ek olarak deneyden alınan sonuçlar sadece benzer hacimler için kullanılabilmektedir. Bu nedenle hesaplamalı matematik modeller kurarak araştırma yapmak daha çok tercih edilir. Az maliyetli olması ve gerçeğe yakın sonuçlar vermesi araştırmacılar için çok önemlidir.

Yangın modelleri oluşturulurken kullanılan iki farklı matematik model vardır.

2.1.1 Bölge Modelleri

Bölge modelleri, sistemi üst ve alt olarak iki farklı bölgeye ayırır ve kütle, momentum ve enerji için yazılan korunum denklemlerini bu bölgeler için çözer. Isının neden olduğu özkütle farkından oluşan üst bölgenin sıcak, alt bölgenin ise soğuk olduğu ve bölgelerin kendi içlerindeki sıcaklık dağılımlarının uniform olduğu kabul edilir [7]. Şekil 2.1'de hacmi oluşturan bölgeler görünmektedir. Bölmede oluşan alev üst bölge ve alt bölge arasında entalpi kaynağı gibi tanımlanır. Üst ve alt bölgeyi ise bir birinden ayıran hatta tarafsız eksen olarak adlandırılır.

Gerçekte ise, oda ebatlarına ve yangının ısı salınım katsayısına bağlıdır, sıcak üst bölge ve soğuk alt bölge arasında tam bir sınır yoktur ve sıcak olan üst bölgedeki sıcaklık uniform dağılmaz (aleve yakın olan yerlerde daha yüksek sıcaklıklar olacaktır). Bunun yanında kapalı bir bölmedeki yangının gelişmesinin gözlenmesi için kabul edilir yaklaşımlar verir.[8]



Şekil 2.1: Tipik bölge modeli kesit görüntüsü

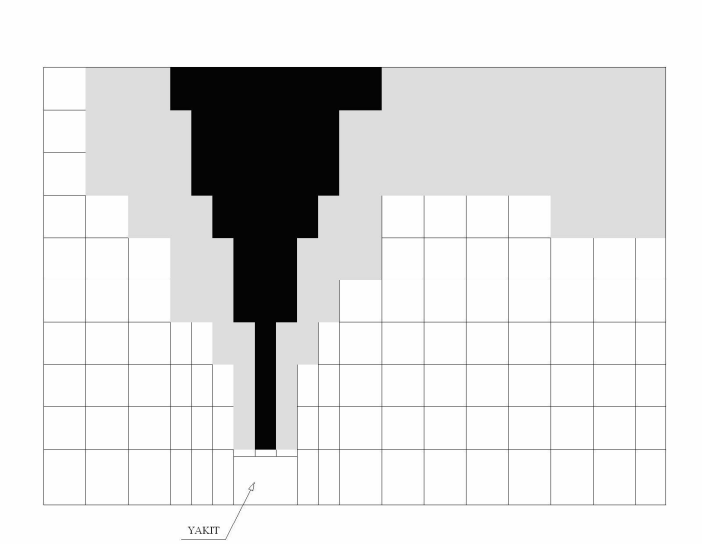
CFAST, bölge modeli için kullanılan programların en yaygınıdır. Yangını tanımlarken yakıtın kütle salınım katsayısını ve ısı salınım katsayısını tanımlamak yeterli olur; CFAST, üst bölge ve alt bölge arasında oluşan ara yüz yüksekliğindeki geçiş değerlerini, sıcak üst bölge ve soğuk alt bölge de ki sıcaklıkları ve yanma sonucu oluşan ürünlerin konsantrasyonlarını hesaplar [9].

Alan modellerine göre daha basit olan bölge modellerinde, daha küçük bilgisayar kapasiteleriyle çözüm elde edilmektedir. FAST, CFAST, ASMET, gibi bölge modelleri DOS ortamında çalışan ve genellikle Fortran bilgisayar programlama dilinde yazılmış olan bölge modelleridir. Alan modellerindeki diferansiyel yaklaşım yerine, bölge modellerinde yığın çözüm (bulk approach) yapılmaktadır. Her iki modelle elde edilen çözümler arasında tutarlılık gözlenmektedir [1].

Bölge modellerinin en büyük dezavantajı kapalı bölgelerdeki havalandırma akışlarını, sıcaklık dağılımlarını ve yanma sonucu oluşan ürünleri alan modelleri kadar yeterli verememesidir [7].

2.1.2 Alan Modelleri

Alan model tekniği veya CDF model tekniği, mühendislik disiplinleri arasında kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Alan modellerinde, bölge modelleri gibi belirli bir hacim için uygulanır. Bölge modeli hacmi üst ve alt olmak üzere iki bölgeye ayırmıştı ve korunum denklemlerini bu bölgeler için çözmüştü. Alan modelinde hacim çok daha fazla sayıda kontrol hacmine bölünür ve her kontrol hacmi için korunum denklemleri çözülür. Bu, bölge modellerinden daha detaylı bir çözüm elde edilmesini sağlar. Çünkü iki uniform bölgeden daha fazla bölge kullanılır ve kompleks geometriler de iki bölge ile tanımlanamayacağı için yangın teorisi için daha uygundur [8]. Bunu yanında, iki bölge ile tanımlanamayan kapalı bölgenin dışındaki yakıt yangınlarında da kullanılabilir.



Şekil 2.2: Tipik CFD model kesit görüntüsü

Alan modelleri detaylı çözüm vermesinden dolayı detaylı girdi bilgisine ihtiyaç duyar. Yangını modellemek için geniş bilgisayar kapasiteleri gereklidir. Bölge modelleri çabuk sonuç vermesinin yanında, alan modellerinden sonuç almak daha fazla zaman gerektirir. Şekil 2.2 ‘ de bölge modelleri için model hacminin kontrol hacimlerine bölünmesi verilmektedir

Kütle, momentum, ısı ve yanmaya ait korunum denklemleri sonlu farklar metodu ile tanımlanır. Sonlu farlarla oluşturulan denklem takımları bilgisayarın çözebileceği hale getirilmiş olur. Verilen sınır koşullar (duvar fonksiyonları, karışık havalandırma hızları, basınç şartları, alan veya hacim ısıtıcıları ve yangın) doğrultusunda bilgisayarlar yardımı ile model çözülür [7].

İki model karşılaştıracak olursa; alan modelleri ile yangın daha detaylı tanımlandığını görülür. Alev gelişimi, alev tavan arasındaki geçiş ve duvar-tavan jetlerini oluşumunu gözlemleyebiliriz. Duman tabakasını sıcaklığı ve temiz alt bölge yüksekliği değerleri arasında yapılan çalışmalar sonucu iki model arasında fazla fark olmadığı görülmüştür [10]. Buna rağmen duman tabakasını sıcaklığı ve temiz alt bölge yüksekliği değerleri hesaplanırken alan modeli kullanılması daha doğrudur. Çünkü bölge modelleri sabit ve homojen bir duman tabakası olduğunu kabul etmektedir [11]. Duman tabakası yüksekliğini ve duman tabakası ara yüzü yüksekliğini tanımlarken alan modellerinin kullanılması daha doğrudur, alan modelleri duman hareketini duman konsantrasyonu denklemlerini çözerek ifade eder.

Alan modellerinin en büyük dezavantajı alt bölge sayısının artması çözüm hassasiyetini artırmasının yanında çözüm sürecini uzatmasıdır. Daha hassas çözümler için daha yüksek kapasiteli bilgisayarlar gerekmektedir. Gelişen bilgisayar sistemleri sayesinde, kişisel bilgisayarlar bile alan modelleri ile çok hassas sonuçlar alınmasını sağlar. Bu çalışmada da tercih edilen model olarak alan veya CFD modeli kullanılmıştır. CFD modelin en yaygın bilgisayar programlarından biri olan Fluent aracılığı ile yangın tanımlanıp, uygun sınır koşulları altında çözümler elde edilmiştir.

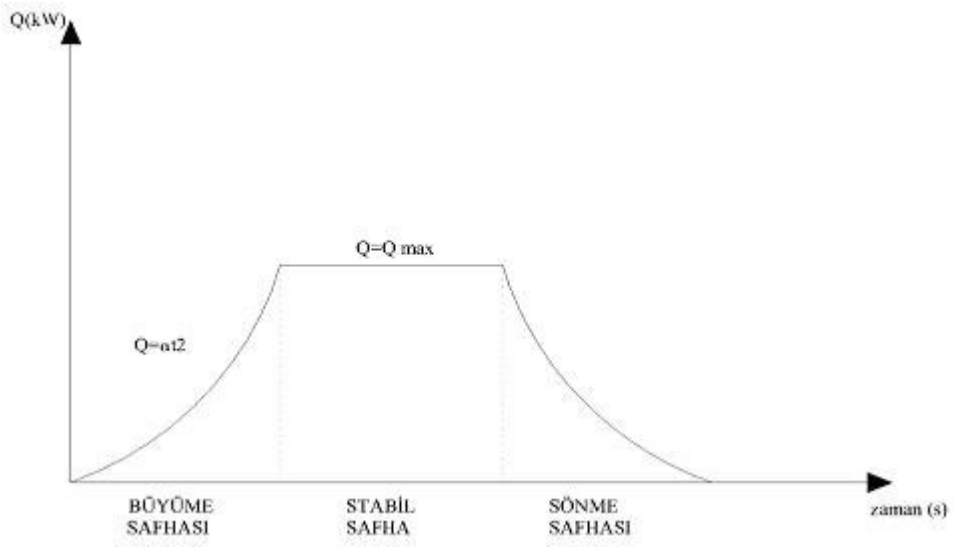
2.2 Yangın Modellemeleri

Yangın modellemesi yapılırken karar verilmesi gerekilen ilk madde ortamda ne kadar yanıcı madde olduğudur. Gerçek yangınlarda ortamdaki maddelerin hepsi yanabilir ama yangın modellemesi yapılırken ortamdaki yanıcı maddelerin ne kadarının, nasıl yanacağına karar verilmelidir. O zaman yanan maddelerin meydana getirdiği dumanın ne kadarının dışarı çıkacağı veya yangın ikaz sistemlerinin ne zaman devreye gireceğini hesap edebilir.

Yangın modelini tanımlarken kesin bir prosedür yoktur. Mühendis tamamen ortamı oluşturan maddelerin özelliklerine göre bir sonuca ulaşır. Dizayn yangını oluşturmanın en kolay yolu yangın modeli eğrisi oluşturmaktır. Eğri, üç zaman aralığından oluşur yangının büyüme safhası, sabit olduğu safha ve sönme safhasıdır.

2.2.1 Büyüme Safhası

Gerçek yangınlarda yangın başlangıcından itibaren büyüyerek devam eder. Bunu matematik olarak ifade etmek için NFPA 92B 'de tanımlanmış olan t^2 yangın modelidir. Yangını büyümesini ifade ederken kullanılan bir diğer birleşen de α katsayısıdır. Ortamdaki malzemenin özelliğine bağlı olarak değişen α katsayısı büyüme oranı katsayısı olarak da adlandırılır ve deneyler sonucu bulunur. Bu modelde yangının büyümeye başladığı an sıfır zamanı olarak alınır, oysaki yangının başlangıç zamanı sıfır zamanından daha öncedir.



Şekil 2.3: Basit bir dizayn yangını eğrisi

2.2.2 Sabit Safha

Yakıtın maksimum yanma oranına ulaşana kadar geçen süreye veya içerideki oksijenin yakıtın yanması için yetersiz hale geldiği zamana kadar geçen süre büyüme safhasıydı. Sabit safhada ise fazla yakıt veya yetersiz oksijen durumu ortaya çıkar. Fazla yakıtın yakılması için açıklıklar vasıtası ile dışarıdan içeriye hava girmesi gerekir veya içerideki fazla yakıtın farklı bir ortamda yanması gerekir. Basit durumlar için içerideki oksijen oranına göre yanma hesaplanır. Çoğu durumda ise

kapalı ortamın yan ortamlarla arasında açıklık vardır ve içerideki fazla yakıtın yanması için açıklıklar vasıtasıyla farklı bir ortam bulur.

Bu çalışmada ise makine dairesindeki koşullar dolayısı ile çevre ortamlara yangının geçişi özellikle engellenir. Yanma sonucu ortaya çıkan ısıyı ise oksijene göre hesaplamak daha doğru olacaktır. Bunun içinde ortama ısı verilmesinden daha doğru olan ortamdaki yakıtın ortaya çıkaracağı ısıyı kimyasal reaksiyonlar ile ifade etmektir.

Gemilerde özellikle yangın söndürücü olarak kullanılan karbondioksit de kimyasal ortamda oluşan yanma reaksiyonları üzerindeki etkisi de yangın modeline yansıtılabilmiştir.

- Özellikle büyüme süresinin kısa olduğu sıvı yangınlarında
- Sprinkler yangın söndürücülerinin çalıştığı ortamlarda
- Yanan malzemelerin teker teker yandığı ve yangın hep sabit kaldığı yangınlarda kullanılan yangın safhasıdır.

2.2.3 Sönme Safhası

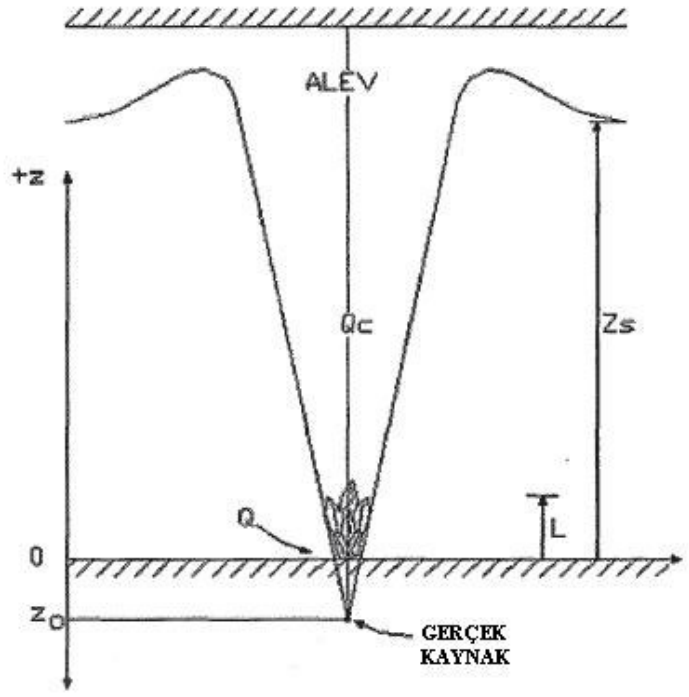
Genellikle yanma araştırmalarında insan güvenliği ve kaçış incelendiğinden sönme safhası fazla üzerinde çalışılmamıştır. Ama elimizde yakıtın limitli olduğunu düşünülürse sönme safhası ile de ilgili bazı tahminler yapılabilir. Enerji salınım oranları üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan da bu konuda yararlanılabilir.

2.3 Duman Miktarının Belirlenmesi

Yanıcı maddelerim özelliğine göre ortamda oluşan duman miktarı farklılık gösterir. Ortay çıkan duman miktarı hesaplanırken deneyler sonucu elde edilmiş ampirik formüllerden yararlanılır. Farklı çalışmalar sonucu ortaya çıkan duman miktarını ifade etmek için farklı ampirik formüller bulunmuştur.

Duman miktarını hesaplarken bazı kabuller yapılması gerekir. Bu kabuller şunlardır:

- Bütün enerjinin tek bir kaynaktan çıktığı kabul edilir ve alev boyunca radyasyon nedeniyle eneri kaybı olmadığı varsayılır
- Alev boyunca sıcaklık değişimi dolayısı ile yoğunluğun değişmesi gerekirken, yoğunluk alev boyunca sabit kabul edilir.
- Hız, sıcaklık ve kuvvetlerin yükseklik ile değişmediği kabul edilir.



Şekil 2.4: Alev bölgesi

Şekilde görüldüğü gibi alevin kaynağı tabanın altından yer almaktadır. Bu alevi modellerken noktasal bir ısı kaynağı yerine, dairesel ısı kaynaklı bir model elde etmemizi sağlar. Dolayısı ile gerçek kaynağın yerini tespit ederken Denklem 2.1' de verildiği gibi yangın kaynağının çapı gereklidir.

$$z_0 = 0.083\dot{Q}^{2/5} - 1.02D \qquad \textbf{(2.1)}$$

Yangında çıkan duman miktarının belirlenmesindeki en detaylı çalışma McCafrey tarafından yapılmıştır. Aleve ait hız ve sıcaklık değerlerinde yanıcı maddenin cinsine göre Tablo 2.1' deki gibi bazı katsayılar belirlemiştir.

Tablo 2.1: McCafrey sabitleri

BÖLGE	$z/Q^{2/5}$ [$m/kW^{2/5}$]	η	κ
Devamlı	<0.8	1/2	6.8[$m^{1/2}$ /s]
Aralıklı	0.8 – 0.2	0	1.9[m/($kW^{1/5}$ s)]
Alev	>0.2	-1/3	1.1[$m^{4/4}$ /($kW^{1/3}$ s]

Bu katsayılar kullanılarak belirli bir enerji salınım değerindeki yangının Denklem 2.2 'deki aleve ait sıcaklık ve Denklem 2.3'deki aleve ait hız değerleri bulunabilmektedir.

$$\Delta T_0 = \left(\frac{\kappa}{0.9 \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right) \cdot T_\infty \qquad \textbf{(2.2)}$$

$$u_0 = \kappa \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{\eta} \cdot \dot{Q}^{2/5} \qquad \textbf{(2.3)}$$

Bu çalışmada kontrol için oluşturulan hacimde yangın tanımlaması aşamasında sınır değer olarak McCafrey yönteminden yararlanılmıştır. Yangının sıcaklığı ve hızı Denklem 2.2 ve Denklem 2.3 'den elde edilen sonuçlardır. Yangına ait hız ve sıcaklık değerleri bulunurken daha önceden hesaplanmış yangına ait enerji salınım değeri ve alevin ortalama yükseklikleri gereklidir.

$$L = 0.235 \dot{Q}^{2/5} - 1.02D \qquad \textbf{(2.4)}$$

Alevin ortalama yüksekliği (z) olarak Denklem 2.4' den bulunan yükseklik değeri kullanılmıştır.

2.4 Havuz Tipi Yangınlar

Yanlışlıkla yere dökülmüş olan sıvı yakıtlar, çalışma yerlerinde ciddi yangın kazalarına neden olmaktadır. Bazı sıvı yakıtlar döküldükleri ortamdaki sıcaklığa bağlı olarak çabuk buharlaşırlar ve hava ile karışarak patlama tehlikesi oluştururlar. Bazı sıvı yakıtların ise yanmaya başlaması için daha yüksek sıcaklık gerekir. Yanmaya başladıktan sonrada çabucak belirli bir yanma oranına ulaşırlar ve yakıtın çapına göre yanmaya devam ederler. Bir yakıtın, belirli bir çaptaki miktarının yanmasından ortaya çıkan ısı salınım katsayısı Denklem 2.5 ile bulunur.

$$Q = A \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c \qquad \textbf{(2.5)}$$

Denklemdeki χ değeri yanma verimidir ve yakıtlar için yanma verimi 0.7 - 0.6 arasındadır [7]. Bu çalışmada χ için ortalama 0.7 değeri kullanılmıştır. ΔH_c değeri Tablo 2.2 'de belirtilen yakıtın cinsine göre değişen bir değerdir. m'' değeri ise Denklem 2.6 'da belirtildiği gibi bulunur. Denklemde kullanılan $k\beta$ değeri de Tablo 2.2 'de belirtildiği gibi yakıtın cinsine göre değişen sabit bir değerdir. Bu çalışmada yakıt olarak kullanılan fueloil için sabit değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k\beta D}) \qquad \textbf{(2.6)}$$

Tablo 2.2: Fueloil yanma oranı sabitleri

YAKIT	Yoğunluk (kg/m^3)	m''_{∞} (kg/m^2s)	ΔH_c (Mj/kg)	$k\beta$ (m^{-1})
Fueloil	940-1000	0.035	39.7	1.7

Yakıtın kaynağı dairesel şekilde olmadığı durumlarda, çap olarak kullanılacak değer yakıtın döküldüğü alana eşit olan dairenin çapı ile aynıdır.

2.5 Açıklıkların Yangına Olan Etkisi

Kapalı hacimlerde tavan veya kapı açıklıklarında yangının doğası gereği basınç farkları ve yoğunluk farklarından kaynaklanan akışlar meydana gelmektedir. Bu akış kapalı bölmedeki yangın gibi ısı kaynakları ile kısmen alakalıdır [12]. Çünkü

yangının büyümesi ve gelişmesi havalandırma açıklıklarından gelen oksijenle doğrudan alakalıdır.

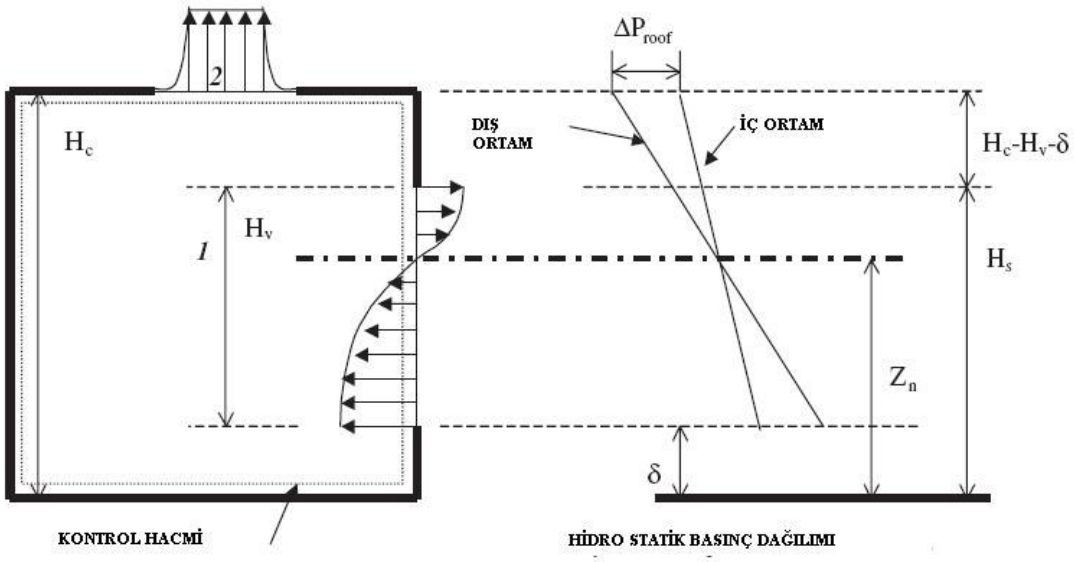
Ortamda basınç farkı olmaması durumunda bile oda içerisinde hafif akışkan ve bunun üzerinde ağır akışkan bulunmaktadır, yoğunluk farklarından dolayı iki akışkan doğal havalandırma boyunca çift yönlü akış oluştururlar [12]. Alt bölgedeki basınç artığı gibi, iki yönlü akış çok yönlü akıştan döner. Çift yönlü akıştan çok yönlü akışa dönerken ki kritik basıncın yükselmesi, basınç farklarının büyük olması ile alakalıdır. Büyük basınç farkları arasındaki akış incelenirken Bernoulli denklemi temel alınır. Gerçek bir yangın incelenirken hem basınç farklarını hem de yoğunluk farklarını incelemek gerekir.

Doğal havalandırma sisteminin avantajı oldukça basit, güvenilir olması ve çok geniş aralıktaki yangın koşullarının üstesinden gelebilmesidir. Herhangi bir nedenle, yangın tasarlanılan boyutun üzerine çıkması durumunda duman tabakası kalınlığının ve sıcaklığının artması kaçınılmaz olur. Bu da daha fazla miktarda duman tahliyesi sağlar. Yani, doğal havalandırma sistemi kendi kendini dengeleyen bir mekanizmadır [13].

Teorik olarak havalandırma açıklıklarının etkileri incelenirken ortamda tam karışım senaryosu uygulanır. Tam karışım durumunda ortamdaki yangın gazlarının sıcaklık dağılımları tabandan tavana kadar uniform olduğu kabul edilir. Kapalı bölme içindeki hidrostatik basınç dağılımı yükseklikle lineer olarak değişir. Benzer olarak dış ortamdaki hidrostatik basınç dağılımında lineer olarak değişir, ama bu değişim iç ortam ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle aynı oranda değildir.

Kompartıman duvarındaki kapı açıklığından basınç farkı dolayısı ile içeriye dış ortamın soğuk havası dolmaktadır. Aynı zamanda içerideki sıcak gazlarda kütle dengesini kurmak için iç ortamdan dışarıya akmaktadır. Açıklık üzerinde basıncın sıfır olduğu nötural düzlem adı verilen bir nokta oluşur. Bu noktanın altında içerideki diferansiyel basınç negatif olur ve içeriye hava akışı gerçekleşir. Bu noktanın üzerinde ise içeride pozitif diferansiyel basınç oluşur ve sıcak gazların dışarıya akışı gerçekleşir. Böyle bir durumda akışın hızı, kütle miktarı vb. gibi değerler Bernoulli denklemi kullanılarak açıklık boyunca hesaplanabilir.

Dikey ve yatay açıklıklardaki akışlar, hidrostatik basınç dağılımı, neden olduğu yatay ve dikey açıklıklar boyunca hız dağılımları Şekil 2.5' de göründüğü gibidir. H_v düşey havalandırma açıklığının yüksekliğidir. ΔP_{roof} tavan yüksekliğindeki hidrostatik basınç farkıdır. Z_n nötural düzlemin yüksekliği, H_c ise oda yüksekliğidir.



Şekil 2.5: Tavan ve duvar açıklıkları boyunca akışların şematik gösterimi

Yukarıdaki şekilde verilen 1 ve 2 no lu noktalar arsında akış çizgisi var olduğu düşünülürse her bir noktada ki basınç değerleri Denklem 2.7 ve 2.8 kullanılarak bulunur.

$$P_1 = P_0 - \rho_g g(H_c - Z_n) \quad \textbf{(2.7)}$$

$$P_2 = P_0 - \rho_0 g(H_c - Z_n) \quad \textbf{(2.8)}$$

P_1 ve P_2 arasındaki basınç farkı tavandaki hidrostatik basınç farkına eşittir. Denklem 2.9 kullanılarak basınç farkı yani ΔP_{roof} bulunabilir.

$$\Delta P_{roof} = (\rho_0 - \rho_g) g(H_c - Z_n) \quad \textbf{(2.9)}$$

Açıklıklar boyunca basınç dağılımlarının hesaplanması ve bu sayede açıklıklarda ki akışın hızı veya akışların kütle debilerinin hesaplanması yine Bernoulli denklemi kullanılarak yapılır.

Doğal havalandırmadan gelen hava akışı ve yanma ürünleri yangının büyümesini ve yayılmasını etkileyen en önemli iki faktördür. Ortama giren oksijenin akış oranı, yanma işlemini ve enerji salınım oranını tanımlar. Buna benzer olarak yangının komşu bölgelere sıçraması havalandırmadan gelen akışın oranına bağlıdır. Bu sebepten gemi gibi çok bölmeli ortamlarda havalandırma açıklıkları çok önemlidir.

Tavan açıklığı büyüdükçe tavandan çıkan sıcak gaz miktarında artış görülür. Bunun yanında kapıdan çıkan sıcak gaz miktarı azalır çünkü aşağıdaki tarafsız eksenin yüksekliği artmıştır ve içeriye giren hava miktarında da orantılı olarak bir artış gözlenir [14].

Tavan açıklığı artıkça içerideki sıcaklık düşer, çünkü büyük tavan açıklığından çıkan dumanın kütle debisi artmaktadır. Tavan açıklığı büyüdükçe kapıdaki tarafsız eksenin yüksekliği artmaktadır. Kısacası tavan açıklığı büyüdükçe kapıdan dışarı çıkan duman miktarı azalırken, tavandan dışarı çıkan duman miktarı artmaktadır. Bazı durumlarda yangın kaynağının alanının büyümesine rağmen sıcaklığın çok az yükseldiği ve tarafsız eksenin yüksekliğinin çok azalmadığı görülür [15]. Bunun nedeni kapı açıklığından çıkan duman miktarının artmasıdır. Bu kısmen yüksek sıcaklık salınım oranlarında da görülür.

3. SAYISAL MODEL

Bu çalışmada makine dairesi hacminde gerçekleşen çeşitli yangın senaryoları ve makine dairesindeki yangın hesaplamalarını kontrol etmek için dikdörtgenler prizması hacmi matematiksel olarak incelmiştir.

3.1 Genel Korunum Denklemleri

Bütün akışlar için kütle korunumu ve momentum korunumu denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Bu denklemlere ek olarak enerji korunumu denkleminin de problemin durumuna göre çözülmesi gerekmektedir.

Kütle korunumu veya süreklilik denklemi en genel halde

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m \qquad \textbf{(3.1)}$$

şeklinde verilmektedir. S_m kaynak terimi ikinci fazdan sürekli faza eklenen kütle miktarını göstermektedir. Bu denklemin sol tarafındaki terimler hız vektörünün toplam türevini göstermektedir.

Momentum korunum denklemi sabit (hızlanma olmayan) hücrelerde

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + \rho g_j + F_j \qquad \textbf{(3.2)}$$

şeklinde verilir. Burada i indisi serbest indis iken j indisi sabit indis olup momentum denkleminin yazıldığı yönü göstermektedir. Sol taraftaki zaman terimi ve taşınım terimi birlikte, u_j hızının toplam türevini göstermektedir. Sağ taraftaki ilk terim basınç gradyenini, üçüncü terim ağırlık kuvvetini ve son terim de diğer kütle kuvvetlerini göstermektedir. Sağ taraftaki ikinci terim momentum geçişinin diverjansını göstermekte olup, τ_{ij} terimi j yönündeki yüzeye paralel olarak etkiyen momentum geçişini göstermektedir. τ_{ij} gerilme tansörü şu şekilde verilebilir.

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} I \qquad \textbf{(3.3)}$$

Burada, μ moleküler viskozite, I ise birim tansördür. Isı transferinde enerji korunum denklemi

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_{j'} h_{j'} J_{j'} + u_j (\tau_{ij})_{eff} \right) + S_h \qquad \textbf{(3.4)}$$

şeklinde verilir. Buna göre denklem 3.4' ün sağ tarafındaki ilk üç terim sırasıyla ısıl difüzyon, bileşenlerin kütlesel difüzyonu ve viskoz disipasyon nedeniyle oluşan enerji geçişini göstermektedir. S_h ise herhangi bir kimyasal reaksiyon olması halindeki ısı üretimini veya hacimsel ısı üretimini göstermektedir.

$k_{eff} = k + k_t$ şeklin de bilinen efektif ısı iletim katsayısını göstermektedir. Burada k_t türbülanslı ısı iletim katsayısı olup seçilen türbülans modeline göre değişmektedir. J terimi, j′ bileşeni için difüzyon enerji akısını temsil eder. Denklem 3.5 'te verilen enerji denklemine göre bileşenler hesap edilir.

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \qquad \textbf{(3.5)}$$

3.2 Türbülans Modeli

Bu çalışmada sıcak hava akışının çözümünde k-ε RNG (renormalization group) tübülans modeli kullanılmıştır. RNG temelli k-ε türbülans modelleri; Navier-Stokes eşitliklerinden bir matematik tekniği olan normalizasyon grubu kullanılarak üretilmiştir. Modelde kullanılan k ve ε sırasıyla, türbülansın kinetik enerjisini ve onun dağılım oranını temsil etmektedir.

Bu noktaya kadar u_i ile gösterilen ani hız değeri; $u_i = \overline{u}_i + u_i'$ şeklinde akışın ortalama hızı ile ortalama hızdan sapmayı ifade eden çalkantı hızının toplamı olarak yazılmaktadır. Bu yeni hız tanımlarından hareketle, türbülansın kinetik enerjisi, k;

$$k = \frac{1}{2} \overline{u}_i \overline{u}_i \qquad \textbf{(3.6)}$$

şeklinde tarif edilmektedir.

Benzer şekilde, türbülansın disipasyonu, ε;

$$\varepsilon_{ij} = 2\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \quad \textbf{(3.7)}$$

şeklinde tarif edilmektedir.

RNG k-ε türbülans modelinde k için transport denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i}\right) + G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_k \quad \textbf{(3.8)}$$

ε için transport denklemi ;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad \textbf{(3.9)}$$

Bu eşitliklerde G_k ortalama hız gradyenlerinin yarattığı türbülansın kinetik enerjisidir. G_b özkütle farkının yarattığı türbülansın kinetik enerjisidir. Y_M, sıkıştırılabilir akışlarda genişlemenin toplam değişeme etkisinin oranıdır. α_k ve α_ε değerleri k ve ε için Prandtl sayılarını göstermektedir. S_k ve S_ε , kişi tarafından tanımlanan kaynak terimleridir. RNG modelini standart k-ε modelinden ayıran en önemli terim R_ε 'dir. gerilimin olduğu akışlarda RNG türbülans modeli, standart türbülans modelinden farklı sonuçlar verir. Aynı zamanda türbülans vizkoziteleride farklı olur.

Denklemlerdeki efektif viskozite, $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ şeklinde dinamik ve türbülanslı viskozitenin toplamı olarak ifade edilmektedir. Dinamik viskoziteden farklı olarak, hem akışkana hem de akışa bağlı olan μ_t ise;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \textbf{(3.10)}$$

şeklinde verilmektedir.

Denklem 3.9 ve 3.10'da verilen c_μ, $c_{1\varepsilon}$ ve $c_{2\varepsilon}$ model sabitleri deneyler sonucu bulunan katsayılardır ve bu çalışmada kullanılan 0.0845, 1.42 ve 1.68 değerleri daha önce benzer çalışmalarda da kullanılan değerlerdir [4,16,17].

RNG türbülans model, standart türbülans modele benzerdir ama başlıca farkları şunlardır;

- RNG modelin ε denklemi için ek bir terimi vardır. Bu terim, kayma gerilmesinin olduğu akışlar için hassasiyeti arttırır.
- RNG model türbülanslı akışlarda girdap etkisini de hesaplar.
- Prandtl sayıları için analitik bir formül sağlar. Standart modelde ise bu değerler kişi tarafından girilir.
- Standart model yüksek Reynolds sayıları için uygun olmasına rağmen, RNG model, efektif viskozite için düşük Reynolds sayılarında da diferansiyel denklemlerin analitik çözümlerini içeren formüller verir. Efektif kullanım için duvar bölgelerinde uygun tanımlamalar yapılmış olması gerekir.

Bu nedenlerden RNG model, standart modele göre daha hassas ve etkindir.

Türbülanslı akışlar duvarın varlığından etkilenirler. Akışın duvara çok yakın olduğu durumlarda viskoz sönüm hızlarının tanjantlarındaki değişim azalır. Bu nedenle viskozitenin etkilediği iç bölgelerde çözüm yapılmayarak, duvar fonksiyonları adı verilen yarı ampirik formüller kullanılır. Duvar fonksiyonları duvarı ve tam türbülanslı bölge arasında köprü vazifesi görür. Duvara yakınlığı ifade etmek için Denklem 3.11 kullanılır.

$$y^+ = \frac{\rho u_T y_p}{\mu} \qquad \textbf{(3.11)}$$

Cidardan P noktasının uzaklığı y_p, hızı u_T, yoğunluğu ρ ve viskozitesi μ olarak tanımlanan bir hücrenin y^+ değeri akışın özelliklerine göre belirli değerler almaktadır. Bu çalışmada kullanılan y^+ değeri için benzer çalışmalarda kullanılan 200 değeri alınmaktadır [4].

3.3 Radyasyon Modeli

Bu çalışmada kullanılan ışınım modeli P1 modelidir. $\alpha L >> 1$ olarak tanımlanan durumda en iyi sonucu veren model olduğundan P1 modeli bu çalışmada

kullanılmıştır. Büyük modellerde düşük CPU kullanımı P1 modelinin kullanımını kolaylaştırmaktadır.

P1 ışınım modeli çok genel olan P-N modellerin en basitleştirilmiş halidir. Işıma yeğinliği I'nın ortogonal seriye açılması ile bulunur. Serinin ilk dört teriminin toplamı olarak kullanılır. Sade gösterimiyle P1 modelinde çözülen diferansiyel denklem:

$$-\nabla q_r = \alpha G - 4\alpha\sigma \mathbf{T}^4 \qquad \textbf{(3.12)}$$

şeklinde verilmektedir.

Burada G ve σ sırasıyla; ışınım şiddetini ve Stefan-Boltzman sabitini göstermektedir, α ise soğurma katsayısıdır.

3.4 Kimyasal Reaksiyonlar

Korunum denklemlerinin kimyasal ürünler için çözülmesi gerektiğinde, her ürün için kütlesel miktarlar Y_i lokal olarak tahmin edilir. Korunum denklemi genel olarak

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla(\rho \upsilon Y_i) = -\nabla \cdot J_i + R_i + S_i \qquad \textbf{(3.13)}$$

halini alır. R_i kimyasal reaksiyon sonucu oluşan i ürünün net üretim oranıdır. Başka fazdan veya bir kaynaktan eklenmesi sonucu oluşan maddelerin üretim oranıdır.

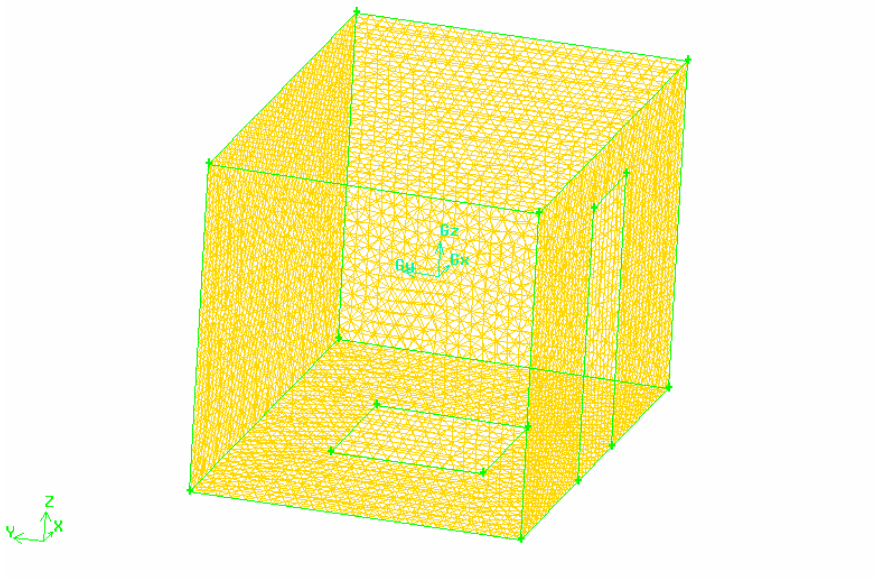
Bu formdaki bir denklem N tane sıvı fazda kimyasal üründen oluşan bir sistemde N-1 ürün için çözüm alınabilir. Çünkü N tane ürünün kütle miktarlarını bulmak için N-1 tane kütle miktarını hesaplamış olmak gerekir.

3.5 Ağ Yapısı

CFD programında kullanılarak sayısal çözümlemenin yapılacağı model Gambit programı yardımıyla oluşturulur. Gambit İşlemci Ara yüzü analize yönelik CFD tekniğine uygun model ve ağ yapısı oluşturur. Ayrıca, programda oluşturulan ağ yapılı modelin yanı sıra sınır bölgelerinin tanımlanması yapılır, daha sonra tanımlanan bölgeler için sınır şartları CFD programında belirlenir.

Hesaplama için kullanılacak ağ yapısını oluşturan hücrelerin büyüklüğü çözüm için çok önemlidir. Kullanılacak hücreler ne kadar küçük olursa hesaplama sonucu alınan değerler o kadar hassas olmaktadır. Kullanılan hücrelerin küçük olması hücre sayısını arttıracağından hesaplamalar için kullanılan bilgisayar kapasitesi ve zaman doğru orantılı olarak artacaktır.

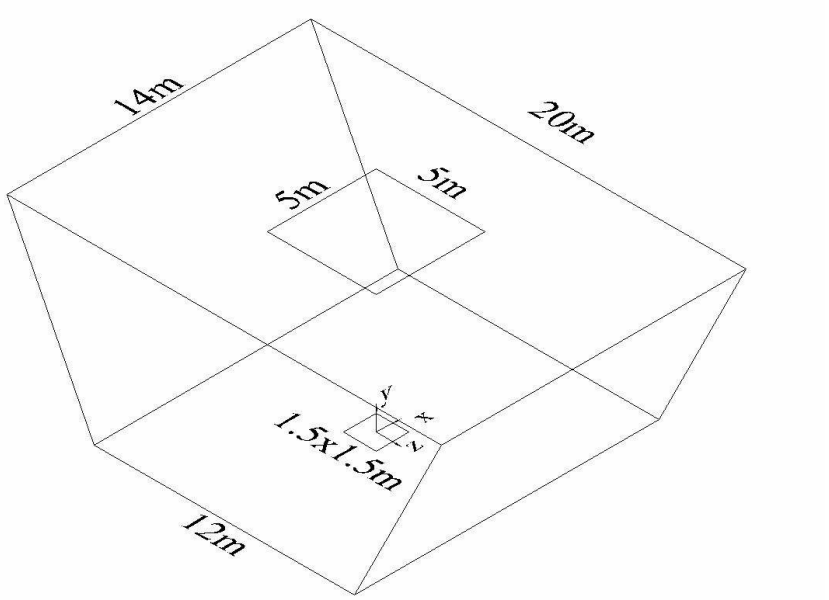
CFD programları modeli oluşturan hücreler için korunum denklemlerini sonlu farklar metodu ile çözer. Sayısal çözümde korunum denklemlerini oluşturan türev terimlerinin lineerleştirilebilmesi için hücre boyutunun belirli bir büyüklüğün altında olması gerekmektedir. Bu büyüklük geometriye ve akışa bağlı olup, genel olarak akışla ilgili özelliklerin gradyenleri ile ilişkilidir. Örneğin sınır tabaka içinde, akışkan hızı cidara dik doğrultuda büyük bir değişim göstermekte, yüzeyde "sıfır", sınır tabaka dışında ise sonlu bir değerde olmaktadır. Bu nedenle sınır tabakadaki hücre büyüklüğünün bu geçişi yakalayabilecek kadar küçük, bir başka deyişle sınır tabaka kalınlığının altında olması gerekmektedir. Bununla birlikte kontrol hacminin tamamı sınır tabakadaki kadar küçük hücrelere bölünmek istenirse, çok büyük hücre sayısı değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle genel bir kural olarak hücrelerin kritik bölgelerde sık olarak, gradyenlerin küçük olduğu kısımlarda ise daha geniş aralıklarla yerleştirilmeleri gerekmektedir [4].



Şekil 3.1: Dikdörtgenler prizması hacminin ağ yapısı

Şekil 3.1 ‘de kontrol hacminin ağ yapısı görüntüsü görülmektedir. Bu çalışmada hacim T-grid tipi hücreler ile oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak yüzey üçgen parçacıklar ile oluşturulmuştur.

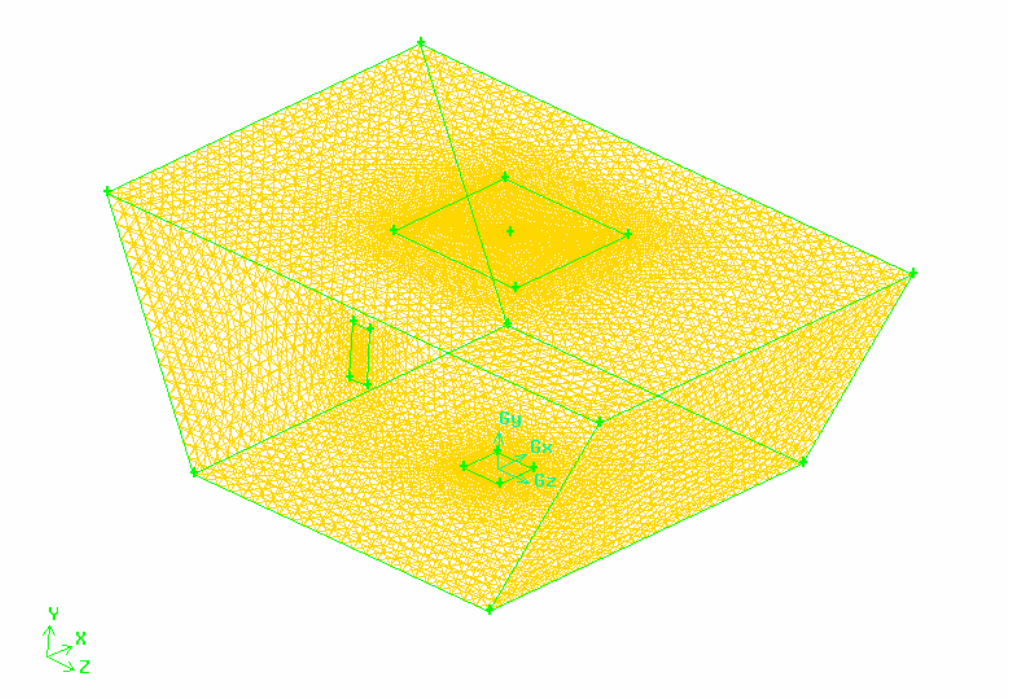
Kontrol hacmine hücre yerleştirilmesinin uygunluğunu kontrol etmek için bazı kıstaslar bulunmaktadır. Sayısal çözümün alınmasından önce dikkate alınan kıstaslar arasında en önemlileri, hücrelerin en-boy oranı (aspect ratio), komşu hücrelerin kenar uzunlukları arasındaki oran (successive ratio), hücrelerin kare şekline olan yakınlıkları (skewness) şeklinde sıralanabilmektedir. Bu çalışmada en fazla 4.5 değerine ulaşan en-boy oranı, hücrelerin %90’ına yakınında 2’nin altında, %1.5 civarındaki hücrede 2.5’in üzerinde alınmaktadır.



Şekil 3.2: Model olarak ele alınan makine dairesi hacmi

Şekil 3.2 ‘de yüksekliği 8m olarak alınan ve 10000 DWT’ lik bir kimyasal tanker gemisinin makine dairesi boyutlarına sahip bir hacim tasarlanmıştır. Eksen takımı, model tabanının tam merkezinde olacak şekilde model oluşturulmuştur ve sonuçlar, bu eksen takımına göre verilmektedir. Burada 1.5x1.5 m^2 ‘lik bir açıklıkta belirli bir yakıtın makine dairesi içine doğru yandığı düşünülmektedir. Tavanda ise 5 m x 5 m‘ lik doğal havalandırma açıklığından içeriye doğru hava girmektedir. İçeriye giren hava %23 oranında oksijen içerdiği kabul edilerek modelde oluşan kimyasal reaksiyona girmesi sağlanmıştır.

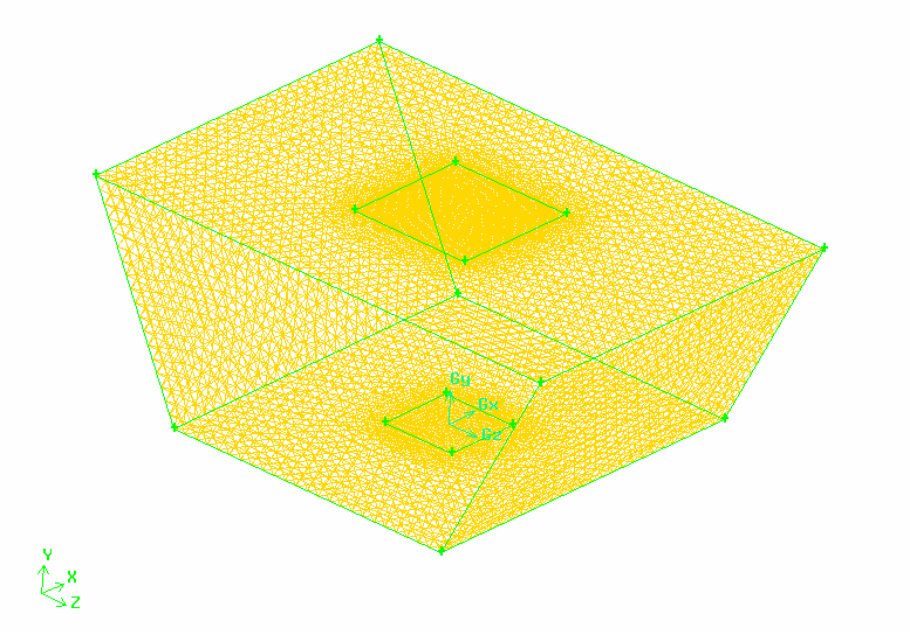
Daha sonra açıklıkların etkisinin incelenebilmesi için makine dairesinin arka tarafında 1.9 m x 0.8 m ebadında bir kapı olduğu düşünülmüştür. İncelenen kapı etkisi doğal havalandırma açıklığı olarak ele alınmıştır. Tavan açıklığında olduğu gibi kapı açıklığında da hava girişi verilerek içeriye giren havanın %23 oranında oksijen içermesi ve kimyasal reaksiyona katılması sağlanmıştır.



Şekil 3.3: Makine dairesi 1 hacminin hesaplama ağı dağılımı

Şekil 3.3 'de görüldüğü gibi açıklık alanlarının civarında hesaplama ağlarının dağılımı daha da sıklaşmaktadır. Bu hesaplama sırasında ilgili bölgelerdeki hesaplamaların daha hassas olması gerektiğini göstermektedir.

Şekil 3.4 'da makine dairesi için oluşturulan farklı bir kontrol hacmi verilmektedir. Makine dairesinin ana boyutları aynı tutularak oluşturulan bu hacimde yangını oluşturan yakıtın bulunduğu alan, yani modelin alt kısmında oluşturulan açıklık boyutları farklı alınmaktadır bu da yangının büyüklüğünü değiştirmektedir.



Şekil 3.4: Makine dairesi 2 hacminin hesaplama ağı dağılımı

3.6 Yangın Söndürücüler

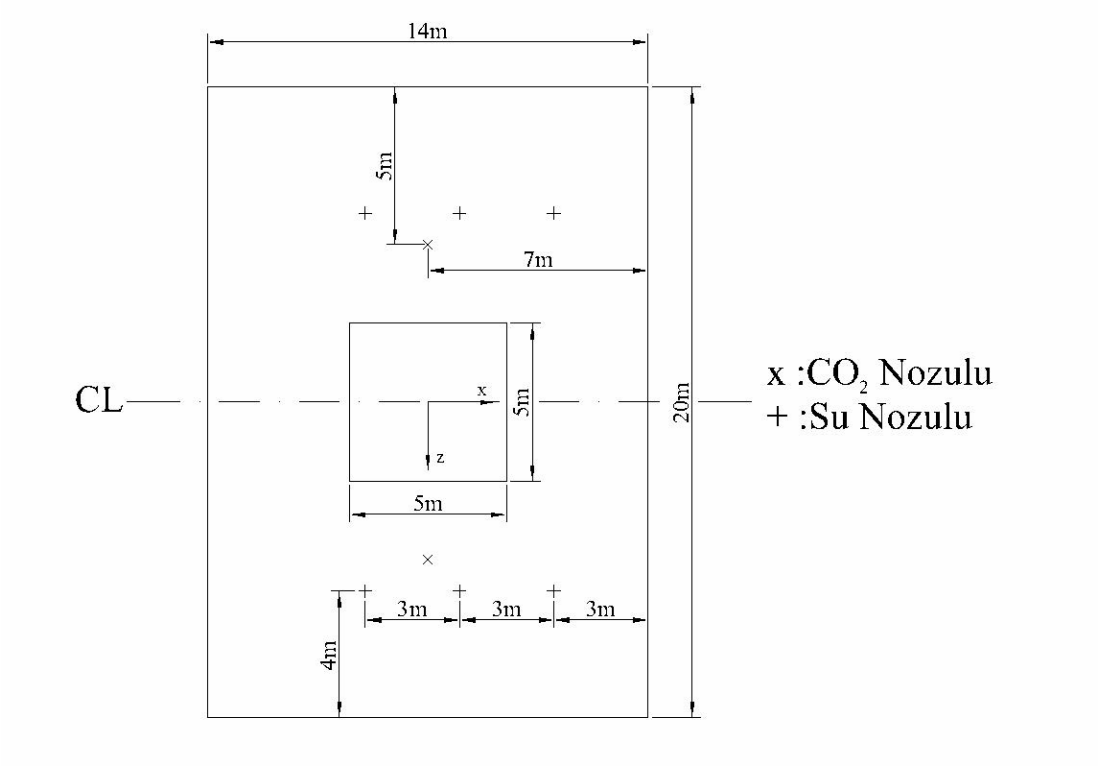
Makine dairesinde çıkan yangının algılanması ile devreye giren yangın söndürücüler oluşturulan yangın modelinde bulunması gereken başlıca elemanlardır. Çünkü yangının ne kadar sürede sona ereceği yangın söndürücülerin ne zaman ve ne kadar kullanıldığı ile alakalıdır.

Modelde kullanılan yangın söndürücülerden CO_2 nozulunun modelde etkin olarak çalışması için modelde yüksek basınçta CO_2 birleşeni makine dairesi hacmine girmesi sağlanmıştır.

Su spreyleri modellemek için Euler sprey modeli kullanılmıştır. Sprey model için kullanılan sınır şartı belirlenirken Denklem 3.4 kullanılmıştır. Buradaki Fn değeri deneyler sonucu bulunan bir katsayıdır [18]. Diğer bir yangın söndürücü olarak kullanılan su spreyleri modelde nozuldan çıkan su tanecikleri olarak modellenmiştir. Su sprey modeli için kullanılan taneciklerin çapları sabit ve 0.4 mm olarak seçilmiştir.

$$U = \frac{4F_n\sqrt{P}}{\pi D^2} \tag{3.4}$$

Yangın söndürücülerin gemi içinde bulunacakları yerler ve kullanım sırasındaki özellikleri klas kuruluşlarının belirlediği bazı kurallara bağlıdır. Özellikle yangın söndürücülerin makine dairesi içindeki yerleşimleri Şekil 3.5' de gösterildiği gibi modele konulmuştur. Bu sayede gerçek bir makine dairesi yangın söndürme sistemi CFD programı ile modelle aktarılmıştır.



Şekil 3.5: Yangın söndürücülerin makine dairesi tavanındaki yerleri

3.7 Kabuller ve Sınır Şartları

CFD programında makine dairesi yangın modeli oluşturulurken yapılan hesaplarda kullanılan kabuller yangının miktarını azaltıcı yönde olmaması gerekmektedir.

Yangının konumu yangının açığa çıkardığı ısı miktarını etkilemektedir. Özellikle, duvara yakın yangınlarda ortaya çıkan ısı miktarı duvar konumuna göre yangının miktarını etkilemektedir.

Ele alınan makine dairesi hacminin adyabatik olduğu kabul edilmektedir. Dış ortamın sıcaklığı 300 K alınmaktadır. Duvarlara ait ısı iletim katsayısı sıfır kalınlıklar ise 10mm olacak şekilde sınır şartı belirlenmiştir.

Yakıt girişi açıklığında yakıt cinsi ve hızı sınır şartı olarak girilerek kimyasal reaksiyonla yangın oluşumu tanımlanmıştır. Doğal açıklıklarda ise dış ortam sıcaklığı ve basıncı sınır şartı olarak verilmiştir. Bu sayede basınca doğal açıklıklarda tanımlanacak olan akışlar program sayesinde hesaplanması sağlanmıştır.

Sayısal çözümlerde, ayrık çözüm algoritması (segregated solver) kullanılmaktadır. Momentum denklemleri, sonra basınç düzeltme denklemi son olarak da enerji denklemi ve diğer transport denklemleri ardı ardına çözülmektedir.

Denklemlerin oluşturulmasında da kapalı çözüm yöntemi (implicit scheme) kullanılmaktadır. Bu çözüm yönteminde, verilen bir değişken için her hücredeki bilinmeyen değerler komşu hücrelerdeki hesaplanmış veya hesaplanmamış değerler kullanılarak hesap edilir. Bu sayede, her bilinmeyen değer için birden fazla denklem elde edilir ve bu denklemler çözülerek bütün hücrelerdeki bilinmeyen değerler hesaplanır. Ayrıklaştırma işleminde, birinci derece hassasiyetle (first order upwind scheme) hesaplama yapılmaktadır. Herhangi bir alan değişkeni için hücre yapısının yüzündeki ve merkezindeki miktarı eşit sayılır ve hücre için ortalama değer olarak ele alınır.

Basınç ve hız yakınsama yöntemi olarak SIMPLE algoritması kullanılmaktadır. SIMPLE algoritmasında ilk olarak momentum denklemi çözülerek hız alanı için yaklaşık bir çözüm bulunur ve önceki iterasyondan alınan basınç dağılımı veya başlangıç değerine bağlı olarak basınç gradyen terimi hesaplanır. Bu hesaplamalardan sonra yeni basınç dağılımı ve hız dağılımı hesaplanır.

4. İNCELENEN DEĞİŞKENLER VE TASARIM KRİTERLERİ

Yapılan çalışmada yapısal değişkenler olarak açıklıkların konumu ve büyüklükleri ele alınarak yangın üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yangının kaynağı olan fueloil yakıtının miktarı incelenen en önemli değişkendir. Bunların dışında makine dairesinde yangın söndürme sistemi olarak kullanılan sprinkler sistemleri ve karbondioksit gazı ile bunların yerleri en önemli kriterlerdir.

4.1 Doğal Havalandırma Açıklıklarının Etkisi

Makine dairesinde yangının kontrol altına alınmasında SOLAS kuruluşunun belirlediği belirli kurallar vardır. Bunların ilkinde yangın sırasında dışarı ile bağlantı sağlayan açıklıkların kapatılması, baca açıklıklarının sadece eksoza izin vereceği şekilde kapatılması ve havalandırma damperlerinin kapatılması ön görülür. Bir diğer kural ise makine dairesindeki havalandırma fanlarının kapatılması buna ek olarak diğer bölmeler ile arasında havalandırma açıklığı var ise bu açıklıklarında da kapatılmasını şart koşar.

Gemi içerisinde klas kuruluşlarının ilgili kuralları doğrultusunda makine dairesi içerisindeki havalandırmaların yangın sırasında kapatıldığı düşünülmüştür. Makine dairesinde baca çıkışı için bulunan açıklık tavan açıklığı olarak düşünülmüştür. Merkezde bulunan bu açıklık tek tavan açıklığıdır.

Makine dairesinde baca çıkışı olarak kullanılan tavan açıklığının yeri yapısal şartlara göre yer değiştirmediği düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada, farklı boyutlardaki tavan açıklıkları için hesaplamalar yapılmıştır ve tavan açıklığının boyutlarının yangın üzerindeki etkisi incelenmiştir.

4.2 Açık Kapı Etkisi

Normalde makine dairesi yangınları hava kontrollüdür. Yangın boğularak söndürüldüğünden mekanik havalandırmalar yangın esnasında otomatik kapatılmaktadır. Bu nedenle mekanik havalandırma açıklıklarının etkisi bu çalışmada incelenmemiştir.

Makine dairesinde bulunan bir diğer doğal havalandırma açıklığı da kapı açıklığıdır. Makine dairesinden geminin arka tarafına geçişi sağlayan kapı duvar açıklığı olarak ele alınmıştır. Bu noktadan makine dairesinin içine taze hava girişi olduğu düşünülmüştür.

4.3 Yangın Söndürme Sistemleri

Gemilerde kullanılan yangın söndürücülerin başında sprinkler sistemleri gelmektedir. Sprinklerler yangın sırasında alevin üzerine su tanecileri gönderir. Bu hem ortamdaki yapısal malzemelin soğumasını hem de alevin sönmesini sağlar. Yüksek sıcaklıkta su tanecikleri buharlaşarak su buharı halini alır.

Gemide sprinkler yerleri, boyutları ve çalışmaları belirli kurallara bağlıdır. IMO kuruluşu bu kuralları açıkça belirtmiştir. Servis bölgelerinde sprinkler sisteminin 68 ° C ve 79° C arasında devreye girmesi gerekmektedir.

Sprinkler sistemleri kullandıkları suyu tanklardan almaktadır ve bu tanklarda kullanılan suyun miktarı kadar tekrar su ile dolması istenmektedir. Aynı şekilde tankta kullanılan basıncın da tekrar çalışma basıncına getirilmesi istenmektedir.

Sprinkler yerleştirilmesi çalışma şartlarına uygun olmalıdır. Sprinkler tarafından korunan nominal alana düşen su miktarı 5 litre/(m^2 dak)' daha az olmamalıdır. Çalışmada kullanılan sprinklerin yeri bu şartlara uygun olarak seçilmiştir.

Makine dairesinde etkili yangın söndürme için mevcut CO_2 miktarının; serbest gaz halindeki CO_2'in kapladığı hacmi ile makine dairesi hacminin % 40' na eşit olması kriterini sağlaması gerekir. Serbest gaz halinde ki CO_2'in kapladığı hacim hesaplanırken CO_2 için özgül hacminin 0.56 m^3/kg olarak alınması gerekir. Hacme CO_2 verilerken iki farklı kontrol sağlanması gerekmektedir. İlk kontrol, CO_2

yangının söndürüleceği bölgeye gönderilir. İkinci kontrol de ise CO_2'in bulunduğu tüplerden çıkışı sağlanır.

4.4 Yangın Büyüklüğü

Yangın sonucu açığa çıkan ısının miktarına karşılık gelmektedir. Buna bağlı olarak ısı miktarı zamana bağlı değişmektedir.

Yangın büyüklüğü yanıcıların cinsine ve miktarına göre değişmektedir. Bu çalışmada da yakıtın döküldüğü alan değiştirilerek yakıtın miktarına müdahale edilmiştir. İki farklı alan için çalışma yapılarak yakıt miktarına göre değişiklikler incelenmiştir.

Yangının büyüklüğünü etkileyen bir diğer faktörde ortamdaki oksijen miktarıdır. Yangın sırasında makine dairesi diğer ortamlardan izole edildiğinden ortamdaki oksijen oranı azalmakta ve yangın küçülmektedir. Bu nedenle kimyasal yanma reaksiyonları fiziksel yanma olayına dâhil edilerek daha gerçekçi çözüm Fluent programı tarafında hesaplanmıştır.

4.5 Emniyetli Kaçış Süresi

Yangın başlamasından itibaren insanların güvenli bir şekilde tahliye edilmesine kadar geçen süre minimum emniyetli kaçış süresi (RSET) olarak tanımlanmaktadır. Yangının insanlar tarafından fark edilmesi ve kaçış yollarını kullanarak tahliye olmaları veya yangın söndürme sistemlerinin otomatik veya elle devreye sokulması için gerekli süre RSET değeri olarak tayin edilebilir.

RSET değerinin tespiti için ayrı bir çalışma yapılması gerekmektedir, bu değerin tespiti için özel olarak geliştirilmiş bilgisayar programları bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda belirli bir zaman yaklaşımı yapılarak mümkün olan emniyetli kaçış süresi (ASET) hesaplanmıştır. Bu sürenin can güvenliği açısından yeterliliği hesaplanmıştır. Güvenli süre tespiti için Denklem 4.1 kullanılmıştır[17].

$$RSET < ASET \quad \textbf{(4.1)}$$

ASET değeri belirlenirken şu kriterler tespit edilebilir:

- Üst bölgede sıcaklığın 100 ° C aşmaması.
- İnsan yüksekliğinde (2.1m) karbon monoksit dozajının 15000 ppm dak değerin altında olması.
- Radyasyon ile yayılan ısının 2.5 kW/m^2 değerini aşmaması.

Gerekli olan minimum emniyetli kaçış süresi tespit edilirken üç adet birleşeni incelemek gerekir. Bunlar yangının fark edilmesi için geçen süre, kaçıştan önceki süre ve kaçış süresidir. Yangını tespit süresi yangının büyüklüğü ve yangın algılama cihazları ile bağlantılıdır. Kaçıştan önceki süre ortamın karakteristikleri ve yangın ikaz cihazlarının ortamdaki yerleşimi ile alakalıdır. Kaçış süresi ise ortamdaki kişilere ve bölgedeki kaçış yollarının dizaynı ile ilgilidir [19].

Bu çalışmada da güvenli kaçış süresi için gerekli olan zaman üst bölgedeki sıcaklığın 100° C olduğu süre olarak alınmıştır. Bu aynı zamanda yangın ikaz sistemlerinin çalıştığı ve yangın söndürme sistemlerinin devreye girdiği zaman olarak kabul edilerek modele göre ortalama bir süre tayin edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada makine dairesi hacmi için çeşitli yangın senaryoları uygulanarak açıklık alanlarının yangın üzerindeki etkileri fluent adlı CFD programı yardımı ile incelenmiştir. Uygulanan yangın senaryosunun doğruluğunu incelemek için örnek dikdörtgenler prizması hacmi kullanılmıştır. Dikdörtgenler prizması hacmindeki yangının 100 saniye sonundaki sıcaklık değerleri ile ampirik formüllerden hesaplanan sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Bu model için 1.5 MW' lık yangın büyüklüğü seçilmiştir. Daha sonra makine dairesi hacmi için sürekli ve zamana bağlı durumlarda Tablo 5.1'deki yangın senaryoları uygulanarak sıcaklık, hız, basınç ve yanma reaksiyonundaki maddelerin kütle miktarları incelenmiştir. Makine dairesi açıklıklarının, yangın üzerindeki etkileri zamana bağlı sıcaklık, hız, basınç ve yanma ürünlerinin konsantrasyonları cinsinden karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Şekillerin sunumunda sıcaklık birimi olarak Kelvin, hız birimi olarak [m/s], basınç birimi olarak pascal ve konsantrasyon birimi olarak ta [kg/m^3] kabul edilmiştir

Tablo 5.1: İncelenen yangın senaryoları

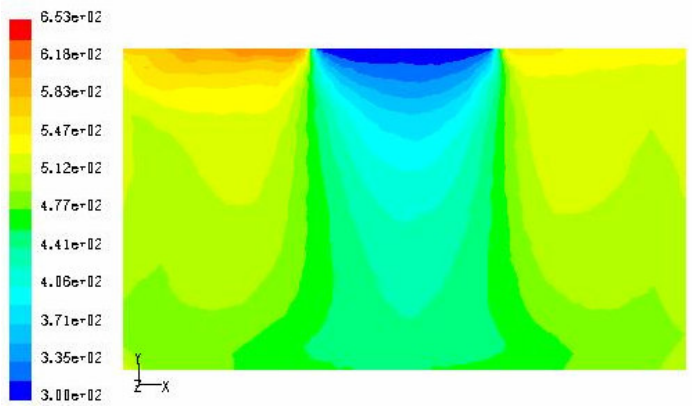
Durum	Üst Açıklık Alanı (m^2)	Kapı Etkisi	Yangın Büyüklüğü
A	5 x 5 m^2	VAR	3 MW
B	2.5 x 2.5 m^2	VAR	3 MW
C	5 x 5 m^2	VAR	6 MW
D	5 x 5 m^2	YOK	3 MW

5.1 Makine Dairesinde Sürekli Yangın Modeli

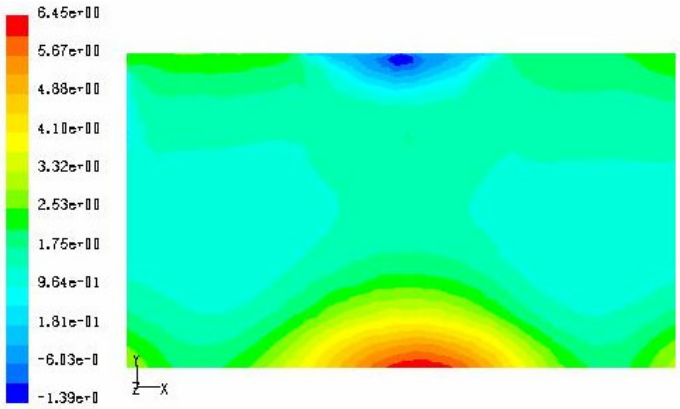
Makine dairesinde Tablo 5.1' de gösterilen 4 farklı durum için sürekli yangın modelinde incelenmiştir.

5.1.1 Durum A İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları

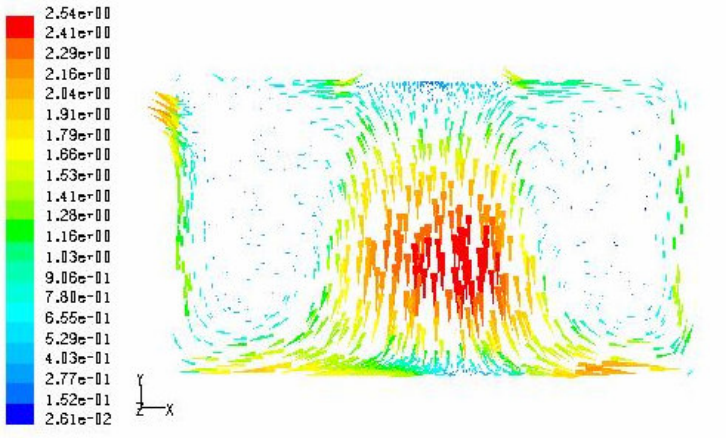
Makine dairesi hacminde Durum A için tanımlanan yangın senaryosundaki sıcaklık, basınç ve hız dağılımları z =0.0m kesiti için sırası ile Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Sürekli yangın modelinde Durum A için z = 0.0 m 'deki sıcaklık dağılımı

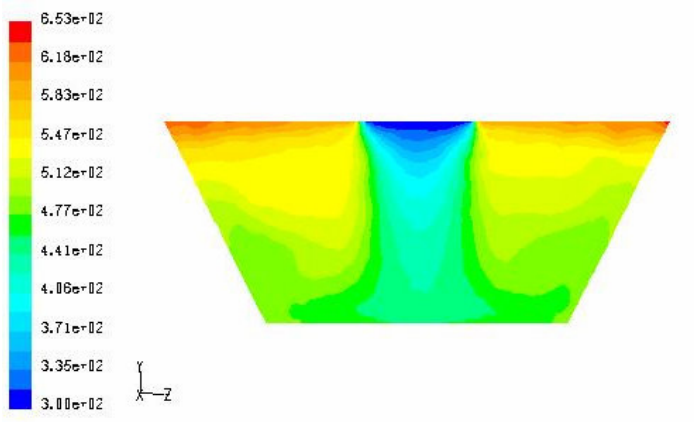


Şekil 5.2: Sürekli yangın modelinde Durum A için z = 0.0m'deki basınç dağılımı

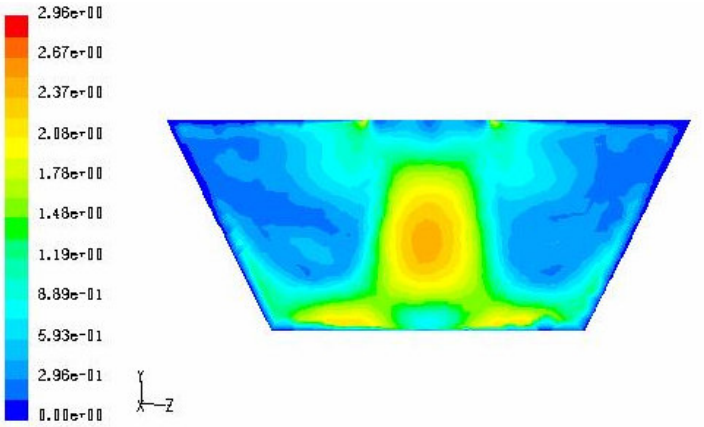


Şekil 5.3: Sürekli yangın modelinde Durum A için z = 0.0m'deki hız dağılımı

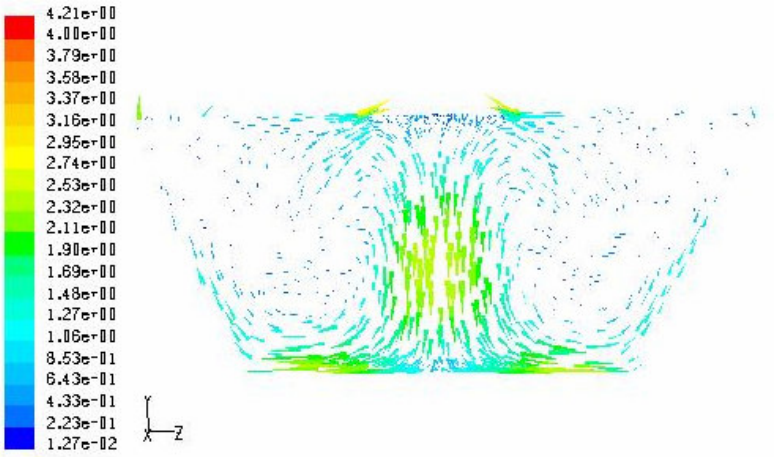
Makine dairesi hacminde Durum A için tanımlanan yangın senaryosundaki sıcaklık, basınç ve hız dağılımları x=0.0m kesiti için sırası ile Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 'da gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Sürekli yangın modelinde Durum A için x = 0.0 m 'deki sıcaklık dağılımı



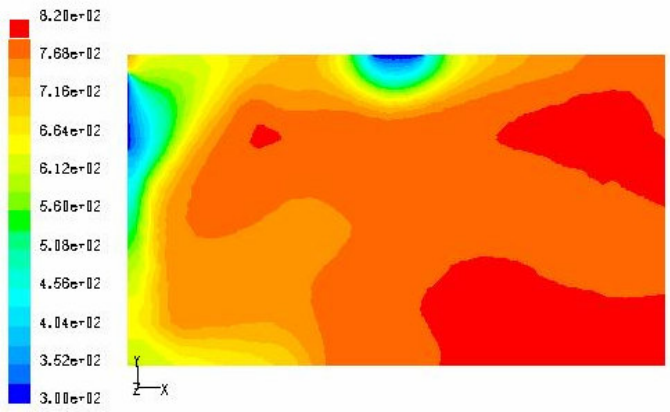
Şekil 5.5: Sürekli yangın modelinde Durum A için x=0.0m'deki basınç dağılımı



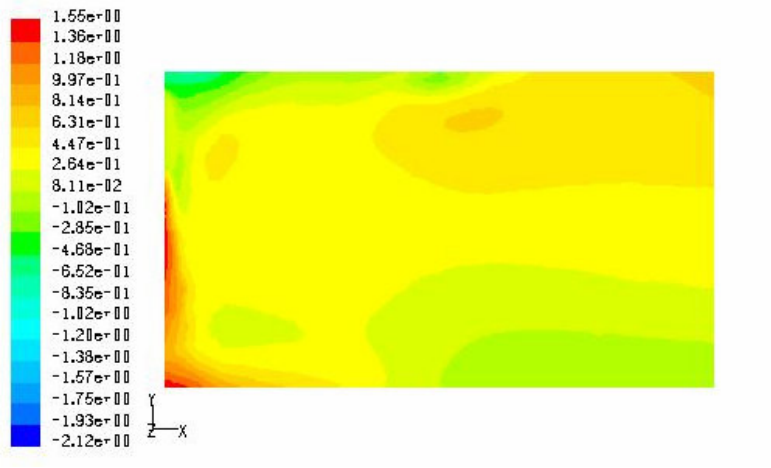
Şekil 5.6: Sürekli yangın modelinde Durum A için x=0.0m'deki hız dağılımı

5.1.2 Durum B İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları

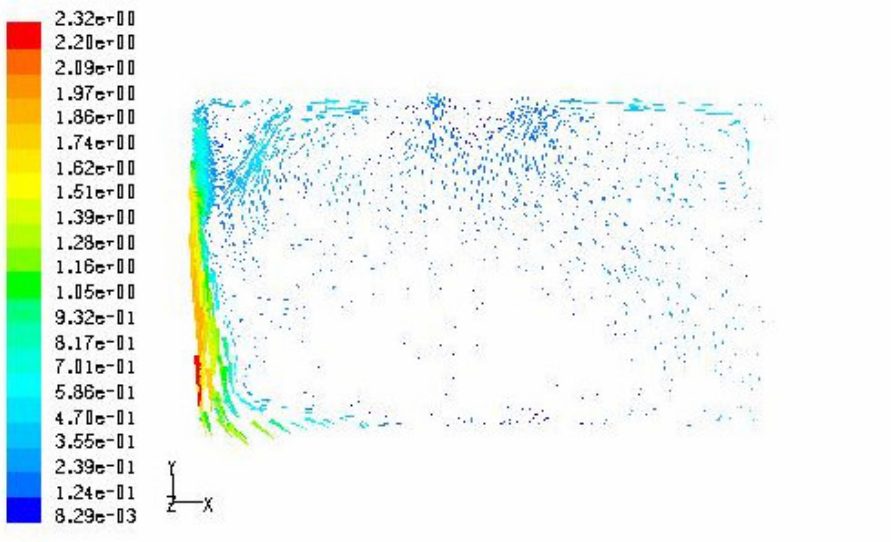
Makine dairesi hacminde Durum B için tanımlanan yangın senaryosunda sıcaklık, basınç ve hız dağılımları z = 0.0m kesiti için Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.7: Sürekli yangın modelinde Durum B için z = 0.0 m 'deki sıcaklık dağılımı



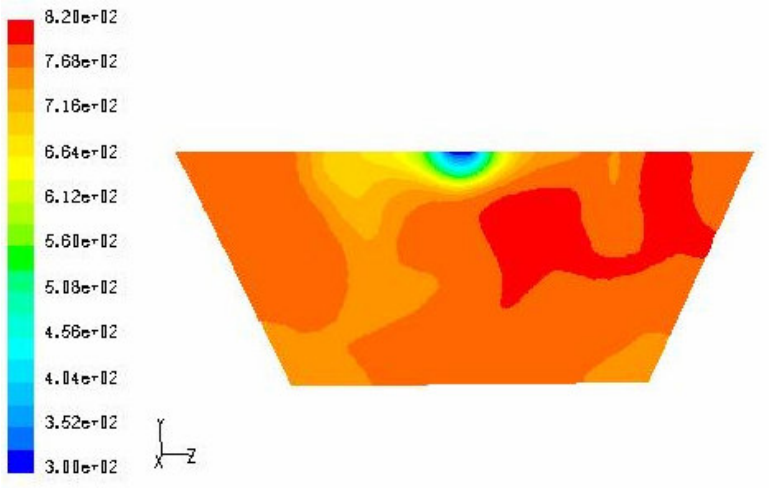
Şekil 5.8 Sürekli yangın modelinde Durum B için z = 0.0 m 'deki basınç dağılımı



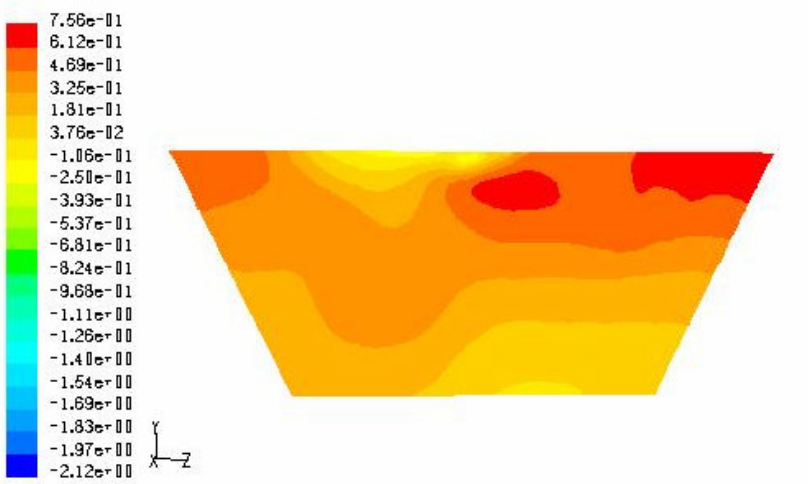
Şekil 5.9 Sürekli yangın modelinde Durum B için z = 0.0 m 'deki hız dağılımı

Durum B için z = 0.0 m kesitinde en yüksek sıcaklık kapı açıklığına en uzak olan duvarda gözlenmektedir. Bunun nedeni kapı açıklığı nedeni ile içeriye giren havanın soğutucu etkisidir.

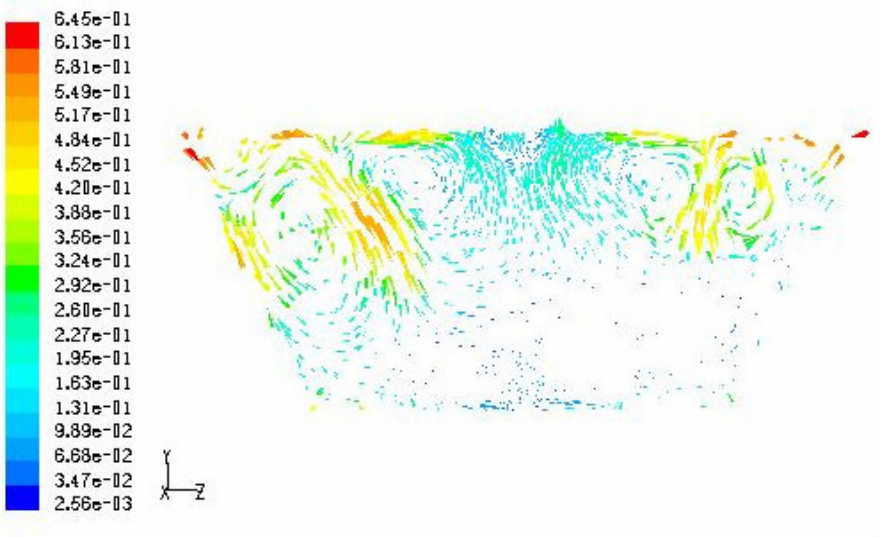
Makine dairesi hacminde Durum B için tanımlanan yangın senaryosunda sıcaklık, basınç ve hız dağılımları x=0.0m kesiti için Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.10: Sürekli yangın modelinde Durum B için x = 0.0 m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.11: Sürekli yangın modelinde Durum B için x = 0.0 m 'deki basınç dağılımı



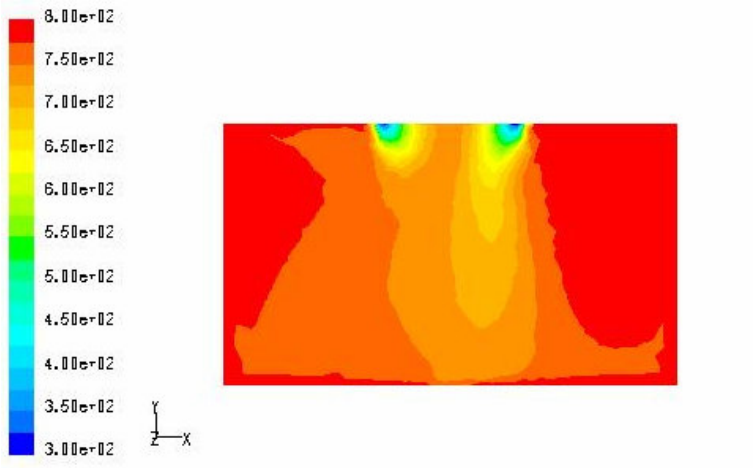
Şekil 5.12: Sürekli yangın modelinde Durum B için x = 0.0 m 'deki hız dağılımı

5.1.3 Durum C İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları

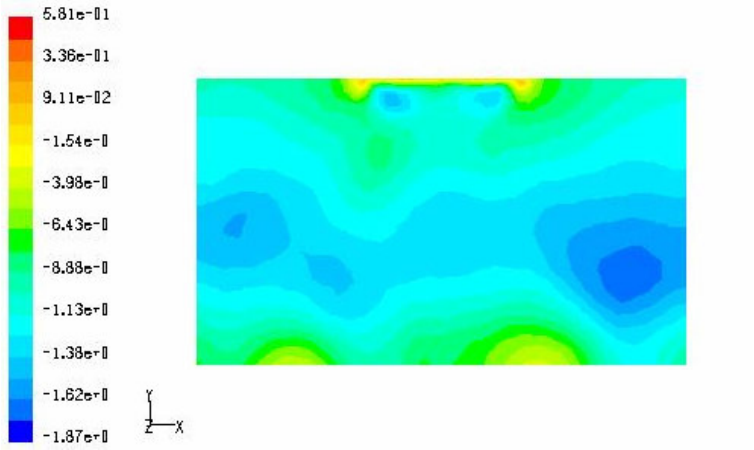
Makine dairesi hacminde Durum C için tanımlanan yangın senaryosundaki sıcaklık, tüm makine dairesi içinde alev sıcaklığına ulaştığından gerekli kaçış süresi oluşmamaktadır. Açıklıklardan makine dairesi içerisine akış kapı ve üst açıklıklardan olmakta ve dışarıya duman çıkışı gözlenmektedir. Bu nedenle ortamdaki sıcaklık, basınç ve hız dağılımları gösterilememektedir.

5.1.4 Durum D İçin Sıcaklık, Basınç ve Hız Dağılımları

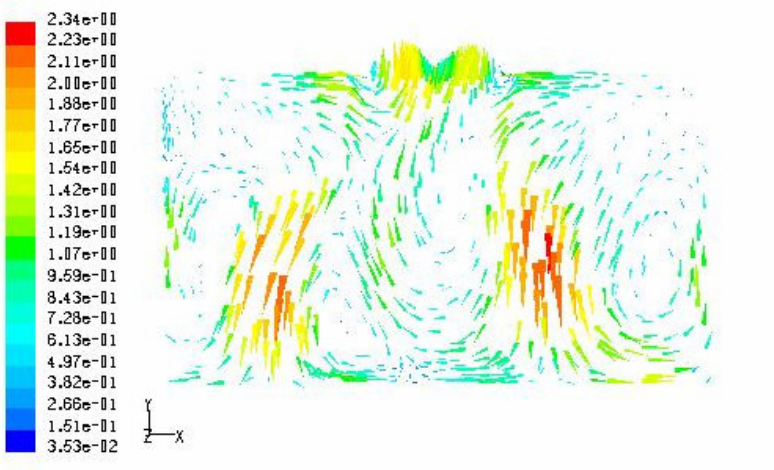
Makine dairesi hacminde Durum D için tanımlanan yangın senaryosundaki sıcaklık, basınç ve hız dağılımları z = 0.0m kesiti için sırası ile Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13: Sürekli yangın modelinde Durum D için z = 0.0 m 'deki sıcaklık dağılımı



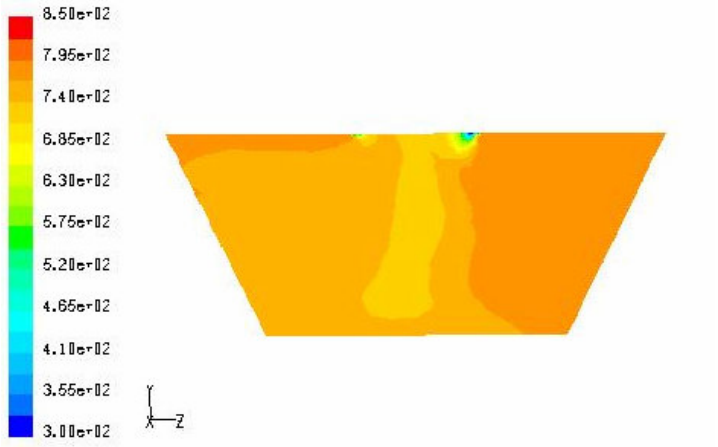
Şekil 5.14: Sürekli yangın modelinde Durum D için z = 0.0 m 'deki basınç dağılımı



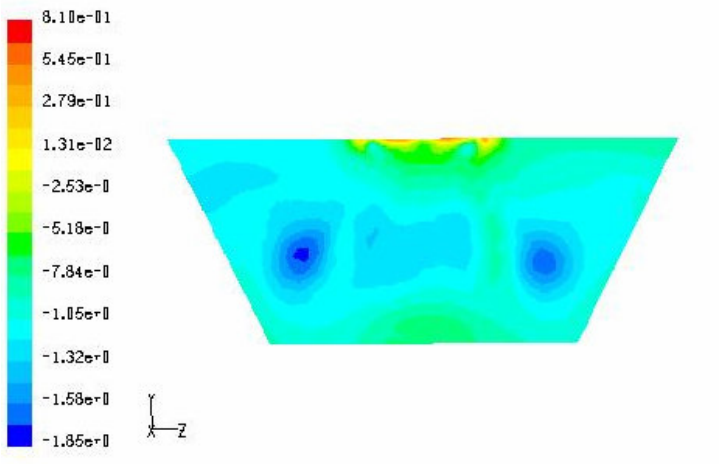
Şekil 5.15: Sürekli yangın modelinde Durum D için z = 0.0 m 'deki hız dağılımı

Makine dairesinde incelenen yangın senaryolarından Durum A' dan farklı olarak Durum D' de kapı etkisi yoktur. Bu durum üst açıklıktan içeriye giren havanın ve dışarı çıkan sıcak gazların açıklıklardaki hızlarının artmasına neden olmuştur. Durum A 'da üst açıklık boyunca ortalama hızlar 1 m/s iken Durum D' de ise 2 m/s olduğu gözlenmektedir.

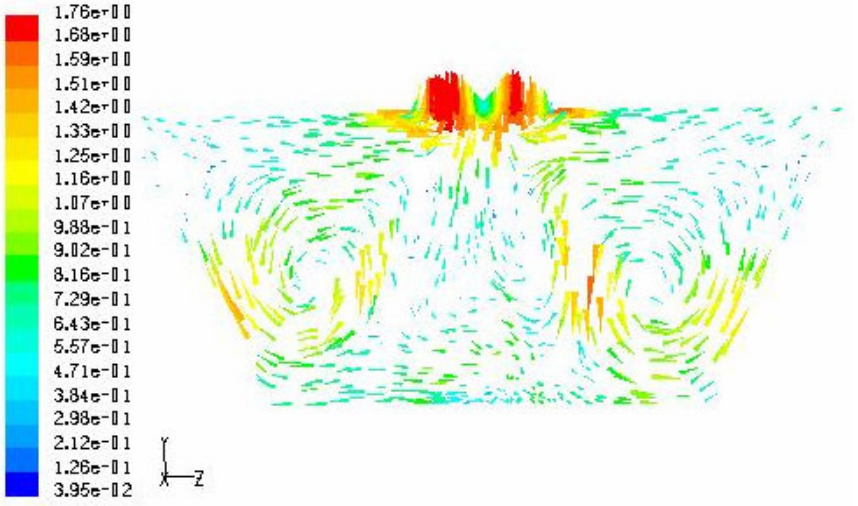
Makine dairesi hacminde Durum D için tanımlanan yangın senaryosundaki sıcaklık, basınç ve hız dağılımları x = 0.0m kesiti için sırası ile Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.16: Sürekli yangın modelinde Durum D için x = 0.0 m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.17: Sürekli yangın modelinde Durum D için x = 0.0 m 'deki basınç dağılımı



Şekil 5.18: Sürekli yangın modelinde Durum D için x = 0.0 m 'deki hız dağılımı

5.1.5 Sürekli Durum İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

Makine dairesi üst hacminde 5m x 5m açıklık olduğu ve 3 MW yangın durumunda (Durum A) hacim içerisinde sıcaklığın 500 ºC olduğu gözlenmektedir. Makine dairesini üst hacminden içeriye giren hava akışı yangın süresince devam etmektedir. Dışarıya duman çıkışı kapı açıklığından ve üst açıklığın kenarlarından olmaktadır. Yangın büyüklüğünün küçük olması ve üst açıklığın büyük olması nedeniyle dışarıya duman çıkışı diğer durumlara göre daha azdır aynı zamanda ortamın dışardan içeriye giren hava sayesinde soğuması diğer durumlara göre daha kolaydır.

Makine dairesi üst açıklığının 2.5m x 2.5m ve yangın büyüklüğünün 3 MW olduğu durumda (Durum B) ortalama sıcaklığın 800 ºC olduğu gözlenmektedir. Kapı

açıklığından ve üst doğal havalandırma açıklığında içeriye hava girişi olmaktadır. Üst açıklığın küçülmesine rağmen kapı açıklığından içeriye hava girişi olmasının nedeni üst havalandırma açıklığından içeriye giren havanın miktarının azalması ve dolayısı ile ortamdaki sıcak havanın soğuma miktarının azalmasıdır. Bu durum ortam sıcaklığının yüksek olması nedeni ile tarafsız eksenin yukarı çıkmasından kaynaklanmaktadır. Bu sayede kapı açıklığından içeriye hava akışı gerçekleşebilmektedir.

Makine dairesi üst açıklığının 5m x 5m ve yangın büyüklüğünün 6 MW olduğu durumda (Durum C) ortalama sıcaklığın alev sıcaklığı olduğu gözlenmektedir. Yangın büyüklüğünün çok büyük olması nedeni ile ortamda oluşan gazların sıcaklığı çok yüksektir. Bu durum tarafsız ekseni aşağıya çekmektedir ve iç ortamın basıncısının dış ortamdan çok büyük olmasına sebep olmaktadır. Bu durumda dışarıdan içeriye hava akışı gözlenmemektedir. Sadece makine dairesinde yangın sonucunda oluşan gazların doğal havalandırma açıklıklarından dışarıya çıkışı meydana gelmektedir.

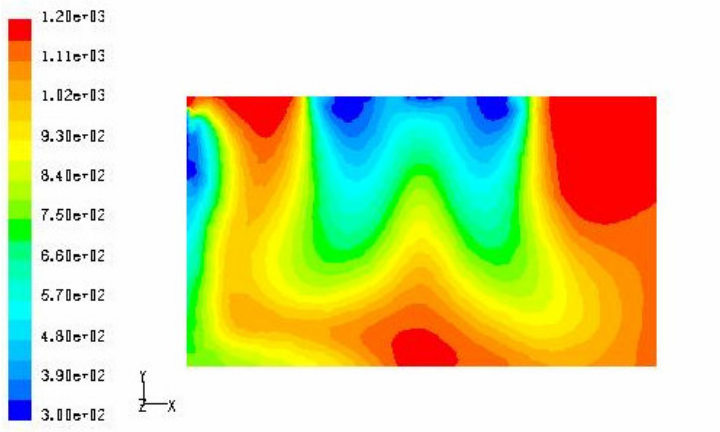
Makine dairesi üst hacminde 5m x 5m açıklık olduğu ve 3MW yangın durumunda (Durum D) kapı açıklığı yoktur, hacim içerisinde sıcaklığın 800 ºC civarında olduğu gözlenmektedir. Kapı açıklığından içeriye giren hava olmadığından yangın sonucu oluşan gazlar daha fazla ısınmaktadır. Gazların ısınması sonucu yoğunluk farkından dolayı üst açıklıktan ısınan gazların dışarıya çıkışı gözlenmektedir. Ortamda kütle dengesinin kurulması için üst açıklıkta çift yönlü akış meydana gelmektedir.

5.2 Makine Dairesinde Zamana Bağlı Yangın Modeli

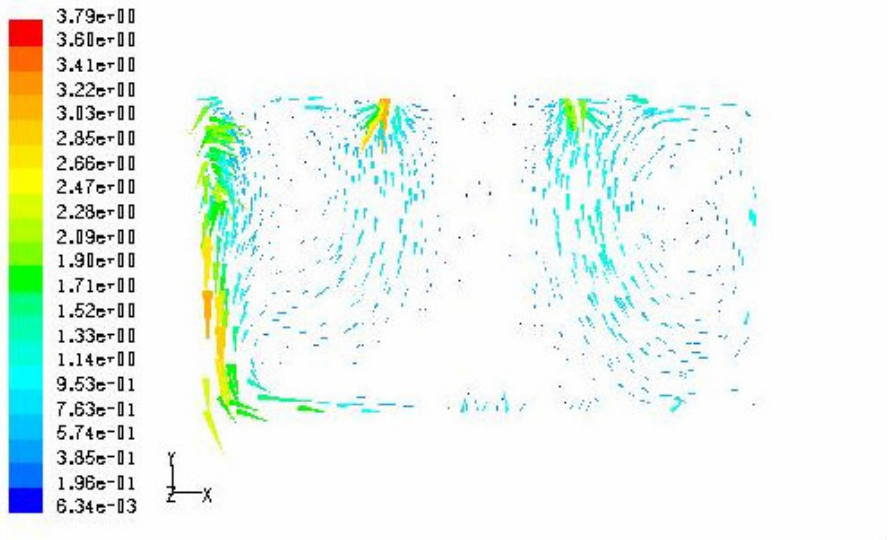
Zamana bağlı durumda makine dairesi için oluşturulan yangın senaryolarında Tablo 5.1' de verilen dört farklı, Durum A-D incelenmiş ve hesaplanan sıcaklık, hız, basınç ve konsantrasyon değerleri aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

5.2.1 Durum A İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları

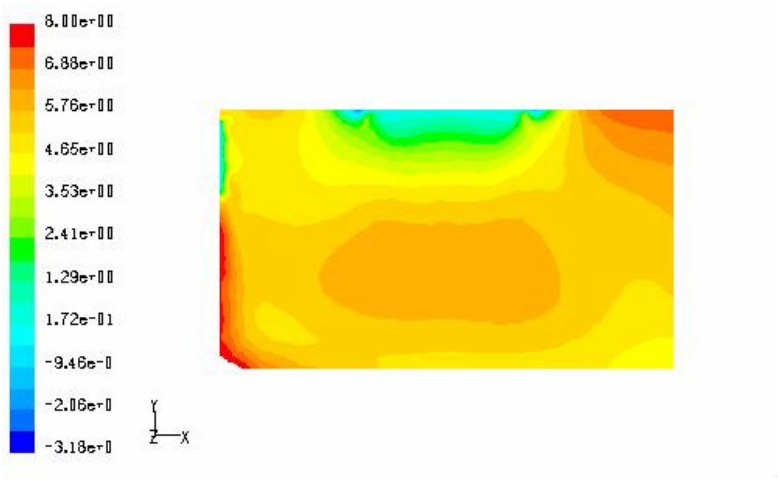
Makine dairesindeki yangın, emniyetli kaçış süresi 20 sn. boyunca devam etmektedir. 20 sn. sonunda z = 0.0 m kesitine ait sıcaklık, hız, basınç ve CO_2 konsantrasyon değerleri Şekil 5.19 - 5.22' de verilmiştir.



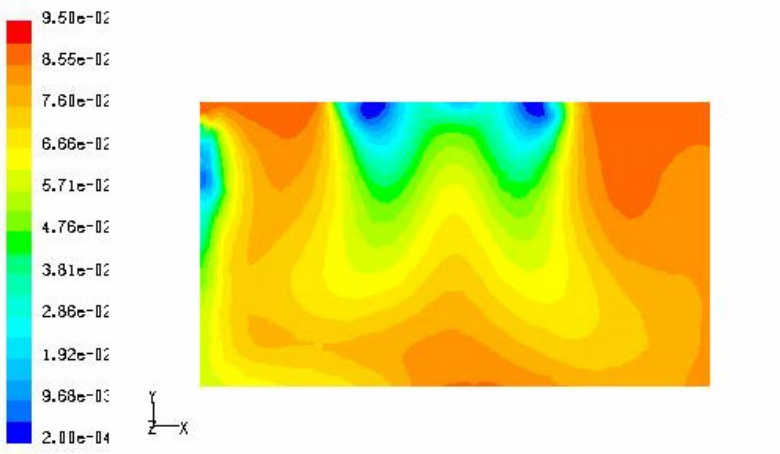
Şekil 5.19: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda z = 0.0 m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.20: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki, hız dağılımı

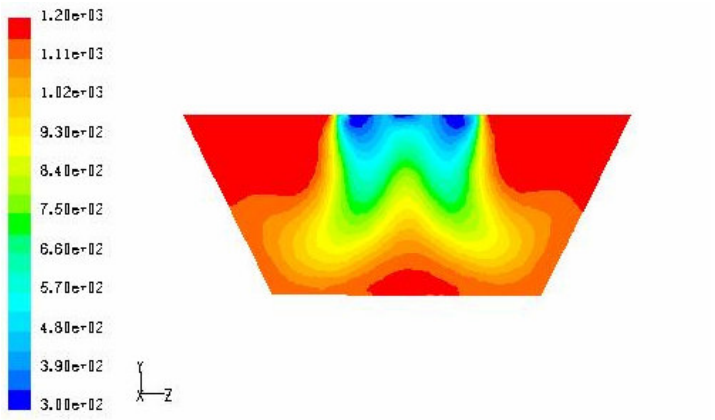


Şekil 5.21: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki, basınç dağılımı

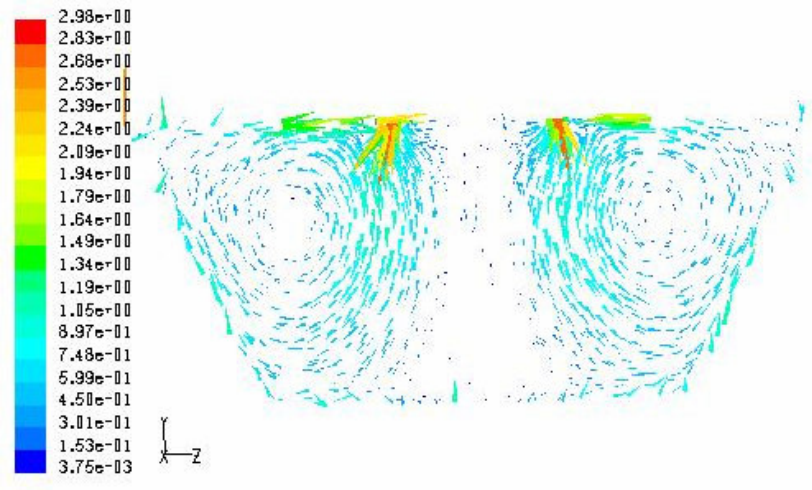


Şekil 5.22: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki, CO_2 dağılımı

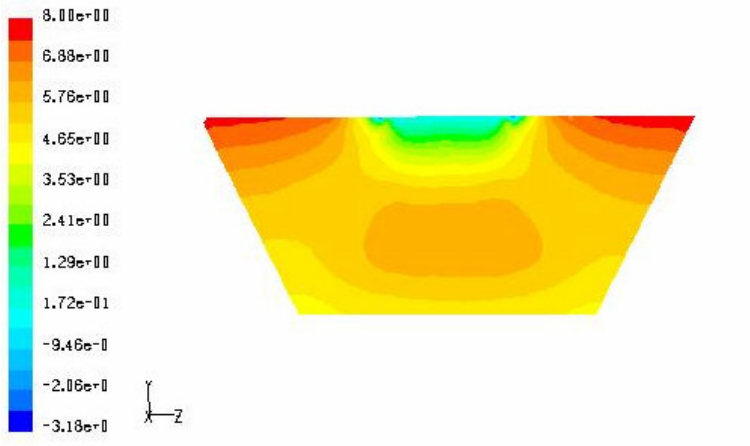
20 sn. sonunda x = 0.0 m kesitine ait sıcaklık, hız, basınç ve CO_2 konsantrasyon değerleri Şekil 5.23 - 5.26' da verilmiştir.



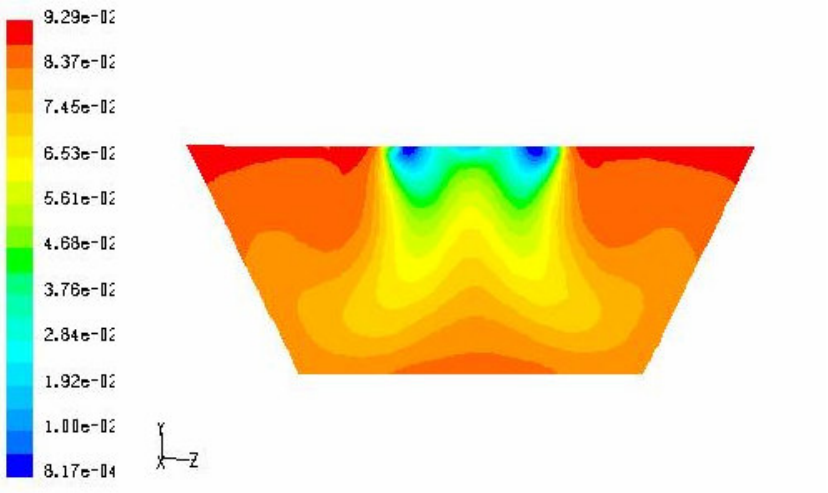
Şekil 5.23: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.24: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki, hız dağılımı

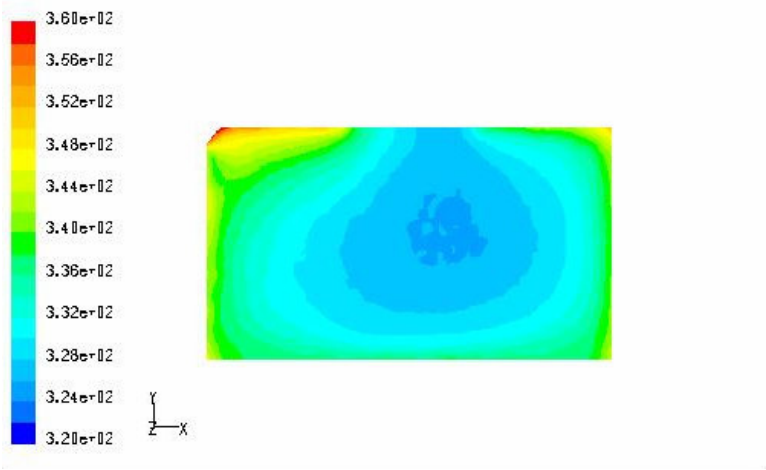


Şekil 5.25: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki, basınç dağılımı

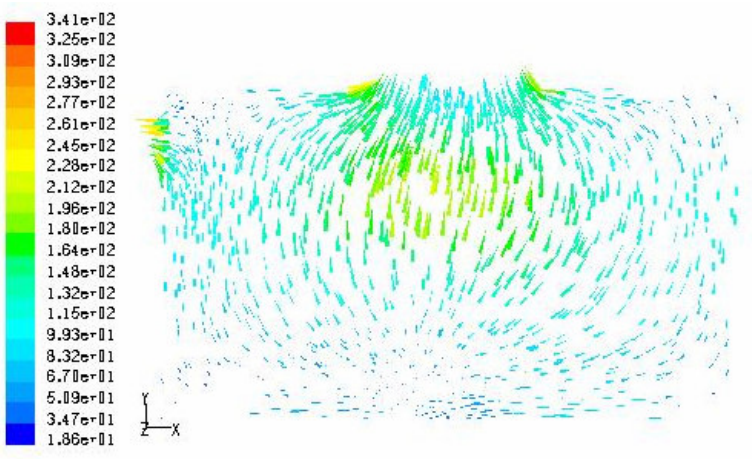


Şekil 5.26: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 20 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki, CO_2 dağılımı

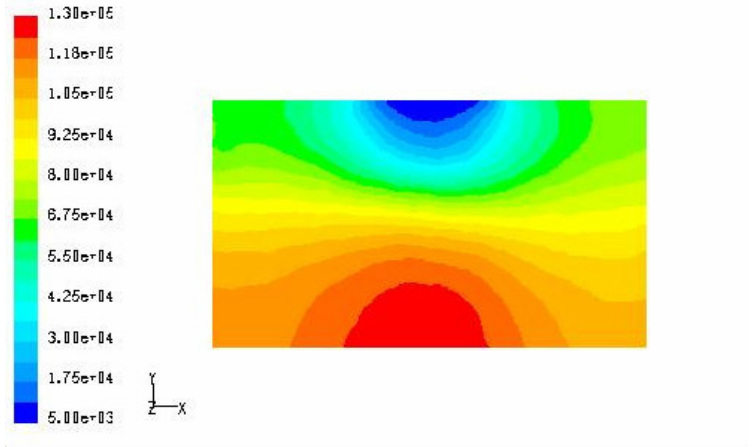
20 sn. sonunda yangın söndürücü olarak CO_2 makine dairesine verilmekte ve bu 30. sn sonuna kadar devam etmektedir. 30 sn. sonundaki z = 0.0 m kesitine ait sonuçlar ise Şekil 5.27- Şekil 5.30' da verilmiştir.



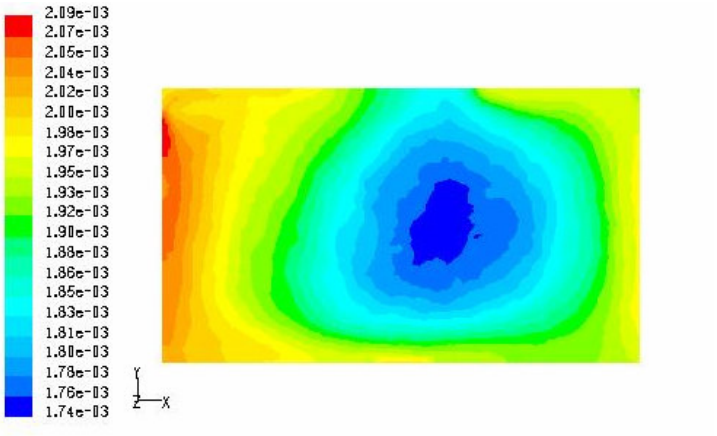
Şekil 5.27: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı



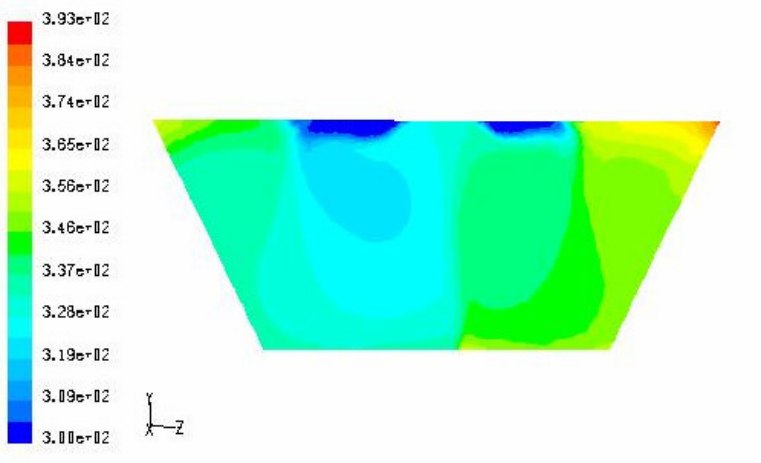
Şekil 5.28: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki hız dağılımı



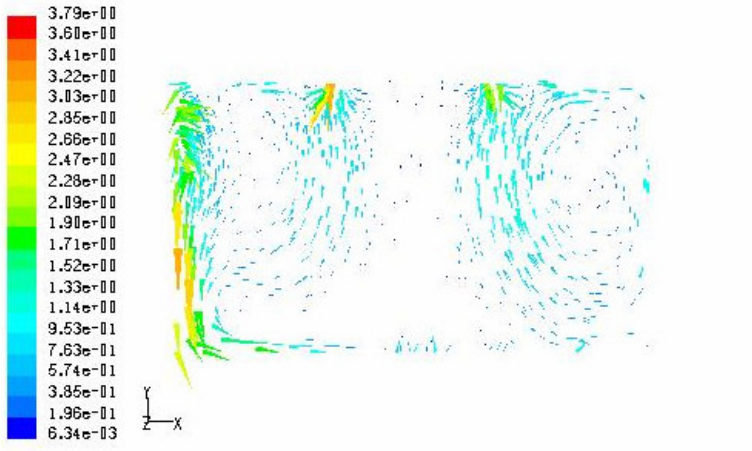
Şekil 5.29: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda z = 0.0m 'deki basınç dağılımı



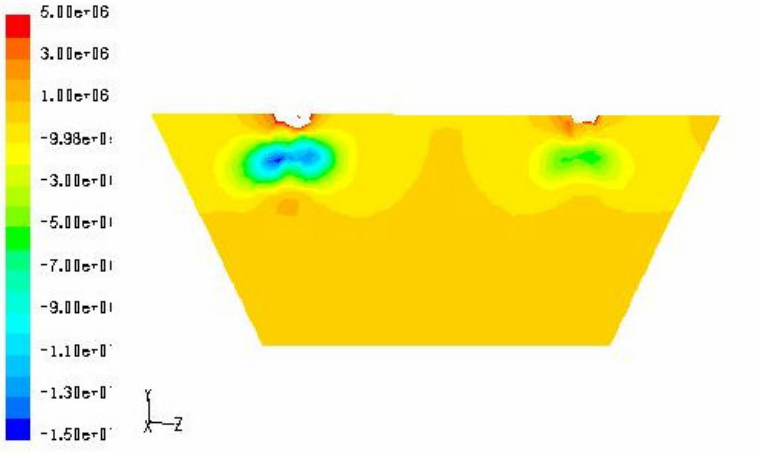
Şekil 5.30: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda z = 0.0m 'deki CO_2 dağılımı



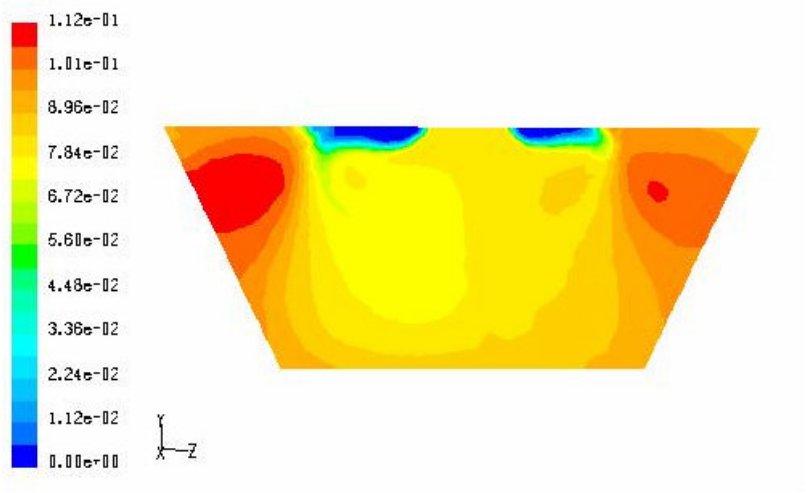
Şekil 5.31: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.32: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda x = 0.0m 'deki hız dağılımı



Şekil 5.33: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda x = 0.0m' deki basınç dağılımı

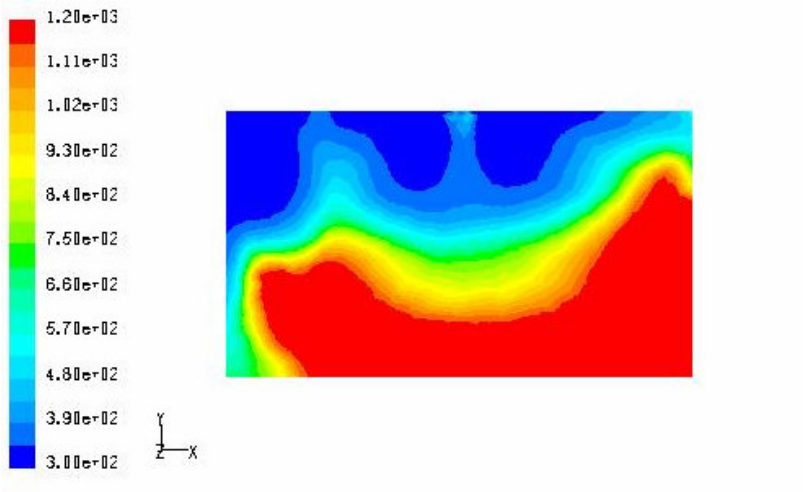


Şekil 5.34: Zamana bağlı yangın modelinde Durum A için 30 sn. sonunda x = 0.0m 'deki CO_2 dağılımı

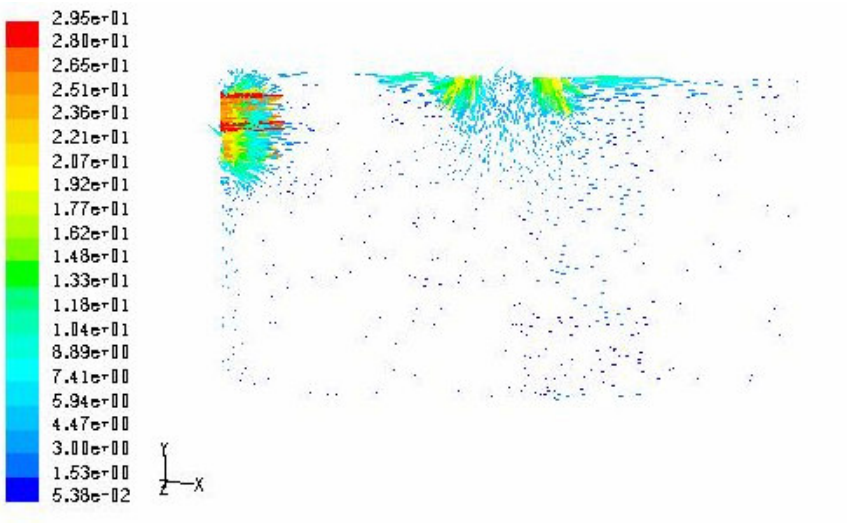
30 saniye sonundaki x = 0.0m kesitine ait sıcaklık, hız, basınç ve hız dağılımları sırası ile Şekil 5.31 - Şekil 5.34'de verilmektedir.

5.2.2 Durum B İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları

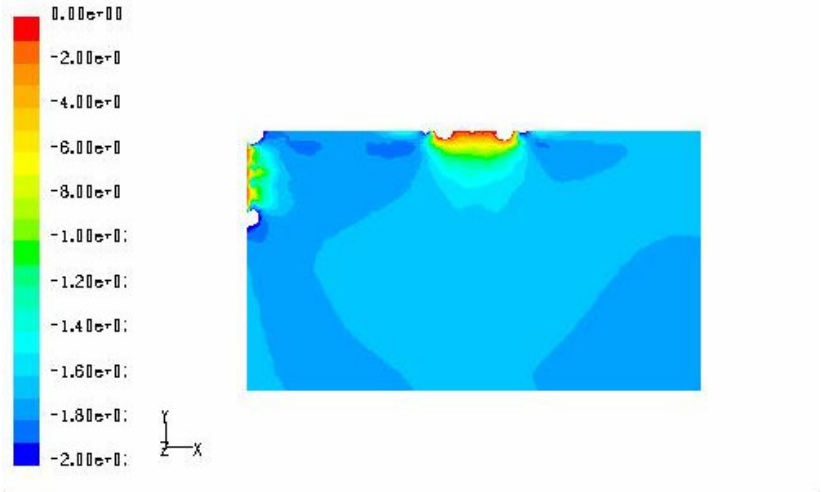
Makine dairesindeki yangın 20 saniye süre ile devam etmektedir. 20 saniye sonrasında yangın söndürücü olarak CO_2 kullanılmaktadır. 40. saniyedeki z = 0.0 m'deki (boyuna merkez kesit) sıcaklık, hız ve basınç dağılımları Şekil 5.35 - Şekil 5.37'de verilmektedir.



Şekil 5.35: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, z = 0.0m'deki sıcaklık dağılımı

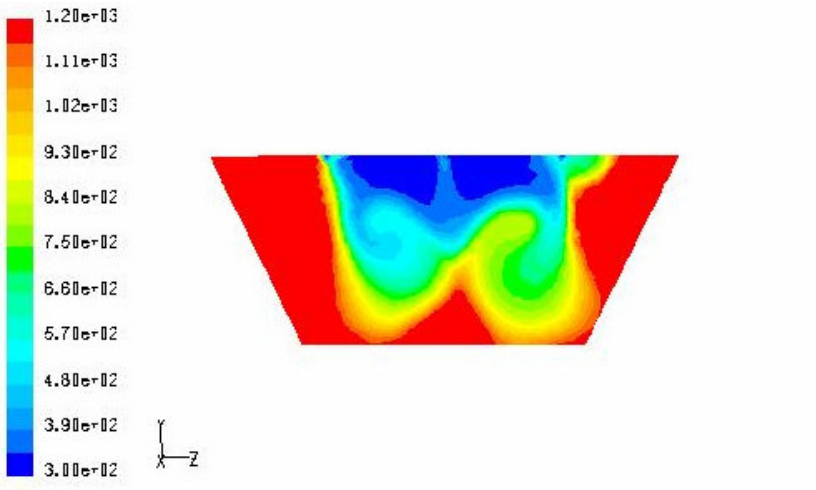


Şekil 5.36: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda z = 0.0m'deki hız dağılımı

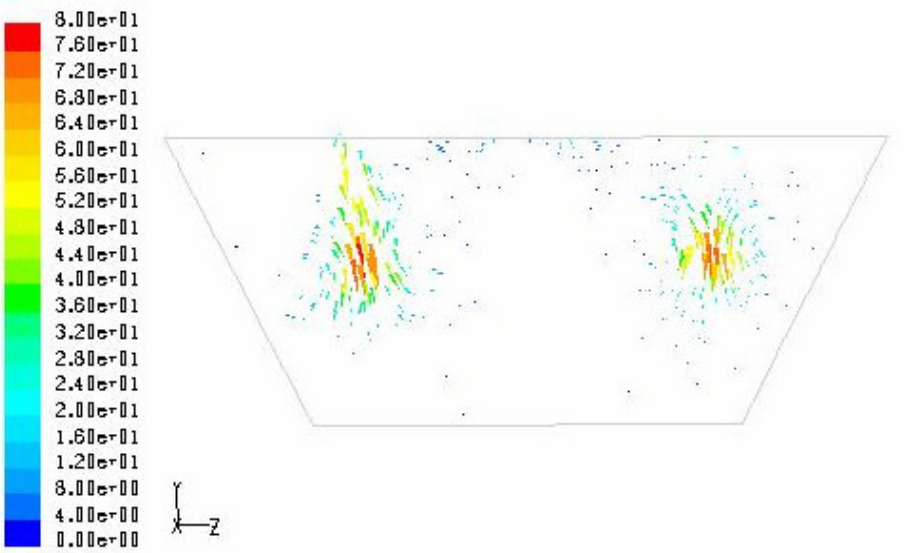


Şekil 5.37: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, z = 0.0m'deki basınç dağılımı

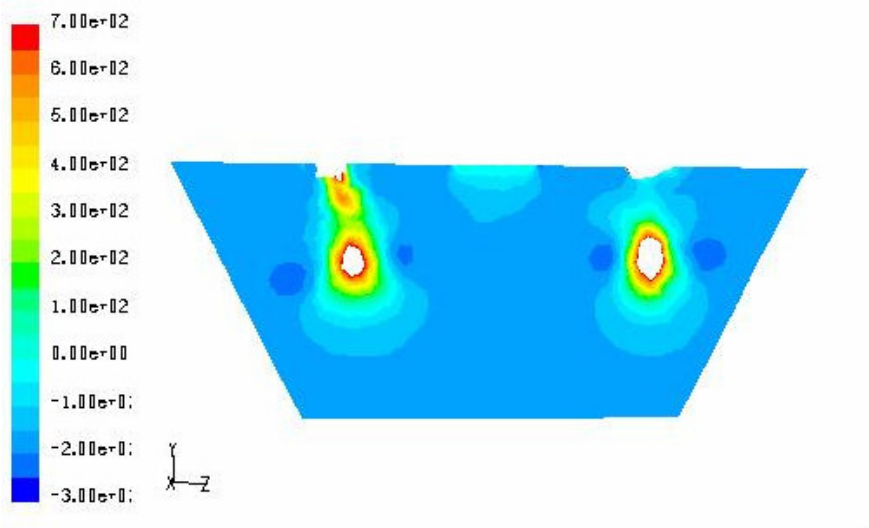
40. saniyedeki x = 0.0m (enine merkez kesit) 'deki kesite ait sıcaklık, basınç ve hız dağılımları sırası ile Şekil 5.38 - Şekil 5.41 verilmektedir.



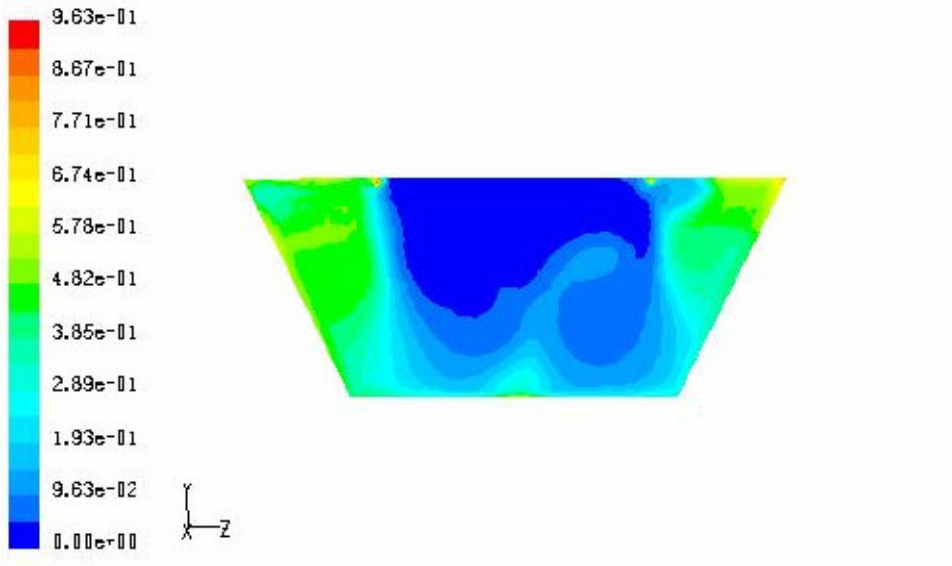
Şekil 5.38: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.39: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m'deki hız dağılımı

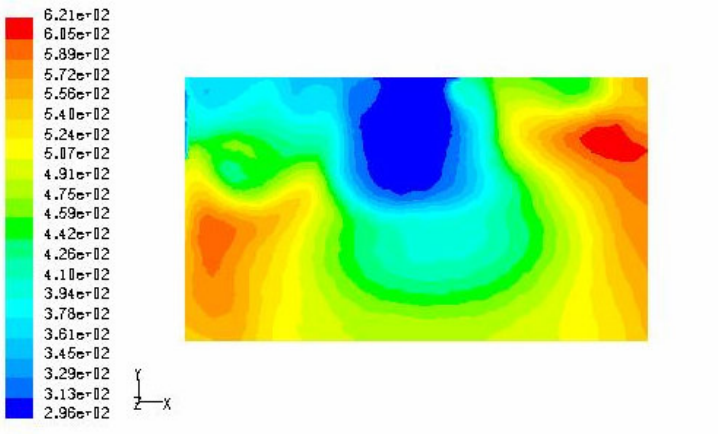


Şekil 5.40: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m' deki basınç dağılımı

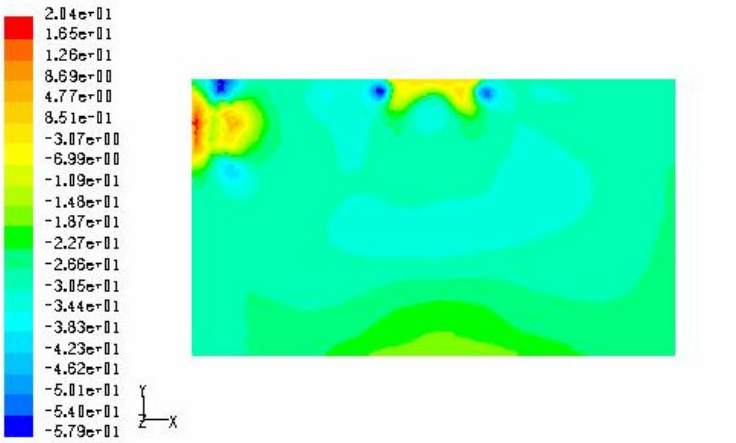


Şekil 5.41: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 40 sn. sonunda, x = 0.0m' deki CO_2 konsantrasyonu

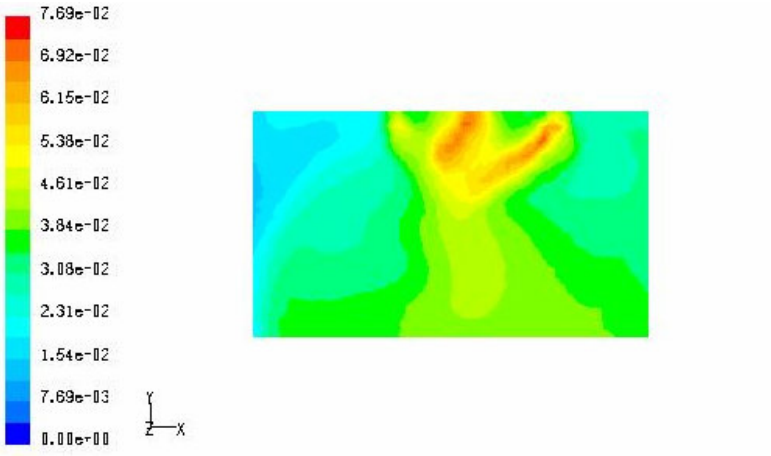
Yangın 40 saniye sonunda sönmediğinden yangın söndürücü olarak su spreyi devreye alınmıştır. 50 saniye sonrasındaki yağmurlama sisteminin devreye girmesi sonucu z = 0.0m 'deki kesitte oluşan sıcaklık, basınç ve H_2O konsantrasyonu dağılımı Şekil 5.42, Şekil 5.43 ve Şekil 5.44' de verilmektedir.



Şekil 5.42: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, z = 0.0m‘ deki sıcaklık dağılımı

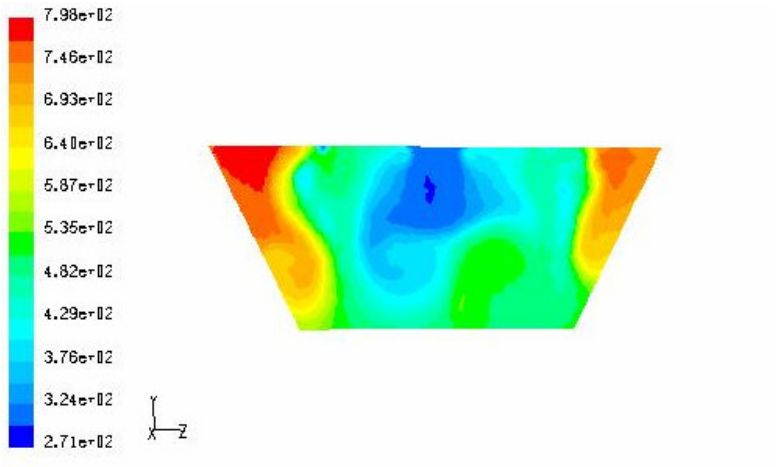


Şekil 5.43: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, z = 0.0m‘ deki basınç dağılımı

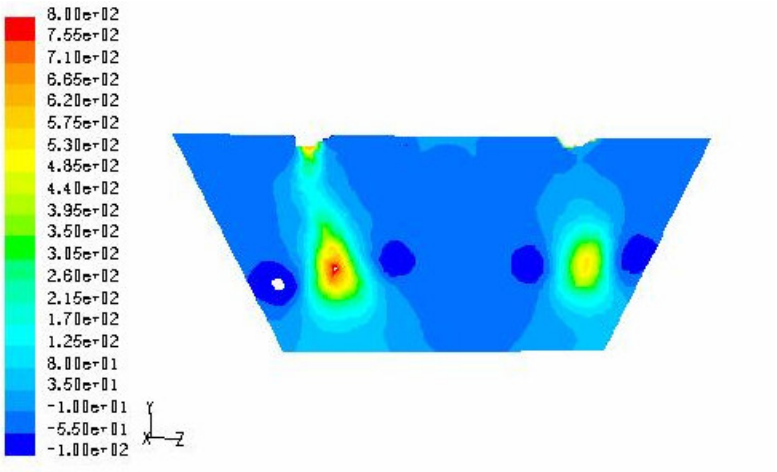


Şekil 5.44: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, z = 0.0m‘ deki H_2O konsantrasyonu

50 saniye sonrasındaki yağmurlama sisteminin devreye girmesi sonucu x = 0.0m ‘deki kesitte oluşan sıcaklık ve basınç dağılımı Şekil 5.45ve Şekil 5.46’ da verilmektedir. Karbondioksit ortama verilirken ortam basıncına oranla çok yüksek basınç kullanıldığından x = 0.0 ve z = 0.0 kesitlerinde oluşan hızlara ait dağılımlar gösterilmemiştir.



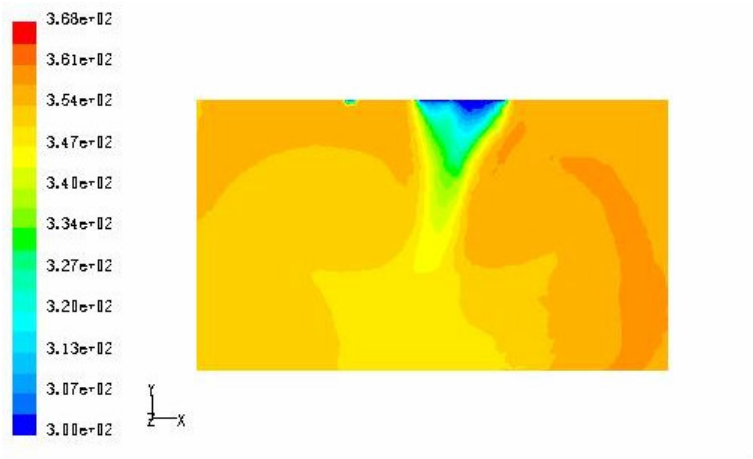
Şekil 5.45: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, x = 0.0m‘ deki sıcaklık dağılımı



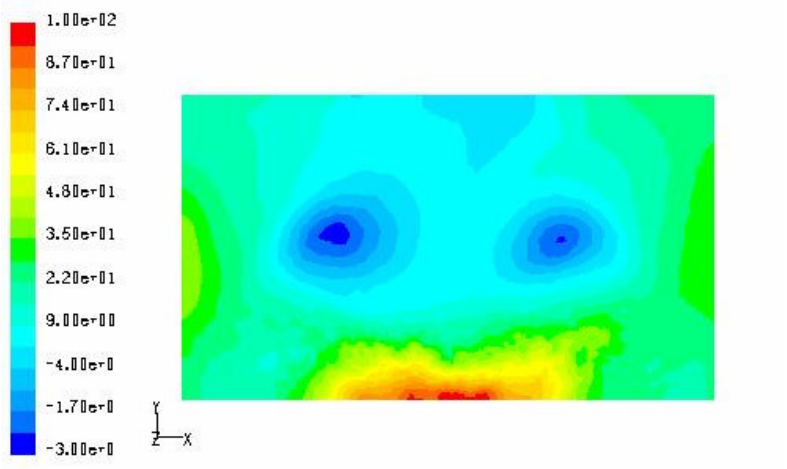
Şekil 5.46: Zamana bağlı yangın modelinde Durum B için 50 sn. sonunda, x = 0.0m‘ deki basınç dağılımı

5.2.3 Durum C İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları

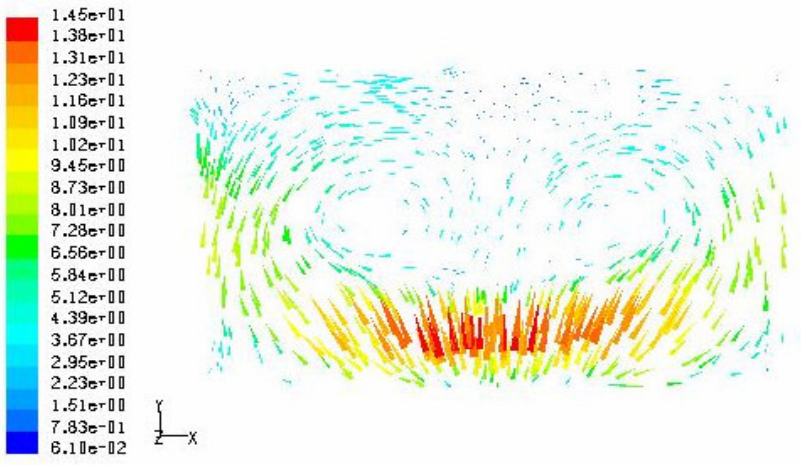
Makine dairesindeki yangın 20 saniye süre ile devam etmektedir. 20 saniye sonrasında yangın söndürücü olarak CO_2 kullanılmaktadır. 200. saniyedeki z = 0.0m (boyuna merkez kesit) ‘deki sıcaklık, hız ve basınç dağılımı Şekil 5.47-Şekil 5.49’da verilmektedir.



Şekil 5.47: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı

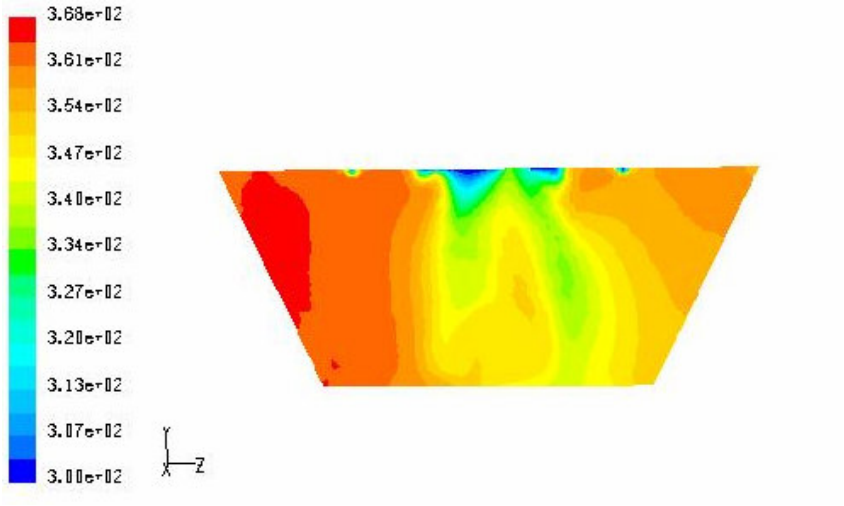


Şekil 5.48: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, z = 0.0m' deki basınç dağılımı

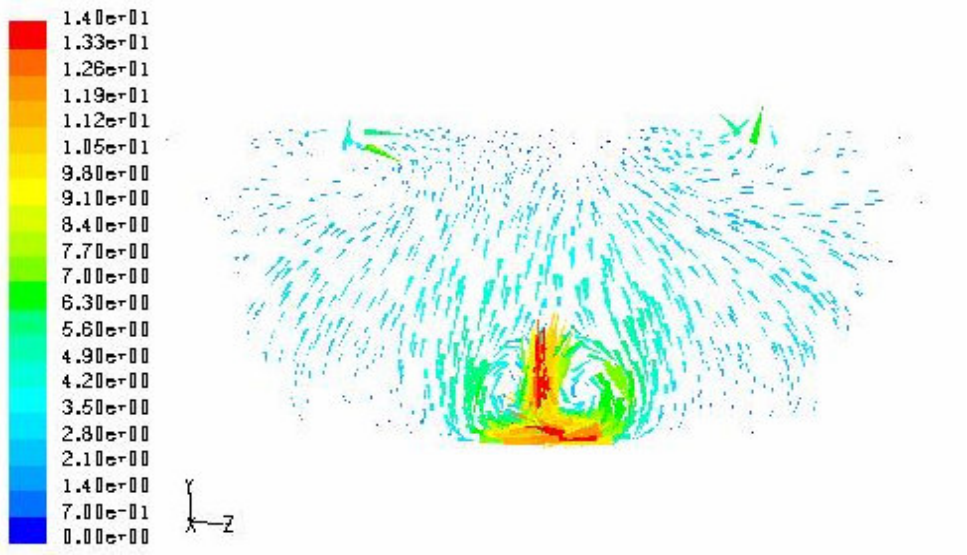


Şekil 5.49: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, z = 0.0m'deki hız dağılımı

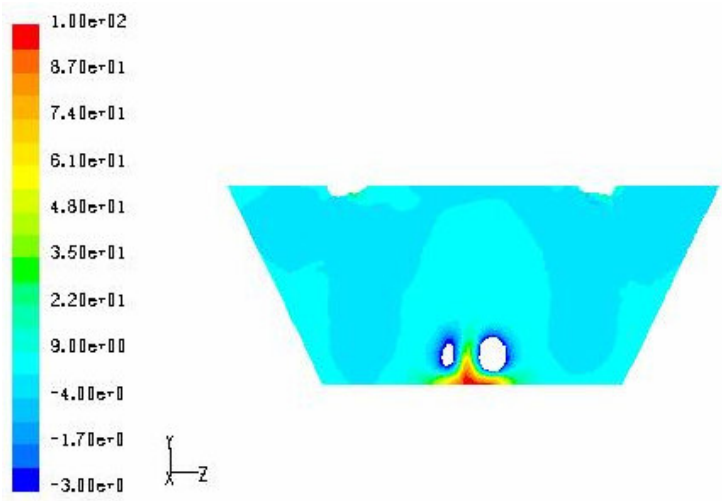
200. saniyedeki x = 0.0m (enine merkez kesit) 'deki sıcaklık, hız ve CO_2 dağılımı Şekil 5.50- Şekil 5.53 ' de verilmektedir.



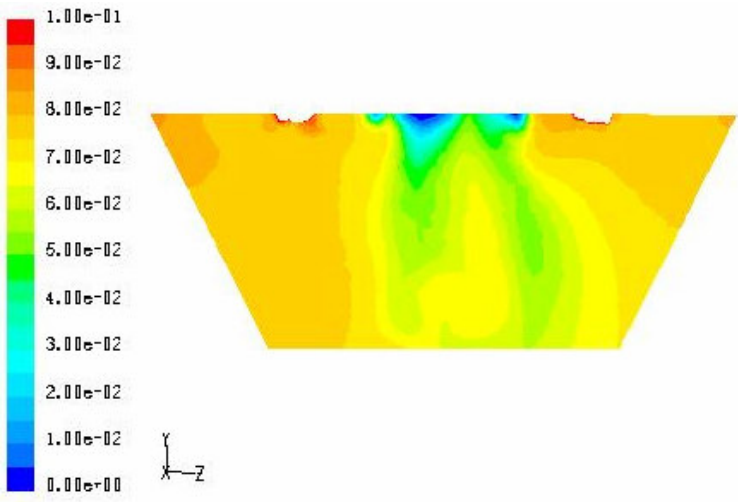
Şekil 5.50: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.51: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m' deki hız dağılımı



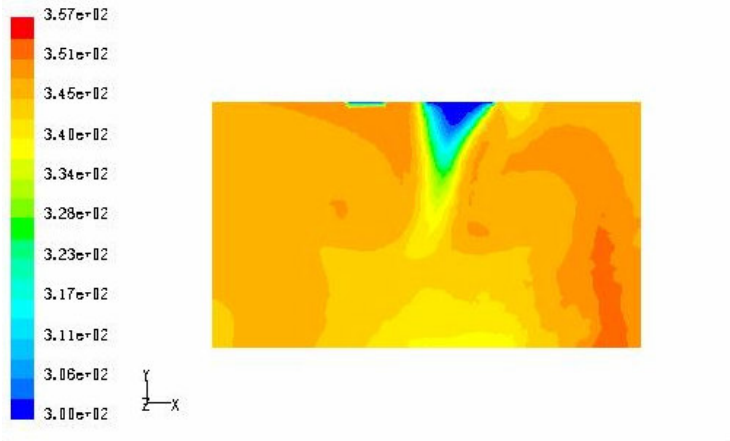
Şekil 5.52: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki basınç dağılımı



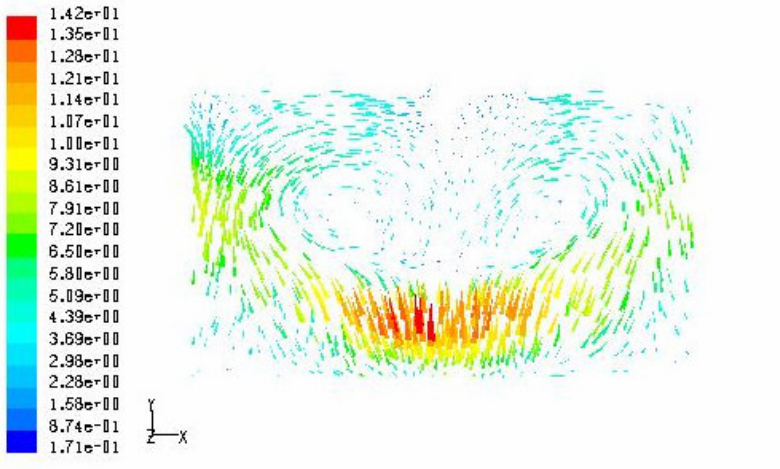
Şekil 5.53: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 200 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki CO_2 konsantrasyonu

Yangın 200 saniye sonunda sönmediğinden yangın söndürücü olarak su spreyi devreye alınmıştır. 210. saniyede yağmurlama sisteminin devreye girmesi sonucu z = 0.0m kesitinde oluşan sıcaklık, hız, basınç ve H_2O konsantrasyonu Şekil 5.54 - Şekil 5.57' de verilmektedir.

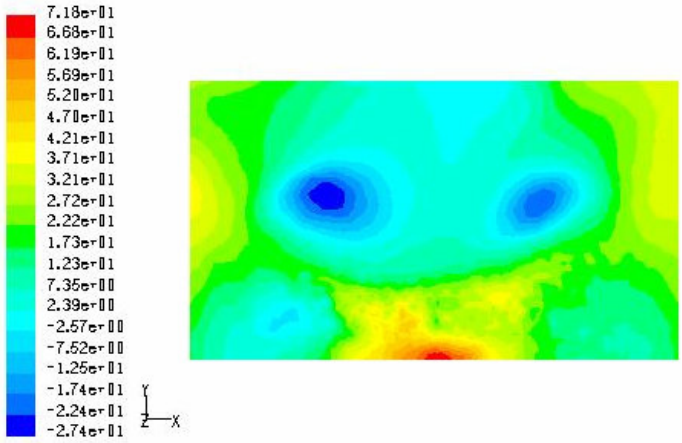
Hızların en yüksek olduğu yer karbondioksit nozullarının ve yangın kaynağının bulunduğu yerlerdir. Yangın büyüklüğünün arttığın Durum C' de tavan açıklığından içeriye giren havanın hızında artma meydana gelmektedir. Isısı daha fazla olan gazların ortamı çabuk terk etmesi, içeriye giren havanında hızını arttırmaktadır.



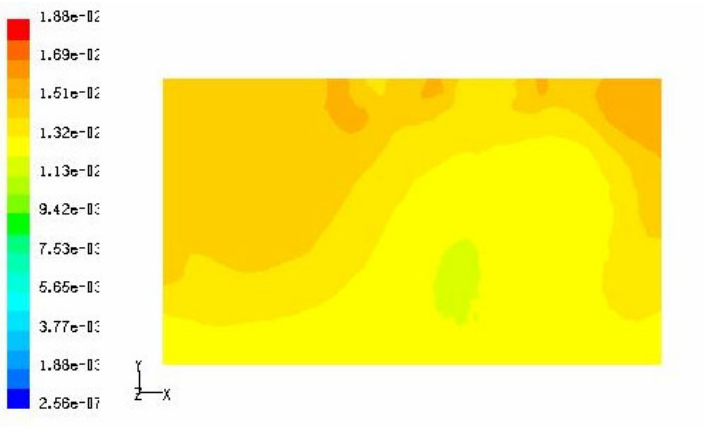
Şekil 5.54: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı



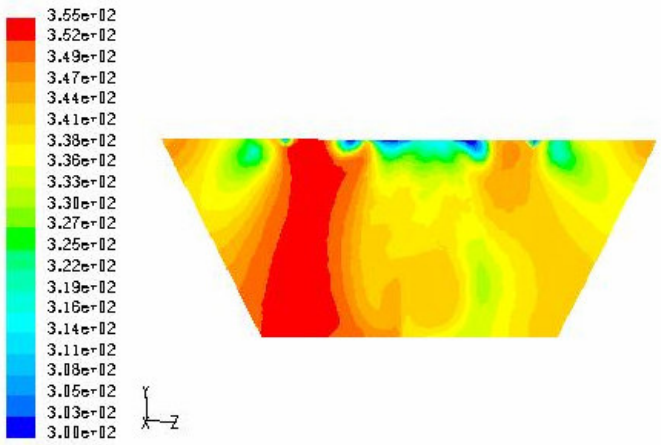
Şekil 5.55: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki hız dağılımı



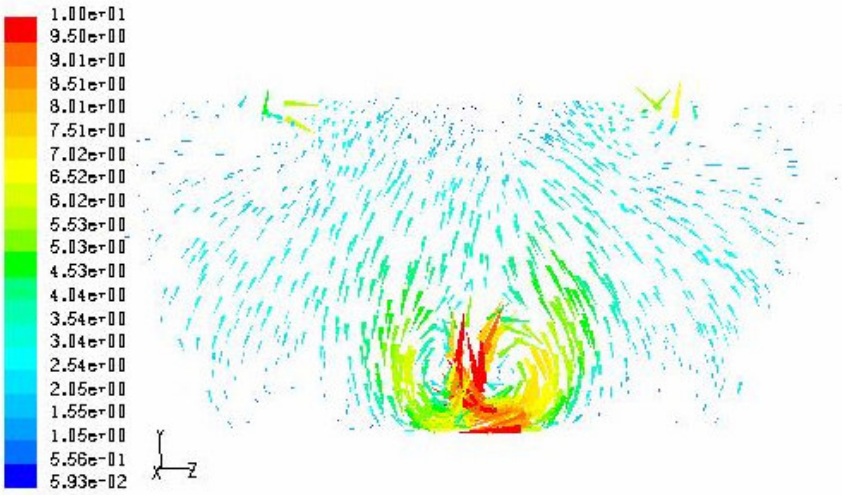
Şekil 5.56: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki basınç dağılımı



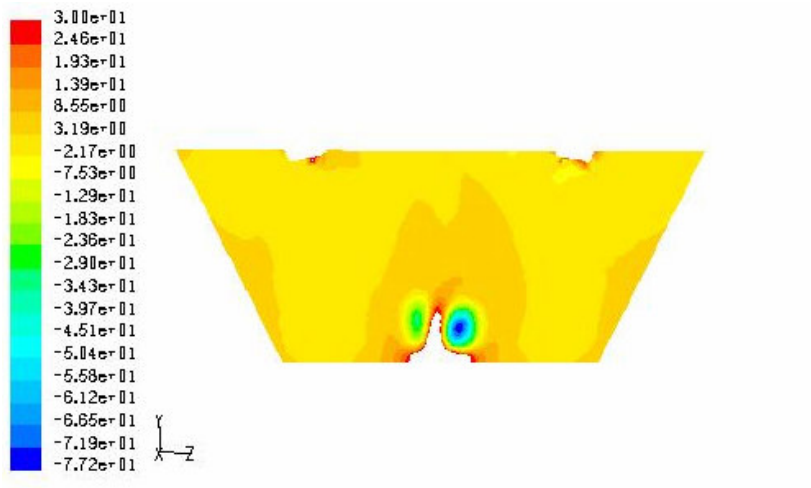
Şekil 5.57: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, z = 0.0m 'deki H_2O konsantrasyonu



Şekil 5.58: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.60: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki hız dağılımı

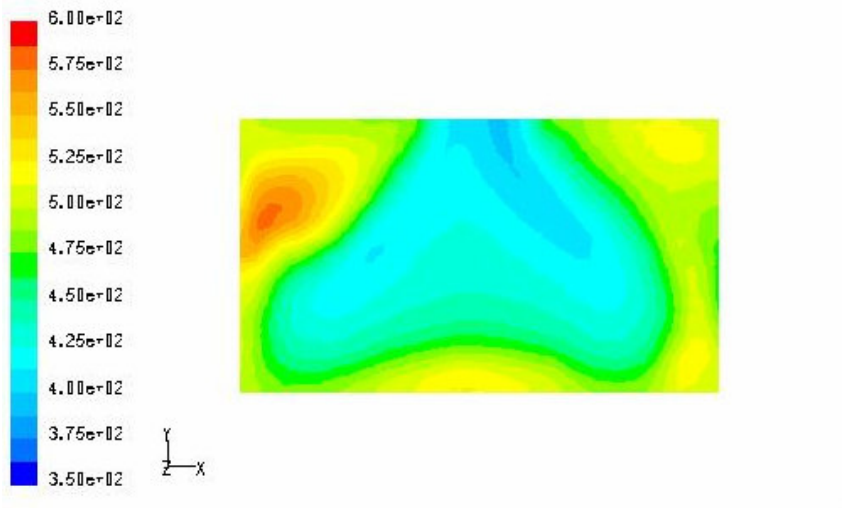


Şekil 5.59: Zamana bağlı yangın modelinde Durum C için 210 sn. sonunda, x = 0.0m 'deki basınç dağılımı

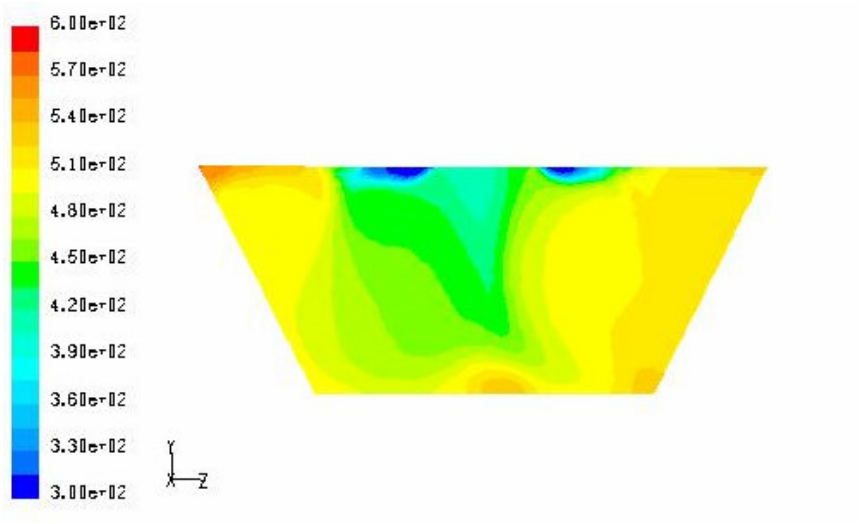
210. saniyede yağmurlama sisteminin devreye girmesi sonucu x = 0.0m kesitinde oluşan sıcaklık, hız ve basınç yukarıda Şekil 5.58 - Şekil 5.60' de verilmektedir.

5.2.4 Durum D İçin Sıcaklık, Hız, Basınç ve CO_2 Dağılımları

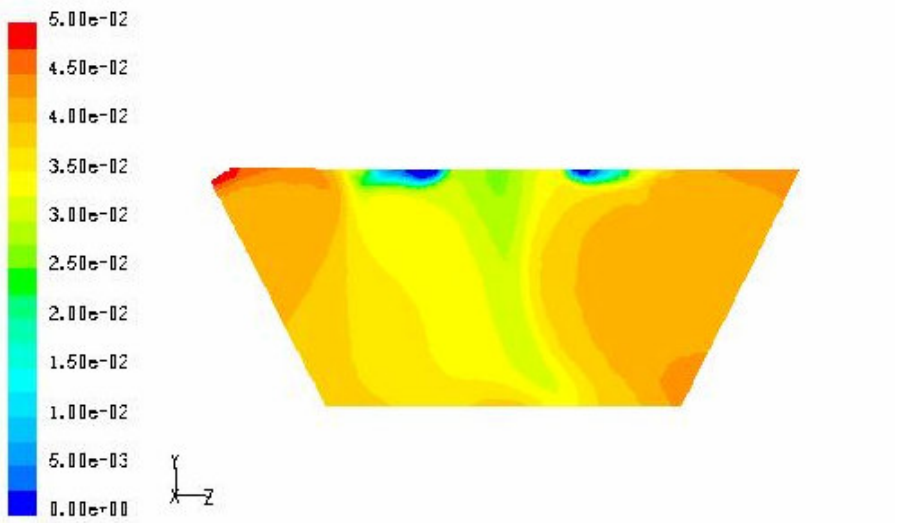
Makine dairesindeki yangın 20 saniye süre ile devam etmektedir. 20 saniye sonrasında yangın söndürücü olarak CO_2 kullanılmaktadır. 30. saniyede z = 0.0m (boyuna merkez kesit) 'deki sıcaklık Şekil 5.60'da verilmektedir. x = 0.0m 'deki sıcaklık ve CO_2 konsantrasyonu Şekil 5.61 ve Şekil 5.62'de verilmektedir.



Şekil 5.60: Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 30 sn. sonunda, z = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı

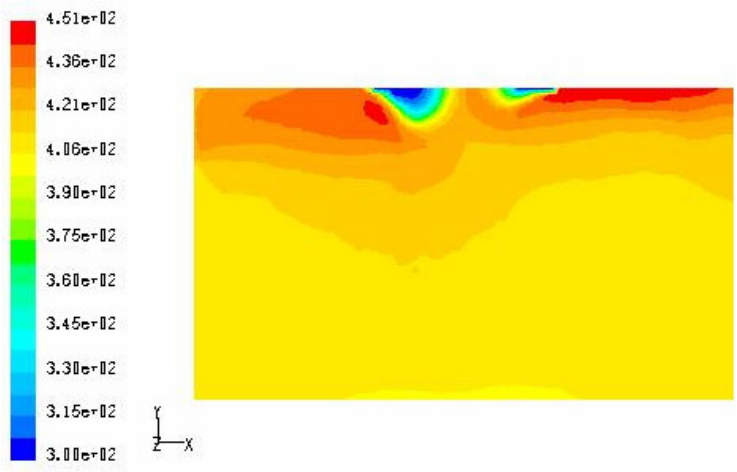


Şekil 5.61: Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 30 sn. sonunda, x = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı

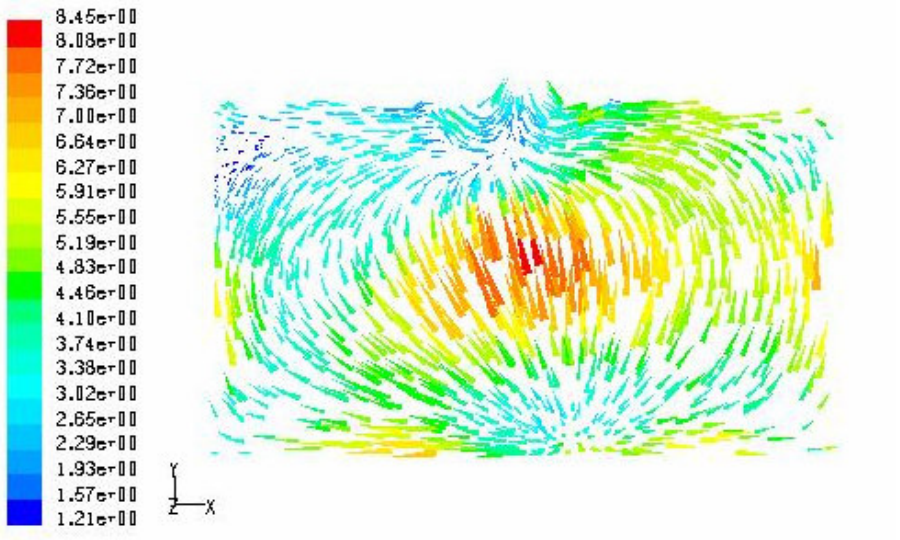


Şekil 5.62: Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 30 sn. sonunda, x = 0.0m' deki CO_2 konsantrasyonu

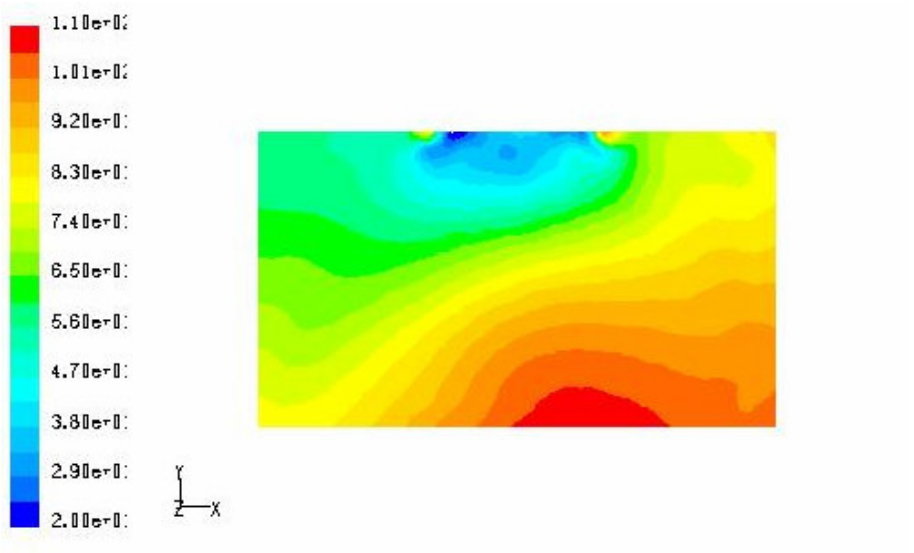
Yangın 30 saniye sonunda sönmediğinden yangın söndürücü olarak su spreyi devreye alınmıştır. 30. saniyede yağmurlama sisteminin devreye girmesi sonucu oluşan sıcaklık, hız, basınç ve CO_2 konsantrasyonu Şekil 5.63 - Şekil 5.66' da verilmektedir.



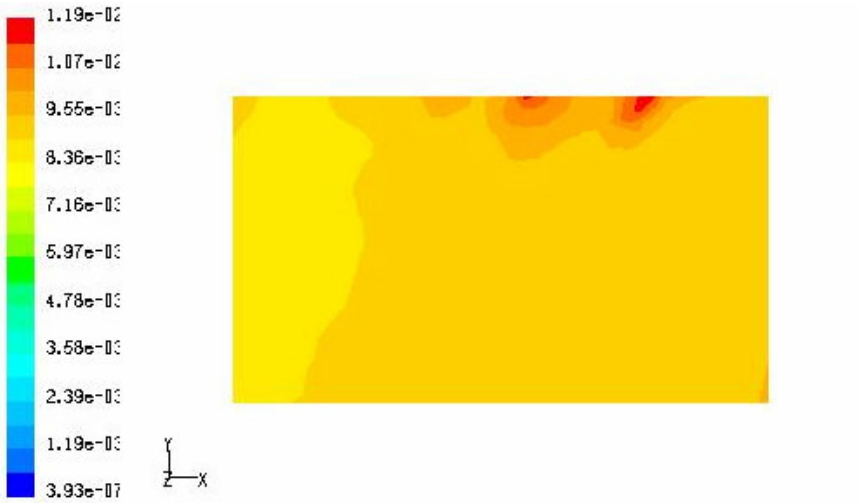
Şekil 5.63: Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m' deki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.64: Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m' deki hız dağılımı



Şekil 5.65: Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m' deki basınç dağılımı



Şekil 5.66: Zamana bağlı yangın modelinde Durum D için 40 sn. sonunda, z = 0.0m' deki H_2O konsantrasyonu

5.2.5 Zamana Bağlı Durum İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

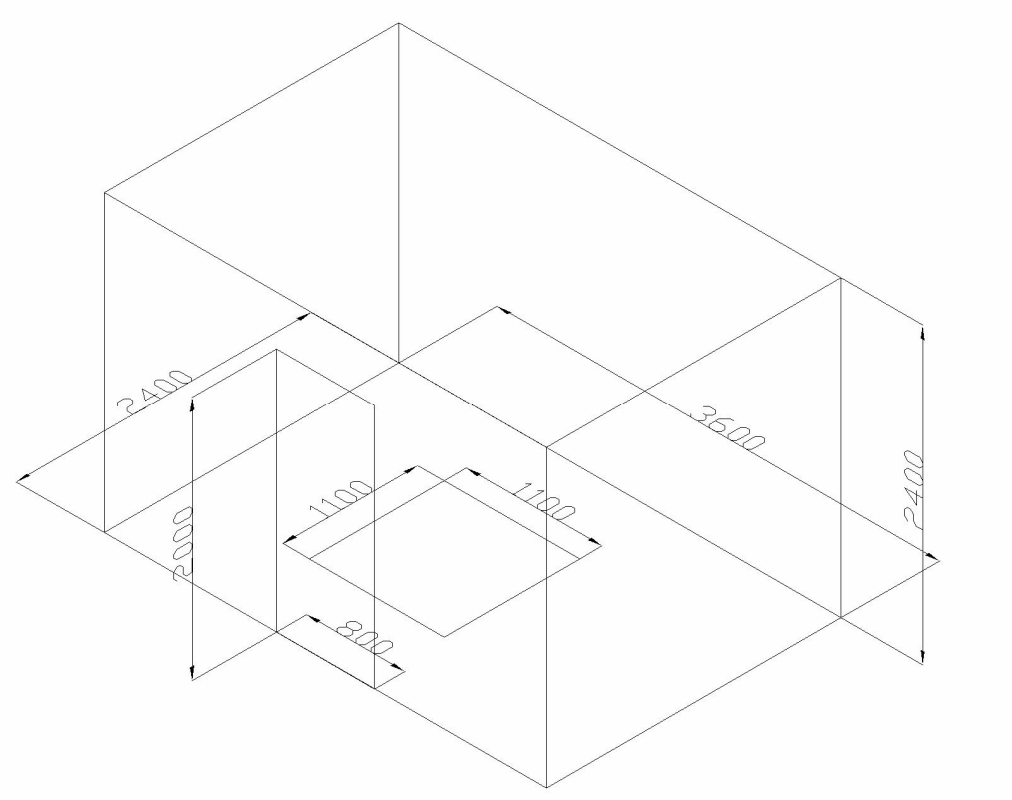
Makine dairesi açıklıklarının büyük olduğu ve yangın büyüklüğünün küçük olduğu durumda (Durum A) su spreylerinin çalışmasına gerek duyulmamaktadır. Karbondioksit tek yangın söndürücü olarak kullanılabilmektedir. Üst havalandırma açıklığının daha küçük olduğu durumda (Durum B) kapıdan içeriye hava akışı gözlenmektedir. Bunun yanında üst havalandırma açıklığından dışarıya sıcak gazların çıkışı vardır. Bu sırada üst havalandırma açıklığından içeriye hava akışı da gözlenmektedir. Yangın büyüklüğünün büyük olduğu durumda (Durum C)

açıklıkların etkisi yangın üzerinde azalmaktadır ve karbon dioksit ile suyun birlikte yangın söndürücü olarak kullanılması gerekmektedir. Üst havalandırma açıklığından içeriye giren ve içeriden çıkan havanın hızı diğer durumlara göre daha fazladır.

Kapının etkisi içerideki sıcaklığın düşmesinde önemli rol oynar. Durum C 'de yangın Durum A' ya göre daha geç kontrol altına alınabilmektedir. Açıklıkların varlığı yangın büyüklüğü büyüdükçe etkisini yitirmektedir. Ama küçük miktardaki yangınlarda açıklıklar yangının müddetini uzatmaktadır ve söndürülmesini zorlaştırmaktadır. Çünkü içeriye giren hava miktarı artmakta bu hem karbondioksitin etkisini azaltmakta hem de yangın sürecini uzatmaktadır.

5.3 Matematik Modelin Doğruluğunun Gösterilmesi

Dikdörtgenler prizması örnek hacmi Şekil 5.67'de gösterilmektedir. Kontrol yöntemi olarak edilen dikdörtgenler prizması hacmi CFD programından alınan değerler ile elle hesaplanan değerler arasında göz ile kıyaslama yapılarak değerlendirilmiştir. El ile hesaplanma yönteminde çeşitli deneyler sonucu elde edilen denklemler ile yakıt ve malzeme için deneylerden elde edilen formüller kullanılmıştır.



Şekil 5.67: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacim boyutları

Hacmin boyutları 3.6m x 2.4m x 2.4m olacak şekilde ayarlanmıştır. Tabanın tam ortasında 1.1m x 1.1m‘ lik açıklık bulunmaktadır. Bu açıklık ebatlarında fueloil yakıtı yere dökünüldüğü kabul edilmiştir. 2m x 0.8m ebatlarında kapı açıklığı modele yerleştirilmiştir. Kapı açıklığı doğal havalandırma açıklığı olarak kabul edilip hesaplamalar bu durum için yapılmaktadır.

Yapı malzemesi olarak tüm perdeler 0.1 m kalınlığında çelik olduğu kabul edilmiştir. Tablo 5.2’de çeliğe ait termofiziksel özellikler verilmektedir. Bu değerler duvar için sınır şart olarak kabul edilerek CFD programına girilmiştir.

Tablo 5.2: Çelik için termal özellikler

MALZEME	k (W/m.K)	C (J/kg.K)	Yoğunluk,ρ kg/m^3	α (m^2/s)
ÇELİK	16.27	502.48	8030	$1.3\ 10^{-5}$

Bu çalışmada yangının tanımlanmasında kullanılan kimyasal reaksiyonlar ve yanma denklemleri kontrol hacmi olarak ele alınan dikdörtgenler prizması içinde kullanılmıştır. Tabanın tam ortasındaki açıklıkta bulunan fueloil yakıtının miktarı belirli bir enerji salınım katsayısına bağlı olarak sisteme yerleştirilmiştir.

Ampirik formüllerle yapılan hesaplamalarda ise bu açıklık modelde bulunduğu şekilde ele alınarak yaklaşık bir hesaplama yapılmıştır. Yapılan hesaplarda duvarlarda ısı iletimi var olduğu için sistem adyabatik alınmamaktadır. Yangının başlangıcından belirli bir süre geçtikten sonraki üst tabaka sıcaklığı karşılaştırılarak modelin doğruluğu ile ilgili yaklaşımlar yapılmaktadır. Üst tabaka sıcaklığı için yapılan karşılaştırma modelden elde edilen değerler ile ampirik formüller den elde edilen değerler arasındaki değişimin gözlenmesi ile yapılmaktadır. Ampirik formüller ile yapılan hesaplarda da modelde kullanılan duvar için ısı iletim katsayısı hesaba katılmaktadır.

5.3.1 Analitik Sonuçlar

Dikdörtgenler prizması hacminin ampirik yöntemlerle hesaplanması için deneylerden elde edilen çeşitli formüller kullanılmaktadır. Sistem adyabatik olmadığından ısı

iletiminin tam olarak gözlenebilmesi için gerekli zaman t_p (penetrasyon zamanı) Denklem 5.1 yardımı ile bulunmaktadır.

$$t_p = \frac{\delta^2}{4\alpha} \tag{5.1}$$

Çelik için gerekli olan termal özellikler Tablo 5.2 'de verilmektedir. Bu değerler kullanılarak ısı iletimi ile duvarlardan dışarıya çıkan ısı hesap edileler ek, içerde bulunan üst tabakadaki sıcak tespit edilebilir.

t_p için verilen δ değeri malzemenin kalınlığını göstermektedir. Çelik için modelde kullanılan malzeme kalınlığı 0.1 m 'dir. α değeri ise Tablo 5.2'den alınmaktadır. Bu değerler kullanılarak penetrasyon için gereken zaman 192 saniye olarak bulunmaktadır.

Modelde yangın başladıktan 100 saniye sonraki ısı transfer katsayısını bulmak için Denklem 5.2 kullanılmıştır.

$$h_k = \frac{k}{\delta} \tag{5.2}$$

Çelik için k değeri Tablo 5.2 'den alınmaktadır. Yangın başlangıcından 100 saniye sonraki ısı iletim katsayısı gerekli değerler kullanılarak hesaplandığında 1,265 kW/m^2 K olduğu görülmüştür.

Üst tabakadaki sıcaklığı hesaplamak için Denklem 5.3 kullanılmaktadır.

$$\Delta T = 6.85\left(\frac{\dot{Q}^2}{A_0\sqrt{H_0}h_k A_T}\right) \tag{5.3}$$

Denklem 5.3 de kullanılan A_0 açıklık alanın göstermektedir, A_T duvarların toplam alanı ve H_0 açıklık alanının yüksekliğini göstermektedir. Enerji salınım değeri fueloil için 1.1m x 1.1m alanındaki miktarı hesap edilerek bulunmuştur. Hesaplanan bu değer 1.5 MW 'a eşittir.

Değerler, Denklem 5.3 kullanılarak hesaplandığında yangın başlangıcından itibaren 100 saniye sonraki üst tabakadaki sıcaklı değişimi 180 °C hesap edilmiştir. Ortam

sıcaklığı sınır şartı 300 K olarak alınmıştır. Bu durumda üst tabakadaki sıcaklığın 500 K civarında olması beklenmektedir.

5.3.2 Sayısal Sonuçlar

Modelde yangın büyüklüğü, yakıta ait kimyasal reaksiyonlar belirtilerek girilmiştir. Oluşan yangının miktarı belirlenirken fueloil yakıtının cinsi değiştirilmemiştir ve yakıtın giriş bölgesinin boyutları analitik hesaplamada kullanılan değerle aynı alınarak aynı büyüklükteki yangınlar karşılaştırılmıştır.

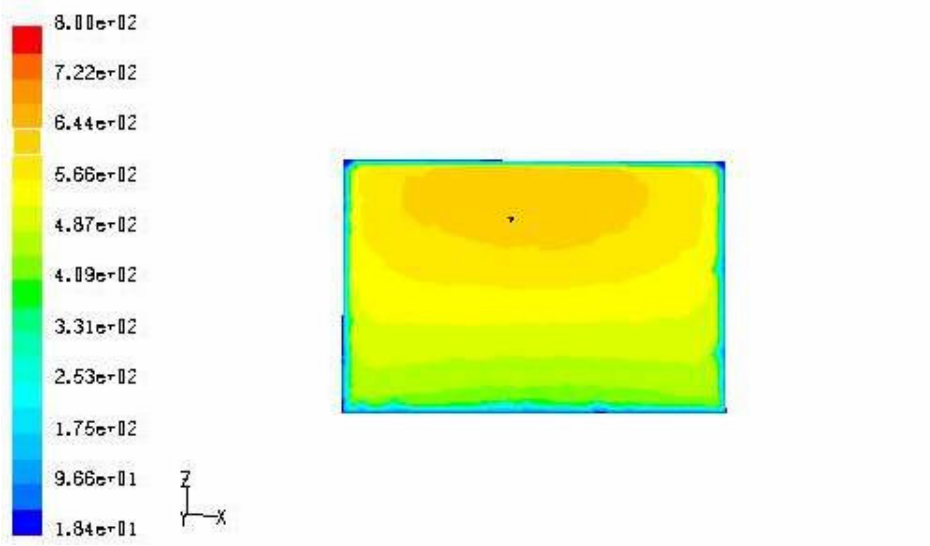
Analitik hesaplamada kabul edilen sınır şartları CFD programında hesaplama yapılırken kullanılan sınır şartları ile aynıdır. Duvarlardan ısı geçişi olduğu kabulü yapılmaktadır. Oda sıcaklıkları her iki modelde 300 K alınmıştır.

5.3.3 Analitik ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

CFD programı ile model oluşturulması ve ampirik formüller sonucu bulunan değerlerle karşılaştırılması modelin doğru kurulduğunu aynı zamanda bulunan sonuçların oluşturulan mesh yapısından bağımsız olduğunu göstermektedir.

Yangının büyüklüğü hesaplanması sırasında gerçek durumda yanan yakıtın %70 verimle yandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada ise yanma olayının stokiometrik yanma gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu durumda yakıtın yanması sonucu oluşan ürünler daha farklı olmamaktadır.

Şekil 5.68'de verildiği gibi 100 saniye sonunda modelin üst bölgesinde oluşan sıcaklık 500 K civarındadır. Ampirik formüllerden elde edilen değer ile CFD programından alınan sonuçlar bir birlerine yakındır.



Şekil 5.68: 100 saniye sonunda odadaki sıcaklık dağılımı

5.4 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışmada, havalandırma açıklıklarının, makine dairesindeki yangına etkilerini gözlemlemek için yangın büyüklükleri ve havalandırma açıklıklarının boyutları değiştirilerek elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır. Havalandırma açıklıklarında içeriden dışarıya sıcak hava çıkışı ve dışarıdan içeriye soğuk hava girişi yani karşıt akış gözlenmektedir. Bu durum, doğal havalandırma açıklıklarının boyutlarının yangının gelişiminde ve yangının söndürülmesinde bir parametre olarak alınmasını gerektirir.

Bu çalışmada, makine dairesindeki yangın büyüklüğü 3 MW ve 6 MW olarak alınmıştır. Aynı büyüklükteki yangınlarda havalandırma açıklıkların boyutları büyüdükçe içeriye giren soğuk havanın miktarı artmakta ve içerideki sıcaklık daha hızlı azalmaktadır.

Doğal havalandırma açıklıklarının yerleri gemilerde yapısal farklılıklar nedeni ile değişmektedir. Gelecek çalışmalarda doğal havalandırma açıklıklarının yerleri değiştirilerek yangının gelişimi ve söndürülmesi üzerindeki etkileri incelenebilir. Burada yapılan çalışmada tek ana makineye sahip bir geminin ana makinesinde çıkan yangın modellenmiştir. Bunun yanında çift ana makineli gemilerde farklı iki yerde yangının başladığı düşünülerek yangın senaryosu genişletilebilir. Yangının gelişim

süreci ve gemilerde kullanılan çeşitli yangın söndürücülerin yangının gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.

Gemide kullanılan yangın söndürücüler farklı maddelerden oluşmakta ve yangın üzerinde farklı etkiler göstermektedir. Bunların bir kısmı bu çalışmada da kullanılan karbon dioksit ve yağmurlama sistemleridir. Bunlara ek olarak gemilerde kullanılan köpük sistemi de oluşturulan yangın modeline eklenerek farklı yangın söndürücülerin etkileri ve yeterlilikleri gözlenebilir. Hatta, klas kuruluşlarının ön gördüğü şekilde gemilerde kullanılan yangın söndürücü sistemlerin yerlerinin tayini veya yangın söndürücülerin kullanım miktarları için bir optimizasyon çalışması yapılabilir. Bu çalışmalar ilerleyen zamanlar için yangın söndürücülerin daha etkin kullanımını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **Kay, D., Morris, M.C.,** 1994. The role of fire and smoke movement modelling, Fire Safety on Ships Developments into the 21st Century,The Institute of Marine Eng., London, 26-27 May, p. 49-54

[2] **FSS CODES,** 2004. Rules for the Classification of Steel Ships, IMO

[3] **Sertkaya, Y.,** 2001. Denizde güvenlik IMO Model Kurs 1.20 gemide yangınla mücadele, Akademik Yayıncılık

[4] **Yıldız, E.**, 2005. Makine dairesinde çıkan bir yangının matematiksel modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] **NFPA-92B,** 1999. Guide for Smoke Manegement System in Malls, Atria and Large Areas, *National Fire Protection Association*, Quincy, Massachusetts.

[6] **NFPA-204M,** 1998. Guide for Smoke and Heat venting, *National Fire Protection Association,* Quincy, Massachusetts..

[7] **Karlsson B. And Quintiere G.,** 1999. Enclosure Fire Dynamics, CRC Pres LLC, Florida.

[8] **Olenick, S.M. and Carpenter, J.C,** 2003. An Updated International Survey of Computer Models of Fire and Smoke, *Combustion Science & Engineering, Inc.,* Columbia, USA

[9] **Luo, M. and Yaping, H.,** 1997. Application of Field Model and Two-zone Model to Flashover Fires in a Fullscale Multiroom Single Level Building, *Fire Safety Journal*, **29**, 1-25.

[10] **Petelin, S. and Vidmar, P.,** 2001. Fire Models For Enclosed and Open Spaces In Transport System, *International Conference On Traffic Science,* Slovenia

[11] **Rho, J.S. and Ryou, H.S.,** 1999. A numerical study of atrium fires using deterministic models*, Fire Safety Journal*, **33**, 213-229.

[12] **Tan, Q. and Jaluria, Y.,** 2000. Mass flow through a horizontal vent in an enclosure due to pressure and density differences*, International Journal of Heat and Mass Transfer*, **44**, 1543-1553.

[13] **Kılıç, A. and Beceren, K.,** 1999**,** Atriumlarda Duman Kontrolü*, IV. Uluslar Arası Tesisat Mühendisliği Kongresi,* İzmir, s.749-768.

[14] **Yii, E.H. and Buchanan, A.H.,** 2005. Experimental study of fire compartment with door opening and roof opening*, Fire Materials ,* **29**, 315-334.

[15] **Merci, B. and Maele, K.V.,** 2008. Numerical simulations of full-scale enclosure fires in a small compartment with natural roof ventilation*, Fire Safety Journal,* doi: 10. 1016/j.firesaf. 2007. 12. 003.

[16] **Habibi A. and Merci B.** 2007. Impact of radiation models in CFD simulations of steam cracking furnaces*, Computers and Chemical Engineering,* **31**, 1389–1406.

[17] **Lin, Z. and Chow, T.,** 2006. Validation of a CFD Model for Research into Stratum Ventilation*, International Journal of Ventilation,* **5**, 345-364.

[18] **Gant S.E.** 2006. CFD Modeling of Water Spray Barriers*, Health & Safety Laboratory,* Derbyshire.

[19] **Yaping, H. and Wang, J.,** 2002. Smoke venting and fire safety in an industrial warehouse*, Fire Safety Journal,* **37**, 191-215.

ÖZGEÇMİŞ

Aydın SÜLÜS, 1981 yılında İstanbul'da doğdu. 1992 yılında Gazi İlköğretim İlkokulunu, 1999 yılında Vefa Anadolu Lisesini bitirdi.1999 yılında girdiği İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Bölümünden 2004 yılında mezun oldu. 2004 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı Anabilim dalı, Gemi İnşaatı Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

İngilizce bilen Aydın SÜLÜS, çalışma hayatına 2004 yılında Tuzlada özel bir tersanede başladı. Daha sonra, 2007 yılı Mayıs ayında Delta Marine dizayn bürosuna geçti ve halen bu firmada çalışmaktadır.