

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAKİNA DAİRESİNDE ÇIKAN BİR YANGININ
MATEMATİKSEL MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gemi inş. ve Gemi Mak. Müh. Ercan YILDIZ
508021018

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Aralık 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2006

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Selma ERGİN

Diğer Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT (İ.T.Ü)

Y.Doç.Dr. Şafak Nur ERTÜRK (İ.T.Ü)

ARALIK 2005

ÖNSÖZ

Günümüzde yangın ve yangın olasılığına karşı tasarlanan yapılar, yaygın bir şekilde araştırmacılar ve bilim adamları tarafından incelenmektedir. Bu konuda yurtdışında, özellikle gelişmiş ülkelerde, yangın senaryolarını üretebilen, modelleyebilen yaklaşımlar ve deneysel çalışmalarla elde edilen veriler sayesinde önemli bir düzeye ulaşılmıştır. Yangının teorik ve deneysel modellenmesi konusunda ülkemizde de benzer faaliyetler bulunmaktadır.

Yangının yeri ve büyüklüğü, tutuşan malzemelerin yapısı, konstrüksiyonun geometrisi, sistemin genel parametrelerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada tipik bir makine dairesi yangınında duman tahliyesinde kullanılan doğal havalandırma açıklık alanları ile insanların güvenli kaçış süresi tasarım kriterleri açısından incelenmiştir. Matematik modelin doğruluğunun gösterilmesi amacıyla önce örnek bir dikdörtgen hacim için yangın modellenmiş ve sonuçların deneysel verilerle uyumlu olduğu görüldükten sonra makina dairesindeki yangın modellenmiştir.

Çalışmamda izlenecek kaynak araştırmasında bana tecrübesiyle yol gösteren, her zaman fikirlerine danıştığım değerli tez hocam Prof. Dr Selma ERGİN'e teşekkürlerimi sunarım. Bana yardımlarını esirgemeyen, beni bu çalışmaya sevk eden Dz. Teğmen Konuralp YİĞİT'e, ve manevi destekleriyle daima benimle birlikte olan aileme ayrıca teşekkür ederim.

Aralık 2005

Ercan YILDIZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2.YANGIN MODELLERİ VE TASARIM KRİTERLERİ	10
2.1 Genel	10
2.2 Açığa çıkan duman miktarı	10
2.3 Duman Hareketlerine Yön Veren Kuvvetler	13
2.4 Yangının Evreleri	15
2.4.1 Zamana Bağlı Yangın Modeli	16
2.4.2 Tam Gelişmiş Yangın Modeli	17
2.5 Ele Alınan Değişkenler	18
2.5.1 Yangın Büyüklüğü	19
2.5.2 Doğal Havalandırma Açıklığı Alanı	19
2.5.3 Açık Kapı Etkisi	20
2.6 Tasarım Kriterleri	21
2.6.1 Güvenli Kaçış Süresi	21
2.6.2 Duman Tabakası Kalınlığı	22
2.6.3 Ortam Sıcaklığı ve Işınım Isı Akısı	23
3. MATEMATİK MODEL	24
3.1 Dikdörtgenler Prizması Hacmi	24
3.2 Malzeme ve Yöntem	26
3.3 Kabuller ve Sınır Şartları	31
3.4 Korunum Denklemleri	32
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	37
4.1 Dikdörtgenler Prizması Hacminde Sürekli Durum için Sıcaklık, Hız ve Basınç Dağılımları	37

4.2 Makina Dairesi'nde, Zamana Bağlı Durum İçin Sıcaklık ve Hız Dağılımları	41
4.3 Makina Dairesi'nde, Sürekli Durum İçin Sıcaklık, Hız ve Basınç Dağılımları	43
4.4 Kapı Açıklığının Havalandırma Alanına Etkisi	47
4.5 Kabullerin Sonuçlara Etkisi	48
4.6 Sonuçların Tartışılması ve Gelecek Çalışmalar için Öneriler	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53



KISALTMALAR

ASET	: Available Safe Egress Time
ASET-B	: Available Safe Egress Time - Basic
ASMET	: Atria Smoke Management Engineering Tools
BRE	: British Research Establishment
BYKHY	: Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
CFAST	: Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport
CFD	: Computational Fluid Dynamics
FIRE	: Fire Simulation Technique
NFPA	: National Fire Protection Association
NIST	: National Institute of Standards and Technology
P1	: P1 Işınım Modeli
RNG	: Renormalization Group Theory
RSET	: Required Safe Egress Time
SFPE	: Society of Fire Protection Engineers
SIMPLE	: Semi-Implicit Method for the Pressure Linked Equations

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. Yanıcıların cinsine göre yangının gelişme süresi değerleri ve sabitleri...	6
Tablo 1.2. Deneysel verilere göre malzemelerin kararsız halde yanma süreleri.....	7
Tablo 2.1. McCaffrey sabitlerinin aldığı değerler.....	13
Tablo 2.2. Yanıcıların cinsine göre gelişme süresi değerleri.....	18
Tablo 2.3. İki ayrı temiz alt bölge yüksekliği için denklem 2.1'den hesaplanan, üretilen duman miktarı değerleri.....	20
Tablo 3.1 Yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri.....	25
Tablo 4.1 Çeşitli yangın senaryoları için sayısal çözüm sonuçları.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Alev bölgesine her yönden hava girişi olan bir yangın.....	11
Şekil 2.2 : Alt ve üst bölgeler arasındaki geçiş.....	12
Şekil 2.3 : İç ve dış ortam basınçlarının yüksekliğe göre değişimi.....	14
Şekil 2.4 : Yangının evreleri.....	16
Şekil 2.5 : Zamana bağlı yangın modelinde ısı gücünün zamanla değişimi.....	17
Şekil 3.1 : Dikdörtgenler Prizması Şeklindeki Örnek Hacmin Boyutları.....	24
Şekil 3.2 : Dikdörtgenler Prizması Hacminin Yüzeylerindeki Hesaplama Ağı Dağılımının izometrik görünüşü.....	26
Şekil 3.3 : Ağ Örgüsü Kalitesi Kıstaslarından En-Boy Oranının Dağılımı.....	27
Şekil 3.4 : Model Olarak Alınan Makina Dairesi Hacmi-1.....	28
Şekil 3.5 : Makina dairesi hacmi-1'in yüzeylerindeki hesaplama ağı dağılımının izometrik görünüşü.....	28
Şekil 3.6 : Makina dairesi hacmi-2'nin yüzeylerindeki hesaplama ağı dağılımının izometrik görünüşü.....	29
Şekil 3.7 : 13000 DWT'lik bir genel kargo gemisinin Makina Dairesi görünüşü..	29
Şekil 4.1 : Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	37
Şekil 4.2 : Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki basınç dağılımı.....	38
Şekil 4.3 : Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki hız dağılımı.....	38
Şekil 4.4 : Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	39
Şekil 4.5 : Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki hız dağılımı.....	39
Şekil 4.6 : Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki basınç dağılımı.....	40

Şekil 4.7 :	Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 0.16 m ² iken, yüzeylerindeki sıcaklık dağılımı.....	40
Şekil 4.8 :	Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 0.16 m ² iken, yüzeylerindeki sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 4.9 :	Makina dairesi hacmi-1’de T=150 s sonunda yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m ² iken, X=8 m. kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 4.10 :	Makina dairesi hacmi-2’de T=200 s sonunda yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m ² iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	42
Şekil 4.11 :	Makina dairesi hacmi-1’de T=150 s sonunda yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m ² iken, X=8 m. kesitindeki hız dağılımı.....	42
Şekil 4.12 :	Makina dairesi hacmi-2’de T=200 s sonunda yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m ² iken, merkez boyuna kesitindeki hız dağılımı.....	43
Şekil 4.13 :	Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m ² iken, X=8 m. kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	43
Şekil 4.14 :	Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m ² iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	44
Şekil 4.15 :	Makina dairesi hacmi-2’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m ² iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	44
Şekil 4.16 :	Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m ² iken, X=8 m. kesitindeki hız dağılımı.....	45
Şekil 4.17 :	Makina dairesi hacmi-2’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m ² iken, merkez boyuna kesitindeki hız dağılımı.....	45
Şekil 4.18 :	Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m ² iken, X=8 m. kesitindeki basınç dağılımı.....	46
Şekil 4.19 :	Makina dairesi hacmi-2’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m ² iken, merkez boyuna kesitindeki basınç dağılımı.....	46
Şekil 4.20 :	Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, modelden kapı çıkarıldığında, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m ² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m ² iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	47

SEMBOL LİSTESİ

A	: Taban alanı
c_p	: Sabit basınçta özgül ısı
c_{11}, c_{12}, c_{22}	: Türbülans modeli sabitleri
d	: Alev bölgesi çapı
D	: Kütleli yayılma katsayısı, Toplam türev operatörü
E	: İç enerji
F_j	: j yönündeki kütle kuvveti
G	: Işınım şiddeti, Türbülans üretimi
g	: Yerçekimi ivmesi
H	: Bina yüksekliği
h	: Entalpi
J	: Difüzyon enerji akısı
k	: Isı iletim katsayısı, Türbülansın kinetik enerjisi
k_1, k_2	: Boyutsuz katsayılar
L	: Karakteristik uzunluk
m	: Açığa çıkan duman miktarı
m_{eg}	: Tahliye edilen duman miktarı
P	: Basınç
P_i, P_d	: İç ve dış basınç
P_n	: Nötr eksenindeki basınç
Q_c, Q_{maks}	: Yangın büyüklüğü
q_r	: Isı akısı
R	: Kimyasal reaksiyonla kütle üretimi, Işınım ısı akısı
Ra	: Rayleigh sayısı
S	: İkinci fazdan gelen kütle üretimi
S_h	: Hacımsal enerji üretimi
T	: Sıcaklık
t	: Zaman
t_g	: Yangının gelişme süresi
T_i, T_d	: İç ve dış sıcaklık
u	: Akışkanın hızı
u'	: Çalkantı hızı
$\bar{u}$	: Ortalama hız
u_j	: j yönündeki hız bileşeni
u_T	: Cidara komşu P noktasının hızı
x, y, z	: Kartezyen koordinatlar
x_i	: Kartezyen koordinatlar
y^+	: Boyutsuz cidara komşu hücre uzunluğu
Y_M	: Akışın genişlemesine bağlı disipasyon
y_p	: Cidara komşu P noktasının cidardan uzaklığı
z	: Temiz alt bölge yüksekliği
z_1	: Alev bölgesi yüksekliği
∇	: Diverjans operatörü
∂	: Kısmi türev operatörü
ΔP	: Basınç farkı

ΔT	: Sıcaklık farkı
α	: Işınım yutma katsayısı
β	: Isıl genleşme katsayısı
δ_{ij}	: Kronecker delta
ε	: Işınım yayma katsayısı, Türbülansın disipasyonu
κ	: Işınım azaltma katsayısı
μ	: Dinamik viskozite
ν	: Kinematik viskozite
ρ	: Yoğunluk
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
τ_{ij}	: Kayma gerilmesi tensörü
b	: Ağırlıkla ilgili
d	: Dış ortam
eff	: Efektif
eg	: Egzoz
g	: Gelişme periyodu
h	: Entalpi
i	: Serbest indis, iç ortam, i bileşeni
j	: j koordinatı, j bileşeni
k	: Kinetik enerji
n	: Nötr eksen
p	: p noktası, sabit basınç
r	: Radyasyon
t	: Türbülanslı

MAKİNA DAİRESİNDE ÇIKAN BİR YANGININ SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ

ÖZET

Yangın, insanın yaşamı boyunca karşısına çıkabilecek en büyük felaketlerden biridir. Buradan yola çıkarak yangın nedenleri ve etkileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların önemli bir bölümünü yangın deneyleri ve yangın simülasyonları oluşturur. Bu çalışmalarda esas amaç, insanların yangın esnasında, güvenli ve kolay bir şekilde tahliye edilebilmelerini sağlayacak şartların belirlenmesidir.

Bu çalışmada bir makina dairesinde çıkan yangın modellenerek sürekli ve zamanla değişen durumlar için sıcaklık, hız ve basınç dağılımları gösterilmiştir.

Tipik bir makina dairesi için, çeşitli yangın senaryoları ele alınarak, doğal havalandırmada duman tahliyesinde kullanılan açıklık alanlarının, tasarım kriterleri açısından yeterliliği, Fluent adlı CFD programı kullanılarak belirlenmiştir. Büyüklük olarak değişik yangınları temsil etmek üzere, sırasıyla; 0.5, 1.5 ve 6 MW'lık yangın büyüklükleri incelenmiştir.

Matematik modelin doğruluğunu göstermek amacıyla önce örnek bir dikdörtgenler prizması şeklindeki hacim için yangın modellenmiş ve sonuçların deneysel verilerle uyumlu olduğu görüldükten sonra makina dairesindeki yangın modellenmiştir.

Yangının, sürekli hale gelinceye kadar geçen zaman diliminde incelenmesi gereken kriterler bulunmaktadır. Bu kriterlerin başında güvenli kaçış süresi gelmektedir. Makina dairesinde alarm sisteminin faaliyete geçmesinden itibaren insanların alarmı algılamaları, tepki vermeleri ve mahalli terk etmeleri için geçen süre esas alınarak, zamana bağlı bir yangın modeli kullanılmıştır.

Yangın sürekli hale geçtikten sonra tasarım kriteri olarak, yangın söndürme ekiplerinin rahat çalışabileceği şartların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Bunun için ortam sıcaklığı, ısınım ısı akısı ve görüş mesafesi değerlerinin uygun olması gerekmektedir. Yangın büyüklüğüne bağlı olarak, doğal havalandırma açıklığı alanının yeterliliği de kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, ele alınan boyutlara bağlı olarak, Makina dairesinde 1.5 MW yangın büyüklüğü için 16 m² havalandırma açıklığında, 200 saniye içinde güvenli bir çıkışın olabileceği hesaplanmıştır.

NUMERICAL MODELLING OF FIRE IN AN ENGINE ROOM

SUMMARY

Fire is one of the most horrific disaster which a man would have during his life. For this reason, many studies were carried out about the causes and effects of the fire. Most of these studies are related with the fire experiments and fire simulations. The main aim of these studies to define the conditions which make the evacuation of people safe and easy during the fire.

In this study, the fire occurring in the engine room was modelled and the distributions of the temperature, velocity and pressure were calculated for the steady and unsteady conditions.

For a typical engine room, various fire scenarios are considered and the opening areas used to extract the smoke by natural ventilation are examined for design criterias by using the fluent CFD (Computational Fluid Dynamics) program. Heat release rates of 0.5, 1.5 and 6 MW are considered for different fire sizes.

To validate the mathematical model, firstly, the fire in a rectangular shaped room was investigated, and the results were compared with the experimental data found in the literature. After it was seen that there was a good agreement between the results, and then the fire in an engine room was studied.

There are various criterias for the time depended stage of the fire. The most important one of these criterias is the safe egress time criteria. In this study, the time depended fire model which is based on the time needed for people to realize and react to the fire alarm and to escape from the compartment in fire is used.

For the fully developed fire stage or for the steady state fire. a design criteria which controls the ambient conditions whether the fire extinction teams can work comfortably is used. For this purpose, it is necessary to have suitable ambient temperature, thermal radiation flux and visibility range values. It is also necessary to control the sufficiency of the natural ventilation opening area according to the fire size. For the engine room considered in this study it is calculated that the safe egress is possible in 200 seconds for 16 m² ventilation opening at 1.5 MW fire size.

1. GİRİŞ

Gemilerde çıkan yangınlar yüzünden her yıl inanılmaz boyutta maddi zararlar ve can kayıpları meydana gelmektedir. Bu yangınların temel nedeni donanımlı insan eksikliğidir. Karada çıkan yangınlarda söndürme için birçok yardımcı etken varken gemi yangınlarında ise söndürme işi gemi mürettebatının bilgisine ve yangın söndürme donanımının yeterliliğine bağlıdır. Gemilerde bulunan donanım ve çalışma şartları yangın çıkma olasılığını oldukça arttırmaktadır, özellikle makina dairesi yangın oluşmasına çok müsaittir.

Tezin çalışma alanı olarak seçtiğimiz makina dairesi yangınına etkileyen faktörlerin başında düzensizlik, sintine yağlarının temizlenmemesi, temizlik malzemesi olarak benzin gibi çok uçucu ve parlayıcı maddelerin kullanılması, sigara içilmesi, makina dairesinde tiner, benzin gibi maddelerin bulunmasını gösterebiliriz.

Gemi yangınlarında etkin müdahalenin yapılabilmesi için gemiler seyyar ve sabit olmak üzere çeşitli yangın söndürücüler ile donatılmıştır. Taşınabilir söndürücüler, küçük yangınlara karşı ve ilk müdahale için kullanılırlar. Makina dairesi ve ambarlarda çıkan yangınlar için sabit söndürücü sistemlerden yararlanılmaktadır. Bu sistemlerde genellikle karbondioksit ve köpüklü yangın sistemlerinden yararlanılır. Yangını boğarak söndüren sistemler karbondioksit ve köpüklü yangın söndürücüleridir. Karbondioksit gazı basınç altında çelik tüplerde saklanır, gemilerde 6, 12, 45 kg'lık tüplerde bulunur. Sıvı CO₂ havaya bırakıldığında hacmin 450 katı kadar genişler. Genişleyen CO₂ etrafın ısısını alarak basıldığı yerin ısısını düşürerek yangının ısı kaynağını ortadan kaldırır. Karbondioksit gazı havadan 1,5 kat ağır olduğu için bulunduğu mekânın tabanına yayılarak altta kalan yangının üzerini örter ve hava ile temasını keser. Bir de sprinkler sistemi diye bilinen basınçlı su bulunan bir tanka bağlı boru devresi ile geminin muhtelif kapalı yerlerine yayılmış basınçlı su devreleridir. Makina dairesinde, kamaralarda, mutfakta ve kontrol ünitelerinde kullanılan bu sistem, sıcaklığın 70°C'yi geçtiği anda devreye girer ve en az dakikada 5lt/m su dağıtacak şekilde oda hacmine göre hesap edilir [1].

Duman kontrolüyle ilgilenen tasarımcı için en büyük zorluk, zorlanmış taşınım ile duman tahliyesinde, dumanın biriktiği bölgenin üst noktasına yerleştirilecek fanın debisi ya da doğal taşınım ile tahliye yapılacaksa, yine üst noktada bırakılması gereken havalandırma açıklığının alanını belirlemektir. Her iki durumda da tasarım yapabilmek için, açığa çıkan duman miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Yangın sonucu açığa çıkan duman miktarı, konuyla ilgili deneysel çalışmalardan elde edilen ampirik bağıntılarla hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla tavandan tahliye edilmesi gereken en düşük debi miktarı hesaplanabilmekte ve bu değer, mekanik yöntemle duman tahliyesinde, fanın debisi olarak alınmaktadır.

Tavanda doğal havalandırma açıklığı kullanılması halinde ise tasarımın basitliğine tezat oluşturan bir ısı-kütle geçişi ve akış problemi ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki; verilen hacmin yüksekliğine ve yangının büyüklüğüne bağlı olarak, gerekli duman tahliyesini sağlayan optimum açıklık alanını hesaplamak mekanik havalandırma yöntemindeki gibi kolay olmamaktadır [2].

Bu çalışmada örnek bir hacim ele alınarak bir yangın senaryosu kurgulanmaktadır. Küçük, büyük yangınları temsil eden birer yangın büyüklüğü için, tasarım şartlarını sağlayan optimum doğal havalandırma açıklığı alanı, detayları 3. Bölüm’de verilen bir sayısal çözüm yöntemiyle (CFD), parametrik olarak elde edilmektedir.

Tasarım şartı olarak, tavanda biriken dumanın, makina dairesi tavanından itibaren belirli bir derinliğin altına inmemesi amaçlanmaktadır. Böylelikle insanların güvenli bir şekilde tahliye edilebileceği ve söndürme ekiplerinin görüş açısından kolaylıkla yangına müdahale edebileceği, dumandan arındırılmış bir temiz alt bölge oluşturulmaya çalışılmaktadır. Burada can güvenliği açısından güvenli kaçış süresi (safe egress time) önem kazanmaktadır. Öte yandan, yangının tüm parlama (flashover) evresine geçmemesi ve görüş mesafesinin de hiçbir zaman söndürme ekiplerinin müdahalesini engelleyecek kadar azalmaması, amaçlanan bir diğer husustur.

Tavanında doğal havalandırma açıklığı bulunan makine dairesinde, tasarım şartlarını sağlayan açıklık alanını belirleyen en önemli parametre, açığa çıkan ısı gücüdür (heat release rate). Yangın büyüklüğü şeklinde adlandırılan bu parametrenin değeri, mahallin kullanım amacı ve muhtemel yanıcıların cinsine bağlı olmaktadır. Yangın

önceden planlanmadığı, nerede ve ne zaman çıkacağı belli olmadığı için aynı hacim için bile, yılın farklı mevsimlerinde, hatta haftanın farklı günlerinde yangın yükü (fire load) ve buna bağlı olarak yangın büyüklüğü değişim göstermektedir.

Bu çalışmada, makina dairesini incelemek üzere, yangın büyüklüğü değişken alınmaktadır. Seçilecek yangın büyüklüğü değerinin, mahallin kullanım amacına ve yanıcı malzemelerin cinsine uygun olması gerekmektedir. Bu çalışmada küçük ve büyük yangınları temsil etmek üzere, makina dairesinde 3 farklı yangın büyüklüğü değeri için sonuç elde edilmiştir.

Bu çalışmada, örnek olarak bir dikdörtgenler prizması hacmi ele alınıp, matematik modelin doğruluğunun gösterilmesi amaçlanmaktadır. Daha sonra makina dairesi hacmine geçilerek, belli büyüklüklerde yangın senaryosu kurgulanıp, zamana bağlı ve sürekli rejimde çözümler elde edilmektedir.

Makina dairesi hacminin boyutları sabit alınmakta, ancak açık kapı ve doğal havalandırma açıklığı alanı değiştirilmektedir. Farklı büyüklüklerdeki havalandırma açıklıkları için elde edilen çözümler, duman tabakası yüksekliği açısından değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada yanma olayı ve kimyasal reaksiyonlar inceleme dışında tutulmaktadır. Hacme taban seviyesindeki hayali bir açıklıktan belirli bir hız ve sıcaklıkta duman girişi olduğu kabul edilmiştir. İçeride biriken gazlarının sıcaklığı yangının büyüklüğüne göre belirlendikten sonra sıcak havanın giriş hızı ters akış oluşturmaması için daha önce yapılmış deneysel verilere benzer bir büyüklük alınmıştır [3].

Eğer duman tabakasının yer seviyesinden olan yüksekliği belirli bir değerin altında ise, görüş mesafesinin azalması, duman nedeniyle oluşan korku ve panik gibi nedenlerle, genç bir insan için dahi hayati tehlike başlamış demektir. Yangının başlangıcından itibaren bu ana gelene kadar geçen sürenin, insanların güvenli bir şekilde tahliye edilebilmesine izin verecek şekilde, dumanın algılanması, duyurulması, insanların kaçabilmesi için gerekli sürelerin toplamından büyük olması gerekmektedir. Bu çalışmada, örnek bir yangın senaryosu için duman tabakası derinliği ve güvenli kaçış süresi değerleri değerlendirilmiştir.

Ortama katılan duman miktarının belirlenmesi noktasında, problem karmaşık bir hal almaktadır. Çünkü zehirleyici olduğu için tahliye edilmeye çalışılan dumanın kaynağı, sadece reaksiyona katılan oksijenin beraberindeki hava ile sınırlı değildir. Reaksiyona doğrudan katılan ve zehirleyicilerle dolu olan dumanın temasta olduğu taze havanın bir kısmı da (entrainment air) dumana karışmaktadır. Hatta bu şekilde dumanın içine katılan hava, duman hacminin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada oluşan duman miktarı, deneysel verilere dayanan ampirik bağıntılardan hesaplanmaktadır. Bu değer de, tahliye edilen duman miktarı ile karşılaştırılarak, açıklık alanının yeterli olup olmadığı belirlenmiştir[4].

Bu çalışmada; havalandırma alanı, taban alanının %0.2 ve %0.4'si şeklinde alınarak inceleme yapılmıştır. Açıklık alanı arttıkça tahliye edilen duman miktarının arttığı gözlenmiştir. En kritik durum olan büyük yangın ve küçük açıklık alanları için bile, tahliye edilen duman miktarının, tasarım kriterleri açısından yeterli olduğu görülmüştür.

Ele alınan yangın senaryoları içinde can güvenliği açısından en kritik olanında, güvenli kaçış süresinin bulunması için zamana bağlı çözüm elde edilmiş ve buna göre, bu çalışmada ele alınan en kritik durumda 150 saniye olarak hesaplanan kaçış süresi boyunca güvenli şartlar sağlandığı tespit edilmiştir.

En çok kabul gören kaynaklardan biri geniş kapsamı açısından National Fire Protection Association (NFPA) adlı organizasyonun yayınladığı kodlar olmaktadır. NFPA kodlarında, “Duman Kontrolü” gibi yangın güvenliğinin çeşitli alt başlıklarıyla ilgili bilgi yer almaktadır [5, 6]. Bir sivil toplum örgütü niteliğindeki NFPA'nın komite çalışmaları, konuyla ilgili çok sayıda insanın tavsiyesi şeklinde ele alınarak, Amerika'da yasal geçerliliği olan ilgili National Institute of Standards and Technology (NIST) standartlarının oluşturulmasında kullanılmaktadır [7]. İngiliz araştırma kurumları da, yangın güvenlik sistemleriyle ilgili çalışma ve yayınlar ortaya koymakta ve ilgili İngiliz standartlarının (British Standards Institution, BSI) oluşmasına katkıda bulunmaktadır [4,5]. Ülkemizde de yangın güvenliğiyle ilgili dernek, vakıf gibi sivil toplum örgütlerinin faaliyetleri, güvenliğiyle ilgili standartların geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır [1, 4].

Kullanılan parametreler arasında olası bir yangının büyüklüğü (heat release rate) ve yangın çıkan hacmin geometrik yapısıdır. Sadece bu iki değişken göz önüne alındığında bile, duman kontrolünde tüm yangınlara hitap eden genel bir çözüm olmadığı görülmektedir.

Yangın büyüklüğü yanma sonucunda açığa çıkan ısı gücünü ifade etmektedir. Yangının çeşitli evrelerinde açığa çıkan ısı değişmekte olup burada sözü edilen, açığa çıkan en büyük ısı olmaktadır. Çeşitli yanıcılar için yangın büyüklüğünün tespit edilmesine yönelik deneysel çalışmalar bulunmaktadır [8]. NFPA 92B’de çeşitli araştırmacıların elde ettikleri ısı akısı değerleri verilmektedir. Buna göre otel odası, ofisler ve endüstriyel hacimler için 200–300 KW/m² arasında değerler alınmaktadır. Genel olarak, birim yangın alanı için 500 KW/m² ısı akısı değeri alınması güvenlik tarafında bir yaklaşım olmaktadır [4, 5].

Bu çalışmada, duman kontrolüyle ilgili olarak, NFPA 92B ve NFPA 204M kodlarından yararlanılmıştır. NFPA 92B’de; genel tanımlar, tasarım kriterleri, çeşitli duman kontrol sistemleri ve bu sistemlerin tasarımında kullanılan hesap yöntemleri anlatılmaktadır. Çeşitli yangın modelleri için, üretilen duman miktarı ile ilgili deneysel verilere dayanan ampirik bağıntılar verilmektedir [10]. Bu çalışmada da, üretilen duman miktarı ile ilgili olarak, NFPA 92B’de verilen bağıntılar esas alınmıştır. NFPA 204M’de ise basınçlandırma yöntemi, doğal ve mekanik havalandırma ile duman tahliyesi üzerinde durulmaktadır.

Üretilen duman miktarı, büyük ölçüde yangının şiddetine ve duman tabakası alt seviyesinin, alev bölgesine olan mesafesine bağlı olmaktadır. Açığa çıkan duman miktarının zamanla değişiminin incelendiği çözümlerde, iki tür yangın modeli kullanılmaktadır [11]. Bunlardan ilki, yangın süresince, sabit bir kütsel debiyle duman üretimi gerçekleştiği kabul edilen kararlı yangın modelidir (steady fire). Zamana bağlı yangın modeli (unsteady fire) adını alan ikinci modelde ise, açığa çıkan ısı miktarının, belirli bir gelişme süresi boyunca (growth time), zamanın karesiyle doğru orantılı olduğu kabul edilmektedir. Bu sürenin sonunda ise yangın büyüklüğü sabit kalmaktadır. Yangın büyüklüğünün sabit bir değere ulaşması için geçen süre, malzemenin kolay ya da zor yanabilen cinsten olmasına göre değişmektedir. Tablo 1.1’de gösterilen NFPA 92B’nin; yavaş, orta, hızlı ve çok hızlı yanabilen malzemeler için gelişme sürelerinin değerleri verilmiştir. Buna göre

yanıcılığı en fazla olan malzemeler için, 75 s; en yavaş olanlar içinse 600 s sonunda, açığa çıkan ısı gücü en yüksek değerine ulaşmaktadır. Tablo 1.2 de, NFPA 92B’de gösterilen malzemelerin kararsız halde yanma süreleri için deneysel çalışmalarla bulunmuş katsayılar gösterilmektedir.

Tablo 1.1: Yanıcıların cinsine göre yangının gelişme süresi değerleri

Gelişme Hızı	KW/s ²	1055 KW’a Ulaşma Süresi
Çok hızlı	0.19	75
Hızlı	0.047	150
Orta	0.012	300
Yavaş	0.003	600

Bu çalışmada, zamana bağlı çözümlerde t^2 yangın modeli kullanılmaktadır. Akışın tam gelişmiş halindeki dağılımının incelendiği çözümlerde ise, zamana bağlı inceleme yapılmadığı için, açığa çıkan ısı miktarı sabit alınmıştır.

Tablo 1.2: Deneyisel verilere göre malzemelerin kararsız halde yanma süreleri

Test No:	Açıklama	α (kW/s ²)	t^2 (s)
15	Metal gardirop, 41.4 kg (toplam)	0.4220	10
18	Sandalye F33, 39.2 kg	0.006	140
19	Sandalye F21, 28.15 kg	0.0344	110
19	Sandalye F21, 28.15 kg	0.04220	190
21	Metal gardirop 40.8 kg (toplam)	0,0169	10
21	Metal gardirop 40.8 kg (toplam)	0,0733	60
21	Metal gardirop 40.8 kg (toplam)	0,1055	30
22	Sandalye F24, 28.3 kg	0,0086	400
23	Sandalye F23, 31.2 kg	0,0066	100
24	Sandalye F22, 31.9 kg	0,0003	150
25	Sandalye F26, 19.2 kg	0,0264	90
26	Sandalye F27, 29.00 kg	0,0264	360
27	Sandalye F29, 14.0 kg	0,1055	70
28	Sandalye F28, 29.2 kg	0,0058	90
29	Sandalye F25, 27.8 kg	0,2931	175
29	Sandalye F25, 27.8 kg	0,1055	100
30	Sandalye F30, 25.2 kg	0,2931	70
31	Sandalye F31, 39.6 kg	0,2931	145
37	Sandalye F31, 40.4 kg	0,1648	100
38	Sandalye F32, 51.5 kg	0,1055	50
39	Kontrplak gardirop 68.8 kg	0,8612	20
40	Kontrplak gardirop 68.32 kg	0,8612	40
41	Kontrplak gardirop 36.0 kg	0,6594	40
42	Kontrplak gardirop	0,2153	50
42	Kontrplak gardirop	1,1722	100
43	Kontrplak gardirop 67.62 kg	1,1722	50
44	Kontrplak gardirop, lateks boya 37.26 kg	0,1302	30
45	Sandalye F21, 28.34 kg	0,1055	120
46	Sandalye F21, 28.34 kg	0,5210	130
47	Sandalye ayarlanabilir metal sırt çerçeve 20.8 kg	0,0365	30
48	İskemle 11.52 kg	0,0344	90
49	İskemle 15.68 kg	0,0264	50
50	Sandalye metal çerçeve 16.52 kg	0,0264	120
51	Sandalye fiberglas 5.28 kg	0,0733	20
52	Kalıp plastik sandalye 11.26 kg	0,0140	2090
53	Sandalye metal çerçeve 15.5 kg	0,0086	50
54	İskemle metal çerçeve 27.6 kg	0,0042	210
55	Sandalye gurubu metal çerçeve 6.08	Never exceeded	50 kW
56	Sandalye ahşap çerçeve 11.2 kg	0,0042	50

Tasarımı model deneyleriyle yapmak mümkün olduğu halde, bunun pahalı bir yöntem olması ve deneylerden elde edilen çözümler, sadece benzer hacimler için geçerli olmaktadır. Deneysel çalışmalar yerine, sayısal çözüm yöntemleri kullanılarak da uygun sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu konuda bugüne kadar geliştirilen sayısal yöntemler, bölge modelleri ve alan modelleri şeklinde iki ana başlık altında toplanmaktadır.

Bölge modellerinde, kontrol hacmi genellikle iki ya da daha fazla bölgeye ayrılarak, akışın yönüyle ilgili bazı ön kabuller yapıldıktan sonra süreklilik ve enerji denklemleri her bir bölge için çözülmektedir. Tasarımcı için gerekli bilgiyi hızlı ve pratik bir şekilde vermesi bu yöntemin iyi yanıdır. Ancak mimari yapı değişikçe ve boyutlar büyüdükçe akışın yönüyle ilgili kabuller, geçerliliğini yitirebilmektedir. Örneğin önemli bir parametre olan bina yüksekliği arttıkça, yükselen gazların erken soğumasının yol açtığı katmanlaşma (stratification) oluşmaktadır. Bu durumda bölge modellerinin ön gördüğü tavandaki yatay akış (ceiling jet flow) gerçekleşmemekte ve korunum denklemleri hatalı kabullere göre çözülmüş olmaktadır. 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. [11,12].

Alan modellerindeki diferansiyel yaklaşım yerine, bölge modellerinde yığın çözüm (bulk approach) yapılmaktadır. Ortaya çıkışı 1980'li yıllara dayanan bölge modelleri, günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir.

FAST (A Model for Fire Growth and Smoke Transport) bölge modeli kullanılarak yapılan bir çalışmada, bir malzeme deposunda çeşitli yangın senaryoları ele alınmıştır [2]. Yangının konumu ve büyüklüğü, yangının gelişme süresi, rüzgârın etkisi ve tavanda yer alan açıklığın alanı parametrik olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda en kötü şartlardaki yangın senaryosu için bile tasarım şartları sağlanmıştır.

Kapalı hacimlerde doğal duman tahliyesinin incelenmesinde alan modellerinin kullanılması yaygın bir yöntemdir [13]. Bu çalışmada kullanılan CFD analiz programında (FLUENT); süreklilik, momentum ve enerji denklemleri, sonlu

hacimler yöntemi ile ayrıklaştırılmaktadır [14]. Bu korunum denklemlerine ilave olarak, türbülanslı akış ve ısı iletimle ısı geçişi için de model denklemleri çözülmektedir. [14]. Alan modellerinde akışla ilgili ön kabuller yapılmamakta, bunun yerine süreklilik, momentum ve enerji denklemleri bir arada çözülmektedir. Bunun için kontrol hacmi çok sayıda alt bölgeye ayrılarak, korunum denklemleri diferansiyel şekliyle çözülmektedir. [14].

CFD ile çözüm elde etmek için sınır şartları girilerek, başlangıç değerleri atanmakta ve iterasyonla çözümün yakınsaması beklenmektedir. Duman hareketlerinin alan modelleriyle incelendiği problemlerde en önemli sınır şartı, doğal havalandırma açıklığındaki basınç değeridir. Açıklığın her iki tarafı arasındaki basınç farkı çözümü son derece etkilemektedir. Basınç farkının kritik bir değerden küçük olması halinde, hacmin içine doğru geri akış meydana gelebilmektedir. Birçok çalışmada, tavandaki doğal havalandırma açıklığı ile dış ortam arasındaki akışın iki yönlü olması durumu ele alınmıştır [4]. Geri akış oluşmasının nedeni, iç ortamın yeterince sıcak olmaması nedeniyle çekişin azalmasıdır. Dolayısıyla iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça, geri akış meydana gelmesi ihtimali de artmaktadır. Geri akış, duman tabakasını rahatsız ederek, temiz bir alt bölge oluşumunu engellemesi nedeniyle, istenmeyen bir durumdur.

Alan modellerindeki alt bölgelerin sayısı artırıldıkça ve her bir bölgenin boyutu küçüldükçe, çözüm hassasiyeti artmaktadır. Buna karşılık olarak çözüm zamanı ve gerekli bilgisayar kapasitesi artmaktadır. Günümüzde bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve alan modelleriyle çok hassas sonuçlar alınabilmesi için yeterli olabilmektedir. Alan modellerinin bugün geldiği noktada, alt bölge sayısının yüz binler mertebesinde olduğu çözümler iyi bir masaüstü bilgisayarla bile kolaylıkla alınmaktadır. Bu durumda alt bölgelerin artık “hücre” adını aldığı ve bu çalışmada da kullanılan CFD (Computational Fluid Dynamics) programı ile analiz yapılmaktadır. Doğrudan duman kontrolüyle ilgili ya da genel olarak ısı ve akış problemlerine yönelik ticari CFD analiz programları bulunmaktadır [4].

2. YANGIN MODELLERİ VE TASARIM KRİTERLERİ

Bu bölümde, yangının karakteristik özelliklerinden bahsedilmektedir. Dumanın tanımı, yapısı ve insan sağlığı üzerindeki etkileri anlatılarak dumana maruz kalma süresinin insan hayatı açısından önemi vurgulanmaktadır. Açığa çıkan duman miktarını belirleyen, yangın modeli ve yangın büyüklüğü konuları ele alınmıştır.

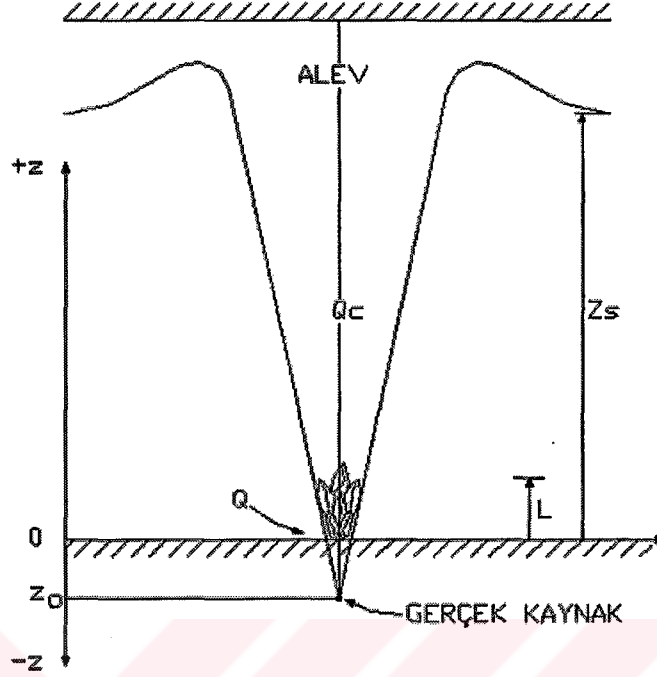
Duman hareketlerine yön veren kuvvetlerden bahsedildikten sonra, tasarımda dikkate alınan hususlar incelenmiş ve çözüm yöntemlerinden bahsedilmiştir.

2.1 Genel

Malzemenin yanması sırasında, havada uçuşabilen katı, sıvı ve gaz tanecikler ortaya çıkmaktadır. Alev bölgesinden (fire plume) etrafa yayılan bu kütlenin bünyesine dışarıdan taze hava katılımıyla (air entrainment) oluşan karışım, duman adını almaktadır [5].

2.2 Açığa Çıkan Duman Miktarı

Çalışmada açığa çıkan duman miktarı yangının karakteristiğine göre değişiklik arz etmektedir. Örneğin açıklığı sayıca ve geometrik olarak fazla olan denemelerde ve yanıcının malzeme özelliği ve miktarı değiştiğinde ortaya çıkan duman miktarı deneysel verilerden çıkmış olan ampirik formüllerin çeşitli farklılıklar göstermesine yol açmaktadır.[11].



Şekil 2.1: Alev bölgesine her yönden hava girişi olan bir yangın

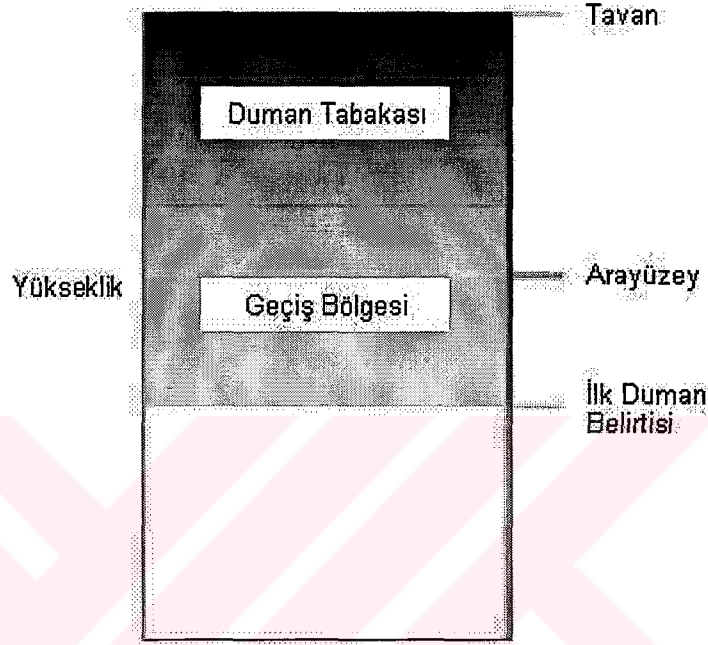
Modellemede kullanılacak tasarım, dumanın belirli bir kritik yüksekliğin altına inmemesi sağlanarak gerçekleştirilmektedir. Bunun için sıcak duman gazları, tavanda bırakılan bir açıklıktan doğal havalandırma ile ya da bir fanın kullanıldığı mekanik yöntemlerle tahliye edilmektedir [4]. Bu noktada, duman tabakasının altında temiz bir alt bölge sağlanması için, tavandaki açıklıktan tahliye edilmesi gereken duman miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Yangında açığa çıkan duman miktarının belirlenmesinde model deneyleri esas alınmaktadır. NFPA 92B’de, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi açığa çıkan duman miktarı, $\dot{m}_p$;

$$\dot{m}_p = 0.071 \cdot \dot{Q}_c^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1.92 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_c \quad (2.1)$$

Şeklinde verilmektedir. Şekil 2.1 de verilen tabloda $z > L$ için verilen denklem yukarıdaki gibi olmalıdır. Denklem 2.1’de, açığa çıkan duman miktarının, yangın büyüklüğünün yanında duman tabakası ile alev bölgesi arasındaki temiz hava

tabakası kalınlığına da (clear height) bağlı olduğu görülmektedir. Öyle ki duman tabakası, alev bölgesinin hemen üstüne kadar geldiğinde denklemin sağ tarafındaki ilk terim, sıfır değerini almaktadır. Bu terim alev bölgesine sürüklenen katılan hava miktarını temsil etmekte ve alev bölgesinin üzerindeki temiz hava tabakası kalınlığına bağlı olarak artmaktadır. Alev bölgesi tamamen dumanla kaplandığında, doğal olarak emilimle dumanın içine katılan hava miktarı sıfır olmaktadır.



Şekil 2.2: Alt ve üst bölgeler arasındaki geçiş

Duman tabakası kalınlığının tam olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bunun nedeni Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, hacmin üst kısmında yer alan duman tabakası ile alttaki temiz bölgenin birbirinden keskin sınırlarla ayrılmamasıdır. Bu çalışmada, duman tabakası kalınlığının belirlenmesinde kütleli oranların dağılımından yararlanılmıştır. Bunun için ele alınan hacmin tabanına paralel olarak alınan çeşitli kesitlerde, dumanın kütleli oranı, sayısal değer olarak elde edilmiştir. Ayrıca cepheden ve yandan alınan çeşitli kesitlerde, dumanın kütleli oranı için eş yükseklik eğrileri (contours) incelenmektedir. Sayısal çözüm sonuçları da Şekil 2.2’dekine benzer bir dağılım göstermektedir. Denklem 2.2 eşitlikte yangın büyüklüğünün duman giriş sıcaklığı değeri olarak verilebilmesi için sırasıyla 0.5, 1.5, 6 MW’lık yangınlar için %70 verimde sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Bu değerleri belirlemek için Tablo 2.1’de McCaffrey sabitlerine göre giriş sıcaklıkları bulunmuştur.

Tablo 2.1: McCaffrey Sabitlerinin Aldığı Değerler

BÖLGE	$z/Q^{2/5} [m/kW^{2/5}]$	η (McCaffrey sabiti)	κ (McCaffrey sabiti)
Devamlı	< 0.08	$\frac{1}{2}$	$6.8 [m^{1/2}/s]$
Aralıklı	$0.08 - 0.2$	0	$1.9 [m/(kW^{1/5}s)]$
Alev (plume)	> 0.2	$-1/3$	$1.1 [m^{4/4}(kW^{1/3}s)]$

$$\Delta T_0 = \left(\frac{\kappa}{0.9 \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 \cdot \left(\frac{z}{Q^{2/5}} \right)^{2\eta-1} \cdot T_\infty \quad (2.2)$$

2.3 Duman Hareketlerine Yön Veren Kuvvetler

Dumanın hareketi bir akış ve ısı-kütle geçişi problemi şeklinde ele alınmaktadır. Ancak duman akışı problemi, konunun “Duman Kontrolü” adlı ayrı bir başlık altında incelenmesine neden olan bazı özelliklere sahip olmaktadır. Bunların başında duman akışına yön veren basınç farklarının, diğer problemlerde karşılaşılanlara göre çok küçük olmasıdır. Öyle ki, birkaç Pascal basınç farkı bile akışın önemli ölçüde etkilenmesine sebep olabilmektedir.

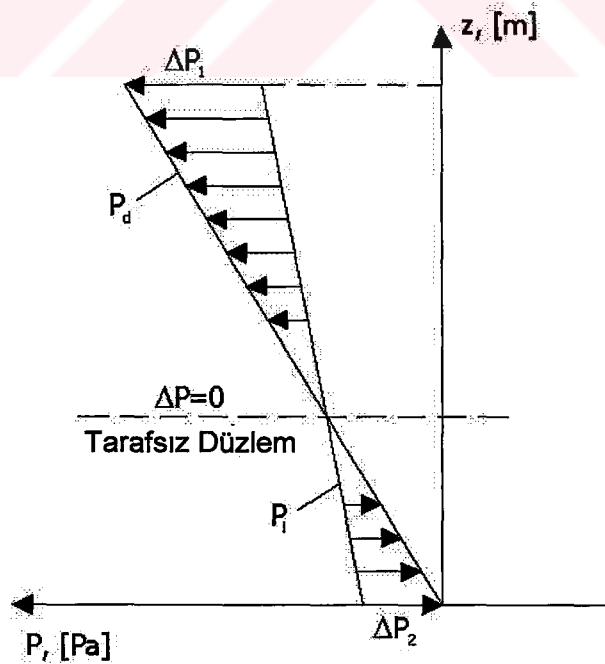
Tavanında yatay bir doğal havalandırma açıklığı bulunan kapalı hacimlerdeki duman hareketlerinin incelendiği birçok çalışmada, açıklık ile dış ortam arasındaki akışın iki yönlü olması durumu ele alınmıştır [15]. Bu nedenle, duman hareketlerinin alan modelleriyle incelendiği problemlerde, en önemli sınır şartı doğal havalandırma açıklığındaki basınç değeri olmaktadır. Açıklığın iki tarafı arasındaki basınç farkının kritik bir değerden küçük olması halinde, hacmin içine doğru geri akış meydana gelebilmektedir. Geri akış oluşmasının nedeni, iç ortamın yeterince sıcak olmaması

nedeniyle, çekişin yetersiz kalmasıdır. Dolayısıyla iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça, geri akış meydana gelmesi ihtimali de artmaktadır.

Tavandan içeri taze hava girişi, duman tabakasını rahatsız ederek, temiz bir alt bölge oluşumunu engellediği için istenmeyen bir durumdur. Bunu önlemek için, bir miktar duman birikip basınç ve sıcaklık kritik değerlerin üzerine çıktıktan sonra, havalandırma açıklıklarının açık konuma gelmesi sağlanmaktadır.

Açıklıklardaki basınç değerlerini, dolayısıyla duman hareketini belirleyen etkenler; sıcak gazların kaldırma kuvveti, baca etkisi, yanma sonu gazlarının genişlemesi ve rüzgâr basıncı şeklinde sıralanabilmektedir. Bu çalışmada ele alınan problemin sayısal çözümünde, bu kuvvetlerin etkisi, açıklıklardaki sınır şartlarının belirlenmesinde kendini göstermektedir. Açıklıklardaki basınç değerlerinin doğru girilebilmesi için yangın durumundaki ortam sıcaklığı göz önünde bulundurularak yanmış gazların kaldırma kuvveti dikkatle ele alınmaktadır. Büyük açıklıklara sahip hacimlerde yanmış gazların genişlemesi etkili olmamaktadır. Rüzgâr hızına ve akış yönüne bağlı olarak değişen rüzgâr basıncı ise bu çalışmada hesaba katılmamıştır.

Özellikle yüksek yapılarda, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı, dolayısıyla yoğunluk farkı, yüksekliğe göre değişen bir basınç farkı yaratmaktadır.



Şekil 2.3: İç ve dış ortam basınçlarının yüksekliğe göre değişimi

Şekil 2.3'te verilen bu basınç farkı, hacmin alt kısımlarında bina içine, üst kısımlarında ise bina dışına doğru bir hava akışına sebep olmaktadır. İç ve dış ortam basınçlarının eşit olduğu bir yükseklikte hava akışı gerçekleşmemekte ve bu noktada alınan yatay kesit "Nötral Düzlem" adını almaktadır. Baca etkisi olarak bilinen bu olay, yangın sırasında, sıcak gazların kaldırma kuvveti için de geçerli olup her iki durumda, iç ve dış ortam arasındaki basınç farkı aynı bağıntıyla ifade edilmektedir. Ancak duman hareketi problemlerinde sıcak gazların kaldırma kuvvetinin yarattığı basınç farkı, baca etkisinin yarattığı basınç farkından çok daha büyük olduğundan, tasarımında öncelikle göz önünde bulundurulmaktadır.

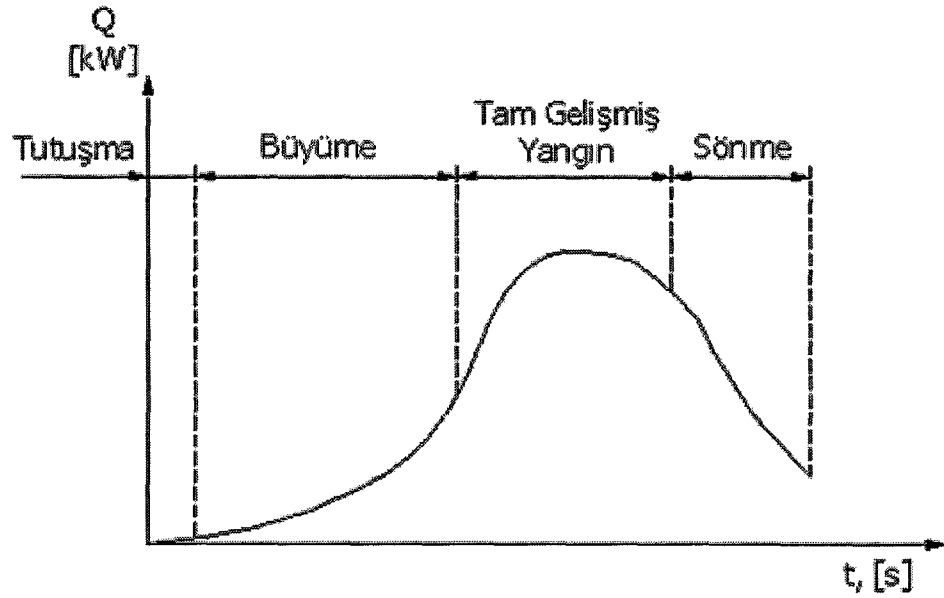
$$\Delta P = \rho_i g (z - z_n) \frac{T_i - T_d}{T_d} \quad (2.3)$$

Burada n, i ve d indisleri sırasıyla nötr düzlem, iç ortam ve dış ortamı belirtmektedir. Herhangi bir yükseklikte iç ve dış ortam arasındaki basınç farkını bulmak için nötral düzlemin konumunun bilinmesi gerekmektedir. Ancak Şekil 2.3'te verilen ΔP_1 ve ΔP_2 değerlerinin toplamını bulmak için bu bilgiye gerek kalmamaktadır.

Denklem 2.3, yangın sırasında sıcak gazların kaldırma kuvveti nedeniyle oluşan basınç farkını hesaplamada kullanılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan 2.75 m yükseklikteki hacmin altında ve üstünde bulunan açıklıklar arasındaki basınç farkını bulmak için bu denklem kullanılmıştır. Ancak gerçekte açıklıklardan hava akışı, bu denklemle bulunan basınç farkının, 1'den küçük bir akış katsayısı ile çarpılması ile elde edilmektedir. Açıklık alanına ve geometrisine bağlı olan bu katsayı, 0.6-0.7 arasında değişmekte olup, bu çalışmada 0.65 olarak alınmıştır. İç ve dış ortam sıcaklıklarının sırasıyla 370 K ve 270 K olması halinde, ideal gaz denkleminde hesaplanan yoğunluk değeri kullanılarak, $\Delta P=5$ Pa değeri elde edilmektedir. Yangın olmadığı duruma karşılık gelen 300 K iç ortam sıcaklığı için ise, 2 Pa basınç farkı hesaplanmaktadır.

2.4 Yangının Evreleri

Kontrolsüz yanma olarak bilinen yangın, Şekil 2.4'te görülen çeşitli evrelerden oluşmaktadır [8].



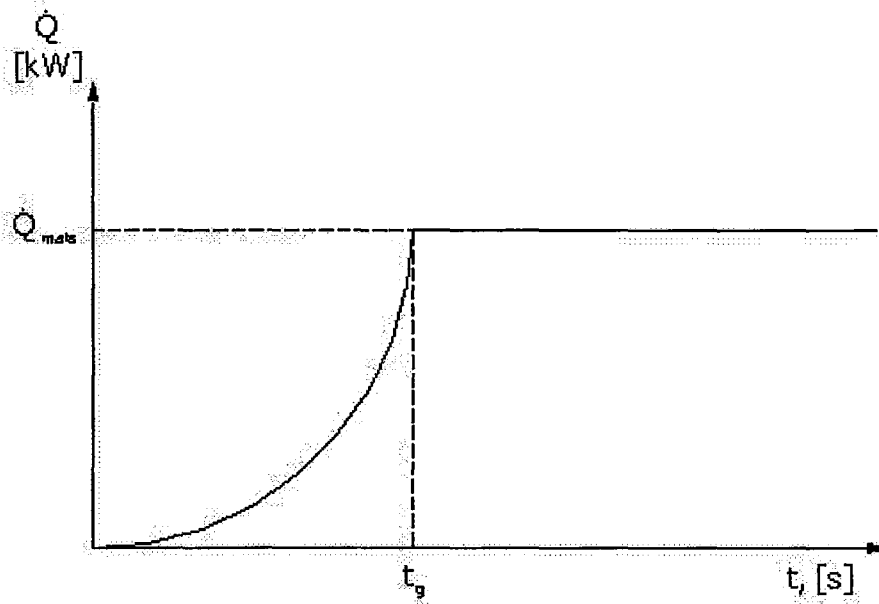
Şekil 2.4: Yangının evreleri

Görüldüğü gibi yangın, sırasıyla; tutuşma, büyüme, tam gelişmiş yangın ve sönme aşamalarından oluşmaktadır. Ortam sıcaklığının artması engellenemediği takdirde, yangının büyüme evresinden tam gelişmiş yangın evresine geçişinde, tüm parlama denilen ani bir sıcaklık ve basınç artışı meydana gelmektedir.

Bu çalışmada tasarım amaçlarına bağlı olarak iki ayrı yangın modeli kullanılmaktadır. Güvenli kaçış süresinin elde edildiği yangın senaryosunda, zamana bağlı yangın modeli kullanılmaktadır. Böylece tutuşmadan itibaren kaçış için ne kadar süre bulunduğu tespit edilmektedir. Tam gelişmiş yangın modelinde ise, insanların tahliye edilmesinden sonra ortamın; görüş mesafesi, sıcaklık ve ısınım ısı akısı açısından söndürme ekiplerinin çalışabilmeleri için uygunluğu incelenmektedir.

2.4.1 Zamana Bağlı Yangın Modeli

Zamana bağlı yangın modelleri arasında en çok kabul gören, NFPA 92B’de tanımlanmış olan t^2 yangın modelidir. Şekil 2.5’te, t^2 yangın modelinde, ısı gücünün zamanla değişimi görülmektedir. Buna göre yangının büyüme evresinde, ısı gücünün zamanın karesiyle doğru orantılı olarak arttığı kabul edilmektedir. Sabit ısı gücüne ulaşılan kadar geçen süre, yangının gelişme süresi (growth time) olarak bilinmektedir.



Şekil 2.5: Zamana bağlı yangın modelinde ısı gücünün zamanla değişimi

Tablo 2.2’de yanıcı malzemelerin özelliklerine bağlı olarak dört farklı gelişme süresi tarif edilmektedir. Buna göre yanıcılığı en fazla olan malzemeler için, 75 s; en yavaş olanlar içinse 600 s sonunda, açığa çıkan ısı gücü en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu çalışmada zamana bağlı incelemelerde, yine güvenlik tarafında kalacak şekilde hızlı gelişen yangın kabulü yapılmıştır.

Tablo 2.2: Yanıcıların cinsine göre gelişme süresi değerleri

Yanıcıların Cinsine Göre Yanma Hızı	Yangının Gelişme Süresi, [s]
Yavaş	600
Orta	300
Hızlı	150
Çok Hızlı	75

2.4.2 Tam Gelişmiş Yangın Modeli

Bir diğer yangın modeli de tam gelişmiş yangın modeli (steady fire) olarak bilinmektedir. Bu modelde, ısı gücünün, tutuşmadan itibaren maksimum yangın büyüklüğü değerinde ve sabit olduğu kabul edilmektedir. Bu kabul;

- Tutuşma ve büyüme süresinin çok kısa olduğu sıvı yangınlarında,

- sprinkler sisteminin faaliyete geçmesinden sonra açığa çıkan ısıнын sabit kaldığı durumda ve
- Yanıcılardan birinin sönüp diğerinin yanmaya başladığı ve böylece yangın büyüklüğünün sabit kaldığı kabul edilen

yangınlarda geçerli olabilmektedir. Bu çalışmada, can güvenliği açısından fazla risk bulunmayan depo gibi hacimlerin ele alındığı yangın senaryolarında tam gelişmiş yangın modeli kullanılmaktadır. Burada duman kontrol sistemi tasarımında öncelikli olarak maddi zararın önlenmesi gelmektedir. Bu nedenle yangının gelişme süresi yerine, tam gelişmiş yangın aşamasında, söndürme ekiplerinin müdahale edebilmeleri için gerekli şartların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir [4].

Tam gelişmiş yangın kabulünün geçerli olabilmesi için bazı kabuller yapılmaktadır. Örneğin depoda bulunan malzemelerin yığınlar halinde değil, birbirlerinden yeterince mesafelerle ayrılmış olarak yerleştirildikleri kabul edilmiştir. Böylece yanmakta olan malzemedan, komşu yanıcılara ısıyıyla geçen ısı akısı kritik değerin altında kalmaktadır. Bu kabul, komşu yanıcıların da tutuştuğu anda, yangının kaynağı olan yerde sönme aşamasına gelmesi şeklinde de yapılabilmektedir. Böylece sürekli büyüyen bir yangın yerine sabit yangın büyüklüğü kabulü yapılabilmektedir [4,10].

Tam gelişmiş yangın kabulünün geçerli olması için, hacim içinde sprinkler bulunduğu da düşünülebilir. Ancak sprinkler sisteminin duman tabakasının tavanda birikmesini önlemesi yönündeki düşünceler nedeniyle, bu kabulden kaçınılmaktadır.

2.5 Ele Alınan Değişkenler

Konstrüksiyonla ilgili değişkenler; yükseklik, açıklıkların konumu ve büyüklükleri ve yapı malzemeleri şeklinde sıralanabilmektedir. Öte yandan bina kullanım amacına bağlı olarak; yangın büyüklüğü, muhtemel yanıcıların cinsi ve yangın yükü gibi değişkenler belirlenmektedir. Bunların dışında yangının konumu, dış hava şartları, rüzgâr hızı ve yönü gibi parametreler de tasarıma etki etmektedir.

Tüm bu değişkenlerin etkisini incelemek, bu çalışmanın amacı ve kapsamı içinde yer almamaktadır. Bu nedenle ele alınan değişkenlerin dışındaki parametreler, tasarımı güvenlik tarafında etkileyecek şekilde seçilmektedir.

2.5.1 Yangın Büyüklüğü

Yangında açığa çıkan ısı zamana bağlı olarak değişmektedir. Yangın büyüklüğü, açığa çıkan en büyük ısı gücü değerine karşılık gelmektedir.

Yangın büyüklüğü yanıcıların cinsine bağlı olarak değişmektedir [8]. Masa, sandalye, yatak gibi ahşap mobilyalar için 1-4 MW arasında ısı gücü açığa çıkmaktadır. Bu değer bir otomobilin yanması halinde 8 MW'a ulaşabilmektedir.

NFPA 92B'de çeşitli araştırmacıların elde ettikleri ısı akısı değerleri verilmektedir. Buna göre otel odası, ofisler ve endüstriyel hacimler için 200-300 KW/m² arasında değerler alınmaktadır. Genel olarak, birim yangın alanı için 500 KW/m² ısı akısı değeri alınması güvenlik tarafında bir yaklaşım olmaktadır [4].

Sprinkler sisteminin mevcudiyeti tasarım yangın büyüklüğü değerini önemli ölçüde etkilemektedir. Sprinkler sistemiyle mahalde çıkan bir yangın örneğinde 0.5MW yangın büyüklüğü alınabilirken, sprinkler olmaması halinde bu değer 2.5 MW'a çıkmaktadır [4].

Bu çalışmada, küçük ve büyük yangınları temsil etmek üzere, iki farklı yangın büyüklüğü ele alınmış ve sırasıyla; 0.5, 1.5 ve 6 MW'lık 3 ayrı yangın büyüklüğü için inceleme yapılmıştır.

2.5.2 Doğal Havalandırma Açıklığı Alanı

Doğal havalandırma açıklığını kullanmayı tercih eden tasarımcı için en büyük zorluk, tavanda bırakılması gereken havalandırma açıklığının alanı olmaktadır. Tam gelişmiş yangın modeline göre hesaplanan bu açıklığı bulabilmek için açığa çıkan duman miktarının bilinmesi gerekmektedir. Üretilen duman miktarının hesaplanması Bölüm 2.3'te verilmiş olup, bu çalışmada denklem 2.1'den hesaplanan duman miktarı değerleri kullanılmaktadır. Tablo 2.3'de, temiz alt bölgenin yerden yüksekliğinin 1.8

m ve 2.1 m olması durumları için denklem 2.1'den hesaplanan, üretilen duman miktarı değerleri aşağıda verilmektedir.

Tablo 2.3: İki ayrı temiz alt bölge yüksekliği için denklem 2.1'den hesaplanan, üretilen duman miktarı değerleri

	Temiz Alt Bölge Yüksekliği	
Yangın Büyüklüğü	1.8 m için	2.1 m için
500	2.004 kg/s	2.395 kg/s
1500	3.938 kg/s	4.501 kg/s
6000	11.115 kg/s	12.08 kg/s

Bu çalışmada doğal havalandırma açıklığının yeterliliği, Tablo 2.3'deki değerlerle kontrol edilmektedir. Buna göre, doğal havalandırma açıklığından çıkan kütleli debi Fluent programından alınarak, bu değerlerle karşılaştırılmaktadır. Fluent'ten alınan değerin büyük olması halinde, temiz alt bölge yüksekliğinin, Tablo 2.3'dekinden daha büyük olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, doğal havalandırma açıklığı, bu yangın senaryosu için yeterli olmaktadır. Bu sonucu kontrol etmek üzere, çeşitli kesitlerde, dumanın hava içindeki kütleli yüzdesinin dağılımı görsel olarak incelenmektedir.

Pratikte, taban alanının %0.4-%0.5'i civarında alınan doğal havalandırma açıklığı, bu çalışmada; %0.2, %0.4 şeklinde alınarak inceleme yapılmıştır.

Uygulamada, doğal havalandırma açıklığı, çok sayıda küçük açıklıklar şeklinde olmaktadır. Bu çalışmada, tavanın çeşitli noktalarındaki küçük açıklıkların toplamını temsil etmek üzere, merkezdeki tek bir büyük açıklık kullanılmıştır.

2.5.3 Açık Kapı Etkisi

Açık kapı olması, çalışmada havalandırma açıklığının yerini alması şeklinde düşünülebilir. Normalde yangınlar havalandırma kontrollü olduğundan, hacme taze hava girişi engellenerek, boğma etkisiyle yangın söndürülebilmektedir. Fakat bu çalışmada yangın havalandırma kontrollü olmadığı düşünülüp, olabilecek en kötü durumu incelememize olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada ele alınan makina dairesi hacmin sınırında, 0.8x2 m² boyutunda bir kapı bulunmaktadır. Bu kapının kapalı ve açık olduğu durumlar incelenerek sonuçlara etkisi irdelenmiştir.

2.6 Tasarım Kriterleri

Tasarım kriterleri, mahallin kullanım amacına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

2.6.1 Güvenli Kaçış Süresi

Tasarımda kaçış süresinin ön planda olduğu durum, dumana maruz kalan insan sayısının en fazla olduğu, atrium, alış-veriş merkezi, konferans salonu gibi geniş hacimlerde meydana gelen yangınlardır. Bu durumu incelemek üzere, 6 MW yangın büyüklüğü değerleri için zamana bağlı inceleme yapılmaktadır.

İnsanların güvenli bir şekilde tahliye edilebilmeleri için gerekli süre değeri, gerekli minimum kaçış süresi (**Required Safe Egress Time**) olarak bilinmektedir. RSET değeri; yangının başlaması, algılama ve alarm sistemlerinin çalışması, yangının insanlar tarafından fark edilmesi ve kaçış yollarının durumuna göre çıkışa ulaşılması için gereken sürelerin toplamı olarak alınmaktadır.

RSET değeri, hacmin yapısına, yanıcıların cinsine ve mevcut duman kontrol sistemine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle RSET değerinin tespit edilmesi ayrı bir çalışma gerektirmekte, hatta bunun için özel olarak geliştirilmiş bilgisayar programları bulunmaktadır [4]. 2002 yılında yapılan bir çalışmada, RSET değerinin tespit edilmesi için detaylı bir çalışma yapılmış ve 192 m x 240 m x 16 m ebatlarındaki büyük bir depoda çıkan 36 MW'lık çok büyük bir yangında, güvenli kaçış süresi hesaplanmıştır [2]. Buna göre algılama ve ikaz sisteminin faaliyete geçmesi için yaklaşık 280 s ve insanların yangını fark etmelerinden itibaren kaçmak için 80 s süreye ihtiyaç duyacakları hesaplanmış, böylece en kötü şartlardaki yangın senaryosu için bile tasarım şartları sağlanmıştır. Oysaki aynı depo için, o ülkedeki standartlara göre, mevcut konstrüksiyon, yangın güvenliği açısından yetersiz bulunmuştur. Sonuç olarak, duman kontrol sisteminin yeterliliğinin sayısal yöntemle

incelenmesi, optimum sistemin tayin edilmesini ve gerekenden fazla tedbir alınmasının engellenmesini sağlamaktadır.

Duman tabakasının altındaki temiz alt bölge yüksekliğinin (clear height), kritik bir değere düşmesine kadar geçen süre, mevcut olan güvenli kaçış süresi (**Available Safe Egress Time**) olarak bilinmektedir.

İnsanların dumana maruz kaldıklarında verdikleri tepki ve hareket kabiliyetlerinin ölçülmesine yönelik araştırmalarla, ASET değerini artıracak yöndeki duman altında hareket edebilme süresi tespit edilmeye çalışılmaktadır. Ancak tasarımda, dumanın neden olduğu panik nedeniyle, araştırma sonuçlarından elde edilen bu süre değerleri, güvenlik katsayılarıyla azaltılmaktadır. Duman altında ilerlenebilen mesafe, insanların yaşına ve cinsiyetine bağlı olarak değişmektedir [12]. Dolayısıyla bu mesafenin tespit edilmesinde, kullanıcıların yaşı ve cinsiyeti önem kazanmaktadır.

Can güvenliği açısından tasarım kriteri olarak:

$$RSET < ASET \quad (2.4)$$

şartının sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınan örnek hacimde, can güvenliği açısından en kritik yangın senaryosu için ASET değeri verilmekte ve hacmin kullanım amacına bağlı olarak bu sürenin yeterliliği değerlendirilmektedir.

2.6.2 Duman Tabakası Kalınlığı

Patlayıcı malzeme bulunmayan bir depoda çıkan bir yangında, insan sayısı az olduğu için can güvenliği açısından fazla risk bulunmamaktadır. Bu durumda tasarım kriteri yangının en az maddi zararlarla söndürülmesidir. Bunun için söndürme ekiplerinin rahatça yangına müdahale edebilecekleri, temiz bir alt bölge sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada doğal havalandırma açıklığı alanının yeterliliği, temiz alt tabaka kalınlığına göre değerlendirilmiştir. Zamana bağlı olmayan çözümlerden elde edilen sonuçlarda, temiz alt bölge tabakası kalınlığı, insan boyunun üzerinde olacak şekilde, 2.1 m'nin üzerinde olduğunda, söndürme ekiplerinin rahat müdahale edebilmesi açısından uygun bir açıklık alanı bırakıldığı söylenebilmektedir. Temiz alt bölge

tabakası kalınlığı açısından yapılan değerlendirmelerde, zamana bağlı çözümler elde etmeye gerek kalmamaktadır. Çünkü burada dumandan kaçması gereken kullanıcılar yerine, yangın ihbarı üzerine olay yerine gelen söndürme ekipleri söz konusu olmaktadır. Söndürme ekipleri için de, duman sadece görüş açısından engel teşkil etmektedir. Dolayısıyla yangının meydana geldiği hacmin güvenli bir şekilde tahliye edilmesi için sağlanan sürenin tespiti, söndürme ekiplerinin rahat çalışmasına ilişkin bir değerlendirme için gereksiz olmaktadır.

2.6.3 Ortam Sıcaklığı ve Işınım Isı Akısı

Ortam sıcaklığı ve ışıınım ısı akısı, hem güvenli kaçış süresine hem de söndürme ekiplerinin rahat müdahale edebilmesine etki etmektedir. Sıcak metal yüzeylere, çıplak deriyle kısa süreli dokunmalar nedeniyle deride kalıcı yanıklar meydana gelebilmektedir. Benzer şekilde 2.5 KW/m^2 büyüklüğündeki ışıınım ısı akısı değeri, deride yanıklar oluşturma açısından, tasarımda aşılması gereken ışıınım ısı akısı değeri olarak alınmaktadır [1,4].

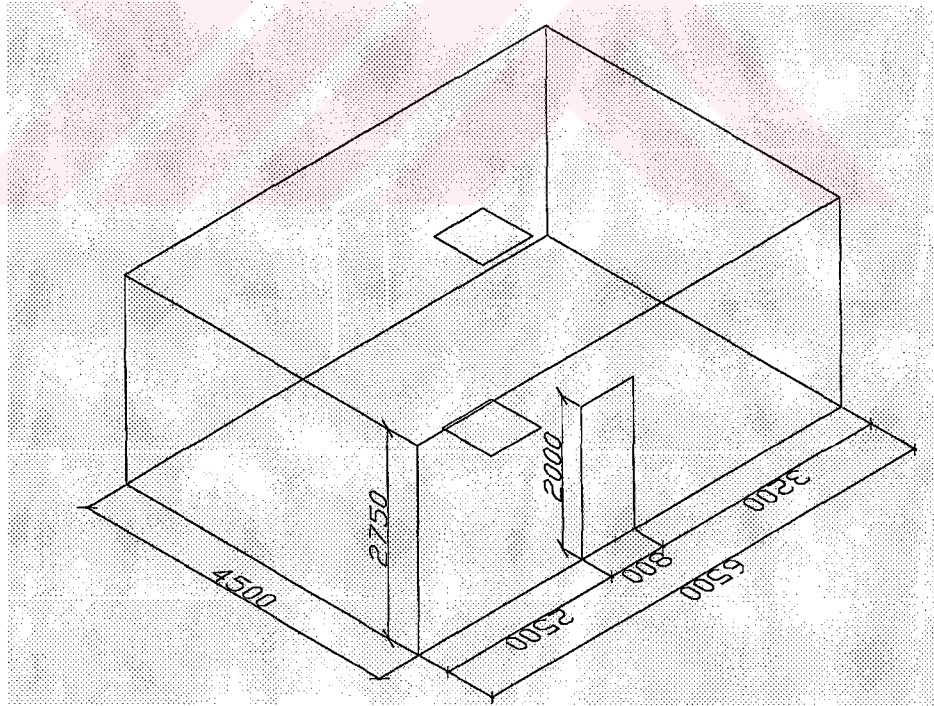
Sıcak havanın solunması da solunum yollarını tahriş etmekte ve hipertermi ya da kalıcı ödem oluşumuna sebep olabilmektedir [4]. Bunun için tasarımda 120°C sıcaklık, sınır değeri olarak alınmaktadır. Ancak havanın bağıl nemine ve teneffüs edildiği sürenin uzunluğuna bağlı olarak, 60°C gibi daha düşük sıcaklıklar da tehlike arz etmektedir. Sprinkler sisteminin çalışması ya da söndürme çalışmaları sırasında havadaki su buharı miktarının artması, bağıl nemi de artırarak, sıcaklık için alt sınır değeri düşürebilmektedir. Öte yandan söndürme suyu, buharlaşmalı soğutma ile ortam sıcaklığını da düşürdüğü için yararlı olmaktadır.

3. MATEMATİK MODEL

Bu çalışmada Dikdörtgenler prizması hacmi ve makina dairesi hacmi'nde gerçekleşen çeşitli yangın senaryoları matematiksel olarak incelenmiştir.

3.1 Dikdörtgenler Prizması Hacmi

Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacim, Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Örnek hacmi temsil eden bu yapının, oda, kompartman gibi çeşitli kullanım amaçlarına hizmet edebileceği düşünülmektedir. odanın kullanım amacının değişmesi, bu çalışmada değişken olarak ele alınan, yangın büyüklüğü parametresini değiştirmektedir. Bunun yanı sıra, yangın yükünü de etkilemekte ve yanıcı madde miktarını, bir anlamda yangının ne kadar sürebileceğini belirlemektedir.



Şekil 3.1: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin boyutları

Hacmin boyutları $6.5 \times 4.5 \times 2.75 \text{ m}^3$, taban alanı 29.25 m^2 ve hacmi 80.438 m^3 olmaktadır. 6.5 m genişliğindeki duvarların orta alt konumlarında $2 \times 0.8 \text{ m}^2$ boyutlarında bir kapı bulunmaktadır. Tabandan $0.4 \times 0.4 \text{ m}^2$ 'lik açıklıktan sıcak duman girişi olmaktadır. Kapı açık ve kapalı olacak şekilde farklı açıklıklarda ve yangın büyüklüklerinde yangın senaryoları kurgulanmıştır.

Tavanın merkezinde, boyutları değişken olarak alınan kare şeklinde bir doğal havalandırma açıklığı bulunmaktadır. Normal şartlarda kapalı konumda olan bu açıklık, yangın sırasında elle ya da otomatik olarak açık konuma getirilmektedir.

Tablo 3.1: Yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri

	Yoğunluk, ρ	Özgül ısı, c_p	Isı iletim katsayısı, k	Elektrik iletim katsayısı
	kg/m^3	kJ/kgK	W/mK	$1/\text{ohm-metre}$
ÇELİK	8030	502.48	16.27	8330000

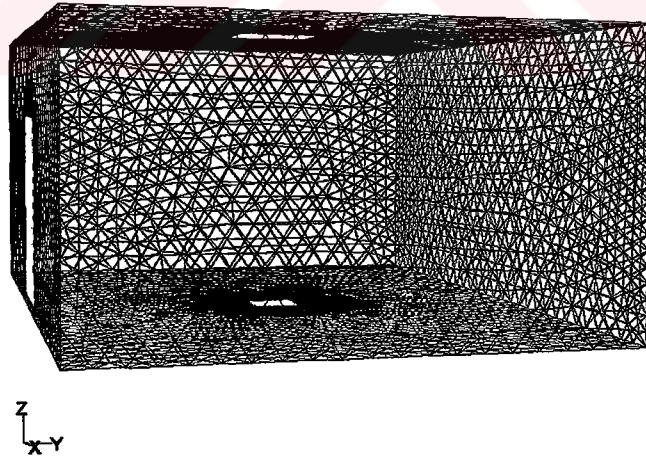
Yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri Tablo 4.1'de verilmektedir. Buna göre tüm perdeler ve güverteler 10 mm kalınlığında ve A-60 izolasyonlu bir yapı bileşeninden oluştuğu kabul edilmiştir.

Bu çalışmada yanma ve kimyasal reaksiyonlar inceleme dışında tutularak, tabanın ortasındaki bir açıklıktan sıcak hava girişi olduğu kabul edilmektedir. Tabanın ortasındaki bu açıklığın büyüklüğü, yaklaşık olarak bir araç yangınında görülen yangın alanına karşılık gelecek şekilde seçilmektedir. Buna göre $0.4 \times 0.4 \text{ m}^2$ 'lik kare şeklindeki bir açıklıktan, belirli bir hız ve sıcaklıkta duman girişi olmakta ve çevreden emilimle alev bölgesine katılan hava ile birlikte duman miktarı belirlenmektedir. Dolayısıyla gerçekte oluşan yanma olayı, temiz hava ile dumanın (giren sıcak hava) karışımı problemine dönüştürülerek modellenmektedir [16, 17].

3.2 Malzeme ve Yöntem

Kullanılan sayısal yöntemin prensibi, alan modellerinde olduğu gibi, olaya hakim olan diferansiyel denklemlerin ayrıklaştırılarak iterasyonla çözülmesi esasına dayanmaktadır. Bunun için sonlu hacimler ayrıklaştırma yöntemine göre çözüm yapan FLUENT yazılımı kullanılmıştır. Fluent, genel termo-akışkan problemlerinin çözümünde kullanılan bir CFD (Computational Fluid Dynamics) analiz programıdır.

Sonlu hacimler yönteminin dayandığı nokta, kontrol hacminin, hücre adı verilen yeterince küçük alt birimlerinde, türev terimlerinin lineerleştirilmesi olmaktadır. Burada yeterince küçük ifadesi bir optimizasyon problemini belirtmek için kullanılmıştır. Zira hücreler ne kadar küçük seçilirse, çözüm o kadar güvenilir olmakta, buna karşılık çözüm zamanı uzamakta ve gerekli bilgisayar kapasitesi artmaktadır. Optimum hücre sayısı ve büyüklüğünün tespit edilmesi, çözümün hücre genişliğine bağımlılığı (grid dependency) adıyla bilinen ayrı bir çalışma gerektirmektedir. Bu çalışmada, 2 boyutlu ön incelemeler sırasında benzer bir çalışma yapılarak elde edilen hücre büyüklükleri, 3 boyutlu çalışmalarda esas alınmaktadır. Değişik ağ büyüklükleri için hesaplamalar yapılmıştır.

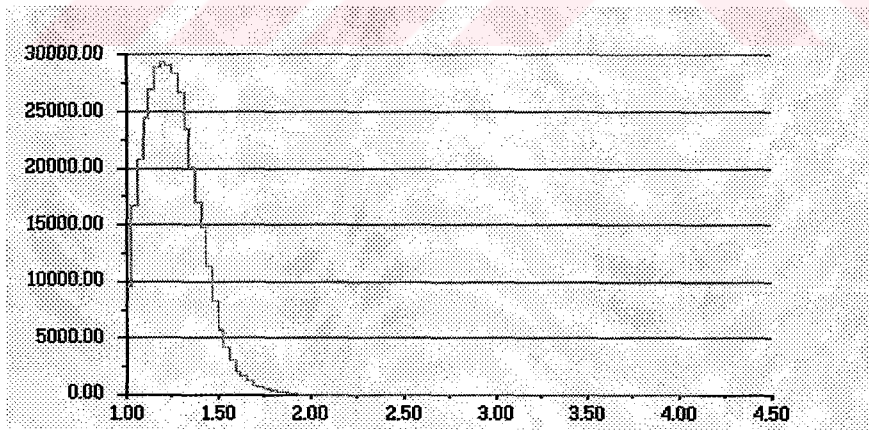


Şekil 3.2: Dikdörtgenler prizması hacminin yüzeylerindeki hesaplama ağı dağılımının izometrik görünüşü

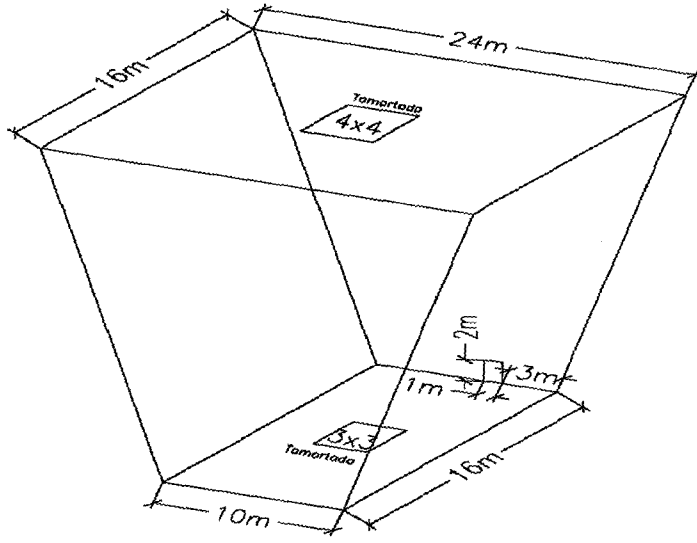
Şekil 3.2’de kontrol hacminin yüzeylerindeki ağ dağılımı görülmektedir. Bu çalışmada T-grid tipi hücreler kullanılmıştır. Kontrol hacminin çizilmesi ve hücrelere bölünmesi (meshing), bir 3 boyutlu çizim programı olan GAMBIT yazılımı ile yapılmaktadır. Türev terimlerinin lineerleştirilebilmesi için hücre boyutunun belirli

bir büyüklüğün altında olması gerekmektedir. Bu büyüklük geometriye ve akışa bağlı olup, genel olarak akışla ilgili özelliklerin gradyenleriyle 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 düzgün dağılı olarak 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].

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. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi bu çalışmada en fazla 4 değerine ulaşan en-boy oranı, hücrelerin %90'ına yakınında 1.5'in altında, %1.5 civarındaki hücrede 2'nin üzerinde alınmaktadır. T-grid tipi hücre kullanıldığı için diğer kıstaslar göz önüne alınmamaktadır.

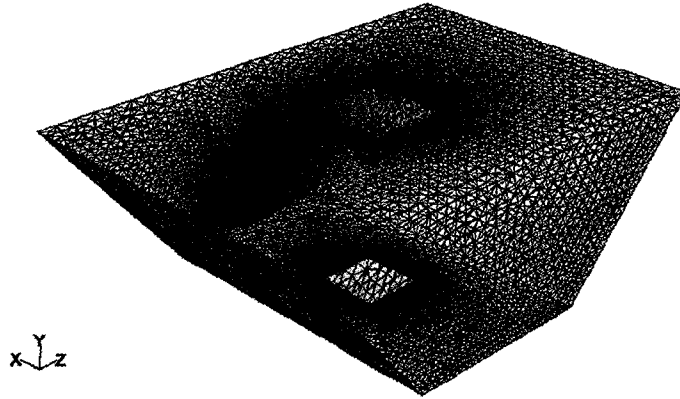


Şekil 3.3: Ağ örgüsü kalitesi kıstaslarından en-boy oranının dağılımı.



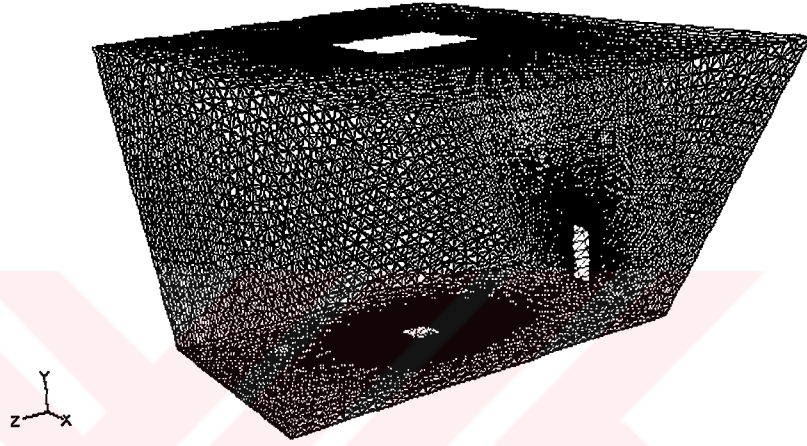
Şekil 3.4: Model olarak ele alınan Makina dairesi hacmi-1

Şekil 3.4’de yüksekliği 10 m olarak alınan ve 13000 DWT’lik bir genel kargo gemisinin makina dairesi boyutlarına sahip bir hacim tasarlanmıştır. Burada $3 \times 3 \text{ m}^2$ ’lik bir açıklıktan makina dairesi hacminin içine doğru bir sıcak hava girişi (6 MW) olup $4 \times 4 \text{ m}^2$ ’lik bir doğal havalandırma açıklığından sıcak hava tahliyesi gerçekleşmektedir. Şekil 3.5’te bu hacmin yüzeylerindeki ağ örgüsünün izometrik görünüşü verilmiştir. Açıklık alanlarının sınırlarında ağ örgüsünün daha yoğun olduğu görülmektedir.

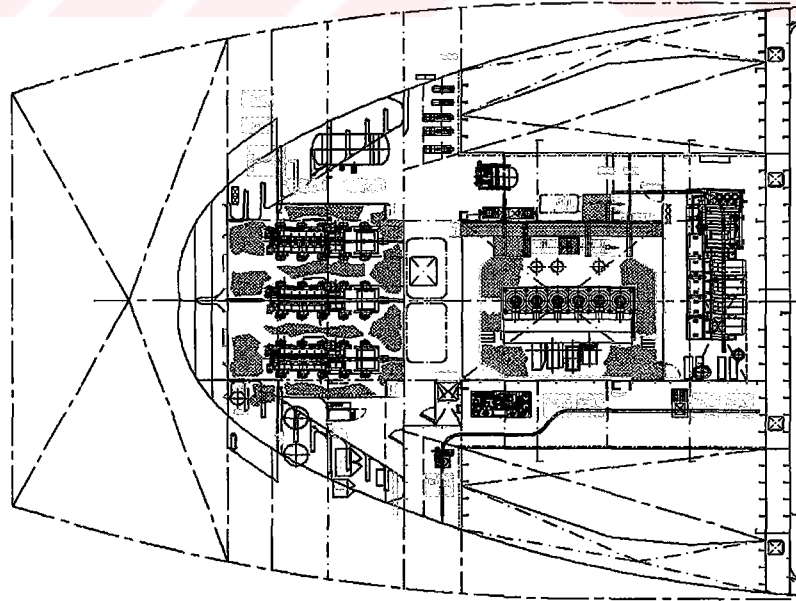


Şekil 3.5: Makina dairesi hacmi-1’in yüzeylerindeki hesaplama ağı dağılımının izometrik görünüşü

Şekil 3.6'da, yine yüksekliği 10 m alınan ve 13000 DWT'lik bir genel kargo gemisinin makina dairesi boyutlarına sahip bir hacim tasarlanmıştır. Burada, Şekil 3.4'ten farklı olarak $1 \times 1 \text{ m}^2$ lik bir açıklıktan makina dairesi hacminin içine doğru bir sıcak hava girişi (1.5 MW) olup, $4 \times 4 \text{ m}^2$ lik bir doğal havalandırma açıklığından gaz tahliyesi gerçekleşmektedir. Şekil 3.6'da bu hacmin yüzeylerindeki ağ örgüsünün izometrik görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.6: Makina dairesi hacmi-2'nin yüzeylerindeki hesaplama ağı dağılımının izometrik görünüşü



Şekil 3.7: 13000 DWT'lik bir genel kargo gemisinin Makina Dairesi görünüşü

Şekil 3.7’de 13000 DWT’lik bir genel kargo gemisinin Makina Dairesinin güverte kesiti gösterilmiştir. Burada Ana Makina, Jeneratörler (3 adet) Sintine pompaları ve diğer yardımcı makinaların yerleşimi verilmiştir.

Sayısal çözümün alınmasından sonra da hem sınır tabakadaki en küçük hücre boyutunu hem de akış özelliklerini gösteren, y^+ adlı boyutsuz sayı kullanılmaktadır. Bu boyutsuz sayı, k- ϵ türbülans modelinde cidar yakınındaki akışın ayrı bir bağıntıyla çözülmesi gerekliliğinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Cidardan y_p kadar uzaklıktaki P noktasında: u_T , hız değerini; ρ ve μ ise sırasıyla akışkanın yoğunluğunu ve dinamik viskozitesini göstermek üzere,

$$y^+ = \frac{\rho u_T y_p}{\mu} \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanan y^+ değeri duman hareketleri ile ilgili çalışmalarda 400’ün altında alınmaktadır [19]. Bu çalışmada, cidar yakınlığında y^+ değeri ortalama 200 civarında alınmaktadır.

Sayısal çözümlerde, ayırık çözüm algoritması (segregated solver) kullanılmaktadır. Sırasıyla, önce momentum denklemleri, sonra basınç düzeltme denklemi son olarak da enerji denklemi ve diğer transport denklemleri çözülmektedir. Ayırıklaştırılmış denklemlerin oluşturulmasında da kapalı çözüm yöntemi (implicit scheme) tercih edilmektedir.

Toplam beş adet süreklilik, momentum, enerji denklemlerinin yanı sıra, dumanın kütleli yüzdesi için bir, k- ϵ türbülans modeli için iki ve P1 ışınum modeli için bir ilave transport denklemi olmak üzere, toplam dokuz adet diferansiyel denklem çözülmektedir. Değişik ağ büyüklükleri için hesaplamalar yapılmış ve bu hücrelerin her birinde ayırıklaştırılarak lineerleştirilen bu denklemler büyük bir denklem seti oluşturmaktadır. Ayırıklaştırma işlemi, birinci derece hassasiyetle (first order upwind scheme) gerçekleştirilmektedir. Basınç ve hız arasındaki ilişki, SIMPLE algoritması ile ele alınmaktadır [19]. Denklem setinin çözümünde, ardışık iki iterasyon arasındaki bağıl hatanın azalmasıyla birlikte çözümler yakınsamaktadır. Her bir denklem için ideal halde sıfır olması gereken bu hata değerlerinin, yakınsama kriterleri adı verilen değerlerin altına düşmesiyle birlikte çözümün yakınsamış

olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada yakınsama kriterleri olarak, enerji denklemi ve P1 ışıınım model denklemi için 10^{-6} , diğer denklemler için ise 10^{-3} değeri alınmaktadır.

“Under-relaxation” parametreleri adıyla bilinen azaltma katsayıları başlangıçta en fazla 1 alınmakta ve çözümün yakınsaması için, ileriki aşamalarda azaltılmaktadır.

Yerçekimi ivmesinin etkisi göz önüne alınmakta, Şekil 2.3’deki gösterimde orijin noktasındaki etkin basınç 0 Pa (mutlak basınç 101325 Pa) olacak şekilde, diğer noktalardaki basınç değerleri etkin değerlerle ifade edilmektedir.

Akışkan özelliklerinden, sabit basınçtaki özgül ısı (c_p) ve ısı iletim katsayısının (k), sıcaklıkla değişimi, denklem 3.2 ve 3.3’te verilen ikinci dereceden birer polinomla göz önüne alınmaktadır [19,4].

$$c_p = c_p(T) = 8,82 \cdot 10^{-8} T^2 + 9,14 \cdot 10^{-5} T + 0,966 \text{ [kJ/(kgK)]} \quad (3.2)$$

$$k = k(T) = -2.66 \cdot 10^{-8} T^2 + 9,15 \cdot 10^{-5} T + 0,00142 \text{ [W/(mK)]} \quad (3.3)$$

Akışkanın; dinamik viskozitesi (μ), kütleli yayılma katsayısı (D) ve ışıınım azaltma katsayısı (κ) oda sıcaklığındaki değerlerde sabit alınmaktadır. Mach sayısının 0.2’den küçük olduğu bu çalışmada yoğunluk, sıkıştırılmaz akışlar için ideal gaz denkleminde hesaplanmaktadır. İterasyonun başlangıcında, akışkanın hızının her noktada sıfır ve sıcaklığının 300 K olduğu kabul edilmektedir.

3.3 Kabuller ve Sınır Şartları

Bu çalışmada, tasarımda kullanılan hesapları, güvenlik tarafında etkileyecek şekilde kabuller yapılmaktadır. İncelenebilecek değişken sayısının, ele alınan parametre sayısından fazla olması nedeniyle, sabit olarak alınan değerler, yangın senaryosunu ağırlaştıracak şekilde seçilmektedir.

Yangının konumu duvarlardan uzakta alınarak, açığa çıkan duman miktarının en büyük değerini alması sağlanmaktadır. Şöyle ki, açığa çıkan duman miktarı, yangının köşe yangını, duvar yangını ya da açık alan yangını olmasına göre değişmektedir.

Üretilen duman miktarı, duvar yakınında meydana gelen bir yangında daha küçük, köşe yangınında ise en küçük değerini almaktadır.

Bütün çeperler, makina dairesinde ısı yalıtımlı ve adyabatik olarak kabul edilmiştir.

Ele alınan kontrol hacminin sınırlarının adyabatik olduğu kabul edilmektedir. Dış hava sıcaklığı 270 K ve dış ortamdaki ısı taşınım katsayısı, ısı yalıtımlı olduğu için ihmal edilmektedir sac malzemesi Tablo 3.1’de verilen özelliklerde 10 mm kalınlığında alınmaktadır.

Hava ve duman için saçınım katsayıları (scattering coefficient) “sıfır” alınarak, saçınım etkisi ihmal edilmektedir.

Açıklıklardaki sınır şartı olarak sıcaklığın yanında, hız ya da basınç belirlenmektedir. Buna göre duman giriş açıklığında, daha önceden denklem 2.2’den hesaplanmış olan sırasıyla 0.5MW, 1.5MW, 6MW için 473 K, 584 K, 814 K, sıcaklık ve tersine akış oluşturmayan sabit bir hız değeri verilmektedir. Kapı ve doğal havalandırma açıklığında, denklem 2.3’den yararlanılarak elde edilen basınç farkı değerine uygun olacak şekilde basınç değerleri verilmektedir. Basıncın yanında tanımlanan sıcaklık değerleri, içeriye doğru akış olması halinde, o noktadaki sıcaklığı belirlemektedir. Örneğin kapı açıklığında sadece içeriye doğru akış olmakta ve buradaki sıcaklık değeri, dış ortam sıcaklığı olarak girilen 270 K olmaktadır. Ancak dışarıya doğru akışın meydana geldiği havalandırma açıklığında, çözüm sonucunda elde edilen sıcaklık geçerli olmaktadır.

3.4 Korunum Denklemleri

Bu çalışmada beş adet korunum denkleminin yanı sıra; k-ε türbülans modeli için iki, P1 ışıınım modeli için bir ve dumanın hava içindeki bileşimi için bir transport denklemi olmak üzere toplam dokuz adet diferansiyel denklem çözülmektedir.

Kimyasal reaksiyon ve faz değişimi söz konusu olmadığında, süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (3.4)$$

şeklinde verilmektedir. Bu denklemin sol tarafındaki terimler hız vektörünün toplam türevini göstermektedir [4]. Sıkıştırılmaz akışlarda yoğunluğun sabit olması nedeniyle denklem 3.4'ün sol tarafındaki ilk terim olan zaman terimi “sıfır” değerini almakta ve süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.5)$$

şeklinde basitleşmektedir. j yönündeki momentum denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + \rho g_j + F_j \quad (3.6)$$

şeklinde verilmektedir. 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 [4]. Bu terim ikinci dereceden bir tensör olup kayma gerilmesi olarak da bilinmektedir [4]. Newtonyen olmayan akışkanlarda kayma gerilmesi hızın gradyeniyle ilişkilendirilmekte

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \delta_{ij} \quad (3.7)$$

ve buradaki μ orantı katsayısı, dinamik viskozite olarak bilinmektedir. δ_{ij} ise “kronecker delta” adıyla bilinen bir matematik terimi olup, sadece $i=j$ olması halinde 1’e eşit, diğer hallerde 0 değerini alan bir ikinci derece tensör olmaktadır.

Enerji denklemi ise:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j (\tau_{ij})_{\text{eff}} \right) + S_h \quad (3.8)$$

şeklinde verilmekte olup, burada E iç enerjiyi, denklem 4.8'in sol tarafındaki terimlerde iç enerji için toplam türevi ve basınç terimini göstermektedir. $k_{eff} = k + k_t$ şeklinde bilinen efektif ısı iletim katsayısını göstermektedir. Burada k_t türbülanslı ısı iletim katsayısını göstermekte olup seçilen türbülans modeline göre değişmektedir. J terimi j' bileşeni için difüzyon enerji akısını, son olarak S_h ise herhangi bir kimyasal reaksiyon olması halindeki hacimsel enerji üretimini göstermektedir. Buna göre denklem 3.8'in sağ tarafındaki ilk üç terim sırasıyla ısı difüzyon, bileşenlerin kütle difüzyonu ve viskoz disipasyon nedeniyle oluşan enerji geçişini göstermektedir.

Denklem 3.4, 3.6 ve 3.8'de verilen toplam beş adet korunum denklemine ilave olarak bileşenlerin yüzde oranı için bir denklem, türbülanslı akış için iki denklem ve P1 ışıınım modeli için bir denklem çözülmektedir. i' bileşenin kütle transport denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho m_{i'}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i m_{i'}) = - \frac{\partial}{\partial x_i} J_{i',i} + R_{i'} + S_{i'} \quad (3.9)$$

şeklinde verilmekte olup, burada R ve S sırasıyla kimyasal reaksiyonla üretilen ve ikinci fazdan gelen kütle miktarını göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan ışıınım modeli, αL şeklinde tanımlanan optik kalınlığın 1'den büyük olması durumunda optimum çözümü sağlayan bir model olmaktadır [4]. Sade gösterimiyle P1 modelinde çözülen diferansiyel denklem:

$$-\nabla q_r = \alpha G - 4\alpha\sigma T^4 \quad (3.10)$$

şeklinde verilmektedir. Bu çalışmada gazın saçınım yapmadığı kabul edildiği için, saçınım katsayısının sıfır alınmasıyla basitleşen ışıınım akısı, q_r :

$$q_r = \frac{\nabla G}{3\alpha} \quad (3.11)$$

şeklinde verilmektedir. Burada G ve σ sırasıyla; ışıınım şiddetini ve Stefan-Boltzman sabitini göstermektedir.

Sıcak gazların kendiliğinden yükselmesi bir doğal taşınım problemi olduğundan, bu çalışmada türbülanslı akış olup olmadığını kontrol etmek için Rayleigh sayısı kullanılmaktadır. Akışkanın tavandan itibaren soğuyarak tabana doğru akışında, yan duvarın yüksekliği karakteristik uzunluk olarak alınmaktadır. Mükemmel gazlarda ısı genleşme katsayısı, film sıcaklığının çarpmaya göre tersi olduğundan Ra sayısı:

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} = \frac{9.81 m/s^2 300^{-1} K^{-1} (310 - 290) K 10^3 m^3}{(1.6 \cdot 10^{-5})^2 m^4/s^2} > 10^{10} \quad (3.12)$$

değerini almaktadır. Burada hesap yapılırken yüzey sıcaklıkları ve sıcaklık farkı nispeten düşük alınmasına rağmen, akışın türbülanslı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada duman akışının çözümünde, k-ε RNG türbülans modeli kullanılmaktadır [19]. Bu modelde türbülansın doğrultudan bağımsız yani izotropik olduğu kabulü yapılmaktadır. Bu modelde tanımlanan k ve ε sırasıyla, türbülansın kinetik enerji ve türbülansın disipasyonu şeklinde tarif edilmektedir. Bu noktaya kadar u_i ile gösterilen ani hız değeri; $u_i = \bar{u}_i + u'_i$ şeklinde akışın ortalama hızı ile ortalama hızdan sapmayı ifade eden çalkantı hızının toplamı olarak yazılmaktadır. Bu yeni hız tanımlarından hareketle, türbülansın kinetik enerjisi, k;

$$k = \frac{1}{2} \bar{u}_i \bar{u}_i \quad (3.13)$$

şeklinde tarif edilmektedir. Benzer şekilde, türbülansın disipasyonu, ε;

$$\epsilon_{ij} = 2\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \quad (3.14)$$

şeklinde tarif edilmektedir. k için transport denklemi;

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (3.15)$$

olup, burada G_k ve G_b sırasıyla; ortalama hızın değişimine ve yerçekimi kuvvetinden kaynaklanan türbülans üretimine karşılık gelmektedir [14]. Y_M ise akışın

genişlemesine bağlı disipasyon şeklinde tanımlanmakta olup sıkıştırılabilir akışlarda önem kazanmaktadır. ε için transport denklemi ise;

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{1\varepsilon} G_b) + C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \quad (3.16)$$

olup buradaki R, RNG modelini standart k- ε modelinden ayıran en önemli terimdir. Bu terim, şekil değiştirme oranının yüksek ve düşük olduğu bölgelerde farklı işaret alarak, disipasyonu artırmaya ya da azaltmaya katkıda bulunmaktadır. Bu denklemlerdeki efektif viskozite, $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$ şeklinde dinamik ve türbülanslı viskozitenin toplamı olarak ifade edilmektedir. Dinamik viskoziteden farklı olarak, hem akışkana hem de akışa bağlı olan μ_t ise;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.17)$$

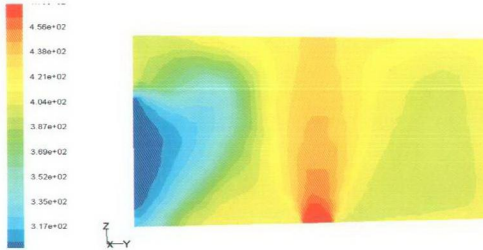
şeklinde verilmektedir. Denklem 3.15-3.17’de verilmekte olan c_μ , $c_{1\varepsilon}$ ve $c_{2\varepsilon}$ model sabitleri sırasıyla; 0.0845, 1.42 ve 1.68 alınmaktadır. α_k ve α_ε sabitleri ise türbülanslı akışta birbirine eşit ve 1.393 değerinde alınmıştır [14].

4.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada örnek bir dikdörtgenler prizması hacmi için çeşitli yangın senaryoları kurgulanarak, doğal duman tahliyesinde kullanılan açıklık alanlarının tasarım kriterleri açısından yeterliliği fluent adlı CFD programıyla incelenmektedir. Yangın büyüklükleri için örnek dikdörtgenler prizması hacminde, 0.5 ve 1.5 MW'lık yangın büyüklüğü için, daha sonra makina dairesi hacminde 1.5 MW ve 6 MW yangın büyüklükleri için sıcaklık, basınç, hız dağılımları incelenmiştir. Makina dairesi modelinde ayrıca kapı açıklığının sıcaklık dağılımına etkisi ve zamana bağlı sıcaklık, hız ve basınç dağılımları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

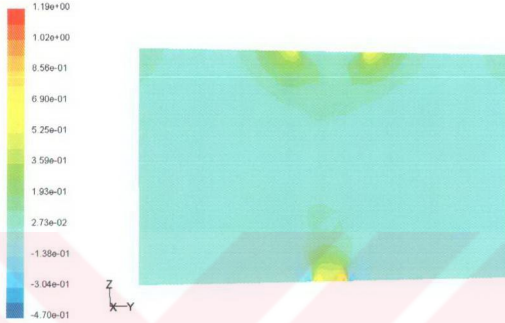
4.1 Dikdörtgenler Prizması Hacminde Sürekli Durum İçin Sıcaklık, Hız ve Basınç Dağılımları

Dikdörtgenler prizması şeklinde verilen kapalı hacim için, sürekli durumda yangın büyüklüğü 0.5 MW, açıklık alanı 0.585 m^2 ve $X=3.25 \text{ m}$ kesitinde sırasıyla; sıcaklık, basınç ve hız dağılımları, Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Yangın büyüklüğü 1.5 MW için sırasıyla; sıcaklık, basınç ve hız dağılımları, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

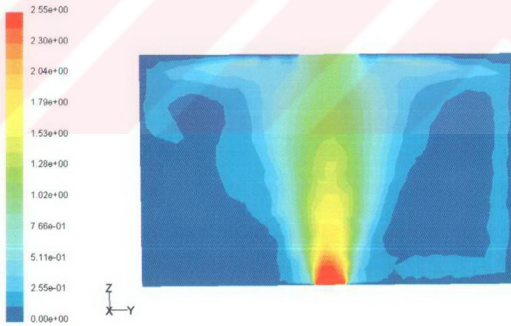


Şekil 4.1: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki sıcaklık dağılımı

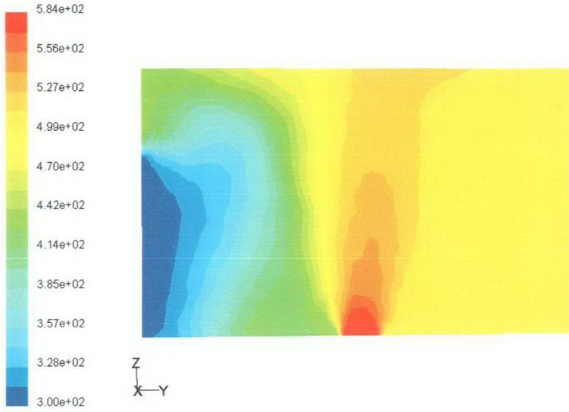
Burada Şekil 4.1 için sürekli halde, kapı açıkken sıcaklık dağılımının Şekil 4.4'e bağlı olarak daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.4'te kapı karşısındaki kalan bölümün tamamıyla sıcak hava girişi açıklığına kadar aynı rejimde kaldığı görülmektedir. Hız ve basınç dağılımlarında yangın büyüklüğünün artmasıyla gözle görülür bir değişim gözlemlenmiştir.



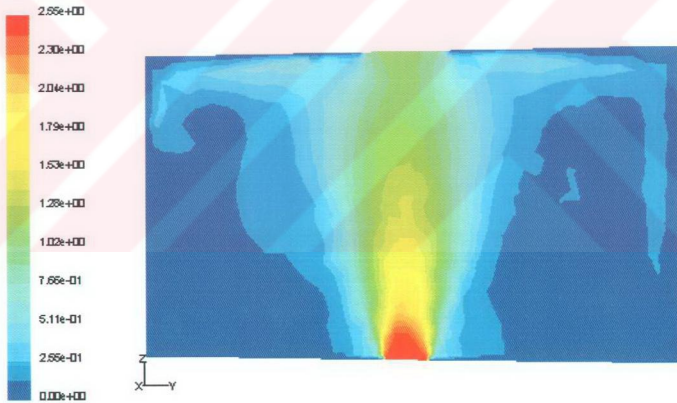
Şekil 4.2: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m², sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m² iken, X=3.25 m. kesitindeki basınç dağılımı



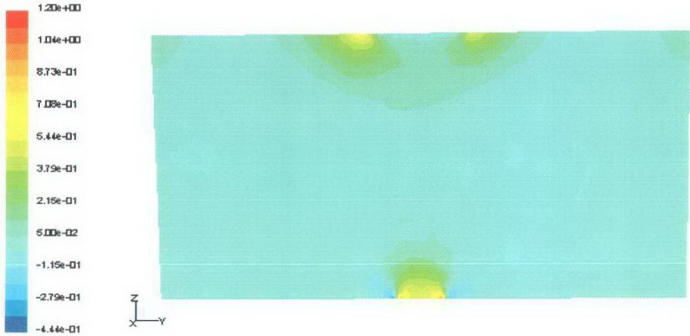
Şekil 4.3: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m², sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m² iken, X=3.25 m. kesitindeki hız dağılımı



Şekil 4.4: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki sıcaklık dağılımı

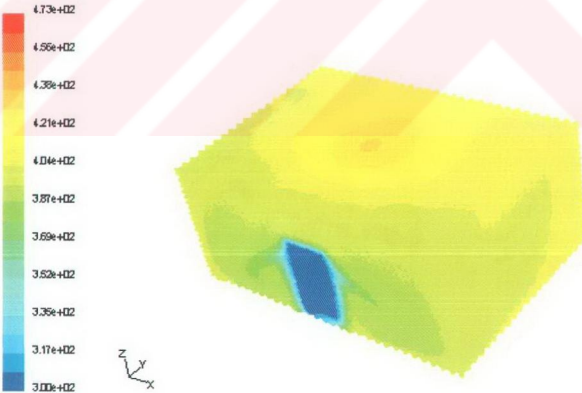


Şekil 4.5: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$. kesitindeki hız dağılımı

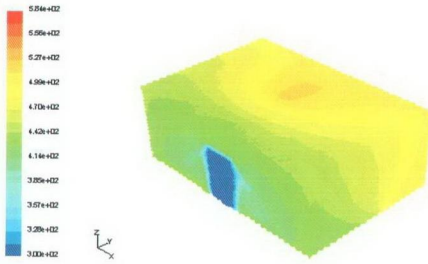


Şekil 4.6: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 , sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, $X=3.25 \text{ m}$ kesitindeki basınç dağılımı

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de hacimlerin dış yüzeylerinin yangın büyüklüğüne göre dağılımları gösterilmiştir. Burada Şekil 4.8’deki 1.5 MW’lık yangında 500 K civarındaki sıcaklık, Şekil 4.7’e göre, kapının karşısındaki alanı neredeyse sarımsı durumda gözükmemektedir.



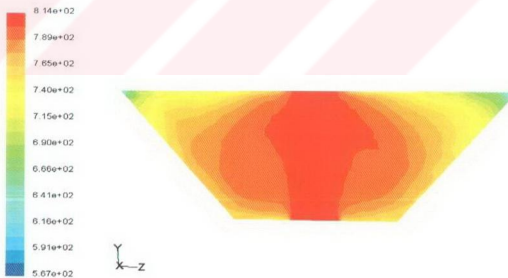
Şekil 4.7: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 0.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m^2 ve sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m^2 iken, yüzeylerindeki sıcaklık dağılımı



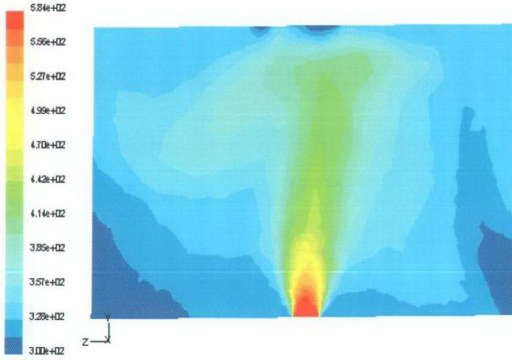
Şekil 4.8: Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacmin, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 0.585 m² ve sıcak hava giriş açıklığı 0.16 m² iken, yüzeylerindeki sıcaklık dağılımı

4.2 Makina Dairesi'nde, Zamana Bağlı Durum İçin, Sıcaklık ve Hız Dağılımları

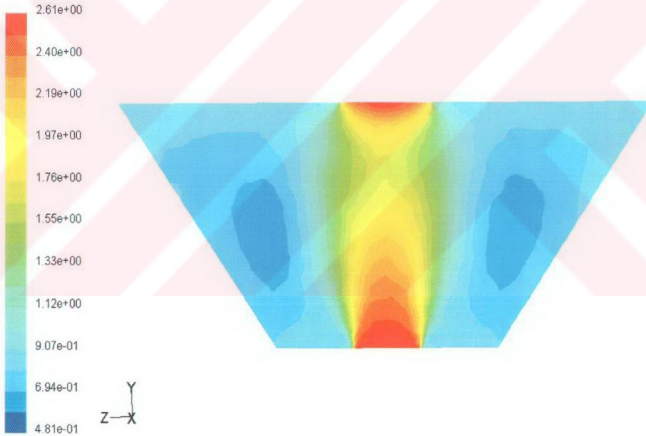
Zamana bağlı durumda, makina dairesi için oluşturulan yangın senaryolarında; yangın büyüklüğü 6 MW ve 1.5 MW olan modellerin sıcaklık ve hız dağılımları sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Bu dağılımlardan, 6 MW'lık bir yangında 150 s sonunda mahalli terk etmek imkansız olup, 1.5 MW'lık yangında 200 s sonunda kaçışın uygun bir ortamın oluştuğu görülmektedir.



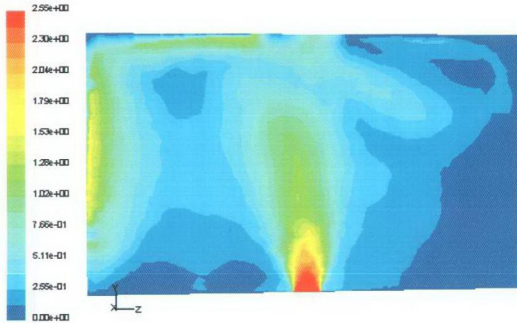
Şekil 4.9: Makina dairesi hacmi-1'de T=150 s sonunda yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m² iken, X=8 m. kesitindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.10: Makina dairesi hacmi-2’de T=200 s sonunda yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m^2 iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı



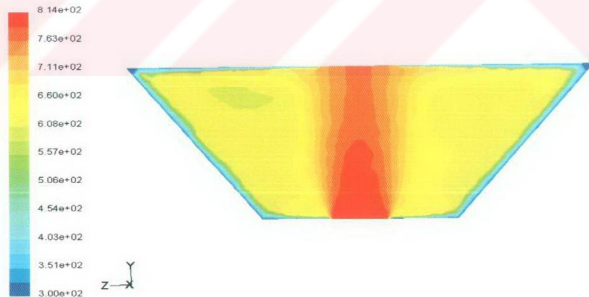
Şekil 4.11: Makina dairesi hacmi-1’de T=150 s sonunda yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m^2 iken, X=8 m. kesitindeki hız dağılımı



Şekil 4.12: Makina dairesi hacmi-2’de $T=200$ s sonunda yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m^2 iken, merkez boyuna kesitindeki hız dağılımı

4.3 Makina Dairesi’nde Sürekli Durum İçin Sıcaklık, Hız ve Basınç Dağılımları

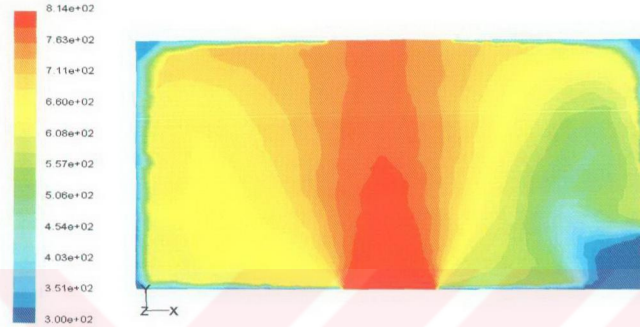
Sürekli durumda makina dairesi için oluşturulan yangın senaryolarında; yangın büyüklüğü 6 MW ve 1.5 MW olan modellerin sıcaklık ve hız ve basınç dağılımları sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



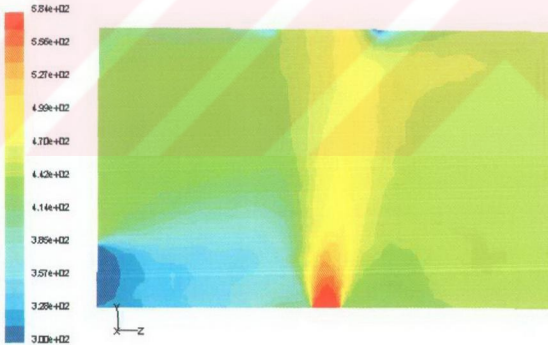
Şekil 4.13: Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m^2 iken, $X=8$ m. kesitindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 deki Sürekli durumda, Makina dairesi için 6MW ve 1.5 MW yangın büyüklüklerindeki hız dağılımı gözle görülür derece farklıdır. Burada 6MW

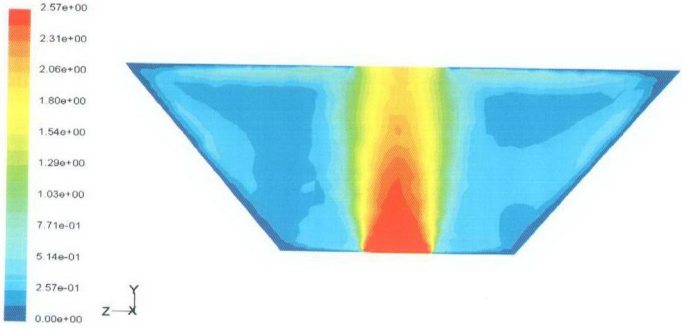
büyükliğindeki yangında oluşan hız dağılımı duman giriş açıklığından havalandırma açıklığına doğru olan bir bölge yoğunlaşırken, 1.5 MW'ta bu durum daha az hissedilmekte olup bazı bölgelerde hız 0 değerinde kalmaktadır. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 deki basınç dağılımlarında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.



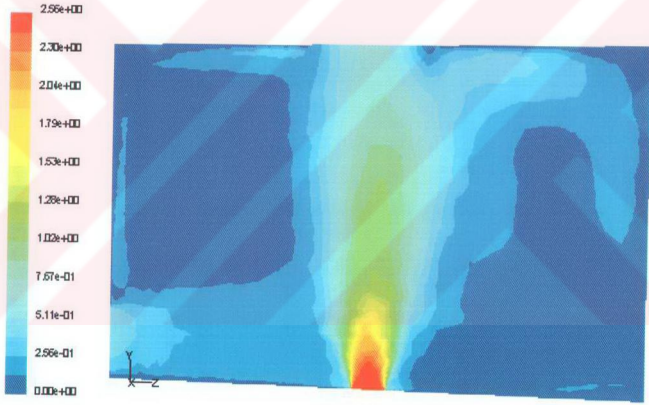
Şekil 4.14: Makina dairesi hacmi-1'de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m² iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı



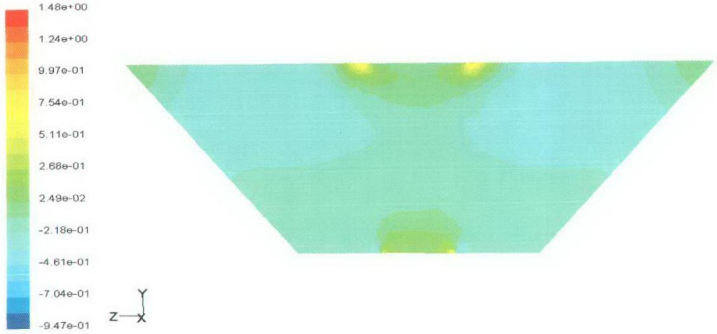
Şekil 4.15: Makina dairesi hacmi-2'de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m² ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m² iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı



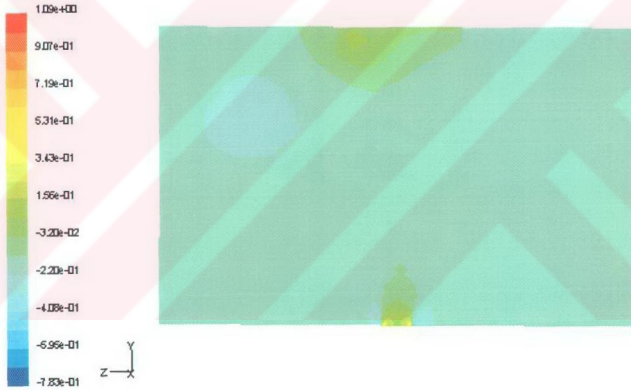
Şekil 4.16: Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m^2 iken, $X=8$ m. kesitindeki hız dağılımı



Şekil 4.17: Makina dairesi hacmi-2’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m^2 iken, merkez boyuna. kesitindeki hız dağılımı.



Şekil 4.18: Makina dairesi hacmi-1’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m^2 iken, $X=8$ m. kesitindeki basınç dağılımı.

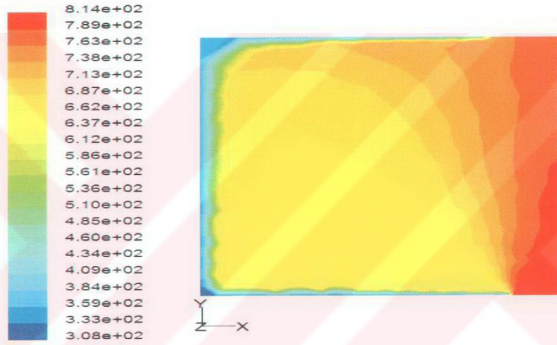


Şekil 4.19: Makina dairesi hacmi-2’de, sürekli durumda, yangın büyüklüğü 1.5 MW, havalandırma açıklığı 16 m^2 ve sıcak hava girişi açıklığı 1 m^2 iken, merkez boyuna. kesitindeki basınç dağılımı.

4.4 Açık Kapı Halinin Açıklık Alanına Etkisi

Bu çalışmada ağırlıklı olarak kapı açık olması hali incelenmekle birlikte, kapının kapalı olması halinin incelendiği bir yangın senaryosu daha ele alınarak aynı şartlardaki tek kapı açık olması haliyle karşılaştırma yapılmaktadır.

Açık kapı sayısının tahliye edilen duman miktarını artıracakı öngörülebilmektedir. Bu durumda tek kapı açık olması halindeki en kötü şartlara sahip olan yangın senaryosu ile karşılaştırma yapmak uygun olmaktadır, dolayısıyla Şekil 4.20'de 6 MW yangın büyüklüğü ve 16 m² doğal havalandırma açıklığı alanı için kapı kapalı olması hali ele alınmaktadır. Kapının kapanmasıyla birlikte odada simetrik bir sıcaklık dağılımı gözükmemektedir. Şekil 4.20'de odanın merkezine kadar olan bölüm gösterilmiştir. Bu yangın büyüklüğündeki sıcaklık dağılımını, Kapının Açık olduğu durum olan Şekil 4.14'le karşılaştırdığımızda, havalandırma kanalının açıklığının kapının kapanmasıyla birlikte daha sıcak olmaya başladığı ve kapının içeriye doğru olan ön bölümünde sıcaklık artışı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.20: Makina dairesi hacmi-1'de, sürekli durumda, modelden kapı çıkarıldığında, yangın büyüklüğü 6 MW, havalandırma açıklığı 16 m² ve sıcak hava girişi açıklığı 9 m² iken, merkez boyuna kesitindeki sıcaklık dağılımı

4.5 Kabullerin Sonuçlara Etkisi

Bu çalışmanın asıl amacı, yangın sonucu açığa çıkan duman hareketinin incelenmesi olduğundan yanma olayı ve kimyasal reaksiyonlar incelenmemiştir. Bunun yerine, tabandaki bir açıklıktan duman girişi olduğu kabul edilmiştir. Değişik ağ büyüklükleri için, sonlu hacim elemanının her birinde, toplam altı adet korunum ve model denklemleri ayrılaştırılarak bir arada çözülmüştür. Burada duman girişi

açıklığında verilen hız değeri, akışı etkilemeyecek şekilde seçilmiştir. Büyüklüğü 1.5 MW olan bir yangında 2.4 m/s hız ile tabandan sıcak hava girişinin deneyden elde edilen sonuçla benzerlik sağladığı görülmüştür.

Elde edilen çözümlerin en çok sorgulanması gereken kısmının, makina dairesi hacminin açıklıklarında girilen sınır şartları olduğu gözlenmektedir. Açıklıklardaki basınç farkı bazı kritik değerlerin altında olduğunda, tavandaki doğal havalandırma açıklığında iki yönlü akış olduğu belirlenmiştir [8]. Bu çalışmada da benzeri durumların ortaya çıktığı çözümler elde edilmiştir. Bu sonucun açıklıklardaki basınç değerleriyle ilişkili olduğu saptanmıştır. Taban ve tavandaki açıklıklar arasında basınç farkı olmadığı durum incelenmiştir. Bu durumda, doğal havalandırma açıklığının bir kısmında hacmin içine doğru geri akış olduğu, bir başka deyişle çekişin yetersiz olduğu gözlenmiştir.

Hacmin tabanındaki açıklık ile tavanındaki doğal havalandırma açıklığı arasındaki basınç farkının, akışı etkileyen en önemli parametre olduğu ortaya çıkmaktadır. Açıklıklardaki basınç değerlerini belirleyen çeşitli kuvvetler arasında, yanmış gazların kaldırma kuvveti ön plana çıkmaktadır. Rüzgar basıncı, baca etkisi ve sıcak gazların genleşmesi nedeniyle oluşan basınç, bu çalışmada ihmal edilmektedir. Bu çalışmada, söz konusu basınç farkını hesaplamak için denklem 2.2'den yararlanılmıştır. Bu denklemden hesaplanan basınç farkı değerleri, akış katsayısı adıyla bilinen, 1'den küçük bir katsayı (yaklaşık 0.65) ile çarpıldıktan sonra kullanılmaktadır [8].

Tablo 4.1: Çeşitli yangın senaryoları için sayısal çözüm sonuçları

Z=2.1 m	Açıklık Alanı	T[K]	R [W/ m²]	Meg [kg/s]	Temiz Alt Bölge Yüksekliği [m]		Yorum
					Fluent	NFPA 92B	
0.5 MW	0.585 m²	365	3012	2.193	2	1.884	Görüş açık R yüksek
	1.17 m²	331	2432	2.441	2.3	2.163	Görüş açık R yüksek
1.5 MW	0.585 m²	480	4923	2.913	1.6	1.139	Görüş kapalı R sınırda
	1.17 m²	466	4638	3.712	1.67	1.67	Görüş kapalı R yüksek

Tablo 4.1'in üçüncü ve dördüncü sütunundaki değerler, z=2.1 m kesitinde için elde edilen ortalama sıcaklık ve ışıınım ısı akısı değerlerini göstermektedir. Beşinci sütundaki değerler ise doğal havalandırma açıklığından tahliye edilen kütle debisini göstermektedir. Altıncı ve yedinci sütundaki değerler sırasıyla, Fluent programından görsel olarak elde edilen ve denklem 2.1'den hesaplanan temiz alt bölge yüksekliği değerlerini göstermektedir.

4.6 Sonuçların Tartışılması ve Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Dikdörtgenler prizması şeklindeki örnek hacim için elde edilen sonuçların doğruluğu kontrol edildikten sonra, makina dairesinde önce sıcak hava giriş açıklığı 9 m² olan, 6 MW'lık yangın büyüklüğü ele alınarak sonuçlar irdelenmiştir. Sürekli durumda makina dairesi kontrol hacminde 6 MW'lık bir yangında ısı ışıınım akısı olarak 6.89 KW/m² değeri bulunmuştur. Bu durum üst sınır olan 2.5 KW/m²'yi çok aştığı için olası bir söndürme çalışması içeriden müdahale edilemez durumda olmaktadır.

6 MW'lık yangında 16 m² havalandırma açıklığının 150 sn sonunda hacimdeki sıcaklık alt bölgelerde ortalama 600 K'yı aşmaktadır, bu durum normalde tavan sıcaklığı 330 K olduğu an, alarm sistemi çalışmaya başladığı düşünüldüğünde, 230 s olan gerekli minimum kaçış süresi (**Required Safe Egress Time**) değeri için uygun değildir.

Buradaki asıl problem havalandırma açıklığının boyutlarının kaçışa uygun sıcaklığa göre modellenmesi olup, havalandırma alanı 3x3 m²'lik bir alandan çıkan 814 K'lik duman giriş sıcaklığına (6MW) uygun değildir. Daha sonra baktığımız 584 K'lik 1x1 m²'lik bir alandan çıkan (1.5MW) duman giriş sıcaklığı, kaçış için uygun olduğu anlaşılmıştır.

Her sayısal yöntemde olduğu gibi sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada üretilen duman miktarı, deneysel verilerle karşılaştırılmış ve tasarım amaçları açısından güvenlik tarafında olacak şekilde, yaklaşık % 20 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan, havalandırma açıklığının boyutları, yangın büyüklüğünün ve açık kapının doğal havalandırmanın boyutlarına etkisi, havalandırma kontrollü çalışmalar için önemlidir. Çünkü burada belirlenecek temiz alt bölge yüksekliğine göre kullanılacak fanın debisi bulunabilir. Kapı sayısı veya boyutları artırılabilir, cam pencere açıklıkları açılabilir. Bütün bunlar havalandırmanın boyutlarına etki eden parametrelerdir. Burada yapılan çalışma, gemide ve herhangi bir mahalde içerideki malzemelerin hacmi de hesaba katılarak daha kompleks hale getirilerek deneysel verilerden ortaya çıkmış sonuçlara daha yakın veriler elde edilebilir. Bunun yanında çözümün gerçeğe yakınsaması için elbet bu da yeterli olmayabilir. Hacmin ağ kalitesi, bu kaliteyi kontrol eden parametreler olan, hücrelerin en-boy oranı (aspect ratio), komşu hücrelerin kenar uzunlukları arasındaki oran (successive ratio), hücrelerin kare şekline olan yakınlıkları (skewness) sayesinde geliştirilebilir. Bir de bu çalışmada verilen sınır şartlarından biri olan, çeperleri tamamen adyabatik (ısı yalıtımlı) kabul etmek yerine taşınım sınır şartı koyularak sonuçlara olan etkisi incelenebilir, ayrıca havalandırma açıklıklarında ve kapıda inverse flow (ters akış) oluşmaması için açıklıklardaki basınç farkları ve akışkan giriş hızı değerleri değiştirilerek ufak farkların dahi çözümde ne kadar etkili olduğu görülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sertkaya, Y.**, 2001. Denizde güvenlik IMO Model Kurs 1.20 gemide yangınla mücadele, Akademi Yayıncılık.
- [2] **He, Y., Wang, J., Wu, Z., Hu, L., Xiong, Y. and Fan, W.**, 2002. Smoke Venting and Fire Safety in an Industrial Warehouse, *Fire Safety J.*, **37**, 191-215.
- [3] **Yü E.H, Fleischmann C.M, Buchanan A.H.**, 2005 Experimental study of fire compartment with door opening and roof opening, *Fire Materials*,**29**,315-334.
- [4] **Bahk, G.**, 2003. *Yüksek Lisans Tezi*, Geniş hacimlerde duman hareketlerinin sayısal incelenmesi.İTÜ,İstanbul.
- [5] **NFPA-92B**, 1999. Guide for Smoke Management Systems 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] Building and Fire Research Laboratory, <http://www.bfrl.nist.gov>
- [8] **Babrauskas, V.**, 2002. Heat Release Rates, in *Handbook of Fire Protection Engineering*, pp. 3.1-3.35, NFPA Inc., Quincy, Massachusetts.
- [9] **Jones, W.W., Forney, G.P., Peacock, R.D. and Reneke, P.A.**, 2000. A Technical Reference for CFAST: An Engineering Tool for Estimating Fire Growth and Smoke Transport, NIST TN-1431, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- [10] **Karlsson B. and Quintiere G.**, 1999. Enclosure Fire Dynamics. Florida.
- [11] **Peacock, R.D., Reneke, P.A., Jones, W.W., Bukowski, R.W. and Forney, G.P.**, 2000. A User's Guide for FAST: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport, NIST SP-921, National Institute of Standards and Technology and Society of Fire Protection Engineers, Gaithersburg, MD.
- [12] **Klote, J.H.**, 1994. Method of Predicting Smoke Movement in Atria with Application to Smoke Management, NISTIR 5516, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

- [13] **Yamada, T.**, 1992. Experimental study of exchange flow through a horizontal ceiling vent, *Proceedings of the 12th Joint Panel Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety*, NIST, Gaithersburg-MD, 27 Ekim-2 Kasim, 63-66.
- [14] FLUENT, <http://www.fluent.com>
- [15] **Henkestad, G.**, 2002. Fire Plumes, Flame Height and Air Entrainment, in *Handbook of Fire Protection Engineering*, pp. 2.1-2.17, NFPA Inc., Quincy, Massachusetts.
- [16] **Chow, W.K.**, 1995. A Comparison of the Use of Fire Zone and Field Models for Simulating Atrium Smoke Filling Process, *Fire Safety J.*, **25**, 337-353.
- [17] **Rho, J.S. and Ryou, H.S.**, 1998. A Numerical Study of Atrium Fires Using Deterministic Models, *Fire Safety J.*, **33**, 213-229.

ÖZGEÇMİŞ

Ercan YILDIZ, 1979 yılında İstanbul'da doğdu. 1990 yılında Ahmet Merter İlkokulu'nu, 1993 yılında Kemal Has Ortaokulu'nu 1997 yılında Yunus Emre Süper Lisesi'ni bitirdi. 1997 yılında girdiği İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı Anabilimdalı, Gemi İnşaatı bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

İngilizce bilen Ercan YILDIZ, 2002 yılında Tuzla'da özel bir tersanede çalışmaya başlamış olup, halen görevini sürdürmektedir.