



**T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YAZILIMI
(FLUENT) KULLANILARAK BİR İŞYERİNDE
YANGIN ACİL DURUMUNDA DUMAN TAHLİYESİ
MODELLENMESİ**

Eren SAVAŞ

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

ANKARA-2015

**T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YAZILIMI
(FLUENT) KULLANILARAK BİR İŞYERİNDE
YANGIN ACİL DURUMUNDA DUMAN TAHLİYESİ
MODELLENMESİ**

Eren SAVAŞ

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

Tez Danışmanı

Esin Aytaç KÜRKÇÜ

ANKARA-2015

T.C.
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
İş sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

O N A Y

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı Eren SAVAŞ,
Esin Aytaç KÜRKÇÜ danışmanlığında başlığı “**Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği**
Yazılımı (Fluent) Kullanılarak Bir İşyerinde Yangın Acil Durumunda Duman Tahliyesi
Modellenmesi” olarak teslim edilen bu tezin savunma sınavı 23/12/2015 tarihinde yapılarak
aşağıdaki jüri üyeleri tarafından “**İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**” olarak kabul
edilmiştir.

Dr. Serhat AYRIM

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
Müsteşar Yardımcısı
JÜRİ BAŞKANI

Kasım ÖZER

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürü
ÜYE

İsmail GERİM

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.
ÜYE

Sedat YENİDÜNYA

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.
ÜYE

Prof. Dr. Yasin Dursun SARI

Öğretim Üyesi
ÜYE

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi olması için
gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Kasım ÖZER

İSGGM Genel Müdürü

TEŞEKKÜR

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü ve İSGÜM’de İSG uzman yardımcısı olarak çalışmaya başladığım günden beri, mesleki açıdan yetişmemdeki ve uzmanlık tezi çalışmamı hazırlama aşamasındaki değerli katkılarından dolayı Genel Müdürüm Sayın Kasım ÖZER’e ve Genel Müdür Yardımcılarım Sayın Dr. Rana GÜVEN’e, Sayın İsmail GERİM’e, Sayın Sedat YENİDÜNYA’ya, mesleki bilgileriyle çalışmalarına katkıda bulunan değerli birim şefim Sayın Neslihan ÇEVİKSOY’a değerli yorumlarıyla tezime yön veren tez danışmanım Sayın Esin Aytaç KÜRKÇÜ’ye ve bu süre içinde beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum ve her zaman değerli katkılarıyla yanımda olan tüm çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

ÖZET

Eren SAVAS

“Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı (Fluent) Kullanılarak Bir İşyerinde Yangın Acil Durumunda Duman Tahliyesi Modellenmesi”

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi

Ankara, 2015

Bir yangın esnasında insan hayatını, yüksek sıcaklığın yanı sıra oluşan duman ve zehirli gazlar da tehdit etmektedir. Bu nedenle, duman kontrolünün sağlanması insanların güvenli bir şekilde tahliye edilebilmeleri açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı; hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımının bir yangın durumunda uygulanması ve elde edilen bulguların işyerinde olması gereken teknik önlemlerin belirlenmesinde kullanılmasıdır. Bu çalışma kapsamında, esnek poliüretan sünger üreten bir işyerinde, olası bir yangın durumunda ortaya çıkacak duman ve içeriğindeki kimyasal gazların yayılımı ANSYS Fluent yazılımı ile incelenmiştir. 6 MW, 10 MW ve 15 MW yangın büyüklükleri için, açıklık ve bina hacmi değiştirilerek 18 farklı senaryo oluşturulmuş, duman ve içeriğindeki kimyasal gazların yayılımı ve sıcaklık dağılımı analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, tüm senaryolarda 250 sn sonunda açığa çıkan karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) değerleri kısa süreli maruziyet sınır değerleri (STEL) ile kıyaslanmış ve sonuçta STEL değerinin altında kaldığı görülmüştür. Yangın sonucu oksijenin işyeri ortamında ne kadar azaldığına ilişkin dağılım da modellenmiştir. Bir diğer incelenen bulgu, yangın sonucunda işyeri ortamındaki sıcaklık dağılımıdır. Gaz yoğunluğu ve sıcaklık değişimleri, çalışanın içinde bulunduğu seviye altında incelenmiştir. Bu bölgede hesaplanan değerlerin farklı hacimlerde kritik seviyelerde olduğu tespit edilmiş, sonuç olarak, Fluent yazılımı ile yapılan işyeri hacmine özgü modelleme neticesinde, uygun tavan açıklığı tasarlanması halinde dumanın çalışanı etkileyecek seviyeye inmesinin geciktirileceği tespit edilmiştir. Yangın durumunda işyeri için kritik bölgeler tespit edilmiş, elde edilen sonuçlar sıcaklık ve gaz dağılımları işyeri bina yüzeyi grafikleri ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yangın, Duman, İş sağlığı ve güvenliği, Modelleme, HAD

ABSTRACT

Eren SAVAS

**“Smoke Extraction Modelling Using Computational Fluid Dynamics Software (Fluent)
In Case of Fire Emergency at a Workplace”**

**Ministry of the Labor and Social Security, Directorate General of Occupational Health
and Safety**

Thesis for Occupational Health and Safety Expertise

Ankara, 2015

In case of a fire, human life is threatened by fumes and toxic gases as well as high-temperature. Therefore, providing smoke control has great importance for evacuating people safely. The aim of this study is using computational fluid dynamics software in case of a fire emergency and using findings for determination of the technical measures that should be taken in the workplace. Within the scope of this study, a workplace that produces flexible polyurethane foam was analyzed by ANSYS FLUENT software for smoke and gases in the chemical content dispersion. For 6 MW, 10 MW and 15 MW fire size, 18 different scenario were created by changing the openings and geometry volume; and the dispersion of the chemical content of the smoke gases and temperature were analyzed. After performing analysis, in all scenarios, carbon dioxide and carbon monoxide values which released after 250 s were compared with short term exposure limit (STEL) and it is seen that these values are below STEL values. The reduction of oxygen level in the air was modelled. Another examined finding is temperature dispersion at the workplace after the fire. Temperature dispersion value was examined at level which is higher than workers height. Temperature which was evaluated in different volume of this region above critical temperature. As a result of modelling using Fluent software, it was calculated that if proper opening is designed, smoke base height will not affect workers. In case of emergency fire critical region of factory geometry volume was calculated and illustrated by contour graphics.

Key Words: Fire, smoke, occupational health and safety, simulation, CFD

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLoların LİSTESİ	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. YANGIN KAVRAMI	3
2.1.1. Yangın Sırasında Meydana Gelen Isı Transfer Türleri	4
2.1.2. Yangın Oluşum Evreleri	6
2.1.3. Yangın Sınıfları	9
2.1.4. Yangın Nedenleri.....	10
2.1.5. Yangının İnsan Sağlığına Etkileri	11
2.2. DUMAN KAVRAMI.....	12
2.2.1. Açığa Çıkan Duman Miktarı	13
2.2.2. Duman Hareketine Yön Veren Kuvvetler	14
2.2.3. Duman Kontrolü	15
2.3. MEVZUAT.....	20
2.4. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	23
2.4.1. Bölge Modelleri.....	23
2.4.2. Alan Modelleri (HAD)	26
2.4.3. HAD Çalışma Prensibi	29
2.4.4. HAD Analizi Temel Basamakları.....	29
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER	31
3.1. ARAŞTIRMA SÜRECİ VE İŞYERİ	31
3.2. GEREÇLER	33
3.2.1. Yazılım Programı	33
3.2.2. Bilgisayar.....	36

3.3. YÖNTEMLER	36
3.3.1. Ön İşlem	42
3.3.2. Çözücü	47
3.3.3. Çıktılar	52
4. BULGULAR	53
4.1. DURUM-1 SENARYOSU (6 MW yangın, 33 540 m ³ hacim)	55
4.1.1. Durum 1.1: 6MW Yangın Yüğü, 33 540 m ³ Hacim, 70 m ² Kapı Açıklığı	55
4.1.2. Durum 1.2: 6 MW Yangın Yüğü, 33 540 m ³ Hacim, 14 m ² Kapı Açıklığı	61
4.2. DURUM-2 SENARYOSU (10 MW yangın, 33 540 m ³ hacim)	66
4.2.1. Durum 2.1: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m ³ Hacim, 70 m ² Kapı Açıklığı	66
4.2.2. Durum 2.2: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m ³ Hacim, 12,25 m ² Tavan, 14 m ² Kapı Açıklığı	71
4.2.3. Durum 2.3: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m ³ Hacim, 12,25 m ² Tavan, 70 m ² Kapı Açıklığı	75
4.2.4. Durum 2.4: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m ³ Hacim, Açıklık Yok, Yangın Büyük Hacimde	80
4.2.5. Durum 2.5: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m ³ Hacim, Açıklık Yok, Yangın Küçük Hacimde	83
4.3. DURUM-3 SENARYOSU (10 MW yangın, 26 100 m ³ hacim)	89
4.3.1. Durum 3.1: 10MW Yangın Yüğü, 26 100 m ³ Hacim, Açıklık Yok	89
4.3.2. Durum 3.2: 10 MW Yangın Yüğü, 26 100 m ³ Hacim, 12,25 m ² Tavan Açıklığı ...	93
4.3.3. Durum 3.3: 10 MW Yangın Yüğü, 26 100 m ³ Hacim, 14 m ² Kapı	97
4.4. DURUM-4 SENARYOSU (15 MW yangın, 26 100 m ³ hacim)	102
4.4.1. Durum 4.1: 15 MW Yangın Yüğü, Açıklık Yok	102
4.4.2. Durum 4.2: 15 MW Yangın Yüğü, 26 100 m ³ Hacim, 12,25 m ² Tavan Açıklığı .	106
4.5. DURUM-5 SENARYOSU (10 MW yangın, 7 440 m ³ hacim)	112
4.5.1. Durum 5.1: 10 MW Yangın Yüğü, 7 440 m ³ Hacim, 4 m ² Tavan Açıklığı	112
4.5.2. Durum 5.2: 10 MW Yangın Yüğü, 7 440 m ³ Hacim, 9 m ² Tavan Açıklığı	116
4.6. DURUM-6 SENARYOSU (6 MW yangın, 7 440 m ³ hacim)	121
4.6.1. Durum 6.1: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m ³ Hacim, 4 m ² Tavan Açıklığı	121

4.6.2. Durum 6.2: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m ³ Hacim, 9 m ² Tavan Açıklığı	125
4.6.3. Durum 6.3: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m ³ Hacim, 16 m ² Tavan Açıklığı	129
4.6.4. Durum 6.4: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m ³ Hacim, 16 m ² Tavan Açıklığı, Tavanda 2 Açıklık	132
4.6.5. Alan Açıklığı Değişiminin İncelendiğı Durum 6 Senaryoları İle İlgili Karşılaştırmalar	138
5. TARTIŞMA.....	145
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	155
KAYNAKLAR.....	159
ÖZGEÇMİŞ.....	163

TABLoların LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Bazı malzemelerin yanma sıcaklıkları	4
Tablo 2.2. Yanıcıların cinsine göre gelişme süresi değerleri	8
Tablo 3.1. Esnek poliüretan köpüğü ile ilgili bilgiler.....	37
Tablo 3.2. Yangın senaryoları için kullanılan mol ağırlıkları	37
Tablo 3.3. Poliüretan kimyasal içerik mol oranları	37
Tablo 3.4. Yangın senaryoları için yangın büyüklüğü için gaz oranı verileri	37
Tablo 3.5. 6 MW yangın büyüklüğü için, yanma ısısı ve yanma debisi	38
Tablo 3.6. 6 MW yangın büyüklüğü için Poliüretan mol ağırlığı ve yanma hızı.....	38
Tablo 3.7. 6 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme mol oranları	39
Tablo 3.8. 6 MW yangın Büyüklüğü için üretilen Malzeme debileri (g/s)	39
Tablo 3.9. 10 MW yangın büyüklüğü için yanma ısısı ve yanma debisi	39
Tablo 3.10. 10 MW yangın büyüklüğü için Poliüretan mol ağırlığı ve yanma hızı.....	39
Tablo 3.11. 10 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (mol/s)	40
Tablo 3.12. 10 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (g/s)	40
Tablo 3.13. 15 MW yangın büyüklüğü için yanma ısısı ve yanma debisi	40
Tablo 3.14. 15 MW yangın büyüklüğü için Poliüretan mol ağırlığı ve yanma hızı.....	40
Tablo 3.15. 10 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (mol/s)	41
Tablo 3.16. 15 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (g/s)	41
Tablo 4.1. Çalışmada incelenen 18 farklı senaryo ve senaryolarda kullanılan hacim, yangın yükü, kapı açıklığı ve tavan açıklığı değişkenleri	54
Tablo 4.2. Durum 1.1 Hava hacminde oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	56
Tablo 4.3. Durum 1.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	61
Tablo 4.4. Durum 2.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	67
Tablo 4.5. Durum 2.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	71

Tablo 4.6. Durum 2.3 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum ve maksimum değerler	76
Tablo 4.7. Durum 2.4 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	80
Tablo 4.8. Durum 2.5 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	83
Tablo 4.9. Durum 3.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	89
Tablo 4.10. Durum 3.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	93
Tablo 4.11. Durum 3.3 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	97
Tablo 4.12. Durum 4.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	102
Tablo 4.13. Durum 4.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	107
Tablo 4.14. Durum 5.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	112
Tablo 4.15. Durum 5.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	116
Tablo 4.16. Durum 6.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	122
Tablo 4.17. Durum 6.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	125
Tablo 4.18. Durum 6.3 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	129
Tablo 4.19. Durum 6.3 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler	133
Tablo 4.20. Çalışma kapsamında ele alınan tüm senaryoların, ilgili değişkenlerinin ve senaryo sonuçlarının incelenmesi	142

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İletim ile ısı transferi (Kondüksiyon)	5
Şekil 2.2. Taşınım ile ısı transferi (Konveksiyon).....	5
Şekil 2.3. Işınım ile ısı transferi (Radyasyon)	6
Şekil 2.4. Yangının evreleri.....	6
Şekil 2.5. Isı gücünün zamana bağlı değişimi	8
Şekil 2.6. Her yönden hava girişi olan yangın.....	13
Şekil 2.7. Alt ve üst bölgeler arasındaki geçiş.....	13
Şekil 2.8. Bölge model konseptinin gösterimi.....	24
Şekil 2.9. HAD uygulamaları	28
Şekil 2.10. HAD modelleme özet şeması	30
Şekil 3.1. Çalışmanın adımlarını gösteren iş akış şeması.....	31
Şekil 3.2. ANSYS modülleri	42
Şekil 3.3. a)Yangın hacmi, b)Hava hacmi.....	43
Şekil 3.4. Sayısal ağ yapısı detay	45
Şekil 3.5. Ağ özelliklerini belirleme.....	46
Şekil 3.6. Sayısal ağ genel görünüm.....	47
Şekil 3.7. Çözüm için genel ayarlar.....	48
Şekil 3.8. Enerji denklemi aktif edilmesi	48
Şekil 3.9. Akış şeklinin belirlenmesi	49
Şekil 3.10. Malzemelerin belirlenmesi	50
Şekil 3.11. Tüketilen oksijen miktarı	50
Şekil 3.12. Ürünlerin kütleli yüzdeleri	51
Şekil 3.13. Açığa çıkan malzeme debisi.....	51
Şekil 3.14. Çözüm aşaması.....	52
Şekil 4.1. Geometri açıklaması.....	53
Şekil 4.2. Durum 1.1 t=60. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	56
Şekil 4.3. Durum 1.1 t=180. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	57
Şekil 4.4. Durum 1.1 t=250. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	57

Şekil 4.5. Durum 1.1 t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	58
Şekil 4.6. Durum 1.1 t=250. saniye sonunda karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	58
Şekil 4.7. Durum 1.1 t=250. saniye sonunda sıcaklık dağılımı (0-300 °C).....	59
Şekil 4.8. Durum 1.1 Yerden 2,5 metre yükseklikte karbonmonoksit (CO) dağılımı(ppm)	59
Şekil 4.9. Durum 1.1 Yerden 2,5 metre yükseklikte karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	60
Şekil 4.10. Durum 1.1 Yerden 2,5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C).....	60
Şekil 4.11. Durum 1.2, t=60. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	62
Şekil 4.12. Durum 1.2, t =180. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	62
Şekil 4.13. Durum 1.2, t =250. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	62
Şekil 4.14. Durum 1.2, t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	63
Şekil 4.15. Durum 1.2, t =250. saniye sonunda karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	64
Şekil 4.16. Durum 1.2, t =250 saniye yerden 2,5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)	64
Şekil 4.17. Durum 1 senaryoları için havadaki ortalama CO ₂ miktarının zamana dağılımı	65
Şekil 4.18. Durum 1 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana dağılımı.....	65
Şekil 4.19. Durum 1 senaryoları için havadaki ortalama O ₂ miktarının zamana dağılımı	66
Şekil 4.20. Durum 2.1, t=60. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	67
Şekil 4.21. Durum 2.1, t=180. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	68
Şekil 4.22. Durum 2.1, t=250. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	68
Şekil 4.23. Durum 2.1, t=250. saniye sonunda karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)	69
Şekil 4.24. Durum 2.1, t=250. saniye sonunda karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	69
Şekil 4.25. Durum 2.1, t=250. saniye yerden 2,5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)	70
Şekil 4.26. Durum 2.1, t=250. saniye sonunda kütleli olarak minimum 0,22 olan bölge	70
Şekil 4.27. Durum 2.2, t=60. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	72
Şekil 4.28. Durum 2.2, t=180. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	72
Şekil 4.29. Durum 2.2, t=250. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	72
Şekil 4.30. Durum 2.2, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	73
Şekil 4.31. Durum 2.2, t=250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	73
Şekil 4.32. Durum 2.2, t=250. saniyede yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C) 74	
Şekil 4.33. Durum 2.2, t=250. saniyede yatay kesitte sıcaklık dağılımı 30-300 (°C)	74
Şekil 4.34. Durum 2.2, t=250. saniye sonunda kütleli olarak minimum 0.22 olan bölge	75
Şekil 4.35. Durum 2.3, t=60. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	76
Şekil 4.36. Durum 2.3, t=180. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	77

Şekil 4.37. Durum 2.3, t=250. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	77
Şekil 4.38. Durum 2.3, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	78
Şekil 4.39. Durum 2.3, t=250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	78
Şekil 4.40. Durum 2.3, t=250. yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)	79
Şekil 4.41. Durum 2.3, t=250. saniye sonunda kütsel olarak minimum 0.22 olan bölge	79
Şekil 4.42. Durum 2.4, t=60. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	81
Şekil 4.43. Durum 2.4, t=180. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	81
Şekil 4.44. Durum 2.4, t=250. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	81
Şekil 4.45. Durum 2.4, t=250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	82
Şekil 4.46. Durum 2.4, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	82
Şekil 4.47. Durum 2.4, t=250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C).....	83
Şekil 4.48. Durum 2.5, t=60. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	84
Şekil 4.49. Durum 2.5, t=180. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	85
Şekil 4.50. Durum 2.5, t=250. saniyede oksijen (O ₂) dağılımı	85
Şekil 4.51. Durum 2.5, t=250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	86
Şekil 4.52. Durum 2.5, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	86
Şekil 4.53. Durum 2.5, t=250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C).....	87
Şekil 4.54. Durum 2 senaryoları için havadaki ortalama CO ₂ miktarının zamana dağılımı	87
Şekil 4.55. Durum 2 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana dağılımı.....	88
Şekil 4.56. Durum 2 senaryoları için havadaki ortalama O ₂ miktarının zamana dağılımı	88
Şekil 4.57. Durum 3.1 t=60. saniyede oksijen dağılımı	90
Şekil 4.58. Durum 3.1 t=180. saniyede oksijen dağılımı	90
Şekil 4.59. Durum 3.1 t=250. saniyede oksijen dağılımı	90
Şekil 4.60. Durum 3.1 t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	91
Şekil 4.61. Durum 3.1 t=250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	91
Şekil 4.62. Durum 3.1 Yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C).....	92
Şekil 4.63. Durum 3.1 Dikey kesit sıcaklık dağılımı (°C).....	92
Şekil 4.64. Durum 3.2 t=60. saniyede oksijen dağılımı	94
Şekil 4.65. Durum 3.2 t =180. saniyede oksijen dağılımı	94
Şekil 4.66. Durum 3.2 t =250. saniyede oksijen dağılımı	94
Şekil 4.67. Durum 3.2 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	95
Şekil 4.68. Durum 3.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	96

Şekil 4.69. Durum 3.2 t=250. yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı ($^{\circ}\text{C}$)	96
Şekil 4.70. Durum 3.2 t=250. saniyede dikey sıcaklık kesiti	97
Şekil 4.71. Durum 3.3 t =60. saniyede oksijen dağılımı	98
Şekil 4.72. Durum 3.3 t =180. saniyede oksijen dağılımı	98
Şekil 4.73. Durum 3.3 t =250. saniyede oksijen dağılımı	99
Şekil 4.74. Durum 3.3 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	99
Şekil 4.75. Durum 3.3 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	100
Şekil 4.76. Durum 3.3 t =250. yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı ($^{\circ}\text{C}$)	100
Şekil 4.77. Durum 3 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana dağılımı....	101
Şekil 4.78. Durum 3 senaryoları için havadaki ortalama CO ₂ miktarının zamana dağılımı ..	101
Şekil 4.79. Durum 3 senaryoları için havadaki ortalama O ₂ miktarının zamana dağılımı	101
Şekil 4.80. Durum 4.1 t =60. saniyede oksijen dağılımı	103
Şekil 4.81. Durum 4.1 t =180. saniyede oksijen dağılımı	103
Şekil 4.82. Durum 4.1 t =250. saniyede oksijen dağılımı	104
Şekil 4.83. Durum 4.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	105
Şekil 4.84. Durum 4.1 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	105
Şekil 4.85. Durum 4.1 Yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı ($^{\circ}\text{C}$).....	106
Şekil 4.86. Durum 4.2 t =60. saniyede oksijen dağılımı	107
Şekil 4.87. Durum 4.2 t =180. saniyede oksijen dağılımı	108
Şekil 4.88. Durum 4.2 t =250. saniyede oksijen dağılımı	108
Şekil 4.88. Durum 4.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	109
Şekil 4.88. Durum 4.2 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm).....	109
Şekil 4.91. Durum 4.2 Yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı ($^{\circ}\text{C}$).....	110
Şekil 4.92. Durum 4 senaryoları için havadaki ortalama CO ₂ miktarının zamana dağılımı...	110
Şekil 4.93. Durum 4 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana dağılımı	111
Şekil 4.94. Durum 4 senaryoları için havadaki ortalama O ₂ miktarının zamana dağılımı	111
Şekil 4.95. Durum 5.1 t =60. saniyede oksijen dağılımı	113
Şekil 4.96. Durum 5.1 t =180. saniyede oksijen dağılımı	113
Şekil 4.97. Durum 5.1 t =250. saniyede oksijen dağılımı	114
Şekil 4.98. Durum 5.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	114
Şekil 4.99. Durum 5.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm).....	115
Şekil 4.100. Durum 5.1 t=250. saniyede sıcaklık dağılımı ($^{\circ}\text{C}$).....	115

Şekil 4.101. Durum 5.2 t =60. saniyede oksijen dağılımı	117
Şekil 4.102. Durum 5.2 t =180. saniyede oksijen dağılımı	117
Şekil 4.103. Durum 5.2 t =250. saniyede oksijen dağılımı	117
Şekil 4.104. Durum 5.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	118
Şekil 4.105. Durum 5.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm).....	119
Şekil 4.106. Durum 5.2 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C).....	119
Şekil 4.107. Durum 5 senaryoları için havadaki ortalama CO ₂ miktarının zamana dağılımı.	120
Şekil 4.108. Durum 5 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana dağılımı ..	120
Şekil 4.109. Durum 5 senaryoları için havadaki ortalama O ₂ miktarının zamana dağılımı ...	121
Şekil 4.110. Durum 6.1 t =60. saniyede oksijen dağılımı	122
Şekil 4.111. Durum 6.1 t =180. saniyede oksijen dağılımı	123
Şekil 4.112. Durum 6.1 t =250. saniyede oksijen dağılımı	123
Şekil 4.113. Durum 6.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	124
Şekil 4.114. Durum 6.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm).....	124
Şekil 4.115. Durum 6.1 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C).....	125
Şekil 4.116. Durum 6.2 t =60. saniyede oksijen dağılımı	126
Şekil 4.117. Durum 6.2 t =180. saniyede oksijen dağılımı	126
Şekil 4.118. Durum 6.2 t =250. saniyede oksijen dağılımı	127
Şekil 4.119. Durum 6.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	127
Şekil 4.120. Durum 6.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm).....	128
Şekil 4.121. Durum 6.2 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C).....	128
Şekil 4.121. Durum 6.3 t =60. saniyede oksijen dağılımı	130
Şekil 4.123. Durum 6.3 t =180. saniyede oksijen dağılımı	130
Şekil 4.124. Durum 6.3 t =250. saniyede oksijen dağılımı	130
Şekil 4.125. Durum 6.3 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm).....	131
Şekil 4.126. Durum 6.3 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	131
Şekil 4.127. Durum 6.3 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C).....	132
Şekil 4.128. Durum 6.4 t =60. saniyede oksijen dağılımı	133
Şekil 4.129. Durum 6.4 t =180. saniyede oksijen dağılımı	134
Şekil 4.130. Durum 6.4 t =250. saniyede oksijen dağılımı	134
Şekil 4.131. Durum 6.4 t =250. saniyede karbondioksit (CO ₂) dağılımı (ppm).....	135
Şekil 4.132. Durum 6.4 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm).....	135

Şekil 4.133. Durum 6.4 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı ($^{\circ}\text{C}$).....	136
Şekil 4.134. Durum 6 senaryoları için havadaki ortalama CO_2 miktarının zamana dağılımı..	136
Şekil 4.135. Durum 6 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana dağılımı ..	137
Şekil 4.136. Durum 6 senaryoları için havadaki ortalama O_2 miktarının zamana dağılımı ...	137
Şekil 4.137. Durum 6.1, Durum 6.2 ve Durum 6.3 senaryoları için CO_2 değişiminin alan açıklığına göre değişimi.....	138
Şekil 4.138. Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryoları için CO_2 miktarının alan açıklığına göre değişimi	139
Şekil 4.139. Durum 6.1, Durum 6.2 ve Durum 6.3 senaryoları için CO değişiminin alan açıklığına göre değişimi.....	139
Şekil 4.140. Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryoları için CO miktarının alan açıklığına göre değişimi	140
Şekil 4.141. Durum 6.1, Durum 6.2 ve Durum 6.3 senaryoları için O_2 değişiminin alan açıklığına göre değişimi.....	140
Şekil 4.142. Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryoları için O_2 miktarının alan açıklığına göre değişimi	141

SİMGE VE KISALTMALAR

ASCOS	Analysis of Smoke Control Systems (Duman Kontrol Sistemi Analizi)
ASET	Available Safe Egress Time (Güvenli Kaçış Mevcut Süresi)
C	Karbon
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
H	Hidrojen
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
H ₂ O	Su
KW	Kilowatt
LPG	Likit petrol gaz
m	Metre
MW	Megawatt
N ₂	Azot
NFPA	National Fire Protection Association (Amerikan Milli Yangından Korunma Kurumu)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health (Amerikan Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü)
NIST	(National Institute of Standards and Technology) (Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)
O ₂	Oksijen
ppm	m ³ havada bulunan maddenin mililitre cinsinden miktarı (ml/m ³)
PU	Poliüretan
RSET	Required Safe Egress Time (Gerekli Kaçış Süresi)
sn	Saniye
STEL	Short Term Exposure Limit (Kısa Süreli Maruziyet Değeri)
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Isı, yanıcı madde ve oksijenin belli oranlarda bir araya gelmesiyle başlayan reaksiyon yanma, yanma olayının kontrol dışına çıkmasına ise yangın denilmektedir. Yangın; süresi, mekânı ve nasıl gerçekleşeceği belli olmayan bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak değişen yapılar ve kullanıcı sayısında yaşanan artış yangın gerçekleşme olasılığını artırmaktadır.

Yangının insan sağlığına etkisi yüksek sıcaklık, zehirli gazlar ve dumandan kaynaklanmaktadır. Duman, yangın esnasında yaşanan can kayıplarının en önemli nedenidir. Dumanın yapısında bulunan karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrojen, anilin, nitrobenzen, sodyum nitrat ve hidrojen sülfat gibi zehirli ve uyuşturucu gazlar direkt olarak insan hayatını tehdit etmekte, içeriğindeki diğer katı ve sıvı tanecikler ise solunum yolu organları, göz vb. tahrip etmektedir. Yapılan çalışmalar, yangın ölümlerinin %90'ının duman kaynaklı olduğunu ortaya koymaktadır. Duman, doğrudan insana zarar vermekle birlikte, görüş mesafesinin de azalmasına sebep olmaktadır. Görüş mesafesinin azalması ve dumanla oluşan panik, dumana maruz kalınan sürenin uzamasına yol açarak hayati tehlikeyi artırmaktadır.

Yanan maddenin cinsi, oluşan dumanı, dumanın içeriğini ve dumanın ne kadar süre içerisinde tehlike sınırına ulaşacağını belirlemektedir. Yangın ölümlerinin en önemli sebebi olan dumanın kontrolünün gerçekleştirilmesi, yaşanacak can ve mal kaybının engellenmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Duman kontrolü; hacmin bölümlere ayrılması, dumanın seyreltilmesi, ortama taze hava beslenmesi, basınçlandırma, duman ve ısıyı dışa atımı gibi birçok farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir.

Dumanın kontrol altına alınması aşamasında iki temel faktörün değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu faktörler; yangının büyüklüğü ve yangının meydana geldiği hacmin mimari özellikleridir. Mimari özellik aşamasında, küçük hacim yangınları ve geniş hacim yangınları olmak üzere iki farklı durum ortaya çıkmaktadır. Küçük hacim yangın örnekleri, konut, ofis, otel odası vb. yerlerde çıkan yangınlar, geniş hacim yangın örnekleri ise atrium, alışveriş merkezi, konferans salonu, depo vb. yerlerde çıkan yangınlardır.

Geniş hacimlerde meydana gelen yangınlarda, yangın yükünün büyük ve dumanın yayılacağı alanın geniş olması nedeniyle yangın riski büyüktür. Duman kısa süre içerisinde yayılarak, bütün hacmi doldurmakta, böylece yangın kontrolsüz şekilde büyüyerek hasarın fazla olmasına yol açmaktadır. Geniş hacimlerde duman hem sıcaklık ve baca etkisi sebebiyle yükselmekte, hem de açıklıklardan gelen taze hava nedeniyle yatay olarak yayılmaktadır.

Yangın sonucu ortaya çıkan dumanın analizi için 2 yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ilki, deneysel yöntem, ikincisi ise sayısal çözümleme yöntemidir. Deneysel şartları oluşturmanın maliyeti yüksek olup, gerçek şartları deney ortamına birebir taşımak oldukça zordur. Özellikle geniş hacimli yangınların deney ortamında gerçekleştirilmesi hacmin büyüklüğü nedeniyle oldukça güçtür. İkinci yöntem olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımları ile simülasyonlar yapılabilmektedir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi daha az maliyetli ve kolay olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, poliüretan sünger kullanan bir işyerinde yangın sonucu açığa çıkan dumanın analizi bir HAD yazılımı olan ANSYS Fluent yazılımı ile yapılmıştır. Seçilen işletmede, farklı yangın büyüklükleri için ayrı ayrı simülasyonlar yapılmış, her defasında bir parametre (bina açıklıkları) değiştirilerek diğerleri sabit kalmak suretiyle farklı değişkenlerin yangın yayılımı ve yanan malzemenin açığa çıkardığı gazların yayılım hızı dağılımı üzerine etkileri incelenmiş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu çalışma ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımının bir yangın acil durumunda uygulanması ve elde edilen bulguların işyerinde olması gereken teknik önlemlerin belirlenmesinde kullanılması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında yangın ve duman kavramları hakkında genel bilgi verilmiş, duman kontrolü ile tasarım parametreleri incelenmiş, sayısal çözüm yöntemleri ve çeşitlerinden bahsedilmiştir. Çalışmada kullanılan ANSYS Fluent yazılımı anlatılmış, çalışma yöntemleri detaylı bir biçimde belirtilmiştir. Bulgular bölümünde poliüretan sünger üretimi yapan örnek bir işyeri model alınarak yangın simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Tartışma bölümünde çalışmada tespit edilen sonuçlar farklı yangın senaryolarında değişen parametrelere göre kıyaslanarak tartışılmış, değerlendirilmiş ve literatürde bulunan ilgili makale ve çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak benzerlik, farklılık içeren noktalar belirtilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde ise çalışma sonuçları vurgulanarak işyerinde iyileştirme yapılabilecek hususlara ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. YANGIN KAVRAMI

Fiziksel ve kimyasal bir olay olan yangın, ortamda bulunan oksijen, yanıcı madde ve ısıнын kontrol dışı birleşmesi, bunun sonucunda alev ve kuvvetli ısıнын açığa çıkmasıdır. TS 7486'nın iki farklı tanımına göre yangın:

- Dumanın, alevin ya da her ikisinin beraberce ısı yayması ile karakterize edilen yanma olayıdır [5].
- Yanmanın, zaman ve mekan olarak kontrol edilmemiş bir şekilde yayılmasıdır [5].

Yanma eyleminin başlaması için gereken oksijen, yanıcı madde ve ısı “yanma üçgeni” olarak adlandırılmaktadır. Bu üçgeni oluşturan unsurlardan birinin yokluğu durumunda yanma olayı meydana gelmemektedir. Bu unsurları kısaca açıklayacak olursak;

Yakıt: Yakıt yani yanıcı maddeler; katı, sıvı ve gaz halde bulunabilmektedir. Doğada element, bileşik ve karışım halinde bulunabilen yanıcı maddelere örnek olarak karbon ve hidrojen esaslı organik maddeler, alkol, eter, petrol, metan ve doğal gaz verilebilir. Yanıcı maddelerin çoğunun bileşiminde; karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, fosfor bulunmaktadır [4]. Isıl enerjiye maruz kalan bir maddenin tutuşma sıcaklığına gelerek yanması için yakıt ve havanın uygun oranlarda bir arada olması gerekir [2].

Yanıcı Maddeler:

1. Katı yakıtlar: Bu maddeler, genel olarak ısıнын etkisi ile yanıcı buhar ve gaz çıkartmakta, oksijenle birleştiklerinde yanma olayı gerçekleşmektedir. Bu grupta bazı yanıcı maddeler, önce eriyerek sıvı hale gelmekte, daha sonra buhar haline gelerek yanmaktadır. Bazıları ise, doğrudan buhar haline geçerek yanmaktadır (naftalin) [4,6].
2. Sıvı yakıtlar: Bu tip yanıcı maddeler, genelde buharlaştıktan sonra yanmaktadır. Bunların çoğu normal hava ısısında buharlaşmaktadır (benzin, tiner). Sıvı yanıcı maddelerin çıkarmış oldukları buharların çoğu, havadan ağırdır [4, 6]

3. Gaz yakıtlar: Katı ve sıvı yanıcılara oranla, daha kolay ve daha hızlı yanmaktadır. Oksijenle temasa getirilmeleri belirli oranlarda olmalıdır. Alt patlama sınırı kadar biriktiklerinde, en küçük bir ısı kaynağı (mesela kıvılcım) ile patlama meydana gelmektedir [4, 6].

Oksijen: Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olan oksijen $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sıvılaşmakta ve genellikle sıvı olarak depolanmaktadır. Ortamda bulunan oksijen, tutuşmanın meydana gelmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Eğer, ortamda yeterince oksijen yoksa yanma bir süre sonra sona erecektir. Yanma olayının gerçekleşmesi için en düşük oksijen oranı %13, görünür bir alevin oluşması için oksijen oranı ise %15 değerinde olmalıdır [2].

Isı: Malzeme veya maddenin moleküler faaliyet neticesinde sahip olduğu enerji anlamına gelen ısı, aynı zamanda, yakıt buharlarını oluşturan ve bu buharların tutuşmasını sağlayan en asgari enerji miktarıdır [1]. Yanmanın şiddeti etrafına yaydığı ısı ile ölçülmektedir. Yanmanın yayılma hızı 10 cm/sn 'yi geçerse bu olay "patlama" olarak isimlendirilmektedir [2, 3]. Farklı yanıcı malzemelerin, yanma sıcaklıkları da farklı olmaktadır (Tablo 2.1.) [7].

Tablo 2.1. Bazı malzemelerin yanma sıcaklıkları [7]

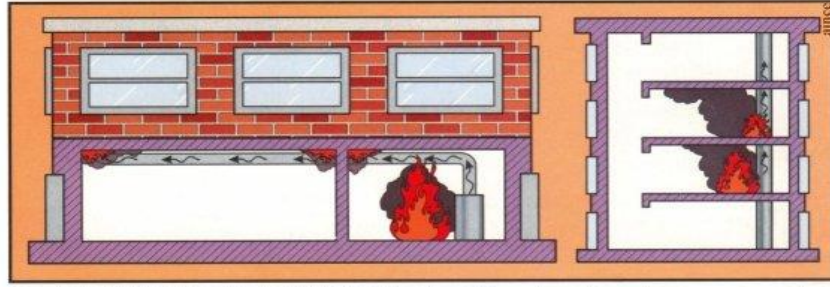
MALZEME	YANMA SICAKLIĞI
Esnek poliüretan	335°C
Gazete kağıdı parçaları	$230\text{ }^{\circ}\text{C}$
Polietilen	$340\text{ }^{\circ}\text{C}$
PVC	$391\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.1.1. Yangın Sırasında Meydana Gelen Isı Transfer Türleri

Ekzotermik bir tepkime olan yanma eylemi esnasında sürekli olarak ısı üretimi gerçekleşmektedir. Yanma devam ettiği sürece zincirleme olarak çevrede bulunan maddeler tutuşma sıcaklığına ulaşmakta ve bu maddeler de yanmaya başlamaktadır [8]. Yangın esnasında ısı enerjisinin aktarımı üç farklı yolla gerçekleşmektedir.

2.1.1.1. İletim ile ısı transferi (kondüksiyon)

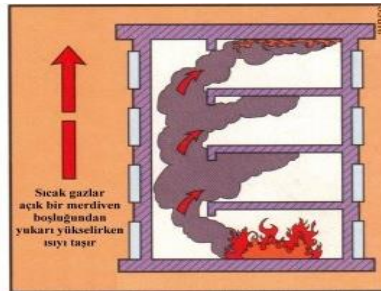
Birbirine fiziksel olarak temas eden veya aynı ortam içerisinde bulunan yanıcı malzemeler arasında gerçekleşen ısı transferine “kondüksiyon” denilmektedir. Bu transfer çeşidi genellikle katı cisimlerde görülmektedir. Isı enerjisi katılarda yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ilerlemektedir. Atom ve moleküllerin hareketleri sonucunda gerçekleşen bu ilerleme ile madde hareket etmeden ısı enerjisini farklı bir noktaya iletebilmektedir.



Şekil 2.1. İletim ile ısı transferi (Kondüksiyon) [4]

2.1.1.2. Taşınım ile ısı transferi (konveksiyon)

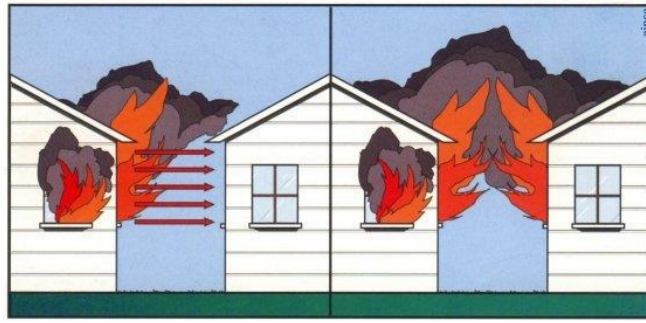
Konveksiyon genellikle gaz ve sıvılarda görülmektedir. Taşınım yoluyla ısı transferi özellikle yangının ilk aşamasında önemli bir yere sahiptir. Yangın esnasında ortamda bulunan gaz ve sıvıların kinetik enerjisi artmakta, böylece yükselerek ısı kaynağından uzaklaşmaktadır. Örnek verilecek olursa, yangın sonucunda oluşan duman, baca etkisi ile yükselerek, yapılarda üst katlara ısı aktarmakta ve yangını taşımaktadır.



Şekil 2.2. Taşınım ile ısı transferi (Konveksiyon) [4]

2.1.1.3. Işınım ile ısı transferi (radyasyon)

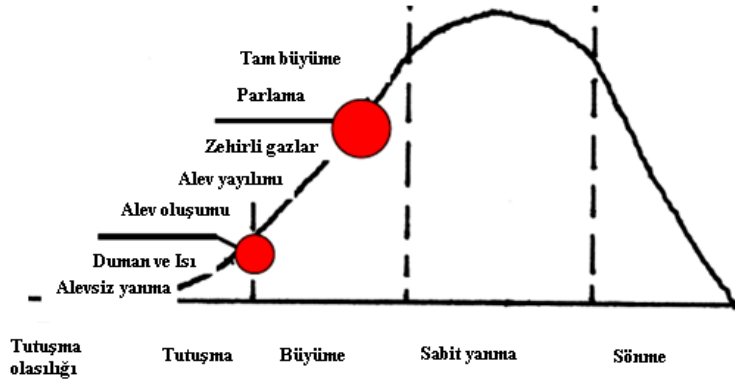
Bu transfer şeklinde arada iletken veya akışkan olmamasına rağmen ısı, ışın olarak yayılarak karşısındaki maddeyi tutuşma sıcaklığına yükseltmektedir. Mutlak sıfırın üzerinde bir sıcaklığa sahip bütün malzemeler ışıınım yapmaktadır. Eğer malzemeler soğurdukları ısıdan daha hızlı bir hızda ışıınım yapıyorsa soğuk, eğer malzemeler soğurdukları ısıdan daha yavaş bir hızda ışıınım yapıyorlarsa sıcaktır. Bir ortamda her şey aynı sıcaklıkta ise bu ortamda bulunan malzemelerin ısı soğurma özelliği ve ışıınımla ısı yayma miktarları da aynı oranda gerçekleşmektedir [9]. Işıınım, yangının yayılmasına neden olan en etkili ısı transfer türüdür.



Şekil 2.3. Işıınım ile ısı transferi (Radyasyon) [4]

2.1.2. Yangın Oluşum Evreleri

Yangın 4 temel evreden oluşmaktadır. Bunlar; tutuşma, büyüme, sabit yanma ve sönmedir. Bu evrelerin her birinde yangın farklı davranışlar göstermektedir. Bu nedenle her bir evre ayrı incelenmelidir.



Şekil 2.4. Yangının evreleri [10]

Tutuşma Evresi: Tutuşma evresinde yanma olayı sadece belirli bir bölgede gerçekleşmekte olup büyüme hızı yavaştır. Bu evrede can ve mal kaybı riski pek bulunmamaktadır. Tutuşma safhasında yapılacak doğru müdahale ile yangının büyümesi engellenebilmektedir.

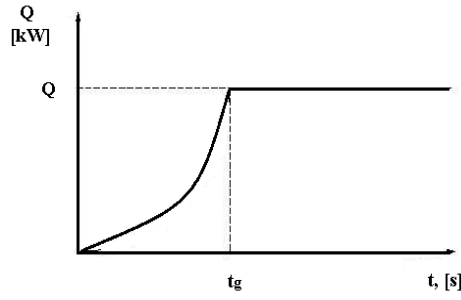
Gelişme Evresi: Tutuşma evresinden sonra yanıcı malzeme buhar yaymaya başlayıp, yayıldığı yüzeyin yakınında yanmaktadır. Yangının gelişme evresine birçok faktör etki etmektedir, ancak saçılma alevlerin tavana erişmesi ile başlamaktadır. Bu evrede transfer olan ısı miktarı ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu ısıyla, diğer yanıcı maddeler kendi yanma noktalarına ulaşarak tutuşmaktadır. Bu durum, sabit yanma evresinin başladığını göstermektedir [10].

Sabit Yanma: Gelişme evresinde, ortamda yeterli miktarda oksijen bulunmuyorsa parlama gerçekleşmeyebilmektedir. Böyle bir durum gerçekleşirse yangın tümüyle sönmekte ya da içten içte devam etmektedir. Eğer yangın içten içe devam ederse, ortam alevlenebilir buharla dolacaktır. Böylelikle, ortama girecek oksijen alev püskürmesine sebep olacaktır. Bu nedenle, yangının olduğu kapalı bir ortama girmeden önce ortam havası denetimi gerçekleştirilmelidir. Kapalı ortamlarda gerçekleşen yangınlarda bu evrede alev mekanın tamamını kaplamaktadır. Bu evreyle ilgili bilinmesi gereken bir diğer önemli husus ise en yüksek sıcaklığa bu evrede erişilmesidir [10].

Sönme: Yangının son evresi sönmedir. Bu safhada ortamda bulunan yanıcı maddeler tükenmekte, böylece yangının şiddeti azalmaktadır. Bu evrenin başlangıcı olarak, yangındaki en yüksek sıcaklığın %80 oranında düştüğü an baz olarak alınmaktadır.

2.1.2.1. Zamana bağlı yangın modeli

"NFPA 92B: AVM, Atrium ve Geniş Hacimler için Duman Yönetim Sistemi Standardı" tarafından tanımlanan t^2 yangın modeli, en çok kabul gören zamana bağlı yangın modelidir. t^2 yangın modelinde, ısı gücünün zamana bağlı olarak nasıl değiştiği Şekil 2.5'de gösterilmiş olup, yangının gelişme evresinde, ısı gücü zamanın karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 2.5. Isı gücünün zamana bağlı değişimi [16]

Yanıcı malzemelerin yanma hızı ile ilişkili olarak dört farklı gelişme süresi bulunmaktadır. Açığa çıkan ısı, en yüksek değerine, yanma hızı çok yüksek olan malzemeler için 75 sn, yüksek olan malzemeler için 150 sn, orta olan malzemeler için 300 sn, yavaş olan malzemeler için ise 600 sn sonunda ulaşmaktadır.

Tablo 2.2. Yanıcıların cinsine göre gelişme süresi değerleri [16]

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

2.1.2.2. Tam gelişmiş yangın modeli

Bir diğer bilinen model olan tam gelişmiş yangın modelinde, ısı gücünün, tutuşma evresinden itibaren maksimum yangın büyüklüğü değerine ulaştığı ve sabit kaldığı kabul edilmektedir. Bu varsayımın geçerli olduğu durumlar:

- Tutuşma ve gelişme evrelerinin çok kısa sürdüğü sıvı yangınları,
- Yağmurlama sistemi faaliyete geçtikten sonra açığa çıkan ısıнын sabit kaldığı durumlar,
- Yanıcılardan birinin sönüp diğerinin yanmaya başladığı, bu nedenle yangın büyüklüğünün sabit kaldığının kabul edildiği yangınlardır.

2.1.3. Yangın Sınıfları

Yangınlar, yanıcı maddenin çeşidi göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır. TS EN 2 ve TS EN 2/A1 Türk Standartlarına göre yangın A, B, C, D ve F olmak üzere 5 farklı sınıfa ayrılmıştır. E sınıfı TSE’de yer almamaktadır.

A Sınıfı Yangınlar:

A sınıfı yangınlar katı yanıcı madde yangınlarıdır. Metaller bu kapsam dışında yer almaktadır. Odun, kömür, kağıt, plastik, pamuk gibi yanıcı maddelerin neden olduğu yangınlar bu sınıfa girmektedir. A sınıfı yangınlar, soğutma özelliği olan maddeler kullanılarak söndürülmektedir.

B Sınıfı Yangınlar:

B sınıfı yangınlar, benzin, benzol, tiner, makine yağları, laklar, yağlı boyalar, katran, asfalt gibi sıvı yanıcı maddelerin sebep olduğu yangınlardır. Bu yangınlar, yanan madde ile oksijen temasının kesilmesi sonucu sönmektedir.

C Sınıfı Yangınlar:

C sınıf yangınlar, yanıcı gazların neden olduğu yangınlardır. Likit Petrol Gazı, doğal gaz, asetilen, hidrojen gazı, metan, propan, bütan gibi gazlar yanıcı gazlara örnek verilebilmektedir. C sınıfı yangınların bir diğer özelliği ise hızlı yayılma, parlama ve patlama olasılığının en fazla olduğu yangın sınıfı olmasıdır. C sınıfı yangınlar yangının kaynağının kesilmesi ve soğutma işleminin gerçekleştirilmesi ile söndürülmektedir.

D Sınıfı Yangınlar:

D sınıfı yangınlar alüminyum, potasyum, magnezyum gibi yanıcı metaller sebebiyle meydana gelen yangınlardır. Bu yangın çeşidinde alev oluşmamakta olup, kor şeklinde yanma görülmektedir. D sınıfı yangınlar, bu sınıf için özel olarak üretilmiş D sınıfı kuru toz ile söndürülmektedir.

F Sınıfı Yangınlar:

F sınıfı yangınlar, bitkisel ve hayvansal pişirme yağlarının neden olduğu yangınlardır. Bu tip yangınlarda müdahale aşamasında asla su kullanılmamalıdır. Söndürme işlemi için sulu kimyasal ya da toz söndürücüler kullanılmaktadır.

TSE’de yer almayan E sınıfı yangınlar ise, elektrik sistemindeki kısa devreler, elektrik arkı ve statik boşalmaları nedeniyle meydana gelmektedir. E sınıfı yangınların sayısı azımsanamayacak boyutlardadır. Bu tip yangınlarda öncelikle elektrik akımı kesilmektedir. Daha sonra yanıcı maddenin cinsine uygun bir söndürme yöntemi seçilmektedir.

2.1.4. Yangın Nedenleri

Yangının meydana gelmesinin birçok farklı nedeni bulunmaktadır.

2.1.4.1. Bilgi eksikliği

Yangın ile ilgili yeterli eğitim alınmaması ve yangına karşı alınacak önlemlerin bilinmemesi yangının en önemli sebepleri arasında yer almaktadır. Elektrikli aletlerin doğru kullanılmaması, ısıtma sistemlerinin yanlış yerleştirilmesi gibi faktörler yangına davetiye çıkartmaktadır [11].

2.1.4.2. İhmal

Yangının bilinen en önemli nedenlerinden birisi de ihmaldir. Yangın hakkında gerekli eğitimlerin alınmasının yanı sıra kişilerin duyarlı olması ve ihmalkâr davranmaması gerekmektedir. Önemsemeden yere atılan sigara izmariti veya prizden çekilmeyen elektrikli cihazlar önlenemeyen büyük yangınlara sebep olmaktadır.

2.1.4.3. Korunma önlemlerinin alınmaması

Yangınların meydana gelmesine neden olan bir diğer unsur da korunma önlemlerinin alınmamasıdır. Örneğin, büyük yerleşim alanları, işyerlerinde çıkan yangınların çoğu elektrik kontağı, ısıtma sistemleri, LPG tüplerinin gerekli önlemler alınmadan kullanılması ile kullanım prosedürlerinin doğru uygulanmaması, ortamda kolaylıkla tutuşabilecek

malzemelerin bulunması, tesisat bakım ve onarımlarının aksatılması gibi faktörler sebebiyle gerçekleşmektedir [11].

2.1.4.4. Sıçrama

Sıçrama, doğrudan yangına neden olmamaktadır. Kontrol altına alınmış ya da devam etmekte olan bir yangın; maddeler arası yakınlık, hava koşulları, iletim biçimleri, kullanım hataları birçok nedenden ötürü yayılabilmektedir. Örneğin, üretim tesislerinde makinelerden sıçrayan kıvılcımların yanıcı maddelerle temas etmesi, sıcak sıvı ve gazların konveksiyon yoluyla boş alanlara sıçraması (baca etkisi), bacalardaki yapım hataları, ısı tesisat sistemlerinin aşırı ısınması gibi nedenlerle oluşan yangınlar bu başlık altında değerlendirilebilmektedir [11].

2.1.5. Yangının İnsan Sağlığına Etkileri

2.1.5.1. Yüksek sıcaklık

Yangın esnasında ortam sıcaklığı çok hızlı bir şekilde yükselmektedir. Yangın esnasındaki en büyük sıcaklık artışı ilk beş dakika içerisinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, yangınlarda ilk dakikalar büyük önem taşımaktadır. Yüksek sıcaklık, insan vücuduna çok büyük zarar vermektedir. Örneğin, derinin yanmasıyla deri altındaki ter bezleri tahrip olmaktadır. Bu nedenle toksik maddeler deri yoluyla vücuttan dışarı atılamayarak, kan zehirlenmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra hayati organlarda iç kanama, kalbin ritminde bozulma, aşırı su kaybı, solunum sıkışması gibi ölümle son bulunan rahatsızlıklar gözlemlenebilmektedir [12].

2.1.5.2. Zehirli gazlar

Yangın esnasında gerçekleşen ölümlerin çoğuna zehirli gazlar neden olmaktadır. Zehirli gazlar etkilerine göre üç başlıkta incelenmektedir:

1.Grup Zehirli Gazlar: Bu gazlar zehirli olmadığı halde ortamda oksijen yetersizliğine neden olmaktadır. İnsan vücudu, oksijen oranının %16'nın üzerinde olmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, oksijen dışındaki tüm gazlar zehirli kabul edilmektedir. Su buharı, azot, helyum, neon, hidrojen, metan, etan vb. bu grupta yer almaktadır [12].

2. Grup Zehirli Gazlar: Bu gruptaki gazlar hidroklorik asit, nitrik asit, formik asit, asetik asit, amonyak, azotdioksit, kükürtdioksit gibi asidik ve bazik gazlardır. Bu gazlar, nefes yollarını tahriş ederek, göz ve deriye zarar vermektedir [12].

3. Grup Zehirli Gazlar: Bu gazlar, kana, sinir sistemine ve hücrelere etki etmektedir. Karbon monoksit, hidrojen siyanür, kükürt karbonat ve hidrojen sülfür bu sınıfta yer almaktadır. 3. grup zehirli gazlar ayrıca, merkezi sinir sistemini tahrip ederek ölüme sebep olmaktadır [12].

2.1.5.3. Duman

Yanma ürünleri çoğunlukla su buharı, karbondioksit (CO_2), karbon monoksit(CO) ve benzeri zehirleyici gazları içermektedir. Yanan ürünler hidrojen ve doğalgaz gibi parçalanmayan ya da az parçalanan ürün ürettiğinde görülmeyen duman oluşmaktadır. Yanan ürünlerin bazıları alevsiz yandıklarında çok yoğun duman çıkarmasına rağmen, bazıları sadece alevle yandığında aynı miktarda duman çıkartmaktadır. Yangınlarda meydana gelen ölümlerin temel nedeni zehirli ve boğucu gazlar içeren dumandır. Yangın esnasında ortaya çıkan dumanın bir diğer olumsuz etkisi de özellikle kapalı alan yangınlarında görüş mesafesini sınırlandırmasıdır [12].

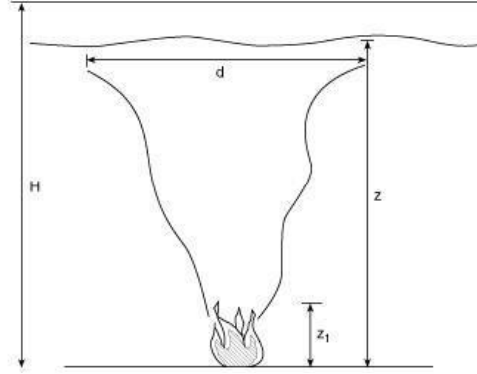
2.2. DUMAN KAVRAMI

Duman, NFPA 92: Duman Kontrol Sistemleri Standardı'na göre; havada taşınan katı ve sıvı partiküllerin, bir miktar havayla yanması ile oluşan gazlardan meydana gelen bir karışım olarak tanımlanmaktadır. Yapılan istatistiki çalışmalar, yangın esnasında gerçekleşen ölümlerin %90'una zehirli dumanın neden olduğunu göstermektedir. Dumanın içerisinde bulunan zehirli maddeler ve gazlar direkt olarak hayatı tehdit etmekte, barındırdığı diğer katı ve sıvı maddeler solunum yoluna göz vb. organlara zarar vermektedir. Görüş mesafesinin kısılmasına neden olan duman, paniğe yol açarak maruziyet süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bu durum, özellikle yüksek binalarda hayati tehlikeyi artırmaktadır [13].

Duman, hayati tehlikeye yol açmanın yanı sıra, maddi zarara da neden olmaktadır. Yanan malzemenin cinsiyle de ilişkili olarak, duman birkaç dakika içerisinde tehlike sınırlarına gelebilmektedir. Duman bütün hacmi kapladığında, azalan görüş mesafesi yangın söndürme ekiplerinin müdahalesini engelleyerek, süreci olanaksız kılabilir. Duman, hayati tehlikeye yol açmanın yanı sıra, maddi zarara da neden olmaktadır. Yanan malzemenin cinsiyle de ilişkili olarak, duman birkaç dakika içerisinde tehlike sınırlarına gelebilmektedir. Duman bütün hacmi kapladığında, azalan görüş mesafesi yangın söndürme ekiplerinin müdahalesini engelleyerek, süreci olanaksız kılabilir.

2.2.1. Açığa Çıkan Duman Miktarı

Geniş hacim yangınlarında binada, kapı ve pencere gibi birçok açıklık bulunabilmektedir. Bu açıklıklar nedeniyle yangın, dışarıdan gelen havanın engellenmesi yöntemi ile söndürülememektedir. Bu sebeple, geniş hacimlerde gerçekleşen yangınlar, açık alan yangınları olarak değerlendirilmektedir [14].



Şekil 2.6. Her yönden hava girişi olan yangın [19]

Geniş hacimli binalar için duman kontrol sistemi tasarlanırken, dumanın kritik bir yüksekliğin altına inmemesi sağlanmaktadır. Bunu sağlamak için duman doğal veya mekanik havalandırma yöntemleri ile tahliye edilmektedir [15]. Oluşan duman tabakasının altında temiz alt bölge sağlayabilmek için, tahliye edilecek dumanın miktarı bilinmelidir. Duman miktarı belirlenirken model deneyleri baz olarak alınmaktadır [16].



Şekil 2.7. Alt ve üst bölgeler arasındaki geçiş [14]

Şekil 2.7.'de görüldüğü üzere, hacmin üst kısmında bulunan duman tabakası ve alt kısmındaki temiz bölgenin birbirinden net bir biçimde ayrılamaması, duman tabakası kalınlığının tam olarak belirlenememesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, duman tabakası kalınlığının belirlenmesinde kütle oranlarının dağılımından yararlanılmıştır. Bunun için ele alınan geniş hacmin zeminine paralel olarak alınan çeşitli kesitlerde, dumanın kütle oranı, sayısal değer olarak elde edilmiştir.

2.2.2. Duman Hareketine Yön Veren Kuvvetler

Duman hareketi, akış ve ısı-kütle geçişi problemi şeklinde ele alınmaktadır. Duman akış probleminin bazı özellikleri bu konunun “Duman Kontrolü” adlı ayrı bir başlık altında incelenmesine neden olmaktadır [16]. Bu özelliklerden biri “basınç farkı”dır ve sadece birkaç Pascal basınç farkı, duman akışının önemli derecede etkilenmesine yol açmaktadır.

Birçok çalışmada, tavanında yatay doğal havalandırma açıklığı bulunan kapalı hacimlerde duman hareketleri incelenmiş ve açıklık ile dış ortam arasındaki akışın iki yönlü olması durumu ele alınmıştır [17,18]. Duman hareketlerinin alan modelleriyle incelendiği durumlardaki en önemli şart, doğal havalandırma açıklığının basınç değeridir. Eğer havalandırma açıklığının iki tarafı arasındaki basınç farkı kritik bir değerden küçük olursa, iç kısma doğru geri akış gözlemlenmektedir. Geri akış, iç ortamdaki sıcaklığın düşük olması ve buna bağlı olarak çekişin yetersiz kalması sonucu meydana gelmektedir. Yani, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkının düşük olması, geri akış ihtimalini artırmaktadır.

Tavandan içeri hava girmesi durumunda, oluşan duman tabakası dağılarak temiz alt bölge oluşumunu engellemektedir. Bu sorunun yaşanmaması için, dumanın bir miktar birikmesi beklenmelidir ve havalandırma, basınç ve sıcaklık değerleri kritik değerin üzerine çıktığında açılmalıdır [16].

Duman hareketini belirleyen en önemli etkenlerden biri olan basınç değeri; sıcak gazların kaldırma kuvveti, baca etkisi, gazların genişlemesi ve rüzgar basıncı gibi faktörlerden etkilenmektedir.

İç ve dış ortam basıncının birbirine eşit olduğu durumda hava akışı meydana gelmemektedir. Akışın meydana gelmediği bu bölgeden alınan yatay kesite “nötral düzlem” adı verilmektedir [16]. Bu olay baca etkisi olarak da bilinmektedir. Sıcak gazların sebep olduğu basınç farkı, baca etkisinin oluşturduğu basınç farkından daha büyüktür. Bu nedenle, duman kontrol sistemi tasarlarken sıcak gazların kaldırma kuvveti göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada yeterince geniş bir hacim incelendiğinden, bina geometrisinde dışa açılan açıklıklar, başlangıçta hava ile aynı basınç ve sıcaklık değerlerine sahip alınmıştır.

2.2.3. Duman Kontrolü

Yangın ölümlerinin en önemli nedeni olan dumanın kontrolünün gerçekleştirilmesi, yaşanacak can ve mal kaybının engellenmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Duman kontrolü birçok farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler; hacmin bölümlere ayrılması, dumanın seyreltilmesi, ortama taze hava beslenmesi, basınçlandırma ve sıcak gazların tahliyesi şeklinde sıralanabilmektedir [14]. Bu çözüm yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı, binanın mimarisi ve kullanım amacına bağlı olarak değişmektedir.

2.2.3.1. Duman kontrol stratejileri

Geniş hacimli binalar için birçok farklı duman kontrol stratejisi bulunmaktadır [14,20,21]. Duman kontrolü için tanımlanan çeşitli alternatif yaklaşımlar aşağıda yer almaktadır.

2.2.3.1.1. Duman dolumu

Bu yaklaşım, duman havalandırmasının önemli olmayabileceği geniş hacimli yapılara uygulanabilmektedir. Bu strateji, binalardaki çalışanların güvenli çıkışı için gereken zamanda, çatı boşluğuna dumanın dolduğu durumlarda uygulanabilmektedir. Bu durumda, yangın mevcut yakıtı tüketmeden önce duman tabakasının uzunluğu kabul edilemez seviyeye ulaşmayabilmektedir. Bu yaklaşım yangının öngörülebilir bir oranla büyüdüğünü varsaymaktadır. Klote and Milke [6], sabit ve büyüyen yangınların her ikisi için de ateşin üzerindeki duman tabakası uzunluğunu zamana göre belirlemek amacıyla deneysel ilişkiler sunmaktadır. Bu strateji sadece, duman kontrolü tasarımcısı, hesaplamayla duman havalandırmasının gerekli olmadığını gösterebilirse kullanılmalıdır.

2.2.3.1.2. Duman tasfiyesi

Bu yaklaşım, yangın bastırıldıktan sonra geniş hacimli binalardan dumanın tahliye edilmesi için gereken havalandırmayı sağlamaktadır.

2.2.3.1.3. Geniş hacimlerden duman ve ısı egzosunun havalandırılması

Bu yaklaşım, güvenli kaçış sağlamak için, binadaki çalışanların üzerinde bir tabaka oluşturmak amacıyla yangında meydana gelen dumanlı gazların yüzme özelliğini kullanmaktadır.

2.2.3.1.4. Geniş hacimlerden sıcaklık kontrol havalandırması

Bu strateji, zemin üzerindeki duman tabakası uzunluğu, kritik bir tasarım parametresi olmadığında kullanılmaktadır. Bu durumda, duman egzosu, dumanlı gazların tabakasındaki sıcaklık değerinin maksimuma ulaşması için kullanılabilir. Bu yaklaşım, sıcak gazlar tarafından zarar verilebilecek malzemelerin (bina cephelerinde kullanılan yangına dayanıklı olmayan malzemeler) kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

2.2.3.1.5. Her bir kattan duman ve ısı dışa atımı

Bazı durumlarda, eğer zeminden yükselen duman tabakasının uzunluğu çok yüksek olursa, geniş alanlardan duman egzosunun havalandırılması kullanışsız olabilmektedir. Geniş hacme giren dumanı engellemek faydalı olabilmektedir. Bu, geniş hacimli binalardaki her bir kata stratejik bir biçimde yerleştirilmiş duman perdeleriyle başarılabilmektedir. Bu yöntemle her bir kattaki duman egzosu havalandırılmaktadır.

2.2.3.1.6. Geniş hacimlerin basıncını alma

Geniş alan ve komşu alanlar arasındaki sınırların küçük açıklarla bağlı olduğu yerlerde (kapı açıklıkları, sızıntılı cepheler vb.), bu açıklıklar vasıtasıyla gelen dumanı önlemek gaz tabakasının basıncını azaltarak mümkün olmaktadır. Bu yaklaşım basınç alma olarak bilinmektedir. Bu tekniğin amacı komşu alanlara giden dumanı önlemektir ve geniş hacimli alanların korunmasına yardımcı olmamaktadır. Bu teknik, geniş alan hacimlerinde uygulanan doğal havalandırmaya benzer niteliktedir.

2.2.3.1.7. Yukarıdaki stratejilerin kombinasyonu (karışık duman kontrolü)

Yukarıdaki stratejilerin çeşitli kombinasyonları, örneğin geniş hacimlerin basıncını alma ile duman ve ısı egzozunun havalandırılması birlikte uygulanabilmektedir.

2.2.3.2. Tasarımın kararlaştırılması

Bir tasarımda, yangının büyüklüğü, duman tabakası kalınlığı, duman haznesi, havalandırma boyutu, geniş hacmin boyutları gibi birçok önemli, dikkate alınması gereken parametre bulunmaktadır. Bu parametreler göz önünde bulundurularak tasarlanan bir sistem, can güvenliği sağlamanın yanı sıra yangınla mücadele etmek ve maddi zararın engellenmesi gibi ikinci bir fayda sağlamaktadır. Tasarım aşamasında göz önünde bulundurulan önemli etmenler aşağıda yer almaktadır.

2.2.3.2.1. Tasarım yangın büyüklüğü

Yangın esnasında oluşan ısı, zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Yangın büyüklüğü kavramı ise yangında oluşan en büyük ısı gücü anlamına gelmektedir. Yangının büyüklüğü doğrudan yanıcıların cinsi ile ilişkilidir. Örneğin, ahşap mobilyaların yanması esnasında 1 ile 4 MW arasında ısı gücü açığa çıkarken, otomobilin yanması esnasında yaklaşık 8 MW ısı gücü açığa çıkmaktadır.

Yangın büyüklüğünü etkileyen bir diğer faktör ise yanıcıların konumudur. Yanıcı malzemelerin arasındaki mesafenin az olması, yangının büyüklüğünün fazla olmasına neden olmaktadır. Örneğin, malzemelerin üst üste yığıldığı depolarda, tahıl ambarlarında en yüksek yangın büyüklüğü değerlerine ulaşılmaktadır.

NFPA 92B’de çeşitli kişiler tarafından elde edilen ısı akı değerleri yer almaktadır. Bu değerler incelendiğinde, otel odası, ofisler ve endüstriyel hacimler için olan ısı akı değerlerinin 200-300 kW/m² arasında seyrettiği görülmektedir [15].

Herhangi bir yangın büyüklüğüyle başa çıkacak bir duman tahliye sistemi tasarlamak zordur. Tasarımın amacı doğrultusunda yangının büyüklüğünü belirlemek için birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Yangın tahliye sistemleri genellikle tam gelişmiş yangınlar ve parlama sonrası ile başa çıkmak için tasarlanmamaktadır.

Yağmurlama (sprinkler) sisteminin bulunması tasarım yangın büyüklüğü değerini önemli ölçüde etkilemektedir. Yağmurlama sistemi tarafından korunan geniş hacimli bir ortamda yangın büyüklüğü 1 MW alınırken, yağmurlama sisteminin bulunmadığı geniş hacimli bir ortamda bu değer 6 MW'a kadar çıkmaktadır [15]. Eğer yağmurlama sistem ve kesin bir yangın merkezi yoksa, yangının büyüklüğünün sabit seçilmesi gerçekdışı olmaktadır. Genel parlamadan itibaren itfaiye müdahalesi gerçekleşmezse yangının büyümesi beklenmektedir. Tasarımda daha gerçekçi ve teorik olan yaklaşım ise yangını, gelişen yangın varsaymaktır. Yangın büyüklüğü sadeleştirildikten sonra, can güvenliği ve yangınla mücadele sistemi tasarlanabilmektedir.

2.2.3.2.2. Kabul edilebilir duman tabakası kalınlığı

Kabul edilebilir duman tabakası kalınlığını belirlemek, bir tasarım yangınına kararlaştırmak için önemlidir. Ortaya çıkan dumanın miktarı sadece yangına değil, aynı zamanda yükselen duman bulutunun uzunluğuna da bağlıdır. Duman tabakası katmanı yükseldikçe, tahliye edilmesi gereken dumanın ve yükselen duman bulutunun miktarı artmaktadır. Ayrıca, soluk alma bölgesi, kaçmaya çalışan insanların boyundan yüksek olmalıdır. Warrington Yangın Araştırma Uzmanları tarafından yayınlanan Binalarda Duman Tahliyesi Rehberi'nde önerilen minimum uzunluk tek kat bölümlerinde 2,5 metre, üstteki kat bölümleri içinse 3 metredir. Eğer duman kontrol sistemi sadece yangınla mücadele erişimi için tasarlanacaksa, düşük duman tabakası tabanı kabul edilebilmektedir. Bu amaç için önerilen duman tabakası seviyeleri tek katlı yerlerde 2-2,5, çok katlı yerlerde 2,5-3 metredir.

2.2.3.2.3. Doğal havalandırma açıklığı

Geniş hacim yangınlarında duman kontrolünün sağlanması için duman bölmeleri veya perdeleri yapılmaktadır. Bu önlemler, dumanın belirli bölgelerde birikmesini sağlamaktadır. Söz konusu duman bölgesinin üst kısmına açıklık yaparak, dumanın doğal veya zorlanmış yöntemlerle tahliye edilmesi sağlanmaktadır [16].

Eğer tasarımcı doğal havalandırma açıklığı kullanmak isterse, tavandaki havalandırma açıklığının alanının belirlenmesi aşamasında zorluk yaşanabilmektedir. Alanın hesaplanabilmesi için açığa çıkan duman miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; büyük hacim taban alanının %0,5'i kadarı tavan açıklığı değeri olarak kullanılmıştır. Kritik sıcaklık değerlerine sahip küçük hacim kısmı için ise taban alanın sırasıyla yaklaşık %0,5 %1 ve %1,5 kadarı tavan açıklığı alanı hesabında kullanılmıştır. Uygulamada, doğal havalandırma açıklığı, çok sayıda küçük açıklıklar şeklinde olmaktadır. Bu çalışmada, büyük hacim için, tavanın çeşitli noktalarındaki küçük açıklıkların toplamını temsil etmek üzere, merkezdeki tek bir büyük açıklık kullanılmıştır.

2.2.3.2.4. Açık kapı sayısı

Geniş hacimli yangınların en belirgin özelliği, hava açıklıkları toplamının çok büyük olmasıdır. Küçük hacimlerde gerçekleşen yangınlarda, ufak sızıntılar dışında alan kapalı varsayılmakta, böylece duman kontrol sistemi olarak basınçlandırma yöntemi uygulanabilmektedir. Yani, alana dışarıdan havanın girişi engellenerek, boğma yöntemi ile yangın söndürülebilmektedir. Ancak, geniş hacimlerde hava girişinin fazla olması nedeniyle basınçlandırma yöntemi bu tip yangınlarda pratik olmamaktadır [16].

2.2.3.2.5. Güvenli kaçış süresi

Güvenli kaçış süresi, atrium, alışveriş merkezi gibi geniş hacimli bina yangın tasarımlarında büyük önem arz etmektedir. İnsanların güvenli tahliye edilebilmesi için gereken minimum kaçış süresi RSET (Required Safe Egress Time) olarak bilinmektedir. RSET değeri, yangının başlaması, alarm sistemlerinin çalışması, insanların yangını algılaması ve çıkışa ulaşılması için gereken sürelerin toplamıdır [16]. RSET değerini etkileyen parametreler; yangıncıların cinsi, geniş hacmin yapısı ve mevcut duman kontrol sistemidir. RSET değerinin hesaplanması için özel çalışma gerekmekte hatta bu değer hesaplanması için bilgisayar programları bulunmaktadır [24]. Duman tabakasının alt kısmında kalan temiz alt bölge yüksekliğinin belli kritik bir değerin altına düşmesine kadar geçen süre ise ASET (Available Safe Egress Time) olarak bilinmektedir. Bu çalışmada kritik yükseklik değeri, insan boyunun bir miktar üzerinde olacak şekilde, 2,5 m alınmaktadır.

Can güvenliği açısından tasarım kriteri olarak:

$$RSET < ASET$$

2.2.3.2.6. Hava deliği veya fan boyutu

Hava deliği veya fan boyutlarının belirlenmesi aşamasında, duman hacminin ortadan kaldırılması sağlayacak fan boyutu tasarlanmalıdır. Fanlar belirli bir sıcaklıkta çalışmalıdır. Ayrıca, yağmurlama sistem kurulursa, fanlar dumanı da soğutmaktadır. Böyle durumlarda, Warrington Fire Research Consultants tarafından yayınlanan Binalarda Duman Tahliyesi Rehberi'nde tanımlanan maksimum duman sıcaklığı yaklaşık 300 °C olarak varsayılmaktadır.

2.2.3.2.7. Ortam sıcaklığı

Ortam sıcaklığı ve ışıınım ısı akısı faktörleri, güvenli kaçış süresi ve söndürme ekiplerinin müdahalesini etkilemektedir. Sıcak yüzeylere çıplak deriyle temas edildiğinde deride ağır hasar meydana gelmektedir. Tasarım yapılırken, deride yanık oluşumunun gözlenmemesi için 2.5 kW/m² olan ışıınım ısı akısı değeri aşılmamalıdır [22]. Işıınım ısı akısının yanı sıra, sıcak havanın da sağlığa direkt etkisi bulunmaktadır. Solunan sıcak hava, solunum yolunu tahriş ederek kalıcı ödeme neden olabilmektedir [23]. Bu etkilerin görülmemesi için, tasarım yapılırken sınır değer 120 °C olarak alınmaktadır. Fakat bağıl nem ve maruz kalınan süre gibi etmenler tehlike arz eden sıcaklık aralığını değiştirmektedir. Örneğin, dış faktörler (yağmurlama sistemi, söndürme çalışmaları) nedeniyle bağıl nemin artması, sıcaklık alt değerini düşürebilmektedir. Ancak havanın bağıl nemine ve tenefüs edildiği sürenin uzunluğuna bağlı olarak, 60 °C gibi daha düşük sıcaklıkta tehlike arz etmektedir.

2.3. MEVZUAT

Kamu kurum ve kuruluşları, özel kuruluşlar ve gerçek kişilerce kullanılan her türlü yapı, bina, tesis ve işletmenin, tasarımı, yapımı, işletimi, bakımı ve kullanımı safhalarında çıkabilecek yangınların en aza indirilmesini ve herhangi bir şekilde çıkabilecek yangının can ve mal kaybını en aza indirerek söndürülmesini sağlamak üzere, yangın öncesinde ve sırasında alınacak tedbirlerin, organizasyonun, eğitimin ve denetimin usul ve esasları 26735 sayılı ve 19/12/2007 tarihli “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” yayımlanmıştır. İlgili yönetmelikte binaların inşaatı, binaların yerleşimi gibi temel konularla beraber, yangın kompartımanları, yangın duvarları, döşemeler, cepheler ve çatıların da sahip olması gereken asgari gerekliliklerden ve yangın çıktığı takdirde kullanılacak sesli ve ışıklı uyarı sistemleri, söndürme, yağmurlama, tahliye konularından da bahsedilmektedir [32].

Konu ile ilgili olarak ele alınabilecek diğ er bir yönetmelik olan 28681 sayı ve 18/06/2013 tarihli  şyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik'te  şyerlerinde acil durum planlarının hazırlanması,  nleme, koruma, tahliye, yangınla mücadele, ilk yardım ve benzeri konularda yapılması gereken çalışmalar ile bu durumların güvenli olarak yönetilmesi ve bu konularda görevlendirilecek çalışanların belirlenmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemek amaçlanmıştır [33].

İlgili yönetmelik ile acil durumlar;  şyerinin tamamında veya bir kısmında meydana gelebilecek yangın, patlama, tehlikeli kimyasal maddelerden kaynaklanan yayılım, doğal afet gibi acil müdahale, mücadele, ilkyardım veya tahliye gerektiren olaylar olarak tanımlanmıştır. Aynı Yönetmeliğin 5. Maddesinde  şveren yükümlülükleri açık bir şekilde verilmiştir [33]. Buna göre;  şveren acil durumların olumsuz etkilerini önleyici ve sınırlandırıcı tedbirleri almakla yükümlüdür. Ayrıca yangın gibi acil durumların olumsuz etkilerini önleyici ve sınırlandırıcı tedbirler alınırken toplu korunma esas alınır.

Bahsedilen toplu koruma önlemlerinden biri de duman tahliyesini sağlamaktır. Duman tahliyesi ile ilgili konular Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te daha fazla yer almaktadır. Duman tahliyesi ile ilgili yönetmelikte yapılan tanımlar aşağıda verilmiştir:

“j)Duman haznesi: İçinde dumanın toplanması amacıyla tavanda tasarlanan hacim,

k)Duman kontrolü: Yangın hâlinde duman ve sıcak gazların yapı içindeki hareketini veya yayılımını denetlemek için alınan tedbirler,

l)Duman perdesi: Yükselen dumanın yanal yayılımını sınırlamak amacıyla tavanda sabit konumda, uzaktan kapatılabilen veya bir algılayıcı uyarısıyla kapanan, yangına karşı dayanıklı bölücü perde,

m)Duman tahliyesi: Dumanın yapının dışına kendiliğinden çıkmasını veya mekanik yollarla zorlamalı olarak atılması,

n)Duman yönlendirme bacası: Yangın hâlinde, dumanların istenilen yöne çekilerek yangının genişlemesini önlemeye yönelik bacaları ”olarak tanımlanmıştır [32].

Duman tahliye sistemleri; doğal duman tahliye sistemleri ve fanlı duman tahliye sistemleri olmak üzere iki çeşittir. Doğal duman tahliye sistemleri; daha çok atrium, depo gibi geniş açıklıklara sahip, dumanın doğal olarak yukarı yönde hareketinin mümkün olduğu yerlerde kullanılır. Doğal duman tahliye sistemlerinin verimli olarak çalışabilmesi için, mekan içerisinde en üst noktaya duman alarm sisteminden etkilenip otomatik açılan duman tahliye bacaları yapılmalıdır. Fanlı duman tahliye sistemleri; çok katlı uygulamalarda, binayı kompartımanlara bölme prensiplerine göre, doğru uygulanmış bir duman tahliye sisteminin, bir parçası olarak veya bireysel ayrı bir sistem olarak kurulurlar. Amaç dumanın yangın mahallinden, diğer mahallere geçişini engellemek ve emiş kanalları vasıtası ile tahliyesini sağlamaktır [34].

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'e göre yangın anında doğal duman tahliyesi yapılabilecek yerlerde duman çekiş bacaları, duman kesicileri ve duman bölmeleri kullanılması gerektiği, mekanik duman kontrol sistemleri olarak özel düzenlemeler yapılarak iklimlendirme sistemlerinin de kullanılabileceği veya ayrı mekanik havalandırma veya duman kontrol sistemleri kurulabileceği belirtilmiştir. Duman tahliye ağızlarının daima açık olabileceği gibi, yangın sırasında otomatik olarak veya el ile kolaylıkla açılabilen mekanik düzenler ile de çalıştırılabileceği belirtilmektedir [32].

Duman tahliyesi ve yangın söndürme konularıyla birebir ilişkili olan konulardan çatı ve binaların inşası ile ilgili olarak temel gereklilikler yönetmelikte yer almaktadır. Buna göre, çatıların inşa aşamasında; çatının çökmesi, çatıdan yangının girişi ve çatı kaplaması yüzeyinin tutuşması, çatının altında ve içinde yangının yayılması, yangının çatı kaplamasının dış yüzeyi üzerine veya katmanlarının içerisine yayılması ve alev damlalarının oluşması, bitişik nizam binalarda, çatılarda çıkan yangının komşu çatıya geçmesi, ihtimalleri göz önünde bulundurulmalıdır. Benzer şekilde binanın inşasında da yangın çıkması hâlinde; binanın yük taşıma kapasitesinin belirli bir süre için korunabileceği, yangının ve dumanın binanın bölümleri içerisinde genişlemesini ve yayılmasını sınırlandırılacak, yangının civarındaki binalara sıçraması sınırlandırılacak, kullanıcıların binayı terk etmesine veya diğer yollarla kurtarılmasına imkân verecek, itfaiye ve kurtarma ekiplerinin emniyeti göz önüne alınacak şekilde inşa edilmesi gerekmektedir. Bu durum ise çatılarda alınacak duman kontrolü ve tahliyesi amaçlı çalışmaların inşa aşamasında önem verilmesi gerektiğini göstermektedir.

2.4. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Yangın biliminde matematiksel modelleme yapılırken yangınla ilgili olayları tanımlamak için analitik ve sayısal teknikler kullanılmaktadır. Yangın olgusunu anlama ve bilgi edinme sürekli arttığı, makul fiyatlara iyi özelliklere sahip bilgisayarlara rahatlıkla erişim sağlanabildiği için, duman yayılımı ile yanıcı ve zehirli gazların konsantrasyonunun tahmin edilebilmesi, yangındaki sıcaklık ve basıncın hesaplanması konusunda büyük aşama kaydedilmiştir. Matematiksel yangın modellemeye belirleyici ve belirleyici olmayan olmak üzere iki yaklaşım bulunmaktadır. Belirleyici olmayan yaklaşım, yangınlarda direkt olarak fiziksel ve kimyasal ilkeleri kullanmamaktadır, fakat yangın frekansları, yangın büyüklüğü vb. ile ilgili istatistiksel tahminlerde bulunmaktadır.

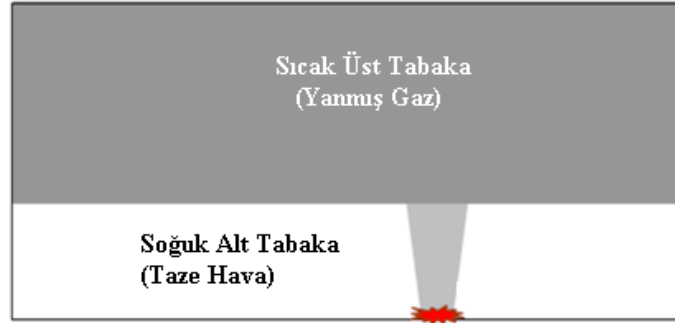
Belirleyici yaklaşım ise en yaygın olan yaklaşımdır ve diğer metotlardan daha üstündür. Belirleyici modeller, kimyasal ve fiziksel ilişkileri baz almaktadır. Duman hareketlerinin çözümlenmesinde kullanılan belirleyici modeller bölge modelleri ve alan modelleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.4.1. Bölge Modelleri

Bölge modelleri, yangın araştırmalarının ilk zamanlarında ortaya çıkmıştır. Çünkü bölge modeli uygulaması özel bir bilgisayar kaynağı gerektirmemektedir ve öncelikle analitik ya da analitik özellik taşıyan etmenlere dayanmaktadır. Bölge modelleri daha kolay olan modellerdir ve genellikle kişisel bilgisayarlarla yapılabilmektedir. Bölge modelleri genellikle alanı, iki farklı kontrol hacmine ayırmaktadır. Tavanın yakınındaki üst kontrol hacmi üst tabaka olarak adlandırılmaktadır. Üst tabaka yangın tarafından üretilen yanmış ve sıcak gazlardan, alt tabaka ise alev ve sürüklenen hava kaynağından oluşmaktadır.

Şekil 2.8. bölge model konseptini göstermektedir. İki bölgenin büyüklüğü, alt tabakadan üst tabakaya giden akış oranı, üst bölgenin dışa atım oranı ve üst bölgedeki gaz ve dumanların sıcaklığına bağlı olarak yangının izlediği yol süresince değişmektedir. Bölge modelleri, alt tabakadan üst tabakaya transfer edilen kütle ve enerjiyi, üst tabakadan kaybedilen kütle ve ısıyı hesaplamak için, ısı ve kütle mühendislik denklemlerini kullanmaktadır. Genellikle, denklemler her bir ayrı bölgenin durumunun aynı olduğunu varsaymaktadır.

İdeal gaz kanunun yanı sıra, kütle ve enerji korunumu yasasına dayanarak birçok diferansiyel denklem türetilmiştir.



Şekil 2.8. Bölge model konseptinin gösterimi [25]

Bölge modellerinde, üst tabakaya akan kaynak dumandır (fire plume). Bütün bölge modellerinin duman denklemi vardır. Çok az sayıda model, kullanıcının duman kaynakları arasında seçim yapmasına izin vermektedir. Şu anki birçok bölge modeli asimetrik dumanı baz almaktadır çünkü mevcut bölge modelleri, alanda daha önce sıcaklık değişimi var olmadığını varsaymaktadır. Ayrıca bölge modelleri, tavan duman tabakasının duvardan duvara aniden ve aynı oranda oluştuğunu varsaymaktadır.

Bu durum, geniş tavan alanına sahip hacimlerde sonuç hatası verebilmektedir. Fakat yine de bölge modelleri, kullanıcının tarif edebileceği yangından doğan olaylar doğrultusunda (duman seviyesi, sıcaklık, birleşim vb.) birçok önemli faktörü hesaplamaktadır.

Bölge modelinin sınırlandırmaları

Bölge modelleri, yangın güvenliği tasarımında uzun zamandır hatırı sayılır bir başarıyla kullanılmaktadır. Yine de, bugüne kadar başarılan çok yönlülüğüne rağmen, bu yaklaşım bir çok önemli problem oluşturmaktadır. Bunlardan önemli olanları aşağıda yer almaktadır [26]:

- Bölge modelleri yangının doğası hakkında sınırlı bilgi sunmaktadır. Değişken etkilerin, bölgeler üzerinde mekansal ölçekle birlikte ortalaması alındığında, çözünürlük kötü olmakta ve önemli bölgesel etkiler çizilememektedir. Öte yandan, alan modelleri, yüksek mekansal çözünürlükte başarılıdır ve bu yüksek çözünürlüğü destekleyen özellikleri gittikçe artmaktadır.

- Bölge modelinin ana sakıncası, akış yapısının olaydan önceki bilgisinin kaçınılmazlığıdır. Bu bilgi, deneylerden veya önceki teorik faktörlerden çıkarılmalıdır. Bunun anlamı, bölge modellemesindeki varsayımların geçerliliği her bir özel durum için teyit edilmelidir. Bu aslında, bölge modeli gelişimi ile destekleyici deneysel çalışmaların bağlantısının asla kesilemeyeceği anlamına gelmektedir. Alan modeli yaklaşımında bu problem, herhangi bir sistem için evrensel olarak doğru olan mekanik ve termodinamiğin temel fizik ilkelerine başvurulmasıyla aşılmıştır. Böylece, alan modeller herhangi bir durumda uygulanabilmektedir.
- Bölge yaklaşımını kullanırken işlenebilir olmayan bazı problemler meydana gelebilmektedir. Örneğin, hızla büyüyen bir yangında, farklı bölgeler gelişebilsin ve birbirinden ayrılabilsin diye akışın yeniden yapılandırılması için yeterli süre olmayabilmektedir. Çeşitli bölgeler arasındaki fark (bölge yaklaşımının olabilirliği ile ilgili soru işareti uyandıran) belirsiz olabilmektedir. Bölge yaklaşımı ayrıca, eğer alan çeşitli yanıcı maddelerle doluysa, karışık geometri durumunda da tartışılabilir olmaktadır.
- Akış yapısı, parametrelerdeki küçük değişikliklerin bir sonucu olarak değişebilmektedir. Bu durum, bölge model varsayımlarının geçersiz olmasına ve hatalı sonuçlara neden olmaktadır.

Halihazırda kullanılmakta olan bölge modelleri sırasıyla; CFAST, ASET-B, FIRST, ASMET ve ASCOS'dir. CFAST (Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport) bir bölge modeli olup FAST'in geliştirilmiş halidir. CFAST'nin FAST'ye göre en büyük avantajı korunum denklemlerinin iyileştirilmesidir. Aslında, basınç kararlı halde kabul edilmiş, denklemler sadeleştirilmiştir. CFAST'de denklemler kendi doğal diferansiyel şekliyle çözülmüştür. Bu tahmin edilebilir çeşitli büyüklüklerin daha kolay dahil edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Diferansiyel denklemlerin kullanımı, başlangıç koşullarında daha büyük aralıkla çalışan bir modeli desteklemektedir. CFAST ve diğer bölge modellerinin ilk varsayımı, bir odayı iki veya üç parçaya ayırmasıdır. Her bir bölge sıcaklık ve bileşim olarak özdeş kabul edilmektedir.

Modeldeki dumanın olduğu odada dışındaki bütün odalar iki bölgeye ayrılmakta, dumanın olduğu oda ekstra bölgeye ayrılmaktadır. Programın çalışması için alanın geometrisi, yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri, reaksiyon sonucu yanıcılardan kaybolan kütle debisi ve yanma ürünlerinin oluşma hızları gerekmektedir. Çözüm tamamlandığında alttaki temiz bölge ve üstteki duman tabakasının kalınlığı, bölgelerin sıcaklıkları, dumanın kütle oranı, yüzey sıcaklıkları, çevreye olan ısı kaybı ve tahliye edilen kütle debisi verileri elde edilmektedir [16].

ASET-B (Available Safe Egress Time-Basic), kapı ve pencereleri kapalı olan bir odadaki sıcak duman tabakasının konumunu ve sıcaklığını hesaplayan bir programdır. Program için, ısı kaybı oranı, yangının uzunluğu, oda tavanı yüksekliği, oda taban alanı, simülasyon için gereken maksimum süre ve yangının ısı salımı oranı değerleri gerekmektedir. Çözüm sonunda, sıcak duman tabakasının zamana bağlı olarak sıcaklığı ve kalınlığına ulaşılabilmektedir [27].

Fortran dilinde yazılmış olan FIRST (Fire Simulation Technique) programı, odanın ve açıklıklarının geometrik verileri, tavanın, duvarların, yanan yakıtın termofiziksel özelliklerini gerektirmektedir. Program çözüm sonunda sıcak üst katmandaki ve alt katmandaki konsantrasyonunun çeşitliliğini, kalınlığı ve sıcaklığını vermektedir.

ASMET (Atria Smoke Management Engineering Tools) programı, atrium, alışveriş merkezleri, spor alanları, uçak hangarları gibi geniş alanlar için bölge yangın modelini ve birçok denklemi barındırmaktadır. Bu program C++ dilinde yazılmıştır.

ASCOS (Analysis of Smoke Control Systems), Fortran dilinde yazılmış bir programdır. Program, bina sıcaklığı, bina akış ağı ve havalandırma veya duman kontrol sisteminin ürettiği akış bilgisini gerektirmektedir. Çözüm sonunda, bina boyunca akış ve kararlı hal basıncını sunmaktadır.

2.4.2. Alan Modelleri (HAD)

Alan modelleri genellikle yüksek kapasiteli bilgisayarlar ve ileri düzey uzmanlara ihtiyaç duymaktadır. Alan modelleri, bölge modellerinin kısıtlamalarının üstesinden gelmektedir. Bölge modellerinde olduğu gibi, alan modelleri de temel korunum denklemlerini çözmektedir.

Alan modellerinde, alan birçok hücreye bölünmektedir ve bu hücreler arasındaki ısı ve kütle hareketlerinin çözümü için korunum denklemleri kullanılmaktadır. Sonuç olarak, HAD modeli daha bilimsel kesin bir yaklaşım sunmaktadır. Alan modelleme kullanılırken, öncelikle alandaki domain bölge tanımlanmalıdır. Bu bölge, gerçekleştirilen simülasyon için çok önemlidir ve özellikleri simüle edilen objenin boyutuna göre belirlenmektedir. Ayrıca duvar, herhangi bir engel veya basitçe akışkan alanı meydana getirecek çok fazla sayıdaki kontrol hacimlerine bölünmektedir.

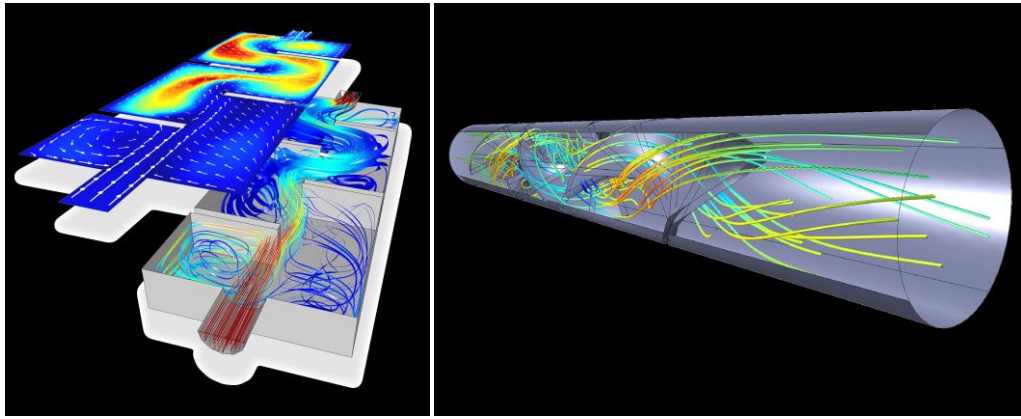
HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) akışkan davranışının etkin olduğu problemlerin sayısal metotlarla bilgisarda çözülerek analiz edilmesini sağlayan akışkanlar mekaniği bilimi dalıdır. Mühendisliğin birçok alanında kullanılan HAD, çözüm yolları farklı olan ve sonuca ulaşılması uzun süren problemlere çözümler sunmaktadır. HAD'ın numerik analiz ve modelleme hesaplama gücü hızlı bir şekilde artmıştır. HAD Navier-Stokes denklemlerine numerik çözümler sunmaktadır. Bunun yanı sıra, akışın moleküler seviyede ele alınmasına olanak tanımaktadır [27]. HAD tekniği endüstriyel ve endüstriyel olmayan birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Bu uygulama örnekleri aşağıda yer almaktadır:

- Uçakların ve araçların aerodinamiğinde; kaldırma ve sürüklenme,
- Enerji santralleri; gaz türbinlerindeki yanma,
- Turbo mekaniği; geçitler, yayıcılar vs. içindeki dönen akışkanlar,
- Elektrik-elektronik mühendisliği; mikro devreler içeren teçhizatın soğutulması,
- Kimyasal işlemler mühendisliği; karıştırma ve parçalama işlemleri, polimer kalıp kaplama
- Binaların iç ve dış çevresi; rüzgar yüklemesi, ısıtma, havalandırma,
- Deniz mühendisliği; kıyıdan uzak yapılar üzerindeki yükler,
- Çevre mühendisliği; dışarıdan akan ve hava ve suyu kirleten kirleticilerin dağılımı,
- Hidroloji ve okyanus coğrafyası; akarsular, haliçler ve okyanuslardaki akışkanlar,
- Biyomedikal mühendislik; atardamar ve toplardamarlardaki kan akışları.

Son zamanlarda kullanımı oldukça artan HAD ile birçok çeşitli akışkan, faz değişimi, çok fazlı, kararlı ya da kararsız akış, şok dalgaları, yüzey kuvvetleri ve kimyasal reaksiyonlar ile ilgili pek çok karmaşık problem çözülebilmektedir. Akış hareketi; kütle, enerji ve momentum korunumunu ifade eden diferansiyel denklem sistemiyle tanımlanmaktadır.

Problemin çözümü için yapılan kabullere bağlı olarak birçok farklı türbülans modeli bulunmaktadır. Böylelikle, sıvı akışı tahmini, ısı ve kütle transferi, kimyasal reaksiyonlar ve benzeri konuların dizayn ve simülasyon çalışmalarında HAD kodundan rahatlıkla yararlanılabilmektedir [28]. Örnekleri aşağıda yer almaktadır:

- Türbülanslı akışlar, ısı transferi, reaksiyon akışları, kimyasal karışımlar, yanma ve çok safhalı akışlar,
- Otomotiv sektöründe tam araç aerodinamiği, ısı kontrolü, güç treni tasarımı,
- Güç endüstrisi sektöründe yanma sistemleri modelleme, ocak tasarımı, hava ve parçacık değerlendirme ve sınıflama.



Şekil 2.9. HAD uygulamaları [30]

HAD'ın avantajları:

- Yeni tasarımlarda zamandan ve fiyattan tasarruf sağlamaktadır.
- Deneysel olarak çalışmanın zor veya imkansız olduğu büyük sistemlerde çalışma imkanı vermektedir.
- Çalışma şartlarının tehlikeli olduğu durumlarda kullanılabilecek çok güvenli bir sistemdir.

HAD çözümleri, ön işlem, işlem/çözümleyici ve son işlem olmak üzere 3 temel aşamadan meydana gelmektedir. İlk basamak olan ön işlem aşamasında akış alanı ve geometrisi modellenerek ağ yapısı oluşturulmaktadır.

İşlem aşamasında çeşitli nümerik metotların kullanılması ile kısmi diferansiyel denklemlerden oluşan genel akış denklemleri bilgisayar ortamında çözülmektedir. Son adımda ise gerekli analizler yapılmakta ve eğer mümkünse analiz ile deney sonuçları karşılaştırılmaktadır [28].

2.4.2.1. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar metodu, mühendislikte karşılaşılan zor problemlerin kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla çözülmesini sağlayan metotlardan biridir. Bu yöntem, karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılması ve her bir alt problemin kendi içinde çözülmesi ile tam çözüme erişilmesidir.

2.4.2.2. Sonlu hacimler yöntemi

Sonlu hacimler yöntemi, sonlu elemanlar yöntemine benzer şekilde çözümü gerçekleştirecek geometrinin alt parçalara ayrılmasını ve her bir parçanın çözülerek bu çözümler sonucu problemin genel çözümünün bulunmasını sağlamaktadır. Sonlu hacimler yönteminin, sonlu elemanlar yönteminden farkı, akış denklemlerinin cebirsel denklemlere dönüştürülebilmesi için kontrol hacmini esas alan bir tekniği kullanmasıdır. Bu teknik ile akış denklemlerinin integrasyonu her kontrol hacminde alınmakta ve bu integrasyon neticesinde kontrol hacmini karakterize eden denklemler ortaya çıkmaktadır.

2.4.3. HAD Çalışma Prensipleri

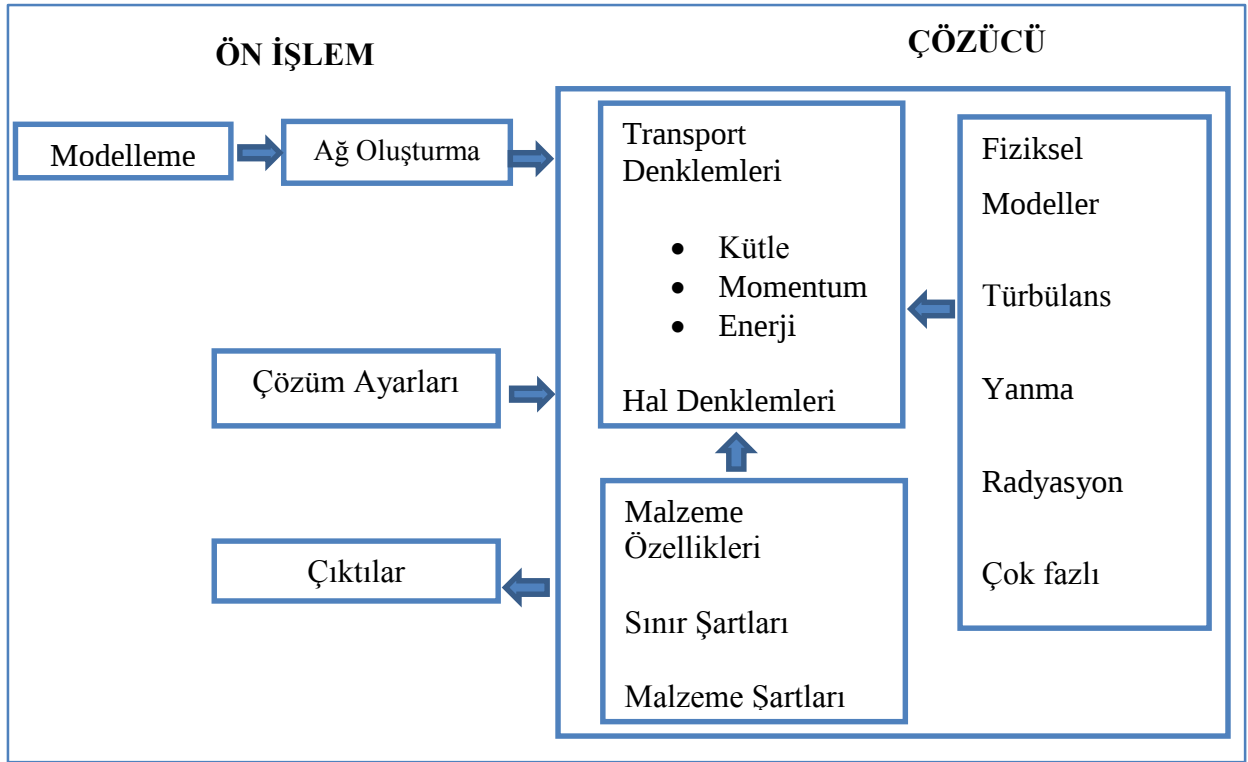
Sonlu elemanlar, sonlu hacimler, sınır elemanları ve sonlu farklar yöntemlerini kullanan HAD, domain kontrol hacimlerinin sonlu set üzerinde ayrışma yapılmasını sağlayarak çözümleme yapmaktadır. Kütle, enerji ve momentum gibi korunum denklemlerinin çözümü, kontrol hacimleri için hazırlanan denklemler aracılığıyla çözülmektedir. Şekil 2.10.'da HAD modellemesinde gerçekleştirilen işlemler ve temel prensipler gösterilmektedir.

2.4.4. HAD Analizi Temel Basamakları

Problemin önemli özellikleri belirlendikten sonraki aşağıdaki adımlar izlenmektedir [29]:

- Model geometrinin oluşturulması,
- Model ağ yapısının (mesh) oluşturulması,

- İki veya üç boyutlu model için uygun çözümleyicinin çalıştırılması,
- Grid kontrolü,
- Çözümleyici seçimi
- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi,
- Sınır şartlarının belirlenmesi,
- Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması,
- Akış alanının başlatılması,
- İlk çözümlemenin yapılması,
- Sonuçların değerlendirilmesi,
- Sonuçların kaydedilmesi,
- Eğer gerekiyorsa grid yapısının iyileştirilmesi veya sayısal/fiziksel modelin gözden geçirilmesi.

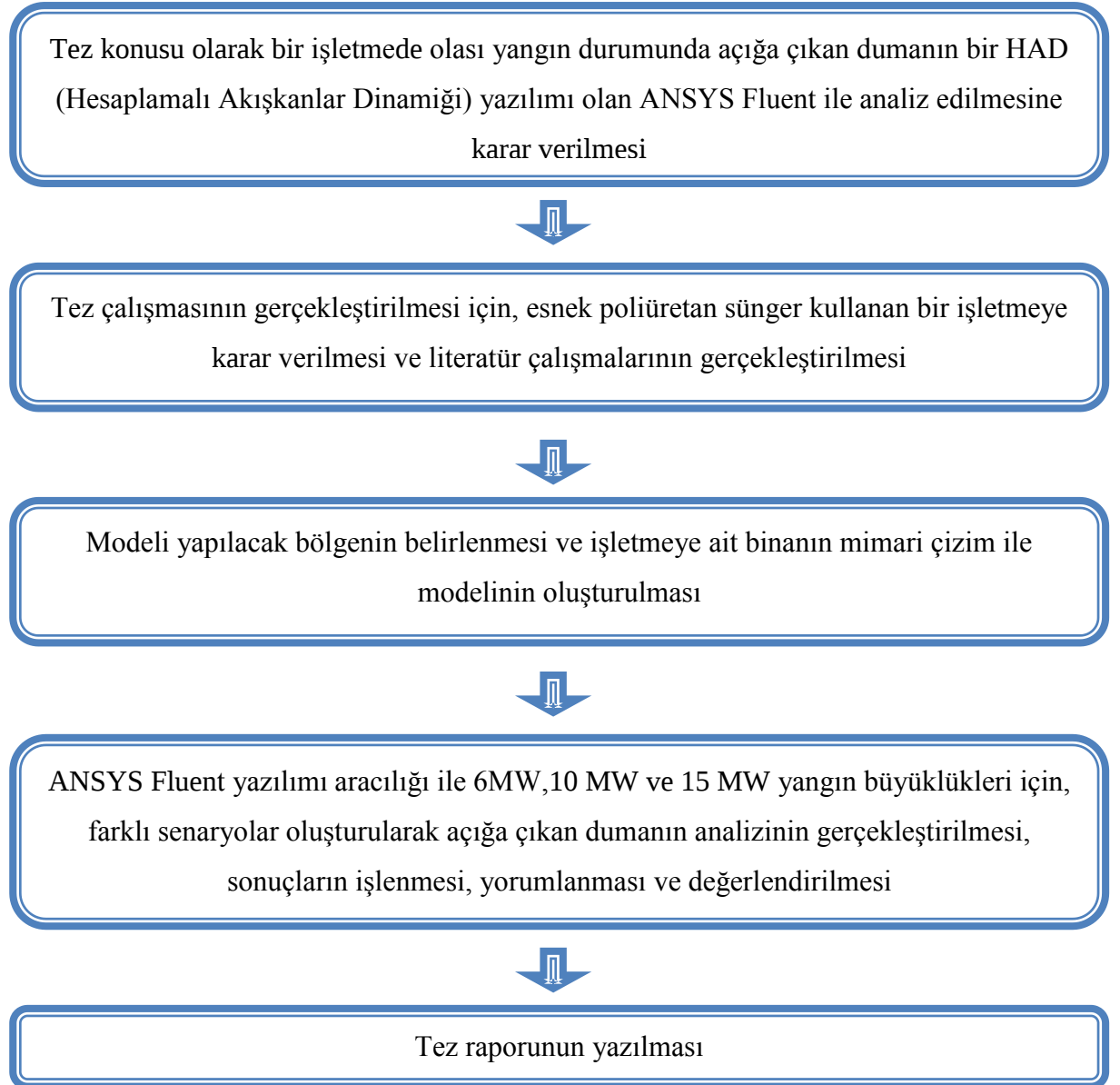


Şekil 2.10. HAD modelleme özet şeması [28]

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. ARAŞTIRMA SÜRECİ VE İŞYERİ

Yapılan literatür araştırması sonucunda esnek poliüretan sünger imalatı gerçekleştiren İç Anadolu bölgesinde bir işletmede, olası yangın durumunda açığa çıkan dumanın bir HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımı olan ANSYS Fluent ile analiz edilmesine karar verilmiştir. Şekil 3.1’de bu çalışmanın iş akış şeması detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmanın adımlarını gösteren iş akış şeması

Çalışmanın yapıldığı geniş hacim iki farklı bölümden oluşmaktadır. Bu iki bölümde toplam çalışan sayısı 156'dır. İlk bölümün hacmi $26\,100\text{ m}^3$ ($60 \times 58 \times 7,5$) ikinci bölümün hacmi ise $7\,440\text{ m}^3$ ($60 \times 15,5 \times 8$) tür. Bu iki bölüm arasındaki geçiş, $4 \times 4\text{ m}$ ebatlarında kapı aracılığıyla sağlanmaktadır. Ele alınan hacim toplamı $33\,540\text{ m}^3$ tür. Üç farklı hacim için duman yayılım analizi yapılmıştır. Hacmin 5 adet dışa açılan farklı ebatlarda kapısı bulunmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirildiği yerde kullanılan esnek poliüretanla ilgili gerekli bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Esnek poliüretan köpüğü organik bir maddedir ve tüm organik maddeler gibi yanıcıdır. Organik maddeler, ağaç, yün, kağıt, pamuk, polyester ve polietilen gibi geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Poliüretan köpüğü tutuştuğunda hızlıca yüksek oranda oksijen kullanarak ve yüksek ısı üreterek yanabilmektedir. Poliüretan köpük yangınları temelde sıradan yangınlardan farklı değildir. Diğer organik malzemelere benzer şekilde, yanan poliüretan köpükleri çoğunlukla karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO) ve nem buharı yaymaktadır. Bu gazların en önemlisi karbonmonoksit (CO) tir. Yanan poliüretandan yayılan gazlar eğer yeterli miktarda solunursa kişiler için öldürücü olabilmektedir. Kapalı bir ortamdaki oksijen yetersizliği boğulma tehlikesine neden olmaktadır.

Çeşitli materyaller tarafından yayılan yanma gazları küçük deney ekipmanlarıyla ölçülmektedir fakat genellikle küçük bir deneydeki gaz bileşimlerinin, gerçek bir yangında yayılan tüm gazları temsil etmediği düşünülmektedir. Kaynaklar, farklı yanma koşullarına göre değişen gaz bileşenlerinin ölçümünü listelemekte, ayrıca karbondioksit (CO_2) ve karbonmonoksitten (CO) termal ayrışma sonucu üretilen yanıcı hidrokarbonlar ve nitrojen bileşenleriyle birlikte ana yanma gaz bileşeni olarak bahsetmektedir.

Yangın güvenliği, esnek poliüretan köpüğünün depolanması ve işlenmesi ile ilişki içindedir. Köpük, açık alev ile doğrudan veya doğrudan olmayan, yanan sigara, kibrit, alan ısıtıcıları, forklift egzoz borusu gibi yüksek sıcaklık tutuşma kaynaklarına maruz kalması tehlike arz etmektedir. Poliüretan köpüğü sıklıkla büyük miktarlarda depolanmaktadır. Özel tutuşabilirlik düzenlemelerine uygun olarak formüle edilen köpükler dahi yeterli bir ısı kaynağına maruz kaldığı anda yanmaktadır. Maddenin güvenli ve uygun depolanması önem arz etmektedir. Farklı işletmeler depolanan ve kullanılan köpüğün miktarına bağlı olarak farklı köpük depolama durumlarıyla karşılaşmaktadır.

Köpük üretim ve fabrikasyon şirketleri büyük miktarlarda esnek poliüretan köpüğü depolamaktadır. Üretim veya fabrikasyon işleminin boyutuna bağlı olarak, köpüğün küçük bir kısmı veya çok büyük miktarda köpük depolanabilmektedir. Fazla miktardaki poliüretan köpük yangın için çok önemli bir yakıt kaynağıdır. Esnek poliüretan yangınları genellikle çok yüksek sıcaklık üretmeye eğilimlidir. Ortaya çıkan yüksek sıcaklık çelik çerçevelere zarar verecek güçtedir. Poliüretan tutuştuğunda, yangın yoğun ısı, duman, tutuşabilir sıvı ve zehirli gazlar üreterek hızlı bir biçimde yayılabilmektedir.

3.2. GEREÇLER

3.2.1. Yazılım Programı

Bu çalışmada kullanılan sayısal yöntemin prensibi, diferansiyel denklemlerin iterasyonla çözülmesi esasına dayanmaktadır. Bu nedenle, sonlu hacimler yöntemini baz alarak çözüm yapan ANSYS FLUENT yazılımı kullanılmıştır. ANSYS FLUENT, termo-akışkan problemlerin çözümünde kullanılan bir analiz programıdır. 1983'ten bu yana dünya çapında bir çok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki HAD piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelen Fluent, en ileri teknolojiye sahip ticari HAD yazılımı olarak kullanıcılarının en zor problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilen çözümler sunmaktadır [30].

Fluent yazılımı, otomotiv, havacılık, kimya ve gıda endüstrisi gibi farklı dallarda faaliyet gösteren birçok sanayi koluna ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Fluent, sahip olduğu teknik özellikler sayesinde, kullanıcılarına farklı problemleri aynı arayüz aracılığıyla çözme olanağı tanımaktadır. Fluent, ürün performansını ürün henüz tasarım aşamasındayken ölçme, performansı düşüren etkenleri detaylı bir şekilde tespit ederek yine bilgisayar ortamında giderme ve piyasaya iyileştirme işlemleri tamamlanmış son ürünün verilmesi sağlayarak kullanıcısının zorlu rekabet şartlarında emsallerinden bir adım önde olmasına katkıda bulunur. Fluent, sahip olduğu ileri çözücü teknolojisi ve bünyesinde barındırdığı değişik fiziksel modeller sayesinde laminar, geçişsel ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve radyasyon ile ısı geçişini içeren problemlere, kimyasal tepkimeleri içeren problemlere, yakıt pilleri, akustik, akış kaynaklı gürültü, çok fazlı akışları içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üreterek, AR-GE bölümlerinin tasarım esnasındaki en güvenilir aracı olmaya adaydır [30].

3.2.1.1. Fluent'in teknik özellikleri

Fluent, sıkıştırılamaz (düşük sabsonik), orta sıkıştırılabilir (transonik) ve yüksek sıkıştırılabilir (süpersonik ve hipersonik) akışlar için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği çözücüsüdür. Yakınsamayı hızlandıran çoklu ağ metoduyla beraber çoklu çözücü seçenekleri ile Fluent geniş hız rejimleri aralıklarında optimum çözüm etkinliği ve hassasiyeti getirmektedir. Fluent'deki fiziksel modellerin zenginliği, laminar, geçiş ve türbülanslı akışların, ısı transferinin, kimyasal tepkimelerin, çokfazlı akışların ve diğer olguların sayısal ağ esnekliği ve çözüm tabanlı ağ uyarlaması ile hassas çözülmesine olanak sağlamaktadır. Fluent programının sahip olduğu genel modelleme ve sayısal ağ becereleri aşağıda belirtilmiştir [31].

Genel Modelleme Yetenekleri

- 2 boyutlu düzlemsel, 2 boyutlu eksenel simetrik, 2 boyutlu döngülü eksenel simetrik (dönel simetrik) ve 3 boyutlu akışlar,
- Sabit rejim veya geçici rejim akışları,
- Bütün hız rejimleri (düşük subsonik, transonik, süpersonik ve hipersonik akışlar),
- Laminer, geçiş veya türbülanslı akışlar,
- Newtonyan ve newtonyan olmayan akışlar,
- Zorlamalı, doğal, karışık konveksiyon, konjuge ısı transferi ve radyasyon,
- Homojen ve heterojen yanma modellerini ve yüzey tepkime modellerini de içeren kimyasal türler karışımı ve tepkimesi modelleri.,
- Gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı akışlar için serbest yüzey ve çok fazlı akış modelleri,
- Sürekli yüzeyle akupile yayık fazlar (partikül/damla/baloncuk) için Lagrangian yörünge hesaplama,
- Erime/katılaşma uygulamaları için faz değişikliği modeli,
- İzotopik olmayan geçirgenlik, ilk direnç, katı ısı iletimi ve gözenekli yüzey basınç zıplaması modelleriyle gözenekli ortam,
- Fanlar, pompalar, radyatörler ve ısı değiştirgeçleri için yığık modeller,
- Durağan ve dönel referans çerçeveleri,
- Çoklu hareketli çerçeveler için çoklu referans çerçevesi ve kayan ağ seçenekleri,

- Kütle korunumu ve döngü korunumu seçenekleriyle beraber rotor-stator etkileşimleri, tork konverterleri ve benzer turbomakina uygulamaları için karışım düzlemi modeli.,
- Kütle, momentum, ısı ve kimyasal türler için hacimsel kaynaklar,
- Malzeme özellikleri veri tabanı,
- Sürekli fiber modeli,
- Magnetohidrodinamik modeli,
- Akış kaynaklı gürültü öngörme modeli,
- GT-Power ile dinamik (iki-yönlü) birleşimlik,
- Kullanıcı tanımlı fonksiyonlarla ilerli seviyede özelleştirme yeteneği,
- Silindir içi akış modelleme yeteneği,
- Hareketli ve deforme olan ağ hareketleri

Sayısal Ağ Yetenekleri

- Dörtgen, üçgen, altıyüzlü, dörtyüzlü, prizma (kama), piramid ve karışık elemanlı sayısal ağ,
- Akışkan/katı arayüzlerini de içeren konuşmayan (asılı düğüm noktalı) sayısal ağ arayüzleri,
- Sayısal ağ sıklaştırma ve seyreltme,
- Üçgen ve dörtyüzlü elemanlar için konuşur sayısal ağ uyarlaması,
- Bütün elemanlar için asılı (konuşmayan) düğüm noktalı sayısal ağ uyarlamalarını içeren dinamik, çözüm tabanlı uyarlama (yoğunlaştırma ve seyrekleştirme),
- Kullanıcı tarafından belirlenen bölgeler için sayısal ağ yoğunlaştırması ve çözüm değişkenleri, elde edilen büyüklükler ve kullanıcı tanımlı alan fonksiyonu değişkenleri kullanılarak adaptif yoğunlaştırma,
- Sayısal ağ yoğunlaştırması sonrası otomatik çözüm enterpolasyonu,
- Sayısal ağ seyrekleştirme,
- Sayısal ağ yumuşatma ve geliştirme araçları,
- Sayısal ağ işlemesi (oranlama, taşıma, birleştirme, konuşurma ve ayırma),
- Hibrid sayısal ağ oluşturma özellikleri,
- Ağdan ağa çözüm enterpolasyon yeteneği,
- Çözüm ilerlerken sayısal ağı sıklaştıran ve seyrelten dinamik ağ uyarlaması.

3.2.1.2. Fluent programının çalışma prensibi

Fluent sonlu hacimler yöntemi ile çalışmakta olup, çeşitli modelleme programlarından alınan mesh dosyalarının okunarak koşulların uygulanmasını sağlamaktadır. Böylece sistemi çözmeye çalışmaktadır. Program bu aşamada süreklilik denklemi, kütle korunumu, momentum korunumu ve enerji denklemlerini kullanmaktadır.

3.2.2. Bilgisayar

Çalışmada kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri:

- 2 Adet Intel Xeon E5-2609 64 bit 4 Çekirdekli İşlemci (2.40 GHz)
- 48GB DDR3 Bellek
- 16x DVD-ROM/CD-ROM
- 20” Led Monitor (1600x900 Çözünürlük – 0.276 mm pixel aralığı)
- 1000 GB SATA 7200 rpm Harddisk
- 4GB (GDDR5) Nvidia Quadro K5000 256 bit Profesyonel Ekran Kartı
- Microsoft Windows 7 Professional SP1 64 bit İşletim Sistemi

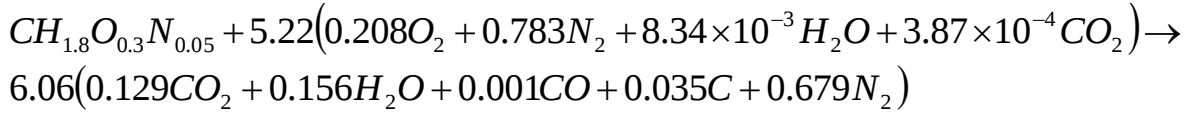
3.3. YÖNTEMLER

Poliüretan, alkol ve iso-siyanatın ekzotermik reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Poliüretanın kimyasal yapısı kimyasal reaksiyona katılan maddelere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle literatürde poliüretan için birçok kimyasal formül verilmektedir. Çalışmanın yapıldığı işletme ile ilgili bilgilerin gizli tutulması sebebiyle işyerinde kullanılan poliüretanın kimyasal yapısına ve formülüne ilişkin bilgi vermemiştir. Bu nedenle çalışmada, literatürde yanma reaksiyonu da verilen poliüretan formülünün işyerindeki poliüretan olduğu varsayımı yapılmıştır (Tablo 3.1) [31].

Tablo 3.1. Esnek poliüretan köpüğü ile ilgili bilgiler

Esnek Poliüretan Köpüğü (PU)	Kimyasal Formül	PU Molekül Ağırlığı	PU molekülündeki C atomunun kütle oranı
GM21	CH _{1.8} O _{0.30} N _{0.05}	19.3	0.62

Poliüretan süngerin %40 neme sahip havada yanmasından kaynaklı kimyasal reaksiyon şu şekilde verilmektedir.[31]



Deneysel ortamda yapılan bu çalışmadaki kimyasal denklem, bu tez çalışmasında temel olarak alınarak denklemdeki gazlar ve değerlerle hesaplamalar yapılmıştır. Karbonmonoksit (CO), Karbondioksit (CO₂), Azot (N₂), katı halde bulunan Karbon (C), çıkan reaksiyon sonucunda, çalışan sağlığı açısından kritik gaz halinde bulunan CO, CO₂ oluşumunun modellenmesi yapılmıştır. Ayrıca ortamda kalan O₂'nin kritik seviyelere ulaşp ulaşmadığını tespiti amacıyla modellenmesi yapılmıştır. İçerik mol oranları, üretilen malzeme mol oranları ve açığa çıkan gaz oranı verileri aşağıda ortak olarak gösterilmiştir (Tablo 3.2-Tablo 3.5.).

Tablo 3.2. Yangın senaryoları için kullanılan mol ağırlıkları (gr)

Mol ağırlıkları (gr)			
C	H	O	N
12	1	16	14

Tablo 3.3. Poliüretan kimyasal içerik mol oranları

Poliüretan kimyasal içerik mol oranları			
C	H	O	N
1	1,8	0,3	0,05

Tablo 3.4. Yangın senaryoları için yangın büyüklüğü için gaz oranı verileri

CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO
0,52	0,47	0,01	0,00	0,00256

İşyeri çalışma ortamında bulunan poliüretan köpük yığınlarından birinin yanması sonucu yangın olduğu varsayılmıştır. Zeminin ortasında 48 m³'lük bir hacimden duman girişi olduğu kabul edilmektedir. Bu geometrinin büyüklüğü, işyeri çalışma ortamında bulunan yığınlardan biri olacak boyutlarda seçilmiştir. Bu çalışmada Oksijenin hacimsel yüzdesi “%21” yerine, kütleli yüzdesi olan “%23” değeri ile hesaplamalar yapılmıştır.[35]

Yangın yükü olarak 6MW, 10 MW ve 15 MW değerleri seçilmiştir. Bina hacmi içerisinde malzemenin yanması sonucu açığa çıkan gazlar, hızları ve oranları hesaplanmıştır. Bir saniyede kaç kg/m³ oksijenin yangın hacmi tarafından emileceği belirlenmiş olup, bu değer 6 MW yangın yükü için -0,008589 kg/m³, 10 MW yangın yükü için -0,014314 kg/m³, 15 MW yangın yükü için -0,021472 kg/m³ olarak bulunmuştur.

Poliüretan maddesinin yanma ısısından hareketle, 6 MW'lık yangın yükünde sıcaklık dağılımları da modellenmiştir. 6 MW yangın büyüklüğü için, yanma ısısı değerine göre yanma debisi hesaplanmıştır [31]. Yangın yükü, yanma ısısı, yanma debisi ve mol oranları, mol ağırlığı, yanma hızı ve üretilen malzeme mol oranları, üretilen malzeme debileri hesaplanmış olup aşağıdaki tablolarda yer almaktadır (Tablo 3.5-Tablo 3.8.).

Tablo 3.5. 6 MW yangın büyüklüğü için, yanma ısısı ve yanma debisi [31]

Yangın Büyüklüğü (MW)	Yanma Isısı (kJ/kg)	Yanma Debisi (kg/s)
6	26 200	0,229

Tablo 3.6. 6 MW yangın büyüklüğü için Poliüretan mol ağırlığı ve yanma hızı

PU mol ağırlığı (g/mol)	PU yanma hızı (mol/s)
19,3	11,866

Tablo 3.7. 6 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme mol oranları

	Üretilen Malzeme mol oranları				
C	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO
0,2121	0,78174	0,94014	0,02748	-1,08576	0,00606

Tablo 3.8. 6 MW yangın Büyüklüğü için üretilen Malzeme debileri (g/s)

Üretilen Malzeme debileri (g/s)						
CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO	C	Toplam Giriş (g/s)
408,14	368,13	9,13	-412,27	2,01	30,20	817,61

Poliüretan maddesinin yanma ısısından hareketle, 10 MW'lık yangın yükünde sıcaklık dağılımları da modellenmiştir. 6 MW yangın büyüklüğü için, yanma ısısı değerine göre yanma debisi hesaplanmıştır [31]. Yangın yükü, yanma ısısı, yanma debisi ve mol oranları, mol ağırlığı, yanma hızı ve üretilen malzeme mol oranları, üretilen malzeme debileri hesaplanmış olup aşağıdaki tablolarda yer almaktadır (Tablo 3.9-Tablo 3.12.).

Tablo 3.9. 10 MW yangın büyüklüğü için yanma ısısı ve yanma debisi [31]

Yangın Büyüklüğü (MW)	Yanma Isısı (kJ/kg)	Yanma Debisi (kg/s)
10	26 200	0,382

Tablo 3.10. 10 MW yangın büyüklüğü için Poliüretan mol ağırlığı ve yanma hızı

PU mol ağırlığı (g/mol)	PU yanma hızı (mol/s)
19,3	19,776

Tablo 3.11. 10 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (mol/s)

	Üretilen Malzeme debileri (mol/s)				
C	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO
4,19452	15,45980	18,59233	0,54345	-21,47214	0,11984

Tablo 3.12. 10 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (g/s)

Üretilen Malzeme debileri (g/s)						
CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO	C	Toplam Giriş (g/s)
680,23	613,55	15,22	-687,11	3,36	50,33	1 362,68

Poliüretan maddesinin yanma ısısından hareketle, 15 MW'lık yangın yükünde sıcaklık dağılımları da modellenmiştir. 6 MW yangın büyüklüğü için, yanma ısısı değerine göre yanma debisi hesaplanmıştır [31]. Yangın yükü, yanma ısısı, yanma debisi ve mol oranları, mol ağırlığı, yanma hızı ve üretilen malzeme mol oranları, üretilen malzeme debileri hesaplanmış olup aşağıdaki tablolarda yer almaktadır (Tablo 3.13-Tablo 3.16.).

Tablo 3.13. 15 MW yangın büyüklüğü için yanma ısısı ve yanma debisi [31]

Yangın Büyüklüğü (MW)	Yanma Isısı (kJ/kg)	Yanma Debisi (kg/s)
10	26 200	0,573

Tablo 3.14. 15 MW yangın büyüklüğü için Poliüretan mol ağırlığı ve yanma hızı

PU mol ağırlığı (g/mol)	PU yanma hızı (mol/s)
19,3	29,664

Tablo 3.15. 10 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (mol/s)

	Üretilen Malzeme debileri (mol/s)				
C	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO
4,19452	15,45980	18,59233	0,54345	-21,47214	0,11984

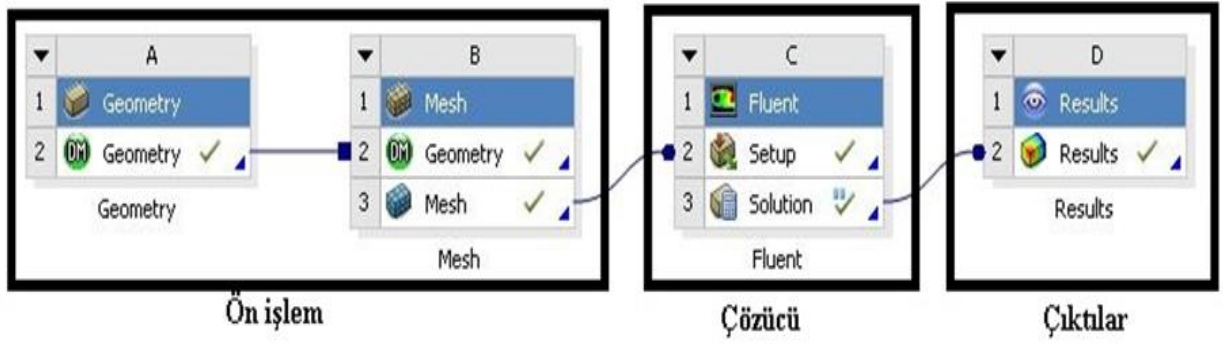
Tablo 3.16. 15 MW yangın büyüklüğü için üretilen malzeme debileri (g/s)

Üretilen Malzeme debileri (g/s)						
CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO	C	Toplam Giriş (g/s)
680,23	613,55	15,22	-687,11	3,36	50,33	2 044,03

Bu çalışmada ANSYS FLUENT yazılımı kullanılarak, poliüretan köpük kullanan örnek işyerine ait üç boyutlu yangın ve duman yayılımı senaryoları sayısal olarak incelenmiştir. Yangın esnasında açığa çıkan zehirli gazlar büyük problem teşkil ettiğinden, yanıcı malzemenin (poliüretan) özellikleri de göz önünde bulundurularak, yanma sonucu açığa çıkan gaz yoğunluğu yangın sürecinde analiz edilmiştir. Ayrıca, bina açıklıklarının değiştiği durumlarda ve yanma süresi boyunca ortamda kalan oksijen miktarı ile diğer gaz yoğunluk değişimleri sayısal olarak incelenmiştir.

Bina yapı malzemesi, binanın yüksekliği, bina açıklıklarının konumu, boyutu ve durumu modeli oluşturan temel bileşenlerdendir. Binanın kullanım amacı, binanın kullanım amacına göre yanan malzemenin özelliği, yangının büyüklüğü ve malzemenin yanma esnasında ulaşabildiği ısı değerleri gibi parametreler duman yayılımı analizinde ihtiyaç duyulan değişkenlerdir. Dış hava şartları, rüzgâr hızı ve yönü gibi kuvvetler de yangına etki eden diğer kuvvetlerdir.

Bu çalışmada, bina çıkışları atmosfere açıktır ve basınç değişimleri ihmal edilmiştir. Binanın duvarlarının taş yünü panellerle inşa edilmiş olması, binanın yangına dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla duvarların adyabatik yani ısı yalıtımlı olduğu kabul edilmiştir. Dış ortam sıcaklığının 27 °C (300 K) ve basıncının 1 atmosfer olduğu kabul edilmiştir. Bu çalışmadaki yanan malzeme parametreleri belirtilen kaynaktan alınmıştır [31]. İşyeri modeli oluşturulurken, işyerinin gerçek bina boyutları kullanılmıştır. Değişken rüzgarın yön şiddeti ihmal edilmiştir.



Şekil 3.2. ANSYS modülleri

3.3.1. Ön İşlem

Bu aşamada modeli yapılacak alanlar belirlenmiştir. İşyerine ait binanın mimari çizim ile modeli oluşturulmuştur. Sayısal ağ tabakası, model geometrisine ve akışın karmaşıklığına bağlı olarak gerekli yoğunlukta oluşturulmuştur.

3.3.1.1. Kontrol hacmi

Bina geometrisi ANSYS Fluent yazılımının kendi çizim programı olan “Design modeller” programında çizilmiştir. Bina mimarisi işyeri boyutları göz önüne alınarak hazırlanmıştır.

Üretim aşamasında poliüretan kullanan işletme geniş hacimli bir yapıdır. Bina kullanım amacına göre değişen yangın büyüklüğü değerleri, işletmenin faaliyet alanından dolayı küçük değerler almamıştır.

Hacim koşullarının belirlenmesi için isim tanımlamaları kapılar, açıklıklar ve yangın hacmi için isimlendirmeler (named selection) yapılmıştır.

İşletmede çalışanların yoğun olduğu iki hacim bulunmaktadır. İlk kısım $26\ 100\ m^3$ boyutlarında olan büyük hacim olarak adlandırılacak kısımdır. $60 \times 15,5 \times 8$ metre boyutlarında olan daha küçük boyutlardaki diğer hacim ise küçük hacim olarak adlandırılacaktır. Bu iki bölge arasında geçiş $4 \times 4\ m$ ebatlarında kapı aracılığıyla sağlanmaktadır. İki hacmin birleşimi ise tüm hacmi oluşturmaktadır. Geometrik model oluşturulurken kontrol edilen hacimler ise, yangın hacmi ve hava hacmi olmak üzere iki ayrı temel hacme ayrılmıştır:

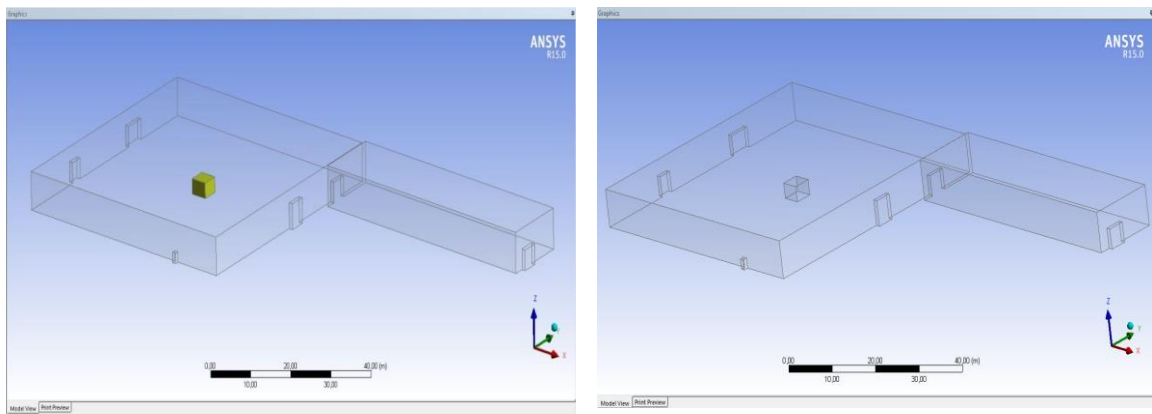
a) Hava hacmi

Bina geometrisinin duvarların içinde ve yangın hacmi dışında kalan hacimdir. Duman ve yangının yayılımının inceleneceği hacim olarak tasarlanmıştır. Kapılardan hava girişinin olduğu ve bu hacimde bulunan oksijenin yangın durumunda, yangın hacmi tarafından emildiği bir model oluşturulmuştur. Yangın ile açığa çıkan gazlar bu hacim içinde yayılacaktır.

b) Yangın hacmi

İşyeri çalışma ortamında bulunan yığınlardan biri olacak boyutlarda seçilen 48 m³ lük hacimdir. İşyerinde üretimi gerçekleştirilen malzemenin yandığı kısım olarak alınmıştır. Açığa çıkan duman miktarı yangının duvar yangını, köşe yangını veya açık alan yangını olmasına göre değişmektedir. Duman miktarı köşe yangınında en küçük değeri, duvar yangınında daha büyük değer ve açık yangında en büyük değeri almaktadır. Yangın hacminin konumu duvarlardan uzak alınarak açığa çıkan duman miktarının en büyük değeri alması sağlanmıştır. Bu hacim yanma sonucu, O₂ tüketip açığa CO₂, H₂O, N₂, CO gibi gazlar yaymaktadır. Yangın hacminin yeri değiştirilerek, yangın yeri farklı olduğunda farklı hacimlerde duman ve sıcaklık akışının analizi yapılmıştır.

Yangın hacmi Şekil 3.3'te yeşil renkle gösterilen hacimdir. Yangın hacmi dışında kalan hacim ise hava hacmini oluşturmaktadır.



Şekil 3.3. a)Yangın hacmi, b)Hava hacmi

3.3.1.2. Açık kapı sayısı

Geometride Kapı 1, Kapı 2, Kapı 3, Kapı 4, Kapı 5 olarak adlandırılan, 5 adet açıklık bulunmaktadır. Bu açıklıkların boyutları sırasıyla 4x4 m², 5x4 m², 1x2 m², 3x4 m² ve 5x4 m²'dir. Yangın senaryolarında bu kapıların farklı yangın yüklerinde açık veya kapalı olma durumları dikkate alınıp, sonuçlara etkisi irdelenmiştir.

3.3.1.3. Yangın yükü

Binaların yangından korunması yönetmeliğine göre yangın yükü, bir yapı bölümünün içinde bulunan yanıcı maddelerin kütleleri ile alt ısı değerleri çarpımları toplamının, plandaki toplam alana bölünmesi ile elde edilen ve MJ/m² olarak ifade edilen büyüklüğü ifade etmektedir. İşyerinde üretilen malzemenin cinsi ve toplam alandaki bulunma miktarı göz önünde bulundurulduğunda, 6MW, 10MW ve 15 MW yangın yükleri bu çalışmada değişken olarak ele alınan büyüklükler olmuştur ve yangın senaryoları bu parametrelere göre oluşturulmuştur.

6 MW yangın yükü için önce tüm dışa açılan kapılar açıkken duman yayılımı incelenmiş, yine 6 MW yangın büyüklüğü için sadece 2 kapı açık bırakıldığı senaryolarda duman yayılımları analizleri yapılmıştır.

10 MW yangın büyüklüğü için değişken dışa açılan kapı açıklıkları ve tavanda belli bir noktada ve belli boyutlarda havalandırma açıklığı olduğu senaryolarda duman yayılımları analiz edilmiştir. İşyeri hacmi yangının farklı yerlerde çıkma olasılığı göz önünde bulundurulup, bu yangın büyüklüğünde işyerinin küçük ve büyük hacim bölgelerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

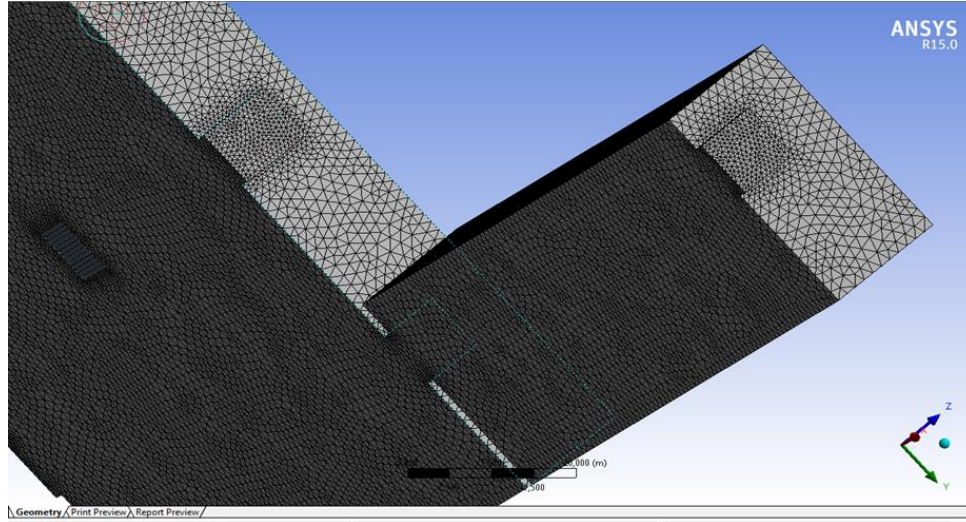
15 MW yangın yükü için ise 26 100 m³ lük hacimde tavan açıklığında ve açıklığın olmadığı durumlarda duman yayılımı modellenmiştir.

3.3.1.4. Tavan açıklığı

Bu çalışmada, büyük hacim kısmı için tavandaki farklı noktadaki küçük açıklıkları temsilen tek bir büyük açıklık alınmıştır. Tavan açıklığının boyutu, taban alanının %0,5'i civarında seçilmiştir. Bina geometrisinin küçük hacim kısmında farklı iki açıklıkla ve daha büyük

boyutlarda yayılımın nasıl değiştiğini görmek için daha büyük boyutlarda tavan alanlarında çalışılmıştır.

3.3.1.5. Sayısal ağ oluşturma

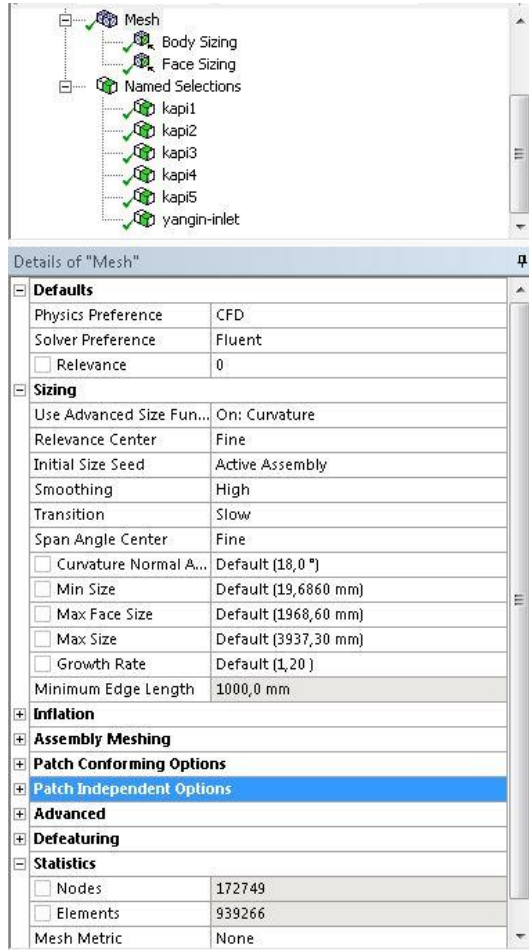


Şekil 3.4. Sayısal ağ yapısı detay

Geometri hacmi çok küçük sayısal ağlara ayrıştırılarak, akış analizi için bu kısımda gerçekleştirilen ağ yapısı atamasının doğruluğu, Fluent'te yapılacak çözümü önemli ölçüde etkileyecektir. Kontrol hacminin hücre dağılım kalitesi, akış analizlerinde sonuçları büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Hücreler ne kadar küçük seçilirse, çözüm o kadar güvenilir olmaktadır fakat çözüm zamanı uzamakta ve gerekli bilgisayar kapasitesi artmaktadır. Bu nedenle sayısal çözüm ağı oluşturulurken çözüm hassasiyetini sağlayacak kritik bölgelere (açıklıklar, inlet-outlet bölgeleri) daha sık, diğer bölgelerde daha seyrek olacak şekilde sayısal ağ dağılımı yapılmalıdır [16].

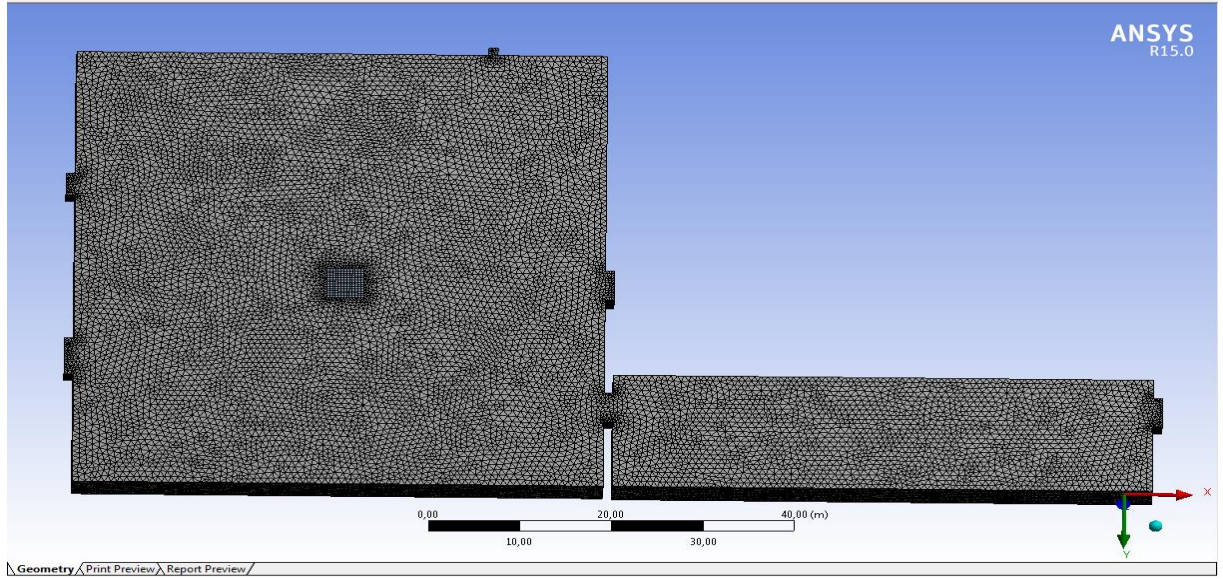
Aşağıdaki ağ oluşturma tablosunda görüldüğü gibi CFD ve Fluent için sayısal ağ seçilmiştir. (Şekil 3.5) Kavisli yüzeylere yönelik sayısal ağ yoğunlaşması, uygunluk merkezi, Smoothing-iyi, açıklık açısı merkezi-iyi, geçiş-yavaş seçilip diğer kısımlar başlangıç değerlerinde alınmıştır. Sayısal çözüm ağı için oluşturulan hücre sayıları kontrol hacminde yeterli olacak şekilde ayarlanmıştır. Sayısal ağda oluşturulan hücreler yüzeyde en fazla 300 mm boyutu, iç hacimlerde ise en fazla 700 mm boyutuyla sınırlandırılmıştır. Oluşturulan senaryolarda hacim değişimlerinde ve tavandaki farklı boyuttaki açıklık değişimi öncesinde herbir geometri için

yeniden sayısal ağlar oluşturulmuştur. Yeniden oluşturulan her bir sayısal ağ için eleman ve hücre sayısı farklıdır.



Şekil 3.5. Ağ özelliklerini belirleme

Problemin çözümünde kullanılacak sınır koşullarının belirtilebilmesi için, akış olacak yerlerin isimlendirilmesi gerekmektedir. “Named Selection” seçimiyle üzerinde çalışılacak akış noktalarının isimlendirilmesi yapılmaktadır. İsimlendirmeler yapılırken aynı zamanda yazılımın kendi içerisinde sınır şartlarının tipleri de belirlemesi sağlanmaktadır. Burada en önemli nokta sınır koşullarının belirlenmesinden önce isimlendirmenin de bu bölümde yapılabiliyor olmasıdır. Bunun için bina içerisine giriş olarak adlandırılan yüzeylerin sınır tipi “velocity_inlet”, çıkış olarak adlandırılan yüzeylerin sınır tipi “pressure_outlet”, duvar olarak adlandırılan yüzeylerin sınır tiplerini de “wall” olarak gösterilmektedir.



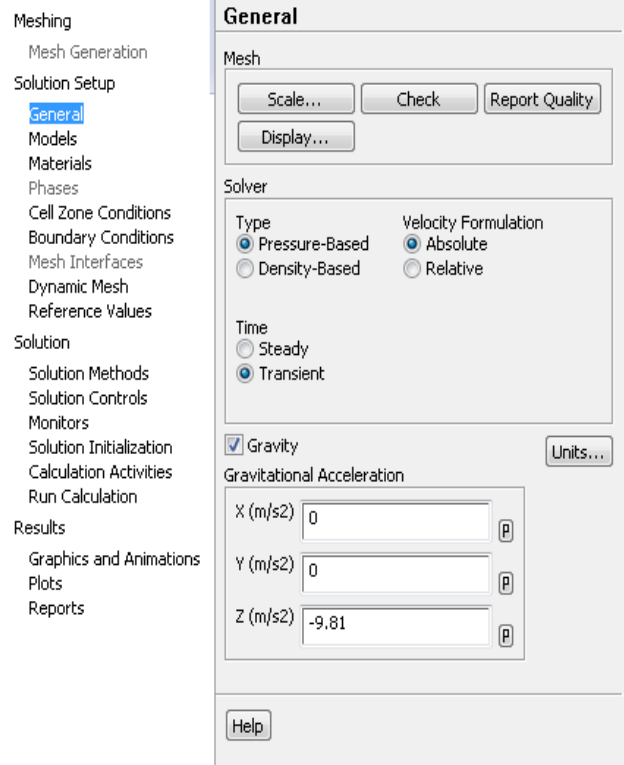
Şekil 3.6. Sayısal ağ genel görünüm

3.3.2. Çözücü

Çözüm aşamasında; modelin hangi opsiyona göre çözüleceği, uygun fiziksel model seçimi (türbülans, yanma, çok fazlı vb.), maddesel özelliklerin belirlenmesi (sıvı, katı, karışım vb.), sınır şartlarının tanımlanması (atmosfer basıncı, yer çekim ivmesi vb.), bütün sınır bölgelerinde sınır şartlarının tanımlanması, başlangıç değerlerinin verilmesi, çözümde hangi kontrol metotlarının kullanılacağı, yakınsama kriterlerinin ayarlanması yapılmıştır.

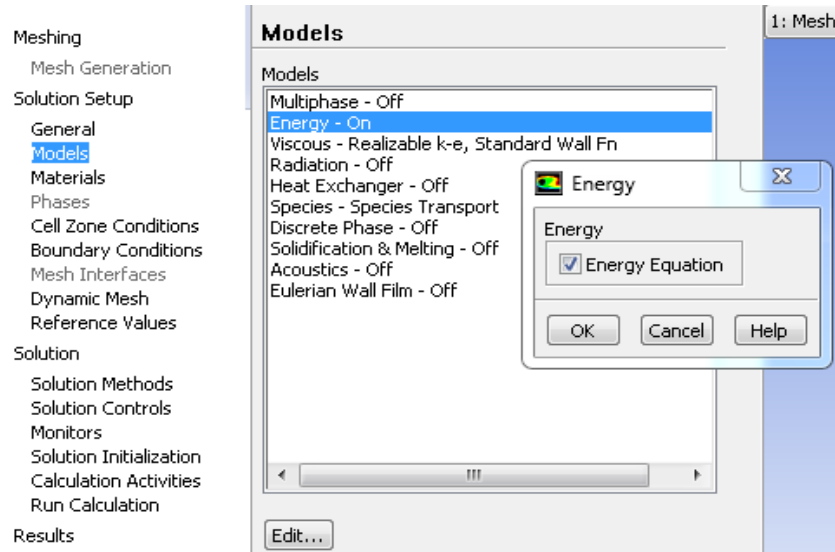
3.3.2.1. Çözücü özelliklerinin tanımlanması

Çalışan sayısının yoğun olduğu geniş hacimlerde yangın acil durumunda güvenli kaçış süresi ön plandadır. Kaçış süresi, yangın başlangıcından alarm sisteminin faaliyete geçmesi, insanların alarmı algılamaları, tepki vermeleri ve binayı terk etmeleri için gerekli sürelerin toplamıdır. Çalışmayı gerçekleştirdiğimiz işyeri geniş hacme sahip olduğundan bu çalışmada, zamana bağlı (Transient) analiz yapılmıştır. Belirli sürelerde ortamdaki gaz yoğunluklarını gözlemlemek bu şekilde mümkün olmuştur. Yerçekimi $-z$ yönünde $9,81 \text{ m/s}^2$ seçilmiştir. Çözüm sürecinde ise problemimiz bir doğal konveksiyon problem olduğu için öncelikle yer çekimi aktif edilmiş, hava ideal gaz olarak tanımlanmıştır.



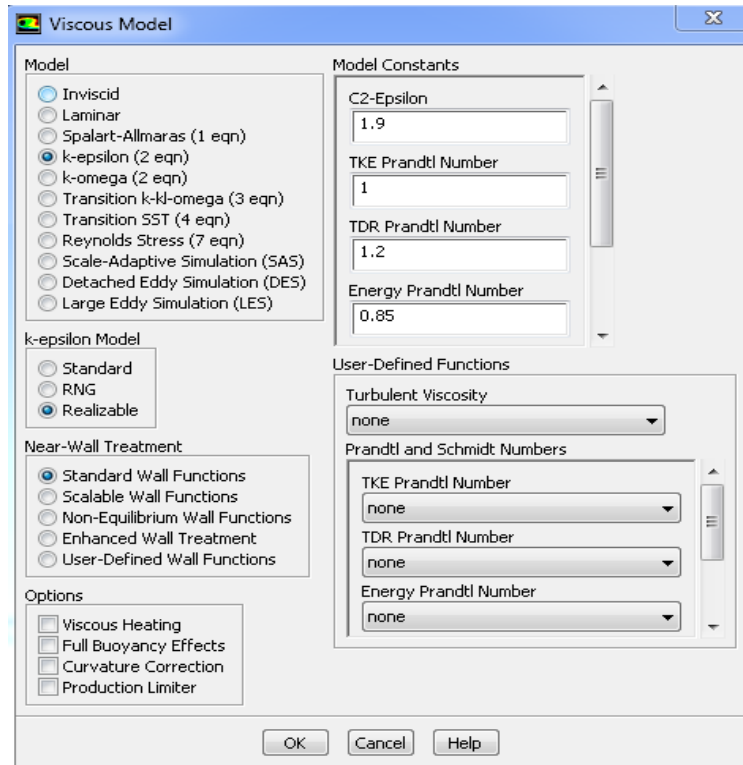
Şekil 3.7. Çözüm için genel ayarlar

Termal çözüm yapılacağı için enerji denklemlerinin çözümü aktif hale getirilmiştir. Energy Equation (Enerji Denklemi) komutu ile enerji denkleminin çözülmesi için seçilip, programın enerji denklemi için de çözümleme yapması sağlanmıştır.



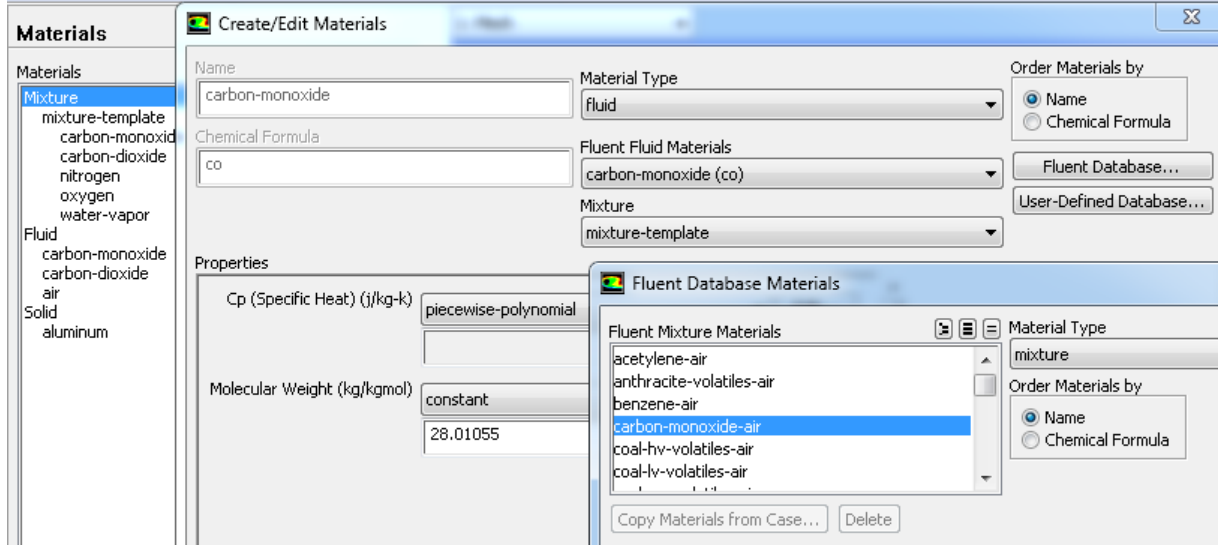
Şekil 3.8. Enerji denklemi aktif edilmesi

Modelde kullanılan akışkan özellikleri belirlenmiştir. Kimyasal gazlar ve reaksiyonlar için tür taşınım (species transport) modeli seçilmiştir. Böylece yangın neticesinde oluşan farklı gazların hareketleri incelenebilmiştir. Türbülans modelin seçimi, spesifik bir problem sınıfı için belirlenmiş uygulama, gerekli olan hassasiyet seviyesi, mevcut sayısal kaynaklar, mevcut simülasyon için zaman miktarı gibi hususlara dayanmaktadır. Akış, türbülanslı bir akış olacağı için viscous model olarak realizable k-epsilon seçilmiştir. Bu çalışmada iç termal akış, gazların yayılımı ve havalandırma açıklıkları işlendiğinden bu model bu çalışmaya uygundur. Realizable k-epsilon modeli iç termal akış problemlerinde hızlı ve gerçeğe yakın sonuç vermektedir.



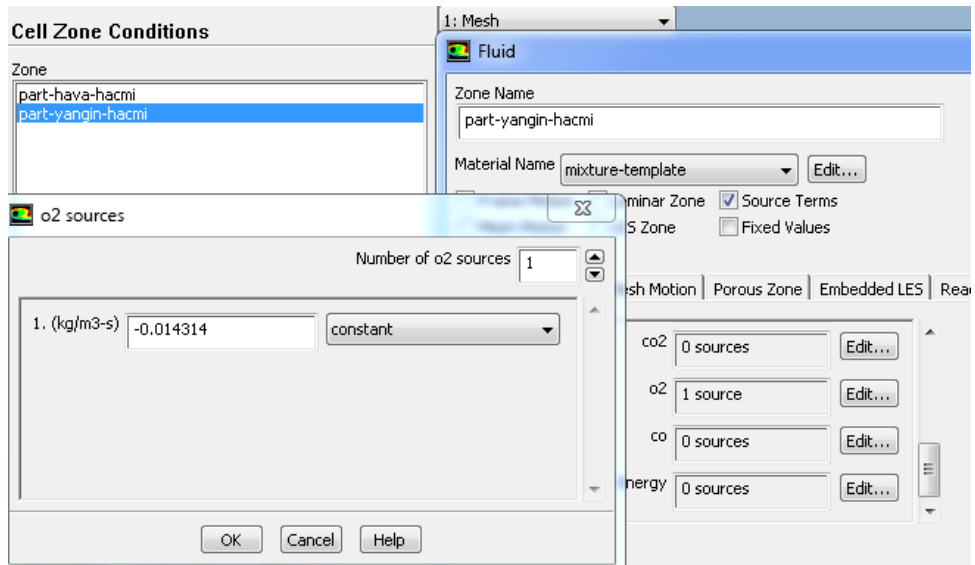
Şekil 3.9. Akış şeklinin belirlenmesi

Poliüretan malzemesinin yanması sonucu açığa çıkan gazların modellenmesi için, veri tabanından yangın hacmi tarafından hava hacmine belirli oranlarda akışı olan gazların seçimi bu kısımda yapılmaktadır.

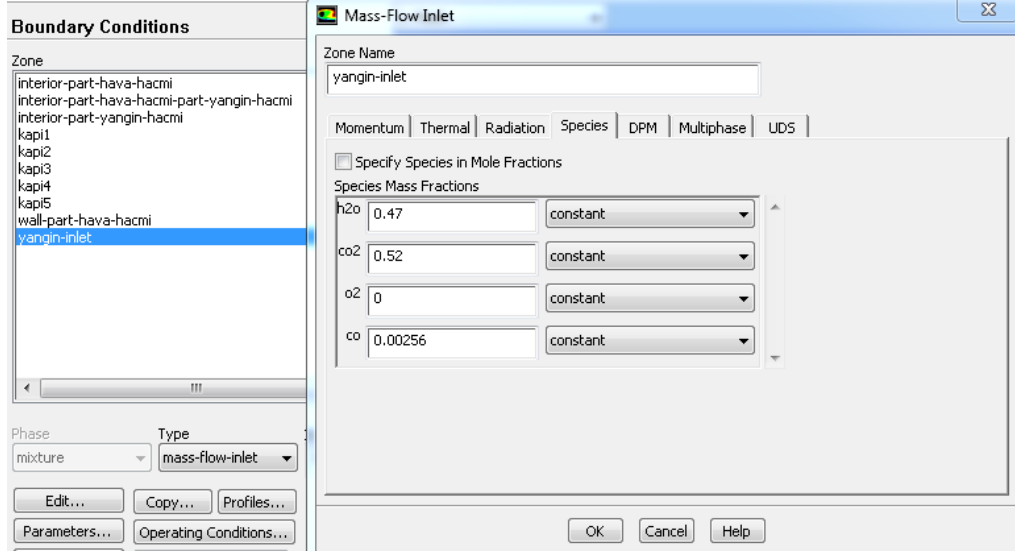


Şekil 3.10. Malzemelerin belirlenmesi

Yangın hacmi tarafından ne kadar oksijen tüketileceği her bir yangın yükü için hesaplanmış, değerleri şekilde görüldüğü gibi girilmiştir (Şekil 3.11.). Akışkanın hızı ve giriş sıcaklığı, duvarın özelliği en önemlisi adyabatik olması ve bu özelliği bu kısımda belirlenmektedir. Yanan malzemenin yanması sonucu açığa çıkan gazların kütle oranları sınır şartı olarak girilmektedir. Ayrıca kapı girişlerinden kütle olarak %23 oranında oksijen girdiği sınır şartı olarak tanımlanmıştır. Thermal sekmesinden 1073,15 K değeri yangın hacmi için girilmiştir. Sıcaklığın (1073,15 K) 800 °C'ye ulaştığı ilgili kaynaktan alınmıştır [31].

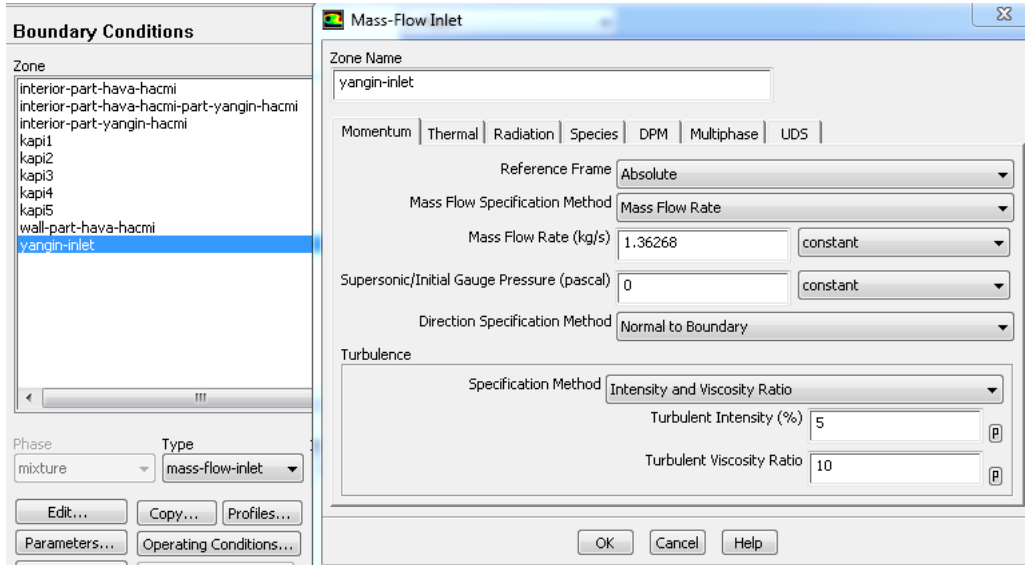


Şekil 3.11. Tüketilen oksijen miktarı



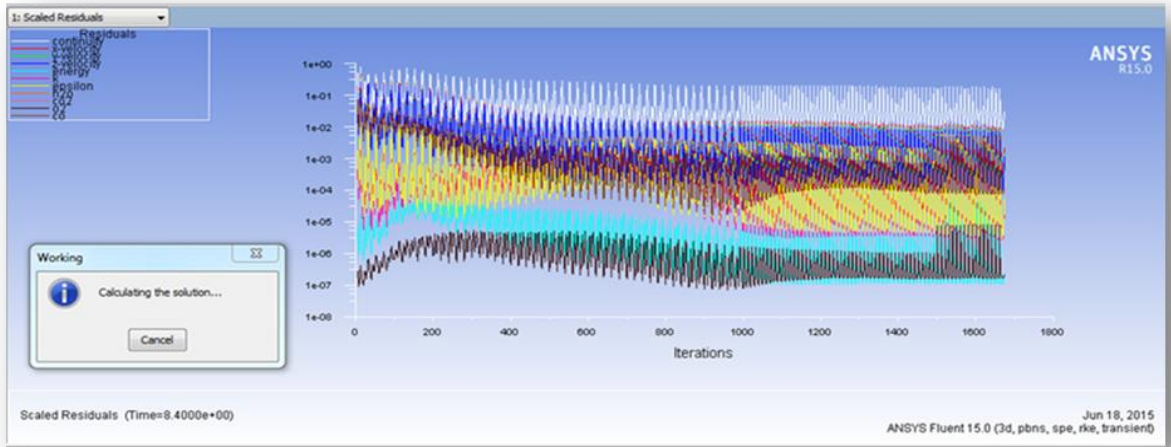
Şekil 3.12. Ürünlerin kütleli yüzdeleri

Yangın hacminin, hava hacmine poliüretan yanması sonucu oluşturduğu gazların toplam debisi (kg/s) cinsinden her bir yangın yükü için hesaplanıp sınır şartı olarak girilmiştir.



Şekil 3.13. Açığa çıkan malzeme debisi

İterasyon parametrelerinin yazılıma tanıtılması ile çözümün hangi değere kadar yakınsama yapacağı belirlenmektedir. Her bir zaman adımı süresi (time step) 0,05 sn komutu ile iterasyon başlatılmaktadır. Çözüm yakınsadığında grafik şeklinde raporlanmaktadır. Ayrıca bu kısımda çözüm başlangıcında kabul edilen ilk değerler verilmektedir. Zamana bağlı yapılan çözümde, yangın sonucu oluşan gazların yayılımını 250 saniyelik bir süre boyunca ve bu sürenin sonunda aldığı aşamaları üç boyutlu olarak incelemek için, zaman adımı (Time Step) 0,05 saniye ve iterasyon sayısı (Iteration) 5 000 seçilip, bu süre dahilinde analizler yapılmıştır.



Şekil 3.14. Çözüm aşaması

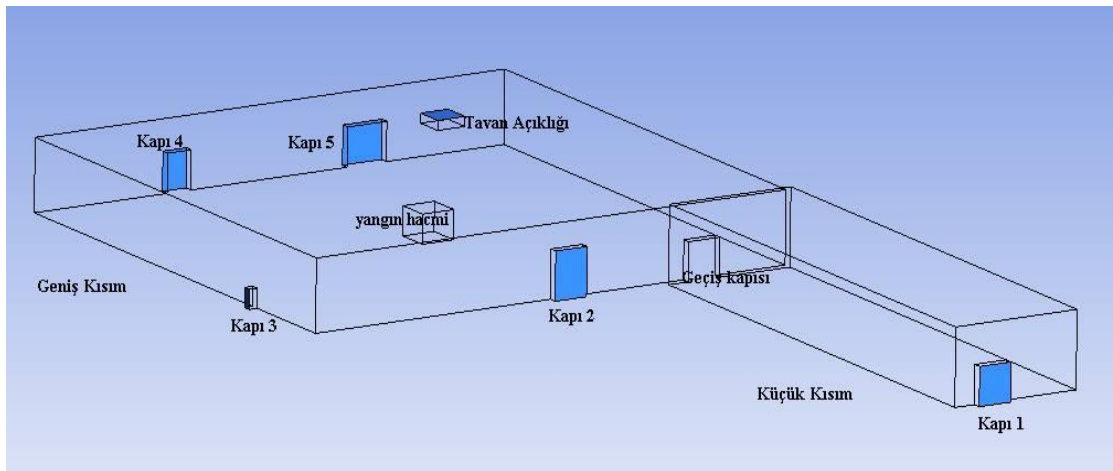
3.3.3. Çıktılar

Çözüm işleminden sonra, sonuçların işlenmesi ve yorumlanması yapılmıştır. Hücre yapısı, fiziksel veya sayısal model gözden geçirilmiş, gerekli düzeltmeler gerçekleştirilmiştir. Çözüm yakınsadığında grafik şeklinde raporlanmıştır. Sonuç ve değerlendirme aşamasında ise, iterasyon sonucu elde edilen değerler, grafik ve çizimler yardımı ile incelenmiş, istenilen durum ve şartlara göre sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir [29].

4. BULGULAR

Bu çalışmada, poliüretan sünger kullanan bir işyerinde yangın sonucu açığa çıkan dumanın analizi bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı ile analiz edilmiştir. Poliüretanın yanma reaksiyonu sonucu açığa çıkan karbondioksit (CO_2), ve karbonmonoksit (CO) ile tüketilen oksijenin (O_2) işyeri ortam havasındaki dağılımı modellenmiştir. Modelleme sonucunda, belirtilen gazların başlangıçtan 250 saniyeye kadar dağılımları tespit edilmiştir. 250 saniye yangın sonunda çalışanların herhangi bir zarar görmeden tahliye edilip edilemeyeceği ve söndürme ekiplerinin rahat çalışabilmeleri için uygun bir ortam olup olmadığı hesaplanmıştır.

Çalışanın ortamda bulunan gazlar ve sıcaklıklardan etkilenmesi sonucunun tespiti amacıyla insan boyunun biraz üzerinde olan yerden 2,5 metre yükseklik esas alınmıştır. Yüksekliği $z=2,5\text{m}$ olan yatay kesitte sıcaklık eşik değeri 60°C alınarak gösterim yapılmıştır. Ortamda bulunan gazların modellemesine ilişkin program çıktıları olan ekran görüntüleri alınırken hesaplanan sürelerin en fazla 250 saniye olması dolayısıyla gazların STEL (kısa süreli maruziyet sınır değeri) değerleri ölçeklerde üst sınır olarak alınmıştır. Mevzuatımızda karbonmonoksit ve karbondioksitin STEL değerleri bulunmadığından referans olarak ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ve NIOSH da verilen değerler alınmış olup bu değerler sırasıyla 400 ppm ve 30 000 ppm'dir. Yangın senaryolarının modellendiği işyeri ortamına ilişkin 3 boyutlu geometrik çizim Şekil 4.1'de verilmektedir. Tavan açıklığı binanın gerçek geometrisinde bulunmayıp, öneri olarak modellenip, sonuçlara etkisi irdelenmiştir.



Şekil 4.1. Geometri açıklaması

Bu çalışmada toplam 18 senaryonun modellenmesi yapılmıştır. İşyeri ortamında üretilen poliüretan süngerler üretildikleri bölgede nakliye öncesinde bekletilmektedir. Nakliye sonrasında ise üretim bölgesindeki malzemeler azalmaktadır. Yoğun çalışma temposu nedeniyle bina içerisindeki malzeme miktarı hızlı değişimler göstermektedir.

İşyerindeki malzeme miktarları, yağmurlama sistemi olmayışı ve üretilen malzemenin özellikleri dikkate alınarak büyük hacim kısmı için; küçük, orta ve büyük yangınları temsilen sırasıyla 6 MW, 10 MW ve 15 MW yangın büyüklükleri seçilmiştir. 15 MW yangın, işyerinde üretilen malzeme yığınlarının arttığı koşulları yani işletmenin neredeyse bir depo gibi kullanıldığı durumda, büyük hacim yangınına temsil etmektedir. 7 440 m³ lük küçük hacim kısmında, bu hacmin kullanımından dolayı çıkabilecek büyük yangınları temsilen 6MW ve 10 MW yangın yükü senaryolarda ele alınmıştır.

Tablo 4.1. Çalışmada incelenen 18 farklı senaryo ve senaryolarda kullanılan hacim, yangın yükü, kapı açıklığı ve tavan açıklığı değişkenleri

Senaryo Adı	Hacim Büyüklüğü	Yangın Yükü	Kapı Açıklığı	Tavan Açıklığı
Durum 1.1	33 540 m ³	6 MW	70 m ²	Yok
Durum 1.2	33 540 m ³	6 MW	14 m ²	Yok
Durum 2.1	33 540 m ³	10 MW	70 m ²	Yok
Durum 2.2	33 540 m ³	10 MW	14 m ²	12,25 m ²
Durum 2.3	33 540 m ³	10 MW	70 m ²	12,25 m ²
Durum 2.4	33 540 m ³	10 MW	Yok	Yok
Durum 2.5	33 540 m ³	10 MW	Yok	Yok
Durum 3.1	26 100 m ³	10 MW	Yok	Yok
Durum 3.2	26 100 m ³	10 MW	Yok	12,25 m ²
Durum 3.3	26 100 m ³	10 MW	14 m ²	Yok
Durum 4.1	26 100 m ³	15 MW	Yok	4 m ²
Durum 4.2	26 100 m ³	15 MW	Yok	9 m ²

Tablo 4.1. Çalışmada incelenen 18 farklı senaryo ve senaryolarda kullanılan hacim, yangın yükü, kapı açıklığı ve tavan açıklığı değişkenleri (devam)

Senaryo Adı	Hacim Büyüklüğü	Yangın Yükü	Kapı Açıklığı	Tavan Açıklığı
Durum 5.1	7 440 m ³	10 MW	Yok	4 m ²
Durum 5.2	7 440 m ³	10 MW	Yok	9 m ²
Durum 6.1	7 440 m ³	6 MW	Yok	4 m ²
Durum 6.2	7 440 m ³	6 MW	Yok	9 m ²
Durum 6.3	7 440 m ³	6 MW	Yok	16 m ²
Durum 6.4	7 440 m ³	6 MW	Yok	(8+8) m ²

Ortama hava girişinin sağlandığı açıklıklar ve işyerinin farklı hacimleri diğer değişkenler olarak ele alınmaktadır. Her bir senaryo ve bu senaryolara ilişkin modelleme sonucunda ortaya çıkan gaz ve sıcaklık dağılımları aşağıda yer almaktadır. Durum 2.4 ve Durum 2.5'te parametre olarak bir açıklık kullanılmamış, bu durumların yangın yeri değiştirilerek farklı iki hacimde duman ve sıcaklık kıyaslaması yapılmıştır.

4.1. DURUM-1 SENARYOSU (6 MW yangın, 33 540 m³ hacim)

Geometride Kapı 1, Kapı 2, Kapı 3, Kapı 4, Kapı 5 olarak adlandırılan, 5 adet açıklık bulunmaktadır. Bu açıklıkların boyutları sırasıyla 4x4 m², 5x4 m², 1x2 m², 3x4 m² ve 5x4 m²'dir. Yangın senaryolarında bu kapıların açık veya kapalı olma durumları dikkate alınıp, sonuçlara etkisi irdelenmiştir. Yangın yükü 6 MW'tır.

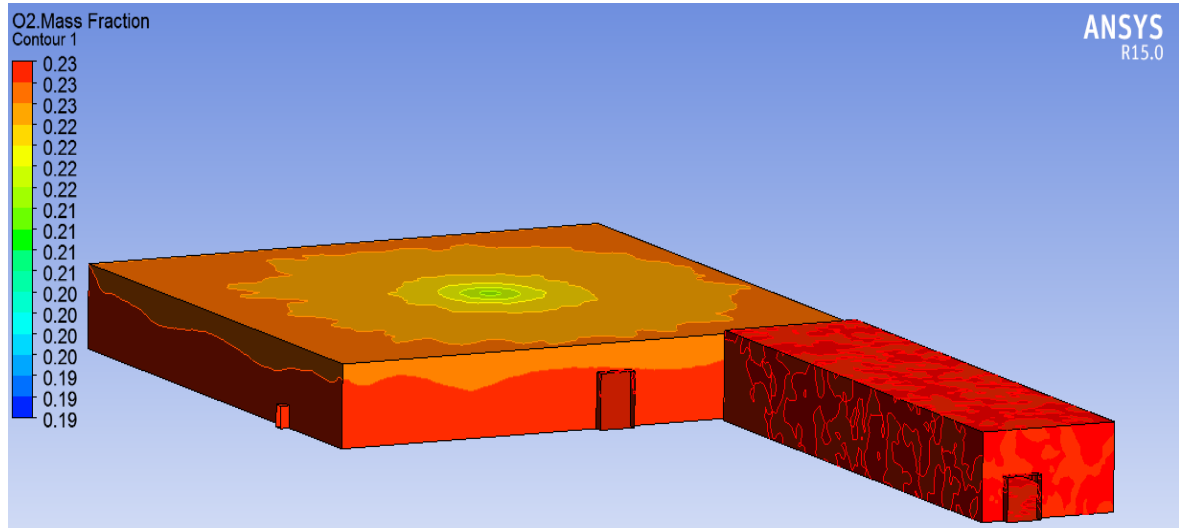
4.1.1. Durum 1.1: 6MW Yangın Yükü, 33 540 m³ Hacim, 70 m² Kapı Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.2.'de modelleme sonucunda gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama miktarlar verilmektedir.

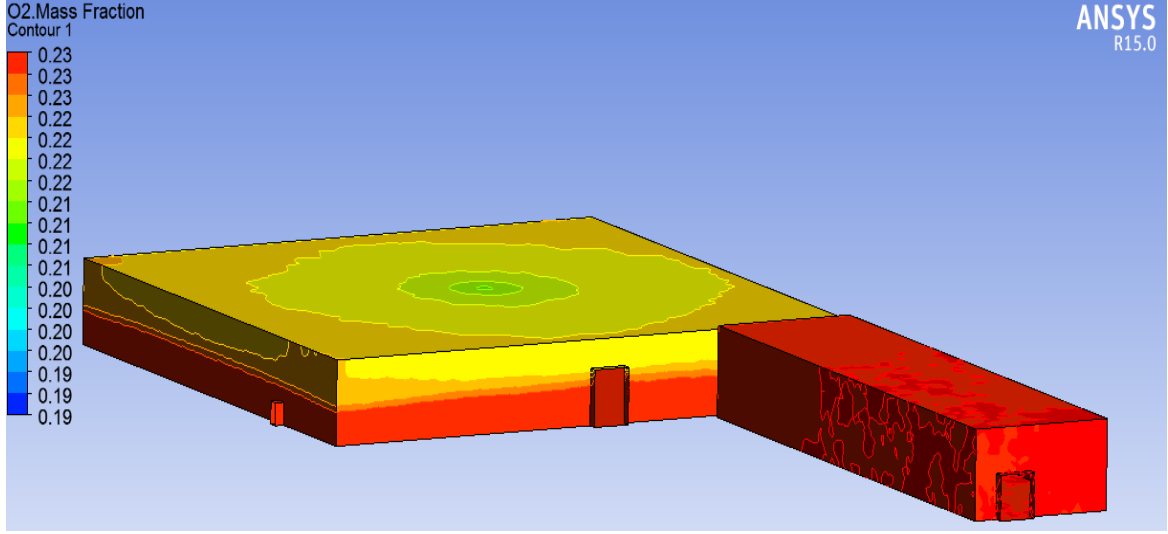
Tablo 4.2. Durum 1.1 Hava hacminde oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (6 MW yangın yükü, 33 540 m ³ hacim, 70 m ² kapı açıklığı)				
	O ₂ (kütlese %)	CO ₂ (ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık(°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2254	2 280,67	17,64	61
	O ₂ (kütlese %) (min.)	CO ₂ (ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.) (°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,2041	15 591,10	120,60	256
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,2116	9 442,55	73,04	168

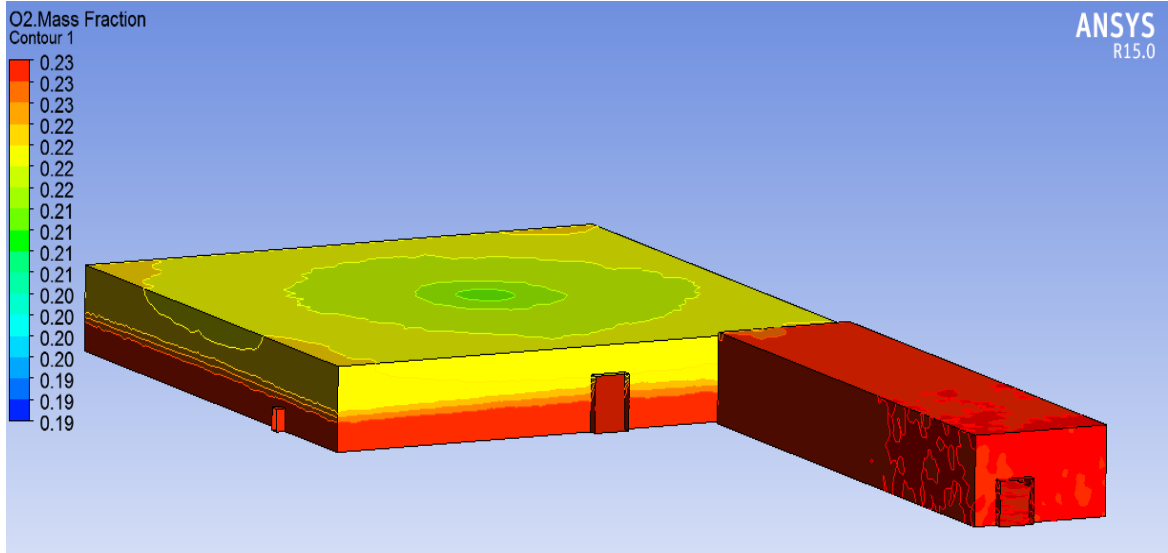
Sırasıyla Kapı 1, Kapı 2, Kapı 3, Kapı 4, Kapı 5 olarak adlandırılan ve boyutları sırasıyla 4x4 m², 5x4 m², 1x2 m², 3x4 m² ve 5x4 m² dışa açılan kapılar açık bırakılmıştır. Toplam 70 m² alan açıklığında 6 MW yangın yükü için analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.2. Durum 1.1 t=60. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

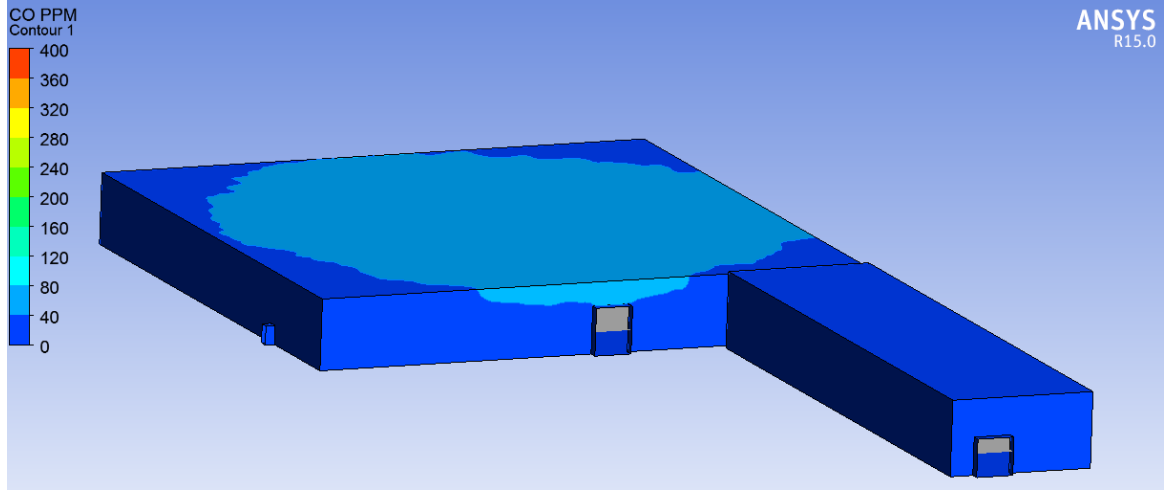


Şekil 4.3. Durum 1.1 t=180. saniyede oksijen (O₂) dağılımı



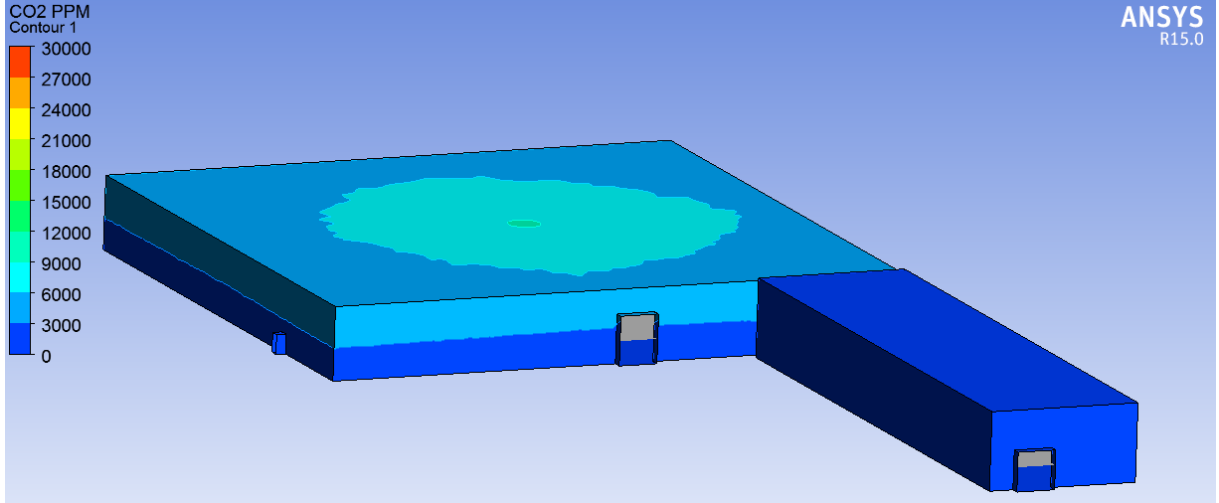
Şekil 4.4. Durum 1.1 t=250. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler sonunda 6 MW'lık yangın durumunda işyerinde oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. Modelleme sonuçları incelendiğinde, 6 MW'lık yangın yükünde 250 saniye sonunda, işyeri alanının tavana yakın bölümlerinde kütleli oksijen yüzdesinin %20 seviyesinde olduğu, bu değerin çalışanların solunum bölgesinde %23'ün altına düşmediği görülmektedir.



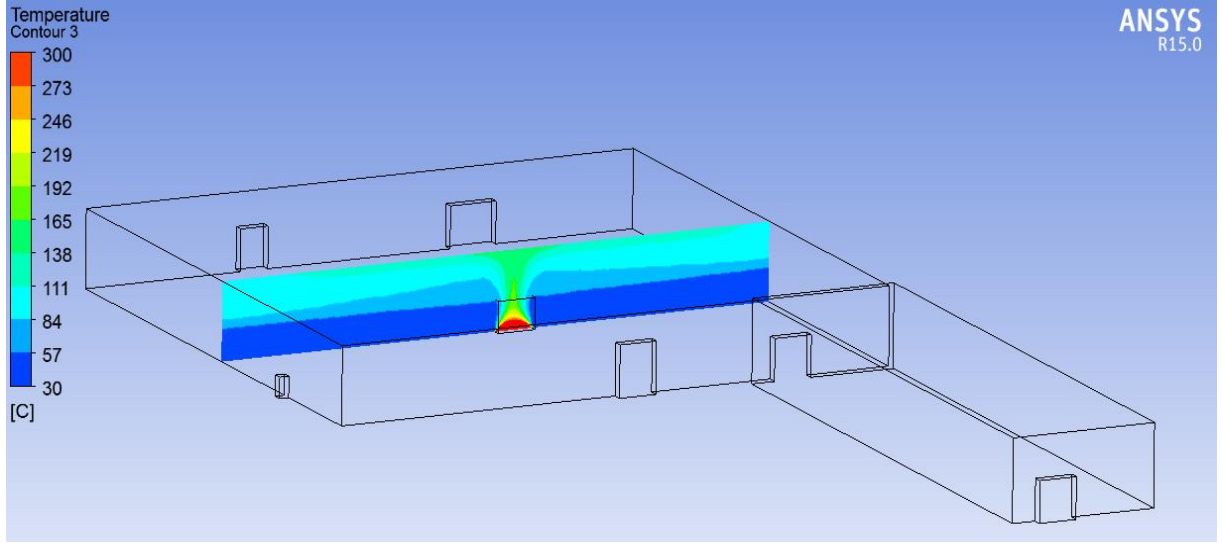
Şekil 4.5. Durum 1.1 t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.5.'te 6 MW yangın yükü ve 70 m² kapı açıklığı durumunda karbonmonoksit (CO) dağılımı gösterilmiştir. CO miktarı işyeri hava hacminde maksimum 120 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Tavan civarındaysa en yüksek 73 ppm değerini almaktadır. Bu miktar STEL değeri olan 400 ppm seviyesinden uzaktır. Ayrıca bu değer çalışanın solunum bölgesinde çok daha düşük seviyededir.



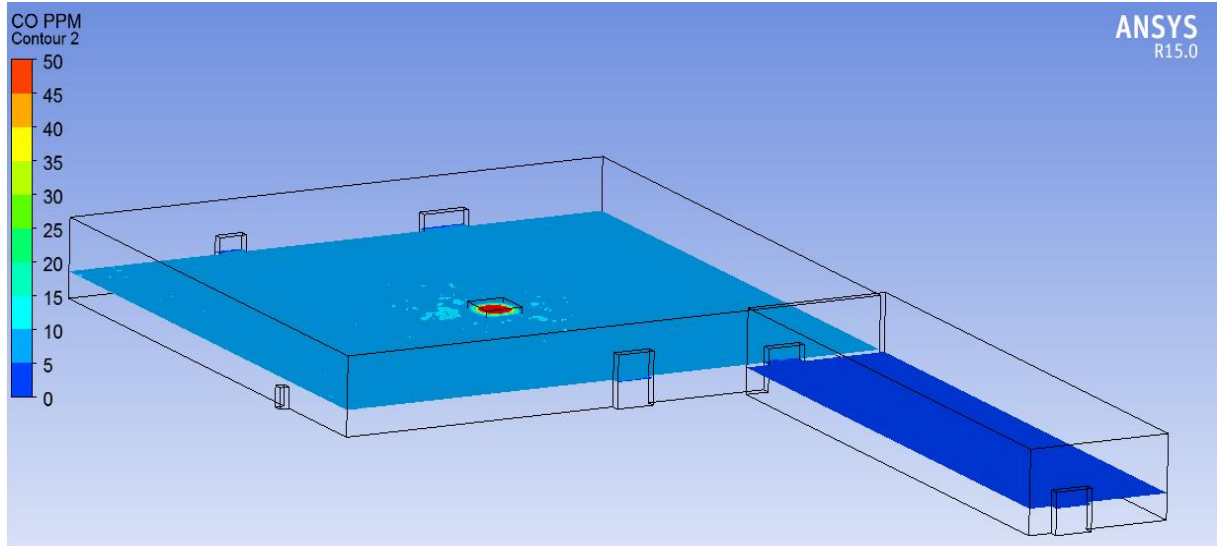
Şekil 4.6. Durum 1.1 t=250. saniye sonunda karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.6.'da 6 MW yangın yükünde ve 70 m² kapı açıklığı durumunda karbondioksit (CO₂) dağılımı gösterilmiştir. CO₂ miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 9 400 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Bu miktar, 30 000 ppm STEL değerinden çok daha düşüktür.



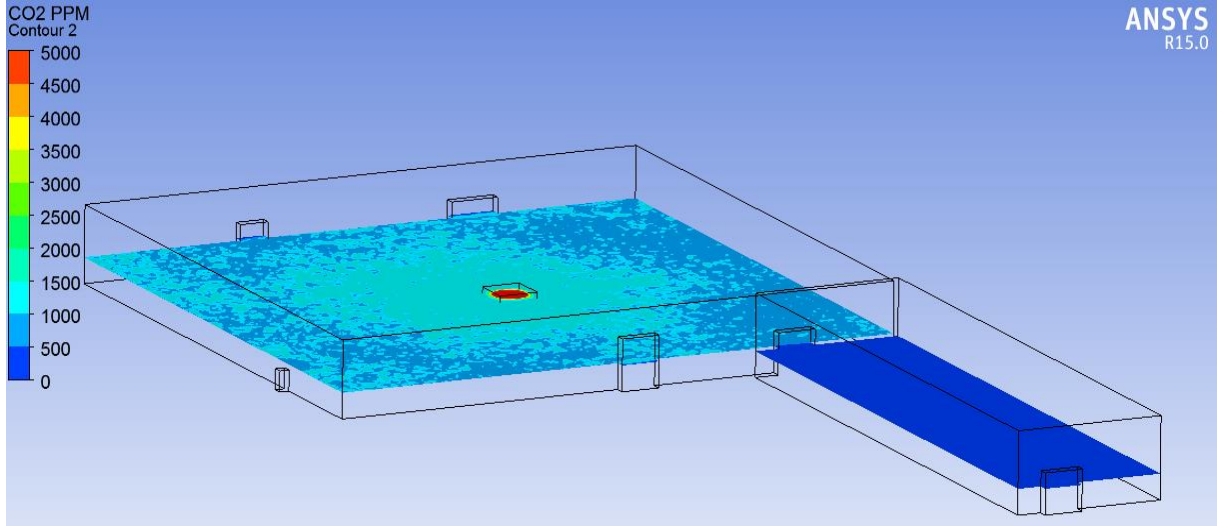
Şekil 4.7. Durum 1.1 t=250. saniye sonunda sıcaklık dağılımı (0-300 °C)

Şekil 4.7.'de yangın hacminin ve hava hacminin her ikisinin de bulunduğu hacimden dikey kesit alındığında, 250 saniye sonunda yangın hacmi içerisinde 300 °C'den fazla sıcaklıklara ulaşılabildiği görülebilmekle birlikte, çalışanların olduğu kısımda sıcaklığın kritik seviyelerde olmadığı görülmektedir.



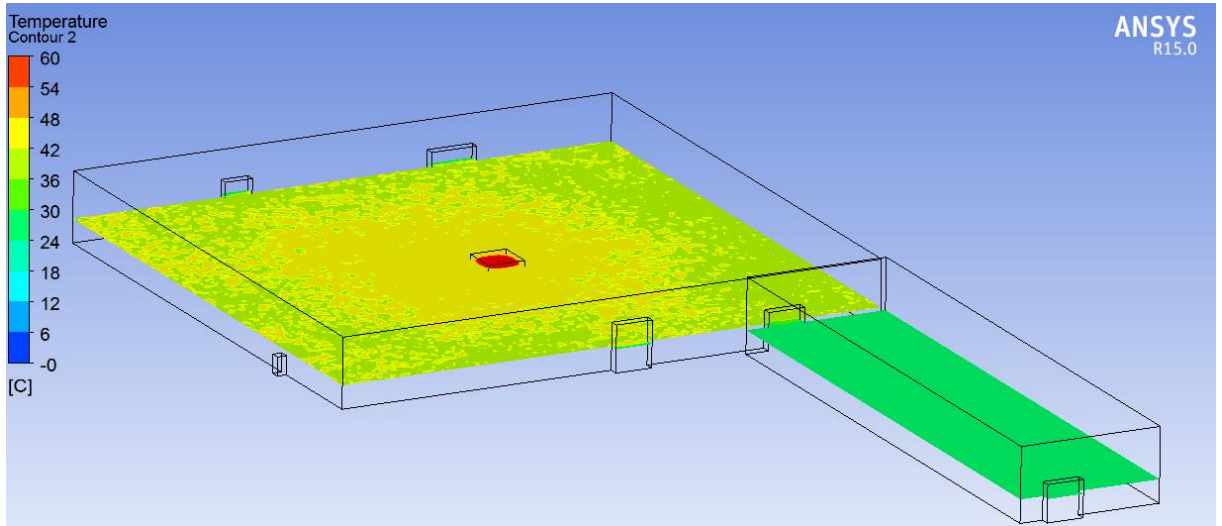
Şekil 4.8. Durum 1.1 Yerden 2,5 metre yükseklikte karbonmonoksit (CO) dağılımı(ppm)

Şekil 4.8.'de Çalışan boyunun biraz üzerinde alınan yerden 2,5 metre yükseklikteki yatay kesitte, karbonmonoksit (CO)'in dağılımı verilmektedir. Bu yükseklikte CO değeri oldukça düşük olduğundan görsel 50 ppm üzerinden ölçeklenmiştir. Karbonmonoksit (CO) 250 saniye sonunda hava hacminde ortalama 54 ppm miktarında bulunmaktadır.



Şekil 4.9. Durum 1.1 Yerden 2,5 metre yükseklikte karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.9.'da İnsan boyunun üzerinde alınan yerden 2,5 metre yükseklikteki yatay kesitte karbondioksit (CO₂)'in 5000 ppm ve üzerinde olduğu bölgeler ve altındaki bölgeler gösterilmekte, karbondioksit (CO₂)'in 250 saniye sonunda yangın hacmi haricinde kritik değerlere ulaşmadığı görülmektedir. Bu senaryoda karbonmonoksit (CO₂) değeri düşük olduğundan 5000 ppm değeri ile gösterim yapılmıştır.



Şekil 4.10. Durum 1.1 Yerden 2,5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.10'da Yüksekliği $z=2.5\text{m}$ olan yatay kesitte sıcaklık eşik değeri $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ alınarak gösterim yapılmıştır. Şekildeki dağılımda büyük hacim kısımda sıcaklığın daha çok $36\text{--}48\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında, küçük hacim kısımda ise $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Bu yangın senaryosunda insanların algılama, tepki süreleri ve güvenli kaçış süresi açısından doğal havalandırma açıklıklarının oldukça yeterli olduğu ortaya çıkmaktadır. Binanın hacmi yeterince büyük olduğu bu yangın yüküne göre kritik seviyeler görülmemiştir

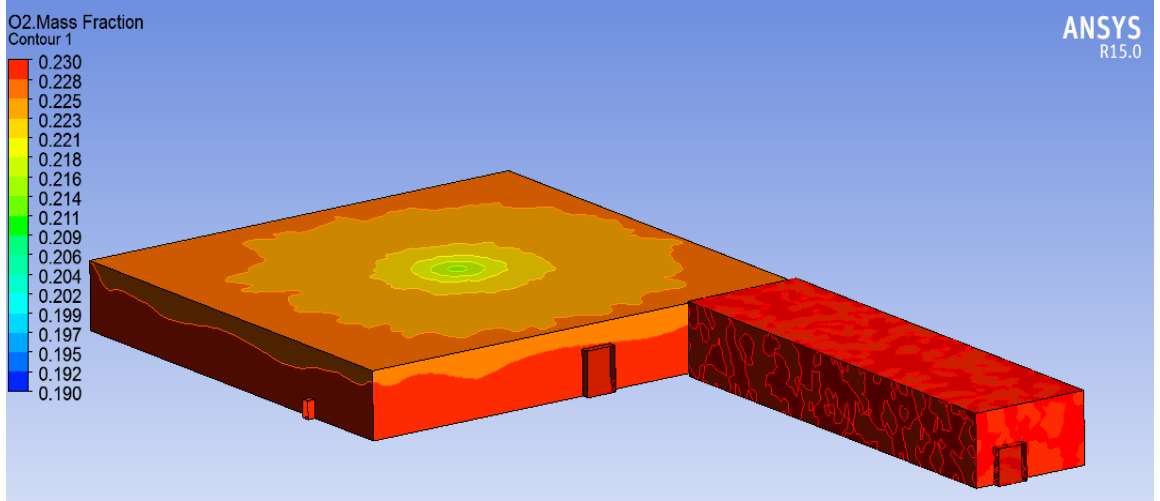
4.1.2. Durum 1.2: 6 MW Yangın Yüğü, 33 540 m³ Hacim, 14 m² Kapı Açıklığı

Bu yangın senaryosunda Kapı 3 ve Kapı 4 olarak adlandırılan boyutları sırasıyla 1x2 m² ve 3x4 m² ve toplam alanı 14 m² olan dışa açılan iki kapı açık bırakılıp diğer açıklıklar kapatılmıştır. 6 MW yangın yükü için 250 saniye sonunda, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri Tablo 4.3’de verilmektedir.

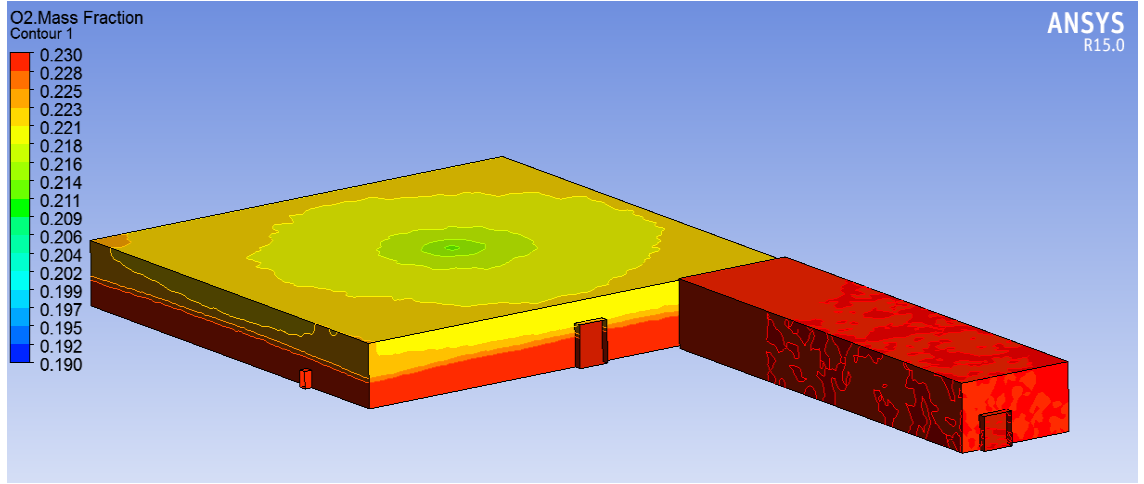
Tablo 4.3. Durum 1.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (6 MW yangın yükü, 33 540 m ³ hacim, 14 m ² kapı açıklığı)				
	O₂ (kütleli %)	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık(°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2254	2 291,1	17,72	61
	O₂ (kütleli %) (min.)	CO₂(ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,2040	15 601,5	120,68	265
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,2158	9 461,8	73,18	168

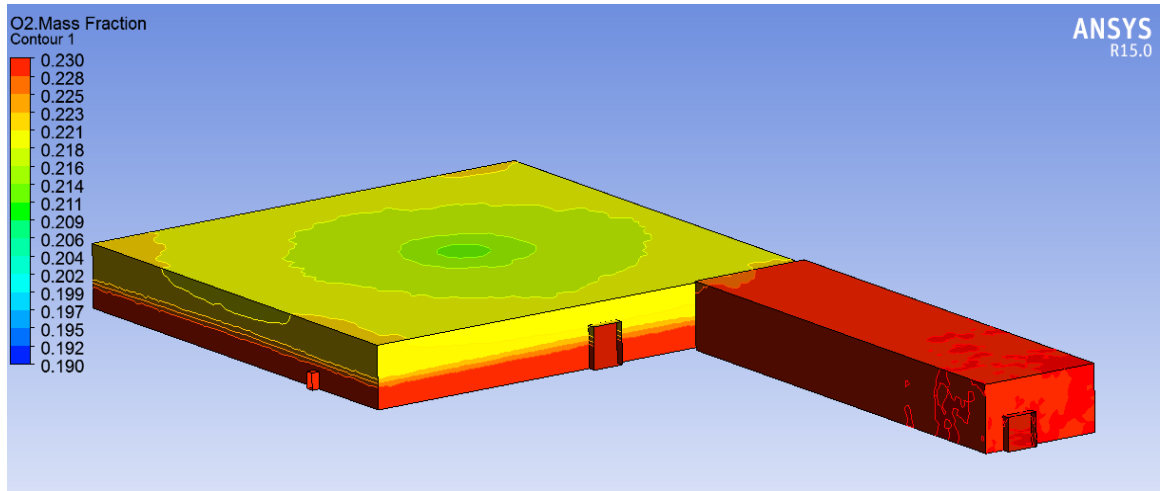
14 m² kapı açıklığında 6 MW yangın yükü için analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.11. Durum 1.2, t=60. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

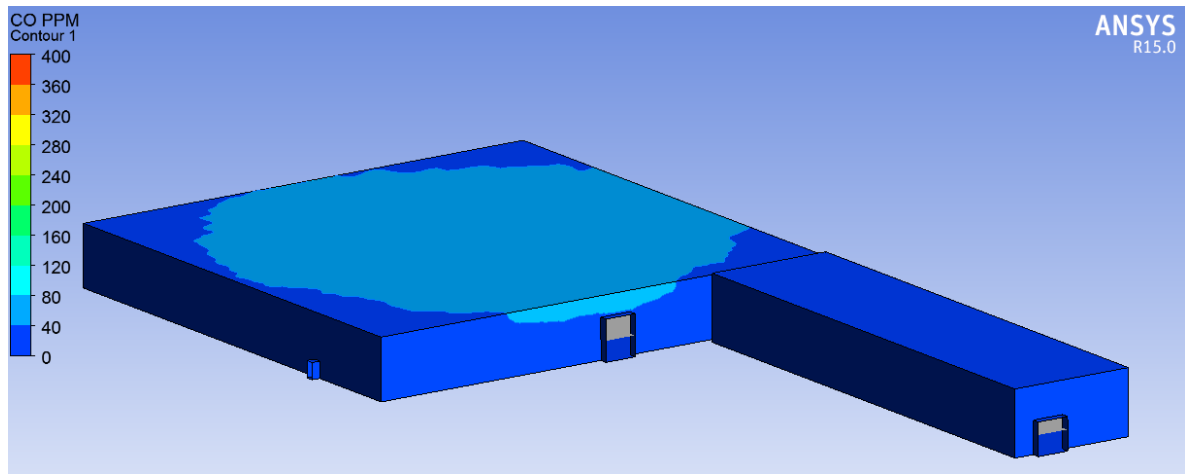


Şekil 4.12. Durum 1.2, t =180. saniyede oksijen (O₂) dağılımı



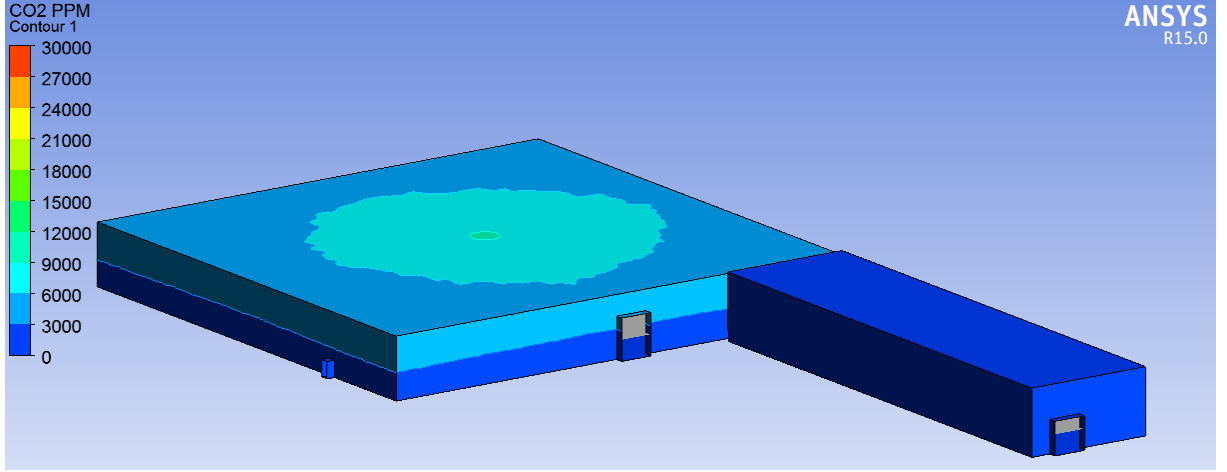
Şekil 4.13. Durum 1.2, t =250. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

Şekil 4.11., 4.12. ve 4.13.'te sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 6 MW'lık yangın ve toplam 2 kapı (14 m²) açıklığı durumunda işyerinde oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. Modelleme sonuçları incelendiğinde, 6 MW'lık yangın yükünde 250 saniye sonunda işyeri alanın tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %20 seviyelerinde olup çalışanların solunum bölgesinde kütleli olarak %23 değerinin altına düşmediği görülmektedir. Durum 1.1'e göre oksijenin kütleli dağılımında azalma gözlenmiştir, ancak oldukça benzer bir dağılım vardır. Bu benzerlik, yangın yüküne göre hacmin oldukça büyük olmasından kaynaklanmaktadır.



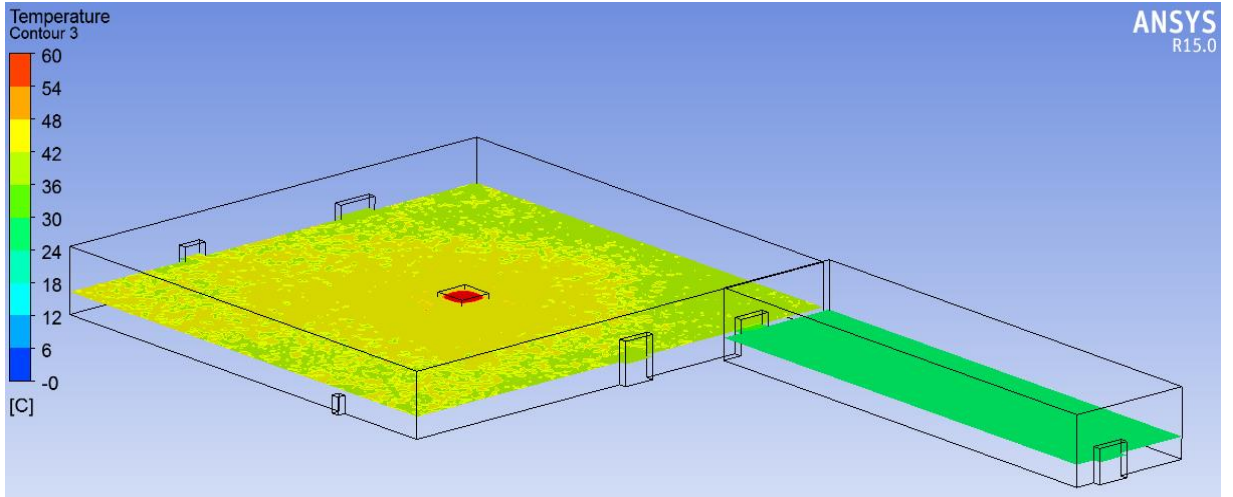
Şekil 4.14. Durum 1.2, t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.14.'te 6 MW yangın yükünde ve 14 m²'lik iki kapı açıkken, karbonmonoksit (CO) dağılımı görülmektedir. CO miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 73 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Bu miktar, STEL değeri olan 400 ppm seviyesinden uzakta olmaktadır. Çalışanın solunum bölgesinde çok daha düşük miktarlardadır.



Şekil 4.15. Durum 1.2, t =250. saniye sonunda karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

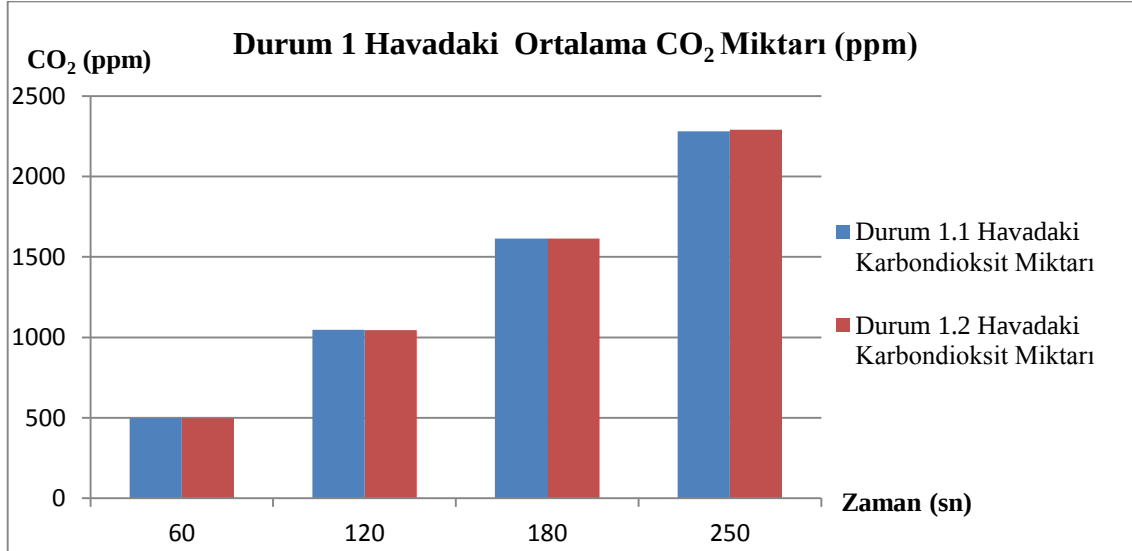
Şekil 4.15.'te 6 MW yangın yükünde, 2 kapı (14 m²) açıkken CO₂ dağılımı gösterilmiştir. CO₂ miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 9 460 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Hava hacminde bu değer ortalama 2 291 ppm dir. Bu miktar STEL değeri olan 30 000 ppm'e kıyasla düşüktür. Bu nedenle bu değer, çalışanın solunum bölgesinde çok daha düşük seviyededir.



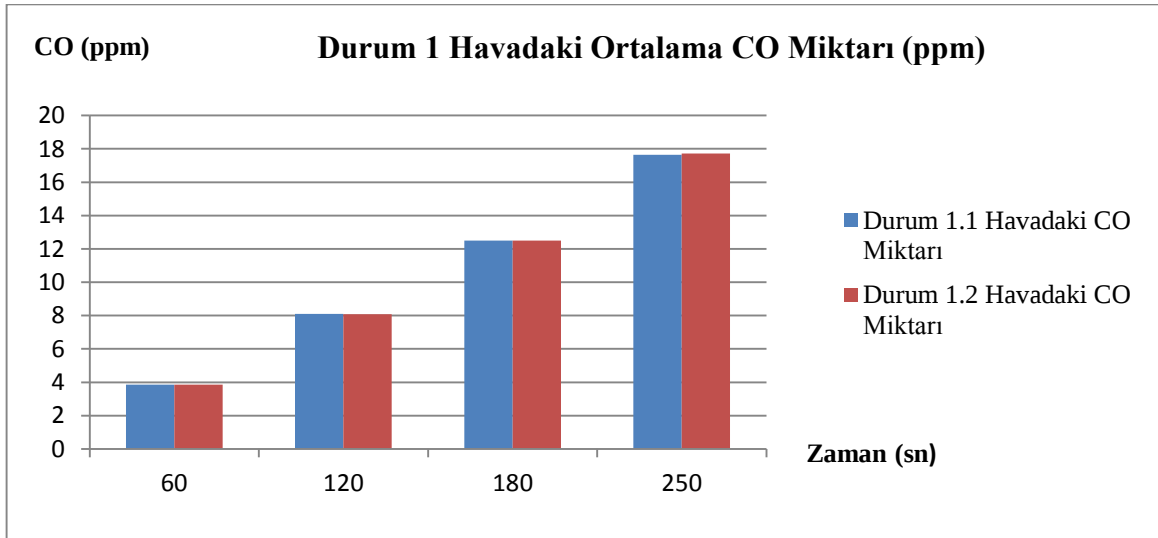
Şekil 4.16. Durum 1.2, t =250 saniye yerden 2,5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.16'da Yüksekliği z=2.5m olan yatay kesitte sıcaklık eşik değeri 60 °C alınarak gösterim yapılmıştır. Şekildeki dağılımda büyük hacim kısmında sıcaklığın daha çok 48-36 °C aralığında, küçük kısımda ise 30 °C civarında olduğu gözlenmiştir.

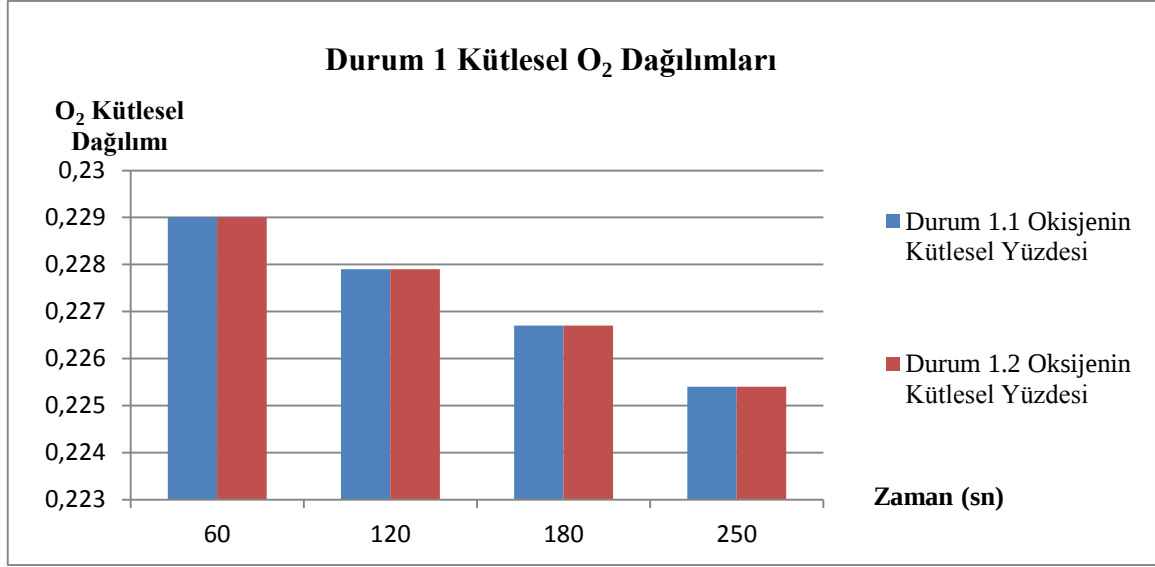
Sıcaklık ortalamasında Durum 1.1 ile neredeyse aynı değerler oluşmaktadır. Belirli noktalardaki maksimum sıcaklıklarda Durum 1.2'de daha yüksek sıcaklık görülmektedir.



Şekil 4.17. Durum 1 senaryoları için havadaki ortalama CO₂ miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.18. Durum 1 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.19. Durum 1 senaryoları için havadaki ortalama O₂ miktarının zamana göre dağılımı

Sırasıyla Şekil 4.17, Şekil 4.18, ve Şekil 4.19’da Durum 1 senaryoları için CO₂, CO ve O₂ dağılımları zamana bağlı olarak verilmiştir. Dağılımlarda yakın sonuçlar çıkmasının nedeni yangın yüküne göre hacmin oldukça geniş olmasıdır.

4.2. DURUM-2 SENARYOSU (10 MW yangın, 33 540 m³ hacim)

Kapı açıklığı parametrelerinin yanı sıra bazı senaryolarda tavanda 3,5x3,5 ebatlarında olan, işyerinin gerçek geometrisinde bulunmayan tavan açıklığı geometriye eklenmiştir. Tavanda açıklık olup, olmamasının sonuçlara etkisi incelenmiştir. Ayrıca yangın yükünün 10 MW olduğu Durum 2 senaryolarında, tüm hacim tamamen kapalıyken yangının büyük hacim kısmında çıkması veya küçük hacim kısmında çıkmasının neden olacağı farklılıkların analizi gerçekleştirilmiştir

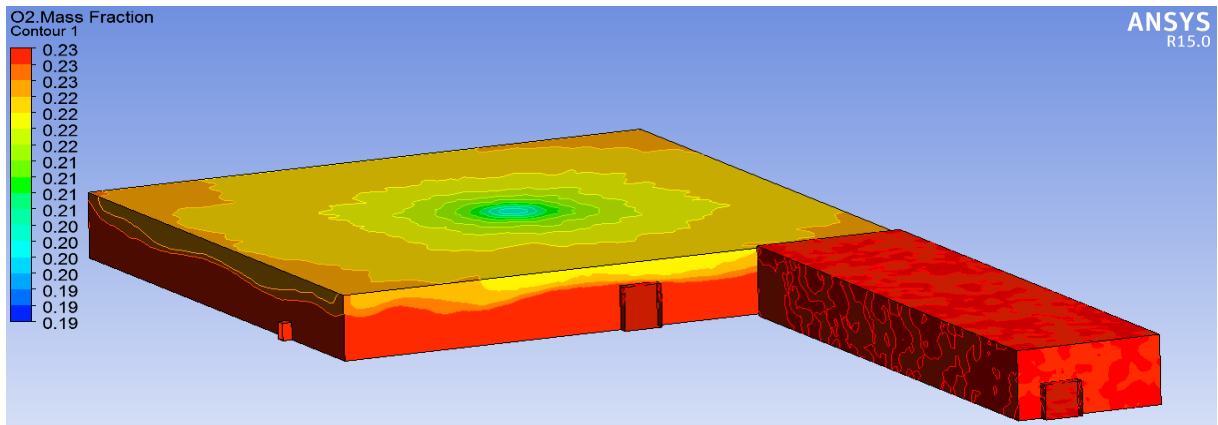
4.2.1. Durum 2.1: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m³ Hacim, 70 m² Kapı Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.4’te modelleme sonucunda gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde, hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama verilmektedir.

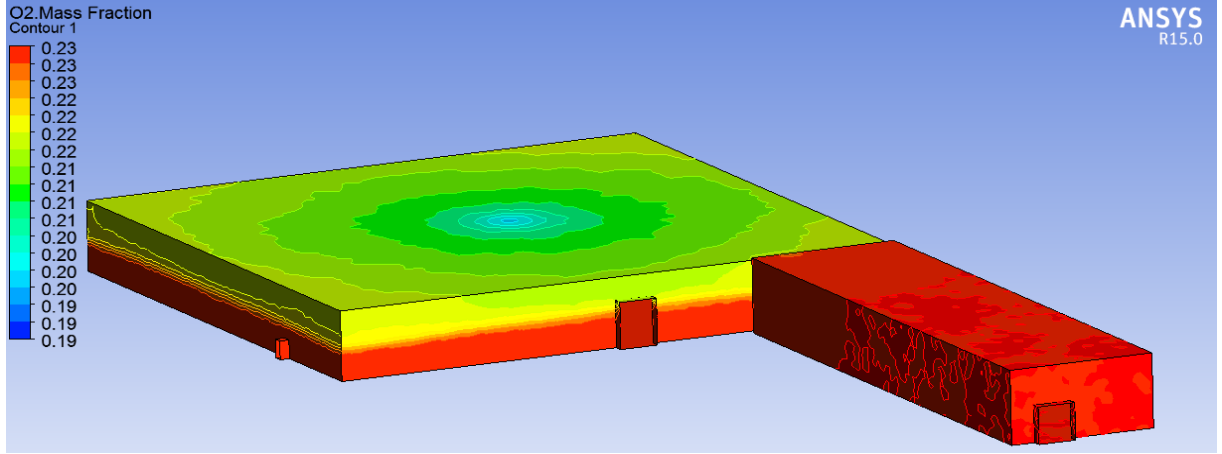
Tablo 4.4. Durum 2.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10MW yangın Yüğü, 33 540 m ³ hacim, 70 m ² kapı açıklığı)				
	O ₂ (kütlesele %) (min.)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacmindeki Ortalama Değerler	0,2223	3 824,8	29,58	60
	O ₂ (kütlesele %) (min.)	CO ₂ (ppm) (mak.)	CO (ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1813	31 622,6	244,60	305
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1959	17 824,4	137,87	184

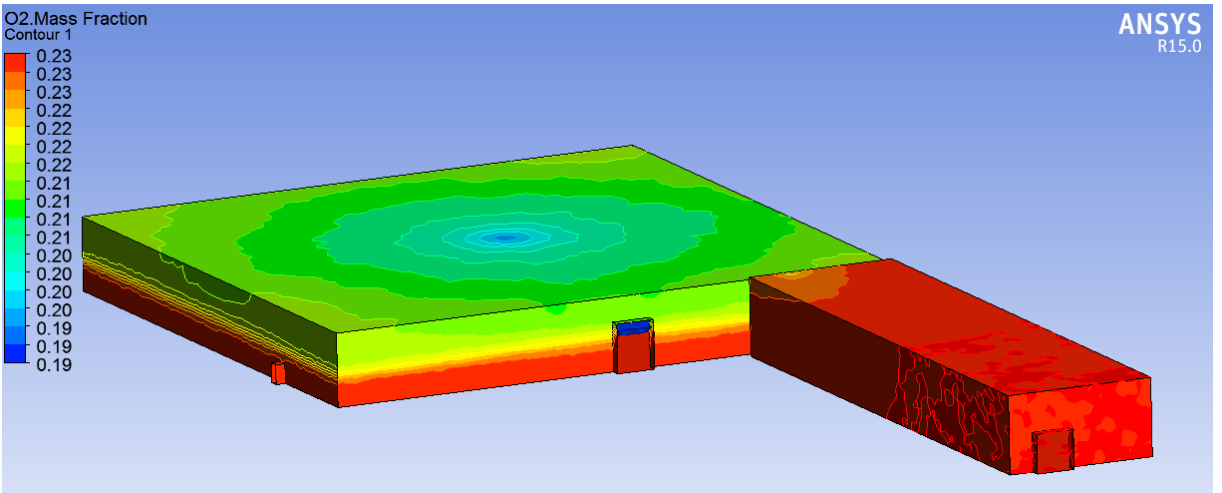
Sırasıyla Kapı 1, Kapı 2, Kapı 3, Kapı 4, Kapı 5 olarak adlandırılan ve boyutları sırasıyla 4x4 m², 5x4 m², 1x2 m², 3x4 m² ve 5x4 m² dışa açılan kapılar açık bırakılmıştır. Toplam 70 m² alan açıklığında 10 MW yangın yükü için yapılan analizlerde oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.20. Durum 2.1, t=60. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

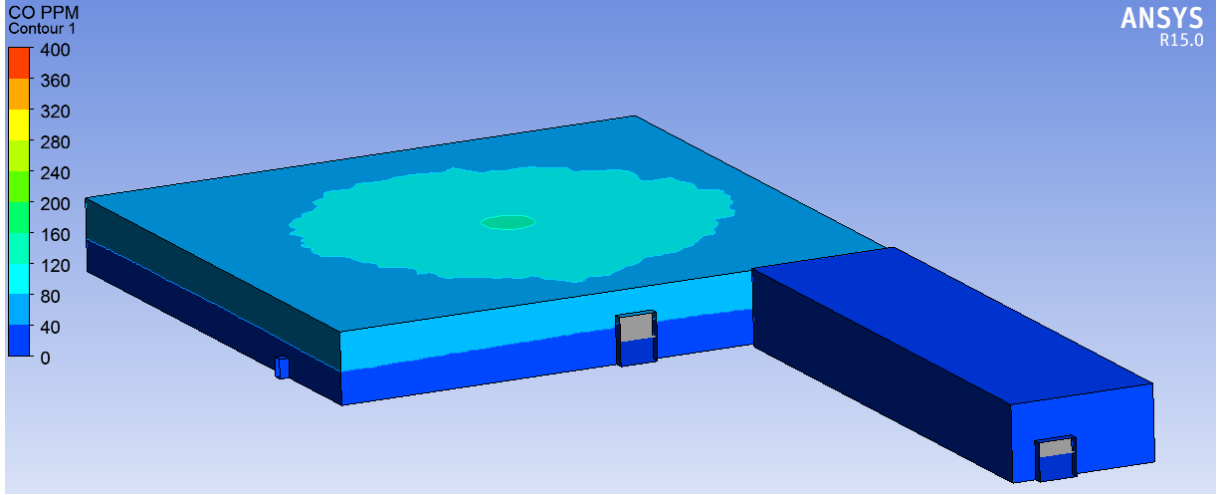


Şekil 4.21. Durum 2.1, t=180. saniyede oksijen (O₂) dağılımı



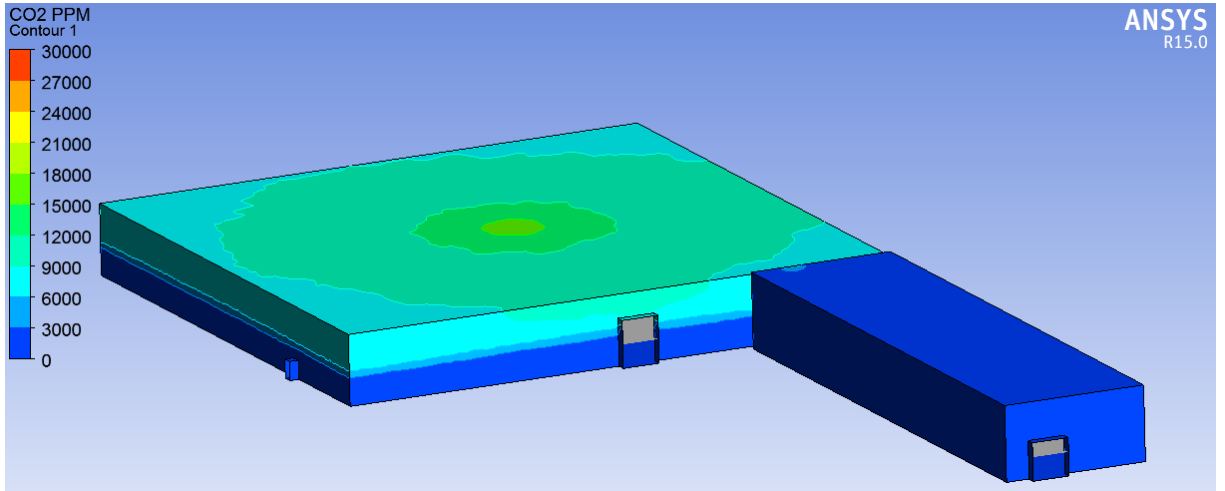
Şekil 4.22. Durum 2.1, t=250. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

Şekil 4.20., Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler sonunda 10 MW'lık yangın durumunda işyerinde oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. Oksijenin havadaki kütleli oranı %23'dür. Modelleme sonuçları incelendiğinde, 10 MW'lık yangın yükünde 250 saniye sonunda işyeri alanının tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %20 seviyelerinde olup çalışanların solunum bölgesinde kütleli olarak %23 değerinin altına düşmediği görülmektedir. Oksijenin kütleli dağılımı 250 saniye sonunda işyeri hacminde ortalama hava 0,2223 değerine inmektedir.



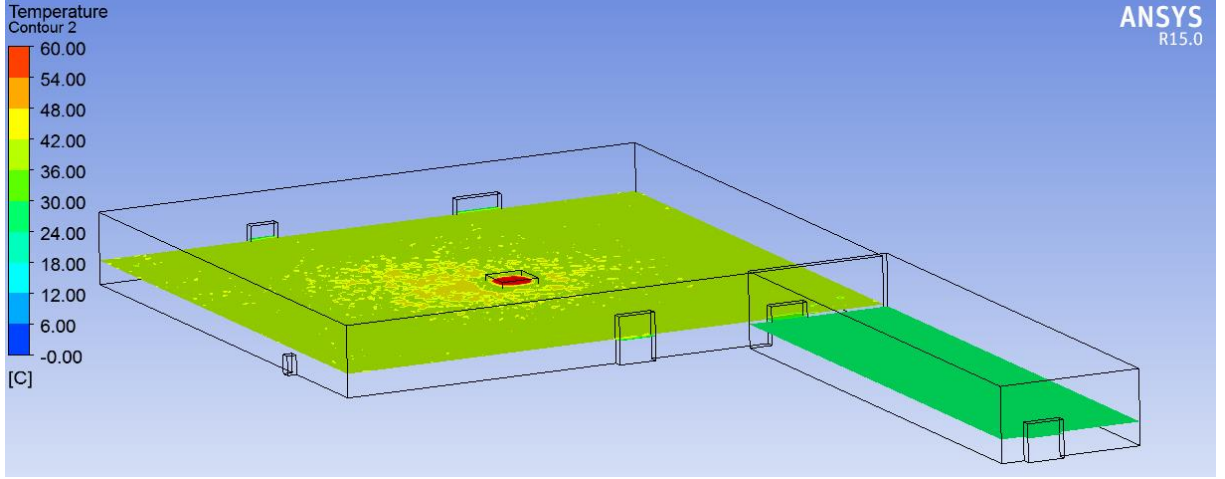
Şekil 4.23. Durum 2.1, t=250. saniye sonunda karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.23'te 10 MW yangın yükünde ve 70 m² kapı açıklığı durumunda karbonmonoksit (CO) dağılımı gösterilmiştir. Karbonmonoksit (CO) miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 137 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Bu miktar, STEL değeri olan 400 ppm seviyesinden uzak olup, çalışanın solunum bölgesinde çok daha düşük miktarlardadır.



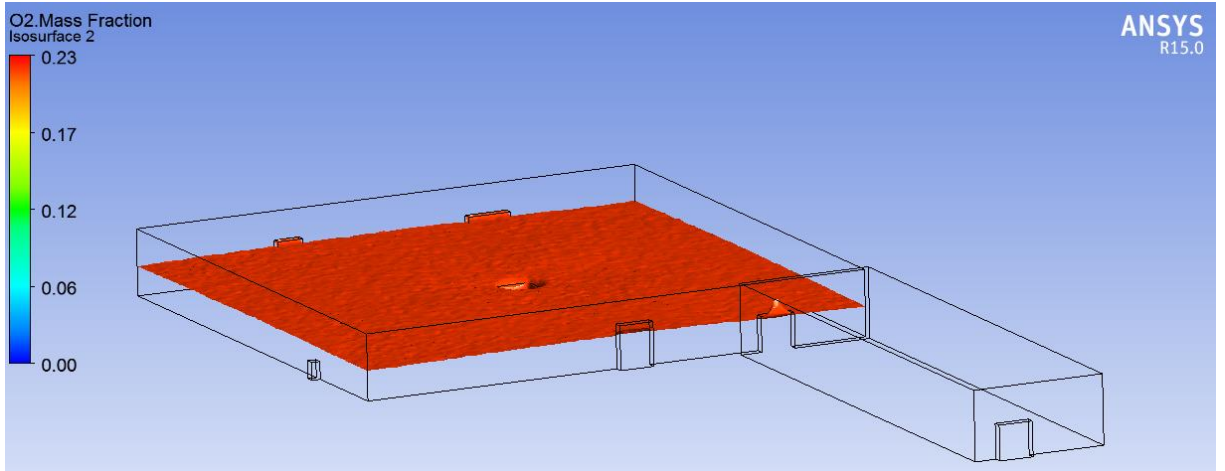
Şekil 4.24. Durum 2.1, t=250. saniye sonunda karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.24.'te 10 MW yangın yükünde, tüm kapılar açıkken (70 m²) CO₂ dağılımı gösterilmiştir. CO₂ miktarı yangın hacmine yakın bölgelerde maksimum 31 000 ppm seviyesine ulaşmaktadır. Ancak bu değer, 30 000 ppm olan STEL değerinden yüksek olmasına rağmen, çalışanın solunum bölgesinde düşeceği için herhangi bir kritik durum oluşturmamıştır.



Şekil 4.25. Durum 2.1, t=250. saniye yerden 2,5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.25.'te kritik yükseklik olarak baz alınan yatay kesitte sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. Çalışanlar için, yangın harici kısımda 2,5 metre yüksekliğe kadar 60 °C aşmış alanlar bulunmamaktadır. Tüm hacmin yangın hacmi haricindeki ortalama sıcaklık değeri 60 °C değerine ulaşmaktadır.



Şekil 4.26. Durum 2.1, t=250. saniye sonunda Oksijenin minimum 0,22 olduğu bölge

Şekil 4.26'da şekilde oksijenin kütleli olarak yüzde 0,22'den az olduğu bölge, yerden yaklaşık 4 metre yüksekliğe indiği gösterilmiştir. Yangın hacmi haricinde oksijenin kütleli olarak yüzdesel ortalaması 0,2223 değeridir.

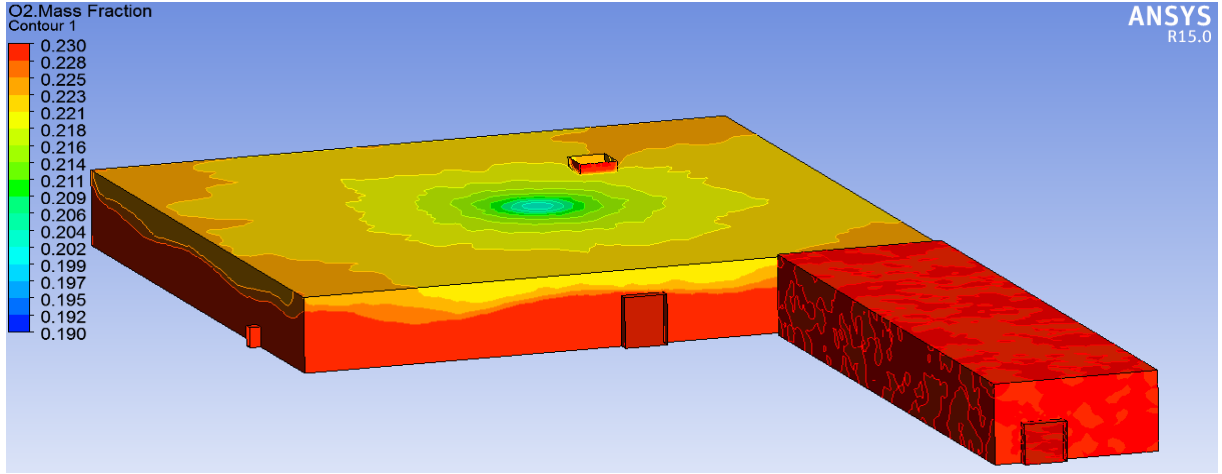
4.2.2. Durum 2.2: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m³ Hacim, 12,25 m² Tavan, 14 m² Kapı Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.5.'te modelleme sonucunda gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama miktarlar verilmektedir.

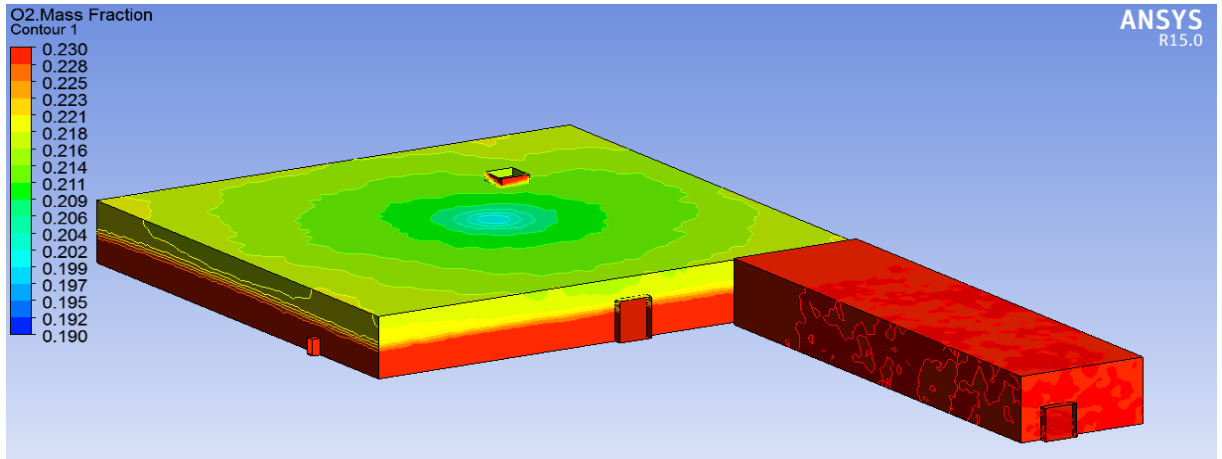
Tablo 4.5. Durum 2.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın Yüğü, 33 540 m ³ hacim, 12,25 m ² tavan, 14 m ² kapı açıklığı)				
	O₂ (kütleli %) (min.)	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2236	3 196,6	24,72	55
	O₂ (kütleli %) (min.)	CO₂ (ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.) (°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1810	32 543,9	251,73	315
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1976	17 078,6	132,10	179

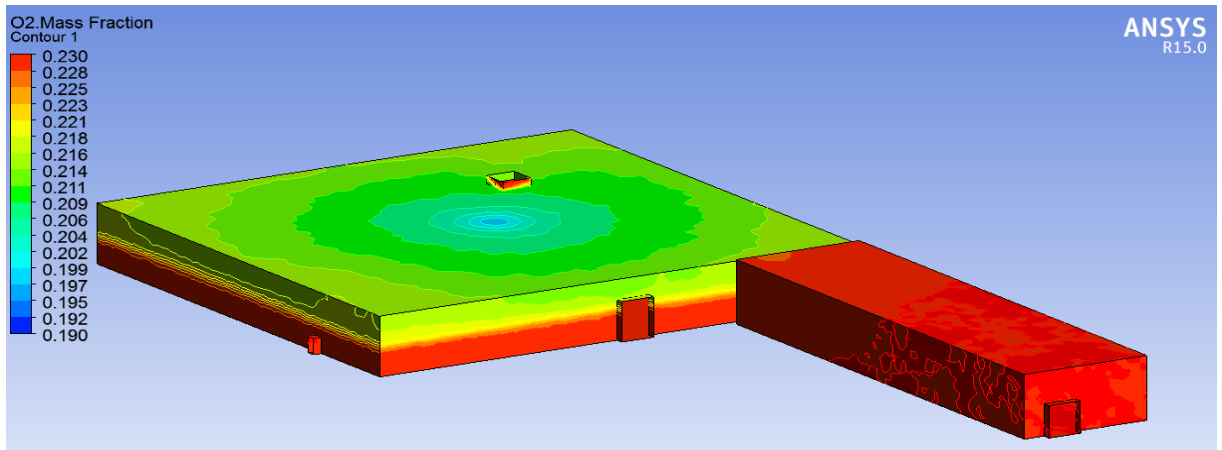
Durum 2.2 olarak adlandırılan bu senaryoda ve aşağıda yer alan Durum 2.3 ve Durum 3.2'de tavanda 3,5x3,5 m² büyüklüğünde bir açıklık olması halinde ortaya çıkacak gaz ve sıcaklık dağılımları modellenmiş olup bu açıklığın olduğu senaryoların modellenmesinin amacı işyerine tavanda bu büyüklükte bir açıklık yerleştirilmesinin önerilmesi halinde oluşacak gaz ve sıcaklık dağılımlarının belirlenmesidir. Kapı 3 ve Kapı 4 olarak adlandırılan ve boyutları sırasıyla 1x2 m² ve 3x4 m² olan toplam alanı 14 m² olan dışa açılan iki kapı açık bırakılmış, diğer dışa açılan kapılar kapatılmıştır. 12,25 m² tavan, 14 m² kapı açıklığında, 10 MW yangın yüğü için analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.27. Durum 2.2, t=60. saniyede oksijen (O_2) dağılımı

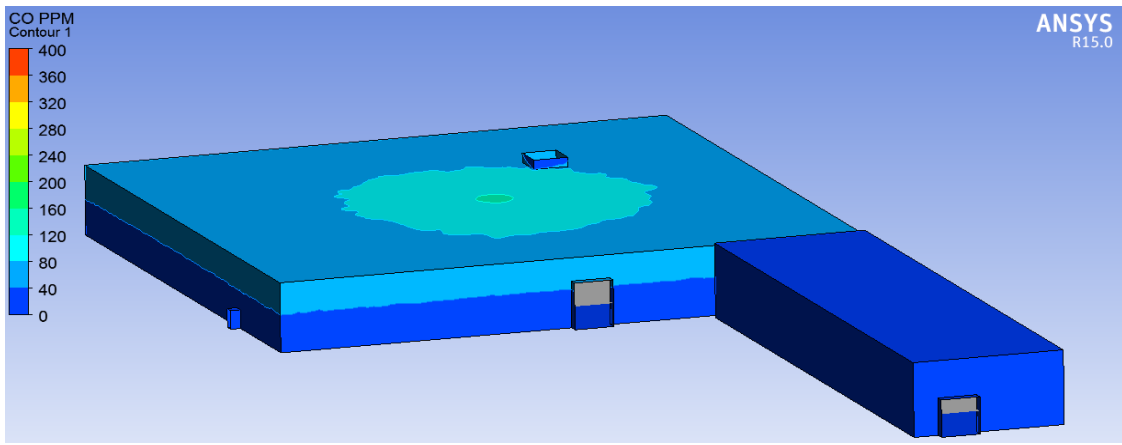


Şekil 4.28. Durum 2.2, t=180. saniyede oksijen (O_2) dağılımı



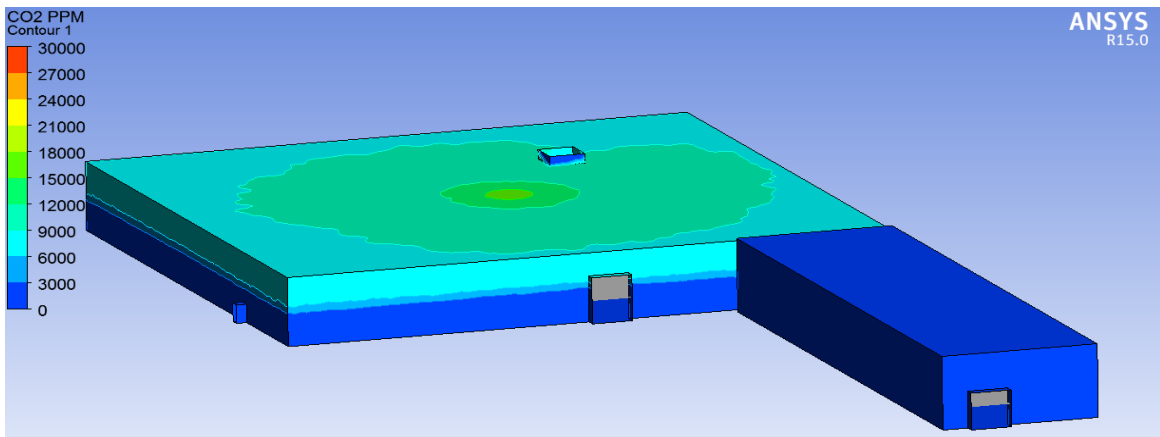
Şekil 4.29. Durum 2.2, t=250. saniyede oksijen (O_2) dağılımı

Şekil 4.27., Şekil 4.28. ve Şekil 4.29.'da sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler sonunda 10 MW'lık yangın durumunda işyerinde oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. Oksijenin havadaki kütleli oranı %23'dür. Modelleme sonuçları incelendiğinde, 10 MW'lık yangın yükünde 250 saniye sonunda, kütleli oksijen yüzdesinin işyeri tavanına yakın olan alanda minimum 0,1976 olduğu görülmektedir. Bu değer, çalışanların solunum bölgesinde %23'ün altına inmemektedir. Yukarıdaki açıklık tavanda biriken dumanın tahliyesinde oldukça önemli bir rol oynamıştır. Böylece oksijen düzeyinde daha düşük seviyede azalma gözlenmiştir.



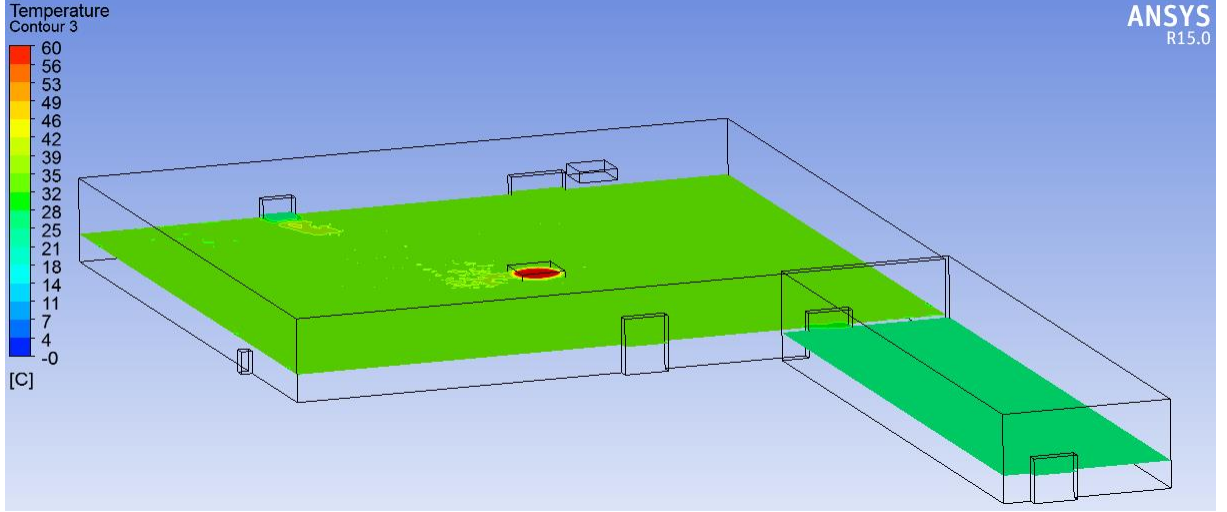
Şekil 4.30. Durum 2.2, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.30.'da 10 MW yangın yükünde ve 12,25 m² tavan, 14 m² kapı açıklığı durumunda karbonmonoksit (CO) dağılımı gösterilmiştir. CO miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 132 ppm seviyesine ulaşmaktadır. İşyeri hava hacmi ortalamasındaki karbonmonoksit değeri ise 24 ppm dir.



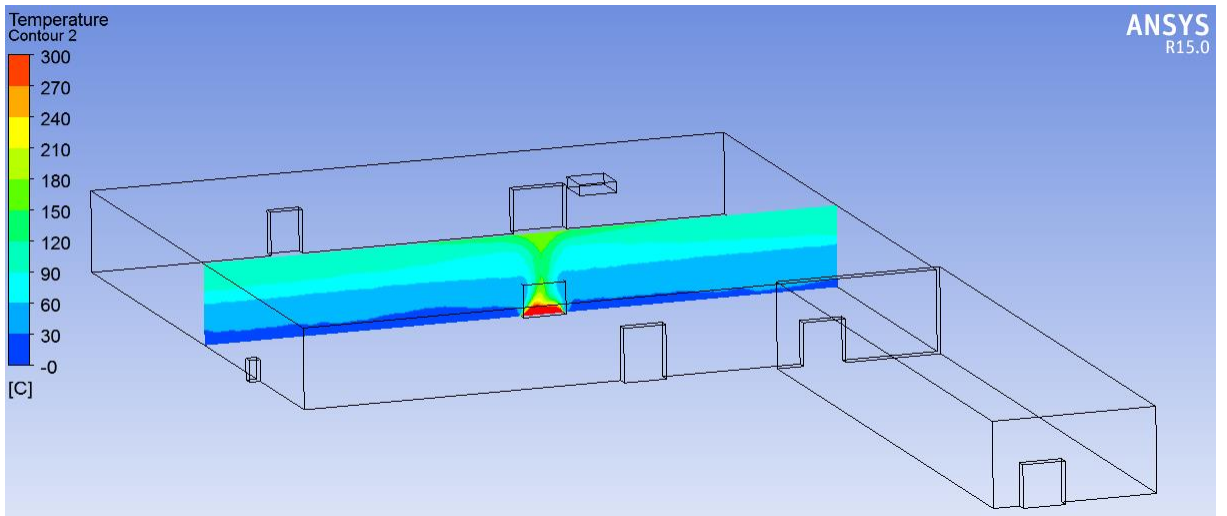
Şekil 4.31. Durum 2.2, t=250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.31.'de 10 MW yangın yükünde ve 12,25 m² tavan, 14 m² kapı açıklığı durumunda karbondioksit (CO₂) dağılımı gösterilmiştir. Karbondioksit işyeri hacminde maksimum 32 543 (ppm) değerini alsa da işyeri hava hacmi ortalamasında bu değer 3 196 (ppm) seviyesindedir.



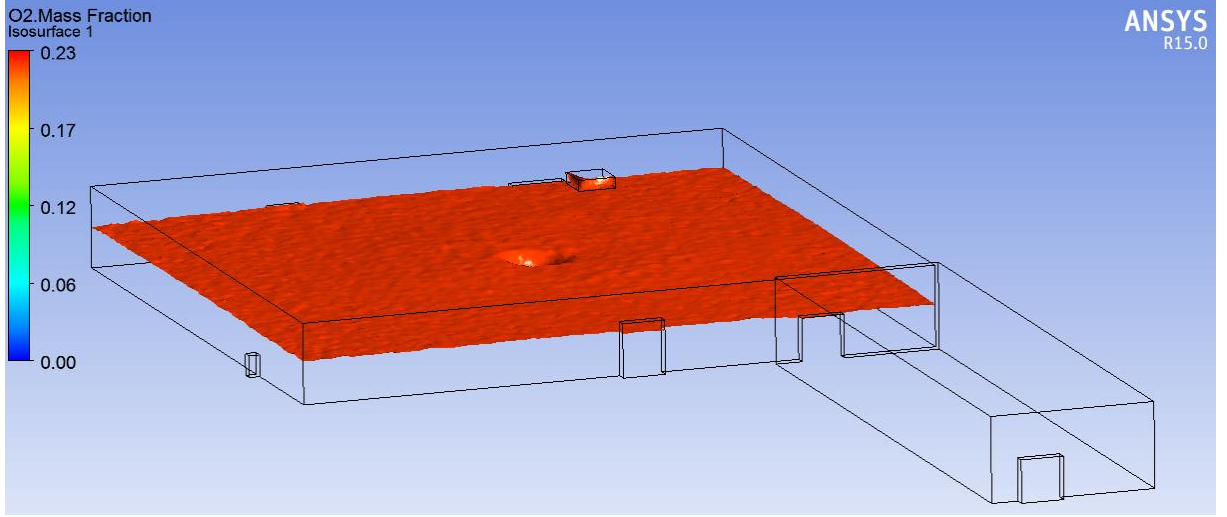
Şekil 4.32. Durum 2.2, t=250. saniyede yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.32.'de 10 MW yangın yükünde ve 12,25 m² tavan, 14 m² kapı açıklığı durumunda, yerden 2,5 metre yükseklikte yatay kesitte sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Çalışanlar için, yangın harici kısımda 2,5 metre yüksekliğe kadar 60 °C değerini aşmış alanlar bulunmamaktadır.



Şekil 4.33. Durum 2.2, t=250. saniyede yatay kesitte sıcaklık dağılımı 30-300 (°C)

Şekil 4.33.'te Yangın hacmi ve hava hacminin dahil olduğu dikey kesit üzerinde 30-300 °C'de dağılımlar gösterilmektedir. Hava hacmi için sıcaklığın yangın hacmine yakın bölgelerde 300 °C seviyesinde olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.34. Durum 2.2, t=250. saniye sonunda kütleli olarak minimum 0.22 olan bölge

Şekil 4.34.'te kütleli yüzde olarak 0,22'den az olan bölgenin yerden yaklaşık 4 metre yüksekliğe indiği gösterilmiştir. Yangın hacmi haricinde oksijenin kütleli olarak yüzdesel ortalaması 0,2226 değeridir.

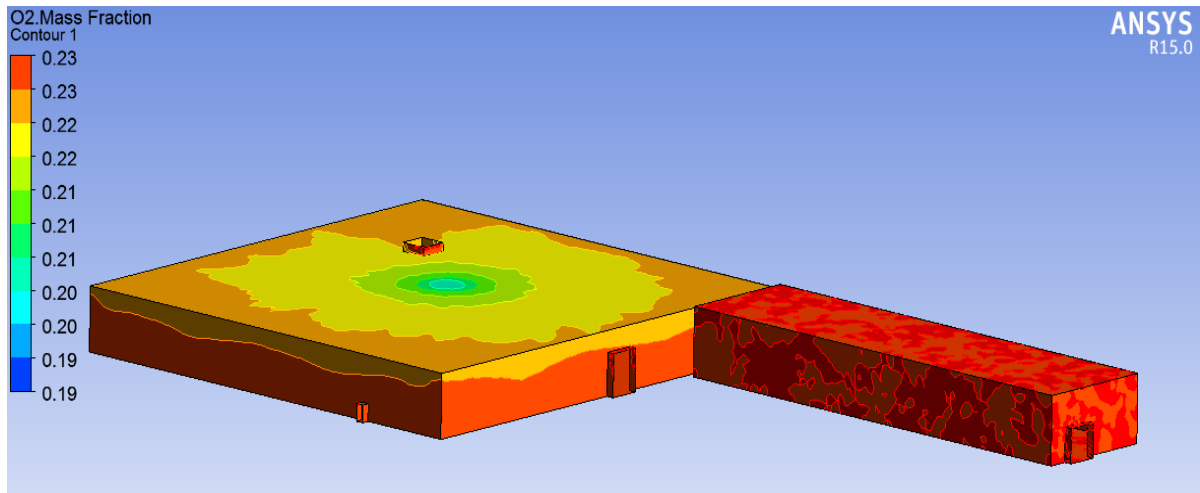
4.2.3. Durum 2.3: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m³ Hacim, 12,25 m² Tavan, 70 m² Kapı Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.6.'de modelleme sonucunda gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama miktarlar verilmektedir.

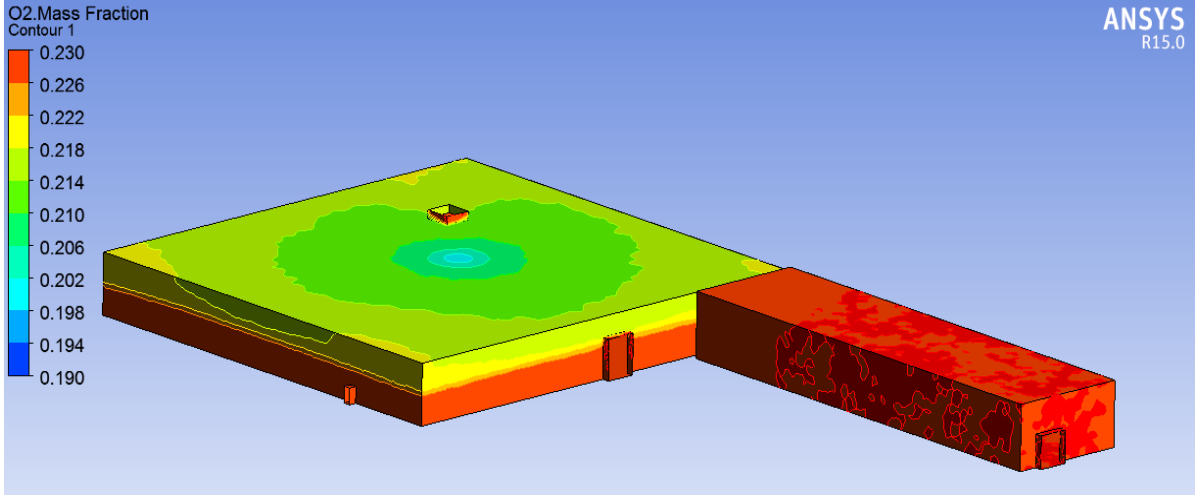
Tablo 4.6. Durum 2.3 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum ve maksimum değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın yükü, 33 540 m ³ hacim, 12,25 m ² tavan, 70 m ² kapı açıklığı)				
	O₂ (kütleli %) (min.)	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2237	3 141,1	24,92	54,6
	O₂(kütleli %) (min.)	CO₂ (mak.)	CO (ppm)(mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1822	31 275,8	241,92	305,8
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1979	16 824,4	130,14	177,5

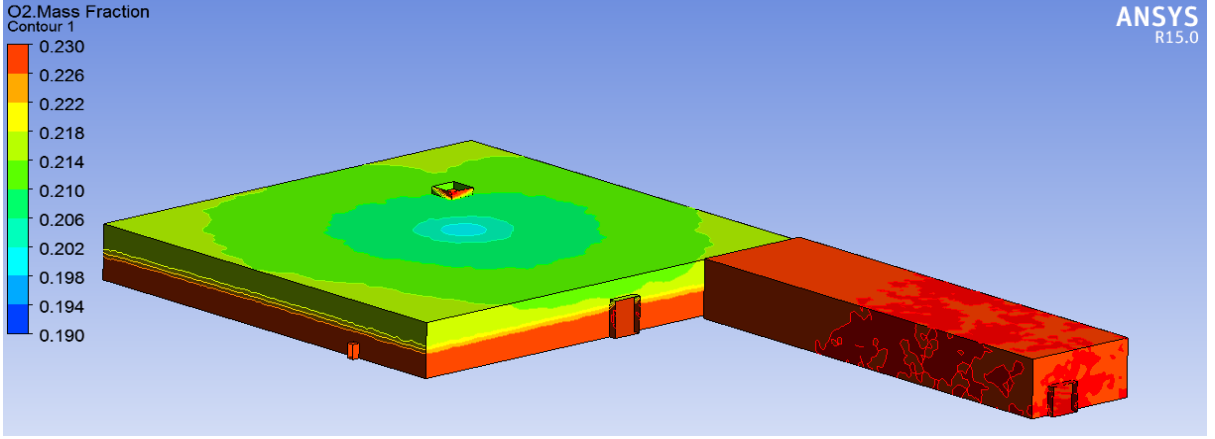
Sırasıyla Kapı 1, Kapı 2, Kapı 3, Kapı 4, Kapı 5 olarak adlandırılan ve boyutları sırasıyla 4x4 m², 5x4 m², 1x2 m², 3x4 m² ve 5x4 m² dışa açılan kapılar açık bırakılmıştır. Toplam 70 m² kapı alanı ve 12,25 m² tavan açıklığına sahip geometride 10 MW yangın yükü için analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.35. Durum 2.3, t=60. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

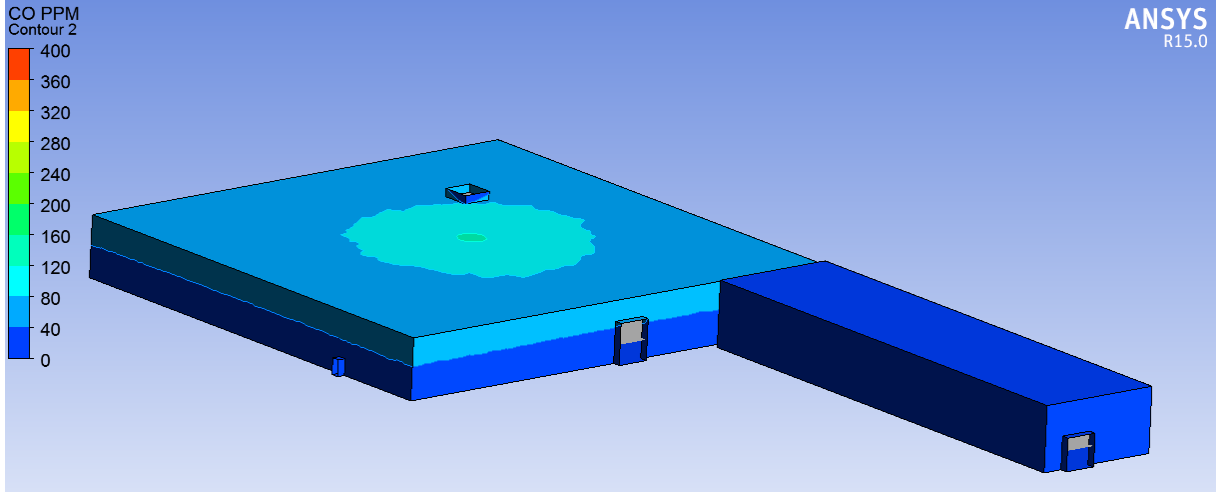


Şekil 4.36. Durum 2.3, t=180. saniyede oksijen (O₂) dağılımı



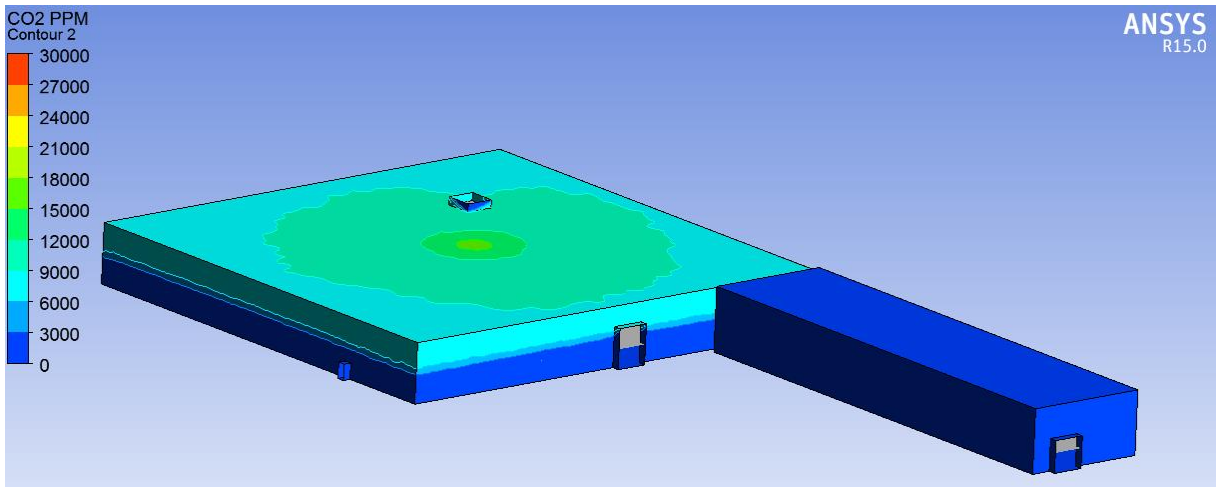
Şekil 4.37. Durum 2.3, t=250. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

Şekil 4.35., Şekil 4.36. ve Şekil 4.37.'de sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler sonunda 10 MW yangın yükü toplam 70 m² kapı ve 12,25 m² tavan açıklığında oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. Oksijenin havadaki kütleli oranı %23'dür. Modelleme sonuçları incelendiğinde, 250 saniye sonunda, çalışanların solunum bölgesinde oksijenin, kütleli olarak %23 değerinin altına düşmediği görülmüştür. 250 saniye sonunda oksijenin kütleli yüzde dağılımı yangın hacmi haricindeki işyeri hacminde ortalama olarak 0,2236 değerine inmektedir.



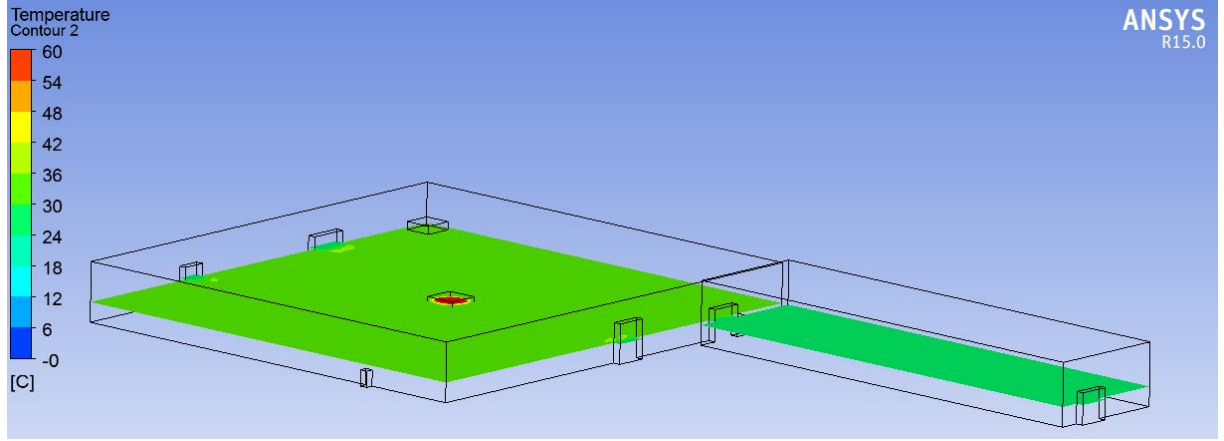
Şekil 4.38. Durum 2.3, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.38’de 10 MW yangın yükünde 12,25 m² tavan, 70 m² kapı açıklığı durumunda karbonmonoksit (CO) dağılımı gösterilmiştir. 250 saniye sonunda işyeri hava hacminde maksimum 241 ppm bulunmaktadır. İşyeri hacmindeki ortalama karbonmonoksit (CO) değeri ise 24 ppm civarındadır.



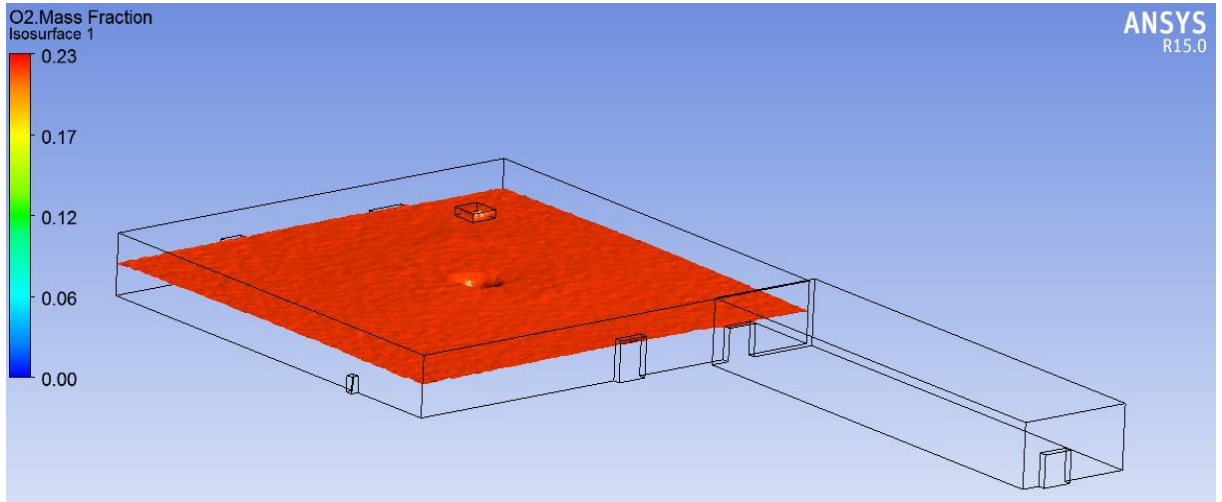
Şekil 4.39. Durum 2.3, t=250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.39’da 10 MW yangın yükünde, 12,25 m² tavan, 70 m² kapı açıklığı durumunda karbondioksit (CO₂) dağılımı gösterilmektedir. CO₂ miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 16 820 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Bu miktar STEL değeri olan 30 000 ppm seviyesinden çok daha düşüktür. Sınır şartını geçen karbondioksit (CO₂) seviyesi 2,5 m yüksekliğin üzerinde kalmaktadır.



Şekil 4.40. Durum 2.3, t=250. yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.40'ta yerden 2,5 metre yükseklikte yatay kesitte sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Çalışanlar için, yangın harici kısımda 2,5 metre yüksekliğe kadar 60 °C'yi geçen alanlar bulunmamaktadır. 250 saniye sonunda tüm hacmin yangın hacmi haricindeki ortalama sıcaklık değeri 54 °C olmaktadır.



Şekil 4.41. Durum 2.3, t=250. saniye sonunda kütleli olarak minimum 0.22 olan bölge

Şekil 4.41.'de şekilde kütleli yüzde olarak 0,22'den az olan bölge yaklaşık yerden 4 metre yüksekliğine inebildiği gösterilmiştir. Yangın hacmi haricinde oksijenin kütleli olarak yüzdesel ortalaması 0,2227 değerini almaktadır. Bu yangın senaryosunda oluşan maksimum, minimum değerler tabloda yer almaktadır.

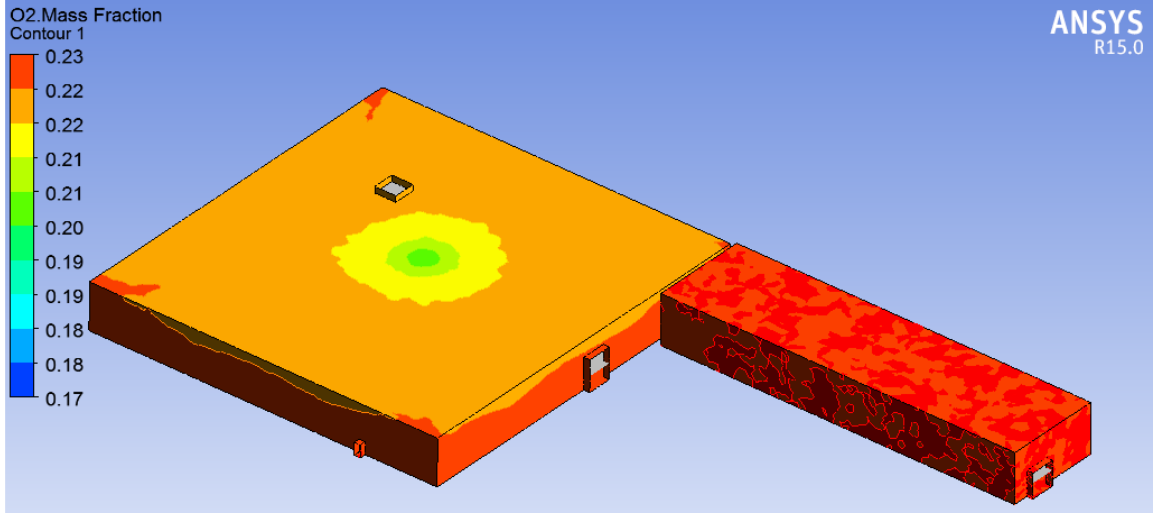
4.2.4. Durum 2.4: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m³ Hacim, Açıklık Yok, Yangın Büyük Hacimde

Aşağıda yer alan Tablo 4.7.'de modelleme sonucunda gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde, hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama verilmektedir.

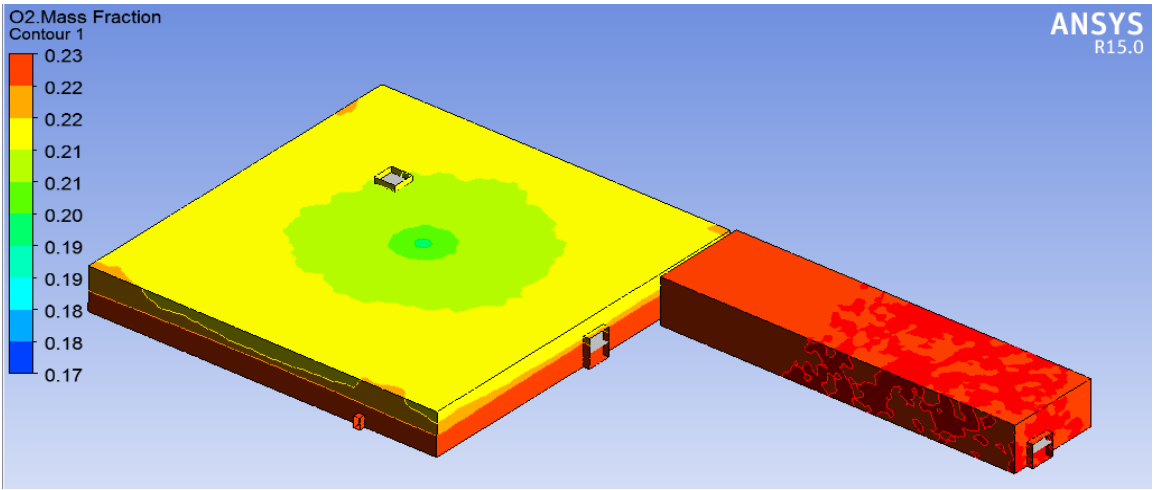
Tablo 4.7. Durum 2.4 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın yüğü, 33 540 m ³ hacim, açıklık yok, yangın büyük hacimde)				
	O₂ (kütlesel %) (min.)	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2226	3 662,55	28,33	59,1
	O₂(kütlesel %) (min.)	CO₂ (mak.)	CO (ppm)(mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1816	31 453,7	243,3	304,4
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1963	17 603,5	136,16	182,40

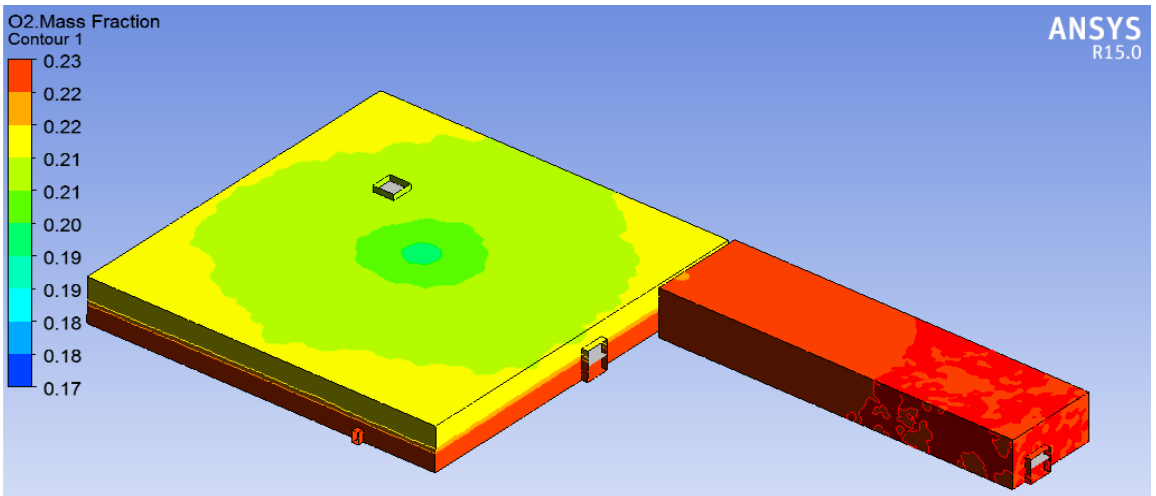
Tüm hacimde açıklık yokken, 10 MW yangın yüğü için analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur



Şekil 4.42. Durum 2.4, $t=60$. saniyede oksijen (O_2) dağılımı

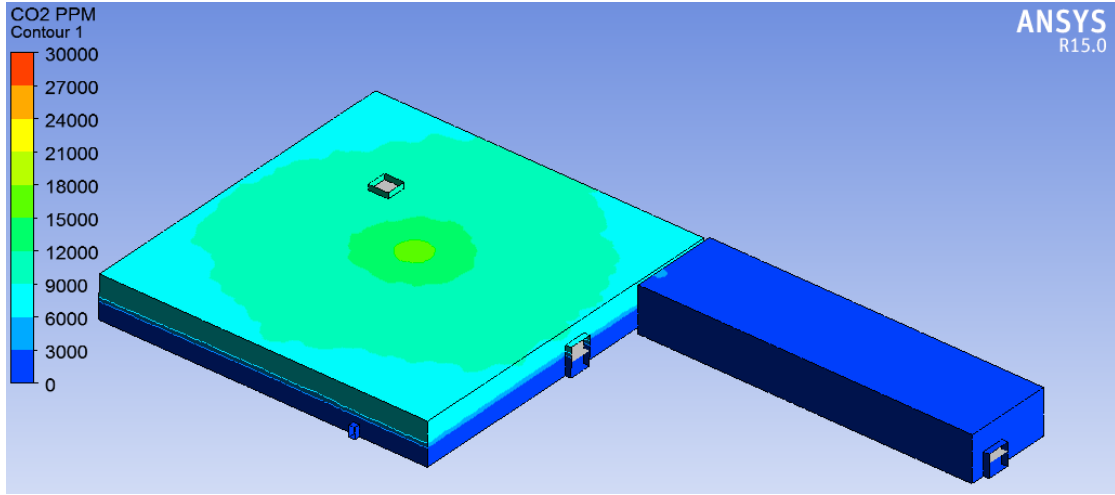


Şekil 4.43. Durum 2.4, $t=180$. saniyede oksijen (O_2) dağılımı



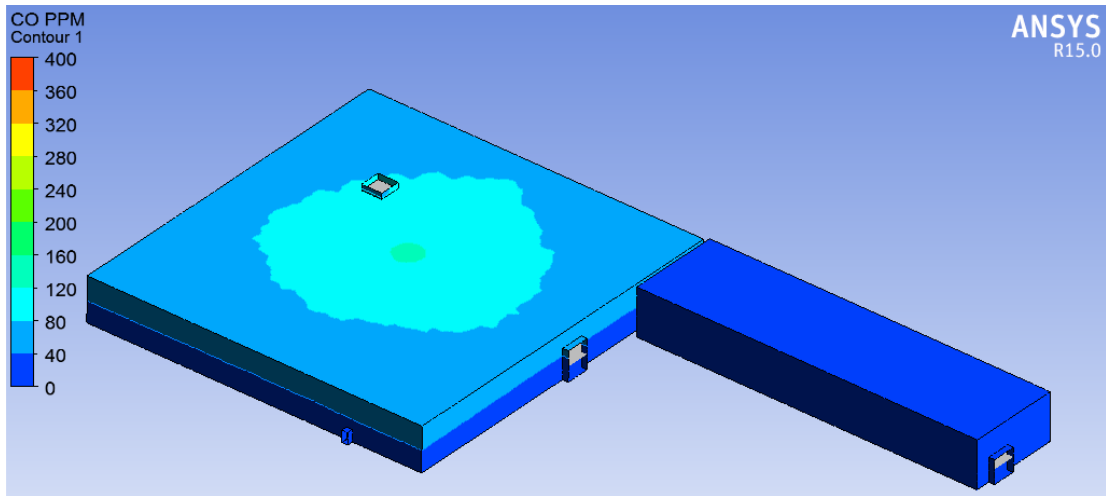
Şekil 4.44. Durum 2.4, $t=250$. saniyede oksijen (O_2) dağılımı

Şekil 4.42., Şekil 4.43. ve Şekil 4.44.'te sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler sonunda 10 MW'lık yangın durumunda işyerinde oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri gösterilmiştir. 10 MW'lık yangın yükünde tüm hacim kapalıyken 250 saniye sonunda işyeri tavanına yakın bölgelerde kütleli olarak oksijen yüzdesi %19 seviyesine yaklaştığı, çalışanların solunum bölgesinde ise kütleli olarak %23 değerinin altına düşmediği gözlenmiştir.



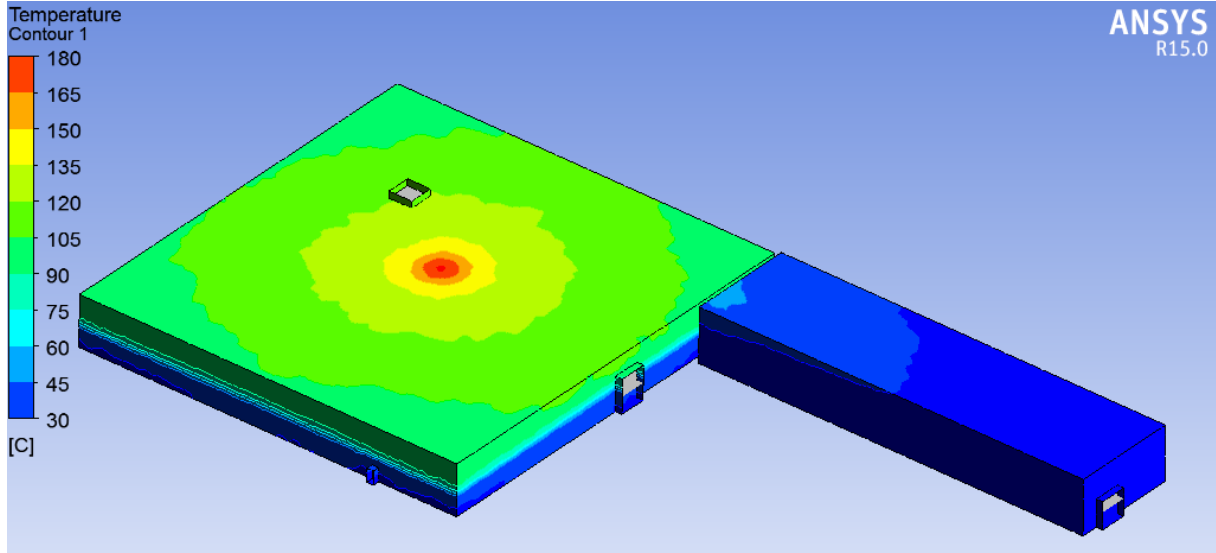
Şekil 4.45. Durum 2.4, t=250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.45'te Yangın büyük hacimdeyken, 10 MW yangın yükünde geometride açıklık olmadığı durumda, işyeri hava hacminde ortalama 3 622 ppm karbondioksit (CO₂) in, tavana yakın bölgelerde 17 600 ppm seviyelerine çıktığı görülmüştür. Bu durum, çalışan bölgesinde tehlike oluşturacak boyutlarda değildir.



Şekil 4.46. Durum 2.4, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.46.'da bu yangın senaryosu sonunda karbonmonoksit (CO) değerinin kritik seviyelere ulaşmadığı tespit edilmiştir. Hava hacminde ortalama 28 ppm, maksimum değeri ise tavana yakın kısımlarda 243 ppm dir.



Şekil 4.47. Durum 2.4, t=250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.47'de yangına yakın kısımlarda ve tavanda duman sıcaklığı 180 °C'den fazla olmaktadır. Hava hacminde sıcaklık ortalaması 59 °C olmakla birlikte, çalışan bölgesinde sıcaklık değeri 45 °C'den fazla değildir.

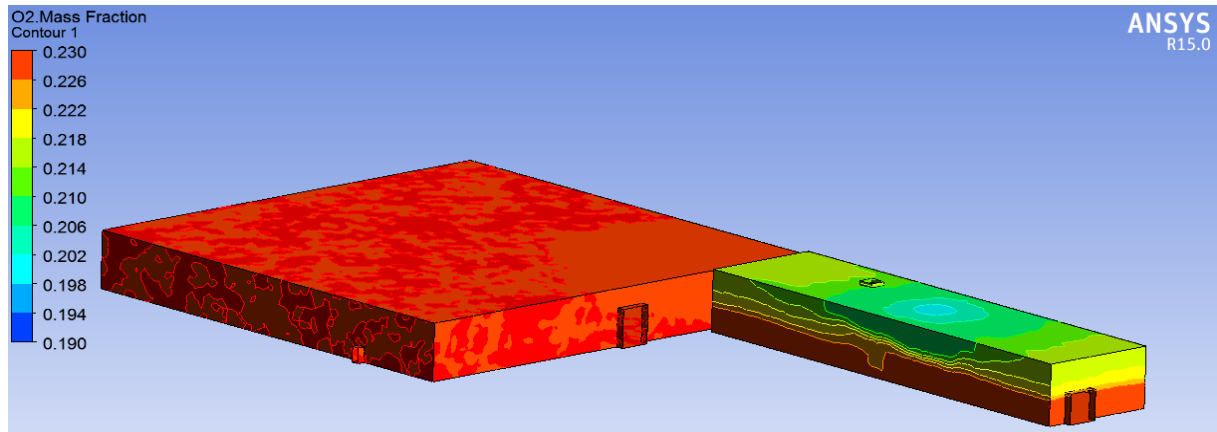
4.2.5. Durum 2.5: 10 MW Yangın Yüğü, 33 540 m³ Hacim, Açıklık Yok, Yangın Küçük Hacimde

Aşağıda yer alan Tablo 4.8.'de modellenen 250 saniye sonunda, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

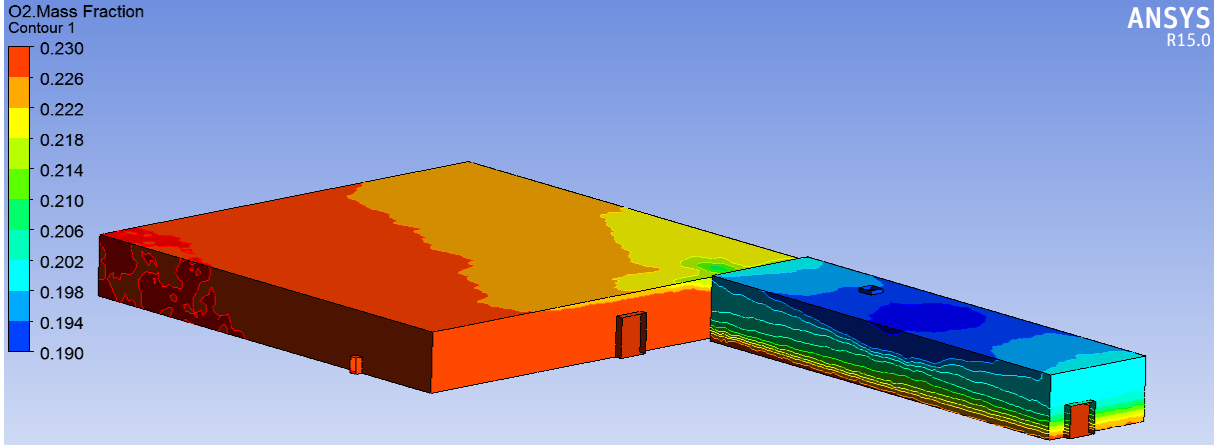
Tablo 4.8. Durum 2.5 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın yükü, 33 540 m ³ hacim, açıklık yok, yangın küçük hacimde)				
	O₂ (kütleli %) (min.)	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2216	4 204,26	32,5	61,9
	O₂ (kütleli %) (min.)	CO₂ (ppm) (mak.)	CO (ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1593	41 059,2	317,6	346,4
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1739	28 530,4	220,6	251,6

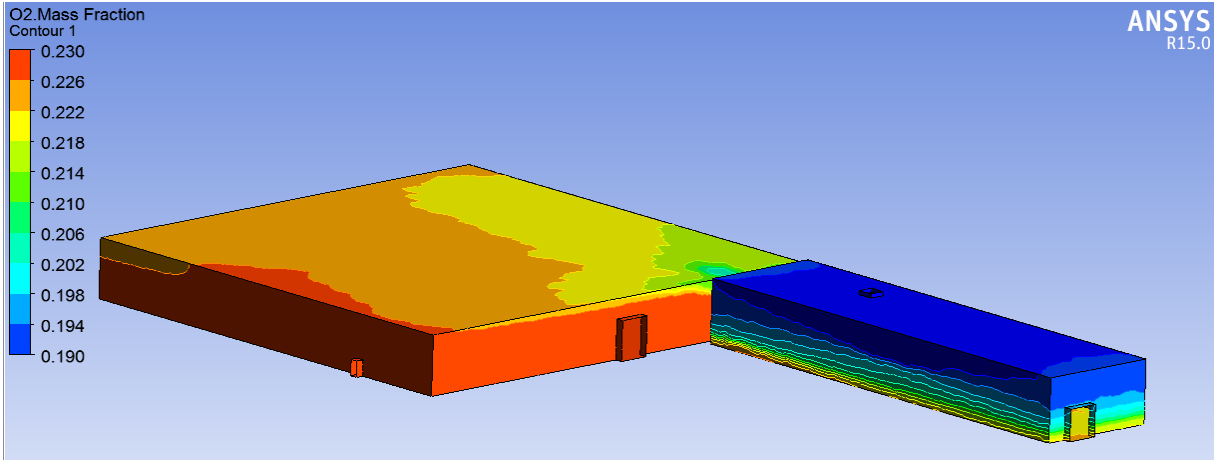
10 MW yangın yükü, açıklık yok ve yangın küçük hacimde iken analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur



Şekil 4.48. Durum 2.5, t=60. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

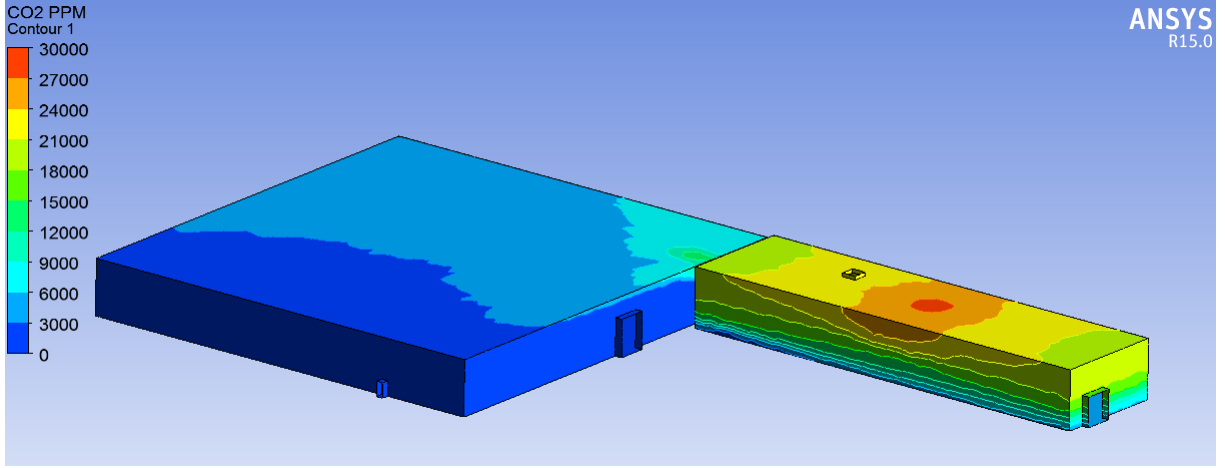


Şekil 4.49. Durum 2.5, t=180. saniyede oksijen (O₂) dağılımı



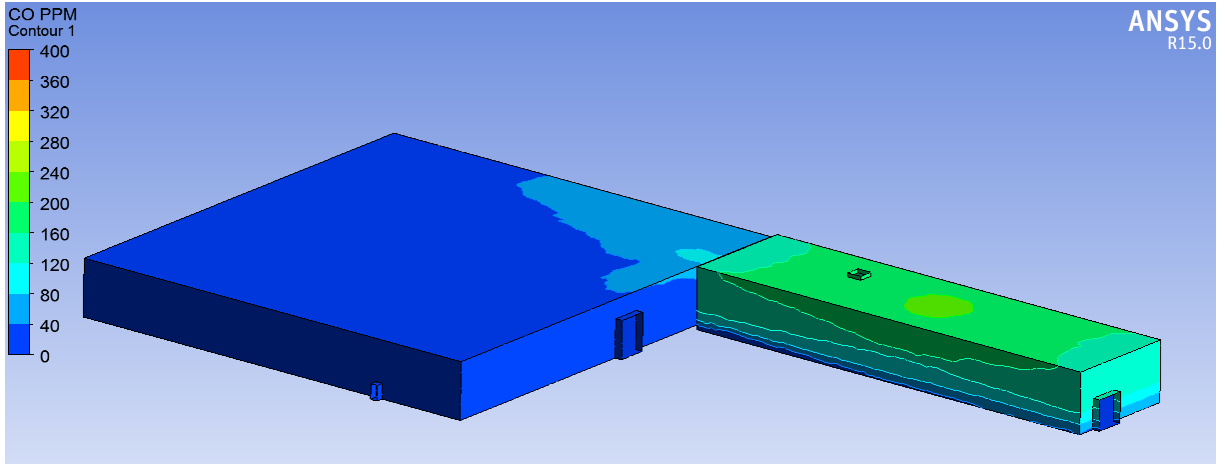
Şekil 4.50. Durum 2.5, t=250. saniyede oksijen (O₂) dağılımı

Şekil 4.48., Şekil 4.49. ve Şekil 4.50.'de sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler sonunda 10 MW'lık yangın durumunda, işyeri hacminde oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. 10 MW'lık yangın yükünde, 250 saniye sonunda, işyeri hacminin tavana yakın bölümlerinde oksijenin kütleli olarak %19'un altında olduğu, çalışanların solunum bölgesinde ise %18-19 kritik seviyesinde olduğu gözlenmektedir. Yangının küçük hacim kısmında çıkması, oksijenin bu kısımda oldukça kritik seviyelere düşmesine neden olmuştur.



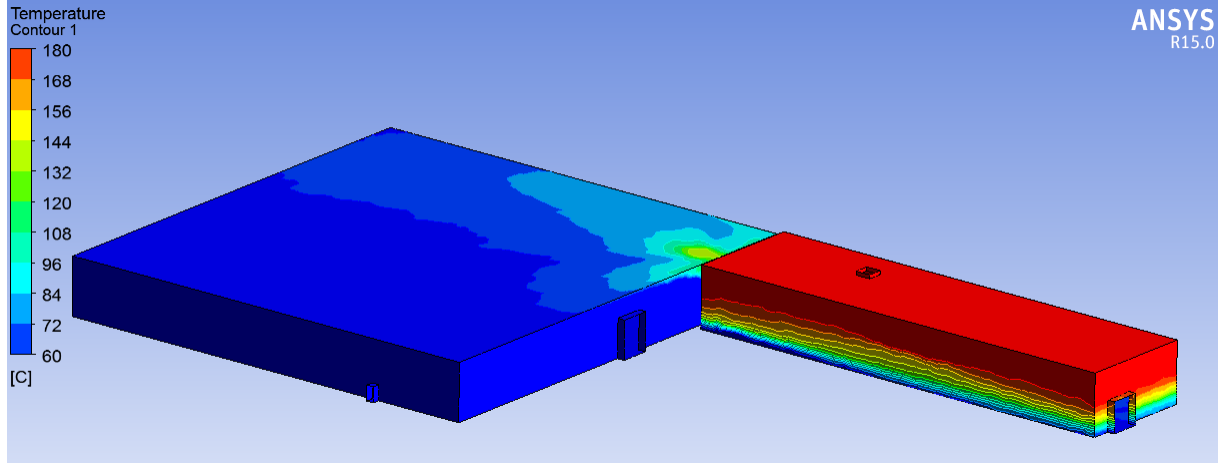
Şekil 4.51. Durum 2.5, t=250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.51’de Küçük hacimde çıkan 10 MW’lık yangın durumunda, CO₂ miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 28 500 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Bu miktar STEL değeri olan kritik 30 000 ppm seviyesinde olmasına rağmen çalışanların solunum bölgesinde karbondioksit değeri 2 000 ppm civarındadır.



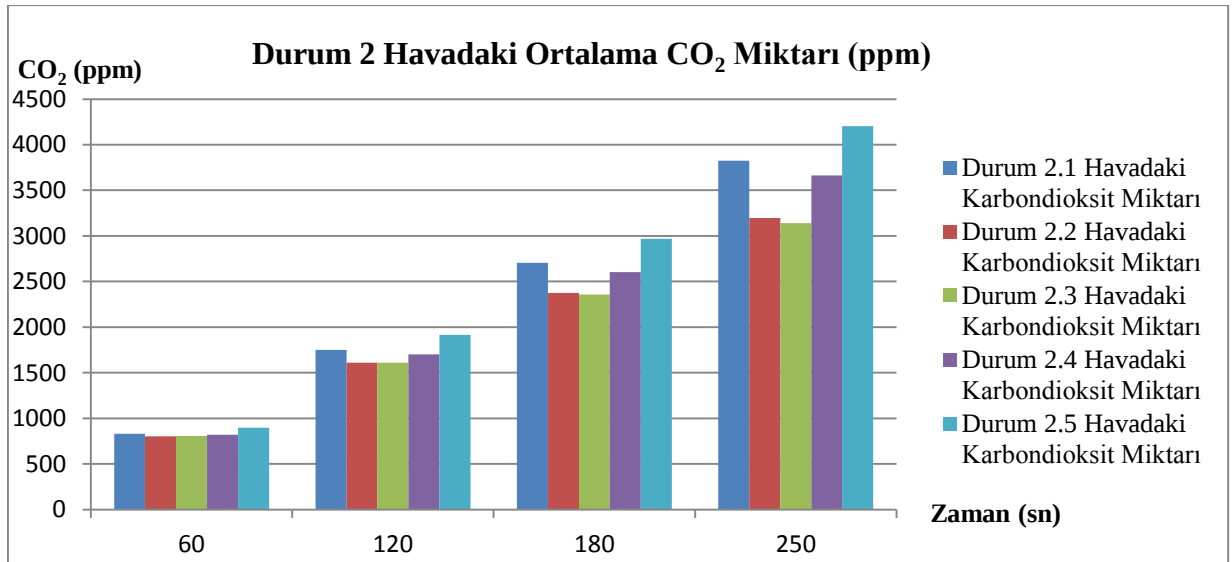
Şekil 4.52. Durum 2.5, t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.52’de Küçük hacim kısmında gerçekleşen, 10 MW yangın yükü ve hiçbir açıklığın olmadığı yangın durumunda CO miktarı maksimum 317 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Ancak çalışan solunum bölgesinde bu miktar 250 sn sonunda sorun teşkil edecek seviyede değildir.

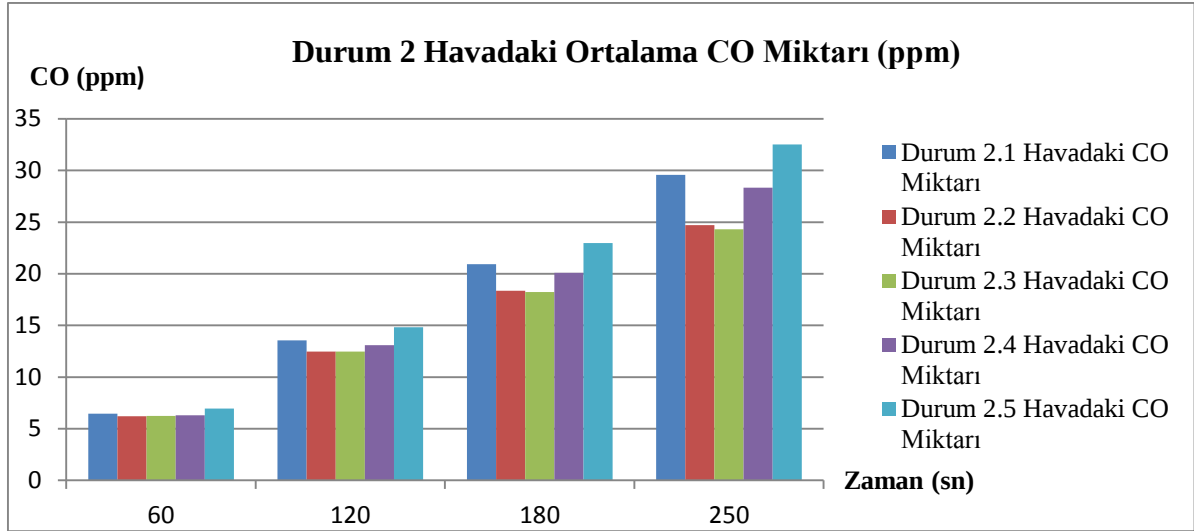


Şekil 4.53. Durum 2.5, t=250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

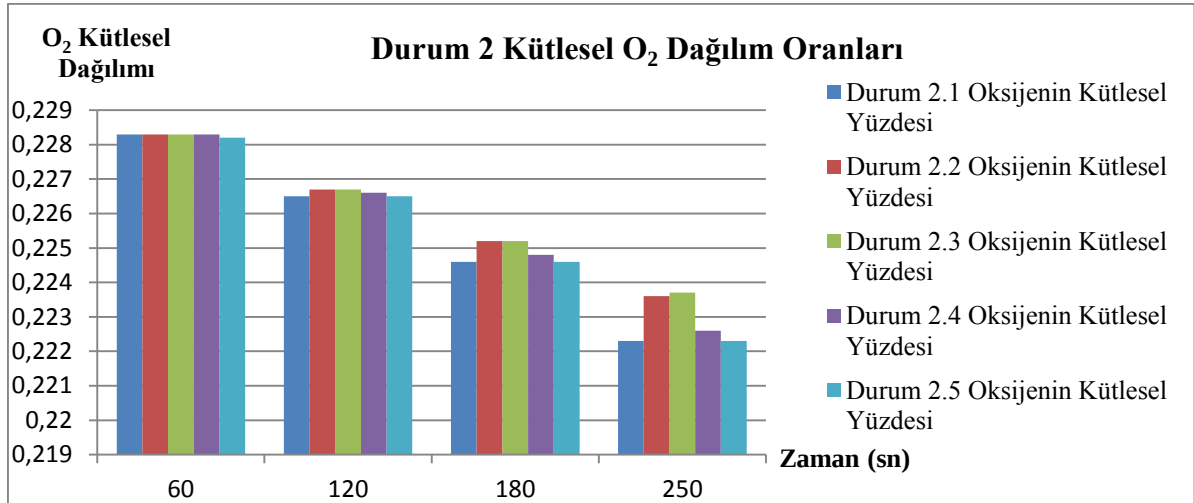
Şekil 4.53'te 10 MW yangın yüküne sahip, hiçbir açıklığın olmadığı, küçük hacim kısmında gerçekleşen yangın durumunda sıcaklık değerleri, yangının olduğu kısımda oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. İşyeri hacminde sıcaklık ortalaması 61,9 olmakla birlikte Çalışan bölgesinde bu değer 150 °C'den fazladır. Çalışan bölgesinde daha düşük olsa da bu değerler oldukça yüksek olup, 180. Saniyeden önce çalışanların küçük hacmi terk etmiş olması gerekmektedir.



Şekil 4.54. Durum 2 senaryoları için havadaki ortalama CO₂ miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.55. Durum 2 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.56. Durum 2 senaryoları için havadaki ortalama O₂ miktarının zamana göre dağılımı

Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’da 70 m² kapı açıklığı Durum 2.1, 14 m² kapı ve tavan açıklığı Durum 2.2, 70 m² kapı ve tavan açıklığı Durum 2.3 senaryonu oluşturmaktadır. Durum 3.2’de duman tahliyesinde daha etkin sonuçlar alındığı karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve oksijenin(O₂) zamana bağlı dağılımında gösterilmektedir. Durum 2.4, yangının büyük hacimde çıktığı durumu, Durum 2.5 ise yangının küçük hacimde çıktığı durumu ifade ederken, bu iki senaryoda açıklık bulunmamaktadır. Küçük hacimde çıkan duman miktarı dağılımlarda görüldüğü üzere daha fazla olmaktadır.

4.3. DURUM-3 SENARYOSU (10 MW yangın, 26 100 m³ hacim)

Şekil 4.1 de gösterilen işyeri alanındaki küçük hacim (26 100 m³) ile büyük hacmin (33 540 m³) arasında geçiş kapısının kapalı olduğu varsayılmıştır. Bu senaryoya göre yangın sonucu ortaya çıkan gazların dağılımı 26 100 m³'lük hacim içerisinde incelenmiştir.

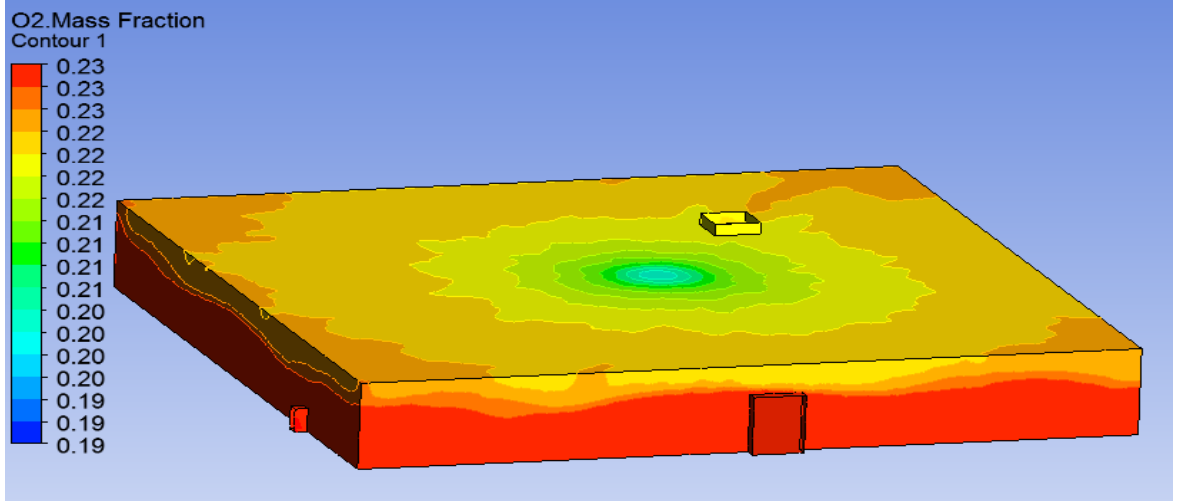
4.3.1. Durum 3.1: 10MW Yangın Yüğü, 26 100 m³ Hacim, Açıklık Yok

Aşağıda yer alan Tablo 4.8.'de modellenen 250 saniye sonunda, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

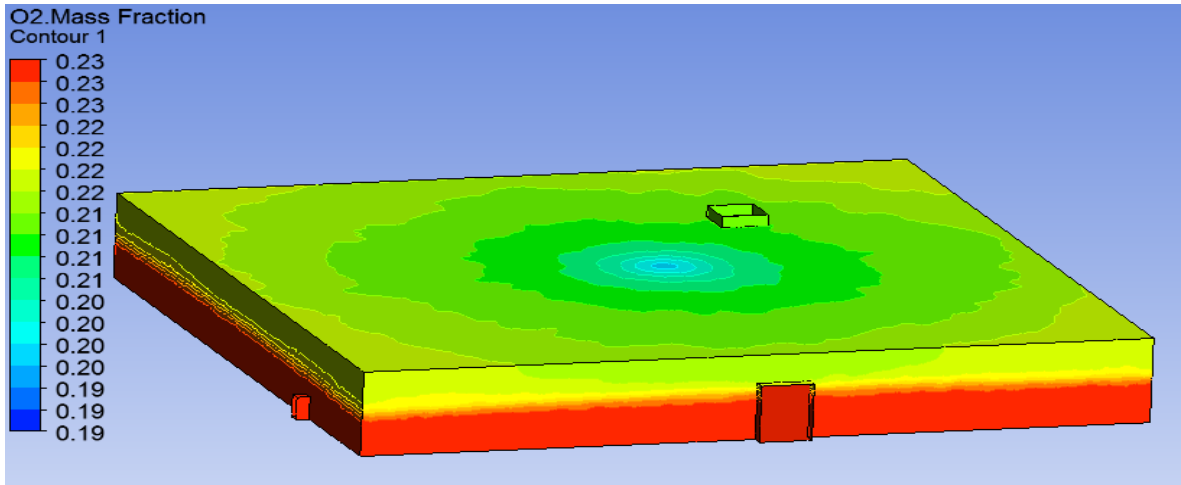
Tablo 4.9. Durum 3.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10MW yangın Yüğü, 26 100 m ³ hacim, açıklık yok)				
	O₂	CO₂	CO	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2207	4 639,25	35,88	340
	O₂ (kütleli % (min.))	CO₂ (ppm) (mak.)	CO (ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1812	32 720,4	253,10	310
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1958	17 926,6	138,66	182

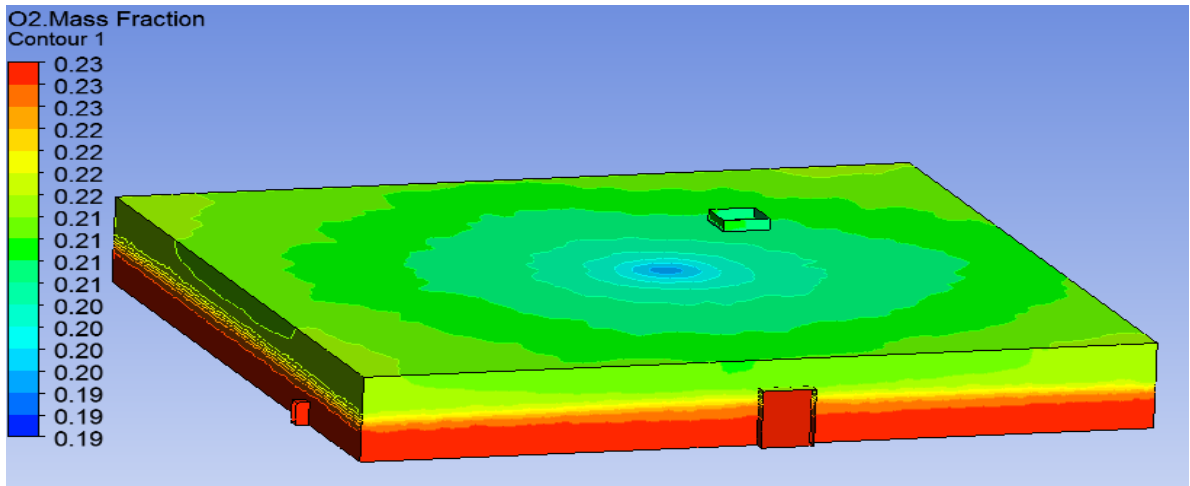
10 MW yangın yüğü ve büyük hacmin (26 100 m³) kapalı olduğu analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde gösterilmiştir..



Şekil 4.57. Durum 3.1 $t=60$. saniyede oksijen dağılımı

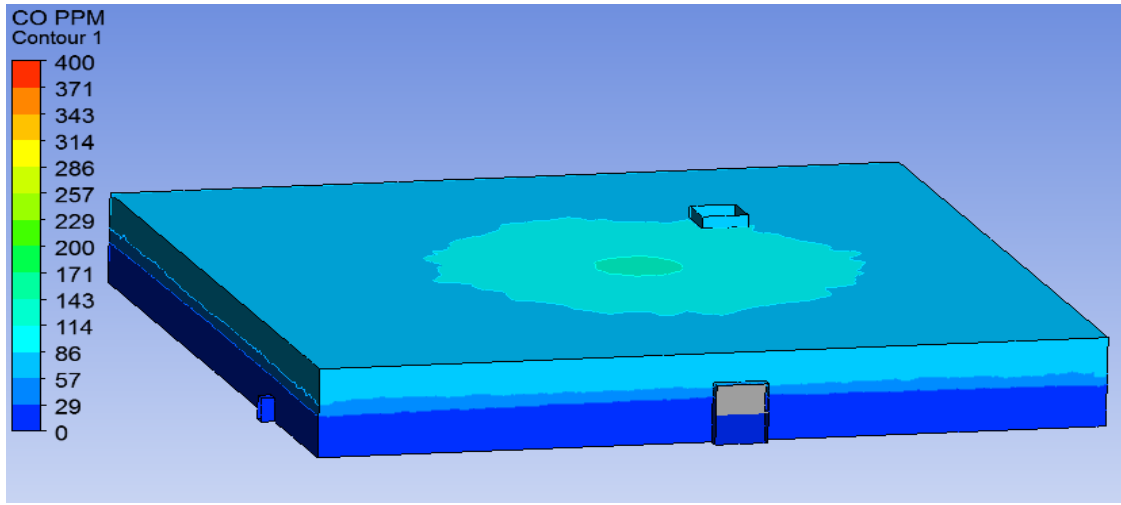


Şekil 4.58. Durum 3.1 $t=180$. saniyede oksijen dağılımı



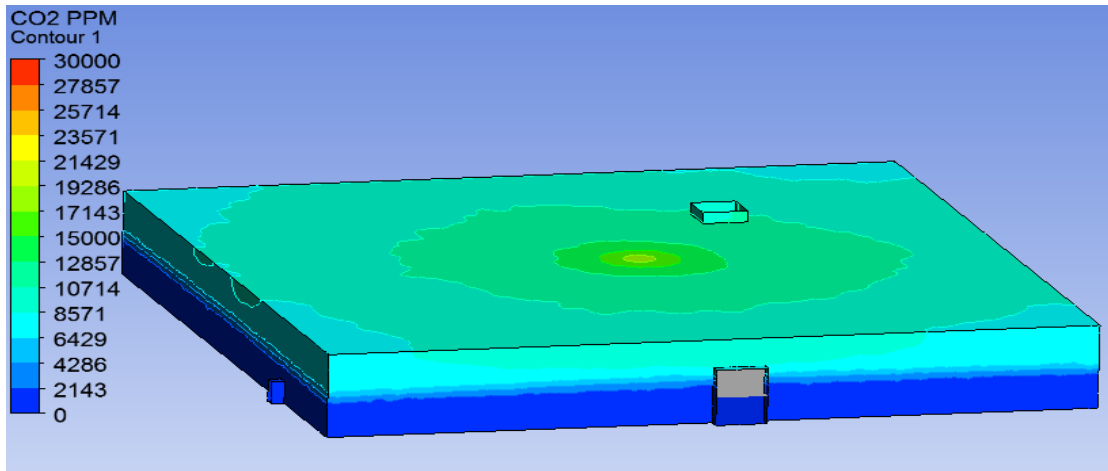
Şekil 4.59. Durum 3.1 $t=250$. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.57., Şekil 4.58. ve Şekil 4.59.'da görüldüğü üzere sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler için 10 MW'lık yangın durumunda, işyerinde oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. Bu çalışmada oksijen için kritik değer kütleli yüzde olarak 0,19'un altında kalan bölgedir. Ancak 250 saniye sonuna kadar, 10 MW'lık yangın yükünde 0,19 değerinin çalışanların bulunduğu bölgede bu değerin altına inmediği görülmektedir (0,2207). Ancak, çalışan bölgesinden uzak belirli noktalarda kritik seviyelere indiği görülmektedir. Bu değer, yangın hacmine yakın bölgelerde 0,18 değerini almaktadır.



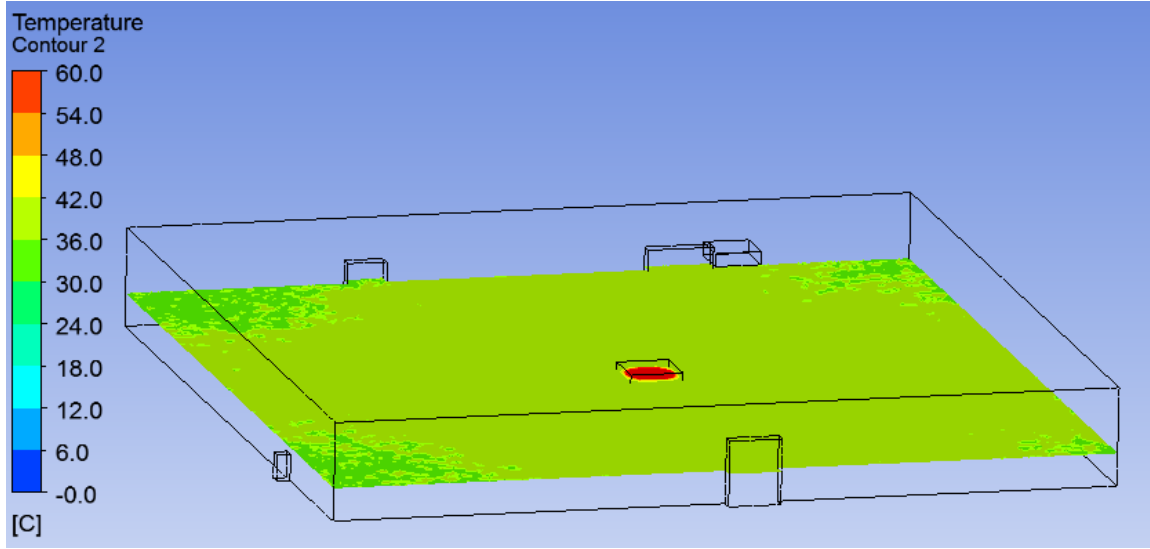
Şekil 4.60. Durum 3.1 t=250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.60.'ta 10 MW yangın yükü kapalı büyük hacim kısmında 250. saniye sonunda karbonmonoksit (CO) in dağılımında 50-80 ppm aralığında değerlere kapı üzeri seviyelerinden (yerden 3 metre yükseklik) itibaren ulaştığı gözlenmektedir.



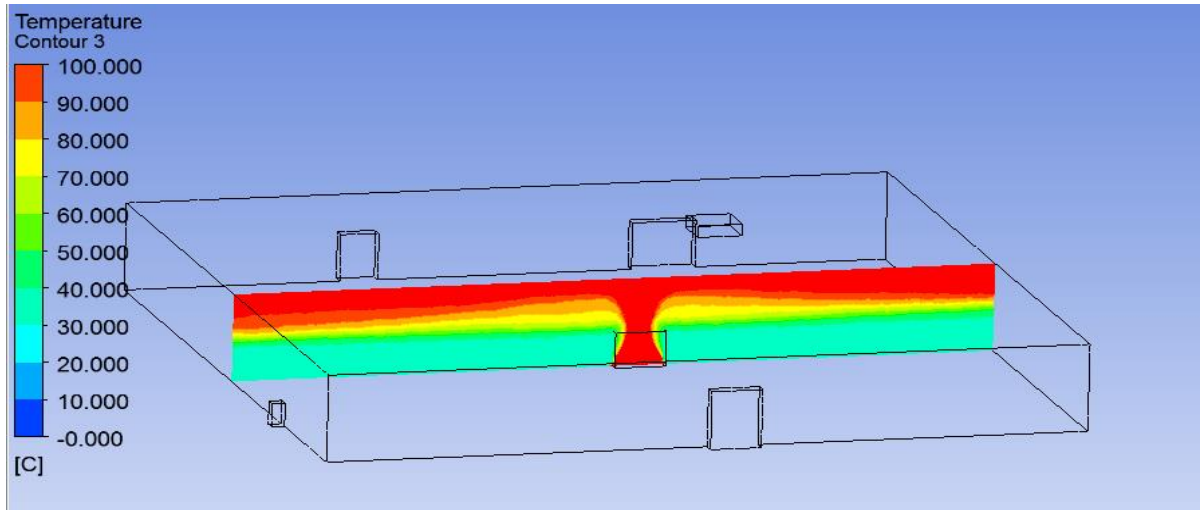
Şekil 4.61. Durum 3.1 t=250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.61.'de 10 MW yangın yükü ve açıklık yokken karbondioksit (CO₂)'in 250. saniye sonunda dağılımına gösterilmiştir. Karbondioksit (CO₂) değerleri bu senaryo sonunda işyeri hava hacminde ortalama 4 600 ppm civarındadır.



Şekil 4.62. Durum 3.1 Yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.62.'de 250 saniye sonunda yerden 2.5 yatay kesitte 48 °C'ye yakın sıcaklık değerleri oluşmaktadır. Bu durum, 250 saniye süresi boyunca çalışanlar açısından kaçış esnasında sorun teşkil etmemektedir. Şekil 4.63'te. Dikey olarak alınan kesitte hava ve yangın hacmi dahil 0 ile 100 °C sıcaklık dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.63. Durum 3.1 Dikey kesit sıcaklık dağılımı (°C)

4.3.2. Durum 3.2: 10 MW Yangın Yüğü, 26 100 m³ Hacim, 12,25 m² Tavan Açıklığı

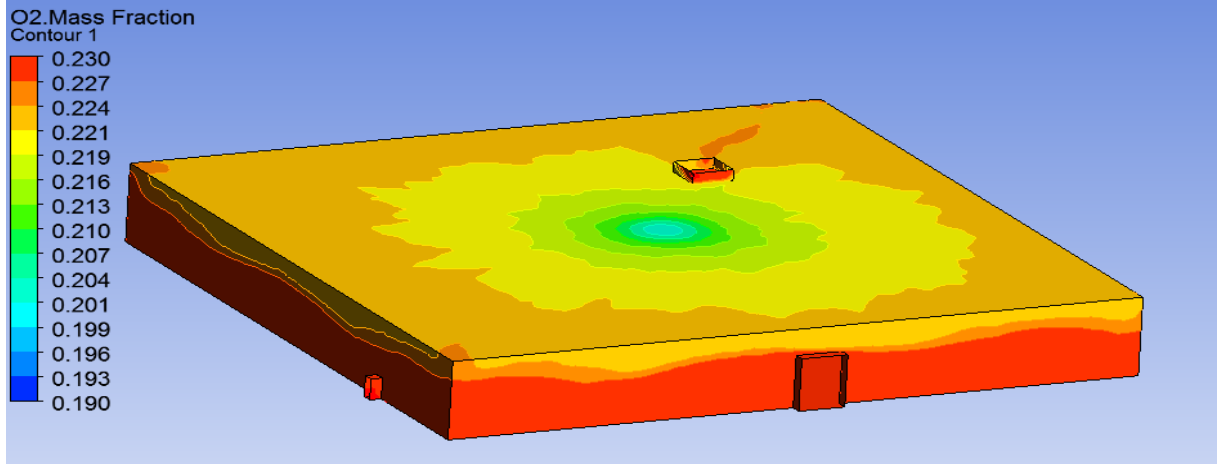
Bu senaryoda Durum 3.1’de anlatılan büyük hacim için tüm kapıların kapalı olduğu ancak işyerine önerilecek 3,5x3,5 m² tavan açıklığının açık olması halindeki durum modellenmiştir.

Aşağıda yer alan Tablo 4.10.’da modelleme sonucunda gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama değerler verilmektedir.

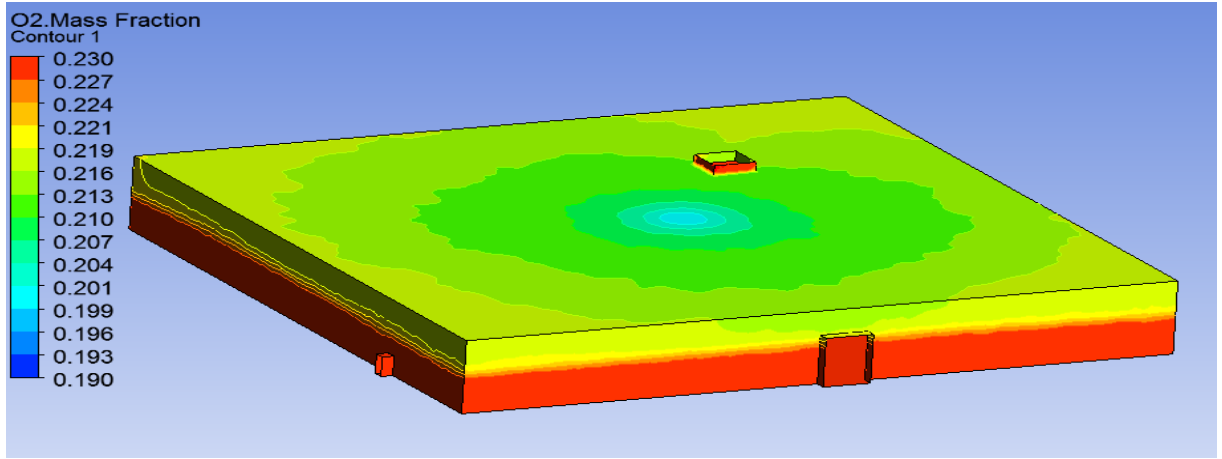
Tablo 4.10. Durum 3.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın yükü, 26 100 m ³ hacim, 12,25 m ² tavan açıklığı)				
	O₂	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2215	4 232,91	32,7	63,8
	O₂ (kütleli %)	CO₂ (ppm)	CO (ppm)	Sıcaklık
	(min.)	(mak.)	(mak.)	(mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1807	32 445,7	250,9	309,4
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1967	17 514,9	135,4	180,4

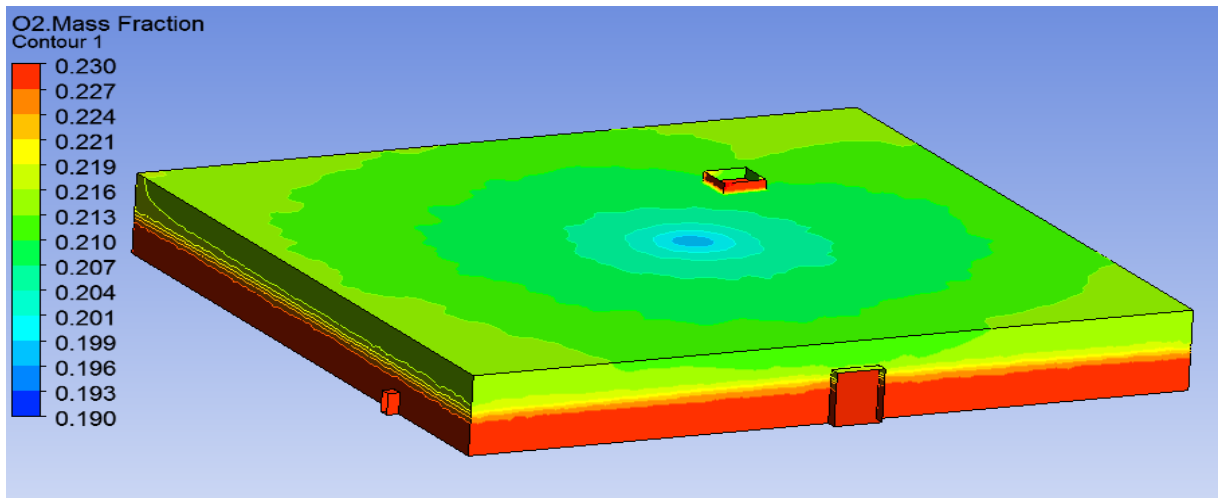
10 MW yangın yükünde, 26 100 m³ lük hacimde ve 12,25 m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.64. Durum 3.2 t=60. saniyede oksijen dağılımı

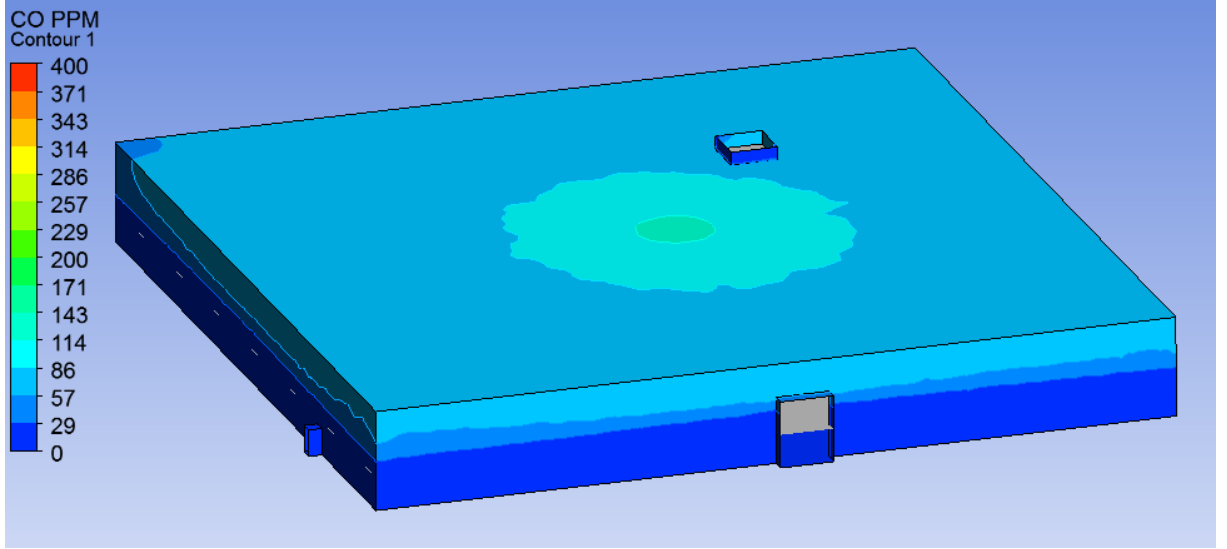


Şekil 4.65. Durum 3.2 t =180. saniyede oksijen dağılımı



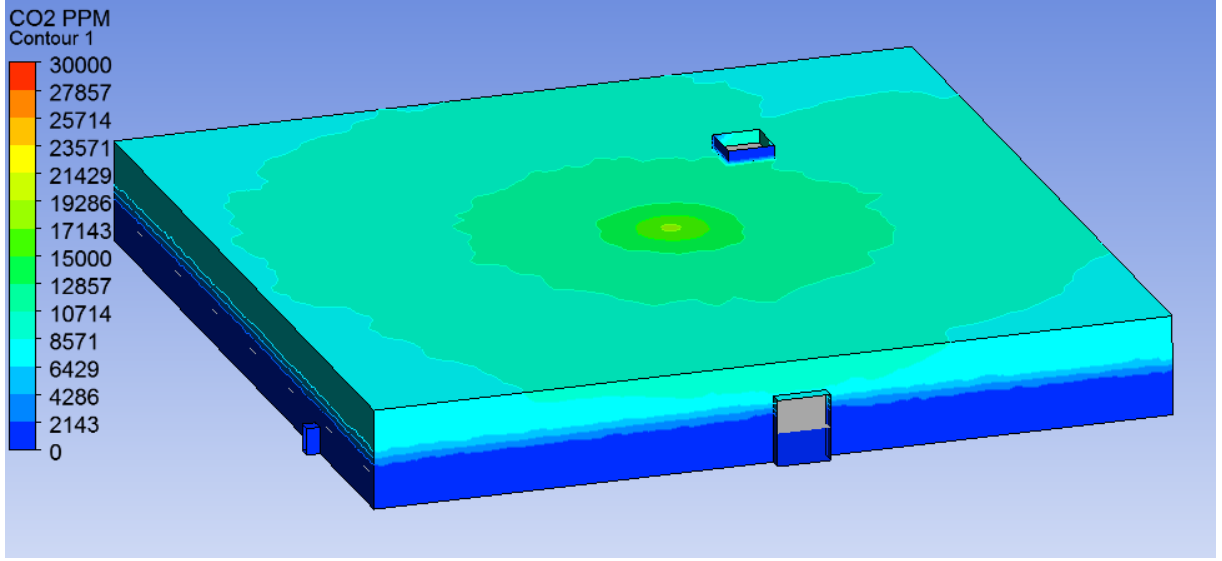
Şekil 4.66. Durum 3.2 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.64., Şekil 4.65. ve Şekil 4.66.'da sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 10 MW'lık yangın durumunda işyeri büyük hacminde, oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. 10 MW'lık yangın yükünde 250 saniye sonunda işyeri alanın tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %21 seviyesindedir. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin, kütleli olarak %23 değerinin altına düşmediği görülmüştür.



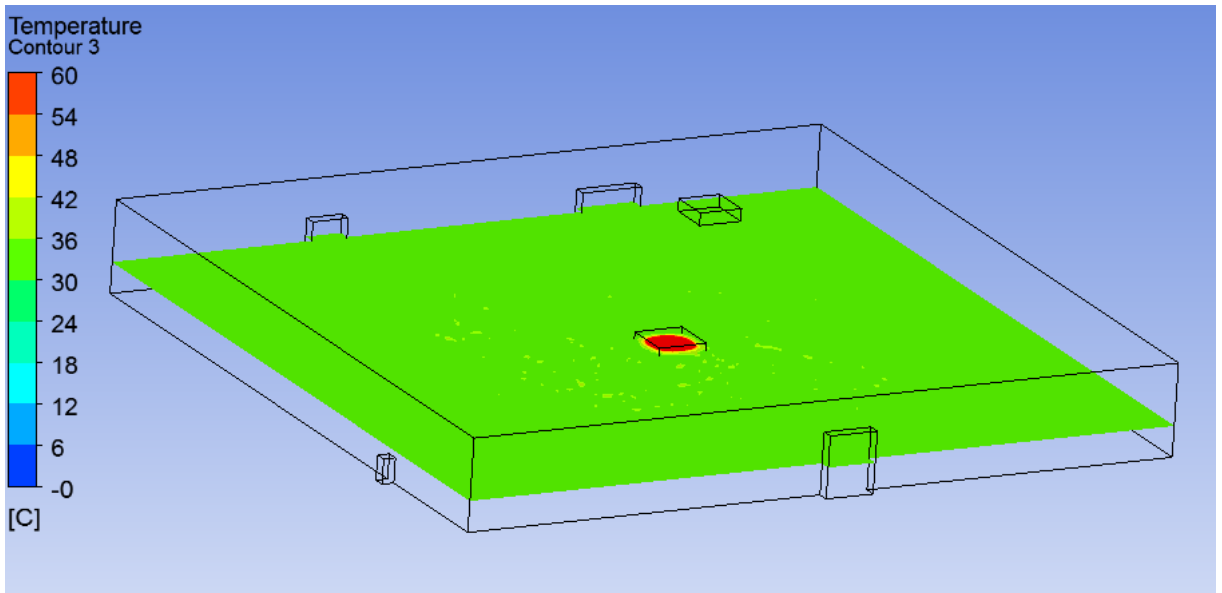
Şekil 4.67. Durum 3.2 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.67.'de Durum 3 içerisinde yukarıda tek bir açıklık bırakıldığında karbonmonoksit (CO) dağılımı en az yoğunlukta kalmaktadır. Şekilde STEL değeri olan 400 ppm'e göre dağılımlar verilmiş, bu çalışanların bulunduğu bölgede 250 saniye sonunda herhangi bir kritik değere rastlanmamıştır.



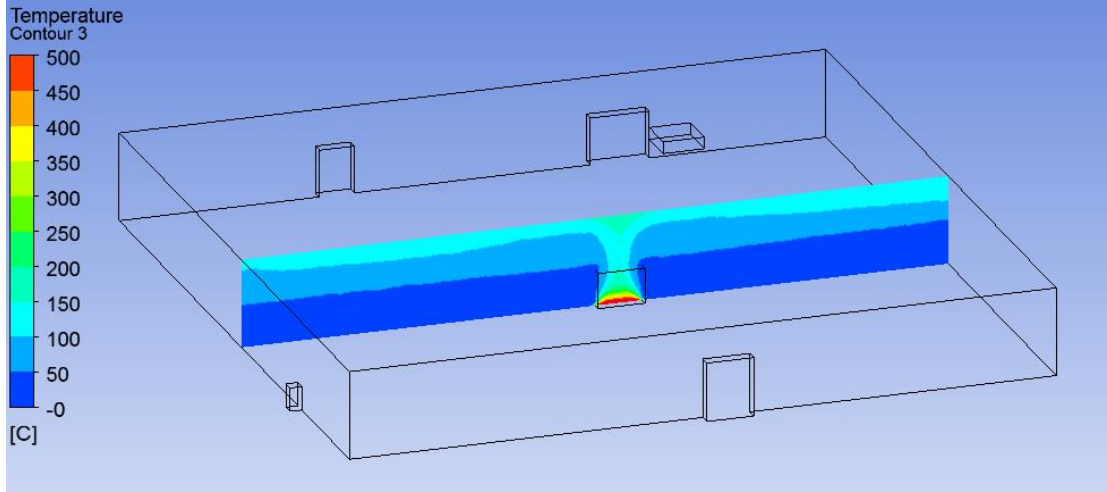
Şekil 4.68. Durum 3.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.68.'de 10 MW yangın yükünde ve 14 m² dışa açılan kapı açıkken, 33 000 ppm ve üzerindeki karbondioksit (CO₂) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir.



Şekil 4.69. Durum 3.2 t=250. yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.69.'da Durum 3 senaryoları içerisinde, sıcaklık ortalaması olarak en düşük değer bu kısımdadır. Tavanda biriken sıcak duman tabakasını en kısa yoldan tahliye edebilmek için en kısa mesafeye yani tavan açıklığı kapı açıklıklarından daha küçük olsa bile tavan açıklığı oluşturmak duman tahliyesi açısından daha verimli sonuçlar vermektedir.



Şekil 4.70. Durum 3.2 t=250. saniyede dikey sıcaklık kesiti

Şekil 4.70.'te dikey sıcaklık kesiti alınarak, 0 ila 500 °C arasında sıcaklık dağılımları görselleştirilmiştir. Yangın hacmi 500 °C sıcaklığa çıkmıştır. Sıcaklık dağılımının Durum 3 içerisinde en düşük değere sahip olduğu görülmüştür.

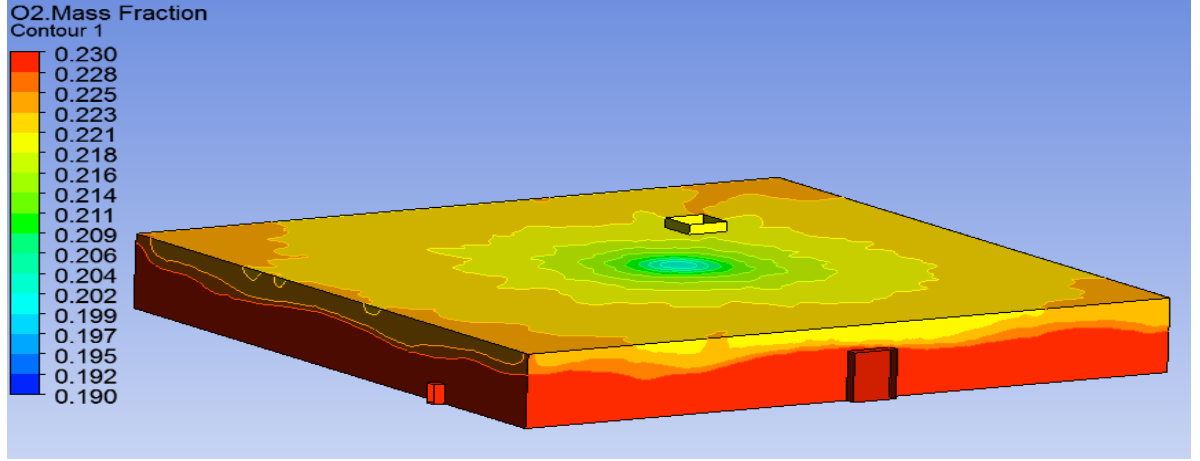
4.3.3. Durum 3.3: 10 MW Yangın Yüğü, 26 100 m³ Hacim, 14 m² Kapı

Aşağıda yer alan Tablo 4.11.'de modelleme sonucunda gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum ve maksimum miktarlar verilmektedir.

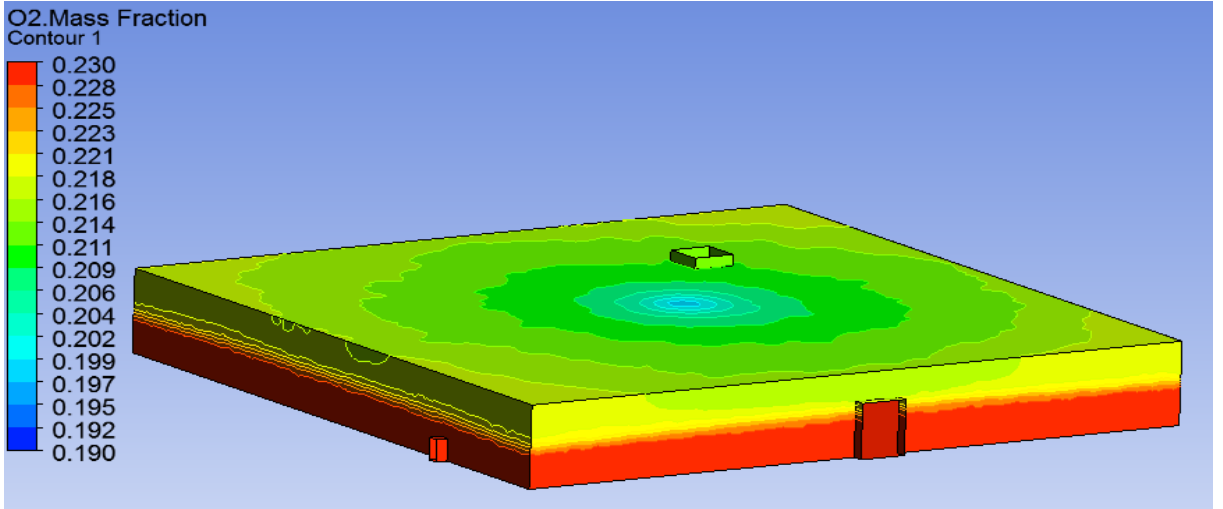
Tablo 4.11. Durum 3.3 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın yükü, 26 100 m ³ hacim, 14 m ² kapı)				
	O₂	CO₂	CO	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2201	4 937,78	38,195	69
	O₂ (kütleli %) (min.)	CO₂ (ppm) (mak.)	CO (ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1797	33 084,3	255,915	311
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1950	18 350,1	141,943	185

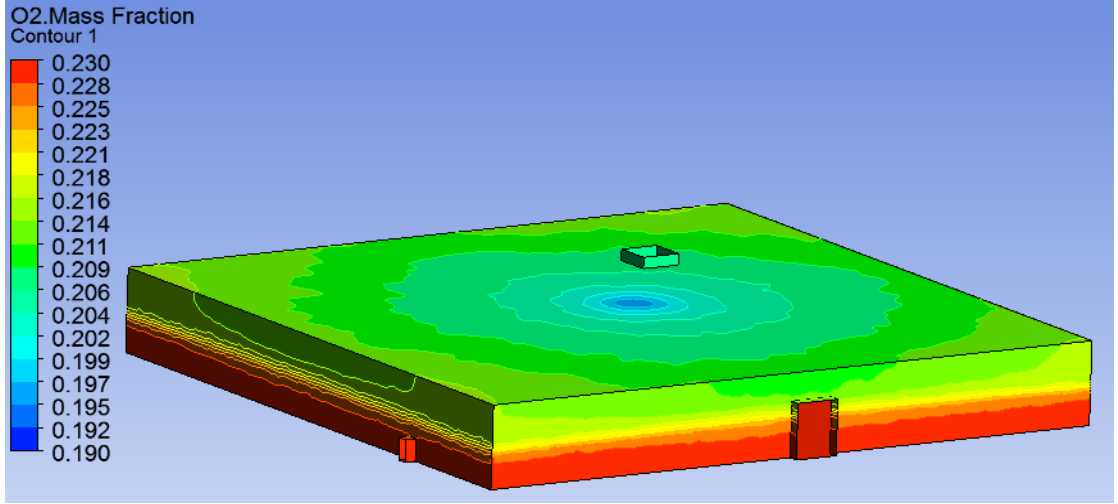
10 MW yangın yükü ve 26 100 m³ lük hacimde ve 14 m² kapı açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.71. Durum 3.3 t =60. saniyede oksijen dağılımı

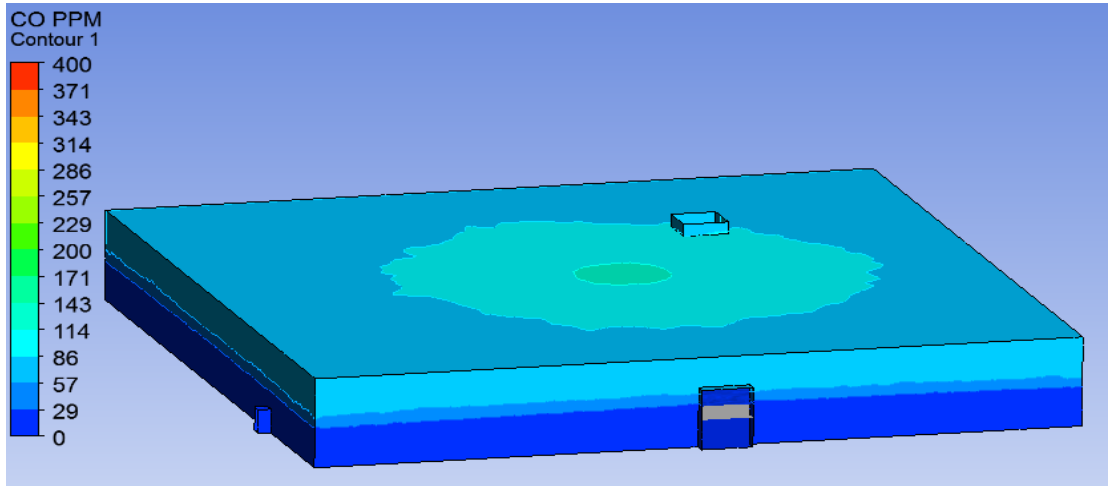


Şekil 4.72. Durum 3.3 t =180. saniyede oksijen dağılımı



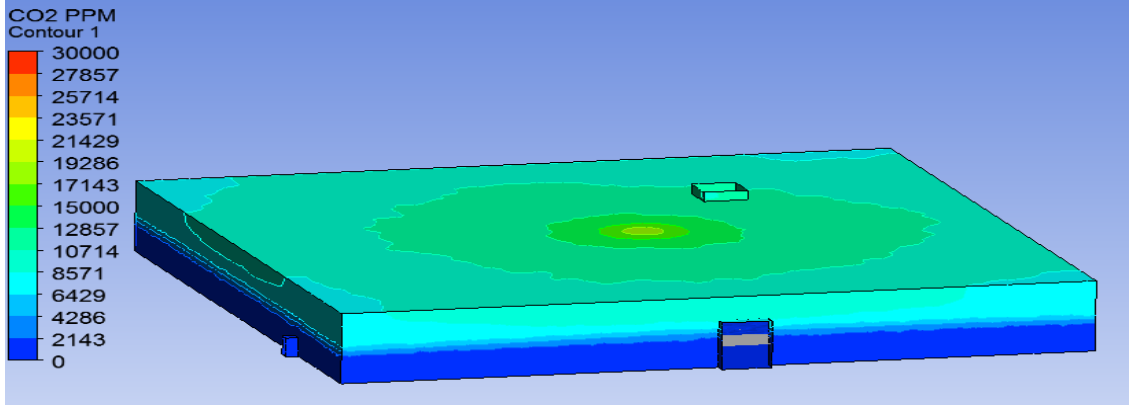
Şekil 4.73. Durum 3.3 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.71., Şekil 4.72. ve Şekil 4.73.'de Sırasıyla 60, 180 ve 250 saniyeler sonundaki oksijenin kütleel dağılım yüzdesi kritik eşik olarak alınan 0,19 ve 0,23 aralığında gösterilmiştir. Oksijenin hava hacminde kütleel dağılım ortalaması 0,2201 değerinde olmakta, bu da Durum 3.2'den daha düşük değere sahip olduğunu göstermektedir.



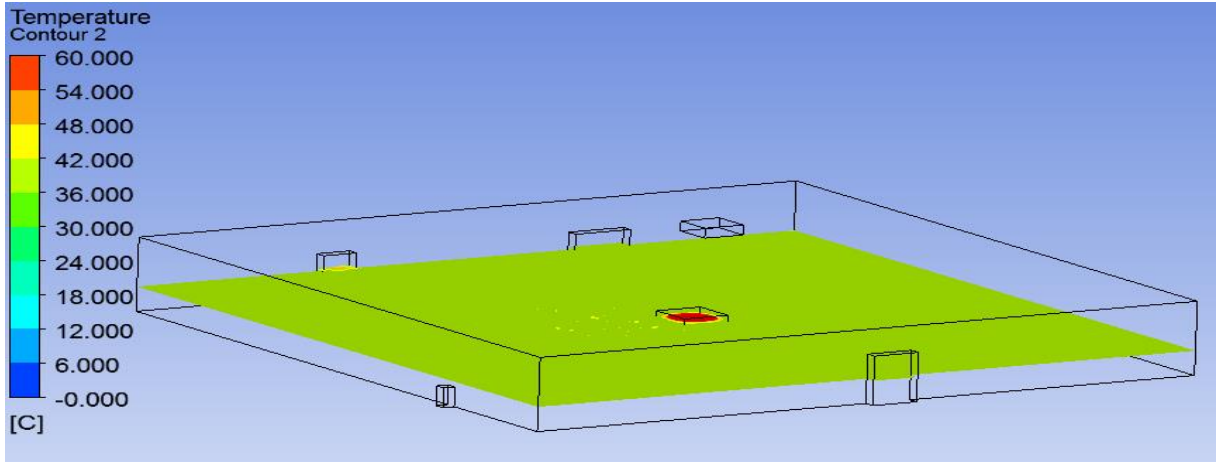
Şekil 4.74. Durum 3.3 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.74'te 10 MW yangın yükü için CO miktarı tavana yakın bölgelerde maksimum 140 ppm seviyelerine ulaşmaktadır. Bu miktar STEL değeri olan 400 ppm seviyesinden düşük olup, çalışanların olduğu kısımda bu değerler 0-29 ppm aralığındadır.



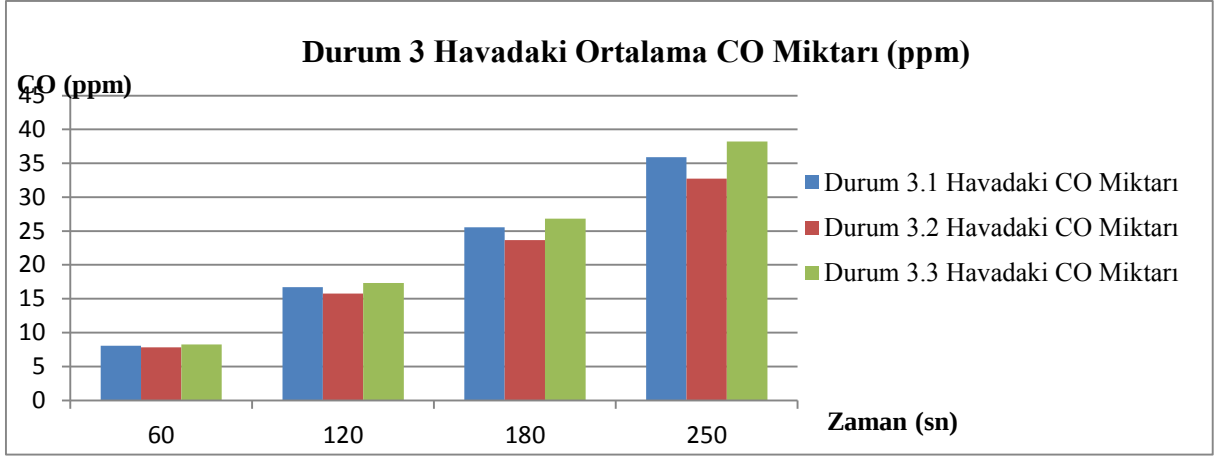
Şekil 4.75. Durum 3.3 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.75'te 10 MW yangın yükünde ve 14 m² dışa açılan kapı açıkken, 33 000 ppm ve üzerindeki karbondioksit (CO₂) seviyesi yangın hacmine yakın bölgelerdedir. İnsanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. Hava hacmindeki ortalama değere 4 937 ppm civarındadır. Tüm durumlar düşünüldüğünde en fazla karbondioksit (CO₂) miktarının geni hacim kısmı içinde ulaşıldığı değer bu kısımda bulunmaktadır.

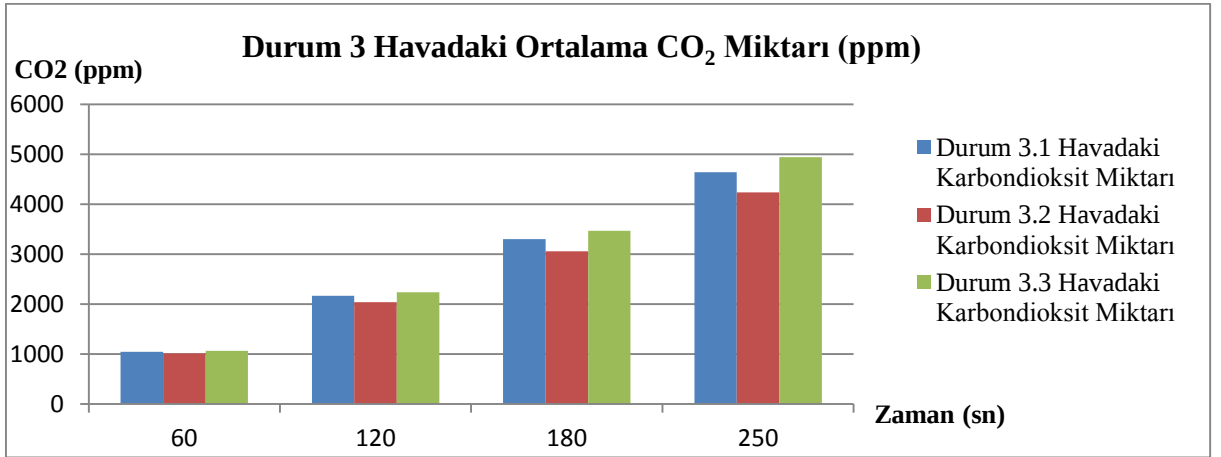


Şekil 4.76. Durum 3.3 t =250. yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

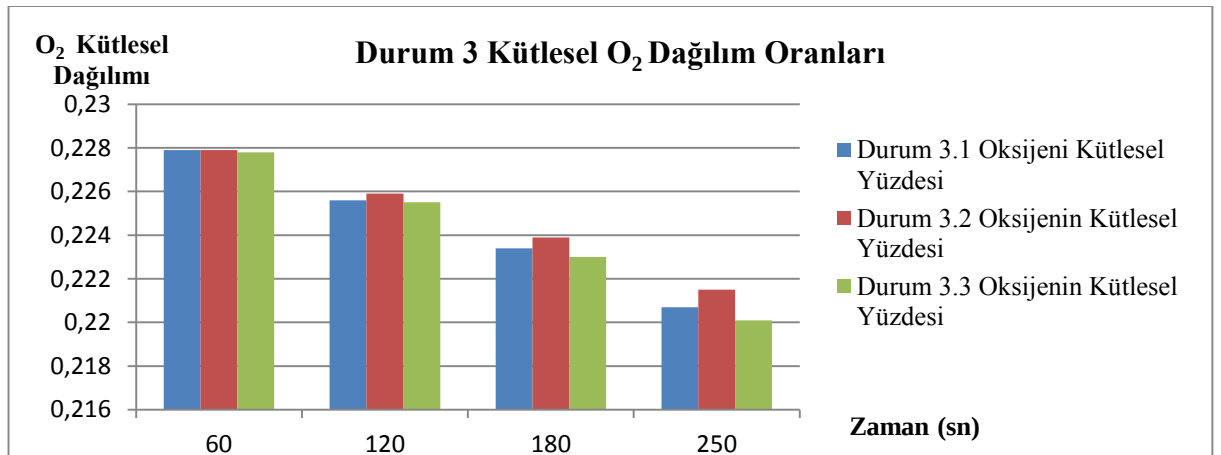
Şekil 4.76'da sıcaklık dağılımında görüldüğü gibi bu senaryo Durum 2 ve Durum 1 den daha yüksek sıcaklık değerlerine sahiptir. Kritik sıcaklık olan 60 °C sıcaklık için 2,5 metre yatay kesitte sıcaklık dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.77. Durum 3 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.78. Durum 3 senaryoları için havadaki ortalama CO₂ miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.79. Durum 3 senaryoları için havadaki ortalama O₂ miktarının zamana göre dağılımı

Şekil 4.77-4.79.'da tavan açıklığı olan Durum 3.2'de kalan O₂, CO ve CO₂ miktarı gösterilmektedir.

4.4. DURUM-4 SENARYOSU (15 MW yangın, 26 100 m³ hacim)

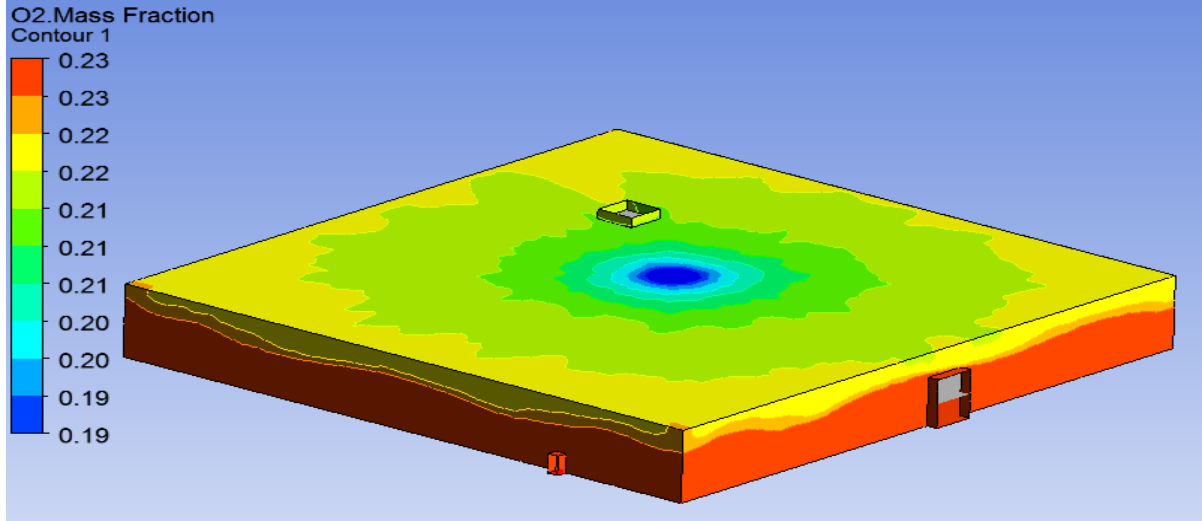
4.4.1. Durum 4.1: 15 MW Yangın Yüğü, Açıklık Yok

Aşağıda yer alan Tablo 4.12.'de 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

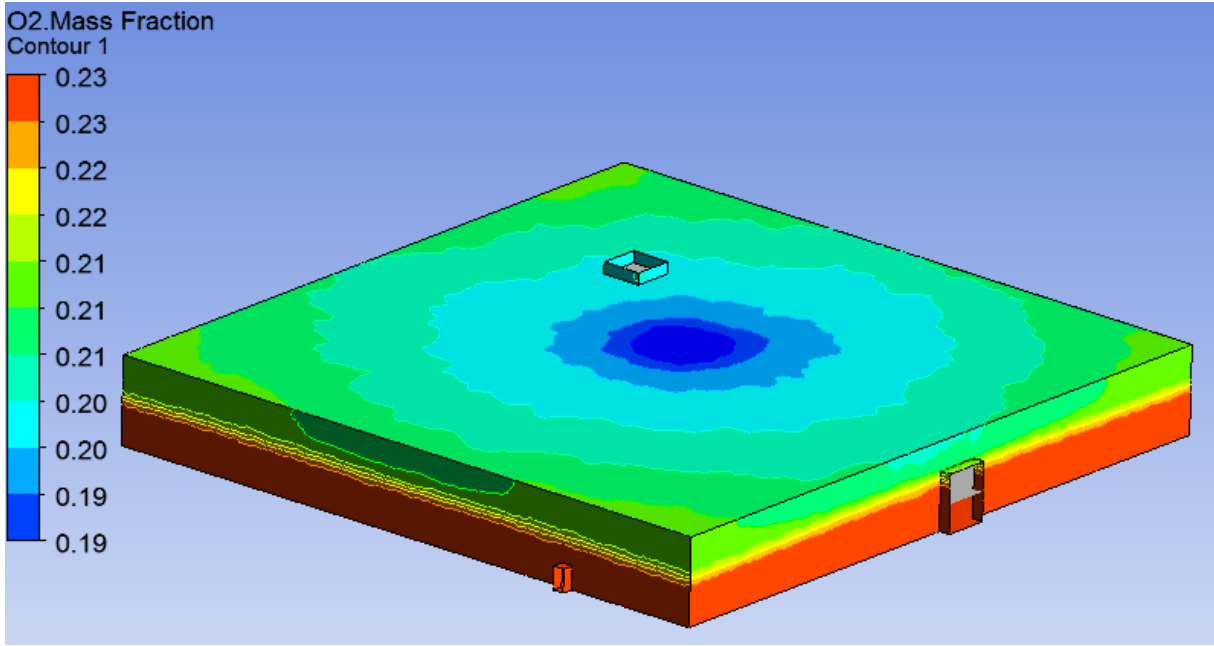
Tablo 4.12. Durum 4.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (15 MW yangın yüğü, 26 100 m ³ hacim, açıklık yok)				
	O₂	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,216	7 005,64	54,19	78,1
	O₂ (min.)	CO₂(ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1439	63 039,2	487,624	391,7
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,17163	32 022,8	247,70	225,2

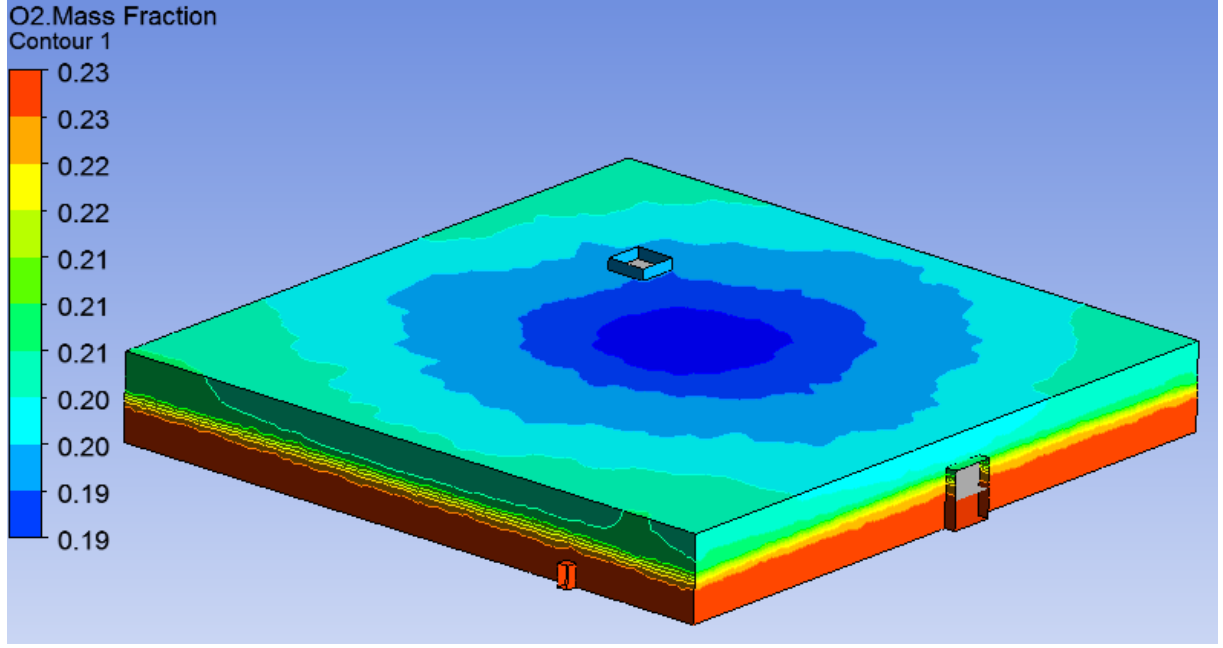
15 MW yangın yüğü ve 26 100 m³ lük hacimde açıklık olmadan analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.80. Durum 4.1 t =60. saniyede oksijen dağılımı

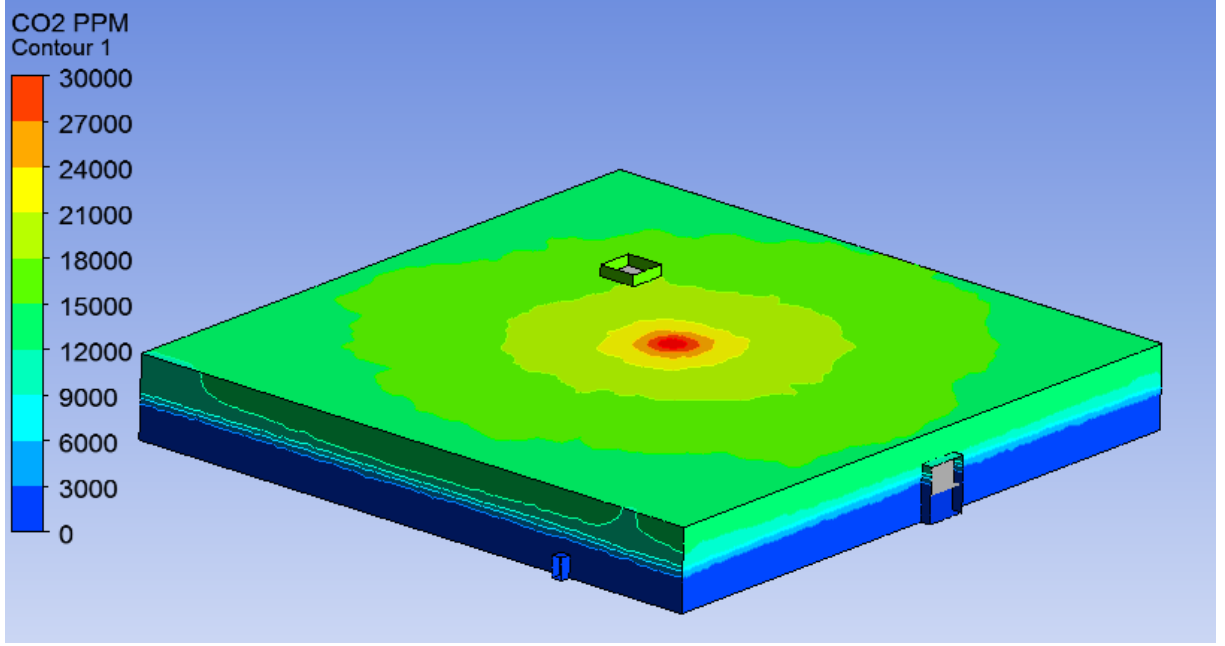


Şekil 4.81. Durum 4.1 t =180. saniyede oksijen dağılımı



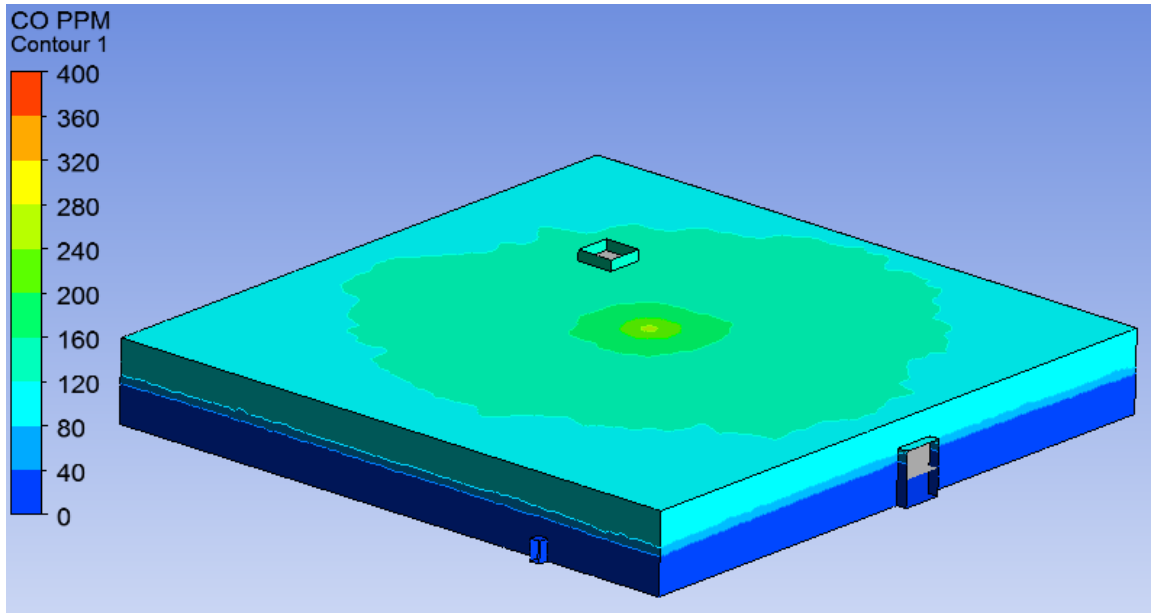
Şekil 4.82. Durum 4.1 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.80., Şekil 4.81. ve Şekil 4.82.'de sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 15 MW'lık yangın durumunda, işyerine açıklık olmaması senaryosu olup, oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. 15 MW'lık yangın yükünde 250 saniye sonunda işyeri alanın tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %19 un altındadır. Hava hacminde ortalama %21 iken çalışanların solunum bölgesinde oksijenin duvarlara yakın kısımda kütleli olarak %22 ye yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.



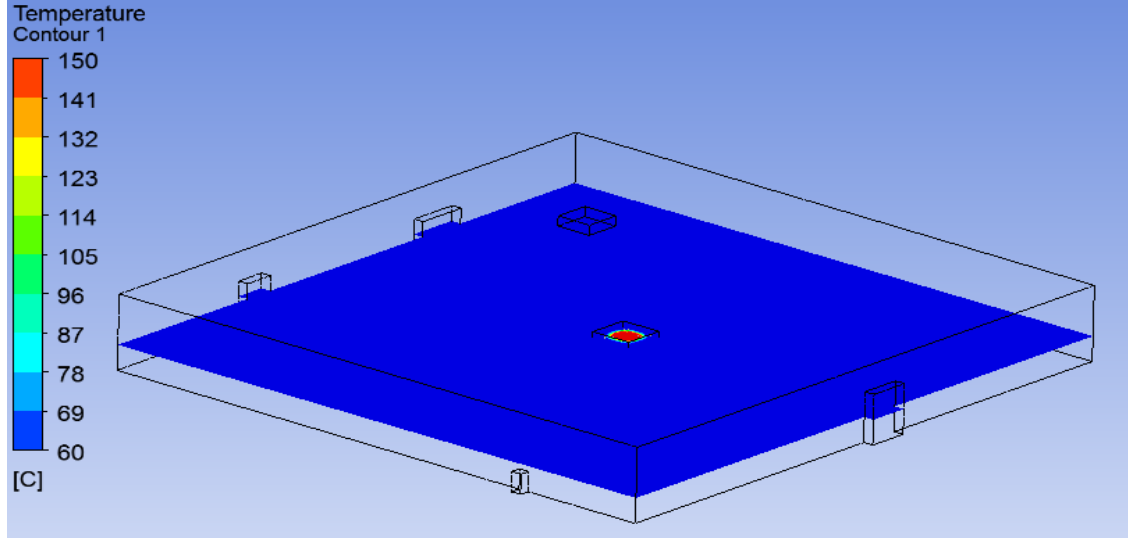
Şekil 4.83. Durum 4.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.83'te 15 MW yangın yükünde açıklık yokken, işyeri büyük hacmindeki 30 000 ppm ve üzerindeki karbondioksit (CO₂) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda yerden 2,5 m yükseklikte yaklaşık 2 000 ppm civarında karbondioksit (CO₂) tespit edilmiştir. Bu değer hava hacmi ortalamasında 7 000 ppm civarındadır.



Şekil 4.84. Durum 4.1 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.84'te 15 MW yangın yükünde açıklık yokken, işyeri büyük hacminde 400 ppm ve üzerindeki karbonmonoksit (CO) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda Yerden 2,5 m yükseklikte yaklaşık 15-16 ppm civarında karbonmonoksit (CO) tespit edilmiştir.



Şekil 4.85. Durum 4.1 Yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

Yerden 2,5 m yükseklikte sıcaklığın ortalama 40 °C civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.85.).

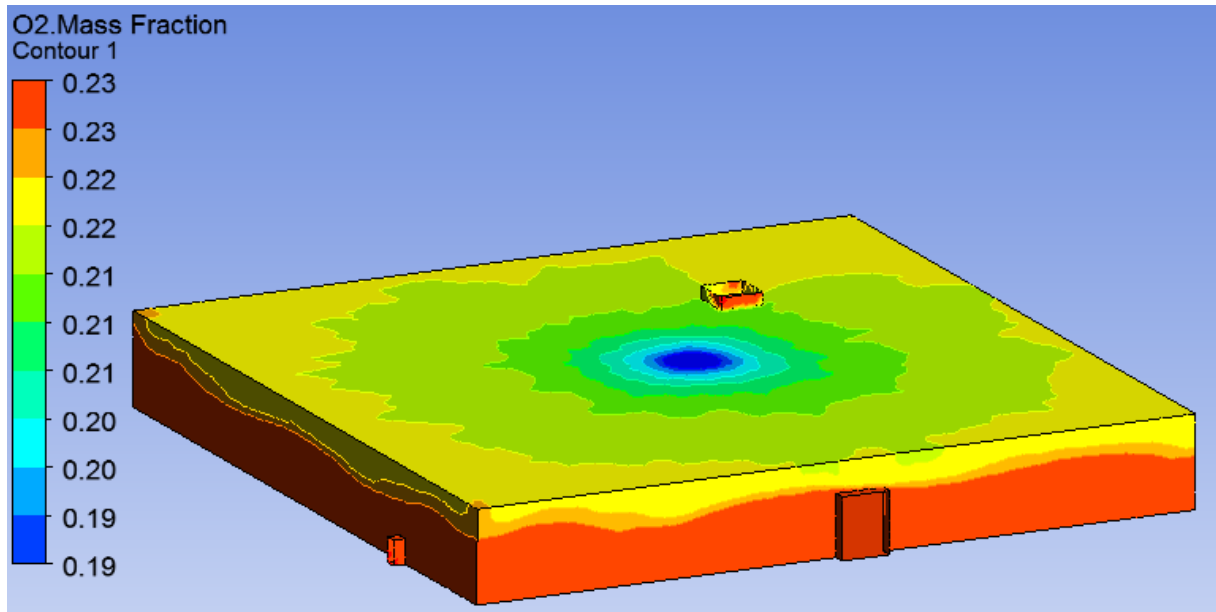
4.4.2. Durum 4.2: 15 MW Yangın Yüğü, 26 100 m³ Hacim, 12,25 m² Tavan Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.1.3'te 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

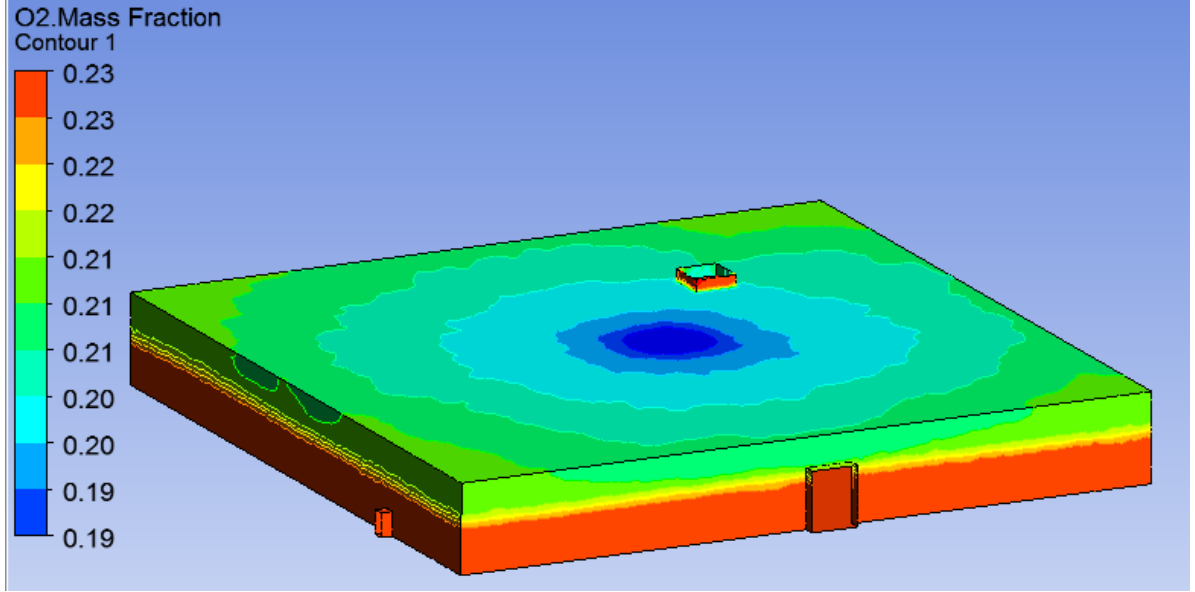
Tablo 4.13. Durum 4.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (15MW yangın Yüğü, 26 100 m ³ hacim, 12,25 m ² tavan açıklığı)				
	O ₂	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2174	6 308,42	48,79	74,1
	O ₂ (min.)	CO ₂ (ppm) (mak.)	CO (ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1448	62 326	482,1	389,9
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1730	31 272,8	241,9	222,3

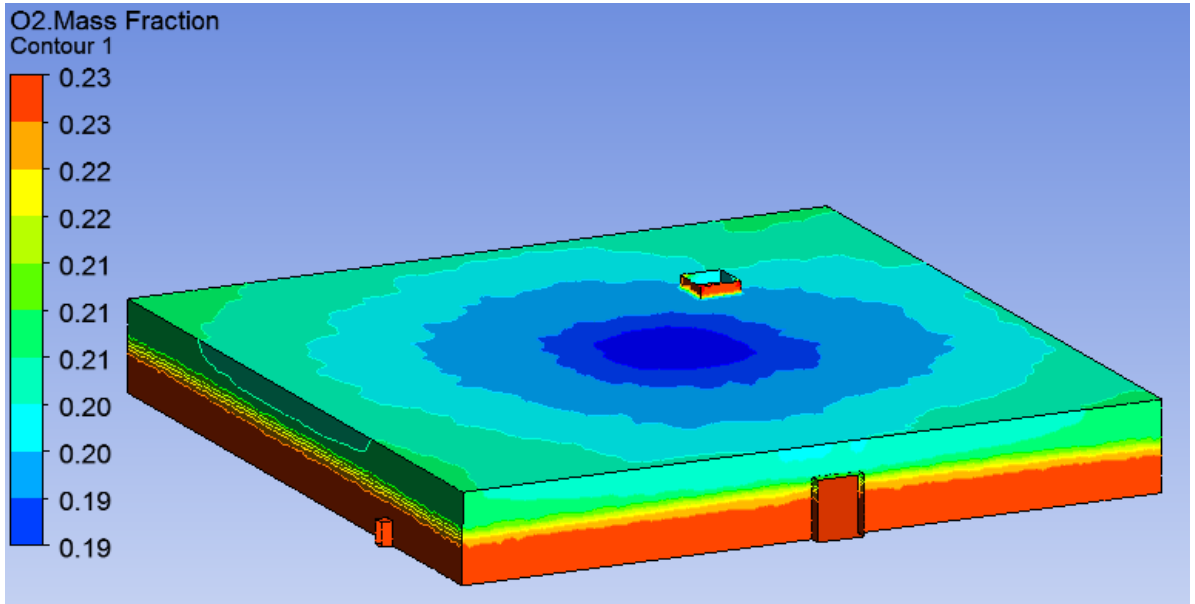
15 MW yangın yüğü, 26 100 m³ hacim ve 12,25 m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



şekil 4.86. Durum 4.2 t =60. saniyede oksijen dağılımı

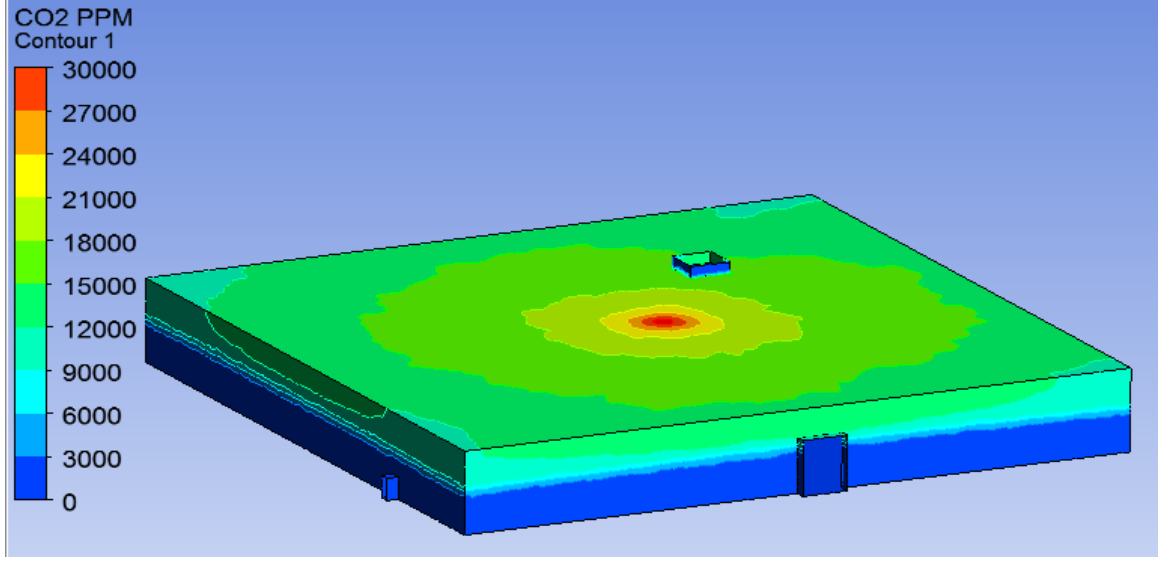


Şekil 4.87. Durum 4.2 t =180. saniyede oksijen dağılımı



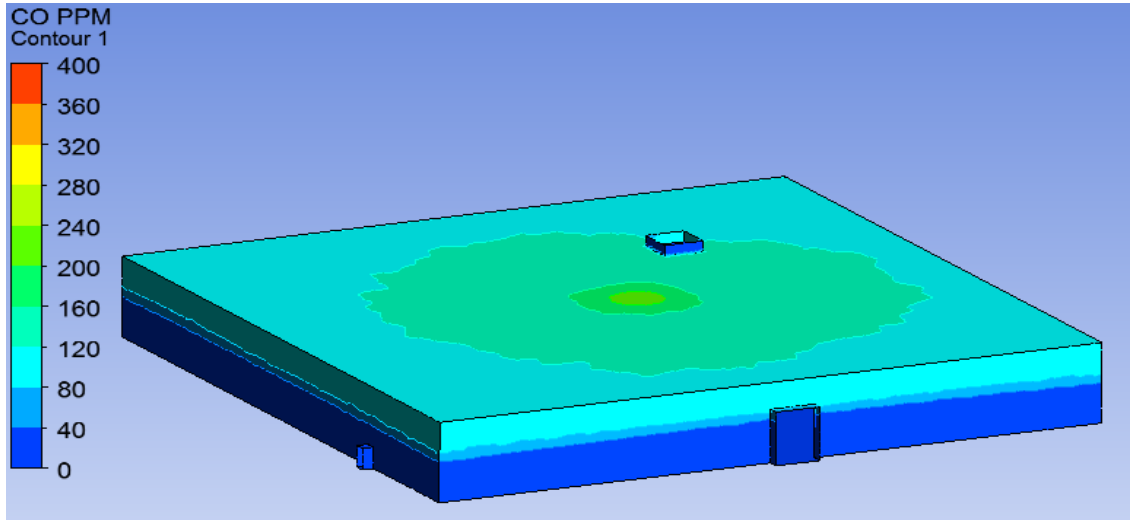
Şekil 4.88. Durum 4.2 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.86., Şekil 4.87. ve Şekil 4.88.'de sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 15 MW yangın yükü, 26 100 m³ hacim ve 12,25 m² tavan açıklığında, oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. 250 saniye sonunda işyeri büyük hacim alanının tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %19 un altındadır. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin ortalama %22,5 civarında değer aldığı tespit edilmiştir. Durum 4.1.'den daha fazla oksijen seviyesi vardır.



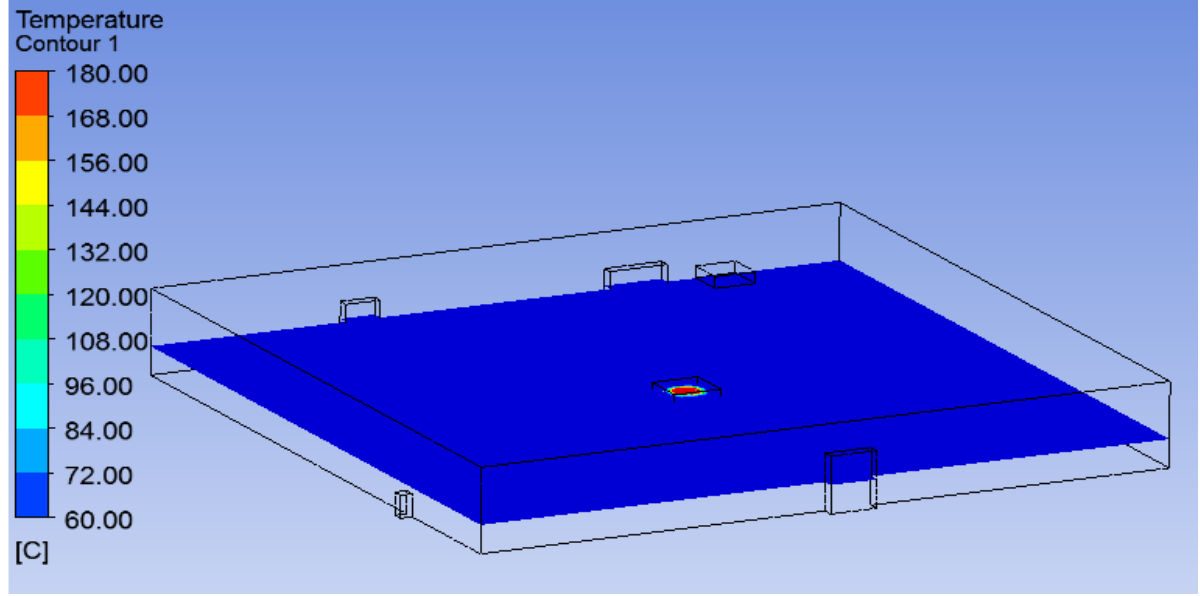
Şekil 4.89. Durum 4.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.88’de 15 MW yangın yükünde tavanda açıklık varken, işyeri büyük hacmindeki 30 000 ppm ve üzerindeki karbondioksit (CO₂) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda Yerden 2,5 m yükseklikte yaklaşık 1 500 ppm civarında karbondioksit (CO₂) tespit edilmiştir.



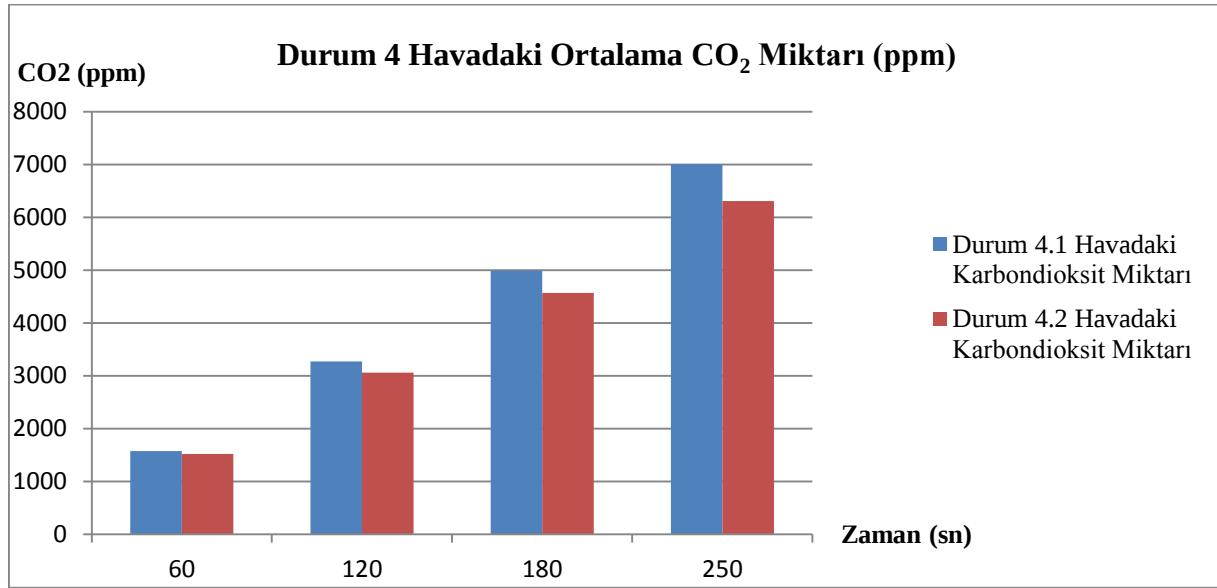
Şekil 4.90. Durum 4.2 t =250. saniyede karbonmonoksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.88’de 15 MW yangın yükünde tavanda açıklık varken, işyeri büyük hacmindeki 400 ppm ve üzerindeki karbonmonoksit (CO) seviyesi, çalışanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesitin altına inmemektedir. 250 saniye sonunda işyeri hava hacminde ortalama 48 ppm civarında karbonmonoksit (CO) tespit edilmiştir.

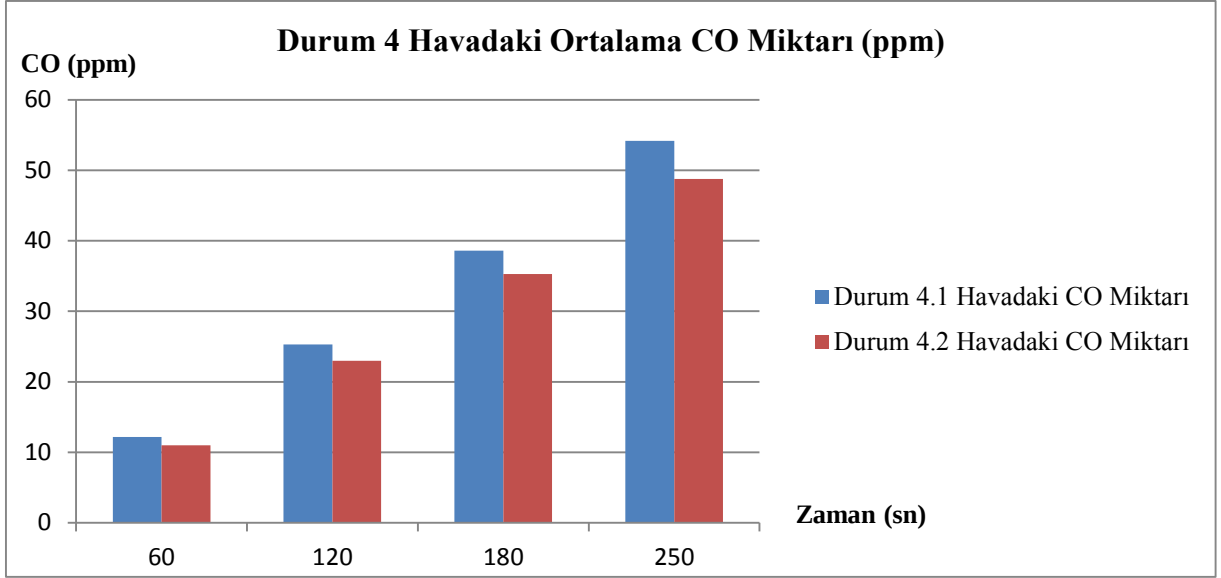


Şekil 4.91. Durum 4.2 Yerden 2.5 metre yükseklikte sıcaklık dağılımı (°C)

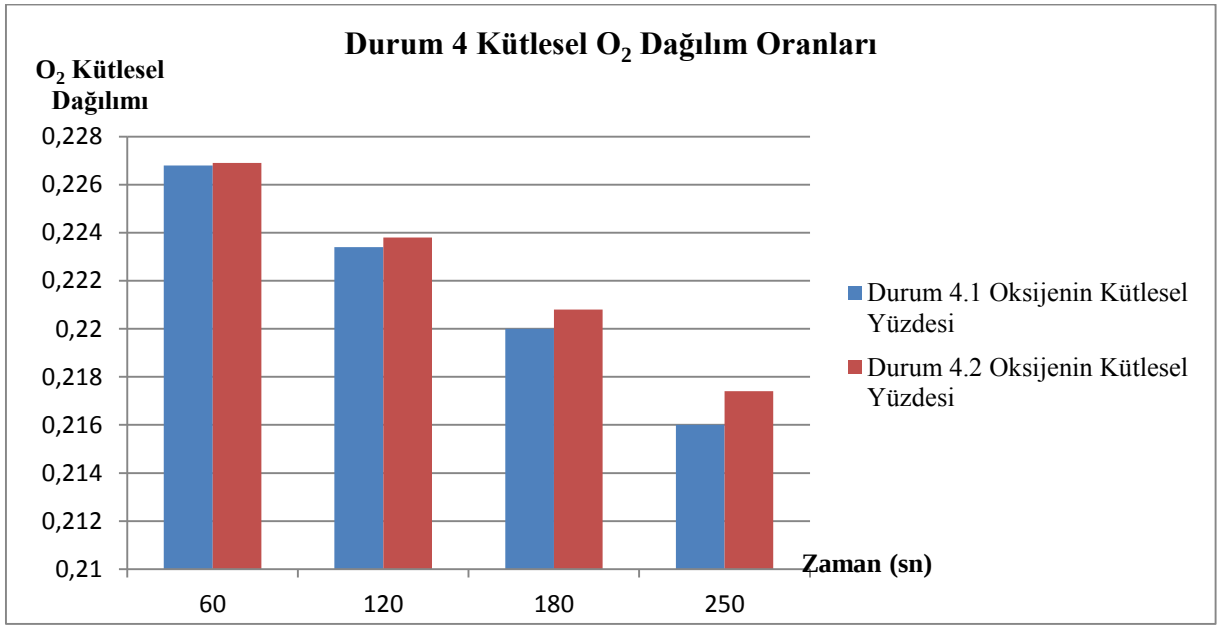
Yerden 2,5 m yükseklikte sıcaklığın ortalaması 35 °C civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.91.).



Şekil 4.92. Durum 4 senaryoları için havadaki ortalama CO₂ miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.93. Durum 4 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.94. Durum 4 senaryoları için havadaki ortalama O₂ miktarının zamana göre dağılımı

Şekil 4.92, Şekil 4.93 ve Şekil 4.94’te oksijen, karbonmonoksit (CO), ve karbondioksit (CO₂) dağılımları aşağıda Durum 4 senaryoları içinde zamana bağlı olarak kıyaslanması yapılmıştır. Durum 4.2 senaryosunda tavan alanı açıklığının artması iyileştirme sağlamıştır.

4.5. DURUM-5 SENARYOSU (10 MW yangın, 7 440 m³ hacim)

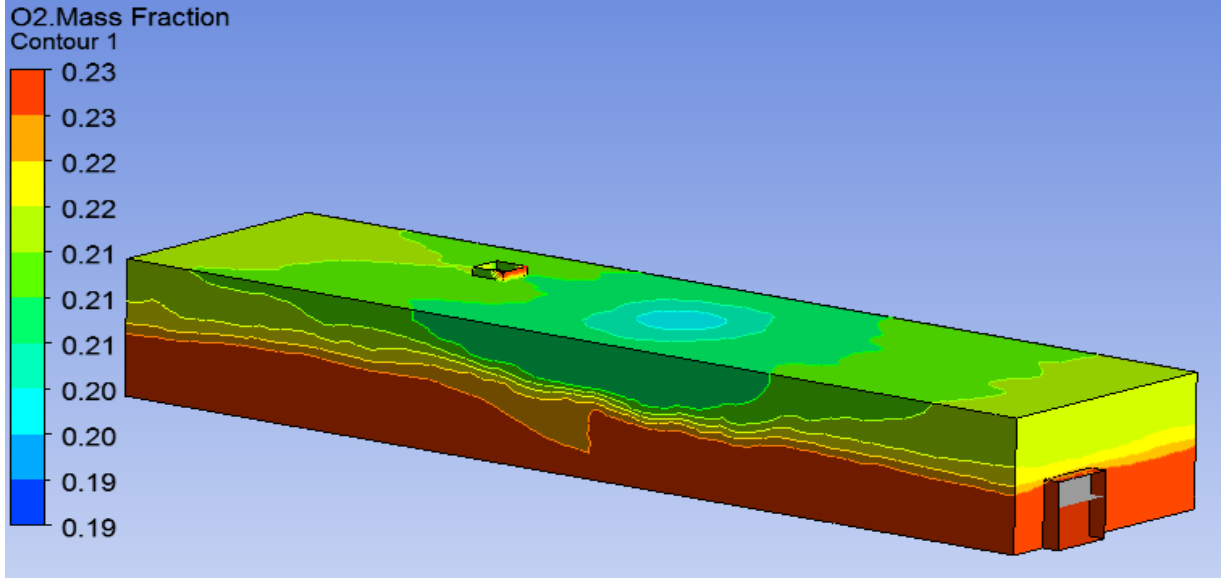
4.5.1. Durum 5.1: 10 MW Yangın Yüğü, 7 440 m³ Hacim, 4 m² Tavan Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.14.'de 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

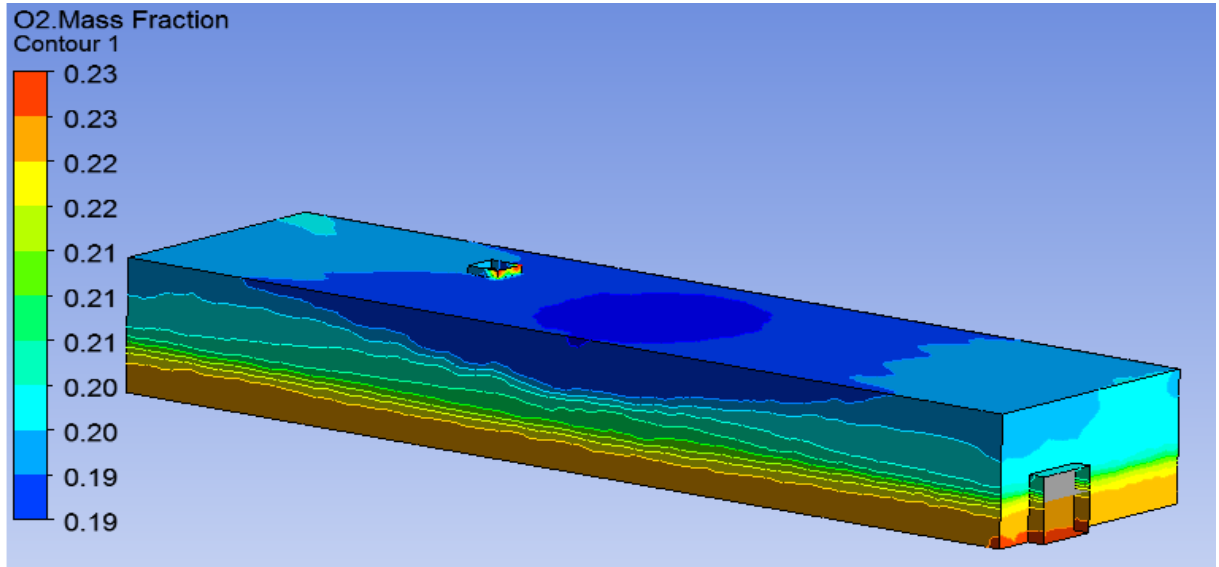
Tablo 4.14. Durum 5.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın yüğü, 7 440 m ³ hacim, 4 m ² tavan açıklığı)				
	O₂	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,1978	16 117	124	165,6
	O₂ (min.)	CO₂ (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1609	43 426,2	335,9	637,1
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1737	28 879,6	223,3	530,7

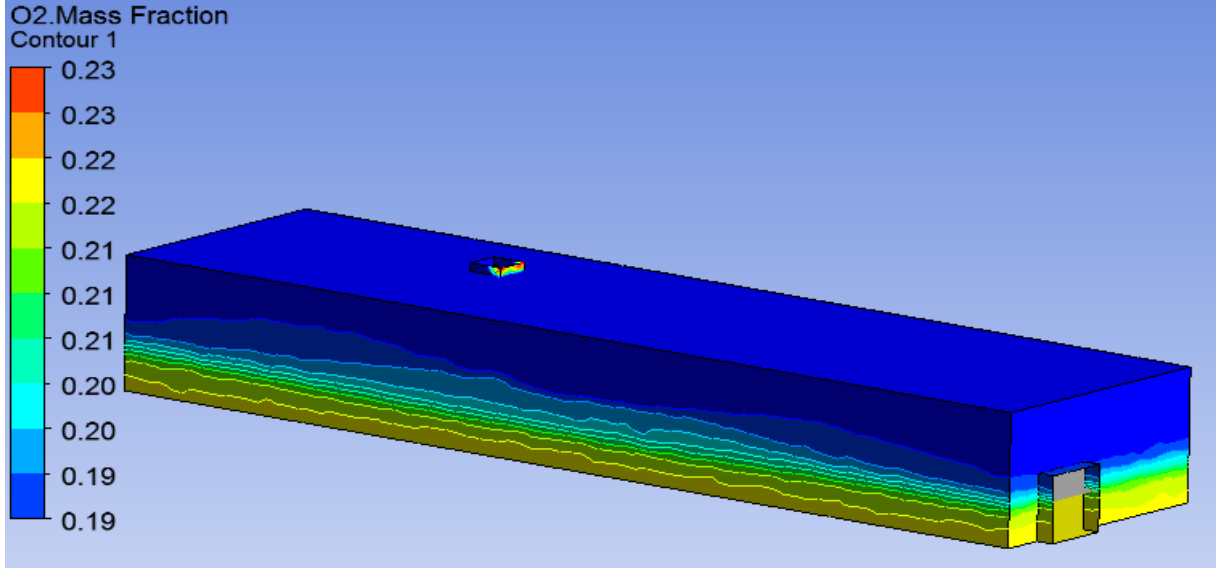
10 MW yangın yüğü, 7 440 m³ hacim ve 4 m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.95. Durum 5.1 t =60. saniyede oksijen dağılımı

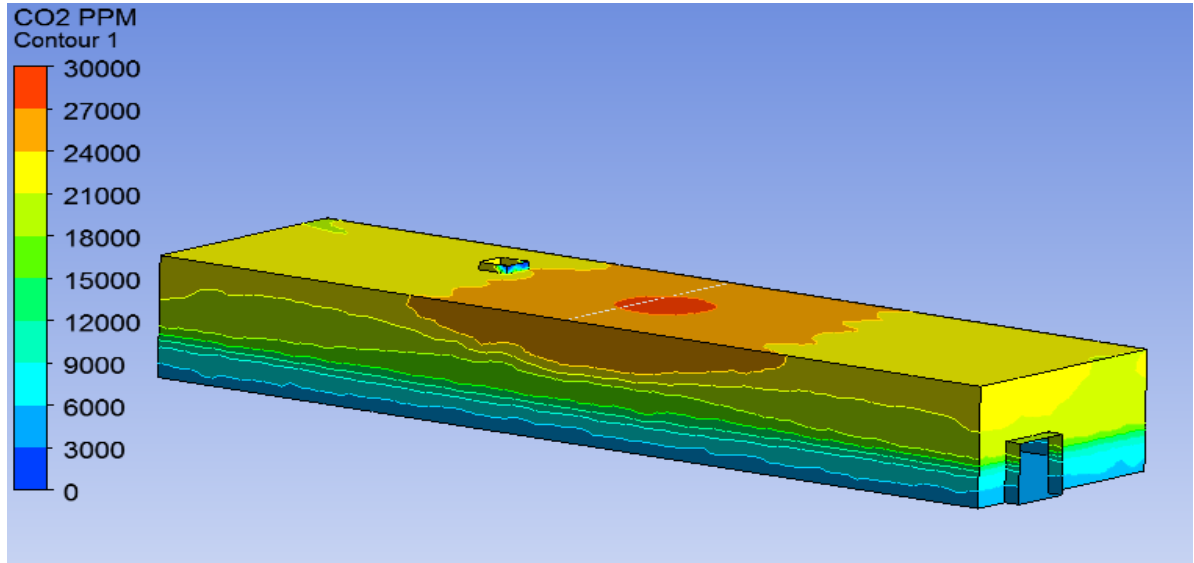


Şekil 4.96. Durum 5.1 t =180. saniyede oksijen dağılımı



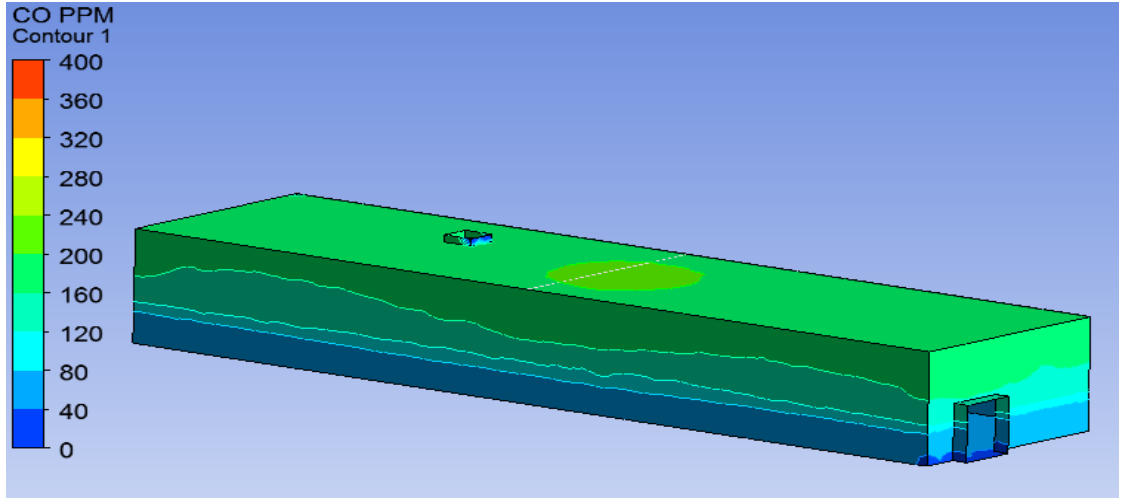
Şekil 4.97. Durum 5.1 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.95., Şekil 4.96. ve Şekil 4.97.'de sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 10 MW'lık yangın durumunda, tavanda 4 m2 açıklık olması durumunda, oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. 10 MW'lık yangın yükünde 250 saniye sonunda işyeri alanın tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %19 un altındadır. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin ortalama %19 olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda çalışanda nefes almada hızlanma ve zorlanma yangına yakın bölgelerdeyse bulanık görmek sersemleme gibi durumlar ortaya çıkabilir.



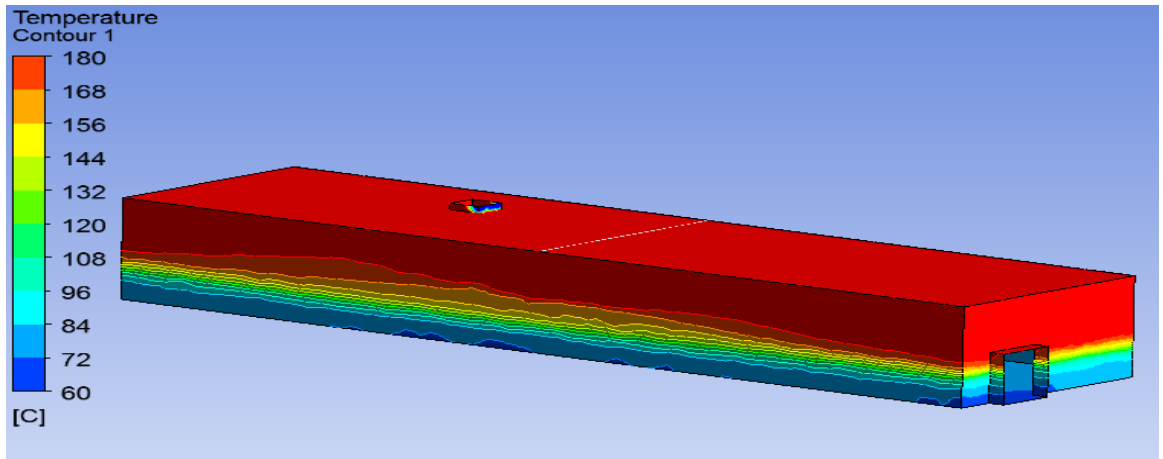
Şekil 4.98. Durum 5.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.96’da 10 MW yangın yükünde tavanda 4 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hacmindeki 30 000 ppm ve üzerindeki karbondioksit (CO₂) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda Yerden 2,5 m yükseklikte ortalama 137 ppm civarında karbondioksit (CO₂) tespit edilmiştir. Yangın hacmine yaklaştıkça bu değer artmakta, 350 ppm seviyelerine ulaşmaktadır.



Şekil 4.99. Durum 5.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.99’da 10 MW yangın yükünde tavanda 4 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hacmindeki yaklaşık 400 ppm karbonmonoksit (CO) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda Yerden 2,5 m yükseklikte ortalama 18 000 ppm civarında karbonmonoksit (CO) tespit edilmiştir.



Şekil 4.100. Durum 5.1 t=250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

10 MW yangın yükü küçük hacimde oldukça yüksek sıcaklık değerlerine sebep olmaktadır. Bu senaryoda hava hacmi ortalama sıcaklık değeri 160 °C'ye ulaştığı tespit edilmiştir.

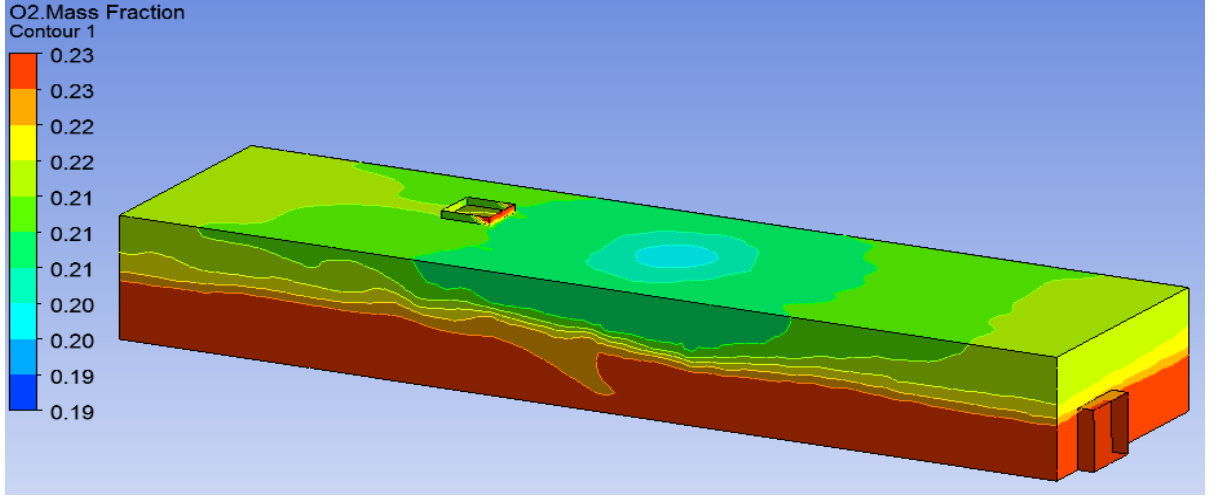
4.5.2. Durum 5.2: 10 MW Yangın Yüğü, 7 440 m³ Hacim, 9 m² Tavan Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.15.'te 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

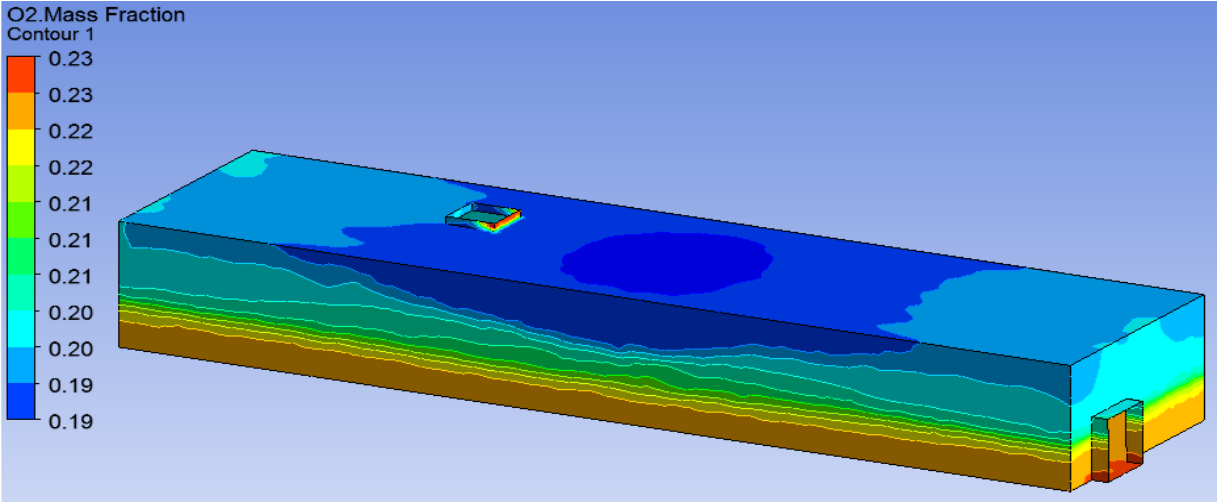
Tablo 4.15. Durum 5.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (10 MW yangın yükü, 7 440 m ³ hacim, 9 m ² tavan açıklığı)				
	O₂	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,1980	16 047,6	124,1	165
	O₂ (min.)	CO₂ (ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1610	43 407	335,7	365
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1738	28 884	223,4	258

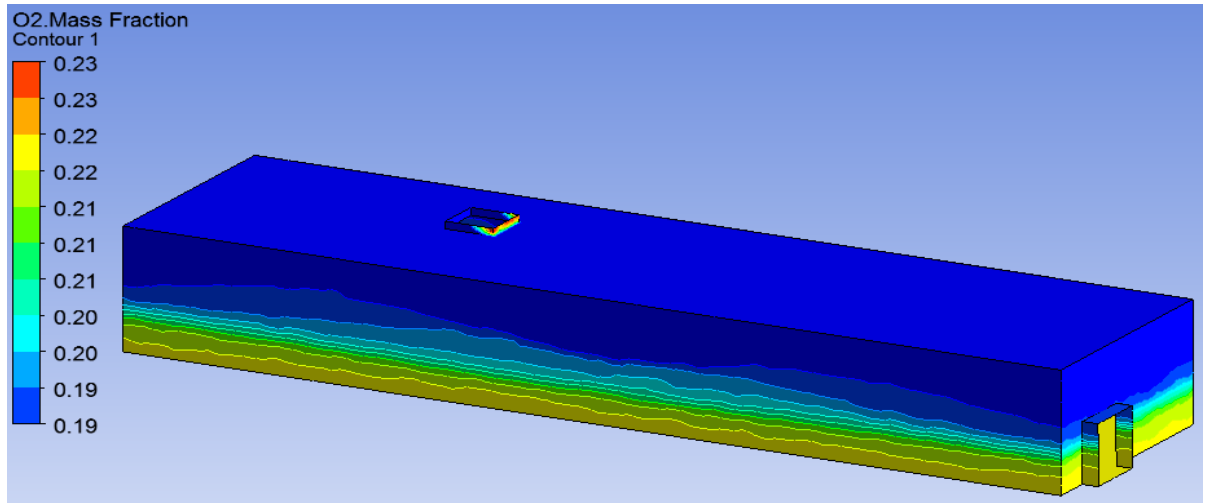
10 MW yangın yükü, 7 440 m³ hacim ve 9 m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.101. Durum 5.2 $t=60$. saniyede oksijen dağılımı

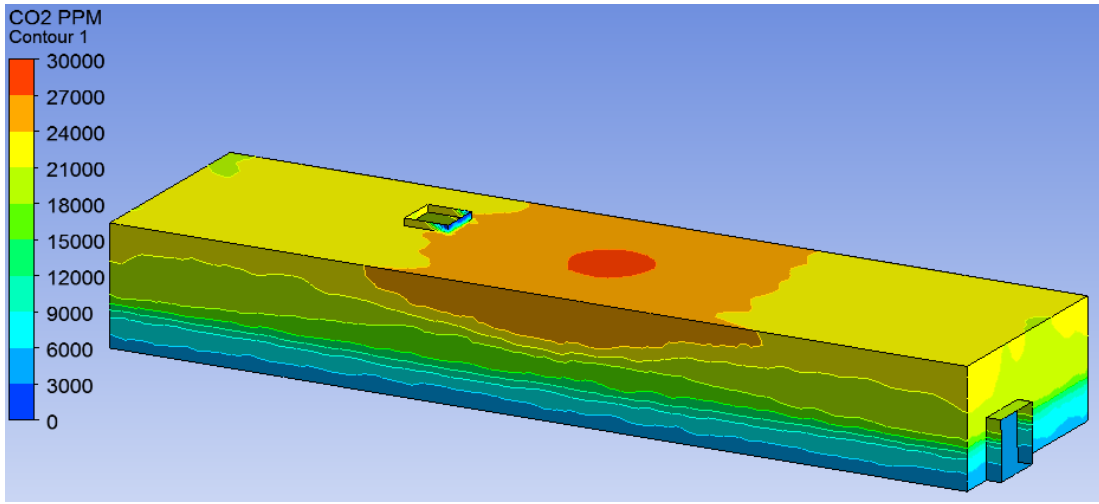


Şekil 4.102. Durum 5.2 $t=180$. saniyede oksijen dağılımı



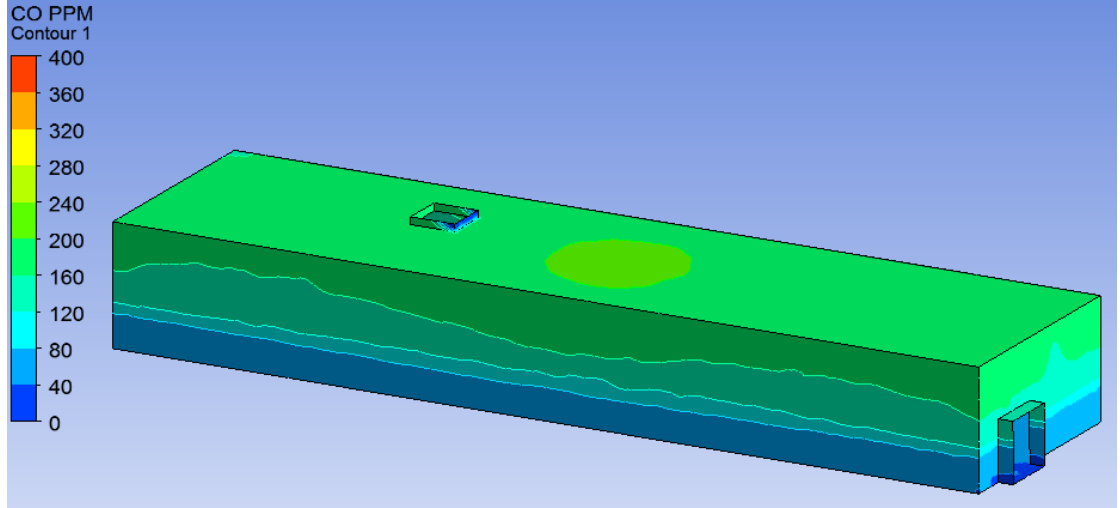
Şekil 4.103. Durum 5.2 $t=250$. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.101., Şekil 4.102. ve Şekil 4.103.’te sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 10 MW’lık yangın durumunda, tavanda 3x3 m² açıklık olması durumunda, oksijenin kütleli dağılım yüzdeleri (0,19-0,23 aralığında) gösterilmiştir. 10 MW’lık yangın yükünde 250 saniye sonunda işyeri alanın tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %19 un altındadır. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin ortalama %19 olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda çalışmada nefes almada hızlanma ve zorlanma yangına yakın bölgelerdeyse bulanık görmek sersemleme gibi durumlar ortaya çıkabilir.



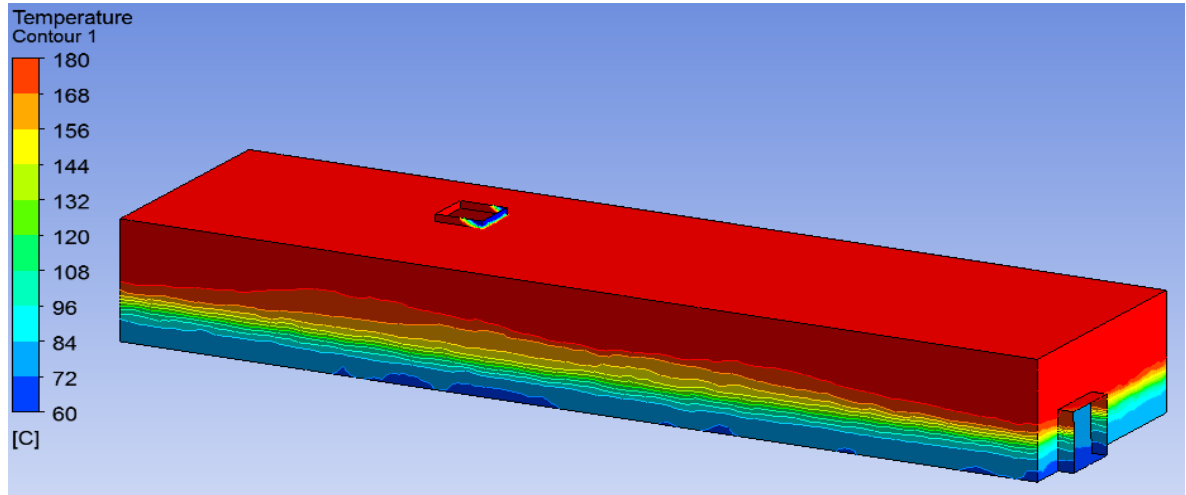
Şekil 4.104. Durum 5.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekilde 4.104’te 10 MW yangın yükünde tavanda 9 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hacmindeki 30 000 ppm ve üzerindeki karbondioksit (CO₂) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda Yerden 2,5 m yükseklikte ortalama 17 000 ppm civarında karbondioksit (CO₂) tespit edilmiştir. Yangın hacmine yaklaştıkça bu değer artmaktadır.



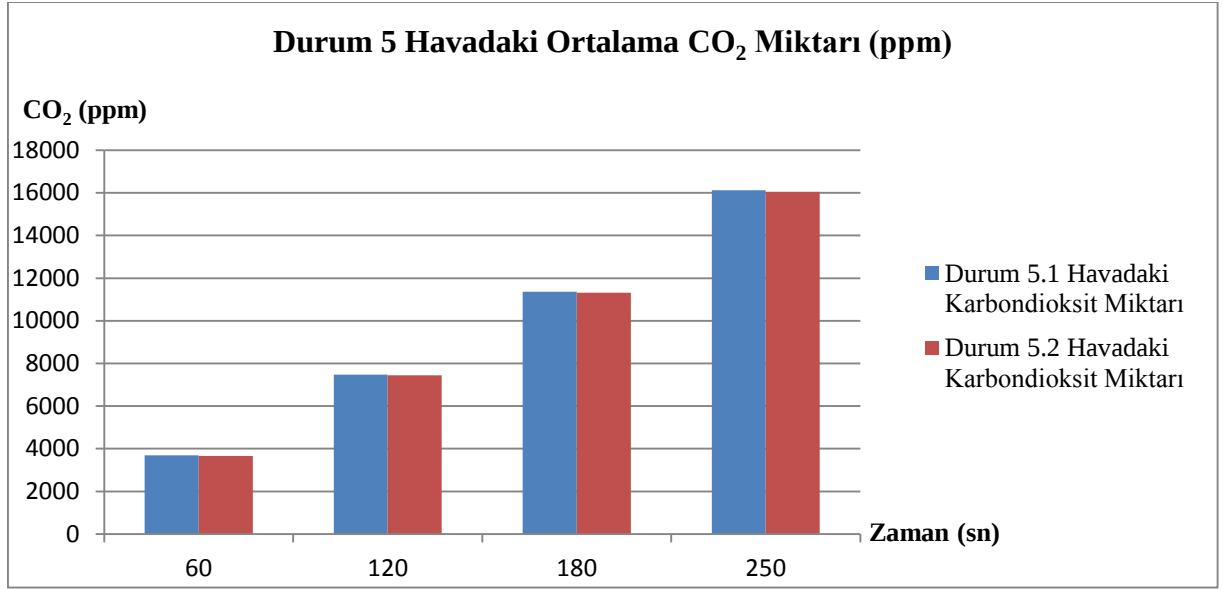
Şekil 4.105. Durum 5.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.105'te 10 MW yangın yükünde tavanda 4 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hacmindeki yaklaşık 400 ppm karbonmonoksit (CO) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda hava hacminde 125 ppm civarında karbonmonoksit (CO) tespit edilmiştir. Yangın hacmine yaklaştıkça bu değer artmaktadır.

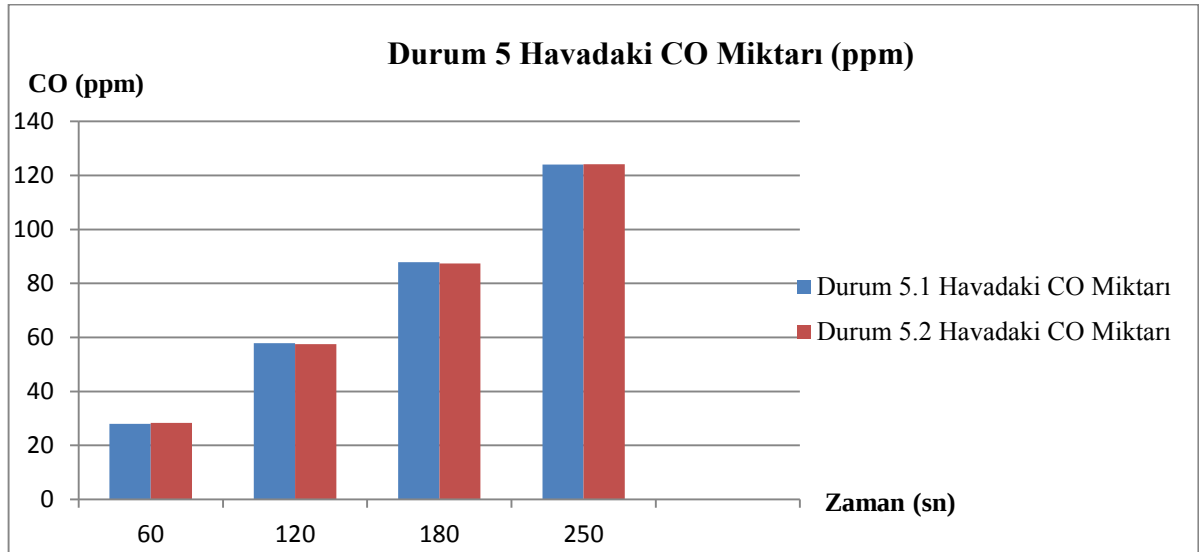


Şekil 4.106. Durum 5.2 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil.106'da sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Çalışan bölgesindeki sıcaklık kritik değerler almıştır. Bu senaryoda da Durum 5.1'de olduğu gibi yangın yükünün fazla ve hacmin küçük olmasından dolayı ortalama sıcaklık değeri 165 °C'ye kadar çıkmaktadır

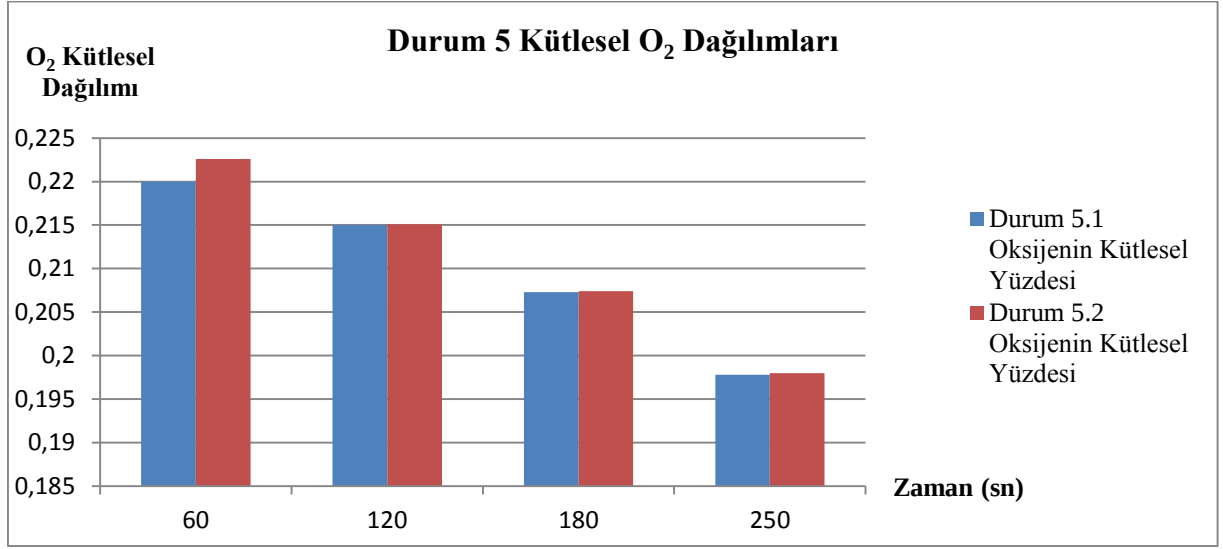


Şekil 4.107. Durum 5 senaryoları için havadaki ortalama CO₂ miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.108. Durum 5 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana göre dağılımı

Şekil 4.107, Şekil 4.108 ve Şekil 4.109’da oksijen, karbonmonoksit (CO), ve karbondioksit (CO₂) dağılımlarının Durum 5 senaryoları arasında, zamana bağlı olarak kıyaslanması yapılmıştır. 250. saniyede Durum 5.2’de 5.1 e oranla daha az CO ve CO₂ konsantrasyonu bulunmaktadır.



Şekil 4.109. Durum 5 senaryoları için havadaki ortalama O₂ miktarının zamana göre dağılımı

Şekil 4.109'deki zamana bağlı oksijen miktarlarına bakıldığında Kalan oksijen miktarı Duru 5.2'de daha fazladır.

4.6. DURUM-6 SENARYOSU (6 MW yangın, 7 440 m³ hacim)

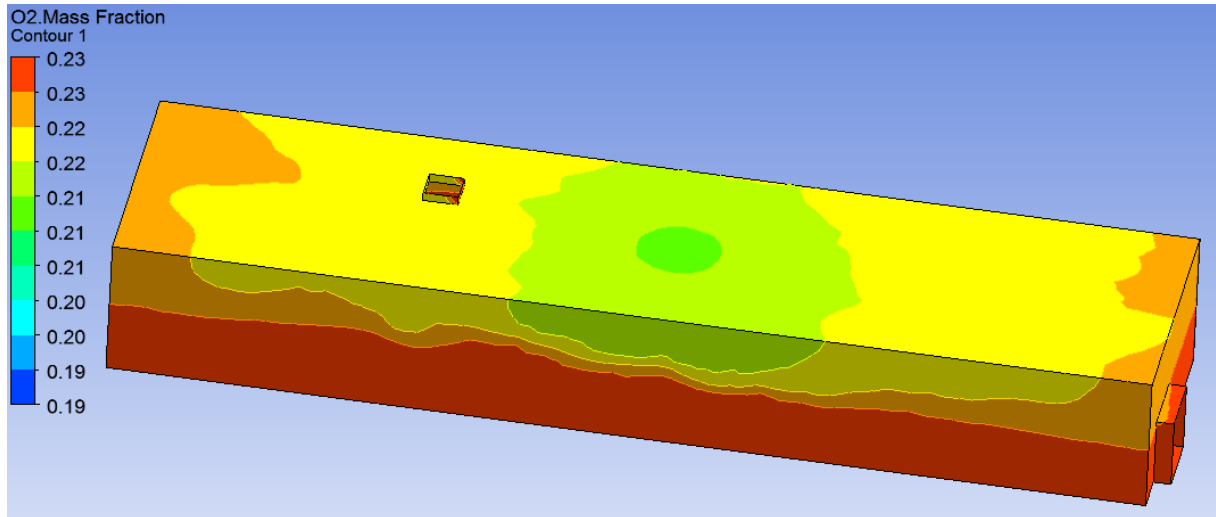
4.6.1. Durum 6.1: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m³ Hacim, 4 m² Tavan Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.16.'da 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

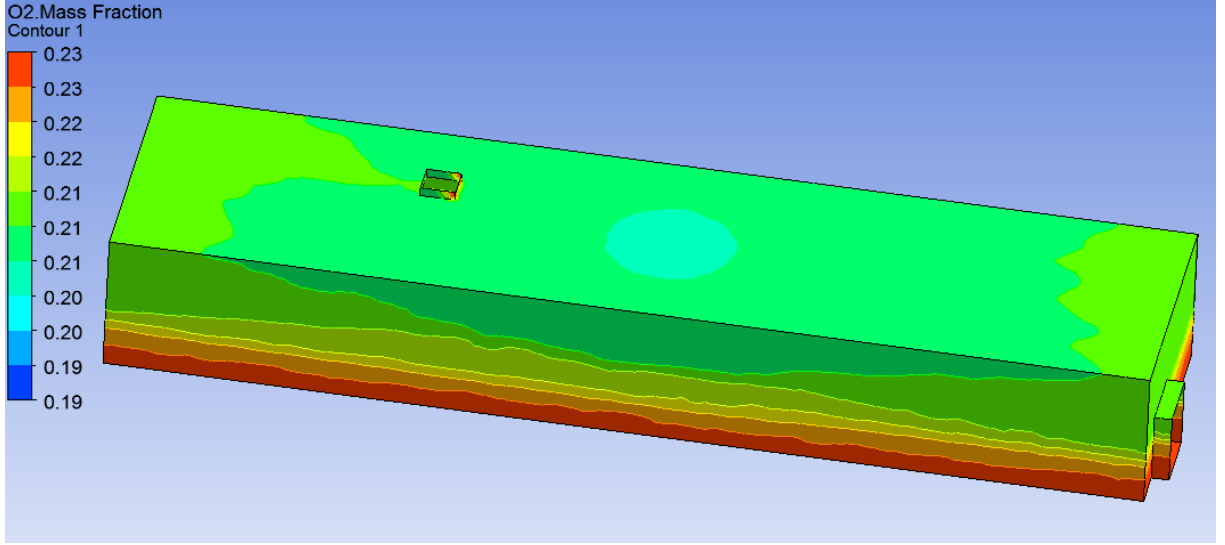
Tablo 4.16. Durum 6.1 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (6 MW yangın yükü, 7 440 m ³ hacim, 4 m ² tavan açıklığı)				
	O ₂	CO ₂ (ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2103	9858,21	76,25	160
	O ₂ (min.)	CO ₂ (ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1913	21 812	168,72	315
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1982	16 077,1	124,361	239

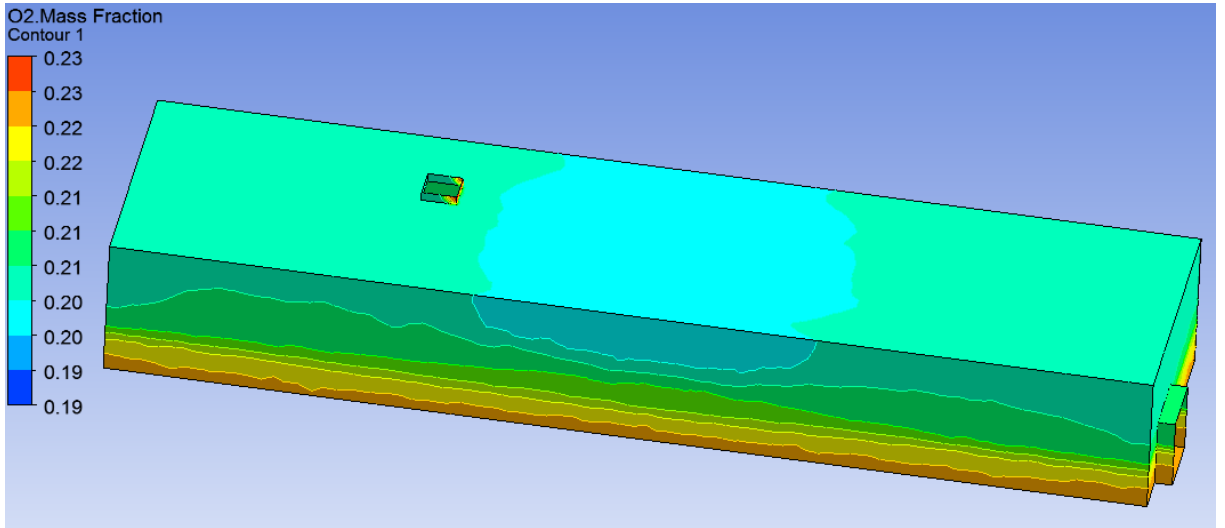
6 MW yangın yükü, 7 440 m³ hacim ve 4 m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



şekil 4.110. Durum 6.1 t =60. saniyede oksijen dağılımı

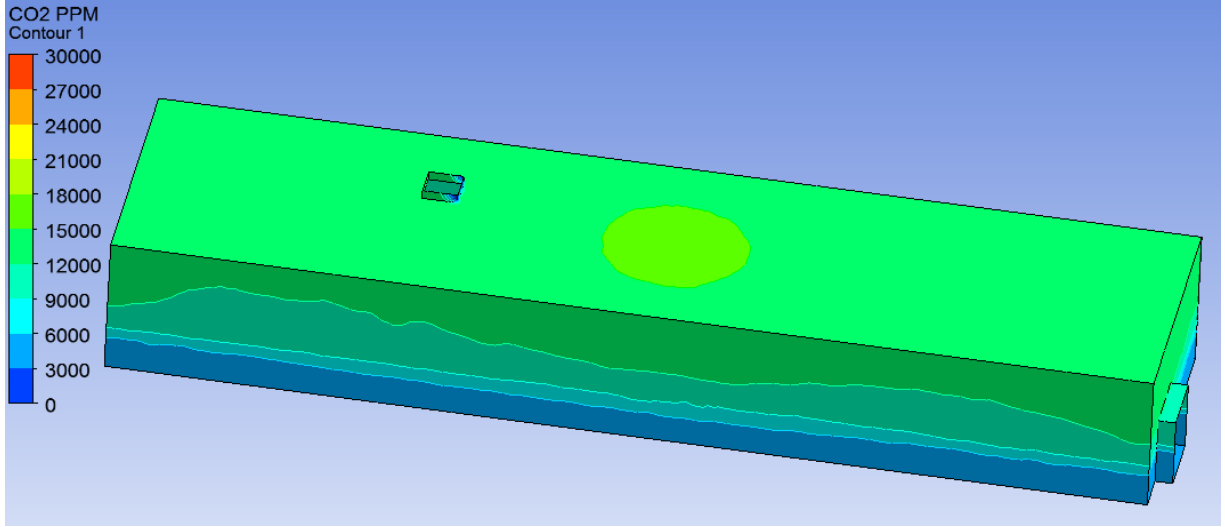


Şekil 4.111. Durum 6.1 t =180. saniyede oksijen dağılımı



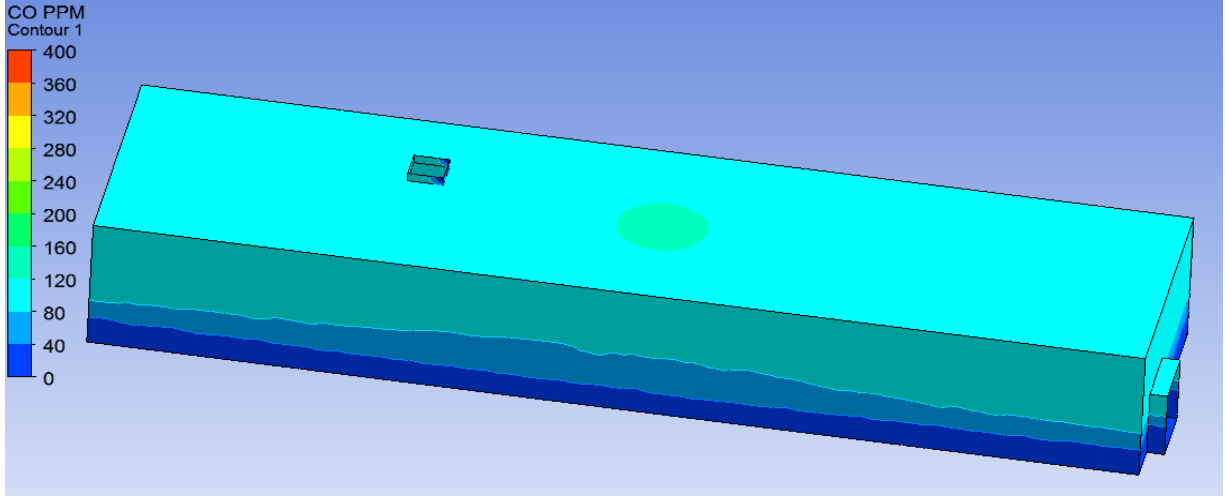
Şekil 4.112. Durum 6.1 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.110., Şekil 4.111. ve Şekil 4.112.'de sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 6 MW'lık yangın durumunda, tavanda 4 m² açıklık varken 250 saniye sonunda şekildeki alanın tavana yakın bölümlerinde kütesel olarak oksijen yüzdesi %20 (min 0,1982) civarındadır. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin ortalama %21 olduğu tespit edilmiştir.



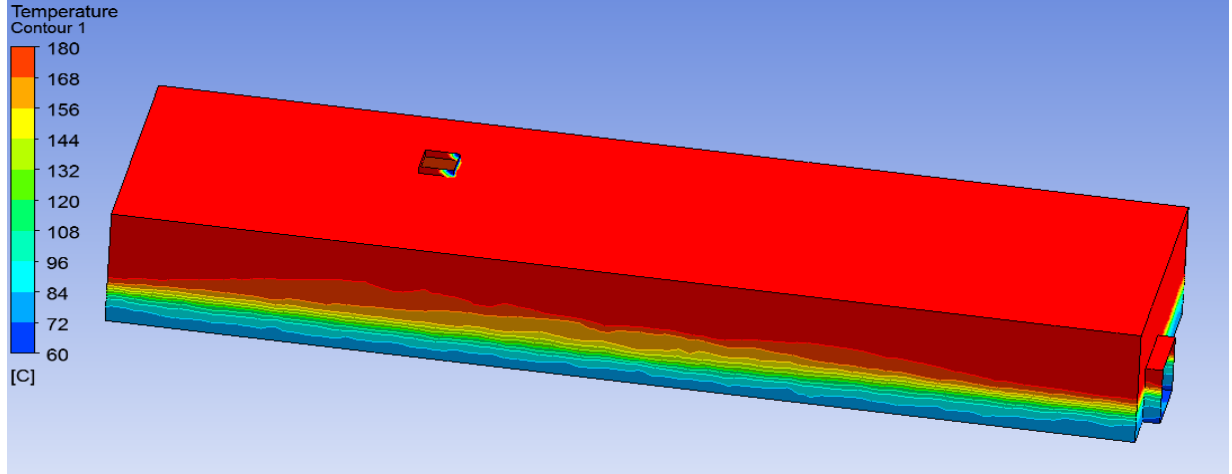
Şekil 4.113. Durum 6.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.113'te 6 MW yangın yükünde tavanda 4 m² açıklık olması durumunda, şekildeki hacmindeki maksimum karbondioksit (CO₂) seviyesi 21 000 ppm dir. 250 saniye sonunda işyeri küçük hacminde karbondioksit (CO₂) miktarı 9 858 ppm civarındadır. Yangın hacmine yaklaştıkça bu değer artmaktadır.



Şekil 4.114. Durum 6.1 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.114'te 6 MW yangın yükünde tavanda 4 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hacminde yaklaşık 200 ppm karbonmonoksit (CO) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda işyeri küçük hava hacminde ortalama 76 ppm civarında karbonmonoksit (CO) tespit edilmiştir. Yangın hacmine yaklaştıkça bu değer artmaktadır.



Şekil 4.115. Durum 6.1 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.115'te 6 MW yangın büyüklüğü ve şekildeki hacimde sıcaklık ortalaması yaklaşık 160 °C'ye ulaşmaktadır (Şekil 4.115.). Bu değer, 250. saniyede yerden 2 metre yükseklikte 80-100 °C olmakta, yani çalışanların 180 saniye içerisinde hacmi terk etmesi gerekmektedir.

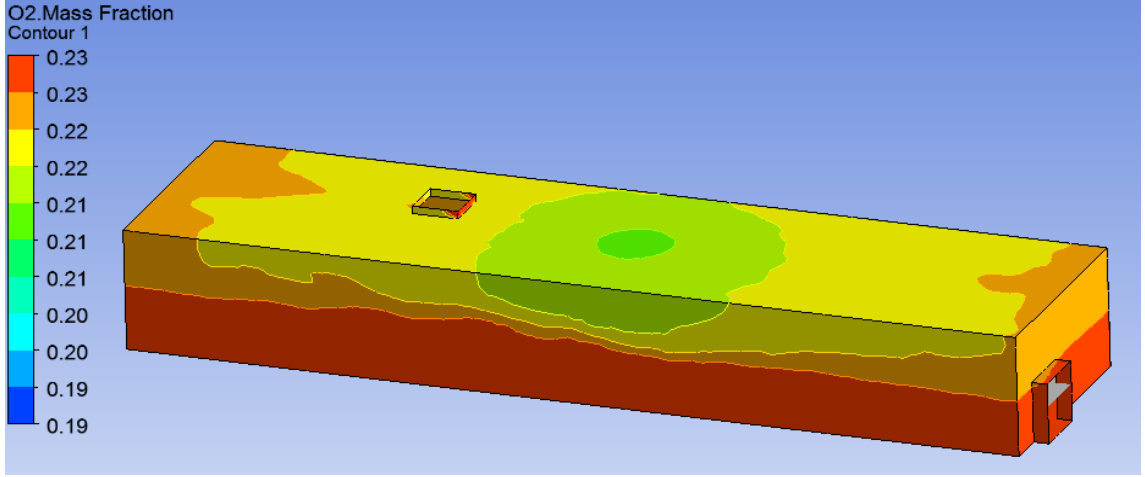
4.6.2. Durum 6.2: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m³ Hacim, 9 m² Tavan Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.17.'de 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

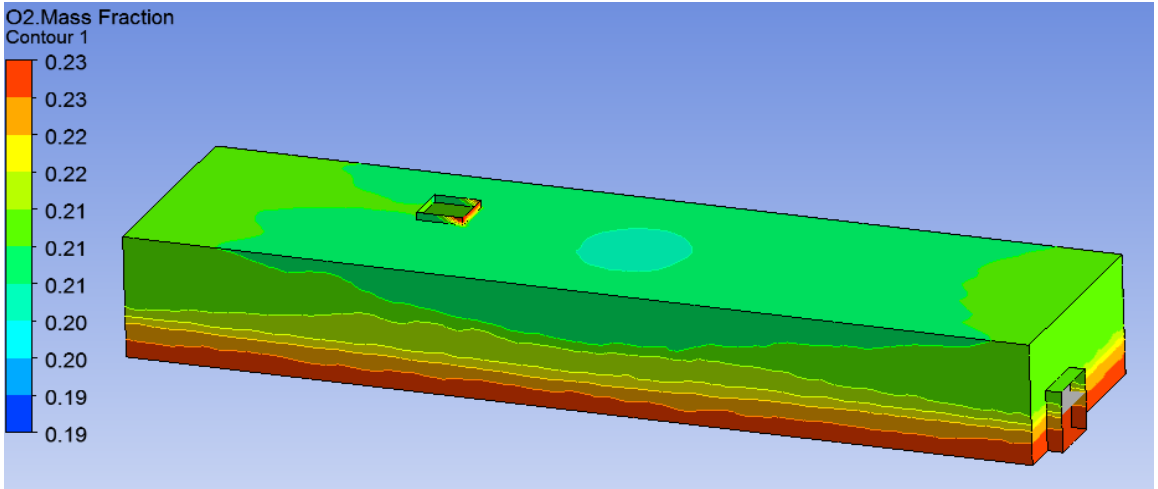
Tablo 4.17. Durum 6.2 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (6 MW yangın yükü, 7 440 m ³ hacim, 9 m ² tavan açıklığı)				
	O ₂	CO ₂ (ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2104	9 627,03	74,467	160
	O ₂ (min.)	CO ₂ (ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.)(°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1914	21 379,2	165,374	315
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1983	15 745,1	121,792	239

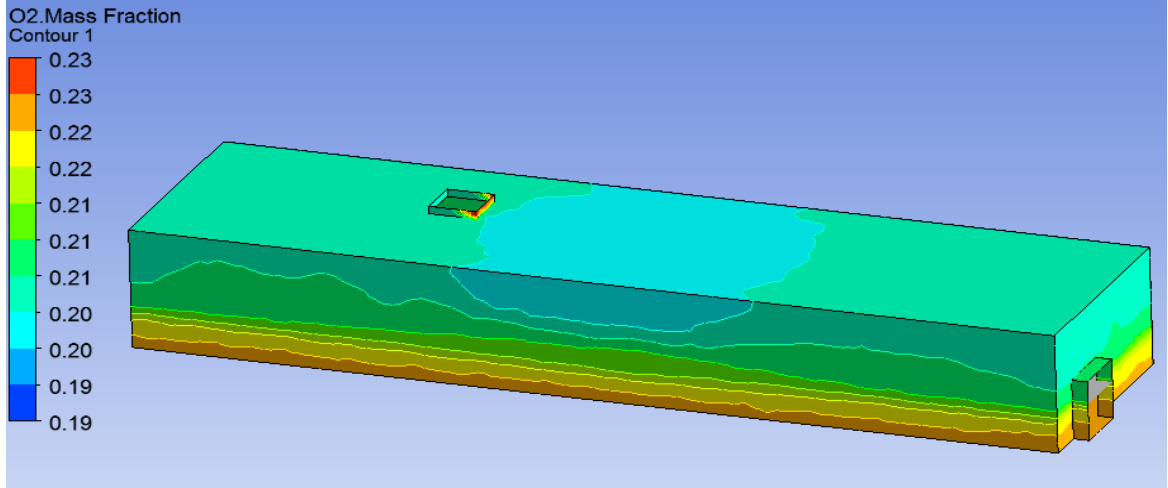
6 MW yangın yükü, 7 440 m³ hacim ve 9 m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.116. Durum 6.2 t =60. saniyede oksijen dağılımı

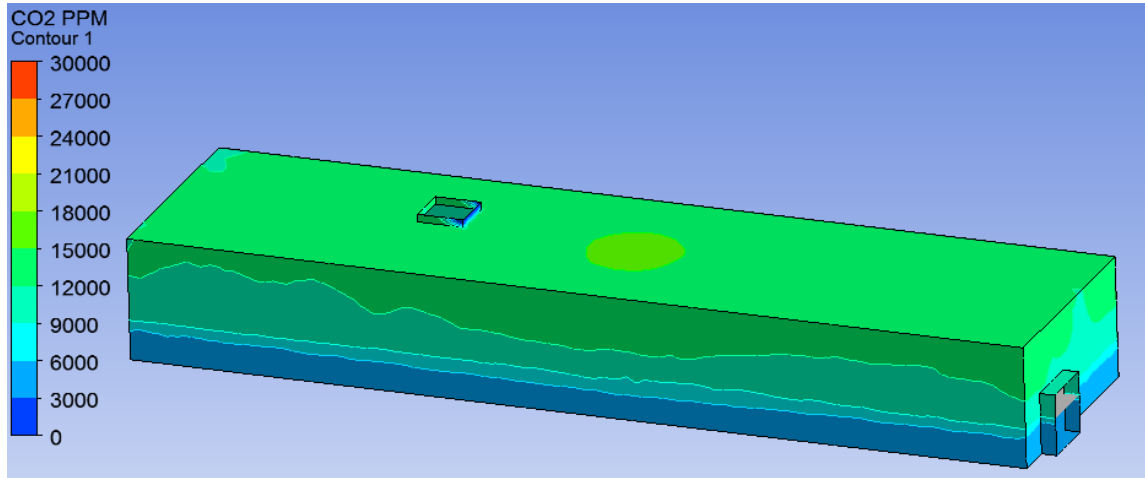


Şekil 4.117. Durum 6.2 t =180. saniyede oksijen dağılımı



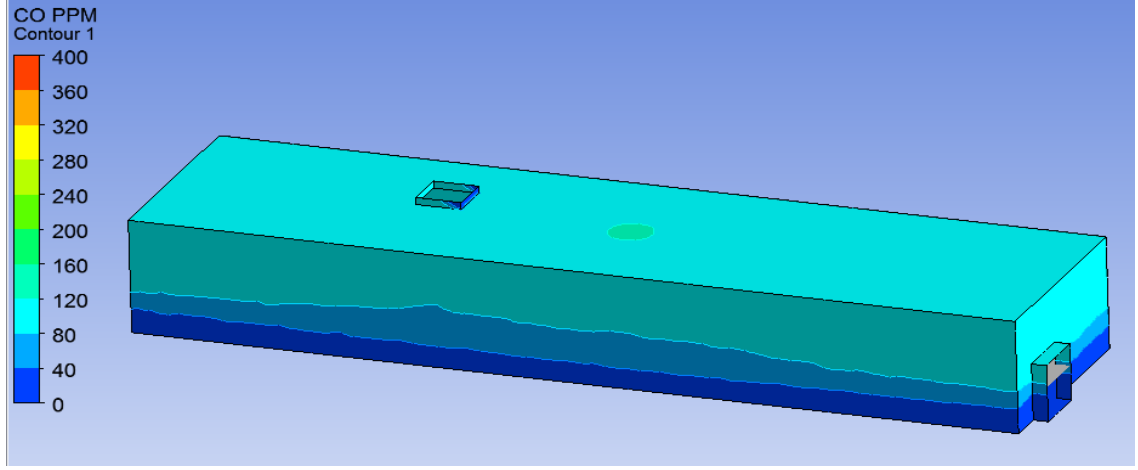
Şekil 4.118. Durum 6.2 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.116., Şekil 4.117. ve Şekil 4.118.'de sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 6 MW'lık yangın durumunda, tavanda 9 m² açıklık varken 250 saniye sonunda işyeri küçük hacminin tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %20 civarındadır. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin ortalama %21 olduğu tespit edilmiştir.



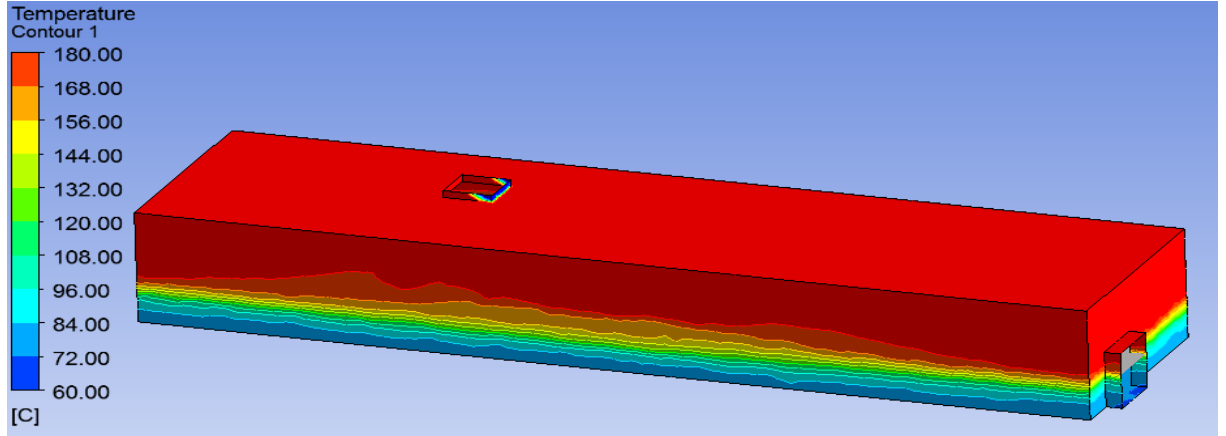
Şekil 4.119. Durum 6.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.119'da 6 MW yangın yükünde tavanda 9 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hava hacminde en fazla 21 300 ppm civarındaki karbondioksit (CO₂) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda hava hacminde ortalama karbondioksit (CO₂) miktarı 9 600 ppm civarındadır.



Şekil 4.120. Durum 6.2 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.120’de 6 MW yangın yükünde tavanda 9 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hacim alanında ortalama 165 ppm karbonmonoksit (CO) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda hava hacminde 74 ppm civarında karbonmonoksit (CO) tespit edilmiştir.



Şekil 4.121. Durum 6.2 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.121’de 6 MW yangın büyüklüğü ve şekildeki hacimde sıcaklık ortalaması yaklaşık 160 °C’ye ulaşmaktadır (Şekil 4.133.). Bu değer, 250. saniyede yerden 2 metre yükseklikte 80-100 °C olmakta, yani çalışanların 180 saniye içerisinde hacmi terk etmesi gerekmektedir.

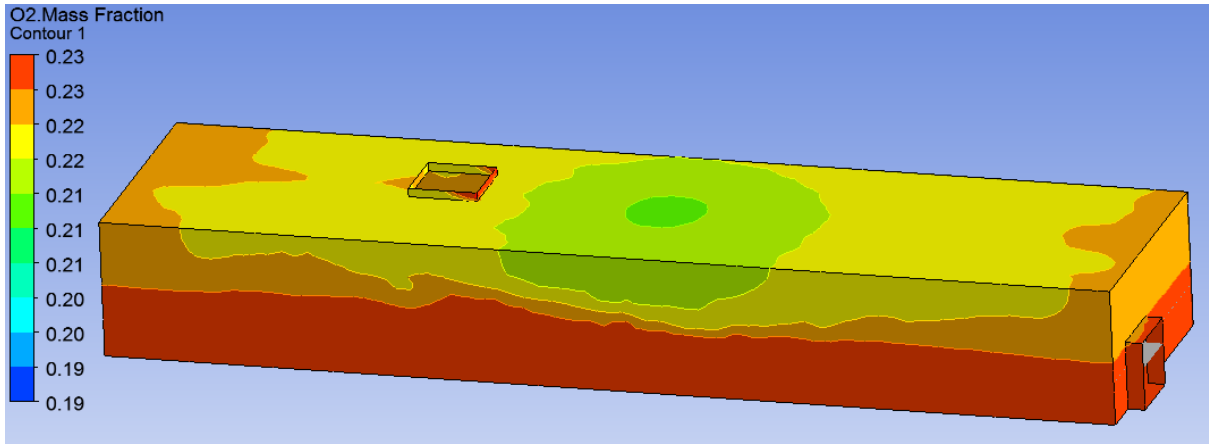
4.6.3. Durum 6.3: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m³ Hacim, 16 m² Tavan Açıklığı

Aşağıda yer alan Tablo 4.18.'de 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

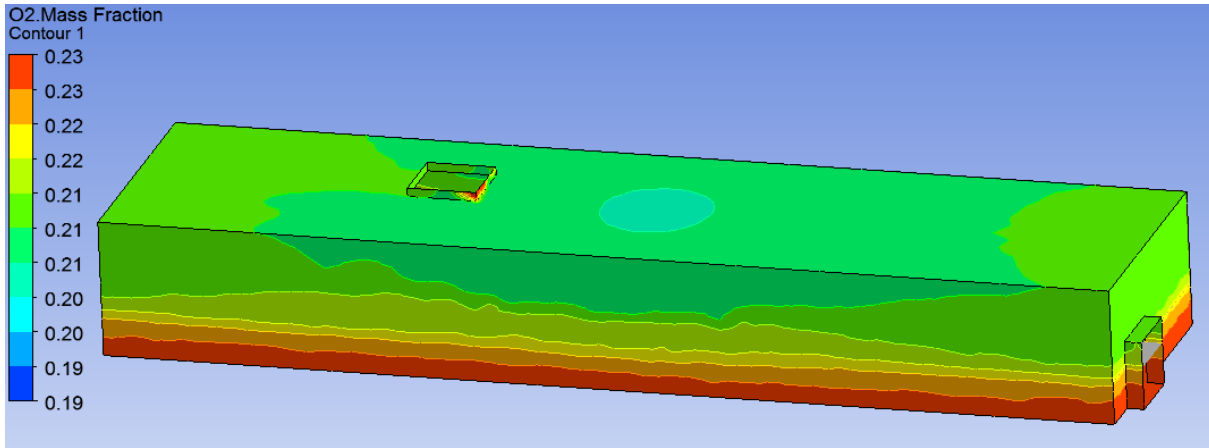
Tablo 4.18. Durum 6.3 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (6 MW yangın yüğü, 7 440 m ³ hacim, 16 m ² tavan açıklığı)				
	O₂	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık (°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2108	9 598,9	74,25	154
	O₂ (min.)	CO₂ (ppm) (mak.)	CO(ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.) (°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1908	2 181,8	168,7	312
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1985	15905,1	123,03	233

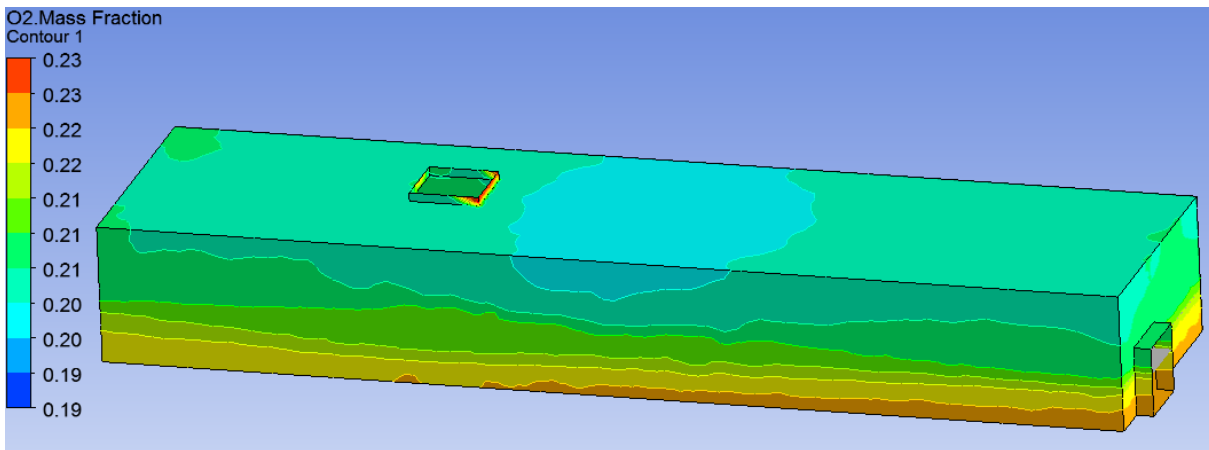
6 MW yangın yüğü, 7 440 m³ hacim ve 16 m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.122. Durum 6.3 $t = 60$. saniyede oksijen dağılımı

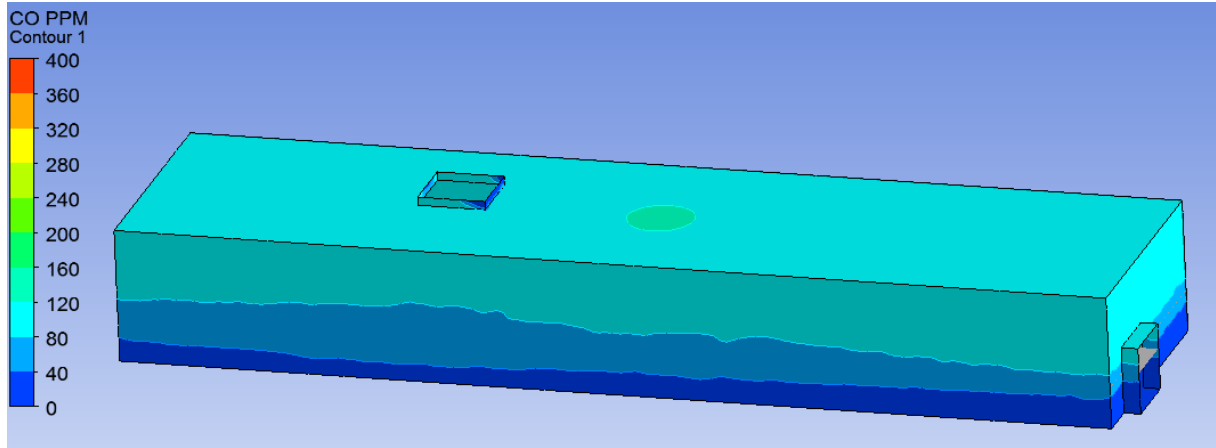


Şekil 4.123. Durum 6.3 $t = 180$. saniyede oksijen dağılımı



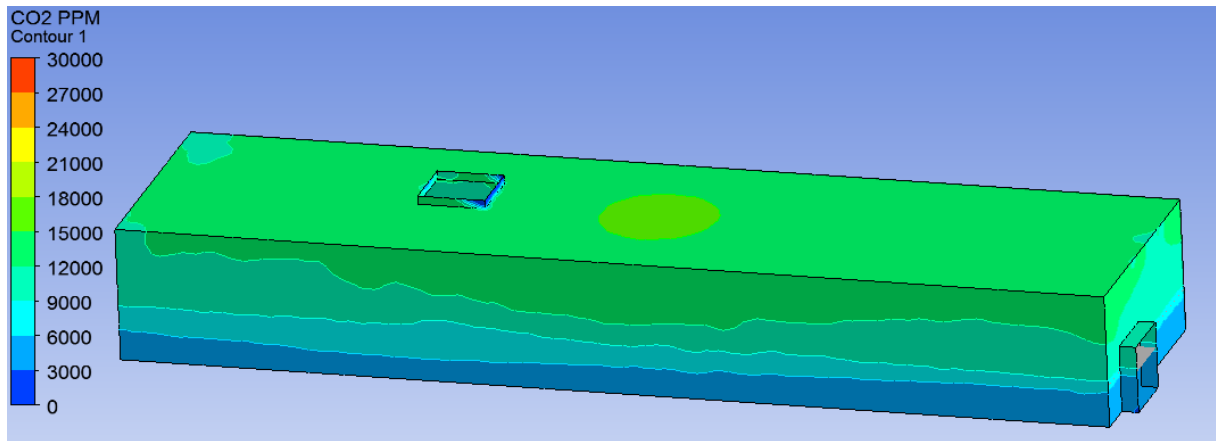
Şekil 4.124. Durum 6.3 $t = 250$. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.122., Şekil 4.123. ve Şekil 4.124.'de sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 6 MW'lık yangın durumunda, tavanda 9 m² açıklık varken 250 saniye sonunda işyeri küçük hacim alanın tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %20 (0,1985) civarındadır. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin ortalama %21 (ortalama 0,2108) olduğu tespit edilmiştir.



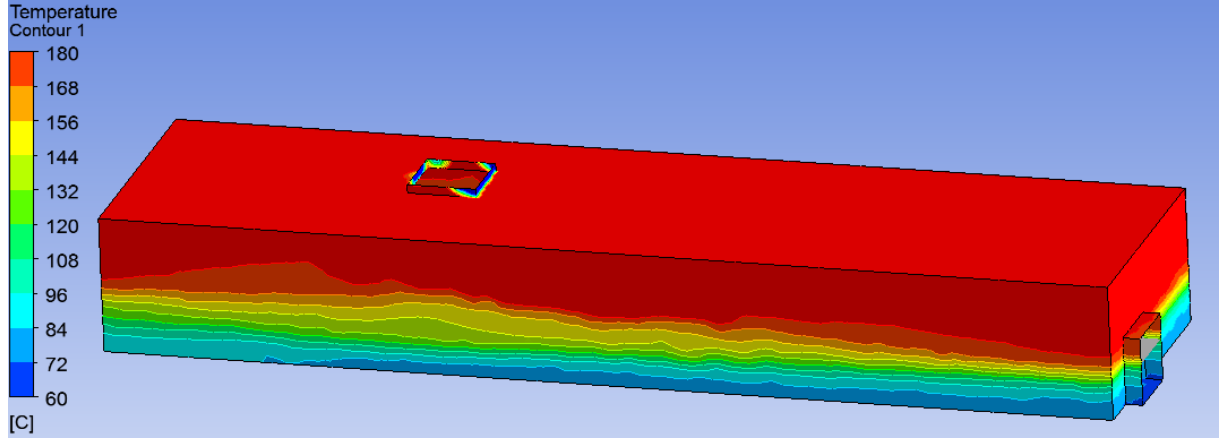
Şekil 4.125. Durum 6.3 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm)

Şekil 4.125'te, 6 MW yangın yükünde tavanda 9 m² açıklık olması durumunda, işyeri küçük hacminde en fazla 168 ppm karbonmonoksit (CO) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda hava hacminde 74 ppm civarında karbonmonoksit (CO) tespit edilmiştir.



Şekil 4.126. Durum 6.3 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.126’da 6 MW yangın yükünde tavanda 9 m² açıklık olması durumunda, küçük hacim maksimum 21 818 ppm değerine ulaşan karbondioksit (CO₂) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesite inmemektedir. 250 saniye sonunda hava hacminde ortalama karbondioksit (CO₂) miktarı 9 598 ppm civarındadır.



Şekil 4.127. Durum 6.3 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.127’de 6 MW yangın büyüklüğü ve şekildeki hacimde sıcaklık ortalaması yaklaşık 154 °C’ye ulaşmaktadır. Bu sıcaklık yerden 2 metre yükseklikte 80-100 °C olmakta, yani çalışanların 180 saniye içerisinde hacmi terk etmesi gerekmektedir.

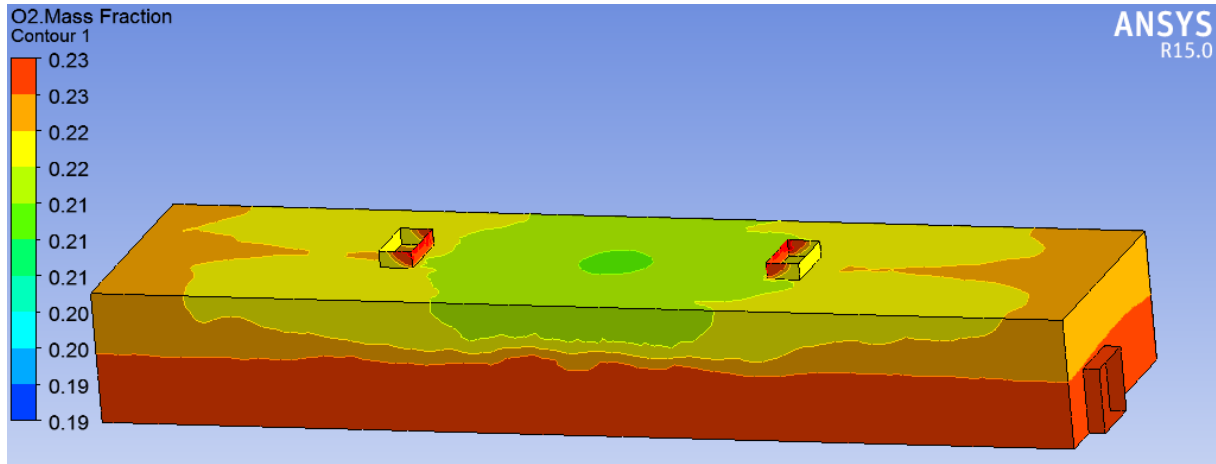
4.6.4. Durum 6.4: 6 MW Yangın Yüğü, 7 440 m³ Hacim, 16 m² Tavan Açıklığı, Tavanda 2 Açıklık

Aşağıda yer alan Tablo 4.19.’da 250 saniye sonunda modellenen, gazların dağılımı neticesinde iç duvar yüzeyinde ve hava hacminde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama gaz ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

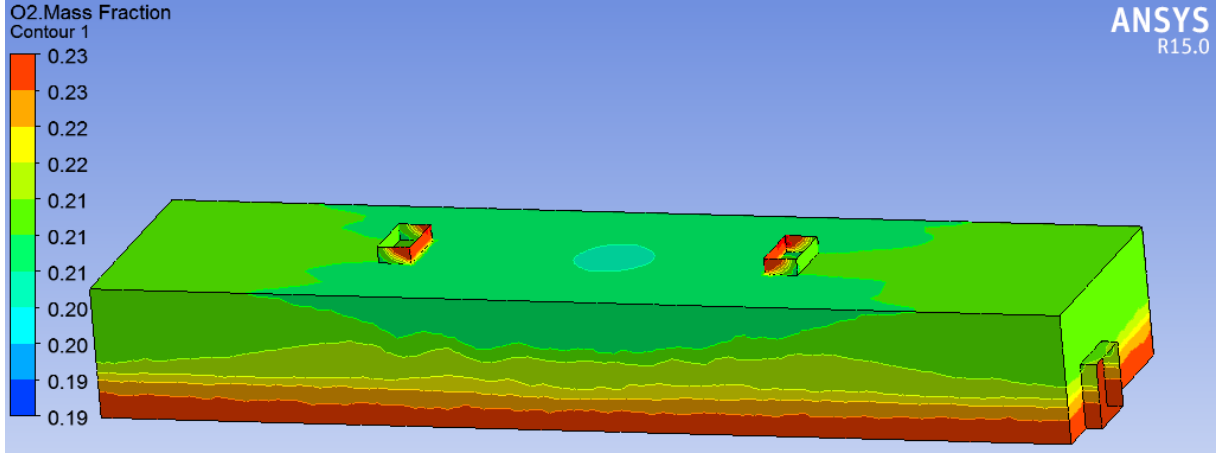
Tablo 4.19. Durum 6.4 sonucunda hava hacminde belirli noktalarında oluşan minimum, maksimum ve ortalama değerler

Hava Hacminde oluşan Minimum, Maksimum ve Ortalama Değerler (6 MW yangın yükü, 7 440 m ³ hacim, 8+8 m ² tavan açıklığı)				
	O₂(kütleselel %)	CO₂(ppm)	CO(ppm)	Sıcaklık(°C)
Hava Hacminde Ortalama Değerler	0,2113	9 370	72,4	155
	O₂ (min.)	CO₂ (ppm) (mak.)	CO (ppm) (mak.)	Sıcaklık (mak.) (°C)
Hava Hacmindeki Mak/Min Değerler	0,1922	21 348,7	165,137	312
İç Duvar Yüzeyindeki Mak/Min Değerler	0,1992	15 579,2	120,5	234

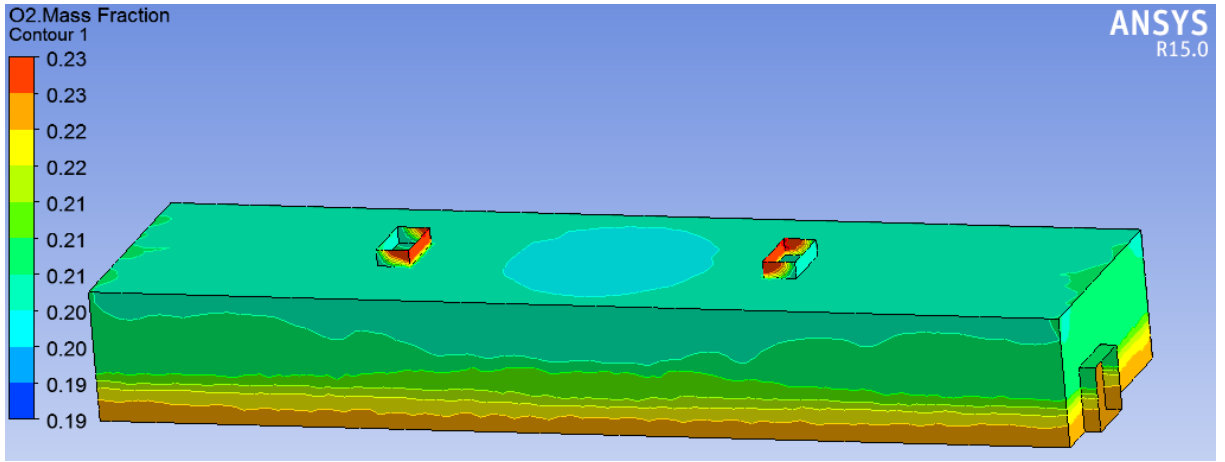
6 MW yangın yükü, 7 440 m³ hacim ve (8+8) m² tavan açıklığında analizler yapıldığında oksijen, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve sıcaklık dağılımları aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur.



Şekil 4.128. Durum 6.4 t =60. saniyede oksijen dağılımı

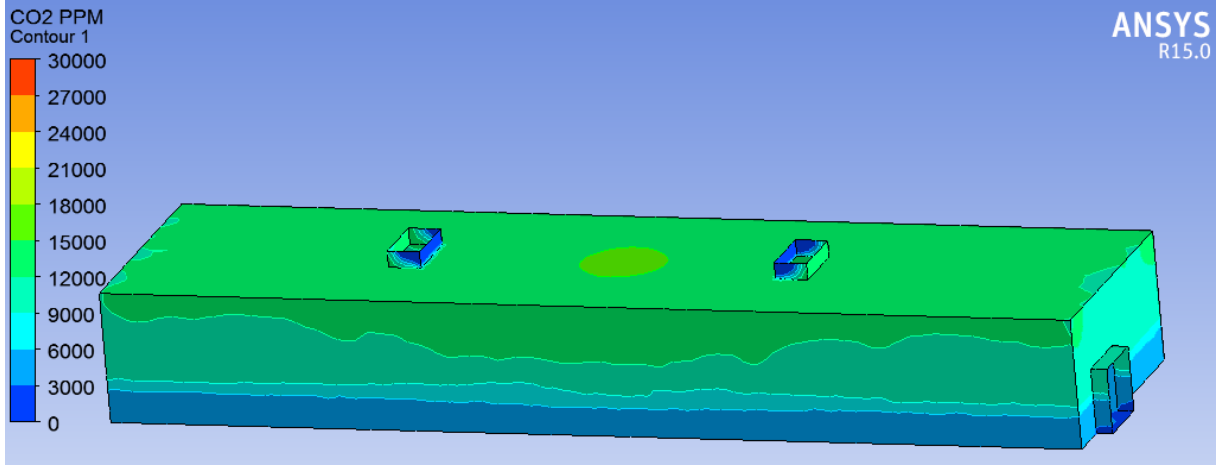


Şekil 4.129. Durum 6.4 t =180. saniyede oksijen dağılımı



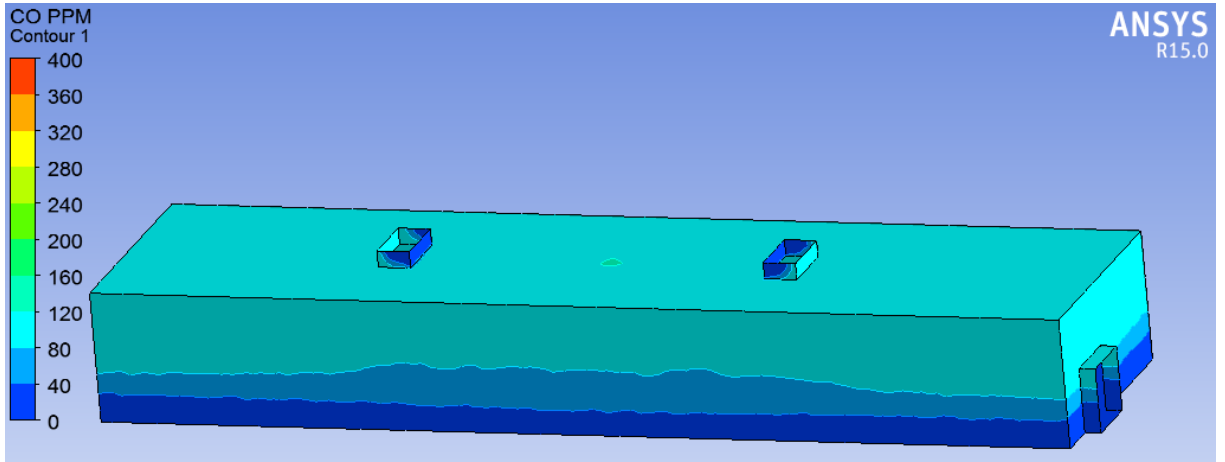
Şekil 4.130. Durum 6.4 t =250. saniyede oksijen dağılımı

Şekil 4.128. , Şekil 4.129., Şekil 4.130’da sırasıyla 60, 180. ve 250. saniyeler sonunda 6 MW’lık yangın durumunda, tavanda 2 adet 8 m²’lik açıklık varken ve kapılar kapalıyken 250 saniye sonunda işyeri alanın tavana yakın bölümlerinde kütleli olarak oksijen yüzdesi %20 seviyelerine düşmektedir. Çalışanların solunum bölgesinde oksijenin ortalama %21 (0,2128) olduğu tespit edilmiştir



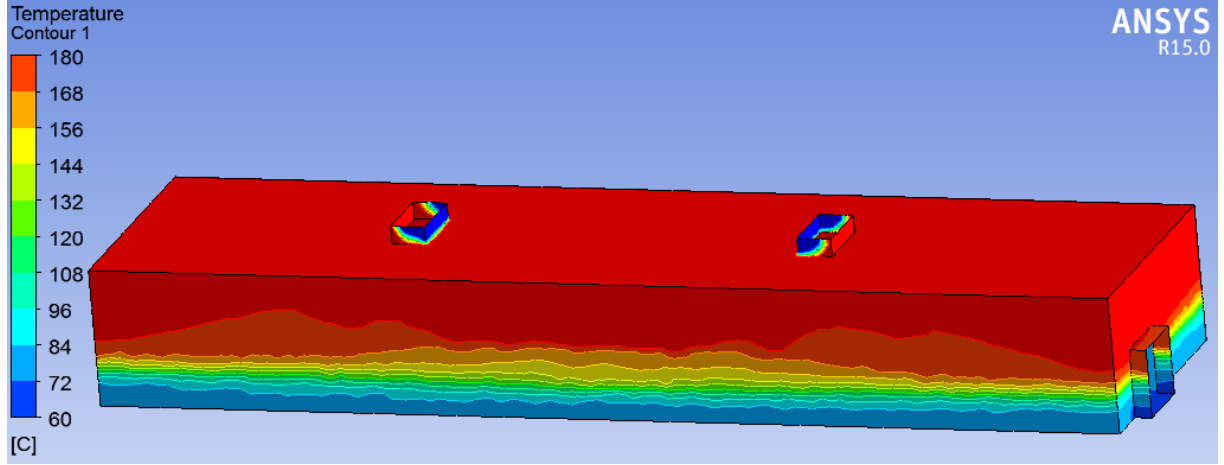
Şekil 4.131. Durum 6.4 t =250. saniyede karbondioksit (CO₂) dağılımı (ppm)

Şekil 4.131’de 6 MW’lık yangın durumunda, tavanda 2 adet 8 m²’lik açıklık varken ve kapılar kapalıyken, hava hacmi ortalamasında 9370 ppm civarında karbondioksit (CO₂) bulunmaktadır, Bu değer insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki bölge içinde daha az ve kritik seviyede değildir.



Şekil 4.132. Durum 6.4 t =250. saniyede karbondioksit (CO) dağılımı (ppm)

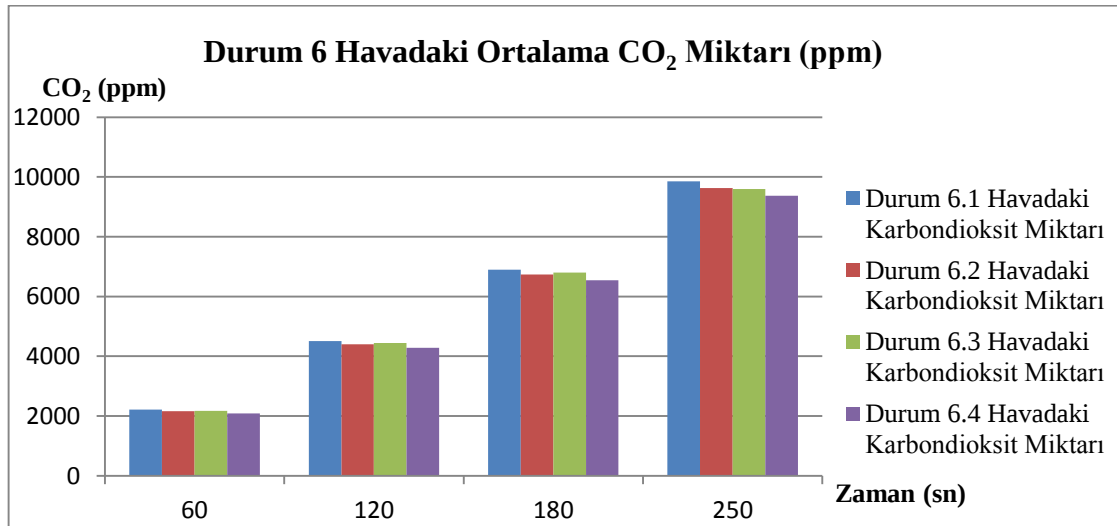
Şekil 4.132.’de 6 MW’lık yangın durumunda, tavanda 2 adet 8 m² lik açıklık varken ve kapılar kapalıyken hava hacminde bulunan ortalama 72 ppm karbonmonoksit (CO) seviyesi, insanlar için sınır bölge olarak alınan 2,5 m yüksekliğindeki kesitte 66 ppm civarındadır.



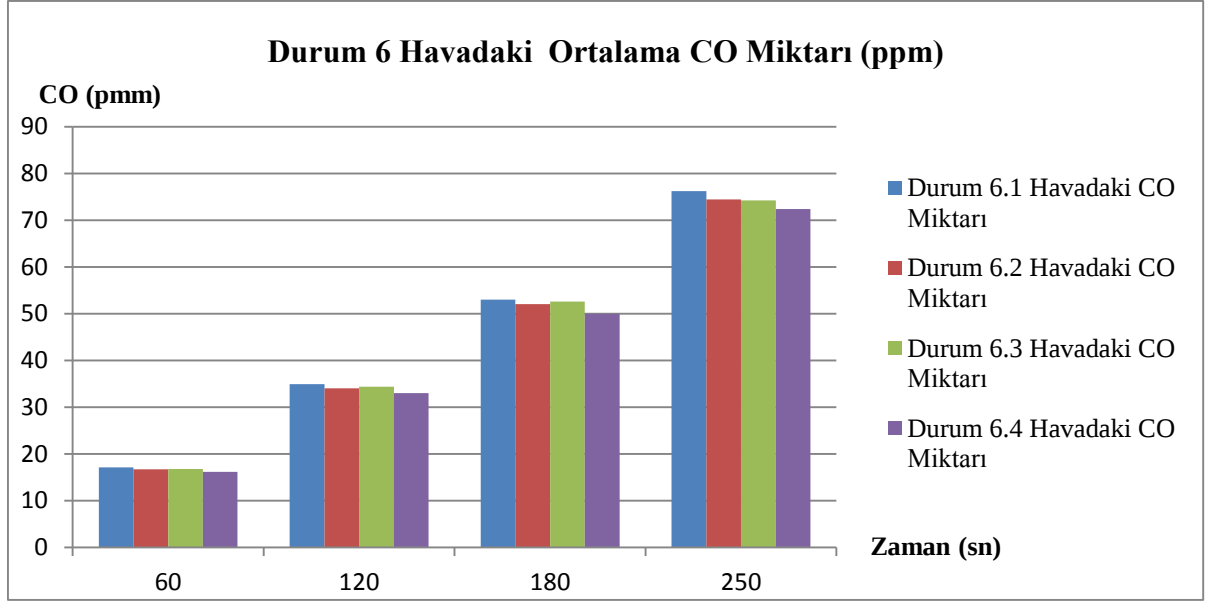
Şekil 4.133. Durum 6.4 t =250. saniyede sıcaklık dağılımı (°C)

Şekil 4.133'te 6 MW yangın büyüklüğündeki küçük hacimde sıcaklık ortalaması yaklaşık 155 °C'ye ulaşmaktadır (Şekil 4.133.). Bu değer, 250. saniyede yerden 2 metre yükseklikte 80-100 °C olmakta, yani çalışanların 180 saniye içerisinde hacmi terk etmesi gerekmektedir.

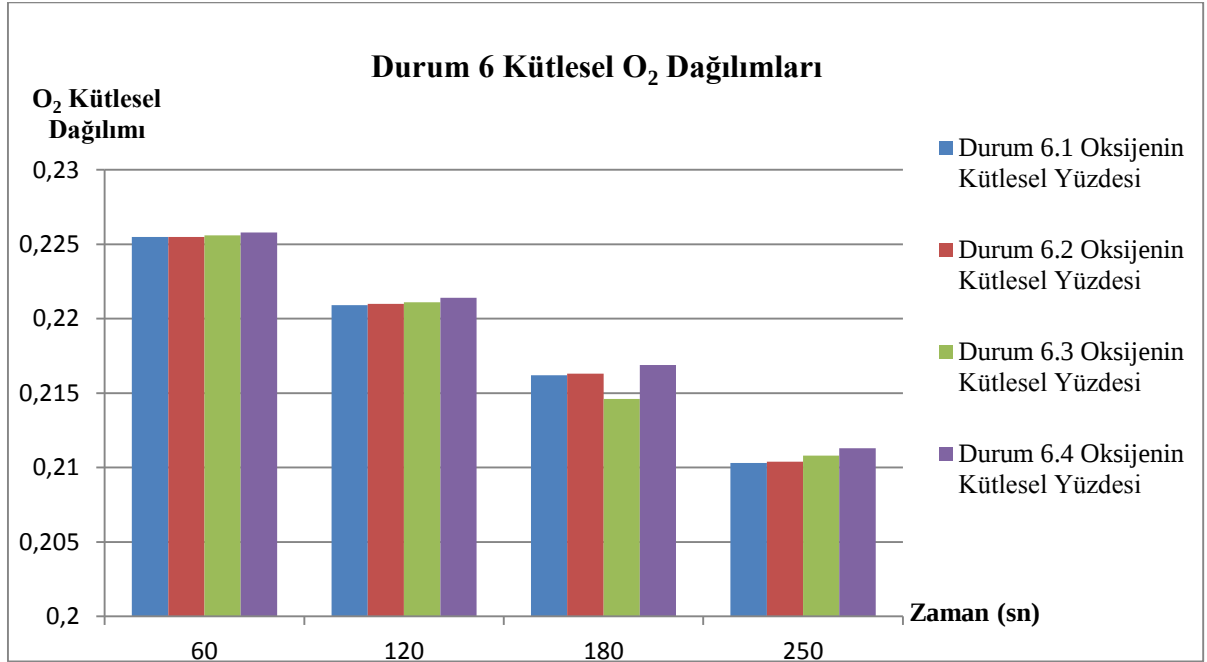
Şekil 4.134, Şekil 4.135 ve Şekil 4.136'da oksijen, karbonmonoksit (CO), ve karbondioksit (CO₂) dağılımları Durum 6 senaryoları içinde zamana bağlı olarak kıyaslanmıştır. Havadaki ortalama CO₂ miktarını zamana bağlı olarak dağılımlarının kıyaslandığı grafikte 250 saniye sonunda açıklık alanı en fazla olan değer en düşük CO₂ konsantrasyonuna sahiptir.



Şekil 4.134. Durum 6 senaryoları için havadaki ortalama CO₂ miktarının zamana göre dağılımı



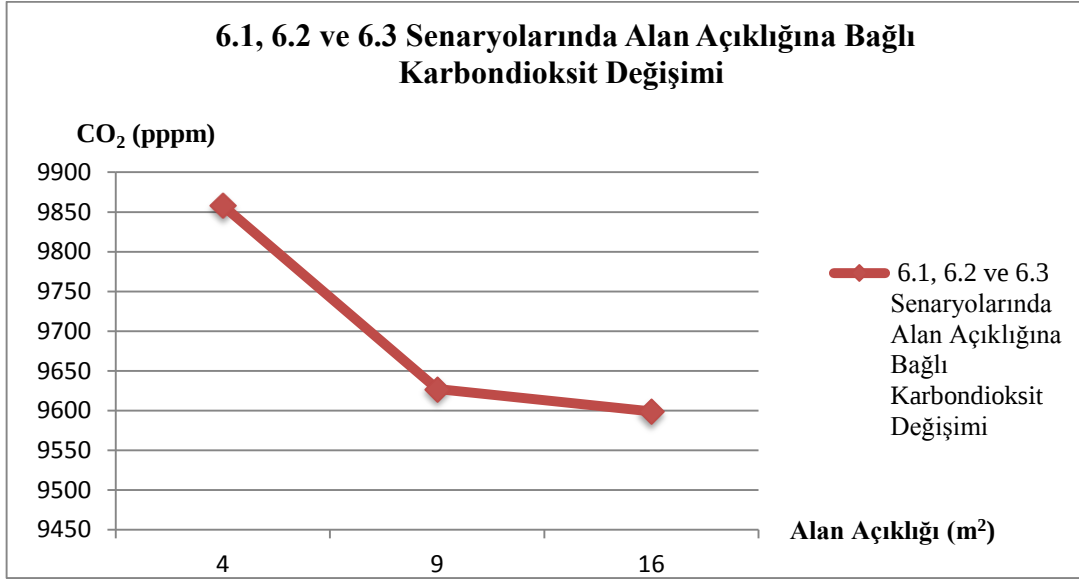
Şekil 4.135. Durum 6 senaryoları için havadaki ortalama CO miktarının zamana göre dağılımı



Şekil 4.136. Durum 6 senaryoları için havadaki ortalama O₂ miktarının zamana göre dağılımı

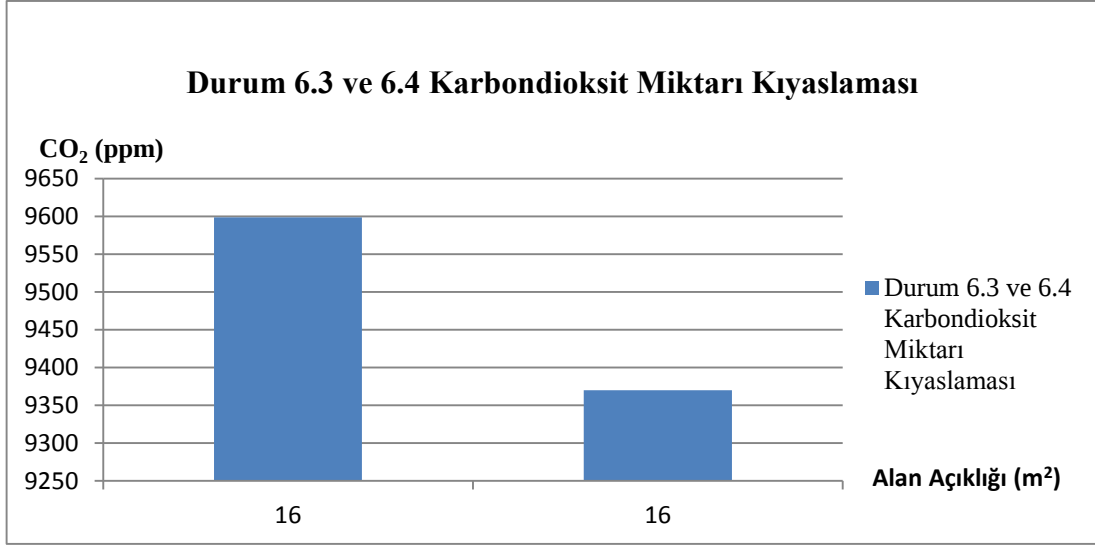
4.6.5. Alan Açıklığı Değişiminin İncelendiği Durum 6 Senaryoları İle İlgili Karşılaştırmalar

Şekil 4.137.'de görüldüğü üzere Durum 6.1 ve Durum 6.2 ve Durum 6.3 senaryolarında, alana bağlı CO₂ konsantrasyon değişimleri görülmektedir. Şekilden açıklık alanı arttıkça konsantrasyon değerinin düştüğü görülebilir.



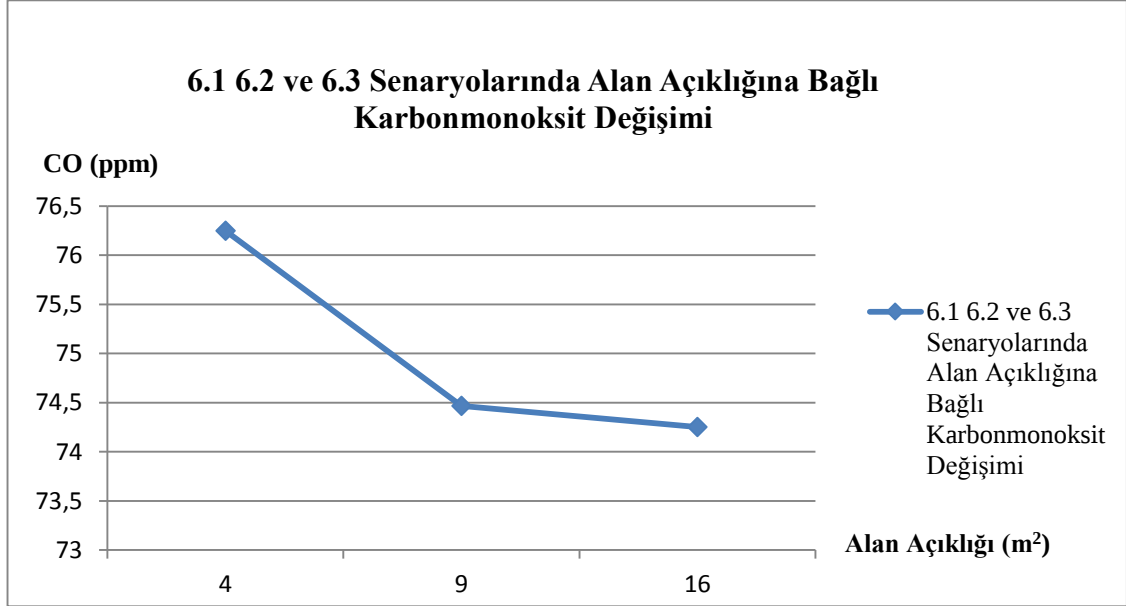
Şekil 4.137. Durum 6.1, Durum 6.2 ve Durum 6.3 senaryoları için CO₂ değişiminin alan açıklığına göre değişimi

Şekil 4.138.'de görüldüğü üzere Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryolarında, alan açıklıkları aynı (16 m²) ve her iki açıklık da tavanda bulunmaktadır. Ancak, iki senaryonun CO₂ değerlerinde farklılık görülmektedir. Çünkü konumlandırma Durum 6.3'teki alan açıklığı Durum 6.4'le aynı olmasına rağmen açıklıkların dağıtılması halinde daha etkin havalandırma sağladığı miktarlar gösterilmiştir.



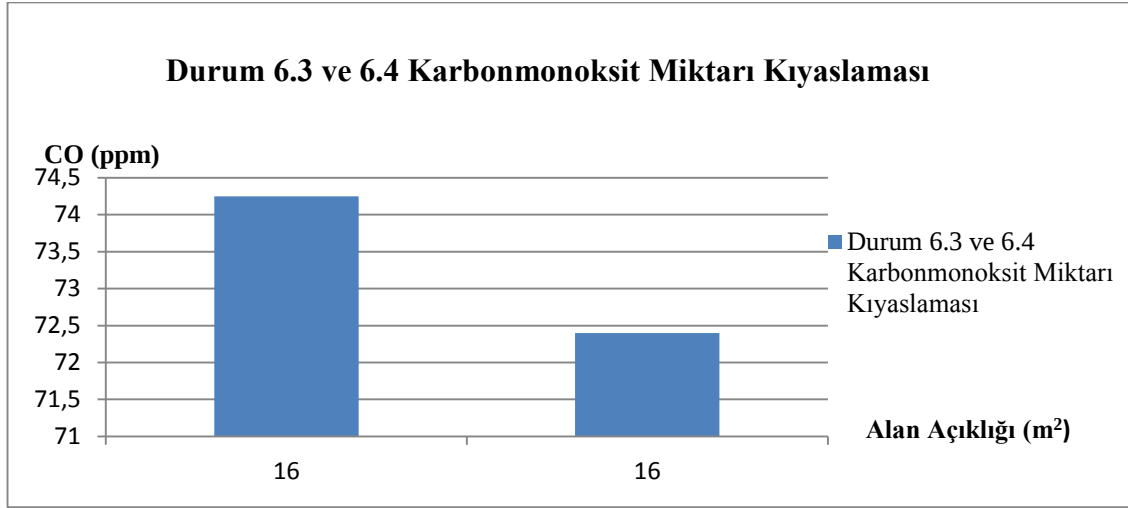
Şekil 4.138. Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryoları için CO₂ miktarının alan açıklığına göre değişimi

Şekil 4.139.'da Durum 6 ilk üç senaryosu için tavan açıklık alanı arttıkça karbonmonoksit (CO) değerinin azaldığı grafik şeklinde gösterilmektedir.



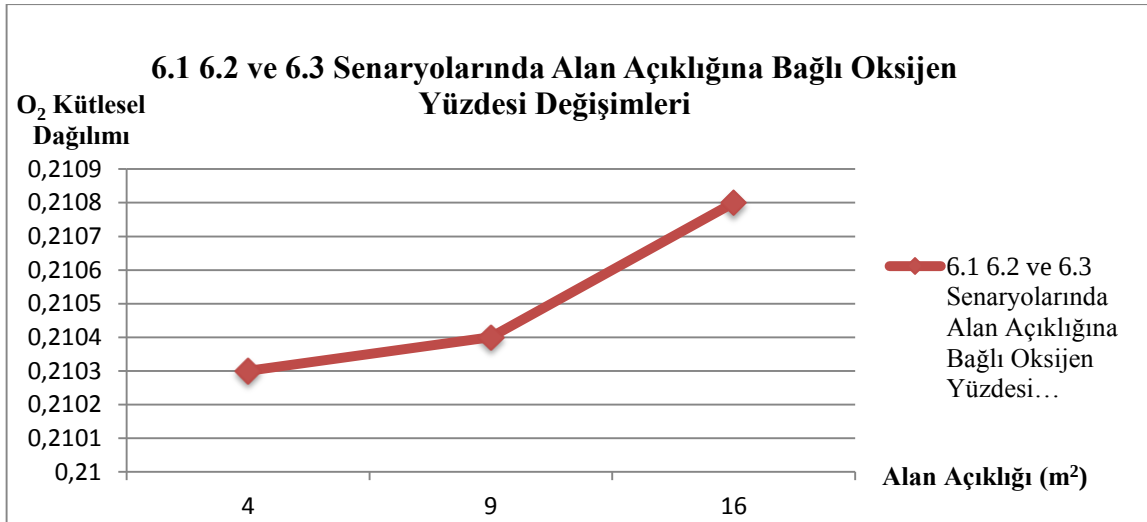
Şekil 4.139. Durum 6.1, Durum 6.2 ve Durum 6.3 senaryoları için CO değişiminin alan açıklığına göre değişimi

Şekil 4.140.'da görüldüğü üzere Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryolarında havalandırma açıklığının büyüklüğü aynı olmasına rağmen, 250 sn. sonundaki karbonmonoksit değerlerinde açıklıkların konumundan dolayı farklılık vardır. Durum 6.4 senaryosundaki değerler daha düşüktür. Aynı büyüklükteki alan açıklığını dağıtmak ve uygun konumlandırma yapmakla daha verimli sonuçlar alınmaktadır.



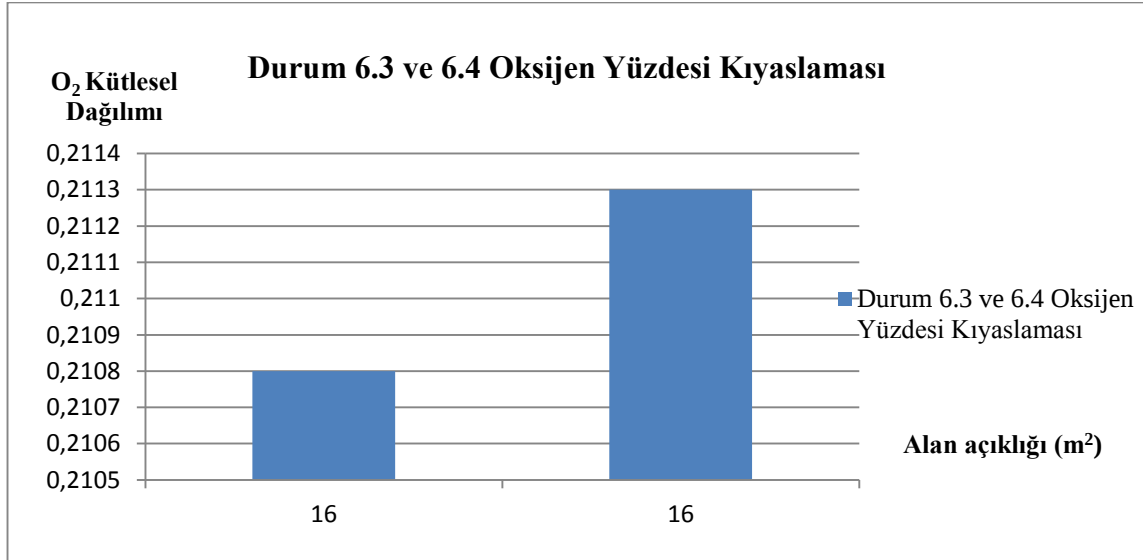
Şekil 4.140. Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryoları için CO miktarının alan açıklığına göre değişimi

Şekil.141'de Durum 1, Durum 2 ve Durum 3 senaryoları için kütleli oksijen yüzdesi tavan alan açıklığı arttıkça artmaktadır.



Şekil 4.141. Durum 6.1, Durum 6.2 ve Durum 6.3 senaryoları için O₂ değişiminin alan açıklığına göre değişimi

Şekil 4.142.'de görüldüğü üzere Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryolarında toplam aynı boyutlardaki havalandırma açıklığının konumundan dolayı oluşan, 250 sn. sonundaki kütlelesel O₂ yüzde farklılıkları göstermektedir. Toplam aynı büyüklükteki açıklığı eşit boyutta iki açıklık olarak konumlandırmak, daha etkin havalandırma sağlamaktadır.



Şekil 4.142. Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryoları için O₂ miktarının alan açıklığına göre değişimi

Tablo 4.20. Çalışma kapsamında ele alınan tüm senaryoların, ilgili değişkenlerinin ve senaryo sonuçlarının incelenmesi

Senaryo Adı	Hacim Büyüklüğü	Yangın Yüğü	Kapı Açıklığı	Tavan Açıklığı	O₂ (Ort.)	CO₂ (ppm) (Ort.)	CO (ppm) (Ort.)	Sıcaklık(°C) (Ort.)
Durum 1.1	33 540 m ³	6 MW	70 m ²	Yok	0,2254	2 280,6	17,64	61
Durum 1.2	33 540 m ³	6 MW	14 m ²	Yok	0,2254	2 291,1	17,72	61
Durum 2.1	33 540 m ³	10 MW	70 m ²	Yok	0,2223	3 824,8	29,58	60
Durum 2.2	33 540 m ³	10 MW	14 m ²	12,25 m ²	0,2236	3 196,6	24,72	55
Durum 2.3	33 540 m ³	10 MW	70 m ²	12,25 m ²	0,2237	3 141,1	24,92	54
Durum 2.4	33 540 m ³	10 MW	Yok	Yok	0,2226	3 662,5	28,33	59
Durum 2.5	33 540 m ³	10 MW	Yok	Yok	0,2216	4 204,2	32,52	61
Durum 3.1	26 100 m ³	10 MW	Yok	Yok	0,2207	4 639,2	35,88	67
Durum 3.2	26 100 m ³	10 MW	Yok	12,25 m ²	0,2215	4 232,9	32,74	63
Durum 3.3	26 100 m ³	10 MW	14 m ²	Yok	0,2201	4 937,7	38,19	69

Tablo 4.20. Çalışma kapsamında ele alınan tüm senaryoların, ilgili değişkenlerinin ve senaryo sonuçlarının incelenmesi (devam)

Senaryo Adı	Hacim Büyüklüğü	Yangın Yüğü	Kapı Açıklığı	Tavan Açıklığı	O ₂ (Ort.)	CO ₂ (ppm) (Ort.)	CO (ppm) (Ort.)	Sıcaklık(°C) (Ort.)
Durum 4.1	26 100 m ³	15 MW	Yok	Yok	0,2160	7 005,6	54,19	78
Durum 4.2	26 100 m ³	15 MW	Yok	12,25 m ²	0,2174	6 308,4	48,79	74
Durum 5.1	7 440 m ³	10 MW	Yok	4 m ²	0,1978	16 117,2	124	165
Durum 5.2	7 440 m ³	10 MW	Yok	9 m ²	0,1980	16 047,6	124,13	165
Durum 6.1	7 440 m ³	6 MW	Yok	4 m ²	0,2103	9 858,2	76,25	160
Durum 6.2	7 440 m ³	6 MW	Yok	9 m ²	0,2104	9 627,0	74,46	160
Durum 6.3	7 440 m ³	6 MW	Yok	16 m ²	0,2108	9 598,9	74,25	154
Durum 6.4	7 440 m ³	6 MW	Yok	(8+8) m ²	0,2113	9 370,2	72,4	155

5. TARTIŞMA

Bu çalışma ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımının bir yangın acil durumunda uygulanması ve elde edilen bulguların işyerinde alınması gereken teknik önlemlerin belirlenmesinde kullanılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, poliüretan sünger üreten bir fabrikada çeşitli yangın senaryoları kurgulanmıştır. Doğal duman tahliyesinde kullanılan mevcut açıklık alanlarının yeterliliği ve önerilecek ek tavan açıklıklarıyla birlikte gaz ve sıcaklık dağılımı modellemesi Fluent adlı HAD programıyla incelenmiştir.

Çalışmanın yapıldığı geniş hacim iki farklı bölümden oluşmaktadır. Bu iki bölümde toplam çalışan sayısı 156'dır. İlk bölümün hacmi 26 100 (60 x 58 x 7,5) m³ ikinci bölümün hacmi ise 7 440 (60 x 15,5 x 8) m³'tür. Bu iki bölüm arasındaki geçiş, 4x4 m ebatlarındaki bir kapı aracılığıyla sağlanmaktadır. Ele alınan tüm hacim toplamı 33 540 m³'tür. 26 100 m³ hacmindeki büyük hacim, 7 440 m³ hacmindeki küçük hacim ve iki bölümün toplamından oluşan 33 540 m³ olan tüm hacim olmak üzere üç farklı hacim için duman yayılım analizi yapılmıştır. Hacmin 5 adet dışa açılan farklı ebatlarda kapısı bulunmaktadır.

Yangın esnasında oluşan dumanın içeriğini, konsantrasyonunu ve yangının büyüklüğünü yanan maddenin cinsi doğrudan etkilemektedir. Çalışmanın yapıldığı işletmede kullanılan esnek poliüretan süngerin yanması neticesinde karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) açığa çıkmaktadır. Analiz öncesinde hesaplamalarda Tewarson (2008)'de yer alan poliüretan süngerinin kimyasal yanma denklemi kullanılmıştır.

Yangın senaryolarında 6 MW, 10 MW ve 15 MW yangın büyüklükleri seçilmiş olup, her bir yangın büyüklüğü için açıklık boyutları veya yangın bölgesi değiştirilerek farklı yangın senaryoları oluşturulmuş ve zamana bağlı olarak incelenmiştir.

Bu senaryolar:

- Tüm hacim kısmında 6 MW yangın büyüklüğü için kapı açıklık değişimlerinin incelendiği birinci durumu,
- Tüm hacim kısmı için 10MW yangın yükünde, kapı açıklıkları, tavana yerleştirilmesi öngörülen açıklık ve ayrıca yangın yeri değişiminin irdelendiği ikinci durumu,

- Büyük hacim kısmı için 10 MW yangın yükünde, kapı ve tavan açıklık değişimlerinin incelendiği üçüncü durumu,
- Büyük hacim kısmı için 15 MW yangın yükünde, tavan açıklık değişimlerinin incelendiği dördüncü durumu,
- Küçük hacim kısmı için 10 MW yangın büyüklüğünde, tavan açıklık değişiminin incelendiği beşinci durumu,
- Küçük hacim kısmı için 6 MW yangın büyüklüğünde, farklı ebat ve konumdaki tavan açıklıklarının duman tahliyesine etkisinin incelendiği altıncı durumu ele almaktadır.

Yapılan sayısal çözümleme neticesinde, tüm hacim kısmındaki 6 MW yangın senaryolarında 250 saniye sonunda temiz alt bölge yüksekliği, sıcaklık değeri ve gaz konsantrasyonu parametrelerinin çalışanların sağlığını tehdit edecek kritik seviyelerde olmadığı görülmüştür. Tüm hacim kısmındaki 10 MW yangın senaryolarında ise bu değerler daha yüksek seviyelere çıkmakta olup, çalışan sağlığını tehdit edecek bir durum oluşmamıştır. 15 MW yangın senaryoları incelendiğinde, en yüksek değerlere bu senaryolarda ulaşılmaktadır. Ancak, durum kritik değildir.

6 MW ve 10 MW büyüklüğündeki yangınların sadece küçük hacim kısmında gerçekleşmesi durumunda, kritik değerler elde edilmiştir. Sıcaklığın, küçük hacim kısmında ortalama 150°C gibi kritik bir değere ulaştığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular değişen parametrelere göre kıyaslanarak tartışılacak olursa;

- ❖ 10 MW yangın yükünde işyerinde tüm hacmin (33 540 m³) modellendiği ve tavanda açıklık olmayan Durum 2.1 ile, tavana yerleştirilecek 12,25 m² lik bir açıklığın incelendiği Durum 2.3 karşılaştırıldığında, açıklığın işyeri hava ortalamasına etkisi şu şekildedir:
 - Durum 2.3'te CO konsantrasyonunun %17,9 oranında, CO₂ konsantrasyonunun ise %17,8 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ortamda bulunan O₂ konsantrasyonunda ise %0,63 artış olduğu bulunmuştur.

- ❖ 10 MW yangın yükünde, tüm hacimde modellenen ve açıklığın olmadığı, sadece yangın yerlerinin değiştiği Durum 2.4 ve Durum 2.5'te bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında:
 - Yangının küçük hacimde, yani Durum 2.5'te çıkması halinde işyeri hava ortalamasındaki CO₂ konsantrasyonunun %2,38, CO konsantrasyonunun ise %2,4 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yangının, Durum 2.5'teki koşullarla başlamasının Durum 2.1'deki koşullarla başlamasına göre, 250 saniye sonunda tüm hacmin ortalama sıcaklığını 2,4 °C artırıcı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.
 - Bunun nedeni aynı geometride sadece yangın yeri değişiminin kütle akış hızında farklılıklar oluşturması olmuştur. Radyasyon ihmal edildiği için Newton'un soğutma kanununa göre alan küçüldüğünde, akış hızı arttığından sıcaklık değişimi küçük hacim kısmında daha çabuk olmuştur. Küçük hacim kısmında yangının başlangıç aşamalarında daha hızlı kütsel akış söz konusu olmaktadır. Yani sistem kararlı hale gelmeden önce dar alanda sıcaklık yükselmesi daha yüksek düzeyde olacak ama zamanla geniş alanla aynı değere gelecektir.
- ❖ Yine 10 MW yangın yükünde, büyük hacim kısmında (26 100 m³) açıklık olmayan Durum 3.1 ve tavana yerleştirilecek 12,25 m² açıklığının ele alındığı Durum 3.2 incelendiğinde açıklığın işyeri hava ortalamasına etkisi şu şekildedir:
 - Açıklığın olduğu Durum 3.2'de CO konsantrasyonu ve CO₂ konsantrasyonu %8,7 oranında azalmış, O₂ konsantrasyonunu ise %0,36 artış olduğu bulunmuştur.
- ❖ Aynı zamanda, tavana eklenen 12,25 m² açıklığın duman konsantrasyonunu azaltmadaki etkisi, 10 MW yangın yükü ve aynı hacimde (26 100 m³) değişkenleri sadece kapı açıklığı (14 m²) olan Durum 3.3 ile sadece tavan açıklığı olan (12,25 m²) Durum 3.2 kıyaslandığında da doğrulanmaktadır:
 - Sadece 14m² kapı açıklığının olduğu Durum 3.3'ten sadece tavan açıklığının olduğu Durum 3.2'ye geçilmesi halinde işyeri ortamında %14,4 daha az CO konsantrasyonu ve %14,5 daha az CO₂ konsantrasyonu olmakta ve %0,64 daha fazla O₂ bulunmaktadır. Daha küçük alana sahip tavan açıklığının çok daha verimli olduğu görülmüştür.

- ❖ 15 MW'lık yangın yükünün büyük hacim kısmında ($26\ 100\ m^3$) açıklık bulundurmeyen Durum 4.1 ile $12,25\ m^2$ 'lik tavan açıklığı konumlandırılan Durum 4.2 arasındaki açıklığın etkisi şu şekildedir:
 - Durum 4.2'de işyeri hava hacmi ortalamasındaki CO_2 ve CO konsantrasyonunun, Durum 4.1'e kıyasla %10 oranında azaldığı, O_2 konsantrasyonunun ise %0,64 oranında arttığı görülmüştür.
- ❖ 7 740 m^3 büyüklüğündeki küçük hacimde 10 MW'lık yangın senaryolarının incelendiği Durum 5.1 ve Durum 5.2 senaryoları arasında, $4\ m^2$ ve $9\ m^2$ 'lik tavan açıklıklarının farkının duman tahliye etkisi şu şekildedir:
 - Durum 5.1'deki $4\ m^2$ 'lik açıklık olması durumu ile Durum 5.2'deki $9\ m^2$ 'lik açıklık durumları kıyaslandığında; $9\ m^2$ 'lik açıklık durumunda CO ve CO_2 konsantrasyonun $4\ m^2$ açıklık durumuna göre %0,43 oranında azaldığı tespit edilmiştir. O_2 konsantrasyonu incelendiğinde ise %0,1 oranında arttığı görülmüştür.

7 440 m^3 olan küçük hacimdeki 6 MW ve 10 MW yangın yükleri, işyerinde nakliye öncesinde bekletilen sünger blokların fazla olması, yani üretim yerinin depo amaçlı kullanıldığı durumların düşünülmesi üzerine, bu hacim için kritik yangın büyüklükleri olarak seçilmiştir.

- ❖ Küçük hacim kapsamında incelenen senaryo olan Durum 6'da tavanda biriken karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO_2) gibi gazların dışarıya atılması için tavanda oluşturulan 3 farklı açıklığın boyutunu arttırmak, duman miktarını daha çok azaltmıştır. Durum 6.3 ve Durum 6.4 senaryoları aynı yangın yükü, aynı hacim ve aynı açıklık alanı için açıklık alanının konumunun değiştirilmesi ve dağıtılması üzerine kurgulanmıştır. İki senaryo arasında oluşturulan geometrik fark ile tek bir açıklık alanı yerine farklı noktalara konumlandırılmış aynı boyutlardaki açıklığın duman tahliyesi için daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Geometriye göre açıklık yerleşiminin yatay biçimde yapılması aynı alana sahip tek açıklık yerine iki eşit alana ayrılıp açıklıkların konumlandırılması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

- Durum 6.1’de modellenen 4 m²lik açıklık olması durumu ile Durum 6.2’de modellenen 9 m²’lik açıklık durumları kıyaslandığında; 9 m²lik açıklık durumunda işyeri küçük hacim kısmının CO ve CO₂ konsantrasyonun 4 m² açıklık durumuna göre %2,3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. O₂ konsantrasyonu incelendiğinde ise %0,4 oranında arttığı görülmüştür.
- Durum 6.1’de modellenen 4 m²’lik açıklık olması durumu ile Durum 6.3’de modellenen 16 m²’lik açıklık durumları kıyaslandığında; 16 m²’lik açıklık durumunda işyeri küçük hacim kısmının CO ve CO₂ konsantrasyonun 4 m² açıklık durumuna göre %2,6 oranında azaldığı tespit edilmiştir. O₂ konsantrasyonu incelendiğinde ise %0,23 oranında arttığı görülmüştür.
- Durum 6.3. ve Durum 6.4 arasında ise tavanlarında 16 m²’lik açıklığın farklı konumlandırılmasından kaynaklanan konsantrasyon farkı vardır. Durum 6.3’te açıklık tek parça halinde ve 16 m²’dir. Durum 6.4’te değişen ise tavan açıklıklarının 8’er m²’lik iki ayrı parça halinde konumlandırılmasıdır. Bu değişikliğin etkisi şu şekildedir: Durum 6.3’ten Durum 6.4 durumuna geçildiğinde CO₂ konsantrasyonun %2,38 oranında, CO konsantrasyonun ise %2,49 oranında azaldığı tespit edilmiştir. O₂ konsantrasyonun ise %0,238 oranında arttığı görülmüştür.

Bu bulgular ışığında, işyeri ortamında tavana yerleştirilecek açıklığın gaz konsantrasyonlarını azaltmada çok yararlı olduğu ve daha fazla alana sahip olan kapı açıklığına göre daha verimli olacağı bulunmuştur. Çalışmanın önemli bulgularından biri olan işyerine önerilecek büyük hacim için 3,5x3,5 m² tavan açıklığının gaz konsantrasyonlarını daha az seviyelere düşüreceği sonucu ortaya çıkmıştır. Küçük hacimde ise tavan açıklığı, hacmin depolama faaliyetleri için kullanılması halinde kritik sonuçlar doğuracak olması sebebiyle işletmeye, küçük hacmin taban alanının yaklaşık %0,5, %1 ve %1,5’i büyüklüğündeki açıklıklar parametre olarak kullanılmıştır. Küçük hacim alanı için yangın anında kritik önem taşıyan bu açıklıklardan en verimlisi, %1,5 oranı ile hesaplanan farklı yerlerde konumlandırılmış, iki adet 8 m²’lik alandan oluşan toplam 16 m²’lik tavan açıklığıdır.

Modelleme sonucunda tespit edilen CO₂ ve CO gazlarının konsantrasyon değerleri STEL değerleri ile Bulgular bölümünde kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama yapılırken gaz konsantrasyonlarının çalışanların solunum bölgesi yüksekliğindeki değerleri esas alınmıştır. Bu seviyelerde STEL değerinden düşük bulunan gaz konsantrasyonları, yangın hacmine yakın bazı bölgelerde STEL değerlerinin üstündedir. Ancak bu bölgelerde çalışanlar olmayacağından kıyaslamanın çalışanların solunum bölgesi yüksekliğinde yapılmasının uygun olacağı düşünölmüştür.

Modelleme sonuçları verilirken maksimum süre 250 saniye olarak belirlenmiştir. Ancak alışanların küçük hacim kısmında oluşacak yüksek sıcaklıklardan dolayı olası bir yangın durumunda küçük kısmı yaklaşık 3 dakika içerisinde terk etmeleri gerekmektedir.

Literatürdeki alışmalar incelendiğinde yapılan tez çalışmasına benzer makale, yayın ve tez çalışmalarına rastlanılmış, bu çalışmaların ortak noktaları ve farklılıkları incelenerek aşağıdaki değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Literatürde yapılan incelemeler sonucunda geniş hacimlerde poliüretan yanması sonucu ortaya çıkan gazların dağılımına ilişkin herhangi bir araştırma bulunamamıştır. Bu nedenle tez çalışmasındaki gaz dağılım sonuçlarının literatür ile kıyaslanması yapılamamıştır. Literatürde sadece açığa çıkan duman miktarı incelenmiş olup karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve oksijen dağılımları verilmemiştir.

Literatürde hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılan birçok çalışma mevcuttur. Balık (2003), “Geniş Hacimlerde Duman Hareketinin Sayısal İncelenmesi” adlı çalışmasında duman hareketini incelemeyi amaçladığı için, yanma olayı ve kimyasal reaksiyonları incelememiştir. Balık (2003), kontrol hacminin kullanım amacını ve açık kapıların sayısını değişken olarak ele almıştır. Sayılar özüm neticesinde, duman tabakası kalınlığı, ortam sıcaklığı ve ışınım ile ısı akısı gibi değerler kontrol edilerek, her bir yangın senaryosu için doğal havalandırma açıklığı alanının yeterliliği kontrol edilmiştir. Boyutları 40x24x10 m³, taban alanı 960 m² ve hacmi 9600 m³ olan geometride duman girişinin sadece zeminin ortasındaki bir açıklıktan olduğunu kabul etmiştir.

İlgili çalışmada 1 MW, 2,5 MW ve 6 MW yangın büyüklüğü için sayısal çözümler yapılmıştır. 1 MW'lık yangın için en küçük doğal havalandırma tasarım kriterini sağlamıştır. 2,5 MW yangın yükü için zamana bağlı sayısal çözümler yapılmış ve tahliye süresi hesaplanmıştır. 6 MW yangını ise insanların olmadığı depo yangını gibi düşünüp zamana bağlı olarak çözmemiş, görüş mesafesi açısından irdelenmiştir. Yangın senaryoları sonucunda hiçbir yangın senaryosunda duman belirlenmiş kritik değerlere ulaşmamıştır. Küçük hacimde (7440 m^3) sıcaklık kritik seviyelerdedir.

Hem bu tez çalışmasında hem de Balık (2003)'ün çalışmasında açıklıklar, yangın yükü, açıklık alanı ve konumu gibi parametreler değiştirilerek ortamda bulunan gazların konsantrasyonu ve ortamdaki sıcaklık değerleri irdelenmiştir. Her iki çalışmada da benzer şekilde alandan veya hacimden gaz girişleri olduğu varsayılmıştır. Bu tez çalışmasında modellenen büyük hacim, Balık'ın çalışmasında kullanılan hacmin yaklaşık olarak 4 katıdır. Bu tez çalışmasındaki küçük hacimle Balık'ın çalışmasında kullanılan hacim benzerdir. Balık çalışmasında gaz yoğunluklarına değinmeden sadece duman miktarı değişkenini incelerken, bu tez çalışmasında yanan malzeme özelliğine göre açığa çıkan duman içinde yer alan zehirli gaz konsantrasyonu ve dağılımları modellenmiş ve sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak incelenmiştir.

Bu çalışma Balık (2003)'in çalışmasına benzer şekilde geniş hacimlerde gerçekleştirilmiş olmasına rağmen dumanın çalışanların sağlığını tehdit etme noktasında, bu çalışmada büyük hacim olarak incelenen alan ile farklar ortaya çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni Balık (2003)'in modellediği hacmin bu çalışmada ele alınan büyük hacmin 4'te 1'i kadar olması ve buna ek olarak, kapı alanlarının daha küçük seçilmesidir. Aynı zamanda bu tez çalışmasındaki küçük hacim kısmı ile Balık (2003)'in çalışmasındaki hacim benzer boyutlarda olduğundan benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu hacimlerde her iki çalışmada da yaklaşık %0,5, %1 ve %1,5'i büyüklüğündeki açıklıklar parametre olarak kullanılmıştır.

2005 yılında Serkan Kayılı'ya ait tez çalışmasında [25] ise yer altı toplu taşıma sistemindeki bir metro istasyonunda yangın durumunda en güvenli kaçış senaryosunun belirlenmesi amacıyla bir HAD yazılımı olan CFDesign 7.0 ile yangın simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu modeller üzerinde zamandan bağımsız ve zamana bağlı analizler yapılmıştır.

Kayılı [25]'nin çalışmasında zamana bağımlı analizlerde ısı ve duman yayılım hızları için hızlı t^2 büyüme eğrisi kullanılmıştır. İlgili çalışmada havalandırma sistemlerini farklılaştırarak 3 farklı senaryo üzerinde çalışmıştır. İlk senaryoda havalandırma sistemi dumanı tahliye yönünde dışarı atmak için yeterli değildir. Yangının hemen yakınındaki fanlar yetersiz kalmıştır.

Bunun sonucunda, yangında 360 saniye sonra istasyon ve meydan arasındaki koridorun dumanla kaplandığı gözlemlenmiştir. Bu senaryoda, tahliye yolundaki sıcaklık 60 °C'nin üzerindedir. İkinci senaryoda, egzoz fanlarının yanı sıra, istasyonun diğer tarafında bulunan fanların da çalıştırılması sağlanmıştır. Tahliye yolundaki duman ve sıcaklık seviyesi ilk senaryoya kıyasla daha kabul edilebilir düzeydedir ancak duman tabakası yolcuların görüş mesafesini etkilemektedir. Tahliye yolu dumanla kaplanmış, sıcaklık 60 °C'nin üzerine çıkmıştır. İstasyonun iki yanındaki fanlara ek olarak, tahliye yoluna jet fanların eklenmesi tavsiye edilmiştir.

Hem Kayılı'nın çalışmasında hem de bu tez çalışmasında, duman konsantrasyonun acil durumda insanlara etkisi zamana bağlı simülasyonlarla incelenmiştir. Sıcak dumanın belirli bir seviyenin üzerinde tutulması amaçlanmış, böylece çalışanların veya yolcuların güvenli tahliyesi üzerinde durulmuştur. Bu tez çalışmasında duman tahliyesi için havalandırma açıklığı ve konumlandırılması üzerine çalışılmaktadır. Kayılı ise ele aldığı metro istasyonunun mevcut durumunu kritik bulup, yolcuların ele alınan sürelerde (360 sn) sıcaklıktan etkilenmeden ve kaçış yolu görüş mesafesi dumanla kaplanmadan uygun sayıda jet fan ile ve fanların doğru konumlandırılmasıyla mümkün olacağını ortaya koyan bir çalışma yapmıştır.

NIST (National Institute of Standards and Technology) tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada NIST tarafından geliştirilen ve FDS (Fire Dynamics Simulator) adı verilen bir yangın modelleme yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada, 2011 yılında San Francisco'da bir dairede poliüretan malzemenin yanması sonucu çıkan ve iki itfaiyecinin öldüğü yangın dinamiğinin iç yüzünün anlaşılması hedeflenmiştir. Binanın geometrisi, içerideki mobilyalar ve havalandırma durumunun ele alındığı yangın senaryoları incelenmiştir.

Bu tez çalışmasındaki bulgular ile NIST'in çalışması kıyaslandığında geniş hacim yangınları ile küçük hacim yangınları arasındaki farklar ortaya çıkmaktadır. Yanan temel malzemeler ortak olup bu malzeme poliüretan süngerdir. Aynı malzeme yandığı halde bina geometrisindeki farklılık ve hacmin küçük olmasından dolayı yangının birkaç dakika içinde bile çok yüksek sıcaklıklara ulaşabildiği görülmüştür. Yangının büyüklüğü, hacme girebilen taze hava miktarı ile sınırlı (havalandırma kontrollü) olmaktadır. Geniş hacimlerde ise açıklıklar çok büyük olup yangın açık alanda gerçekleşiyormuş gibi (open fire) gelişmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yangın, tüm iş yerlerinde meydana gelebilecek, çalışanların can güvenliğini ve sağlığını tehdit etme potansiyeline sahip bir olaydır. Bu nedenle, yangın sebebiyle oluşan duman, gaz konsantrasyonu ve sıcaklığın modellenmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, çeşitli yangın senaryoları öne sürülmüş, çalışanların kısa süreli kimyasal maruziyetleri tespit edilmiştir. Bu değerler ile yangın sonucu ortaya çıkan gazların STEL değerleri kıyaslanmış ve sonuçlar belirlenmiştir. Gaz maruziyet tespitinin yanı sıra, termal radyasyon açısından da inceleme yapılmış ve senaryolardaki sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, 6 MW, 10 MW ve 15 MW yangın büyüklüğü için on sekiz farklı senaryo oluşturulmuş, yangın sonucu açığa çıkan gazların, yangının başlangıcından 250 saniyeye kadar olan dağılımları tespit edilmiştir. 250 saniyenin sonunda çalışanların herhangi bir zarar görmeden tahliye edilip edilemeyeceği ve söndürme ekiplerinin rahat çalışabilmeleri için uygun bir ortam olup olmadığı hesaplanmıştır. Çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- 6 MW'lık yangın senaryolarında, hacim oldukça geniş olduğundan, açıklık değişimi - 250 saniye sonunda- duman miktarını kayda değer şekilde etkilememektedir. Durum 1.1 ve Durum 1.2 kıyaslandığında; CO, CO₂ dağılımları, ortamda kalan oksijen miktarı ve sıcaklık değerleri arasında yeterince fark olmadığı görülmüştür.
- 10 MW'lık yangın büyüklüğü için oluşturulan Durum 2 senaryolarında, tüm kapılar açıkken modelleme yapılmıştır. Ayrıca, tavanda bir açıklık olması ihtimalinde, gaz konsantrasyonu ve sıcaklığın nasıl değişeceğini gözlemlemek amacıyla, tüm kapıların açık olduğu ve tavanda hayali bir açıklığın bulunduğu bir model geliştirilmiştir. Analiz sonucunda, tavandaki açıklığın ortamdaki CO ve CO₂ konsantrasyonunu azalttığı görülmüştür. 250 saniye sonunda incelenen hacim içerisinde en fazla oksijen miktarı bu senaryoda kalabilmektedir. Sıcaklıklar da daha düşük bir değere sahiptir.

- Yine 10 MW'lık yangın büyüklüğü için oluşturulan Durum 3 senaryolarına bakıldığında; en düşük CO ve CO₂ değerlerinin tüm kapıların kapalı ve sadece tavan açıklığının bulunduğu 3.2 senaryosunda olduğu görülmüştür. Benzer şekilde 250 saniye sonunda ortamdaki en yüksek oksijen değeri, bu senaryoya aittir. Sıcaklık değeri ise diğer durumlara kıyasla daha düşüktür.
- 15 MW'lık yangın senaryolarında ise, yangının, 26 100 m³'lük büyük hacim alanı içerisinde meydana geldiği ve yayıldığı varsayılmıştır. 250 sn. sonundaki CO, CO₂, O₂ ve sıcaklık verileri incelendiğinde; değerlerin, küçük hacim alanında gerçekleştiği varsayılan diğer yangın senaryolarının sonuçları kadar kritik olmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise hacim farkı olarak belirlenmiştir.
- Bu durumların nedeninin, tavanda biriken sıcak duman tabakasının kapı yerine -kapıya oranla daha küçük alana sahip olmasına rağmen- tavandaki açıklıktan daha rahat tahliye edilebilmesi olduğu görülmüştür. Bina içerisinde ısınan hava, dışarıda bulunan kendisinden daha düşük sıcaklıktaki havaya karışma eğilimindedir. Ayrıca ısınan hava yükselir. Dolayısıyla kapı açıklıkları yerine, tahliyenin tavandaki açıklık vasıtasıyla gerçekleştirilmesi duman kontrolü hususunda daha verimli sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, yangın çıkması muhtemel hacimlerde, dumanın doğal yollardan tahliye edilmesini sağlamak amacıyla tavandaki açıklık sayısının artırılması hususuna dikkat edilmelidir.
- Küçük hacim kapsamında incelenen senaryo olan Durum 6'da tavanda biriken karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) gibi gazların dışarıya atılması için tavanda oluşturulan 3 farklı açıklığın boyutunu arttırmak, duman miktarını daha çok azaltmıştır.
- Ayrıca yapılan analizlerde, geometriye özgü açıklık yerleşiminin büyük önem taşıdığı tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, açıklıkların yatay biçimde yapılması ve aynı alana sahip tek açıklık yerine, alanın iki eşit bölüme ayrılarak konumlandırılması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

- Küçük hacim alanında incelenen senaryolar sonucunda ise sıcaklıkların ani artışı sonucu işyerinde çalışanların binayı acilen terk etmelerini gerektiren, büyük can ve mal kayıplarına sebep olabilecek nitelikte bir yangın çıkabileceği görülmüştür. Bu durum küçük hacimde çıkan yangınların, geniş hacimde çıkan yangınlara kıyasla daha kritik olduğunu göstermektedir.
- Bu çalışma ile işyerine, işletmenin tavanda biriken gazların, çalışanları etkileyecek seviyeye çıkmadan tahliye edilebilmesi için, işyeri büyük hacim kısmı tavanı için 3,5 x 3,5 m² açıklık tasarlanması önerilmiş, bu öneri işletme çalışanları ile paylaşılmıştır. Depolama faaliyetleri için de kullanılan küçük hacim alanında çıkabilecek yangının kritik sonuçlar doğuracak olması sebebiyle, küçük hacim taban alanının yaklaşık %0,5, %1 ve %1,5'i büyüklüğündeki açıklıklar parametre olarak kullanılmıştır. Yangın anında kritik önem taşıyan bu açıklıklardan en verimli, %1,5 oranı ile hesaplanan ve iki eşit parça halinde ((2x4)+(2x4)) konumlandırılmış 16 m² açıklık olacaktır. Bu açıklığın işyerinin geometrisine göre dağıtılması ise sonucu daha etkin hale getirecektir.
- Ayrıca, işyerine, üretim alanının depo şeklinde de kullanımının çıkacak bir yangını daha ciddi boyutlara getirebileceği, bu nedenle üretim ve depo alanlarının ayrılması hususuna özen gösterilmesi konularında uyarı yapılmış, her iki bölüme de acil durumda kullanılmak üzere yağmurlama sistemi önerilmiştir. Yağmurlama sisteminde kullanılacak malzemenin içeriğinin ise “köpük” olması önerilmiştir.
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te, yangının olumsuz etkilerini azaltmak üzere alınması gereken toplu koruma önlemlerinden biri de duman tahliyesinin sağlanmasıdır. Bu işlem; duman kontrolü, duman perdelerinin kullanımı, duman haznesinin bulunması, duman yönlendirme bacalarının etkin kullanımı, doğal duman tahliye yöntemlerinin hayata geçirilmesi ile sağlanacaktır.

- Binalarda yangın güvenlik önlemlerinin, performansa dayalı simülasyon deneyleri ile büyük yangın laboratuvarlarında birebir ölçekli deneylerle elde edilen bilgi ve bulgulara göre gerçekleşmesi, binaların yangın güvenlik seviyelerinin belirlenmesi ve bina inşaatının ve teknik önlemlerin bu bilgilere göre şekillendirilmesi gerekmektedir. Bununla beraber, binaların tasarım ve inşa aşamalarında, duman haznesi ve duman perdesi gibi acil durumlarda hayati önem taşıyan duman tahliye önlemleri ile işyeri mimarisinin nasıl olması gerektiğine karar verebilmek için yine HAD prensiplerini kullanan yazılımlar ile çalışılması önem taşımaktadır. Bu çalışmada yer alan yüksek tehlike sınıfındaki yapılara veya farklı işkolu alanlarına ruhsat verilmeden önce mimari ve mekanik projeler, ilgili kurumlar tarafından istenmektedir. Bu teknik verilere ilaveten, HAD prensipleri kullanan yazılımlar aracılığıyla analizi yapılarak hazırlanmış projelerin sonuç raporlarının da ilgili kurumlara iletilmesi, raporların kurumca değerlendirilmesi ve kontrolünün sağlanması teknik ve mühendislik önlemlerin alınmasına henüz tasarım-proje aşamasında katkı sağlanacaktır.
- Yapılan bu tez çalışması sonucunda poliüretan sünger üreten gerçek bir işletmede analiz edilen senaryolarda açığa çıkan gaz konsantrasyonları değerlerinin kritik seviyelere ulaşmadığı görülmüştür. Çalışma, FLUENT programı kullanılarak poliüretan yangınının modellenmesi ve analizi sonucunda CO, CO₂, O₂ dağılımlarının ve sıcaklık dağılımının tespit edilmesi açısından yeni bir çalışmadır. Poliüretanın yanıcı özellikte olması ve tüm mobilyalarda poliüretanın yaygın kullanılması nedeniyle çalışma ayrıca önem arz etmektedir.
- Bu çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği prensiplerine göre çalışan FLUENT programı kullanılarak, duman tahliyesi üzerinde çalışılmış olup, benzer çalışmalarda aynı program ile ayrıca duman perdesinin teknik olarak incelendiği görülmüştür.
- Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, poliüretan ya da başka malzemelerden kaynaklanacak yangınların, çalışanların yoğun olarak bulunduğu işyeri ortamlarında modellenmesinin HAD prensiplerini kullanan FLUENT ve benzeri yazılımlar ile yapılması ve senaryolar üzerinden teknik ve mühendislik önlemlerin belirlenmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Caymaz, A., Model Yangınlarda Yangın Hızlandırıcılarının Saptanması ve Bunların İş Oluşumundaki Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 1997.
- [2] Tanrıverdi Y., “Petrol Yangınlarında Kullanılan Söndürücü Katkıların, Performansa Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.
- [3] “Isı Transferi”, Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2009.
- [4] Özcan, O., Sağman, N., İNCE, A., “Yangınla Mücadele Eğitimi Ders Kitabı”, İtfaiye Eğitim Merkezi Yayınları, İstanbul, 2000, 5-16.
- [5] “TS 7486 Yangından Korunma–Terimler”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1989, 1-7.
- [6] Özkan, E., “Çelik Yapı Bileşenlerinde Alınması Gereken Yangın Güvenlik Önlemleri ve Bir Uygulama Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002, 6-16.
- [7] Eriç, M., “Yapılarda Yangının Malzemeye Etkisi”, I. Ulusal Yangın Kurultayı, ODTÜ Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Ankara, 1983, 293-294.
- [8] Yazıcı Ö., “Metro İstasyonları ve Tünellerinde Yangın ve Tedbirlerinin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2013.
- [9] Şengöz M., “Meskenlerdeki Elektrik Tesisatlarından Kaynaklanan Yangınların İncelenmesi ve Yangın Risk Analizlerinin Yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
- [10] The Aqua Group, “Fire and Building–A Guide for the Design Team”, Collins, London, England, 1985, 1-6.
- [11] Karakuş O., “Ankara’da Çıkan Yangınların Kundaklama Açısından Değerlendirilmesi”, Disiplinler Arası Adli Tıp Anabilim Dalı Kriminalistik Programı Doktora Tezi, Türkiye Cumhuriyeti Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [12] Web 1, <http://hatira.4mg.com/yangin.htm>, (Erişim Tarihi: 30/05/2015)
- [13] Balık G., Beceren K., Kılıç A., Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 81, 2004.
- [14] Klote, J.H. ve Milke, J.A., “Design of Smoke Managment Systems”, ASHRAE Inc., Atlanta, 1992.

- [15] Hansell, G.O. ve Morgan, H.P., “Design Approaches for Smoke Control in Atrium Buildings”, Building Research Establishment Report, Garston, 1994.
- [16] Balık G., “Geniş Hacımlarda Duman Hareketinin Sayısal İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- [17] Yamada, T., “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, 1992.
- [18] Kerrison, L., Galea, E.R. ve Patel, M.K., “A Two-Dimensional Numerical Investigation of the Oscillatory Behaviour in Rectangular Fire Compartments with a Single Horizontal Ceiling Vent”, Fire Safety J, 1998.
- [19] NFPA-92B, Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 1999.
- [20] Morgan H P, Ghosh B K, Garrad G, Pamlichka R, De Smedt J-C and Schoonbaert L R., “Design Methodologies for Smoke and Heat Exhaust Ventilation” BRE Report 368, 1999.
- [21] National Fire Protection Association, “Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas”, 2000 edition. Publication No.92B. Quincy MA, USA, NFPA, 2000.
- [22] Cıbse Guide E, “Fire Engineering”, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 1997
- [23] ASHRAE Handbook of Fundamentals, “Infiltration and Ventilation”, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., pp. 23.1-23.3, Atlanta, 1993
- [24] Walton, W.D., “Aset-B A Room Fire Program for Personal Computers”, NBSIR 85-3144, National Bureau of Standards, Washington, DC, 1985.
- [25] Kayılı S, “CFD Simulation of Fire and Ventilation in the Stations of Underground Transportation Systems”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 2005
- [26] Novozhilov, V.; “Computational Fluid Dynamics Modeling of Compartment Fires”, Progress in Energy and Science27, p 611-666, 2001.
- [27] Demir H., “Doğal Havalandırma Yöntemlerinin Sayısal Modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- [28] Bulut S., Ünveren M., Arısoy A., Böke E., “CFD Analiz Yöntemiyle Klima Santrallerinde İç Kayıpların Azaltılması”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2011.

- [29] Güney H., “Adyabatik Mikrokanallarda Akışın Fluent ile Modellenmesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.
- [30] Web 2, http://www.anova.com.tr/main/68/ansys_fluent.aspx.(Erişim Tarihi:30/03/2015)
- [31] Tewarson A., “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, Chapter Generation of Heat and Gaseous, Liquid, and Solid Products in Fires, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, Fourth Edition, 2008.
- [32] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 26735 T.C. Resmi Gazete, Ankara, (19/12/2007)
- [33] İş Yerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 28681 T.C. Resmi Gazete, Ankara, (18.06.2013)
- [34] Beceren K., Kılıç A., “Atriumlarda Duman Kontrolü”, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 1999.
- [35] http://kiwi.atmos.colostate.edu/group/dave/pdf/Composition_of_Air.pdf.(Erişim Tarihi:30/03/2015)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

SOYADI, adı : SAVAŞ, Eren
Doğum tarihi ve yeri : 08.01.1984, Mecitözü
Telefon : [REDACTED]
E-Posta : eren.savas@csgb.gov.tr



Eğitim

Derece	Okul	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Bilişim Sistemleri	Devam Ediyor
Lisans	Anadolu Üniversitesi / Bilgisayar Müh.	2008
Lise	Çorum Eti Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2009	Forte Bilgi ve İletişim Teknolojileri A.Ş	Network Mühendisi
2010-2012	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Mühendis
2012-(Halen)	Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı	İSG Uzman Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce (YDS-2015: 77,5)

Mesleki İlgil Alanları

Network, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, güvenlik kültürü

Hobiler

Bitkiler, resim çizmek