



T.C.

**ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**KAYNAK İŞLERİNDE MARUZ KALINAN ZARARLI
GAZLARIN İŞYERİ ORTAMINDA YAYILIMININ
FLUENT HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ
YAZILIMI İLE ANALİZ EDİLMESİ**

Hasan Deniz YILMAZ

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

ANKARA-2015

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

**KAYNAK İŞLERİNDE MARUZ KALINAN ZARARLI
GAZLARIN İŞYERİ ORTAMINDA YAYILIMININ
FLUENT HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ
YAZILIMI İLE ANALİZ EDİLMESİ**

Hasan Deniz YILMAZ

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

**Tez Danışmanı
İlknur ÇAKAR**

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 **Hasan Deniz YILMAZ**'ın, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı **İlknur ÇAKAR** danışmanlığında başlığı “**Kaynak İşlerinde Maruz Kalınan Zararlı Gazların İşyeri Ortamında Yayılımının Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı İle Analiz Edilmesi**” olarak teslim edilen bu tezin tez 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

Çalıőmalarıma yön veren, yaptığım araőtırmaların her aşamasında bilgi, öneri ve her türlü yardımı esirgemeyerek engin fikirleriyle gelişmeme büyük katkısı olan Genel Müdürüm Sayın Kasım ÖZER`e ve Genel Müdür Yardımcılarımız Sayın İsmail GERİM`e, Sayın Dr. H. N. Rana GÜVEN`e ve Sayın Sedat YENİDÜNYA`ya, İSGÜM Enstitü Başkanı Sayın Ayhan ÖZDEMİR`e, tez danışmanım İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı Sayın İlknur ÇAKAR`a ve çalışmaları boyunca yardımcı olan tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteğini esirgemediği ve her ihtiyaç duyduğumda yanımda olduğu için eşim Seda ŐEKER YILMAZ`a en derin duygularıyla teşekkür ederim.

ÖZET

Hasan Deniz YILMAZ

Kaynak İşlerinde Maruz Kalınan Zararlı Gazların İşyeri Ortamında Yayılımının Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı ile Analiz Edilmesi

**Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**

Ankara, 2015

Günümüzde makine ve metal imalat sanayinde kaynak yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak işlemi sırasında insan sağlığına zarar verebilecek zehirli gazlar, duman ve parçacıklar oluşmakta ve çalışanın bunlara maruz kalması meslek hastalığı riskini arttırmaktadır. Bu gibi hava kirleticilere karşı yeteri kadar korunma sağlanmadığı takdirde, meydana gelecek rahatsızlıkların telafisi çok zordur. Bu nedenle çalışma alanları; kaynak yöntemi ve uygulama koşulları dikkate alınarak havalandırma sistemleri yardımıyla zararlı maddelerden arındırılmalıdır. Havalandırma problemleriyle ilgili olarak sayısal analiz yöntemi kullanımının, tasarım sürecinde zaman, işgücü ve operasyonel maliyetleri düşürdüğü bilinmektedir. Bu çalışmada, gazaltı kaynak yöntemi kullanılan bir işyerinde, çalışanın maruz kaldığı zararlı gazlar (karbon dioksit, karbon monoksit ve ozon), Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı ile sayısal olarak incelenmiştir. Farklı kullanım senaryoları ile analizleri yapılan lokal havalandırmanın, çalışanın karşı tarafında konumlandırılmasının en uygun sonuçları verdiği belirlenmiştir. Bu koşullarda kullanılan lokal havalandırmanın, kaynak gazlarına olan maruziyeti %91,5 oranında azaltabildiği görülmüştür. Belirlenen konumlandırma üzerinden havalandırma sistemi parametreleri (emiş ağız ve kaynak noktası arası yükseklik, uzaklık, emiş ağız yarıçapı) değiştirilerek etkileri incelenmiştir. Emiş ağız ile kaynak noktası arası mesafenin azaltılmasının havalandırma sistemi verimini %68,6'dan %100'e çıkarabildiği görülmüştür. Havalandırma sistemi veriminin, emiş ağızının kaynak seviyesinde konumlandırılması ile %59,6'dan %70,4'e, emiş ağız yarıçapının arttırılması ile de %70,4'ten %75,5'e çıktığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak gazı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, had, lokal havalandırma, iş sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT

Hasan Deniz YILMAZ

**Study on Analyzing Workplace Distribution of Harmful Gases Exposed During
Welding with the Aid of Fluent Computational Fluid Dynamics**

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

Thesis for Occupational Health and Safety Expertise

Ankara, 2015

Today, welding method is widely used in machinery and metal manufacturing industry. During the welding process, it is composed of toxic gases, smoke and particles that can be harmful to human health and employee's exposure to them increases the risk of occupational disease. Unless provided enough protection against air pollutants such as these, it is very difficult to compensate of the ailments that will occur. Therefore workplace should be purified from harmful substances with the help of ventilation systems considering the welding methods, materials and application conditions. The use of numerical analysis methods for ventilation problems is known to decrease time, labor force and operational costs in the design process. In this study, harmful gases (carbon dioxide, carbon monoxide and ozone) to which the employee exposed are analyzed numerically with Fluent Computational Fluid Dynamics in a workplace uses undergas welding method. Local ventilation analyzed with different usage scenarios is determined that gives optimum results on the opposite side of the employee. It was observed that the local ventilation used in such conditions can reduce exposure to welding gases by %91,5. Effects of parameters were investigated by changing ventilation system parameters (including the distance and level between suction nozzle and welding point, radius of suction nozzle) over specified positioning. It was seen that reducing the distance between suction nozzle and welding point could increase the efficiency of ventilation system from %68,6 to %100. It was also determined that the efficiency of ventilation system can increase from %59,6 to %70,4 with positioning suction nozzle at welding level and from %70,4 to %75,5 with increasing suction nozzle radius.

Keywords: Welding gas, computational fluid dynamics, cfd, local ventilation, occupational health and safety

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. TÜRKİYE’DE KAYNAK TEKNOLOJİLERİ	3
2.1.1. Gaz Eritme Kaynağı	3
2.1.2. Elektrik Ark Kaynağı	4
2.1.3. Toz Altı Ark Kaynağı	4
2.1.4. Nokta (Punta) Direnç Kaynağı	5
2.1.5. Gazaltı Kaynağı	6
2.2. KAYNAK İŞLERİNDE OLUŞAN ZARARLI GAZLAR VE ETKİLERİ	7
2.2.1. Kısa Sürede (Akut Dönemde) Oluşan Sağlık Sorunları	8
2.2.2. Uzun Sürede (Kronik Dönemde) Oluşan Sağlık Sorunları	8
2.2.3. Kaynak İşleminde Oluşan ve Sağlığa Zararlı Olan Gazlar.....	9
2.3. ZARARLI GAZLARDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ.....	10
2.3.1. Havalandırma Sistemleri	10
2.3.1.1. Genel Havalandırma Sistemi.....	11
2.3.1.2. Lokal Havalandırma Sistemi.....	13
2.3.1.3. Genel Havalandırma ve Lokal Havalandırmanın Karşılaştırılması	15
2.3.1.4. Davlumbazlar	16
2.3.1.5. Yakalama Hızı.....	17
2.3.1.6. Yakalama Alanı ve Çalışma Alanı	18
2.3.1.7. Davlumbaz Tasarımında Genel Kurallar.....	19
2.3.2. Kişisel Solunum Koruyucular	20
2.4. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ	22
2.4.1. HAD’ın Esasları	22

2.4.2.	HAD Nerede Kullanılır ve Ne Zaman Tercih Edilir?.....	22
2.4.3.	HAD analizi için işlemler	23
3.	GEREÇ VE YÖNTEMLER.....	25
3.1.	ARAŞTIRMA SÜRECİ.....	25
3.2.	GEREÇLER.....	27
3.2.1.	Bilgisayar.....	27
3.2.2.	Yazılım	27
3.2.3.	Anlık Gaz Ölçümü.....	29
3.2.4.	Hava Akış Hızı Ölçümü	30
3.3.	ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	30
3.3.1.	Geometrik Modelleme	31
3.3.2.	Ağ Oluşturma	31
3.3.3.	Kaynak Alanının ve Emme Sisteminin Modellenmesi	32
3.3.4.	Analiz Ayrıntıları.....	32
4.	BULGULAR	35
4.1.	İŞYERİNDE YAPILAN ÖLÇÜMLER VE HESAPLAMALAR	35
4.1.1.	Yapılan Ölçümler	35
4.1.2.	Yapılan Hesaplamalar.....	36
4.1.3.	Sayısal Analiz Sonuçları.....	36
5.	TARTIŞMA	43
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
	KAYNAKLAR.....	51
	ÖZGEÇMİŞ.....	57
	EKLER	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Oksi-gaz kaynak üfleci [11]	3
Şekil 2.2. Elektrik ark kaynağı şematik gösterimi [12]	4
Şekil 2.3. Tozaltı kaynak yöntemi [14]	5
Şekil 2.4. Nokta (punta) direnç kaynak makinesi temel bileşenleri [16]	5
Şekil 2.5. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [19]	7
Şekil 2.6. Tavsiye edilen genel havalandırma örnekleri.....	12
Şekil 2.7. Tavsiye edilmeyen genel havalandırma örneği.....	13
Şekil 2.8. Çeşitli lokal havalandırma sistemleri	14
Şekil 2.9. Lokal havalandırma sisteminin temel bileşenleri	15
Şekil 2.10. Davlumbaz türleri a) çevreleyen davlumbaz b) alıcı davlumbaz c) taşınabilir davlumbaz d) kaynak işleri için yakalayıcı davlumbaz e) yakalayıcı davlumbaz.....	17
Şekil 2.11. Yakalama hızını etkileyen rakip hava akımları.....	18
Şekil 2.12. Yakalama alanı ve çalışma alanı ile ilgili kullanım örnekleri.....	19
Şekil 2.13. Davlumbaz ile kirlenici arası mesafe ve gerekli hava akımı.....	20
Şekil 2.14. Tam yüz maskesi [36]	20
Şekil 2.15. Yarım yüz maskesi [37]	21
Şekil 2.16. Hava beslemeli kaynakçı maskesi [38]	21
Şekil 2.17. HAD örnekleri a,b,c) rüzgar direnci çalışmaları d) motor içi akış analizi	23
Şekil 2.18. HAD analizi aşamaları (soğuk hava deposu örneği) a) geometrik model b) mesh yapısı c) orta düzlemde hava hızının kontur dağılımı d) sıcaklık dağılımı [41].....	24
Şekil 3.1. Araştırma süreci ile ilgili iş akışı.....	26
Şekil 3.2. Anlık gaz detektör ölçüm sistemi [45]	29
Şekil 3.3. Anlık gaz detektör tüpü [46]	29
Şekil 3.4. Hava akım ölçüm cihazı [47]	30
Şekil 3.5. İşyeri çalışma ortamı	31
Şekil 3.6. Havalandırma sistemi bulunmadığı durum (Senaryo 1)	32
Şekil 3.7. Havalandırma sistemi sağda (Senaryo 2), solda (Senaryo 3), karşıda (Senaryo 4)..	33
Şekil 3.8. Havalandırma sistemi yukarıda (Senaryo 5)	33
Şekil 3.9. Oluşturulan senaryolarda kullanılan modele ait ölçüler.....	34
Şekil 4.1. İşyerinin geometrik modeli	36
Şekil 4.2. İşyerinin geometrik modeline ait ağ yapısı	37

Şekil 4.3. Emiş ağzı yarıçapının havalandırma verimine etkisi	40
Şekil 4.4. Kaynak noktası – emiş ağzı arası yüksekliği havalandırma verimine etkisi.....	40
Şekil 4.5. Kaynak noktası – emiş ağzı arası uzaklığın havalandırma verimine etkisi.....	41

TABLULAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. Havalandırma sistemi üzerinde kullanılacak parametreler	34
Tablo 4.1. Kaynak noktasında oluşan gaz konsantrasyonları.....	35
Tablo 4.2. Kaynak esnasında kaynakçının gaz maruziyeti.....	35
Tablo 4.3. Sayısal analiz için girilen havalandırma sistemine ait değerler	36
Tablo 4.4. Ölçüm ve sayısal analiz sonucu elde edilen maruziyet değerleri.....	38
Tablo 4.5. Senaryo 4 üzerinden parametrik olarak hesaplanan değerler.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Hükümete Bağlı Endüstriyel Hijyenistler Amerika Konferansı)
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
İSGÜM	İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Başkanlığı
MAG	Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
MIG	Metal Inert Gas (Metal Asal Gaz)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health (Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü - ABD)
O ₃	Ozon
OSHA	Occupational Safety And Health Administration (İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi - ABD)
ppm	Parts Per Million (1 m ³ hacimde bulunan parçacık miktarı)
STEL	Short-term Exposure Limit (Başka bir süre belirtilmedikçe, 15 dakikalık bir süre için aşılmaması gereken maruziyet üst sınır değeri)
TIG	Tungsten Inert Gas (Tungsten Asal Gaz)

1. GİRİŞ

Kaynak, 19. yüzyılın sonuna kadar demircilerin ısıtma ve dövme yoluyla metalleri birleştirdiği bir yöntem olarak bilinmekteydi. Yüzyılın sonunda ilk olarak elektrik ark kaynağı ve oksijen-gaz kaynağı kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle I. ve II. Dünya Savaşı sonlarında artan talep, kaynak teknolojisinde hızlı bir gelişmeye sebep olmuştur. Yaşanan savaşların ardından, elektrik ark kaynakları, gaz altı kaynağı vb. çeşitli modern kaynak teknikleri giderek gelişmiş, 20. yüzyılın ikinci yarısında da lazer ışın kaynağı ve elektron ışın kaynağının bulunması ile kaynak teknolojisi gelişimine devam etmiştir [1].

Ülkemizde kaynak yöntemi 1920 yılında kullanılmaya başlanmış ve 1930'lu yıllarda kullanım alanı artmış olup zaman içerisinde değişik kaynak yöntemlerinin de bulunmasıyla gelişme göstermiştir. Bugün ülkemizde, atölye olarak tanımlanabilecek küçük ve orta boy işletmeler (KOBİ) tarafından kaynaklı imalat yöntemleri kullanan çok sayıda işyeri bulunmaktadır [2,3].

Kaynaklı imalat yapan işyerlerinde, kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan toz, duman, gaz ve buhar gibi hava kirleticiler çalışan sağlığı için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Bu kirleticilerin zararlarını önlemek için genel ve lokal havalandırma sistemleri kullanılarak ortam havasına yayılmalarını engellemek gereklidir. Genel havalandırma; ortaya çıkan hava kirleticilerini, temiz hava akımı ile dağıtarak yoğunluğunu düşürmek ve emme ağızlarından dışarıya atmak şeklinde uygulanan bir havalandırma yöntemidir. Genel havalandırma ile hava kirleticilerin sınır değerlerin altına düşürülemediği ve genel havalandırmanın yetersiz olduğu alanlarda çalışanın bulunduğu ortam havasını iyileştirmek için lokal havalandırma yöntemleri kullanılmalıdır. Lokal emme sisteminin ağız (emiş ucu) kaynak yapılan noktaya, hava kirleticilerin yayılmasını önlemek için mümkün olduğunca yakın konumlandırılmalıdır. Lokal havalandırma kullanılarak genel havalandırma için gerekli olan temiz hava ihtiyacı da minimum seviyeye indirilir [4].

Havalandırma uygulamalarında, hava akışının ayrıntılı olarak incelenmesi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılmaktadır. HAD, havalandırma sistemlerinde hava akışı, ısı transferi ve kimyasal madde taşınımı konularında detaylı bilgi vermektedir [5].

Bu çalışmada Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı kullanılarak, gazaltı kaynak yöntemi kullanan bir işyeri ortamında farklı kullanım senaryoları ve parametreler üzerinden sayısal analizler yapılarak havalandırma sisteminin kaynak gazlarına karşı maruziyete etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

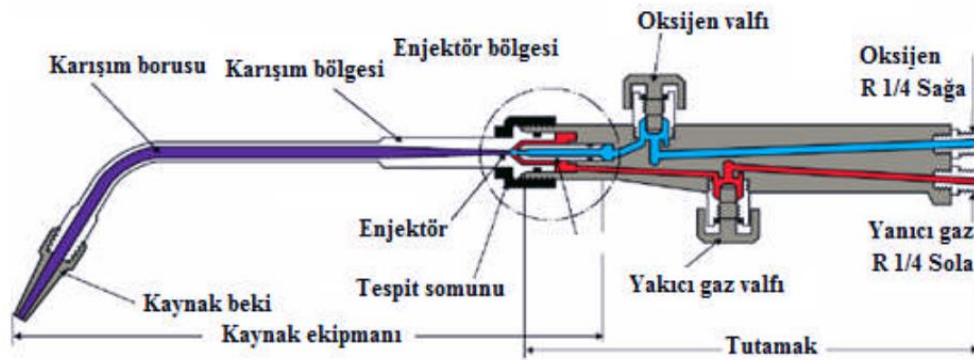
2.1. TÜRKİYE'DE KAYNAK TEKNOLOJİLERİ

Kaynak, ısı ve/veya basınç yardımıyla malzemelerin kaynak bölgesinde ilave malzeme kullanılarak veya kullanılmadan birleştirilmesi işlemidir. Genellikle metal malzemeler üzerinde kullanılmaktadır. Kaynak yapılırken, kullanılan malzemenin kaynak yapılan kısmı eritilir, dolgulu (kaynak elektrodu, teli vb.) veya dolgusuz olarak birleşmesi sağlanır. Malzemelerin birleştirilecek kısımları, uygulanan ısının etkisiyle birbirine karışır [6, 7, 8].

Ülkemizde imalat sektöründe kullanılan kaynak türleri çok çeşitli olmakla birlikte daha çok ark kaynağı teknikleri kullanılmaktadır. Kaynak türleri genel olarak şu şekilde gruplandırılabilir:

2.1.1. Gaz Eritme Kaynağı

Kaynak işlemi için ihtiyaç duyulan ısının, yanıcı ve yakıcı özellikteki gazların yakılmasıyla oluşan alevden faydalanılarak yapılan kaynağa gaz eritme kaynağı denir. Malzemeleri ergime sıcaklığına kadar ısıtmak için asetilen, hidrojen, havagazı, metan, propan, bütan vb. gazlar kullanılmaktadır. Bu gazlar arasında, temini kolay olması ve yüksek ısı vermesi (yaklaşık 30 000° C) nedeniyle en çok asetilen gazı ile LPG tercih edilmekte, çabuk yanması ve yüksek ısı elde edilmesi için de ayrıca oksijen kullanılmaktadır. Asetilen ve oksijen karışımıyla oluşan alev, hamaç “şaloma – üfleç” denen ayarlı bir musluktan püskürtülerek kullanılır. Buna oksijen-asetilen kaynağı denir (Şekil 2.1.) [9,10].

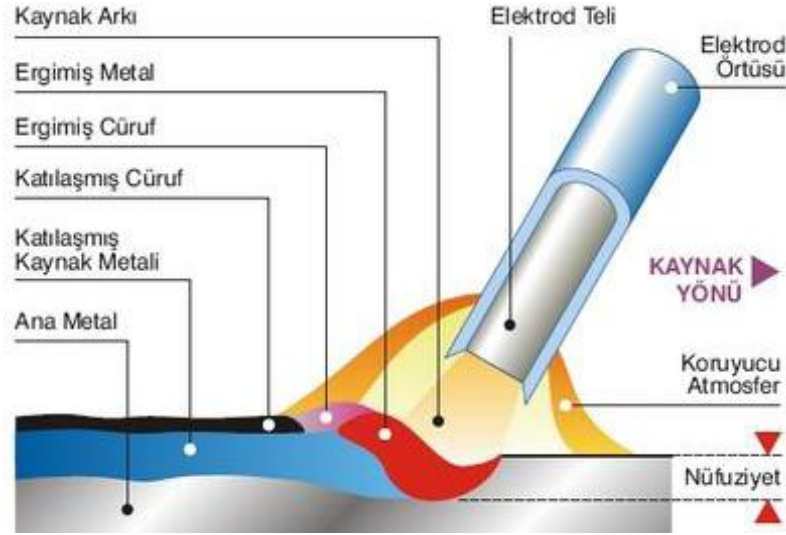


Şekil 2.1. Oksi-gaz kaynak üfleci [11]

Gaz kullanılarak yapılan kaynak işlerinde oluşan gazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi kaynak işlerinde alınacak güvenlik önlemleri bakımından büyük önem taşımaktadır.

2.1.2. Elektrik Ark Kaynağı

Güçlü bir elektrik akımı devresinde kısa bir boşluk oluştuğunda, bu boşlukta sıcaklığı 3 500°–4 000° C'ye ulaşan elektrik arkı oluşur. Elektrik ark kaynağında ark, iki karbon çubuk arasında ya da kaynak yapılacak metal ile bir karbon veya metal çubuk arasında oluşturulur. (Şekil 2.2.)



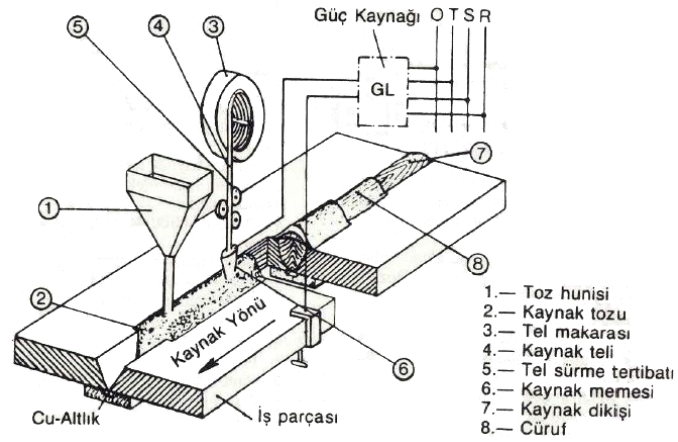
Şekil 2.2. Elektrik ark kaynağı şematik gösterimi [12]

Arktan çevreye yayılan enerjinin %10'u ultraviyole, %30'u parlak, %60'ı da kızılötesi ışınlar halindedir. Parlak ışınlar görülen ışınlardır, gözleri kamaştırır, retina ve göz sinirlerinin yorulmasına neden olur [10].

2.1.3. Toz Altı Ark Kaynağı

Toz altı kaynak yönetiminde ark, kaynak yerinde elektrot ile malzeme arasında oluşur ve kaynak yerine dökülen toz altında işlevine devam eder. Kaynak arkının toz altında oluşmasından dolayı bu yönteme toz altı kaynak yöntemi denmiştir (Şekil 2.3.).

Toz altı kaynak yöntemi, yarı otomatik ve tam otomatik kaynak uygulamalarına da müsait olduğu için, modern kaynak uygulaması olarak sanayileşmiş ülkelerde yaygın kullanım sahası bulmuştur [13].

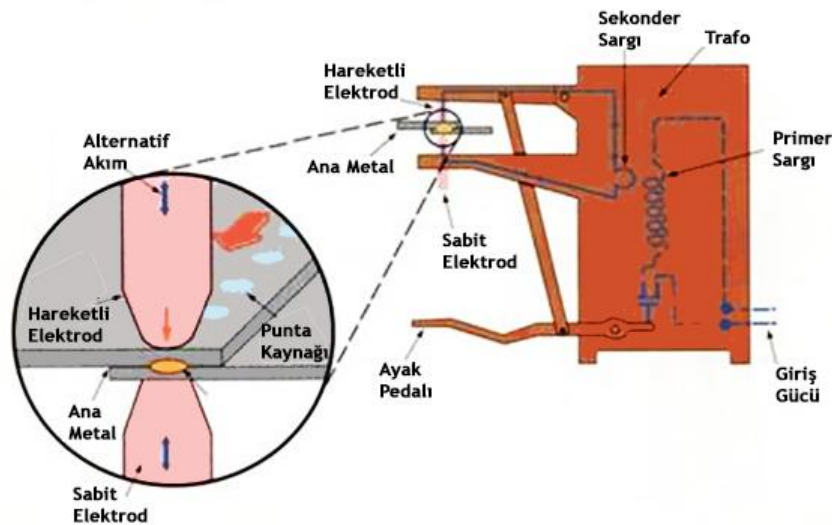


Şekil 2.3. Tozaltı kaynak yöntemi [14]

2.1.4. Nokta (Punta) Direnç Kaynağı

Nokta kaynağı, direnç kaynağı türleri içerisinde en çok kullanılan türdür. Birleştirilecek parçalar, iki bakır elektrot arasına alınır ve belirli bir baskı uygulanmasıyla elektrik akımının geçişi sağlanır.

Nokta kaynağında, ayarlanan süre boyunca, akım bir elektrottan diğerine akarken, iki sac arasındaki temas noktasında direnç en yükseğe ulaşır ve malzeme bu noktada ergimeye başlar. Elektrik akımının otomatik olarak kesilmesinden sonra kaynak banyosu, uygulanan basınç altında soğuyarak katılaşır ve iki sac malzeme sökülemez bir şekilde birleştirilmiş olur (Şekil 2.4.) [15].



Şekil 2.4. Nokta (punta) direnç kaynak makinesi temel bileşenleri [16]

2.1.5. Gazaltı Kaynağı

Kaynak yapılacak bölgenin, atmosfer kirlenmesine karşı dışardan sağlanan uygun bir gaz ile korunduğu, ark kaynağı türüne gazaltı kaynağı denir. İlk defa 1926 yılında “Alexander” yöntemi olarak anılan bu yöntemde kaynak bölgesi, metanol gazı ile korunmaktaydı. Aynı yılda hidrojen gazı kullanılan “ark atom” ve 1928'de oksijen-asetilen alevi ile kullanılan “Arcogen” yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, koruyucu gaz olarak helyum ve argon gibi soy gazlar, karbondioksit gibi aktif gazlar kullanılmaya başlanmıştır.

Gazaltı kaynak yönteminde; ark, elektrot malzemesi ve koruyucu gaza göre, aşağıdaki gibi sınıflandırma yapılabilir [2,17]:

1. Eriyen elektrotla yapılan gazaltı kaynağı
 - 1.1. Çıplak elektrotla soygaz atmosferi altında gazaltı kaynağı (MIG)
 - 1.2. Eriyen metal elektrot ile karbondioksit atmosferi altında gazaltı kaynağı (MAG)
2. Erimeyen elektrotla yapılan gazaltı kaynağı
 - 2.1. Erimeyen iki elektrotla yapılan gazaltı kaynağı (ark atom kaynağı)
 - 2.2. Erimeyen bir elektrotla yapılan gazaltı kaynağı (TIG)

2.1.5.1. MIG-MAG Kaynağı

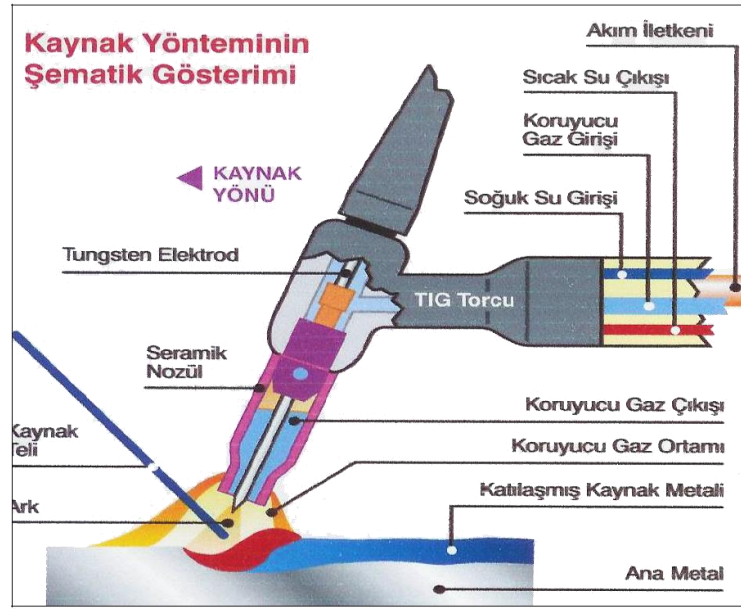
Eriyen elektrotla yapılan gazaltı ark kaynağı devamlı beslenen kaynak teli ile malzeme arasında yapılan bir elektrik ark kaynağıdır. Kullanılan koruyucu gaza göre MIG ve MAG ismini alırlar. MIG kaynağı, “Metal Inert Gas” kelimesinin baş harfleri alınarak adlandırılır. Bu kaynakta ark, koruyucu gazın (helyum veya argon) meydana getirdiği gaz atmosferi altında oluşur. Genellikle çelik dışındaki metallerde uygulanan bir yöntemdir. MAG kaynağı, “Metal Active Gas” kelimesinin baş harfleri alınarak adlandırılır. Bu kaynakta kullanılan gazlar karbondioksit ve karışım gazlardır. Genellikle çelik, düşük karbonlu çelik ve alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır. Prensip olarak MIG kaynağından farkı yoktur [17, 18].

2.1.5.2. TIG Kaynağı

Kaynak yöntemine adını veren “Tungsten Inert Gas” kelimesinin baş harfleri ile anılır. Almancada “tungsten” metaline “wolfram” denildiğinden WIG olarak da anılmaktadır.

TIG kaynak yönteminde ergimeyen tungsten elektrot ile malzeme arasında elektrik arki oluşur. Kaynak banyosu, atmosferin zararlı etkilerinden, dışarıdan gönderilen argon veya helyum gazı yardımıyla korunur. Kaynak yönteminde kullanılan tungsten elektrot erirken, kaynak yapılacak metal de eriyerek birleştirme sağlanır (Şekil 2.5.).

TIG kaynak yöntemi, kullanımı kolay ve uygulama alanına geniş bir yöntemdir. TIG kaynak yöntemi ile her pozisyonda kaynak yapmak mümkündür [9,19].



Şekil 2.5. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [19]

2.2. KAYNAK İŞLERİNDE OLUŞAN ZARARLI GAZLAR VE ETKİLERİ

Kaynak işlemi sırasında oluşan ark, alev; kaynaktaki malzemenin ısınmasına (oluşan ısı 3 000° - 3 500° C) ve hatta yanmasına neden olmaktadır. Erimiş halde bulunan neredeyse tüm metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler ve yeni bileşikler oluştururlar. Bu işlem sırasında duman ve gazlar ortaya çıkar.

Toz, duman ve gazlara maruz kalınması, genel olarak solunum güçlüğü, kan hastalıkları, kanser, kronik bronşit, baş ağrısı, akciğer ödemi, metal dumanı ateşi, ağız ve burun mukozasında tahrişler, amfizem, merkezi sinir sistemi, böbrek, karaciğer, kan yapıcı sistem ve kemik yapısı üzerinde çeşitli hastalıklara sebep olur.

Kaynak dumanının sürekli maruziyeti, çalışanların solunum yollarında ve uç hava yollarında obstrüksiyona neden olmaktadır. Bu sakıncaları önlemek için havalandırma veya emme sağlanması ve bulunulan ortamdan bu gaz ve dumanların uzaklaştırılması gereklidir [20,21].

Kaynak esnasında oluşan ve vücuda solunum yoluyla giren hava kirleticilerinden bazıları kronik (uzun dönemde), bazıları da etkilenme düzeyine bağlı olarak akut (ani-birdenbire) rahatsızlıklara da neden olabilmektedir. Örneğin kaynakçılarda sıklıkla görülen metal dumanı ateşi genellikle geçici bir rahatsızlıktır, ancak, kronik rahatsızlıkların da gelişmesine sebep olmaktadır [22].

2.2.1. Kısa Sürede (Akut Dönemde) Oluşan Sağlık Sorunları

Kaynakçı tarafında solunan metal buharı (çinko, magnezyum, bakır, bakır oksidi vb.), metal dumanı ateşi denilen hastalığa sebep olabilir. Dumanın solunmasından birkaç saat sonra kişide çok yüksek derecelerde ateş görülür. Vücut sıcaklığı bir ile dört saat içinde normale dönmeye önce terleme ve titreme oluşur. Dört ile on iki saat içerisinde titreme, susama, ateş, kas ağrısı, göğüs ağrısı, öksürük, hırıltılı soluma, yorgunluk, mide bulantısı ve ağızda metalik (madeni) bir tat şeklinde kendini gösteren belirtileri vardır.

Kaynak dumanı aynı zamanda gözleri, koku alma gücünü, göğsü ve solunumla ilgili organları tahriş ederek; öksürüğe, hırıltılı solumaya, nefes daralmasına, bronşite, akciğerde su toplanmasına ve zatürreye (akciğerin iltihaplanmasına) neden olabilmektedir. Mide bulantısı, iştahsızlık, kusma, kramplar ve yavaş sindirim gibi sorunlar da ortaya çıkabilmektedir.

Kaynak dumanında bulunan bazı maddeler de, örneğin kadmiyum veya kadmiyum oksit bileşikler, kısa sürede öldürücü etki gösterebilmektedir. Havadaki azot ve oksijen, kaynak işlemi sırasında reaksiyona girerek azot oksit ve ozon oluşturur. Bu gazlar yüksek dozlarda çok ölümcüldür ve ayrıca burun ve boğazın tahriş olmasına ve ciddi akciğer hastalıklarına da neden olmaktadır.

Kaynak esnasında oluşan ultraviyole ışınları, klorlanmış hidrokarbon çözücülerle (örneğin trikloroetilen, trikloroetan, metilen ve perkloretilen) reaksiyona girerek fosgen (karbonoksit klorürü) gazını oluşturur. Fosgenin çok küçük miktarları bile öldürücüdür [23, 24].

2.2.2. Uzun Sürede (Kronik Dönemde) Oluşan Sağlık Sorunları

Yapılan araştırmalara göre, kaynak işlerinde çalışanların akciğer kanserine yakalanma riski yüksektir. Arsenik, krom, berilyum, nikel ve kadmiyum gibi kanser riski içeren kaynak dumanındaki zehirli maddelerin büyük miktarlarda solunmasına bağlı olarak gırtlak kanseri ve idrar yolu kanseri olma ihtimali de bulunmaktadır. Kaynakçılarda ayrıca kronik solunum sorunları (bronşit, astım, zatürree, akciğer kapasitesinin azalması vb.) görülmektedir.

Krom ve nikel gibi ağır metallere maruz kalan kaynak çalışanlarının böbreklerinin zarar gördüğü görülmüştür. Ayrıca, kaynakçılar üzerinde yapılan en son çalışmalarda özellikle paslanmaz çelikler ile çalışanlarda sperm miktarının azaldığı ve üreme problemlerinin ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Bu tür sağlık sorunları, aynı zamanda alüminyum, krom, nikel, kadmiyum, demir, mangan ve bakır gibi metallere, azotlu gazlar ve ozon gibi gazlara, ısıya ve iyonlaştırıcı radyasyona (kaynak dikişlerini kontrol etmekte kullanılan radyoaktif ışınlar) korunmasız kaldığı durumlarda görülmektedir.

Asbest malzeme ile kaplanan yüzeylerde kaynak yapan çalışanlarda akciğer kanserine ve diğer asbest ile ilişkili hastalıklara yakalanma riski yüksektir [24]. Kadmiyum oksit buharına ve tozuna uzun süre maruz kalan kişilerde kronik meslek hastalıkları, böbrek yetmezliği ve solunumla ilgili hastalıklar görülmüştür [23]. Mangan gibi yüksek derecede zehirli malzemelerle çalışan kaynakçının, merkezi sinir sisteminin de (konuşma ve hareket kabiliyetini zayıflatma gibi) uzun sürede etkilendiği görülmüştür [25].

2.2.3. Kaynak İşleminde Oluşan ve Sağlığa Zararlı Olan Gazlar

2.2.3.1. Azot oksitler (NO, NO₂)

Renksiz, kokusuz, tatsız, durağan gazdır. Sıvı halinde de renksizdir. Su ve alkolde çözünür. Yüksek konsantrasyonlarda etkilenme, akut bronşit ile akciğerlerde ödeme neden olur. Akut olarak, gözde ve solunum yollarında tahriş, akciğer ödemi, kusma, görülür. Kronik dönemde (uzun süreli çalışmalarda) ise, amfizem gibi akciğer problemleri görülür [26, 27].

2.2.3.2. Ozon (O₃)

Ozon renksiz, zehirli bir gazdır. Özellikle solunum yollarındaki mukozaya etki eder. Ozonun belirtileri, boğazda kaşıntı veya yanma, öksürük, göğüs ağrısı ve hırıltıdır [28].

2.2.3.3. Karbondioksit (CO₂)

Gaz halinde iken renksiz, kokusuz ve boğucudur. Solunum yoluyla etki eder. Ortamdaki miktarı %10'u aştığında kanın oksijen taşımamasını önler ve solunum güçlüğüne (dispne), baygınlığa ve daha yüksek konsantrasyonunda ölüme neden olabilir [29, 30].

2.2.3.4. Karbonmonoksit (CO)

Renksiz, kokusuz boğucu bir gazdır. Hemoglobin ile birleşerek Karboksihemoglobin oluşturur ve kanın oksijen taşımamasını engeller. Yorgunluk, baş ağrısı, çarpıntı ve bayılma gibi belirtiler görülür [31].

2.2.3.5. Etil Bromür (C₂ H₅ Br)

Oksijen kaynağı ile kesim yapım işlerinde oluşur. Renksiz bir gazdır. Hava ile belli bir karışımında patlayıcı bir karışım olabilir. Basit boğucu gazdır. Solunum yoluyla etki eder [9].

2.2.3.6. Fosgen (COCl₂)

Elektrik ark kaynağı yakınında bulunan klorlu solventlerin buharları arkta fosgene dönüşür. Renksiz, çok uçucu ve kolayca sıvılaşılabilen zehirli bir gazdır. Ağız ve boğazda irritasyon ile yanıklar oluşturur. Akciğer ödemi yapar. Uzun süre solunduğunda dolaşım, solunum ve sinir sistemini etkileyerek zehirlenmeye ve ölüme sebep olabilir [26].

2.2.3.7. Fosfin (PH₃)

Kendiliğinden parlayabilen oldukça toksik bir gazdır. Burun, gözler ve deride irritasyona neden olur. Solunduğunda dispne (solunum güçlüğü), baygınlık, ishal, yorgunluk ve baş ağrısı görülür. Yüksek konsantrasyonlar kan basıncı düşüklüğü, kusma, konvülsiyon, felç ve koma ile kısa bir sürede öldürücü etki yapabilir [28].

2.3. ZARARLI GAZLARDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

2.3.1. Havalandırma Sistemleri

Havalandırma sistemleri, işyeri ortamındaki kirlenmiş havayı değiştirmek için ısıtılmadan veya ısıtılarak, doğal akım, etkin basınç ya da mekanik bir etki (vantilatör) yardımıyla, ilgili ortamdaki hava emilerek dışarıya atılması veya bu ortama taze hava verilmesi amacıyla kurulan mekanik sistemlerdir.

İşyeri havalandırması, havadaki kirletici maddelere maruziyeti kontrol için yapılır. Genel olarak, sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla duman, toz ve buhar gibi kirleri ortamdaki uzaklaştırmak için kullanılır. Havalandırma, doğal yollarla yapılabildiği gibi (pencere açılması gibi), mekanik yöntemlerle (fanlar, körükler) de yapılabilir.

Bu sistemler belirli bir hızda ve belirli miktarda havanın taşınarak, istenmeyen kirleticilerin ortadan kaldırılması için tasarlanır. Tüm havalandırma sistemlerinde temelde aynı ilkeler takip edilir; bununla birlikte her bir işyeri için, işin türüne ve işyerindeki kirletici oranına göre, ayrı sistem tasarımı yapılmalıdır.

Havalandırma sistemleri ile

- Devamlı taze hava sağlanması, ortam havasının sürekli yenilenmesi
- Sıcaklık ve nemin konfor seviyesinde tutulması
- Yangın ve patlama tehlikelerinin azaltılması
- Kirleticilerin ortadan kaldırılması ya da seyreltilmesi
- Ortamlarda istenmeyen hava akımlarının oluşmasını engellemek üzere (Örneğin, pis kokuların yayılması), birçok durumda ortamlara veya dış havaya karşı ortamın negatif basınç (vakumlu havalandırma) veya pozitif basınç (basınçlı havalandırma) altında tutulmasının sağlanması

hedeflenir.

Havalandırma; kapalı çalışma ortamlarına yayılan kirleticilerin ortadan kaldırılması veya kontrolü için yapılan bir çeşit "mühendislik kontrolü" olarak kabul edilir. Çalışanların hava kirleticilere maruziyetinin kontrolü için kullanılan yollardan biridir.

Kirleticilerin kontrolü için ayrıca, tehlikeli kimyasalın kullanımının durdurulması, daha az toksik kimyasallarla değiştirilmesi ve proste değişiklik yapılması yollarına başvurulabilir.

Havalandırma sistemleri, kirli havayı atmak için gerekli kısım, sistemde havayı taşımak için gerekli fanlar, hava filtrasyon cihazları ve havanın hareketini sağlamak için kullanılan fanlardan oluşur.

Sanayide iki tip mekanik havalandırma sistemi vardır;

- Genel havalandırma sistemi, temiz hava ile kirli havanın karışma oranını azaltır.
- Lokal havalandırma sistemi, kirleticiyi kaynağında veya çok yakınında yakalar ve dışarı atar [32].

2.3.1.1. Genel Havalandırma Sistemi

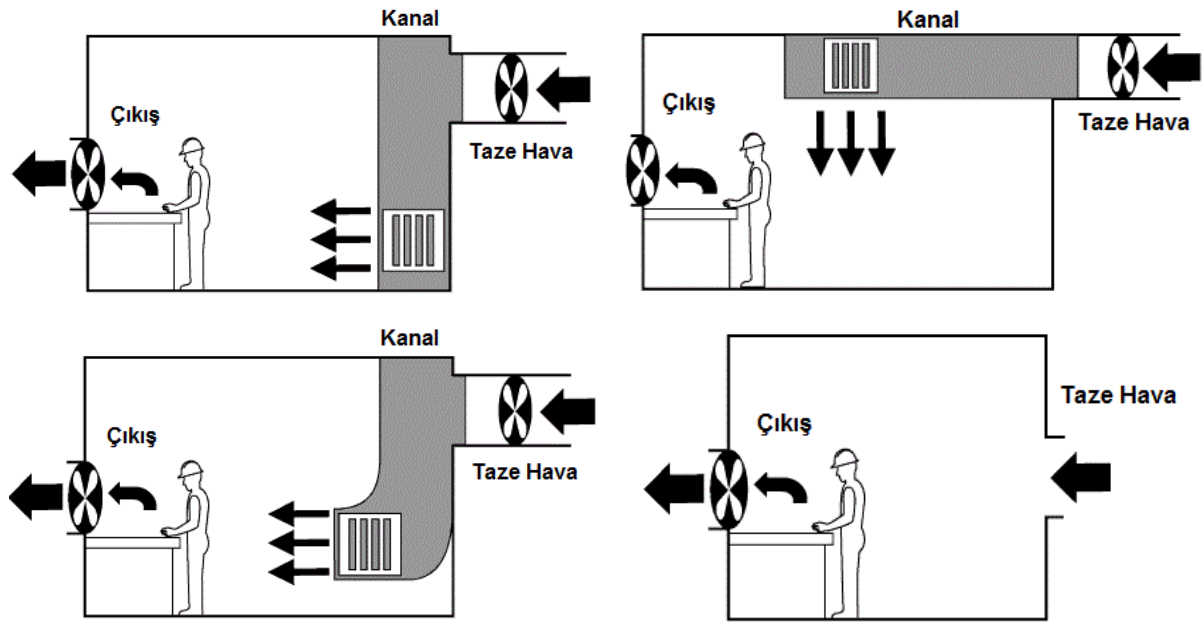
Genel havalandırma, binaya büyük miktarda temiz hava sağlar ve kirli havayı tahliye eder. Sistem, genellikle duvara veya bir odaya ya da binanın çatısına yerleştirilmiş geniş egzoz fanları içerir.

Genel havalandırma, işyerinde ortaya çıkan kirleticileri, bütün işyerinin havalandırılması yoluyla kontrol eder. Genel havalandırma kullanımı, işyerinde bir dereceye kadar kirleticileri dağıtabilmektedir fakat bu esnada kirlenme kaynağından uzak kişileri de olumsuz etkileyebilmektedir.

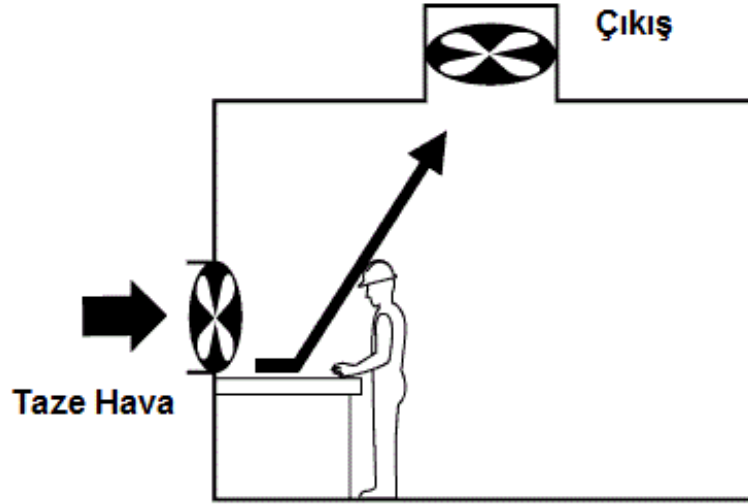
Eğer çıkış fanı, maruz kalan işçiye yakın yerleştirildiyse ve taze hava fanı işçinin arkasına yerleştirildiyse, kirli hava, işçinin nefes alma bölgesinden uzaklaştırılmış olacaktır ki bu sayede genel havalandırma daha etkili olabilir. Doğru ve yanlış tasarımlar Şekil 2.6.-2.7.'de gösterilmiştir.

Genel havalandırma ile kirletici kontrolü yapılırken; kirletici konsantrasyonunun çok yüksek olmaması ve toksikliğin az olması hususlarına dikkat edilmelidir. Ayrıca çalışanlar, işlerini kirletici kaynağının çok yakınında yapmamalıdır.

Diğer taraftan, izin verilen konsantrasyonu 100 ppm'den fazla olan çözücülerin haricindeki durumlar için kimyasal maddelerin kontrolünde genel havalandırma kullanımı tavsiye edilmemektedir [32].



Şekil 2.6. Tavsiye edilen genel havalandırma örnekleri



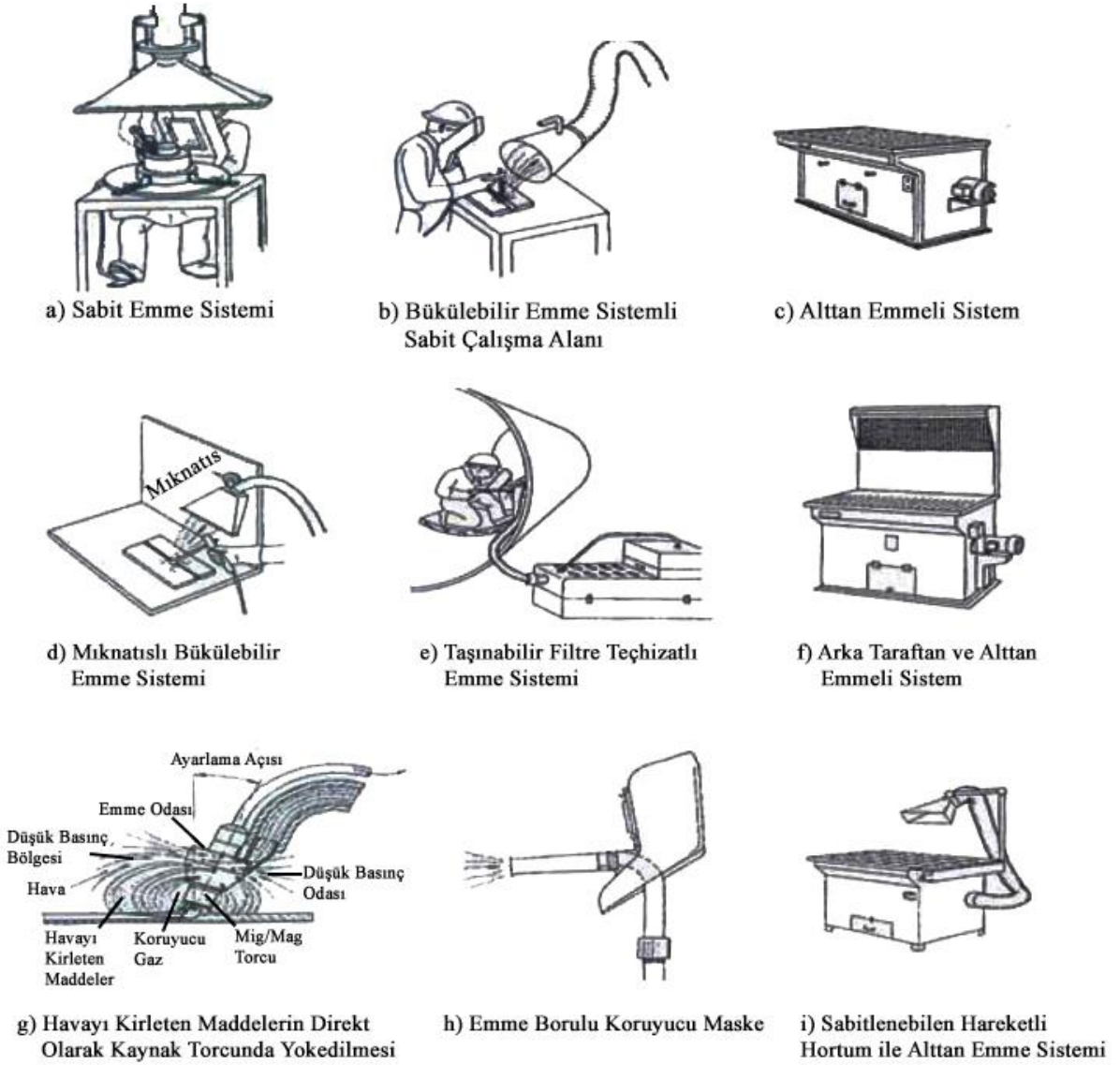
Şekil 2.7. Tavsiye edilmeyen genel havalandırma örneği

2.3.1.2. Lokal Havalandırma Sistemi

Lokal havalandırma sistemi, işyeri ortamına kirletici yayılmasına neden olan genel havalandırmanın aksine kaynağın yakınında kirleticiyi yakalama yoluyla hava kirleticilerini kontrol etmek için kullanılır. Toksik kirletici, çalışanın nefes bölgesine ulaşmadan önce kontrol edildiğinden lokal sistem çok daha etkili bir yoldur. Genellikle,

- Hava kirleticinin ciddi sağlık riski oluşturması
- Büyük miktarlarda toz veya duman üretilmesi
- Soğuk havalarda havalandırmadan dolayı ısınma giderlerinin artma endişesinin olması
- Emisyon kaynaklarının az olması
- Emisyon kaynaklarının çalışanların nefes alma bölgesi yakınında bulunması

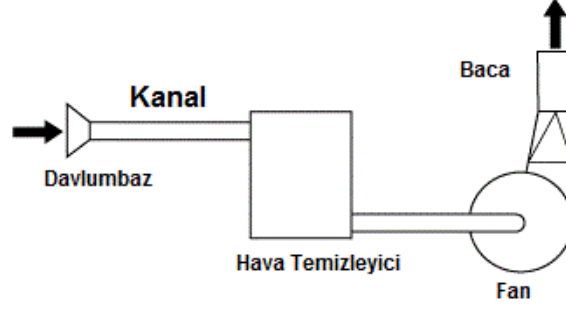
durumlarında tercih edilir [32]. Lokal havalandırma sistemi örnekleri Şekil 2.8.'te verilmiştir.



Şekil 2.8. Çeşitli lokal havalandırma sistemleri

Lokal havalandırmanın bileşenleri şu şekildedir;

- Kirleticiyi kaynağında yakalaması için bir davlumbaz veya açıklık
- Sistem içinde kimyasalları taşınması için kanallar
- Sistemdeki hareketli havayı temizlemesi için hava temizleme cihazı
- Sistem içinde havanın hareketi ve dışarı atılması için fanlar
- Kirli havanın atılması için egzoz bacası (Şekil 2.9.)



Şekil 2.9. Lokal havalandırma sisteminin temel bileşenleri

2.3.1.3. Genel Havalandırma ve Lokal Havalandırmanın Karşılaştırılması

Genel havalandırmanın avantajları:

- Düşük ekipman ve kurulum maliyetleri
- Az bakım gerektirmesi
- Düşük dozda toksik madde içeren kimyasallar için etkili olması
- Parlayıcı ve yanıcı gazlar veya buharlar için etkili olması
- Hareketli veya dağılmış kirleticiler için en iyi havalandırma sağlaması

Dezavantajları:

- Kirleticilerin tamamen ortadan kalkmaması
- Yüksek dozda toksik madde içeren kimyasallar için kullanılamaması
- Toz, metal dumanları, çok miktarda gaz veya buhar için etkili olmaması
- Yüksek miktarda ısıtılmış ya da soğutulmuş taze hava gerektirmesi
- Düzensiz veya gaz ve buhar yayınımları için etkili olmaması

Lokal havalandırmasının avantajları:

- Kirleticiyi kaynağında yakalar ve uzaklaştırır
- Yüksek dozda toksik madde içeren kimyasallar için tek seçenek
- Tozlar ve metal dumanları dâhil birçok kirletici çeşidini tutabilir
- Daha az taze hava gerektirir. Bu sayede de daha az hava dışarı atılır
- Az taze hava gerektirdiği için ısıtma ve soğutma maliyeti düşük

Dezavantajları:

- Tasarım, montaj ve ekipman için yüksek maliyet
- Düzenli temizlik, kontrol ve bakım gerektirir [32].

2.3.1.4. Davlumbazlar

Davlumbaz, kirlenmiş havayı içine çeken ve havalandırma sistemine aktaran havalandırma sistemi ünitesidir. Davlumbazların boyutları ve şekilleri kullanılacağı alana göre özel olarak tasarlanmaktadır (Şekil 2.10.). Davlumbaz ağızındaki hava hızı oluşan parçacığı çekecek güçte olmalıdır ve verimli olarak çalışabilmesi için kirli hava kaynağını saracak şekilde veya çok yakın bir konumda yerleştirilmesi gerekmektedir [33].

4 temel davlumbaz çeşidi vardır;

- Çevreleyen
- Alıcı
- Yakalayıcı
- Taşınabilir

2.3.1.4.1. Çevreleyen davlumbaz

Çevreleyen davlumbaz, diğer adıyla duman davlumbazı, kirli hava kaynağını saran, kutu gibi içerisine alan davlumbazlardır. Bunlara örnek olarak laboratuvar davlumbazları örnek gösterilebilir.

2.3.1.4.2. Alıcı davlumbaz

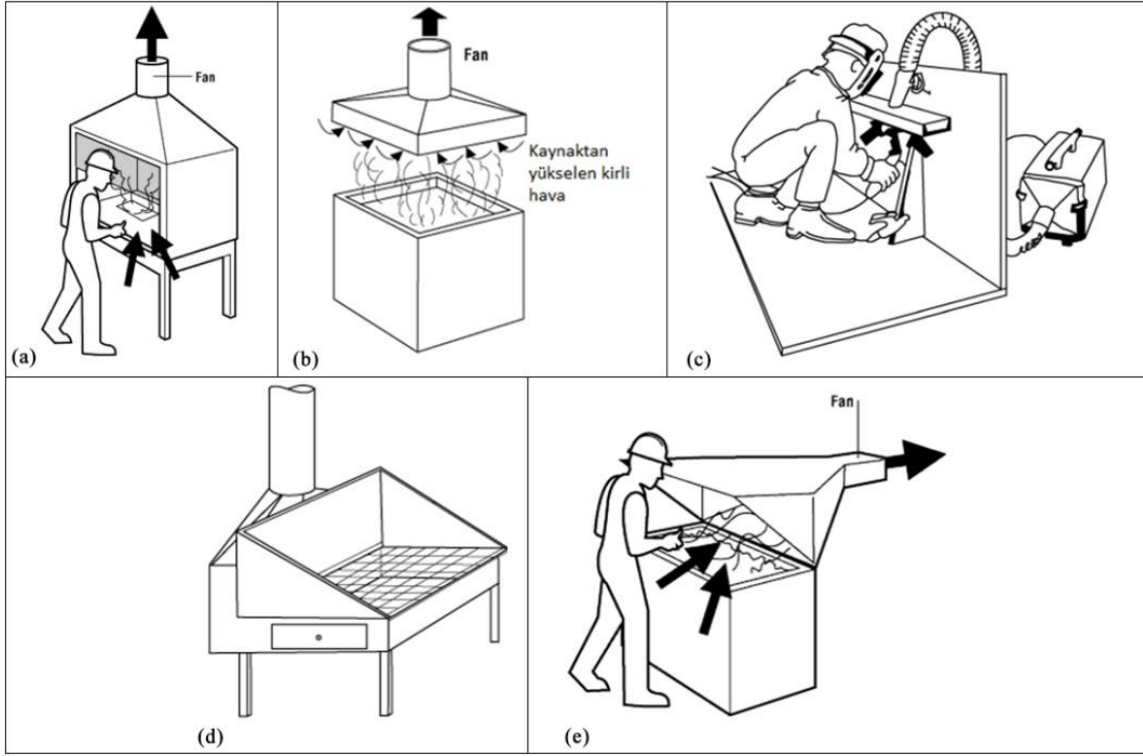
Bu tür davlumbazlar belirli bir hızı olan, kaynaktan yayılan kirli havayı karşılamak için tasarlanmıştır. Örnek olarak ocak üzerinde yükselen sıcak havayı çeken davlumbazlar, bir diğer örnek olarak da baca içerisinde yükselen kirli havayı karşılayan davlumbazlar gösterilebilir.

2.3.1.4.3. Yakalayıcı davlumbaz

Bu tür davlumbazlar emisyon kaynağına yakın konumlandırılmışlardır. Ancak kaynağı “çevreleyen davlumbaz” gibi sarmamaktadır. Emisyon kaynağına ve emisyon hızına göre kirli havayı belirli bir yakalama hızı ile emmektedir.

2.3.1.4.4. Taşınabilir davlumbaz

Yakalayıcı davlumbazlar bazı durumlarda (yükleme, boşaltma vs.) kolay erişim için taşınabilir sistemler şeklinde tasarlanmaktadır [33].



Şekil 2.10. Davlumbaz türleri a) çevreleyen davlumbaz b) alıcı davlumbaz c) taşınabilir davlumbaz d) kaynak işleri için yakalayıcı davlumbaz e) yakalayıcı davlumbaz

2.3.1.5. Yakalama Hızı

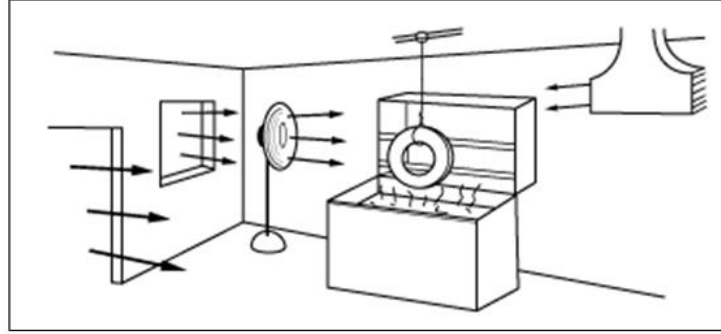
Havalandırma sistemi kirli havayı ve kirlenici maddeyi davlumbaz ile içine çekerek ortamdan veya çalışandan uzaklaştırır. Davlumbaz ağızındaki hava hızı ortamda oluşan kirlenici maddeyi ortama yayılmadan yakalayacak ve havalandırma kanallarına aktaracak güçte olmalıdır. Bu işlem için gerekli olan hıza “yakalama hızı” denmektedir.

Davlumbaz çevresindeki herhangi bir hava akımı çekiş performansını etkilemektedir. Bu gibi olumsuz durumların üstesinden gelebilmek için havalandırma çekiş hızı, parçacık yayılma hızından ve ortamdaki herhangi bir hava akımı hızından güçlü olmalıdır. Mümkün olduğunca dış hava sirkülasyonları da minimum seviyeye indirilmelidir. Davlumbazın yakalama hızını etkileyen dış faktörler Şekil 2.11.’de gösterilmiştir.

Dış hava sirkülasyonu kaynakları şunlardır;

- Özellikle sıcak proseslerde karşılaşılan termal hava akımları
- Hareketli makine veya makine parçalarından kaynaklanan hava akımları
- Çeşitli malzeme hareketleri
- Çalışan hareketleri

- Doğal oda hava akımları (genellikle 15 m/dk)
- Isıtma veya soğutma sistemlerinden kaynaklanan lokal hava akımları [33].



Şekil 2.11. Yakalama hızını etkileyen rakip hava akımları

Havalandırma sisteminin, emiş ağzındaki hava akış hızı ve kaynak noktasında oluşturduğu yakalama hızı 2.1 ve 2.2’de belirtilen formüllere göre hesaplanmaktadır.

$$Q = V_f \times A$$

$$\begin{aligned} Q &= \text{Hava Akış Debisi (m}^3/\text{sn)} \\ V_f &= \text{Emiş Ağzı Hava Akış Hızı (m/sn)} \\ A &= \text{Emiş Ağzı Yüzey Alanı (m}^2\text{)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$V = \frac{V_f}{12.7 \times (x \div D)^2 + 1}$$

$$\begin{aligned} V &= \text{Kaynak Noktasındaki Yakalama Hızı (m/sn)} \\ V_f &= \text{Emiş Ağzı Hava Akış Hızı (m/sn)} \\ x &= \text{Emiş Ağzının Kaynak Noktasına Uzaklığı (m)} \\ D &= \text{Emiş Ağzı Çapı (m)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.3.1.6. Yakalama Alanı ve Çalışma Alanı

Emiş ağzı önünde, hava kirleticileri yakalamak için yeterli hava akımına sahip olan alana yakalama alanı denilmektedir. Bu alanın şekli ve boyutu diğer dış hava akımları ile değişebilmektedir. Yakalama alanı dışına çıkıldıkça yakalama hızı hızla düşmektedir [34]. Şekil 2.12’de yakalama alanı ve çalışma alanı ile ilgili kullanım örnekleri verilmiştir.

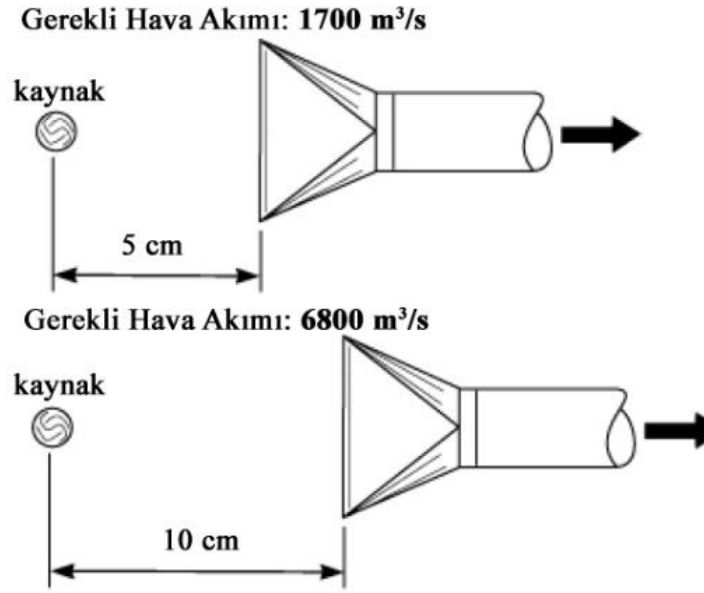


Şekil 2.12. Yakalama alanı ve çalışma alanı ile ilgili kullanım örnekleri

2.3.1.7. Davlumbaz Tasarımında Genel Kurallar

Davlumbaz şekli, boyutu, konumu ve hava yakalama hızı davlumbaz tasarımında önemli rol oynamaktadır. Her davlumbaz tasarımının kendine özgü kuralları vardır. Davlumbazlar için genel tasarım kuralları şunlardır;

- Davlumbaz, emisyon kaynağına mümkün olduğunca yakın konumlandırılmalıdır. Emisyon kaynağı davlumbazla ne kadar çevrilirse ortama yayılan kirletici aynı oranda azalacaktır.
- Kirletici malzemeyi içeren hava, davlumbaza optimum bir hızla taşınmalıdır.
- Çalışan, emisyon kaynağı ile davlumbaz arasında kalmayacak şekilde pozisyon almalıdır.
- Parçacıkların doğal hareketi dikkate alınmalıdır. Isıl proseslerde davlumbaz, kaynağın tepesine konumlandırılmalıdır.
- Davlumbaz üzerinde panjur veya perde varsa, bunlar çekiş hızını optimum seviyede tutacak şekilde ayarlanmalıdır.
- Davlumbaz ile emisyon kaynağı arasındaki mesafe 2 katına çıktığı zaman aynı çekiş için yakalama hızı 4 katına çıkarılmalıdır (Şekil 2.13.) [33].



Şekil 2.13. Davlumbaz ile kirletici arası mesafe ve gerekli hava akımı

2.3.2. Kişisel Solunum Koruyucular

2.3.2.1. Tam yüz maskesi

Gözleri, yüzü ve solunum yollarını aynı anda koruyan, üzerine gaz ve toz filtresi takılabilen, geniş görüş açılı kırılmaz akrilik camlı gaz maskesidir. Üzerinde bir nefes alma, bir nefes verme ventili bulunur. Oksijen miktarının % 19,5'in altında olduğu ortamlarda hava filtre eden sistemler kullanılamamakta, temiz hava beslemeli sistemler önerilmektedir [35].



Şekil 2.14. Tam yüz maskesi [36]

2.3.2.2. Yarım yüz maskesi

Sadece burun ve ağızı kapatan, hortum takılarak kullanılabilen kirli havayı atmaya ve buharlaşmayı önlemeye yarayan iki nefes verme ventili bulunan maske tipidir [35].



Şekil 2.15. Yarım yüz maskesi [37]

2.3.2.3. Vantilatör ve filtre aksamı kaynakçı başlığı

Ortamdaki havayı alıp bir arıtma filtresinden geçirerek kaynakçının solunum bölgesine ileten bir vantilatör ünitesi içermektedir [35].



Şekil 2.16. Hava beslemeli kaynakçı maskesi [38]

2.4. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ

Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), akışkanlarla ilgili detaylı hesaplamaların yapılabildiği, akış alanı ve diğer fiziksel detayların gösterilebildiği, bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. HAD analizlerinin sonuçları, tasarım sürecinde ürünün çalışmasını, varsa problemleri bilgisayar ortamında simüle etmekte ve ürün performansını optimize etmek için önemli faydalar sağlar.

Mühendislik hesaplamalarında, akışkan davranışının doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Analitik yöntemlerle direkt olarak hesaplanamayan kompleks modellerde, ısı transferi, basınç kayıpları, akış hızları gibi verilerin nümerik yöntemlerle, parçanın tasarım aşamasında iken belirlenmesi, zaman ve maliyet açısından üreticiye önemli avantajlar sağlamaktadır.

Çok fazlı akışlar, newtonian veya newtonian olmayan akışlar, katı-sıvı etkileşim analizleri, ileri türbülans modelleri, dönen parçaların analizleri gibi birçok uygulamada HAD, doğru ve hızlı sonuç elde etmenizi sağlar.

Akışkanlar dinamiği ile ilgili hesaplamalar, uzay ve havacılık, otomotiv, kimyasal prosesler, ısıtma, soğutma, havalandırma, biyomedikal ve gemicilik gibi birçok endüstriyel alanda karşımıza çıkmaktadır [39].

2.4.1. HAD'ın Esasları

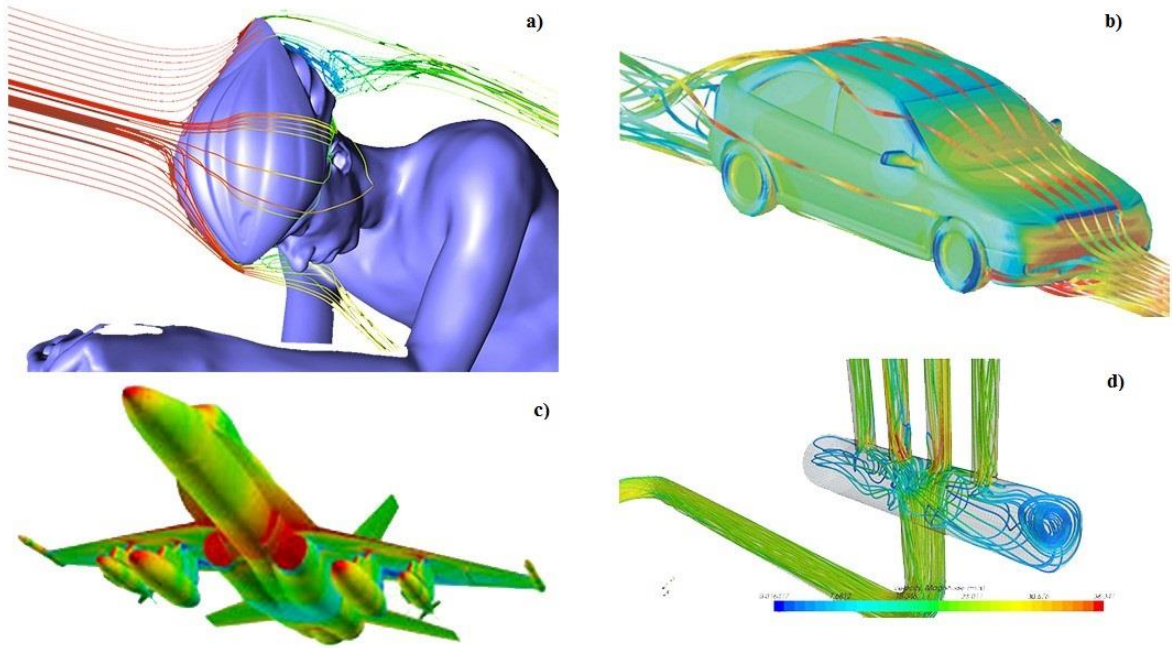
Hesaplmalı akışkanlar dinamiği ile ilgili birçok yazılım; ön işlemci, çözücü, son işlemci olmak üzere üç kısım içermektedir. Ön işlemci kısmında, çözüm için sınır şartları, hesaplanan bölgenin grid ve hücre sayısı belirlenir. Hücre sayısı basit durumlar için az sayıda iken karmaşık durumlarda çok daha fazladır. Çözücü kısmında, nümerik çözüm gerçekleşir. Bu çözüm kabul edilebilir bir yakınsama elde edilinceye kadar tekrar eder. Çözüme ulaşma süresi, sınır şartlarının kompleksliğine, hücre sayılarına ve bilgisayarın kapasitesine bağlı olarak birkaç saatten birkaç aya kadar değişebilir. Son işlemci kısmında ise çözümlerin uygun ve erişilebilir olarak görsel bir şekilde sunulduğu kısımdır [40].

2.4.2. HAD Nerede Kullanılır ve Ne Zaman Tercih Edilir?

- Hesaplama ve tasarım çalışmalarında
 - Benzetim tabanlı tasarım
 - HAD, deneysel akışkan dinamiğine göre daha maliyet-etkindir ve sonucu daha çabuk ulaşılabilir

- HAD, ilgilenilen akış bölgesi içinde deneysel olarak daha ayrıntılı incelenebilir ve değerlendirilebilir veriler sunar, deney esnasında ölçülemeyen, gözlemlenemeyen pek çok veriye hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ulaşılabilir
- Deney yapılmasının güç ya da imkânsız olduğu fiziksel olayların modellenmesi
 - Tam ölçek benzetimler; örneğin gerçek denizaltı üzerindeki, çeşitli kule konumlarının, pervanenin akustik nitelikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi gerekli olsa bu verilere deney yoluyla ulaşmak hemen hemen imkânsız olurdu.
 - Çevresel etkiler; örneğin öngörülen bir kasırganın gemi üst yapısı üzerindeki etkisi incelenmek istendiğinde
 - Tehlikeli olaylar; patlamalar, radyasyon, kirlenme gibi
 - Fizik; yıldız gelişimi, karadeliikler vs.
- Akışkan fiziği hakkında yeni kuramların geliştirilme çalışmalarında [39]

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ilgili uygulama örnekleri Şekil 2.17.'de gösterilmiştir.



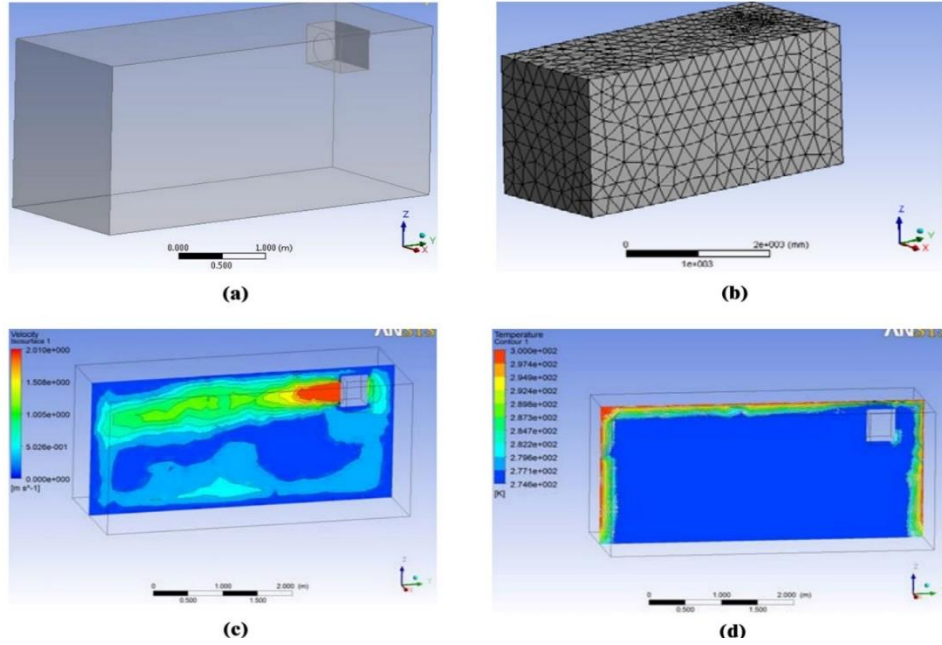
Şekil 2.17. HAD örnekleri a,b,c) rüzgâr direnci çalışmaları d) motor içi akış analizi

2.4.3. HAD analizi için işlemler

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

- İki veya üç boyutlu model için uygun çözümleyicinin çalıştırılması
- Çözümleyici seçimi
- Çözüm modellerinin seçimi: laminar veya türbülanslı, kimyasal bileşenler veya reaksiyonlar
- İlave modellerin tanımlanması: fanlar, ısı değıştircileri vb.
- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi
- Sınır şartlarının belirlenmesi
- Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması
- Akış alanının başlatılması
- İlk çözümlemenin yapılması
- Sonuçların değerlendirilmesi
- Sonuçların kaydedilmesi
- Gerekliyse ağ yapısı iyileştirilmesi veya fiziksel modelin gözden geçirilmesi [39]

HAD analizi işlem aşamaları Şekil 2.18.'de örneklerle gösterilmiştir.



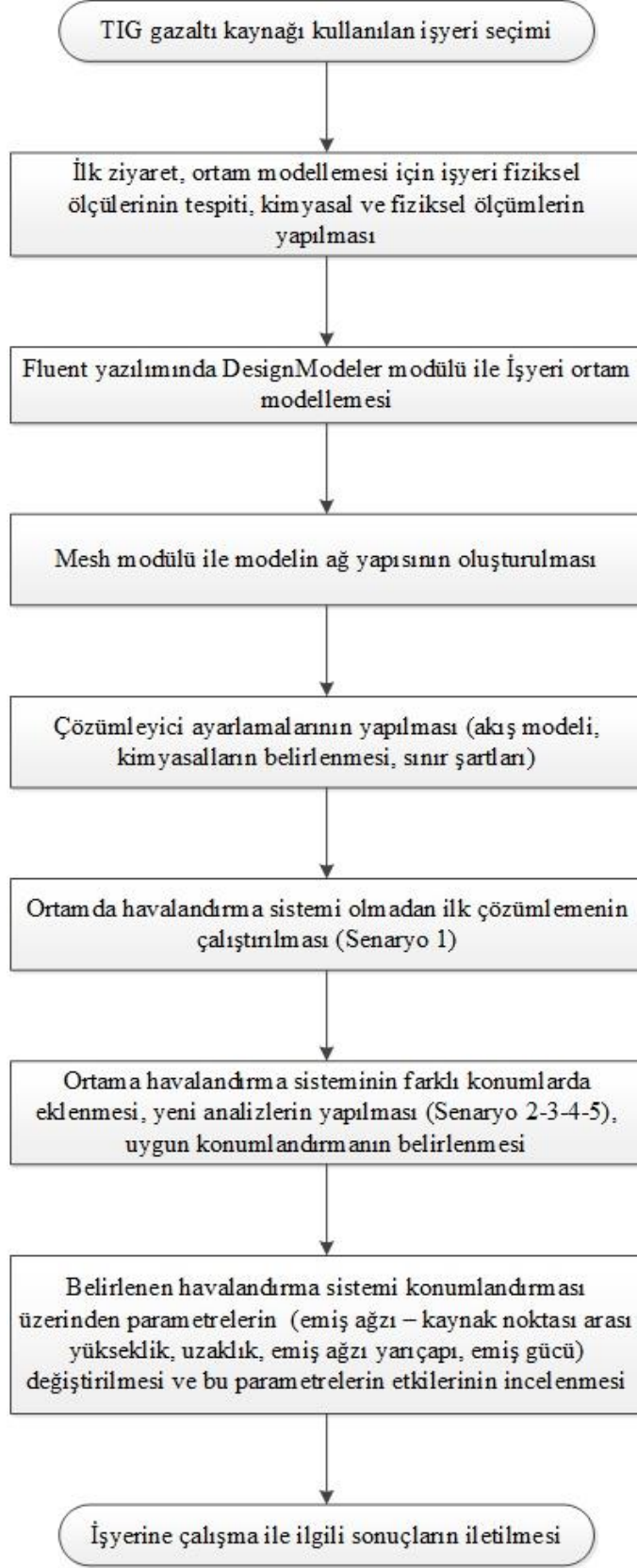
Şekil 2.18. HAD analizi aşamaları (soğuk hava deposu örneği) a) geometrik model b) mesh yapısı c) orta düzlemde hava hızının kontur dağılımı d) sıcaklık dağılımı [41]

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. ARAŞTIRMA SÜRECİ

Yapılan bu çalışmada, kaynak işlerinde ortaya çıkan gazların, çalışanlar üstündeki maruziyet oranlarının belirlenmesi ve çalışanların bu gazlardan korunmaları için gereken havalandırma sisteminin nasıl olması gerektiği konusunda deneysel ve sayısal analizler kullanılarak önerilerde bulunulması amaçlanmıştır.

Çalışma, savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren tehlikeli sınıfta yer alan ve yaklaşık 30 çalışanı bulunan bir işyerinde gerçekleştirilmiştir. İşyerinde çoğunlukla kaynak işleri yapılmaktadır. Kaynak gazlarının yayılımı ve etkileri inceleneceği için yaygın kullanımı ve çeşitli gaz çıkışı olan TIG gazaltı kaynak yöntemi örnek olarak seçilmiştir. Öncelikle işyerine bir ön inceleme ziyareti yapılmış, işyeri sahibine yapılacak çalışmayla ilgili bilgiler verilmiş, akabinde ortam modellemesi için gerekli bilgiler edinilmiştir. Ortam modelleme çalışmaları tamamlandıktan sonra ikinci bir ziyaret ile işyerinde kaynak işlemi esnasında anlık gaz ölçümleri alınmış, bu bilgiler ile sayısal analizler için başlangıç değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında çeşitli parametreler üzerinden senaryolar oluşturularak havalandırma sisteminin maruziyeti azaltmadaki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonrasında işyerine; kaynak işlemi sırasında oluşan zararlı gazlar, bu gazlardan korunmak için kullanabilecekleri havalandırma sisteminin özellikleri konusunda bilgiler verilmiştir. Araştırma süreci ile ilgili iş akışı Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma süreci ile ilgili iş akışı

3.2. GEREÇLER

3.2.1. Bilgisayar

Çalışmada kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri şu şekildedir.

- 2 Adet Intel Xeon E5-2609 64 bit 4 Çekirdekli İşlemci (2.40 GHz)
- 48GB DDR3 Bellek
- 1000 GB SATA 7200 rpm Harddisk
- 4GB (GDDR5) Nvidia Quadro K5000 256 bit Profesyonel Ekran Kartı
- 800W 90% Verim Sağlayan Güç Kaynağı
- 16x DVD-ROM/CD-ROM
- 20" LED Monitör (1600x900 Çözünürlük – 0.276 mm pixel aralığı)
- Microsoft Windows 7 Professional SP1 64 bit İşletim Sistemi

3.2.2. Yazılım

Araştırmada ANSYS Fluent programı kullanılmıştır. Bu program ve ilgili modüllerini içeren bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Fluent, sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. 1983'ten bu yana dünya çapında birçok 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.

Fluent, genel amaçlı bir HAD yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbomakine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler vb.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar dinamiği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcılarına birbirinden farklı birçok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm olanağı sağlar. Fluent, çözücü teknolojisi ve bünyesinde barındırdığı değişik fiziksel modeller sayesinde laminar, geçiş 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 çözümler üreterek, AR-GE bölümlerinin tasarım esnasındaki en güvenilir aracı olmaya adaydır [41, 42].

Yazılımın diğer modülleri kısaca şu şekildedir;

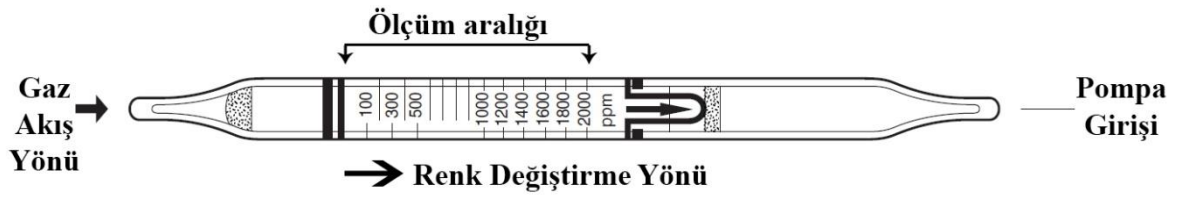
- **DesignModeler:** Bütün mühendislik simülasyonları; yapısal bir analizde katı/akışkan veya elektromanyetik bir analizde hava hacmi olabilen bir tasarımı temsil eden geometri ile başlar. Mühendis; geometriyi ya bir CAD yazılımından alır ya da kendisi baştan çizer. ANSYS DesignModeler yazılımı, ANSYS analizleri için bu aşamada kullanılan yazılımdır. ANSYS DesignModeler teknolojisi, geometri oluşturma alanında güçlü araçlara sahiptir. Benzer katı modelleme işlemleriyle karmaşık bir geometri oluşturabilir. Sağlam ve endüstri standartlarında olduğunu gösteren Parasolid çekirdeği üzerine kurulmuştur. 2 boyutlu çizimler 3 boyutlu hale getirilebilir ve Boolean işlemleriyle değiştirilebilir. Geometri geçmişi yapım sırasında kaydedilir, böylece daha sonra üzerinde değişiklik yapıp güncellenebilir [43].
- **Meshing:** Ağ oluşturma, mühendislik simülasyonunun en kritik kısımlarından biridir. Fazla eleman sayısı uzun işlem süresi oluştururken, az eleman sayısı ise sağlıklı sonuçlar verir. ANSYS Meshing kullanıcının dengeyi bulmasını ve olabildiğince otomatik olarak simülasyon için en doğru ağı oluşturmasını sağlar. ANSYS Meshing; ANSYS'in birbirlerinden bağımsız oluşturduğu, sınıf önderi ağ yapısı oluşturma araçları üzerine kurulmuştur. Bu bağımsız araçların en güçlü yanlarını bir araya getirilmesiyle oluşan araç, günümüzün en güçlü ağ oluşturma aracını oluşturmuştur. [44]
- **CFD-Post:** ANSYS CFD-Post, modern ve basit kullanıcı ara yüzü ile istenilen herhangi bir ayrıntı düzeyinde akışı görselleştirmek için sınırsız alternatifler sunmaktadır. Vektör çizimlerinden akış çizgilerine, vorteks görüntülemeye kadar, ANSYS CFD-Post kullanıcılara çözüm görselleri oluşturmaları için gerekli tüm araçları sağlar. Bu yüksek kaliteli görseller kullanıcılar ve meslektaşlar ile iletişim kurmada ve karmaşık akış olaylarının anlaşılmasında çok değerlidir. Yüksek özellikli grafiksel son işlemler ANSYS CFD-Post'un yalnızca tek bir parçası olup, niteliksel son işlem imkânları da en az bunlar kadar güçlü ve önemlidir. ANSYS CFD-Post'un fonksiyonları sayesinde kullanıcılar yaptıkları çözümden kendilerine gerekli verileri elde edebilirler: ağırlıklı ortalamalar, kütle debileri, kuvvetler, en büyük/en küçük değerler ve çok daha fazla fonksiyon ile HAD sonuçlarının kesin olarak analizini sağlar. Bunlara tablolanmış sunular, grafik çizimleri, özel turbo makina işlevleri ve otomatik rapor oluşturma özellikleri de eklendiğinde, ANSYS CFD-Post'ta son işlem imkânları sınırsız olmaktadır [44].

3.2.3. Anlık Gaz Ölçümü

TS EN 689 “İşyeri Havası-Solunumla Maruz Kalınan Kimyasal Maddelerin Sınır Değerler ile Karşılaştırılması ve Ölçme Stratejisinin Değerlendirilmesi İçin Kılavuz” standardına göre anlık gaz ölçümü ile iş yeri ortam havasındaki konsantrasyonu belirlenmeye çalışılan kimyasalın, 15 dakikalık bir süre için aşılmaması gereken maruziyet üst sınır değeri (STEL) ile kıyaslanabilmesi için en az 4 ölçüm yapılır. Bir kimyasala ait yapılan her 4 ölçüm sonucunda ortalama değer olarak bir analiz sonucu hesaplanır. Anlık gaz ölçümü, bir detektör tüp ve bir detektör tüp pompasından oluşan detektör tüp ölçüm sistemi ile yapılır (Şekil 3.2-3.3).



Şekil 3.2. Anlık gaz detektör ölçüm sistemi [45]



Şekil 3.3. Anlık gaz detektör tüpü [46]

Anlık gaz ölçümü adımları şu şekildedir;

- Ölçüm öncesinde tüpün her iki ucu tüp kırıcı ünitesi ile kırılır
- Tüpün ok ile gösterilen tarafı el pompası yuvası içerisine yerleştirilir. Diğer tarafı ise boşta bırakılır
- El pompası ile cam tüpe ait talimatta belirtildiği kadar hava emme işlemi yapılır. Bu işlem talimatta belirtilen sayıda tekrarlanır

- Cam tüpe ait talimatta belirtildiği süre kadar beklenir. Bu sürenin sonunda derecelendirilmiş tüp üzerinden gözle okuma yapılarak konsantrasyon değeri “ppm” veya “mg/m³” cinsinden görülür

3.2.4. Hava Akış Hızı Ölçümü

Endüstriyel uygulamalarda hava hızını ve sıcaklığını ölçmek için portatif bir anemometre kullanılır. (Şekil 3.4.) Cihaz üzerindeki sensör hava akışına doğru tutulur ve ekranda görünen değer (m/sn) okunarak ölçüm tamamlanmış olur.



Şekil 3.4. Hava akım ölçüm cihazı [47]

3.3. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Hesaplamalı analiz süreci, geometrik modelleme, sayısal ağ oluşturma, analiz ve sonuçların işlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Süreç modelleme ve sayısal ağ oluşturma aşamaları yoğun emek ve deneyim gerektirmekte, analiz aşamasında ise güçlü bilgisayar sistemlerine gerek duyulmaktadır. Söz konusu gereksinimler, sayısal modelin karmaşıklığı ile orantılı olarak artmaktadır. Aynı şekilde, elde edilen sonuçlarda beklenen doğruluk mertebesi de bu gereksinimlerde önemli bir artışa karşılık gelmektedir. Akışkanlar dinamiği problemlerinin sayısal yöntemlerle incelenmesinde, bu gereksinimleri karşılanabilir sınırlar içerisinde tutmak ve kullanılabilir sonuçlar elde edebilmek için basitleştirilmiş geometrik modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmada da, geometrik olarak basitleştirilmiş bir model hazırlanmış, son aşamada saha uygulamasında karşılaşılan duruma en uygun olabilecek sistemler de eklenerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Anlık gaz ölçümü ile kaynak bölgesinde oluşan zararlı gazlar ve konsantrasyonları tespit edilmiştir. Hava akış hızı ölçüm cihazı ile kaynak ortamında herhangi bir hava akımının olup olmadığı test edilmiştir.

Aşağıda bahsedilenler haricindeki parametrelerin, Fluent yazılımında standart olarak belirtilen değerleri varsayılan olarak kabul edilmiştir.

3.3.1. Geometrik Modelleme

İşyeri ortamının sınırlarının ve içerisinde yer alan bileşenlerin bilgisayar ortamında üç boyutlu modellenmesi aşamasıdır. Geometrik model, işyerinin bütün hacmini ifade eden bir alan (70m x 25m x 15m), bu alan içerisinde gazaltı kaynak işlemlerinin yapıldığı perdelenmiş 4 adet bölüm, bu bölümlerden birinin (6m x 5m x 2m) içerisinde bulunan kaynak tezgâhı, kaynakçı ve emme sistemi ekipmanından oluşmaktadır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. İşyeri çalışma ortamı

3.3.2. Ağ Oluşturma

Geometrik modelin içerisinde kaynak işlemi yapılan perdelenmiş bölge, analiz amacıyla üç boyutlu sayısal ağla örülmüştür. Bu örgü, dikdörtgen prizmalarından oluşan yapısal bir ağ olabileceği gibi, tetrahedronlardan veya karışık elemanlardan oluşan yapısal olmayan bir ağ da olabilir. Bu çalışmada yapısal olmayan ağ örgüsü kullanılmıştır.

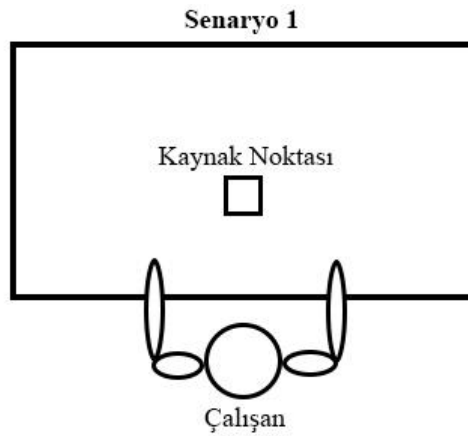
3.3.3. Kaynak Alanının ve Emme Sisteminin Modellenmesi

Kaynak gazı çıkışı olacak alan, birim zamanda aynı oranda gaz çıkışı oluşturacak şekilde modellenmiştir. Emme sistemi ise çekiş bacasından sabit hızda hava çekecek şekilde modellenmiştir. Kaynak alanı, herhangi bir hava akımı olmayacak şekilde modellenmiştir.

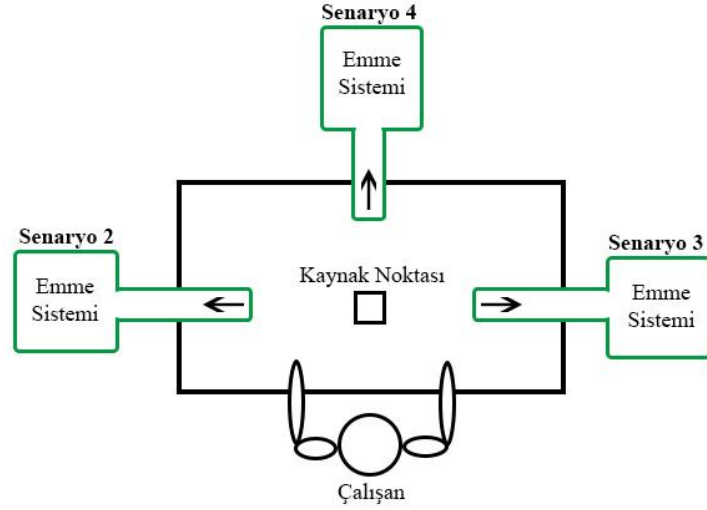
3.3.4. Analiz Ayrıntıları

Yapılan analizlerde sürekli akış kabul edilmiştir. Kaynak ortamında havalandırma sistemi kullanılmamasının ve kullanılırsa farklı konumlarda bulunmasının gaz maruziyetine etkileri üzerine çeşitli senaryolar (Şekil 3.6.-3.8.) oluşturulmuş ve bu senaryolara göre analizler yapılmıştır. Analizler öncesi çözümleyici ayarlamaları yapılırken seçilen parametreler şu şekildedir;

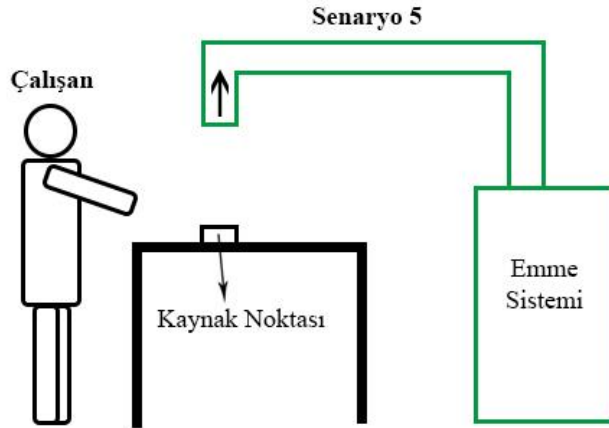
- Ortamdaki gazların yayılımını izleyebilmek için zamana bağlı (transient) çözüm modu seçilmiştir.
- Yerçekimi -y yönünde $9,81 \text{ m/sn}^2$ seçilmiştir.
- Kimyasal gazlar ve reaksiyonlar için tür taşınımı (species transport) modeli seçilmiştir.
- Akışkanlar dinamiğinde sıvı ve gazların hareket denklemleri olarak Navier-Stokes denklemleri kullanıldığı için enerji korunum denklemleri aktif edilmiştir.
- Kaynak alanındaki gaz yayılımını düzensiz olduğu için türbülanslı çözüm modeli kullanılmıştır. Akışkanlar dinamiğinde en yaygın kullanılan türbülans modeli k-epsilon (k-ε) modelidir. Bu çalışmada da k-epsilon modelinin en yenisi olan Realizable k-epsilon modeli seçilmiştir.



Şekil 3.6. Havalandırma sistemi bulunmadığı durum (Senaryo 1)

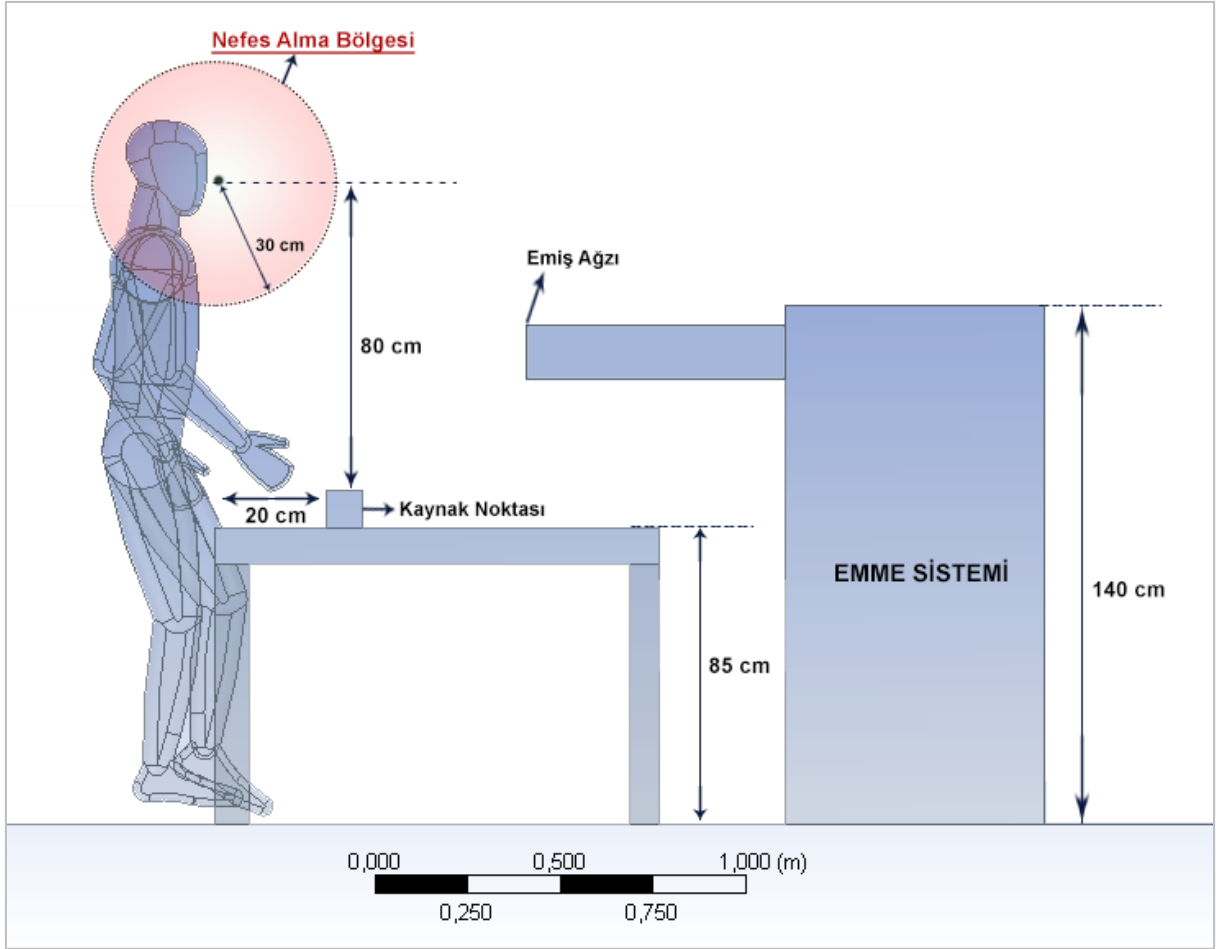


Şekil 3.7. Havalandırma sistemi sağda (Senaryo 2), solda (Senaryo 3), karşıda (Senaryo 4)



Şekil 3.8. Havalandırma sistemi yukarıda (Senaryo 5)

Havalandırma sisteminin en uygun konumlandırmasını belirlemek için oluşturulan senaryolarda havalandırma sisteminin emiş ağzı, yapılan iş için gerekli alan da düşünülerek yatay pozisyonda kullanımda kaynak noktasından yaklaşık 45 cm uzaklıkta ve 35 cm yükseklikte, dikey pozisyonda kullanımda ise kaynak noktasında yaklaşık 75 cm yükseklikte konumlandırılmıştır. Kaynak işlemi yapılan masa yüksekliği 85 cm, kaynak noktası ile çalışanın nefes alma bölgesi arası yükseklik 80 cm, emme sistemi yüksekliği ise 140 cm olarak modellenmiştir. Nefes alma bölgesi; çalışanın ağzı ve burnu merkez nokta olacak şekilde 30 cm çapındaki bir alanı ifade etmektedir [34]. Oluşturulan modele ait ölçüler Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Oluşturulan senaryolarda kullanılan modele ait ölçüler

Sayısal analizler sonucunda havalandırma sisteminin konumlandırılması belirlendikten sonra sisteme ait parametreler değiştirilerek (emiş ağız yarıçapı, emiş ağız-kaynak noktası arası uzaklık ve yükseklik, emiş gücü) bu parametrelerin (Tablo 3.1.) gaz maruziyetini azaltmadaki etkileri incelenmiştir.

Tablo 3.1. Havalandırma sistemi üzerinde kullanılacak parametreler

Parametre Adı	Birim	Değer 1	Değer 2	Değer 3
Kaynak Noktası – Emiş Ağızı Arası Uzaklık	m	0,20	0,45	0,70
Kaynak Noktası – Emiş Ağızı Arası Yükseklik	m	0,05	0,35	-
Emiş Ağızı Yarıçapı	m	0,05	0,075	0,1
Emiş Gücü	m ³ /saat	1100	2000	-

4. BULGULAR

4.1. İŞYERİNDE YAPILAN ÖLÇÜMLER VE HESAPLAMALAR

4.1.1. Yapılan Ölçümler

Sayısal analiz çalışmasında başlangıç değerleri olarak kullanılmak ve deneysel karşılaştırma yapmak üzere, kaynak esnasında oluşan gaz konsantrasyonları (Tablo 4.1.) ve kaynakçının bu gazlara maruziyeti (Tablo 4.2.) yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Kaynak alanında yapılan hava akış hızı ölçümünde herhangi bir hava akımı tespit edilmemiştir.

Tablo 4.1. Kaynak noktasında oluşan gaz konsantrasyonları

Ölçümü Yapılan Gaz	Ölçümler Sonuçları (ppm)				
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm Ortalaması
Karbon monoksit (CO)	1,5	1,0	1,5	1,5	1,375
Karbondioksit (CO ₂)	800	750	800	700	762,5
Ozon (O ₃)	1,0	1,0	1,0	0,8	0,95

Tablo 4.2. Kaynak esnasında kaynakçının gaz maruziyeti

Ölçümü Yapılan Gaz	Ölçümler Sonuçları (ppm)				
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm Ortalaması
Karbon monoksit (CO)	1,0	1,0	1,5	1,0	1,125
Karbondioksit (CO ₂)	550	650	750	675	656,25
Ozon (O ₃)	0,5	1,0	0,7	0,9	0,775

4.1.2. Yapılan Hesaplamalar

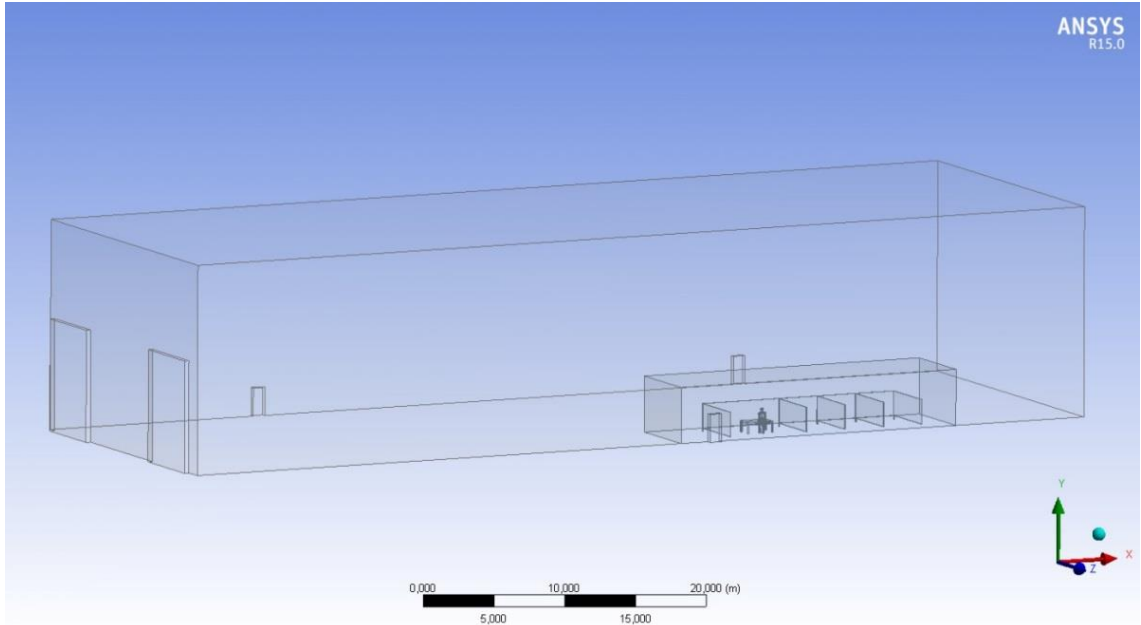
Havalandırma sistemi konumlandırması için oluşturulan senaryolarda kullanılacak veriler ve 2.1’de belirtilen formüle göre hesaplanan değerler Tablo 4.3.’te gösterilmiştir. Havalandırma sisteminin kaynak noktasında oluşturduğu yakalama hızı 2.2’de belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. Sayısal analiz için girilen havalandırma sistemine ait değerler

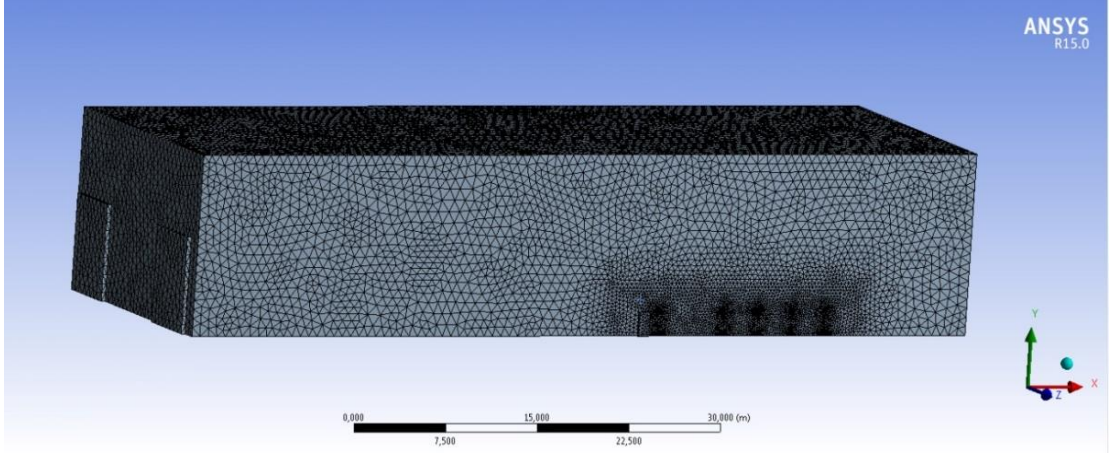
Veri Türleri	Değer
Hava Akış Debisi	0,305 m ³ /sn
Emiş Ağzı Yarı Çapı	75 mm
Emiş Ağzı Hava Akış Hızı	17,33 m/sn

4.1.3. Sayısal Analiz Sonuçları

İşyeri ziyaretinde elde edilen bilgiler ışığında işyeri ortamına ait geometri (Şekil 4.1.) oluşturulmuştur. Daha sonra bu geometri üzerinden modelin ağ yapısı (Şekil 4.2.) elde edilmiştir. Ağ yapısı, 3 540 572 elemandan oluşmaktadır.



Şekil 4.1. İşyerinin geometrik modeli



Şekil 4.2. İşyerinin geometrik modeline ait ağ yapısı

Kaynak ortamı ile ilgili oluşturulan beş farklı senaryo için elde edilen sayısal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1.3.1. Senaryo 1'e ait sayısal analiz sonuçları

Kaynak ortamında herhangi bir havalandırma sistemi kullanılmadığı zaman, çalışan üzerindeki gaz konsantrasyon dağılımları Senaryo 1'e göre yapılan analizlerle elde edilmiştir. Çalışanın nefes alma bölgesinde tespit edilen en yüksek gaz maruziyeti, CO₂ için 700 ppm, CO için 1,2 ppm ve O₃ için 0,8 ppm olarak bulunmuştur. Bu senaryoya ait ağ yapısı, 3 769 380 elemandan oluşmaktadır.

4.1.3.2. Senaryo 2'e ait sayısal analiz sonuçları

Kaynak ortamında, havalandırma sistemi çalışanın sol tarafında konumlandırıldığı zaman, çalışan üzerindeki gaz konsantrasyon dağılımları Senaryo 2'ye göre yapılan analizlerle elde edilmiştir. Çalışanın nefes alma bölgesinde tespit edilen en yüksek gaz maruziyeti, CO₂ için 130 ppm, CO için 0,15 ppm ve O₃ için 0,11 ppm olarak bulunmuştur. Bu senaryoya ait ağ yapısı, 3 771 701 elemandan oluşmaktadır.

4.1.3.3. Senaryo 3'e ait sayısal analiz sonuçları

Kaynak ortamında, havalandırma sistemi çalışanın sağ tarafında konumlandırıldığı zaman, çalışan üzerindeki gaz konsantrasyon dağılımları Senaryo 3'e göre yapılan analizlerle elde edilmiştir. Çalışanın nefes alma bölgesinde tespit edilen en yüksek gaz maruziyeti, CO₂ için 180 ppm, CO için 0,35 ppm ve O₃ için 0,25 ppm olarak bulunmuştur. Bu senaryoya ait ağ yapısı, 3 758 486 elemandan oluşmaktadır.

4.1.3.4. Senaryo 4'e ait sayısal analiz sonuçları

Kaynak ortamında, havalandırma sistemi çalışanın karışı tarafında konumlandırıldığı zaman, çalışan üzerindeki gaz konsantrasyon dağılımları Senaryo 4'e göre yapılan analizlerle elde edilmiştir. Çalışanın nefes alma bölgesinde tespit edilen en yüksek gaz maruziyeti, CO₂ için 50 ppm, CO için 0,1 ppm ve O₃ için 0,08 ppm olarak bulunmuştur. Bu senaryoya ait ağ yapısı, 3 591 107 elemandan oluşmaktadır.

4.1.3.5. Senaryo 5'e ait sayısal analiz sonuçları

Kaynak ortamında, havalandırma sistemi kaynak noktasının üstünde dikey pozisyonda konumlandırıldığı zaman, çalışan üzerindeki gaz konsantrasyon dağılımları Senaryo 5'e göre yapılan analizlerle elde edilmiştir. Çalışanın nefes alma bölgesinde tespit edilen en yüksek gaz maruziyeti, CO₂ için 230 ppm, CO için 0,4 ppm ve O₃ için 0,3 ppm olarak bulunmuştur. Bu senaryoya ait ağ yapısı, 3 711 416 elemandan oluşmaktadır.

4.1.3.6. Deneysel ve sayısal analiz sonuçları

Kaynak ortamında yapılan ölçümler ve sayısal analizler sonucu elde edilen gaz maruziyetleri ile ilgili değerler Tablo 4.4.'te verilmiştir. Sayısal analiz sonuçları ile ilgili gaz konsantrasyon dağılımlarına ait görseller Ek'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Ölçüm ve sayısal analiz sonucu elde edilen maruziyet değerleri

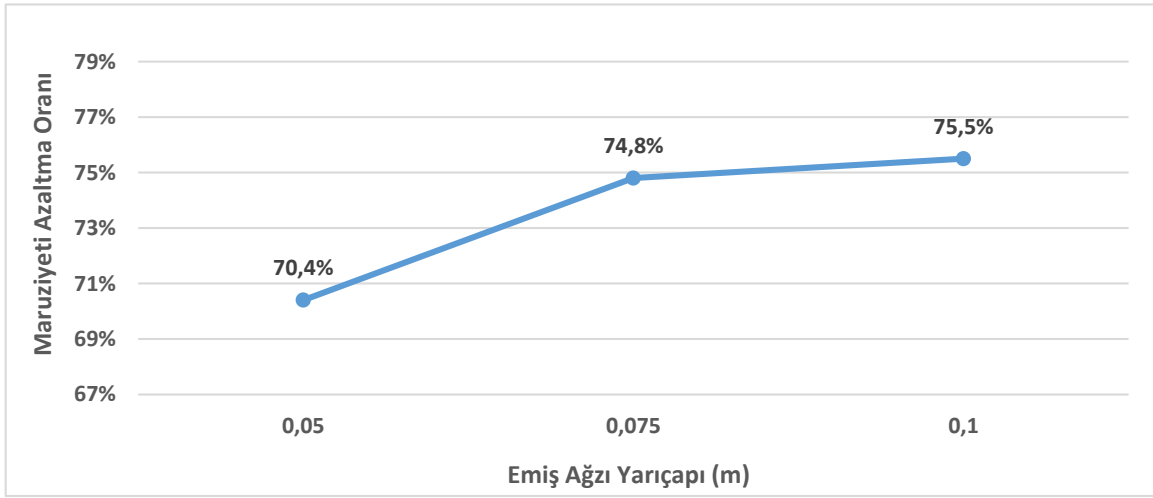
Veri Türü	Nefes Alma Bölgesindeki Gaz Konsantrasyonu (ppm)			Maruziyet Azaltma Oranı (%)
	CO ₂	CO	O ₃	
Anlık Gaz Ölçümü (Çalışan)	656,25	1,125	0,775	-
Senaryo 1	700	1,2	0,8	-
Senaryo 2	130	0,15	0,11	85,1
Senaryo 3	180	0,35	0,25	71,25
Senaryo 4	50	0,1	0,08	91,5
Senaryo 5	230	0,4	0,3	65,4

Senaryo 4 üzerinden Tablo 3.1.'de belirtilen parametrelere göre yapılan sayısal analizlere ait sonuçlar Tablo 4.5.'te verilmiştir.

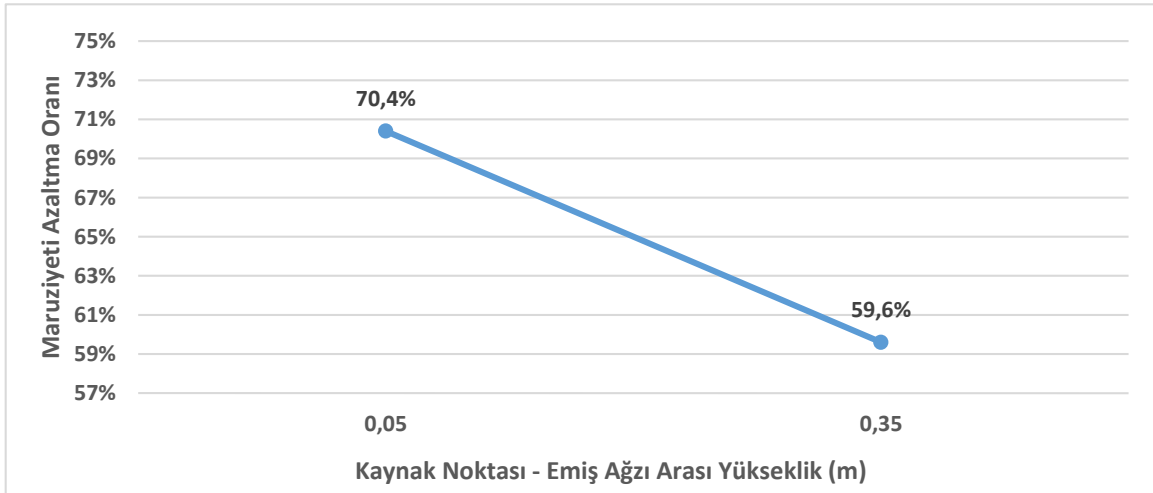
Tablo 4.5. Senaryo 4 üzerinden parametrik olarak hesaplanan değerler

Senaryo	Kaynak Noktası - Emiş Ağızı Arası Uzaklık (m)	Kaynak Noktası - Emiş Ağızı Arası Yükseklik (m)	Emiş Ağızı Yarıçapı (m)	Emiş Gücü (m ³ /saat)	Emiş Ağızı Hava Akış Hızı - V _f (m/s)	Kaynak Noktası ndaki Yakalama Hızı - V (m/s)	Nefes Alma Bölgesindeki Gaz Konsantrasyonu			Maruziyet Azaltma Oranı (%)
							CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	
4.1	0,20	0,05	0,05	1100	39,11	0,755	0	0	0	100,0
4.2	0,45	0,05	0,05	1100	39,11	0,151	0	0	0	100,0
4.3	0,70	0,05	0,05	1100	39,11	0,063	199	0,35	0,25	70,4
4.4	0,20	0,35	0,05	1100	39,11	0,755	0	0	0	100,0
4.5	0,45	0,35	0,05	1100	39,11	0,151	0	0	0	100,0
4.6	0,70	0,35	0,05	1100	39,11	0,063	271	0,48	0,34	59,6
4.7	0,20	0,05	0,075	1100	17,33	0,735	0	0	0	100,0
4.8	0,45	0,05	0,075	1100	17,33	0,150	0	0	0	100,0
4.9	0,70	0,05	0,075	1100	17,33	0,062	170	0,3	0,21	74,8
4.10	0,20	0,35	0,075	1100	17,33	0,735	0	0	0	100,0
4.11	0,45	0,35	0,075	1100	17,33	0,150	50	0,1	0,08	91,5
4.12	0,70	0,35	0,075	1100	17,33	0,062	210	0,38	0,26	68,6
4.13	0,20	0,05	0,1	1100	9,72	0,709	0	0	0	100,0
4.14	0,45	0,05	0,1	1100	9,72	0,149	0	0	0	100,0
4.15	0,70	0,05	0,1	1100	9,72	0,062	165	0,3	0,2	75,5
4.16	0,20	0,35	0,1	1100	9,72	0,709	0	0	0	100,0
4.17	0,45	0,35	0,1	1100	9,72	0,149	0	0	0	100,0
4.18	0,70	0,35	0,1	1100	9,72	0,062	255	0,46	0,32	61,7
4.19	0,20	0,05	0,05	2000	71,16	1,374	0	0	0	100,0
4.20	0,45	0,05	0,05	2000	71,16	0,276	0	0	0	100,0
4.21	0,70	0,05	0,05	2000	71,16	0,114	0	0	0	100,0
4.22	0,20	0,35	0,05	2000	71,16	1,374	0	0	0	100,0
4.23	0,45	0,35	0,05	2000	71,16	0,276	0	0	0	100,0
4.24	0,70	0,35	0,05	2000	71,16	0,114	0	0	0	100,0
4.25	0,20	0,05	0,075	2000	31,54	1,338	0	0	0	100,0
4.26	0,45	0,05	0,075	2000	31,54	0,274	0	0	0	100,0
4.27	0,70	0,05	0,075	2000	31,54	0,114	0	0	0	100,0
4.28	0,20	0,35	0,075	2000	31,54	1,338	0	0	0	100,0
4.29	0,45	0,35	0,075	2000	31,54	0,274	0	0	0	100,0
4.30	0,70	0,35	0,075	2000	31,54	0,114	0	0	0	100,0
4.31	0,20	0,05	0,1	2000	17,68	1,291	0	0	0	100,0
4.32	0,45	0,05	0,1	2000	17,68	0,271	0	0	0	100,0
4.33	0,70	0,05	0,1	2000	17,68	0,113	0	0	0	100,0
4.34	0,20	0,35	0,1	2000	17,68	1,291	0	0	0	100,0
4.35	0,45	0,35	0,1	2000	17,68	0,271	0	0	0	100,0
4.36	0,70	0,35	0,1	2000	17,68	0,113	0	0	0	100,0

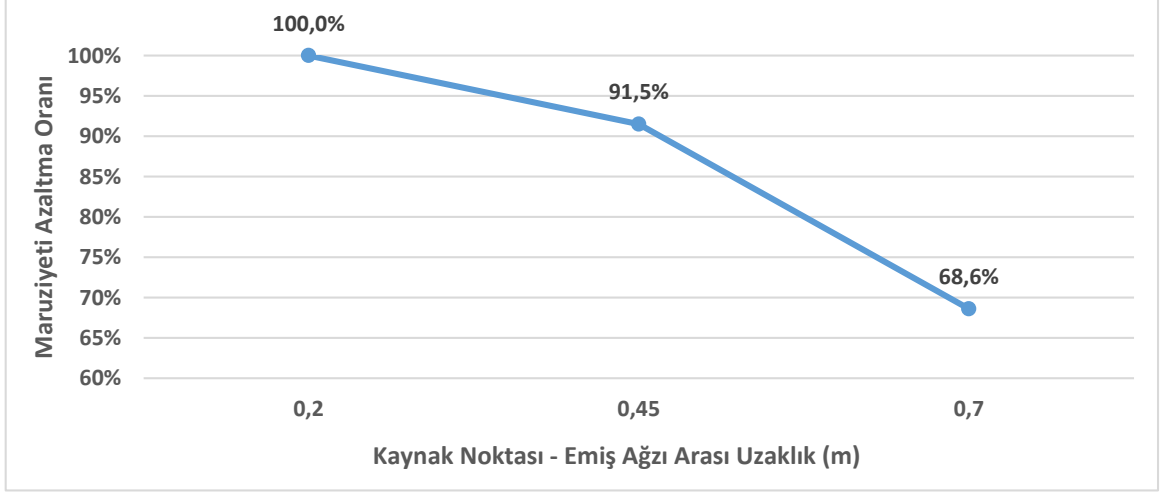
Yapılan sayısal analizlere göre, diğer parametreler sabit tutulduğunda, emiş ağız yarıçapı arttırıldığında havalandırma veriminin %70,4'ten %75,5'e çıktığı belirlenmiştir (Şekil 4.3.). Havalandırma sistemi, emiş ağız kaynak seviyesinde tutulurken %70,4 oranında maruziyeti azaltırken, kaynak seviyesinin üzerinde bir konumda iken maruziyeti %59,6 oranında azaltabildiği belirlenmiştir (Şekil 4.4.). Yine sayısal analizlere göre emiş ağız kaynak noktasından uzaklaştırıldıkça havalandırma sistemi veriminin %100'den %68,6'ya düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.3. Emiş ağız yarıçapının havalandırma verimine etkisi



Şekil 4.4. Kaynak noktası – emiş ağız arası yüksekliği havalandırma verimine etkisi



şekil 4.5. Kaynak noktası – emiş ağzı arası uzaklığın havalandırma verimine etkisi

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, kaynak işlerinde maruz kalınan zararlı gazların tespiti, uygun havalandırmanın tasarlanması ve tasarlanan havalandırmanın maruziyete etkisinin sayısal analiz yöntemiyle belirlenmesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada, kaynakta oluşan zararlı gazlar, havalandırma ile kaynak ortamında hava kirleticilerinin konsantrasyonlarının düşürülmesi, sayısal analiz ile lokal havalandırmanın uygun konumlandırılması ve havalandırma sisteminin parametrelerinin gaz maruziyetini azaltmaya etkileri konularında literatür ile karşılaştırılarak incelenmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Bu çalışmada, kaynak ortamında yapılan anlık gaz ölçümü sonuçlarının, Senaryo 1'e göre sayısal olarak analiz edilen ortamdaki gaz konsantrasyonu değerleri ile ortalama %95 oranında uyumluluk gösterdiği görülmüştür. Bu da sayısal analizi yapılan diğer senaryolara ait sonuçların (Tablo 4.4.) güvenilir olduğunu göstermektedir.

Kaynakta oluşan gazlar ile ilgili Popović ve ark. [48] (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, gazaltı kaynak yöntemleri ile yapılan ölçümler ve analizler sonucu, CO₂ konsantrasyonunun kaynak süresince 3590 mg/m³'e (1 994 ppm) kadar ve CO konsantrasyonunun ise 1,6 mg/m³'ten (1,4 ppm) 181 mg/m³'e (158 ppm) kadar çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca TIG kaynağında duman oluşumunun çok az olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da, yapılan anlık gaz ölçümleri ile TIG kaynağında değişik oranlarda CO₂, CO ve O₃ gazlarının oluştuğu belirlenmiştir.

Flynn ve Susi [49] (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, bir kaynak işletmesinde O₃ ve CO gazlarının konsantrasyonlarının lokal havalandırma kullanımıyla 0,05 ppm'den 0,03 ppm'e %40 oranında, lokal ve genel havalandırmanın birlikte kullanımıyla 0,5 ppm'den 0,2 ppm'e %60 oranında düşürülebildiği belirtilmiştir. Yine Ojima ve ark. [50] (2000) tarafından gazaltı kaynağı üzerine yapılan bir çalışmada, lokal havalandırma ile CO ve O₃ konsantrasyonlarını sırasıyla %30 ve %58 oranında düşürüldüğü belirtilmiştir. Bu çalışmaları destekler nitelikte olarak, yapılan sayısal analiz sonuçlarına göre, senaryo edilen dört farklı havalandırma sistemi konumlandırılması ile çalışanın maruz kaldığı kaynak gazı konsantrasyonlarının %64-%91,5 oranlarında azaltılabildiği görülmüştür.

Cole ve ark. [51] (2007) tarafından yapılan başka bir çalışmada, çalışanın duruş pozisyonunun (kaynak noktası üzerine eğilme, dik durma) da maruziyeti etkilediği belirlenmiş, havalandırma sisteminin, kaynak üzerine eğilerek çalışmada maruziyeti %39 oranında azaltırken, dik durma

pozisyonunda maruziyeti %51 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Avustralya Kaynak Teknolojisi Enstitüsü tarafından yayınlanan Duman Minimizasyonu Rehberleri – Rehber No: 6 TIG Kaynağı'nda [52] (1999) yapılan çalışmada kaynak dumanına ve gazına maruziyeti azaltmak için kaynak çalışanın kaynak noktası üzerine eğilmemesi gerektiği belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, kaynak çalışanın dik pozisyonda çalışmasının kaynak maruziyeti üzerinde büyük etkisi olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da, oluşturulan senaryolarda, tasarlanan sistemin en yüksek verimde olması için çalışan dik pozisyonda modellenmiştir.

Inthavong ve ark. [53] (2009) tarafından ağaç tornacılığı yapılan işletmelerde parçacık maruziyetini en aza indirmek için lokal havalandırmanın uygun konumlandırılması üzerine sayısal analiz yöntemi ile bir çalışma yapılmıştır. Sayısal olarak modellenen test ortamında dikey düzlemde lokal havalandırmanın konumlandırılması üzerine beş farklı senaryo oluşturulmuş ve havalandırmanın performansı bilgisayar ortamında incelenmiştir. Hem nefes alma bölgesinde hem de ortamda parçacık konsantrasyonunun en aza indirilmesi için havalandırmanın çalışanın karşısında konumlandırılmasının en iyi performansı sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada da, yapılan sayısal analiz sonuçlarına göre en optimum havalandırmanın Senaryo 4 ile elde edilebileceği tespit edilmiştir. Senaryo 4'e göre havalandırma sisteminin, çalışanın karşı tarafında konumlandırılması ile nefes alma bölgesindeki gaz konsantrasyonlarını (CO_2 , CO ve O_3) ortalama %91,5 oranında azaltabildiği belirlenmiştir.

Pocock ve Saunders [54] (2009) tarafından yapılan bir araştırmada, gazaltı kaynak yönteminde lokal havalandırma sisteminin konumlandırılmasının gaz ve duman konsantrasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Emme sisteminin etkinliği, emiş ağzı kaynak noktasından yatay pozisyonda 150 mm uzaklıkta %100 oranında iken, 450 mm uzaklıkta %59,38 oranında olduğu belirtilmiştir. Bu da, emiş ağzının kaynak noktasından uzaklaştırılmasının emme sisteminin veriminin düşürdüğünü göstermektedir. Bu çalışmada da, emiş ağzı yatay pozisyonda kaynak noktasından uzaklaştırıldıkça maruziyet azaltma oranının %100'den %68,6'ya düştüğü görülmüştür.

Shibata ve ark. [55] (2000) tarafından gazaltı kaynağında yapılan deneysel bir çalışmada, lokal havalandırma sisteminin emiş ağzının kaynak seviyesinde konumlandırıldığı durumda, emiş gücü arttırıldıkça kaynakta oluşan hava kabarcığı sayısının da arttığı yani kaynak kalitesinin düştüğü gözlemlenmiştir. ACGIH (Hükümete Bağlı Endüstriyel Hijyenistler Amerika

Konferansı) tarafından, kaynak noktasında oluşan yakalama hızının 0,5 m/sn sınır değerinin üstünde olduğu zaman koruyucu gazın etkisini kaybedeceği ve kaynak kalitesinin düşeceği belirtilmiştir [56]. Bu tez çalışmasında da, Senaryo 4 üzerinden yapılan parametrik analizlerde (Tablo 4.5.) emiş ağzının kaynak seviyesinde olduğu durumlarda kaynak noktasındaki yakalama hızının 0,5 m/sn'nin üzerinde olduğu senaryolar kaynak kalitesini olumsuz etkilediği için değerlendirmeye alınmamıştır.

Bu çalışmada yapılan sayısal analizlere göre, emiş gücünün 1100 m³/saat'ten 2000 m³/saat'e çıkarıldığı durumlarda çalışanın nefes alma bölgesinde herhangi bir maruziyet oluşmadığı görülmüştür. Havalandırma sisteminde emiş gücünün artırılması daha fazla hava hacmi çekilmesini ve daha uzak mesafelerde gaz konsantrasyonunun azaltılabildiğini sağlamaktadır. Ancak yüksek emiş gücü kullanılırken yakın mesafelerde yakalama hızı da artacağı için kaynak kalitesi bozulacaktır. Yüksek emiş hızı, emiş ağzında döner girdaplar oluşturarak zararlı gazların dışarı kaçmasına sebep olmakta ve emme sisteminin verimini düşürmektedir. Emiş ağzı yarıçapı arttıkça emiş ağzında döner girdap oluşma riski de artmaktadır [34]. Çalışanın nefes alma bölgesinde gaz maruziyeti oluşmayan senaryolarda parametrelerin etkileri gözlemlenemediği için değerlendirmeye alınmamıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

HAD analizleriyle, çalışma ortamında oluşabilecek, proses kaynaklı zararlı gaz ya da sıvı/katı partiküllerin konsantrasyonunu, hız ve sıcaklık dağılımlarını hesaplamak, her bir parametrenin (sıcaklık, nem, yapısal engeller, havalandırmaların yerleri ve akış hızları vs.) koşullara etkisini ayrı ayrı ya da birlikte incelemek mümkündür. Ayrıca elde edilen verilere göre, ne tür bir tasarım değişikliği yapılmasının gerektiğinin bilgisayar ortamda simülasyonu yapılabilir, optimum şartlar rahatlıkla belirlenebilir. Özellikle, ölçüm almanın zor olduğu koşullarda, yüksek seviyede toksik malzemelerle çalışıldığında ya da henüz yaşanmamış ama yaşanma olasılığı olan kaza durumlarında, sayısal analiz yapmak tek yol olabilir. Yaşanacak bir iş kazasında (yangın, patlama gibi) meydana gelebilecek koşulların HAD analizleriyle öngörülmesi mümkündür. Bu sayede alınacak önlemlerin belirlenmesi de kolaylaşır. HAD yazılımı, çalışma alanlarında yapılan ölçümlere göre koşullar hakkında bilgi verirken, olumsuz durumların kaynağını tespit etme ve çözüm önerisinde bulunma konusunda faydalı bir kaynaktır.

Bu tez çalışmasında, gazaltı kaynak yöntemiyle çalışılan bir işyerinde kaynak çalışanlarının maruz kaldığı zararlı gazlar incelenmiştir. Çalışanların bu zararlılardan korunabilmeleri için parametrik HAD analizleri kullanılarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

- ✓ Yapılan ölçümler sonucu gazaltı kaynağı kullanılan proseslerin bulunduğu bölümde değişik konsantrasyonlarda CO₂, CO ve O₃ gazları tespit edilmiştir. Bu gazlardan CO₂ için ölçülen 656,25 ppm değeri NIOSH standardına göre 30 000 ppm (STEL) sınır değerinin altındadır [57]. CO için ölçülen 1,125 ppm değeri ise ACGIH tarafından belirtilen 400 ppm (STEL) sınır değerinin altındadır [58]. Ancak çalışma süresi arttıkça bu değerler de yükselecek ve çalışan için ciddi sorun oluşturacaktır. Ölçümü yapılan O₃ için hesaplanan değer ise 0,775 ppm olarak bulunmuştur. Bu değer OSHA standardına göre 0,3 ppm (STEL) sınır değerinin üstündedir [59]. Bu sebeple maruziyet değerlerinin sınır değerlerin altına düşürülmesi ve bu aralıkta tutulabilmesi için uygun bir havalandırma kullanılması gerekmektedir.
- ✓ Analizi yapılan tüm senaryolarda, emme sisteminin kaynak gazlarını ortamdaki değişik oranlarda uzaklaştırabildiği görülmüştür. Ancak Senaryo 2,3 ve 5'te, emme sisteminin kaynak gazlarını ortamdaki uzaklaştırırken, kaynak çalışanının nefes alma bölgesi üzerinde belirli bir maruziyet oluşturduğu tespit edilmiştir. Havalandırma sisteminin

uygunluğundaki ana kriterler; zararlı gazları ortamdaki uzaklaştırabilmesi ve çalışan maruziyetini en düşük seviyede tutabilmesidir.

- ✓ Senaryo 4'te kullanılan konumlandırmanın analizi yapılan dört farklı havalandırma sistemi senaryosu arasında en uygun olduğu ve gaz maruziyetini nefes alma bölgesinde ortalama % 91,5 oranında azalttığı belirlenmiştir. Havalandırma sisteminden en fazla verimin elde edilebilmesi için emiş ağzının kaynak çalışanın karşı tarafında konumlandırılması gerekmektedir. Ancak ortamda dış hava akımı bulunduğu durumlarda, havalandırma sisteminin konumu ve parametreleri bu hava akımının hızı ve yönü göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.
- ✓ Emiş ağzı yarıçapı 5cm'den 10cm'e çıkartıldığında havalandırma verimi %70,4'ten %75,5 çıkmaktadır. Emiş ağzı genişliği belirlenirken, yakalama alanının kaynak noktasını çevreleyecek boyutta seçilmesi gerekmektedir. Bundan daha geniş emiş ağzları döner girdaplar oluşma riskini arttıracak ve havalandırma veriminin düşmesine sebep olacaktır.
- ✓ Emiş ağzı ile kaynak noktası arası uzaklık 20cm'den 70cm'e çıkartıldığında havalandırma sisteminin maruziyet azaltma oranı %100'den %68,6'ya düşmektedir. Bu sebeple emiş ağzı, kaynak noktasına olabildiğince yakın konumlandırılmalıdır. Ancak konumlandırma yapılırken, kaynak noktasında oluşan yakalama hızının 0,5 m/sn değerinin üzerine çıkmayacağı bir mesafe seçilmesi gerekmektedir. Havalandırmanın mümkün olan en yakın mesafede yapılması; havalandırma veriminin artmasına, gerekli olan emiş gücünün düşürülmesine ve böylece işletme maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.
- ✓ Emiş ağzı ile kaynak noktası arası yükseklik 5cm'den 35cm'e çıkartıldığında havalandırma verimi %70,4'ten %59,6'ya düşmektedir. Emiş ağzı, kaynak noktası yakalama alanı içerisinde kalacak şekilde yakalama hızı da dikkate alınarak kaynak seviyesine yakın bir yükseklikte konumlandırılmalıdır.
- ✓ Çalışma alanı ihtiyacının fazla olduğu ve havalandırma sisteminin kaynak noktasına uzak bir mesafede konumlandırılması gereken durumlarda, emiş gücünün artırılması ile maruziyet azaltılabilmektedir.
- ✓ Havalandırma sisteminin parametreleri belirlenirken yapılan iş, çalışma alanı, kaynak yapılan malzemeler ve kaynakçının çalışma şeklinin göz önünde bulundurulması; optimum değerlerin seçilmesine yardımcı olacaktır. Böylelikle hem uygun

havalandırma sisteminin seçilmesi hem de çalışanın rahat ve güvenli bir şekilde çalışması sağlanmış olacaktır.

- ✓ İSG profesyonellerinin ve çalışanların yararlanabileceği kaynakların yetersizliği hem zararlı gazlar ile ilgili bilgi eksikliğine hem de uygun havalandırma konusunda doğru konfigürasyonların belirlenememesine sebep olmaktadır. OSHA'nın yayınladığı 1910.252 sayılı kaynak işlerinde minimum gereklilikleri belirleyen standartta iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yapılması gerekenler belirtilmiştir. Bu standart, işyerlerinde kaynak gazına karşı kurulacak havalandırma sistemleri için bir rehber niteliğinde kullanılabilir.
- ✓ Tez çalışmasında ziyaret edilen işyerinde, kaynak çalışanlarının genellikle kaynak noktasına doğru eğilerek çalıştıkları gözlemlenmiştir. Havalandırma sistemine ek olarak; kaynak çalışanı, kaynakçı duruşu denilen pozisyon ile kaynak alanına eğilmeden çalışarak hava kirleticilerin zararlı etkilerinden kendisini koruması gerekmektedir. Çalışanın kaynak noktasına eğilmeden çalışabilmesi için görüşünü engellemeyecek şekilde uygun kaynak maskesi camı seçilmelidir. TIG gazaltı kaynağında; kaynak maskesinde 12 numara cam kullanılması önerilmektedir.
- ✓ Yapılan çalışmanın sonuçları işyeri ile paylaşılmış, ortamdaki gazlar ve zararları hakkında bilgi verilmiş, havalandırma ile maruziyetin azaltılabilmesi için gerekli öneriler ve bilgilendirmeler yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Yıldız, A., Metalin Ateşle Buluşması: Kaynak, *Mühendis ve Makine*, Sayı: 573, Sayfa: 57-73, 2007.
- [2] Anık, S., *Kaynak Tekniği El Kitabı*, http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_6.pdf (Erişim Tarihi: 20/04/2015).
- [3] Yılmaz, G., Kaynaklı İmalat Atölyelerinde Sağlık ve Güvenlik Önlemleri, *Mühendis ve Makine*, Sayı: 599, Sayfa: 68-73, 2009.
- [4] Yılmaz, G., Kaynak Dumanlarına Karşı Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemleri, *Çalışma Ortamı*, Sayı: 53, Sayfa: 7-8, 2000.
- [5] Song, J., Li, X., The Application of Computational Fluid Dynamics (CFD) in HVAC Education, *Life System Modeling and Intelligent Computing*, Sayfa: 238-244, Yıl: 2010.
- [6] Ünal, R., İmalat Teknolojileri - Kaynak Teknolojileri, <http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/dersler/uretim/044kaynak.pdf> (Erişim Tarihi: 13/04/2015).
- [7] Özer, E., Fabrika İmalat Teknikleri <http://teknikbilimlermyo.istanbul.edu.tr/elektrik/wp-content/uploads/2015/03/B%C3%B6l%C3%BCm-11.pdf> (Erişim Tarihi: 13/04/2015).
- [8] Turan, B., İmal Usülleri – Kaynak, <http://web.bilecik.edu.tr/bulent-turan/files/2014/11/KaynakSunum.pdf> (Erişim Tarihi: 14/04/2015).
- [9] Tan, O., Kaynak İşlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği, <http://www.oktaytan.net/KAYNAKislerindeTehlike.pdf> (Erişim Tarihi: 15/04/2015).
- [10] Yılmaz, F., Kaynak İşlerinde Güvenlik, <http://www1.gantep.edu.tr/~fuatyilmaz/html/courses/documents/IGS%20501%20CH%202.pdf> (Erişim Tarihi: 13/04/2015).
- [11] Milli Eğitim Bakanlığı, Temel Oksi-Asetilen Kaynağı, Sayfa: 30 http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temel%20Oksi-asetilen%20Kayna%C4%9F%C4%B1.pdf (Erişim Tarihi: 10.06.2015).
- [12] Ark Kaynak Yöntemi Şematik Gösterim, <http://www.metaluzmani.com/?p=1793> (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [13] Külahlı, E., Toz altı kaynak yöntemi, http://www.oerlikon.com.tr/files/toz_alti_kaynak_yontemi_1-2.pdf (Erişim Tarihi: 14/04/2015).

- [14] Tozaltı Kaynağı Şematik Gösterim, Sayfa: 3 http://www.oerlikon.com.tr/files/toz_alti_kaynak_yontemi_1-2.pdf (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [15] Milli Eğitim Bakanlığı, Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü, *Metal Teknolojisi*, Elektrik Direnç Kaynağı, Ankara, 2007 http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/elektrik_direnc_kaynagi.pdf (Erişim Tarihi: 15/04/2015).
- [16] Direnç Nokta Kaynağı, <http://www.neleryokkifm.net/egitim/kaynak/> (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [17] Milli Eğitim Bakanlığı, Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü, *Motorlu Araçlar Teknolojisi*, Gazaltı Kaynağı, Ankara, 2006 http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/motorlu_aracilar/moduller/gazalti_kaynagi.pdf (Erişim Tarihi: 14/04/2015).
- [18] Milli Eğitim Bakanlığı, Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü, *Metal Teknolojisi*, Mig Kaynağı, Ankara, 2006 http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/mig_kaynagi.pdf (Erişim Tarihi: 13/04/2015).
- [19] Milli Eğitim Bakanlığı, Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü, *Metal Teknolojisi*, Tig Kaynağı, Ankara, 2006 http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tig_kaynagi.pdf (Erişim Tarihi: 14/04/2015).
- [20] Tan, O. ve İşsever, H., Kaynaklı İmalatta Çalışanların Sağlığına Etki Eden Faktörler Ve Alınması Gereken Önlemler, *Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Sayfa: 219-233, İstanbul, 2001.
- [21] İzgi, A., *Kaynak Endüstrisinde Çalışanların Genel Profili Ve İş Kazaları Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Sayfa: 4-10, Ankara, 2006.
- [22] Yurtsever, E., Özdemir, G., Kaynak Tekniği Uygulamalarında İş Güvenliği, *Mühendis ve Makine*, Sayı: 592, Sayfa: 2-9, 2009.
- [23] American Welding Society, Cadmium Exposure from Welding and Allied Processes, *Safety and Health Fact Sheet No. 22*, <http://www.aws.org/library/doclib/fs22-201404.pdf> (Erişim Tarihi: 17/04/2015).
- [24] American Federation of State, County and Municipal Employees (AFSCME), Welding Hazards, *AFSCME Health & Safety Fact Sheet*, <http://www.afscme.org/news/>

- publications/workplace-health-and-safety/fact-sheets/pdf/Welding-Hazards-AFSCME-fact-sheet.pdf (Erişim Tarihi: 19/04/2015).
- [25] American Welding Society, Fumes and Gases, *Safety and Health Fact Sheet No. 1*, <http://www.aws.org/library/doclib/fs1-201410.pdf> (Erişim Tarihi: 19/04/2015).
- [26] New Zeland Department of Labour, *Health And Safety In Welding*, <http://www.business.govt.nz/worksafe/information-guidance/all-guidance-items/welding-health-and-safety-in/welding-dol10157.pdf> (Erişim Tarihi: 20/04/2015).
- [27] Canadian Centre for Occupational Health And Safety, Welding - Fumes And Gases, *OSH Answers Fact Sheets* http://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/fumes.html (Erişim Tarihi: 22/04/2015).
- [28] AGA, Fume Gases Facts, [http://www.aga.com/international/web/ig/aga/like35aga.com.nsf/repositorybyalias/facts_fume_gases_uk/\\$file/AGA%20Fume%20Gases%20Facts%20About%20UK.pdf](http://www.aga.com/international/web/ig/aga/like35aga.com.nsf/repositorybyalias/facts_fume_gases_uk/$file/AGA%20Fume%20Gases%20Facts%20About%20UK.pdf) (Erişim Tarihi: 25/04/2015).
- [29] U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, Appendix C - Health Risk Evaluation for Carbon Dioxide (CO₂), <http://www.blm.gov/style/medialib/blm/wy/information/NEPA/cfodocs/howell.Par.2800.File.dat/25apxC.pdf> (Erişim Tarihi: 22/04/2015).
- [30] United States Environmental Protection Agency, Overview Of The Acute Health Effects Associated With Carbon Dioxide, <http://www.epa.gov/ozone/snap/fire/co2/appendixb.pdf> (Erişim Tarihi: 20/04/2015).
- [31] Kahraman, F., Sever, K., Karadeniz, S., Kaynaklı İmalatta İnsan Sağlığı, *Mühendis ve Makine*, Sayı: 520, Sayfa: 57-73, 2003 (Erişim Tarihi: 22/04/2015).
- [32] Canadian Centre for Occupational Health And Safety, OSH Answers Fact Sheets Industrial Ventilation: Ventilation, <http://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ventilation/introduction.html> (Erişim Tarihi: 03/05/2015).
- [33] Canadian Centre for Occupational Health And Safety, OSH Answers Fact Sheets Industrial Ventilation: Hoods, <http://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ventilation/hoods.html> (Erişim Tarihi: 05/05/2015).

- [34] Health and Safety Executive, *HSE Books Controlling airborne contaminants at work*, A guide to local exhaust ventilation (LEV), <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg258.pdf> (Erişim Tarihi: 05/11/2015).
- [35] İzgi, A., *Kaynak Endüstrisinde Çalışanların Genel Profili Ve İş Kazaları Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Sayfa: 48-49, Ankara, 2006
- [36] Tam Yüz Maskesi, http://www.baranboya.com/134-3m_6800_serisi_tekrar_kullanilabilir_tam_yuz_maskeleri.html (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [37] Yarım Yüz Maskesi , http://www.baranboya.com/132-3m_7501_kucuk_7502_orta_7503_buyuk_yeniden_kullanilabilir_yarim_yuz_maskeler.html (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [38] Hava Beslemeli Kaynakçı Maskesi <http://kaynakcimaskesi.com/balder-bh3-paprmaske/> (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [39] Bulut, S., Ünveren, M., Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, *HSK Arge Teknik Bülten*, http://www.systemairhsk.com.tr/images/bulletin/tr/T05_mart_2011_hesaplamal%C4%B1_akiskanlar_dinamigi.pdf (Erişim Tarihi: 06/05/2015).
- [40] Demir, H., *Doğal Havalandırma Yöntemlerinin Sayısal Modellemesi*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sayfa: 92-94, İstanbul, 2013.
- [41] Akdemir, S., Öztürk, S., Edis, F.O., Ülger, P., Soğuk Hava Depolarında Ortam Koşullarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile Modellenmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, Sayı: 2, Sayfa: 241-248, 2012.
- [42] Anova, Ansys Fluent - Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, http://www.anova.com.tr/main/68/ansys_fluent.aspx (Erişim Tarihi: 09/05/2015).
- [43] Figes Mühendislik, Ansys DesignModeler, <http://www.figes.com.tr/ansys/ansys-designmodeler.php> (Erişim Tarihi: 10/05/2015).
- [44] Figes Mühendislik, Ansys Meshing, <http://www.figes.com.tr/ansys/ansys-meshing.php> (Erişim Tarihi: 11/05/2015).
- [45] Gaz Dedektör Seti, <http://ancor.com.my/Gas-Detector-Tube.php> (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [46] Anlık Gaz Dedektör Tübü, http://www.komyokk.co.jp/pdata/tpdf/126SF_1.pdf (Erişim Tarihi: 10/06/2015).

- [47] Hava Akış Ölçüm Cihazı, <http://www.homedepot.com/p/Extech-Instruments-High-Temperature-CFM-Metal-Vane-Anemometer-407113/203711470> (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [48] Popović, O., Prokić-Cvetković, R., Burzić, M., Lukić, U., Beljić, B., Fume and gas emission during arc welding: Hazards and recommendation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Sayı: 37, Sayfa: 509–516, 2014.
- [49] Flynn, M.R., Susi, P., Local Exhaust Ventilation for the Control of Welding Fumes in the Construction Industry - A Literature Review, *Ann. Occup. Hyg.*, Sayı: 56, Sayfa: 764-768, 2012.
- [50] Ojima, J., Shibata, N., Iwasaki, T., Laboratory Evaluation of Welder's Exposure and Efficiency of Air Duct Ventilation for Welding Work in a Confined Space, *Industrial Health*, Sayı: 38, Sayfa: 24–29, 2000.
- [51] Cole, H., Epstein, S., Peace, J., Particulate and Gaseous Emissions When Welding Aluminum Alloys, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Sayı: 4, Sayfa: 678–687, 2007.
- [52] Welding Technology Institute of Australia, Fume Minimisation Guidelines - Guideline 6: Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) <http://www.wtia.com.au/docs/default-source/fume-minimisation-guidelines/guide6e1.pdf?sfvrsn=4> (Erişim Tarihi: 14/05/2015).
- [53] Inthavong, K., Tian, Z.F., Tu, J.Y., Effect of ventilation design on removal of particles in woodturning workstations, *Building and Environment*, Sayı: 44, Sayfa: 125–136, 2009.
- [54] Health and Safety Executive, *RR683 Research Report*, Effective control of gas shielded arc welding fume, <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr683.pdf> (Erişim Tarihi: 30/05/2015).
- [55] Shibata, N., Tanaka, M., Ojima, J., Iwasaki, T., Numerical Simulations to Determine the Most Appropriate Welding and Ventilation Conditions in Small Enclosed Workspace, *Industrial Health*, Sayı: 38, Sayfa: 356–365, 2000.
- [56] American Welding Society, Ventilation for Welding and Cutting, Safety and Health Fact Sheet No. 36, <http://www.aws.org/library/doclib/fs36-201404.pdf> (Erişim Tarihi: 05/11/2015).

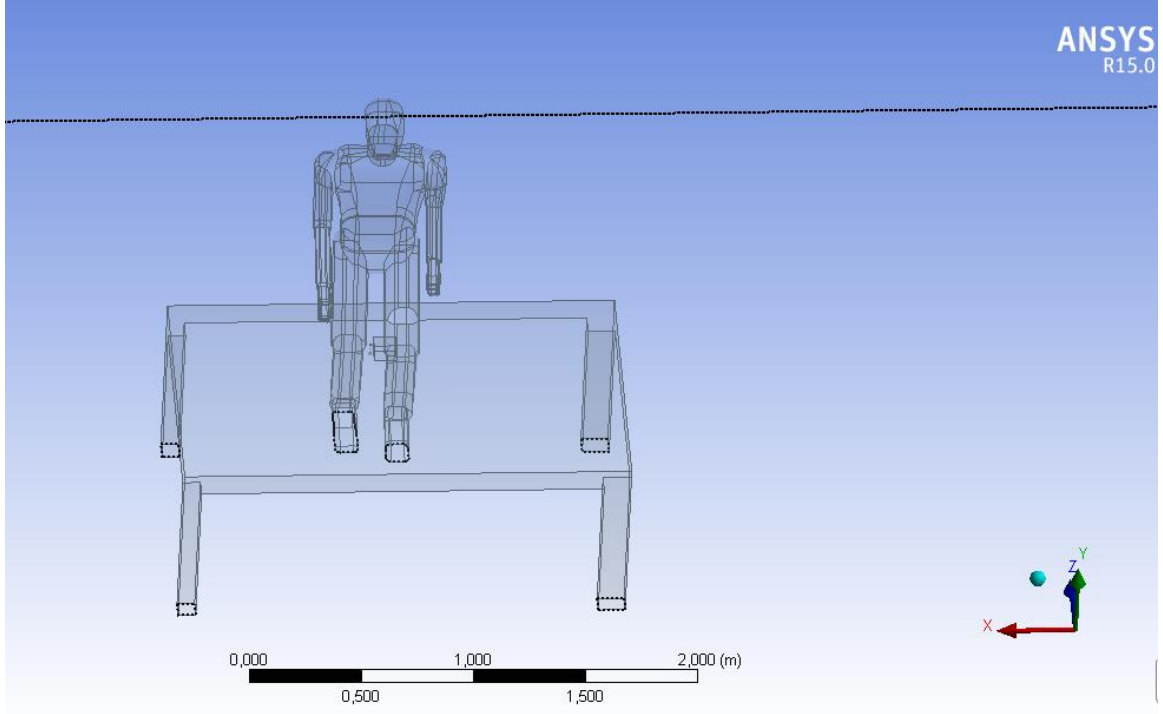
- [57] NIOSH Carbon Dioxide, Maruziyet Sınır Değeri, <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/124389.html> (Erişim Tarihi: 01/06/2015).
- [58] ACGIH Carbon Monoxide, Maruziyet Sınır Değeri, <http://www.cdc.gov/niosh/pel88/630-08.html> (Erişim Tarihi: 01/06/2015).
- [59] OSHA Ozone, Maruziyet Sınır Değeri, <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/10028156.html> (Erişim Tarihi: 01/06/2015).

EKLER

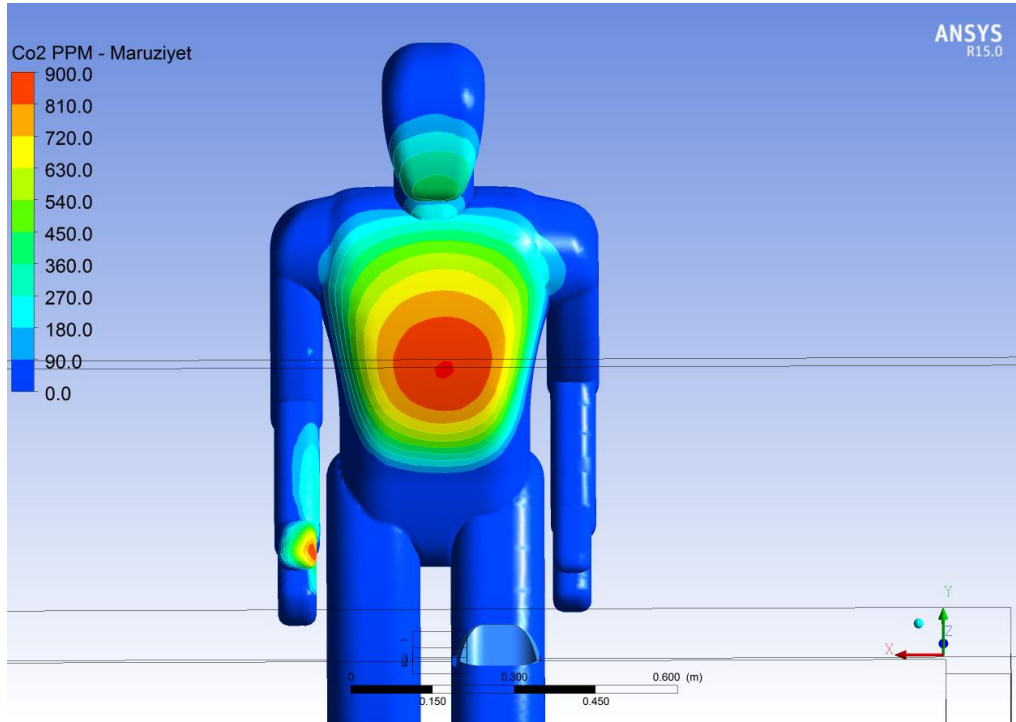
Ek-1: Sayısal Analiz Sonuçlarına Ait Görseller

Ek-1: Sayısal Analiz Sonuçlarına Ait Görseller

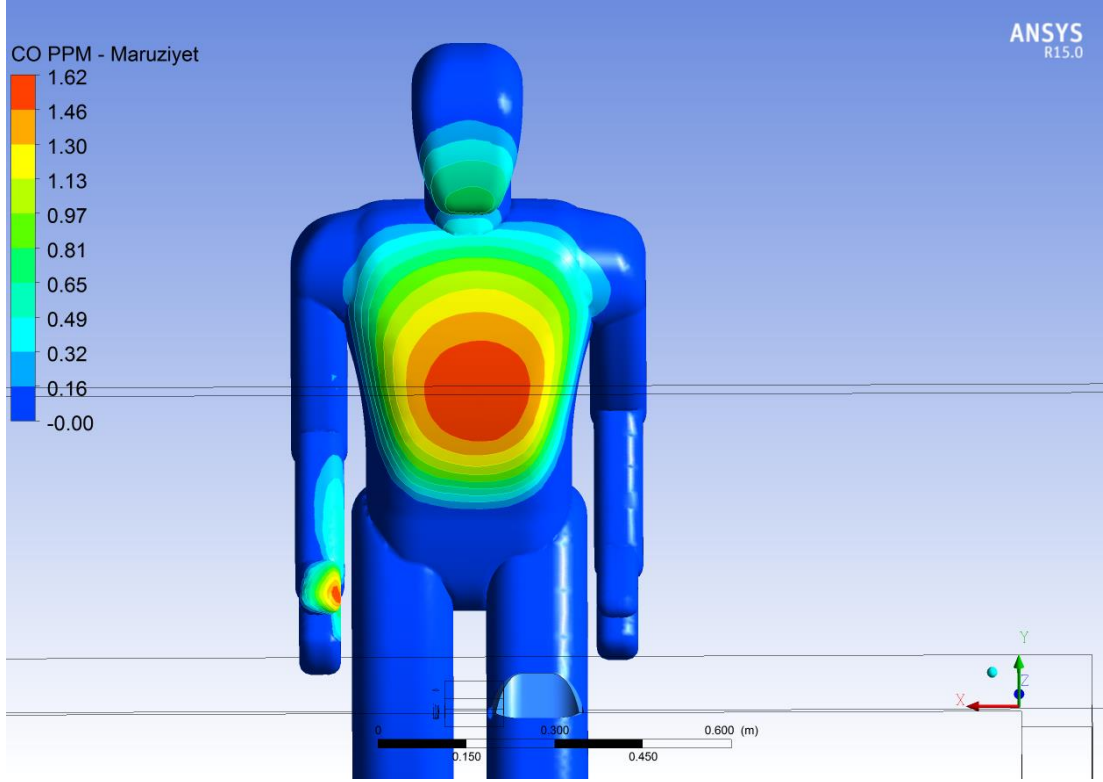
Senaryo 1'e ait sayısal analiz sonuçları



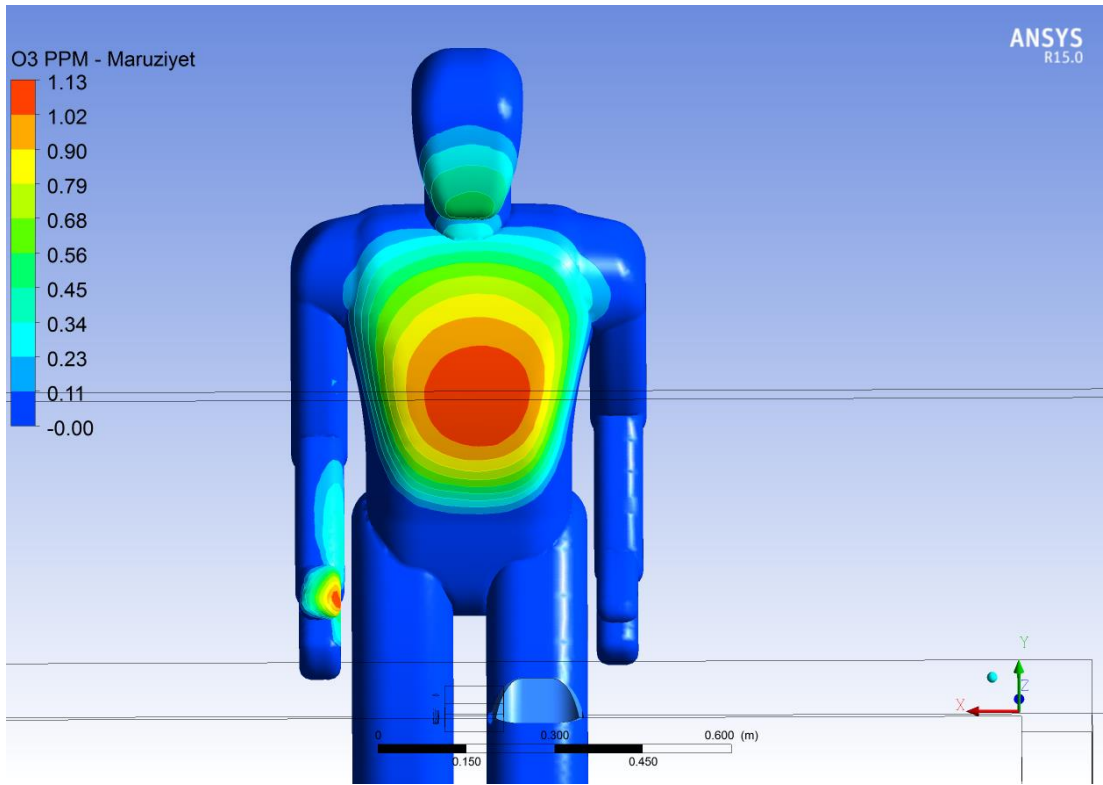
Şekil 1. Senaryo 1 - Geometrik Model



Şekil 2. Senaryo 1 – Çalışan Üzerinde CO₂ Konsantrasyon Dağılımı

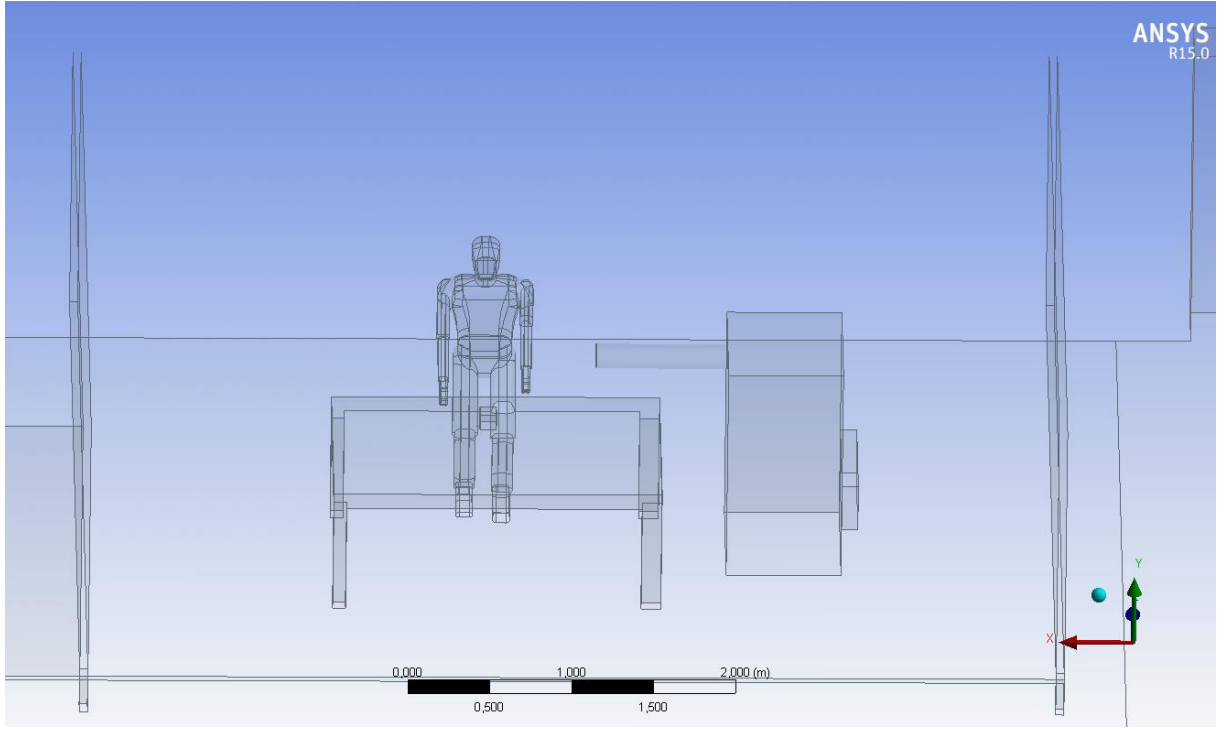


Şekil 3. Senaryo 1 – Çalışan Üzerinde CO Konsantrasyon Dağılımı

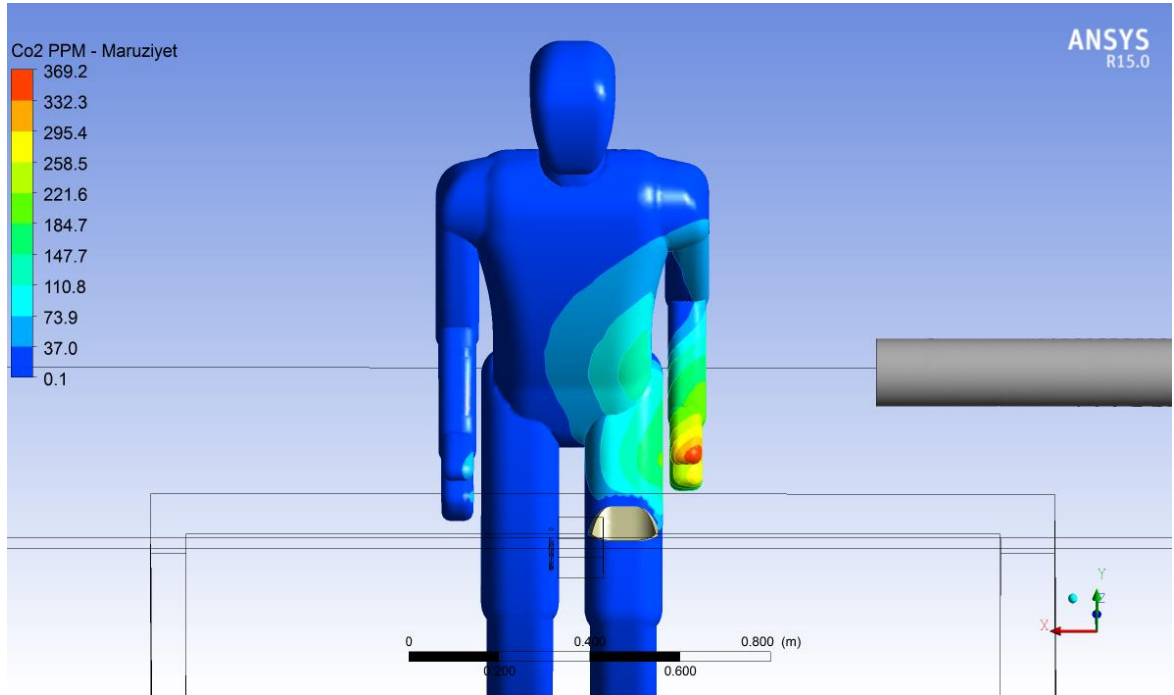


Şekil 4. Senaryo 1 – Çalışan Üzerinde O₃ Konsantrasyon Dağılımı

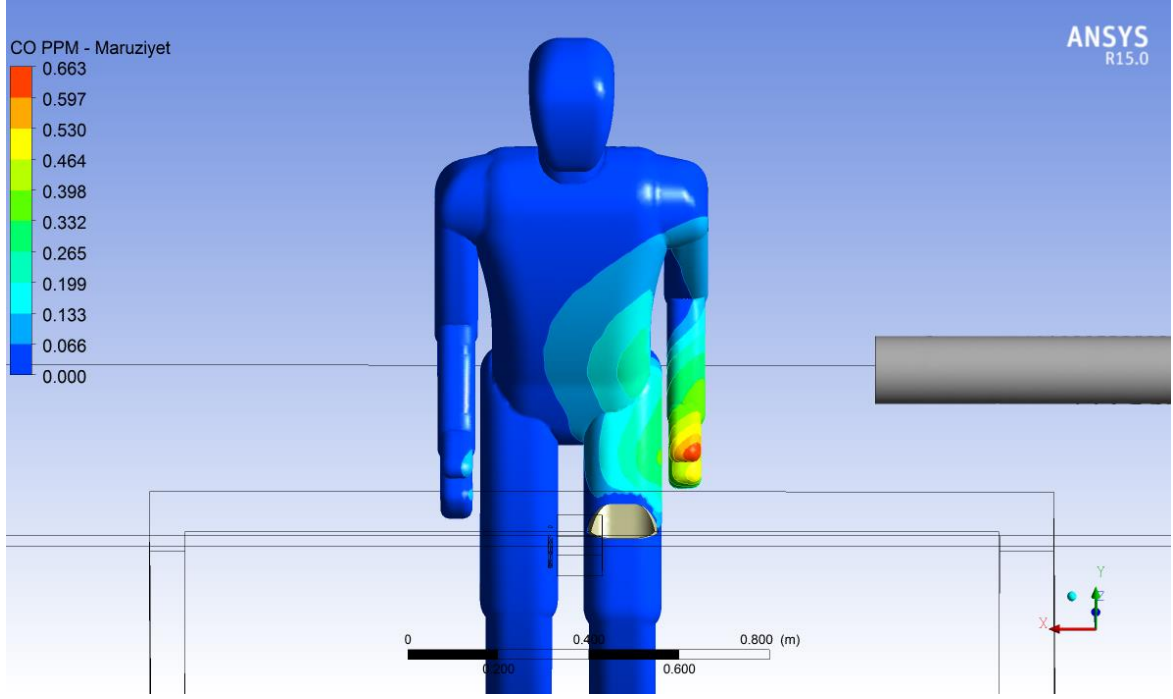
Senaryo 2'ye ait sayısal analiz sonuçları



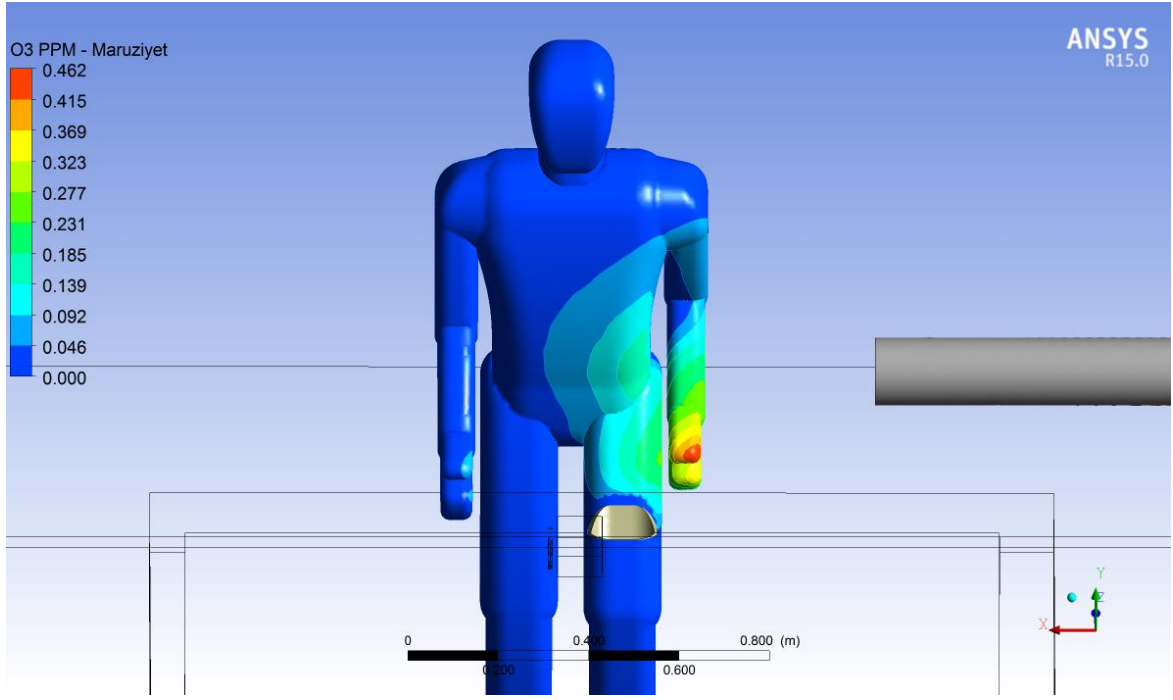
Şekil 5. Senaryo 2 - Geometrik Model



Şekil 6. Senaryo 2 – Çalışan Üzerinde CO₂ Konsantrasyon Dağılımı

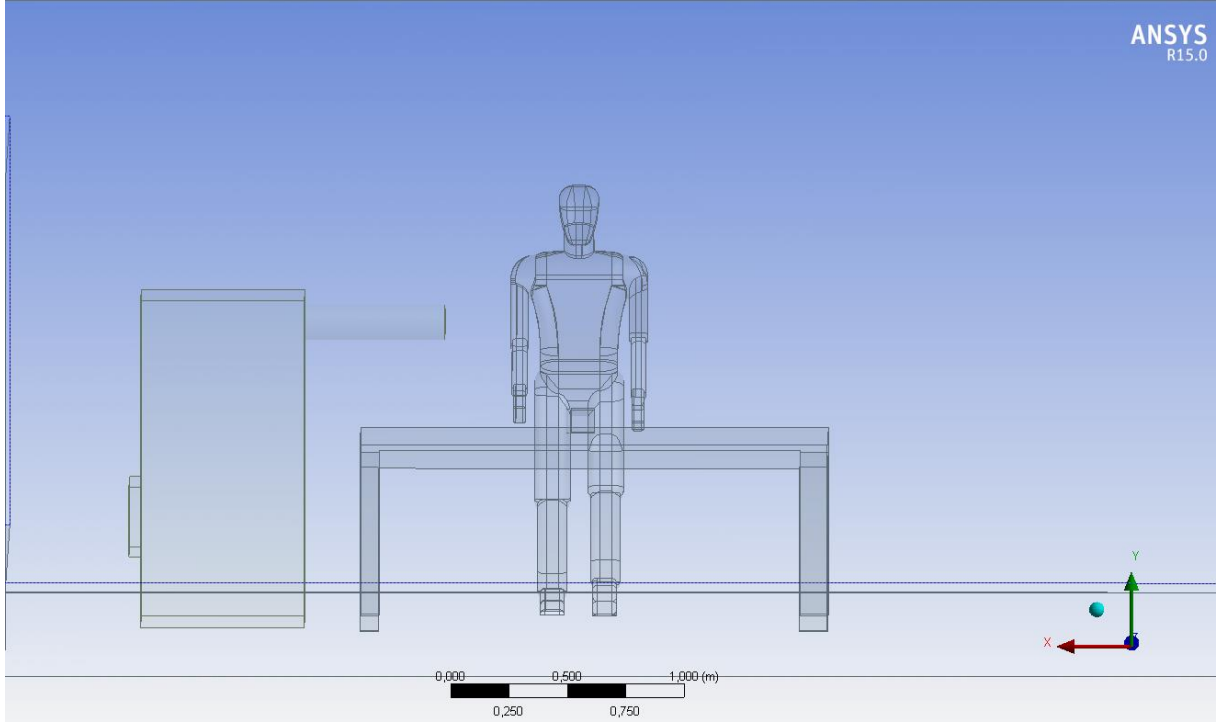


Şekil 7. Senaryo 2 – Çalışan Üzerinde CO Konsantrasyon Dağılımı

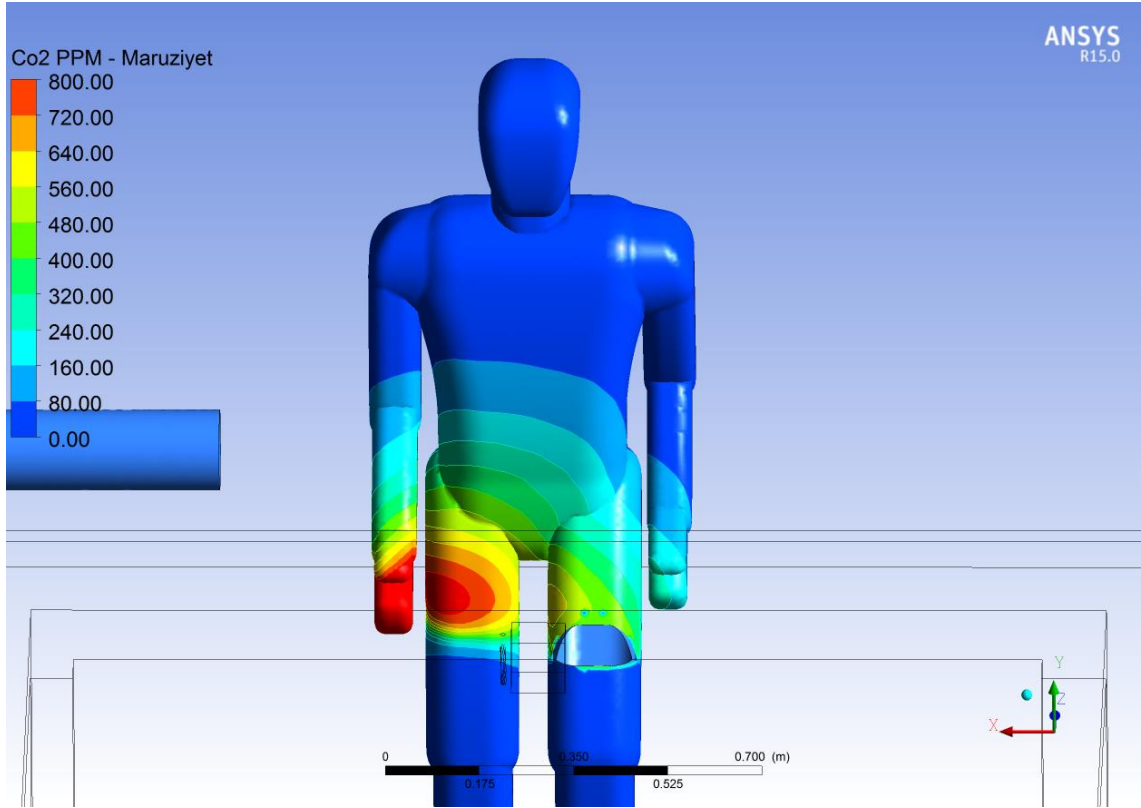


Şekil 8. Senaryo 2 – Çalışan Üzerinde O₃ Konsantrasyon Dağılımı

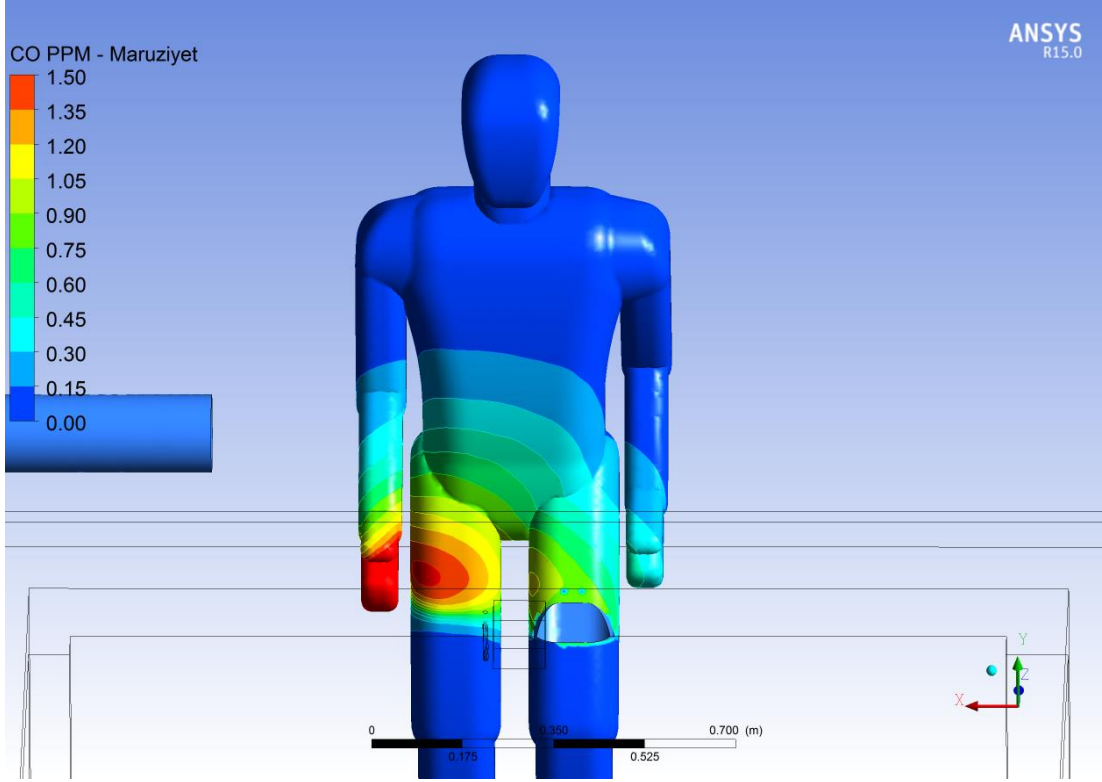
Senaryo 3'e ait sayısal analiz sonuçları



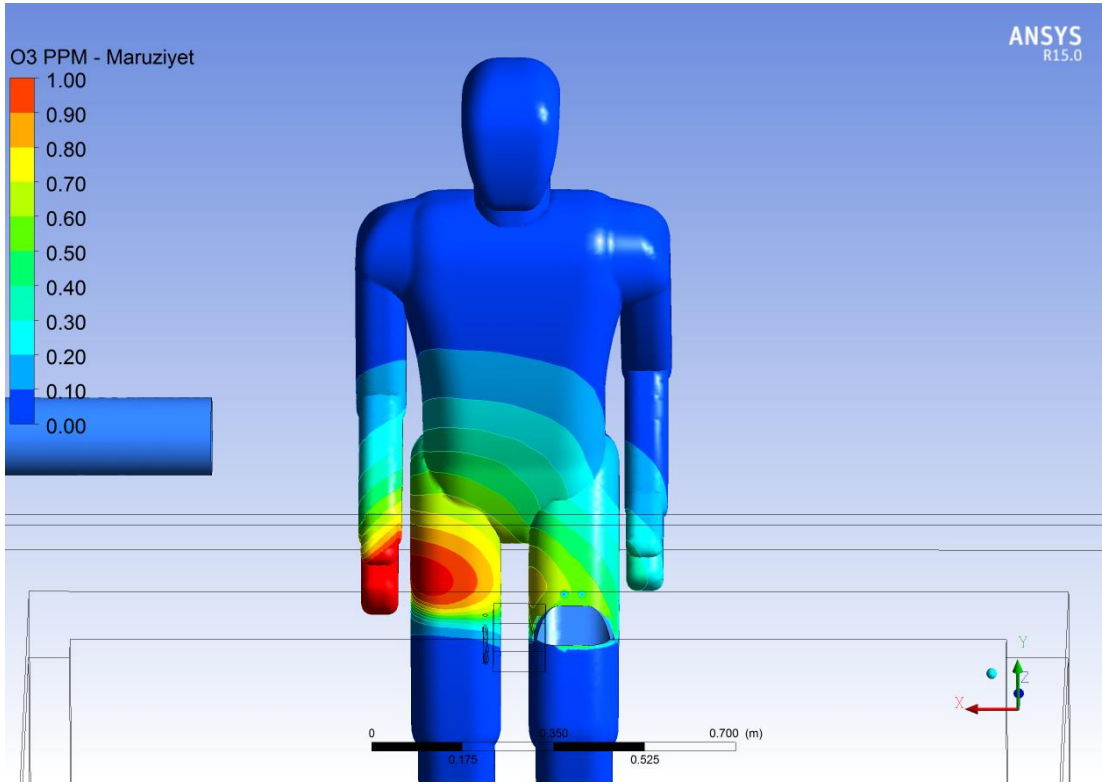
Şekil 9. Senaryo 3 - Geometrik Model



Şekil 10. Senaryo 3 – Çalışan Üzerinde CO₂ Konsantrasyon Dağılımı

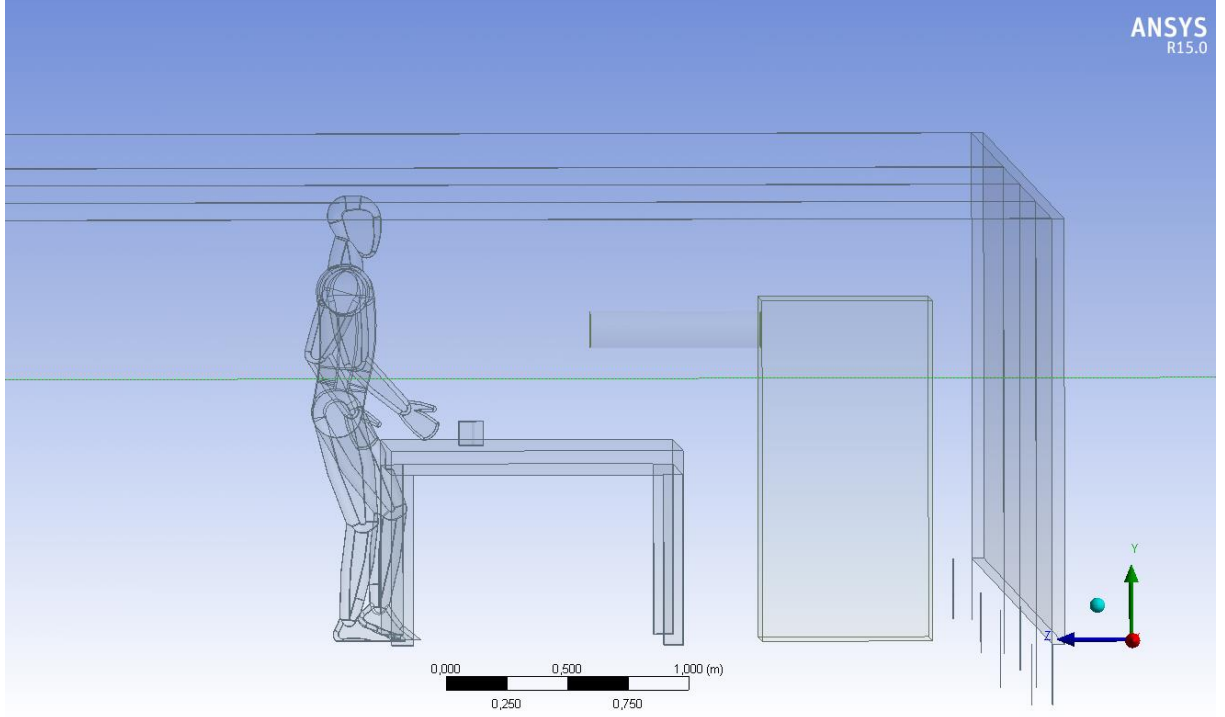


Şekil 11. Senaryo 3 – Çalışan Üzerinde CO Konsantrasyon Dağılımı

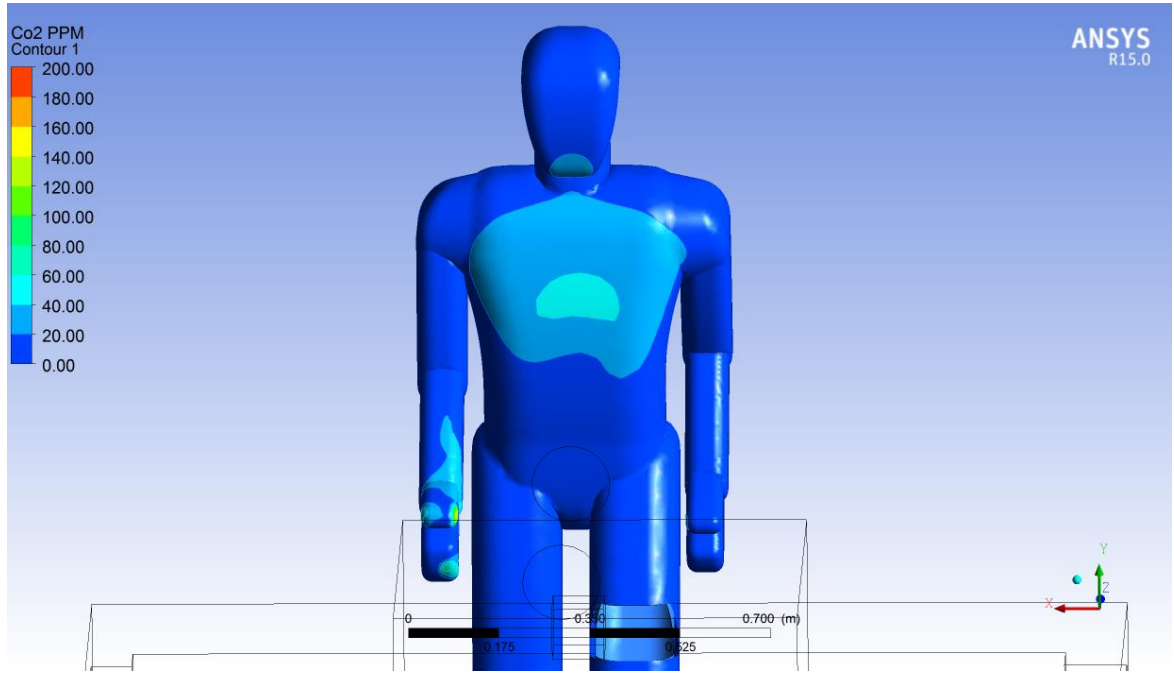


Şekil 12. Senaryo 3 – Çalışan Üzerinde O₃ Konsantrasyon Dağılımı

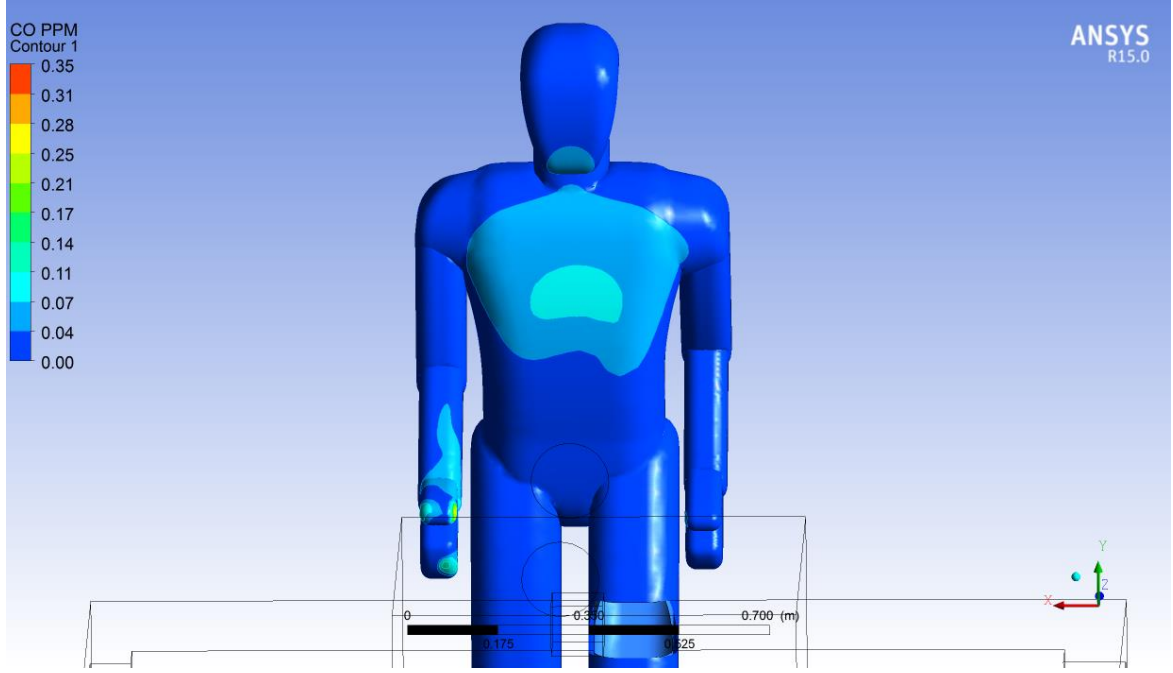
Senaryo 4'e ait sayısal analiz sonuçları



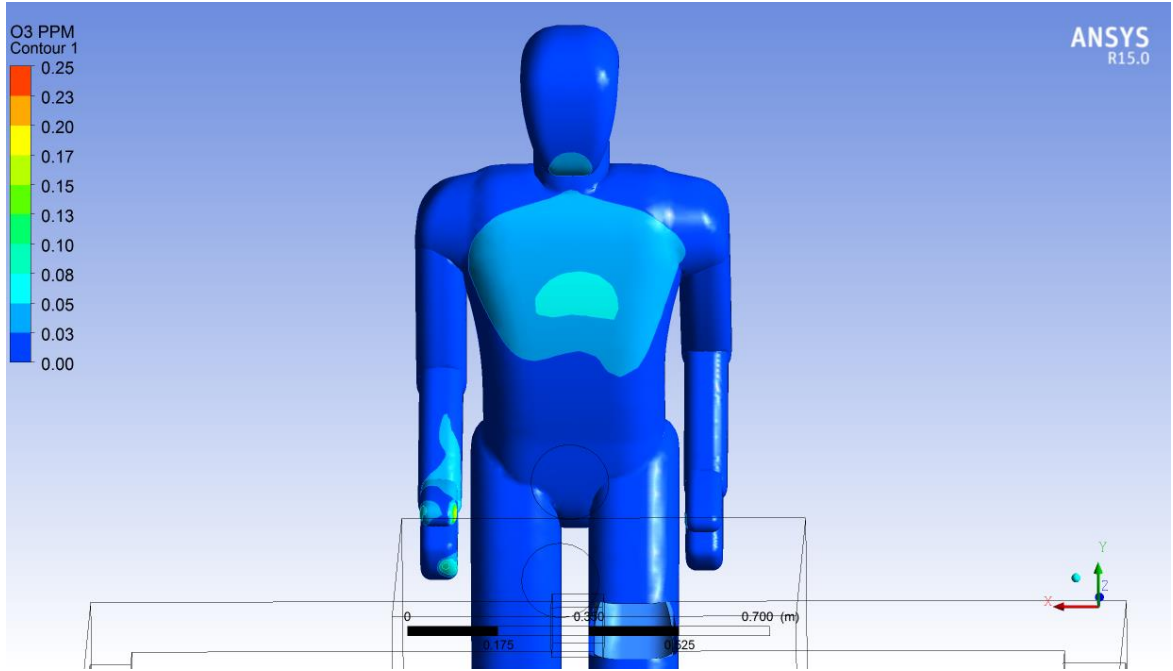
Şekil 13. Senaryo 4 - Geometrik Model



Şekil 14. Senaryo 4 – Çalışan Üzerinde CO₂ Konsantrasyon Dağılımı

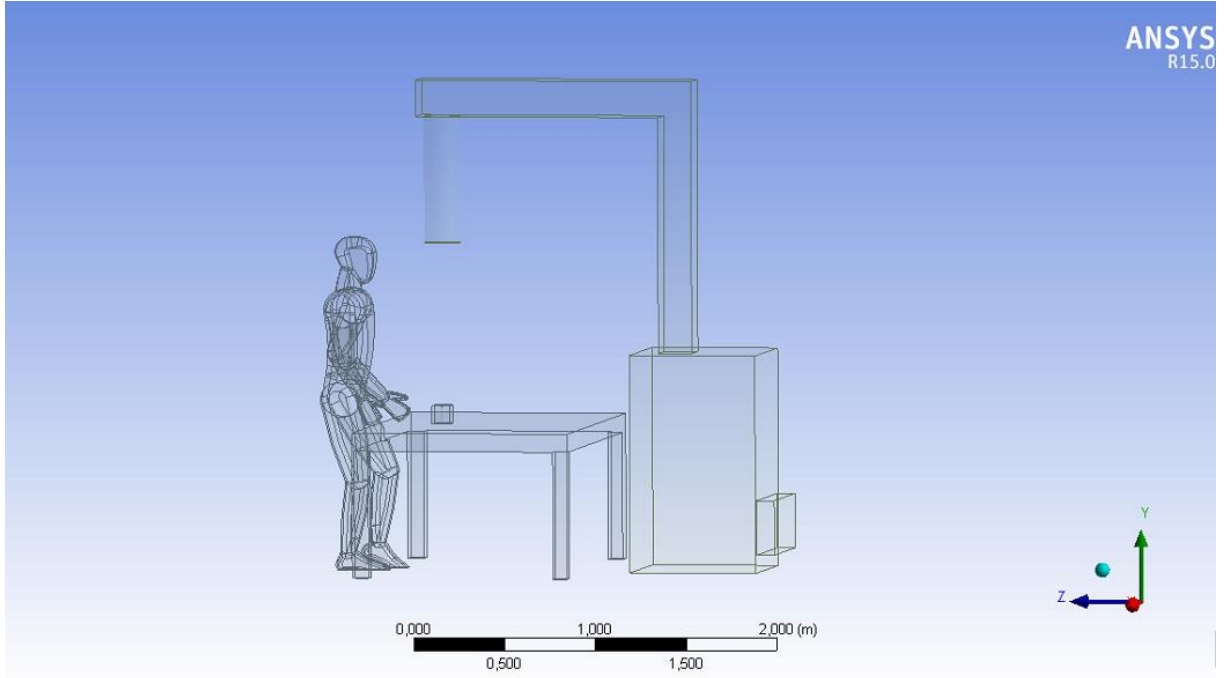


Şekil 15. Senaryo 4 – Çalışan Üzerinde CO Konsantrasyon Dağılımı

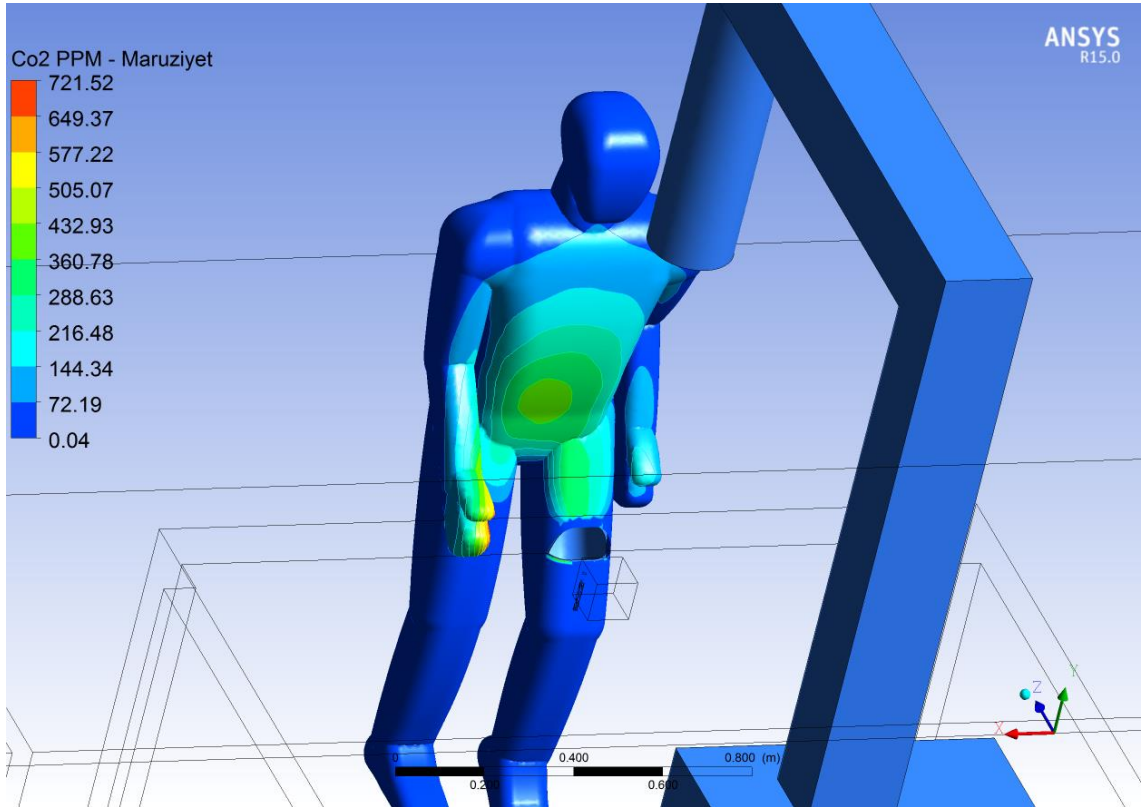


Şekil 16. Senaryo 4 – Çalışan Üzerinde O₃ Konsantrasyon Dağılımı

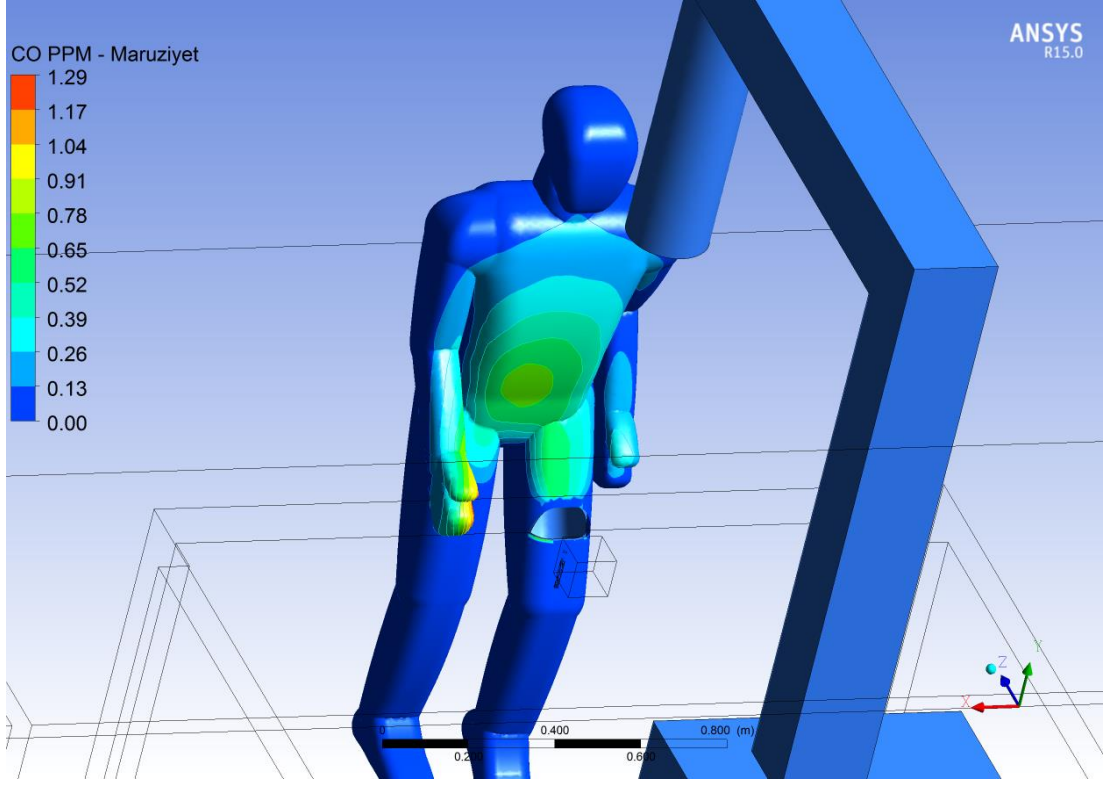
Senaryo 5'e ait sayısal analiz sonuçları



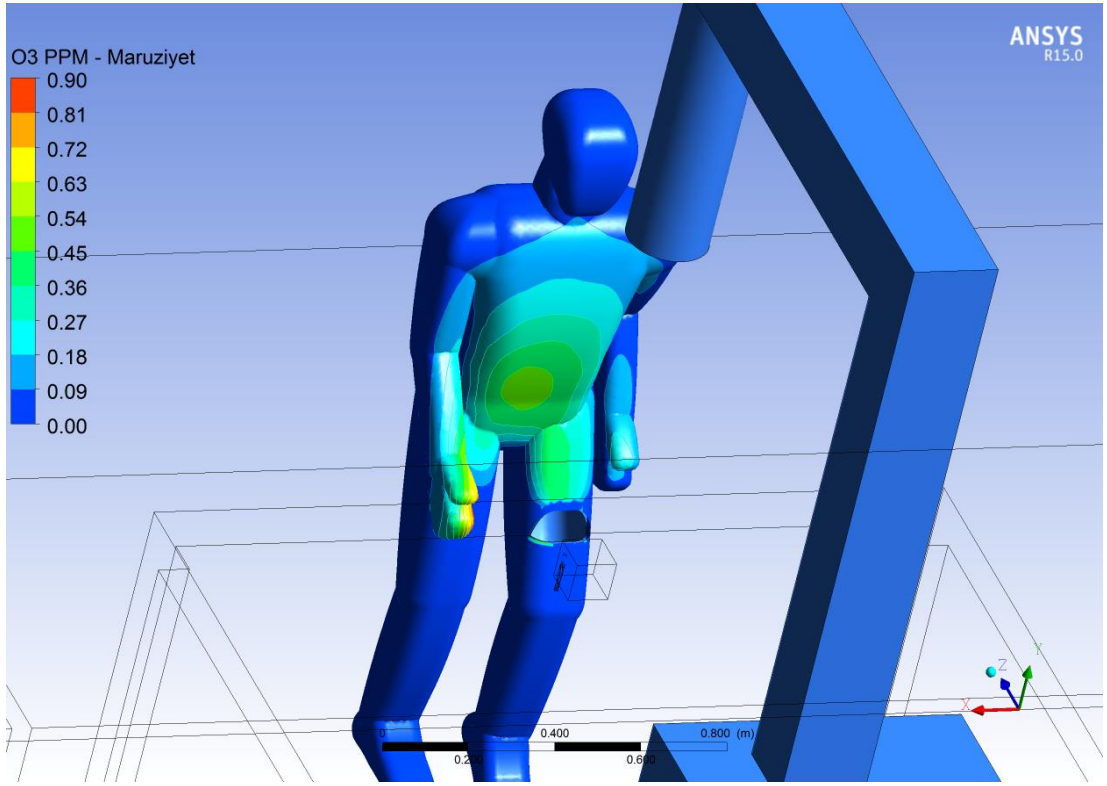
Şekil 17. Senaryo 5 - Geometrik Model



Şekil 18. Senaryo 5 – Çalışan Üzerinde CO₂ Konsantrasyon Dağılımı

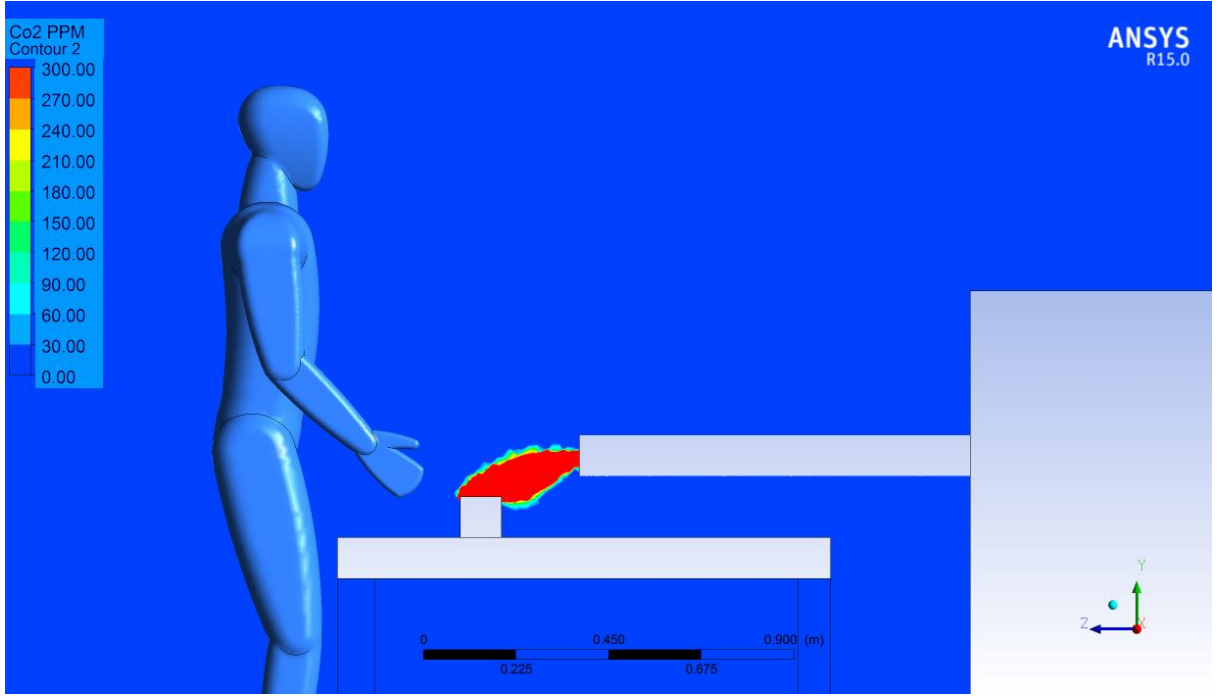


Şekil 19. Senaryo 5 – Çalışan Üzerinde CO Konsantrasyon Dağılımı

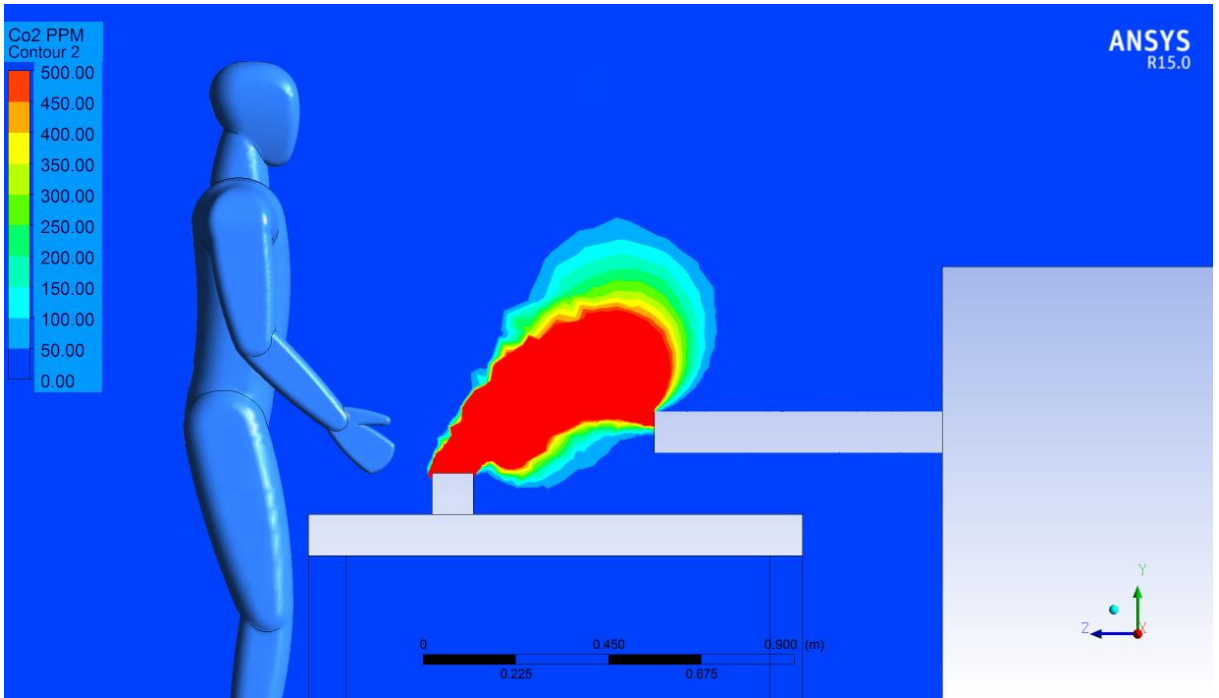


Şekil 20. Senaryo 5 – Çalışan Üzerinde O₃ Konsantrasyon Dağılımı

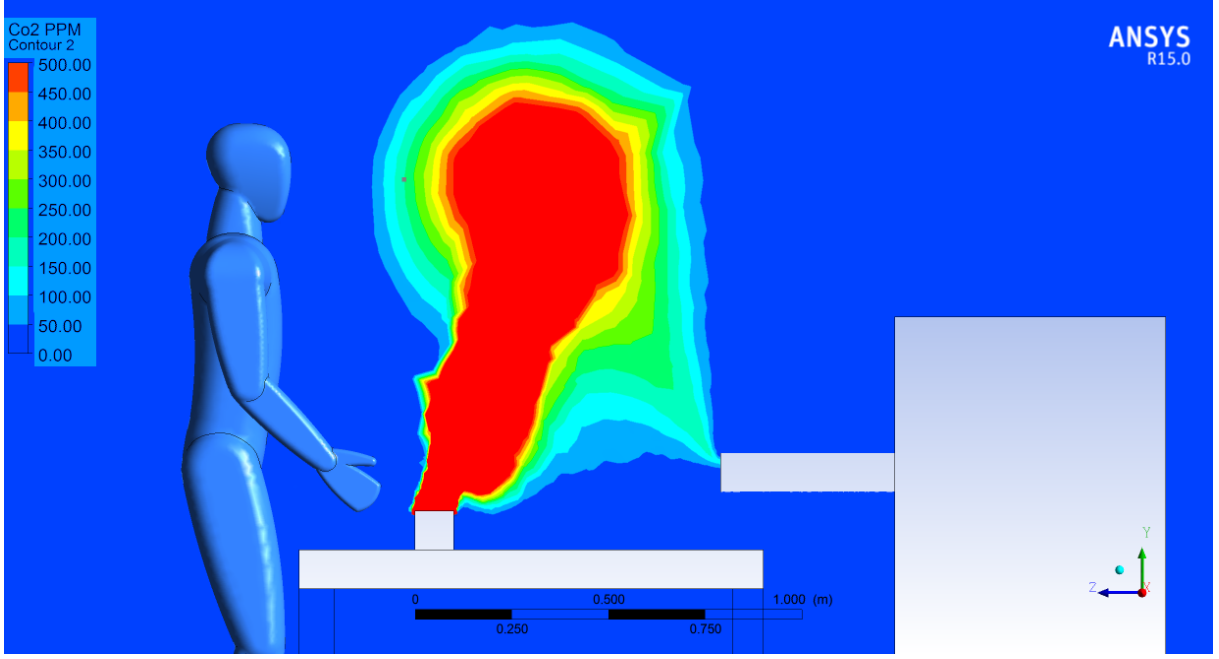
Senaryo 4 üzerinden parametrik olarak elde edilen sayısal analiz sonuçları



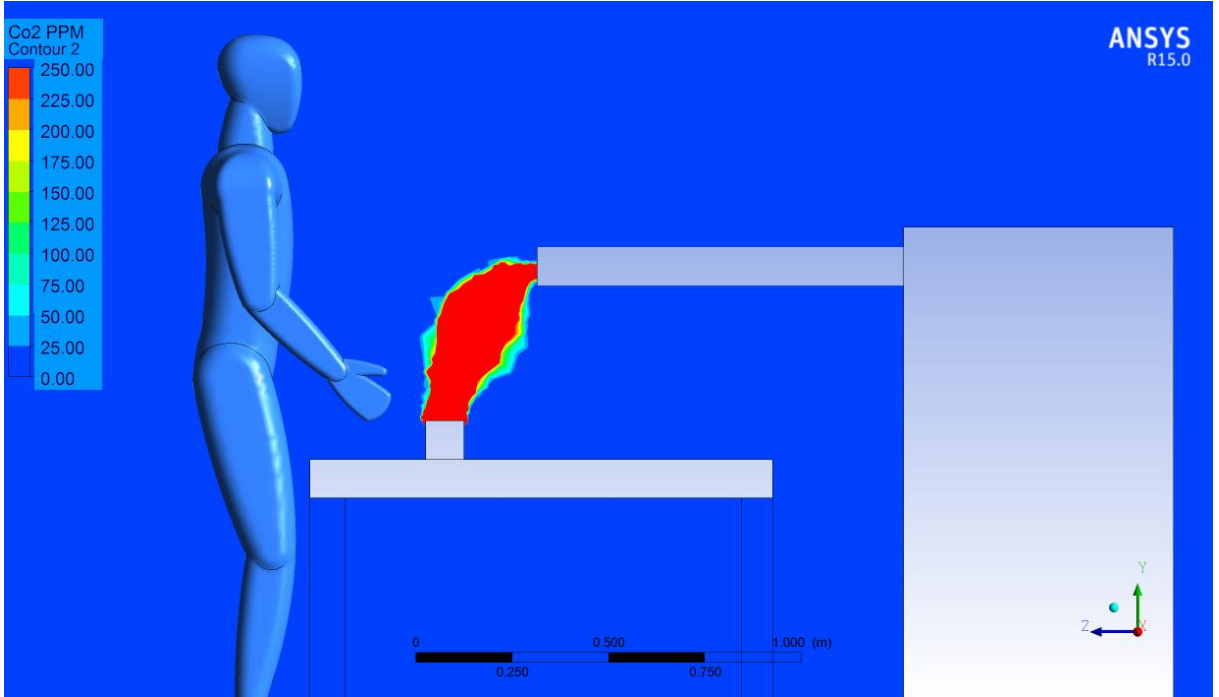
Şekil 19. Senaryo 4.1 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



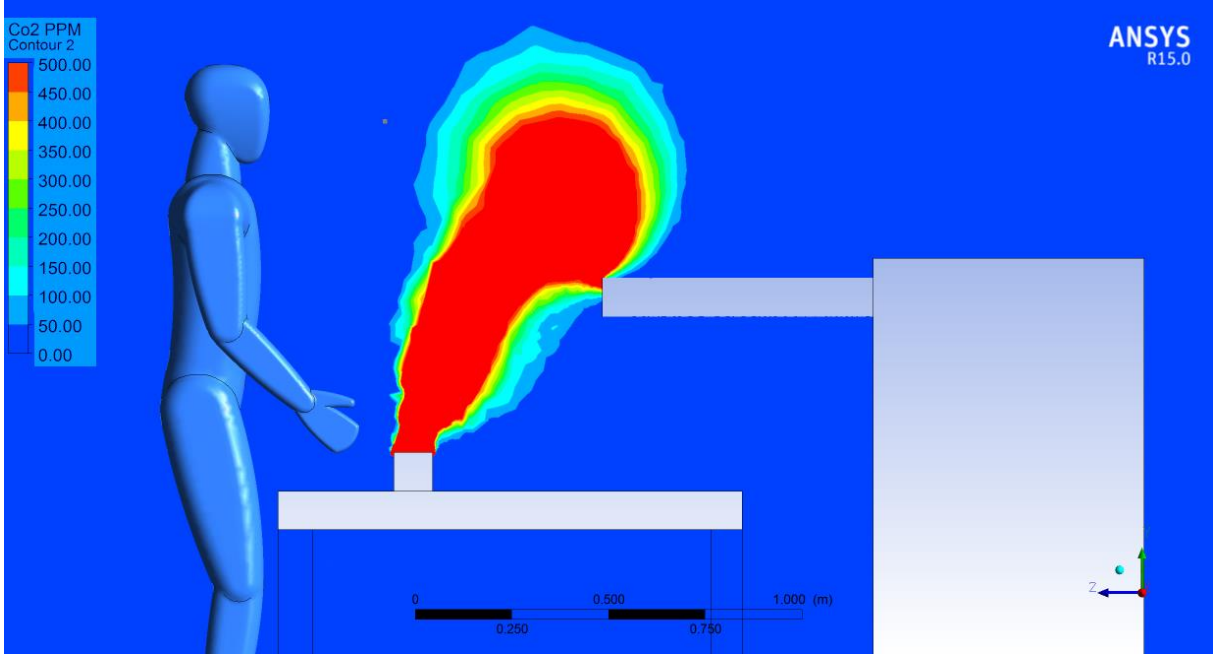
Şekil 20. Senaryo 4.2 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



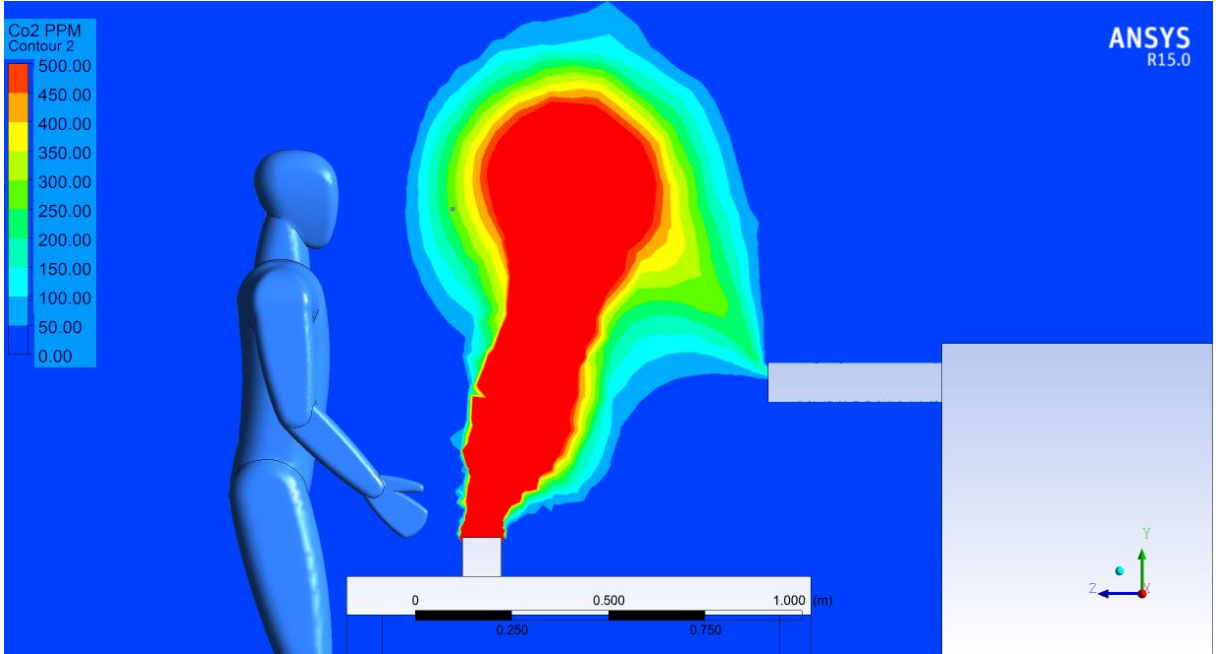
Şekil 21. Senaryo 4.3 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



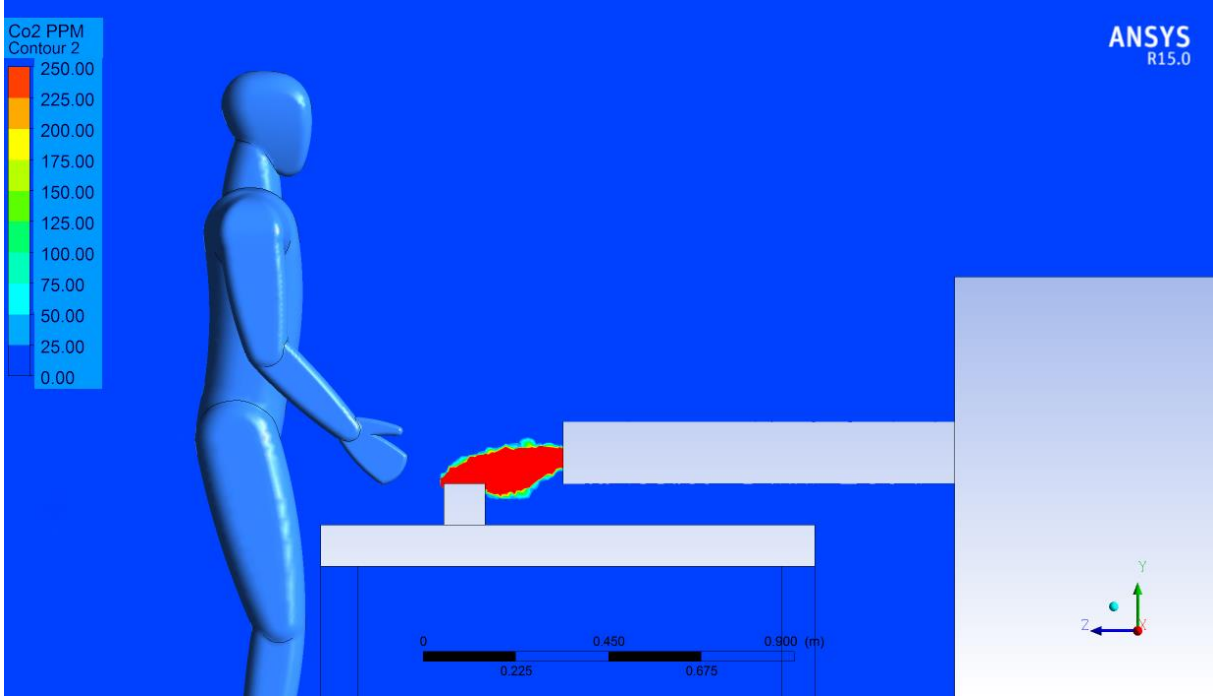
Şekil 22. Senaryo 4.4 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



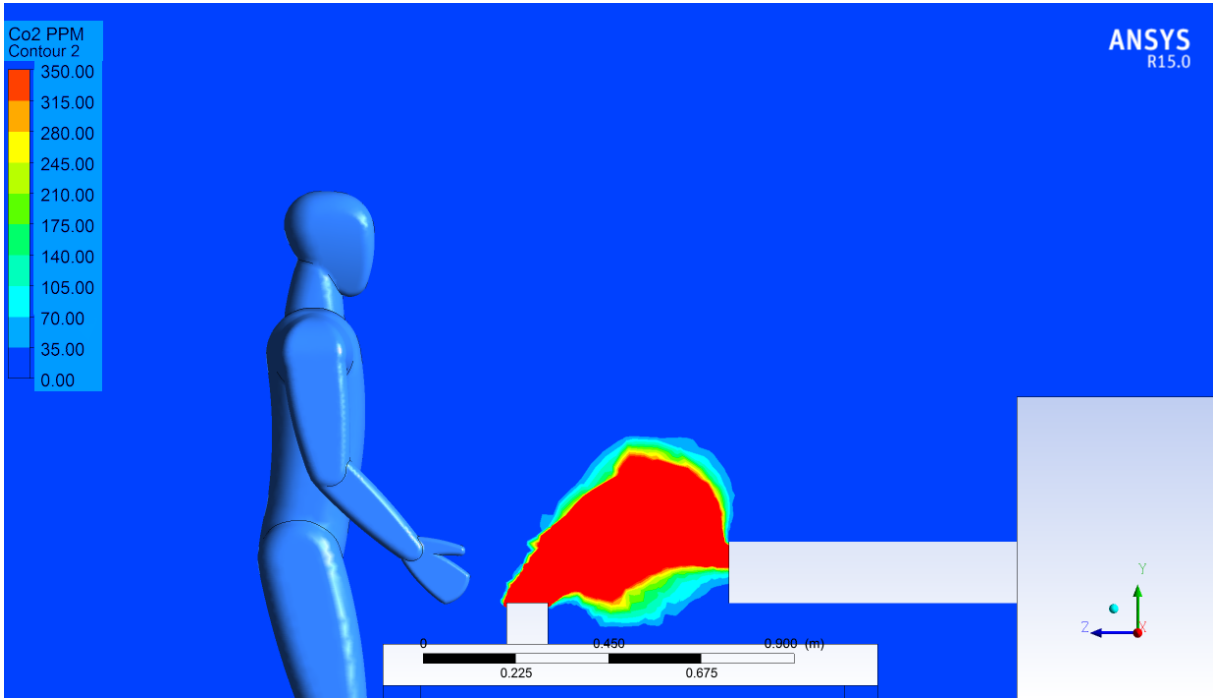
Şekil 23 Senaryo 4.5 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



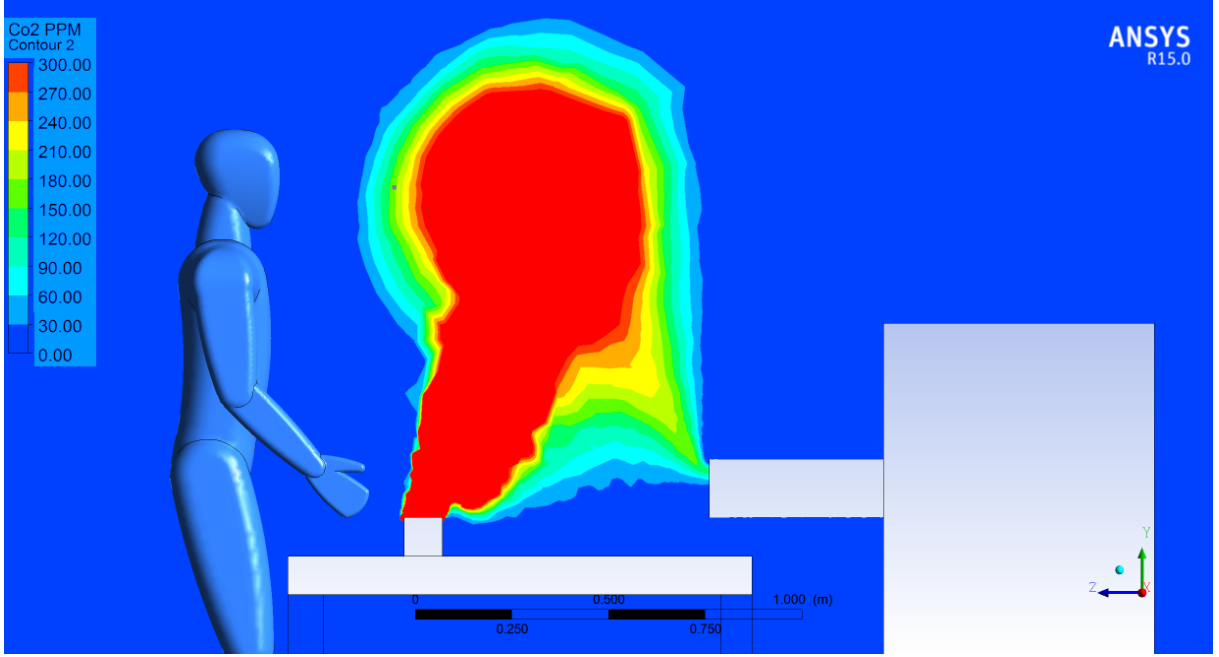
Şekil 24. Senaryo 4.6 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



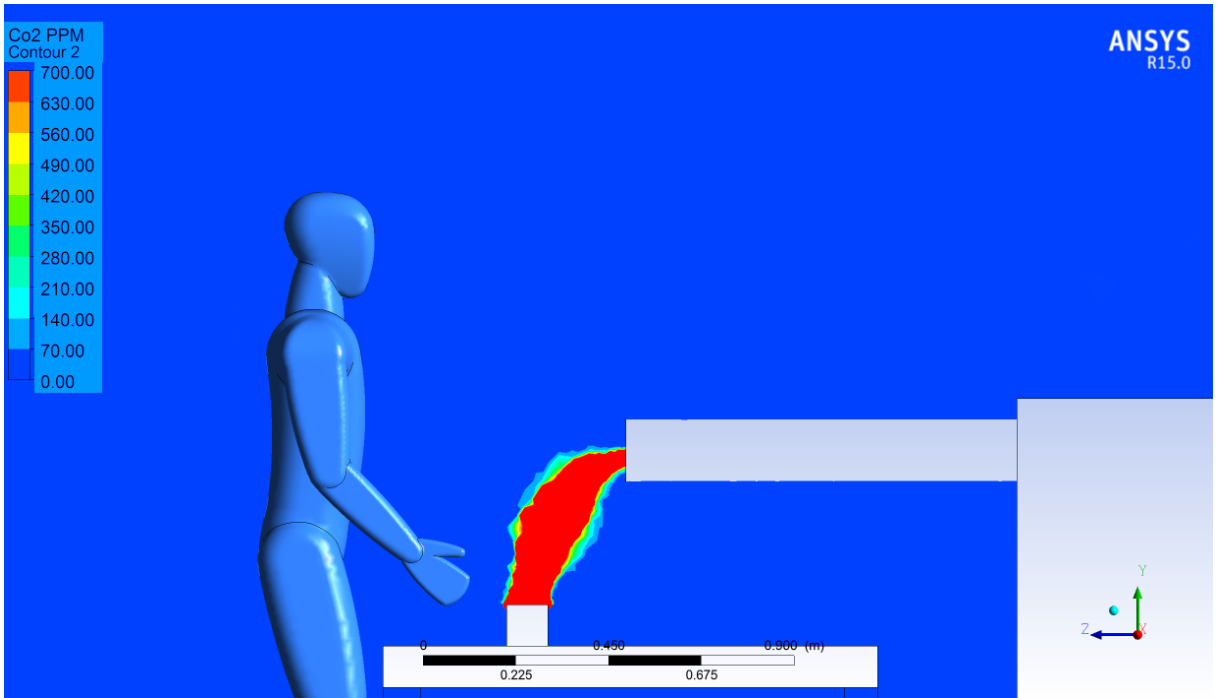
Şekil 25. Senaryo 4.7 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



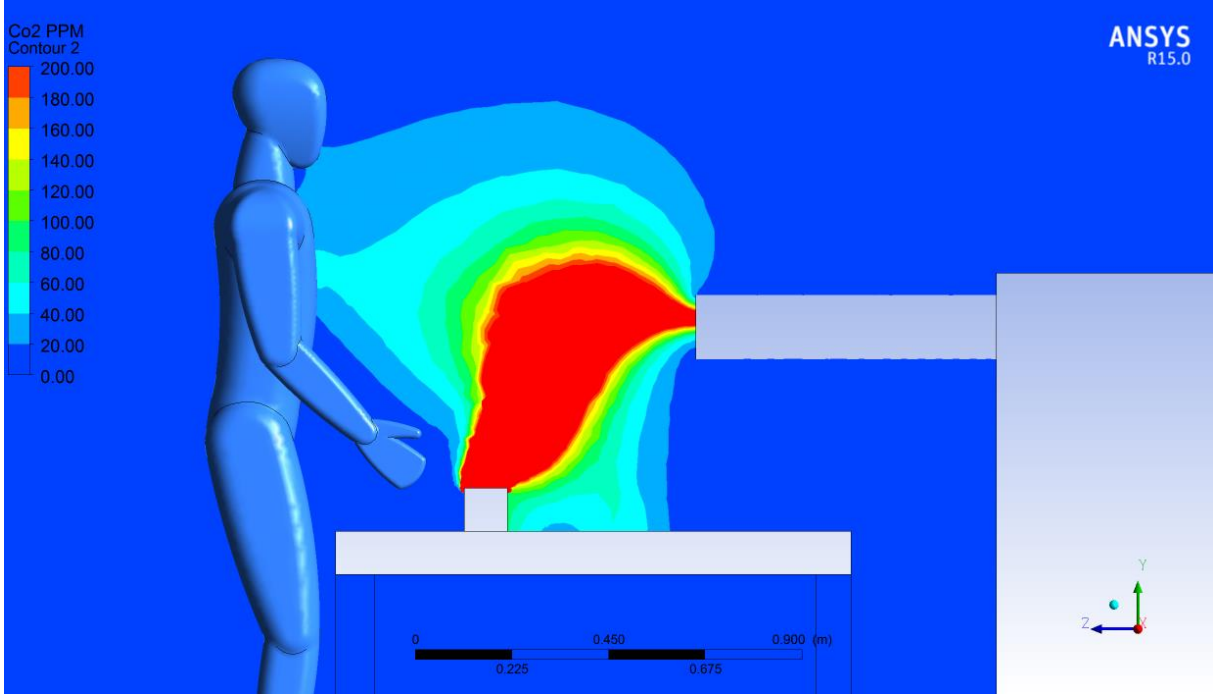
Şekil 26. Senaryo 4.8 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



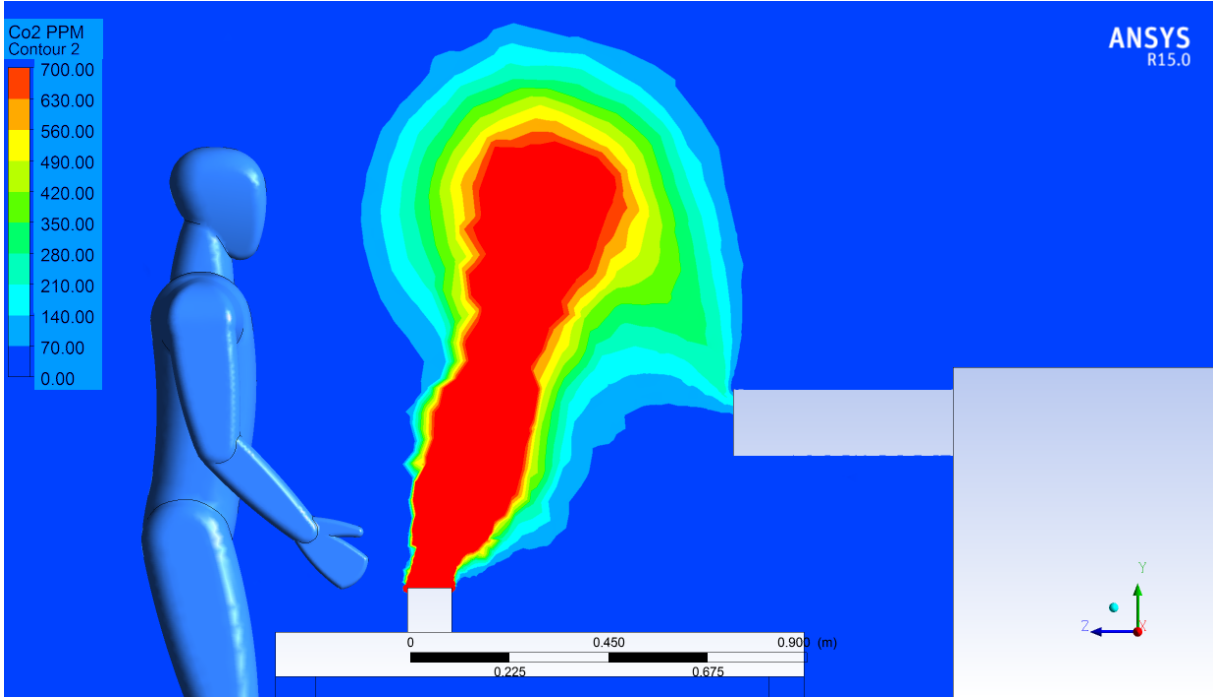
Şekil 27. Senaryo 4.9 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



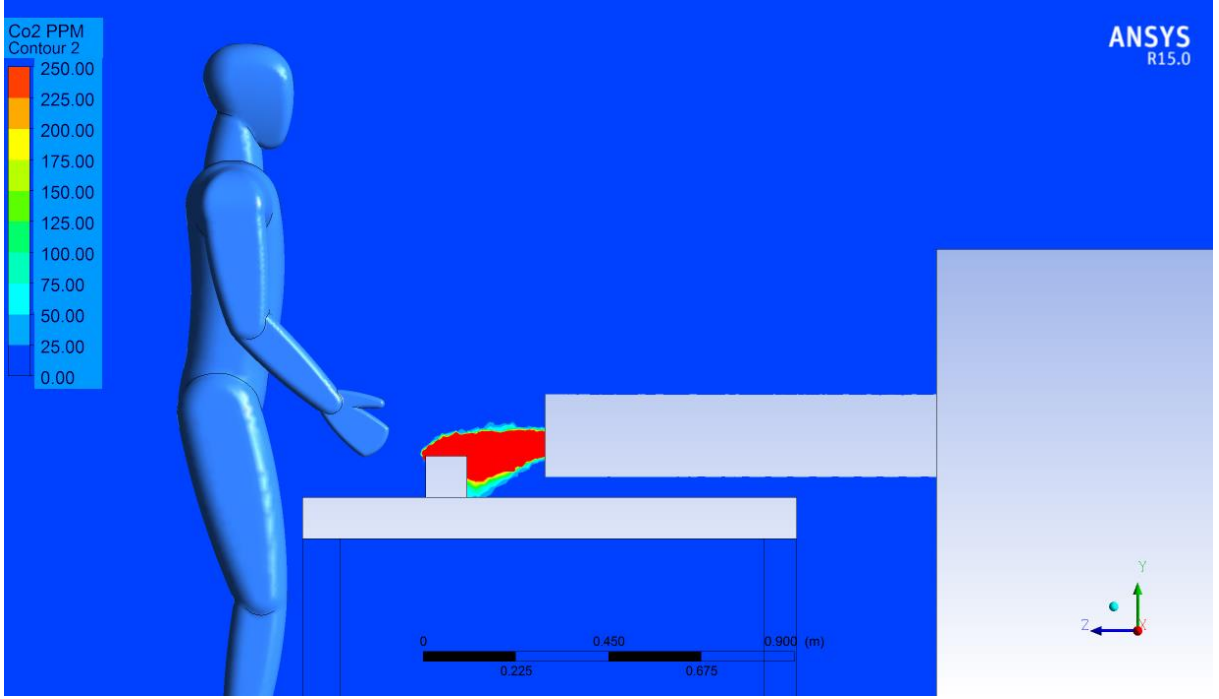
Şekil 28. Senaryo 4.10 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



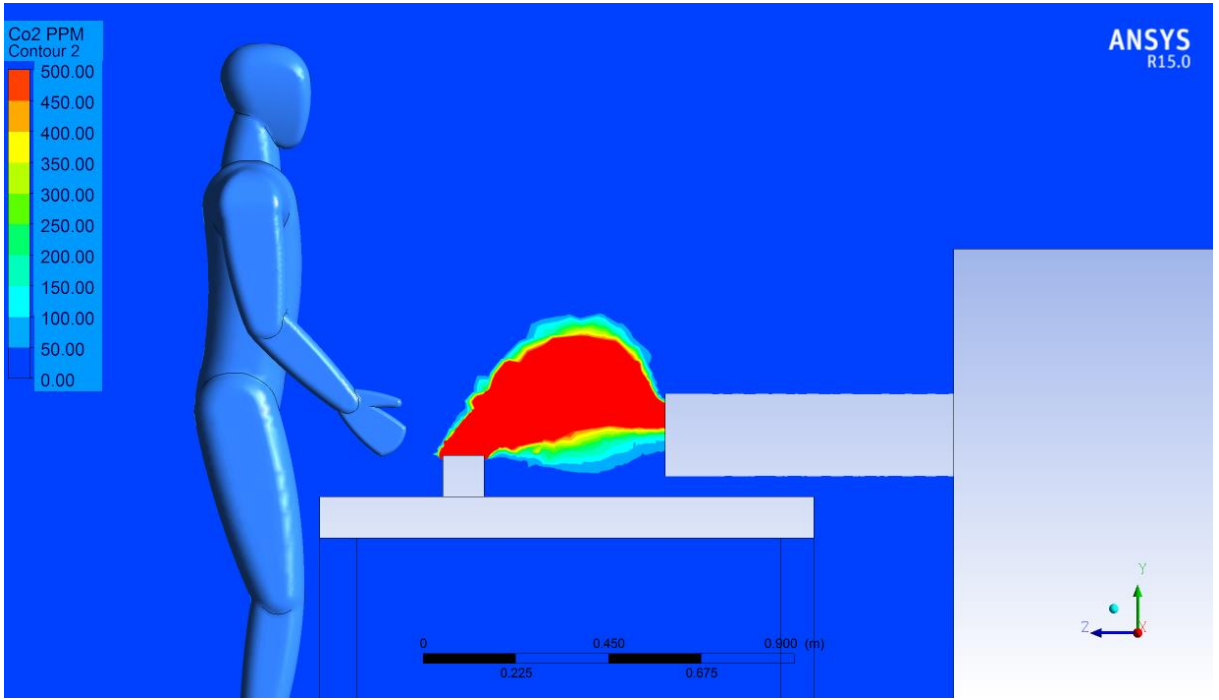
Şekil 29. Senaryo 4.11 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



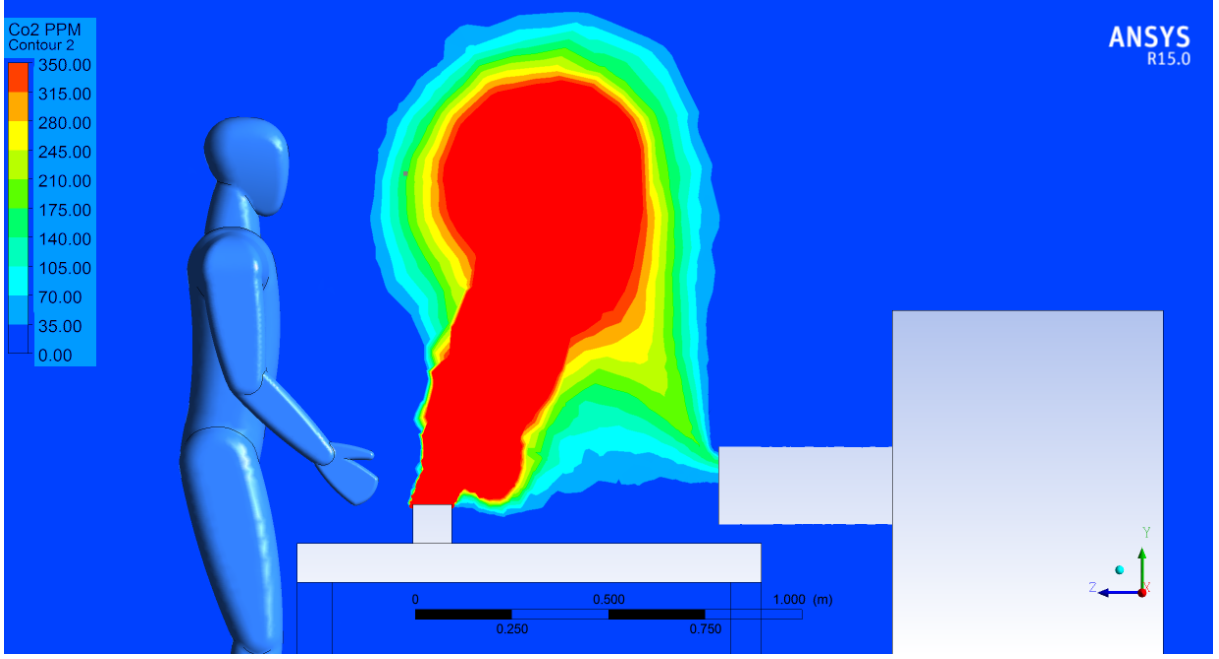
Şekil 30. Senaryo 4.12 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



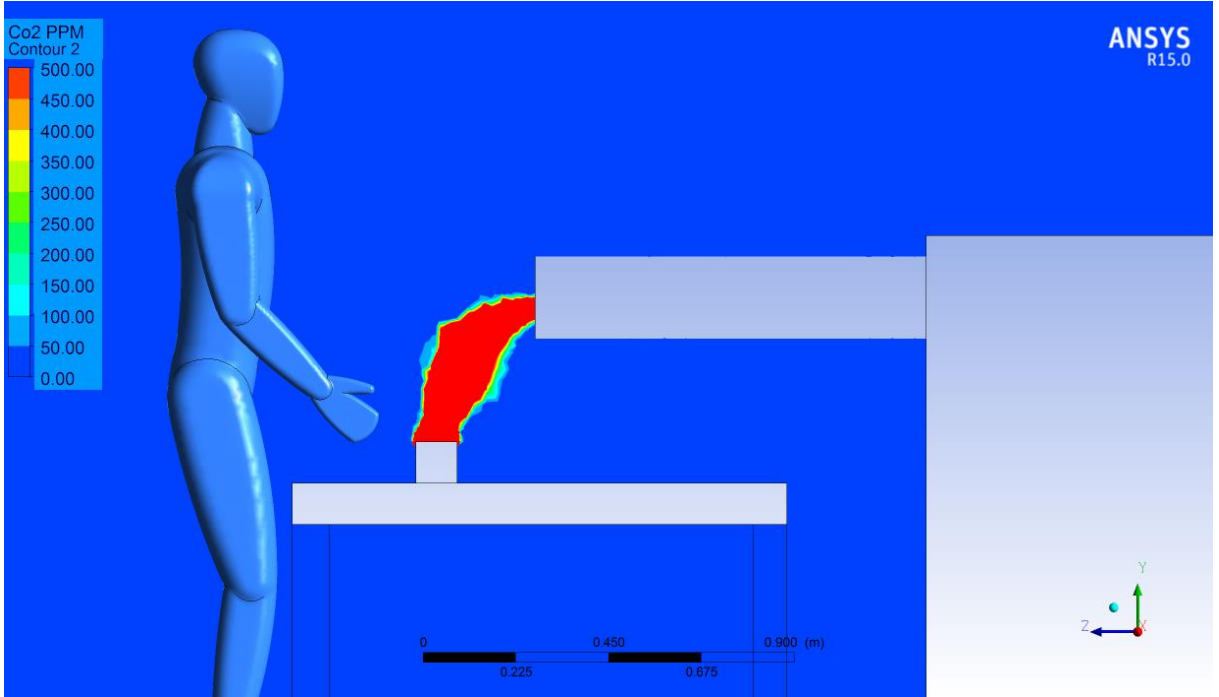
Şekil 31. Senaryo 4.13 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



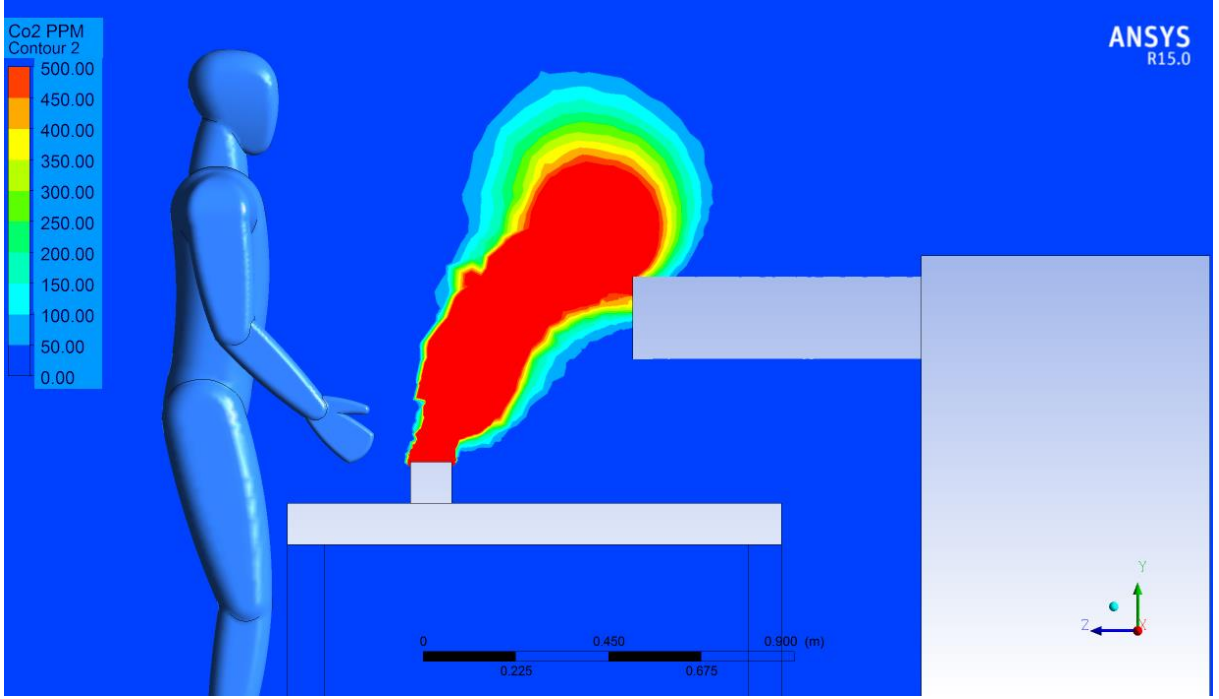
Şekil 32. Senaryo 4.14 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



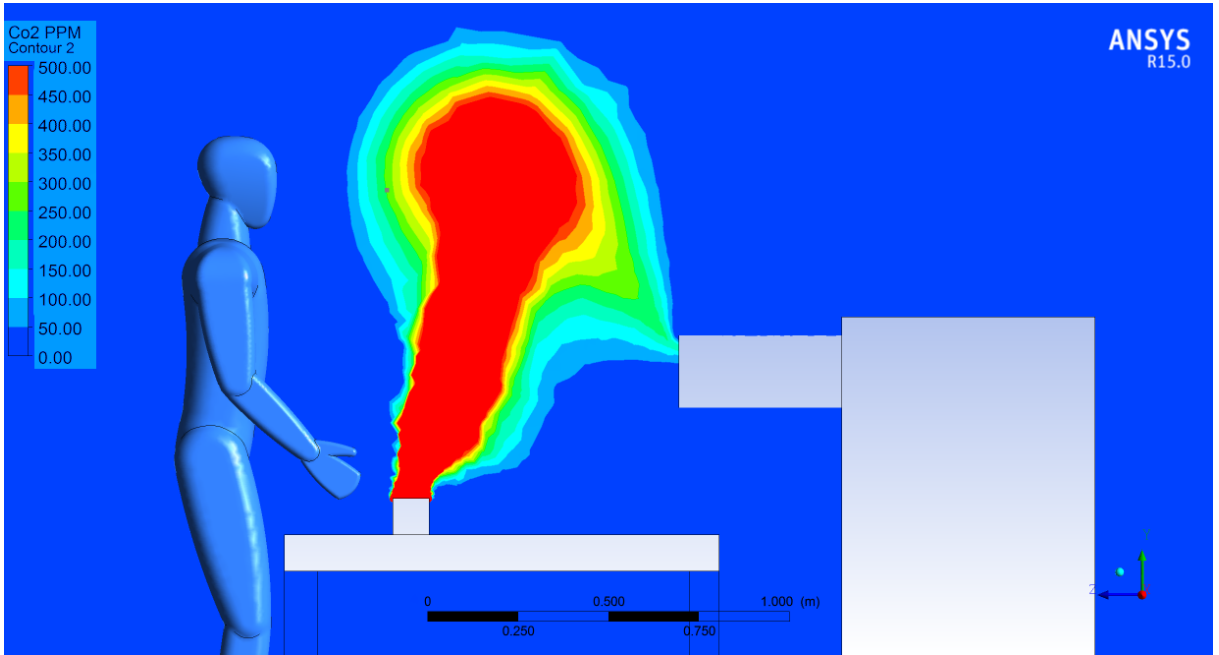
Şekil 33. Senaryo 4.15 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



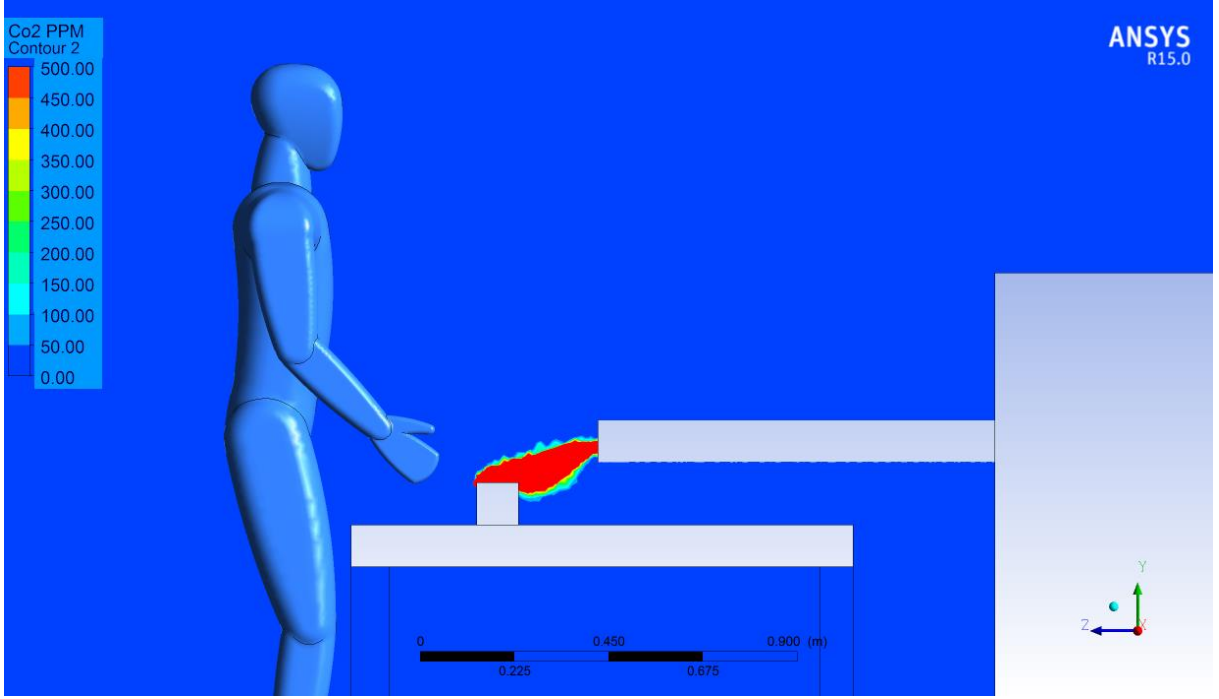
Şekil 34. Senaryo 4.16 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



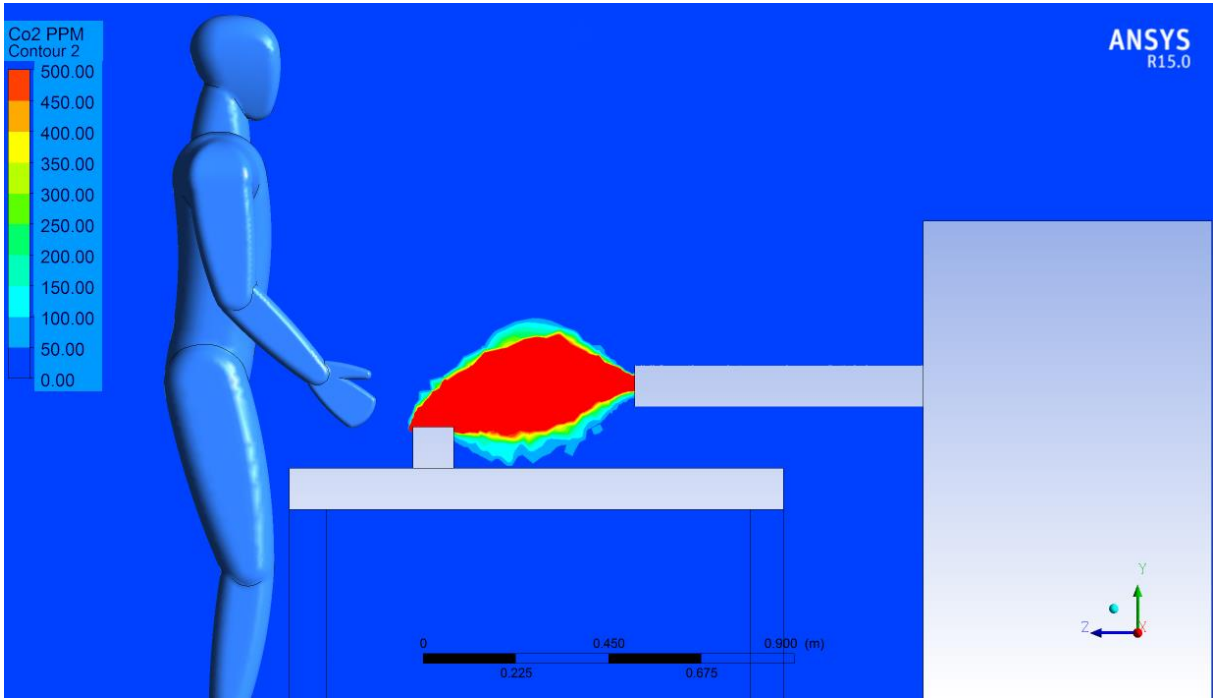
Şekil 35. Senaryo 4.17 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



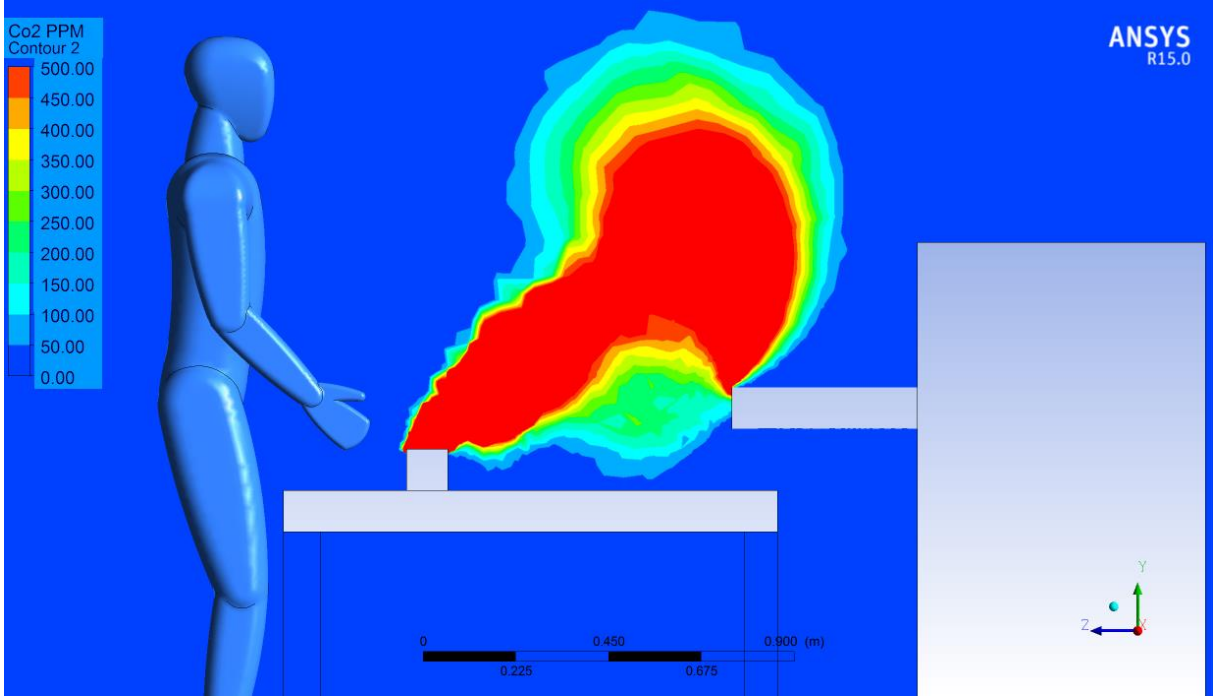
Şekil 36. Senaryo 4.18 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



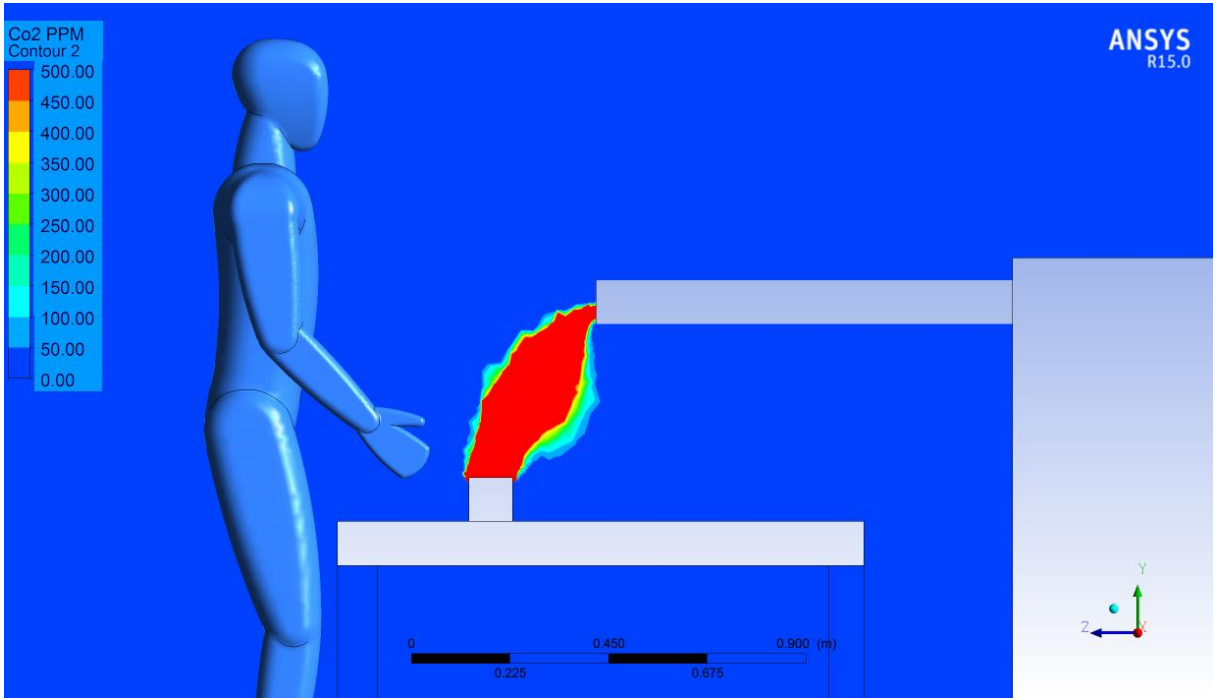
Şekil 37. Senaryo 4.19 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



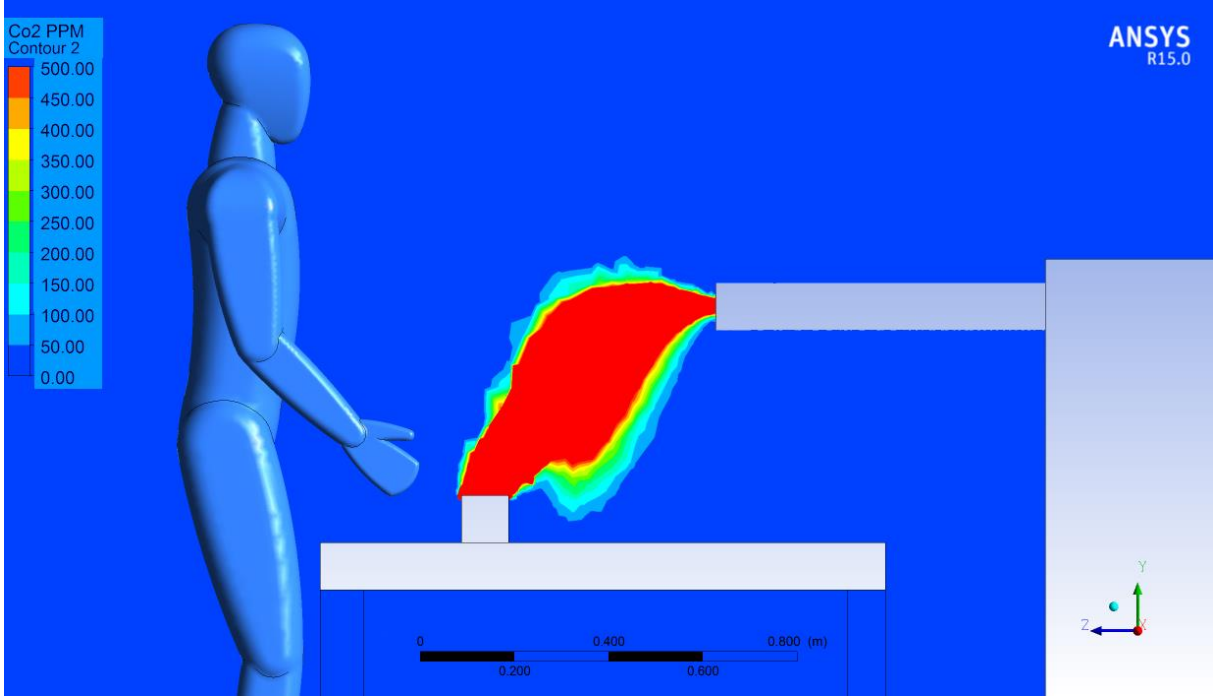
Şekil 38. Senaryo 4.20 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



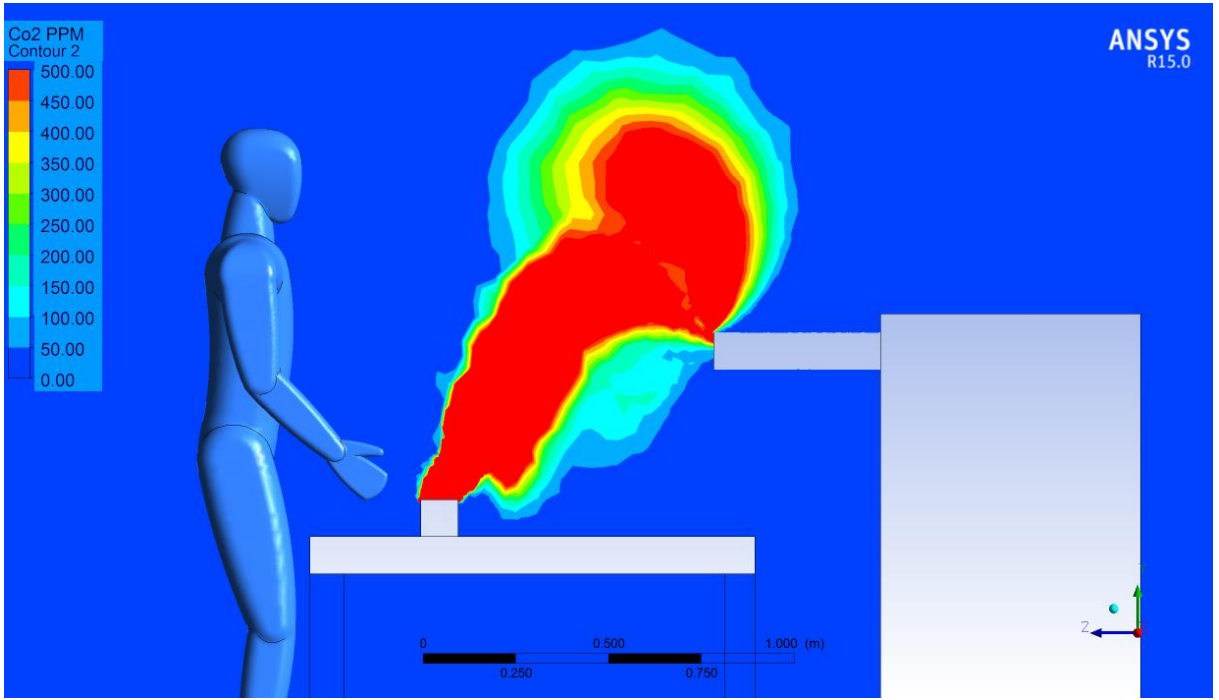
Şekil 39. Senaryo 4.21 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



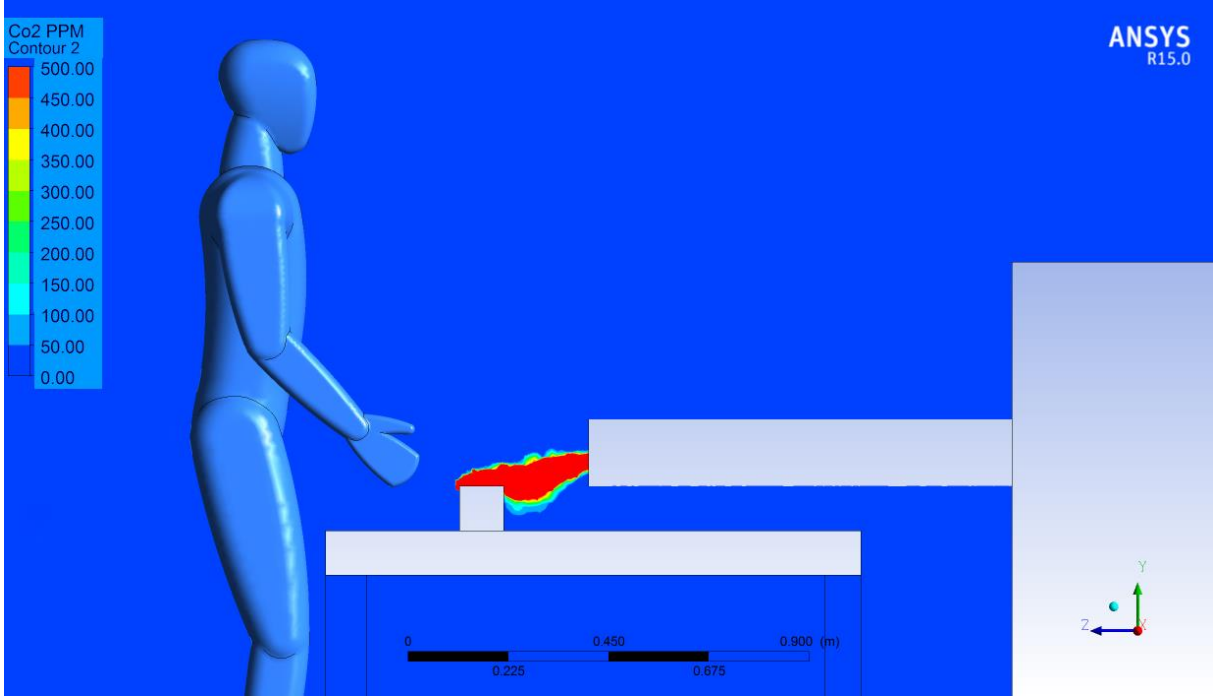
Şekil 40. Senaryo 4.22 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



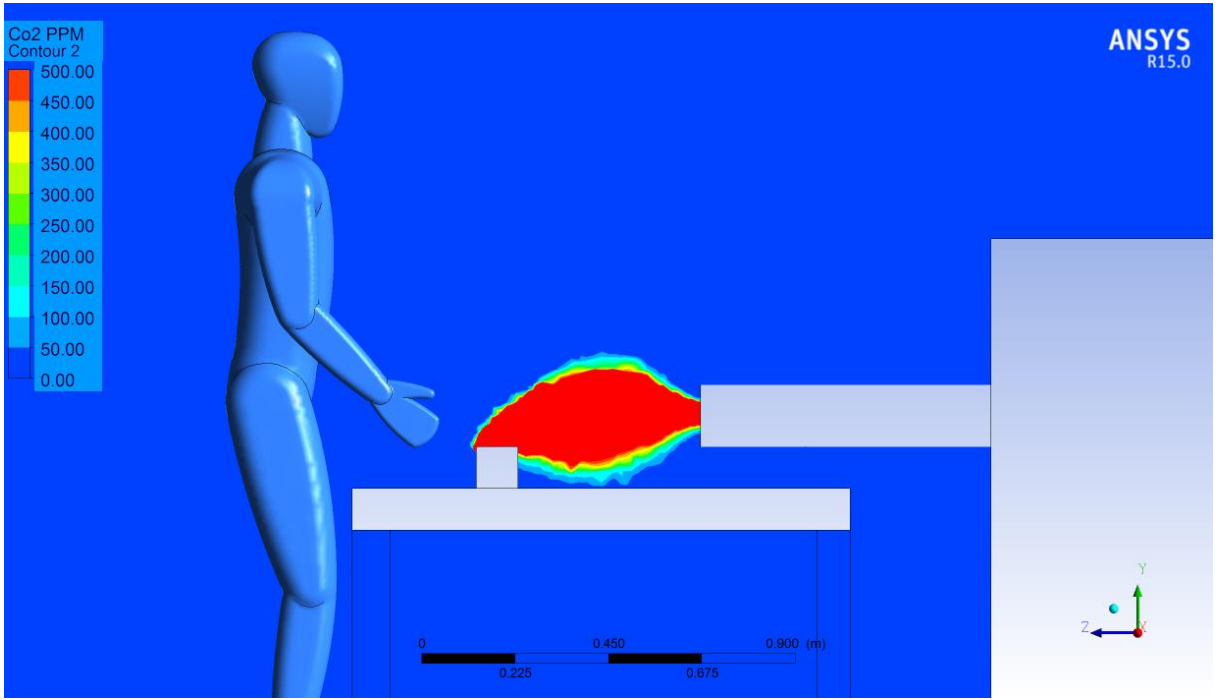
Şekil 41. Senaryo 4.23 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



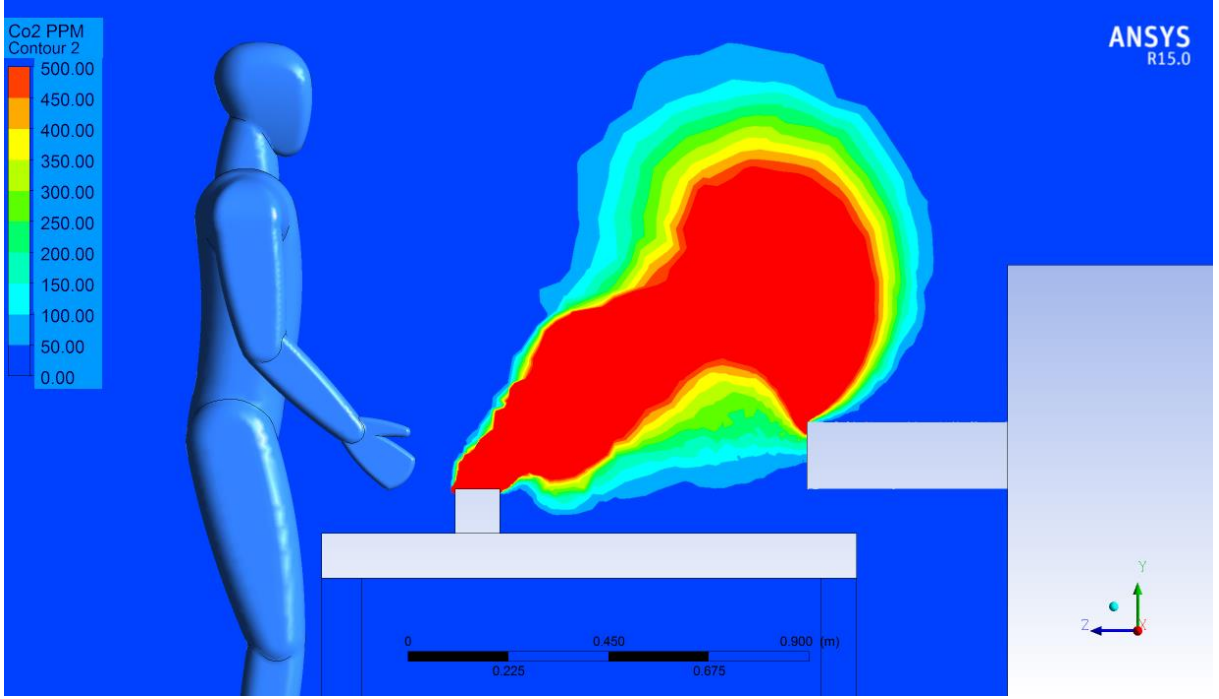
Şekil 42. Senaryo 4.24 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



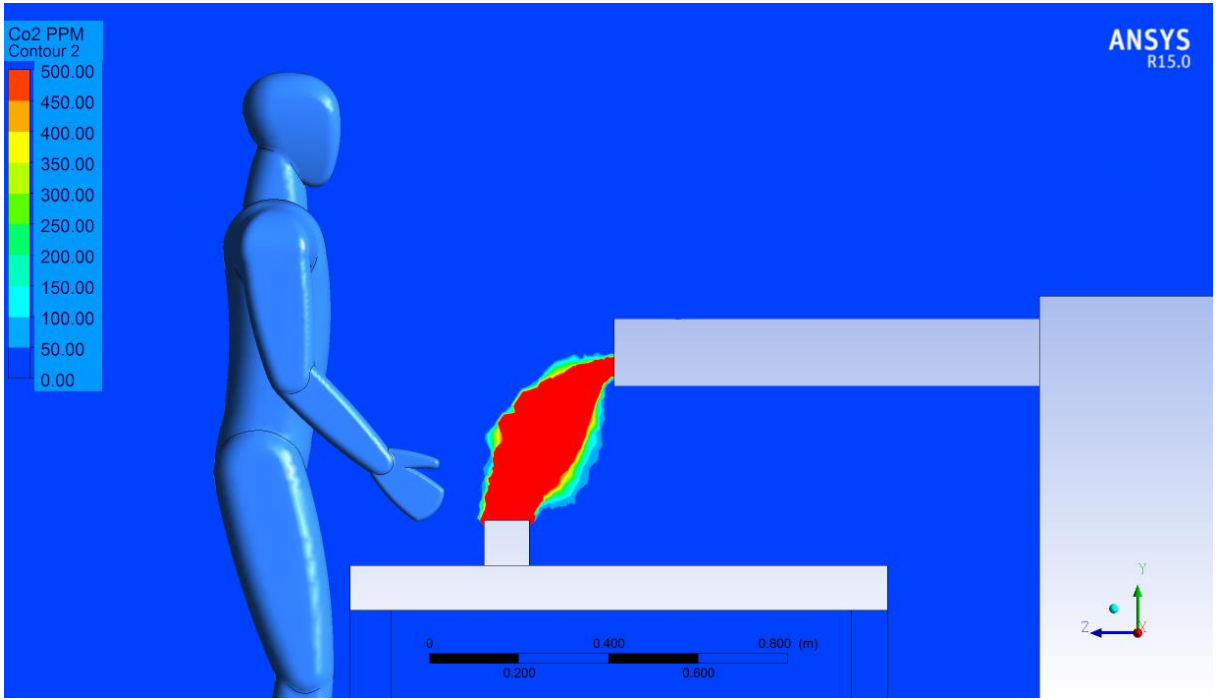
Şekil 43. Senaryo 4.25 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



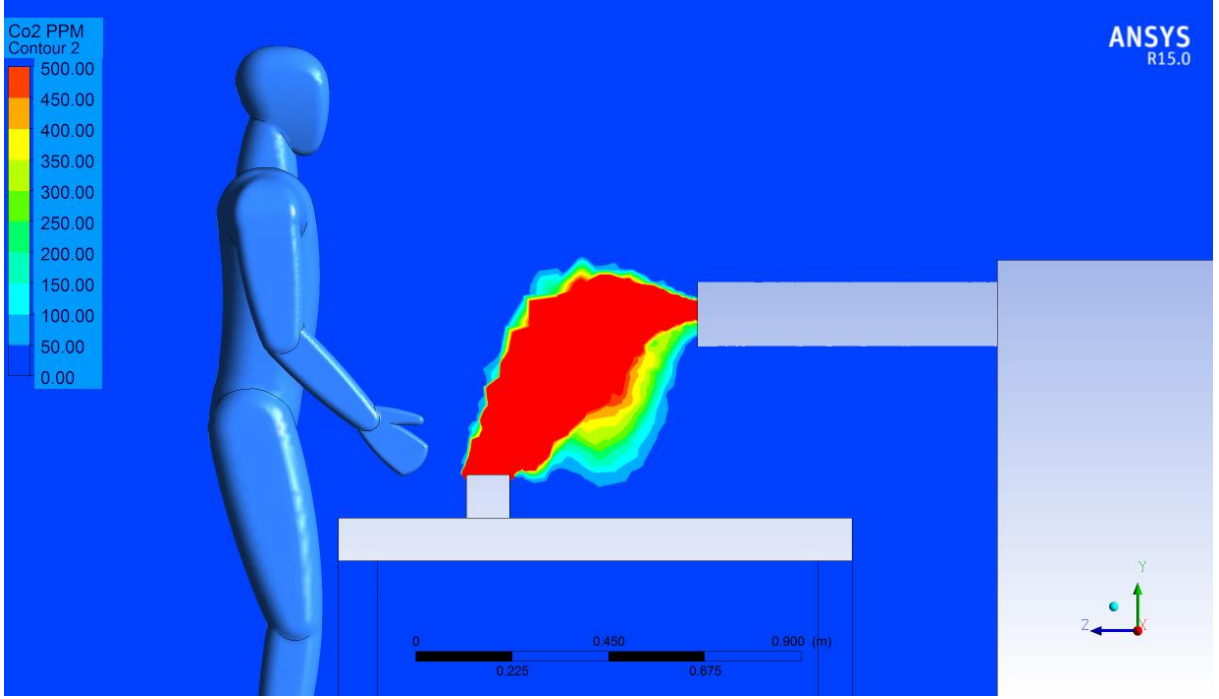
Şekil 44. Senaryo 4.26 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



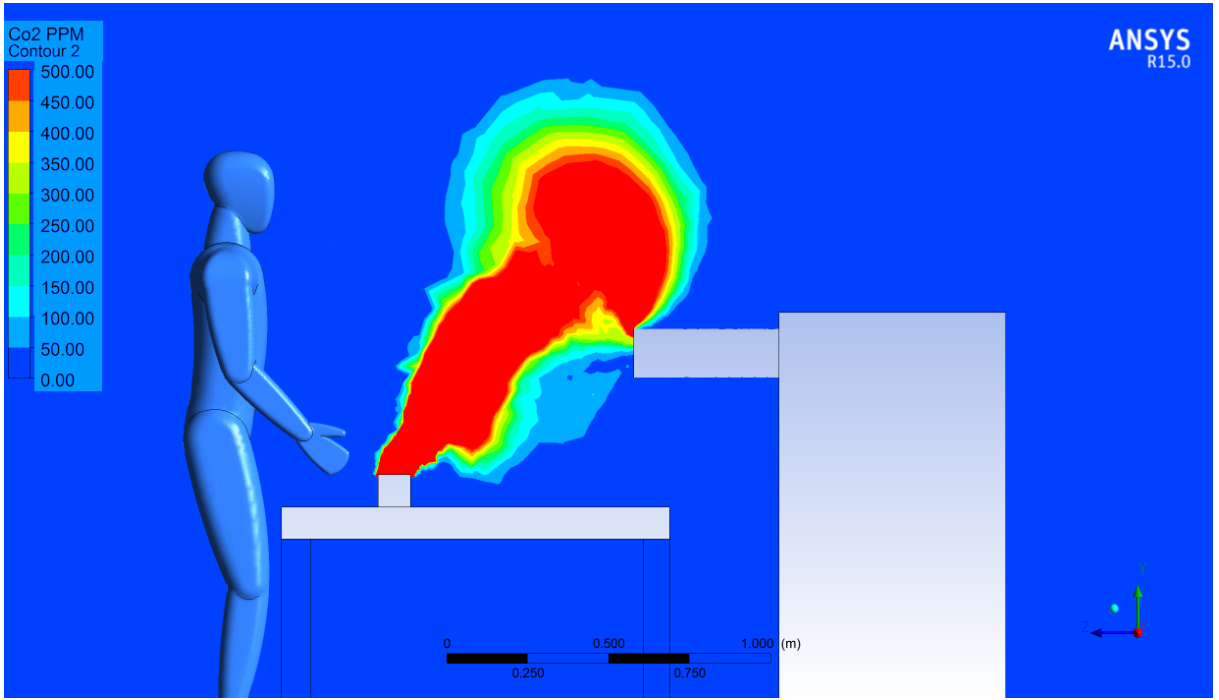
Şekil 45. Senaryo 4.27 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



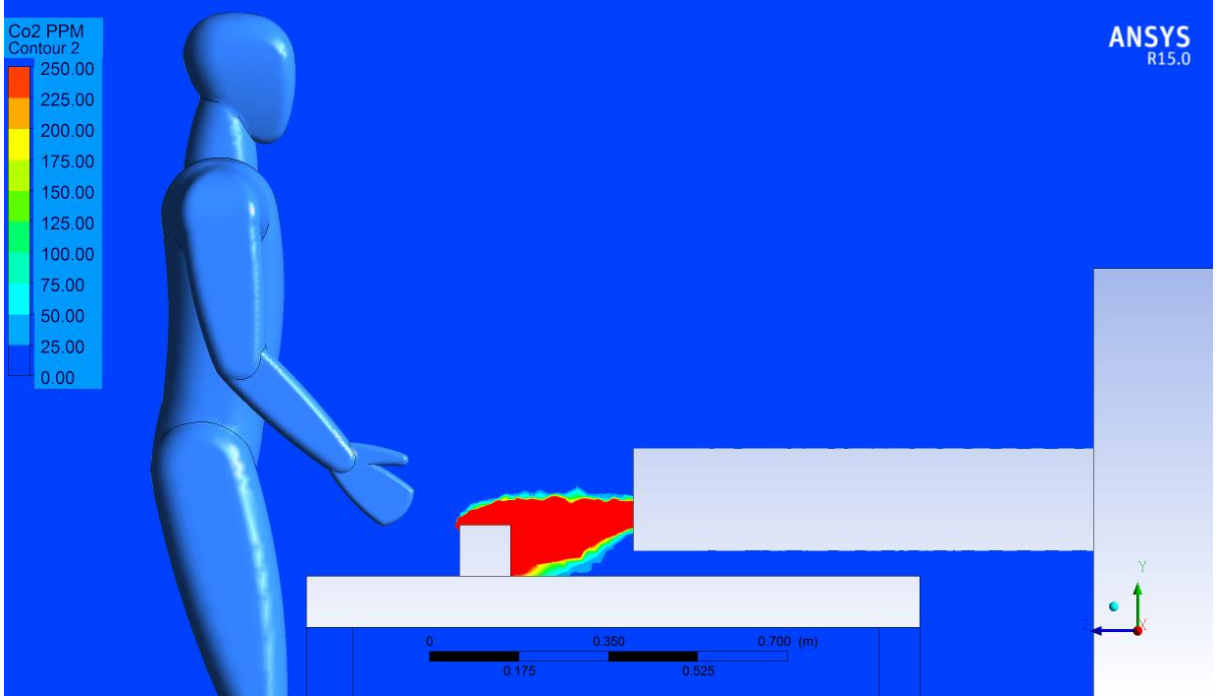
Şekil 46. Senaryo 4.28 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



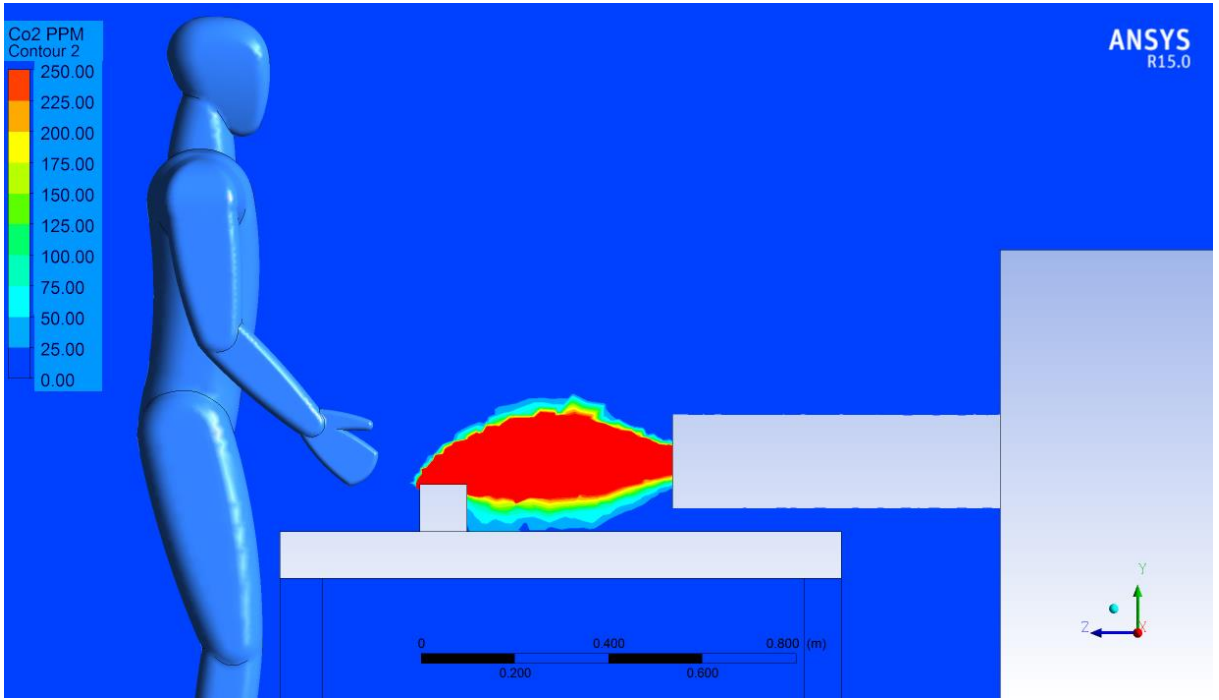
Şekil 47. Senaryo 4.29 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



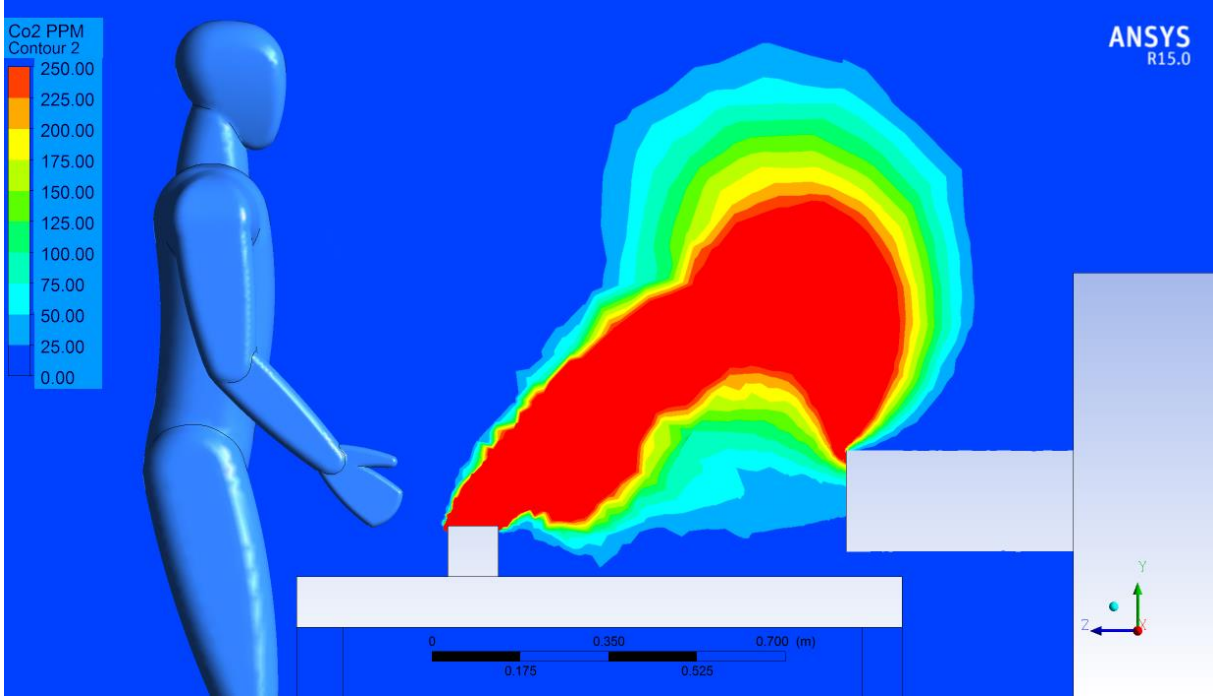
Şekil 48. Senaryo 4.30 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



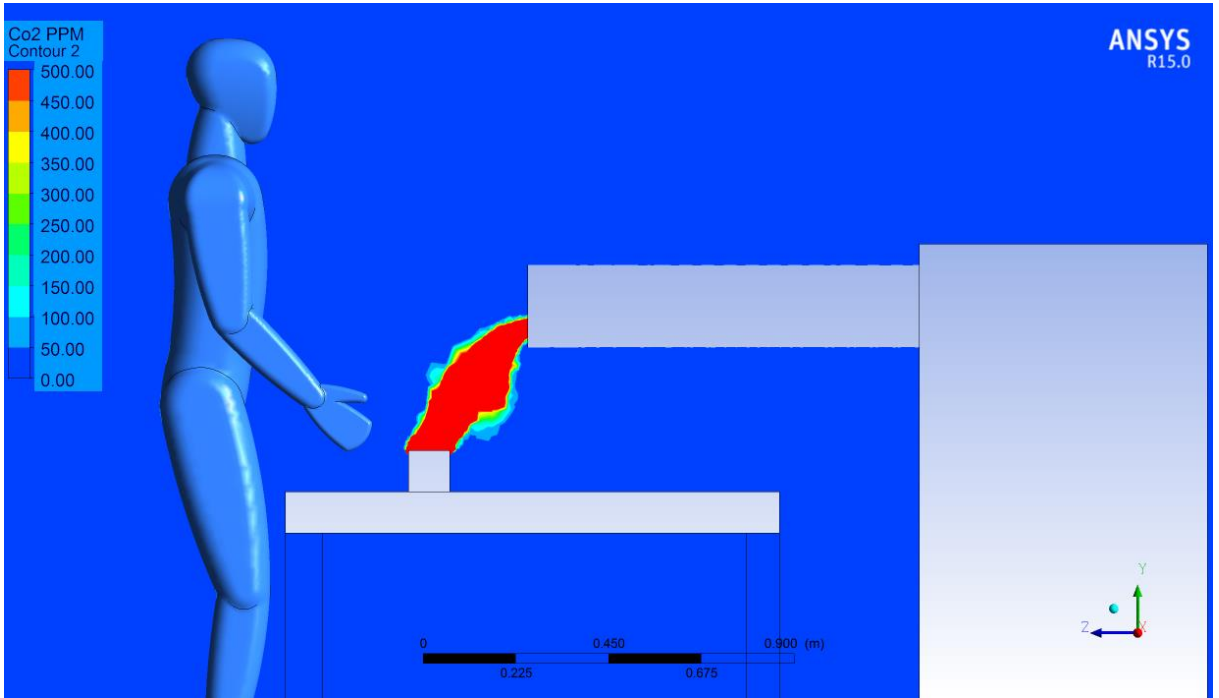
Şekil 49. Senaryo 4.31 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



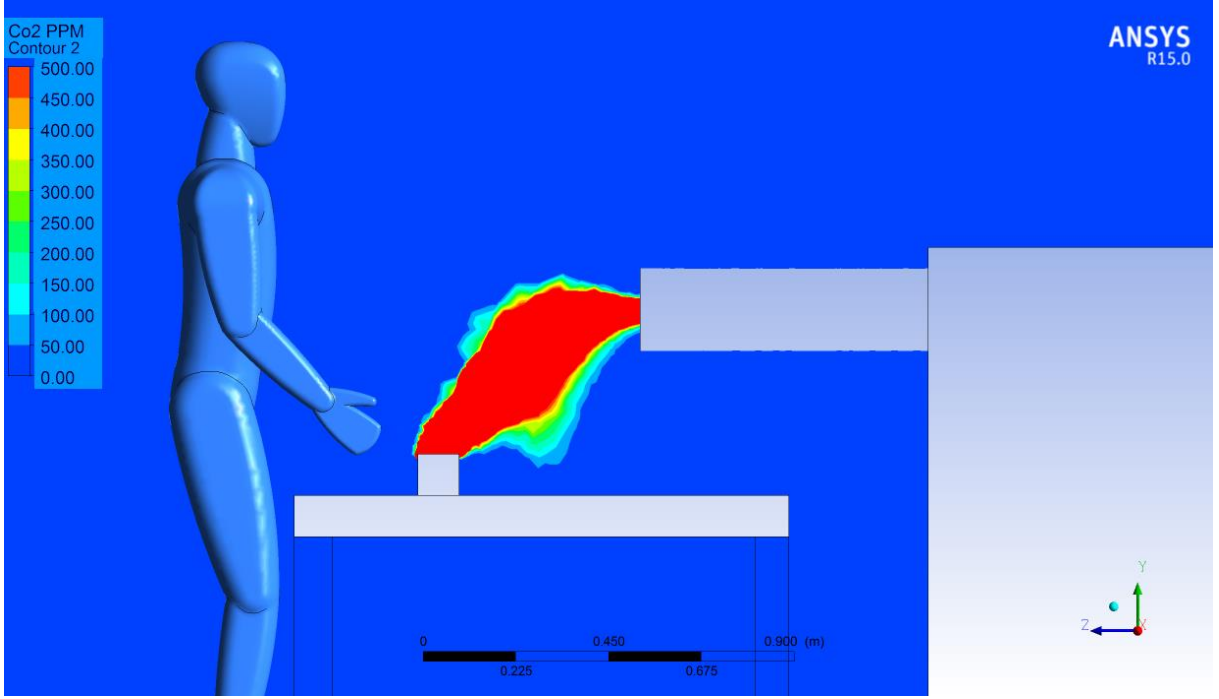
Şekil 50. Senaryo 4.32 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



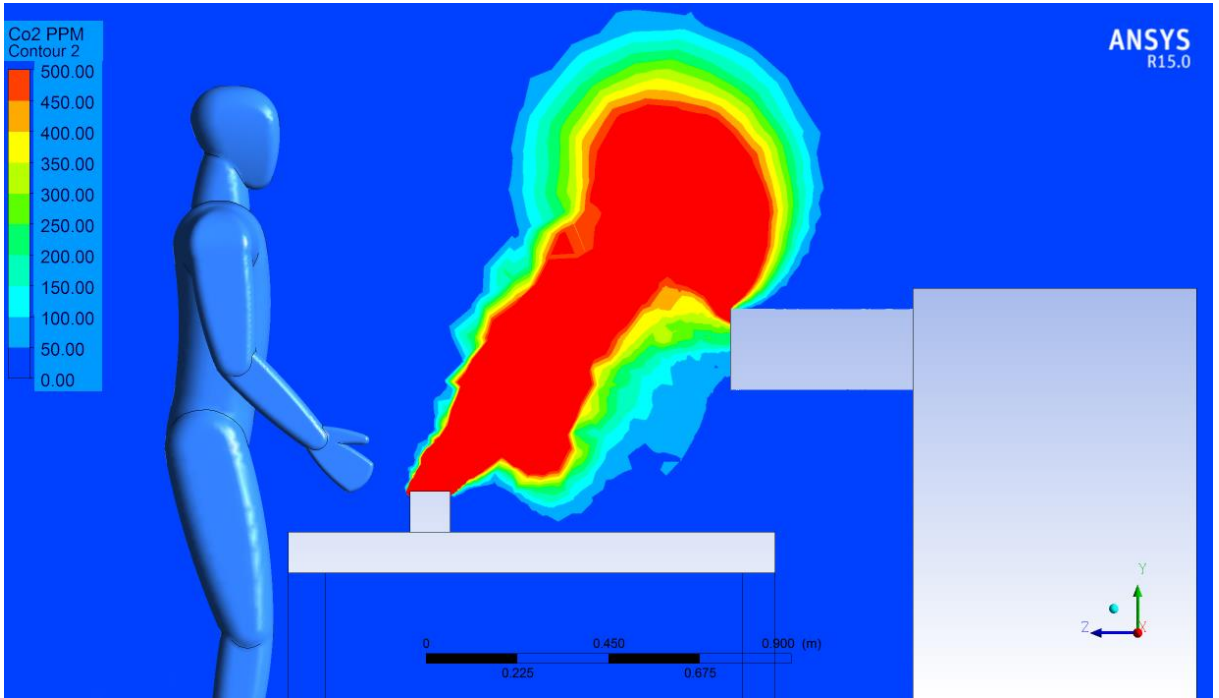
Şekil 51. Senaryo 4.33 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



Şekil 52. Senaryo 4.34 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



Şekil 53. Senaryo 4.35 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı



Şekil 54. Senaryo 4.36 – Ortamdaki CO₂ Konsantrasyon Dağılımı