

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZARARLI GAZLARIN GEMİ MAKİNE DAİRESİNDEKİ DAĞILIMININ
SİMÜLASYONU VE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

METİN KEMAL GÖKÇE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ.DR. FAHRİ ÇELİK**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZARARLI GAZLARIN GEMİ MAKİNE DAİRESİNDEKİ DAĞILIMININ
SİMÜLASYONU VE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Metin Kemal Gökçe tarafından hazırlanan tez çalışması 23/12/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Fahri ÇELİK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Fahri ÇELİK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yar. Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yar. Doç. Dr. Tamer KEPÇELER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmada gemi makine dairesinde çalışan personelin sağlığını olumsuz etkileyen faktörler üzerinde durulmuş ayrıca geminin ana makinasından bir egzoz kaçağı durumu modellenmiş ve bunun neticesindeki zararlı gaz dağılımı farklı havalandırma hızlarında incelenmiş, gerekli havalandırma hızı üzerine yorumlar yapılmıştır.

Çalışmamda tez danışmanlığımı yürüten, bu anlamda bana zaman ayıran ve sabrını esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr. Fahri Çelik'e, tez çalışmam ile ilgili bilgilerini ve tecrübelerini bana her fırsatta aktarıp yardımcı olan mesai arkadaşlarım ve hocalarım Ar. Gör. Ali Doğrul ve Ar. Gör. Dr. Ömer Kemal Kınacı'ya, gemi seyir tecrübelerini benden esirgemeyen değerli arkadaşım uzakyol vardiya mühendisi Ersan Türkmen'e, her zaman yanımda olan ve beni her konuda destekleyen anneme ve babama teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmamın gerek sektörde gerekse akademik olarak bu alanda çalışanlar için yararlı olmasını diler, saygılarımı sunarım.

Eylül, 2013

Metin Kemal GÖKÇE

Beşiktaş, İstanbul

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı.....	3
1.3 Orijinal Katkı.....	3
BÖLÜM 2.....	5
MAKİNE DAİRESİ ORTAM KOŞULLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	5
2.1 Ortam Koşullarını Etkileyen Genel Elemanlar	5
2.2 Gemi Ana Makine Kaynaklı Zararlı Egzoz Gazları ve Personel Sağlığına Etkileri	7
2.2.1 Azot Oksitler (NO _x).....	7
2.2.2 Karbondioksit (CO ₂)	8
2.2.3 Karbonmonoksit (CO)	9
2.2.4 Hidrokarbonlar (HC)	10
2.2.5 Partikül Maddeler (PM)	10
2.3 Gemi Makine Dairesinde Titreşim ve Personel Sağlığına Etkisi	11
2.3.1 Gemilerde Titreşim	12
2.3.2 Gemi Titreşiminin Personel Üzerine Etkisi	13
2.4 Deniz Tutması	15

BÖLÜM 3.....	17
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)	17
3.1 Sonlu Hacimler Metodu (SHM)	17
3.1.1 Transport Denklemi	18
3.1.1.1 Kütlenin Korunumu Denkleminin Çeşitli Formları	19
3.1.1.2 Momentumun Korunumu Denkleminin Çeşitli Formları	20
3.1.1.3 Kütlenin Korunum Denkleminin Elde Edilmesi	22
3.1.1.4 Momentumun korunumu denkleminin elde edilmesi.....	24
3.2 RANS Denklemi	27
3.2.1 Sonlu Hacimler Yönteminin Matematiksel İfadesi	28
BÖLÜM 4.....	30
MAKİNE DAİRESİ İÇİN EGZOZ SIZINTI ANALİZİ	30
4.1 Sınır Koşulları	30
4.2 Sayısal Değerlendirme	32
4.2.1 Kesit A İçin Sonuçlar	35
4.2.2 Kesit B İçin Sonuçlar.....	37
4.2.3 Kesit C İçin Sonuçlar.....	40
4.2.4 Noktalar (A, B, C, D) için Sonuçlar	42
BÖLÜM 5.....	44
SONUÇ VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	48

SİMGE LİSTESİ

ϕ	Hava içerisinde dağılan karbonmonoksit
S_ϕ	Kaynak terimi
ρ	Yoğunluk
t	Zaman
V	Hız vektörü
u, w, v	Hız vektör bileşenleri
p	Basınç
g	Yer çekimi ivmesi
g_x, g_y, g_z	x,y,z yönündeki yerçekimi ivmeleri
A	Alan
n	Normal doğrusu
S	Kontrol hacmine giren akışkanın yüzey alanı
F_{viskoz}	Viskoz kuvveti
f	Birim kütleye düşen dış kuvvet
μ	Viskozite
m	Kütle
Q_k	Kütleli Debi
Q_h	Hacimsel Debi
L_{OA}	Length of Overall
B	Breadth
D	Depth
T	Draught

KISALTMA LİSTESİ

CFD	Computational Fluid Dynamics
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
ISM	International Safety Management
ISO	International Organization for Standardization
MARPOL	International Convention the Prevention of Pollution From Ships
RANS	Reynolds Averaged Navier-Stokes
SOLAS	Safety Of Life At Sea

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3. 1	Kütlesel debinin izahı için izafi bir A hacmi22
Şekil 3. 2	Kontrol hacmi ve yüzeye normal vektör23
Şekil 3. 3	1 – boyutta sonlu hacimler yönteminin ayrıklaştırılması.....29
Şekil 4. 1	Modellenen makine dairesinde hava giriş ve çıkışları32
Şekil 4. 2	2674611 elemandan oluşan makine dairesi modeli.....32
Şekil 4. 3	A ve B kesitleri.....33
Şekil 4. 4	C kesiti.....34
Şekil 4. 5	A,B,C ve D noktalarının yerleri.....34
Şekil 4. 6	$V= 1$ m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....35
Şekil 4. 7	$V= 1.5$ m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....36
Şekil 4. 8	$V= 2$ m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....36
Şekil 4. 9	$V= 3$ m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....37
Şekil 4. 10	$V= 1$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....38
Şekil 4. 11	$V= 1.5$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....38
Şekil 4. 12	$V= 2$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....39
Şekil 4. 13	$V= 3$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....39
Şekil 4. 14	$V= 1$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....40
Şekil 4. 15	$V= 1.5$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....40
Şekil 4. 16	$V= 2$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....41
Şekil 4. 17	$V= 3$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı.....41
Şekil 4. 18	Noktalar için farklı havalandırma hızlarında karbonmonoksit oranları.....42

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	Karbondioksit yoğunluklarının insan sağlığı üzerine etkileri.....	8
Çizelge 2. 2	Karbonmonoksit yoğunluklarına müsaade edilen maruziyet süreleri.....	9
Çizelge 2. 3	Kandaki karbonmonoksit yoğunluğunun insan sağlığı üzerine etkileri.....	10
Çizelge 2. 4	Çeşitli ivme değerleri ve bunların neden olduğu rahatsızlık durumla.....	11
Çizelge 4. 1	Makine dairesi modellenen geminin teknik özellikleri.....	30
Çizelge 4. 2	Seçilen A, B, C ve D noktalarının koordinatları.....	35
Çizelge 4. 3	A, B, C ve D noktalarında karbonmonoksit yoğunlukları.....	42

**ZARARLI GAZLARIN GEMİ MAKİNE DAİRESİNDEKİ DAĞILIMININ
SİMÜLASYONU VE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Metin Kemal GÖKÇE

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fahri ÇELİK

Gemi makine daireleri gerek ortam koşulları gerekse yapılan işin zorluğu bakımından çok ağır çalışma şartlarına sahip alanlardır. Personelin sağlığını sürekli olarak etkileyen sıcaklık, nem, gürültü ve titreşim gibi etkenlerin yanında iş kazaları açısından da oldukça riskli bölgelerdir. Bu durum gemi makine dairelerinin bir gerçeği olup, yapılması gereken bu etkenlerin ve risk faktörlerinin en aza indirgenmesidir.

Bu tez çalışmasında bir gemi makine dairesi ticari bir HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) programında ana hatlarıyla modellenmiştir. Daha sonra gemi ana makinesinden bir egzoz kaçağı olduğu varsayılmış, egzoz gazı içerisindeki kısa sürede en zararlı gaz olan karbonmonoksit gazının makine dairesi içerisindeki dağılımı, farklı havalandırma hızlarında incelenmiştir. Bunun neticesinde bu havalandırma hızlarının yeterli olup olmadığı insan sağlığı açısından irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler:Gemi makine dairesi, HAD, emisyon, CO.

**SIMULATION OF HAZARDOUS GASES DISTRIBUTION IN SHIP ENGINE
ROOM AND INVESTIGATION OF THEIR EFFECTS**

Metin Kemal GÖKÇE

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr.Fahri ÇELİK

The engine rooms of ships are though places to work because of their ambient conditions. Beside the factors that effect the staff health like temperature, damp, noise and vibration, these places are very risky about occupational accidents. This situation is the fact of the ship engine rooms and these risk factors should be reduced as possible.

In this study, a ship engine room is modelled by a commercial CFD software. Afterwards an exhaust leakage from the ship main engine is assumed and carbon monoxide contrubition which is the most hazardous gas in short period is investigated for different ventilation velocities. As a result it is discussed if the ventilation velocities are sufficient for these situations.

Keywords: Ship main engine, CFD, emission, CO.

1.1 Literatür Özeti

Yaşadığımız dünyada deniz taşımacılığı ekonomik olması sebebiyle en çok tercih edilen taşıma yoludur. Bu durum gemilerin öneminin ve bu sektörde çalışan insan sayısının artmasına neden olmaktadır. Hiç şüphesiz ki bu sektördeki en zorlu çalışma ortamlarından birisi gemilerin makine dairesidir. Ülke genelindeki işsizlik probleminin aksine denizcilik sektörünün bu pozisyondaki iş gücü eksikliği, gemide çalışan personele yüksek ücretlerin verilmesinden dolayı oldukça cazip bir hal almaktadır. Ancak gayet iyi bilindiği üzere, ücretlerin bu denli yüksek olmasının başlıca nedeni gemi personelinin çalışma şartlarının oldukça ağır olmasıdır.

Gemi makine dairesi birçok makine, tesisat ve depolama sistemleri ihtiva eder. Bunların hepsi ortam koşullarını ağırlaştıran ısı, gürültü, nem, zararlı gazlar ve titreşim gibi insan sağlığına zarar verebilecek faktörleri üretirler. Gemi makine dairesi personeli bu zor çalışma şartları altında 8-12 saatleri bulan süreler boyunca çalışabilmektedir.

Gemi makine dairesindeki çalışma koşullarıyla ilgili geçmişte yapılan çalışmalar mevcuttur. Hazırladığı yüksek lisans tez çalışmasında Koçak (2008), gemi makine dairesindeki çalışma şartlarını etkileyen faktörler üzerinde durmuş ve ergonomik dizaynın önemini vurgulamıştır [1].

Başka bir yüksek lisans tez çalışmasında Karaman (2011), kimyasal bir tankere ait makine dairesinin havalandırma sistemini incelemiş ve gerekli hava debisi, fan kapasitesi, egzoz debisi panjur alanı ve fan basıncı gibi hesaplamaları ele almıştır [2].

Gemi makine dairesi yangını sonucu açığa çıkan duman ve gazların kapalı gemi hacmindeki hareketi ve ısı etkilerini inceleyen Sülüs (2008), bu sayede yangın söndürme ve yangın ikaz sistemlerinin avantajlarından tam olarak yararlanabilmeyi amaçlamıştır [3].

Bayraktar (2005) ise tez çalışmasında gemi makine güvenliği için kullanılan ISM Kodunu, gerekli donanımlar için SOLAS kurallarını, limanda istenen koşulları ayrı ayrı ayrıntılı olarak ele almış, gemide istenmeyen durumlarda personelin izlemesi gereken yollar hakkında detaylı bilgi vermiştir [4].

Lundh vd. (2011) yaptıkları çalışmada makine dairesi kontrol odası ve makine dairesi dizaynı üzerinde durmuşlar, çalışma şartlarına uygun olmayan kontrol odası ve makine dairesi dizaynlarının ne gibi riskler oluşturabileceğini vurgulamışlardır [5].

Forsell vd. (2007) çalıştıkları hastaneye başvuran ve akciğer kanseri olan emekli 4 gemi makine dairesi personelinin hastalıklarının nedenlerini incelemiş ve buna makine dairesinde hala yalıtım için kullanılan asbestin, egzoz gazında bulunan hidrokarbonların ve de sigara içmelerinin neden olduğu sonucuna varmışlardır [6].

Makine dairesinde yangın çok ciddi bir tehlikedir. Gözalan (2011), tez çalışmasında üç farklı savaş gemisinin makine dairesinde farklı büyüklüklerde yangın modelleri oluşturmuş ve mevcut havalandırma sistemlerinin bu gibi yangın durumlarında yeterli olup olmadığını yorumlamıştır [7].

Su ve Wang (2013) ise yaptıkları çalışmada yangın senaryosu için üç boyutlu ve Navier Stokes denklemlerini içeren bir makine dairesi modeli oluşturmuşlar, makine dairesinin tek bir bölüm yerine birden fazla bölümden oluşmasının alevin yoğunluğunu etkilediği sonucuna ulaşmışlardır [8].

Bir diğer yüksek tezi çalışmasında ise Doğrul (2010), İstanbul Boğazı'nı ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile modellemiş ve sayısal olarak incelemiştir. Boğazdaki akıntılar ve rüzgarın neden olduğu kuvvetleri de hesaba katmış, 3 boyutlu geometri için çift fazlı akım analizi yapmıştır [9].

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada gemi makine dairesinde insan sağlığını olumsuz etkileyen faktörler ele alınarak gemi ana makine sistemi üzerinde oluşan bir kaçaktan makine dairesine egzoz sızıntısının simülasyonu yapılmış, bunun neticesinde yalnızca egzoz gazı içerisinde kapalı alanda ve kısa zamanda en zararlı olabilecek karbonmonoksitin (CO) farklı havalandırma hızlarında belirli noktalardaki ve yüzeylerdeki dağılımları incelenmiştir.

Birinci bölümde bu zamana kadar gemi makine dairesi ortamı ve buradaki çalışma şartlarıyla ilgili geçmişte yapılan çalışmalardan söz edilmiştir.

Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde makine dairesi hakkında genel bilgilerden ve gemi makine dairesinde insan sağlığını etkileyen zararlı etkenlerden bahsedilmiştir. Bunların yanında bu bölümde ana makine kaynaklı zararlı gazlar tanıtılmış ve bu gazlara maruziyet sınırları verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği hakkında bilgiler verilmiş ve analizlerde kullanılan programda yer alan matematiksel denklemlere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde modellenmiş olan makine dairesinde farklı havalandırma hızlarında, ortama sızan karbon monoksit gazı için yapılan analizler ve bunların sonuçlarından bahsedilmiştir.

Son bölüm olan beşinci bölümde ise yapılan analizlerden elde edilen sonuçlardan farklı havalandırma hızlarında bu sızıntının etkileri tartışılmıştır.

Çalışmada kullanılan makine dairesi modeli, 190 metrelik mevcut bir ticari kuru yük gemisinin makine dairesi boyutlarından faydalanılıp basitleştirilerek modellenmiştir.

Problemin çözümünde ticari bir hesaplı akışkanlar dinamiği programı olan ANSYS Fluent kullanılmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Tez çalışması sonucunda olası bir egzoz kaçağı durumunda karbonmonoksit gazının farklı havalandırma hızlarında ne gibi dağılım sergileyeceği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ikinci bölümde verilen karbonmonoksit gazının insan sağlığına hangi yoğunluklarda ne gibi zararlar verdiği ile ilgili bilgiler ışığında yorumlanmıştır. Ana

makineden bir sızıntı durumunda 1, 1.5, 2 m/s'lik havalandırma hızları içeriği yeteri kadar havalandırmaya yetmemiş, 3 m/s havalandırma hızındaysa havalandırmanın insan sağlığı açısından yeterli olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada bir arıza durumu için analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında farklı senaryolar için uygulamalar yapılabilir. Burada önemli olan, bir ortamda farklı akışkanların; farklı hız ve sıcaklıklarda birbirleri içerisindeki dağılımlarının sağlıklı bir şekilde incelenebilmesi ve bu doğrultuda mühendislik çözümleri düşünülmesidir. Tezde yapılan çalışma bu anlamda gelecek durumlar için bir örnek teşkil edebilir.

BÖLÜM 2

MAKİNE DAİRESİ ORTAM KOŞULLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Gemi makine dairelerinde çalışmak; gerek sıcaklık, nem, zararlı gazlar, kimyasallar ve titreşim gibi ortam şartlarından ötürü, gerekse işin ağırlığından dolayı oldukça zordur. Bu bölümde bu zorlukları meydana getiren etmenler ve bunların personel üzerindeki etkileri üzerinde durulacaktır. Bundaki amaç makine dairesinde çalışan personel içinde bulunduğu riskleri göstermek ve gemi inşaatı sektörü için makine dairesi dizaynında bu faktörlerin önemini vurgulamaktır.

2.1 Ortam Koşullarını Etkileyen Genel Elemanlar

Gemi makine daireleri birçok karmaşık ve tehlikeli sistemi içinde barındıran alanlardır. Bu durum bu alanda çalışan insanların çalışma şartlarının da bir o kadar zorlaşmasına neden olur. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde seyir halinde iken ortam sıcaklığı nadiren 45°C'nin altına düşer. Makine dairesi bir anlamda geminin kalbidir. Pervaneyi tahrik eden güç, tüm geminin ihtiyacı olan elektrik, yine sistemlerde kullanılan sıcak su ve buhar makine dairelerinde üretilir. Gemi makine dairelerinde bulunan başlıca elemanlar; ana makine, jeneratörler, pompalar ve kompresörler, seperatörler, ısı değiştiriciler, kazan, tatlı su üretici ve insineratör olarak sıralanabilir [10].

Ana Makine:Ana makineler gemi sevkini sağlayan pervaneleri tahrik eden güçlü ve büyük makinelerdir. Gemilerde ihtiyaca göre farklı tiplerde ana makineler kullanılabilmektedir ve üç tip ana makine mevcuttur. Bunlar dizel motorlar, buhar türbinleri ve gaz türbinleridir. En çok kullanılan ana makine tipi dizel motorlarıdır. Bu makineler aynı zamanda önemli ısı, titreşim ve ses kaynaklarıdır.

Jeneratörler: Jeneratörler en basit tabiriyle mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Çoğunlukla dört zamanlı dizel makinelerden tercih edilirler. Fuel oil veya dizel yakıtla çalışırlar. Makine dairesinde birden fazla sayıda bulunabilir, tek veya paralel olarak çalışabilirler.

Pompalar ve Kompresörler: Pompalar sistemdeki sıvı dolaşımını ve tanklardaki sıvı transferini sağlamak için kullanılan makinelerdir. Aynı şekilde bu işi gazlar için yapan makineler ise kompresörlerdir.

Seperatörler: Sistemdeki yağ ve yakıtın içerisinde bulunması istenmeyen yabancı maddeleri ayırtmakla görevli elemanlardır. Uygulanan santrifüj kuvveti ile farklı yoğunluktaki maddelerin ayrışması prensibine göre çalışırlar.

Isı Değiştiriciler: Isı değiştiriciler sistem içerisinde dolaşan akışkan maddelerin ihtiyaç duyulan sıcaklıklara ısıtılmasıyla görevlidir. Kullanılan ısı çoğunlukla kazandan gelen buhar ile sağlanırken bazı ısı değiştiriciler elektrik ile de çalışabilmektedir. Seperatöre girecek olan yağ, ana makinede kullanılacak yeterince akışkan olmayan fuel oil ısı değiştiricilerinde ısıtılır. Ayrıca gemide mürettebatın kullanacağı sıcak su ısı değiştiricilerinde ısıtılmaktadır [10].

Kazan: Geminin ihtiyacı olan buharı sağlamak kazanların görevidir. Gemi seyir halindeyken ana makinenin ürettiği egzoz gazları ile, gemi limandayken ise yakıt ile çalışmaktadırlar. Yüksek basınç ve sıcaklıklarda çalıştıklarından riskli makinelerdir, bu sebeple bakımları düzenli olarak yapılmalıdır.

Tatlı Su Üreticisi: Gemilerde kazan, banyo gibi ortamlarda tatlı su ihtiyacı deniz suundaki tuzun ayrıştırılması ile karşılanır. Bu ayrıştırma işlemi evaporatörler vasıtasıyla yapılır. Ana makineden gelen soğutma suyu, evaporatörün içerisinde düşük basınçtaki deniz suyunu normalden daha düşük bir sıcaklık değerinde kaynatır ve bu sayede deniz suyu tuzundan arındırılmış olur.

Sintine Seperatörü ve İnsineratör: Makine dairesinde çeşitli yerlerden akan ve sızan yağlar geminin tabanında sintinede birikirler. Burada biriken bu yağ-yakıt ve su karışımının bu şekilde denize bırakılmasına müsaade edilmez. Sintine seperatörü sayesinde yağ ve yakıt ayrıştırılır ve kalan temiz su denize pompalanır.

Elde edilen bu atık yağ ve yakıtlar ise MARPOL standartlarına uygun olarak insineratörlerde yakılarak atık maddelerden enerji elde edilir.

2.2 Gemi Ana Makine Kaynaklı Zararlı Egzoz Gazları ve Personel Sağlığına Etkileri

Gemi ana makinaları nispeten daha büyük ve güçlü makinalar olduklarından, ürettikleri egzoz ve egzoz emisyonları da bu oranda fazladır. Dizel motorları yüksek yanma verimliliği, güvenilirlikleri ve farklı koşullara uygulanabilirliği gibi özelliklerinden dolayı deniz ulaşım sektöründe en fazla tercih edilen ana makina türüdür. Limanlardaki ve seyir halindeki gemiler global kirlenmenin ana kaynaklarıdır[11]. Bu emisyonların azaltılması adına birçok yöntem geliştirilmiş olup, halen bu alanda birçok araştırmalar yapılmaktadır. Gemi kaynaklı egzoz gazı ve partikül emisyonları, ulaştırma sektöründeki toplam emisyonların önemli bir kısmını oluşturur [12]. Ayrıca dizel motorlarının ürettiği emisyonlar çevreyi büyük ölçüde tehdit ederler ve neden oldukları hava kirliliği ile beraber sera etkisinin en büyük nedenlerinden biri oldukları düşünülmektedir [13].

Egzoz emisyonları çevreye verdikleri zararlar kadar insan sağlığı açısından da oldukça zararlı bileşenlerdir. Her bir emisyon gazı insan sağlığı üzerinde farklı etkilere sahiptir. Örneğin bir emisyon türüne uzun zaman maruz kalındığında kalıcı hasarlar oluşurken, bir diğer emisyon türü kısa sürede ölümcül etkiler bırakabilmektedir. Dolayısıyla bu gazların zararlarını tek tek incelemek daha faydalı olacaktır. Dizel makinaların ürettikleri insan sağlığı için zararlı başlıca egzoz gazları; azot oksitler (NO_x), karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), hidrokarbonlar (HC) ve partikül maddelerdir (PM).

2.2.1 Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitler isimlerinden de anlaşılabilceği gibi azotun oksit halleridir. Farklı atom sayılarıyla farklı bileşimlerde bulunabilirler (N_2O , N_2O_3 , NO , NO_2 gibi). Dolayısıyla bu gazların tümü için NO_x kısaltılması kullanılmaktadır. Dizel motorlarında yanma çok yüksek sıcaklıklarda olduğundan azot oksit oluşumu kaçınılmazdır. İçten yanmalı motorlarda NO_x oluşması için yanma odasındaki sıcaklığın 1800°C ve üzerinde olması gerekir [14]. Azot oksitler ozon tabakasındaki ozon gazlarıyla kolayca tepkimeye girdiklerinden ozon tabakasında incelmelere ve bu doğrultuda iklim değişikliklerine

neden olduklarından çevre açısından tehlikeli bileşenlerdir. Egzoz gazı içerisinde bulunan her zararlı gaz için olduğu gibi, azot oksitler için de belirlenmiş kısıtlamalar ve standartlar mevcuttur.

Azot dioksit havadaki nem ile tepkimeye girerek akciğeri oldukça tahriş edebilen nitrat asitine dönüşür. Uzun maruz kalma durumunda akciğer rahatsızlıklarına neden olabilmektedir. Normal sağlıklı kişilerin azot oksitlere kısa süreli maruz kalma durumlarında (4,700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve üzeri konsantrasyonlarda) akciğer fonksiyonlarında bir azalma görülür. 560 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve üzerindeki konsantrasyon değerlerinde 4 saatlik maruziyette ise kronik akciğer hastalığı olanların solunum şikayetlerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Uzun süreli maruziyetlerde ise akciğerlerde geri dönüşü olan ve olmayan birçok etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. Akciğer dokusunda yapısal değişikliklere yol açabilmekle beraber bakteriyel enfeksiyonlara karşı da direnci düşürmektedir [15].

Resmi Gazete’de 06.06.2008’de yayımlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’ne göre ortamdaki NO_2 ’nin yoğunluğunun saatlik ortalama 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yıllık ortalama 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ü geçemez. NO_x yoğunluğunun ise yıllık ortalaması yine bu yönetmelikle 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile sınırlandırılmıştır [16].

2.2.2 Karbondioksit (CO_2)

Renksiz ve kokusuz bir gaz olan karbondioksit içerisinde karbon bulunan her türlü bileşenin yanması sonucunda açığa çıkar. Ortamda az oranda bulunması önemli bir etki bırakmaz ancak karbondioksit yoğunluğunun önemli düzeylere gelmesi durumunda çok tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Bu sebeple karbondioksit zehirli gazdan ziyade boğucu gaz olarak nitelendirilir. Çizelge 2.1’de havadaki farklı karbondioksit yoğunluklarının insanlar üzerinde ne gibi etkiler yarattığı gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Karbondioksit yoğunluklarının insan sağlığı üzerine etkileri[17]

Karbondioksit Konstanstrasyonu (%)	İnsan Sağlığına Etkisi
1	Herhangi bir etkisi yoktur
3	Solunumda zorlanmalar yaşanır
5-6	Zorlu nefes alma ve baş ağrısı
10	Şiddetli acı

15	Kısmi bilinç kaybı
18	Boğularak ölüm
25	Kısa sürede ölüm

2.2.3 Karbonmonoksit (CO)

Egzoz emisyonları içerisinde özellikle de kapalı alanlar için en zehirli ve tehlikeli gaz karbonmonoksittir. Yakıtın içerisinde bulunan karbonların tam olarak yanmaması durumunda oluşur. Yanıcı bir gazdır fakat ortamda hiçbir zaman çok yüksek yoğunluklarda bulunmamasından dolayı ciddi bir yangına veya patlamaya neden olmaz. Tahriş edici olmamasının yanında renksiz ve kokusuz olması sebebiyle ortamda yüksek konstantrasonda karbonmonoksitin varlığının farkedilmesi mümkün değildir. Bu sebeple zehirli gazların içinde en sinsi olanıdır.

Havadan solunan karbonmonoksit akciğerler vasıtasıyla kana taşınır. Bu karbonmonoksit, kan hücrelerinde bulunan ve oksijen taşımakla görevli hemoglobin hücrelerine oksijenden daha hızlı bağlanırlar. Dolayısıyla vücuda yeteri kadar oksijen taşınmaz ve kalp, beyin ve diğer organlar çalışamaz hale gelirler. Bu durum uzun vadede hastalıklara neden olabileceği gibi, ani ölümlere de neden olabilir. Ortamdaki karbonmonoksitin 8 saatlik çalışma süresi içerisinde geçememesi gereken değer %0.005'dir. Çizelge 2.2'de farklı karbonmonoksit yoğunluklarına maruziyet süreleri verilmiştir [17].

Çizelge 2.2 Karbonmonoksit yoğunluklarına müsaade edilen maruziyet süreleri[17]

CO Yoğunluğu (%)	Müsaade Edilen Maruziyet Süreleri
0.01	Bir süre maruz kalınabilir
0.04-0.06	Farkedilmeden normal nefes alınabilir
0.06-0.07	Bir süre sonra farkedilir
0.07-0.12	Rahatsız eden etki gösterir
0.12-0.20	Maruziyet tehlikeli olmaya başlar
0.20-0.40	1 saatten az maruziyet tehlikelidir
0.40 ve fazlası	1 saatten az sürede ölüme yol açar

Hafif karbonmonoksit zehirlenmelerinde görülen belirtiler; baş ağrısı, yorgunluk, zor nefes alma, baş dönmesi ve mide bulantısı şeklindedir. Ağır zehirlenmelerde görülen belirtiler ise; kusma, bilinç ve irade kaybı, kusma ve ölümlerle sonuçlanır.

Çizelge 2.3'te ise kandaki çeşitli karbonmonoksit yoğunluklarının ne gibi etkiler yarattığı gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Kandaki karbonmonoksit yoğunluğunun insan sağlığı üzerine etkileri[17]

Kandaki CO Yoğunluğu (%)	Bulgular
10-20	Bulantı, sakarlık, duygusal dengesizlik
21-30	Baş ağrısı, görme bozuklukları, çevreye uyumda yetersizlik, reflekslerde zayıflık, güç kaybı, duyularda zayıflama
31-40	Baş dönmesi, sersemlik, bulantı, kusma, irade kaybı
41-50	Bayılma, unutkanlık, taşipne
51-60	Nöbetler, koma ve ölüm ihtimali
60 ve üzeri	Ölüm

2.2.4 Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar yanmamış veya yarı yanmış yakıtlardır. Kötü kokulu maddelerdir ve ayrıca tahriş etme özellikleri mevcuttur. Kanserojen özellikleri olduğu bilinmektedir. Azot oksitlerle tepkimeye girerek ozon gazı oluştururlar ve atmosferin alt tabakalarında bulunan ozon hem çevreye hem de canlılara zarar verir.

2.2.5 Partikül Maddeler (PM)

Partikül maddeler isimlerinden de anlaşılacakları gibi, gaz halindeki zararlı gazların kimyasal tepkimelerle beraber yığın halinde oluşturdukları ve çapları 10 mikrometreden küçük maddelerdir. İçten yanmalı motordan çıkan partikül maddeler doğrudan atmosfere karışırlar.

Partikül maddeler solunum sisteminde birikmeler yaparak solunum rahatsızlıklarına sebep olurlar. Astım veya kronik akciğer rahatsızlıkları bulunanlar bu kirleticilerden daha fazla etkilenirler. Türk standartlarına göre Türkiye için müsaade edilebilir sınır partikül madde oranı; yıllık ortalama değer: 114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, günlük ortalama değer ise 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tür [16].

2.3 Gemi Makine Dairesinde Titreşim ve Personel Sağlığına Etkisi

Gemi makine dairesinde bundan önceki bölümde de bahsettiğimiz gibi birçok makine ve cihaz bulunmaktadır. Çalışan her makine şüphesiz ki titreşime neden olmaktadır. Hele ki gemi bünyesindeki bütün makineler dikkate alındığında, gemide titreşimin ve de titreşimin personel sağlığı üzerine olan etkisinin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Titreşim, mekanik sistemin pozisyonunun veya hareketinin referans bir genlik değerinden daha küçük veya büyük olacak şekilde salınımı olarak tanımlanır. Titreşim ile ilgili terimler; titreşim frekansı (Hertz/Hz) , yer değiştirme genliği (m), hız (m/s), ivme (m/s^2) ve yer değiştirmenin yönü şeklindedir.

Titreşimler; çok düşük frekanslı titreşimler (0-2 Hz arasında), düşük frekanslı titreşimler (2-20 Hz arasında) ve yüksek frekanslı titreşimler (20-1000 Hz arasında) olmak üzere üç sınıfta incelenebilirler.

Titreşimler sürekli olabileceği gibi periyodik, rastgele veya süresiz olarak oluşabilir. Gemilerde personel tüm vücut titreşimine bir başka deyişle üç eksen boyunca (yatay, dikey, yanal) titreşime maruz kalır. İvme genellikle geminin hareketine bağlı olarak 0.006 ve $0.6 m/s^2$ civarında değişir ve deniz koşulları, rüzgar yönü ve geminin yüklenme şekliyle oldukça değişken özellikler gösterir. ISO 2631 standartlarına göre ivme değerleri ve hissedilen rahatsızlık kademeleri Çizelge 2.4'te belirtilmiştir;

Çizelge 2.4 Çeşitli ivme değerleri ve bunların neden olduğu rahatsızlık durumları[18]

İvme Değerleri	Hissedilen Rahatsızlık
0.3 m/s^2 'den az	Rahatsızlık yok
0.3 ile 0.6 m/s^2 arasında	Biraz rahatsız
0.6 ile 1.0 arasında	Nispeten rahatsız
1 ile 1.6 m/s^2 arasında	Rahatsız
1.6 ile 2.5 arasında	Çok rahatsız
2.5 m/s^2 'dan fazla	Aşırı rahatsız

Titreşime maruz kalma derecesi, vücuda titreşimin girdiği noktadaki üç ortogonal eksen yönünde ölçülen efektif ivmeler ölçülüp hesaplanmasıyla belirlenir. İvme sinyalleri, insanların bu parametrelere olan hassaslığının hesaplaması için frekans ve yön olarak ölçülür. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 23.12.2012 tarihli 25325 sayılı Resmi Gazete'de bir Titreşim Yönetmeliği yayınlamıştır [19]. Bu yönetmeliğin amacı, işçilerin

mekanik titreşime maruz kalmaları sonucu ortaya çıkabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden korunmalarını sağlamak için alınması gerekli önlemleri belirlemektir. Yönetmeliğe göre titreşime maruziyet sınır değerleri, el-kol titreşimi ve tüm vücut titreşimi için ayrı ayrı belirlenmiştir.

- Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri 5 m/s^2 ,
- Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri $2,5 \text{ m/s}^2$.

Bütün vücut titreşimi için ise;

- Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri $1,15 \text{ m/s}^2$,
- Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri $0,5 \text{ m/s}^2$

olmalıdır [18].

2.3.1 Gemilerde Titreşim

Gemilerde titreşim olayının temel kaynakları şunlardır:

- Pervane (periyodik titreşim)
- Motor ve yardımcı makineler (periyodik titreşim)
- Denizin etkisi (rastgele titreşim)

Yüksek tonajlı ve güçlü tahrik sistemlerine sahip gemilerde güç iletimi tek bir milde yapıldığından bu durum milin rijitliği ve gemi yapısının esnekliği arasında uyumsuzluğa yol açar. Gemilerdeki titreşim probleminin kaynağı bu durumdur. Eğer iki kaynağın titreşim değerleri frekans olarak birbirlerine yakınsa rezonans tepkisi dediğimiz durum ortaya çıkmaktadır.

Pervaneden kaynaklı ana titreşim değeri 5-6 m çapındaki pervaneler için 20Hz, 8-10 m çapındaki pervaneler için 10Hz civarındadır. Pervane kanatlarının titreşim frekans değerleri çok yüksek olursa (ses frekansı değeri kadar) pervanenin sesi duyulur ve bu da mürettebat için rahatsız bir durum teşkil eder.

Motor titreşimi piston/krank mili hareketinden kaynaklanır. Motordaki özgür kuvvet ve momentler gemi yapısında titreşime neden olurlar. Titreşimin derecesi motor tipi ve

büyük ölçüde motor hızına bağlı olarak değişiklik gösterir. Motorlar genellikle 3-30 Hz arasında titrerler.

Dalga tüm gemide çok düşük rastgele titreşimlere neden olur (2Hz'den daha az). Bu titreşim değerleri 0.01 Hz (soğuk denizlerde) ve 1.5 Hz (kötü havalarda) değerleri arasında değişiklik gösterir. Genel olarak 0.1-0.3 Hz değerleri arasındadır. İvme aralığı ise 0.005 m/s^2 ile 0.8 m/s^2 arasındadır, bazı durumlarda 1 m/s^2 değerine ulaşır. Bu değerler deniz koşullarına doğrudan bağlıdır [20].

2.3.2 Gemi Titreşiminin Personel Üzerine Etkisi

Titreşimin insanlar üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri, belirli frekanslar için organ ve dokularda meydana gelen deformasyon ve kaymalardan kaynaklanmaktadır. Sinüsoidal hareket yapan serbest salınımlı bir sistem, kuvvet etkiyen elemana direk olarak bağlı ve sönümlenmemişse bu frekans öz frekans olarak bilinir. Eğer organlar sönümlenmemiş sistemler olarak düşünülürse öz frekansları, organlara uygulanan maksimum hareket aktarımına tekabül edecektir. Eğer sistem sönümlenmişse (insan vücudu için genelde bu durum geçerlidir), maksimum hareket aktarımı rezonans frekansı olarak bilinen belirli bir frekansta gerçekleşir. Birlikte titreşen iki sistemde rezonans kavramı ön plana çıkar ve bu istenmeyen bir durumdur. Organlarda oluşabilecek rezonans, kişide kalıcı hasarlar bırakabilmektedir. Dikey titreşime maruz kalmış bazı organlar için rezonans frekansları:

- Baş: 20-30Hz. 60-90 Hz aralığında gözyuvarındaki rezonanstan ötürü görme rahatsızlıklarına rastlanır.
- Göğüs Bölgesi: 3-7 Hz. Solunumla ilgili sıkıntılar oluşabilir.
- Kalp: 4-8 Hz. Kalp kaynaklı göğüs ağrıları oluşur.
- Abdominal (iç) organlar: 4-9 Hz.
- Omurga: 2-6 Hz.

2 Hz'den düşük frekanslarda vücut tek bir kütle gibi davranır. Oturan bir insanda ilk rezonans 3-6 Hz aralığında başlar; ayaktaki bir insanda ise bu değer 5-12 Hz arasındadır

[21]. Titreşimin algılama sınırı 0.01 m/s^2 civarındadır. Titreşimin algılanması şu durumlara bağlıdır:

- Titreşim kaynağına temas eden vücudun yüzey alanı ve bölgesi
- Titreşimin şiddeti, frekansı ve yönü
- Titreşime maruz kalan kişinin hassaslığı
- Titreşime maruz kalan kişinin hali (yorgunluk veya dinlenmişlik hali)
- Vücut ile titreşimi insana ileten yapı arasındaki dinamik etkileşim
- Titreşime maruz kalan kişinin kıyafetleri ve üzerinde taşıdığı nesnelerin kütle ve dinamik özelliklerinin dağılımı.
- Gürültü, sıcaklık ve aydınlatma gibi çevresel şartlar
- Yürütmekte olduğu aktivite (Fiziksel, mental, görsel veya oral)
- Fizyolojik durum.

Titreşime maruz kalan insanlar için üç tip durum söz konusudur.

- Titreşim vücuda bütün yönlerden geçmiştir.
- Titreşim ayakta duran insanın gövdesine kol ve bacakları, oturan veya uzanmakta olan bir insana ise leğen kemiği vasıtasıyla geçmiştir. Gemilerde karşılaşılan durum bu şekildedir.
- Titreşim eller, bacaklar, kollar veya baş vasıtasıyla vücuda geçmiştir.

Farklı çalışma koşulları, vücudun ağırlık dağılımında ve titreşimin neden olduğu rezonans oluşum bölgelerinde de değişikliğe neden olacaktır. Bu, aynı zamanda titreşimin vücudun farklı bölgelerine iletilmesi anlamına da gelmektedir. Örneğin, aynı ortam ve titreşim değerlerinde oturarak çalışan bir insanla, ayakta çalışan bir insanın aynı şekilde etkilenmesi söz konusu değildir .

2.4 Deniz Tutması

Gemi personeli için deniz tutmasını çok düşük titreşim frekansları tetikler (0-2 Hz). Deniz tutması; aşırı duyarlılık, psikolojik yatkınlık, otonom sinir sistemi duyarlılığı gibi nedenlerle harekete bağlı dönüşümsel otonom krizi olarak tanımlanabilir. Deniz tutmasını ortaya çıkaran durumların belirlenmesi gemi hareketleriyle ilgilidir. Sakin sular için söz konusu olabilecek 0.01 Hz ile kötü havalarda görülebilecek titreşim değeri olan 1.5 Hz değerleri arasındaki ivme değerleri 0.01 – 0.8 g arasında değişmektedir. Bu değerlerde vücut tek bir kütle gibi davranır ve titreşim bütün vücuda iletilir. Frekans ve ivme değerleri, deniz koşullarına ve gemi tonajına göre farklı bağımlılıklar gösterir. Düzenli tekrarlama ve hareketin süresi de hesaba katılmalıdır. Hareketin yoğunluğuna ek olarak yapılan salınım da önemli bir rol oynar. Düzenli tekrarlanan bir hareket, ani ve düzensiz bir hareketten daha zararlıdır. Deniz tutmasına neden olan en bilindik durumlar, genel olarak şunlardır:

- Ortam havası: Ortam havası deniz tutması oluşumunu hızlandırabilir.
- Görüş: Deniz tutması, hareket eden görüntüler ile sabit görüntülerin yan yana bulunması ile oluşabilir. (Örneğin bir kamara içindeki lomboz)
- Koku: Duman, boya, yakıt, parfüm, kusmuk gibi koku etmenleri deniz tutmasına neden olan etkenlerdendir.
- Sıcaklık
- Kapalı ortamlar
- Gün saatleri: Gün ortasında deniz tutmasına direnç daha fazladır.
- Pozisyon: Hareket şansı az olan durumlarda uzanmak deniz tutması ihtimalini azaltacaktır.
- Genel durum: Yorgunluk ve uykusuzluk deniz tutmasını tetikleyecektir.
- Alışkanlık: Deniz şartlarına sağlanan uyum, deniz tutması ihtimalini oldukça azaltacaktır.
- Psikolojik durum

- Bulaşma: Deniz tutmasına yakalanan bir kişi, bazı durumlarda etrafındaki insanlarda da deniz tutmasına neden olabilir.
- Kaygı ve korku: Geçmişte yapılan kötü bir deniz yolculuğu, gelecekteki yolculuklarda deniz tutmasına neden olabilir.

Belirtilerin düzeni, sayısı ve yoğunluğu; hareketin tipi, yoğunluğu ve içeriğiyle oldukça değişiklik gösterir. İlk belirti güvensizlik hissidir. Bunu belirsiz bir hastalık hissi ve kaygı takip eder. Bunu benzin solması, soğuk terleme, uykusuzluk, mide etrafında rahatsızlık hissi, esneme, denge sorunları, sakarlık, tükürük salgısının artması, düşük nabız, hızlı solunum gibi belirtiler takip eder. Bütün bunların neticesinde; refleksler zayıflar, performans düşer, asabiyet artar, koordinasyon ve kas gücü gibi yetenekler azalma gösterir.

Deniz tutmasına neden olan durumların hafifletilmesiyle birkaç saat içerisinde iyi sonuçlar elde edilebilir. Eğer aynı durumlar devam ederse, alışma süreci kişiye göre farklılıklar gösterebilir (Normal şartlarda 72 saat içerisinde kişi güvertede dolaşabilme kabiliyetini kazanabilmelidir). Bazı insanlar bu duruma alışamazlar ve bu kişiler deniz yolculuğu için uygun değildir. Bu gibi istisnai durumlarda sıvı kaybı ve düşük kan basıncı gibi komplikasyonlar meydana gelebilir [22].

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)

3.1 Sonlu Hacimler Metodu (SHM)

Tez kapsamında ortaya konulan problem, sonlu hacimler yöntemi kullanarak çözüm yapan ticari bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programı kullanılarak uygulanmıştır. Bu tip programlar problemlerin çözümü için genel olarak transport denklemini kullanırlar. Transport denklemi çok geniş bir perspektifte akış problemlerinin çözümü için kullanılabilir. Taşınım ve difüzyon problemleri akış momentum denkleminin daha genel bir ifadesi olan transport denklemiyle çözülebilir. Taşınım denklemi kullanılarak korunum kanunları elde edilebilir. RANS denklemleri ise transport denkleminin daha özel bir halidir.

Sonlu hacimler yöntemi, analitik olarak çözümü olmayan bir diferansiyel denklemin sayısal olarak çözülmesi için kullanılır. Bilindiği üzere akışkan problemlerinin çözümünde kullanılan Navier-Stokes Denklemlerinin henüz genel geçer bir çözümü yapılamamıştır. Hatta çözülebilir olduğu ispat bile edilememiştir. Ancak bu denklemleri sayısal yöntemler vasıtasıyla çözmek mümkündür ve birçok yöntem akış problemlerini çözmede kullanılabilir. Ancak bu yöntemlerin en önde geleni ve en yaygın olarak kullanılan sonlu hacimler yöntemidir. Yöntemin içeriği anlatılmadan önce, analitik çözümleri olmayan ve ticari HAD programlarının kullandığı transport ve RANS denklemlerinin anlatılması daha uygun olacaktır [23].

3.1.1 Transport Denklemi

Akış problemlerinde genel anlamda üç korunum kanunundan bahsetmek gerekir. Bunlar;

- Kütlenin korunumu,
- Momentumun korunumu,
- Enerjinin korunumu

olarak ifade edilir. Gemi mühendisliğini ilgilendiren akışkan problemlerinde ve dolayısıyla bu tez kapsamında akış sıkıştırılmaz olarak kabul edilecektir. Akış sıkıştırılmaz olduğunda basınçla sıcaklığın değişmediği kabul edilir. Dolayısıyla enerjinin korunumu ihmal edilebilir hale gelir.

Bu korunum kanunlarının genel ifadesi transport denklemi sayesinde verilebilir:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\phi\vec{V}) = \nabla \cdot (\Gamma\nabla\phi) + S_\phi \quad (3.1)$$

Burada ϕ , akışkanın bir özelliği olarak verilmektedir. Yani, bir akışkan içerisinde dağılan başka bir akışkanı temsil eder. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada ϕ , hava içerisinde dağılan karbonmonoksit olacaktır. S_ϕ ise kaynak terimi olarak verilmektedir, yani ϕ 'yi üreten kaynaktır. Bu çalışma kapsamında S_ϕ ana makineden kaynaklanan karbonmonoksit sızıntısını temsil edecektir. Ancak başka bir akışkanın hava içerisindeki dağılımını çözmeden önce genel olarak bir akışkan çözümü gerekecektir. $\phi = 1$ olarak ele alındığında kütlenin korunumu denklemi elde edilir:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{V}) = 0 \quad (3.2)$$

ϕ , üç boyutlu akışkan hareketini ifade ediyorsa buradan akışkanın momentum denklemi elde edilebilir. $\phi = u$ olarak yazıldığında, x yönündeki hareket denklemi elde edilir:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u\vec{V}) = \nabla \cdot (\mu\nabla u) - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x \quad (3.3)$$

Benzer olarak y ve z yönündeki hareket denklemleri ise:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v\vec{V}) = \nabla \cdot (\mu\nabla v) - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \vec{V}) = \nabla \cdot (\mu \nabla w) - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z \quad (3.5)$$

olarak ifade edilir. ϕ sıcaklık terimi olarak yazıldığında enerji denklemini de elde etmek mümkündür [24]. Ancak sıkıştırılamaz akış kabulü nedeniyle enerji denklemine ihtiyaç duyulmayacaktır.

3.1.1.1 Kütlenin Korunumu Denkleminin Çeşitli Formları

Literatürde kütlenin korunumu denkleminin bir çok farklı formda kullanıldığı kısa bir araştırma yapıldığında bulunabilir. Hangi formun hangi problemde kullanılacağına belirlenmesi bu denklemi iyi tanımayı gerektirir. Bu bölümde kütlenin korunumu denkleminin çeşitli formları incelenerek, denklemin daha iyi tanınmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

Akışın sıkıştırılamaz olması, yoğunluğun herhangi bir parametrenin etkisinde değişmediği ve sabit kaldığını gösterir. Bu durumda (3.2) no.'lu denklemde genel hali verilmiş olan kütlenin korunum denkleminde yoğunluk ρ sabit kalacaktır. Dolayısıyla sıkıştırılamaz akış için yoğunluk değişkeni zamana ve konuma göre alınan türevlerin dışına alınabilir. Böylece kütlenin korunum denklemini;

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (3.6)$$

halini alır. Bu denklemin sol tarafındaki ilk terim zamana bağlı herhangi bir parametre olmamasından dolayı sıfıra eşit olacaktır. Sol tarafın ikinci teriminde ise yoğunluk denklemin sağ tarafına atılarak;

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (3.7)$$

denklemini elde edilir.

Akışın daimi olduğu durumda zamana bağlı herhangi bir olay gelişmeyecektir. Dolayısıyla bu durumda $\partial/\partial t = 0$ olduğundan, kütlenin korunumu denklemini;

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.8)$$

Akış hem daimi, hem de sıkıştırılmaz ise, yine yoğunluk terimini türev ifadesinin dışına çıkararak;

$$\rho \nabla \cdot \vec{V} = 0 \rightarrow \nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (3.9)$$

yazılabilir. Akışın yalnızca sıkıştırılmaz olduğu durum için verilen kütlenin korunumu denklemi ile (denklem no. (3.7)) akışın hem sıkıştırılmaz, hem de daimi olduğu durum için verilen kütlenin korunumu denkleminin (denklem no. (3.9)) birbirine eşit olduğuna dikkat edilmelidir. Denklem no. (3.7)'de akışın daimi olup olmadığı ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemesine karşın, denklem kendiliğinden daimiymiş gibi davranmaktadır. Akışın daimi olmayan ve sıkıştırılmaz olduğu durumlar için zaman terimini katmanın farklı yöntemleri bulunmaktadır [25]. Ancak bu tez çalışmasında tüm çözümler akışın daimi olduğu kabulü ile yapıldığından bu konuya değinilmeyecektir.

3.1.1.2 Momentumun Korunumu Denkleminin Çeşitli Formları

Momentumun korunumu denklemleri, transport denkleminde ϕ değişkeninin yerine hız parametrelerinin yerleştirilmesiyle elde edilmişti. Bu bölümde momentumun korunumu denklemlerinin çeşitli halleri ve bazı özel durumları anlatılarak denklem daha yakından tanınmaya çalışılacaktır. Momentumun korunumu denkleminin elde edilişi daha sonra izah edilecektir.

Akışın potansiyel olarak kabul edildiği problemlerde; (3.3, 3.4, 3.5) no.'lu denklem setinde verilen Navier – Stokes denklemleri, viskoz terimler ihmal edilmek suretiyle Euler denklemlerine dönüşür. Bunun yanında akış zamandan bağımsız olarak tanımlandığında, $\partial/\partial t = 0$ olacak ve zamana bağlı terimler denklemden çıkarılabilecektir. Bu durumda Euler denklemleri;

x - momentum:

$$\nabla \cdot (\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho \vec{g}_x \quad (3.10)$$

y - momentum:

$$\nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho \vec{g}_y \quad (3.11)$$

z - momentum:

$$\nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho \vec{g}_z \quad (3.12)$$

olarak yazılabilir. Akış viskoz ve daimi (yani zamandan bağımsız) olduğunda denklem seti;

x - momentum:

$$\nabla \cdot (\rho u \vec{V}) = \nabla \cdot (\mu \nabla u) - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho \vec{g}_x \quad (3.13)$$

y - momentum:

$$\nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = \nabla \cdot (\mu \nabla v) - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho \vec{g}_y \quad (3.14)$$

z - momentum:

$$\nabla \cdot (\rho w \vec{V}) = \nabla \cdot (\mu \nabla w) - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho \vec{g}_z \quad (3.15)$$

olarak yazılır. Momentum denklemleri yalnızca iki boyutlu akış durumları için de kullanılabilir. Bu durumda denklem sayısı üçten ikiye inecektir; kullanılan eksen takımına göre hangi yöndeki denklemin kaldırılacağı belirlenir. Çoğu durumda z yönündeki hareket denklemi korunum denklemleri içerisinde çıkarılır [23].

Belirli matematiksel dönüşümler kullanılarak, Euler denkleminde belki de çok daha bilinen Bernoulli denklemi elde edilebilir. Yerçekimi kuvvetinin y doğrultusunda etkidiği kabul edilerek bir boyutlu Euler denklemi yazılacak olunursa;

$$\nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho \vec{g} \quad (3.16)$$

burada, akış bir boyutlu olduğundan dolayı $v\vec{j} = \vec{V}$ ve $\nabla = \frac{d}{dy}$ olacaktır. Verilen dönüşümler uygulanarak (3.16) no.'lu denklem;

$$\frac{d}{dy}(\rho v v) = -\frac{dp}{dy} + \rho \vec{g} \quad (3.17)$$

halini alır. Burada (3.16) no.'lu denklemin sağ tarafındaki kısmi türev (3.17) no.'lu denklemde normal türeve dönmüştür. Akış bir boyutlu olarak kabul edildiği için basınç artık tek değişkene bağlıdır. (3.17) no.'lu denklem düzenlenerek yazıldığında;

$$\rho \int v dv = - \int dp + \rho \vec{g} \int dy \quad (3.18)$$

şeklini alır. İntegral çözülerek denklemin genel ifadesi yazıldığında ve $\vec{g} = -g\vec{j}$ olarak tanımlandığında Bernoulli denkleminin genel ifadesi elde edilecektir:

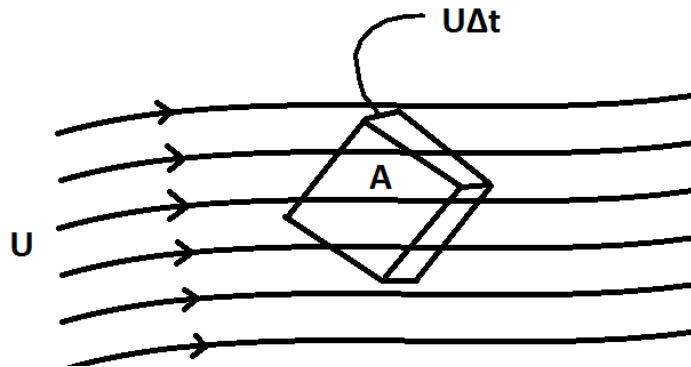
$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{sabit} \quad (3.19)$$

Burada $\frac{1}{2}\rho v^2$ hidrodinamik, ρgy ise hidrostatik basıncı verir. p ise atmosferik basıncı ifade eder.

3.1.1.3 Kütlenin Korunum Denkleminin Elde Edilmesi

Kütlenin korunum denklemini izah etmeye başlamadan önce debi kavramının iyi bilinmesi konuya hakim olunmasını kolaylaştıracaktır. Hareketli ve U hızında akan bir akışkan içerisinde şekil 3.1'deki gibi geçirgen bir A yüzeyinin bulunduğu farz edilsin. Bu A yüzeyine dik olan bir de $\vec{n}$ normal vektörü bulunmaktadır. Herhangi bir t anında A yüzeyinde olan akışkan Δt kadar zaman sonra belirli bir mesafe kat edecektir. Yine bu kat ettiği mesafe şekil 3.1'de $U\Delta t$ olarak gösterilmiştir. A yüzeyinden geçen akışkanın Δt kadar zaman sonra oluşturduğu hacim şöyle ifade edilir:

$$\Delta V = U_n A \Delta t \quad (3.20)$$



Şekil 3.1 Kütlesel debinin izahı için izafi bir A hacmi [23]

Burada U_n ; U hızıyla akan akışkanın A yüzeyine normal $\vec{n}$ doğrultusundaki bileşenidir.

$$U_n = \vec{U} \cdot \vec{n} \quad (3.21)$$

Taranan hacimden geçen kütle;

$$\Delta m = \rho \Delta V = \rho U_n A \Delta t \quad (3.22)$$

olarak ifade edilir. Debi ise aynı alandan birim saniyede geçen kütle miktarıdır:

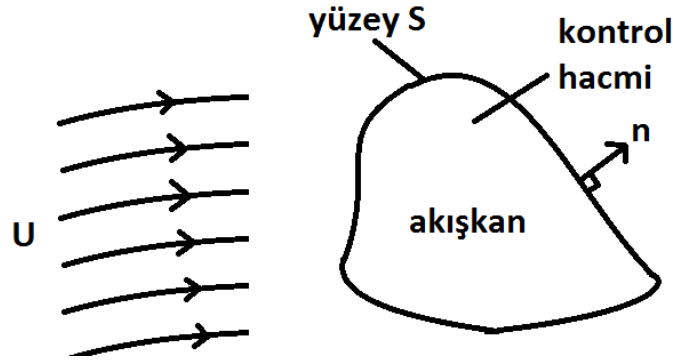
$$Q_k = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho U_n A \quad (3.23)$$

Burada debi olarak verilen Q_k , aslında kütleli debinin bir ifadesidir. Literatürde bazı kaynaklarda debi olarak hacimsel debi de kullanılmaktadır. Hacimsel debinin ifadesi ise;

$$Q_h = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = U_n A \quad (3.24)$$

olarak verilmektedir.

Kütlenin korunumu denkleminin elde edilişi için U hızıyla akan herhangi bir akış içerisinde bir kontrol hacmi seçildiğini farz edilsin. Bu durum şekil 3.2'de temsil edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.2 Kontrol hacmi ve yüzeye normal vektör

Seçilmiş kontrol hacmi içindeki kütlenin korunabilmesi için; S yüzeyinden içeri giren debiyle, kontrol hacmi içindeki zamana bağlı kütle artışının birbirine denk olması gerekir. Bu durum matematiksel olarak şu şekilde izah edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint \rho dV = - \oint \rho \vec{U} \cdot \vec{n} dS \quad (3.25)$$

Denklemin sağ tarafına diverjans teoremi uygulandığında;

$$\oint \rho \vec{U} \cdot \vec{n} dS = \iiint \nabla \cdot (\rho \vec{U}) dV \quad (3.26)$$

elde edilir. (3.25) no.'lu denklemde zamana göre türev integral içerisine alınıp, sağ taraf (3.26) no.'lu denklemle değiştirildiğinde;

$$\iiint \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \iiint \nabla \cdot (\rho \vec{U}) dV = 0 \quad (3.27)$$

(3.27) no.'lu denklem kütlenin korunumu denkleminin integral halidir. İntegraller alınarak diferansiyel durumuna geçilirse, kütlenin korunumu denklemi aşağıdaki hali alır:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \quad (3.28)$$

3.1.1.4 Momentumun korunumu denkleminin elde edilmesi

Akışkanda momentumun korunumu denklemi aslında Newton'un ikinci hareket yasasına dayanır. Newton'un ikinci hareket yasasına göre, bir cisim üzerindeki net kuvvet onun momentumunun zamanla değişimi ile orantılıdır. Genel olarak $F = ma$ olarak bilinen bu yasanın genel hali;

$$F = \frac{d}{dt}(m\vec{U}) \quad (3.29)$$

olarak yazılmaktadır. Momentum, kütle ile hızın çarpımıdır. Momentumun zamanla değişimi ise cisim üzerindeki net kuvveti verecektir [23].

Akışkanlarda momentumun korunumu Navier – Stokes denklemi olarak da adlandırılmaktadır. Momentumun korunum denklemini elde etmek için (3.29) no.'lu denklemin sağ ve sol tarafları parçalara ayrılacaktır. Denklemin sol tarafı F , ikiye ayrılır:

- Dış kuvvetler: Yerçekimi, elektromanyetik kuvvet vs. gibi kuvvetler olabilir. Akışkan problemleri için yerçekimi kuvveti olarak geçecektir.
- Yüzeye etkiyen kuvvetler: Cismin yüzeyine basınç ve kayma gerilmeleri etkir. Bu gerilmeler cisim üzerinde bir kuvvet yaratır.

Akışkan içerisindeki cismin birim kütlesine düşen dış kuvvete f denecek olursa, sonsuz küçük bir elemana etkiyen toplam dış kuvvet;

$$\vec{f}dm = \vec{f}\rho dV \quad (3.30)$$

olur. Birim yüzeye gelen dış kuvvet akışkan içerisindeki bütün cismin yüzeyi boyunca entegre edilirse;

$$Dışkuvvet = \iiint_V \rho \vec{f} dV \quad (3.31)$$

halini alır.

Akış içerisindeki cisme etkiyen yüzey kuvvetler ikiye ayrılabilir. Bunlar; cisme dik olarak etkiyen basınç kuvveti ve cisme yatay olarak etkiyen ve kayma gerilmelerinden oluşan viskoz kuvveti olarak adlandırılırlar. Cismin sonsuz küçük bir dS yüzeyine etkiyen basınç kuvveti $-pdS$ olarak alınır [23]. Dolayısıyla;

$$Basınçkuvveti = - \iint_S pdS$$

Yüzeye etkiyen kayma kuvveti ise F_{viskoz} olarak adlandırılırsa yüzeye etkiyen kuvvet;

$$Yüzeyeetkiyenkuvvet = - \iint_S pdS + F_{viskoz}$$

olarak bulunur. Dolayısıyla Newton'un ikinci hareket yasasını veren (3.29) no.'lu denklemin sol tarafı şu hali alacaktır:

$$F = \iiint_V \rho \vec{f} dV - \iint_S pdS + F_{viskoz} \quad (3.32)$$

Denklemin sağ tarafı $\frac{d}{dt}(m\vec{U})$ ikiye ayrılır:

- Kontrol hacmi yüzeyinden çıkan momentum akışı
- Kontrol hacminde zamana bağlı olarak değişen momentum azalması,

Yukarıda momentumun kütle ile hızın çarpımı olduğu belirtilmişti. Kontrol hacminin yüzeyinden kaçan momentum akışı ise kütleli debi ile akış hızının çarpımı olacaktır. Kütleli debi ile akış hızı,

$$Kütleli debi = \iint_S \rho \vec{U} \cdot \vec{dS} \quad , \quad Akışhızı = \vec{U}$$

olarak ifade edilir. Bu durumda kontrol hacminin yüzeyinden kaçacak olan momentum akışı şu şekilde ifade edilecektir:

$$\text{Kontrol hacmi yüzeyinden çıkan momentum akışı} = \oint_S (\rho \vec{U} \cdot \vec{dS}) \vec{U}$$

Kontrol hacminde zamana bağlı olarak değişen momentum azalması ise;

$$\text{Kontrol hacminde zamanla değişen momentum azalması}$$

$$= \frac{\partial}{\partial t} \oint_V \rho dV \cdot \vec{U}$$

olarak verilir. Bu durumda (3.29) no.'lu denklemin sağ tarafı şu hale gelecektir:

$$\frac{d}{dt}(m\vec{U}) = \oint_S (\rho \vec{U} \cdot \vec{dS}) \vec{U} + \frac{\partial}{\partial t} \oint_V \rho dV \cdot \vec{U} \quad (3.33)$$

Denklem no. (3.34) ile denklem no. (3.35) birleşerek denklem no. (3.36)'nın içine atıldığında momentumun korunumu denkleminin integral hali elde edilmiş olur:

$$\oint_V \rho \vec{f} dV - \oint_S p dS + F_{viskoz} = \frac{\partial}{\partial t} \oint_V \rho dV \cdot \vec{U} + \oint_S (\rho \vec{U} \cdot \vec{dS}) \vec{U} \quad (3.34)$$

Momentum denkleminin diferansiyel halini elde etmek için (3.36) no.'lu denklemin sağ ve sol taraflarının ikinci terimlerine diverjans teoremi uygulanarak, tüm denklemi hacimsel bazda yazmak gerekecektir. Sol tarafın ikinci terimine diverjans teoremi uygulandığında;

$$\oint_S p dS = \oint_V \nabla p dV \quad (3.35)$$

elde edilir. Sağ tarafın ikinci terimine diverjans teoremi uygulandığında ise;

$$\oint_S (\rho \vec{U} \cdot \vec{dS}) \vec{U} = \oint_V \nabla \rho \vec{U} \vec{U} dV \quad (3.36)$$

ifadesi bulunacaktır. (3.35) ve (3.36) no.'lu denklemler (3.34) no.'lu denklemde yer değiştirildiğinde denklem;

$$\oint_V \rho \vec{f} dV - \oint_V \nabla p dV + F_{viskoz} = \frac{\partial}{\partial t} \oint_V \rho dV \cdot \vec{U} + \oint_V \nabla \rho \vec{U} \vec{U} dV \quad (3.37)$$

halini alır. Bu denklem integrallerden kurtarılıp düzenlenerek yeniden yazılırsa, momentumun korunumu denkleminin diferansiyel (en bilinen) hali elde edilmiş olur:

$$\frac{\partial(\rho\vec{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{U}\vec{U}) = -\nabla p + \rho\vec{f} + F_{viskoz} \quad (3.38)$$

F_{viskoz} 'un yerine lineerleştirilmiş kayma gerilmesi ifadesi yazılıp, üç boyutlu uzayda momentum denklemleri yeniden yazılırsa, momentum korunum denklemleri x, y ve z düzlemlerinde şu halleri alacaklardır:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x \quad (3.39)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g_y \quad (3.40)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \rho g_z \quad (3.41)$$

3.2 RANS Denklemi

Yukarıda transport denklemi anlatılırken bahsedilen momentum denklemi maddesel türev kullanılarak tansörel notasyonda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = F_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 u_i \quad (3.42)$$

Türbülanslı akışların karmaşık yapısından kaynaklanan ve önceden tam olarak kestirilemeyen etkilerinden dolayı parametrelerin zaman içerisinde ortalama değerleri alınarak sonuca gitmek bir yöntem olarak kullanılabilir [23]. Bu yaklaşım (RANS) Navier – Stokes ile süreklilik denklemlerinin zaman içerisinde ortalamalarının alınması ile tansör notasyonunda şu denklemi doğurur:

$$\rho \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = F_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 \bar{u}_i - \rho \left(\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right) \quad (3.43)$$

RANS denklemindeki son terim Reynolds gerilmeleri bileşenidir ve yöntemin yaklaşımından ileri gelen zaman içerisindeki salınımları ifade eder. Benzer şekilde süreklilik denklemi ise şu şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \rho \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \rho \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3.44)$$

3.2.1 Sonlu Hacimler Yönteminin Matematiksel İfadesi

Sonu hacimler yönteminin akış problemleri için uygulaması daha önceden de söylendiği gibi transport denklemi vasıtasıyla olur. Transport denkleminin bir adı da taşınım – dağıtım (convection – diffusion) denklemdir. Hatırlanacağı gibi transport denklemi,

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\phi\vec{V}) = \nabla \cdot (\Gamma\nabla\phi) + S_\phi \quad (3.45)$$

olarak verilmişti. Bu çalışmadaki bütün çözümler daimi akış için yapılacağından, denklemdaki zamana bağlı parametre sıfıra eşitlenerek, daimi transport denklemi;

$$\nabla \cdot (\rho\phi\vec{V}) = \nabla \cdot (\Gamma\nabla\phi) + S_\phi \quad (3.46)$$

olarak yazılabilir. Seçilen bir kontrol hacmi boyunca (3.45) no.'lu denklem entegre edilirse;

$$\int_A \mathbf{n} \cdot (\rho\phi\mathbf{u})dA = \int_A \mathbf{n} \cdot (\Gamma \text{grad}\phi)dA + \int_{KH} S_\phi dV \quad (3.47)$$

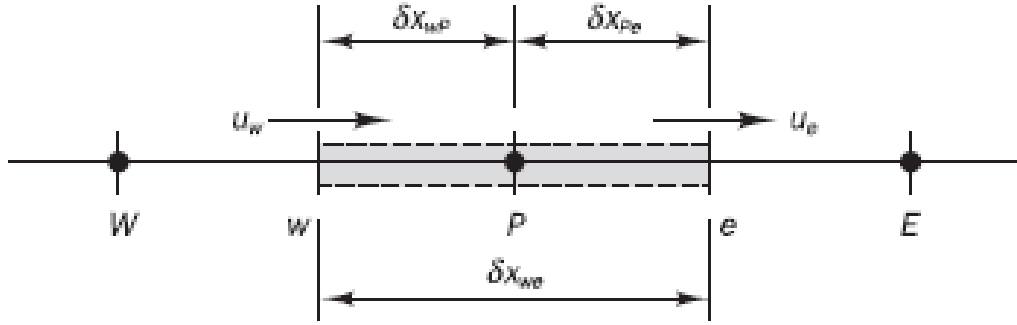
daimi transport denkleminin belirli bir kontrol hacmindeki integral formu elde edilir.

Sonlu hacimler yönteminin matematiksel ifadesi basit olması açısından bir boyutlu akış durumu için tanımlanacaktır [26]. Bir boyutlu korunum denklemleri;

$$\text{Kütleninkorunumu: } \frac{d(\rho u)}{dx} = 0$$

$$\text{Momentumunkorunumu: } \frac{d(\rho uu)}{dx} = \frac{dp}{dx} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \rho g_x$$

Korunum denklemleri (3.46) no.'lu denklem uyardığında seçilen belirli bir kontrol hacmi boyunca entegre edilmelidir. Belirli bir P noktasında yapılacak hesap için seçilen kontrol hacmi Şekil 3.3'te verilmiştir. (Burada verilen P noktası basıncı ifade eden p ile karıştırılmamalıdır.)



Şekil 3.3 1 – boyutta sonlu hacimler yönteminin ayrıklaştırılması [24]

Sonlu hacimler yöntemi iteratif bir yöntemdir. Dolayısıyla hız alanı için bir ilk değer belirlenerek işlemlere başlanmalıdır. Belirli sayıda iterasyon sonrasında işlemler yakınsayacak ve sayısal sonuçlar elde edilecektir. Ancak bu ilk belirlenecek hız alanı değerleri iteratif yöntemin yakınsaması için önemlidir. Sonlu hacimler yönteminin en önemli sorunlarından bir tanesi de yöntemin yakınsaması sorunudur. Başlangıçta doğru bir şekilde ilk değerler seçilerek ve akışkan bölgesi iyi bir şekilde ağlarla örülerek yöntemin en azından daha kısa sürede yakınsaması sağlanabilir [25].

BÖLÜM 4

MAKİNE DAİRESİ İÇİN EGZOZ SIZINTI ANALİZİ

Bu bölümde gemi ana makinesinden egzoz gazı sızıntısının makine dairesi içerisindeki dağılımı araştırılmıştır. Egzoz gazının tüm bileşenlerinin yerine, insan sağlığına en kısa sürede olumsuz etkileri görülen karbonmonoksit (CO) gazı ele alınmıştır. Analizlerde ticari HAD programından (Ansys Fluent) yararlanılmıştır.

Gemi makine dairesindeki personelin bulunabileceği farklı kesit ve noktalarda karbonmonoksit dağılımları gösterilmiştir. Sabit bir egzoz sızıntısı durumunda, havalandırma hızları değiştirilerek karbonmonoksit dağılımına etkileri araştırılmıştır.

4.1 Sınır Koşulları

Makine dairesinin boyutları teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilen bir yük gemisinin makine dairesi dikkate alınarak modellenmiştir. Taban 25x25 metre, yükseklik ise 20 metredir.

Çizelge 4.1 Makine dairesi modellenen geminin teknik özellikleri

LOA	190m
B	32m
D	18m
T	12.8m
Net Tonaj	19000 Ton
Gross Tonaj	33000 Ton

Makine dairesi içerisinde temsili olarak 10 metre yüksekliğinde bir ana makine modellenmiştir. Bunun yanında 3 adet yardımcı makine mevcuttur. Yan duvarlarda

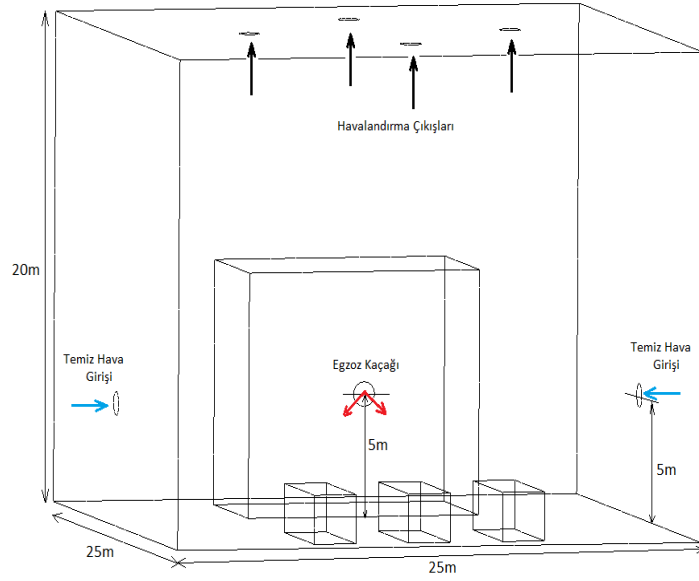
birbirleriyle karşılıklı olmak üzere 1 metre çapında iki adet havalandırma girişi bulunmaktadır. Hava çıkışları ise tavanda 4 adettir ve çapları yine 1 metredir. Bu havalandırma giriş ve çıkışları şekil 4.1’de gösterilmektedir. Havalandırma hızları dört farklı analiz olmak üzere 1, 1.5, 2 ve 3 m/s alınmıştır.

Gaz kaçağı ana makine üzerinde 20 cm çapında bir delikten olmaktadır. Buradan kaçan gaz miktarı ise, mevcut gemide kullanılan ana makinenin teknik özelliklerine göre hesaplanmıştır. Bu gemide kullanılan ana makine 2 stroklu, 6 silindirli, 500 mm silindir çapına ve 2m strok boyuna sahip, 9480 kW gücünde bir dizel motordur. Normal seyir halinde motorun devir sayısı ile geminin ürettiği toplam egzoz gazı bulunmuş, baca çapı ile kaçağın olduğu deliğin çapı orantılanarak makine dairesine kaçan gaz miktarı bulunmuştur. Egzozun içerisindeki karbonmonoksit miktarı için ise literatür araştırması yapılmış, benzer boyuttaki gemilerin seyir halinde ortalama olarak tükettikleri 1 kilogram yakıtta 19.5 gram karbonmonoksit gazı ürettikleri anlaşılmıştır (Sinha vd., 2003). Bu doğrultuda geminin anlık yakıt tüketimi hesaplanmış ve yukarıdaki bilgi ışığında geminin anlık karbonmonoksit üretim miktarı bulunmuştur. Bu hesaplamalar sonucunda makine dairesi içerisine 1 kg/s debiyle, karbonmonoksit oranı %0.12 olan egzoz gazı sızdığı varsayılmıştır.

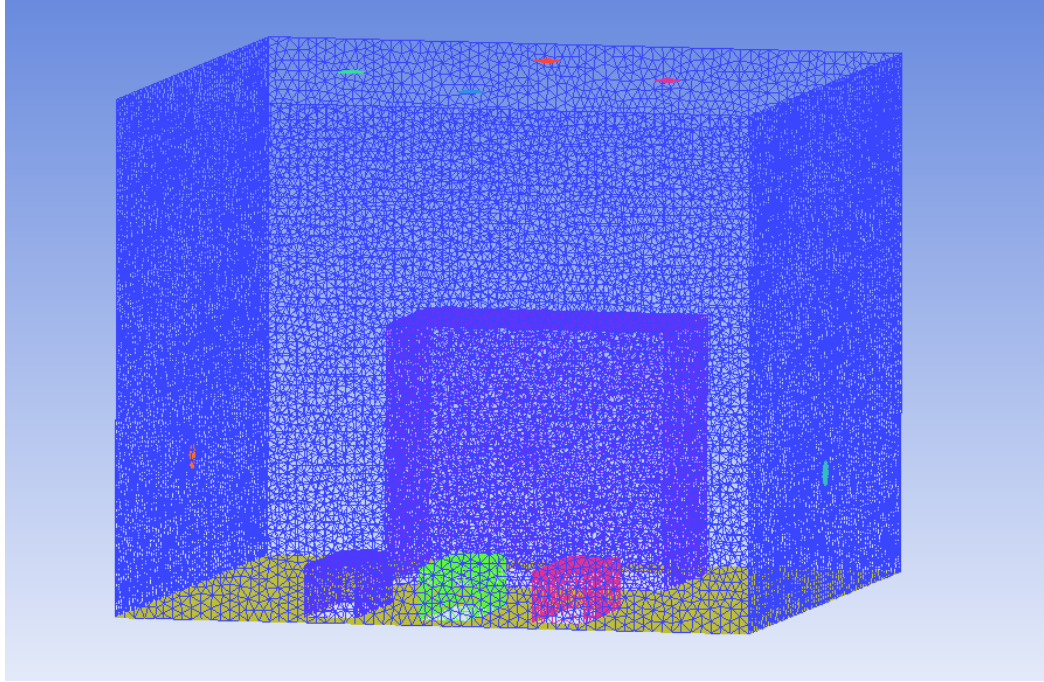
Bahsedilen model için ticari bir program yardımıyla şekil 4.1’de görülen 2674611 adet elemandan oluşan bir hesaplama hacmi oluşturulmuştur. Ağ yapısında üçgen eleman kullanılmıştır. Yapılan analizlerde akışın türbülanslı, sıkıştırılamaz olduğu kabul edilmiştir. Bütün analizler zamandan bağımsız olarak çözülmüştür. Analizler boyunca yer çekimi etkisi hesaba katılmıştır. Analizlerde “multi species” modeli kullanılmış olup bu model gereği analiz için gerekli olan bütün akışkanlar ayrı birer tür olarak tanımlanmıştır.

Havanın içerisinde bulunan N_2, O_2, H_2O ve bunların yanında karbonmonoksit gazı, belirlenen oranlarda makine dairesi içerisine gönderilmiştir. Karbonmonoksitin yoğunluğu 1.1233 kg/m^3 alınmıştır. Karbonmonoksitin yanında adı geçen diğer gazların dağılımı da istenildiği takdirde bu program vasıtasıyla incelenebilecektir.

Egzoz gazının makine dairesinde hızlı bir şekilde dağılacağı düşünülerek, analiz zamandan bağımsız çözdürülmüştür.



Şekil 4.1 Modellenen makine dairesinde hava giriş ve çıkışları



Şekil 4.2 2674611 elemandan oluşan makine dairesi modeli

4.2 Sayısal Değerlendirme

Analizlerin çözülmesinde 8 çekirdekli 2.30 GHz çift işlemcili, 64 GB bellek hafızasına sahip iş istasyonu kullanılmıştır. Her havalandırma hızı için analiz süreleri ortalama olarak 12 saat sürmüştür. Analizlerin sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi için makine

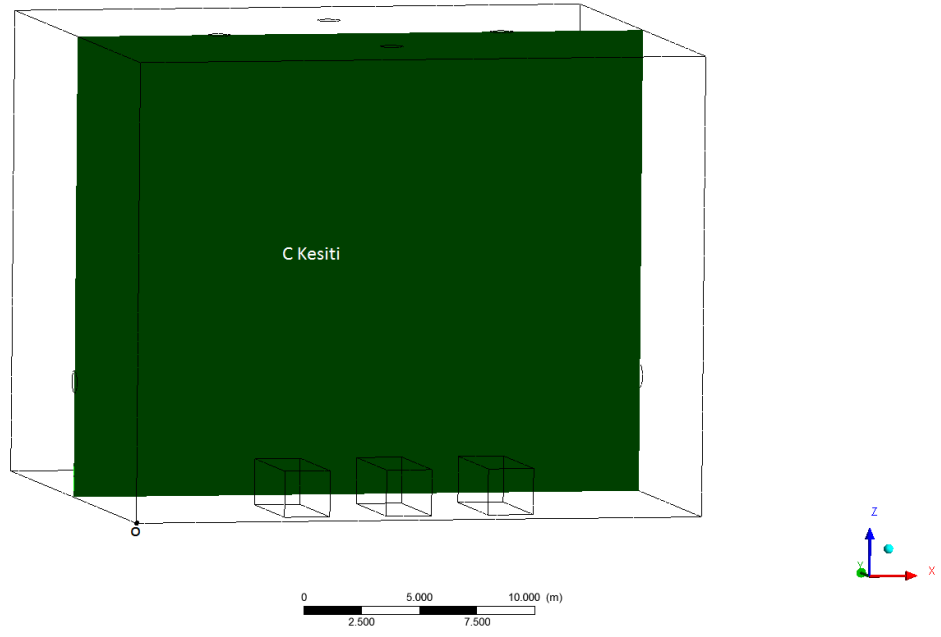
daresi içerisinde bazı noktalar ve kesitler alınmıştır. Bu sayede alınan kesitlerdeki karbonmonoksit dağılımı incelenmiş, bu noktalardaki karbonmonoksit yoğunlukları farklı havalandırma hızları için hesaplanmış ve her nokta için havalandırma hızının karbonmonoksit yoğunluğunu nasıl etkilediğini gösteren grafikler elde edilmiştir.

Şekil 4.3'te A ve B kesitleri, şekil 4.4'te ise C kesitinin yeri görülmektedir. A kesiti makine dairesini enine iki eşit parçaya bölmekte, B kesitiyse A kesiti ile duvar arasında kalan mesafeyi enine iki parçaya bölmektedir. C kesitiyse makine dairesini boyuna iki eşit parçaya bölmektedir.

A kesiti tam olarak egzoz kaçağının bulunduğu bölgeye denk gelmektedir. Bu şekilde egzoz kaçağı şekillerde açıkça görülebilecektir.

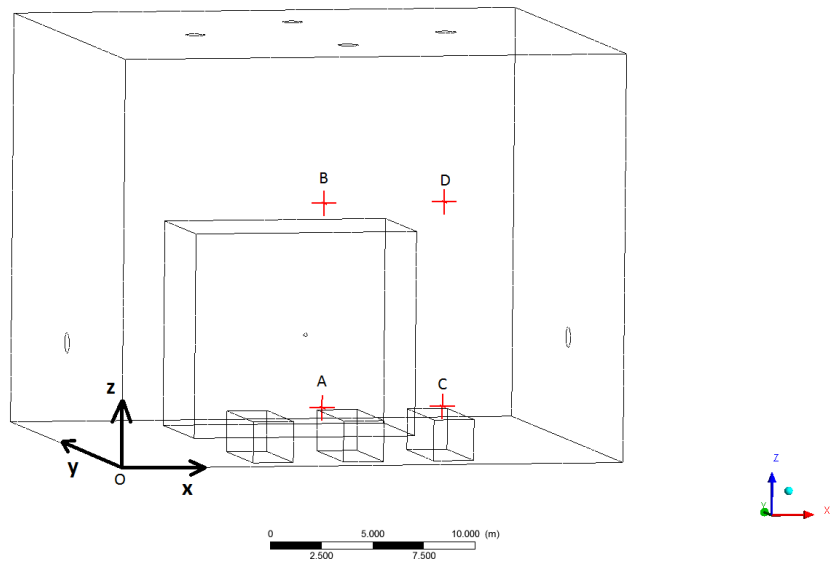


Şekil 4.3 A ve B kesitleri



Şekil 4.4 C kesiti

Şekil 4.5'te hacim içerisinde seçilen noktalar görülmektedir. Noktalar alınırken A ve C noktalarında insan boyu göz önünde alınmış ve zeminde bulunan personele etkisinin en iyi şekilde anlaşılabilmesi için buradaki noktaların konumu Z yönünde 1.7 m olarak seçilmiştir. B ve D noktalarında ise 10 metre yükseklikte bir platform olduğu varsayılmış ve burada bulunan personel üzerine etkisi üzerine durulmaya çalışılmıştır. Bu sebeple buradaki noktaların konumu Z yönünde 11.7 metre olarak seçilmiştir.



Şekil 4.5 A,B,C ve D noktalarının yerleri

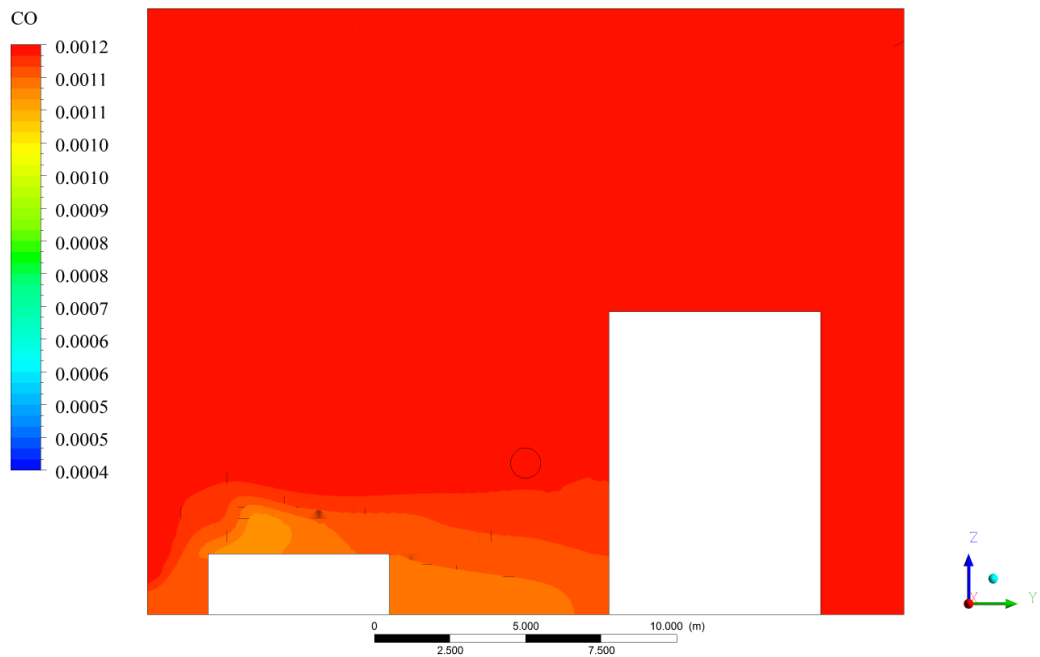
Seçilen noktaların konumları izelge 4.2’de verilmiştir. Burada resimlerden de görülebileceği gibi başlangıç noktası O olarak kabul edilmiştir. X,Y ve Z eksenleri yine resimlerin altında belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 Seçilen A, B, C ve D noktalarının koordinatları

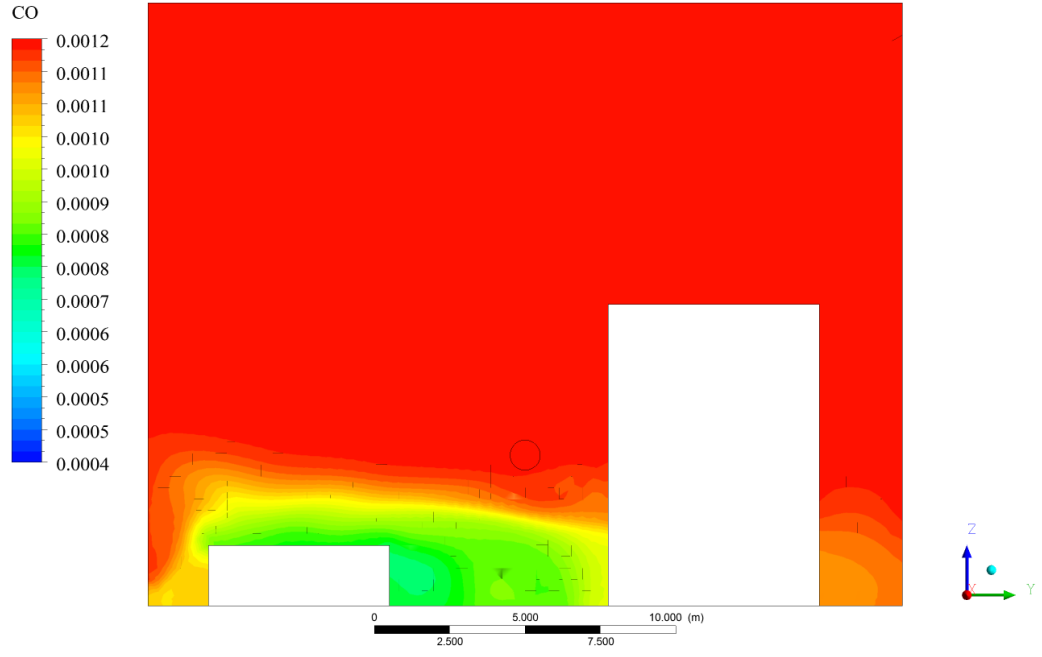
Noktalar	X	Y	Z
A	12.75	12.5	1.7
B	12.75	12.5	11.7
C	18.75	12.5	1.7
D	18.75	12.5	11.7

4.2.1 Kesit A İçin Sonuçlar

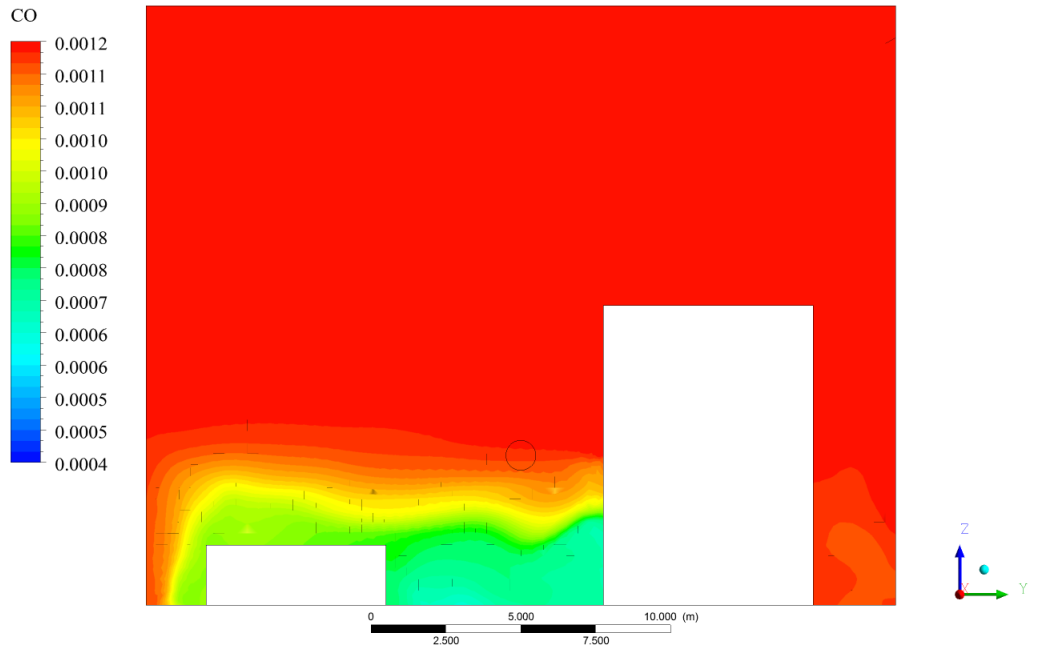
Yapılan analizler sonucunda $V = 1, 1.5, 2$ ve 3 m/s havalandırma hızlarında A kesitindeki karbonmonoksit dağılımları şekil 4.6, şekil 4.7, şekil 4.8 ve şekil 4.9’daki gibi bulunmuştur.



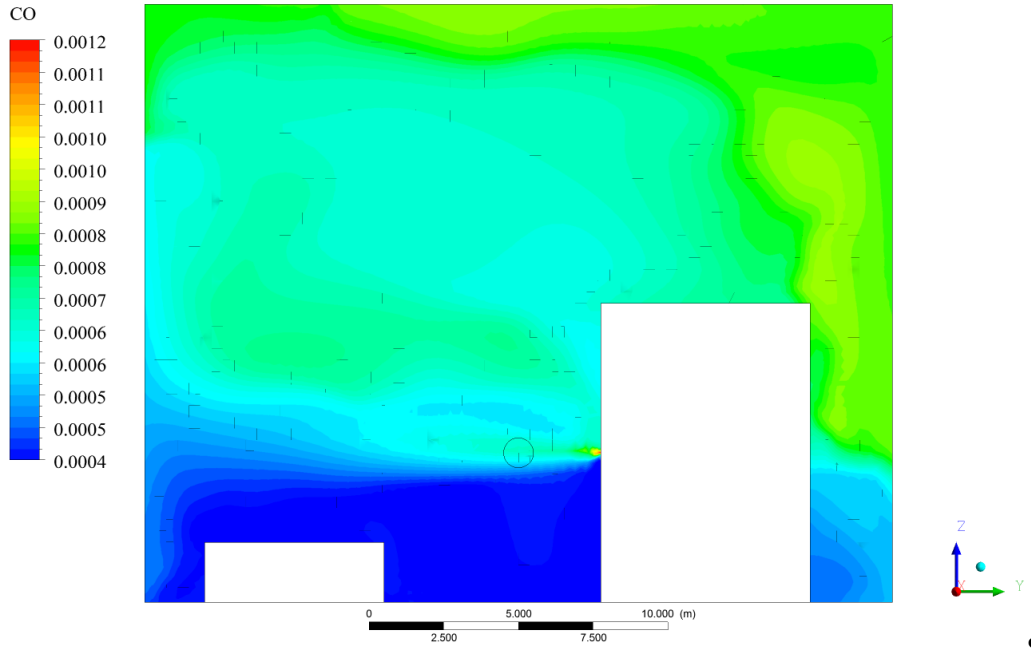
şekil 4.6 $V = 1$ m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil 4.7 $V = 1.5$ m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil 4.8 $V = 2$ m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil

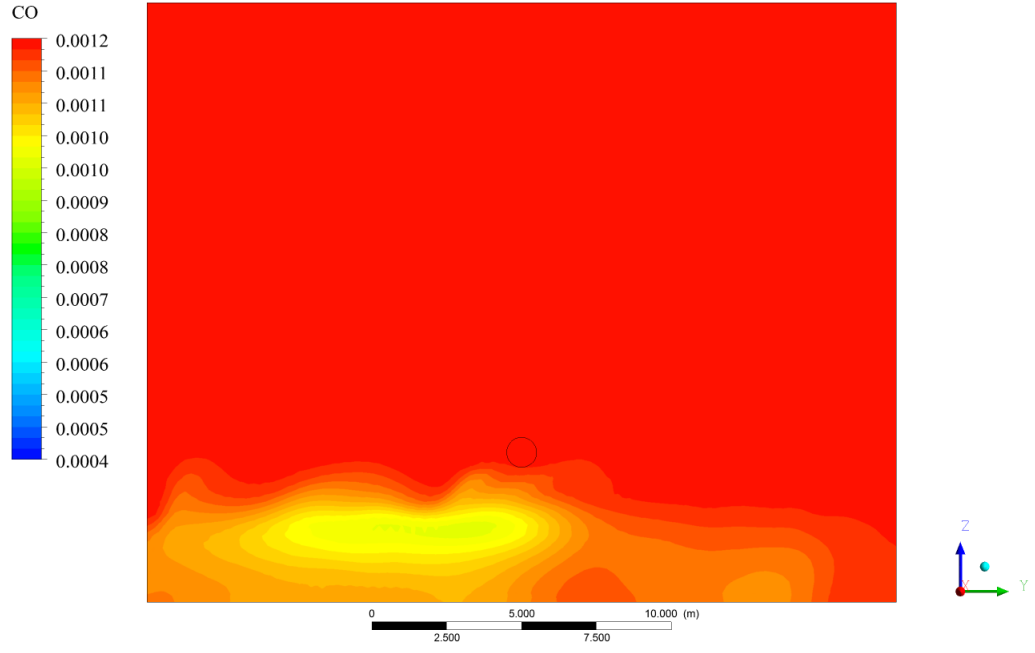
4.9V= 3 m/s için A kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı

Şekillerde görüldüğü gibi A kesiti göz önünde bulundurulduğunda 2 m/s ve bunun altındaki havalandırma hızlarının altında makine dairesindeki karbonmonoksit yoğunluğu 2. Bölüm’de bahsedilen tehlikeli sınırlara ulaşmaktadır. 3 m/s hızında ise ana makinenin üzerinde kalan kısımlar hariç tehlike arz eden bir bölge bulunmamaktadır.

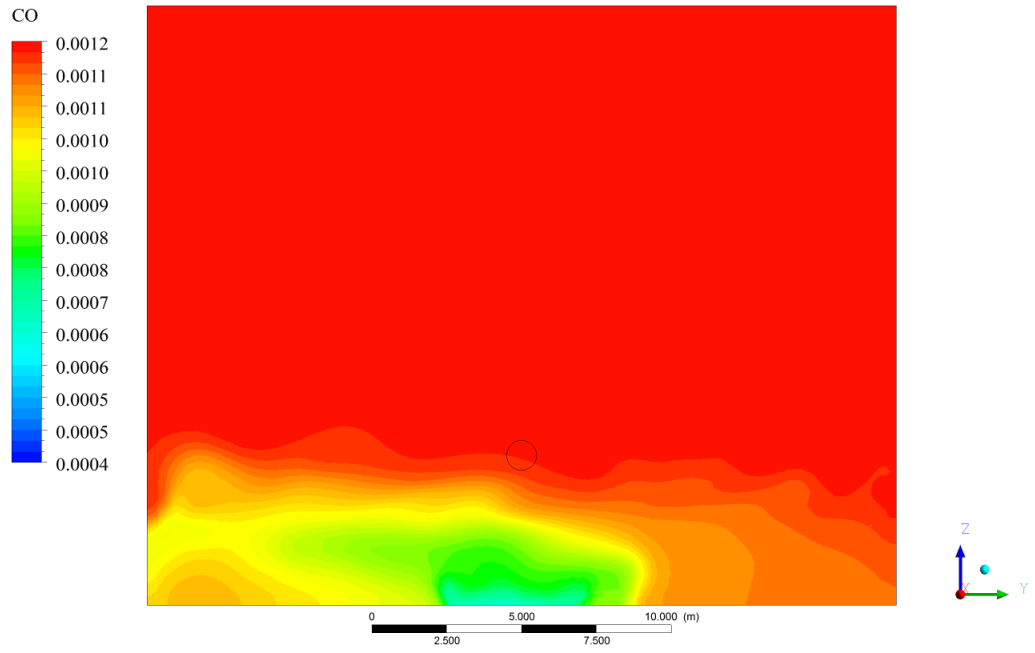
Diğer kesitler de bu şekilde incelendiğinde bütün makine dairesi için karbonmonoksit yoğunluğu hakkında fikirler edinilebilir.

4.2.2 Kesit B İçin Sonuçlar

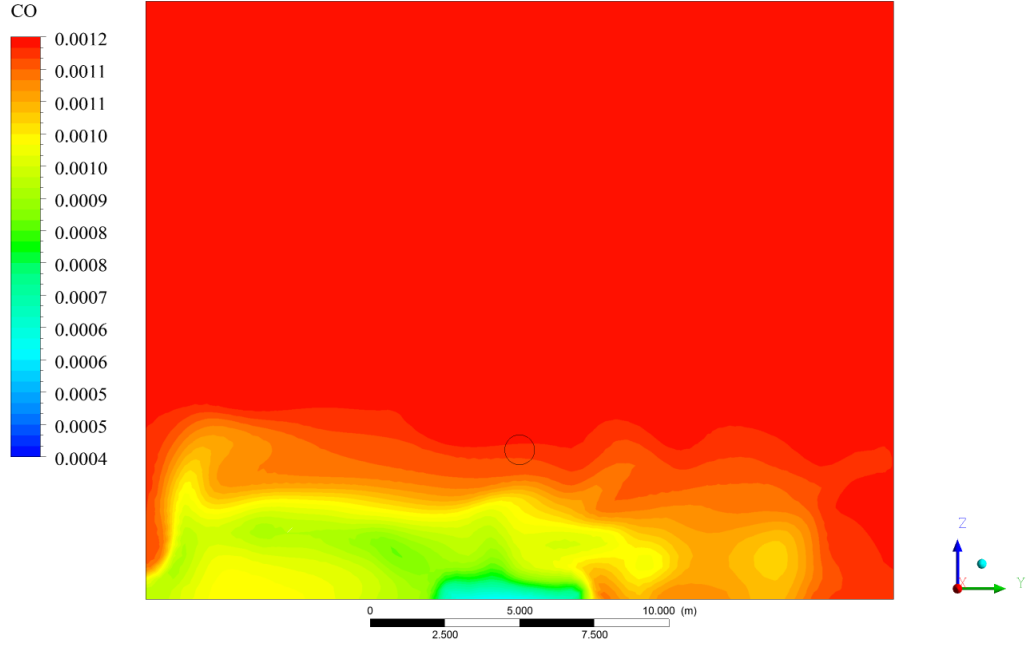
Yapılan analizler sonucunda V= 1, 1.5, 2 ve 3 m/s havalandırma hızlarında B kesitindeki karbonmonoksit dağılımları Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’teki gibi olmuştur.



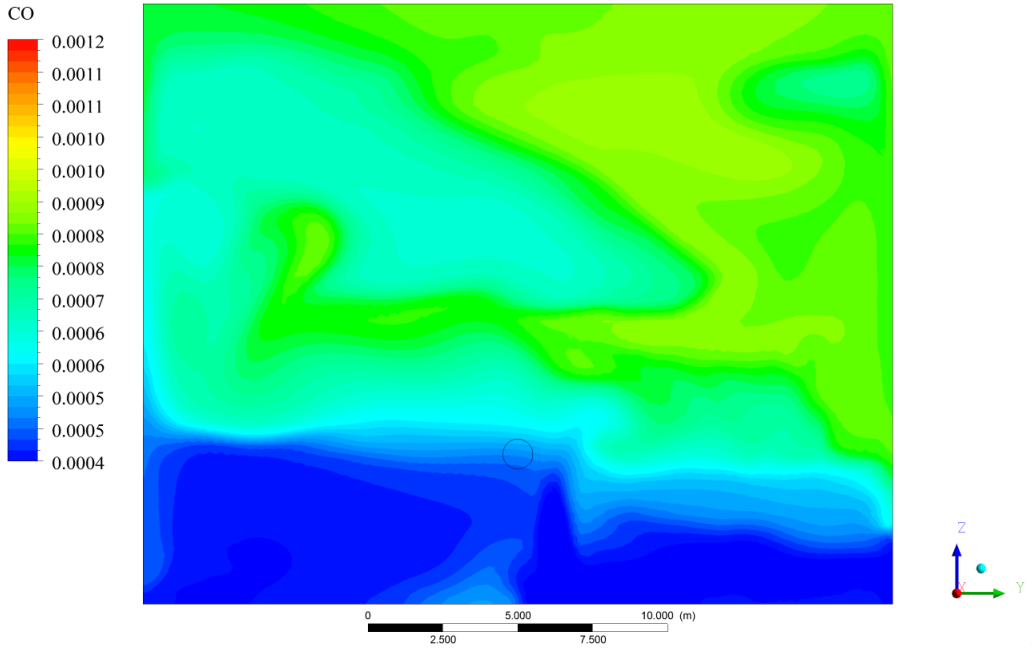
Şekil 4.10 $V=1$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil 4.11 $V=1.5$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil 4.12 $V= 2$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



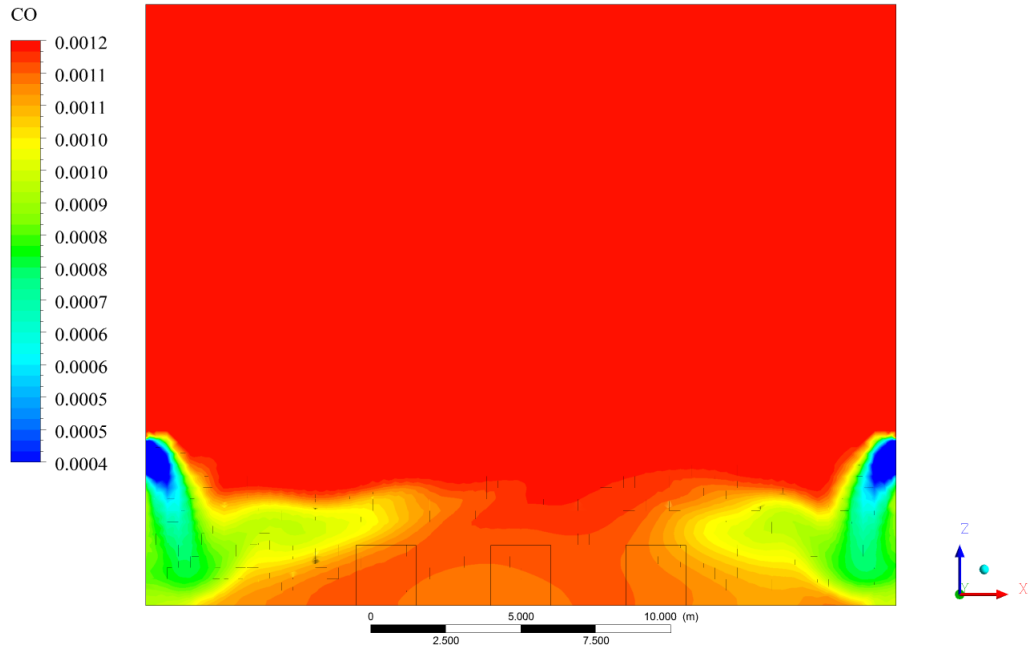
4.13 $V= 3$ m/s için B kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı

Şekil

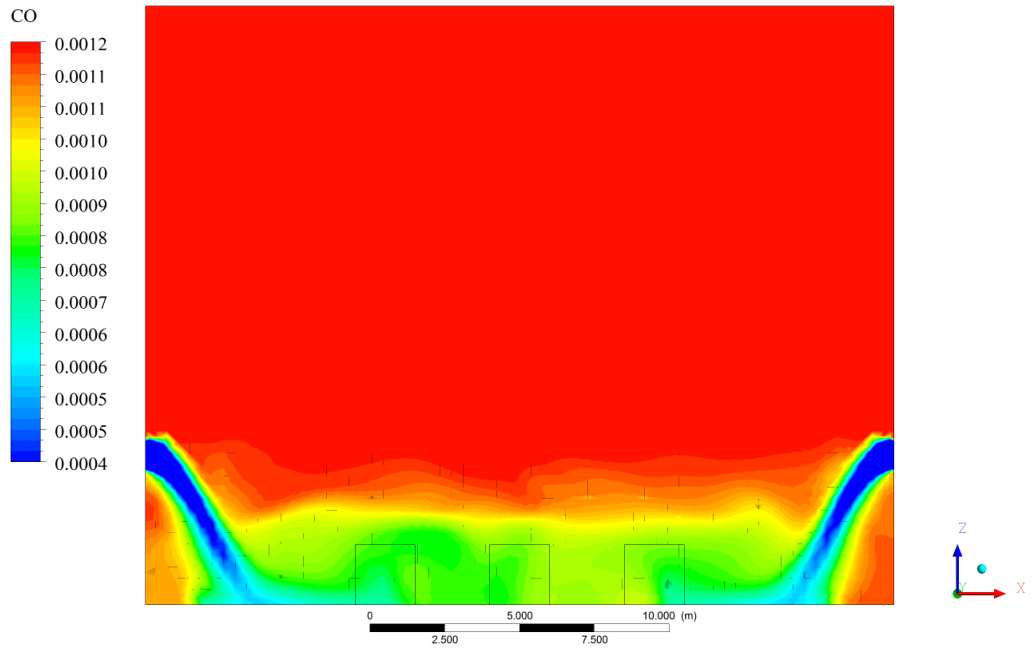
B kesiti için de durum farklı değildir. 2 m/s ve altındaki havalandırma hız değerlerinin altında karbonmonoksit kaçağı tehlikeli bir durum oluşturacaktır. 3 m/s hız değerinde alt platformlarda herhangi bir sorun görünmemekle beraber, üst kısımlarda da risk görünmemektedir.

4.2.3 Kesit C İçin Sonuçlar

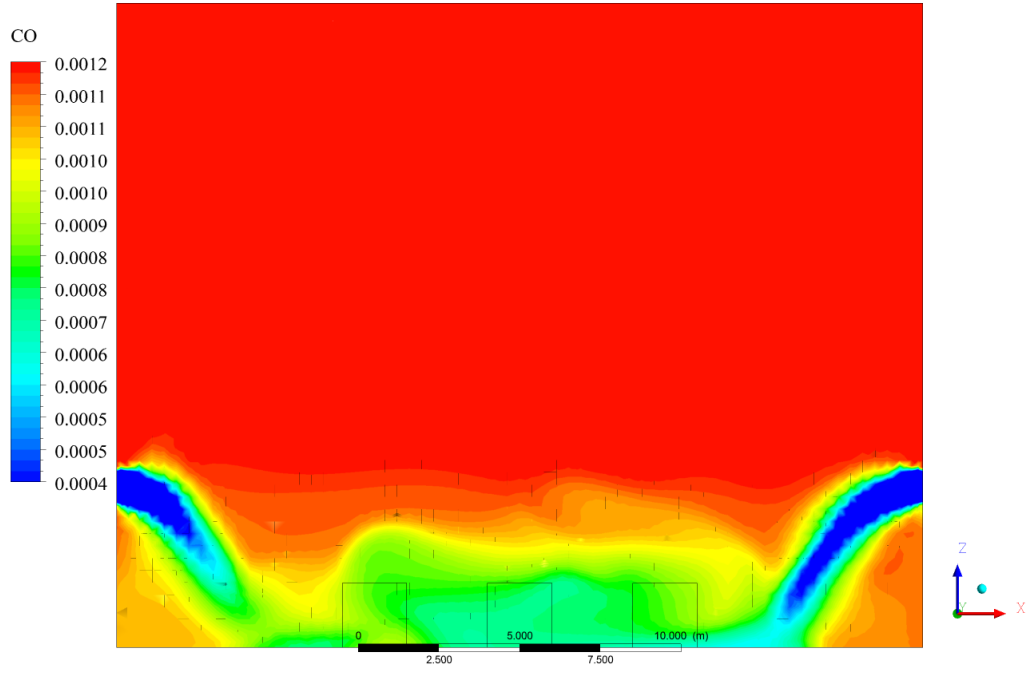
Son olarak $V = 1, 1.5, 2$ ve 3 m/s havalandırma hızlarında C kesitindeki karbonmonoksit dağılımları Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'deki gibi olmuştur.



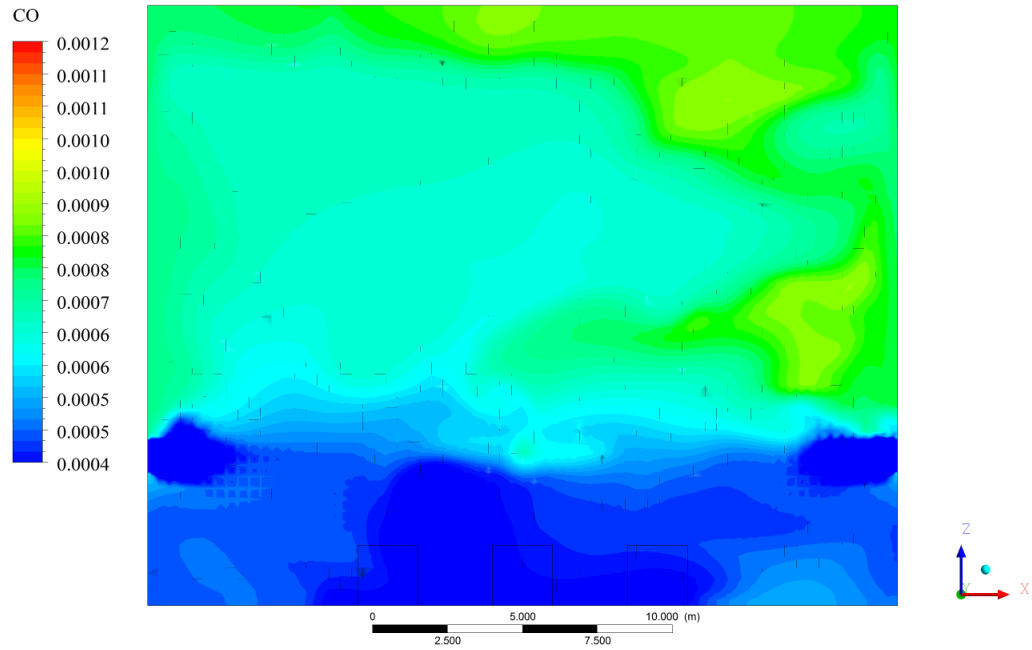
Şekil 4.14 $V = 1$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil 4.15 $V = 1.5$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil 4.16 $V = 2$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı



Şekil 4.17 $V = 3$ m/s için C kesitindeki karbonmonoksit gazı dağılımı

C kesiti için de 2 m/s havalandırma hızı ve altındaki hızlar, bu gibi bir karbonmonoksit kaçağında tehlike teşkil etmektedir. C kesitinin sağ ve sol tarafları tam olarak havalandırma girişlerine denk geldiğinden, temiz hava girişleri rahatça

görülebilmektedir. 3 m/s hız değerinde ise kesitin herhangi bir bölgesinde büyük tehlike arz eden yerler bulunmamaktadır.

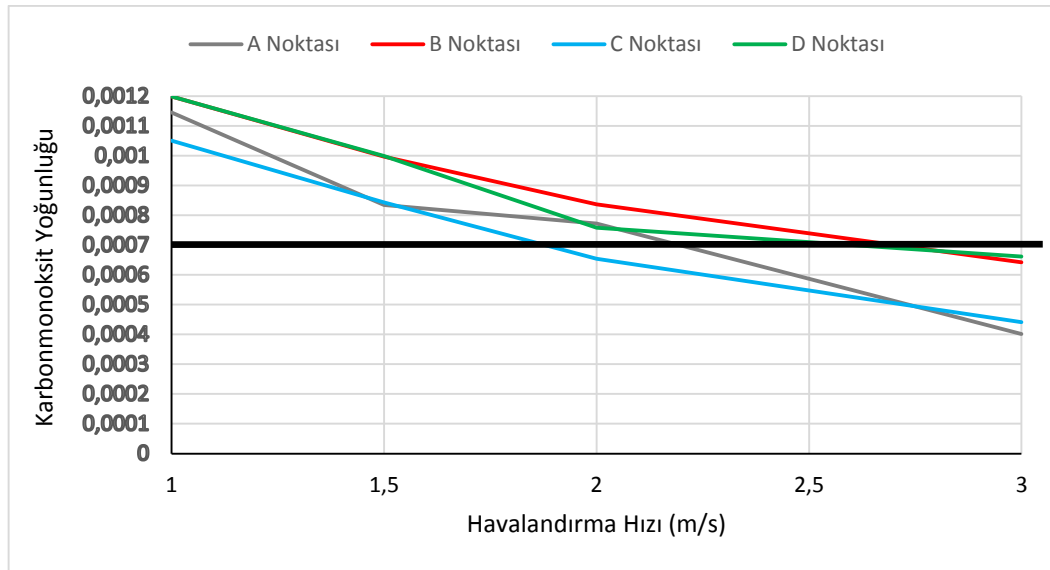
4.2.4 Noktalar (A, B, C, D) için Sonuçlar

Daha önce tanımlanan A,B,C ve D noktalarında havadaki karbonmonoksit oranları ise Çizelge 4.3'teki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.3 A,B,C ve D noktalarında karbonmonoksit yoğunlukları

Havalandırma Hızı	A Noktası	B Noktası	C Noktası	D Noktası
1	0,001145	0,001199	0,001051	0,001199
1,5	0,000835	0,000997	0,000843	0,000999
2	0,000772	0,000837	0,000654	0,000758
3	0,000402	0,000642	0,000441	0,000662

Bu bilgilerin ışığında her bir nokta için havalandırma hızı ve karbonmonoksit yoğunlukları arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.18'deki gibi grafikler elde edebiliriz.



Şekil 4.18 Noktalar için farklı havalandırma hızlarında karbonmonoksit oranları

Şekillerdeki grafiklerde görüldüğü gibi havalandırma hızı arttıkça; A, B, C ve D noktalarındaki karbonmonoksit oranları düşmektedir. Grafikteki enine kalın çizgi %0.07 karbonmonoksit oranını göstermektedir. Bu çizginin üzerinde kalan durumlarda karbonmonoksitin rahatsız eden etkileri görülecektir. Havalandırma hızının 2 m/s 'nin üzerinde olduğu durumlarda bütün noktalar için tehlikeli bir durum söz konusu

değildir. Ancak bu değerin altındaki durumlarda rahatsız edici etkilerin görüleceği açıktır. Özellikle dört nokta için de havalandırma hızının 1.5 m/s'nin altında olduğu durumlarda karbonmonoksit oranının %0.001 oranlara çıktığı görülmektedir. Çizelge 2.2'de görülebileceği gibi bu orandaki karbonmonoksit gazına maruz kalmak hayati risk taşımaktadır.

B ve D noktalarındaki karbonmonoksit oranları, A ve C noktalarındakine göre daha fazladır. Bunun nedeni karbonmonoksitin yoğunluğunun havadan biraz daha düşük olmasıdır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında mevcut bir gemi makine dairesi modellenerek; ana makineden sabit bir egzoz sızıntısı durumu için, farklı havalandırma hızlarında egzozun makine dairesi içindeki dağılımı incelenmiştir. Analizlerde ticari bir HAD programından yararlanılmıştır.

Egzoz gazının içinde ikinci bölümde de bahsedildiği gibi birçok zararlı gaz bulunmaktadır. Ancak kapalı alanda ve kısa sürede en çok tehlike oluşturacak olan karbonmonoksit gazıdır. Dolayısıyla bu bölümde dağılımı ve yoğunluğu incelenmiş olan gaz karbonmonoksit gazıdır.

Karbonmonoksit yoğunluğu %0.07'den yüksek olan ortamlar personel sağlığı açısından rahatsız edici bir hal almaya başlar. Çalışmada ele alınan makine dairesi ve havalandırma sistemi için; makine dairesinin tamamında karbonmonoksit oranı 2 m/s ve altındaki havalandırma hızı değerlerinde insan sağlığını tehdit eder duruma gelmektedir. 1.5 m/s ve altındaki havalandırma hızlarındaysa ortamdaki karbonmonoksit oranı personel sağlığı için tehlikeli hale gelmektedir. Bu nedenle bu gibi kaza durumlarında personel sağlığı açısından tehlikeli durumlar yaşanmaması isteniyorsa bu modeldeki havalandırma hızı 2 m/s'nin üzerinde olmalı ya da havalandırma fanlarının sayısı artırılmalıdır.

Karbonmonoksit gazı havadan biraz daha hafif olduğundan makine dairesinin üst kısımlarında karbonmonoksit oranları daha fazladır. Dolayısıyla kaçak durumlarında üst

platformlardaki personeller zeminde bulunan personellere göre daha çok risk altındadır.

Karbonmonoksit gazının kokusuz ve tatsız olması farkedilebilirliğini güçleştirmektedir. Dolayısıyla böyle bir sızıntı durumunda personel tarafından uzun süre hissedilmeme olasılığı hayati tehlike riskini artıracaktır.

Bu çalışmanın modelleme bölümünde sadece karbonmonoksit tehlikesi üzerinde durulmuştur. Ancak gemi ana makinesi emisyonları içerisinde karbonmonoksitten başka azot oksitler, karbondioksit, hidrokarbonlar ve partikül maddeler gibi zararlı bileşenler de mevcuttur. İleriki çalışmalarda bu gazlar da dikkate alınarak analizler gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu çalışmadan esinlenilerek makine dairesindeki sıcaklık, nem, gürültü ve diğer zararlı gazlar için de çalışmalar yapılabilir, bunların iyileştirilmesi için yeni fikirler ortaya atılabilecektir. Daha kapsamlı bir çalışma ile makine dairesi tamamen bütün detaylarıyla modellenilebilir ve her açıdan optimum havalandırma şartları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Koçak, G., (2008). Gemi Makinaları İşletmesinde Ergonomik Analiz, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Karaman, Ö., (2011). Gemilerde Enerji Etkin Makine Dairesi Havalandırması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Sülüs, A., (2008). Makine Dairesi Yangınlarına Açıklıkların Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Bayraktar, M., (2005). Gemi Makine İşletmeciliğinde İş Güvenliği Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Lundh, M., Lützhöft, M., Rydstedt, L. ve Dahlman, J., (2010). "Working conditions in the engine department - A qualitative study among engine room personnel on board Swedish merchant ships", Applied Ergonomics, Jan;42:384-90
- [6] Forsell, K., Hageberg, S. ve Nilsson, R., (2007). "Lung cancer and mesothelioma among engine room crew- case reports with risk assessment of previous and ongoing exposure to carcinogens", International Maritime Health, 58:5-13
- [7] Gözalan, H.K., (2011). Savaş Gemilerinde Makine Dairesi Yangınlarının Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Su, S. ve Wang, L., (2013). "Three dimensional reconstruction of the fire in a ship engine room with multilayer structures", Ocean Engineering, 70:201-207
- [9] Doğrul, A., (2010). İstanbul Boğazı'ndaki Gemi Kaynaklı Kirliliğin Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Küçükşahin, F., (2001). Gemi Yardımcı Makinaları I, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [11] Corbett, J.J., Winebrake, J.J., Green, E.H., Kasibhatla, P., Eyring, V. ve Lauer, A. (2007). "Mortality from ship emissions: a global assessment", Environmental Science and Technology, 41:8512-8518
- [12] Eyring, V., Kohler, H.W., van Aardenne, J. ve Lauer, A., (2005). "Emissions from international shipping: 1 the last 50 years", Journal of Geophysical Research, 110

- [13] Guo, Z., Li, T., Dong, J., Chen, R., Xue, P. ve Wei, X., (2010). "Combustion and emission characteristics of blends of diesel fuel and methanol-to-diesel", Fuel, 90:1305-1308
- [14] Aydın, H. ve İlkılıç, C., (2010). "Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine", Applied Thermal Engineering, 30:1199-1204
- [15] Türk Tabipler Birliği, Hava Kirliliği, www.ttb.org.tr/eweb/yatagan/3.html, 10.11.2013.
- [16] T.C. Resmi Gazete, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, (26898), 06.06.2008, Ek-I
- [17] Güyagüler, T., Karakaş, A. ve Güngör, A., (2005). Occupational Health and Safety in Mining Industry. ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü.
- [18] ISO 2631, (2001). Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems, ISO, Geneva.
- [19] T.C. Resmi Gazete, Titreşim Yönetmeliği, (25325), 23.12.2003
- [20] Kingma, I., Delleman, N.J. ve van Dieën, J.H., (2003). "The effect of ship accelerations on three-dimensional low back loading during lifting and pulling activities", International Journal of Industrial Ergonomics, 32:51-63
- [21] Subashi, G.H.M.J., Matsumoto, Y. ve Griffin, M.J., (2008). "Modelling resonances of the standing body exposed to vertical whole-body vibration: Effects of posture", Journal of Sound and Vibration, 317:400-418
- [22] Jegaden, D., (2013), Effects of ship vibration on humans, <http://textbook.ncmm.no/component/content/article/77-18-vibration/730-effects-of-ship-vibration-on-humans>, 10.11.2013
- [23] Kınacı, Ö.K., (2013). Gemi Formu, Dümen ve Pervane Etkileşiminin Sayısal İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Versteeg, H.K. ve Malalasekera, W., (2005). An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method, 1st ed., Longman Scientific and Technical, Essex.
- [25] Katz, J. ve Plotkin, A., (1991). Low-Speed Aerodynamics- From Wing Theory to Panel Methods. McGraw-Hill.
- [26] Fluent 6.2 Documentation, (2005), Commercial code users guide, Fluent Inc., Germany.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Metin Kemal GÖKÇE
Doğum Tarihi ve Yeri : 05.08.1986 Adana
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mkgokce@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Müh.	Erciyes Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	ATO Anadolu lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Çukurova Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Serin, H., Ozcanli, M., Gokce, M.K. ve Tuccar, G., (2013), Biodiesel Production From Tea Seed (Camellia Sinensis) Oil and its Blends With Diesel Fuel, International Journal of Green Energy.DOI:10.1080/15435075.2012.655354
2. Gokce, M.K., Kinaci, O. K. ve Cakici, F., (2013), Hidrofoil Tekneler İçin Temiz Dizayn Prensipleri ve Kanat Teorisi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, 195. Sayı, Syf. 30 – 39.

Bildiri

- 1.Gökçe,M.K. , Tüccar,G. , Uludamar,E. , Özgür,T. , Serin,H. ve Aydın,K., (2011), Çay Çekirdeği (Camellia Sinensis) Biyodizelinin Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi, VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim 2011, Kayseri.
2. Tüccar, G., Gökçe, M.K. ve Aydın, K., Mikroalg (Chlorella Protothecodites) Biyodizelinin Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi, 2011, Anadolu Enerji Sempozyumu, Haziran 2011, Elazığ.