

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAVAŞ GEMİLERİNDE EGZOZ GAZLARININ YAYILIMININ DENEYSEL
VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Erinç DOBRUCALI

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Lisansüstü Programı

ŞUBAT 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAVAŞ GEMİLERİNDE EGZOZ GAZLARININ YAYILIMININ DENEYSEL
VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Erinç DOBRUCALI
(508082002)**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı
Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Lisansüstü Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selma ERGİN

ŞUBAT 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508082002 numaralı Doktora Öğrencisi **Erinç DOBRUCALI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SAVAŞ GEMİLERİNDE EGZOZ GAZLARININ YAYILIMININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Selma ERGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şakir BAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Deniz ÜNSALAN
Piri Reis Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yasin ÜST
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **15 Şubat 2013**

Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Seyir halindeki gemilerde özellikle savaş gemilerinde bacadan çıkan zararlı gazlar ve baca gazının çok yüksek sıcaklığı, güverte üzerinde bulunan elektronik cihazları, makinelerin hava emişlerini, helikopter hareketi yapan savaş gemilerinde helikopterin iniş kalkış hareketini ve güverte üzerinde bulunan gemi personelinin sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı zamanda askeri teknolojilerdeki gelişmelerin de bir sonucu olarak egzoz gaz yayılımı ve baca dizaynı, radar kesit alanı ve kızılötesi iz açısından da çok önemli bir duruma gelmiştir. Bu doktora tezinde öncelikle 1/100 ölçekli helikopter platformuna sahip tipik bir savaş gemisi sayısal olarak modellenmiş daha sonra ölçekli model rüzgar tüneline yerleştirilerek deneysel bir çalışma yapılmış ve elde edilen deneysel sonuçlar sayısal modelleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, gerçek boyutlu tipik bir savaş gemisi tüm seyir şartlarında sayısal olarak modellenerek elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

Doktora çalışmalarım sırasında her türlü desteği veren tez danışmanım Prof. Dr. Selma ERGİN'e, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Birimine, Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarına, Trisonik Araştırma Laboratuvarına, ANSYS yazılımı konusunda desteğini eksik etmeyen Yağız PARALI ile Tahir YÜKSEL'e ve doktora öğrenimim süresince sabır ile beni sınırsız destekleyen eşim Selin DOBRUCALI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2013

Erinç DOBRUCALI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ.....	xxvii
ÖZET.....	xxix
SUMMARY.....	xxxiii
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3.DENEYSEL ÇALIŞMA.....	13
3.1 Tipik Fırkateynin Özellikleri.....	13
3.2 Rüzgar Tüneli Özellikleri.....	16
3.3 Akım Görüntüleme Yöntemleri.....	17
3.4 Deneysel Çalışmanın Kapsamı	19
3.5 Deneysel Çalışmada Kaldırma Kuvveti (Buoyancy Effect) ve Momentumun Etkisi.....	20
3.6 Modellemede Boyut Analizi ve Benzerlik.....	23
4.MATEMATİKSEL MODEL.....	25
4.1 Yönetici Denklemler.....	26
4.2 Çözüm Metodu ve Sınır Şartları.....	27
4.3 Egzoz Emisyon Limitleri.....	30
4.4 Sayısal Model ve İncelenen Durumlar.....	32
4.5 Sıcaklık Farkı ile Oluşan Kaldırma Kuvvetinin Etkisi.....	34
4.6 Egzoz Gazlarının Yörüngesinin Analitik Olarak Hesaplanması.....	35
5.DENEYSEL SONUÇLAR.....	39
5.1 Hız Oranının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi.....	40
5.2 Sapma Açısının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi.....	42
5.3 Baca Geometrisinin Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi.....	43
6.SAYISAL SONUÇLAR.....	45
6.1 1/100 Ölçekli Model Sonuçları.....	46
6.1.1 Ağ sıklığının sonuçlara etkisinin incelenmesi.....	46
6.1.2 Sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması.....	51
6.1.2.1 İleri yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi.....	51
6.1.2.2 Tornistan yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi.....	52
6.1.2.3 Baca geometrisinin egzoz gazlarının yayılımına etkisi.....	53
6.1.2.4 Sapma açısının egzoz gazlarının yayılımına etkisi.....	55

6.2 Tam Boyutlu Model Sonuçları.....	56
6.2.1 İleri yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi.....	57
6.2.1.1 İleri yolda hız oranının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi.....	57
6.2.1.2 İleri yolda hız oranının egzoz emisyonlarının yayılımına etkisi.....	60
6.2.2 Tornistan yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi.....	73
6.2.2.1 Tornistan yolda hız oranının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi.....	73
6.2.2.2 Tornistan yolda hız oranının egzoz emisyonlarına etkisi.....	77
6.2.3 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gaz yayılımına etkisi (Sabit Hız Oranı).....	91
6.2.3.1 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-1).....	91
6.2.3.2 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-1)...	94
6.2.3.3 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-3).....	105
6.2.3.4 Egzoz gaz sıcaklıklarının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-3).....	108
6.2.4 Sapma açısının egzoz gaz yayılımına etkisi.....	121
6.2.4.1 Sapma açısının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-1).....	122
6.2.4.2 Sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-1).....	126
6.2.4.3 Sapma açısının egzoz gazlarının sıcaklık yayılımına etkisi (Durum-3).....	140
6.2.4.4 Sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-3).....	144
6.2.4.5 Sapma açısının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-4).....	164
6.2.4.6 Sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-4).....	168
6.2.5 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının yayılımına etkisi.....	188
6.2.5.1 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-1).....	189
6.2.5.2 Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-1).....	192
6.2.5.3 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-3).....	204
6.2.5.4 Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-3).....	207
6.2.5.5 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-4).....	219
6.2.5.6 Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-4).....	222
6.2.6 Farklı hız oranları için egzoz gazlarının yörüngesinin analitik sonuçlar ile karşılaştırılması	235

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	239
KAYNAKLAR.....	249
EKLER.....	259
ÖZGEÇMİŞ.....	263

KISALTMALAR

CFD	: Computational Fluid Dynamics
CNC	: Computer Numerical Control
CODAD	: Combined Diesel and Diesel
MARPOL	: Marine Pollution
PM	: Particulate Matter
RKA	: Radar Kesit Alanı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Fırkateyn tipik özellikleri.....	14
Çizelge 4.1 : Tipik fırkateyn çalışma şartları	29
Çizelge 4.2 : Sayısal çalışmada değerlendirilen durumlar ve sınır şartları.....	30
Çizelge 4.3 : Baca boyutları.....	33
Çizelge 4.4 : Durum-1 için kaldırma kuvveti etkileri.....	34
Çizelge 4.5 : Durum-3 için kaldırma kuvveti etkileri.....	35
Çizelge 5.1 : Deneysel çalışma parametreleri.....	40
Çizelge 6.2 : Analitik çözüm sonuçları	235
Çizelge A.1 : Gerçek boyutlu fırkateyn için incelenen durumlar ve sonuçlar.....	260

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 :	Tipik Fırkateynin kesit görüntüsü 14
Şekil 3.2 :	1/100 Ölçekli Tipik Fırkateyn Ahşap Modeli..... 15
Şekil 3.3 :	1/100 Ölçekli Ahşap Baca Modelleri..... 15
Şekil 3.4 :	Rüzgar Tüneli a)Dıştan Görünüm b)İçten Görünüm..... 16
Şekil 3.5 :	Sapma açısı “ Ψ ” 20
Şekil 4.1 :	Sayısal Çalışmadaki Hesaplama Ağı a) Hesaplama Alanı b) Fırkateyn Yüzeyindeki Ağ 28
Şekil 4.2 :	Hesaplama Alanı Sınır Şartları..... 29
Şekil 4.3 :	Gemilerde İzin Verilen Maksimum NO _x Emisyonları..... 31
Şekil 4.4 :	Gerçek Boyutlardaki Tipik Fırkateyn Modeli..... 32
Şekil 4.5 :	Farklı baca geometrileri a) Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca b) Baş-Kıç Eğimli Baca c) Düz Baca ç) Parampetli Baca d) Sancak-İskele Eğimli Baca..... 33
Şekil 5.1 :	İleri Yolda Hız Oranının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi..... 41
Şekil 5.2 :	Tornistan Yolda Hız Oranının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi. K=0.407 b) K=0.815..... 41
Şekil 5.3 :	Sapma Açısının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi a) $\Psi=0^0$, b) $\Psi=10^0$ ve c) $\Psi=20^0$ 42
Şekil 5.4 :	Baca Geometrisinin Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi a) Sancak İskele Eğimli Baca b) Düz Baca Geometrisi..... 43
Şekil 6.1 :	Hesaplama Ağı (19705 Hücreli) a) Ağ Sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (19705 Hücreli)..... 47
Şekil 6.2 :	Hesaplama Ağı (31999 Hücreli) a) Ağ Sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (31999 Hücreli)..... 47
Şekil 6.3 :	Hesaplama Ağı (76036 Hücreli) a) Ağ Sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (76036 Hücreli) 48
Şekil 6.4 :	Hesaplama Ağı (122994 Hücreli) a) Ağ Sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (122994 Hücreli)..... 48
Şekil 6.5 :	Hesaplama Ağı (190364 Hücreli) a) Ağ Sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (190364 Hücreli)..... 49
Şekil 6.6 :	Hesaplama Ağı (312547 Hücreli) a) Ağ Sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (312547 Hücreli)..... 49
Şekil 6.7 :	Hesaplama Ağı (398211 Hücreli) a) Ağ Sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (398211 Hücreli)..... 49
Şekil 6.8 :	Değişik Hesaplama Ağlarının Egzoz Çıkış Sıcaklığına Etkisi..... 50
Şekil 6.9 :	K=0.407 için Egzoz Gaz Yayılımı (Gemi İleri Yolda) a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç..... 51

Şekil 6.10 :	K=0.815 için Egzoz Gaz Yayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	52
Şekil 6.11 :	K=0407 için Egzoz Gaz Yayılımı (Gemi Tornistan Yolda) a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	52
Şekil 6.12 :	K=0815 için Egzoz Gaz Yayılımı (Gemi Tornistan Yolda) a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	53
Şekil 6.13 :	Sancak/İskele-Baş/Kıç Eğimli Baca Geometrisi için Egzoz Gaz Yayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	54
Şekil 6.14 :	Düz Baca Geometrisi için Gaz Yayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	54
Şekil 6.15 :	Sapma Açısı $\Psi=0^0$ için Egzoz Gaz Yayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	55
Şekil 6.16 :	Sapma Açısı $\Psi=10^0$ için Egzoz Gaz Yayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	55
Şekil 6.17 :	Sapma Açısı $\Psi=20^0$ için Egzoz Gaz Yayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.....	56
Şekil 6.18 :	Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.....	58
Şekil 6.19 :	Durum-2 için Egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.....	58
Şekil 6.20 :	Durum-3 için Egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.....	59
Şekil 6.21 :	Durum-4 için Egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.....	59
Şekil 6.22 :	Durum-5 için Egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.....	60
Şekil 6.23 :	Durum-1 için NO_x yayılımı.....	61
Şekil 6.24 :	Durum-2 için NO_x yayılımı.....	61
Şekil 6.25 :	Durum-3 için NO_x yayılımı.....	62
Şekil 6.26 :	Durum-4 için NO_x yayılımı.....	62
Şekil 6.27 :	Durum-5 için NO_x yayılımı.....	63
Şekil 6.28 :	Durum-1 için CO yayılımı.....	64
Şekil 6.29 :	Durum-2 için CO yayılımı.....	64
Şekil 6.30 :	Durum-3 için CO yayılımı.....	65
Şekil 6.31 :	Durum-4 için CO yayılımı.....	65
Şekil 6.32 :	Durum-5 için CO yayılımı.....	66
Şekil 6.33 :	Durum-1 için CO_2 yayılımı.....	67
Şekil 6.34 :	Durum-2 için CO_2 yayılımı.....	67
Şekil 6.35 :	Durum-3 için CO_2 yayılımı.....	68
Şekil 6.36 :	Durum-4 için CO_2 yayılımı.....	68
Şekil 6.37 :	Durum-5 için CO_2 yayılımı.....	69
Şekil 6.38 :	Durum-1 için SO_x yayılımı.....	70
Şekil 6.39 :	Durum-2 için SO_x yayılımı.....	70
Şekil 6.40 :	Durum-3 için SO_x yayılımı.....	71
Şekil 6.41 :	Durum-4 için SO_x yayılımı.....	71
Şekil 6.42 :	Durum-5 için SO_x yayılımı.....	72
Şekil 6.43 :	Durum-6 için SO_x yayılımı.....	73
Şekil 6.44 :	Durum-7 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı.....	74
Şekil 6.45 :	Durum-8 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı.....	74
Şekil 6.46 :	Durum-9 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı.....	75
Şekil 6.47 :	Durum-10 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı.....	75
Şekil 6.48 :	Durum-11 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı.....	76
Şekil 6.49 :	Durum-6 için NO_x yayılımı.....	77
Şekil 6.50 :	Durum-7 için NO_x yayılımı.....	77
Şekil 6.51 :	Durum-8 için NO_x yayılımı.....	78

Şekil 6.52 :	Durum-9 için NO _x yayılımı.....	78
Şekil 6.53 :	Durum-10 için NO _x yayılımı.....	79
Şekil 6.54 :	Durum-11 için NO _x yayılımı.....	79
Şekil 6.55 :	Durum-6 için SO _x yayılımı.....	80
Şekil 6.56 :	Durum-7 için SO _x yayılımı.....	81
Şekil 6.57 :	Durum-8 için SO _x yayılımı.....	81
Şekil 6.58 :	Durum-9 için SO _x yayılımı.....	82
Şekil 6.59 :	Durum-10 için SO _x yayılımı.....	82
Şekil 6.60 :	Durum-11 için SO _x yayılımı.....	83
Şekil 6.61 :	Durum-6 için CO ₂ yayılımı.....	84
Şekil 6.62 :	Durum-7 için CO ₂ yayılımı.....	84
Şekil 6.63 :	Durum-8 için CO ₂ yayılımı.....	85
Şekil 6.64 :	Durum-9 için CO ₂ yayılımı.....	85
Şekil 6.65 :	Durum-10 için CO ₂ yayılımı.....	86
Şekil 6.66 :	Durum-11 için CO ₂ yayılımı.....	86
Şekil 6.67 :	Durum-6 için CO yayılımı.....	87
Şekil 6.68 :	Durum-7 için CO yayılımı.....	88
Şekil 6.69 :	Durum-8 için CO yayılımı.....	88
Şekil 6.70 :	Durum-9 için CO yayılımı.....	89
Şekil 6.71 :	Durum-10 için CO yayılımı.....	89
Şekil 6.72 :	Durum-11 için CO yayılımı.....	90
Şekil 6.73 :	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (T _s =100 ⁰ C).....	91
Şekil 6.74 :	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (T _s = 200 ⁰ C).....	92
Şekil 6.75 :	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (T _s = 300 ⁰ C).....	92
Şekil 6.76 :	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (T _s = 400 ⁰ C).....	93
Şekil 6.77 :	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (T _s = 500 ⁰ C).....	93
Şekil 6.78 :	Durum-1 için NO _x yayılımı , (T _s =100 ⁰ C).....	94
Şekil 6.79 :	Durum-1 için NO _x yayılımı , (T _s =200 ⁰ C).....	94
Şekil 6.80 :	Durum-1 için NO _x yayılımı , (T _s =300 ⁰ C).....	95
Şekil 6.81 :	Durum-1 için NO _x yayılımı , (T _s =400 ⁰ C).....	95
Şekil 6.82 :	Durum-1 için NO _x yayılımı , (T _s =500 ⁰ C).....	96
Şekil 6.83 :	Durum-1 için SO _x yayılımı (T _s =100 ⁰ C).....	97
Şekil 6.84 :	Durum-1 için SO _x yayılımı (T _s =200 ⁰ C).....	97
Şekil 6.85 :	Durum-1 için SO _x yayılımı (T _s =300 ⁰ C).....	98
Şekil 6.86 :	Durum-1 için SO _x yayılımı (T _s =400 ⁰ C).....	98
Şekil 6.87 :	Durum-1 için SO _x yayılımı (T _s =500 ⁰ C).....	99
Şekil 6.88 :	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (T _s =100 ⁰ C).....	100
Şekil 6.89 :	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (T _s =200 ⁰ C).....	100
Şekil 6.90 :	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (T _s =300 ⁰ C).....	101
Şekil 6.91 :	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (T _s =400 ⁰ C).....	101
Şekil 6.92 :	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (T _s =500 ⁰ C).....	102
Şekil 6.93 :	Durum-1 için CO yayılımı (T _s =100 ⁰ C).....	103
Şekil 6.94 :	Durum-1 için CO yayılımı (T _s =200 ⁰ C).....	103
Şekil 6.95 :	Durum-1 için CO yayılımı (T _s =300 ⁰ C).....	104
Şekil 6.96 :	Durum-1 için CO yayılımı (T _s =400 ⁰ C).....	104

Şekil 6.97 :	Durum-1 için CO yayılımı ($T_s=500\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	105
Şekil 6.98 :	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($T_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	106
Şekil 6.99:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($T_s=200\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	106
Şekil 6.100:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($T_s=300\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	107
Şekil 6.101:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($T_s=400\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	107
Şekil 6.102:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($T_s=500\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	108
Şekil 6.103:	Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	109
Şekil 6.104:	Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=200\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	109
Şekil 6.105:	Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=300\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	110
Şekil 6.106:	Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=400\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	110
Şekil 6.107:	Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=500\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	111
Şekil 6.108:	Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	112
Şekil 6.109:	Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=200\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	112
Şekil 6.110:	Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=300\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	113
Şekil 6.111:	Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=400\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	113
Şekil 6.112:	Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=500\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	114
Şekil 6.113:	Durum-3 için CO_2 yayılımı ($T_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	115
Şekil 6.114:	Durum-3 için CO_2 yayılımı ($T_s=200\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	115
Şekil 6.115:	Durum-3 için CO_2 yayılımı ($T_s=300\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	116
Şekil 6.116:	Durum-3 için CO_2 yayılımı ($T_s=400\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	116
Şekil 6.117:	Durum-3 için CO_2 yayılımı ($T_s=500\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	117
Şekil 6.118:	Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	118
Şekil 6.119:	Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=200\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	118
Şekil 6.120:	Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=300\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	119
Şekil 6.121:	Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=400\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	119
Şekil 6.122:	Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=500\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	120
Şekil 6.123:	Sapma Açısının Değişimi ($\Psi=0^{\circ}, 5^{\circ}, 10^{\circ}, 15^{\circ}, 20^{\circ}, 25^{\circ}$ ve 30°) üstten görünüşü.....	121
Şekil 6.124:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=0^{\circ}$)....	122
Şekil 6.125:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=5^{\circ}$)....	123
Şekil 6.126:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=10^{\circ}$)..	123
Şekil 6.127:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=15^{\circ}$)..	124
Şekil 6.128:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=20^{\circ}$)..	124
Şekil 6.129:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=25^{\circ}$)..	125
Şekil 6.130:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=30^{\circ}$)..	125
Şekil 6.131:	Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=0^{\circ}$).....	126
Şekil 6.132:	Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=5^{\circ}$).....	126
Şekil 6.133:	Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=10^{\circ}$).....	127
Şekil 6.134:	Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=15^{\circ}$).....	127
Şekil 6.135:	Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=20^{\circ}$).....	128
Şekil 6.136:	Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=25^{\circ}$).....	128
Şekil 6.137:	Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=30^{\circ}$).....	129
Şekil 6.138:	Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=0^{\circ}$).....	130
Şekil 6.139:	Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=5^{\circ}$).....	130
Şekil 6.140:	Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=10^{\circ}$).....	131

Şekil 6.141:	Durum-1 için SO _x yayılımı ($\psi=15^0$).....	131
Şekil 6.142:	Durum-1 için SO _x yayılımı ($\psi=20^0$).....	132
Şekil 6.143:	Durum-1 için SO _x yayılımı ($\psi=25^0$).....	132
Şekil 6.144:	Durum-1 için SO _x yayılımı ($\psi=30^0$).....	133
Şekil 6.145:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı ($\psi=0^0$).....	133
Şekil 6.146:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı ($\psi=5^0$).....	134
Şekil 6.147:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı ($\psi=10^0$).....	134
Şekil 6.148:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı ($\psi=15^0$).....	135
Şekil 6.149:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı ($\psi=20^0$).....	135
Şekil 6.150:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı ($\psi=25^0$).....	136
Şekil 6.151:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı ($\psi=30^0$).....	136
Şekil 6.152:	Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=0^0$).....	137
Şekil 6.153:	Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=5^0$).....	137
Şekil 6.154:	Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=10^0$).....	138
Şekil 6.155:	Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=15^0$).....	138
Şekil 6.156:	Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=20^0$).....	139
Şekil 6.157:	Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=25^0$).....	139
Şekil 6.158:	Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=30^0$).....	140
Şekil 6.159:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=0^0$)...	141
Şekil 6.160:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=5^0$)....	141
Şekil 6.161:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=10^0$)..	142
Şekil 6.162:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=15^0$)..	142
Şekil 6.163:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=20^0$)..	143
Şekil 6.164:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=25^0$)..	143
Şekil 6.165:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=30^0$)..	144
Şekil 6.166:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=0^0$).....	145
Şekil 6.167:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=5^0$).....	145
Şekil 6.168:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=10^0$).....	146
Şekil 6.169:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=15^0$).....	146
Şekil 6.170:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=20^0$).....	147
Şekil6.171a:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	147
Şekil6.171b:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	148
Şekil7.172a:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	148
Şekil6.172b:	Durum-3 için NO _x yayılımı ($\psi=0^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	149
Şekil 6.173:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=0^0$).....	150
Şekil 6.174:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=5^0$).....	150
Şekil 6.175:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=10^0$).....	151
Şekil 6.176:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=15^0$).....	151
Şekil 6.177:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=20^0$).....	152
Şekil6.178a:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüm).....	152
Şekil6.178b:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüm).....	153
Şekil6.179a:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüm).....	153

Şekil6.179b:	Durum-3 için SO _x yayılımı ($\psi=30^0$) (Sancak Bordadan Görünüm).....	154
Şekil 6.180:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=0^0$).....	155
Şekil 6.181:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=5^0$).....	155
Şekil 6.182:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=10^0$).....	156
Şekil 6.183:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=15^0$).....	156
Şekil 6.184:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=20^0$).....	157
Şekil6.185a:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüm).....	157
Şekil6.185b:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüm).....	158
Şekil6.186a:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüm).....	158
Şekil6.186b:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı ($\psi=30^0$) (Sancak Bordadan Görünüm).....	159
Şekil 6.187:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=0^0$).....	160
Şekil 6.188:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=5^0$).....	160
Şekil 6.189:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=10^0$).....	161
Şekil 6.190:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=15^0$).....	161
Şekil 6.191:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=20^0$).....	162
Şekil6.192a:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüm).....	162
Şekil6.192b:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüm).....	163
Şekil6.193a:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüm).....	163
Şekil7.193b:	Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=30^0$) (Sancak Bordadan Görünüm).....	164
Şekil 6.194:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=0^0$)....	165
Şekil 6.195:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=5^0$)....	165
Şekil 6.196:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=10^0$)..	166
Şekil 6.197:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=15^0$)..	166
Şekil 6.198:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=20^0$)..	167
Şekil 6.199:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=25^0$)..	167
Şekil 6.200:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı ($\psi=30^0$)..	168
Şekil 6.201:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=0^0$).....	169
Şekil 6.202:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=5^0$).....	169
Şekil 6.203:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=10^0$).....	170
Şekil 6.204:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=15^0$).....	170
Şekil 6.205:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=20^0$).....	171
Şekil6.206a:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	171
Şekil6.206b:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	172
Şekil6.207a:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	172
Şekil6.207b:	Durum-4 için NO _x yayılımı ($\psi=30^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	173
Şekil 6.208:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=0^0$).....	174
Şekil 6.209:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=5^0$).....	174

Şekil 6.210:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=10^0$).....	175
Şekil 6.211:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=15^0$).....	175
Şekil 6.212:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=20^0$).....	176
Şekil6.213a:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	176
Şekil6.213b:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	177
Şekil6.214a:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	177
Şekil6.214b:	Durum-4 için SO _x yayılımı ($\psi=30^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	178
Şekil 6.215:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=0^0$).....	179
Şekil 6.216:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=5^0$).....	179
Şekil 6.217:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=10^0$).....	180
Şekil 6.218:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=15^0$).....	180
Şekil 6.219:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=20^0$).....	181
Şekil6.220a:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=25^0$) (İskeleBordadan Görünüş).....	181
Şekil6.220b:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	182
Şekil6.221a:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=30^0$) (İskeleBordadan Görünüş).....	182
Şekil6.221b:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı ($\psi=30^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	183
Şekil 6.222:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=0^0$).....	184
Şekil 6.223:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=5^0$).....	184
Şekil 6.224:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=10^0$).....	185
Şekil 6.225:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=15^0$).....	185
Şekil 6.226:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=20^0$).....	186
Şekil6.227a:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	186
Şekil6.227b:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).....	187
Şekil6.228:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüş).....	187
Şekil 6.229:	Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=30^0$) (Sancak bordadan görünüş).....	188
Şekil 6.230:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca Geometrisi).....	190
Şekil 6.231:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Düz Baca Geometrisi).....	190
Şekil 6.232:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Sancak-İskele Baş-Kıç Eğimli Baca Geometrisi).....	191
Şekil 6.233:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca Geometrisi).....	191
Şekil 6.234:	Durum-1 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Parampetli Baca Geometrisi).....	192
Şekil 6.235:	Durum-1 için NO _x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	193
Şekil 6.236:	Durum-1 için NO _x yayılımı (Düz Baca).....	193

Şekil 6.237:	Durum-1 için NO _x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	194
Şekil 6.238:	Durum-1 için NO _x yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca).....	194
Şekil 6.239:	Durum-1 için NO _x yayılımı (Parampetli Baca).....	195
Şekil 6.240:	Durum-1 için SO _x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	196
Şekil 6.241:	Durum-1 için SO _x yayılımı (Düz Baca).....	196
Şekil 6.242:	Durum-1 için SO _x yayılımı (Sancak-İskele Baş-Kıç Eğimli Baca).....	197
Şekil 6.243:	Durum-1 için SO _x yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca) ...	197
Şekil 6.244:	Durum-1 için SO _x yayılımı (Parampetli Baca).....	198
Şekil 6.245:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca)	199
Şekil 6.246:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (Düz Baca)	199
Şekil 6.247:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca	200
Şekil 6.248:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca) ..	200
Şekil 6.249:	Durum-1 için CO ₂ yayılımı (Parampetli Baca).....	201
Şekil 6.250:	Durum-1 için CO yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	202
Şekil 6.251:	Durum-1 için CO yayılımı (Düz Baca).....	202
Şekil 6.252:	Durum-1 için CO yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca)	203
Şekil 6.253:	Durum-1 için CO yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca)....	203
Şekil 6.254:	Durum-1 için CO yayılımı (Parampetli Baca).....	204
Şekil 6.255:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	205
Şekil 6.256:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Düz Baca)	205
Şekil 6.257:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Sancak-İskele veBaş-Kıç Eğimli Baca).....	206
Şekil 6.258:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca).....	206
Şekil 6.259:	Durum-3 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Parampetli Baca).....	207
Şekil 6.260:	Durum-3 için NO _x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	208
Şekil 6.261:	Durum-3 için NO _x yayılımı (Düz Baca).....	208
Şekil 6.262:	Durum-3 için NO _x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca)	209
Şekil 6.263:	Durum-3 için NO _x yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca)....	209
Şekil 6.264:	Durum-3 için NO _x yayılımı (Parampetli Baca).....	210
Şekil 6.265:	Durum-3 için SO _x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	211
Şekil 6.266:	Durum-3 için SO _x yayılımı (Düz Baca).....	211
Şekil 6.267:	Durum-3 için SO _x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	212
Şekil 6.268:	Durum-3 için SO _x yayılımı (Sancak Eğimli Baca).....	212
Şekil 6.269:	Durum-3 için SO _x yayılımı (Parampetli Baca).....	213
Şekil 6.270:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	214
Şekil 6.271:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı (Düz Baca).....	214
Şekil 6.272:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	215

Şekil 6.273:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı (Sancak Eğimli Baca).....	215
Şekil 6.274:	Durum-3 için CO ₂ yayılımı (Parampetli Baca).....	216
Şekil 6.275:	Durum-3 için CO yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	217
Şekil 6.276:	Durum-3 için CO yayılımı (Düz Baca).....	217
Şekil 6.277:	Durum-3 için CO yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca)	218
Şekil 6.278:	Durum-3 için CO yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca).....	218
Şekil 6.279:	Durum-3 için CO yayılımı (Parampetli Baca).....	219
Şekil 6.280:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	220
Şekil 6.281:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Düz Baca).....	221
Şekil 6.282:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	221
Şekil 6.283:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca).....	222
Şekil 6.284:	Durum-4 için Egzoz Gazlarının Sıcaklık Dağılımı (Parampetli Baca. Geometrisi).....	223
Şekil 6.285:	Durum-4 için NO _x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	223
Şekil 6.286:	Durum-4 için NO _x yayılımı (Düz Baca).....	224
Şekil 6.287:	Durum-4 için NO _x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	224
Şekil 6.288:	Durum-4 için NO _x yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca)....	225
Şekil 6.289:	Durum-4 için NO _x yayılımı (Parampetli Baca).....	226
Şekil 6.290:	Durum-4 için SO _x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	226
Şekil 6.291:	Durum-4 için SO _x yayılımı (Düz Baca).....	227
Şekil 6.292:	Durum-4 için SO _x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	227
Şekil 6.293:	Durum-4 için SO _x yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca)....	228
Şekil 6.294:	Durum-4 için SO _x yayılımı (Parampetli Baca).....	228
Şekil 6.295:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	229
Şekil 6.296:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı (Düz Baca).....	229
Şekil 6.297:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	230
Şekil 6.298:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca)....	230
Şekil 6.299:	Durum-4 için CO ₂ yayılımı (Parampetli Baca).....	231
Şekil 6.300:	Durum-4 için CO yayılımı (Baş-Kıç Eğimli Baca).....	232
Şekil 6.301:	Durum-4 için CO yayılımı (Düz Baca).....	232
Şekil 6.302:	Durum-4 için CO yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli Baca).....	233
Şekil.6.303:	Durum-4 için CO yayılımı (Sancak-İskele Eğimli Baca)....	233
Şekil 6.304:	Durum-4 için CO yayılımı (Parampetli Baca).....	234
Şekil 6.305:	Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri yol (Analitik Çözüm Sonuçları).....	236
Şekil 6.306:	Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri Yol (Sayısal Sonuçlar).....	237
Şekil 6.307:	Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri Yol- Sayısal ve Analitik Sonuçların Karşılaştırması.....	237

SEMBOL LİSTESİ

a	: Ses hızı (m/s)
α, β, C_μ	: Sabit sayılar
C_p	: Özgül ısı kapasitesi ($\text{m}^2/\text{s}^2 \text{ K}$)
β	: Isıl genleşme katsayısı
d	: Yoğunluk oranı
ε	: Türbülans kinetik enerji yayılımı (m^2/s^3)
f	: Coriolis frekansı (rad/s)
Fr_u	: Densimetrik Froude sayısı
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
Gr	: Grashof sayısı
k	: Isıl iletim katsayısı
k	: Türbülans Kinetik Enerjisi (m^2/s^2)
K	: Hız Oranı (V_e/V_w), (V_s/V_w)
l	: Uzunluk Ölçeği (m)
L	: Model uzunluğu/Karakteristik Uzunluk (m)
L_m	: Momentun uzunluk ölçeği
L_b	: Buoyancy uzunluk ölçeği
Ma	: Mach sayısı
P	: Türbülans enerjisi üretimi
Pe	: Peclet sayısı
Re	: Reynolds sayısı
Ri	: Richardson sayısı
R_i	: Y_i formasyon oranı
Ro	: Rosby sayısı
R_s	: Baca yarıçapı (m)
T_s	: Egzoz çıkış sıcaklığı (^0C)
T_∞	: Rüzgar sıcaklığı (^0C)
T_i	: Türbülans Şiddeti
U	: Geminin seyir hızı (m/s)
U_{ref}	: Referans Ortalama Hız (m/s)
V_{wind}	: Rüzgar hızı (m/s)
V_e, V_s	: Egzoz çıkış hızı (m/s)
V_w	: Rüzgar tüneli giriş hızı (m/s)
V_{ship}	: Gemi hızı (m/s)
Y_i	: Her bir i karışımı için Kütle Akısı
X	: Baca merkezinden yatay mesafe (m)
v	: Kinematik viskozite (m^2/s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
μ	: Dinamik Viskozite ($\text{N.s}/\text{m}^2$)
Γ	: Difüzyon katsayısı
μ_{eff}	: Efektif viskozite ($\text{N.s}/\text{m}^2$)
μ_t	: Türbülans viskozitesi ($\text{N.s}/\text{m}^2$)

Ψ	: Sapma açısı (Bağıl rüzgarın gemi pruvası ile yaptığı açı) ($^{\circ}$)
δ	: Kaldırma kuvveti oranı
Ω	: Açısal frekans (rad/s)
Φ	: Enlem
α	: Isıl yayılma katsayısı

SAVAŞ GEMİLERİNDE EGZOZ GAZLARININ YAYILIMININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Savaş platformları olarak fırkateynler teknolojinin gelişmesiyle birlikte gittikçe karmaşık hale gelmişlerdir. Günümüz fırkateynlerindeki silah, sensör ve elektronik cihazların karmaşıklığı birden fazla radarın kullanımını ve birçok elektronik sensör ve cihazların gemi direğinde mümkün olduğu kadar yükseğe yerleştirilmesini gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, elektromanyetik karışma (EMI) ve elektromanyetik uyumluluk (EMC) problemleri nedeni ile üst binada bulunan çok sayıdaki silah ve elektronik sistemlerin birbirlerinden ayrı yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, modern fırkateynlerin üst binalarında silah ve ilgili elektronik sistemlerin belli mesafede yerleştirilmesi için en az iki direk bulunmaktadır. Bu nedenlerle, baca dizaynı, üst yapı yerleşimi ve egzoz gazları ile üst yapı arasındaki etkileşimin her zaman değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bacadan çıkan egzoz gazları içinde partiküler, CO₂, CO, SO_x ve NO_x gibi insan sağlığını, konforunu ve çevreyi etkileyen zararlı emisyonlar mevcuttur. Egzoz gazlarının güverteye düşüşü, baca gazlarının yukarıya yönelmesinden daha hızlı bir şekilde güverteye ve helikopter platformuna doğru dağılmasına sebep olmaktadır. Bu egzoz gazlarının ana ve yardımcı makina girişlerinden ve geminin havalandırma sisteminden emilmesi ve bunlara ek olarak yüksek sıcaklıkların üst binadaki elektronik cihazları etkilemesi ile dumanın helikopter hareketini etkilemesi gibi bir çok ters etkileri bulunmaktadır. Egzoz gazlarının hareketlerinin bilinmesi gemilerin dizaynındaki çok önemli bir konudur ve gemi aerodinamiği ile ilgilidir. Ancak aerodinamiğin bu uygulanması gemi dizaynında öncelik olarak görülmemektedir. Sonuç olarak dumanın güverteye düşüş problemi çok geç aşamalarda, genellikle gemi yapıldıktan sonra seyir tecrübeleri sırasında veya geminin teslimi sırasında anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu durum fırkateynin denize inişi ve teslimi arasında üst bina konfigürasyonunun değiştirilmesi gibi zorunlu ve yüksek maliyetli problemlerin kaçınılmaz olmasına sebep olmaktadır.

Diğer taraftan, askeri teknolojilerdeki gelişmelerin de bir sonucu olarak egzoz gaz yayılımı ve baca dizaynı, radar kesit alanı (RKA) ve kızılötesi iz açısından da çok önemli bir duruma gelmiştir. Çünkü egzoz gazlarının sıcaklık yayılımı kızıl ötesi iz ile kuvvetli bir şekilde birbirine bağlıdır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklar radar kulesi ve güverte üzerindeki genelde yüksek sıcaklığa hassas cihazlar ve sensörler için zararlı olabilmektedir.

Bütün bu sebeplerden dolayı egzoz gazı içindeki zararlı gazların ve sıcaklığın yayılımının bilinmesi özellikle helikopter harekâtı yapan savaş gemilerinde geminin formunun dizayn edildiği anda göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerden birisidir. Gemi bacasından yayılan egzoz gaz izinin tahmin edilmesi, olayın, rüzgar hızı ve yönü, türbülans seviyesi, geminin üst bina geometrisi, gazlar akış hızı gibi birçok parametreye bağlı olmasından dolayı oldukça karmaşıktır. Bu

kapsamda hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak yapılan analizler, bilgisayar ve simülasyon teknolojisindeki gelişmeler karmaşık olan geometrilerin modellenmesinin ve modelin içindeki akış analizinin kolaylıkla yapılabildiğini göstermiştir.

Bu doktora çalışmasında öncelikle 1/100 ölçekli tipik fırkateyn üç boyutlu sayısal ve deneysel olarak modellenmiştir. Sayısal ve deneysel çalışmada kullanılan modelde geminin ileri ve tornistan hareketinde egzoz gazlarından etkilenebilecek ana direk ve üzerindeki elektronik cihazlar, dümenevi, radar domu ve geminin üst güvertesindeki Sea Zenit silah sistemi bulunmaktadır. Bahse konu fırkateynin seçilmesinin sebebi helikopter platformuna sahip olması, baca etrafında egzoz gazı sıcaklığından etkilenebilecek elektronik sistemler bulunmasıdır. Daha sonra seçilen fırkateynin 1/100 ölçekli ahşap modeli akım görüntüleme deneylerinde kullanılmak üzere imal edilmiştir. Ahşap model Eiffel türü açık devre sesaltı rüzgâr tüneline yerleştirilerek yapılan akım görüntüleme deneylerinde ileri ve tornistan yolda hız oranının, sapma açısının ve farklı baca geometrilerinin egzoz gaz yayılımına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar sayısal sonuçların doğruluğunu göstermek amacıyla kullanılmıştır.

Rüzgâr tüneli çalışmalarında gerçek durumlarda karşılaşılan tüm çalışma/seyir koşullarını modellemek zor ve ekonomik değildir. Bu yüzden hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD)'nin kullanımı, gemilerin dizayn aşaması öncesi karşılaşılabilecek tüm şartların modellenmesine ve ayrıntılı sonuçlar elde edilmesine olanak sağladığından faydalı bir araçtır. Egzoz gazları ve gemi üst yapısı arasındaki etkileşimi belirleyebilmek için üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak çözülmüştür. Ağdan bağımsız çözüm elde edebilmek amacıyla ağ sıklığı değiştirilerek elde edilen sayısal model sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların değişmediği ağ sıklığı seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. 1/100 ölçekli sayısal model ile deneysel çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sayısal modelleme sonuçlarının doğruluğu gösterilmiştir.

Daha sonra gerçek boyutlardaki tipik fırkateyn modeli için tüm seyir şartlarında egzoz gazlarının yayılımı sayısal olarak modellenmiştir. Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateynin tüm seyir şartları için ileri ve tornistan yolda hız oranı, baca geometrisi, egzoz gaz sıcaklığı ve sapma açısı değişimlerinin egzoz gaz yayılımına olan etkileri sayısal olarak modellenmiş ve sayısal modelleme sonuçları sunulup tartışılmıştır.

Gerçek seyir şartlarında egzoz gazlarının yayılımının sayısal ve deneysel olarak incelendiği bu çalışmada, hız oranının, egzoz gazlarının helikopter platformuna düşmesi probleminde en büyük faktör olduğu, bu düşüş miktarının ise baca geometrisi ve sapma açısı ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Hız oranının artması ile bacadan çıkan egzoz gazlarının momentumu artmaktadır. Bu nedenle egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla hız oranının mümkün olduğu ölçüde arttırılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Fırkateyn seyir halinde iken yaptığı manevraya bağlı olarak geminin pruvası ile rüzgâr yönü seyir şartlarına göre sürekli değişmektedir. Bu değişim kapsamında sapma açısının egzoz gazlarının yayılımına etkisi incelendiğinde, $\Psi=0^0$ - $\Psi=30^0$ arasında egzoz gazlarının helikopter platformu üzerine düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle $10^0<\Psi<30^0$ gemi arkasında oluşan türbülans nedeniyle egzoz gazlarının

yayılımının düzensizleştiği ve helikopter platformuna düştüğü ve dolayısıyla egzoz gazlarının insan sağlığına olumsuz etkilerinin gerçekleşebileceği tespit edilmiştir.

Gemideki makine yüküne bağlı olarak değişen egzoz gaz sıcaklıklarının, egzoz gazlarının yayılımına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Fırkateyn bacasından çıkan egzoz gaz sıcaklıklarının 100⁰C ile 500⁰C arasında değiştiği durumlar ele alınmıştır. Bu şartlar altında elde edilen sonuçlara göre; egzoz çıkış sıcaklığı arttığında egzoz emisyonlarının (NO_x SO_x,CO ve CO₂) gaz konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı ve düşük hız oranları için özellikle NO_x gazının helikopter platformuna doğru yönlendiği, ancak genel olarak egzoz gaz sıcaklığının egzoz gaz yayılımına büyük bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Gerçek ölçekli fırkateyn modelinde kullanmak üzere tasarlanan yükseklikleri ve geometrileri farklı 5 (beş) baca modelinin egzoz gaz yayılımına etkileri incelendiğinde baca geometrisinin özellikle geminin dizayn aşamasında göz önünde bulundurulması gerekli parametrelerden biri olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda yapılan sayısal modelleme için en ideal baca geometrisinin baca çıkışında muhafaza bulunan parametli baca olduğu değerlendirilmektedir.

Ayrıca gemi seyir halindeyken üst binada bulunan sabit elektronik/savaş sistemleri, ana direk ve baca geometrisi gibi rüzgara karşı duran cisimlerin arkalarında oluşan türbülans da bacadan çıkan egzoz gazlarının olumsuz etkilerini arttırmaktadır. Bu kapsamda özellikle helikopter platformuna sahip savaş gemilerinde dizayn safhasında dikkat edilmesi gereken parametreler üzerinde detaylı olarak çalışma yapılması ve bu çalışma sonuçlarına göre baca geometrisi ile üst bina yerleşiminin belirlenmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

AN EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF EXHAUST SMOKE DISPERSION ON NAVAL SHIPS

SUMMARY

With the advancement of technology over the years, the naval ship as a fighting platform has become increasingly sophisticated. The sophistication of the weapons and sensors of present day naval ships requires that more than one radar and a number of electronic sensors/equipment be mounted on the mast – as high as possible. In addition, the large number of weapon electronics required topside lead to their electromagnetic interference and electromagnetic compatibility problems that require them to be separated from each other. As a result, modern naval ships have at least two masts on the superstructure to house a range of weapons and the associated electronic equipment. Because of all these considerations, funnel design, superstructure layout and smoke-superstructure interaction have to be evaluated all the time.

The exhaust smoke from the ship stack includes harmful emissions such as CO₂, CO, SO_x, NO_x and PM which affect human health, comfort and environment. The downwash of exhaust causes funnel gases to dissipate downward toward the deck more rapidly than upward. This has many adverse consequences like the sucking of hot exhaust into the main engine intake and the ship's ventilation system in addition to high temperature contamination of topside electronic equipment and interference of the smoke with helicopter operations. Understanding of the exhaust smoke behavior is so important an aspect of ship design that falls under the category of ship aerodynamics. However, this application of aerodynamics is not recognized a priori in the design of ships. Consequently, the smoke nuisance problem gets detected at a very late stage, often post construction, during the sea trials or even post delivery. Modifications to the topside configuration and the imperative and costly troubleshooting between the launch and delivery of such a vessel become inevitable.

On the other hand, the distribution of exhaust gas emission and stack design have become really crucial circumstances regarding infrared signature and radar cross-section (RCS) as a result of the developments of military technologies. Because the temperature distribution of the exhaust gases is firmly connected with infrared (IR) signature. In the mean time, this high exhaust temperature can be detrimental for radar tower and the sensor devices which have generally temperature precision.

For all these reasons, prediction of the distribution of exhaust temperature and the harmful exhaust emissions is the most important parameter in naval ships which have helicopter platform during the design phase. The prediction of flow path of exhaust plume from the ship funnels is extremely complicated since the phenomenon is affected by a huge number of parameters like wind velocity and direction, level of turbulence, geometry of structure on ship's deck, efflux velocity of smoke etc. In this content, the analysis and developments in the simulation and computer technologies,

which have been done by using numerical fluid dynamic, shows that modeling the complex geometries and flow analysis can be performed successfully.

In this PhD thesis, remaining parts of the 1/100 scaled generic frigate has been modeled as a three-dimensional experimentally and numerically. There are main mast, electronic devices, bridge, radar dom and Sea Zenit weapon system on the upper deck. The forward and astern movements of the ship are also considered in both experimental and numerical study. The reason for choosing the mentioned frigate is that the ship has a helicopter platform, electronic and weapon systems which can be affected from the exhaust gas temperature. 1/100 scaled wooden model of the frigate has been produced. In flow visualization experiments, the effects of the velocity ratio in forward/astern cruise, yaw angle and different stack geometries on exhaust gas dispersion have been investigated. Then results have been used to validate the numerical results.

Modeling of all running/cruise conditions in the real world is not always possible and economical in wind tunnel studies. Because of that reason, the numerical fluid dynamics is a really beneficial tool to simulate all conditions and to study the details of the smoke nuisance problem before the design phase. In order to define the exhaust smoke-superstructure interaction for a generic frigate, three-dimensional continuity, momentum, energy, species transport and turbulence equations are solved by using finite volume method. In order to obtain grid independent solution, the calculations were carried out for different grid sizes. The results obtained for 1/100 scaled model are compared with the experimental results for validation of the numerical results.

Furthermore, exhaust gas dispersion of the full size generic frigate has been modeled numerically in the real cruise conditions. The effects of velocity ratio, different stack geometry, exhaust gas temperature and yaw angle were shown for the real cruise conditions.

The results show that velocity ratio is the important factor for the exhaust smoke nuisance problem. Furthermore, the stack geometry and yaw angle have also significant effects on the downwash problem. The momentum of exhaust gases from the stack increase with the velocity ratio. Therefore, the velocity ratio should be high enough not to have downwash problem.

During the experimental and numerical studies, the effect of angle (Yaw angle) between wind direction and bow of the ship on the exhaust smoke dispersion has been investigated. The downwash problem occurs for the yaw angles between $\Psi=0^{\circ}$ and $\Psi=30^{\circ}$. For the yaw angle especially between $\Psi=10^{\circ}$ and $\Psi=30^{\circ}$, the dispersion of the exhaust gases is affected strongly by the turbulence in the frigate astern. These results show that human health, electronic and weapon systems can be affected by the exhaust gases adversely.

The effect of exhaust gas temperature on the dispersion of the exhaust gases has also been investigated numerically. The temperatures between 100°C and 500°C are considered. The results show that the volume fractions of the exhaust emissions as NO_x , CO_2 , CO , SO_x decrease with the exhaust gas temperature increase. For the low velocity ratios, the downwash problem occurs and the exhaust gases rich in NO_x emissions flow near to the deck. But in general, it can be said that the exhaust gas temperature has no significant effect on the dispersion of the exhaust gases.

Five different stack geometries for the full size frigate were studied numerically. The effects of these stacks on exhaust gas dispersion were investigated in full size frigate model. Stack geometry is the most important design parameter especially in the design phase of the naval ships. The results show that the best stack geometry is the stack with bulwark which has openings around it.

The upper deck of the frigates may have different electronic/warfare systems, masts and different shaped stacks. There is a turbulence zone after these bodies and this zone affects the exhaust smoke dispersion adversely. In this scope, it is crucial that detail investigations regarding the parameters which affect the exhaust smoke dispersion have to be carried out especially in the naval ship with a helicopter platform. Stack configuration and ship's upper deck configuration have to be defined according to the results of these numerical and experimental investigations.

1. GİRİŞ

Bu global ekonomi ve bilgi çağında daha büyük, daha hızlı ve çok daha karmaşık gemilere ihtiyaç olduğu aşikardır. Bunun bir sonucu olarak ortaya çıkan kirlilik ve ısıdan kaynaklı zararları kontrol etmek maksadıyla gemilerin bacaları için daha dikkatli dizayn standartları üretme gerekliliği mevcuttur. Gemi bacalarından çıkan zararlı egzoz gazlarının dünya çapındaki şirketler ve devletlerce ciddi anlamda kurallara bağlanması şarttır.

Bacadan çıkan egzoz gazları içinde partiküller, CO₂, CO, SO_x ve NO_x gibi insan sağlığını, konforunu ve çevreyi etkileyen zararlı emisyonlar vardır. Seyir halindeki gemilerde bacadan çıkan zararlı gazlar ve baca gazının çok yüksek sıcaklığı, güverte üzerinde bulunan elektronik cihazları, makinelerin hava emişlerini, helikopter hareketi yapan savaş gemilerinde helikopterin iniş kalkış hareketini ve güverte üzerinde bulunan gemi personelinin sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bununla beraber askeri teknolojilerdeki gelişmelerin de bir sonucu olarak egzoz gaz yayılımı ve baca dizaynı, radar kesit alanı ve kızılötesi iz açısından çok önemli bir duruma gelmiştir. Çünkü egzoz gazlarının sıcaklık yayılımı kızıl ötesi iz ile kuvvetli bir şekilde birbirine bağlıdır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklar radar kulesi ve güverte üzerindeki genelde yüksek sıcaklığa hassas cihazlar ve sensörler için zararlı olabilmektedir.

Bütün bu sebeplerden dolayı egzoz gazı içindeki zararlı gazların ve sıcaklığın yayılımının bilinmesi özellikle helikopter hareketi yapan savaş gemilerinde geminin formunun dizayn edildiği anda göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerden birisidir. Ancak günümüzde geminin dizayn aşamasında bu probleme gerektiği kadar önem verilmemektedir. Genelde, egzoz gazlarının güverteye düştüğü, hava emiş kanallarına girdiği, helikopter hareketini etkilediği ve bacadan çıkan gazların sıcaklıklarının elektronik cihazlara büyük zararlar verdiği son donatım aşamasında, deniz kabul tecrübelerinde veya teslim sırasında tespit edilebilmektedir. Bu geç tespit ise üst bina yerleşiminin değiştirilmesi, baca

modelinin değiştirilmesi gibi çok maliyetli ve problemli düzenlemelerin yapılması sonucunu ortaya çıkarabilmektedir. Gemilerin egzoz gaz yayılımlarının belirlenmesi konusu önemini her geçen gün arttırmakta, gemi teslim aşamasında büyük maliyetlerin ortaya çıkmaması için geminin n dizayn aşamasında farklı çalışma/seyir koşulları altında egzoz gazlarının yayılımının ve izinin bilinmesi ve bunun kullanması çok önemli olmaktadır.

Bu kapsamda değerlendirilirse, bir geminin baca dizaynı 1970’li yıllardan beri araştırma konusu olmuş, literatrede gemi üzerinde oluşan hava akımının etkilerinin ve gemilerde egzoz gaz dağılımının incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [1-36]. Ancak özellikle helikopter platformuna sahip savaş gemilerinin egzoz gazı yayılımı, egzoz gazlarının kızılötesi ize etkileri ve egzoz gazlarının sıcaklık bakımından st binada bulunan sistemlere ve helikopter harektına etkilerini içeren detaylı olarak hazırlanmış bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu doktora çalışmasında amaç helikopter platformuna sahip tipik bir savaş gemisi için egzoz gaz yayılımını sayısal ve deneysel olarak modellemektir. Bu kapsamda literatürdeki gemi baca dizaynları, egzoz gazlarının yayılımı, seyir halindeki gemilerde gemi formundan dolayı oluşan hava akımı ve bunun helikopter iniş kalkışına etkileri, akım görüntüleme deneyleri detaylı olarak incelenmiştir. nceki yapılan alışmalar Bölüm 2’de özetlenmiş olup; savaş gemileri için egzoz gaz yayılımını inceleyen kapsamlı çalışmaların kısıtlı olduğu grlmştir. Tüm alışmalar detaylı olarak incelendiğinde bu konuda, gemilerin tornistan yolda iken sayısal ve deneysel modellemelerinin yapılmadığı, sıcaklık farkının yarattığı kaldırma kuvveti (buoyancy effect)’nin egzoz gaz yayılımına olan etkilerinin kapsamlı bir şekilde incelenmediği, helikopter platformuna sahip savaş gemilerinde egzoz gaz yayılımı dışında egzoz emisyonlarının yayılımının incelenmediği grlmştir. Bu nedenle yapılan çalışmanın literatürdeki bu eksiklikleri tamamlayabileceği, kattığı yeni bilgilerle gemilerde daha iyi baca dizaynlarının yapılmasına imkan tanıyacağı, baca dizaynının n dizayn aşamasında ele alınmasının önemini vurgulayacağı düşünülmektedir.

Daha sonra deneysel ve sayısal çalışmada kullanılacak, helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn belirlenerek geminin fiziksel özellikleri incelenmiştir. (Gemi boyutları, ana ve yardımcı makineler, st bina yapısı ve baca karakteristikleri vb.) Seçilen fırkateynin tahrik sistemi dört ana dizel motordan oluşan birleşik CODAD

sistemidir. Fırkateynin tam boyu 110 m, genişliği 14.2 m ve su çekimi 4.1 m olup, savaş gemisinde helikopter hareketına imkan sağlayan helikopter platformu bulunmaktadır. Deneysel çalışmada egzoz gazlarının yayılımı, rüzgar tüneline yerleştirilen 1/100 ölçekli fırkateyn modeli ve akım görüntüleme teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Belirlenen 1/100 ölçekli ahşap fırkateyn modeli ve rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde kullanılacak farklı geometrilere sahip beş baca yaptırılmıştır. Akım görüntüleme deneylerinde yaptırılan bu 1/100 ölçekli ahşap model ve bacalar kullanılmıştır. Akım görüntüleme deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Fakültesi Trisonik Laboratuvarında bulunan boyutları itibarı ile ölçekli model üzerinde duvar etkisi yaratmayacak bir rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada 1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn modeli sesaltı rüzgar tüneline yerleştirilerek, akım görüntüleme deneyleri yapılmıştır. Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde değişken parametre olarak beş farklı baca modeli, geminin pruvası ile rüzgarın nispi yönünden oluşan dört farklı sapma açısı, $\Psi=0^0$, 10^0 , 20^0 ve tornistan ile gemi bacasından çıkan egzoz gazlarının hızının rüzgar tüneline giriş hızına oranından oluşan beş farklı hız oranı, $K=\infty$, 0.135, 0.203, 0.407 ve 0.815 gözönüne alınmıştır. 1/100 ölçekli fırkateyn modelinin bacasından çıkan egzozu simüle etmek maksadıyla kullanılan duman üreticinin hızı sabit olup; rüzgar tüneline giriş hızı değişkendir. Bahsedilen değişkenlerin egzoz gazlarının yayılımına etkisi deneysel olarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar sayısal modelleme sonuçlarının doğruluğunun gösterilmesinde kullanılmıştır.

Rüzgar tüneline yapılan akım görüntüleme deneylerinde baca modellerinden düz baca modeli kullanıldığında ve hız oranı azaltıldığında egzoz gazının helikopter platformunun üzerine düşme eğilimi gösterdiği ve bu etkiden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkan gazların momentumlarının yükseltilerek, baca gazlarının helikopter platformuna düşmesinin engellenebildiği tespit edilmiştir. Benzer bir şekilde rüzgar tüneline deneyleri gemi tornistan yolda iken de yapılmıştır. Tornistan yolda hız oranının artışı azda olsa baca gazlarının yükselmesine sebep olmaktadır. Sabit baca geometrisi kullanılarak, sabit hız oranında ($K=0.815$), geminin yönünün kademeli olarak değiştirildiği rüzgar tüneline deneyleri sonucunda, sapma açısı 0^0 'den 20^0 'ye değiştikçe egzoz gazlarının helikopter platformuna doğru yönlendiği tespit edilmiştir. Sabit hız oranı ($K=0.815$) ve sapma açısı ($\Psi = 0^0$) için deneysel çalışmada kullanılan farklı iki baca geometrisinin etkisi incelendiğinde 1/100 ölçekli gemi modeli için

deneysel çalışmada baca geometrisinin egzoz gazlarının yayılımına etkisi net olarak anlaşılamadığı tespit edilmiştir. Akım görüntüleme deneylerinin detayları Bölüm 3’de, elde edilen deneysel sonuçlar ise Bölüm 5’de açıklanmıştır.

Sayısal çalışmada ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılmış olup çalışma öncesi ağ sıklığının elde edilen sonuçlara etkisi incelenmiştir. Modelin ağ sıklığı arttırılarak sonuçların değişmediği ağ büyüklüğü seçilmiştir. 1/100 ölçekli fırkateyn modeli akım görüntüleme deneylerinde kullanılan rüzgar tüneli boyutlarında oluşturulan dikdörtgenler prizmasının içine yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmadaki sınır şartları kullanılarak aynı değişken parametreler (Hız oranı, sapma açısı ve baca geometrisi) için sonuçların değişmediği ağ büyüklüğünde sayısal modelleme yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda ağ büyüklüğünden bağımsız olarak yapılan sayısal çalışma sonuçlarının akım görüntüleme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar ile uyum sağladığı görülmüştür.

Sayısal çalışmanın deneysel sonuçlarla karşılaştırılması sonrasında, gerçek boyutlardaki tipik fırkateyn modeli sayısal çalışma esnasında duvar etkisi yaratmayacak ölçülerdeki dikdörtgenler prizması içine yerleştirilerek sayısal modelleme yapılmıştır. Egzoz gazları ile fırkateyn üst binası arasındaki etkileşimi belirleyebilmek için üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu ile çözülmüştür. Ağ sistemi ise tetrahedral ve uyarlanırlı ağ sistemidir. Sayısal hesaplamalarda, baca çıkışında sabit hız ve sıcaklık sınır şartı, gemi yüzeyinde ve hesaplama alanının giriş ve çıkış hariç diğer yüzeylerinde duvar sınır şartı kullanılmıştır. Hesaplama alanının girişinde sabit hız ve sıcaklık, çıkışında ise basınç sınır şartı kullanılmıştır. Matematiksel modellemenin detayları Bölüm 4’de anlatılmıştır.

Gerçek boyutlarda helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için seyir şartlarındaki tüm durumlar gözönüne alınmıştır. Bu kapsamda fırkateyn seyir halinde (ileri/tornistan yolda) iken bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıkları ile hızları, geminin manevralarına bağlı olarak rüzgar hızı ile yönü değişmektedir. Bu kapsamda ileri ve tornistan yolda hız oranının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.272), sapma açısının ($\Psi=0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0$ ve 30^0), egzoz gaz sıcaklığının ($T_s=100^0C, 200^0 C, 300^0 C, 400^0 C$ ve $500^0 C$) ve boyutları ve geometrileri farklı beş bacanın, seçilen tipik fırkateyn bacasından çıkan egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı

ile egzoz emisyonlarına etkisi ve egzoz gazlarının gemi üst binası ile etkileşimi sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Yapılan sayısal çalışmada ileri yoldaki seyir durumunda hız oranı arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının artarak egzoz gazlarının helikopter platformundan uzaklaştığı ve sınır tabakanın üstüne çıkmakta olduğu, tornistan yolda ise benzer bir şekilde düşük hız oranlarının ana direk üzerinde bulunan elektronik sistemlere zarar verebileceği tespit edilmiştir. Farklı hız oranları için NO_x , SO_x , CO_2 ve CO emisyonlarının yayılımı incelendiği ise hız oranı arttıkça fırkateynin bacasından çıkan egzoz emisyonlarının hacimsel olarak kapladıkları hacmin arttığı görülmüştür. Hız oranı arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının yükseldiği ve egzoz emisyonlarının helikopter platformundan uzaklaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca sayısal modellemeye elde edilen sonuçlar analitik denklemler kullanılarak elde edilen sonuçlar ile de karşılaştırılmıştır. Analitik denklemler kullanıldığında da hız oranı artışının egzoz gazlarının yükselmesine sebep olduğu, analitik sonuçlar ile sayısal sonuçların birbirleriyle uyum içinde oldukları görülmüştür.

Egzoz gaz sıcaklıklarının, egzoz gazlarının yayılımına etkisi iki sabit hız oranı ($K=0.601$ ve $K=1.32$) için incelenmiştir. Düşük hız oranı ($K=0.601$) için egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının yayılımına çok fazla etkisinin olmadığı, yüksek hız oranı ($K=1.32$) için ise bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıklarının artışı ile egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. $K=0.601$ ve $K=1.32$ iken egzoz gazlarının sıcaklıklarının artışı ile NO_x , CO_2 , CO ve SO_x konsantrasyonlarının hacimsel olarak azaldığı görülmüştür. Ayrıca $K=0.601$ iken $T_s=100^\circ\text{C}$ ve $T_s=200^\circ\text{C}$ olduğu durumlarda tüm emisyonların, $K=1.32$ iken ise $T_s=100^\circ\text{C}$ olduğu durumda NO_x ve SO_x emisyonlarının seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

Sapma açısının egzoz gazlarının yayılımına etkisi üç farklı hız oranı ($K=0.601$, $K=1.32$, $K=2.772$) için incelenmiştir. Tüm hız oranları için sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=30^\circ$ ye arttıkça egzoz gazlarının helikopter platformu üzerine düştüğü görülmüştür. Özellikle $\Psi=10^\circ$ 'den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans nedeniyle egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz gazlarının insan sağlığına olumsuz etkilerinin gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Egzoz emisyonları açısından da aynı durum geçerlidir. Sapma açısı arttıkça gemi arkasında

oluşan türbülans nedeniyle yanma ürünlerinden insan sağlığına zararlı emisyonlarından NO_x , CO_2 , CO ve SO_x gazlarının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla gazlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ile karşılaşılabilceği görülmüştür.

Gerçek boyutlardaki fırkateyn modelinde kullanmak üzere tasarlanan yükseklikleri ve geometrileri farklı beş baca modelinin, üç farklı hız oranı ($K=0.601$, 01.32 , 2.772) için egzoz gaz yayılımına etkileri incelenmiştir. $K=0.601$ iken baş kış eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sınır tabakanın üstüne çıkma eğiliminde olduğu, egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarının diğer baca geometrilerine nazaran helikopter platformundan daha uzak olduğu, özellikle sancak-iskele ve baş-kış eğimli baca kullanıldığında baca gazlarının helikopter platformuna yöneldiği, bu baca kullanıldığında seyir esnasında üst güvertede silah sistemi yakınında bulunan personel için egzoz gaz sıcaklığının olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir. Diğer hız oranlarında tüm baca geometrileri için egzoz gazlarının yayılımının sınır tabaya yakın olduğu, baca gazlarının bu şartlarda momentumlarının yüksek olmasından dolayı genel olarak sıcaklık dağılımının elektronik cihazlara zararlı olmayacağı görülmüştür. $K=0.601$ ve $K=1.32$ iken baş-kış eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında özellikle NO_x gazının dağılarak bacanın arkasına doğru sarktığı ve bunun insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabileceği görülmüştür. $K=2.772$ iken egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olmasından dolayı belirtilen olumsuz etkilerin oluşmayacağı değerlendirilmektedir. Genel olarak tüm baca geometrileri arasında en ideal baca geometrisinin baca çıkışında muhafaza bulunan parampetli baca olduğu görülmüştür.

Yukarıda bahsedilen gerçek boyutlu helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin tüm seyir durumlarındaki sayısal çalışma sonuçları Bölüm 6'da, çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ise Bölüm 7'de sunulmuş ve tartışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sivil tankerlerde, savaş gemilerinde egzoz gazlarının yayılımı, gemilerin seyir halinde üst binalarının oluşturduğu hava akımının özellikle helikopter iniş/kalkışına olan etkileri, egzoz sıcaklıklarının gemi üzerinde bulunan elektronik sistemlere etkileri, baca dizaynı ve gemilerde üst bina yerleşiminin önemi, araştırma gemilerinde ölçüm sistemlerinin yerleşimi için yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar ile rüzgar tünellerindeki akım görüntüleme deneyleri üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar deneysel ve sayısal olarak ikiye ayrılmış ve aşağıda öncelikle deneysel alanda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

2005 yılında Kulkarni P.R ve arkadaşlarının sayısal çalışmalarını desteklemek amacıyla yaptıkları deneysel çalışmada [1-2] dört farklı üst bina baca modeli kullanılmıştır. 1/50 oranında yaptırılan bu dört farklı model 5 X 0.75 X 0.45 m. Boyutlarında rüzgar tünelinin içine yerleştirilmiştir. Değişken parametre olarak dört farklı baca-üst bina modeli ve iki farklı hız oranı $K=1$ ve $K=2$ seçilmiştir. Bunun için egzoz gazı çıkış hızı 11.8 m/s olarak alınmış rüzgar hızı değiştirilmiştir. Bacalardan çıkan gazlar için gazlar makinesi kullanılmıştır. Oluşturulan deneysel modelde 8 farklı değişken (İki farklı hız oranı ve dört farklı üst bina modeli parametrelerinin kombinasyonu) ile akış görüntüleme için SONY DCR VX2000E model bir video kamera kullanılmıştır. Sonuç olarak akış görüntüleme yöntemiyle farklı parametreler için G/T kullanılan bir savaş gemisinin egzoz gazı yayılımı deneysel olarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar Kulkarni P.R. ve arkadaşlarının yaptıkları sayısal çalışmayla [16] karşılaştırılmıştır.

Bunun dışında 1977 yılında J.Harrell'in yaptığı yüksek lisans tezinde baca gazının soğutulmasında kullanılan idaktör sisteminde tek/dörtlü nozul kullanılarak veya idaktör geometrisi değiştirilerek egzoz gaz idaktörünün performansına etkisi deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir [3].

T.J.Overcamp'ın 2001 yılında yaptığı çalışmasında rüzgar tünelineki gazların bacadan çıkış hızının az olması sebebiyle oluşan düşüş (downwash) vurgulanmış, bu

düşüşten kaçınmak için ölçeklendirme kriteri üzerine önceki dönemlerde yapılan on modelleme çalışması değerlendirilmiştir [4].

Bu çalışmaların dışında helikopter platformuna sahip destroyer ve tipik fırkateyn modelleri için gemi üst binasının oluşturduğu hava akımının helikopter iniş/kalkışının deneysel olarak incelendiği çalışmalar da mevcuttur [5-6].

Baca dizaynı, üst bina yerleşiminin egzoz gaz yayılımına etkileri, araştırma gemilerinde ölçüm sistemlerinin yerleşimi, savaş gemilerinde geminin üst yapısının oluşturduğu hava akımının helikopter hareketına etkilerinin incelendiği sayısal çalışmalar da incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

1977 yılında D.McCallum ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda geçmişten günümüze değişen deniz taşımacılığında kullanılan gemilerin değişiminden kısaca bahsedilerek, halihazırda bacadan çıkan zararlı gazların yarattıkları olumsuz etkilerden bahsedilmiştir. Savaş gemilerinde ve ticari gemilerde baca dizaynının nasıl yapılacağı adım adım anlatılmaktadır. Dizayn prosedürlerini etkileyen; baca yüksekliğinin seçimi, hız oranı ve baca şeklinin seçimi, gazlar sıcaklığı ve izinin kontrolünden bahsedilmiştir. Sonuç olarak yardımcı sınıf bir gemi olan AO-177 yağ gemisinin bacası örneklenmiş, daha sonrada USS Foster adlı bir destroyerin bacasından çıkan egzozun sıcaklık yayılımı incelenmiştir [7,8].

1986 yılında Michael P. Fitzgerald'ın yaptığı çalışmada sitimli gemilerden 1984 yılına kadar geline süreçte baca gazı yayılımını etkileyen parametrelerin artışından bahsedilmiştir. Baca performansının tahmininde geminin ortalama çalışma şartları (Okyanus ya da iç deniz vb.) , baca performansı elementleri (Türbin emişi, elektronik sistemler vb.), model deneyinin gerekliliği gibi yedi temel dizayn unsuru tek tek ele alınmıştır. Sonuç olarak da SSC-007 savaş gemisinin bahse konu yedi temel unsur ile baca dizaynı örneklenmiştir [9].

2008 yılında S.M. Park ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada bir LNG tankeri modeli ele alınmıştır. Bu model CFD programında sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal analizde kütle korunumu denklemi, 3 boyutlu momentum denklemi ve enerji denkleminin yanında k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Değişken parametreler olarak bacanın şekli (köşeli yada yuvarlak), baca üzerinde egzoz borusunun yeri (önde yada ortada), bacanın etrafında çalışma alanı olarak oluşturulmuş menfezin etkisi, egzoz borularının çıkış şeklinin etkisi alınmıştır. Sonuç

olarak bu değişken parametrelerin her biri için CFD kullanılarak yapılan sayısal analizde egzoz gaz yayılımının düşüşünü engelleyecek durumlar tespit edilmiş, mevcut LNG tankerinin bacasından çıkan sıcak egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden korunmak için optimum baca ve egzoz boru dizaynı tespit edilmiştir [10]. Ayrıca askeri gemilerde ve sivil tankerlerde baca dizaynı ve egzoz gaz sistemlerinin sayısal olarak incelendiği sayısal çalışmalar bulunmaktadır [11-14].

2001 yılında Eunseok Jin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ticari bir geminin üst bina modeli ele alınmıştır. Yapılan sayısal çalışmada CFD programı kullanılmış, kütle, momentum ve enerji denklemlerinin yanı sıra $k-\epsilon$ türbülans modeli 3 boyutlu olarak ele alınmıştır. Değişken parametreler olarak üst bina yüksekliği, baca-üst bina mesafesi ve baca/üst bina yükseklik oranı kullanılmıştır. Seçilen bu parametrelere göre yapılan sayısal çalışmanın sonucunda bacadan çıkan zararlı gazlardan NO_2 ve partikül izi tespit edilmiş ve optimum baca yüksekliği, üst bina baca arası mesafe belirlenmiştir [15].

2007 tarihinde Kulkarni P.R. ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada tipik bir savaş gemisi modeli seçilmiş, CFD kullanılarak yapılan sayısal çalışmada tekne kısmı olmadan sadece üst binası alınarak dört farklı üst bina baca yerleşimi belirlenmiştir. Kütlenin ve momentumun korunum denklemlerinin yanında $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmış ve yerçekimi (buoyancy effect) ihmal edilmiştir. Değişken parametreler olarak dört farklı baca konfigrasyonu yanında, dört farklı hız oranı $K=1, 2, 3, 4$ (V_s/V_w) ve yedi farklı rüzgar açısı ψ ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$) kullanılmış ve 112 farklı modelleme yapılmıştır. 2007’de yayınlanan bu sayısal çalışma sonucunda elde edilen sayısal verilerin ışığı altında hangi baca yerleşiminin daha verimli olduğu, egzoz gazının bacadan çıkış hızının minimum kaç olması gerektiği tespit edilmiş olup daha sonra yapılacak olan deneysel model çalışması için bir kaynak oluşturulmuştur [16].

2010 tarihinde S. Ergin ve Y. Paralı’nın yaptıkları sayısal çalışmada iki dizel makine ve gaz türbininden oluşan CODAG tahrik sistemine sahip, 138 m. boyunda 18.5 m eninde ve 10 m yüksekliğindeki fırkateyn üç boyutlu olarak modellenmiştir. Egzos gazları ve gemi üst yapısı arasındaki etkileşimi belirleyebilmek için üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Yapılan çalışmada K hız oranı ve egzoz gaz

sıcaklığının egzoz gazlarının yayılımına etkisi sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur [17] .

2011 tarihinde Sunho Park ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada bir konteynır gemisinin bacasından çıkan egzoz gaz akışı sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar mevcut deneysel datalar ile doğrulanmıştır. Matematiksel modelde egzoz gaz akışının hız ve basınç alanını elde etmek için kütle ve momentumun korunum denklemleri kullanılmıştır. Ayrıca egzoz gazının ısı yayılımını değerlendirmek maksadıyla enerjinin korunumu denklemi kullanılmıştır. Sayısal hesaplamalar için CFD kullanılmıştır. Değişken parametreler olarak; iki farklı motor yükü %50 ve %85, üç farklı rüzgar hızı 10 m/s, 20 m/s, 30 m/s ve üç farklı rüzgar yönü 0^0 , 15^0 , 30^0 kullanılmıştır. Sonuç olarak, seçilen konteynır gemisinin üst binasında bulunması gereken INMARSAT-C anteninin ve sensörünün yeri optimum olarak belirlenmiştir. Geminin yapacağı ortalama sürat değerlerinde antenin sıcaklıktan etkilenmemesi için yeri değiştirilerek ısıdan etkilenmemesi sağlanmıştır [18].

2012 yılında S.Ergin ve Y.Paralı ve E.Dobrucalı'nın yaptıkları sayısal çalışmada dizel makine ve gaz türbininden oluşan CODOG tahrik sistemine sahip tipik fırkateyn üç boyutlu olarak modellenmiştir. Üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. K hız oranı, egzoz gaz sıcaklığı ve sapma açısının gemi üst yapısı, egzoz gaz etkileşimine etkileri ile egzoz emisyonlarının yayılımı sayısal olarak değerlendirilmiştir [19].

2010 yılında J.Huang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada seçilen tipik bir geminin etrafındaki egzoz gazlarının yayılımı sayısal olarak incelenmiştir. Momentum, kütle korunumu ve enerji denklemleri üç boyutlu olarak hesaplanmıştır. Geminin farklı deniz ve dalga durumlarında bacasından çıkan egzoz gazının NO_x emisyonu ile sıcaklık yayılımının incelendiği çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [20].

2005 yılında B.I.Moat ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada seçilen tipik bir gemide rüzgar hızını ölçen anemometre gibi cihazların, geminin seyir halindeyken etrafında oluşan hava akımından nasıl etkilendikleri incelenmiş ve CFD analizi kullanılarak gemi üç boyutlu olarak modellenmiştir. Geminin üst binasında akışın bozulduğu ve anemometre gibi hassas cihazların bu akış bozulmasından etkilendikleri tespit

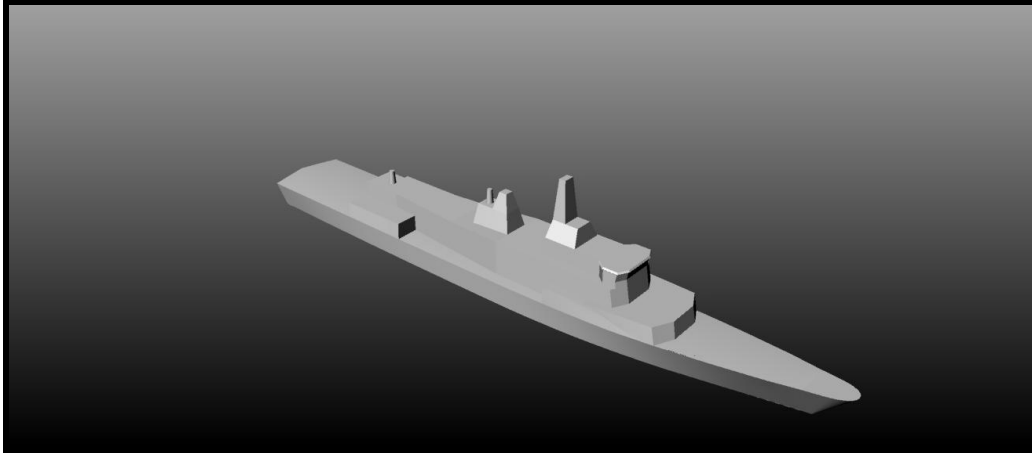
edilmiştir. Bu sayısal çalışmada bu tip cihazların yerleşimi konusunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [21]. Ayrıca 2003 yılında S.Popinet ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada da bir araştırma gemisi üç boyutlu olarak modellenmiş ve geminin üzerinde bulunan tüm ölçüm cihazlarının farklı seyir şartlarında geminin oluşturduğu hava akımından nasıl etkilendikleri hem deneysel hem de sayısal olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [22].

Bunların dışında savaş gemilerinde gemi üst yapısı etrafındaki akışın simülasyonun, bu akışın helikopter hareketına etkilerinin farklı yöntemlerle sayısal olarak incelendiği literatürde sayısal çalışmalar (örneğin [25-36]) olduğu gibi günlük hayatta bina bacalarından çıkan egzoz emisyonlarının deneysel ve sayısal olarak modellendiği çalışmalar da bulunmaktadır [37-38].

Çizelge 3.1 : Fırkateyn Tipik Özellikleri.

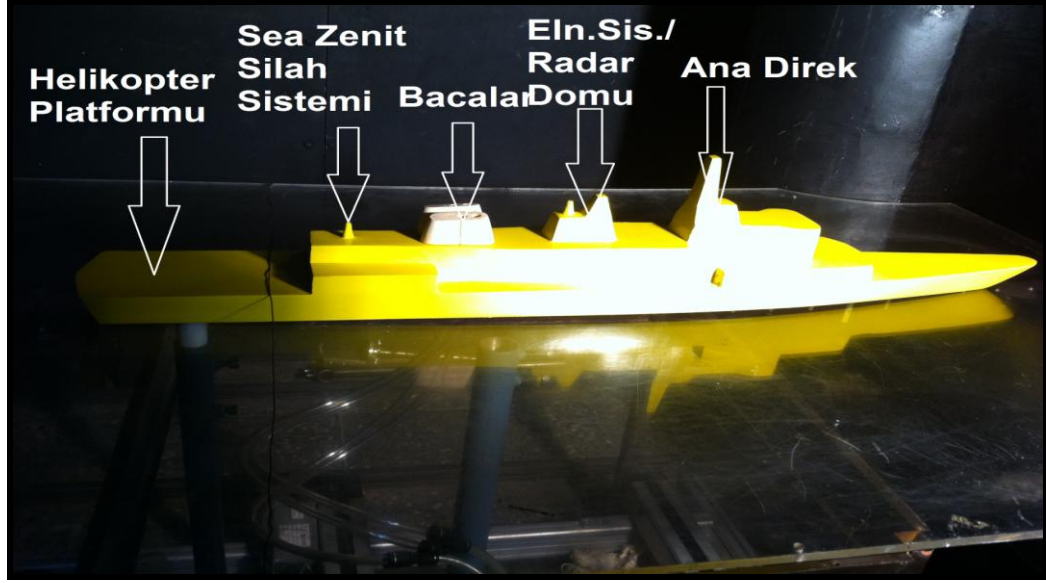
Savaş Gemisi	Boy (m)	En (m)	Draft (m)	Deplasman (ton)	Ana Makina	Tahrik Sistemi	Max Güç (kW)	Devir Sayısı (rpm)	Azami Sürat (knot)
	110	14.2	4.1	2414	4 Dizel Motor	CODAD	7400	1800	28

Seçilen tipk fırkateynin Seahawk ve Sikorsky gibi helikopterlerin iniş/kalkış yapabildikleri bir adet helikopter platformu bulunmaktadır. Fırkateynin üç boyutlu kesit görüntüsü Şekil 3.1 de belirtilmiştir. Sayısal ve deneysel çalışmada kullanılacak olan helikopter platformuna sahip fırkateynin ileri ve tornistan hareketinde egzoz gazlarından etkilenebilecek ana direk ve üzerindeki elektronik cihazlar, dümenevi, radar domu ve arkada bulunan Sea Zenit silah sistemi bulunmaktadır. Bahse konu fırkateynin seçilmesinin sebebi helikopter platformuna sahip olması, baca etrafında egzoz gazı sıcaklığından etkilenebilecek elektronik sistemler bulunmasıdır.



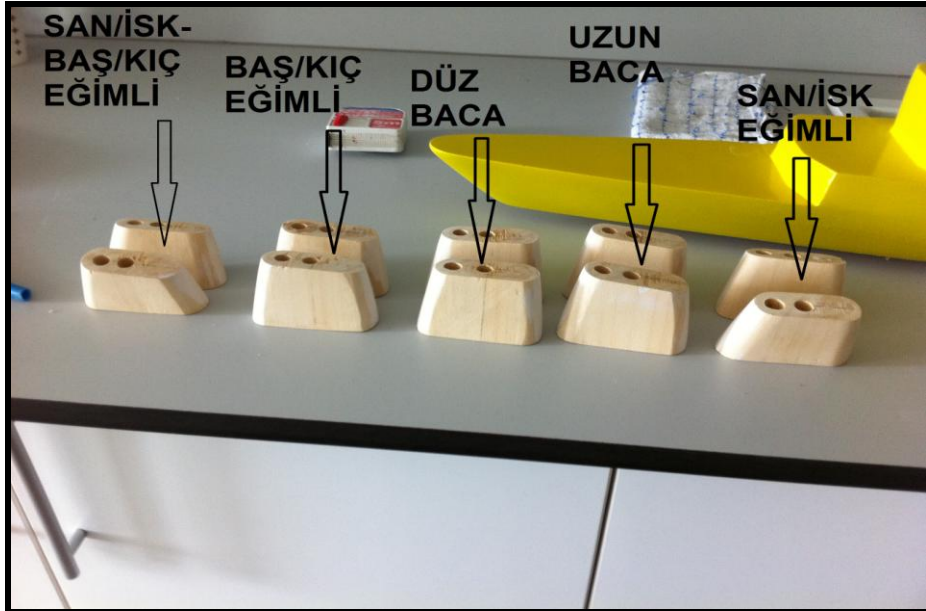
Şekil 3.1 : Tipik fırkateynin kesit görüntüsü.

Seçilen fırkateynin 1/100 ölçekli ahşap modeli İstanbul Teknik Üniversitesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan 1/100 ölçekli fırkateyn ahşap modeli Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : 1/100 Ölçekli tipik fırkateyn ahşap modeli.

Deneysel çalışmada 1/100 ölçekli ahşap fırkateyn modeli için yine İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yapılmış 5 farklı geometrideki baca kullanılmıştır. Bu bacaların fiziksel özellikleri sırasıyla Sancak/iskele-Baş/Kıç eğimli, Baş/Kıç eğimli, Düz baca, Uzun baca, Sancak/iskele eğimli olmasıdır. 1/100 ölçekli ahşap baca modelleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bacaların her birinde iki adet ana makine çıkışı bulunmaktadır.



Şekil 3.3 : 1/100 Ölçekli Ahşap Baca Modelleri.

3.2 Rüzgar Tüneli Özellikleri

Deneyisel çalışma için İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Trisonik Araştırma Laboratuvarında bulunan Eiffel Türü Açık Devre Sesaltı Rüzgar Tüneli kullanılmıştır. Şekil 3.4’de gösterilen rüzgar tüneli özellikleri aşağıda verilmiştir.

Deney odası boyutları: (En x Yükseklik x Boy)

80 cm x 80 cm x 200 cm

Hız Aralığı:

$2.5 < V < 30 \text{ m/s}$



a)

b)

Şekil 3.4 : Rüzgar Tüneli a) Dıştan Görünüm b) İçten Görünüm.

Rüzgar tünelindeki akım görüntüleme deneylerine başlamadan öncelikle rüzgar tünelinin boyutlarının 1/100 ölçekli tipik firkateyn modeline etkileri incelenmiştir. Katı blokajı, akış önüne test amaçlı konulan nesnenin kesit alanının test bölümünün kesit alanına oranı ile ilgili ve düzeltme gerektiren bir husustur. Rüzgar tünellerinde test edilecek nesnenin akışa doğru bakan kısmın kesit alanının test bölümüne oranı genellikle 0.01 ve 0.10 arasında değişecek şekilde model veya test nesnesi boyutları seçilir [48]. Bahse konu oranın, gemi modeli 0° de iken % 2.781, model 10° lik açı ile döndürüldüğünde % 4.7, 20° lik açı ile döndürüldüğünde ise % 7.2 olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla, rüzgar tüneli boyutlarının akış görüntüleme deneylerine bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

3.3 Akım Görüntüleme Yöntemleri

Akışı görünür hale getirmek için esas olarak iki prensip vardır [40, 41, 48]. Birincisi akış içine farklı madde ilave etmektir. Bu ilave edilen yabancı maddenin akışı takip edebilmesi için mümkün olduğu kadar küçük, izlenebilmesi için de mümkün olduğu kadar büyük olması gerekir. Buna birkaç örnek verilecek olursa;

a. *İplikçik Metoduyla Akım Görüntüleme:* Bulunması kolay, ucuz bir yöntem olduğundan uygulanması kolaydır. Akımın niteliği hakkında bilgi verir. Tek lifli naylon iplikçiler ya da polyester ve ipek iplikçiler kullanılır. Öncelikle test modeli üzerine iplikçikler yapıştırılır. Yapıştırılan bu iplikçikler, hava akımına maruz kaldıklarında, test modeli üzerindeki akımın yönünü gösterir.

b. *Yağ Metodu:* Hava akımına maruz kalan modellerin yüzeyinde akım yapısını en uygun ve hızlı olarak gösteren metodlardan biridir. Sıvı olarak uygun miktarlarda rengi belirleyen madde, akışı kolaylaştıran madde ve belirli zaman sonra görüntünün sabit kalmasını sağlayan madde karışımı ile elde edilir ve model yüzeyine sürülür. Hava akımı, yağı modelin yüzeyi boyunca süpürür. Eğer karışım oranları iyi seçilmişse, akım çizgileri, ayrılma ve yapışma çizgileri net olarak görülebilir. Tünel çalıştığı sürece akım çizgileri incelenebilir ve tünel dışındaki bir fotoğraf makinası veya video kamera ile görüntülenebilir.

c. *Gazlar ile Akım Görüntüleme:* Bu teknik eski ve birçok deneyde kullanılan tekniktir. Gazlar çizgileri deney profilinin önüne yerleştirilmiş küçük bir borudan sızdırılarak oluşturulur. Böylece modelin etrafındaki akışkan davranışlarını görülür hale getirir. Kullanılacak gazların özelliklerini aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Havaya göre yoğunluk farkının az olması gerekir,
- 2) Daha iyi görüntü için renginin beyaz olması gerekir,
- 3) Hava içine verilirken hızının hava hızına yakın olması istenir,
- 4) Toksik olmamasına dikkat edilmelidir.

d. *Renkli Sıvı ile Akım Görüntüleme:* Su içinde herhangi bir cisim etrafındaki akımın görüntülenmesi gözle görülebilirlik açısından avantajlı bir tekniktir. Su ile görüntülemelerde akım olaylarını gözle kolayca takip edebilmemiz için

gaz kabarcıkları, renkli sıvılar vb. ideal görüntü araçlarıdır. Bu teknikte akışkan içerisine yollanan gaz ve renkli sıvının hızı ve doğrultusu akışkanla aynı olarak hareket etmeli bunun için yoğunlukları da akışkanın yoğunluğu ile uyumlu olmalıdır. Renkli sıvı akışkana verilirken hızlarının aynı olması istenir.

Akım görüntüleme yöntemleri için ikinci prensip ise akış esnasında, akışkanın optik özelliklerinin değişimine dayanır. Akışkanın yoğunluğu akışkan ortamından geçen ışığın kırılma oranının bir fonksiyonudur. Bu yüzden sıkıştırılabilir akımda ortamın kırılma oranı değiştirilmek suretiyle optik metotlarla akım alanı görüntülenebilir hale getirilebilir. En bilinen 3 yöntem shadowgraph, schlieren ve interferometredir.

a. *Shadowgraph*: Shadowgraph yönteminde, ışık kaynağı noktasaldır. Bu noktasal kaynaktan çıkan ışın demetleri konkav bir aynada paralelleştirilir. Daha sonra bu paralelleştirilmiş ışın demetleri deney odasından geçirilir ve ekran üzerine düşürülür. Genellikle yoğunluğun çok değiştiği şok dalgalarının, süpersonik akışların görüntülenmesinde kullanılır.

b. *Schlieren ile Akım Görüntüleme*: Schlieren yönteminde, paralel ışık demeti kurulmuş olan test odasından geçirilerek kırılır. Kullanılan bıçak kenarına odaklandırılır. Bıçak sırtının arkasında fotografik bir film veya ekran bulundurulur. Odaklandırılan ışık demeti, film üzerinde bir görüntü oluşturur. Film üzerinde oluşan açık ve koyu desenler akım alanının durumu hakkında bilgi verir.

c. *İnterferometre*: Akışın görünür hale getirilmesi için, optik yöntemler içinde, en hassas olanıdır. İnterferometer yöntemi ise şöyle uygulanır: Paralel ışık demeti, daha test odasına ulaşmadan ikiye ayrılır. Bunlardan biri test odasından geçerken diğeri kompensator bölümünden geçer. Daha sonra bu iki ışık demeti birleşir ve film üzerinde girişim çizgileri oluşturur.

Bu deneysel çalışma kapsamında ise duman ile akım görüntüleme tekniği kullanılmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Trisonik Araştırma Laboratuvarında bulunan Eiffel Türü Açık Devre Sesaltı rüzgar tünelinin giriş hızı ($2.5 < V < 30$ m/s) değişken olup, duman üreticinden elde edilen egzoz çıkış hızı sabittir. Elde edilen duman firkateyn modelinin bacalarından sabit olarak verilerek rüzgar tüneli dışında yer alan yüksek çözünürlüklü sabit bir kamera ile elde edilen görüntüler kaydedilmiştir. Bu kapsamda 1/100 ölçekli firkateyn

modeli için ileri/tornistan yolda hız oranının, sapma açısının ve baca geometrisinin egzoz gazlarının yayılımına etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

3.4 Deneysel Çalışmanın Kapsamı

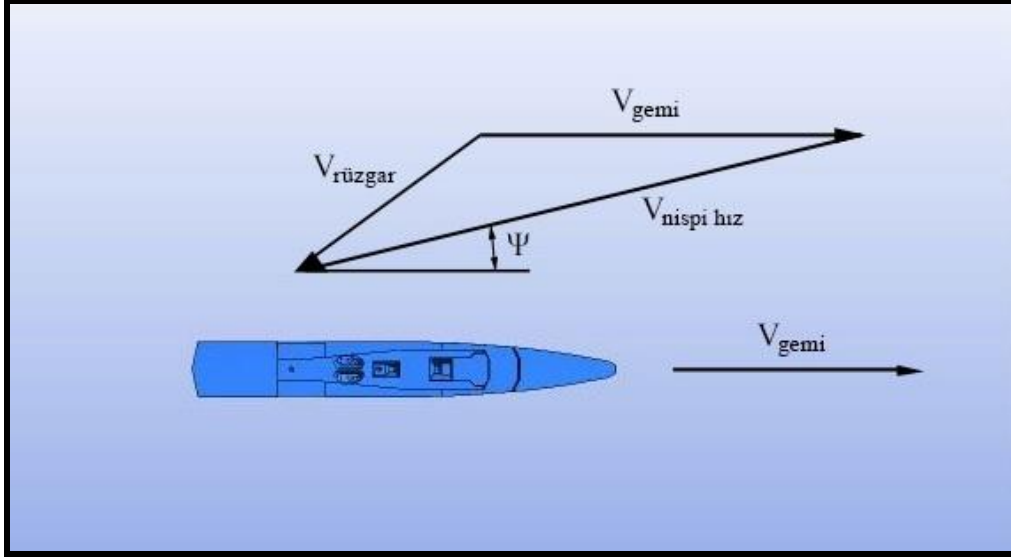
Deneysel çalışmada 1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeli rüzgar tüneline yerleştirilerek farklı hız oranlarının, sapma açısının ve farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının yayılımına etkileri incelenmiştir. Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneyinde, Safex Nebelsonde NS2 marka bir adet duman üretici ve akım görüntüleme için bir adet SONY HD kamera kullanılmıştır. Duman üreticinde Ondina Oil 15 kullanılarak duman elde edilmiş, elde edilen duman şeffaf hortum düzeneği ile fırkateyn modeli üzerinde bulunan iki bacanın toplam dört egzoz çıkışına gönderilmiştir. Bu çalışmada aşağıda açıklanan parametrelerin egzoz gazlarının yayılımına etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

- Hız oranı (K) = $\frac{V_s}{V_w}$ (3.1)

Egzoz gazının bacadan çıkış hızının (V_s), rüzgar tüneline giriş hızına (V_w) oranı hız oranını vermektedir. Akım görüntüleme deneylerinde bacadan çıkan egzoz gazlarının modellenmesi maksadıyla sabit hacimsel debiye sahip duman üretici kullanılmıştır. Üretilen hava/duman karışımının üreteçten çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s sabit olup rüzgar tüneli giriş hızları ($V_w=0$ m/s, 2.5 m/s, 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s) değişmektedir. Hız oranları sırasıyla; $K=\infty$, 0.135, 0.203, 0.407 ve 0.815 olarak hesaplanmıştır. Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde ilk hız oranı ($K=0.135$) için rüzgar tüneline giriş hızları duman üreticinin çıkış hızına göre çok yüksek olduğundan akım görüntülenememiştir. Dolayısıyla sadece $K=0.203$, $K=0.407$, $K=0.815$ ve $K=\infty$ (Gemi Stopta) için akım görüntüleme deneyleri yapılmıştır. Aynı hız oranları için fırkateyn modeli rüzgar tüneli girişine ters yerleştirildiğinde yani gemi tornistan yolda iken de deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

- Sapma açısı (Ψ) bağıl rüzgar hızının geminin pruvası ile yaptığı açı olarak açıklanmaktadır. Sapma açısı Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde 1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeli rüzgar tüneli içine yerleştirilmiştir. Bu kapsamda duvar etkisinin olmadığı durumda, fırkateynin pruvasının rüzgar tüneline giriş ile aynı yönde olduğu açının ($\Psi=0^\circ$), model 10°

döndürüldüğünde oluşan açının ($\Psi=10^0$) ve model 20^0 döndürüldüğünde oluşan açının ($\Psi=20^0$) egzoz gazlarının yayılımına etkileri deneysel olarak incelenmiştir.



Şekil 3.5 : Sapma açısı “ Ψ ” .

- Deneysel çalışmada Şekil 3.3’de gösterilen farklı geometrilere sahip 5 bacanın egzoz gazlarının yayılımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ancak 1/100 ölçekli yapılan bacaların ölçülerinin küçük olması ve rüzgar tüneli hızının yüksek olmasından dolayı akım görüntülenememiş ve sadece iki baca için elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

Deneysel çalışmanın amacı; yukarıda belirtilen parametreler (Hız oranı, sapma açısı ve baca geometrileri) kullanılarak yapılan akım görüntüleme deneylerinde elde edilen sonuçların sayısal çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmaktır. Bu nedenle rüzgâr tüneli şartlarına uygun seçilen parametreler doğrultusunda deneyler yapılmış ve sayısal çalışmadan gelen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile uyum sağladığı görülmüştür.

3.5 Deneysel Çalışmada Kaldırma Kuvveti (Buoyancy Effect) ve Momentumun Etkisi

Çevresel uygulamalarda gemilerden yayılan baca gazlarının modellenmesi genelde iki bölgeye ayrılır. İlk bölge gazların yükseldiği bölge, diğer bölge ise gazların uzaklaştığı bölge olarak değerlendirilmektedir [1].

Egzoz gazlarının rüzgar tüneline modelleme çalışmalarında bir çok boyut analizi parametresi kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; Reynolds sayısı (Re), Richardson sayısı (Ri) Densimetrik Froude sayısı (Fr_u), Rosby sayısı (Ro) ve Peclet sayısı (Pe)’dır. Belirtilen boyutsuz sayılar aşağıda tanımlanmıştır.

$$Ri = \frac{g \cdot h}{u^2} \quad (3.2)$$

Richardson sayısı potansiyel enerjinin kinetik enerjiye oranıdır. 3.2’deki denklemde g yerçekimi ivmesini, h yüksekliği ve u da hızı ifade etmektedir. Densimetrik Foude sayısı ise serbest yüzeyli akışlarda kullanılan boyutsuz bir sayı olup;

$$Fr_u = \frac{u}{\sqrt{g' h}} \quad (3.3)$$

atalet kuvvetinin kaldırma kuvvetine oranı olarak ifade edilmektedir. Bu denklemde u hız terimini, h yükseklik terimini ve $g' = g(\rho_1 - \rho_2) / \rho$ ‘dir. Rossby sayısı atalet kuvvetinin Coriolis kuvvetine oranı olup genellikle atmosfer ve okyanuslardaki jeofizik olaylarında boyutsuz sayı olarak kullanılır ve

$$Ro = \frac{U}{Lf} \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir. Bu denklemde U ve L sırasıyla karakteristik hız ve uzunluk ölçeğidir. f ise Coriolis frekansı $f = 2 \Omega \sin \phi$ ‘na eşittir. Ω is the açısal frekans, ϕ ise enlemdir. Isıl taşınım ve ısı iletim transfer mekanizmalarının oranı boyutsuz Peclet sayısı ile ifade edilir.

$$Pe_L = \frac{LU}{\alpha} \quad (3.5)$$

Bu denklemde L karakteristik uzunluğu, U hız terimini ve α ise ısı yayılma katsayısı olup $\alpha = k / (\rho \cdot C_p)$ ‘dir. k ısı iletim katsayısı, ρ yoğunluk, C_p ise özgül ısı kapasitesidir.

Pratikte gemi bacasından çıkan egzoz gazlarının sıcaklık farkı nedeniyle oluşan kaldırma kuvvetini (Buoyancy effect) modellemek için tüm bu benzerlik kriterlerinin sağlanması imkânsızdır. Örnek olarak dünyanın dönüşünü hesaba katan Rosby sayısı (Ro) gazların uzaklaştığı bölgeyi modellemeyi gerektirir. Dolayısıyla gemilerdeki egzoz gazlarının modellenmesi için Rosby sayısının kullanılması gerekmez. [1].

Bir geminin bacasından çıkan egzozun hem momentumu hem de sıcaklık farkı nedeni ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy) vardır. Bu iki özelliğin ölçeklendirilmesi için Densimetrik Froude sayısı (Fr_u), hız oranı (K), yoğunluk oranı δ , Richardson sayısı (Ri) ve Reynolds sayısı (Re)'nin model ve prototip arasında eşitlenmesi gerekir. Karma taşınımında sıcaklık nedeni ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy effect)'nin önemi doğal taşınımı ifade eden Grashoff sayısı (Gr)'nin Reynolds sayısı (Re)'nin karesine oranı ile ölçülür. Eğer $Gr/Re^2 \geq 1$ ise buoyancy etkilerinin önemi büyüktür [1]. Eğer bu oran küçük ise buoyancy etkileri ihmal edilebilir.

Bu deneysel çalışmada Gr/Re^2 oranı hesaplandığında; Grashof sayısı,

$$Gr = \frac{\beta \cdot \Delta T \cdot g \cdot L^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad (3.6)$$

Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu} \quad (3.7)$$

olarak bilinmektedir. Denklem 3.6'daki Grashof sayısının, Denklem 3.7'deki Reynolds sayısının karesine oranı;

$$\frac{Gr}{Re^2} = \frac{\beta \cdot \Delta T \cdot g \cdot L}{U^2} \quad (3.8)$$

kaldırma kuvveti etkisinin olup olmadığı ile ilgili bu denklemi vermektedir. Bu denklemde β ısı genleşme katsayısını (ideal akışkanlar için yaklaşık olarak $1/T$ 'ye eşittir.) Yani $1/(273+15) = 0.00347$ olarak bulunur. $\Delta T = (T_s - T_\infty)$, T_s =yüzey sıcaklığı, L model uzunluğu 1.1 m., hız “U” ise rüzgar tünelinin giriş hızı (2.5 m/s) yada geminin seyir hızı olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda $Gr/Re^2 = 0.0395$ olarak bulunur. Yani bu deneysel çalışma için $Gr/Re^2 \leq 1$ olduğundan sıcaklık farkı nedeniyle oluşan kaldırma kuvveti etkileri ihmal edilebilir.

Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmada savaş gemisinin bacasından çıkan egzoz gazlarının modellenmesi amacıyla duman üreticinden çıkan ortam sıcaklığına yakın ($T_s = 21.6^\circ C$) hava/duman karışımı kullanılmıştır. Yukarda hesaplandığı gibi

ısı etkiler ihmal edildiğinden Richardson ve Peclet sayılarının benzerliğinin kullanılması gerekmez [1]. İzotermal jet için ölçekli ve tam boyutlu akışta yoğunluk oranı $\delta \approx 1$ ve Densimetrik Froude sayısı $Fr_u \rightarrow \infty$ 'dır. Böylece momentum modellenmesinde Re sayısından başka sadece hız oranının eşitlenmesi gereklidir. Reynolds sayısının eşitliği rüzgar tüneline yapılan simülasyon için gerekli olsa da gemilerin üst yapıları gibi dik yapılar için bir istisnadır [1].

3.6 Modellemede Boyut Analizi ve Benzerlik

Hava içinde serbest yüzey bulunmayan, aerodinamik model deneylerinde en önemli parametreler Reynolds sayısı ve Mach sayısıdır [46]. Reynolds sayısı benzerliği; $Re_m = Re_p$ olarak açıklanmaktadır. Burada m indisi modeli, p indisi prototipi simgelemektedir. Bu denklem açılırsa ;

$$\frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_p L_p}{\nu_p} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) ve ek olarak sıkıştırılabilirlik kriteri;

$$\frac{V_m}{a_m} = \frac{V_p}{a_p} \quad (3.10)$$

sağlanmalıdır. (3.9) ve (3.10) arasında V_m/V_p 'nin yok edilmesi;

$$\frac{\nu_m}{\nu_p} = \frac{L_m}{L_p} \frac{a_m}{a_p} \quad (3.11)$$

denklemini verir. Savaş gemileri şüphesiz havada çalıştıkları için düşük viskoziteli ve yüksek ses hızlı rüzgar tüneli akışkanına ihtiyaç duymaktadır. Bunun için hidrojen kullanılabilir ancak çok pahalı ve tehlikeli olduğundan genellikle kullanılmaz. Bu yüzden rüzgar tünelleri normal olarak çalışma akışkanı olarak hava ile çalıştırılırlar. Soğutulmuş ve basınçlandırılmış hava denklem (3.11)'e daha uygun düşecektir fakat bu da uzunluk küçülme oranını (Bu deneysel çalışmada 1/100'dür.) sağlamak için yeterli değildir. Bu yüzden Reynolds benzerliği aerodinamik testlerde yaygın olarak bozulur [46]. Bu deneysel çalışma için Re benzerliğine bakılacak olursa; $V_m = 2.5$ m/s, $L_m = 1.1$ m., $L_p = 110$ m. değerleri için $V_p = 0.025$ m/s yani gemi hızının

0.0025 m/s olması gerekmektedir. Dolayısıyla deneysel çalışmada Reynolds sayısının benzerliği uygulanmayacaktır.

Sıkıştırılabilirlik parametresi olarak bilinen akış hızının ses hızına oranı Mach sayısı da rüzgar tüneli hızının ses hızına bölünmesiyle elde edilmektedir [46]. Bu deneysel çalışma için; $Ma = U/a = 30/340 = 0.088235$ olup; $Ma \leq 0.3$ olduğundan sıkıştırılamaz akış kabulü yapılabilir.

Boyut analizinde kullanılan benzerliklerden geometrik benzerlik, $\{L\}$ uzunluk boyutunu göz önüne alır ve herhangi bir geçerli model deneyinin yapılabilmesinden önce sağlanmalıdır [46]. Ancak model ve prototip, sadece ve sadece, gövdelerinin her üç koordinattaki tüm boyutlarının aynı küçülme oranına (Benzerlik oranı) sahip olması durumunda geometrik olarak benzerdir. Bu kapsamda bu çalışmada ele alınan fırkateyn boyu 110 m, eni 14.2 m ve su çekimi 4.1 m'dir. Geometrik benzerliğin sağlanabilmesi maksadıyla gerçek gemi boyutlarının tümü 1/100 oranında küçültülmüş ve bu şekilde rüzgar tünelindeki akım görüntüleme deneylerinde kullanılmıştır.

4. MATEMATİKSEL MODEL

Geleneksel olarak baca performansı ölçekli modeller kullanılarak rüzgar tünellerinde incelenir [16]. Bu yöntem çok uzun, pahalı ve zaman alıcı olabilmektedir. Bunun yerine sayısal hesaplama metodları ve geliştirilen programlar ön dizayn aşamasında kullanılarak bir çok değişik baca geometrisi ve üst bina yerleşimi hızlı ve ucuz bir şekilde modellenenir. Bu çalışmada egzoz gazları ile gemi üst yapısı arasındaki etkileşim, Şekil 3.1’de gösterilen helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için sayısal olarak hesaplanmıştır.

Fırkateynde ana tahrik sistemi olarak dört adet birleşik dizel (CODAD) kullanılmaktadır. Çalışmada türbülans modeli olarak iki denklemlilik $k-\epsilon$ modeli kullanılmıştır. Üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak hesaplanmıştır. Ağ sistemi tetrahedral ve uyarlanabilir ağ sistemidir. Hesaplamalar egzoz gazlarının değişik baca çıkış sıcaklıkları, farklı hız oranları, sapma açısı ve değişik baca geometrileri için ağdan bağımsız olarak yapılmıştır.

Farklı egzoz çıkış sıcaklıkları, hız oranları, sapma açısı ve değişik baca geometrilerinin egzoz gaz yayılımına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenerek elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır. Sonuçlar rüzgar tüneline yapılan akım görüntüleme deneylerindeki mevcut deneysel sonuçları ile karşılaştırılmış ve aralarında iyi bir uyumun olduğu görülmüştür. Çalışma, gemilerde egzoz gazları ve üst yapı arasındaki etkileşim probleminin çözümünde sayısal modellemenin güçlü bir araç olduğunu göstermiş ve bu yöntemle egzoz gaz yayılımının dizayn safhasında değişik işletme/sevir şartlarında görüntülenebileceğini göstermiştir.

Bu bölümde yukarıda bahsedilen sayısal hesaplamaların yapılabilmesi için kullanılan yönetici denklemler, sınır şartları ve sayısal çalışmada kullanılan parametreler, sıcaklık farkı ile oluşan kaldırma kuvvetinin etkileri ve gemilerden yayılan egzoz emisyonları geçerli kurallar ile egzoz emisyon limitleri sunulmuş ve tartışılmıştır.

4.1 Yönetici Denklemler

Egzoz gazları ve gemi üst yapısı arasındaki etkileşimi belirleyebilmek için aşağıda verilen üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak hesaplanmıştır [39,129]. Sürekli durumda ($\partial/\partial t=0$), sıkıştırılamayan akışkan ($Ma \leq 0.3$) kabulü ile kartezyen koordinat sisteminde, yönetici denklemler tensör notasyonu kullanılarak aşağıdaki gibi verilebilir;

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j)=0 \quad (4.1)$$

Momentum Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}(\mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_j})-\frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (4.2)$$

Enerji Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T)=\frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_{t,eff} \frac{\partial T}{\partial x_j})+\rho g_i \quad (4.3)$$

Kütle Transferi Denklemi:

$$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t}+\nabla \cdot \rho \mathbf{V} Y_i =\nabla \cdot \Gamma_i \nabla Y_i +R_i \quad (4.4)$$

Gemi üst yapısı üzerindeki türbülans bölgesi egzoz gazlarının güverteye düşme probleminde çok önemli bir faktördür. Türbülans bölgesinin yüksekliği başlıca geminin yapısına bağlı olmakla birlikte pratik olarak rüzgar hızından bağımsızdır [16]. Egzoz gazlarının güverteye düşme (smoke downwash) problemini çözebilmek için, türbülans bölgesi sınırının muhtemel yüksekliğinin ve bacadan çıkan egzoz gazlarının bu türbülans bölgesine girmesine engel olacak baca yüksekliğinin bilinmesi gereklidir [16].

k-ε modeli türbülans modelleme çalışmalarında pratik olarak kullanılan en kolay modellerden birisidir [49]. Daha karmaşık modeller türbülans yayılımı ve sıcaklık farkı ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy) etkilerini daha iyi sunabilirler ancak bunların çözümü için ekstra gayret gereklidir ve genelde yetersiz kalırlar [16].

Murakami yaptığı çalışmada k-ε modelinin ortalama rüzgar hızını doğru olarak tahmin ettiğini fakat keskin köşeler etrafında türbülans kinetik enerjiyi daha iyi öngördüğünü, ayrıca k-ε modelinin sayısal modelin yakınsama zamanını ciddi anlamda kısaltıp parametrik çalışmaları mümkün hale getirdiğini belirtmiştir [43]. Bu çalışmada da k- ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Türbülans Kinetik Enerji :

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_{k,eff} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + P - \rho \varepsilon \quad (4.5)$$

Türbülans kinetik enerjisi yayılım oranı:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_{\varepsilon,eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) + C_1 P \frac{\varepsilon}{k} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde efektif viskozite :

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (4.7)$$

şeklindedir. Türbülans viskozitesi ise

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.8)$$

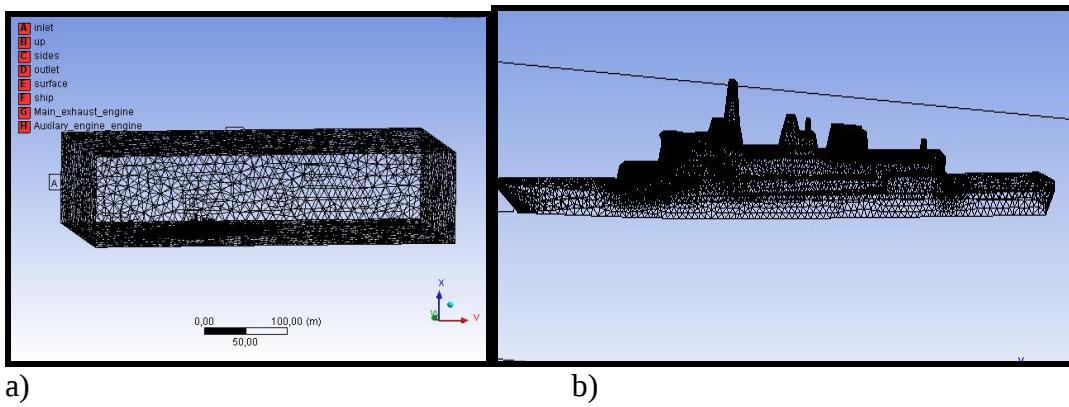
şeklinde hesaplanır. Yukarıdaki C_μ bir sabittir. Denklem (4.3), (4.4), (4.5) ve (4.6)'daki Γ difüzyon katsayısı olup sırasıyla μ_{eff} / σ_T , μ_{eff} / σ_k ve $\mu_{eff} / \sigma_\varepsilon$ olarak hesaplanır. Denklemlerde verilen sabitlerin değerleri ise $C_1=1.44$, $C_2=1.92$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_T=1.0$, $\sigma_k=1.0$ ve $\sigma_\varepsilon=1.3$ 'dür. Bu değerler birçok zorlanmış konveksiyon çalışmalarında kullanılmıştır. Denklem (4.5) ve (4.6)'daki P terimi türbülans enerjisinin üretimini gösterir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [39].

$$P = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (4.9)$$

4.2 Çözüm Metodu ve Sınır Şartları

Egzoz gazları ve helikopter platformuna sahip tipik fırkateyn üst yapısı arasındaki etkileşimi belirleyebilmek için üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri kullanılmıştır. Bu denklemlerin ayrıştırılması

için SIMPLEC (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations Consistent) algoritmasını kullanılan sonlu hacim metodu seçilmiştir. Sonlu hacim metodunda akış küçük kontrol hacimlerine bölünmüş ve her bir hacim için yukarıda bahsedilen denklemler çözülmüştür. Çalışmada türbülans modeli olarak iki denklemlili k-ε modeli kullanılmıştır. Ağ sistemi ise tetrahedral ve uyarlanırlı ağ sistemidir. Şekil 4.1’de hesaplamalarda kullanılan ağ sistemi gösterilmiştir. Ağ büyüklüğünden bağımsız çözüm elde etmek için hesaplamalar farklı ağ büyüklükleri (19705, 31999, 76036, 122994, 190364, 312547 ve 398211 hücreli ağ) için tekrarlanmış ve sonucun ağdan bağımsız olduğu (312547 hücreli hesaplama ağı) durum ele alınmıştır.



Şekil 4.1 : Sayısal çalışmadaki Hesaplama ağı a) Hesaplama Alanı b) Fırkateyn Yüzeyindeki Ağ.

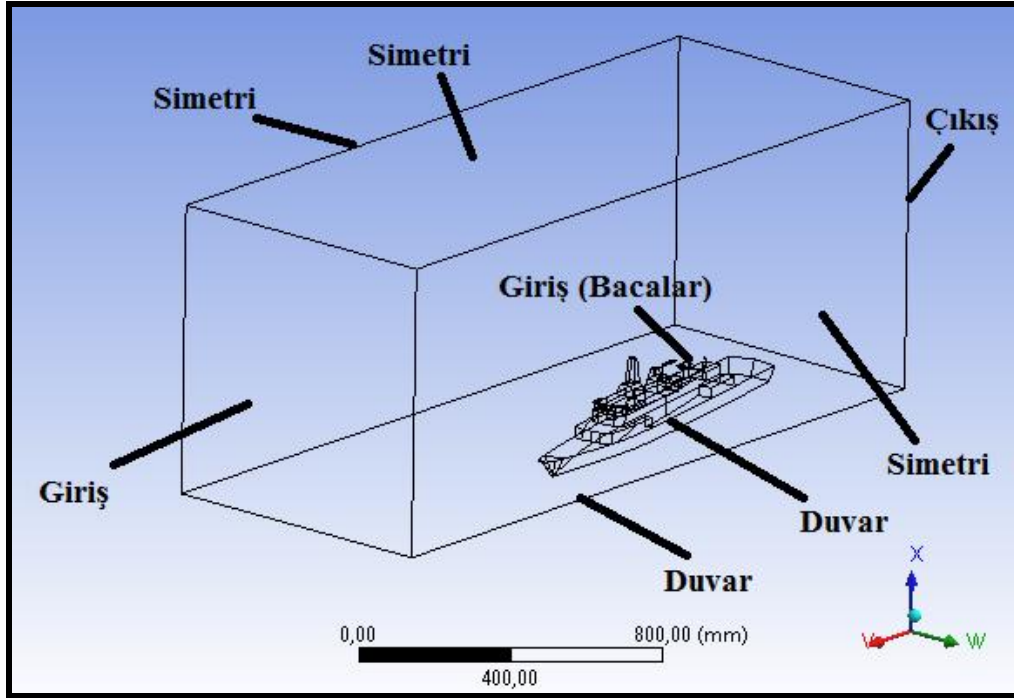
Hesaplama alanının girişinde giriş (inlet) sınır şartı olarak sabit hız ($du/dx=0$) ve sıcaklık ($dT/dx=0$), çıkışında ise çıkış (outlet) sınır şartı olarak basınç sınır şartı ($P_{out}=P_{atm}$) kullanılmıştır. Duvar (Wall) sınır şartı olan sınırlarda hız sıfıra eşit olup ($u=v=w=0$) adyabatik sınır şartı kullanılmıştır ($q=0$). Simetri sınır şartı olan sınırlarda ise hız vektörlerinin normali sıfırdır. Baca çıkışında da sabit hız ve sıcaklık sınır şartı kullanılmış olup tüm hesaplama alanı için kullanılan sınır şartları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Türbülans büyüklükleri k ve ϵ için giriş sınır şartı sırasıyla

$$k = \frac{3}{2}(U_{ref} T_i)^2, \quad \epsilon = C_{\mu}^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \text{ olarak hesaplanır ve } l = 0.07L \text{ 'dir [39]. Burada } L$$

hesaplama alanının karakteristik uzunluğudur. Çıkış ve simetri ekseninde $\partial k / \partial n = 0$ ve $\partial \epsilon / \partial n = 0$ 'dır.

Ayrıca helikopter platformuna sahip tipik fırkateynin ana makinasına giren %21 O_2 +%79 N_2 hava ve %97 HC +%3 S yakıt karışımı olarak belirlenmiştir [50]. Yanma

sonucu ortaya çıkan emisyonlar ise %13 O₂+%75 N₂+%5 CO₂+%5 H₂O+ % 1 NO₂+% 0.5 SO₂+ % 0.5 CO, Y_i sınır şartı olarak verilmiştir [50].



Şekil 4.2 : Hesaplama alanı sınır şartları.

Helikopter platformuna sahip gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn modeli üzerinde gerçekleştirilen sayısal çalışmada literatürde benzer boyutlara sahip savaş gemiler için belirli sürat kademelerinde/değişik makine yüklerinde bacadan çıkan egzoz gazlarının ölçülmüş değerleri kullanılmış olup; bu değerler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir [8].

Çizelge 4.1 : Tipik Fırkateyn Çalışma Şartları.

Gemi Tipi	Sürat	Gemi Hızı (knot)	Egzoz Çık. Sıc. [T _s] (°C)	Egzoz Çık.Hızı V _s (m/s)
Fırkateyn	Max sürat	28	415	80
	İktisadi sürat	20	343	57
	Ağır yol	5	315	17

Fırkateyn ileri yolda 5 knot sürat ile seyir halinde iken rüzgar pruvadan 20 knot, 40 knot, 50 knot hızla estiğinde hız oranı sırasıyla 1.32, 0.7349 ve 0.601 olarak hesaplanmakta, fırkateyn 20 knott sürat ile ileri yolda seyir halinde iken 20 knot hızla estiğinde hız oranı 2.772, fırkateyn 28 knot tam yolda seyir halinde iken rüzgar

pruvadan 20 knot hızla estiğinde hız oranı 3.242 olarak hesaplanmıştır. Tipik fırkateynin gerçek seyir şartlarında sayısal olarak incelenen tüm durumlar Çizelge 4.2’de verilmiş olup bu değerler hesaplamalarda sınır şartı olarak kullanılmıştır. Sayısal çalışmada ortam sıcaklığının 15⁰C olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 4.2: Sayısal çalışmada değerlendirilen durumlar ve sınır şartları.

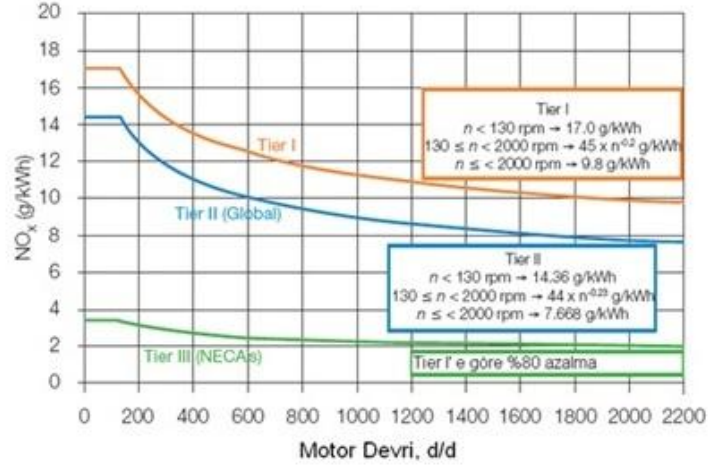
	GEMİ HIZI (Knot/ m/s)	RÜZGAR HIZ (Knot/ m/s)	HIZ ORANI “K”	EGZ. ÇIK. HIZI = V_s (m/s)	Ψ (°)
DURUM-1	5/ 2,57	50/25,7 (baş)	0.601	17	0
DURUM-2	5 / 2,57	40 / 20,56 (baş)	0.7349	17	0
DURUM-3	5 / 2,57	20 / 10,28 (baş)	1.32	17	0
DURUM-4	20 / 10,28	20 / 10,28 (baş)	2.772	57	0
DURUM-5	28 / 14,392	20/10,28 (baş)	3.242	80	0
DURUM-6 (TORN)	5 / 14,392	50/25,7 (kıç)	0.601	17	0
DURUM-7 (TORN)	5/ 2,57	40 / 20,56 (kıç)	0.7349	17	0
DURUM-8 (TORNİ)	5/ 2,57	20 / 10,28 (kıç)	1.32	17	0
DURUM-9 (TORN)	10 / 5,14	30 / 15,42 (kıç)	2.772	57	0
DURUM-10 (TORN)	20 / 10,28	28 / 14,392 (kıç)	3.242	80	0
DURUM-11 (TORN)	20 / 10,28	13 / 6,682 (kıç)	4.724	80	0

4.3 Egzoz Emisyon Limitleri

Tipik fırkateyn bacasından çıkan egzoz emisyonlarından özellikle çevreye ve insan sağlığına zararlı gazlardan NO_x ve SO_x emisyonları bulunmaktadır. Özellikle NO_x emisyonunun, ozon tabakasının zarar görmesi ve asitleşme gibi çevreye olumsuz etkileri vardır [44, 50, 52]. Bu kapsamda hava kirliliği açısından önemli olan NO_x emisyonunu azaltmak amacıyla değişik sistemler geliştirilmiştir [51].

Gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin önlenmesine ilişkin kurallar 19 Mayıs 2005 yılında yayınlanan MARPOL 73/78 EK VI ile belirlenmiştir. Bu kapsamda ozon tabakasına ve insan sağlığına en zararlı egzoz emisyonlarından NO_x ve SO_x emisyonlarına ilişkin kurallar sırasıyla MARPOL 73/78 EK VI Kural 13 ve Kural 14’de açıklanmıştır [45].

Buna göre bu çalışma kapsamında modellenen tipik fırkateyn için NO_x emisyonu Şekil 4.3’de gösterilen ve halihazırda yürürlükte bulunan “Tier II” de belirtilen değerlerin geçerli olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.3 : Gemilerde izin verilen maksimum NO_x emisyonları [45].

Aynı zamanda gemilerden yayılan sülfür oksit (SO_x) ve partikül emisyonları aşağıda belirtilen, gemi dizel yakıtı içindeki kükürt oranına sınır koyularak kontrol edilmektedir. Bu çalışmada modellenen savaş gemisinde 3 % m/m kükürt oranına sahip dizel yakıtın kullanıldığı kabul edilmiştir.

- 4.50 % m/m 01 Ocak 2012’e kadar
- 3.50 % m/m 01 Ocak 2012 ve sonrası
- 0.50 % m/m 01 Ocak 2020 ve sonrası

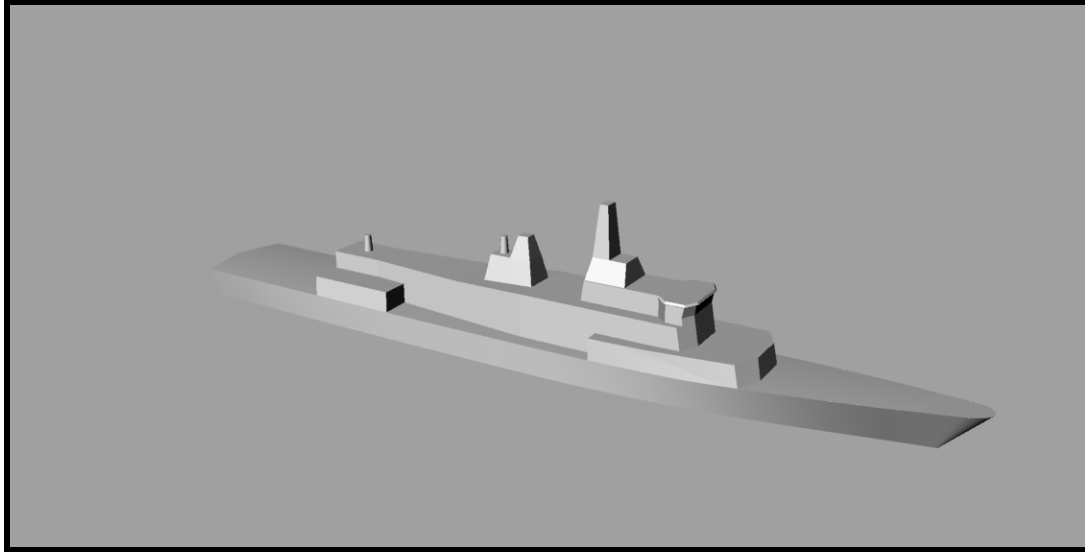
Türkiye’de hava kalitesinin değerlendirilmesine yönelik Çevre ve Orman Bakanlığının 06 Haziran 2008 yılında yürürlüğe soktuğu 26898 sayılı “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” bulunmaktadır [47]. Bahse konu yönetmeliğin amacı; hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kriterleri esas alarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamaktır. Bu kapsamda egzoz emisyonlarının insan sağlığına zarar vermemesi için aşağıda belirtilen limit değerlerin üzerine çıkmaması gerekmektedir.

- SO₂ gazı için saatlik limit değeri 350 µg/m³,
- NO₂ gazı için saatlik limit değeri 200 µg/m³,
- CO gazı için sekiz saatlik limit değeri 10 mg/m³.

4.4 Sayısal Model ve İncelenen Durumlar

Bu çalışmada, gerçek boyutlardaki (110 m X 14.2 m. X 4.1 m.) helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn modeli sayısal çalışmada duvar etkisi yaratmayacak büyüklükteki (440 m X 110 m X 110 m) dikdörtgenler prizması içine yerleştirilmiş ve Bölüm 4.2’de belirtilen sınır şartları ile başlangıç değerleri için fırkateynin gerçek seyir şartlarında bacasından çıkan egzoz gazlarının yayılımı sayısal olarak hesaplanmıştır. Üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak çözümlenmiştir.

Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn Rhinoceros 4.0 Beta programı kullanılarak üç boyutlu olarak çizilmiştir. Çizilen gerçek boyutlardaki tipik fırkateyn modeli Şekil 4.4’te gösterilmiştir.

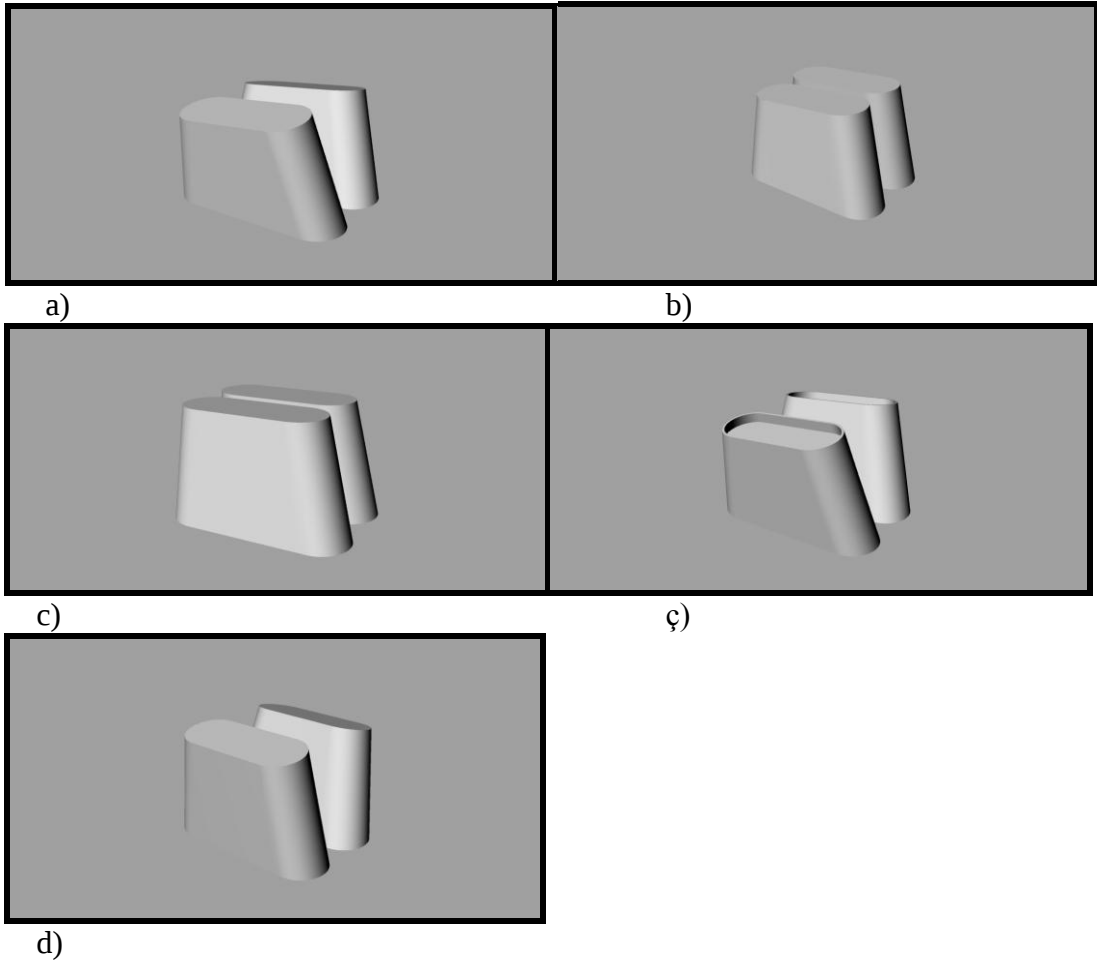


Şekil 4.4 : Gerçek boyutlardaki tipik fırkateyn modeli.

Şekil 4.4’te çizilen fırkateyn için aşağıdaki Çizelge 4.3’te belirtilen boyutlarda 5 farklı baca yine Rhinoceros 4.0 Beta programı kullanılarak üç boyutlu olarak çizilmiştir. Çizilen baca geometrileri sırasıyla parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca olup sayısal çalışmada kullanılan tüm baca geometrileri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Baca Boyutları.

BACA GEOMETRİSİ	YÜKSEKLİK (mm)
Parampetli Baca	5170.35
Baş-Kıç Eğimli	4931.88
Düz Baca	4931.88
Sancak-İskele Eğimli	4927.7
Sancak-İskele ve Baş-Kıç Eğimli	4727.7



Şekil 4.5 : Farklı baca geometrileri a) Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca b) Baş-Kıç Eğimli baca c) Düz Baca ç) Parampetli Baca d) Sancak-İskele Eğimli baca .

Sayısal çalışmada Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’deki tipik fırkateyn ve baca geometrileri kullanılarak gerçek seyir şartları için fırkateyn ileri ve tornistan yolda iken farklı hız oranlarının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.724), sapma açılarının ($\psi=0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0$ ve 30^0), farklı baca modellerinin (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli

baca) ve deneysel çalışmadan farklı olarak egzoz gazlarının çıkış sıcaklıklarının ($T_s = 100^0\text{ C}$, 200^0 C , 300^0 C , 400^0 C ve 500^0 C) egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır. Sayısal çalışma Çizelge 4.2’de belirtilen durumlar kullanılarak incelenen tüm değişkenler ve elde edilen sonuçlara ilişkin oluşturulan Çizelge EK A’da yer alan Çizelge A.1’de verilmiştir.

4.5 Sıcaklık Farkı ile Oluşan Kaldırma Kuvvetinin Etkisi

Bir geminin bacasından çıkan egzozun hem momentumu hem de sıcaklık farkı nedeni ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy) vardır. Karma taşınımında sıcaklık nedeni ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy effect)’nin önemi doğal taşınımı ifade eden Grashoff sayısı (Gr)’nın Reynolds sayısı (Re)’nın karesine oranı ile ölçülür (Denklem 3.8). Eğer $Gr/Re^2 \geq 1$ ise buoyancy etkilerinin önemi büyüktür [1]. Eğer bu oran küçük ise buoyancy etkileri ihmal edilebilir. Bölüm 3.5’de 1/100 ölçekli tipik fırkateyn için bu oran hesaplanmış ve $Gr/Re^2 \leq 1$ olduğundan dolayı rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde sıcaklık farkı ile oluşan kaldırma kuvveti etkileri ihmal edilmiştir. Tam boyutlardaki tipik fırkateynin gerçek seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0\text{ C}$ ile $T_s=500^0\text{ C}$ arasında değiştiği şartlarda kaldırma kuvvetinin etkisini belirlemek amacıyla Gr/Re^2 tüm durumlar için hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Durum-1 için Kaldırma Kuvveti Etkileri.

Durum-1 ($K=0.601$)						
$T_s (^0\text{ C})$	$\beta (1/\text{K})$	$\Delta T (\text{K})$	$g (\text{m/s}^2)$	$L (\text{m})$	$U (\text{m/s})$	Gr/Re^2
100	0,00347	85	9,81	110	28,27	0,39825247
200	0,00347	185	9,81	110	28,27	0,86678478
300	0,00347	285	9,81	110	28,27	1,3353171
400	0,00347	385	9,81	110	28,27	1,80384941
500	0,00347	485	9,81	110	28,27	2,27238173

Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gaz sıcaklığı arttıkça özellikle 300^0 C ’den sonra Gr/Re^2 sayısının birden büyük değerler aldığı Çizelge 4.4’te görülmektedir. Bundan dolayı bu sayısal çalışmada, hız oranının $K=0.601$ olduğu Durum-1 için bacadan çıkan egzoz gazı sıcaklığının 300^0 C ’ı geçtiği şartlarda sıcaklık farkından oluşan kaldırma kuvvetinin etkisi

incelenmiş ve sonuçlar Bölüm 6’da tartışılmıştır. Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının yayılımına etkisi iki farklı hız oranı ($K=0.601$ ve $K=1.32$) için hesaplanmıştır. Durum-3 için de kaldırma kuvvetinin etkileri hesaplanmış ve Çizelge 4.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Durum-3 için Kaldırma Kuvveti Etkileri.

Durum-3 (K=1.32)						
$T_s (^{\circ}C)$	$\beta (1/K)$	$\Delta T (K)$	$g (m/s^2)$	$L (m)$	$U (m/s)$	Gr/Re^2
100	0,00347	85	9,81	110	23,13	0,59492035
200	0,00347	185	9,81	110	23,13	1,29482665
300	0,00347	285	9,81	110	23,13	1,99473295
400	0,00347	385	9,81	110	23,13	2,69463925
500	0,00347	485	9,81	110	23,13	3,39454555

Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gaz sıcaklığı arttıkça özellikle $200^{\circ}C$ ’den sonra Gr/Re^2 sayısının birden büyük değerler aldığı Çizelge 4.5’te görülmektedir. Bundan dolayı bu sayısal çalışmada, hız oranının $K=1.32$ olduğu Durum-3 için bacadan çıkan egzoz gazı sıcaklığının $200^{\circ}C$ ’ı geçtiği şartlarda sıcaklık farkından oluşan kaldırma kuvvetinin etkisi incelenmiş ve sonuçlar Bölüm 6’da detaylı olarak tartışılmıştır.

4.6 Egzoz Gazlarının Yörüngesinin Analitik Olarak Hesaplanması

Gemi bacasından çıkan egzoz gazları sıcaklık farkından oluşan kaldırma kuvvetine (buoyancy) sahip sıcak gaz kütesidir ve bu kaldırma kuvveti egzoz gazının izini etkiler [8]. Kaldırma (Buoyancy) kuvvetleri yüksek hız oranlarında etkisini artırarak önemli olmaktadır. Normalde, yüksek hız oranları kritik dizayn koşulu değildir. Çünkü egzoz gazları rüzgar hızına yaklaşık 90° ’de temas halindedir ve önemli ölçüde yönünü değiştirmez. Böylece küçük hız oranları için, baca gazı ve ortam rüzgar momentumu gazların yayılımını belirler, baca gazı kaldırma kuvveti değil. Hoult, Fay ve Forney’in türettikleri egzoz gazlarının izi analitik olarak aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir [8].

Eğer V_w rüzgar hızı sabit ve $\frac{d\rho}{dy}=0$ ise $X < X_c$ için;

$$\frac{y}{R_s} = \frac{(V_s/V_w)(X/R_s)^{1/2}}{(\beta + \alpha V_s/V_w)^{1/2}} \quad (4.10)$$

Denklem (4.10)'daki y değeri egzoz gazlarının baca merkezinden uzaklaştıkça çizdikleri izi ifade etmektedir. X_c değeri ise denklem (4.11)'den hesaplanmaktadır.

$$X_c = \left(\frac{2\beta^2}{3} \right)^2 \left(\frac{V_s/V_w}{\beta + \alpha V_s/V_w} \right)^3 \frac{L_m^3}{L_b^2} \quad (4.11)$$

$X > X_c$ için ise y değeri;

$$y = \left(\frac{3}{2\beta^2} \right)^{1/3} L_b^{1/3} X^{2/3} \quad (4.12)$$

olarak hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplamalarda baca merkezinden yatay mesafe “ X ” her zaman “ X_c ” den küçüktür. Dolayısıyla analitik çalışmada denklem (4.10) kullanılmıştır. Denklem (4.10)'da V_s egzoz çıkış hızını, V_w rüzgarın giriş hızını, R_s egzoz çıkış bacası yarıçapını, X ise baca merkezinden yatay mesafeyi belirtmektedir. $\alpha=0.15$ universal bir sabit olmakla birlikte β bir sabit değil, hız oranı ve Fr sayısına bağlı bir değer olup $0.8 < \beta < 1.2$ arasında değerler almaktadır. Bu çalışmada $\beta = 1.2$ olarak alınmıştır.

Denklem (4.11)'da yer alan L_m ve L_b sırasıyla momentum uzunluk ölçeği ve sıcaklık farkı ile oluşan kaldırma kuvveti (buoyancy) uzunluk ölçeği olarak Denklem (4.13) ve (4.14)'de açıklanmıştır.

$$L_m = R_s \left(\frac{V_s}{V_w} \right) \quad (4.13)$$

$$L_b = \left(\frac{F_s}{V_w^3} \right) \quad (4.14)$$

Denklem (4.13)'te yer alan F_s aşağıdaki Denklem (4.15)'de açıklanmıştır.

$$F_s = V_s R_s^2 \delta g \quad (4.15)$$

Bu denklemde g yer çekimi ivmesini, $\delta = \frac{\rho_\infty - \rho_s}{\rho_\infty} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{T_s}$ kaldırma kuvveti

(buoyancy) oranını ifade etmektedir. Tam boyutlu tipk fırkateyn modeli için yapılan çalışmada egzoz çıkış sıcaklığı $T_s = 315^\circ\text{C}$, ortam sıcaklığı ise $T_\infty = 15^\circ\text{C}$ olarak sabit alınmıştır. Bu şartlarda kaldırma kuvveti oranı $\delta = 0.952$ olarak hesaplanmıştır.

Gerçek boyutlardaki tipk fırkateyn modeli için yapılan bu sayısal çalışmada farklı 5 hız oranı ($K=0.601$, $K=0.7349$, $K=1.32$, $K=2.772$ ve $K=3.242$) için egzoz gazlarının baca merkezinden çıktığı andan itibaren izlerikleri yol analitik olarak incelenmiştir. Durum 1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5'de belirlenen seyir şartlarında seçilen tipik fırkateynin baca yarıçapı $R_s = 0.55$ m olup hesaplanan L_m , L_b , X_c ve y fonksiyonu değerlerini gösteren analitik çözüm denklemleri ve sonuçları Bölüm 6.2.6'da açıklanmış ve tartışılmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Yapılan çalışmada tipik bir fırkateyn ele alınmış ve fırkateynin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deneysel çalışmada seçilen parametreler, kullanılan yöntem ve deneysel çalışma koşulları ise aşağıda belirtilmiştir.

Seçilen tipik fırkateynde Seahawk ve Sikorsky gibi helikopterlerin iniş/kalkış yapabildikleri bir adet helikopter platformu bulunmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan üst bina modelinde geminin ileri ve tornistan hareketinde etkilenebilecek ana direk ve üzerindeki elektronik cihazlar, dümenevi, radar domu ve arkada sea zenit silah sistemi bulunmaktadır. Bahse konu fırkateynin seçilmesinin sebebi helikopter platformuna sahip olması, baca etrafında egzoz gazı sıcaklığından etkilenebilecek elektronik/savaş sistemlerinin bulunmasıdır.

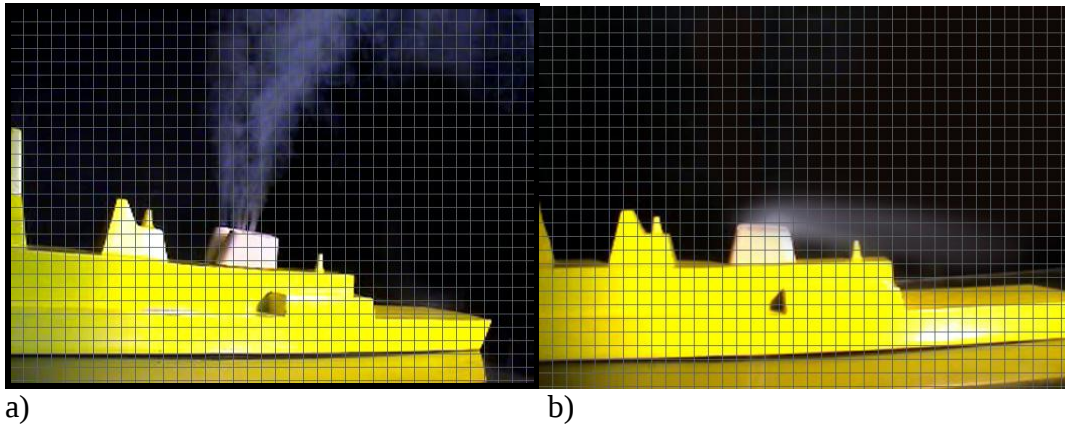
Deneysel çalışmada 1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn sesaltı rüzgar tüneline yerleştirilerek, akım görüntüleme deneyleri yapılmıştır. Rüzgar tüneli deneylerinde değişken parametre olarak beş farklı baca modeli, geminin pruvası ile rüzgarın nispi yönünden oluşan 4 farklı sapma açısı, $\psi=0^0, 10^0, 20^0$ ile tornistan ve gemi bacasından çıkan egzoz gazlarının rüzgar tünelinin giriş hızına oranından oluşan 5 farklı hız oranı, $K= 0.135, 0.203, 0.407, 0.815$ ve ∞ (Gemi Stopta) gözönüne alınmıştır. Bahse konu değişken parametreler ile gerçekleştirilen deneysel modelleme sonuçları aşağıdaki alt bölümlerde sunulmuştur. Deneysel çalışmada değerlendirilen parametreler Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Çizelge 5.1’de belirtilen parametrelerin egzoz gazlarının yayılımına etkileri deneysel olarak incelenmiş ve yapılan deney sonuçları alt bölümlerde sunulmuş ve tartışılmıştır.

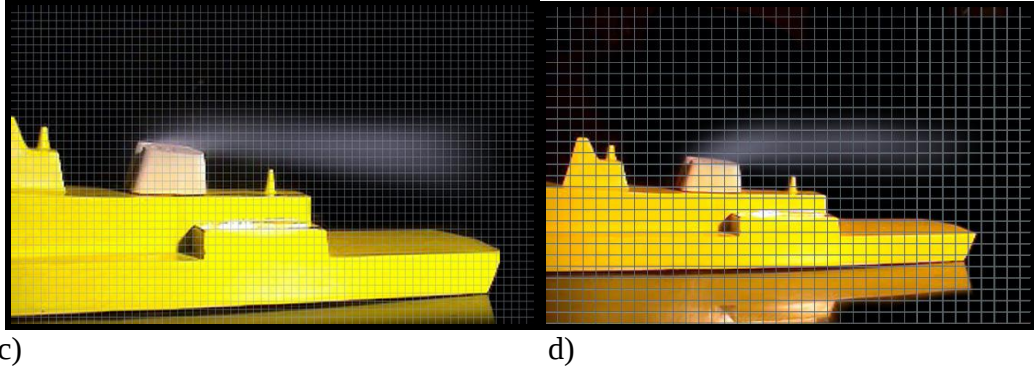
Çizelge 5.1 : Deneysel Çalışma Parametreleri.

	Rüzgar Tüneli Giriş Hızı (m/s)	Egzoz Çıkış Hızı (m/s)	Hız Oranı	Sapma Açısı Ψ ($^{\circ}$)	Baca Geometrisi
DURUM-1	0	2.03846	∞	0	DÜZ BACA
DURUM-2	2.5	2.03846	0.815	0	DÜZ BACA
DURUM-3	5	2.03846	0.407	0	DÜZ BACA
DURUM-4	10	2.03846	0.203	0	DÜZ BACA
DURUM-5	2.5	2.03846	0.815	10	DÜZ BACA
DURUM-6	2.5	2.03846	0.815	20	DÜZ BACA
DURUM-7	2.5	2.03846	0.815	0	SAN-İSK EĞİMLİ BACA

5.1 Hız Oranının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi

Rüzgar tünelindeki akım görüntüleme deneylerinde 1/100 ölçekli fırkateyn bacasından çıkan egzoz gazı, duman üreticiden çıkan hava/duman karışımı ile modellenmiştir. Hava/duman karışımının üreteçten çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s sabit olup rüzgar tüneli giriş hızları ($V_w=0$ m/s, 2.5 m/s, 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s) değişmektedir. Hız oranları sırasıyla; $K=0.135$, 0.203, 0.407, 0.815 ve $K=\infty$ (Gemi Stopta) olarak hesaplanmıştır. Rüzgar tünelindeki akım görüntüleme deneylerinde ilk hız oranı ($K=0.135$) için rüzgar tünelinin giriş hızları duman üreticinin çıkış hızına göre çok yüksek olduğundan akım görüntülenememiştir. Dolayısıyla sadece $K=0.203$, $K=0.407$, $K=0.815$ ve $K=\infty$ (Gemi Stopta) için akım görüntüleme deneyleri yapılmıştır (Durum-1, 2, 3 ve 4). Gemi ileri yolda iken artan hız oranları için egzoz gazlarının yayılımı Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



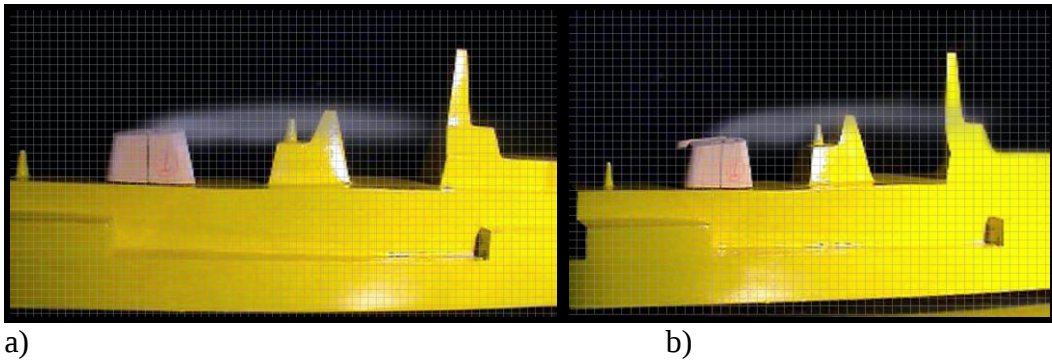


Şekil 5.1 : İleri Yolda Hız Oranının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi

a) $K=\infty$ (Gemi stopta) b) $K=0.203$ c) $K=0.407$ d) $K=0.815$.

Baca modellerinden düz baca modelini kullanılıp hız oranını azaltıldığında egzoz gazının helikopter platformunun üzerine düşme eğilimi gösterdiği ve bu etkiden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkan gazların momentumlarının yükseltilerek, baca gazlarının helikopter platformuna düşmesinin engellenebileceği görülmüştür (Şekil 5.1).

Benzer bir şekilde, rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneyleri gemi tornistan yolda iken de yapılmıştır. Gemi tornistan yolda iken artan hız oranlarının egzoz gazlarının yayılımına etkisi Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Tornistan Yolda Hız Oranının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi

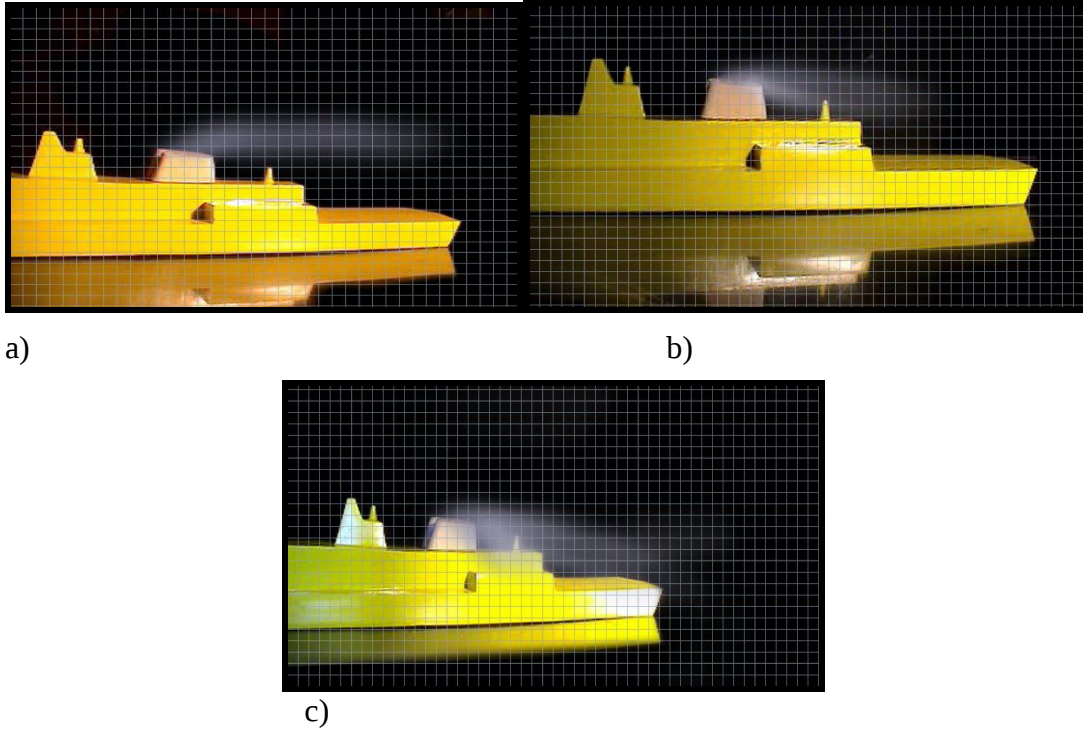
a) $K=0.407$ b) $K=0.815$

Tornistan yolda hız oranının artışı azda olsa baca gazlarının yükselmesine sebep olmaktadır. Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde 1/100 ölçekli fırkateyn modeli üzerinde sadece rüzgar tüneline hızını değiştirerek hız oranı arttırılabilmektedir. Dolayısıyla hız oranının arttırılması momentumun artmasına ve baca gazlarının azda olsa yükselmesine yol açsa da bu şartlarda egzoz gazlarının

baca önündeki elektronik sistemlere zarar verebileceği değerlendirilmektedir (Şekil 5.2).

5.2 Sapma Açısının Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi

Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde 1/100 ölçekli fırkateyn modeli rüzgar tüneline içine yerleştirilmiştir. Sabit baca geometrisi için, fırkateynin yönü sancak/iskelede değiştirildiğinde sapma açısı $\psi=0^0$, 10^0 ve 20^0 olarak ortaya çıkmıştır (Durum-2, 5 ve 6). Sapma açısının egzoz gazlarının yayılımına etkisi deneysel olarak incelenmiş ve deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



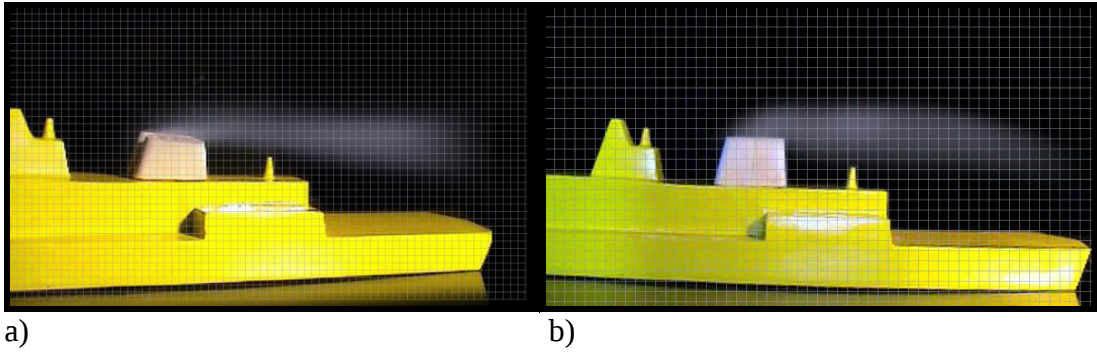
Şekil 5.3 : Sapma açısının egzoz gaz yayılımına etkisi

a) $\psi=0^0$, b) $\psi=10^0$ ve c) $\psi=20^0$.

Şekil 5.3’de sabit baca geometrisi kullanılarak, sabit hız oranında ($K=0.815$), geminin yönünün kademeli olarak değiştirildiği akım görüntüleme deneyi sonucunda, sapma açısı $\psi=0^0$ ’den $\psi=20^0$ ’ye değişikçe egzoz gazlarının helikopter platformuna doğru yönlendiği tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Bu olumsuz etkilerden korunmak maksadıyla egzoz gazlarının çıkış hızlarının artırılarak zararlı gazların helikopter platformuna düşmesinin engellenebileceği değerlendirilmektedir.

5.3 Baca Geometrisinin Egzoz Gaz Yayılımına Etkisi

Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneyleri kapsamında 1/100 ölçekli fırkateyn modeli ve 5 farklı baca modeli yapılmıştır. Bu baca modelleri deneylerde kullanılmış olup rüzgar tüneli ölçülerine göre baca ölçüleri çok küçük olduğundan akım görüntülenememiştir. 1/100 ölçekli bacalardan sadece ikisi için egzoz gazlarının etkileri Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Baca geometrisinin egzoz gaz yayılımına etkisi

a) Sancak İskele Eğimli baca b) Düz Baca geometrisi.

Sabit hız oranı ($K=0.815$) ve sapma açısı ($\psi=0^0$) için deneysel çalışmada kullanılan farklı iki baca geometrisinin etkisi Şekil 5.4’den de anlaşılacağı gibi 1/100 ölçekli yapılan fırkateyn modeli için deneysel çalışmada baca geometrisinin egzoz gaz yayılımına etkisi net olarak anlaşılamadığı tespit edilmiştir (Şekil 5.4). Sayısal çalışmada değişik baca geometrilerinin egzoz gazlarının yayılımına etkileri tam boyutlardaki fırkateyn modeli için detaylı olarak incelenmiştir.

6. SAYISAL SONUÇLAR

Sayısal çalışma kapsamında egzoz gazları ile gemi üst yapısı arasındaki etkileşim, Şekil 4.4'te gösterilen helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için sayısal olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda türbülans modeli olarak iki denklemlili k-ε modeli kullanılmıştır. Üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Ağ sistemi tetrahedral ve uyarlanabilir ağ sistemidir. Öncelikle ağ sıklığının sonuçlara etkisinin olup olmadığı incelenmiş, sonuçların değişmediği hesaplama ağı ile sayısal çalışma yapılmıştır.

Sayısal sonuçlar iki bölüm halinde sunulmuştur. İlk bölümde öncelikle hesaplama ağının sonuçlara etkisi incelenmiş daha sonra ise 1/100 ölçekli fırkateyn modeli kullanılarak yapılan rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde elde edilen sonuçlar ile aynı sınır şartları için yapılan sayısal çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. 1/100 ölçekli tipik fırkateyn için yapılan sayısal çalışmada gemi ileri ve tornistan yolda iken hız oranının ($K=0.407$ ve $K=0.815$), sapma açısının ($\Psi=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$) ve değişik baca geometrilerinin (Sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca ve düz baca) egzoz gaz yayılımına etkileri incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında ise rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneyleri sonuçları ile sayısal çalışma sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmüştür.

İkinci bölümde ise helikopter platformuna sahip tam boyutlu tipik fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazlarının ve egzoz gaz konsantrasyonlarının yayılımı sayısal olarak incelenmiştir. Gerçek boyutlarda helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için seyir şartlarındaki tüm durumlar gözönüne alınmıştır. Bu kapsamda fırkateyn seyir halinde (ileri/tornistan yolda) iken bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıkları ile hızları, geminin manevralarına bağlı olarak rüzgar hızı ile yönü değişmektedir. Bu kapsamda ileri ve tornistan yolda hız oranının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.272), sapma açısının ($\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30°), egzoz gaz sıcaklığının ($T_s=100^\circ, 200^\circ, 300^\circ, 400^\circ$ ve 500°) ve ebatları farklı 5

bacanın seçilen fırkateyn bacasından çıkan egzoz gazlarının yayılımı ile egzoz emisyonlarına etkisi ve egzoz gazlarının gemi üst binası ile etkileşimi sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

6.1 1/100 Ölçekli Model Sonuçları

Sayısal modellemede öncelikle kullanılacak hesaplama ağının belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü sayısal çalışmada kullanılan ağ sayısı arttıkça hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin yönetici denklemleri çözme hassasiyeti arttığından sonuçlarda değişimler olabilmektedir. Bu kapsamda sayısal modellemeye başlamadan ağ sıklığının sonuçlara etkisi incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Hesaplama ağı ilk başlangıçta 19705 hücreli olarak belirlenmiş ve kademeli olarak (31999, 76036, 122994, 190364, 312547 ve 398211) arttırılmıştır. Her bir hesaplama ağı için fırkateyn etrafındaki hız dağılımının değişip değişmediği incelenmiştir. Hesaplama ağı büyüdükçe sayısal hesaplama sürelerinin arttığı üç boyutlu yönetici denklemlerin çözümünün uzun süreler aldığı görülmüştür. Ancak ağ sayısı arttıkça fırkateyn etrafındaki hız dağılımı da değişmektedir. Ağ sıklığının sonuçlara etkisinin olmadığı 312547 ve 398211 hücreli ağ sisteminden 312547 hücreli ağ sistemi ele alınmış ve tüm sayısal çalışma esnasında bu hesaplama ağı kullanılmıştır.

Ayrıca bu bölümde 1/100 ölçekli helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin sesaltı rüzgar tüneline yerleştirilerek yapılan akım görüntüleme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar ile yine 1/100 ölçekli fırkateyn için yapılan sayısal çalışma sonunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sayısal çalışma ve deneysel çalışmanın karşılaştırılması kapsamında iki farklı baca geometrisinin (Sancak/İskele Baş/Kıç Eğimli baca ve Düz Baca), 3 farklı sapma açısının ($\psi=0^0, 10^0, 20^0$) ve ileri ve tornistan yolda 2 farklı hız oranının ($K=0.407$ ve 0.815) egzoz gazlarının yayılımına etkisi karşılaştırılmış, elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sayısal sonuçların deneysel sonuçlara iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

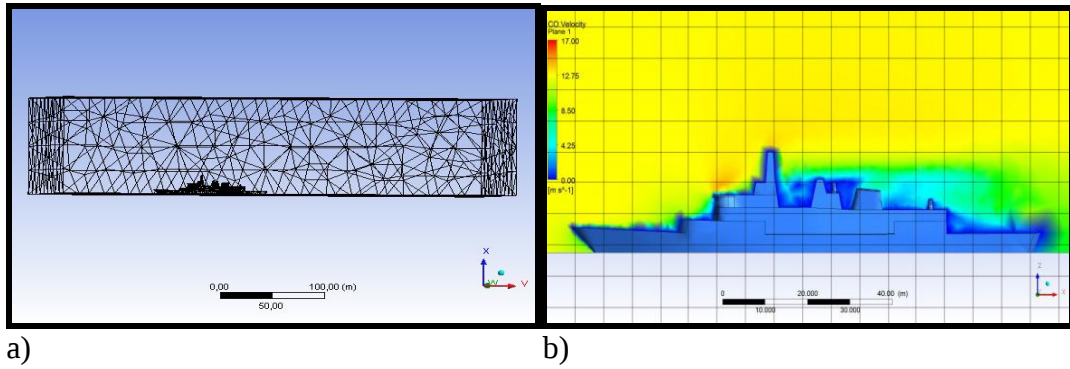
6.1.1 Ağ sıklığının sonuçlara etkisinin incelenmesi

Sayısal modelin ağ sıklığı değiştirildiğinde geminin bacasından çıkan egzoz gaz yayılımının ve geminin etrafında oluşan hız yayılımının değişmesinden dolayı sayısal sonuçların ağdan bağımsız olarak elde edilmesi gerekmektedir. Hesaplama ağı ilk

önce 19705 hücreli olarak belirlenmiş ve kademeli olarak (31999, 76036, 122994, 190364, 312547 ve 398211) arttırılmıştır. Her bir hesaplama ağı için fırkateyn etrafındaki hız dağılımının değişip değişmediği incelenmiştir. Hesaplama ağı büyüdükçe sayısal hesaplama sürelerinin arttığı üç boyutlu yönetici denklemlerin çözümünün uzun süreler aldığı görülmüştür. Ağ sıklığının sayısal hesaplama sonuçlarına etkisi aşağıda detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

a) 19705 Ağ sıklığına sahip tipik fırkateyn modeli

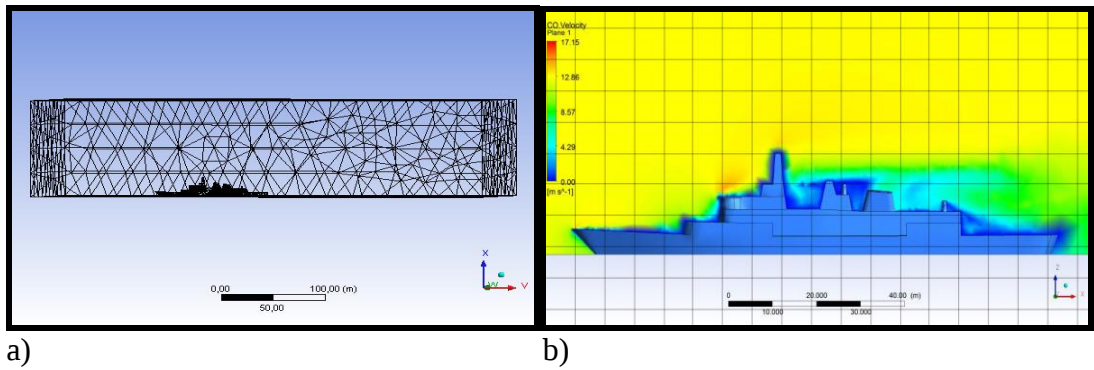
Sayısal modellemede 19705 hücreli hesaplama ağının ağ sıklığının üçboyutlu görünümü ve 19705 hücreli hesaplama ağı için tipik fırkateynin hız dağılımı Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Hesaplama Ağı (19705 Hücreli) a) Ağ sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (19705 Hücreli).

b) 31999 Ağ sıklığına sahip tipik fırkateyn modeli

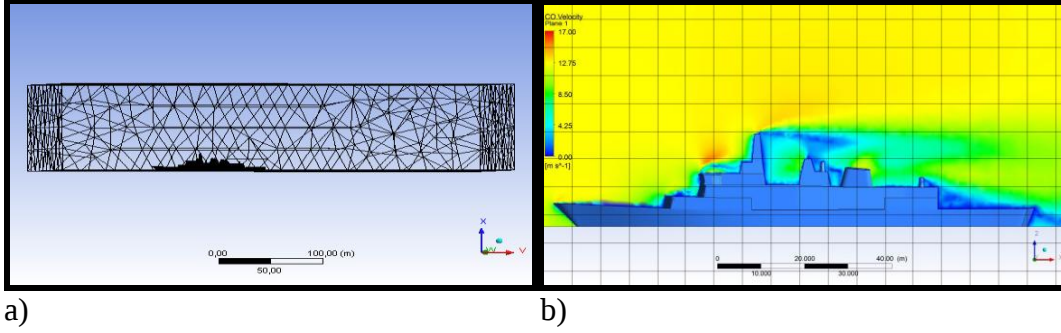
Sayısal modellemede 31999 hücreli hesaplama ağının ağ sıklığının üçboyutlu görünümü ve 31999 hücreli hesaplama ağı için tipik fırkateynin hız dağılımı Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 : Hesaplama Ağı (31999 Hücreli) a) Ağ sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (31999 Hücreli).

c) 76036 Ağ sıklığına sahip tipik fırkateyn modeli

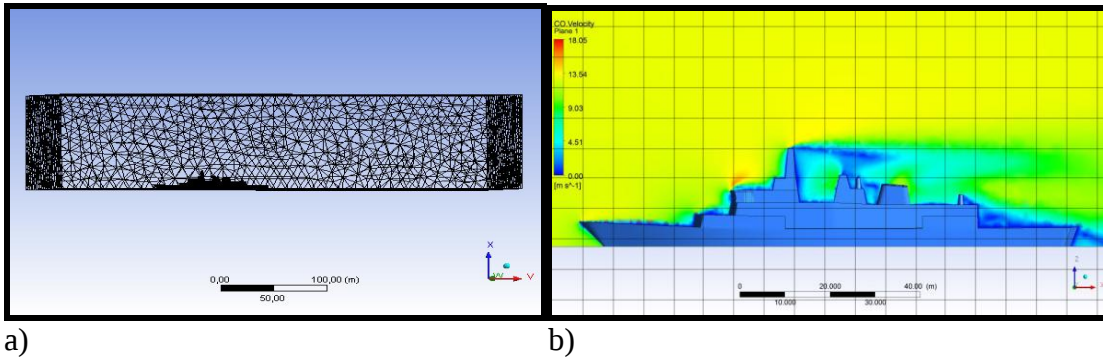
Sayısal modellemede 76036 hücreli hesaplama ağının ağ sıklığının üçboyutlu görünümü ve 76036 hücreli hesaplama ağı için tipik fırkateynin hız dağılımı Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3 : Hesaplama Ağı (76036 Hücreli) a) Ağ sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (76036 Hücreli).

ç) 122994 Ağ sıklığına sahip tipik fırkateyn modeli

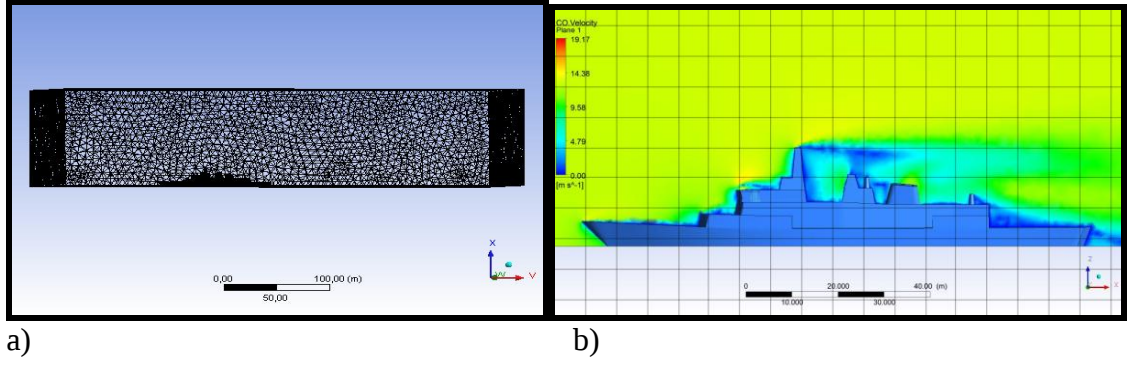
Sayısal modellemede 122994 hücreli hesaplama ağının ağ sıklığının üçboyutlu görünümü ve 122994 hücreli hesaplama ağı için tipik fırkateynin hız dağılımı Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : Hesaplama Ağı (122994 Hücreli) a) Ağ sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (122994 Hücreli).

d) 190364 Ağ sıklığına sahip tipik fırkateyn modeli

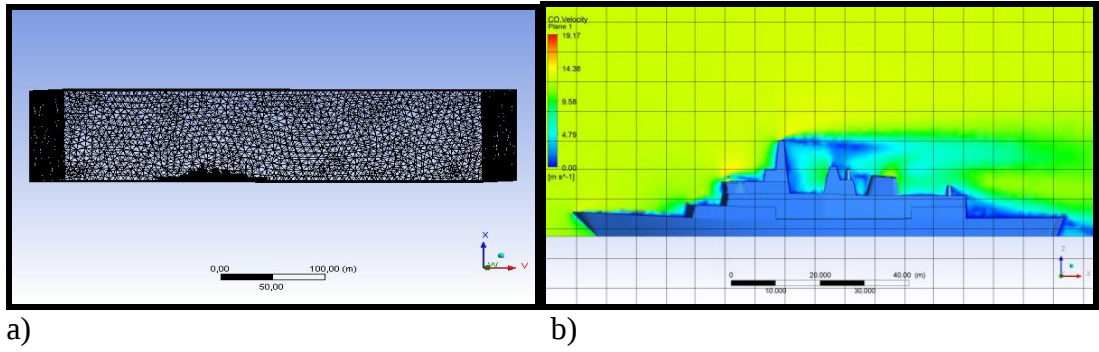
Sayısal modellemede 190364 hücreli hesaplama ağının ağ sıklığının üçboyutlu görünümü ve 190364 hücreli hesaplama ağı için tipik fırkateynin hız dağılımı Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Hesaplama Ağı (190364 Hücreli) a) Ağı sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (190364 Hücreli).

e) 312547 Ağı sıklığına sahip tipik fırkateyn modeli

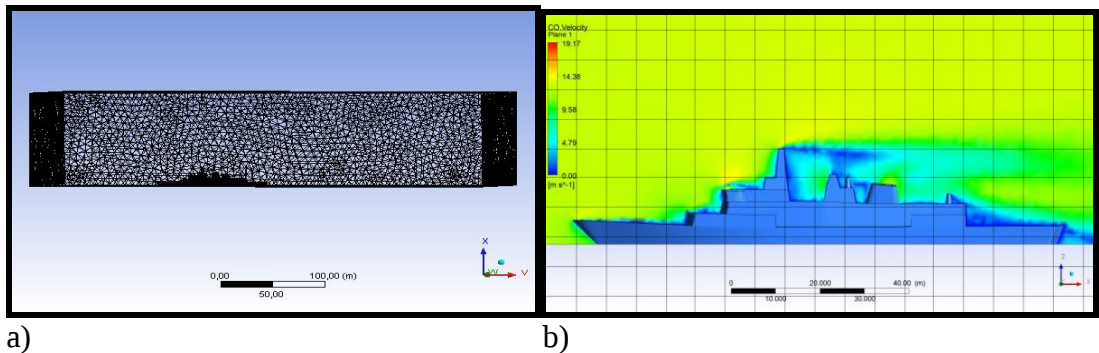
Sayısal modellemeye 312547 hücreli hesaplama ağının ağı sıklığının üçboyutlu görünümü ve 312547 hücreli hesaplama ağı için tipik fırkateynin hız dağılımı Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 : Hesaplama Ağı (312547 Hücreli) a) Ağı sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (312547 Hücreli).

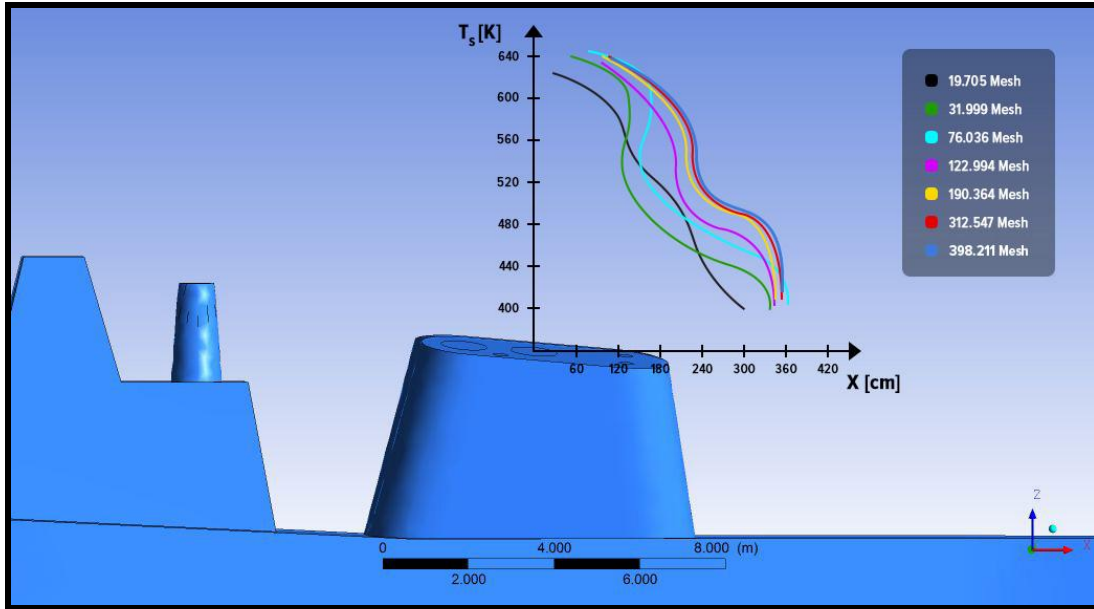
f) 398211 Ağı sıklığına sahip tipik fırkateyn modeli

Sayısal modellemeye 398211 hücreli hesaplama ağının ağı sıklığının üçboyutlu görünümü ve 398211 hücreli hesaplama ağı için tipik fırkateynin hız dağılımı Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : Hesaplama Ağı (398211 Hücreli) a) Ağı sıklığı b) “u” Hız Dağılımı (398211 Hücreli).

Hesaplama ağıının sayısal sonuçlara etkisi 7 farklı hesaplama ağı için incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.1- Şekil 6.7’de sunulmuştur. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi hesaplama ağı büyüklüğü Şekil 6.6’daki 312547 hücreli ağı sıklığına kadar arttıkça fırkateyn ileri yolda iken geminin etrafında oluşan yatay (x yönündeki) hız dağılımı değişmektedir. Dolayısıyla ağı sıklığının sayısal sonuçları 312547 hücreli ağı sıklığına kadar etkilediği görülmüştür. Şekil 6.7’de gösterilen hesaplama ağı (398211 hücreli) sonuçlarının Şekil 6.6’da gösterilen hesaplama ağı (312547 hücreli) sonuçları ile aynı olduğu görülmüştür. Bu nedenle ağı sıklığının değişmediği 312547 hücreli hesaplama ağı seçilerek sayısal çalışma yapılmıştır. Ayrıca 7 farklı hesaplama ağı için egzoz çıkış sıcaklığının değişimi de Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 : Değişik hesaplama ağlarının egzoz çıkış sıcaklığına etkisi.

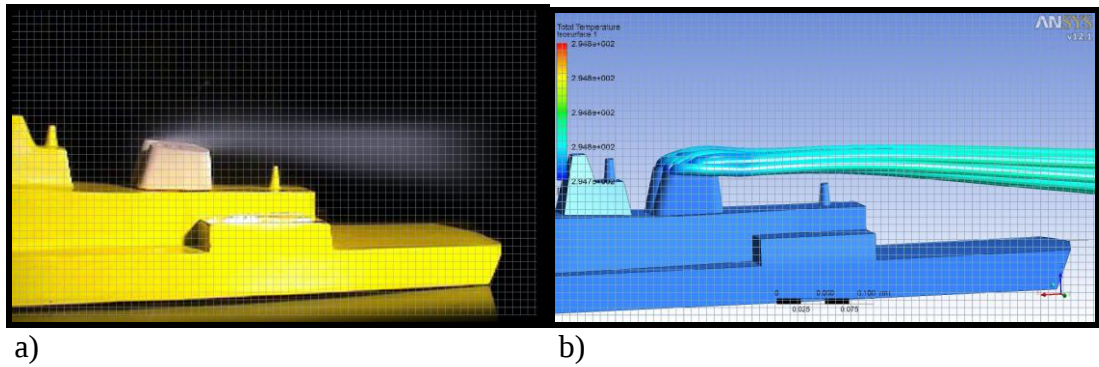
Şekil 6.8’deki 7 farklı hesaplama ağıının (19705, 31999, 76036, 122994, 190364, 312547 ve 398211) bacadan çıkan egzoz gaz sıcaklıklarına etkisi incelendiğinde en son kullanılan 312547 hücreli hesaplama ağı (mavi) ve 398211 hücreli hesaplama ağı arasında egzoz gaz sıcaklıkları % 0.5 ila maksimum % 1 olarak değişmektedir. Hesaplama ağı büyüdükçe sayısal hesaplama sürelerini arttığı üç boyutlu yönetici denklemlerin çözümünün uzun süreler aldığı göz önüne alındığında tüm sayısal hesaplamalar sonuçların değişmediği 312547 hücreli hesaplama ağı kullanılarak yapılmıştır.

6.1.2 Sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

1/100 ölçekli helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçları ile yine 1/100 ölçekli fırkateyn için yapılan sayısal çalışma sonunda elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Sayısal çalışma ve deneysel çalışmanın karşılaştırılması kapsamında iki farklı baca geometrisinin (Sancak/İskele Baş/Kıç Eğimli baca ve Düz Baca), 3 farklı sapma açısının ($\psi=0^0, 10^0, 20^0$) ve ileri/tornistan yolda 2 farklı hız oranının ($K=0.407$ ve 0.815) egzoz gazlarının yayılımına etkisi karşılaştırılmış, elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır. Sayısal modelin doğrulanması maksadıyla akım görüntüleme deneylerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sunulmuştur.

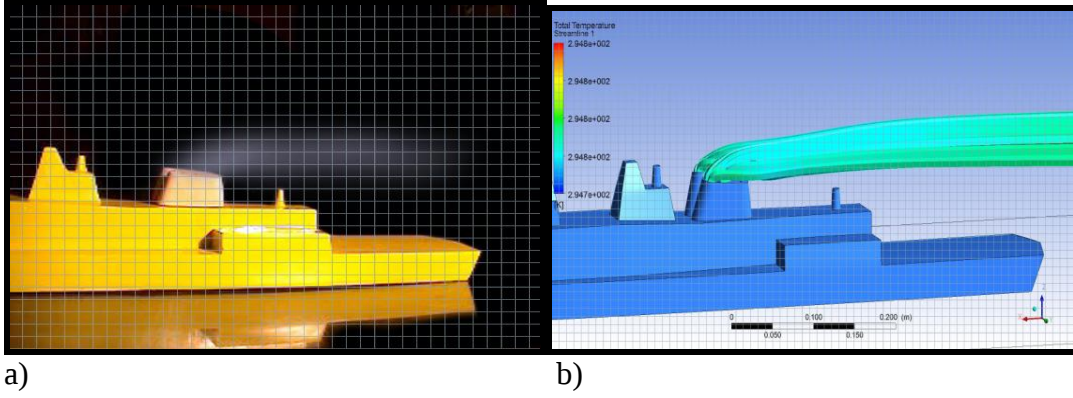
6.1.2.1 İleri yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi

1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeli için egzoz çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s, rüzgar tüneli giriş hızı (V_w) 5 m/s ve 2.5 m/s (Hız oranı $K=0.407$ ve 0.815), sapma açısı $\Psi=0^0$ (Rüzgar baştan) iken, gemi ileri yolda, ortam sıcaklığı 21.6^0C , sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca geometrisi (Şekil 5.5 a) kullanıldığında elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9: $K=0.407$ için egzoz gaz yayılımı (Gemi İleri Yolda) a) Deneysel Sonuç

b) Sayısal Sonuç.

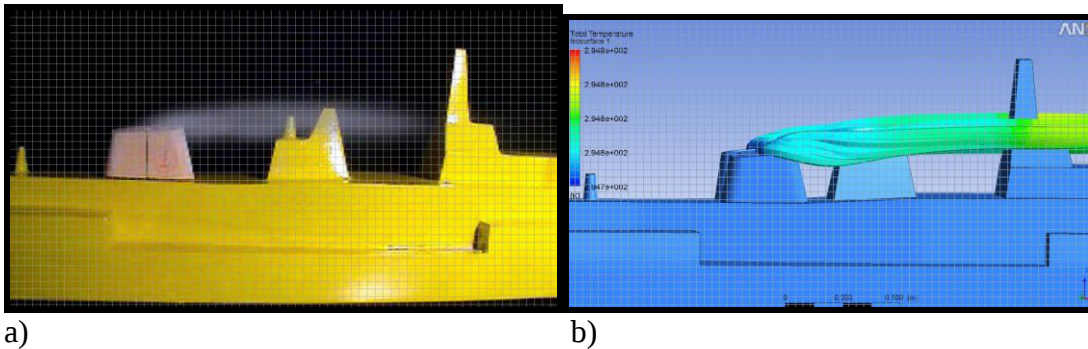


Şekil 6.10 : $K=0.815$ için egzoz gaz yayılımı (Gemi İleri Yolda) a) Deneysel Sonuç
b) Sayısal Sonuç.

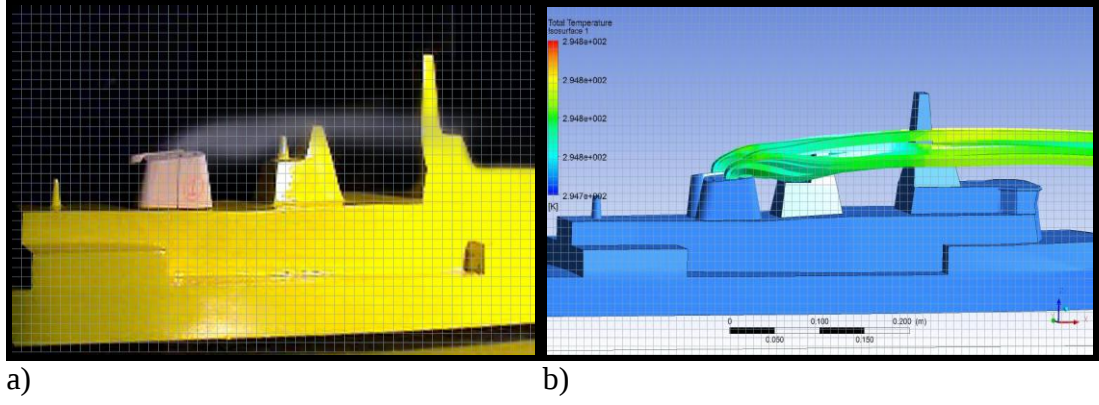
1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeli için, gemi ileri yolda seyredirken hız oranı $K=0.407$ 'den $K=0.815$ 'e çıkarıldığında bacadan çıkan egzoz gazlarının momentumlarının arttığı dolayısıyla egzoz gazlarının helikopter platformundan uzaklaştığı hem deneysel sonuçlarda (Şekil 6.9 a ve Şekil 6.10 a) hem de sayısal sonuçlarda (Şekil 6.9 b ve Şekil 6.10 b) görülebilir. Bu nedenle sayısal sonuçlar deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içindedir.

6.1.2.2 Tornistan yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi

1/100 ölçekli fırkateyn modeli için egzoz çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s, rüzgar tüneli giriş hızı (V_w) 5 m/s ve 2.5 m/s (Hız oranı $K=0.407$ ve $K=0.815$), sapma açısı $\Psi=0^\circ$ (Rüzgar kıçtan) iken, gemi tornistan yolda, ortam sıcaklığı 21.6°C , sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca geometrisi (Şekil 5.5 a) kullanıldığında elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 : $K=0.407$ için Egzoz Gaz Yayılımı (Gemi Tornistan Yolda)
a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.



Şekil 6.12 : K=0815 için Egzoz Gaz Yayılımı (Gemi Tornistan Yolda)

a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.

1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeli için, gemi tornistan yolda seyrederken $K=0.407$ için, egzoz gazlarının bacanın önünde bulunan elektronik sistemlerin bulunduğu direk ve ana direği etkiledikleri, $K=0.815$ için egzoz gaz yayılımının momentumunun arttığı ve egzoz gazlarının yükseldiği hem deneysel sonuçlarda (Şekil 6.11 a ve Şekil 6.12 a) hem de sayısal sonuçlarda (Şekil 6.11 b ve Şekil 6.12 b) görülebilir. Bu nedenle sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içinde olduğu değerlendirilmektedir.

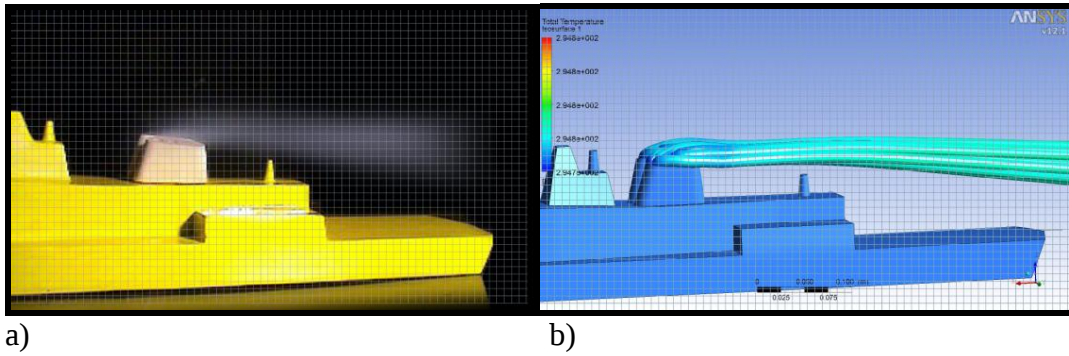
Sonuç olarak helikopter platformuna sahip 1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn modeli için ileri ve tornistan yolda yapılan sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar, rüzgâr tünelineki akım görüntüleme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tüm durumlar için sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içinde olduğu, ayrıca hız oranının fırkateyn ileri ve tornistan yolda seyir halindeyken egzoz gazının olumsuz etkilerinden korumak için baskın bir parametre olduğu görülmüştür. Bu nedenle hız oranının geminin dizayn aşmasında gerçekleştirilecek sayısal modellemede de göz önüne alınması gerektiği değerlendirilmektedir.

6.1.2.3 Baca geometrisinin egzoz gazlarının yayılımına etkisi

1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn modeli için yapılan 5 farklı baca geometrisi için (Şekil 3.3) yapılan deneysel çalışmada bu 5 farklı baca geometrisinin egzoz gaz yayılımına etkileri incelenmiş ancak 1/100 ölçekli yapılan bacaların ölçülerinin küçük olması ve rüzgâr tüneli hızının yüksek olmasından dolayı akım

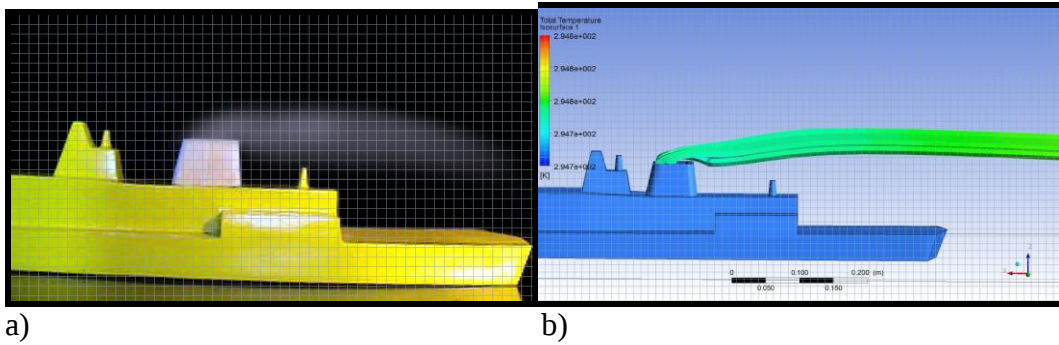
görüntülenememiş ve sadece iki baca (Sancak/İskele Baş/Kıç Eğimli baca ve Düz Baca) için elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

1/100 ölçekli fırkateyn modeli için egzoz çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s, rüzgar tüneli giriş hızı (V_w) 5 m/s (Hız oranı $K=0.407$), sapma açısı $\Psi=0^0$ (Rüzgar baştan) iken, gemi ileri yolda, ortam sıcaklığı 21.6^0C , sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca geometrisi kullanıldığında elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar aşağıdaki Şekil 6.13’de gösterilmiştir.



Şekil 6.13 : Sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca geometrisi için Egzoz Gaz Yayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.

1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeli için, egzoz çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s, rüzgar tüneli giriş hızı (V_w) 5 m/s (Hız oranı $K=0.407$), sapma açısı $\Psi=0^0$ (Rüzgar baştan) iken, gemi ileri yolda, ortam sıcaklığı 21.6^0C düz baca geometrisi kullanıldığında elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar Şekil 6.14’de gösterilmiştir.



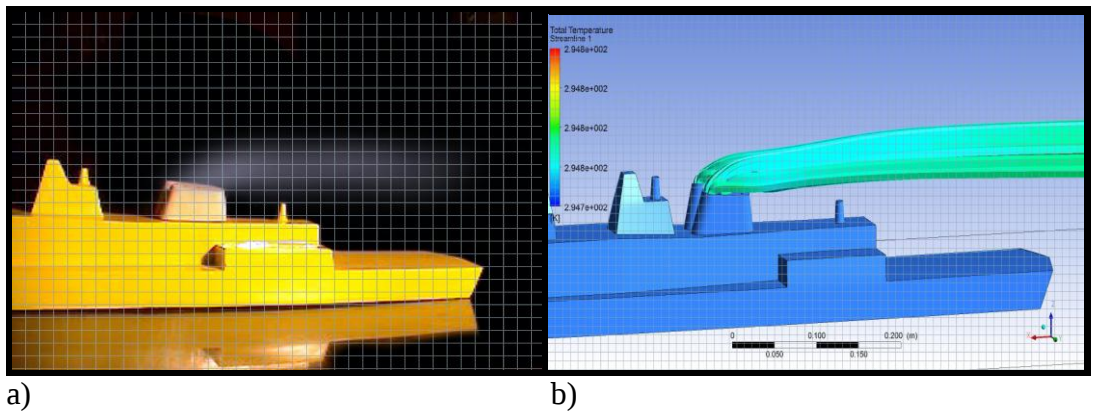
Şekil 6.14 : Düz baca geometrisi için Egzoz GazYayılımı a) Deneysel Sonuç b) Sayısal Sonuç.

Yukarıdan da anlaşılacağı gibi baca geometrisi (Sancak/İskele Baş/Kıç Eğimli baca ve Düz Baca) değişiminin hem sayısal olarak hem de deneysel olarak egzoz gazlarının yayılımına büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Şekil 6.13 ve Şekil 6.14). Bunun ölçeklendirildiğinde gemi boyuna nazaran çok daha küçük ölçülere sahip olan bacalardan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Ancak baca

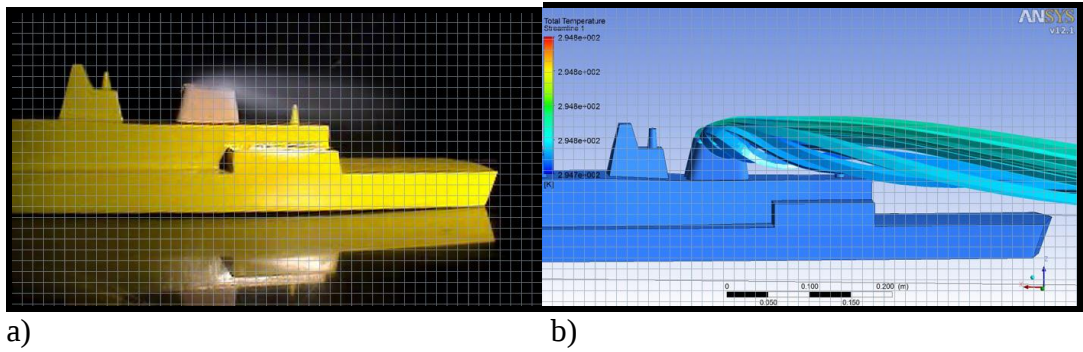
geometrisinin egzoz gazlarının yayılımına etkisi, gerçek boyutlardaki tipik fırkateyn için müteakip bölümlerde daha detaylı olarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

6.1.2.4 Sapma açısının egzoz gazlarının yayılımına etkisi

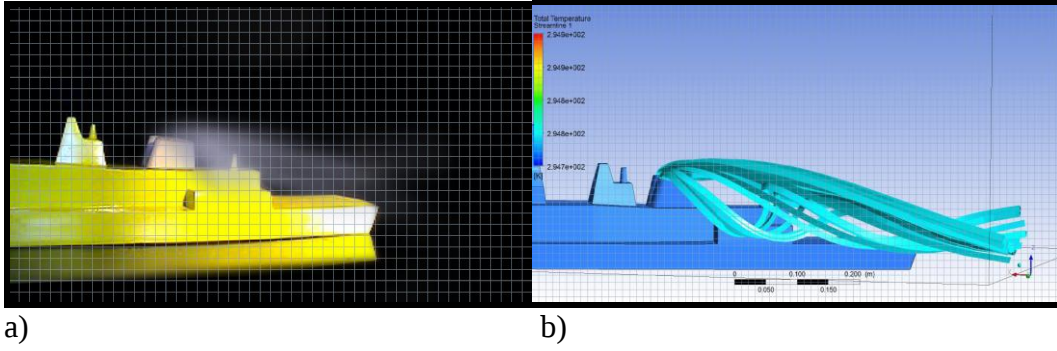
1/100 ölçekli tipik fırkateyn model için, egzoz çıkış hızı (V_s) 2.03846 m/s, rüzgar tüneli giriş hızı (V_w) 2.5 m/s (Hız oranı $K=0.815$, gemi ileri yolda, ortam sıcaklığı 21.6°C , sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca geometrisi (Şekil 5.5 a ve Şekil 3.3) kullanıldığında elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de gösterilmiştir.



Şekil 6.15 : Sapma açısı $\Psi=0^\circ$ için egzoz gazı yayılımı a) Deneysel Sonuç
b) Sayısal Sonuç.



Şekil 6.16 : Sapma açısı $\Psi=10^\circ$ için egzoz gazı yayılımı a) Deneysel Sonuç
b) Sayısal Sonuç.



Şekil 6.17 : Sapma açısı $\Psi=20^\circ$ için egzoz gazı yayılımı a) Deneysel Sonuç
b) Sayısal Sonuç.

1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn için, aynı sınır şartları ($K=0.815$, ortam sıcaklığı 21.6°C , sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca geometrisi) için sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=20^\circ$ 'ye çıktığında egzoz gazlarının yayılımı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Yukarıdaki şekillerden de anlaşılabileceği gibi sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=20^\circ$ 'ye çıktıkça egzoz gazlarının helikopter platformunun üstüne düştüğü hem sayısal hem de deneysel çalışmadan görülmektedir (Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17) Sonuç olarak bağıl rüzgâr hızının geminin pruvası ile yaptığı açı olan sapma açısı büyüdükçe egzoz gazlarının helikopter platformuna düşme eğiliminin hızla artmakta olduğu, bu kapsamda sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

6.2 Tam Boyutlu Model Sonuçları

Helikopter platformuna sahip gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn modeli sayısal çalışma esnasında duvar etkisi yaratmayacak ölçülerdeki dikdörtgenler prizması içine yerleştirilerek sayısal modelleme yapılmıştır. Egzoz gazları ile fırkateyn üst binası arasındaki etkileşimi belirleyebilmek için üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji, kütle transferi ve türbülans denklemleri sonlu hacim metodu ile çözülmüştür. Ağ sistemi ise tetrahedral ve uyarlanabilir ağ sistemidir. Hesaplama ağının sonuçları değiştirmedeği ağ sıklığı (398211 hücreli ağ) kullanılarak sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Sayısal hesaplamalarda, baca çıkışında sabit hız ve sıcaklık sınır şartı, gemi yüzeyinde ve hesaplama alanının giriş ve çıkış hariç diğer yüzeylerinde duvar sınır şartı kullanılmıştır. Hesaplama alanının girişinde sabit hız ve sıcaklık, çıkışında ise basınç sınır şartı kullanılmıştır.

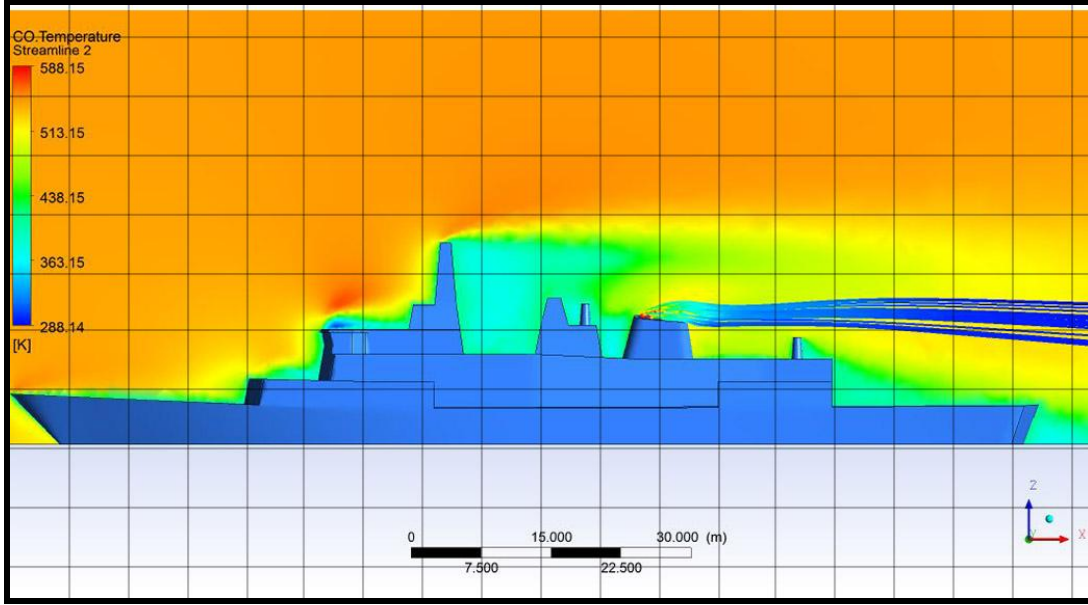
Gerçek boyutlarda helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için seyir şartlarındaki tüm durumlar gözönüne alınmıştır. Bu kapsamda fırkateyn seyir halinde (ileri/tornistan yolda) iken bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıkları ile hızları, geminin manevralarına bağlı olarak rüzgar hızı ile yönü değişmektedir. Bu kapsamda ileri ve tornistan yolda hız oranının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.272), sapma açısının ($\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30°), egzoz gaz sıcaklığının ($T_s=100^\circ, 200^\circ, 300^\circ, 400^\circ$ ve 500°) ve ebatları farklı 5 bacanın seçilen fırkateyn bacasından çıkan egzoz gazlarının yayılımı ile egzoz emisyonlarına etkisi ve egzoz gazlarının gemi üst binası ile etkileşimi sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

6.2.1 İleri yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi

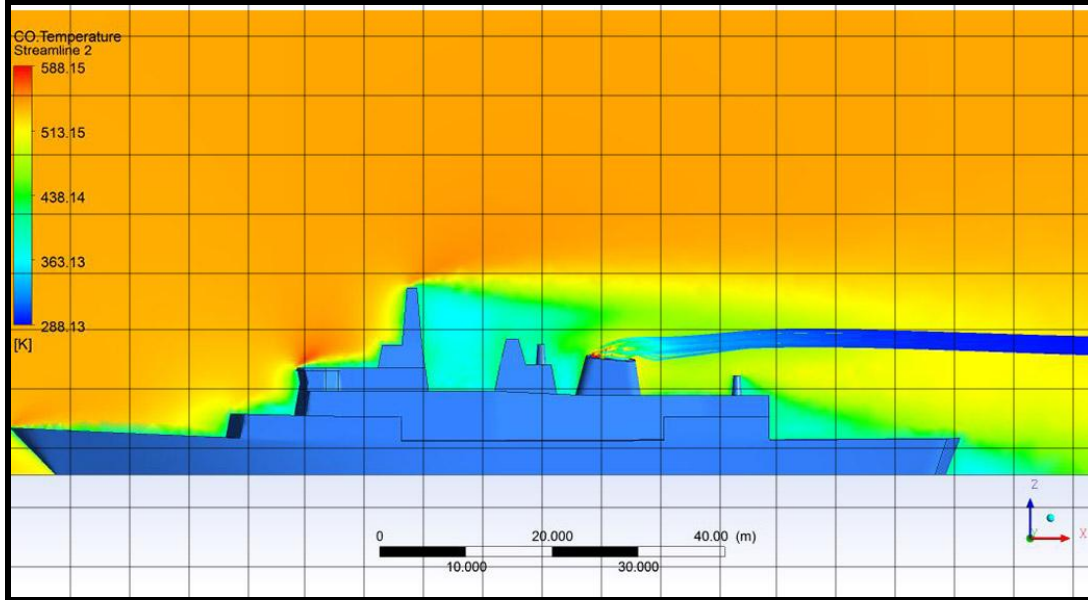
Tam boyutlarda helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin gerçek seyir şartları altında ileri yolda iken Durum-1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5 (Çizelge 4.2) için farklı hız oranlarının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$) egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi Bölüm 6.2.1.1’de, hız oranının egzoz emisyonlarına etkisi ise Bölüm 6.2.1.2’de incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

6.2.1.1 İleri yolda hız oranının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi

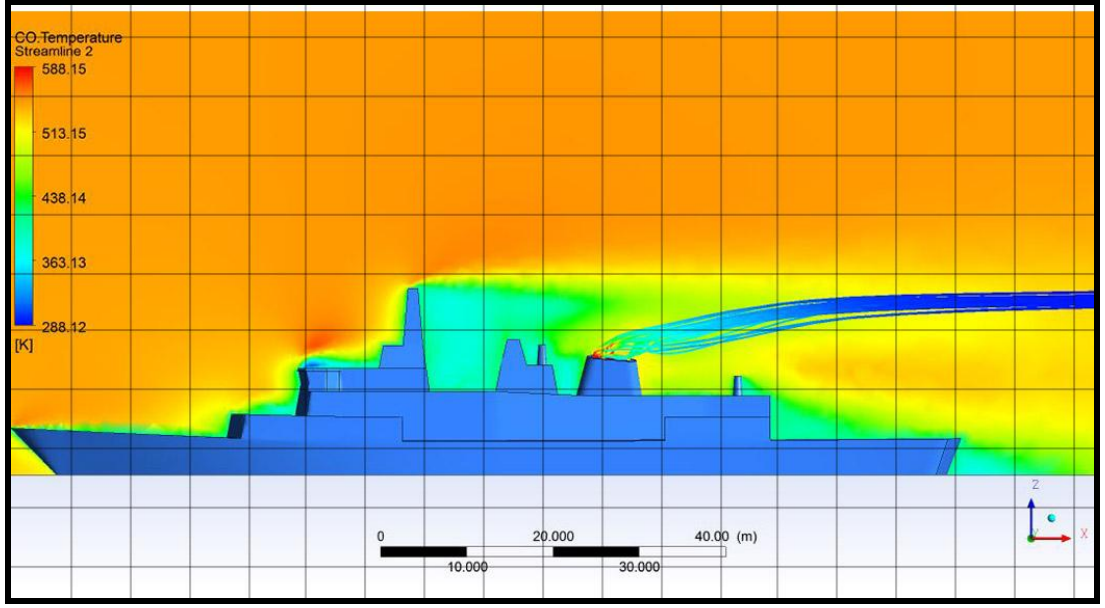
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda iken farklı hız oranlarının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$) bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 6.18 - Şekil 6.22’de gösterilmiştir.



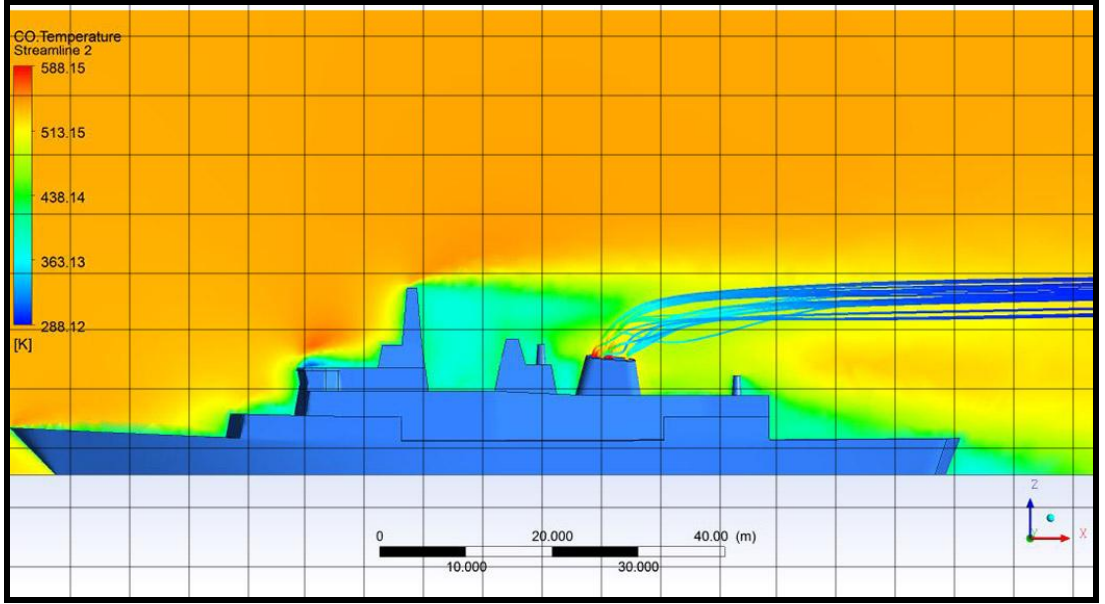
Şekil 6.18 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



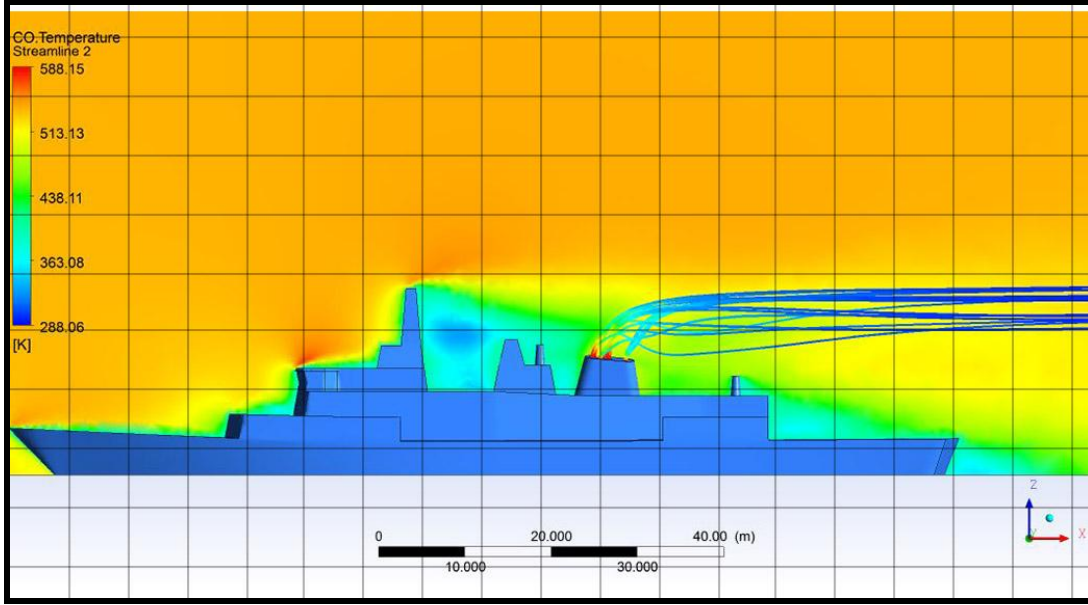
Şekil 6.19 : Durum-2 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



Şekil 6.20 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



Şekil 6.21 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.

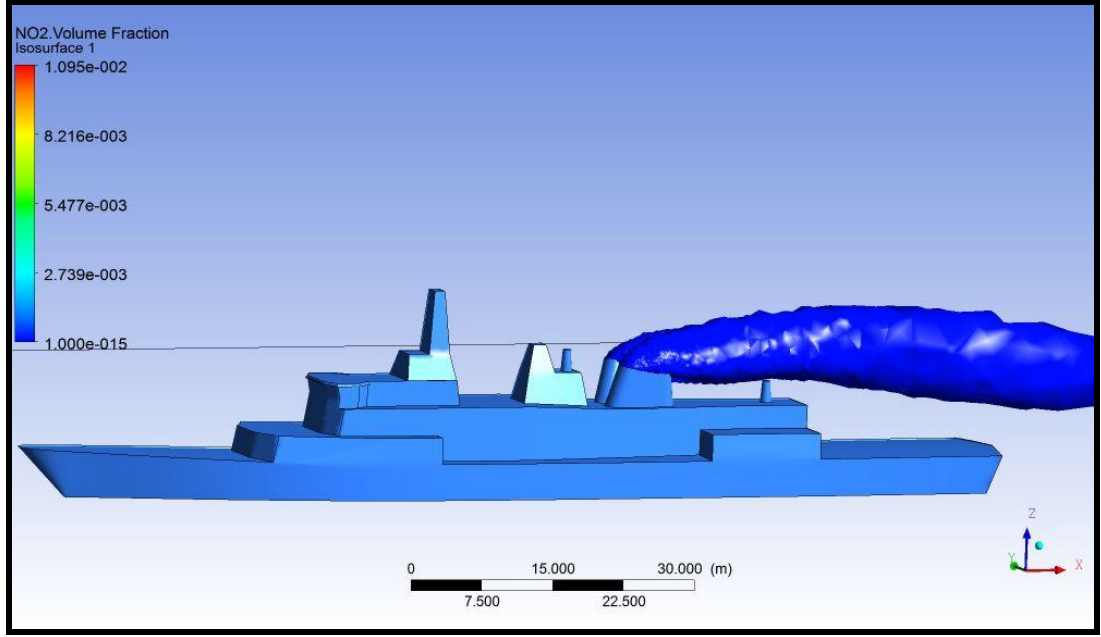


Şekil 6.22 : Durum-5 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.

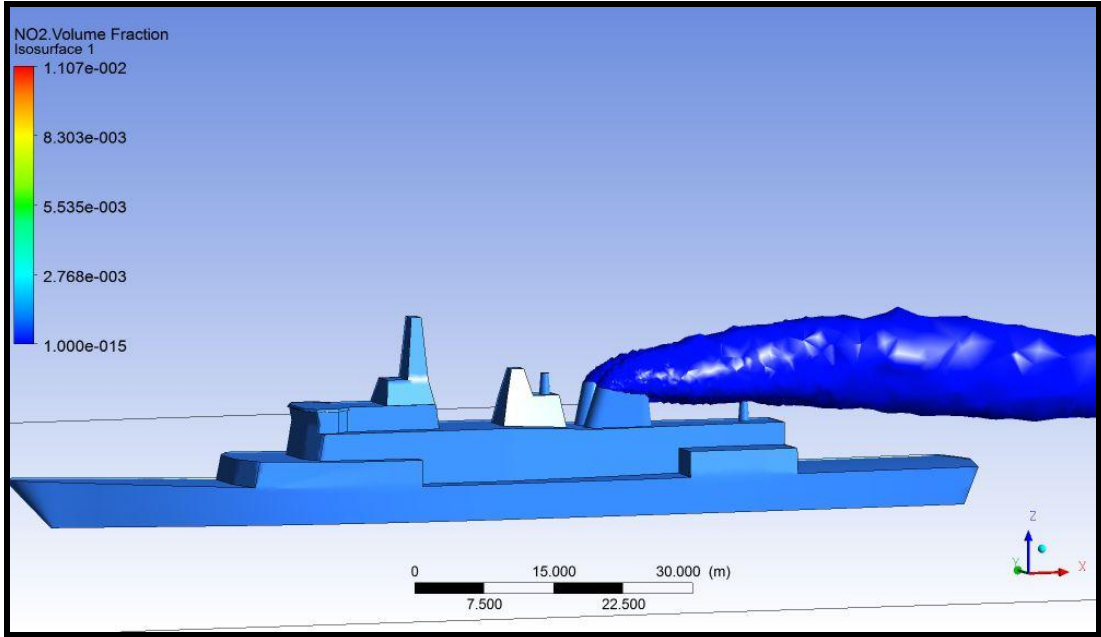
Yukarıdan da anlaşılacağı gibi egzoz gazı sıcaklığı baca çıkışında yüksek olup uzaklaştıkça doğal olarak sıcaklık azalmakta ve sonuçta ortam sıcaklığı olan 15°C (288 K)'ye düşmektedir. Aynı zamanda hız oranı $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye doğru arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının artarak helikopter platformundan uzaklaştığı ve sınır tabakanın üstüne çıkmakta olduğu görülmektedir. Sabit baca geometrisi için $K=3.242$ hız oranının, egzoz gazlarının sıcaklık etkisi bakımından ve zararlı gazların helikopter platformundan uzak olduğu en ideal oran olduğu anlaşılmaktadır.

6.2.1.2 İleri yola hız oranının egzoz emisyonlarına etkisi

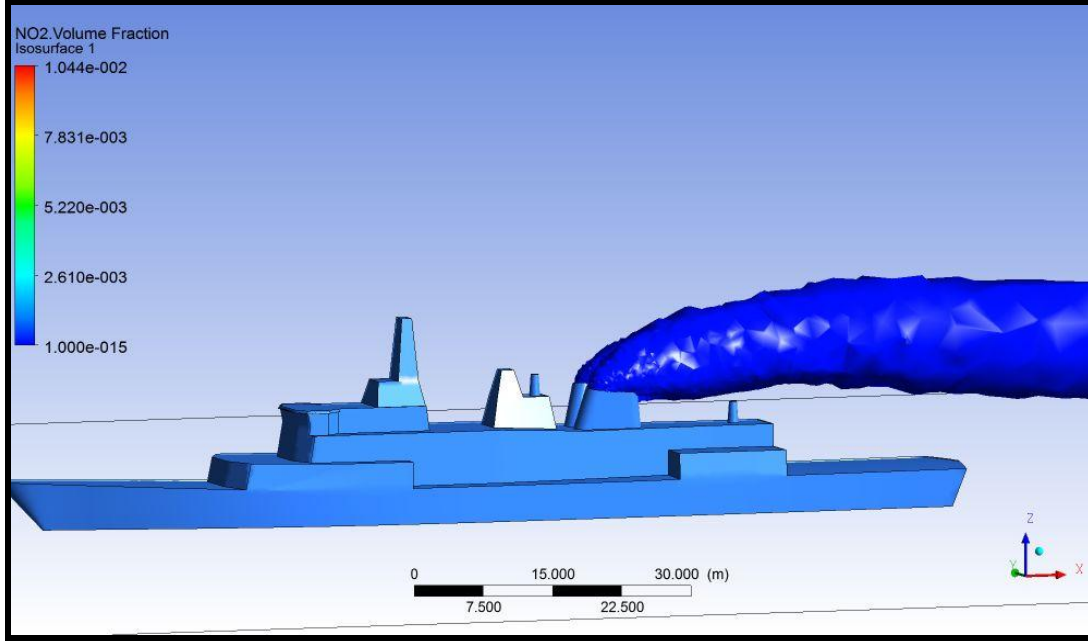
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5 (Çizelge 4.2) ($K=0.601$, 0.7349, 1.32, 2.772 ve 3.242) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren durumlar Şekil 6.23-Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



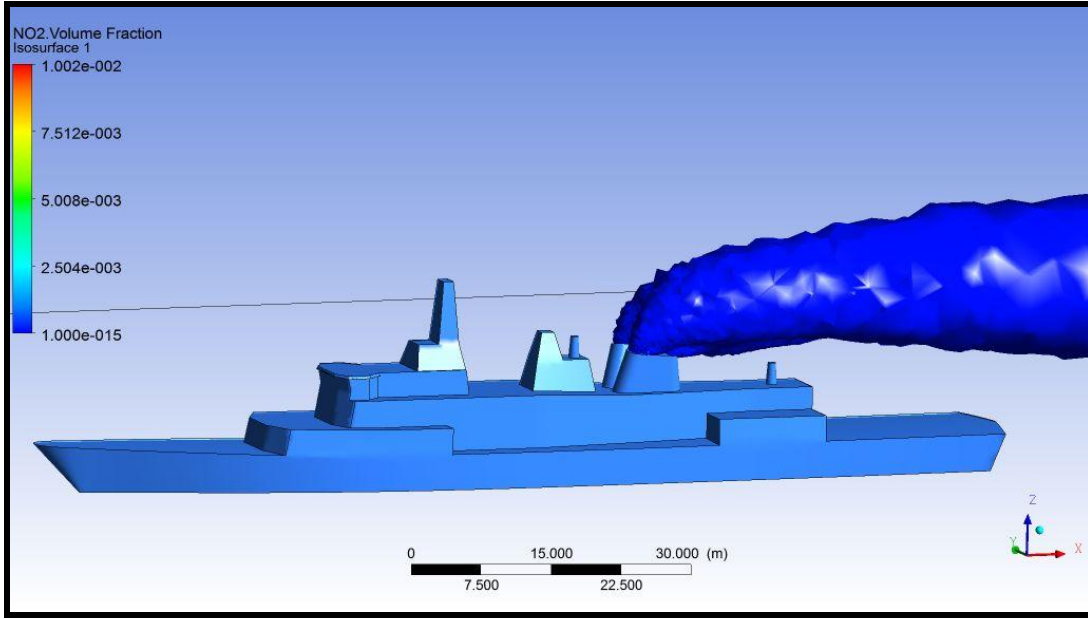
Şekil 6.23 : Durum-1 için NO_x yayılımı.



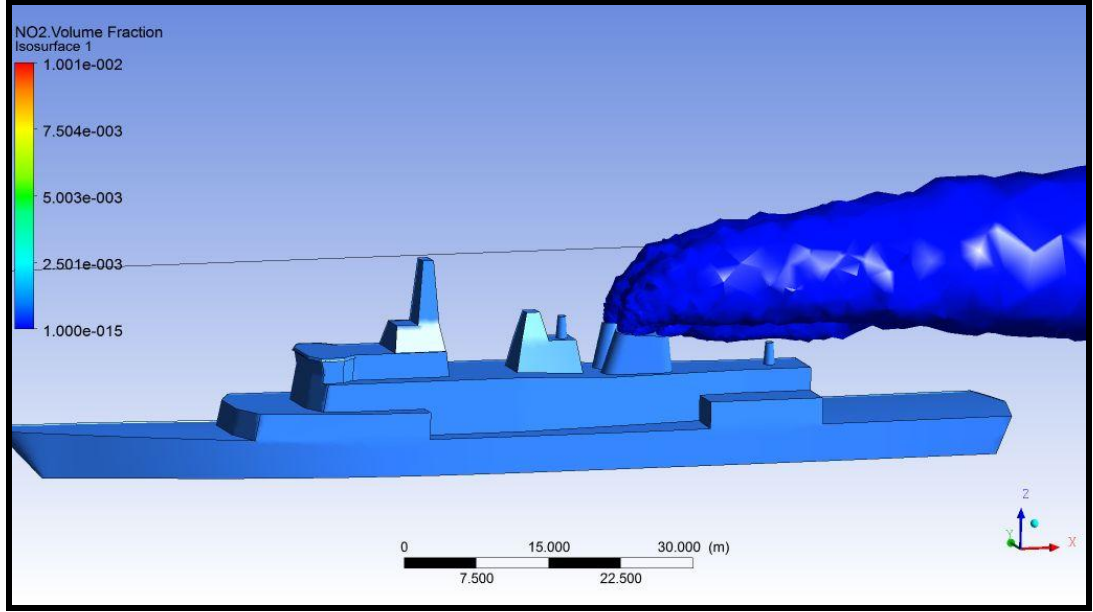
Şekil 6.24 : Durum-2 için NO_x yayılımı.



Şekil 6.25 : Durum-3 için NO_x yayılımı.



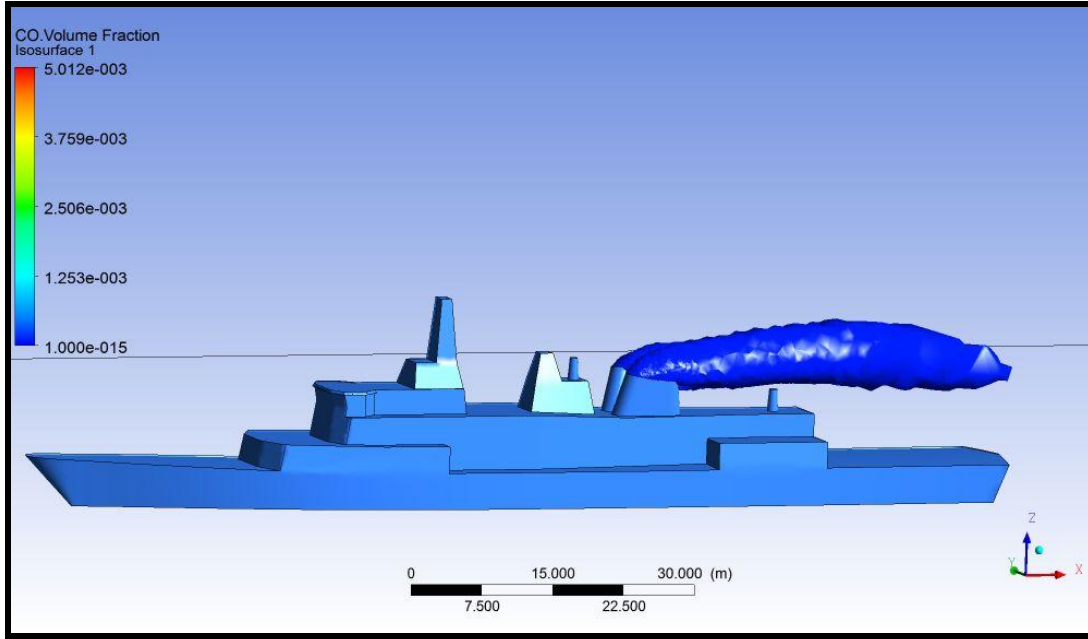
Şekil 6.26 : Durum-4 için NO_x yayılımı.



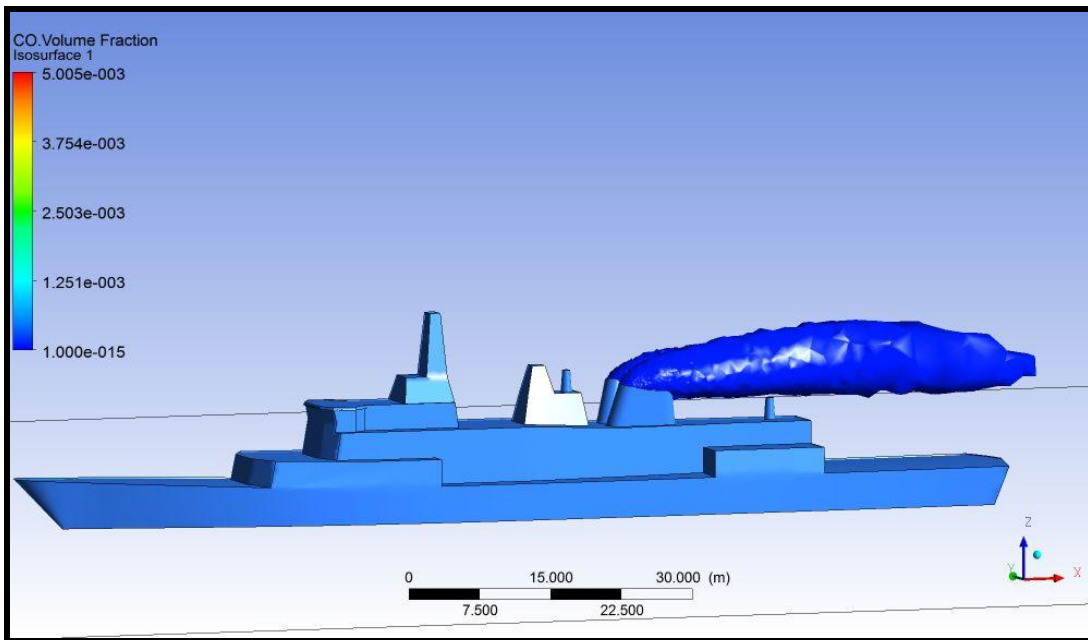
Şekil 6.27 : Durum-5 için NO_x yayılımı.

Yukarıdaki şekillerden anlaşılacağı gibi hız oranı $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye doğru arttıkça fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'den fazla olduğu bölgenin hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin yüksek süratlerde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan NO_x gazının konsantrasyonun arttığı tespit edilmiştir. Hız oranı $K=0.601$ ve $K=0.7349$ iken bacaların arkasında mevcut silah sisteminin ve seyir esnasında üst güvertede bulunan personelin oluşan NO_x emisyonundan etkilenebileceği değerlendirilmiştir (Şekil 6.23 ve Şekil 6.24). Ancak hız oranı arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının yükselerek helikopter platformundan uzaklaştığı da görülmektedir.

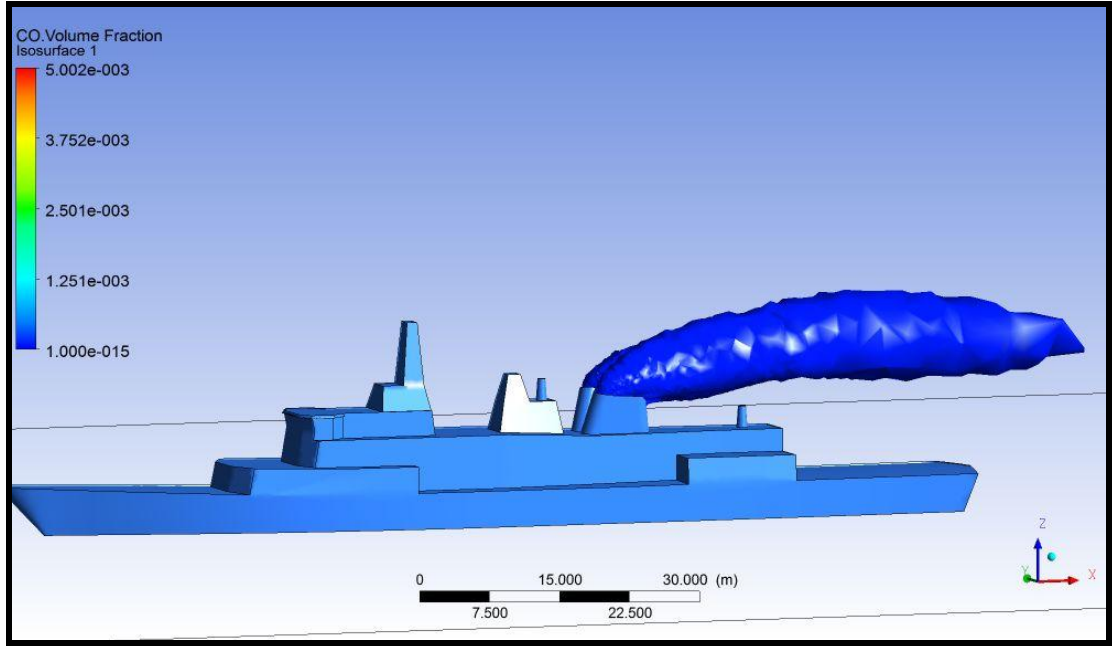
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5 (Çizelge 4.2) ($K=0.601$, 0.7349, 1.32, 2.772 ve 3.242) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren durumlar Şekil 6.28-Şekil 6.32'de gösterilmiştir.



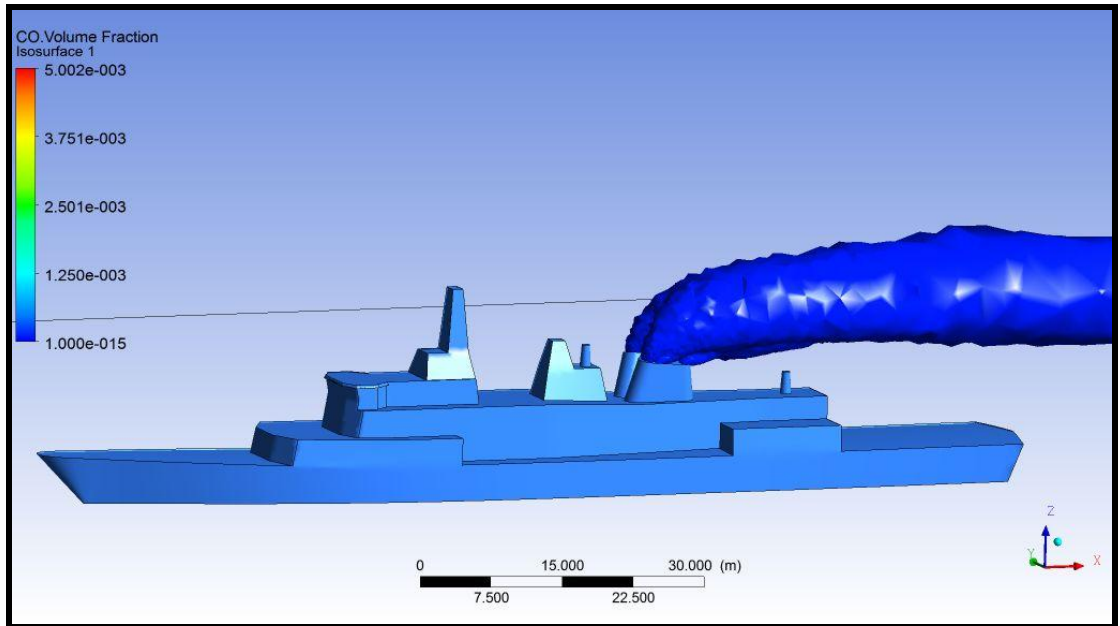
Şekil 6.28 : Durum-1 için CO yayılımı.



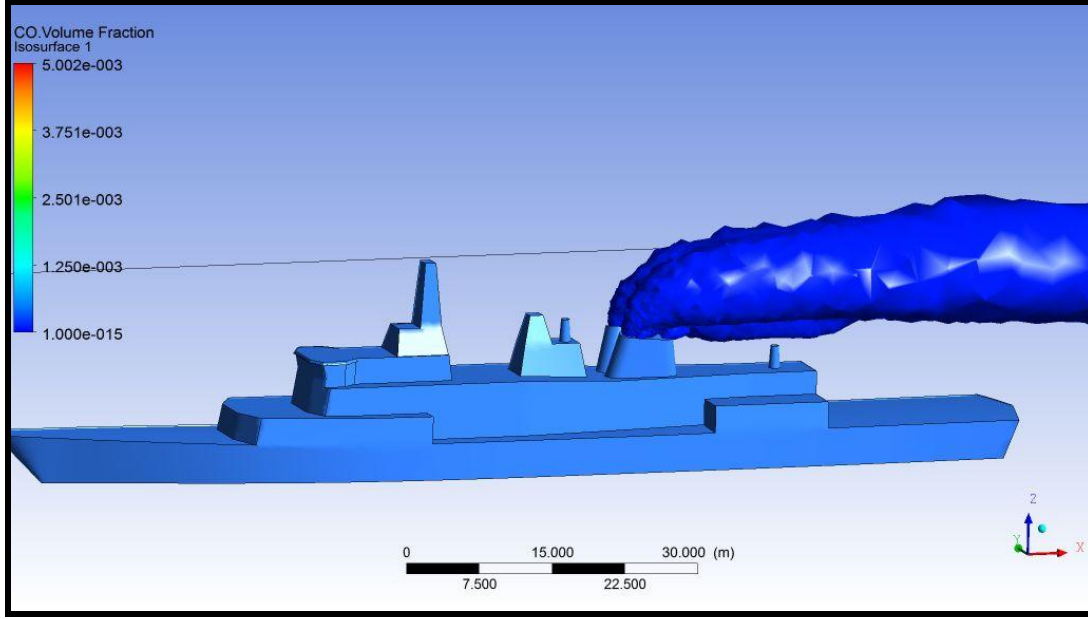
Şekil 6.29 : Durum-2 için CO yayılımı.



Şekil 6.30 : Durum-3 için CO yayılımı.



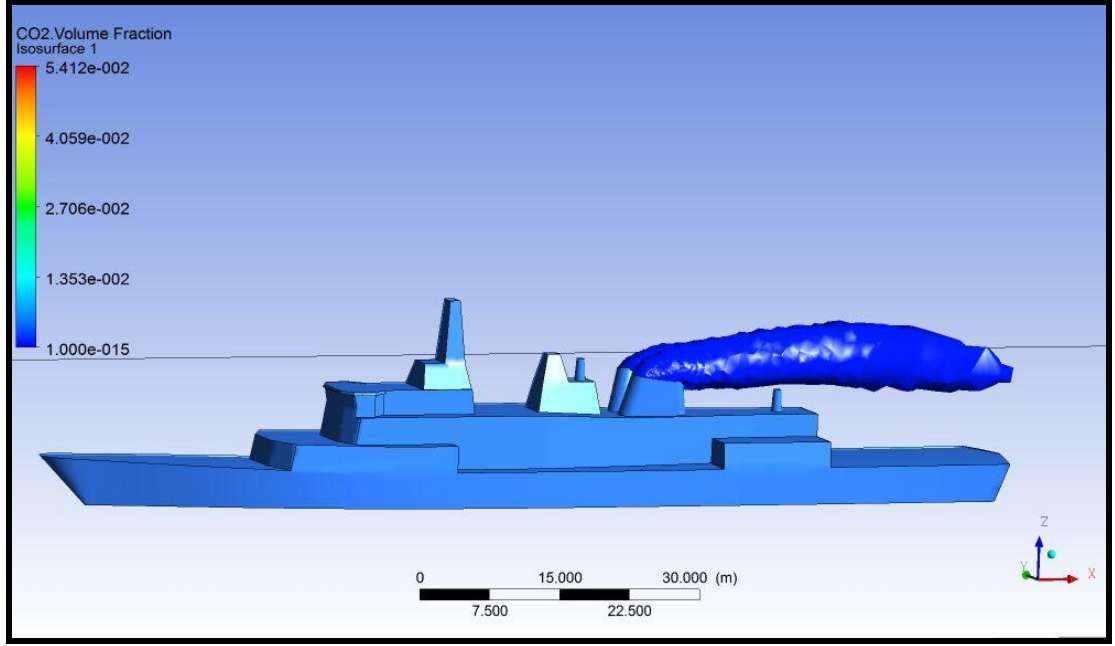
Şekil 6.31 : Durum-4 için CO yayılımı.



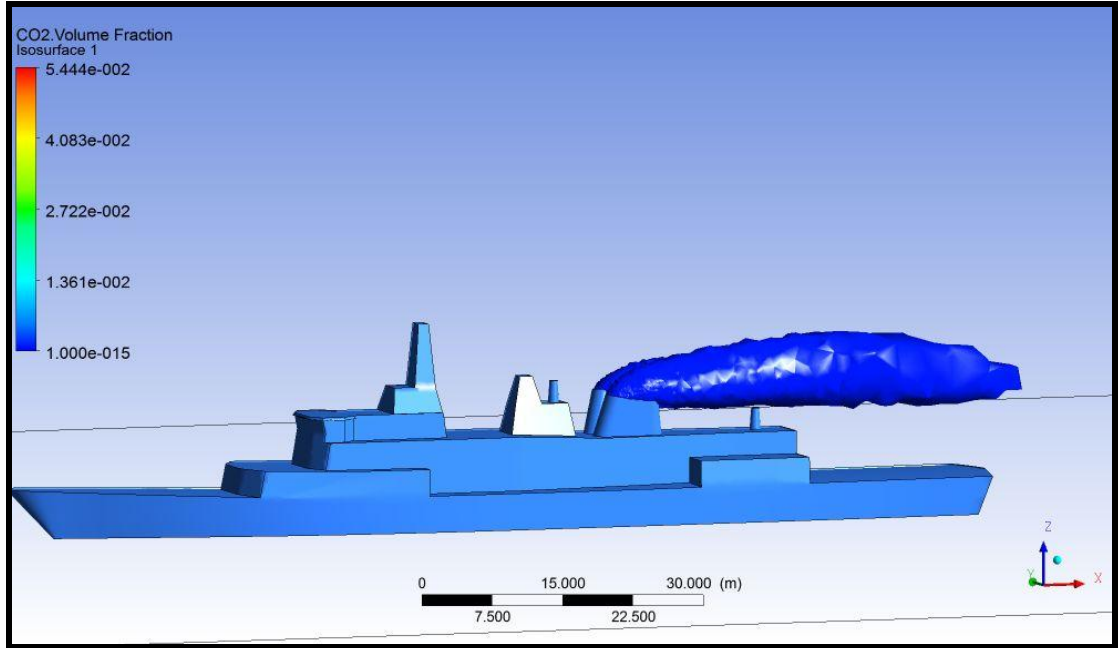
Şekil 6.32 : Durum-5 için CO yayılımı.

Yukarıdaki şekillerden anlaşılacağı gibi hız oranı $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye doğru arttıkça fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.0001 'den fazla olduğu bölgenin hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin yüksek süratlerde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan CO gazının konsantrasyonun arttığı ve hız oranı arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının yükselerek helikopter platformundan uzaklaştığı görülmektedir (Şekil 6.28 ve Şekil 6.32).

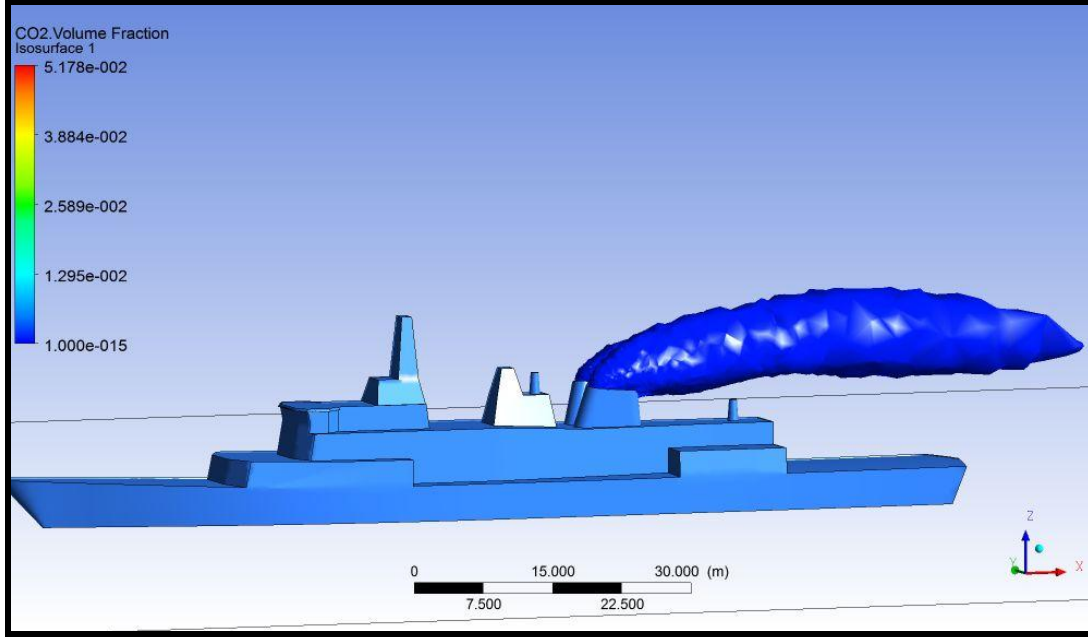
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5 (Çizelge 4.2) ($K=0.601$, 0.7349 , 1.32 , 2.772 ve 3.242) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.001 'i aştığı bölgeleri belirten durumlar Şekil 6.33-Şekil 6.37'de gösterilmiştir.



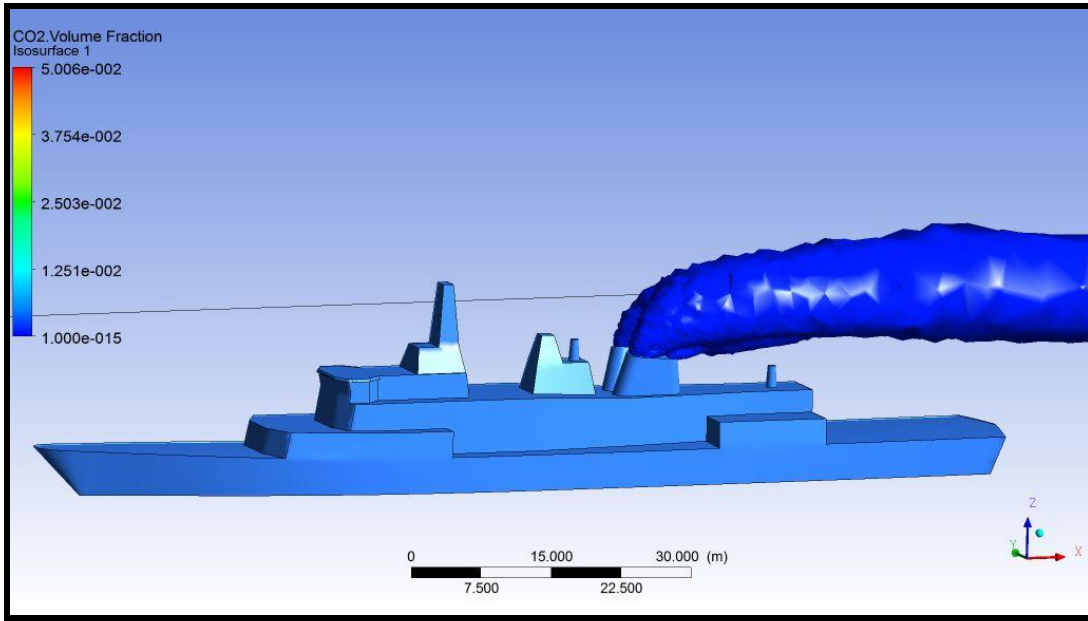
Şekil 6.33 : Durum-1 için CO₂ yayılımı.



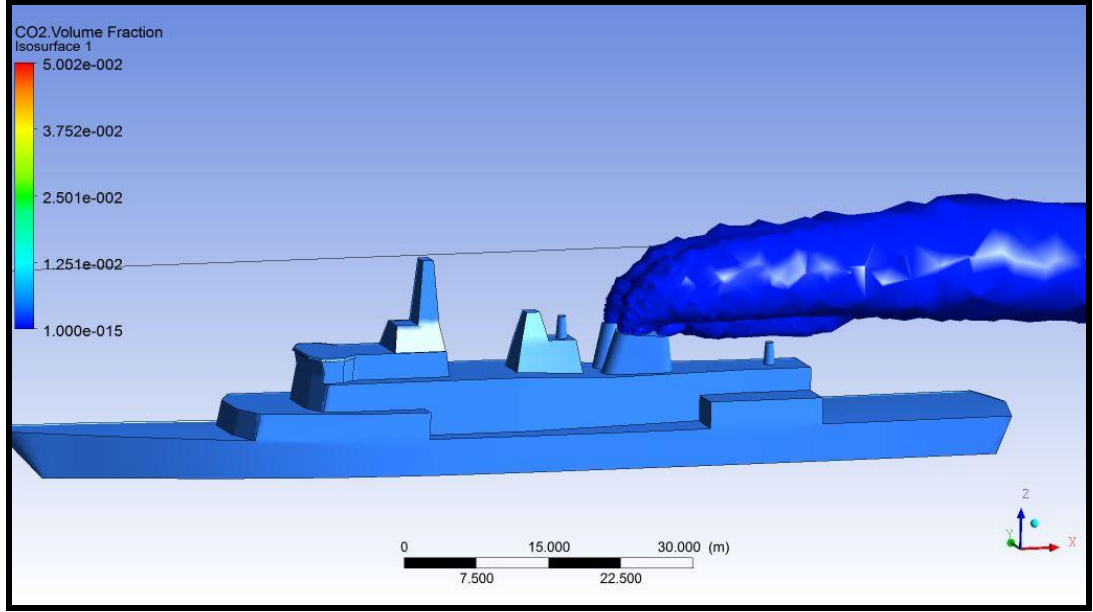
Şekil 6.34 : Durum-2 için CO₂ yayılımı.



Şekil 6.35 : Durum-3 için CO₂ yayılımı.



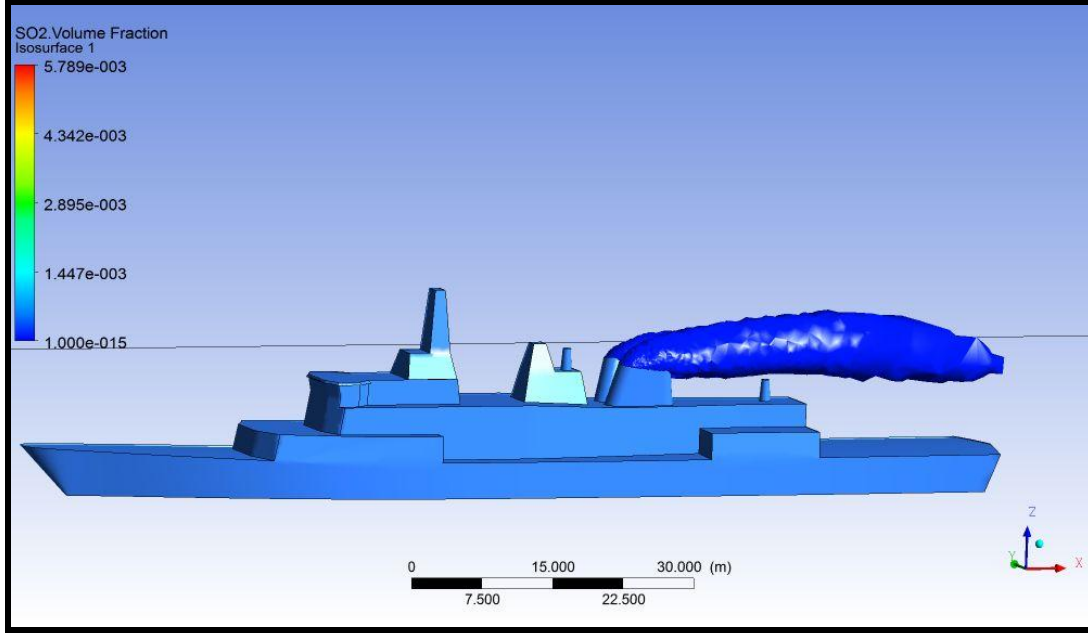
Şekil 6.36 : Durum-4 için CO₂ yayılımı.



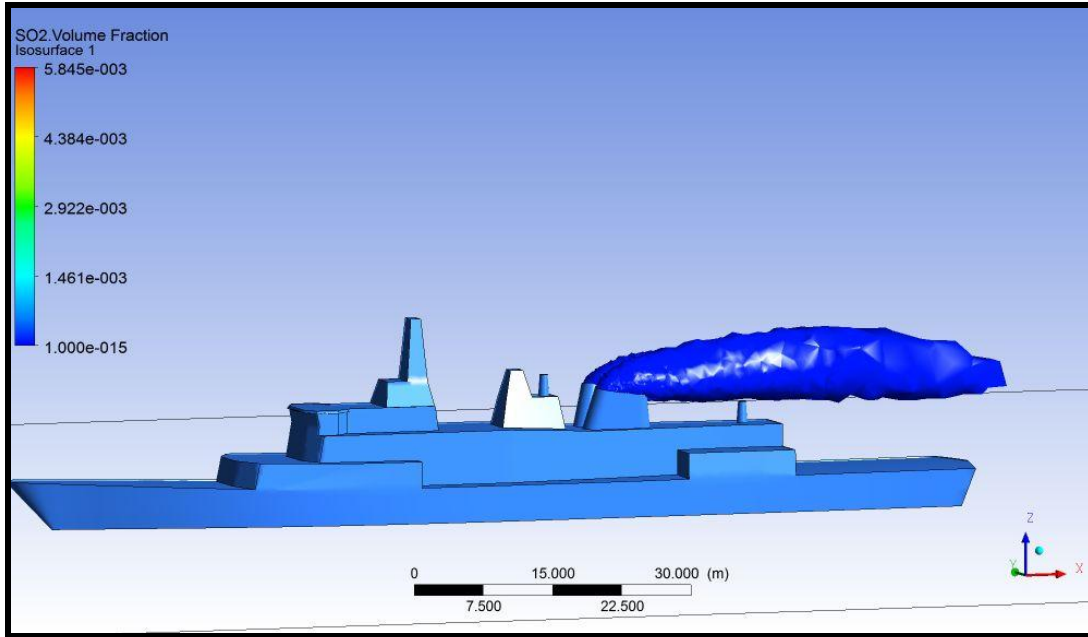
Şekil 6.37 : Durum-5 için CO₂ yayılımı.

Yukarıdaki şekillerden anlaşılacağı gibi hız oranı $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye doğru arttıkça fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazlarından CO₂ gazının hacimsel oranının 0.001'den fazla olduğu bölgenin hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin yüksek süratlerde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan CO₂ gazının konsantrasyonun arttığı ve hız oranı arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının yükselerek helikopter platformundan uzaklaştığı görülmektedir (Şekil 6.33 ve Şekil 6.37).

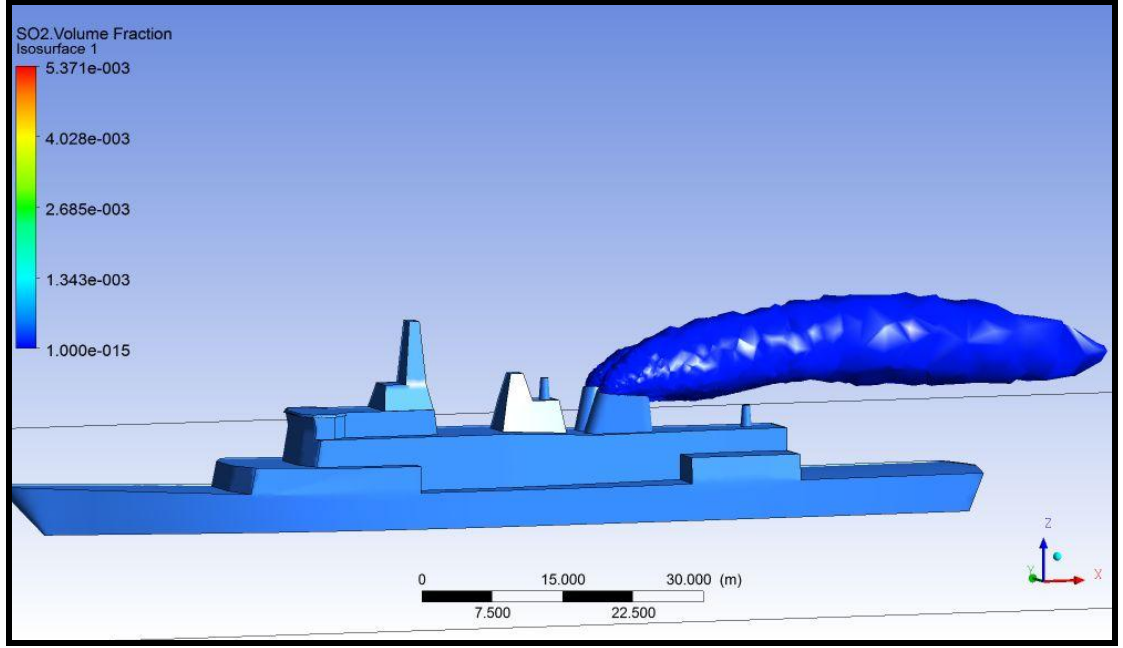
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5 (Çizelge 4.2) ($K=0.601$, 0.7349, 1.32, 2.772 ve 3.242) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren durumlar Şekil 6.38-Şekil 6.42'de gösterilmiştir.



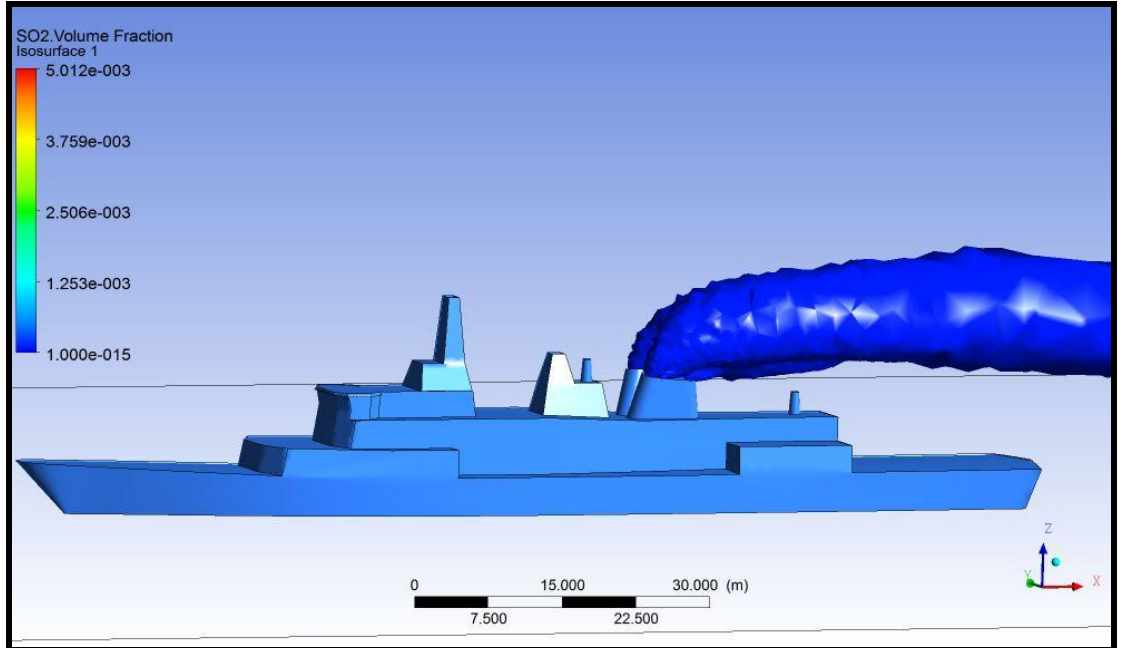
Şekil 6.38 : Durum-1 için SO_x yayılımı.



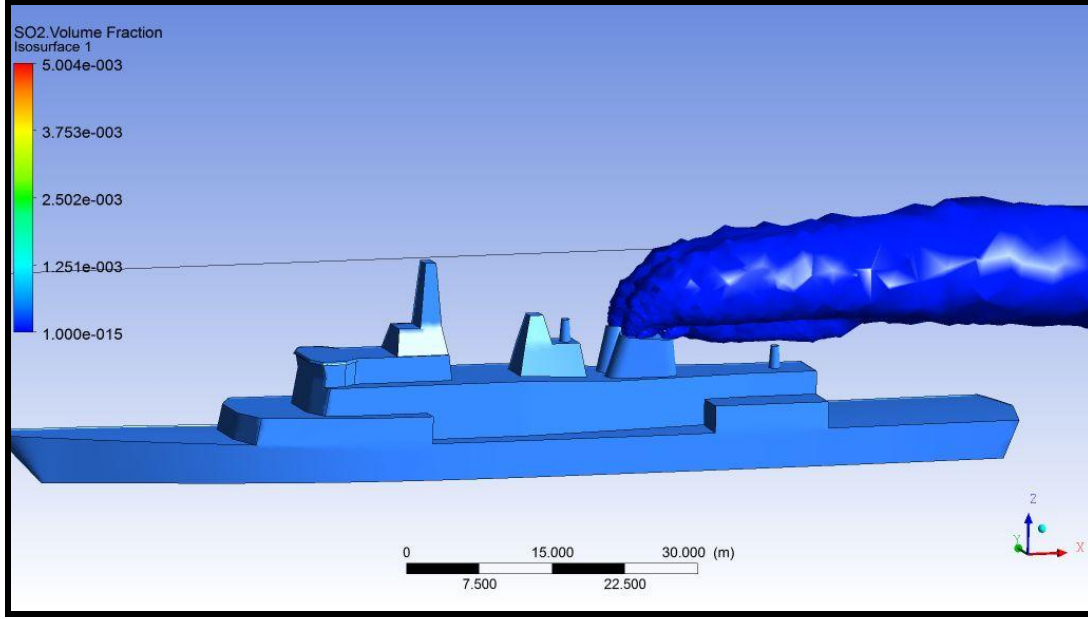
Şekil 6.39 : Durum-2 için SO_x yayılımı.



Şekil 6.40 : Durum-3 için SO_x yayılımı.



Şekil 6.41 : Durum-4 için SO_x yayılımı.



Şekil 6.42 : Durum-5 için SO_x yayılımı.

Yukarıdaki şekillerden anlaşılacağı gibi hız oranı $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye doğru arttıkça fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.001'den fazla olduğu bölgenin hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin yüksek süratlerde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan SO_x gazının konsantrasyonun arttığı ve hız oranı $K=0.601$ ve $K=0.7349$ iken bacaların arkasında mevcut silah sisteminin ve seyir esnasında üst güvertede bulunan personelin oluşan SO_x emisyonundan etkilenebileceği değerlendirilmiştir (Şekil 6.38 ve Şekil 6.39). Hız oranı arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının yükselerek helikopter platformundan uzaklaştığı da görülmektedir.

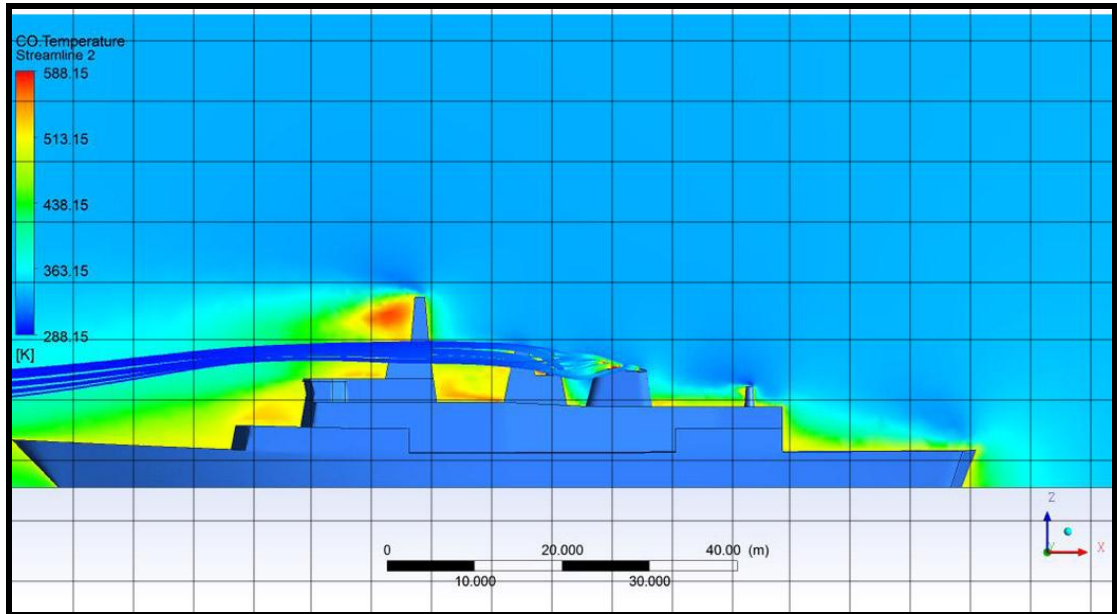
Sonuç olarak; gemi 5, 20, 28 knot sürat kademelerinde ileri yolda seyir halindeyken, sapma açısı $\psi=0^0$ (Rüzgar baştan), egzoz çıkış hızı 17, 57, 87 m/s iken hız oranı $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının yükselerek helikopter platformundan uzaklaştığı ve gemi seyir halindeyken etrafında oluşan sınır tabakanın üstüne çıkmakta olduğu görülmektedir. Bacadan çıkan egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden korunmak, egzoz gazlarının helikopter platformunun üstüne düşmesini önlemek için egzoz çıkış hızını arttırarak hız oranını mümkün olduğu kadar yükseltmek gerektiği değerlendirilmektedir. Her gemi için özellikle helikopter platformuna sahip savaş gemileri için üst binasında bulunan elektronik/silah sistemlerinden dolayı hız oranı artışının geminin dizayn aşamasında göz önüne alınmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

6.2.2 Tornistan yolda hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi

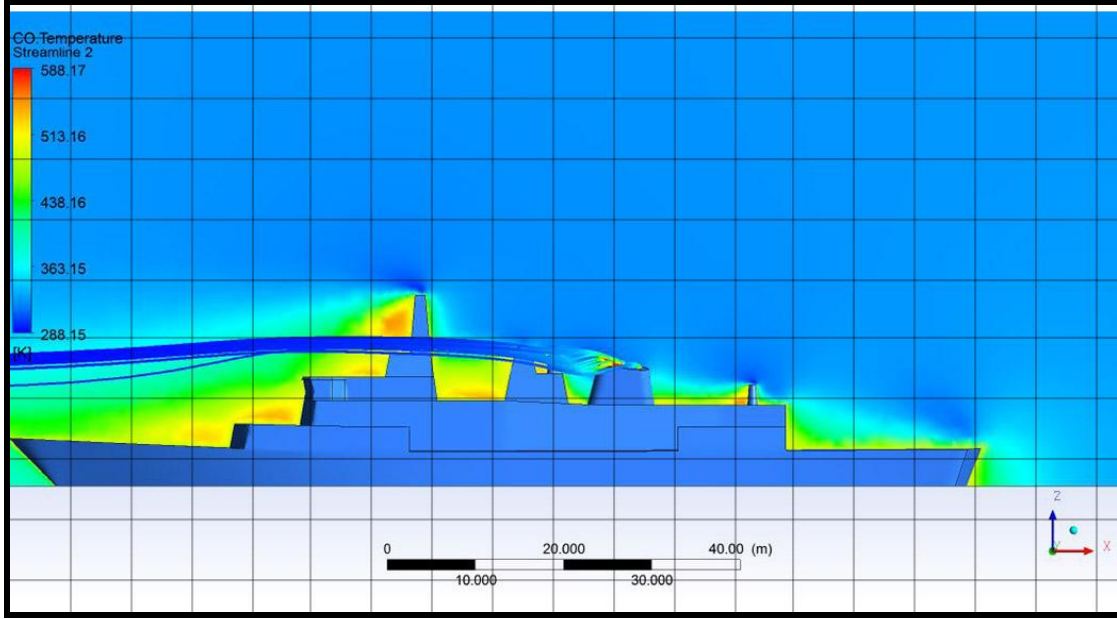
Tam boyutlarda helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin gerçek seyir şartları altında tornistan yolda iken Durum-6, Durum-7, Durum-8, Durum-9, Durum-10 ve Durum-11 (Çizelge 4.2) için farklı hız oranlarının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.724) egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi Bölüm 6.2.2.1’de, hız oranının egzoz emisyonlarına etkisi ise Bölüm 6.2.2.2’de incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

6.2.2.1 Tornistan yolda hız oranının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi

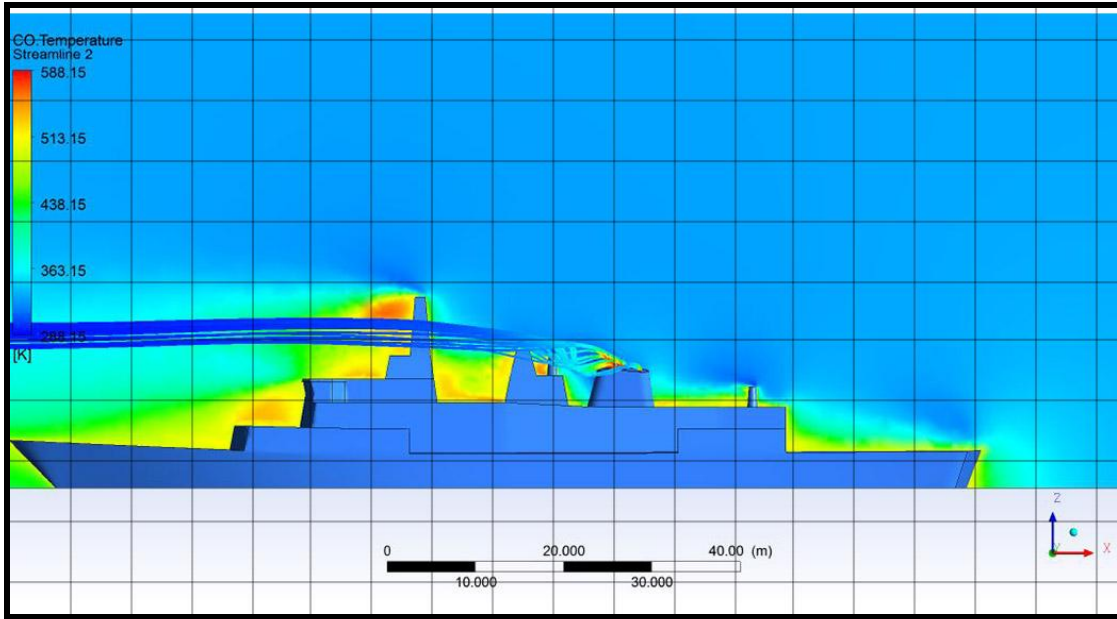
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn tornistan yolda iken farklı hız oranlarının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.724) bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 6.43- Şekil 6.48’de gösterilmiştir.



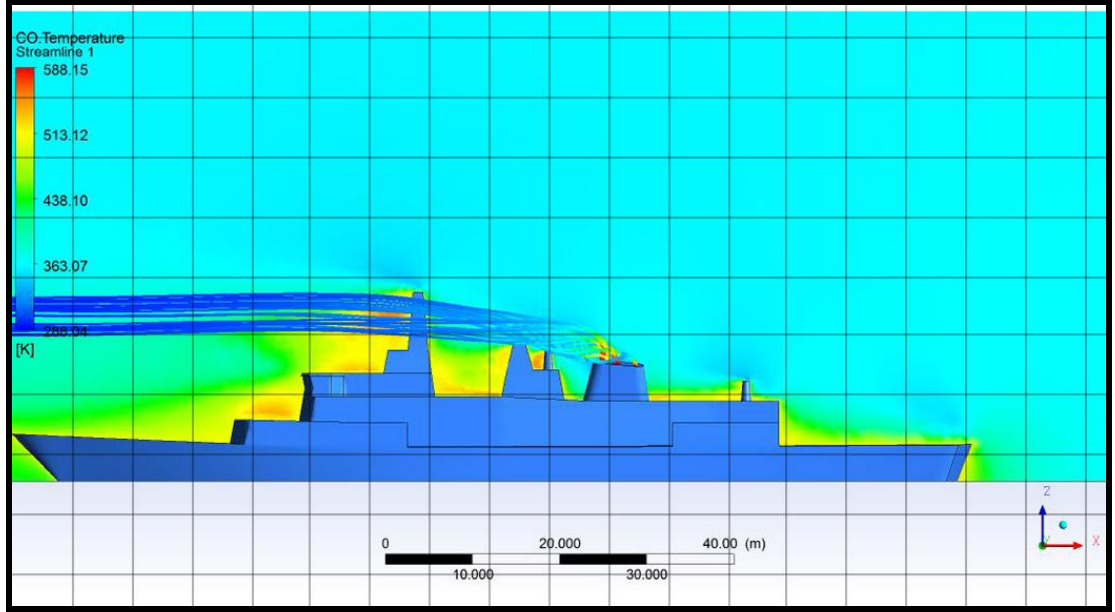
Şekil 6.43 : Durum-6 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



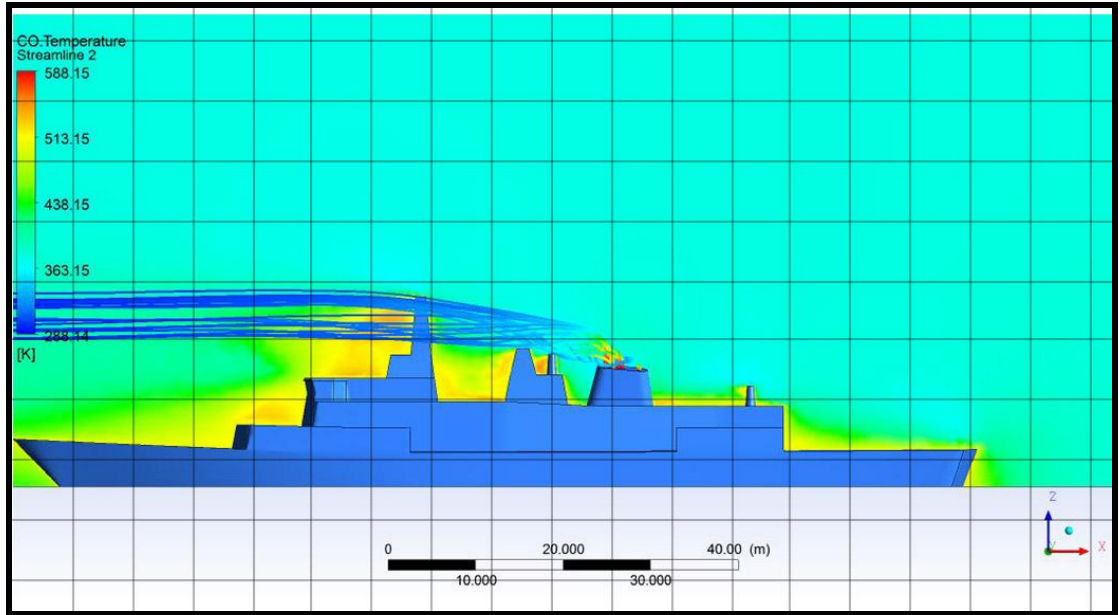
Şekil 6.44 : Durum-7 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



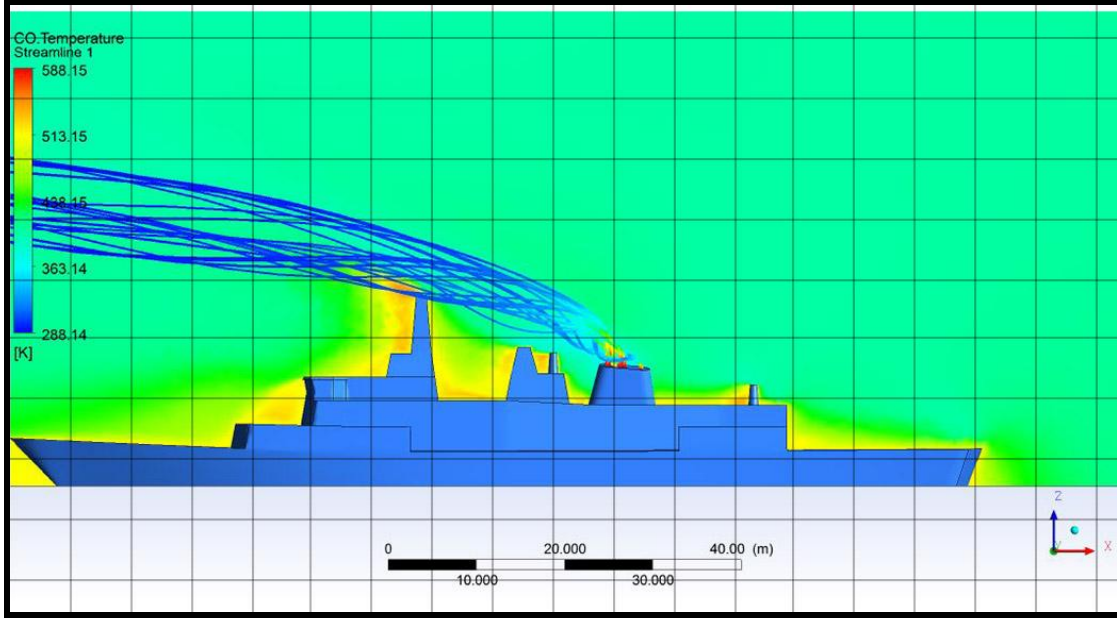
Şekil 6.45 : Durum-8 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



Şekil 6.46 : Durum-9 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



Şekil 6.47 : Durum-10 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.



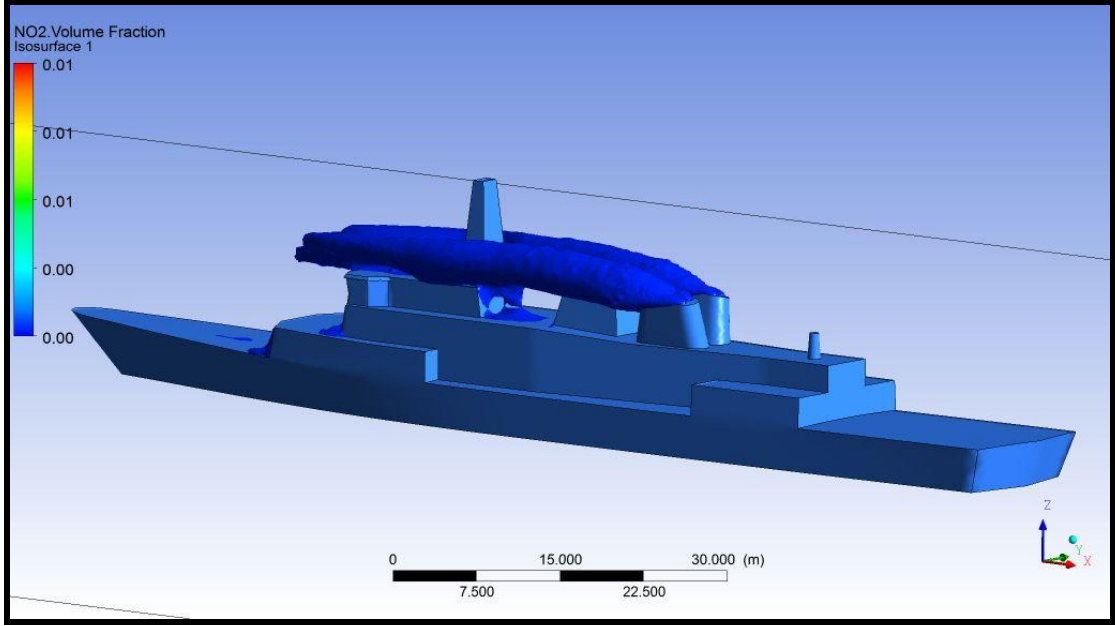
Şekil 6.48 : Durum-11 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı.

Yukarıda belirtilen şartlarda gemi tornistan yolda giderken düşük hız oranları için (örn : $K=0.601$, 0.7349 , 1.32 , 2.772 ve 3.242) egzoz gazlarının sıcaklıklarının bacaların önünde bulunan elektronik sistemlere zarar verebileceği görülmektedir (Şekil 6.43- Şekil 6.47). Bu nedenle egzoz gazlarının çıkış hızlarını artırarak gazların momentumlarını yükseltmek, yani mümkün olduğu takdirde hız oranını arttırmak ($K=4.724$) Şekil 6.48’de görüldüğü gibi gazların olumsuz etkilerinden kurtulmak için yeterli olabilecektir.

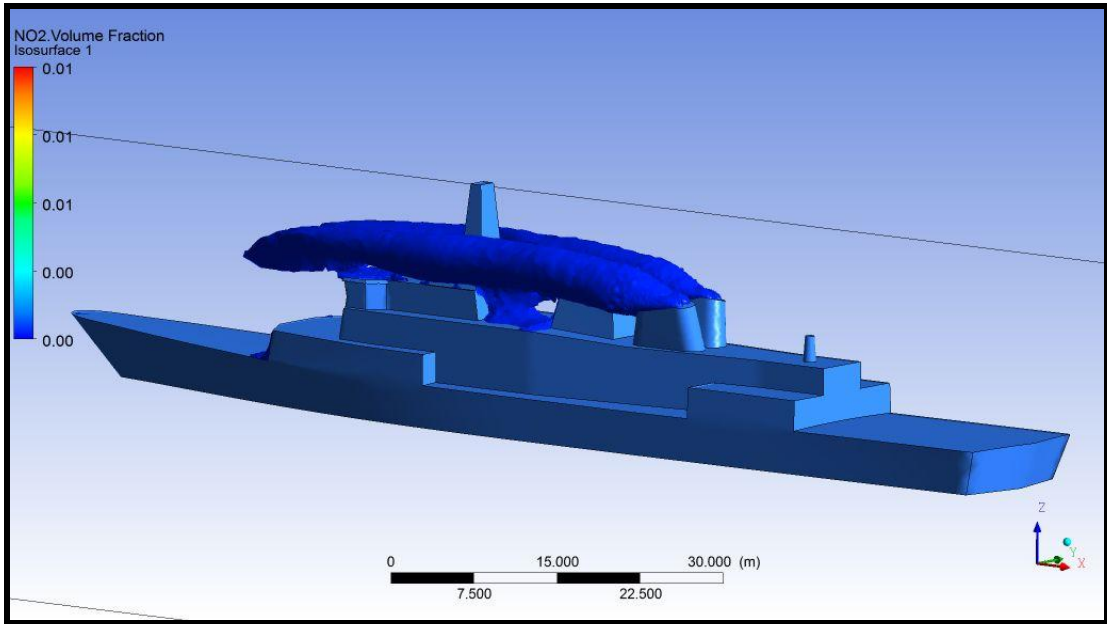
Hız oranının $K=3.242$ ve $K=4.724$ olduğu Durum-10 ve Durum-11’de (Çizelge 4.2) geminin 20 knot tornistan yolda ilerlediği göz önünde bulundurularak gerekli hesaplamalar yapılmış ve gazların sıcaklık etkisinden kurtulmak maksadıyla momentumu artırılarak ana direktan uzaklaşması sağlanmıştır. Ancak normal şartlar altında tipik bir savaş gemisinin 20 knot tornistan sürat ulaşması zordur. Dolayısıyla egzoz gazlarının sıcaklık etkisinden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkış hızlarının ek önlemler alınarak yükseltilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca bir savaş gemisinin kullanım ömrü ve konsepti göz önüne alındığında tornistan sürat sadece liman/iskelede yanaşma manevralarında ve acil durumlarda kullanıldığından dolayı tornistan yolda egzoz gazının sıcaklık etkilerinin olumsuz seviyede olmayacağı düşünülmektedir.

6.2.2.2 Tornistan yolda hız oranının egzoz emisyonlarına etkisi

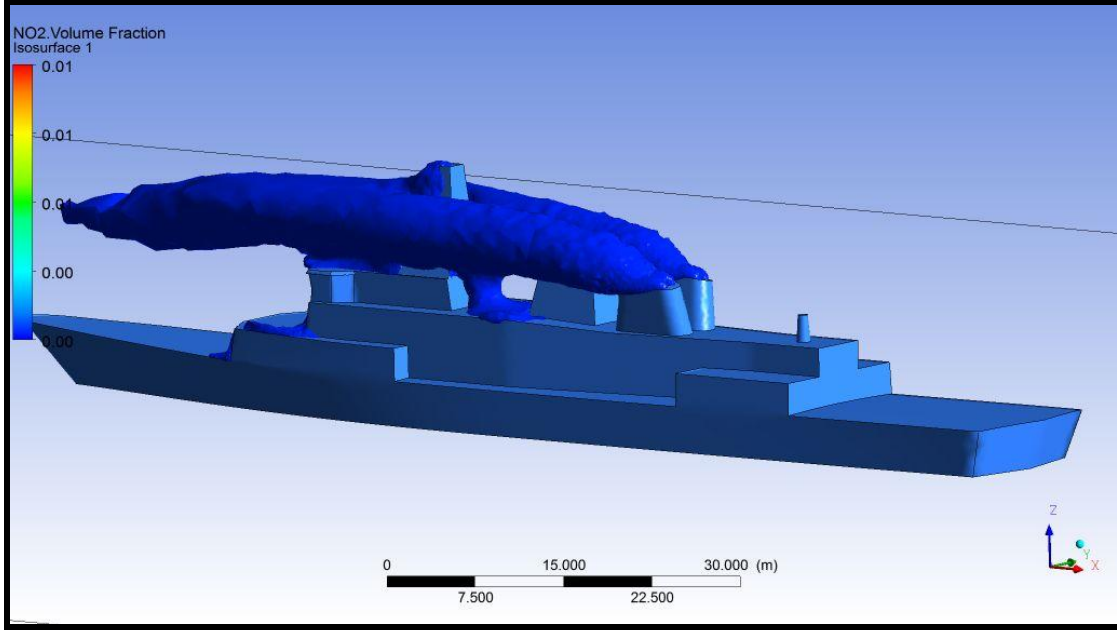
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-6, Durum-7, Durum-8, Durum-9, Durum-10 ve Durum-11 (Çizelge 4.2) ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.724) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.000310 'i aştığı bölgeleri belirten durumlar Şekil 6.49 - Şekil 6.54'de gösterilmiştir.



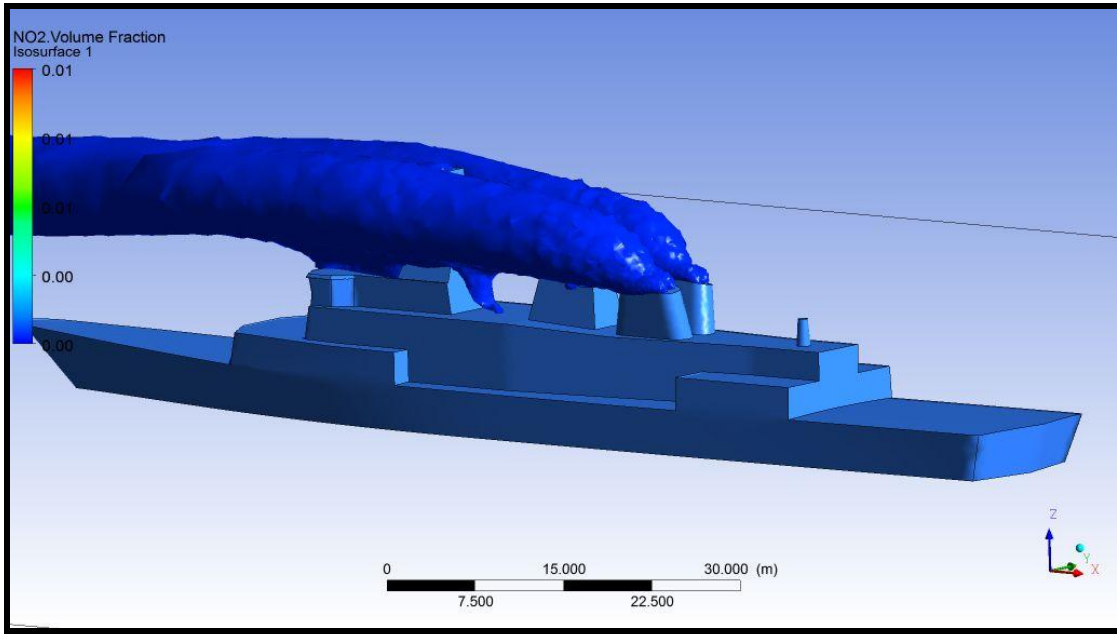
Şekil 6.49 : Durum-6 için NO_x yayılımı.



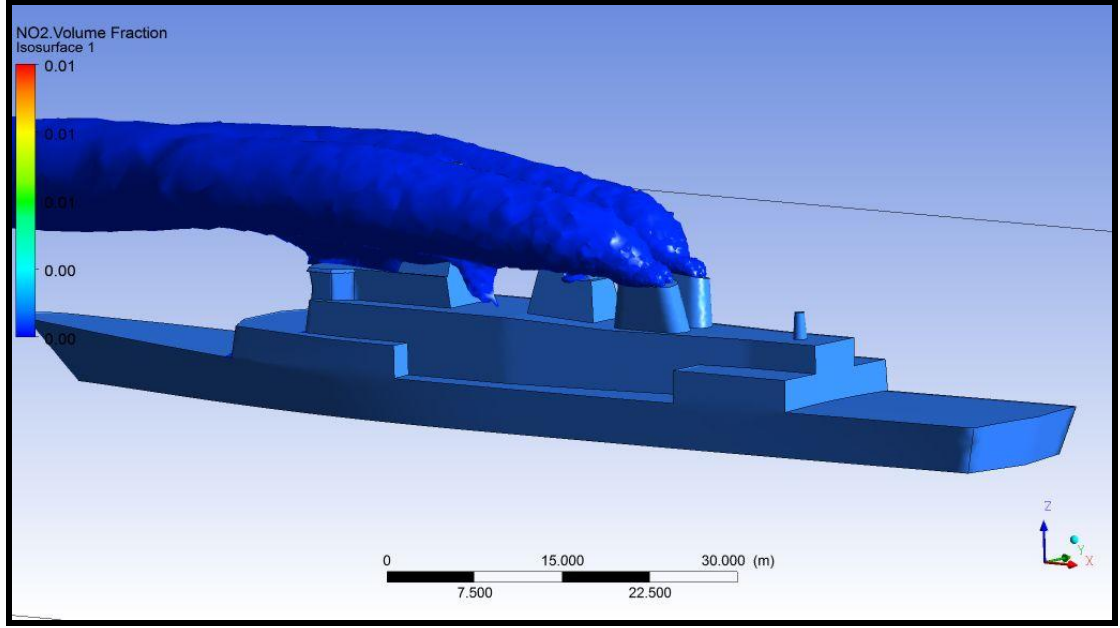
Şekil 6.50 : Durum-7 için NO_x yayılımı.



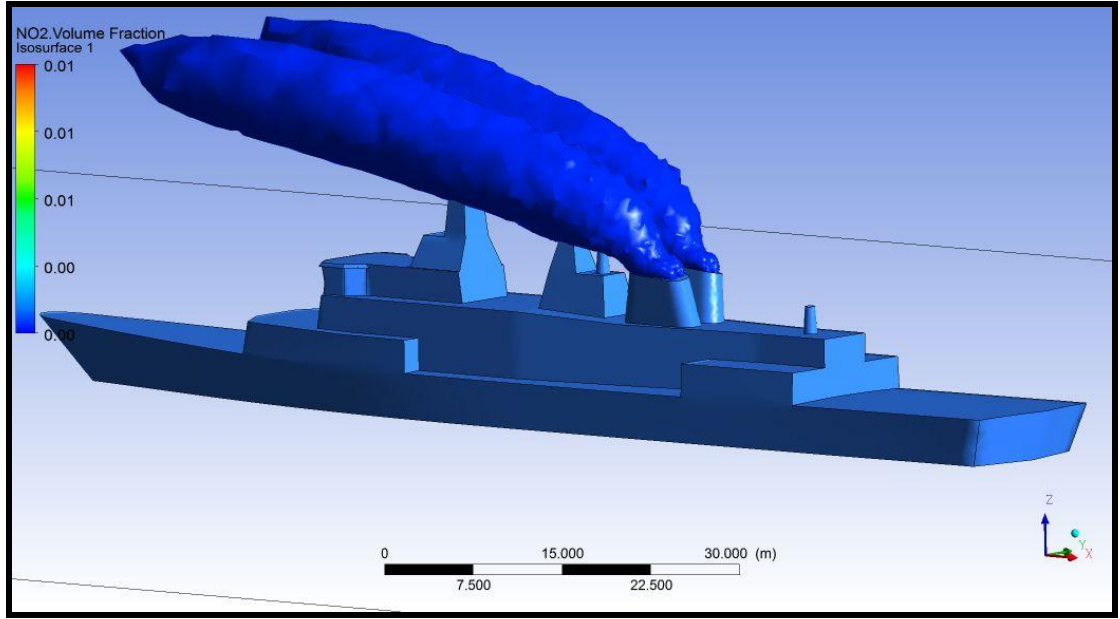
Şekil 6.51 : Durum-8 için NO_x yayılımı.



Şekil 6.52 : Durum-9 için NO_x yayılımı.



Şekil 6.53 : Durum-10 için NO_x yayılımı.



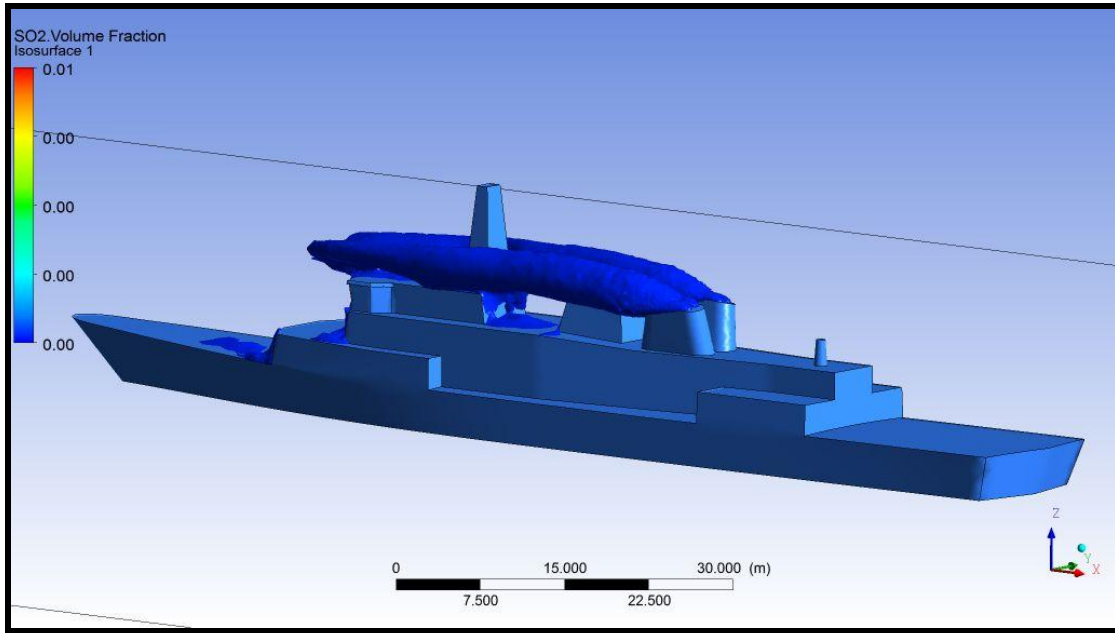
Şekil 6.54 : Durum-11 için NO_x yayılımı.

Fırkateyn tornistan yolda seyir halindeyken hız oranı $K=0.601$ 'den $K=4.724$ 'e doğru arttıkça bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.00310 'den fazla olduğu bölgenin hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin tornistan yolda yüksek sürat kademelerinde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan NO_x gazının konsantrasyonun arttığı görülmektedir. Düşük hız oranları için gerçek seyir şartlarında tornistan yol genelde yanaşma manevralarında kullanıldığından o anda köprüüstünde bulunan personele zarar verebileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle egzoz gazlarının çıkış hızlarını arttırarak gazların

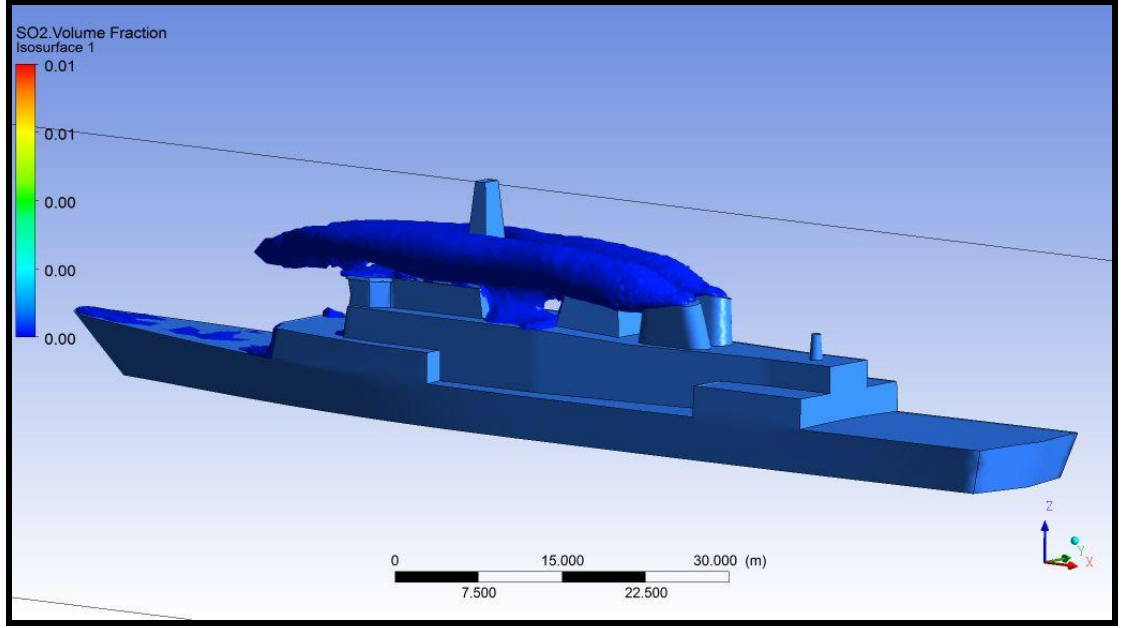
momentumlarını yükseltmek, yani mümkün olduğu takdirde hız oranını arttırmak ($K=4.724$) (Şekil 6.54) NO_x gazının olumsuz etkilerinden kurtulmak için yeterli olabilecektir.

Hız oranının $K=4.724$ olduğu Durum-11’de geminin 20 knot tornistan yolda ilerlediği göz önünde bulundurularak gazların olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla momentumu artırılmış ve ana direktan uzaklaşması sağlanmıştır. Ancak normal şartlar altında tipik bir savaş gemisinin 20 knot tornistan sürata ulaşması zordur. Dolayısıyla egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkış hızlarının ek önlemler alınarak yükseltilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

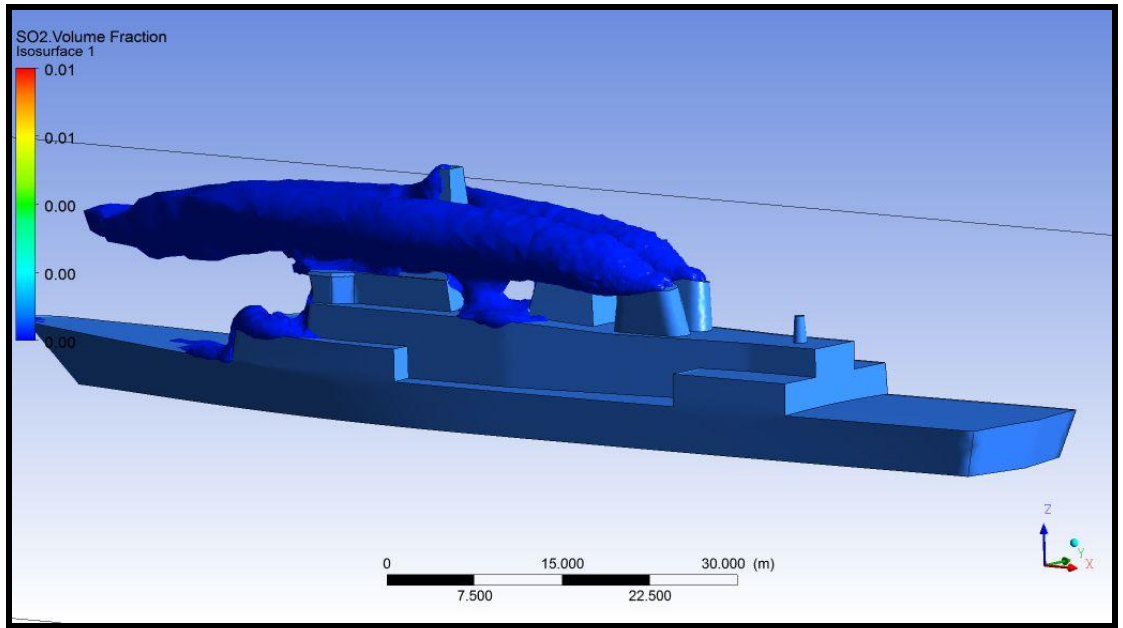
Tam boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-6, Durum-7, Durum-8, Durum-9, Durum-10 ve Durum-11 (Çizelge 4.2) ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.724) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.000161 ’i aştığı bölgeleri gösteren durumlar Şekil 6.55 - Şekil 6.60’da gösterilmiştir.



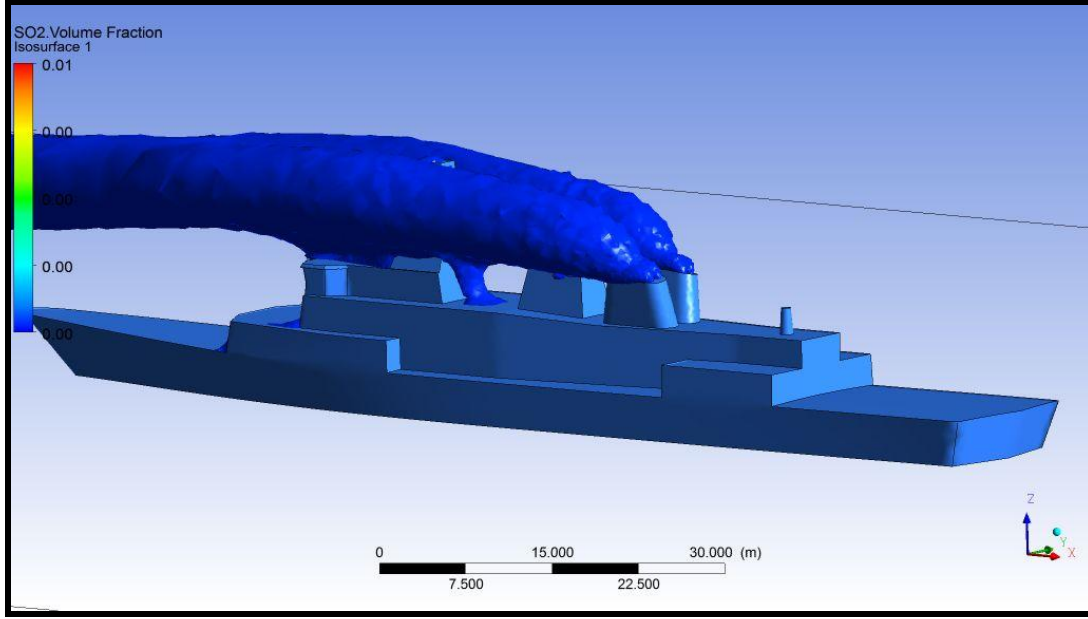
Şekil 6.55 : Durum-6 için SO_x yayılımı.



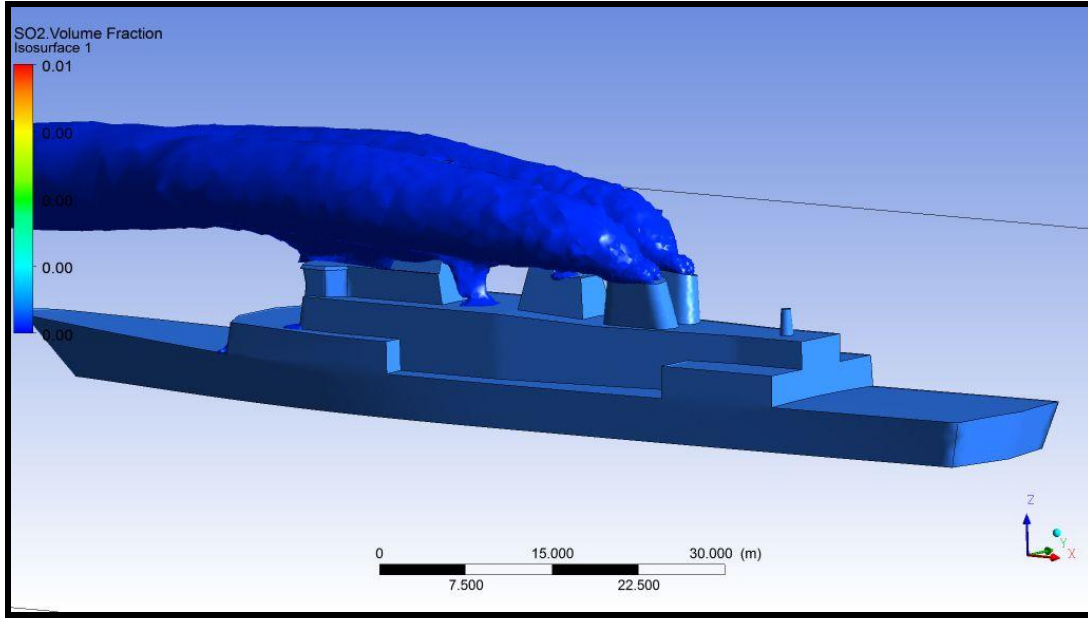
Şekil 6.56 : Durum-7 için SO_x yayılımı.



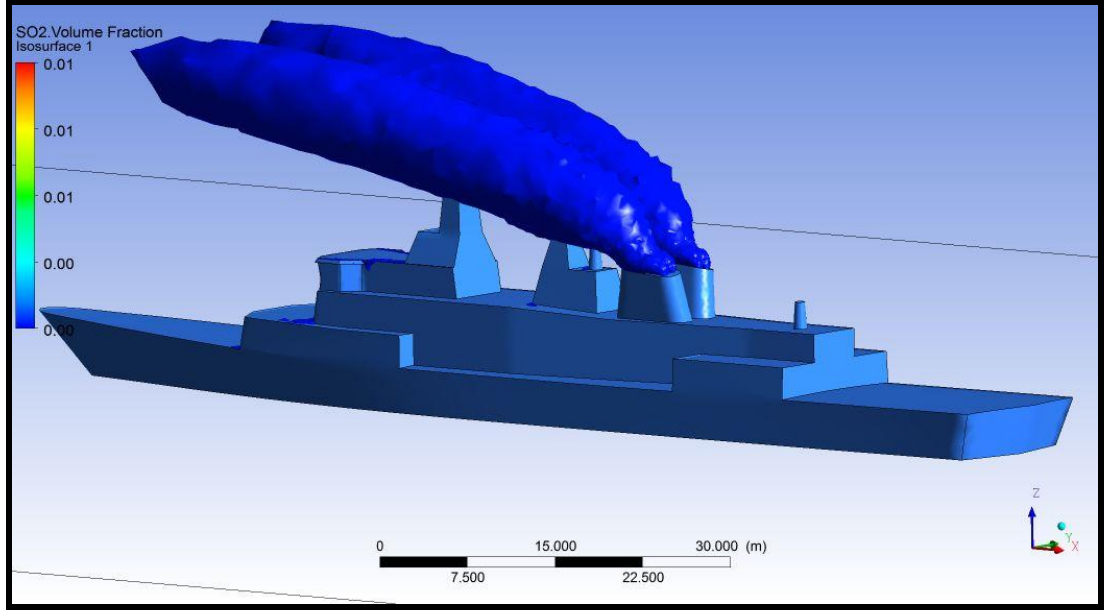
Şekil 6.57 : Durum-8 için SO_x yayılımı.



Şekil 6.58 : Durum-9 için SO_x yayılımı.



Şekil 6.59 : Durum-10 için SO_x yayılımı.

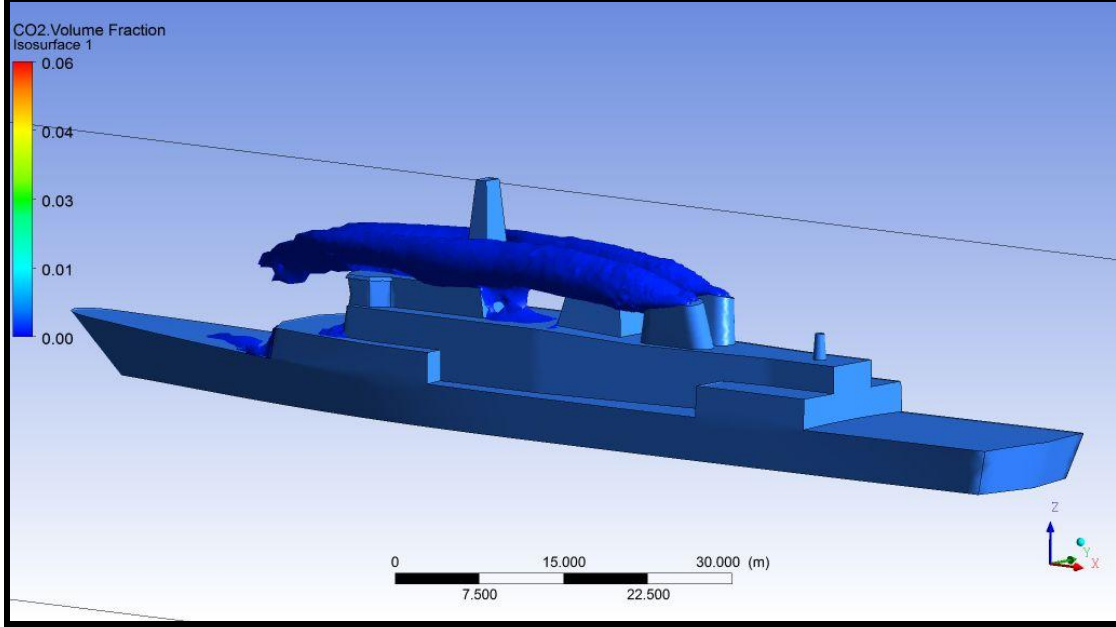


Şekil 6.60 : Durum-11 için SO_x yayılımı.

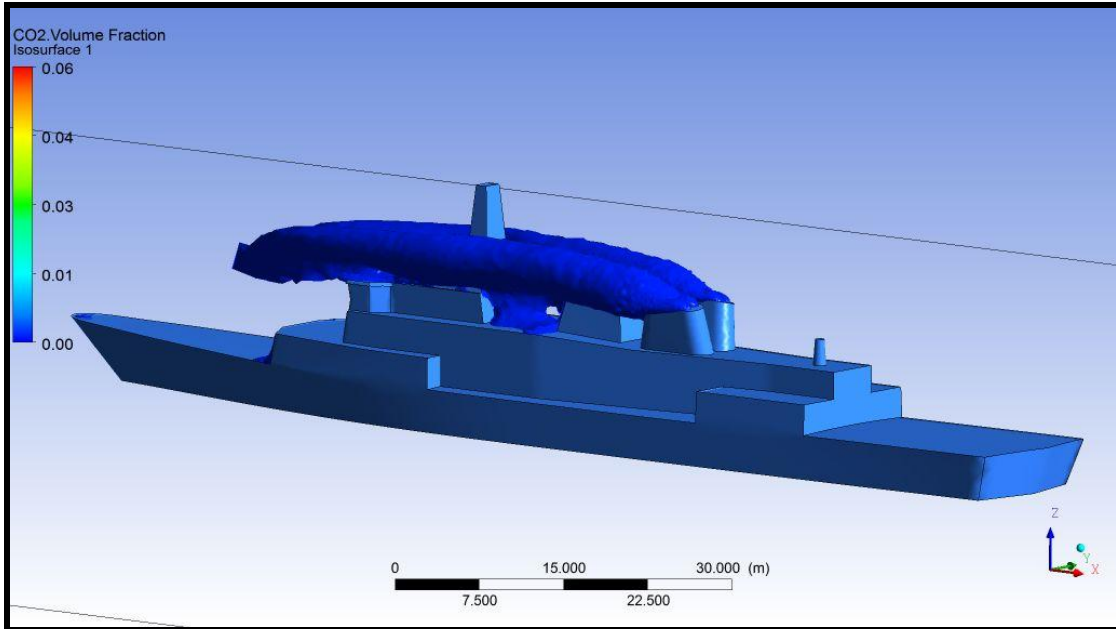
Fırkateyn tornistan yolda seyir halindeyken hız oranı $K=0.601$ 'den $K=4.724$ 'e doğru arttıkça bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.000161'den fazla olduğu bölgenin NO_x emisyonunda olduğu gibi hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin tornistan yolda yüksek sürat kademelerinde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan SO_x gazının konsantrasyonun arttığı görülmektedir. Düşük hız oranları için gerçek seyir şartlarında tornistan yol genelde yanaşma manevralarında kullanıldığından o anda köprüüstünde bulunan personele zarar verebileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda egzoz gazlarının çıkış hızlarını arttırarak gazların momentumlarını yükseltmek, yani mümkün olduğu takdirde hız oranını arttırmak ($K=4.724$) (Şekil 6.60) SO_x gazının olumsuz etkilerinden kurtulmak için yeterli olabilecektir.

Hız oranının $K=4.724$ olduğu Durum-11'de geminin 20 knot tornistan yolda ilerlediği göz önünde bulundurularak gazların olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla momentumu arttırılmış ve ana direktan uzaklaşması sağlanmıştır. Ancak normal şartlar altında tipik bir savaş gemisinin 20 knot tornistan sürat ulaşması zordur. Dolayısıyla egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkış hızlarının ek önlemler alınarak yükseltilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

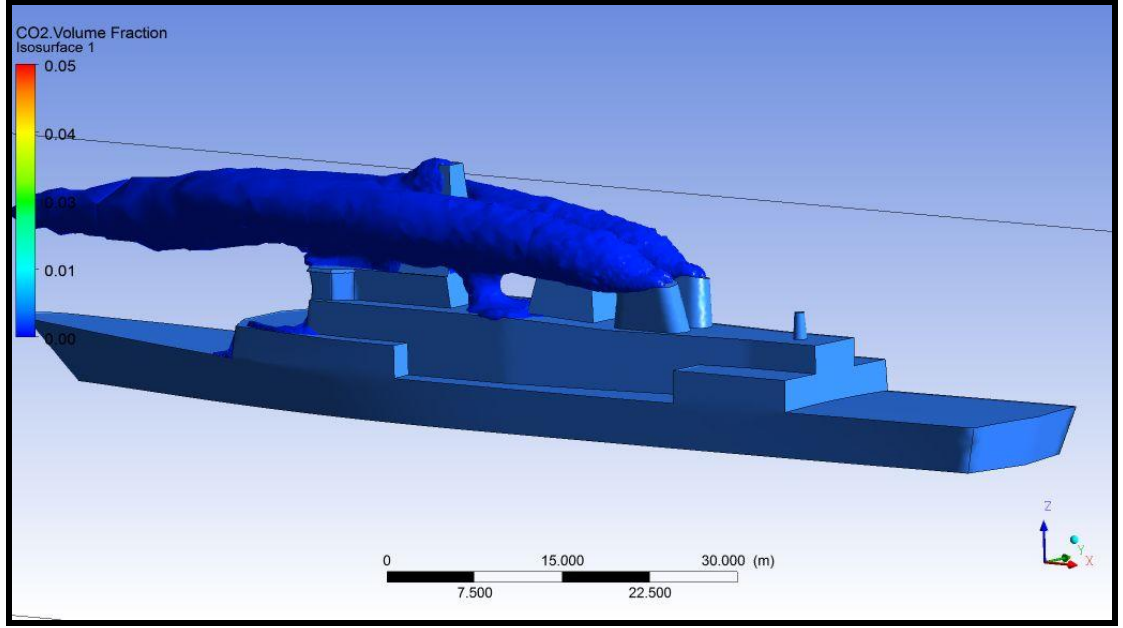
Tam boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-6, Durum-7, Durum-8, Durum-9, Durum-10 ve Durum-11 (Çizelge 4.2) ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.724) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.00145 'i aştığı bölgeleri gösteren durumlar Şekil 6.61 - Şekil 6.66'da gösterilmiştir.



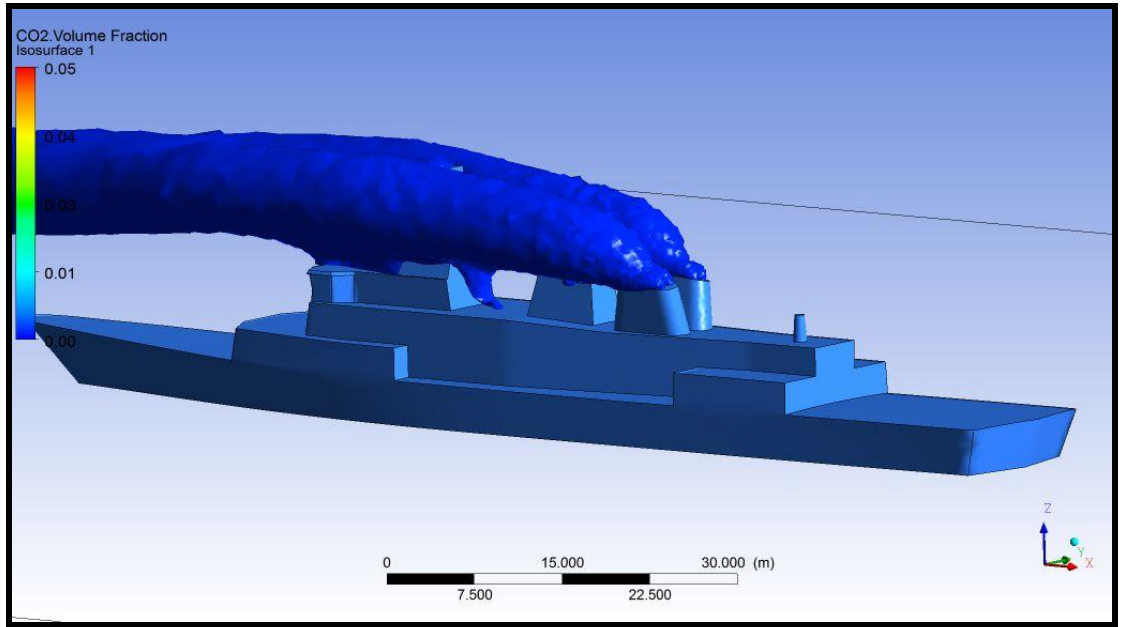
Şekil 6.61 : Durum-6 için CO_2 yayılımı.



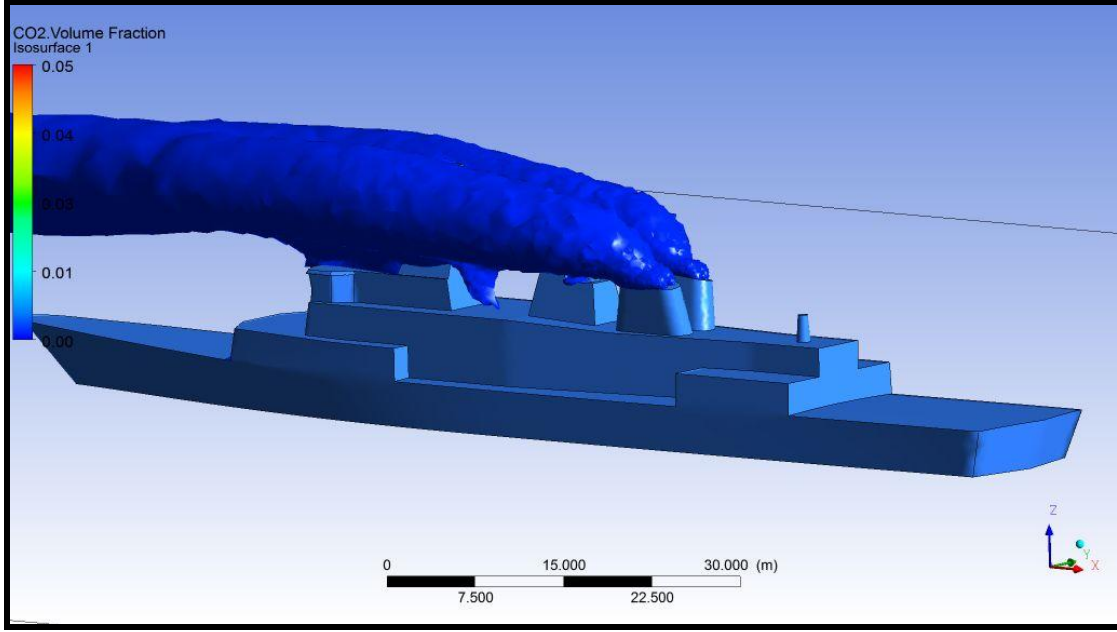
Şekil 6.62 : Durum-7 için CO_2 yayılımı.



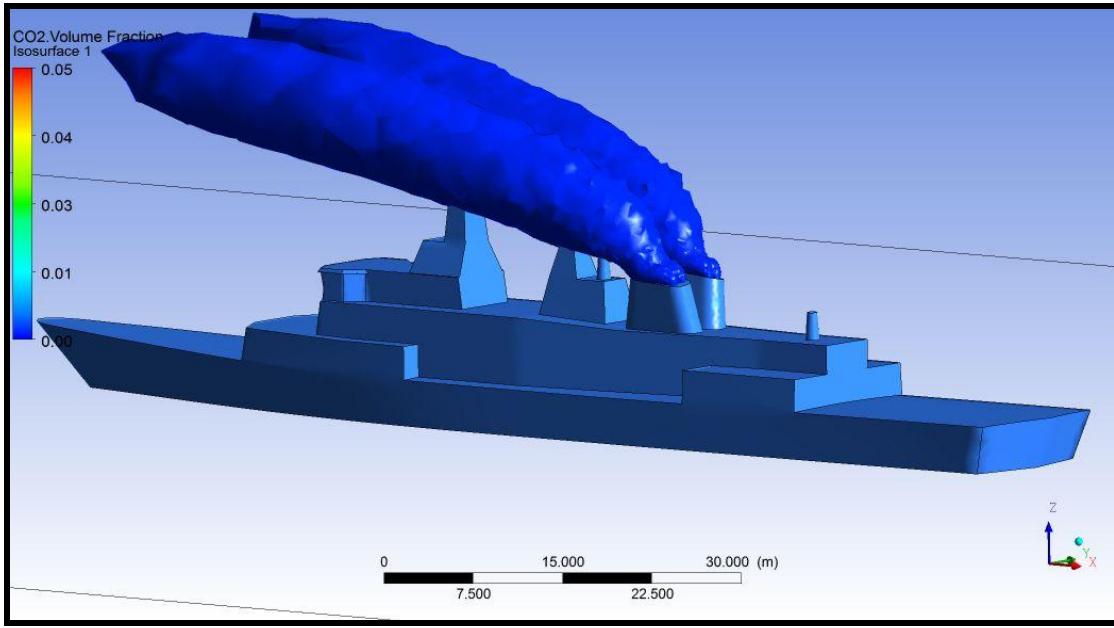
Şekil 6.63 : Durum-8 için CO₂ yayılımı.



Şekil 6.64 : Durum-9 için CO₂ yayılımı.



Şekil 6.65 : Durum-10 için CO₂ yayılımı.



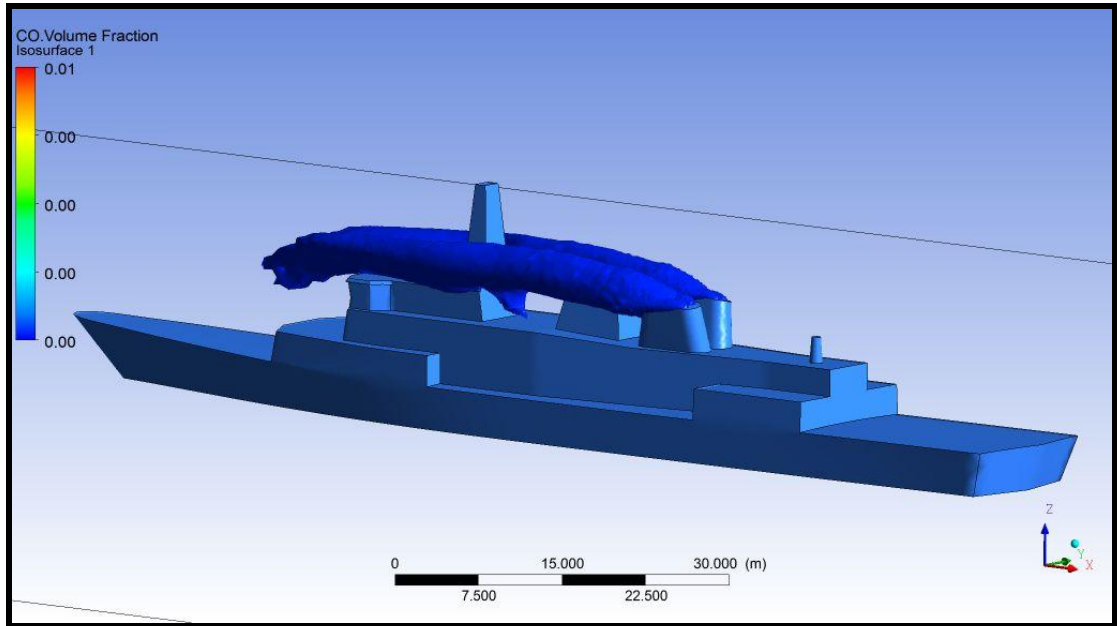
Şekil 6.66 : Durum-11 için CO₂ yayılımı.

Fırkateyn tornistan yolda seyir halindeyken hız oranı $K=0.601$ 'den $K=4.724$ 'e doğru arttıkça bacadan çıkan egzoz gazlarından CO₂ gazının hacimsel oranının 0.00145'den fazla olduğu bölgenin NO_x ve SO_x emisyonlarında olduğu gibi hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin tornistan yolda yüksek sürat kademelerinde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan CO₂ gazının konsantrasyonun arttığı görülmektedir. Düşük hız oranları için gerçek seyir şartlarında tornistan yol genelde yanaşma manevralarında kullanıldığından o anda köprüüstünde bulunan personele zarar verebileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda egzoz gazlarının

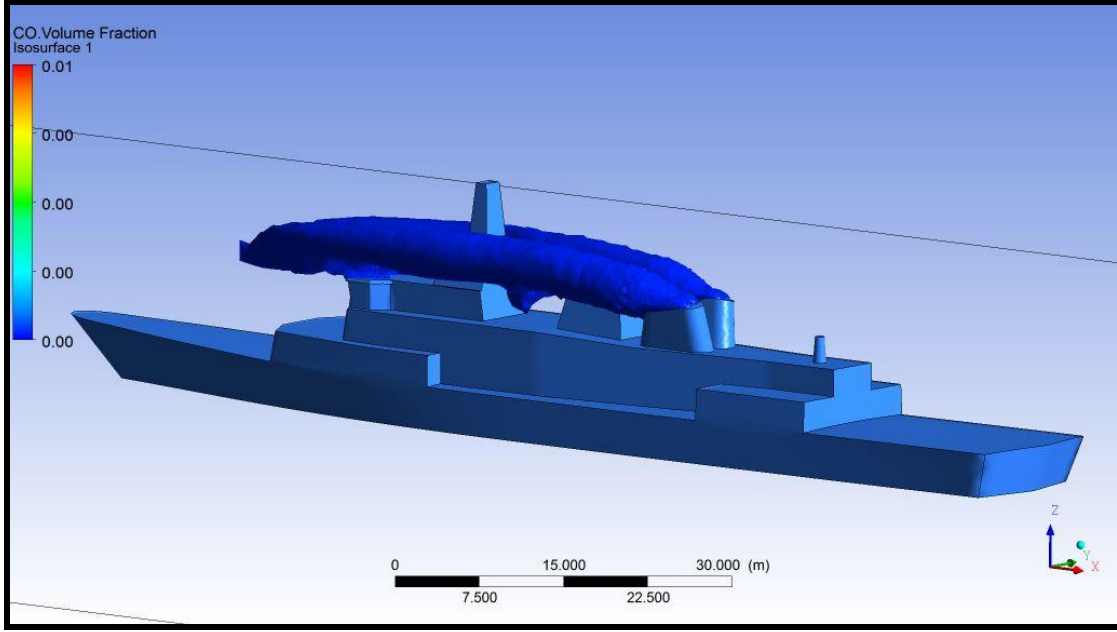
çıkış hızlarını arttırarak gazların momentumlarını yükseltmek, yani mümkün olduğu takdirde hız oranını arttırmak ($K=4.724$) (Şekil 6.66) CO_2 gazının olumsuz etkilerinden kurtulmak için yeterli olabilecektir.

Hız oranının $K=4.724$ olduğu Durum-11’de geminin 20 knot tornistan yolda ilerlediği göz önünde bulundurularak gazların olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla momentumu arttırılmış ve ana direkten uzaklaşması sağlanmıştır. Ancak normal şartlar altında tipik bir savaş gemisinin 20 knot tornistan sürata ulaşması zordur. Dolayısıyla egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkış hızlarının ek önlemler alınarak yükseltilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

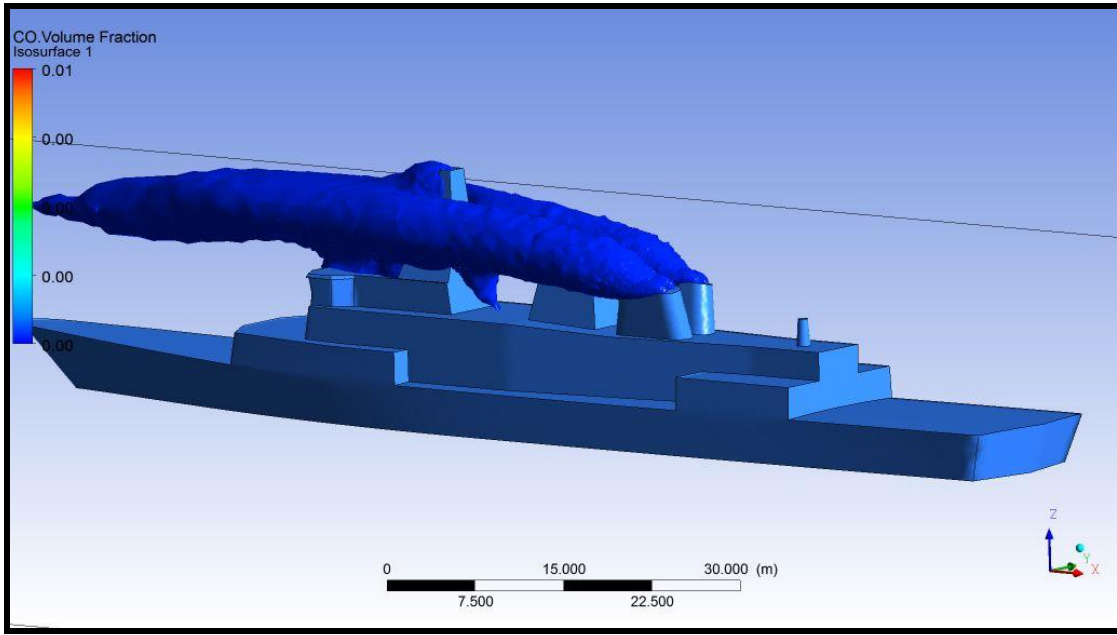
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateynin Durum-6, Durum-7, Durum-8, Durum-9, Durum-10 ve Durum-11 (Çizelge 4.2) ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$ ve 4.724) için gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.000145 ’i aştığı bölgeleri gösteren durumlar Şekil 6.67- Şekil 6.72’de gösterilmiştir.



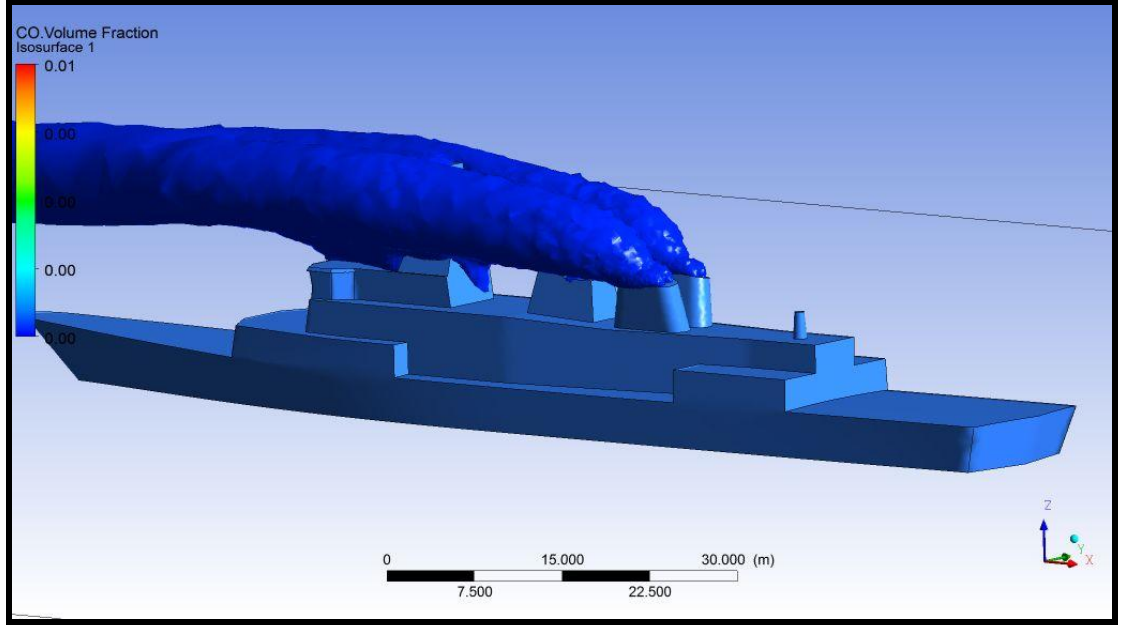
Şekil 6.67 : Durum-6 için CO yayılımı.



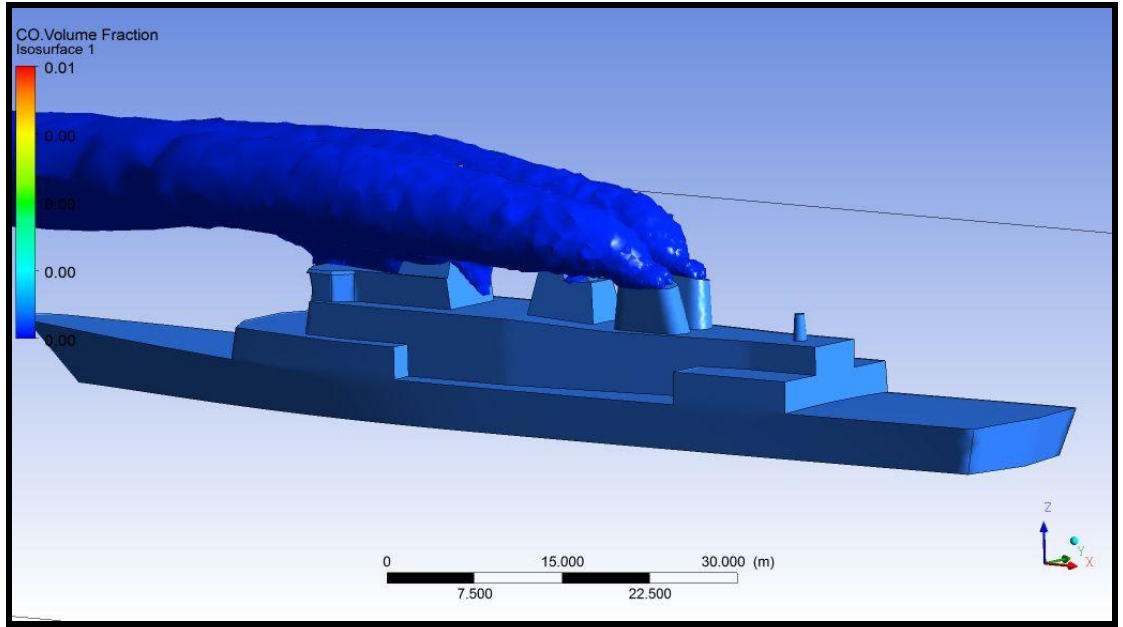
Şekil 6.68 : Durum-7 için CO yayılımı.



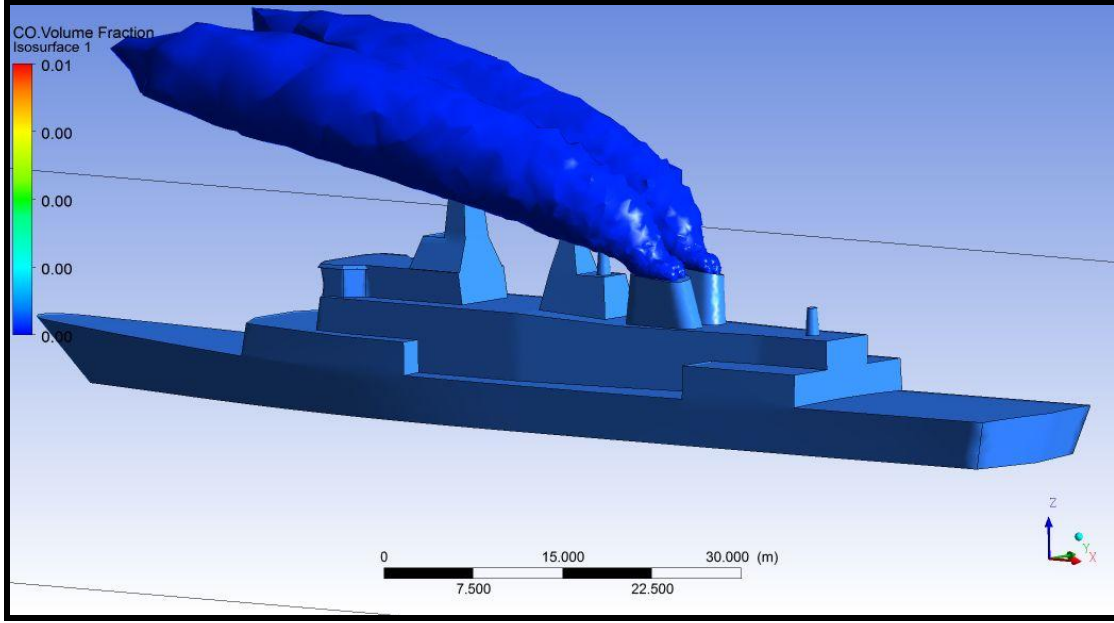
Şekil 6.69 : Durum-8 için CO yayılımı.



Şekil 6.70 : Durum-9 için CO yayılımı.



Şekil 6.71 : Durum-10 için CO yayılımı.



Şekil 6.72 : Durum-11 için CO yayılımı.

Fırkateyn tornistan yolda seyir halindeyken hız oranı $K=0.601$ 'den $K=4.724$ 'e doğru arttıkça bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.000145'den fazla olduğu bölgenin NO_x , SO_x , CO_2 emisyonlarında olduğu gibi hacmi artmaktadır. Dolayısıyla makinelerin tornistan yolda yüksek sürat kademelerinde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan CO gazının konsantrasyonun arttığı görülmektedir. Düşük hız oranları için gerçek seyir şartlarında tornistan yol genelde yanaşma manevralarında kullanıldığından o anda köprüüstünde bulunan personele zarar verebileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda egzoz gazlarının çıkış hızlarını arttırarak gazların momentumlarını yükseltmek, yani mümkün olduğu takdirde hız oranını arttırmak ($K=4.724$) (Şekil 6.72) CO gazının olumsuz etkilerinden kurtulmak için yeterli olabilecektir.

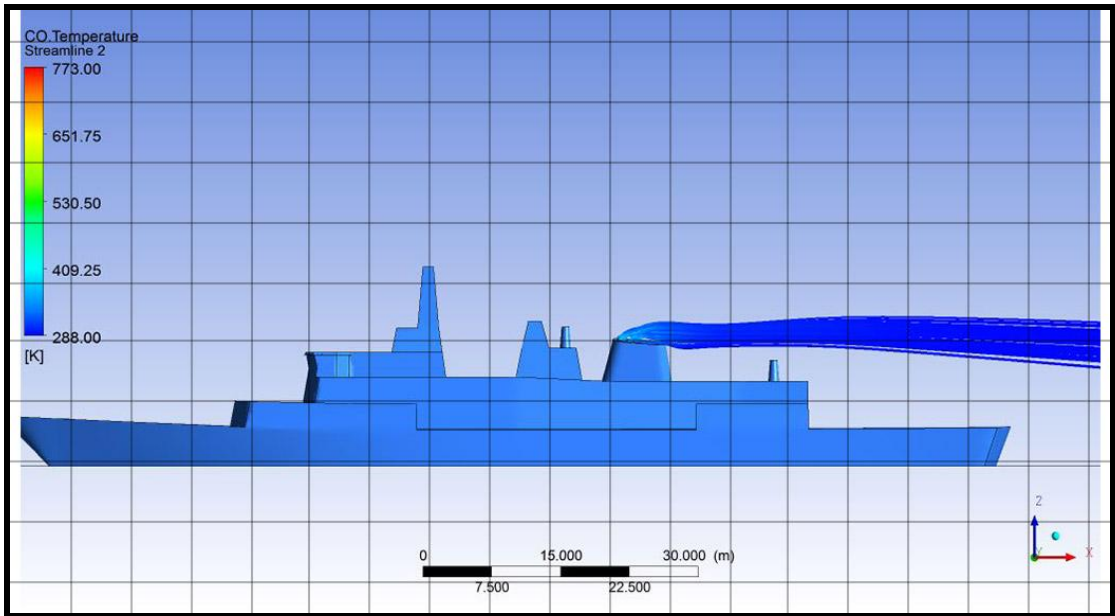
Hız oranının $K=4.724$ olduğu Durum-11'de geminin 20 knot tornistan yolda ilerlediği göz önünde bulundurularak gazların olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla momentumu arttırılmış ve ana direktan uzaklaşması sağlanmıştır. Ancak normal şartlar altında tipik bir savaş gemisinin 20 knot tornistan sürat ulaşması zordur. Dolayısıyla egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkış hızlarının ek önlemler alınarak yükseltilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca genel olarak bir savaş gemisinin kullanım ömrü ve konsepti göz önüne alındığında tornistan sürat sadece liman/iskelede yanaşma manevralarında ve acil durumlarda kullanıldığından dolayı tornistan yolda egzoz gaz emisyonlarının olumsuz etkilerinin yüksek seviyede olmadığı tespit edilmiştir.

6.2.3 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gaz yayılımına etkisi (Sabit Hız Oranı)

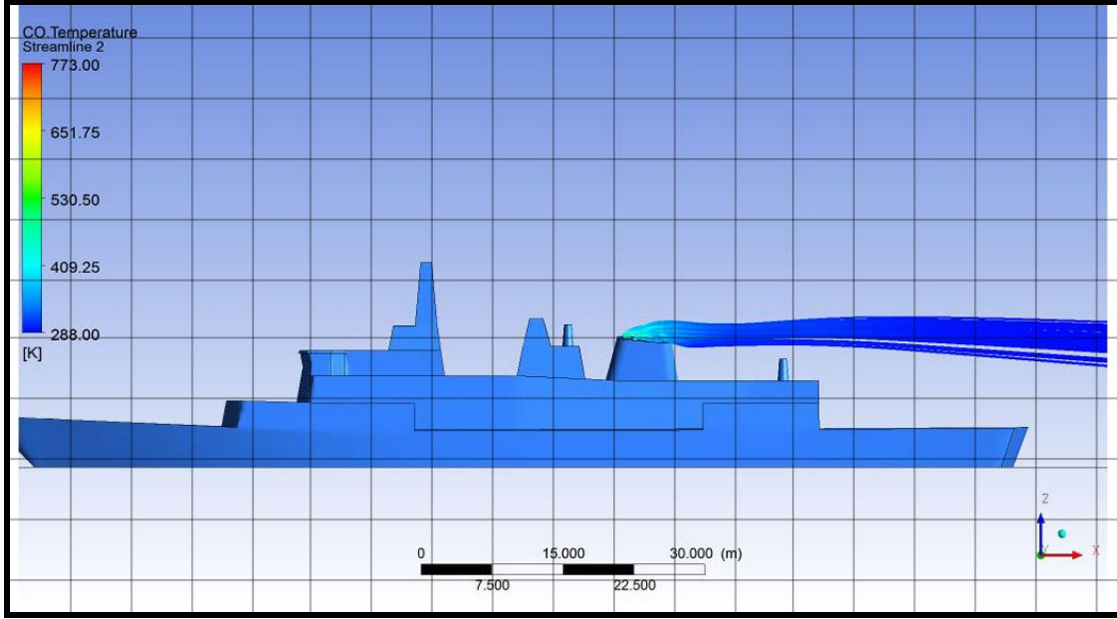
Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için gerçek seyir şartlarında egzoz çıkış sıcaklığının $T_s = 100^0\text{ C}$ ile $T_s = 500^0\text{ C}$ arasında şartlarda egzoz gazlarının yayılımına etkisi incelenirken iki farklı durum (Durum-1 ve Durum-3 (Çizelge 4.2)) için sayısal çalışma yapılmıştır. İlk sabit hız oranı $K=0.601$ için egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi Bölüm 6.2.3.1’de, egzoz gaz sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi Bölüm 6.2.3.2’de, ikinci sabit hız oranı $K=1.32$ için egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının yayılımına etkisi Bölüm 6.2.3.3’de ve egzoz gaz sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi Bölüm 6.2.3.4’de detaylı olarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

6.2.3.1 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-1)

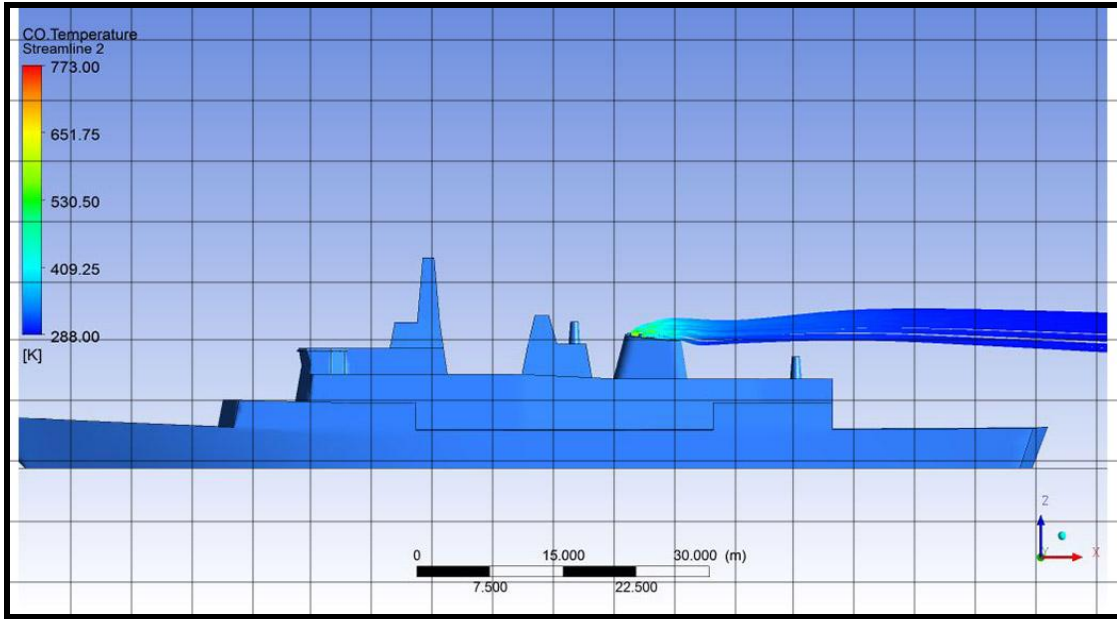
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda iken hız oranı $K= 0.601$ için egzoz gazlarının çıkış sıcaklıklarının $T_s=100^0\text{C}$ ’den $T_s=500^0\text{C}$ ’ye yükselmesinin bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 6.73- Şekil 6.77’de gösterilmiştir.



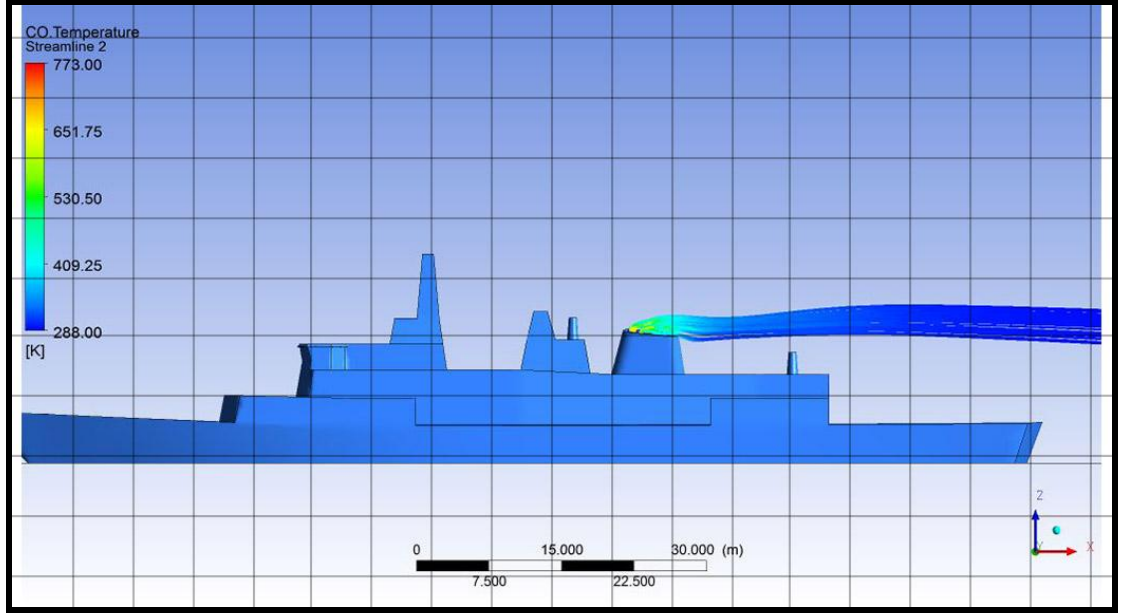
Şekil 6.73 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 100^0\text{C}$).



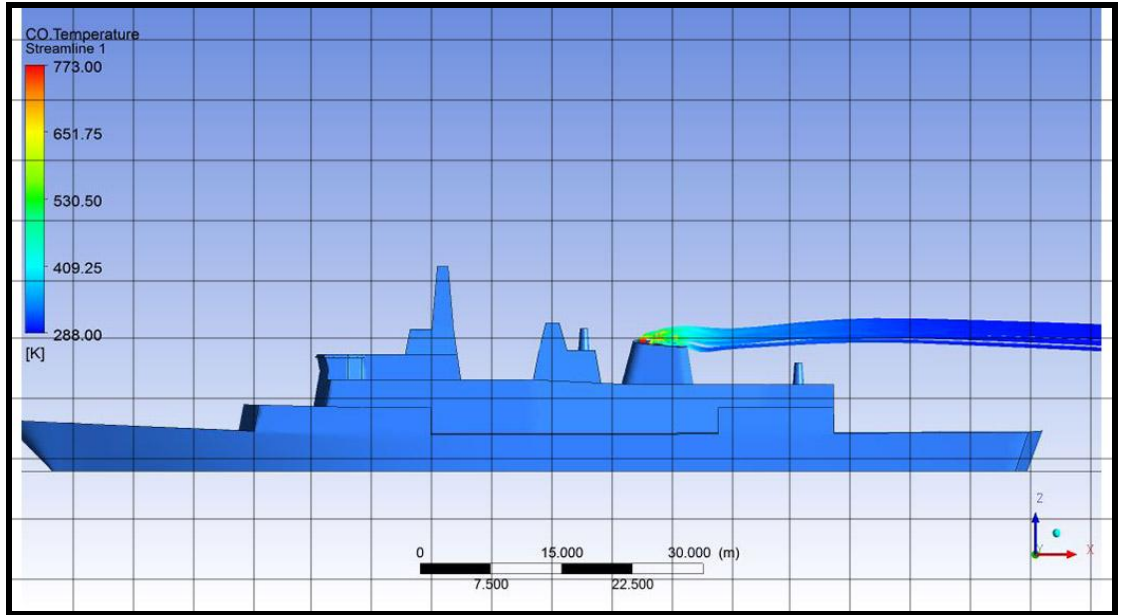
Şekil 6.74 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 200$ °C).



Şekil 6.75 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 300$ °C).



Şekil 6.76 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$).

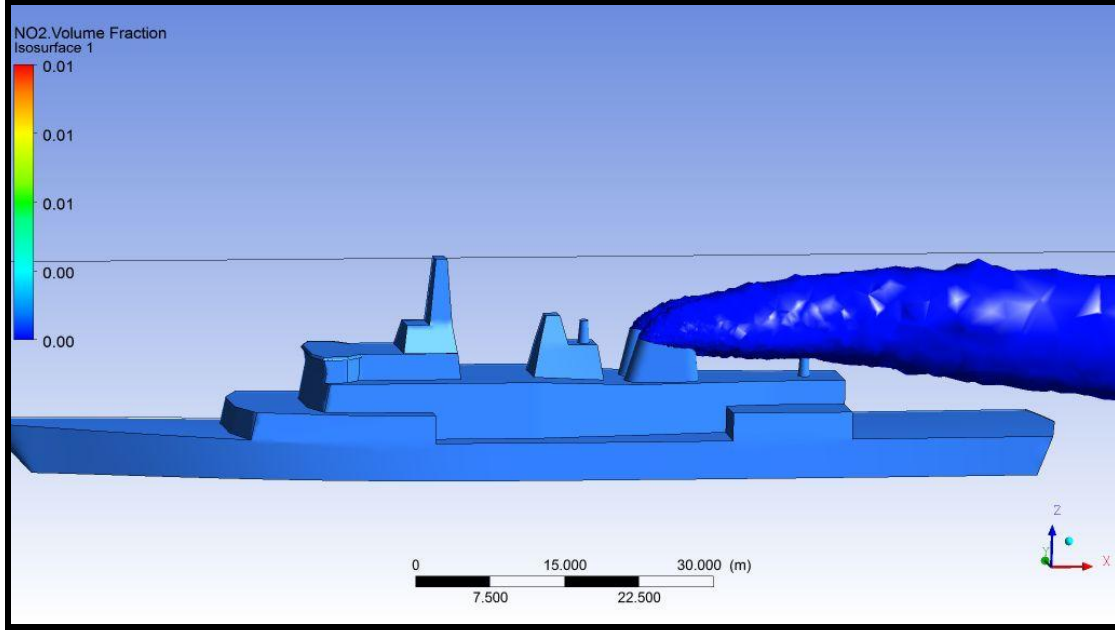


Şekil 6.77 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$).

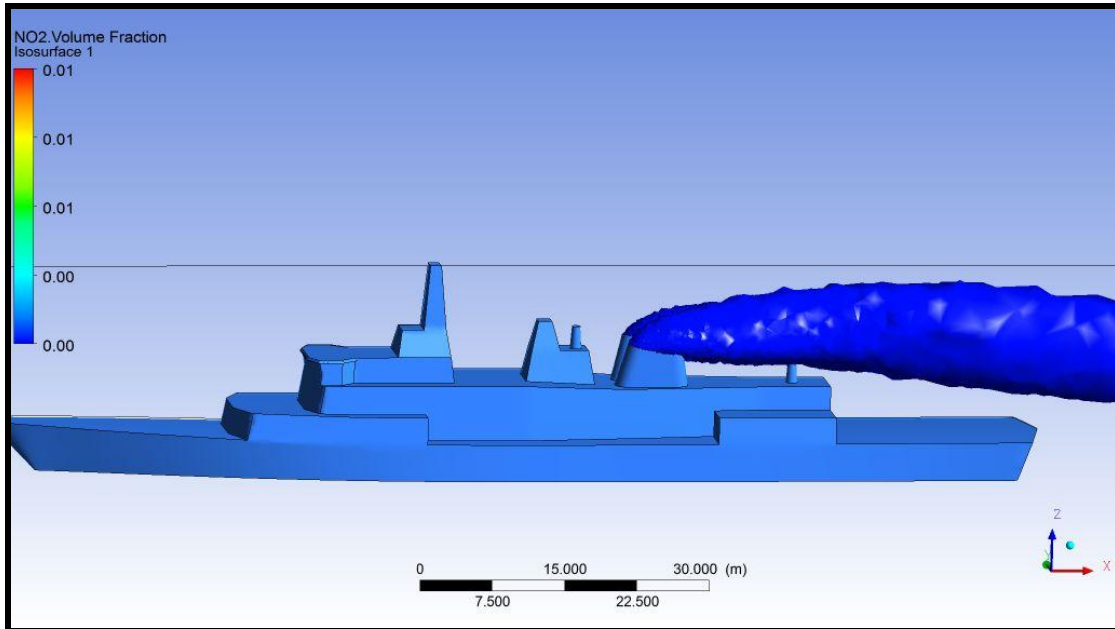
Gemi ileri yolda seyir halindeyken bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s = 100^{\circ}\text{C}$ ile $T_s = 500^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği durumlarda egzoz gazının sıcaklık dağılımının çok fazla değişmediği, $T_s = 100^{\circ}\text{C}$ - $T_s = 500^{\circ}\text{C}$ için baca çıkışında sıcaklığın arttığı bacadan uzaklaştıkça doğal olarak egzoz gazlarının ortam sıcaklığına eşitlendiği görülmektedir. Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının yayılımına etkisi Bölüm 6.2.3.3'te hız oranı $K = 1.32$ (Durum-3) için tekrar incelenmiştir.

6.2.3.2 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-1)

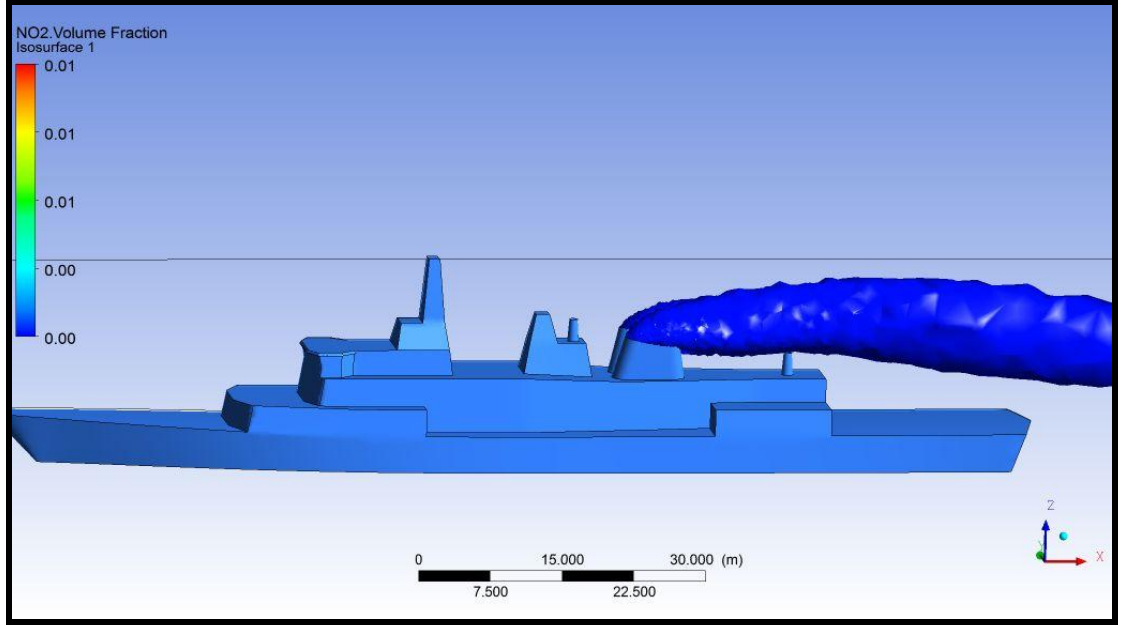
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=0.601$ (Durum-1) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100^{\circ}\text{C}$ 'den $T_s=500^{\circ}\text{C}$ 'ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.78- Şekil 6.82'de gösterilmiştir.



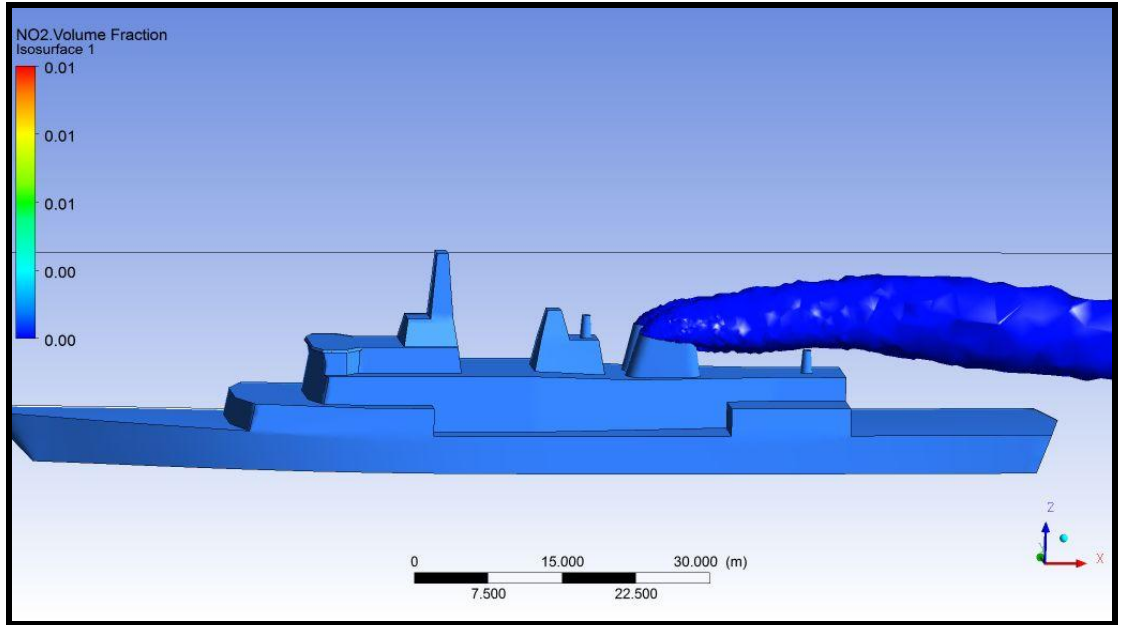
Şekil 6.78 : Durum-1 için NO_x yayılımı, ($T_s=100^{\circ}\text{C}$).



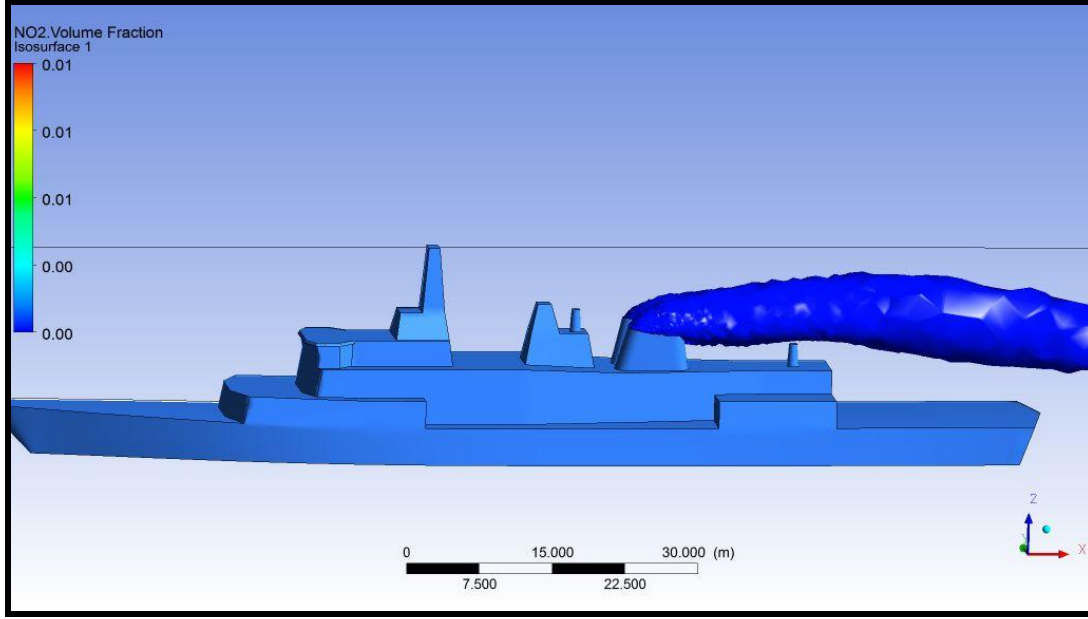
Şekil 6.79 : Durum-1 için NO_x yayılımı, ($T_s=200^{\circ}\text{C}$).



Şekil 6.80 : Durum-1 için NO_x yayılımı, ($T_s=300$ °C).



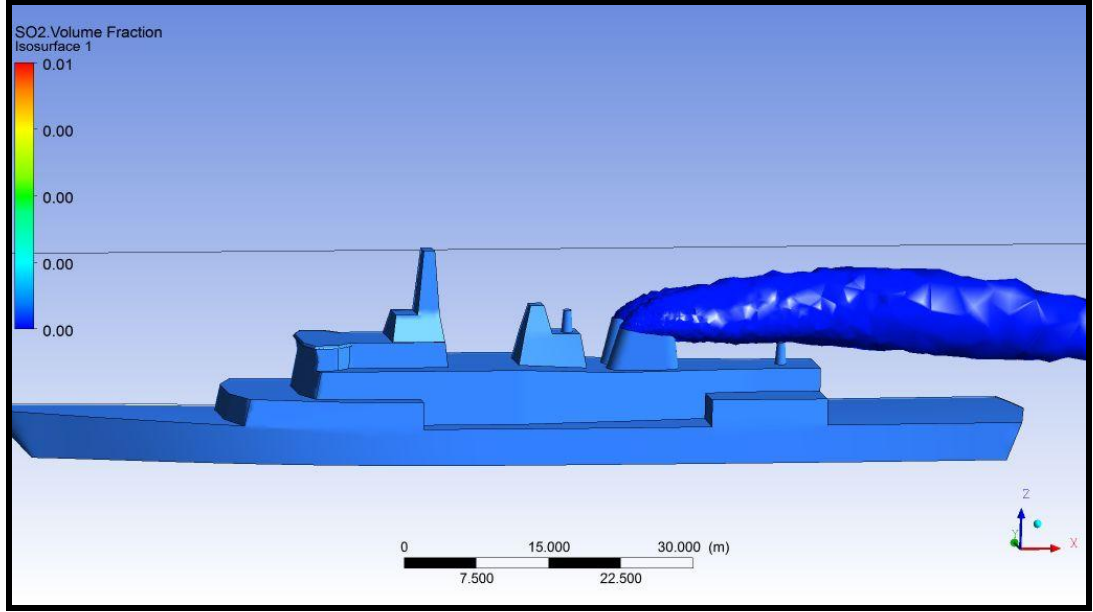
Şekil 6.81 : Durum-1 için NO_x yayılımı, ($T_s=400$ °C).



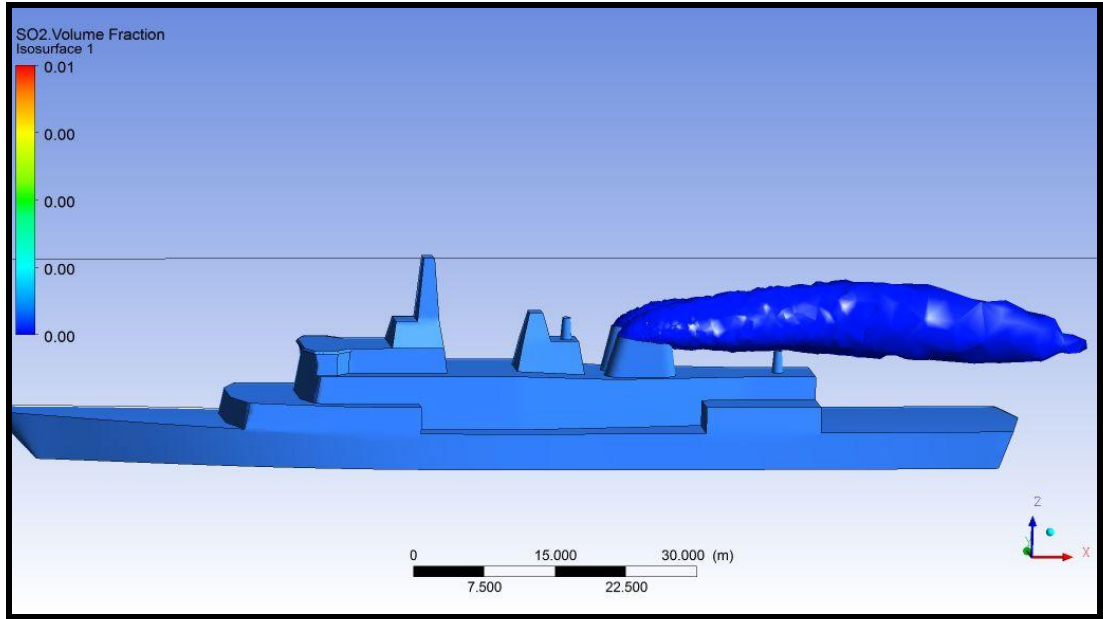
Şekil 6.82 : Durum-1 için NO_x yayılımı, ($T_s=500$ °C).

Gemi ileri yolda seyir halindeyken bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s=100$ ° C ile $T_s=500$ °C arasında değiştiği durumlarda egzoz gazı içindeki NO_x gazı konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, NO_x gazının helikopter platformuna doğru yönelmediği ancak egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100$ ° C ve $T_s=200$ ° C olduğu durumlarda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

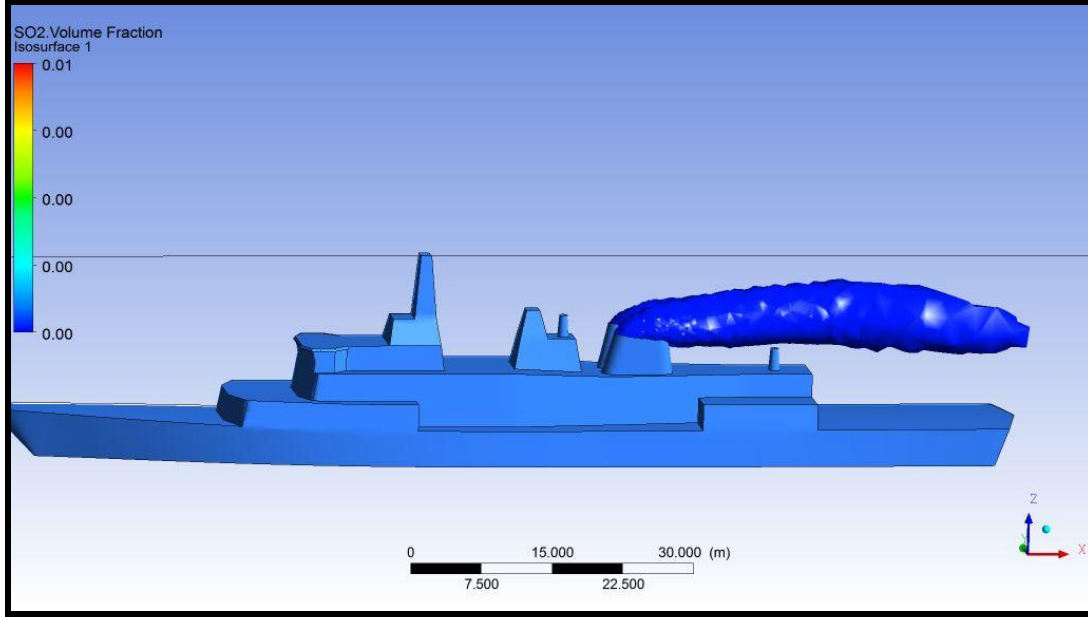
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=0.601$ (Durum-1) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100$ °C'den $T_s=500$ °C'ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.83- Şekil 6.87'de gösterilmiştir.



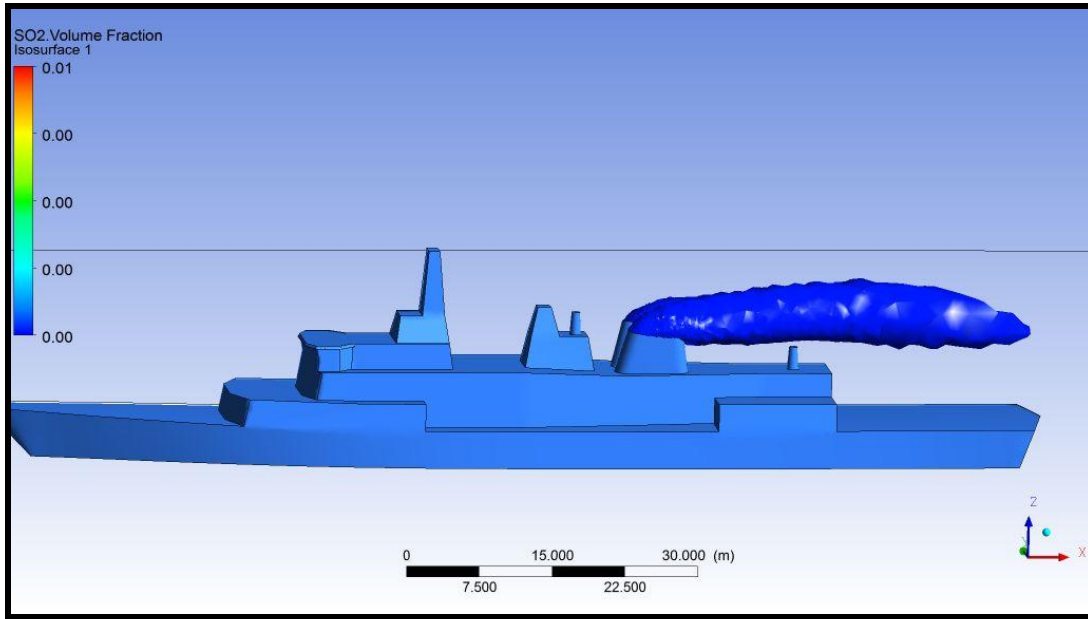
Şekil 6.83 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($T_s=100^\circ\text{C}$).



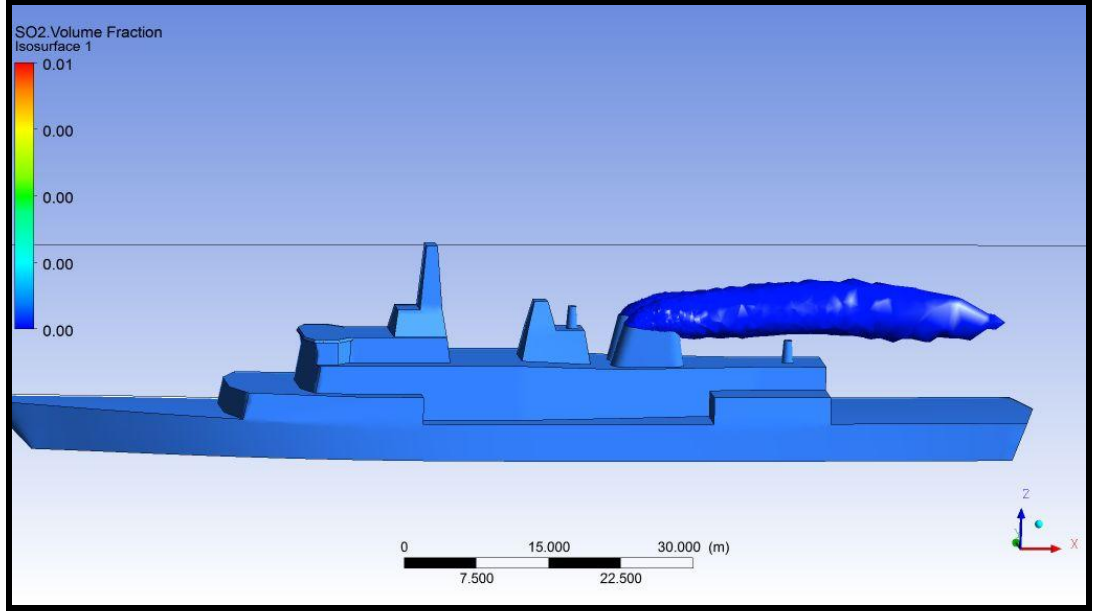
Şekil 6.84 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($T_s=200^\circ\text{C}$).



Şekil 6.85 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($T_s=300$ °C).



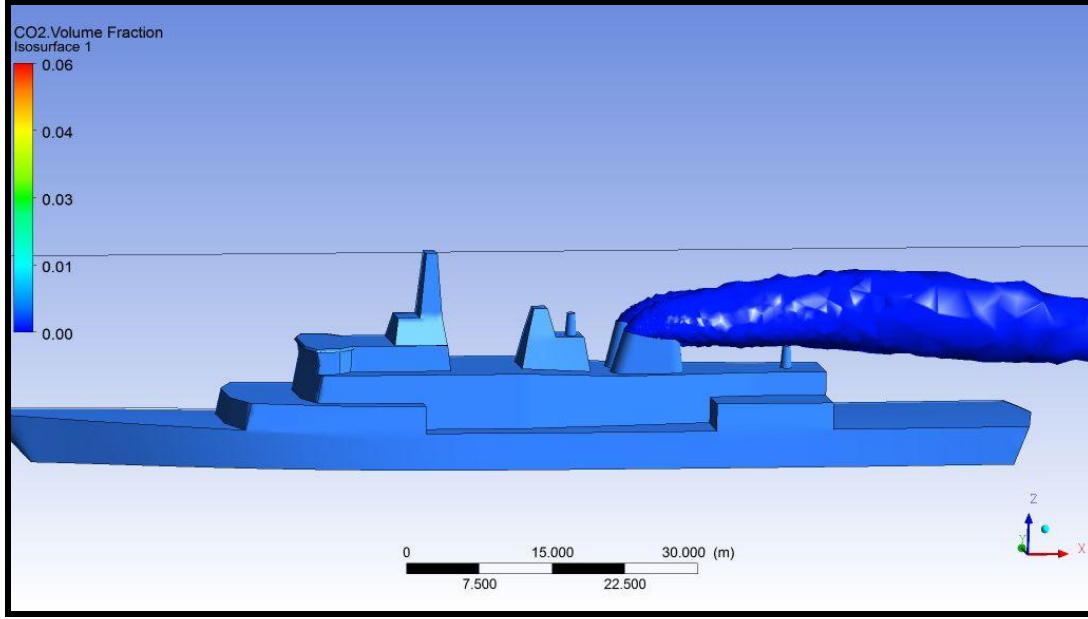
Şekil 6.86 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($T_s=400$ °C).



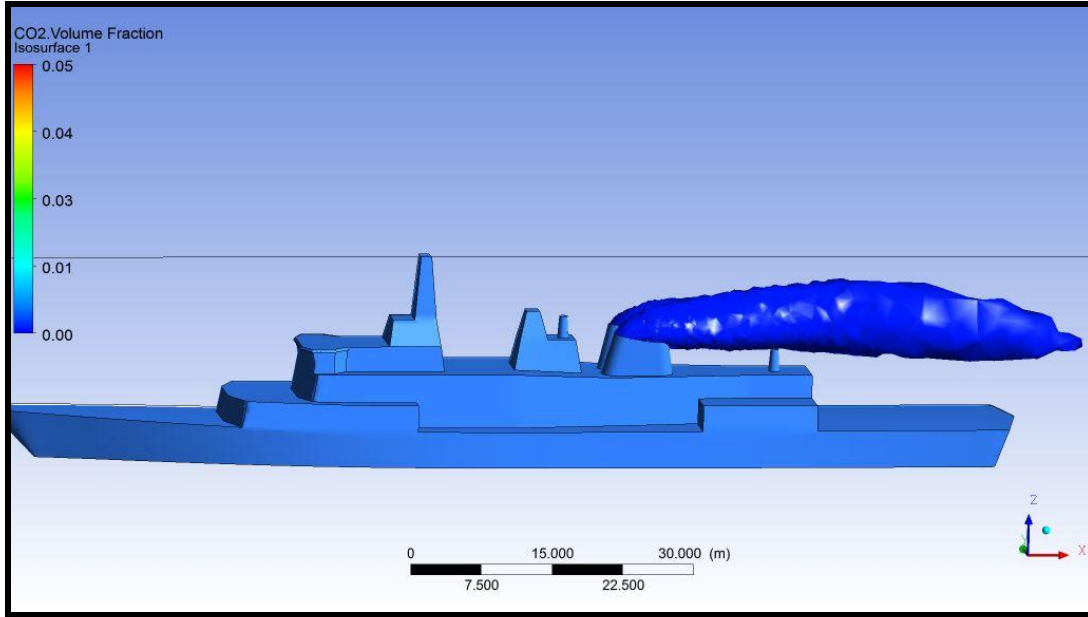
Şekil 6.87 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($T_s=500^\circ C$).

Gemi ileri yolda seyir halindeyken bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s=100^\circ C$ ile $T_s=500^\circ C$ arasında değiştiği durumlarda egzoz gazı içindeki SO_x gaz konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, SO_x gazının helikopter platformuna doğru yönelmediği ancak egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^\circ C$ ve $T_s=200^\circ C$ olduğu durumlarda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

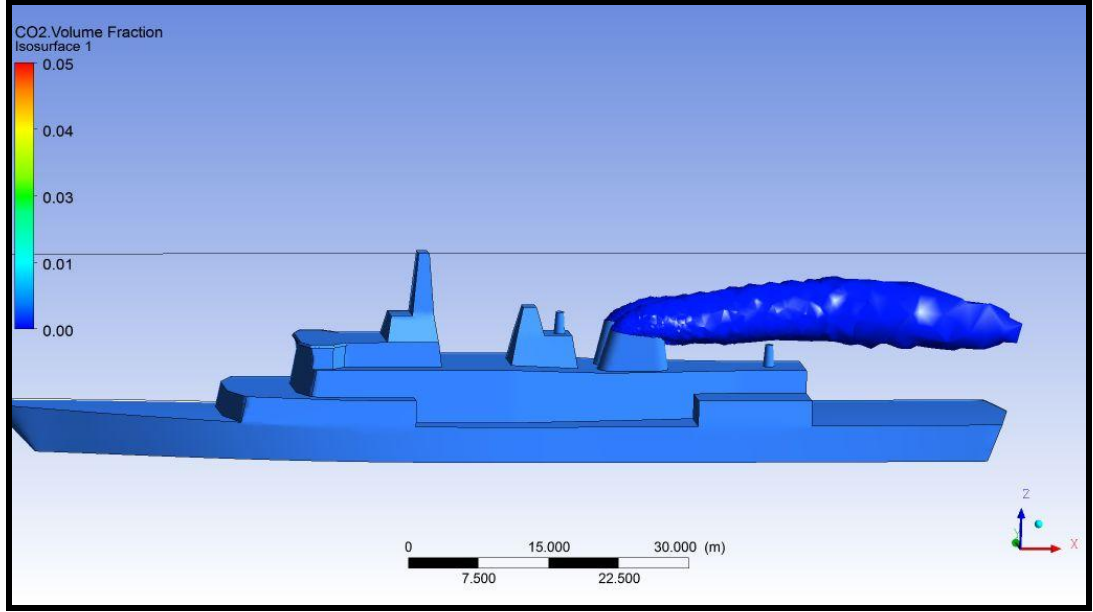
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=0.601$ (Durum-1) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100^\circ C$ 'den $T_s=500^\circ C$ 'ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.001 'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.88- Şekil 6.92'de gösterilmiştir.



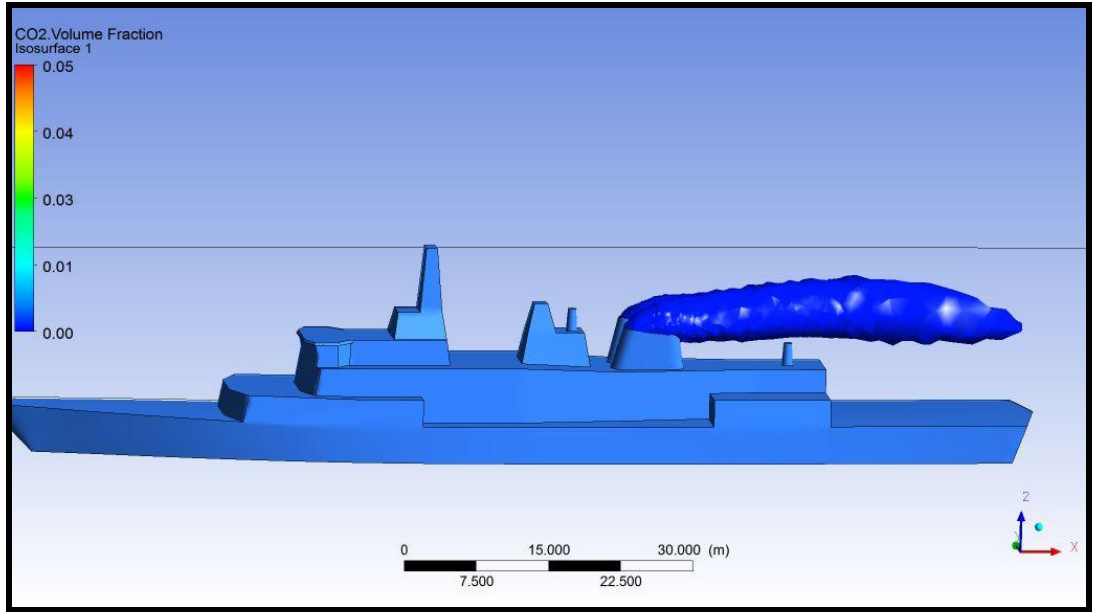
Şekil 6.88 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($T_s=100$ °C).



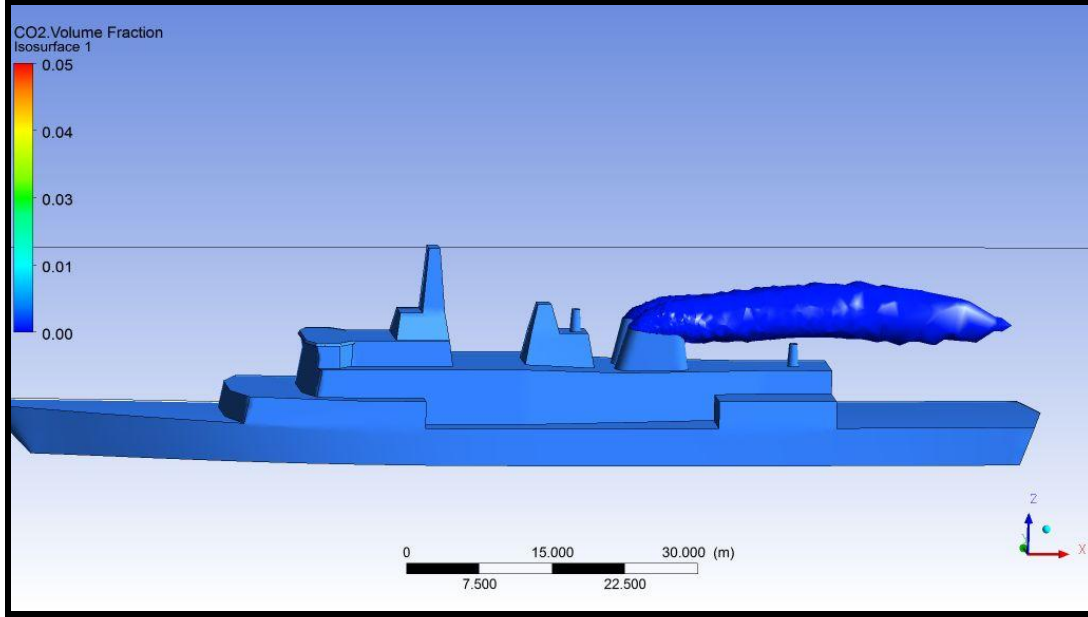
Şekil 6.89 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($T_s=200$ °C).



Şekil 6.90 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($T_s=300$ °C).



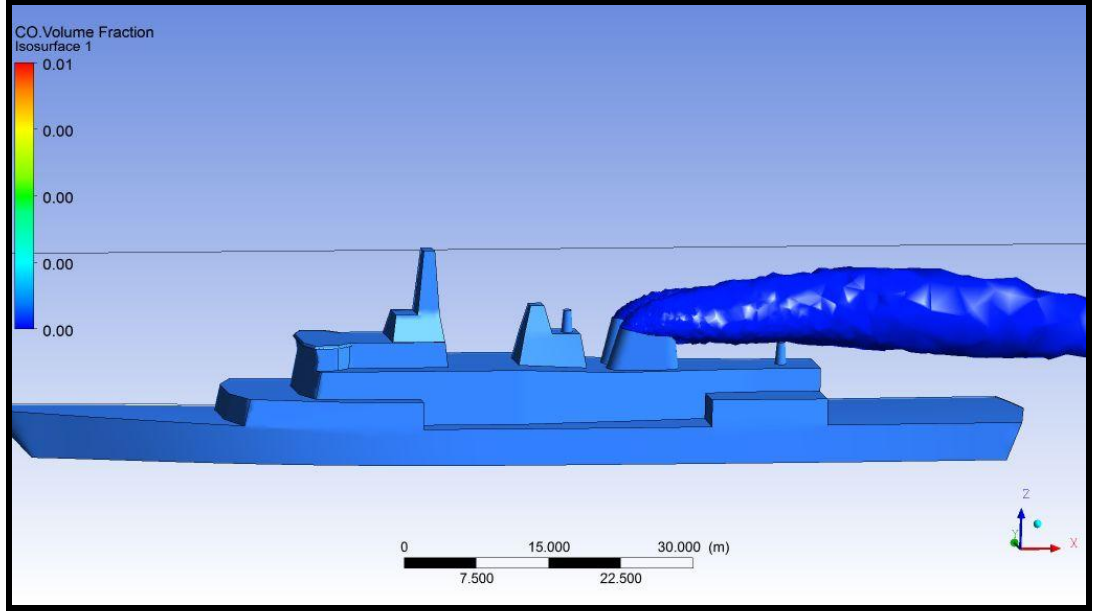
Şekil 6.91 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($T_s=400$ °C).



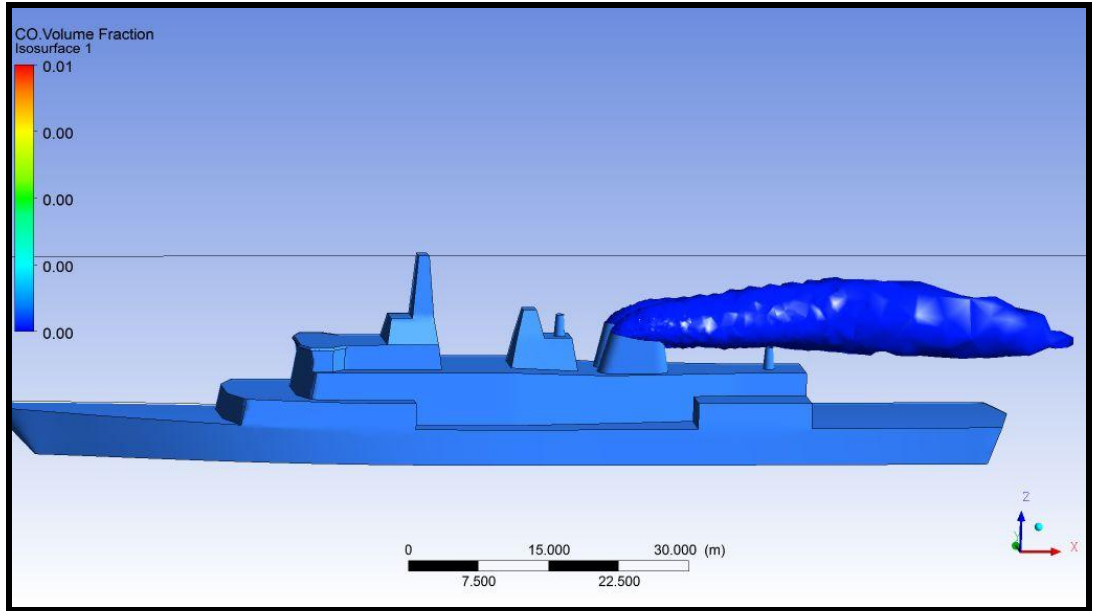
Şekil 6.92 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($T_s=500^0\text{C}$).

Gemi ileri yolda seyir halindeyken bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ile $T_s=500^0\text{C}$ arasında değiştiği durumlarda egzoz gazı içindeki CO₂ gaz konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, CO₂ gazının helikopter platformuna doğru yönelmediği ancak egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ve $T_s=200^0\text{C}$ olduğu durumlarda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

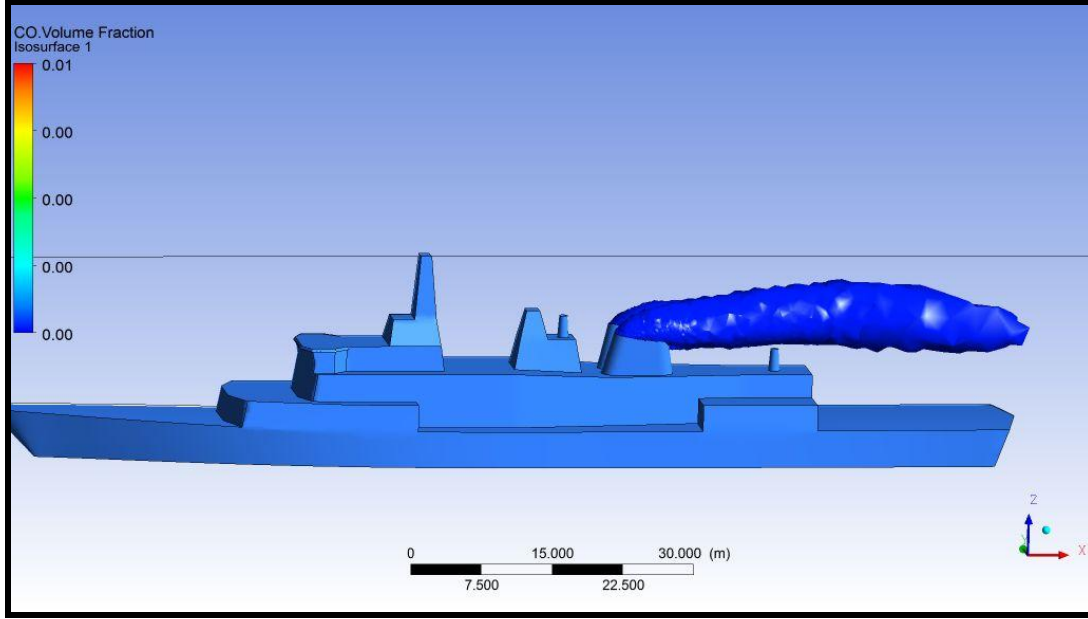
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=0.601$ (Durum-1) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ 'den $T_s=500^0\text{C}$ 'ye arttığı durumlarda egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.93- Şekil 6.97'de gösterilmiştir.



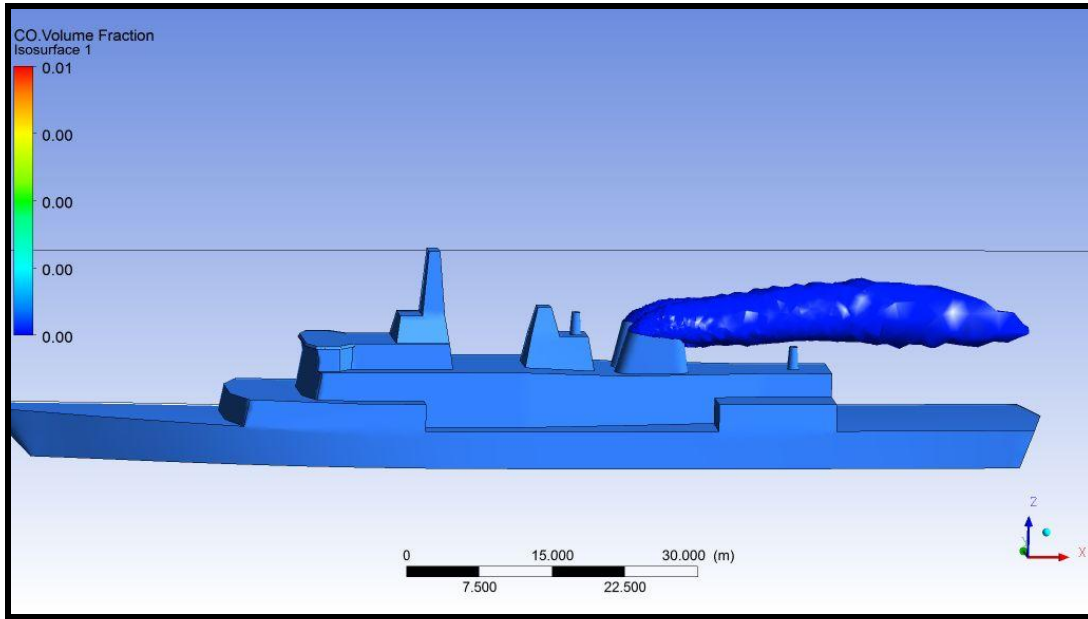
Şekil 6.93 : Durum-1 için CO yayılımı ($T_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$).



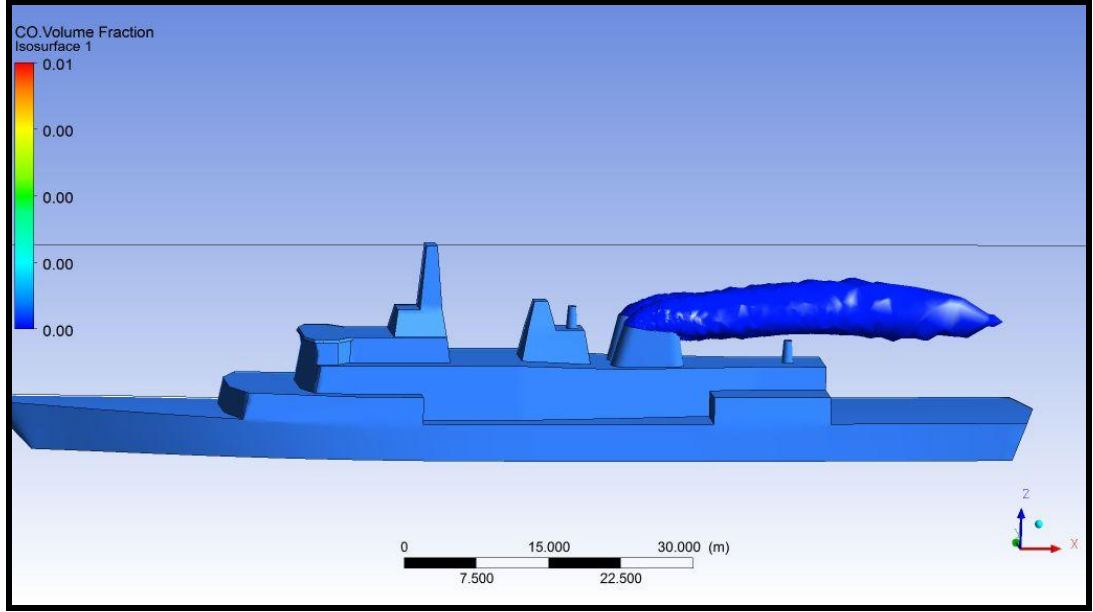
Şekil 6.94 : Durum-1 için CO yayılımı ($T_s=200\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Şekil 6.95 : Durum-1 için CO yayılımı ($T_s=300$ °C).



Şekil 6.96 : Durum-1 için CO yayılımı ($T_s=400$ °C).



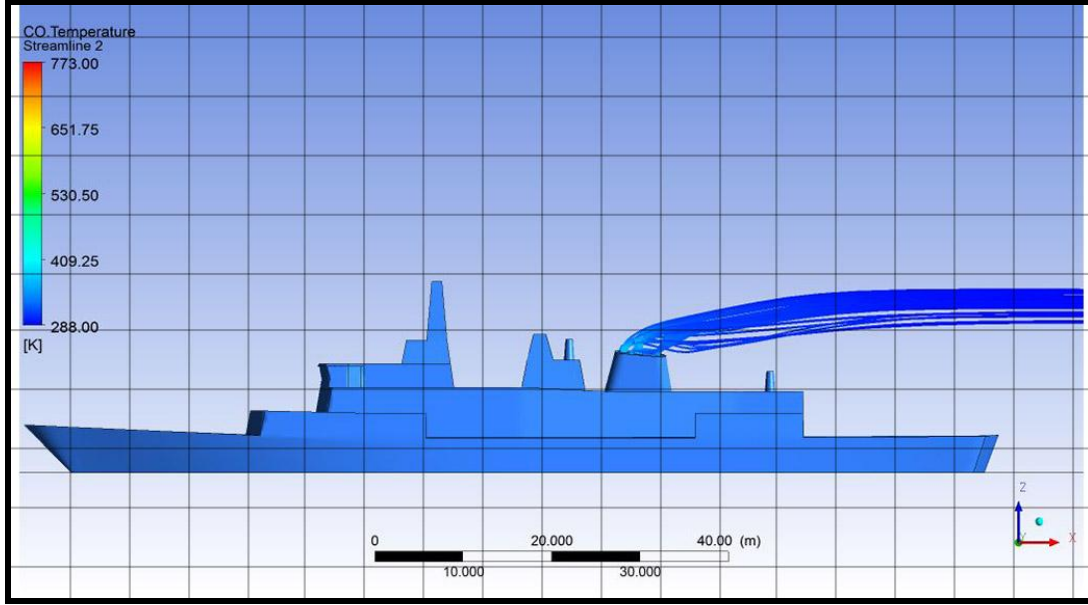
Şekil 6.97 : Durum-1 için CO yayılımı ($T_s=500^0\text{C}$).

Gemi ileri yolda seyir halindeyken bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ile $T_s=500^0\text{C}$ arasında değiştiği durumlarda egzoz gazı içindeki CO gaz konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, CO gazının helikopter platformuna doğru yönelmediği ancak egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ve $T_s=200^0\text{C}$ olduğu durumlarda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

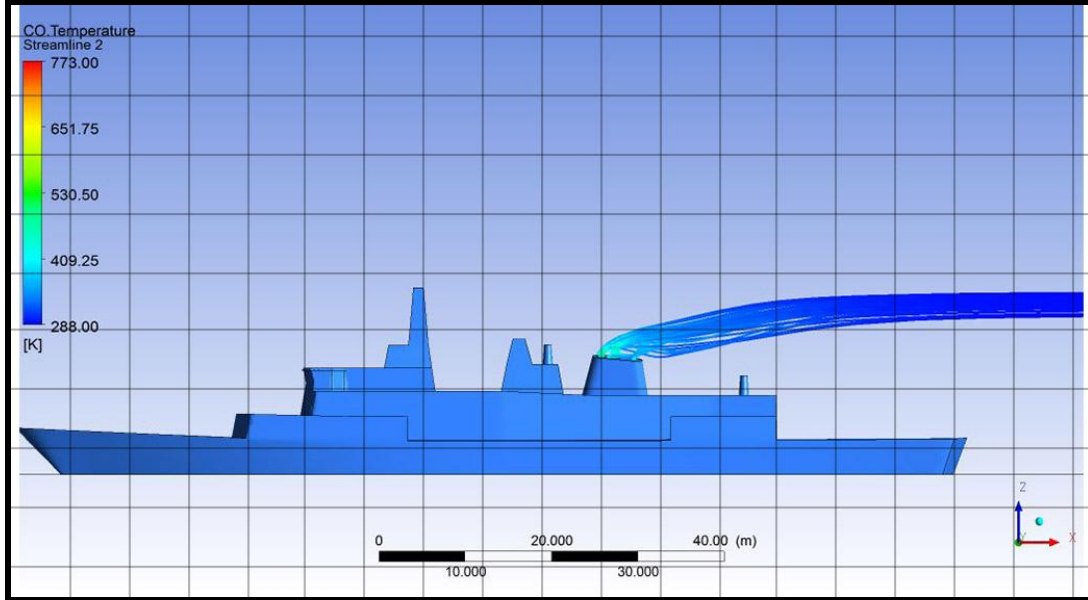
Sonuç olarak Durum-1'deki gerçek seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre fırkateyn ileri yolda seyir halindeyken egzoz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ile $T_s=500^0\text{C}$ 'ye yükselmesinin egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO konsantrasyonunun hacimsel olarak azalmasına sebep olduğu, genel olarak emisyonların helikopter platformuna doğru yönelmediği ancak egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ve $T_s=200^0\text{C}$ olduğu durumlarda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

6.2.3.3 Egzoz gaz sıcaklığının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-3)

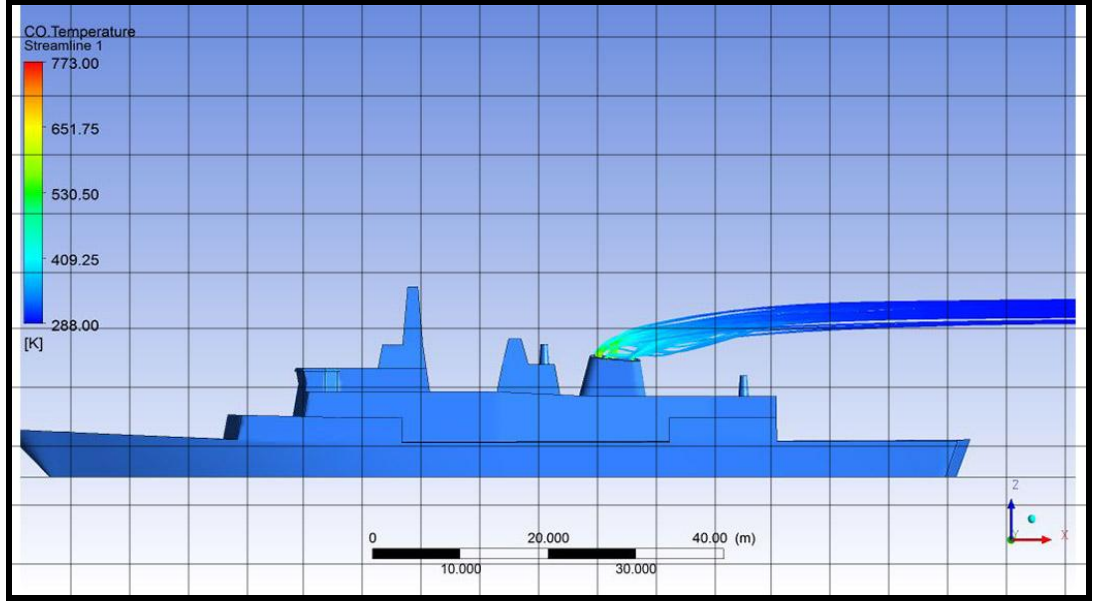
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda iken hız oranı $K= 1.32$ (Durum-3) için egzoz gazlarının çıkış sıcaklıklarının $T_s=100^0\text{C}$ 'den $T_s=500^0\text{C}$ 'ye değişiminin bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 6.98- Şekil 6.102'de gösterilmiştir.



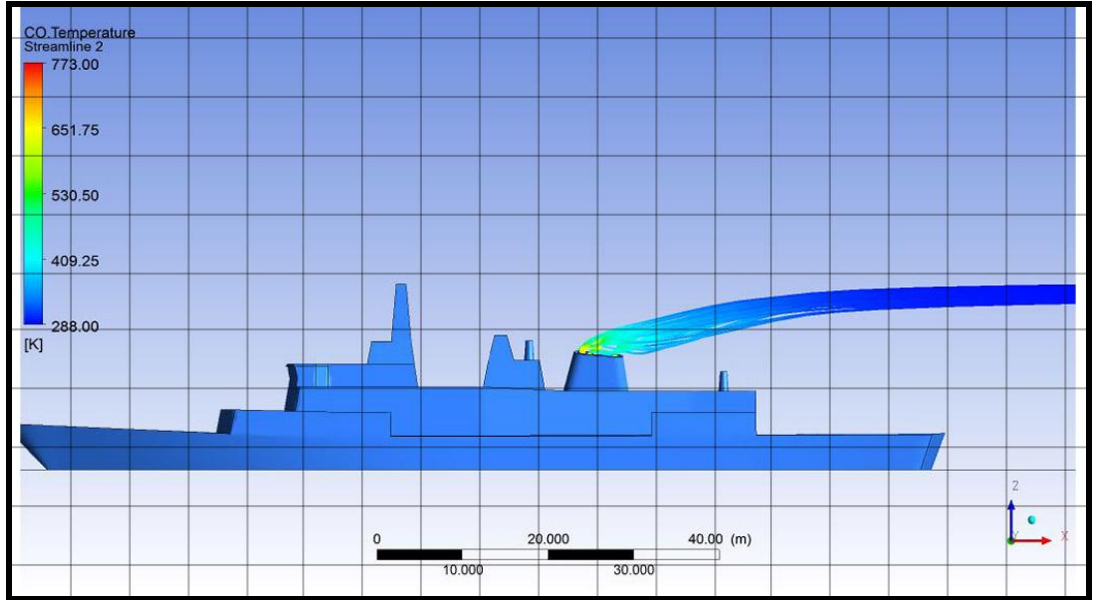
Şekil 6.98 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$).



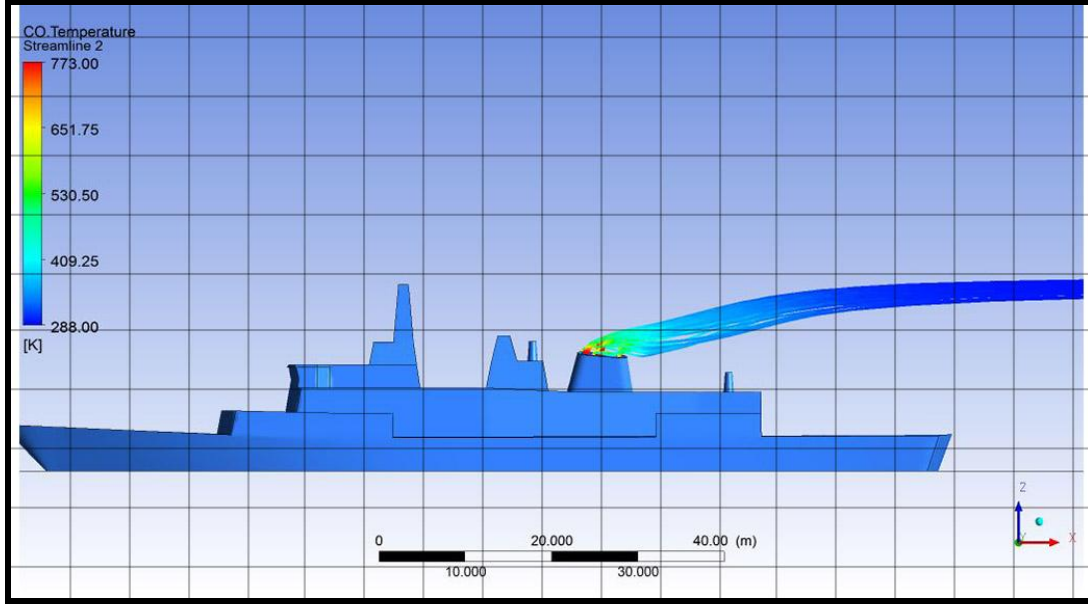
Şekil 6.99 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Şekil 6.100 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Şekil 6.101 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$).

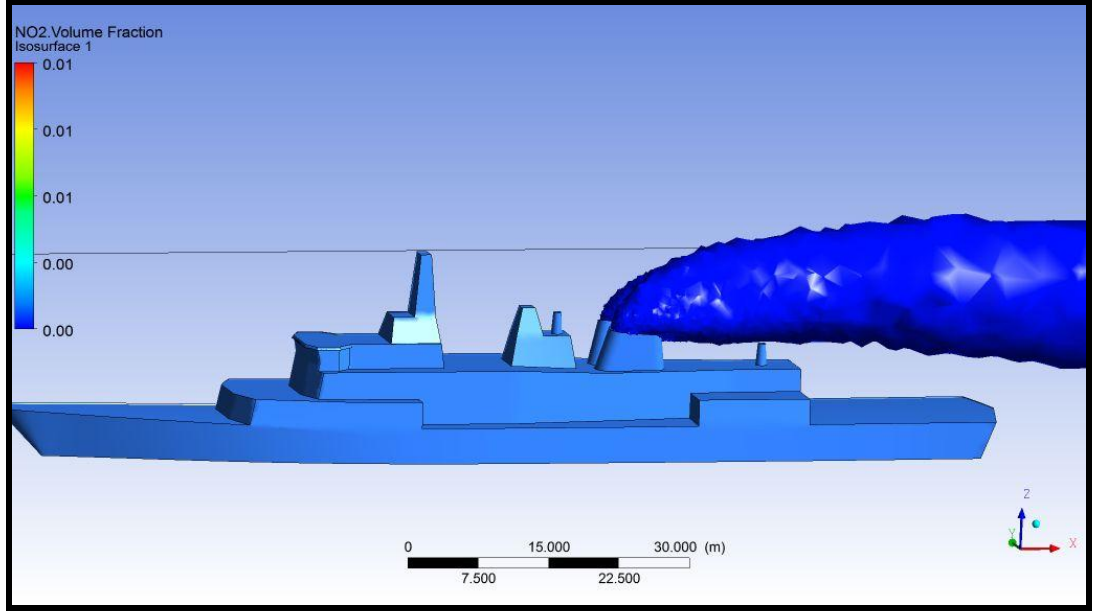


Şekil 6.102 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($T_s = 500^\circ\text{C}$).

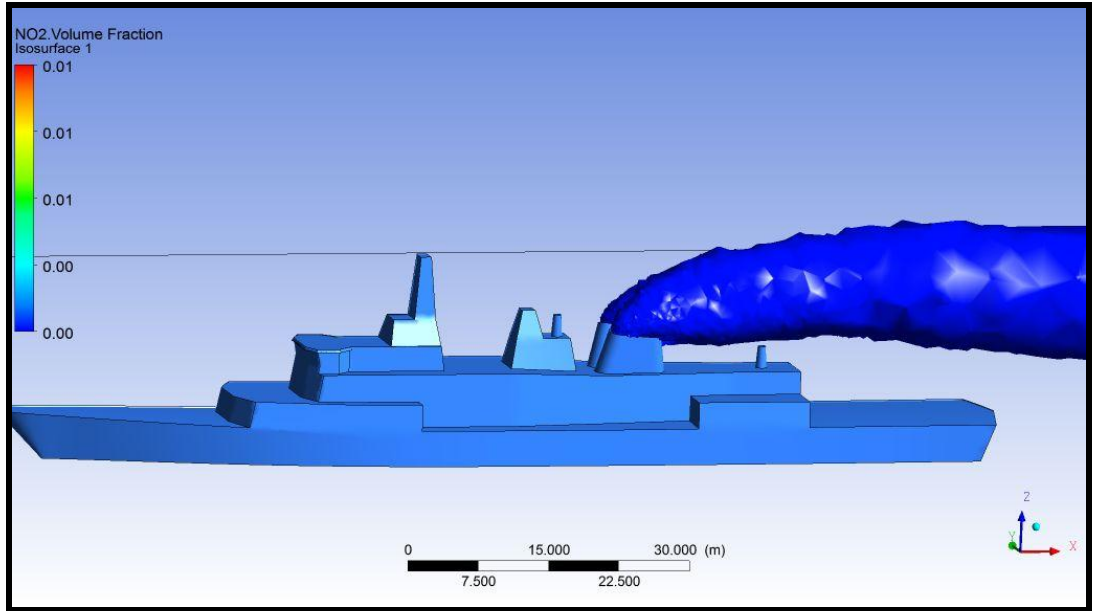
Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için Durum-3’de belirtilen gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ ile $T_s=500^\circ\text{C}$ arasında değiştiği durumlarda egzoz gazlarının sıcaklık dağılımının Bölüm 6.2.3.1’de açıklanan (Durum-1) sonuçlardan biraz daha farklı olduğu tespit edilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı arttığında egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu görülmüştür. Bunun Bölüm 4.5’te açıklanan sıcaklık farkından dolayı oluşan kaldırma kuvveti (Buoyancy) etkilerinden ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir (Çizelge 4.5). Ancak sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gaz yayılımının olumsuz etkilerinin olmayacağı düşünülmektedir.

6.2.3.4 Egzoz gaz sıcaklıklarının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-3)

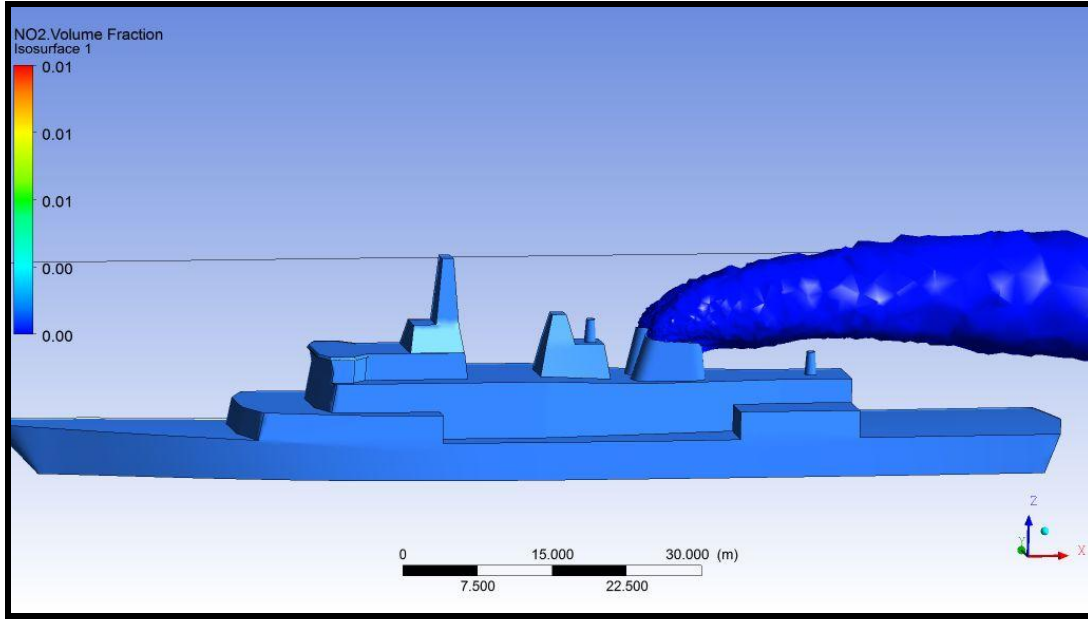
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=1.32$ (Durum-3) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ ’den $T_s=500^\circ\text{C}$ ’ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.103-Şekil 6.107’de gösterilmiştir.



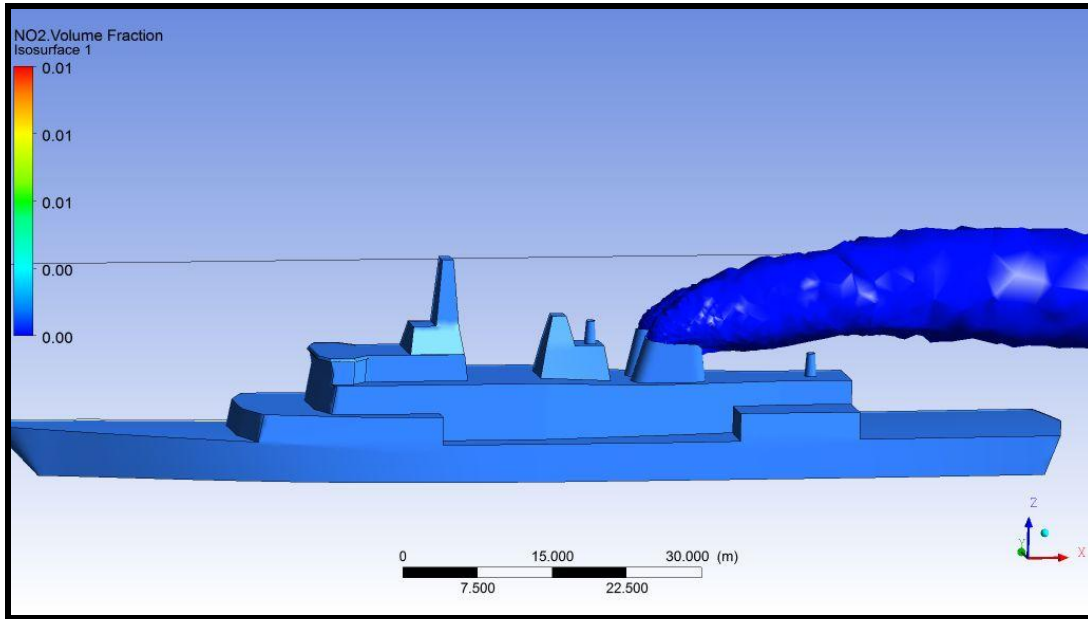
Şekil 6.103 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=100$ °C).



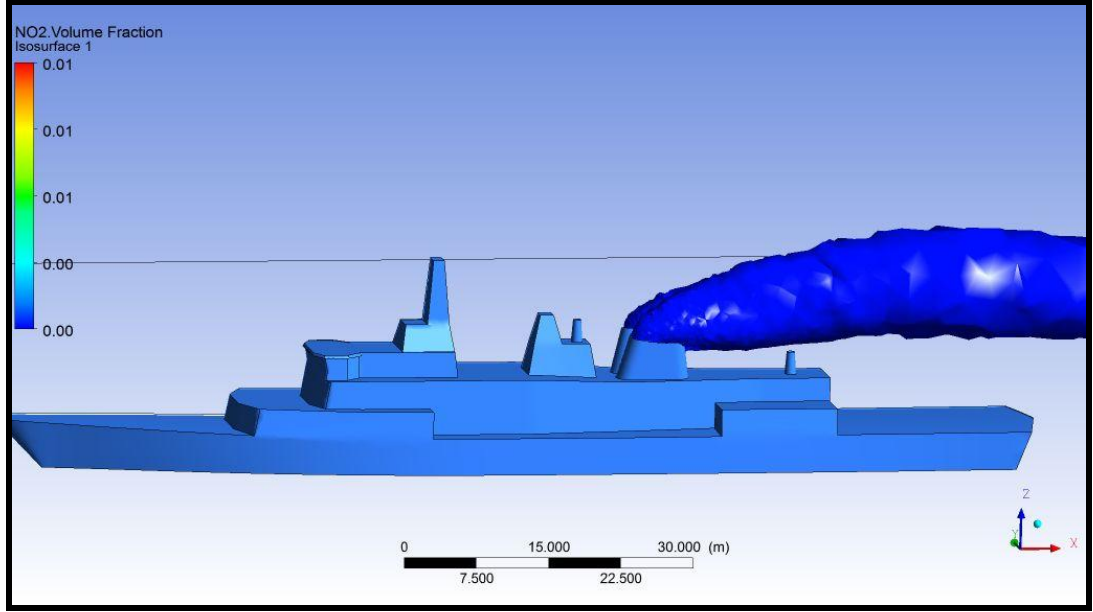
Şekil 6.104 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=200$ °C).



Şekil 6.105 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=300$ °C).



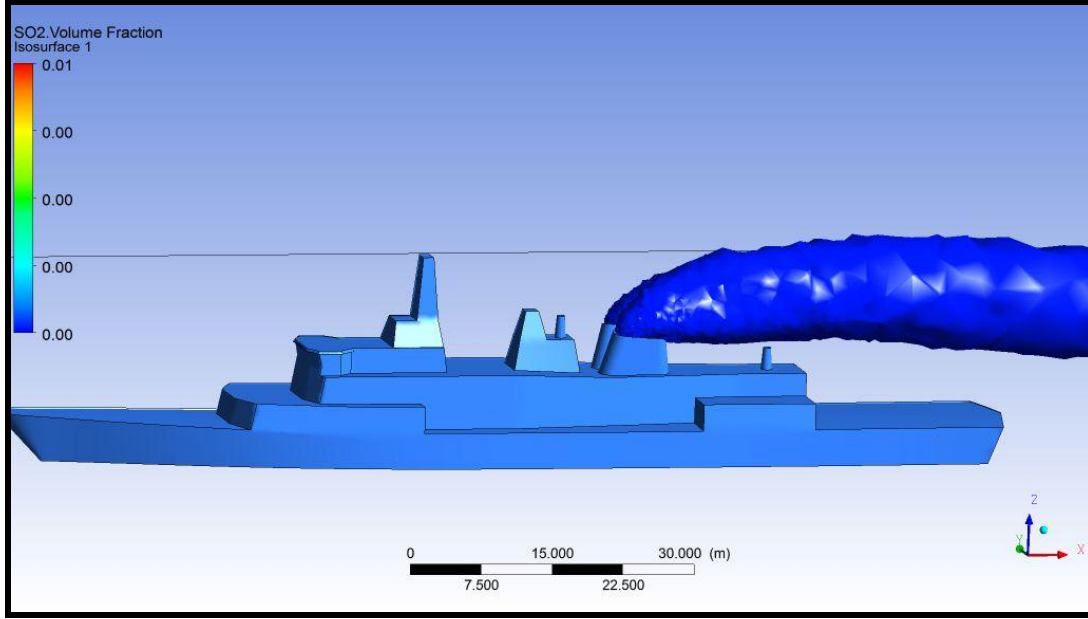
Şekil 6.106 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=400$ °C).



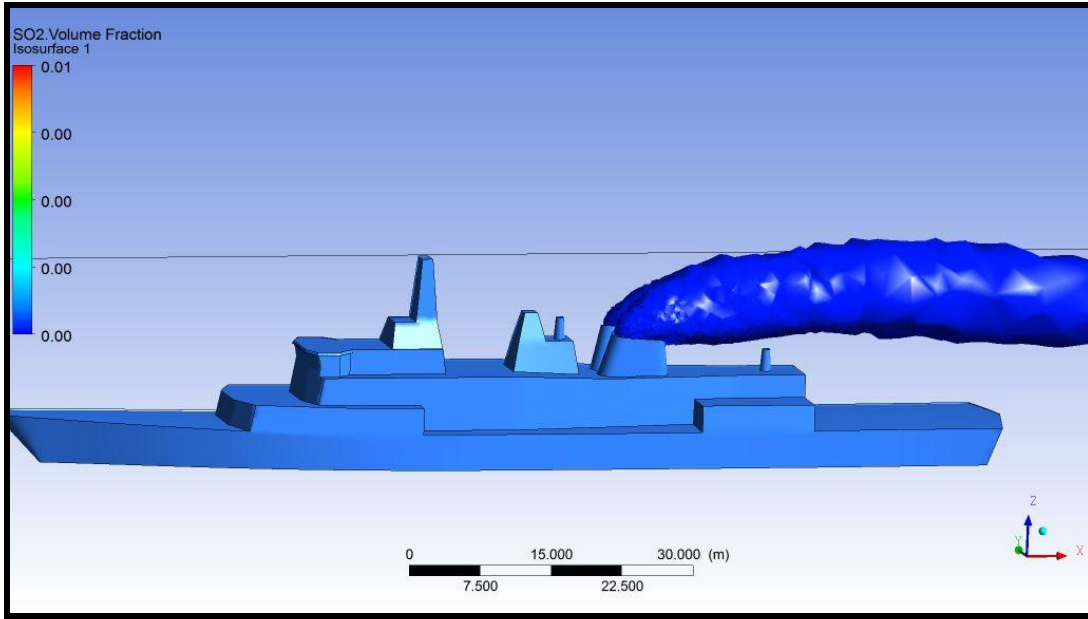
Şekil 6.107 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($T_s=500^\circ\text{C}$).

Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için Durum-3’de belirtilen gerçek seyir şartlarında egzoz sıcaklığı $T_s=100^\circ\text{C}$ ile $T_s=500^\circ\text{C}$ arasında değiştiğinde egzoz gazı içindeki NO_x gaz konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, egzoz gazı sıcaklığı arttırıldığında NO_x gazının momentumunun az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ olduğu durumda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği görülmüştür (Şekil 6.103-Şekil 6.107). Sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ olduğu durum haricinde bacadan çıkan egzoz gaz emisyonlarının olumsuz etkilerinin olmayacağı düşünülmüştür.

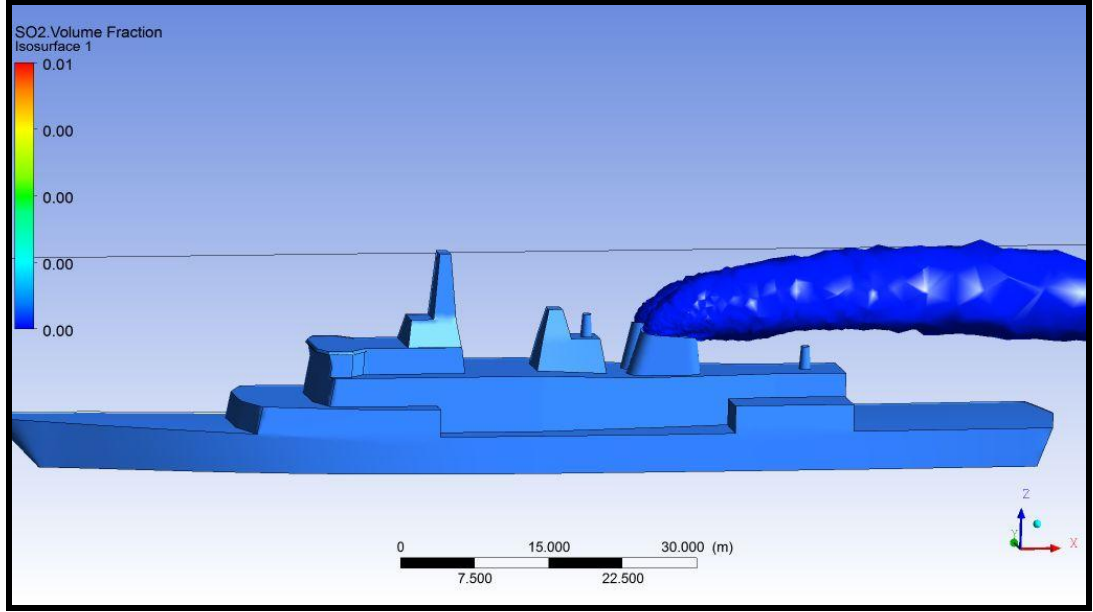
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=1.32$ (Durum-3) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ ’den $T_s=500^\circ\text{C}$ ’ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.0001’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.108- Şekil 6.112’de gösterilmiştir.



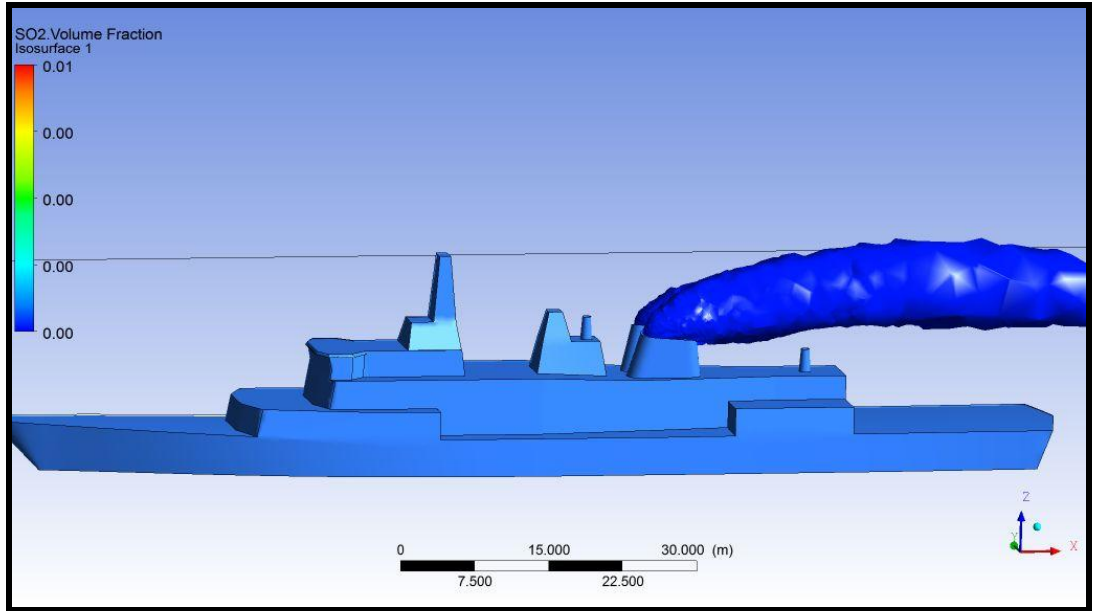
Şekil 6.108 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=100$ °C).



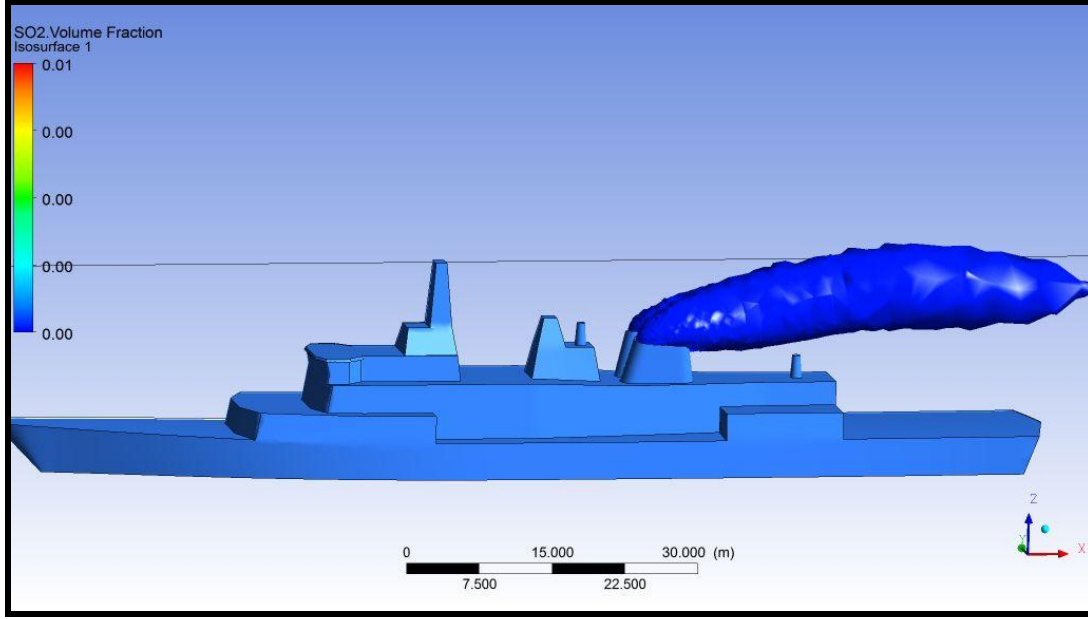
Şekil 6.109 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=200$ °C).



Şekil 6.110 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=300$ °C).



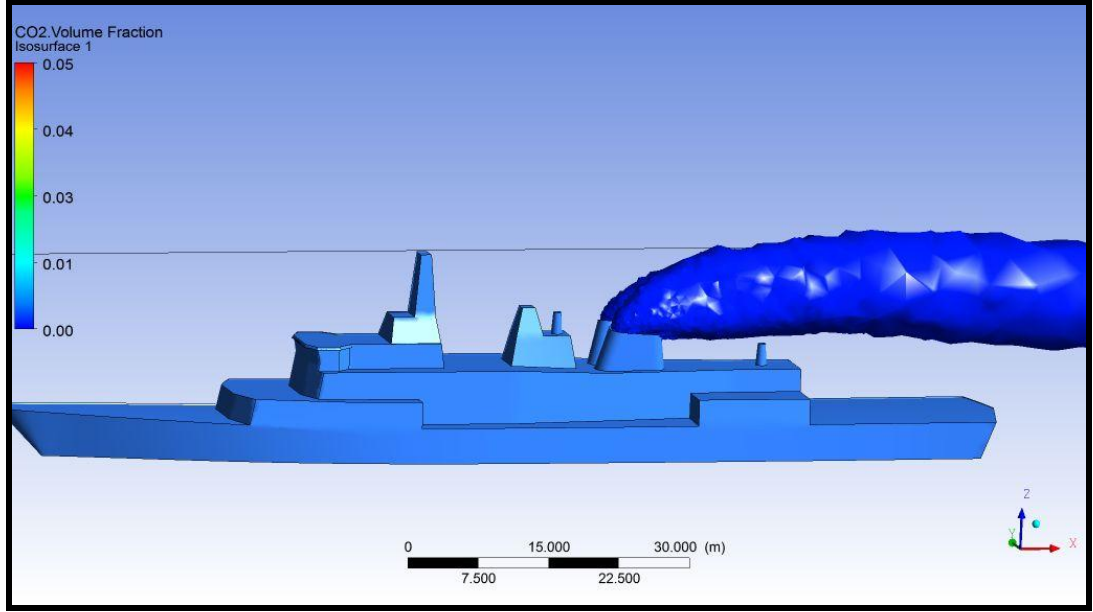
Şekil 6.111 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=400$ °C).



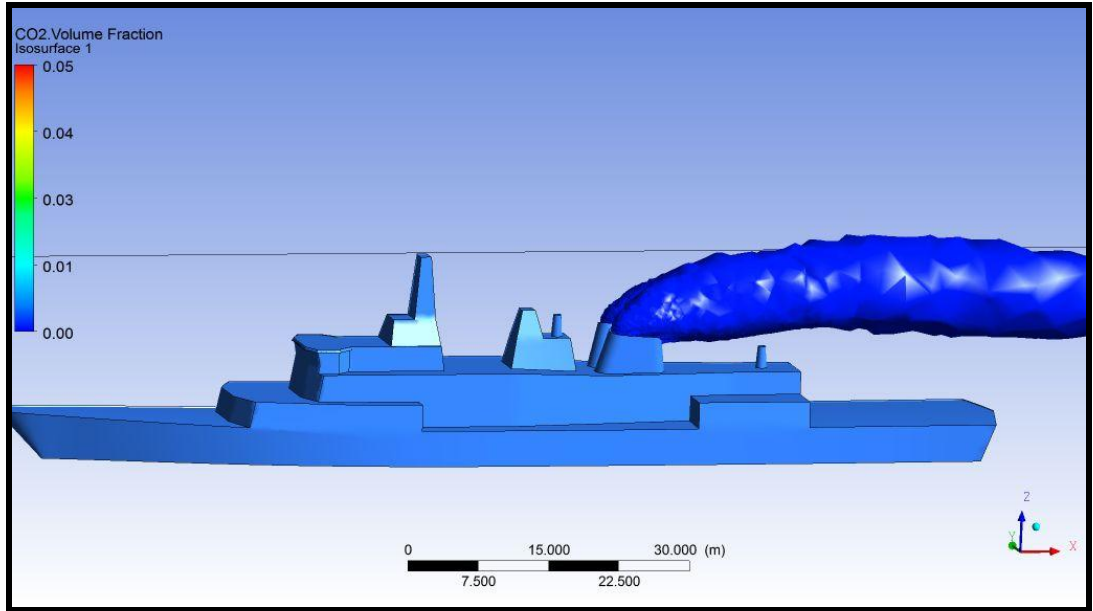
Şekil 6.112 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($T_s=500^\circ\text{C}$).

Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için Durum-3’de belirtilen gerçek seyir şartlarında egzoz sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ ile $T_s=500^\circ\text{C}$ arasında değiştiğinde egzoz gazı içindeki SO_x gaz konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, egzoz gazı sıcaklığı arttırıldığında SO_x gazının momentumunun az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ olduğu durumda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği görülmüştür (Şekil 6.108-Şekil 6.112). Sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ olduğu durum haricinde bacadan çıkan egzoz gaz emisyonlarının olumsuz etkilerinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

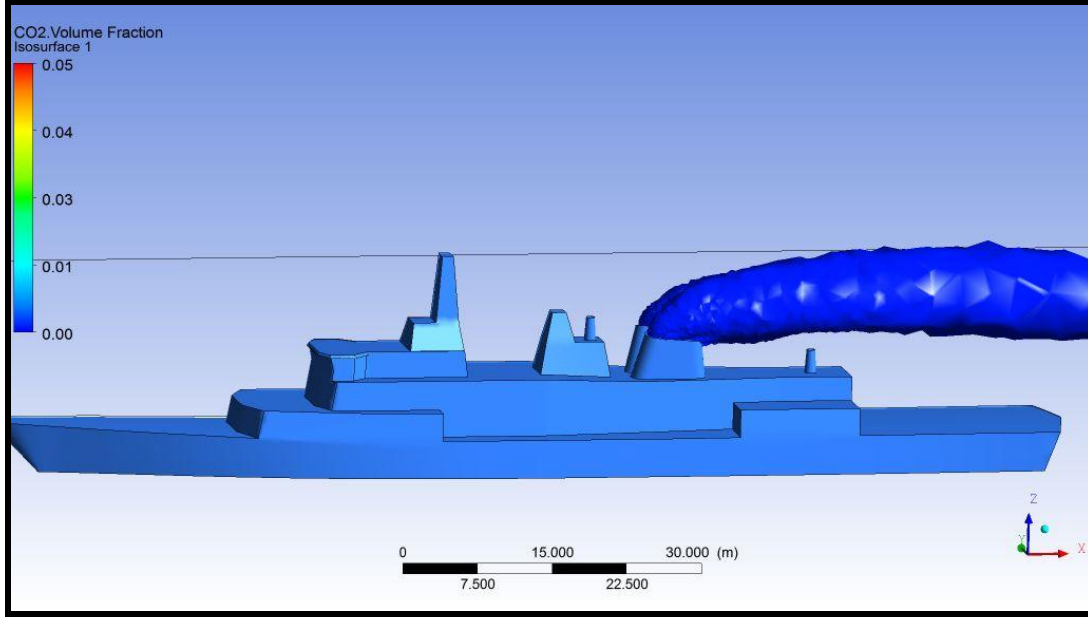
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=1.32$ (Durum-3) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100^\circ\text{C}$ ’den $T_s=500^\circ\text{C}$ ’ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.001’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.113- Şekil 6.117’de gösterilmiştir.



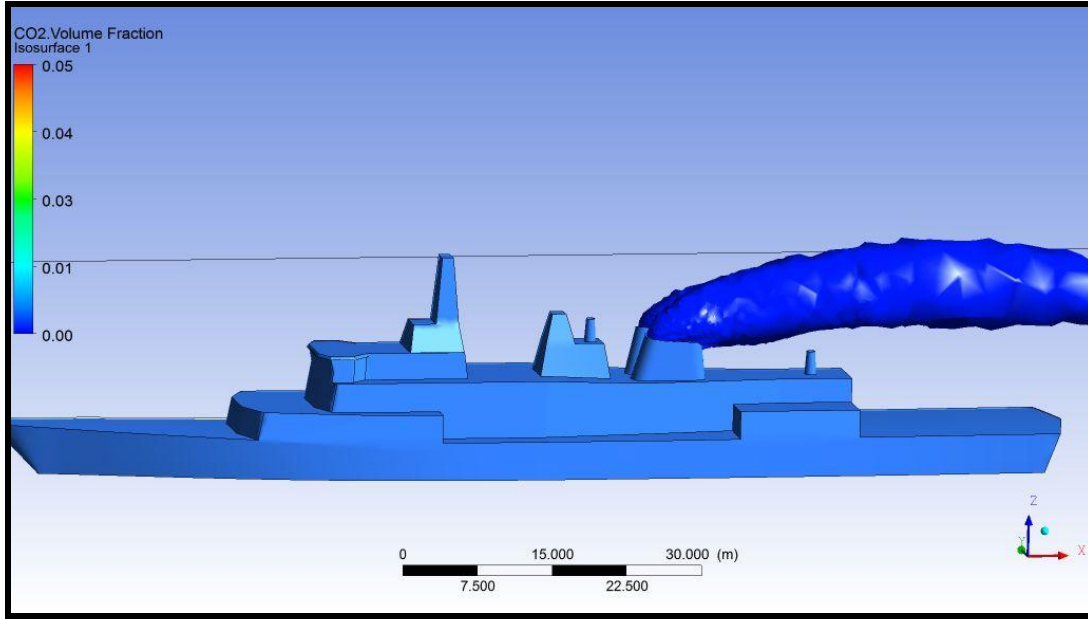
Şekil 6.113 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($T_s=100$ °C).



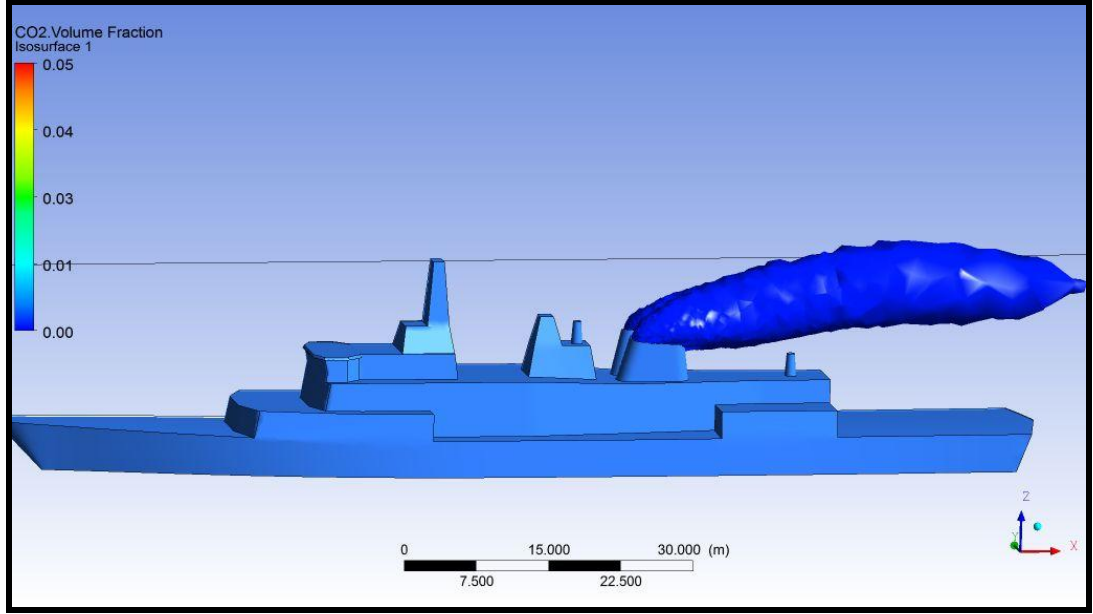
Şekil 6.114 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($T_s=200$ °C).



Şekil 6.115 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($T_s=300$ °C).



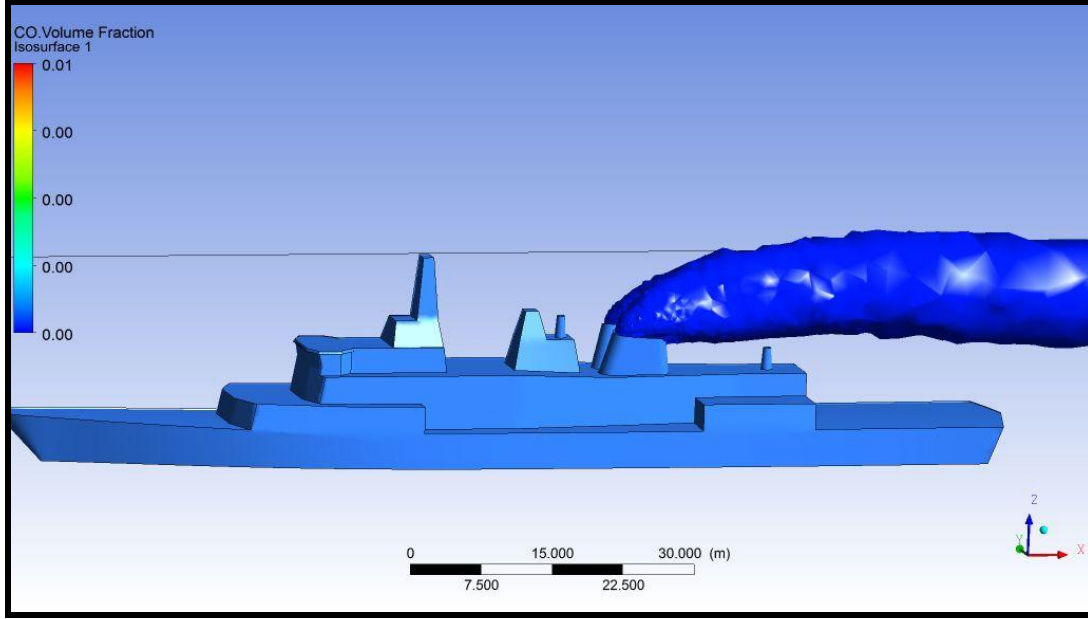
Şekil 6.116 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($T_s=400$ °C).



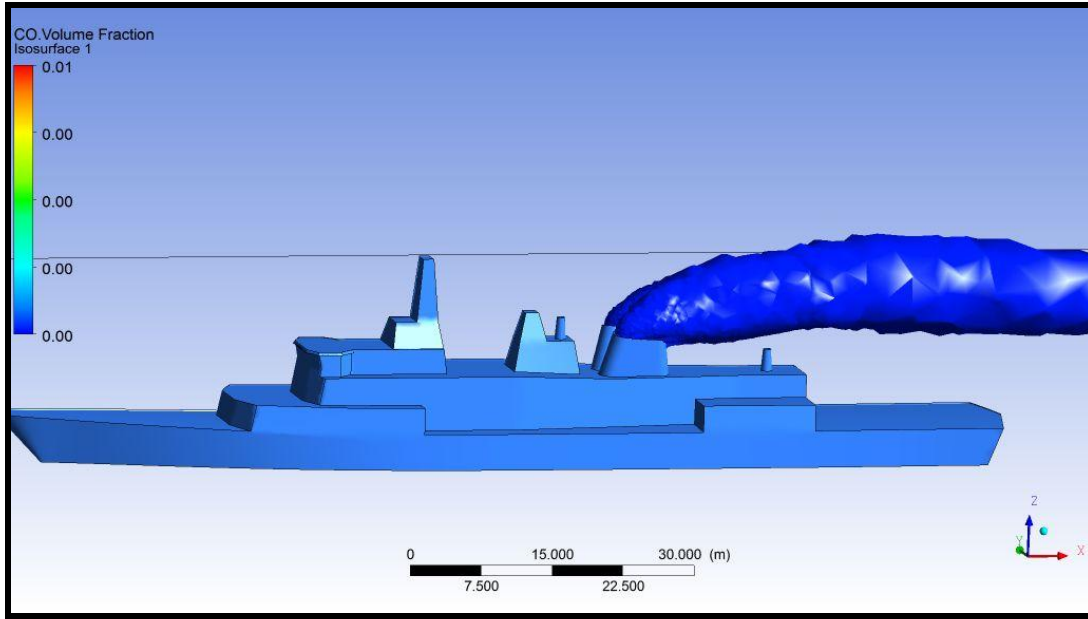
Şekil 6.117 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($T_s=500$ °C).

Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için Durum-3’de belirtilen gerçek seyir şartlarında egzoz sıcaklığının $T_s=100^0$ C ile $T_s=500^0$ C arasında değiştiğinde egzoz gazı içindeki CO₂ gaz konsantrasyonunun diğer emisyonlar gibi hacimsel olarak azaldığı, egzoz gazı sıcaklığı arttırıldığında CO₂ gazının momentumunun az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gaz yayılımının olumsuz etkilerinin olmayacağı düşünülmektedir.

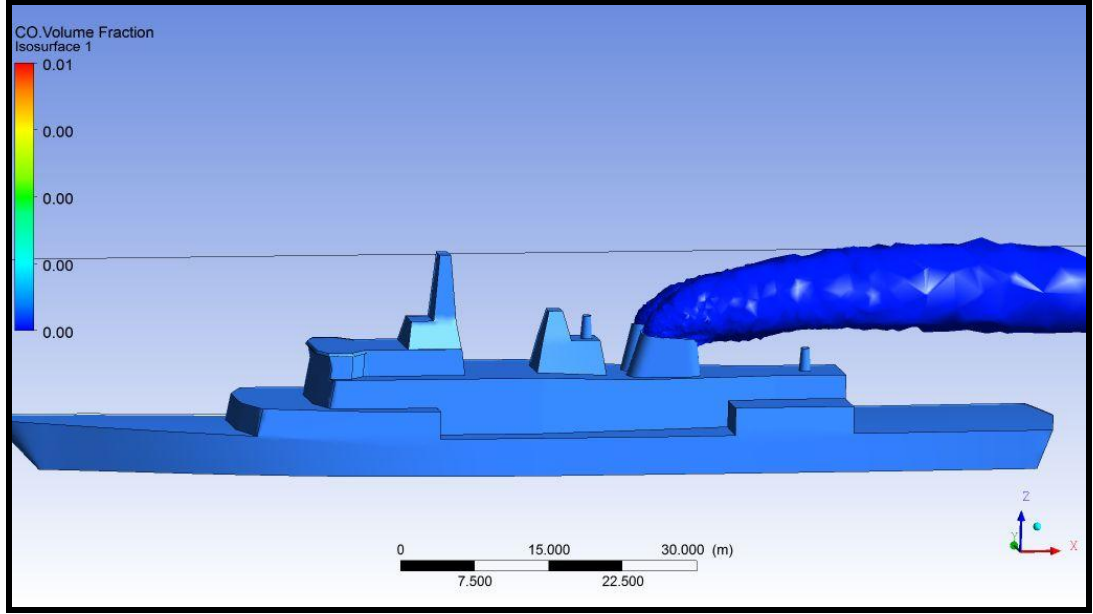
Gerçek boyutlardaki tipik bir fırkateyn ileri yolda hız oranı $K=1.32$ (Durum-3) iken egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının $T_s=100^0$ C’den $T_s=500^0$ C’ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.0001’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.118- Şekil 6.122’de gösterilmiştir.



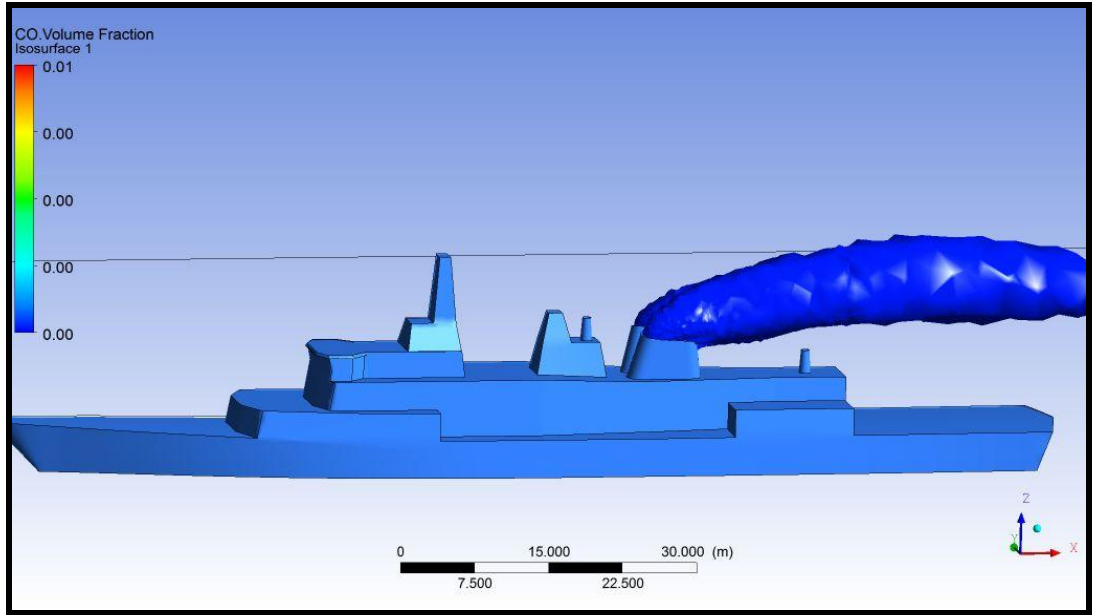
Şekil 6.118 : Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$).



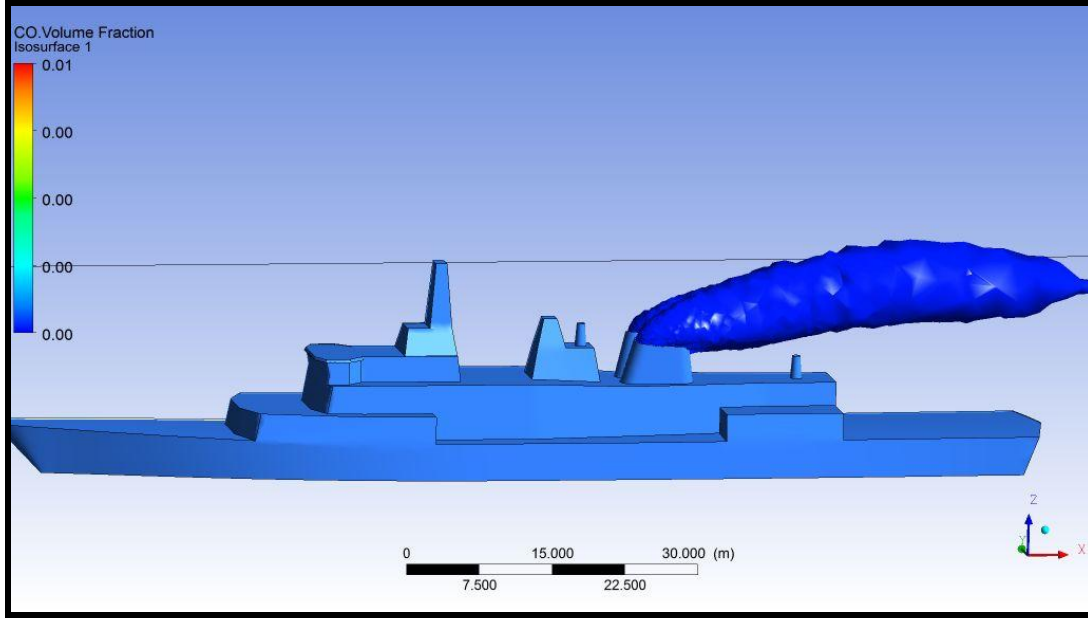
Şekil 6.119 : Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=200\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Şekil 6.120 : Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=300$ °C).



Şekil 6.121 : Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=400$ °C).



Şekil 6.122 : Durum-3 için CO yayılımı ($T_s=500^0$ C).

Helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için Durum-3’de belirtilen gerçek seyir şartlarında egzoz sıcaklığının $T_s=100^0$ C ile $T_s=500^0$ C arasında değiştiğinde egzoz gazı içindeki CO gaz konsantrasyonunun diğer emisyonlar gibi hacimsel olarak azaldığı, egzoz gazı sıcaklığı arttırıldığında CO gazının momentumunun az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Belirtilen seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz gaz yayılımının olumsuz etkilerinin olmayacağı düşünülmektedir.

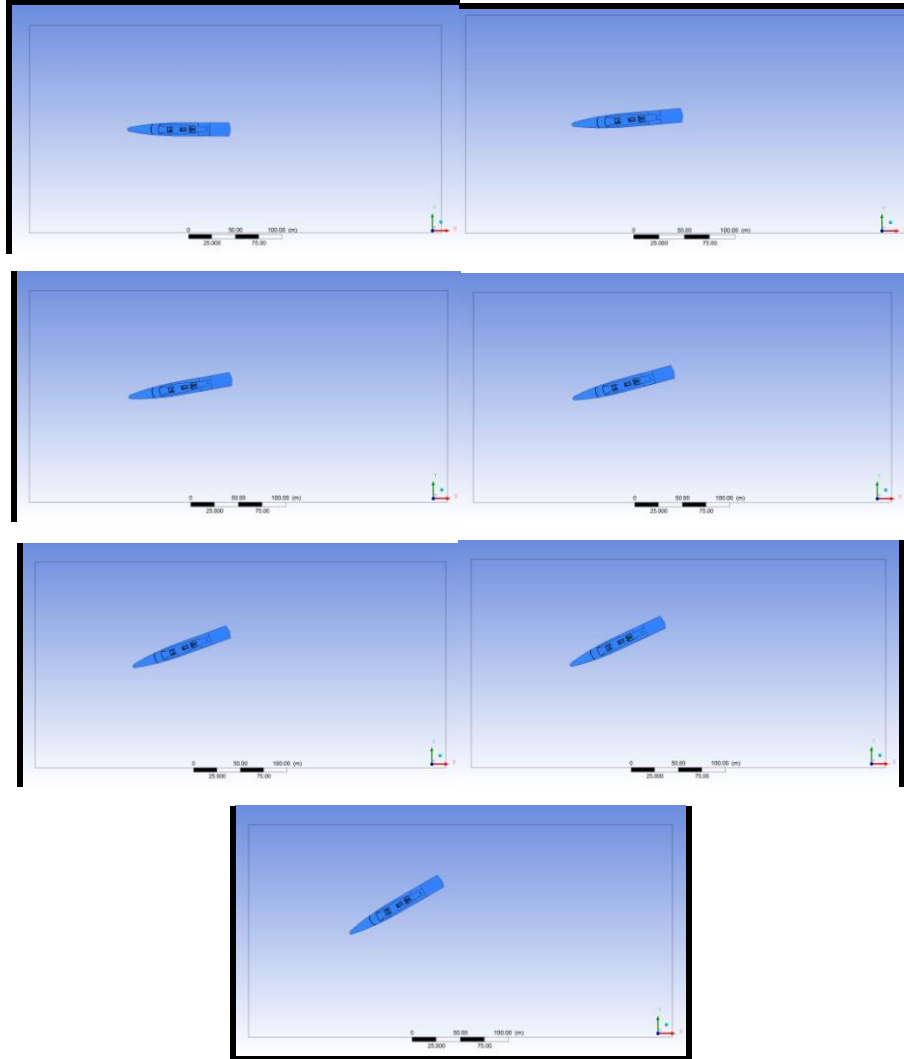
Sonuç olarak Durum-1’deki gerçek seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre fırkateyn ileri yolda seyir halindeyken egzoz sıcaklığının $T_s=100^0$ C ile $T_s=500^0$ C’ye yükselmesinin egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO konsantrasyonunun hacimsel olarak azalmasına sebep olduğu, genel olarak emisyonların helikopter platformuna doğru yönelmediği ancak egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0$ C ve $T_s=200^0$ C olduğu durumlarda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

Durum-3’deki gerçek seyir şartlarında egzoz sıcaklığı $T_s=100^0$ C ile $T_s=500^0$ C arasında değiştiğinde egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, egzoz gazı sıcaklığı arttırıldığında emisyonların momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0$ C olduğu durumda ise egzoz

emisyollarından NO_x ve SO_x gazlarının seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği görölmüştür. Sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0$ C olduğu durum (NO_x ve SO_x gazları için) haricinde bacadan çıkan egzoz gaz emisyonlarının olumsuz etkilerinin olmayacağı değeriendirilmektedir.

6.2.4 Sapma açısının egzoz gaz yayılımına etkisi

Bu bölümde değışik seyir şartlarında üç farklı durum için (Durum-1, Durum-3 ve Durum-4) geminin yönü ve nispi rüzgârdan oluşan sapma (ψ) açısının egzoz gazlarının yayılımına etkisi incelenmiştir. Sapma açısı $\psi=0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0$ ve 30^0 için geminin üstten görünüşü Şekil 6.123’de küçükten büyüğe doğru gösterilmiştir.

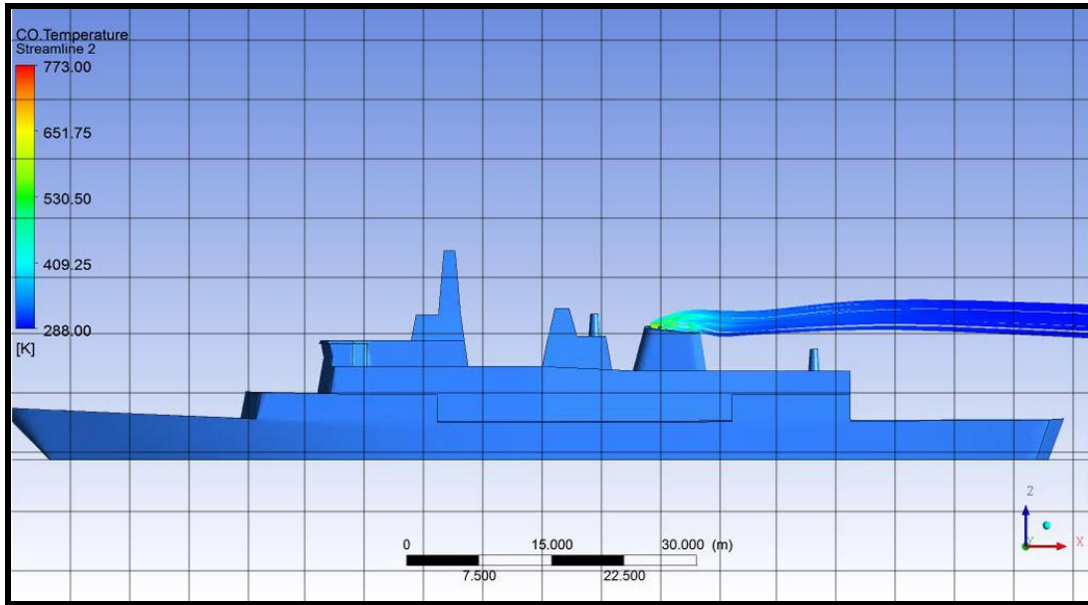


Şekil 6.123 : Sapma açısının değışiminin ($\Psi=0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0$ ve 30^0) üstten görünüşü.

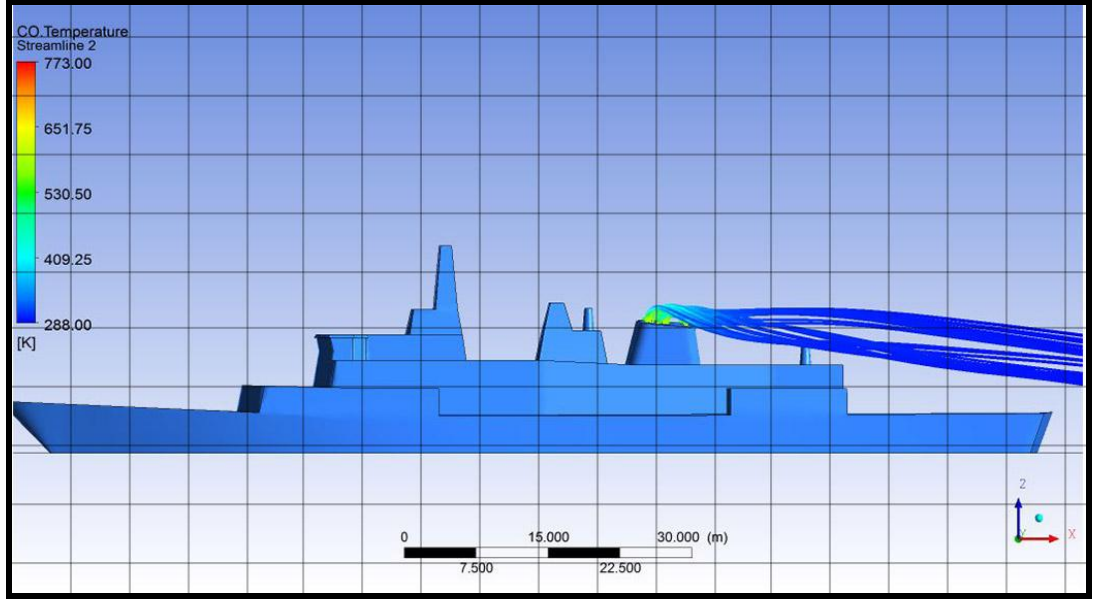
Rüzgarın geliş açısı sabit, gemi rotasını sancak/iskeleye döndürdüğünde ya da bunun tam tersi gemi sabit rotada seyir halinde iken rüzgar yönü değiştiğinde sapma açısı $\Psi=0^0$, 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 ve 30^0 olarak değişmektedir. Sapma açısının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Durum-1 için Bölüm 6.2.4.1’de Durum-3 için Bölüm 6.2.4.3’de, Durum-4 için Bölüm 6.2.4.5’de, sapma açısının egzoz emisyonlarına etkileri ise Durum-1 için Bölüm 6.2.4.2’de Durum-3 için Bölüm 6.2.4.4’de, Durum-4 için Bölüm 6.2.4.6’de sayısal olarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

6.2.4.1 Sapma açısının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-1)

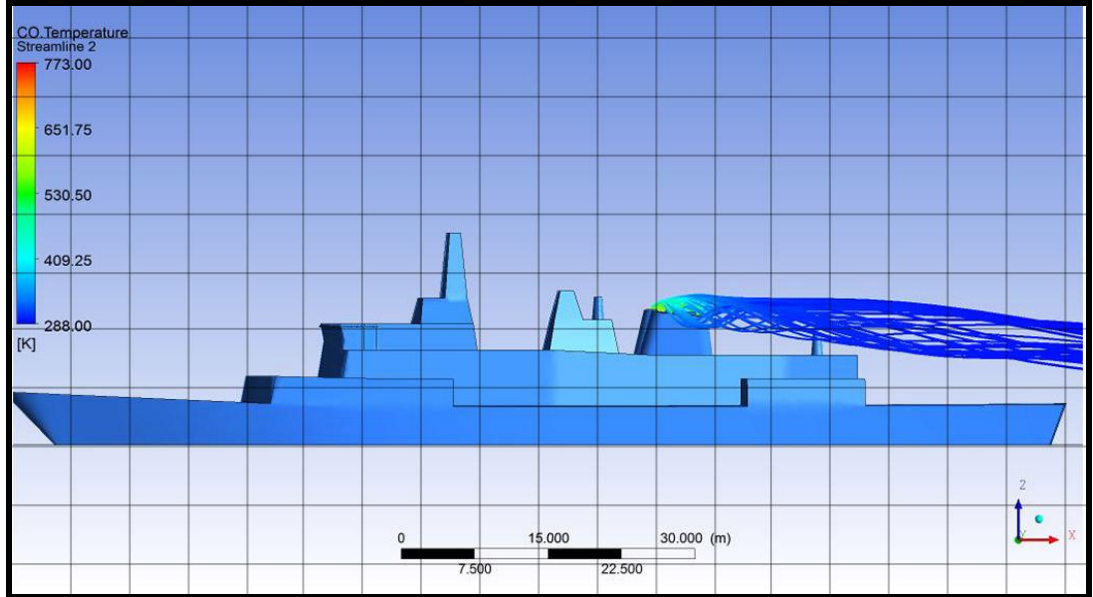
Gemi 5 knot sürat ile ileri yolda giderken, rüzgar baştan 50 knot ile esmektedir. Egzoz çıkış hızı 17 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315^0 C’dir. Bu şartlar altında hız oranı $K=0.601$ ’dir. Belirtilen durum için gerçek boyutlardaki helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin geminin yönü ve nispi rüzgârdan oluşan sapma açısının $\Psi=0^0$, 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 ve 30^0 ’e kadar değişiminin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 6.124- Şekil 6.130’da gösterilmiştir.



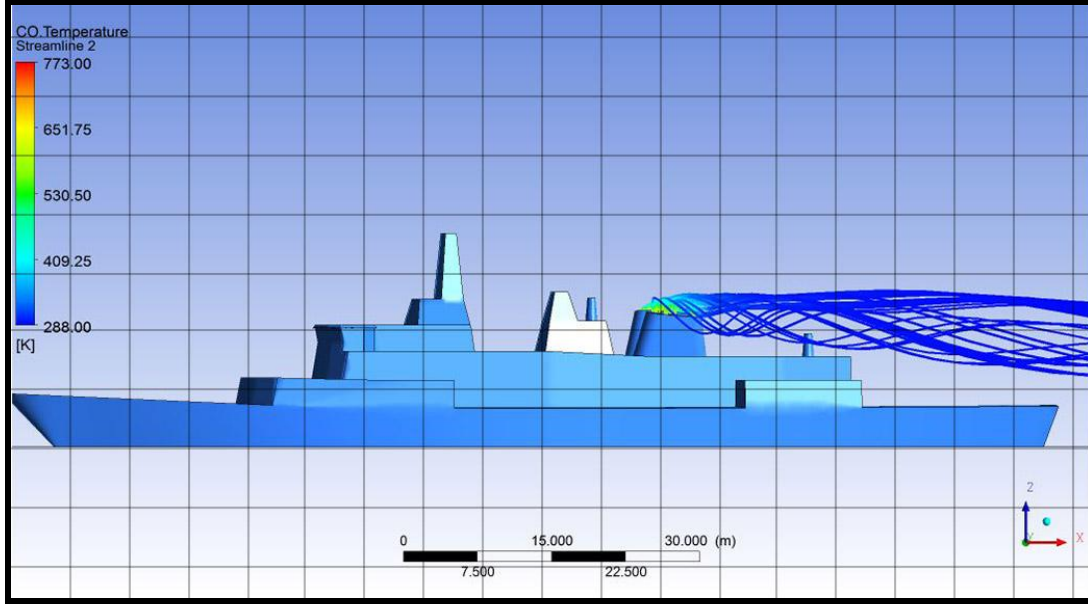
Şekil 6.124 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\Psi=0^0$).



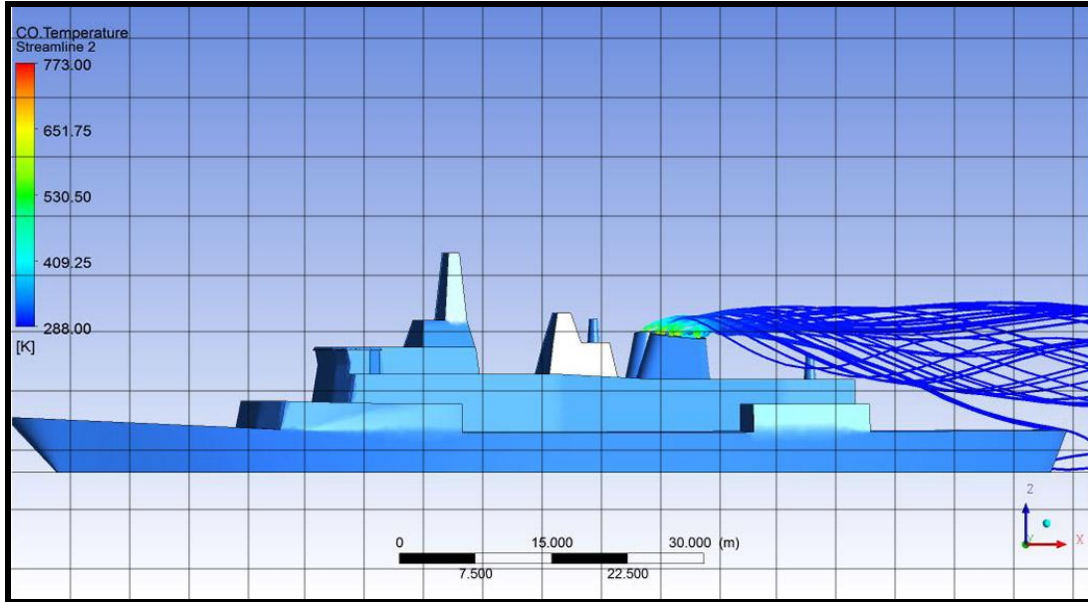
Şekil 6.125 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=5^0$).



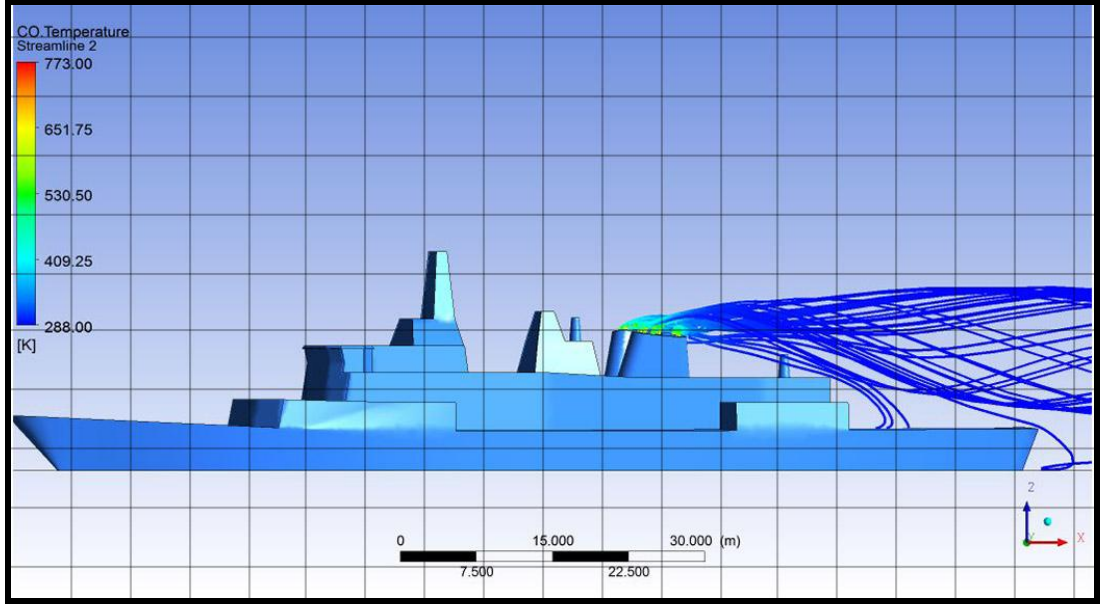
Şekil 6.126 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=10^0$).



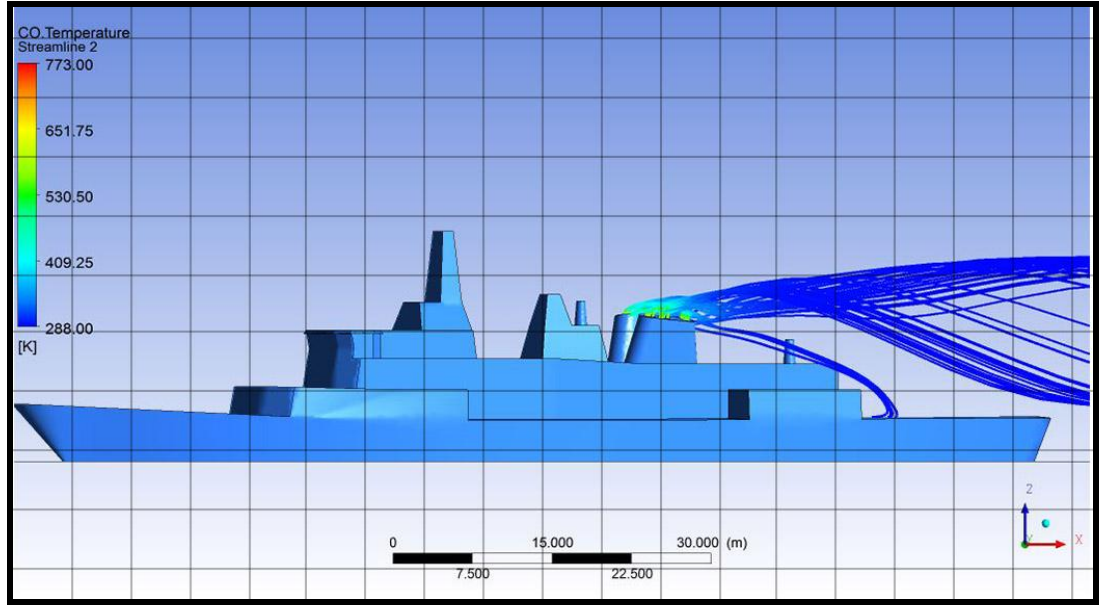
Şekil 6.127 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=15^\circ$).



Şekil 6.128 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=20^\circ$).



Şekil 6.129 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=25^\circ$).

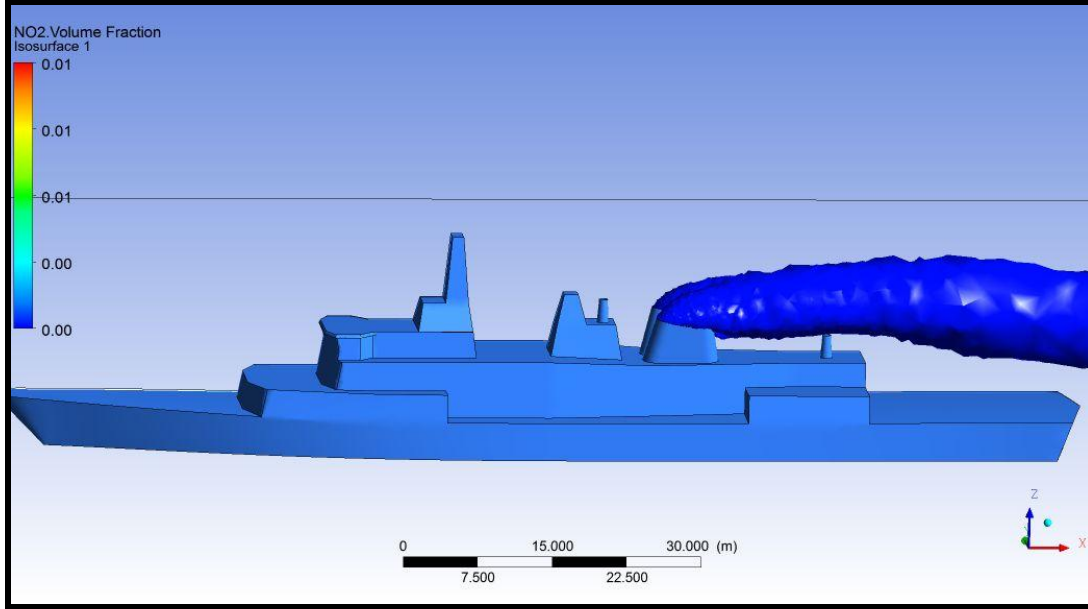


Şekil 6.130 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=30^\circ$).

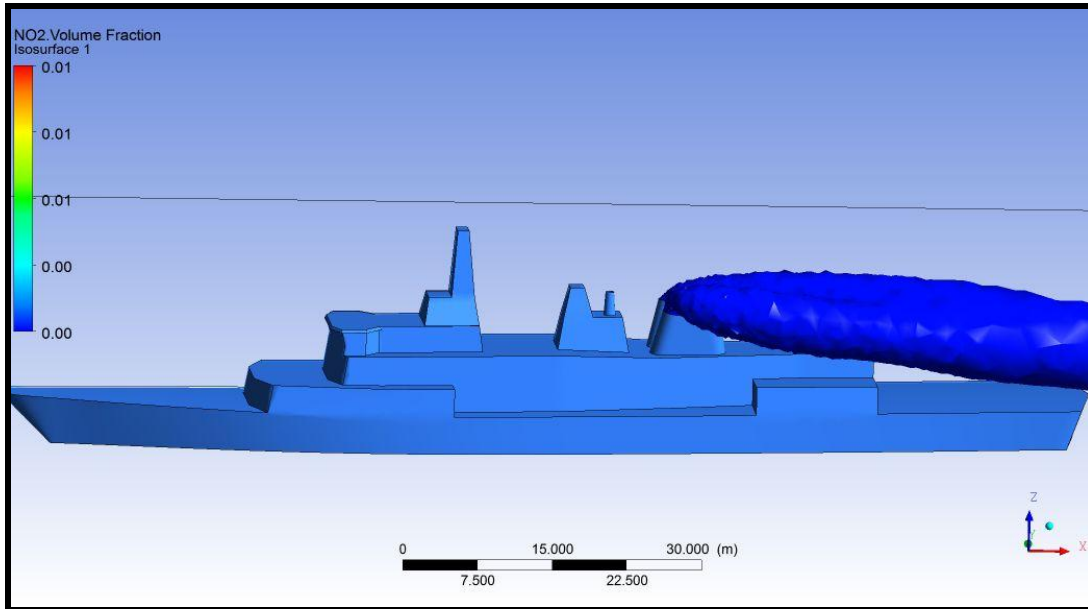
Yukarıdaki sonuçlardan da anlaşılacağı gibi Durum-1 için gerçek seyir şartlarında fırkateynin pruvası ve nispi rüzgardan oluşan sapma açısı etkisinin olumsuz yönde olduğu görülmektedir (Şekil 6.124-Şekil 6.130). Sapma açısı $\Psi=0^\circ$ den $\Psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz gazlarının helikopter platformu üzerine düştüğü görülmektedir (Şekil 6.127-Şekil 6.130). Özellikle $\Psi=10^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz sıcaklığının baca arkasında bulunan silah sistemlerine zarar verebileceği değerlendirilmektedir.

6.2.4.2 Sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-1)

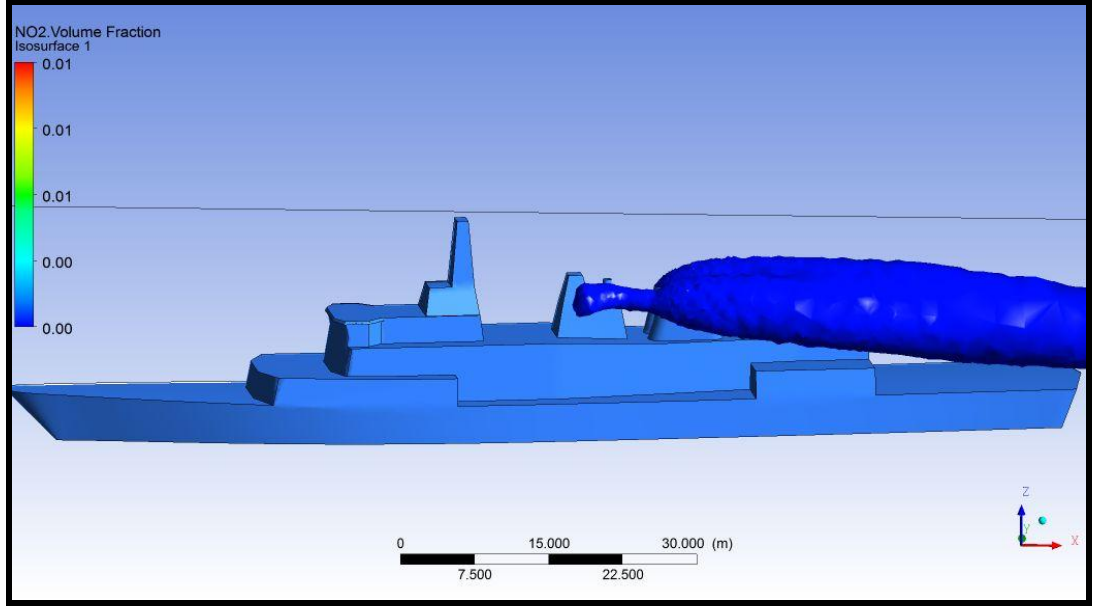
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-1) sapma açısı $\Psi=0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0$ ve 30^0 değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.131- Şekil 6.137'de gösterilmiştir.



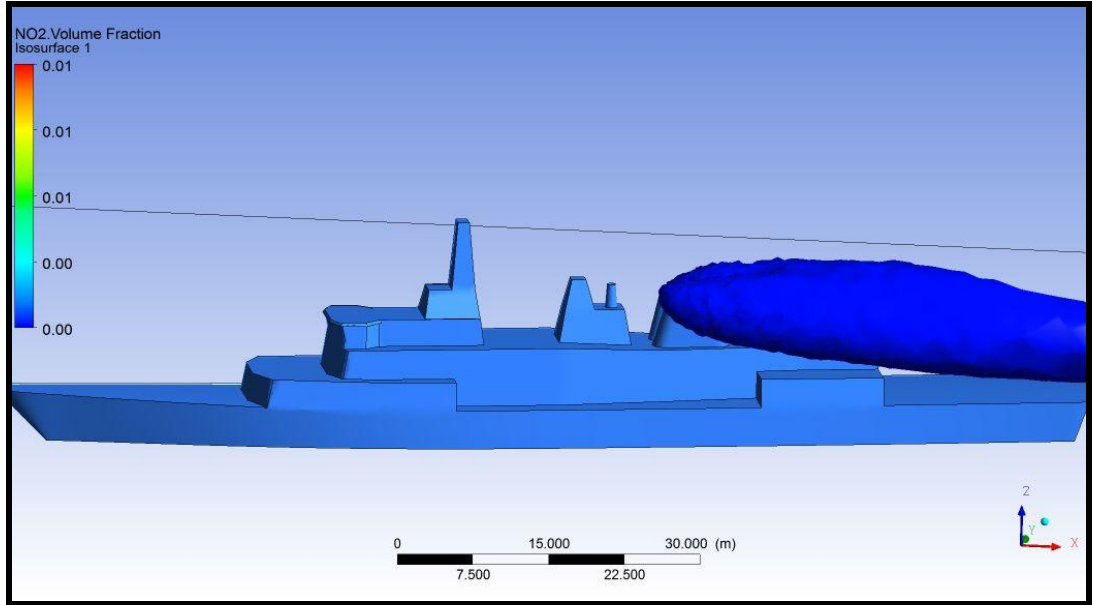
Şekil 6.131 : Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=0^0$).



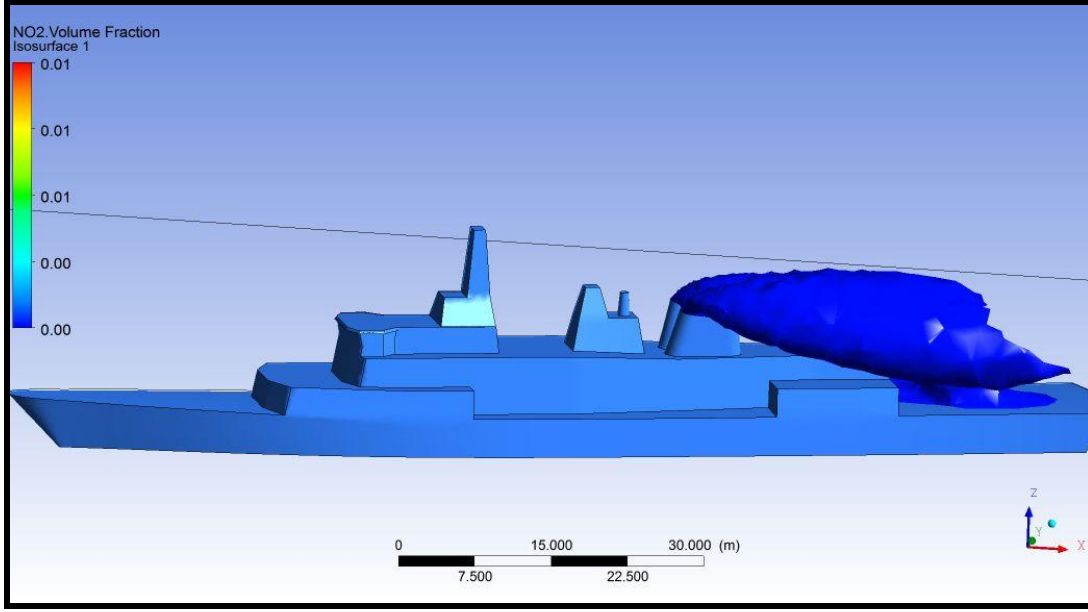
Şekil 6.132 : Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=5^0$).



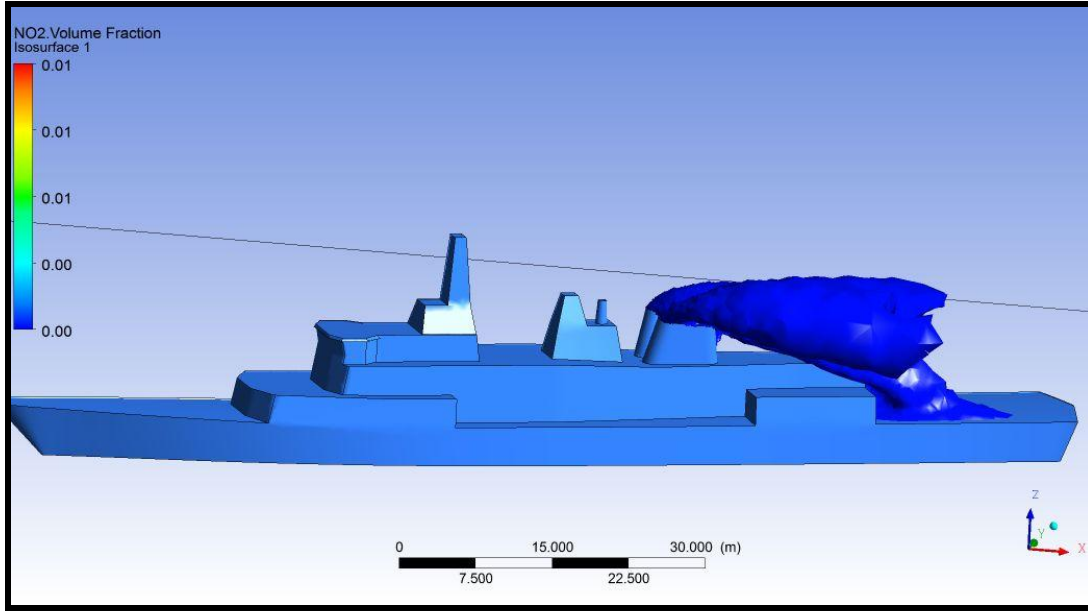
Şekil 6.133 : Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=10^0$).



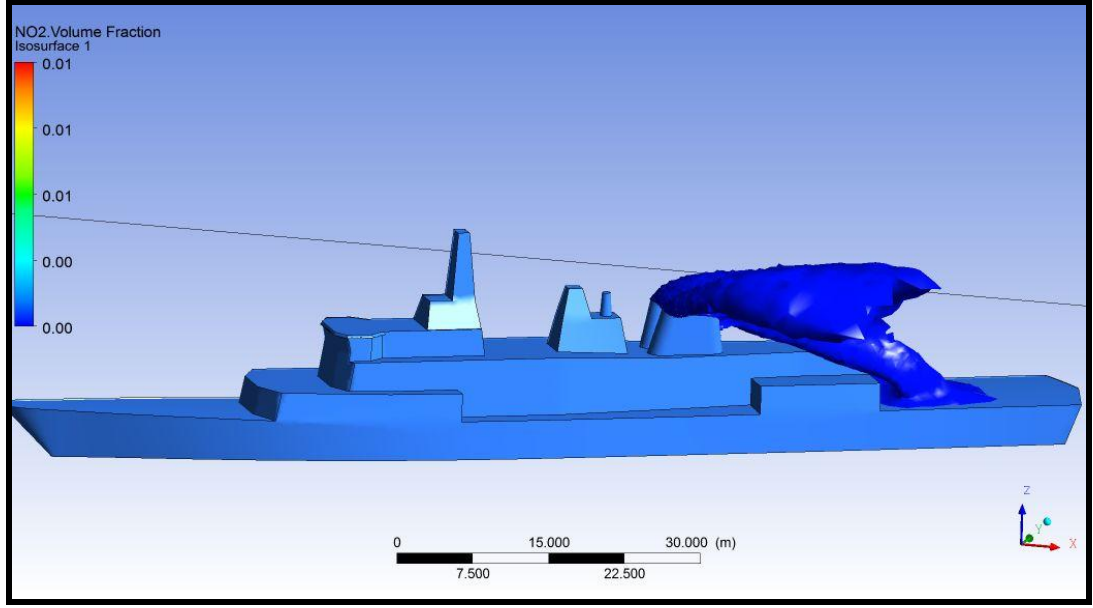
Şekil 6.134 : Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=15^0$).



Şekil 6.135 : Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=20^\circ$).



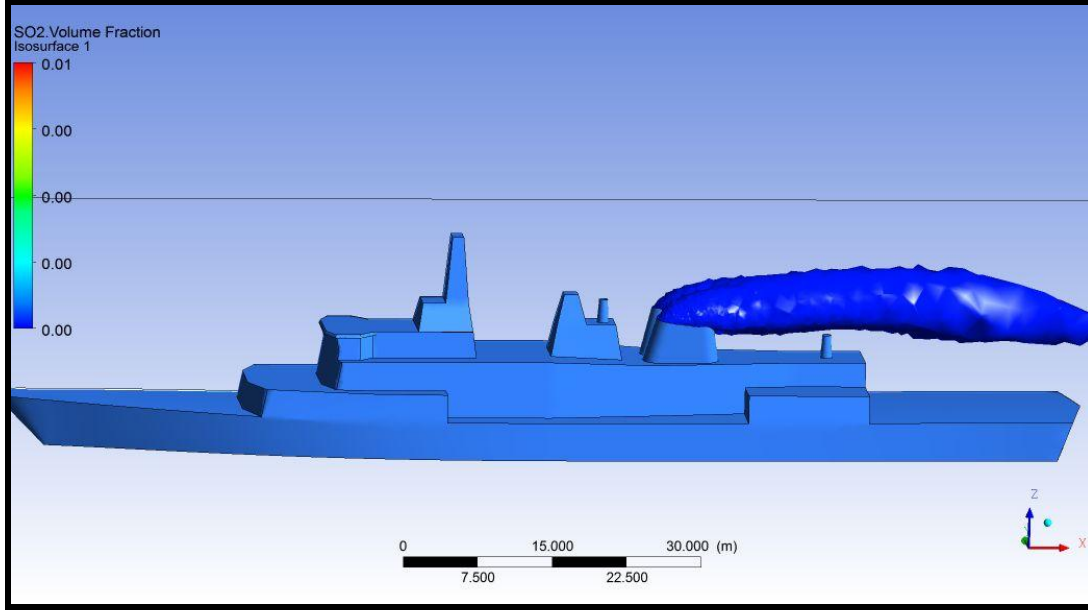
Şekil 6.136 : Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=25^\circ$).



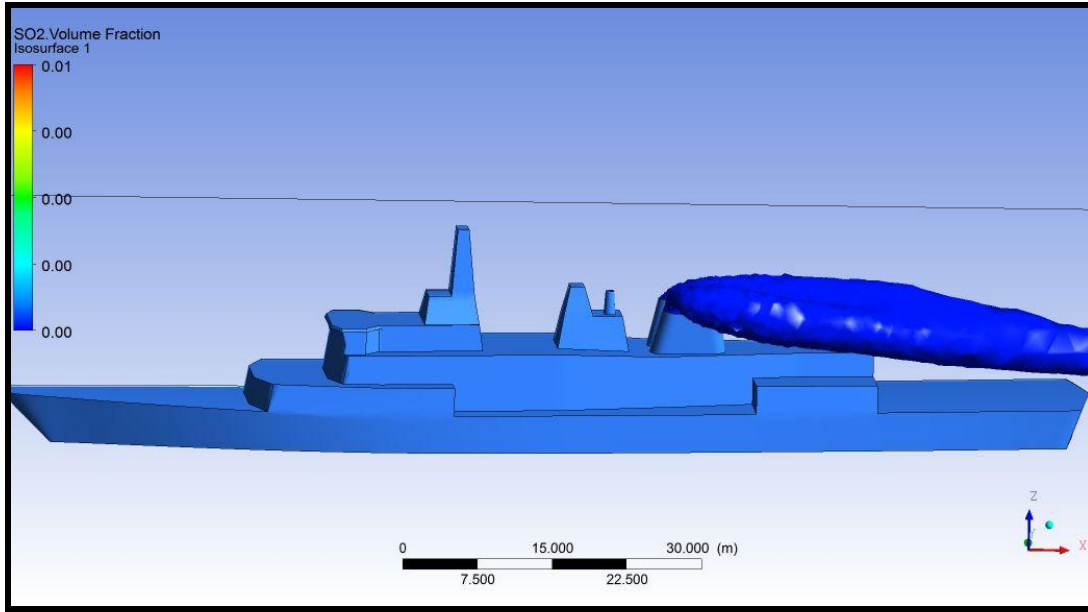
Şekil 6.137 : Durum-1 için NO_x yayılımı ($\psi=30^\circ$).

Sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz gazlarından NO_x gazının helikopter platformu üzerine düştüğü görülmüştür. Özellikle 20° ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda insan sağlığına en zararlı egzoz gaz emisyonlarından olan NO_x gazının yayılımının düzensizleştiği, momentumunun düşük olması sebebiyle tamamen helikopter platformuna düştüğü görülmüştür (Şekil 6.135-Şekil 6.137).

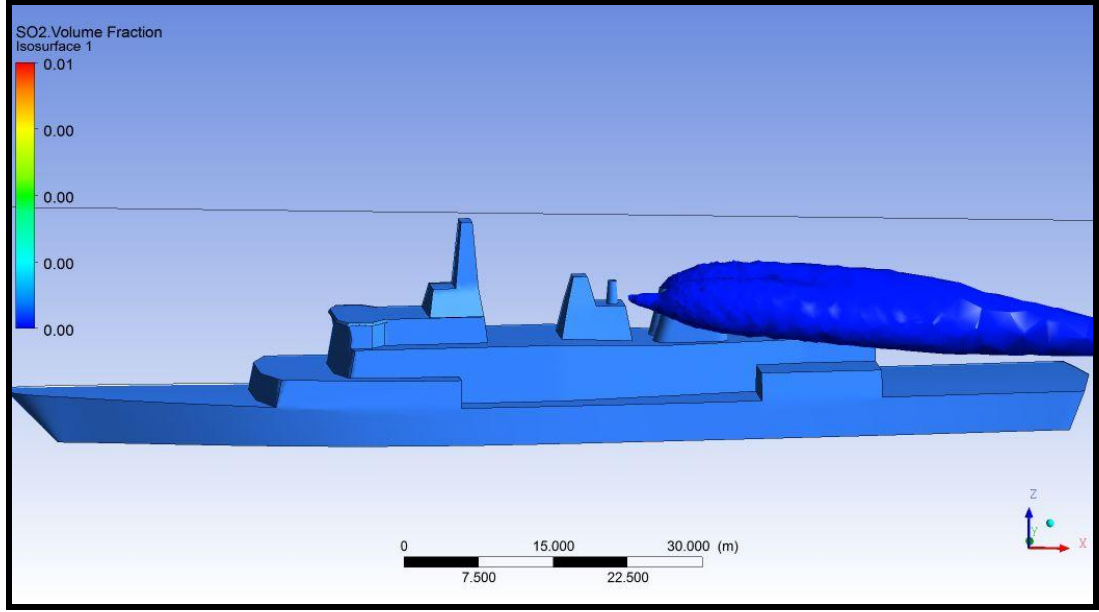
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında sapma açısı $\Psi=0^\circ$, 5° , 10° , 15° , 20° , 25° ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.0001’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.138-Şekil 6.144’de gösterilmiştir.



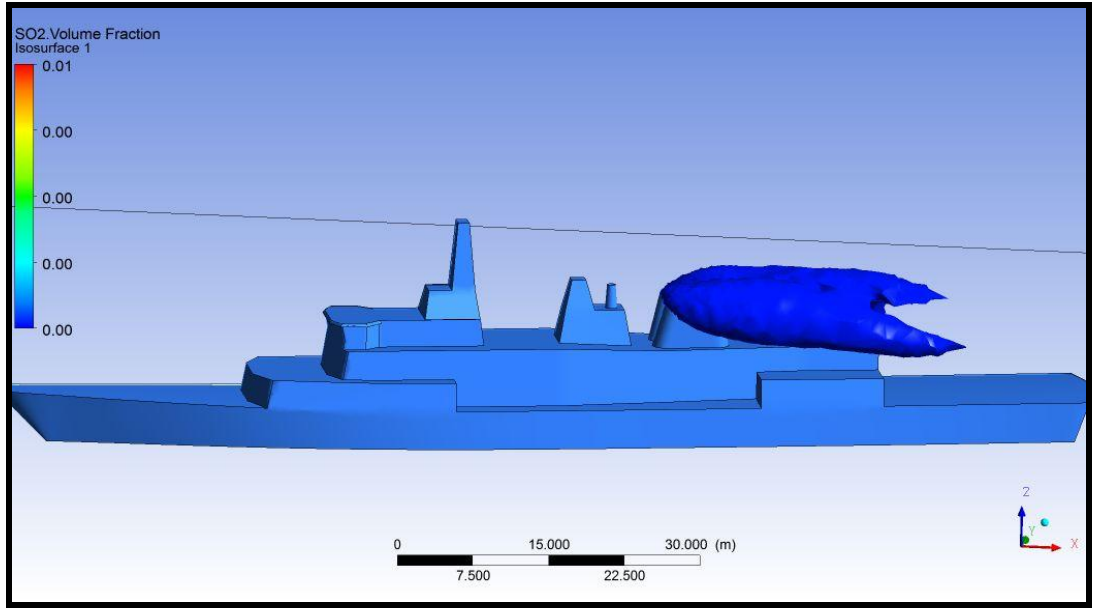
Şekil 6.138 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=0^\circ$).



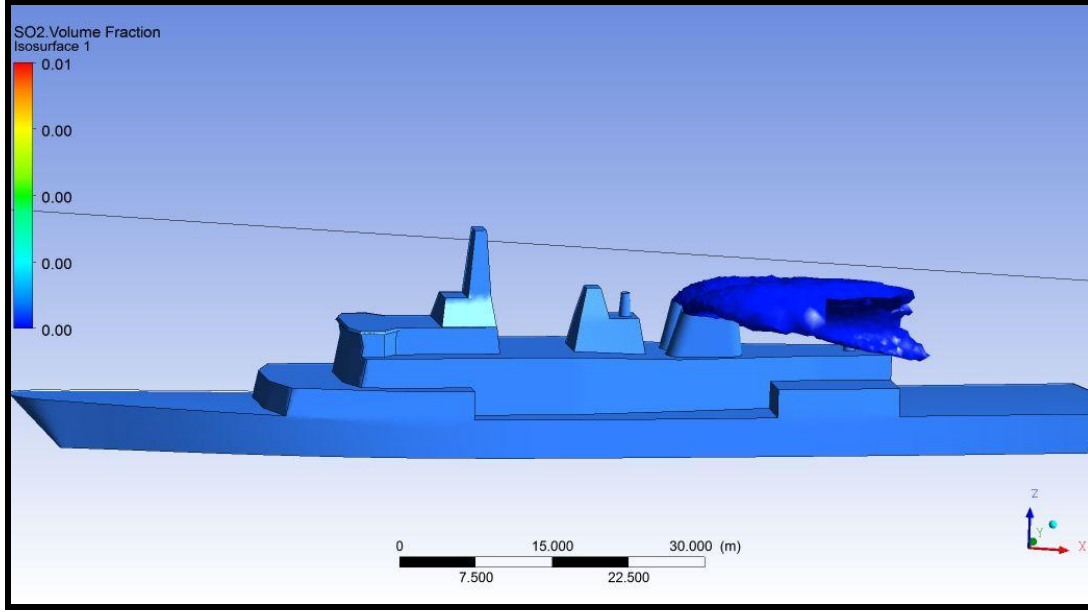
Şekil 6.139 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=5^\circ$).



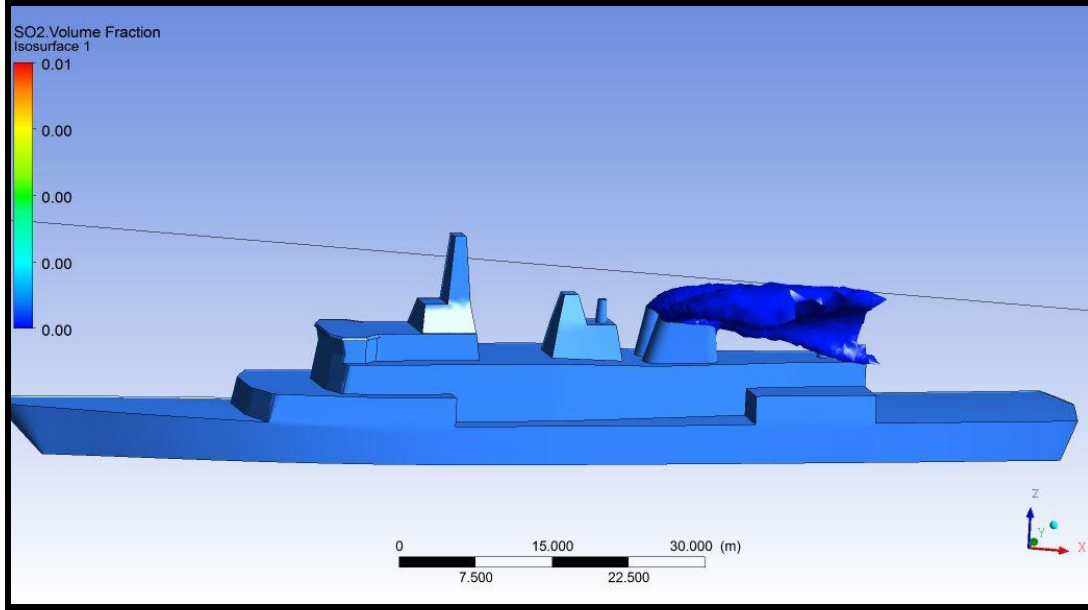
Şekil 6.140 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=10^\circ$).



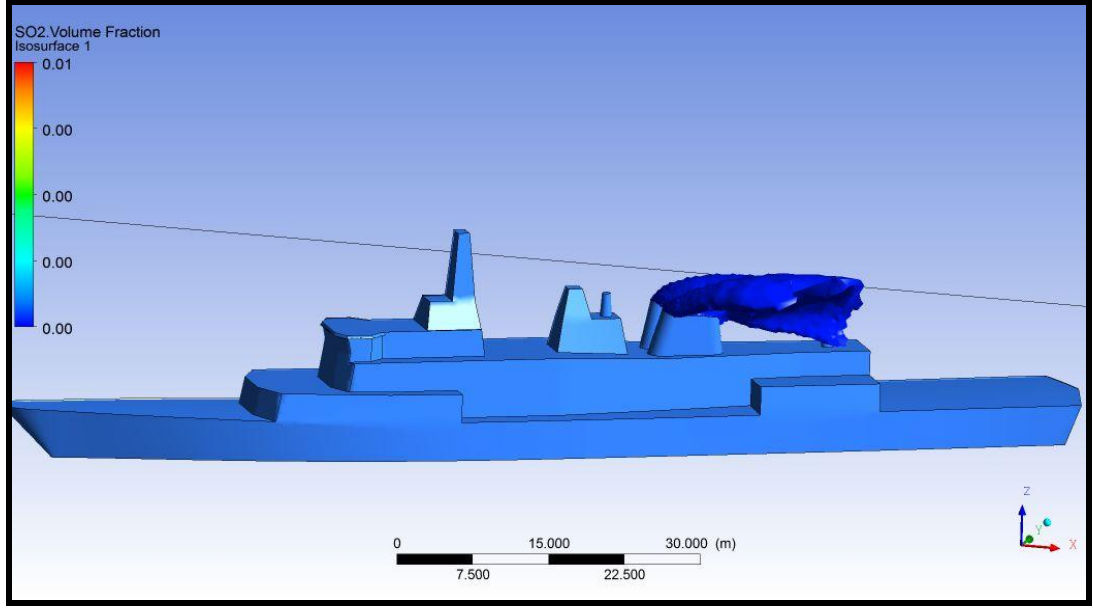
Şekil 6.141 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=15^\circ$).



Şekil 6.142 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=20^0$).



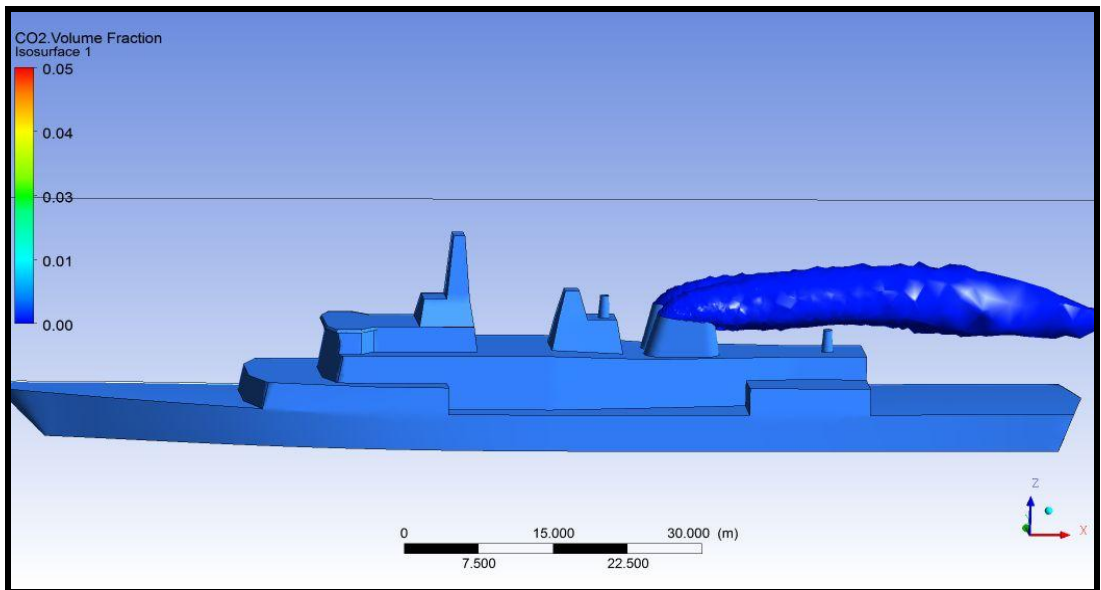
Şekil 6.143 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=25^0$).



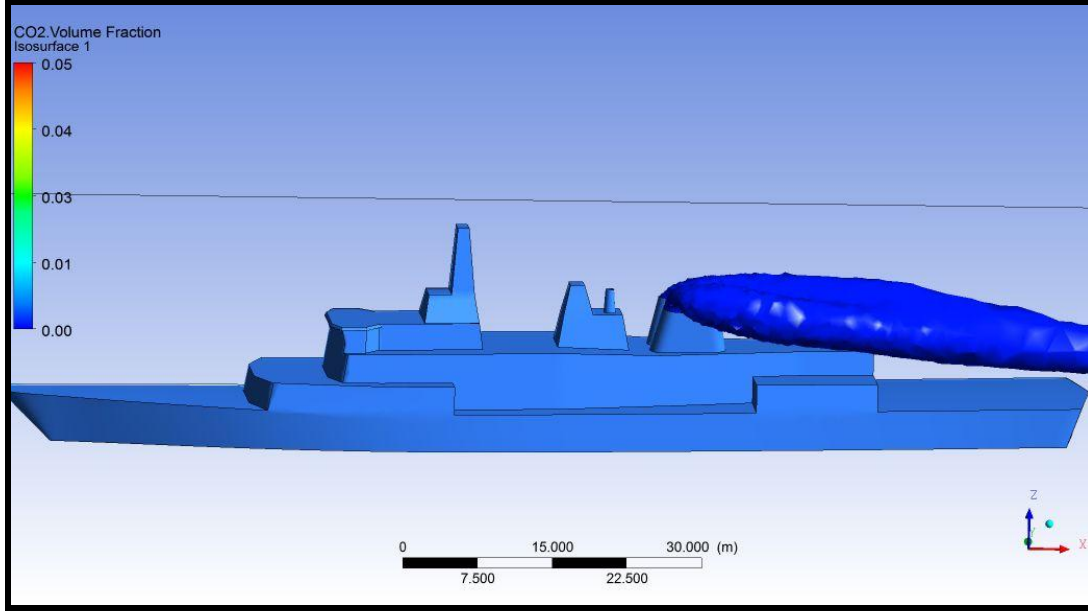
Şekil 6.144 : Durum-1 için SO_x yayılımı ($\psi=30^\circ$).

Fırkateyn Durum-1’de belirtilen şartlarda seyir halindeyken, sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz emisyonlarından SO_x gazının helikopter platformuna doğru yöneldiği, ancak özellikle $\Psi=15^\circ$ ’den itibaren SO_x gaz konsantrasyonunun azaldığı hacimsel olarak 0.0001’in üstündeki alanın parçalandığı görülmektedir (Şekil 6.141-Şekil 6.144).

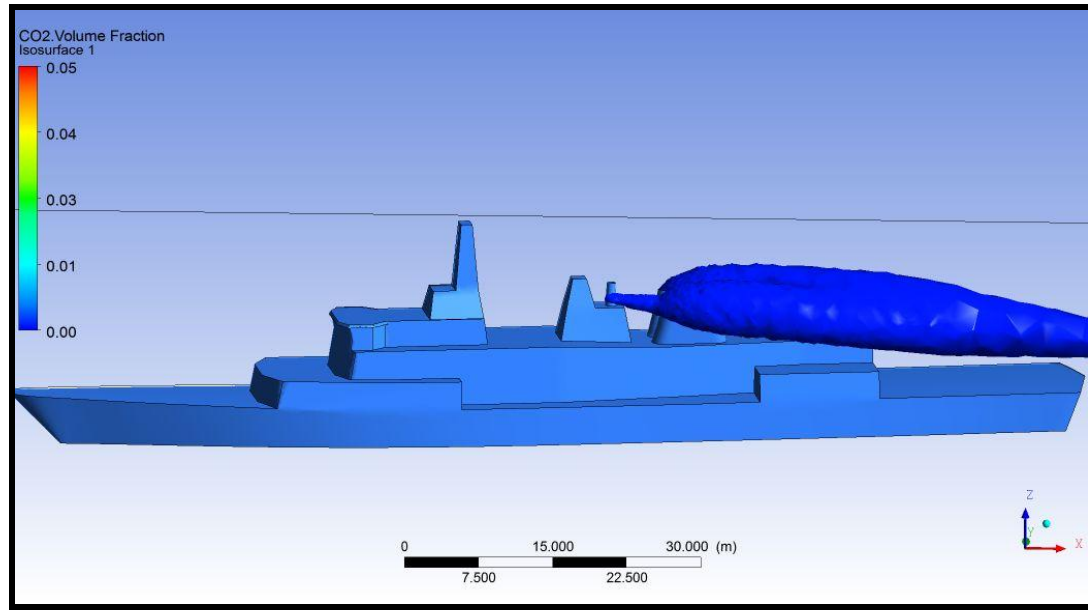
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında sapma açısı $\Psi=0^\circ$, 5° , 10° , 15° , 20° , 25° ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.001’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.145- Şekil 6.151’de gösterilmiştir.



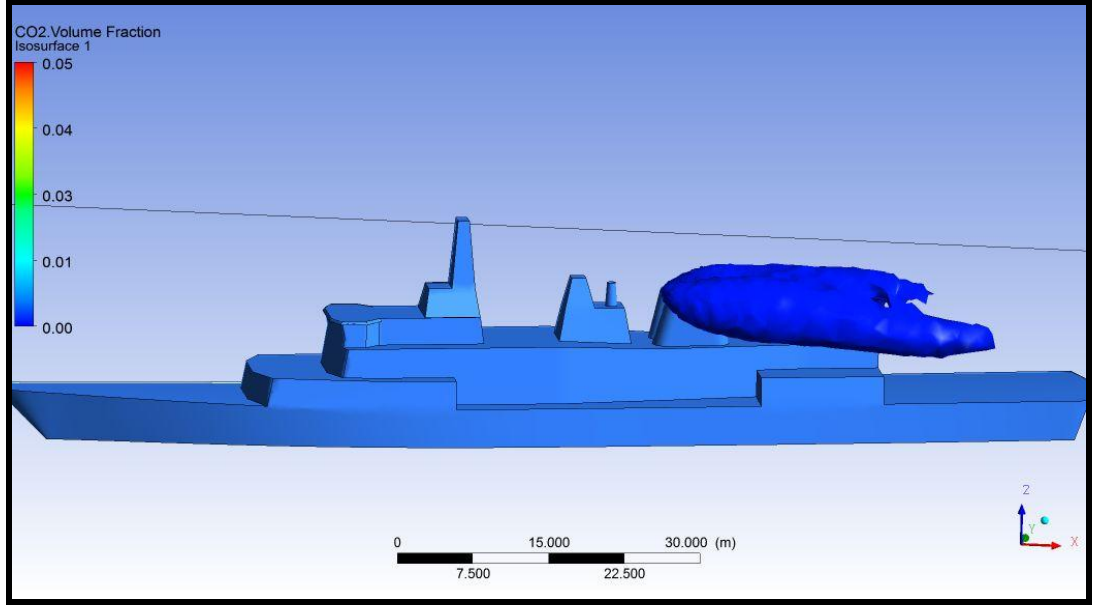
Şekil 6.145 : Durum-1 için CO_2 yayılımı ($\psi=0^\circ$).



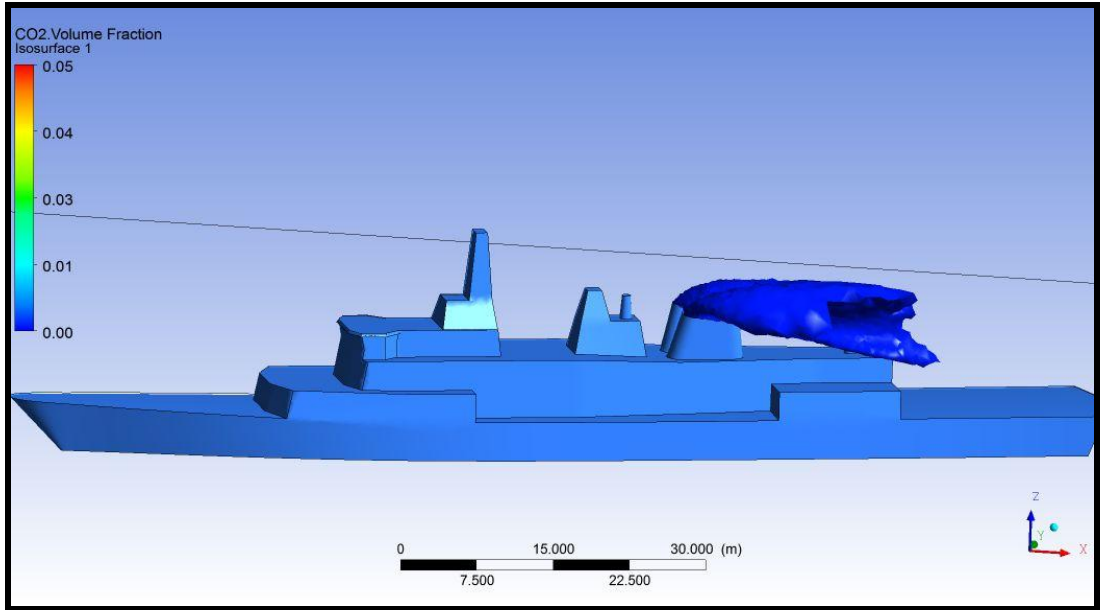
Şekil 6.146 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($\psi=5^0$).



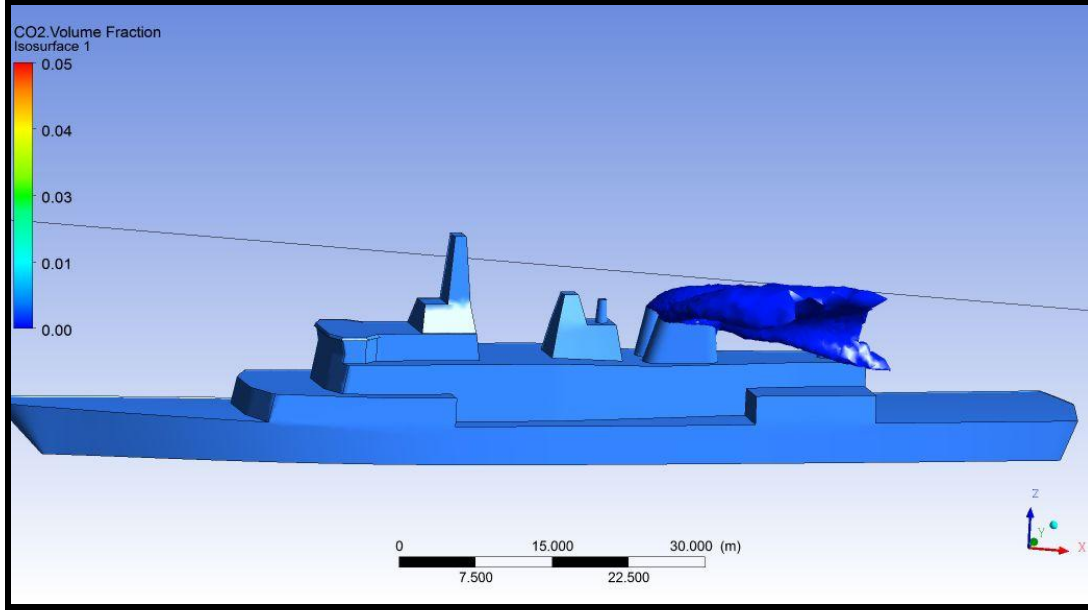
Şekil 6.147 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($\psi=10^0$).



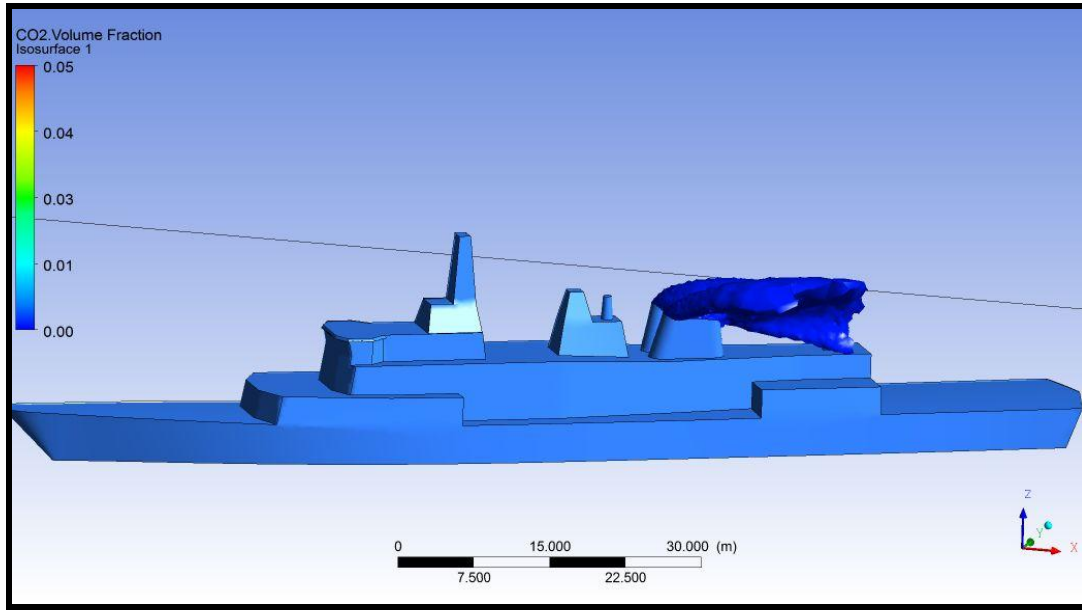
Şekil 6.148 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($\psi=15^\circ$).



Şekil 6.149 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($\psi=20^\circ$).



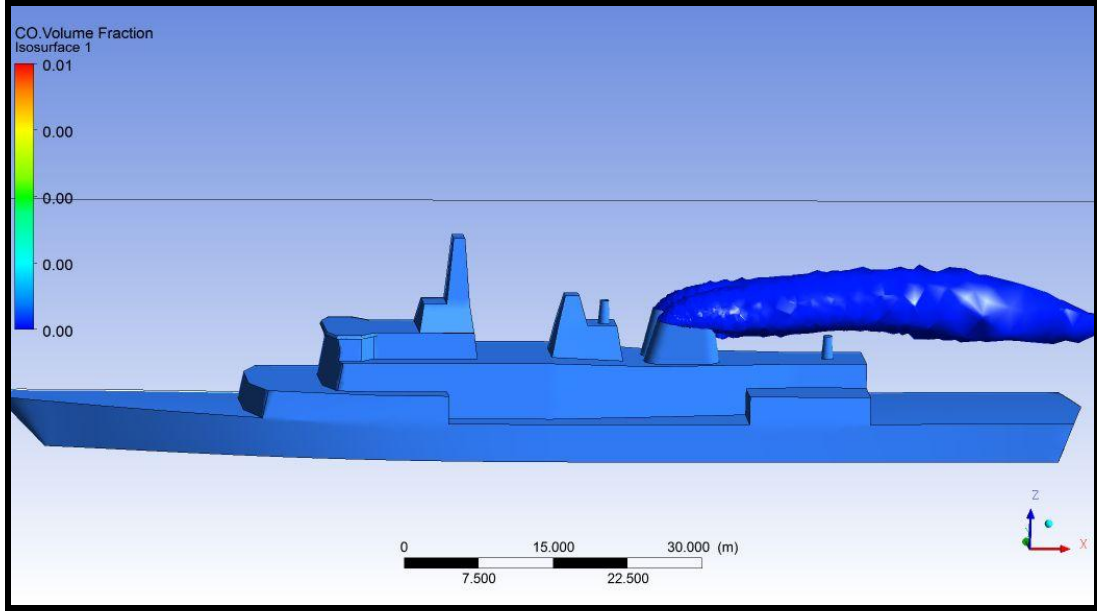
Şekil 6.150 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($\psi=25^\circ$).



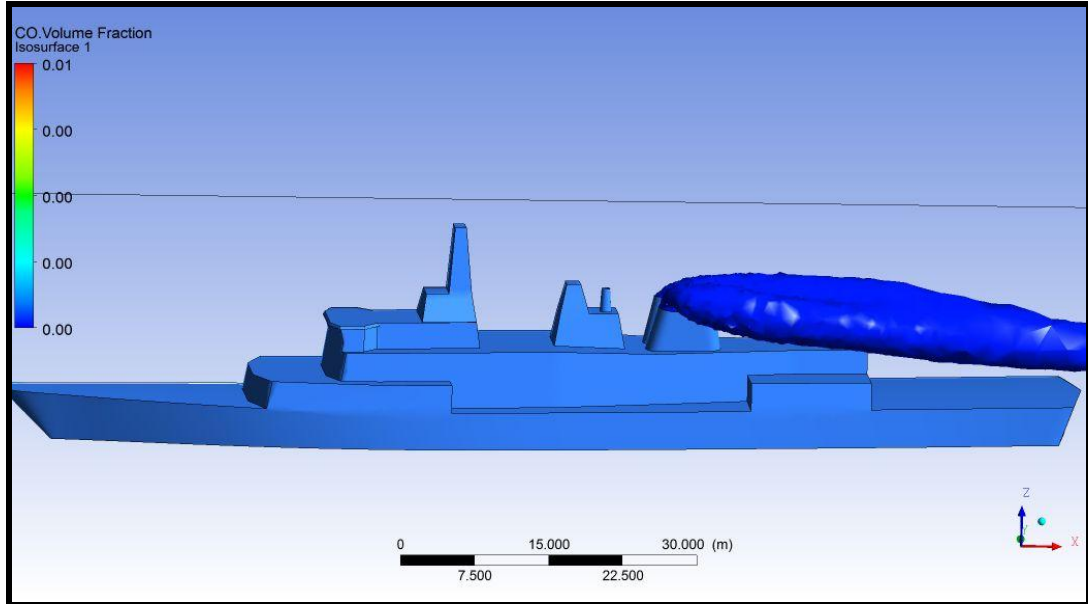
Şekil 6.151 : Durum-1 için CO₂ yayılımı ($\psi=30^\circ$).

Fırkateyn Durum-1’de belirtilen şartlarda seyir halindeyken, sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz emisyonlarından CO₂ gazının, diğer emisyonlarda olduğu gibi, helikopter platformuna doğru yöneldiği, ancak özellikle $\Psi=20^\circ$ ’den itibaren CO₂ gaz konsantrasyonunun azaldığı hacimsel olarak 0.001’in üstündeki hacmin parçalandığı görülmektedir (Şekil 6.149-Şekil 6.151).

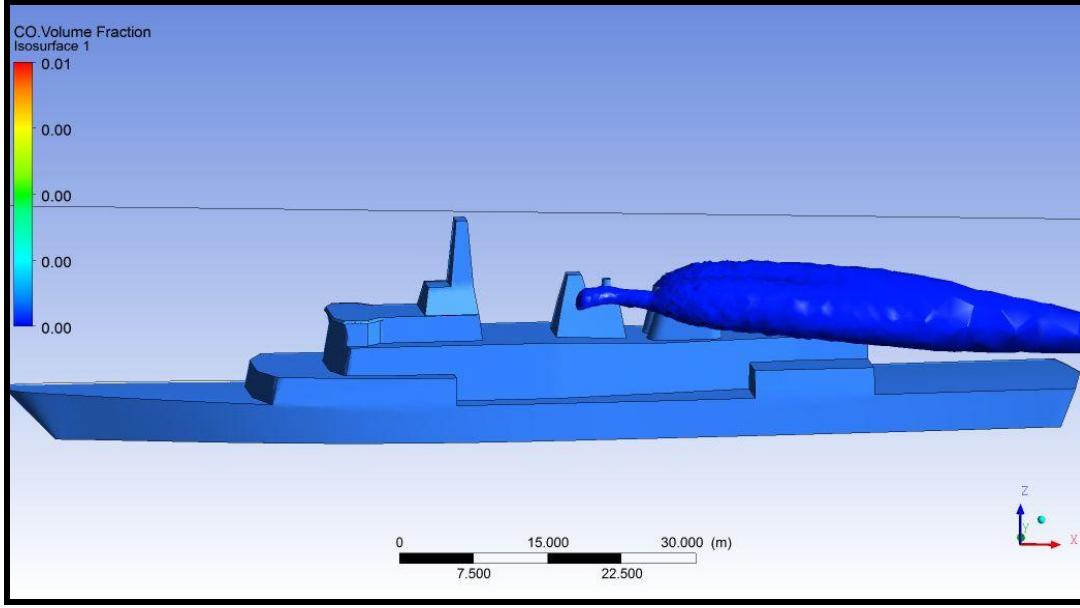
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında sapma açısı $\Psi=0^0$, 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 ve 30^0 değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.152-Şekil 6.158'de gösterilmiştir.



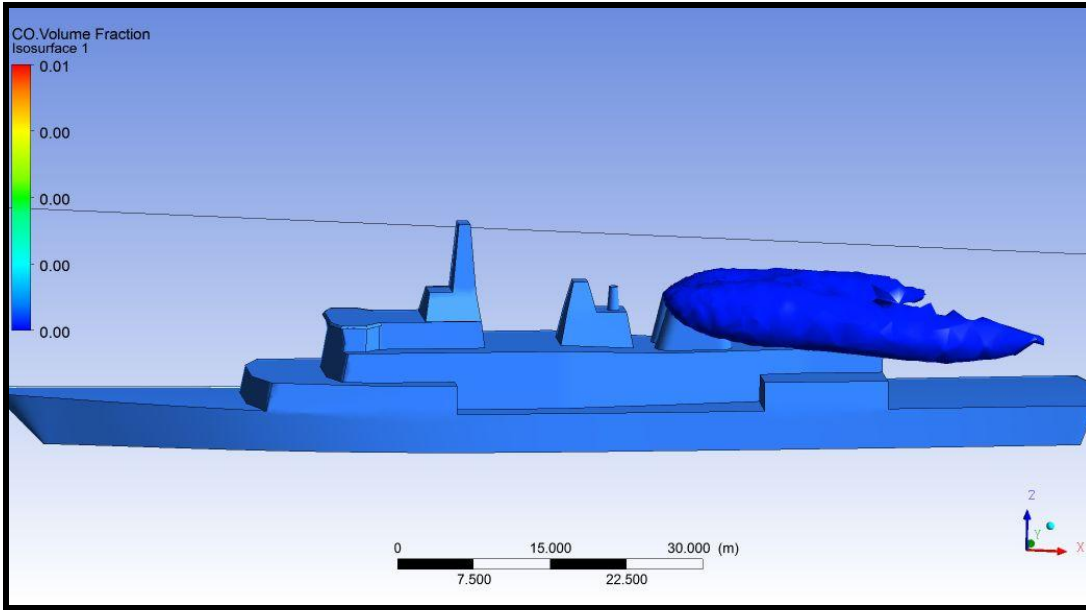
Şekil 6.152 : Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=0^0$).



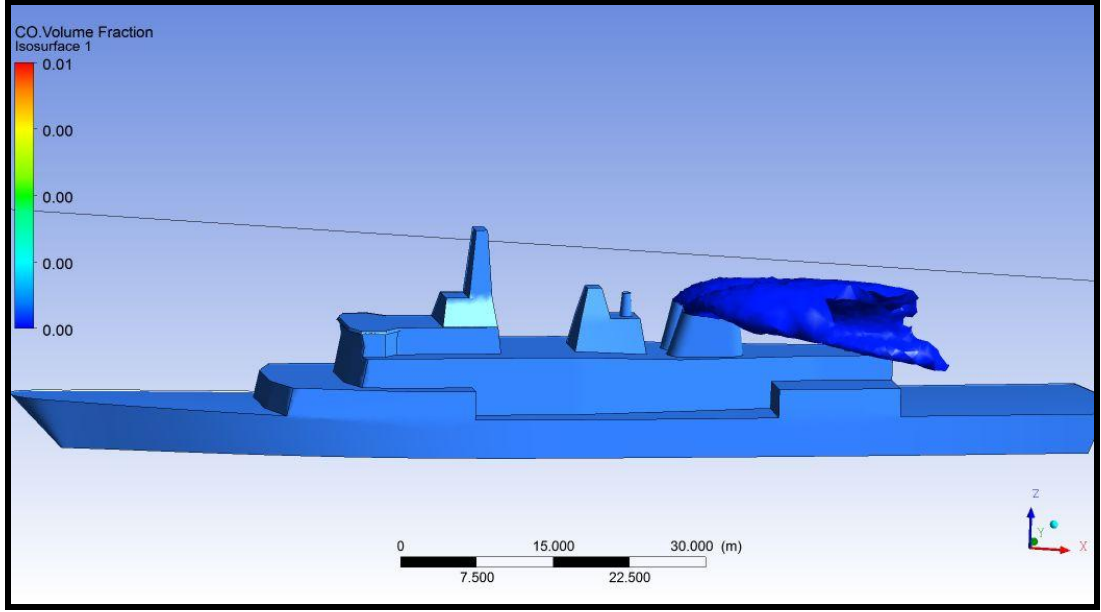
Şekil 6.153 : Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=5^0$).



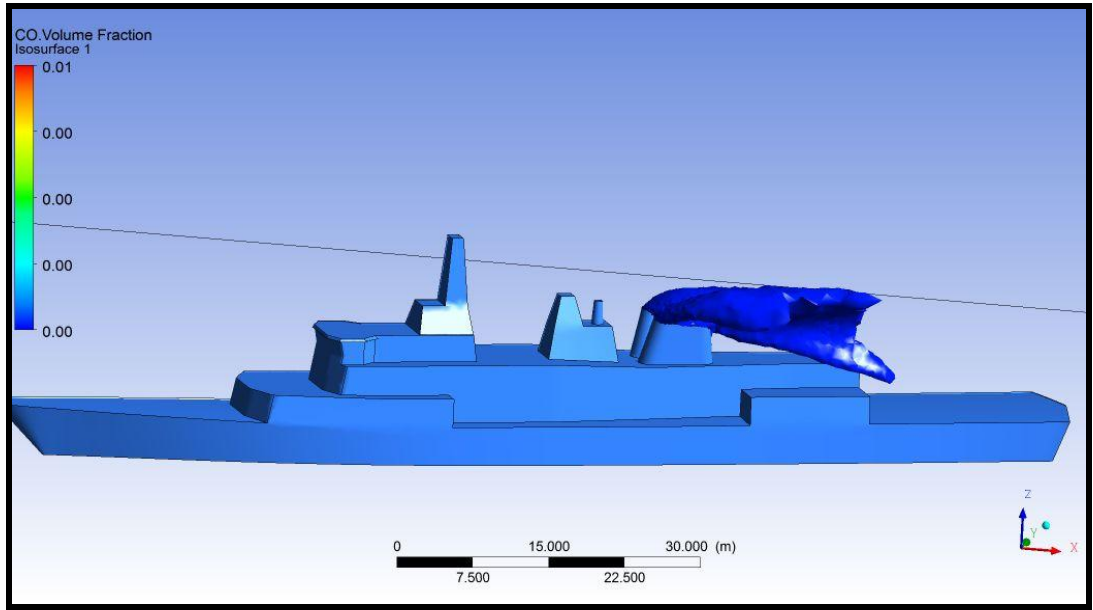
Şekil 6.154 : Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=10^\circ$).



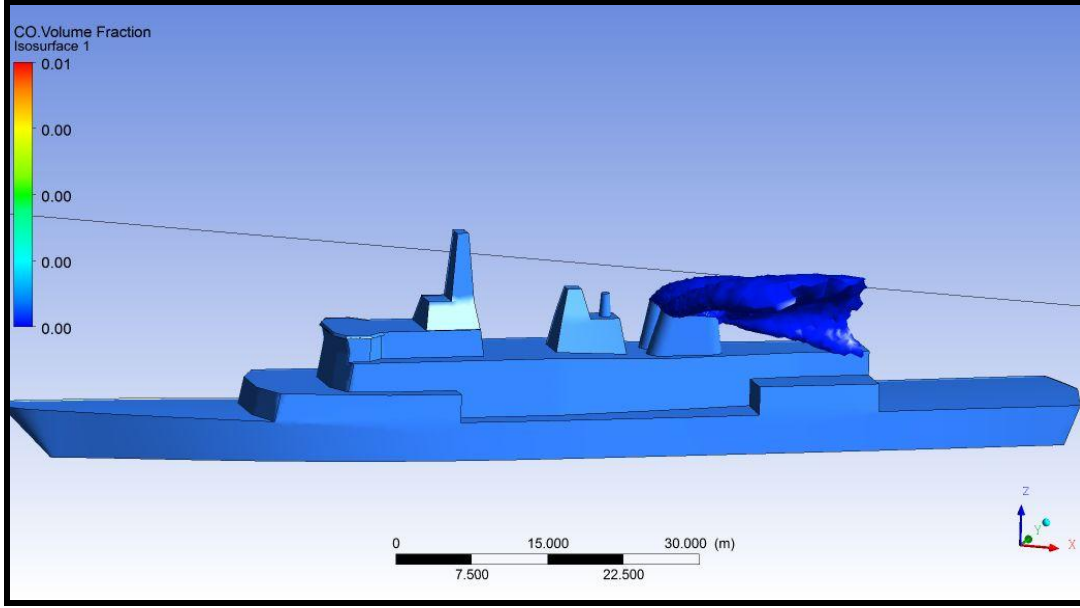
Şekil 6.155 : Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=15^\circ$).



Şekil 6.156 : Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=20^0$).



Şekil 6.157 : Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=25^0$).



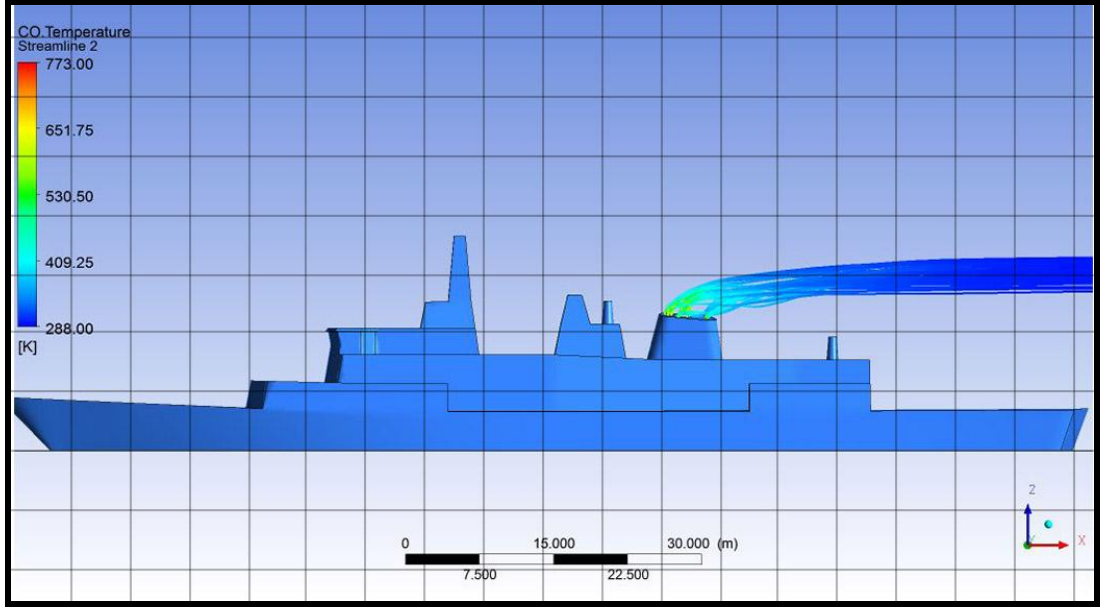
Şekil 6.158 : Durum-1 için CO yayılımı ($\psi=30^\circ$).

Fırkateyn Durum-1’de belirtilen şartlarda seyir halindeyken, sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz emisyonlarından CO gazının, diğer emisyonlarda olduğu gibi, helikopter platformuna doğru yöneldiği, ancak özellikle $\Psi=20^\circ$ ’den itibaren CO gaz konsantrasyonunun azaldığı hacimsel olarak 0.0001’in üstündeki hacmin parçalandığı görülmektedir (Şekil 6.156-Şekil 6.158).

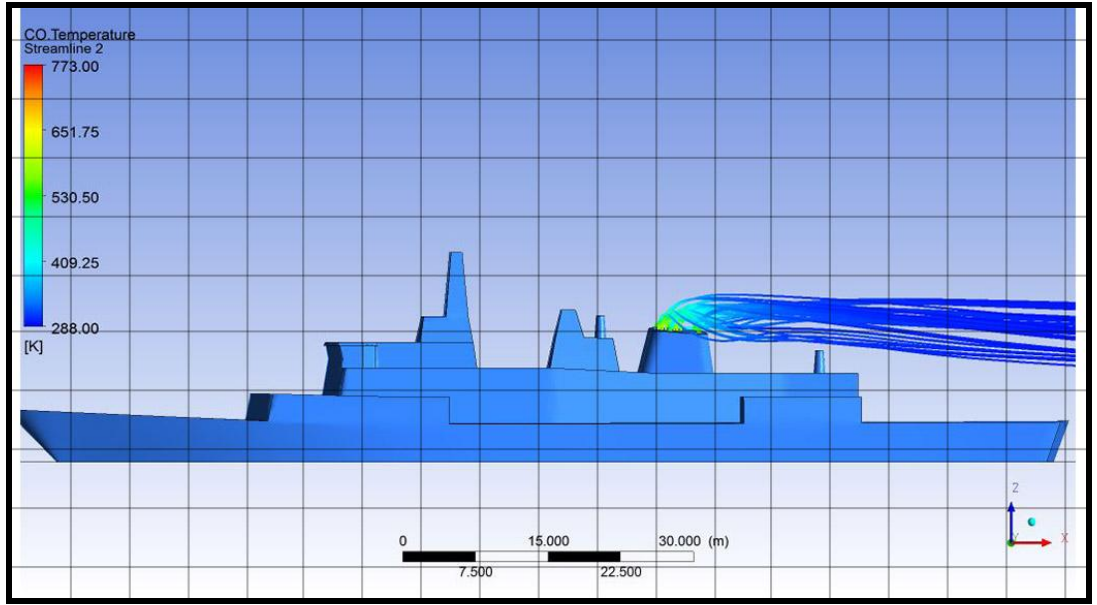
Sonuç olarak tipik fırkateyn için Durum-1’de belirtilen seyir şartlarında sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sapma açısının artması ile egzoz emisyonlarının helikopter platformuna yöneldiği, gemi arkasında oluşan türbülansdan dolayı emisyonların dağılma eğiliminde olduğu, sapma açısı arttıkça zararlı emisyonların helikopter platformunda bulunan personele zarar verebileceği değerlendirilmektedir.

6.2.4.3 Sapma açısının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-3)

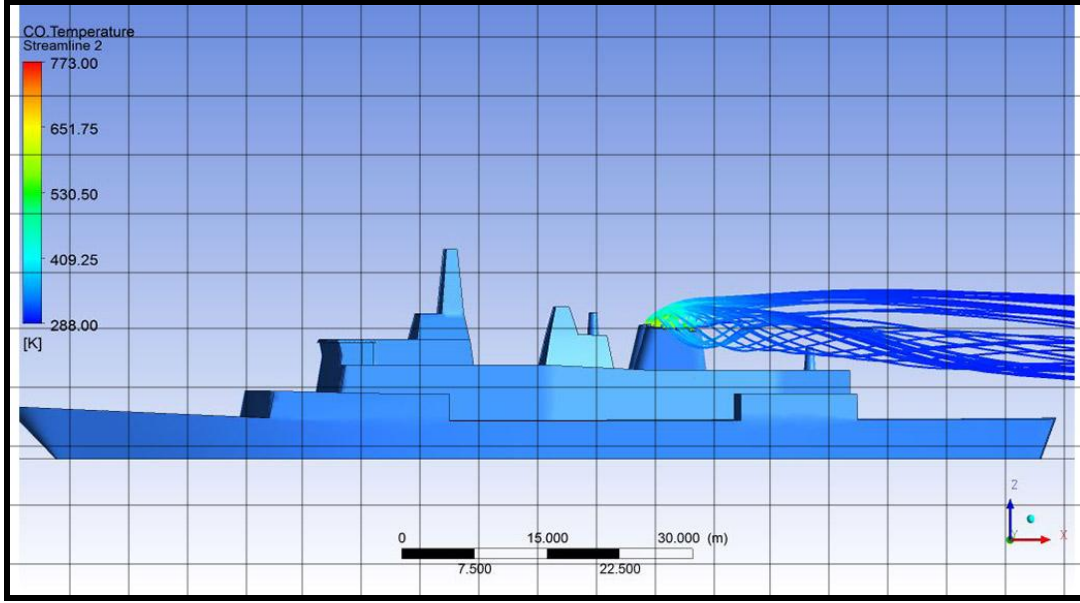
Tipik fırkateyn 5 knot sürat ile ileri yolda giderken, rüzgar baştan 20 knot ile esmektedir. Egzoz çıkış hızı 17 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315°C ’dır. Bu şartlar altında K hız oranı=1.32 ’dir (Durum-3). Belirtilen şartlar altında gerçek boyutlarında helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin yönü ve nispi rüzgârdan oluşan sapma açısı ($\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30°) değişiminin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 6.159- Şekil 6.165’de gösterilmiştir.



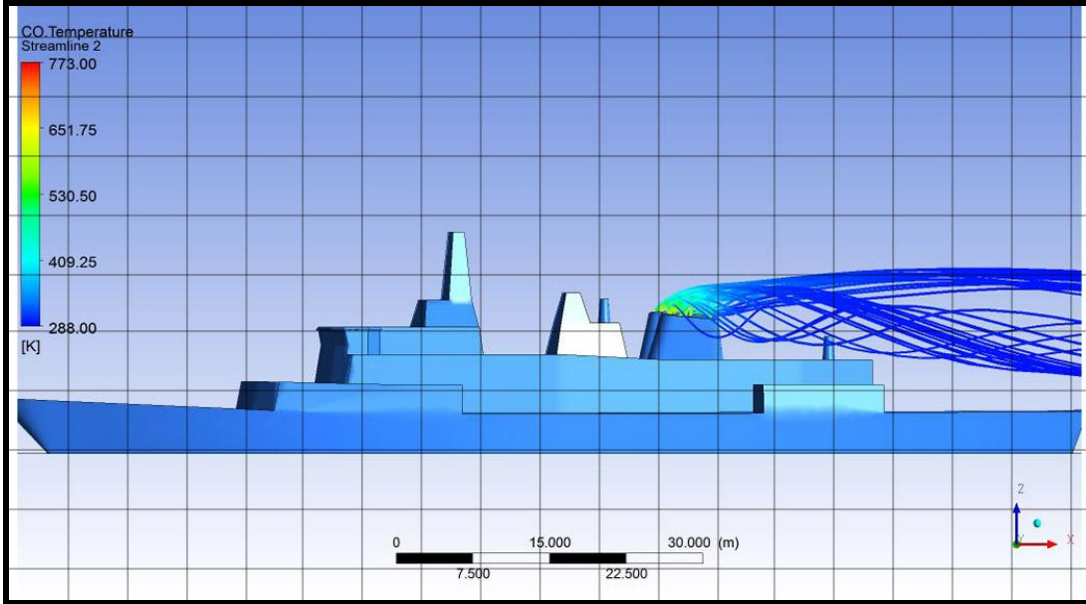
Şekil 6.159 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=0^0$).



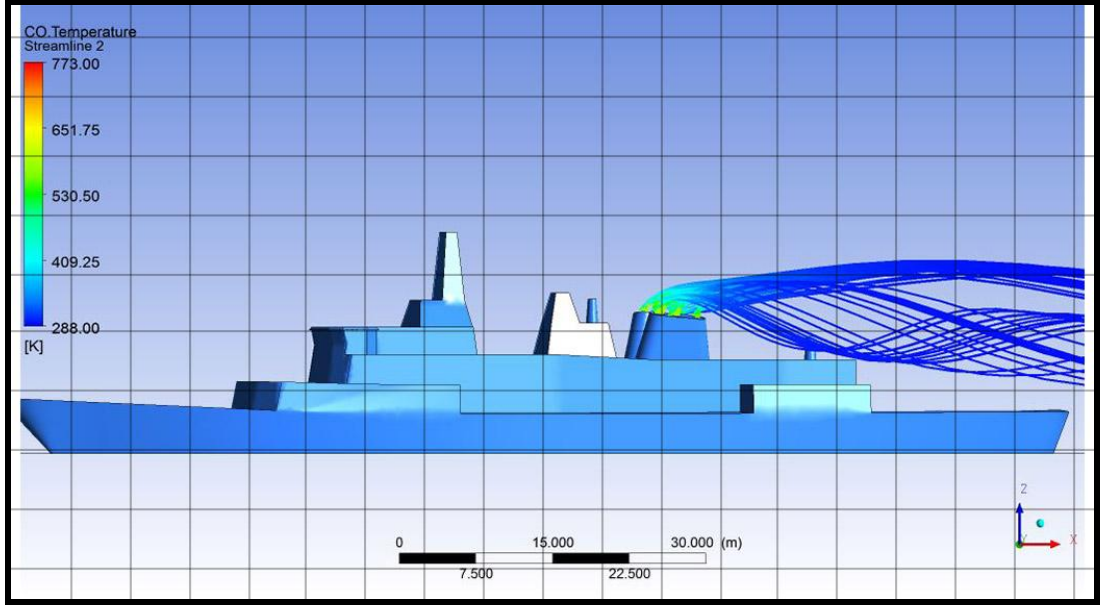
Şekil 6.160 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=5^0$).



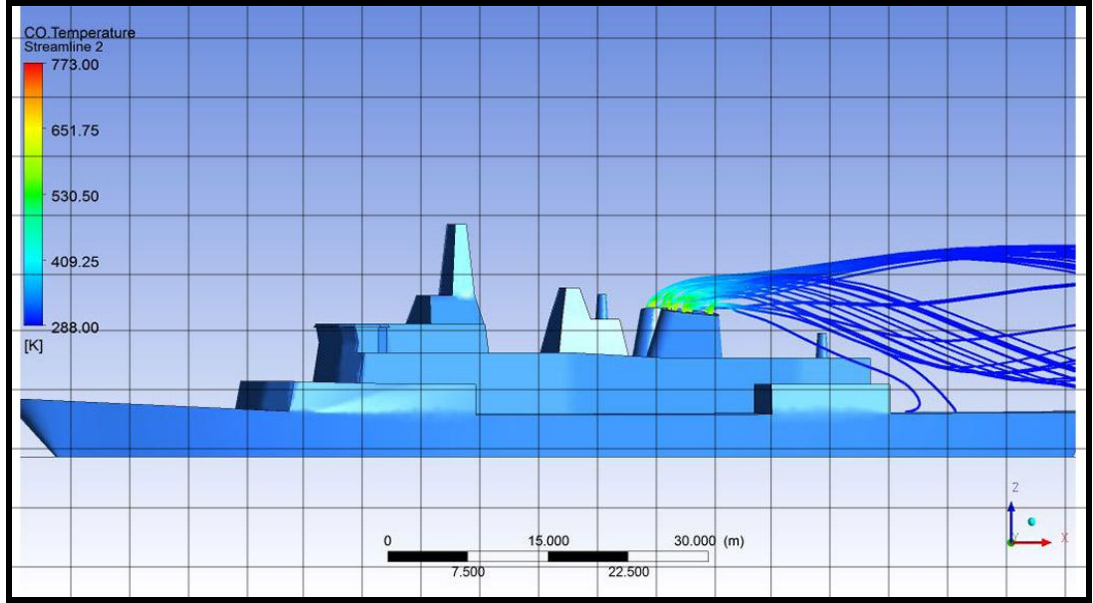
Şekil 6.161 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=10^0$).



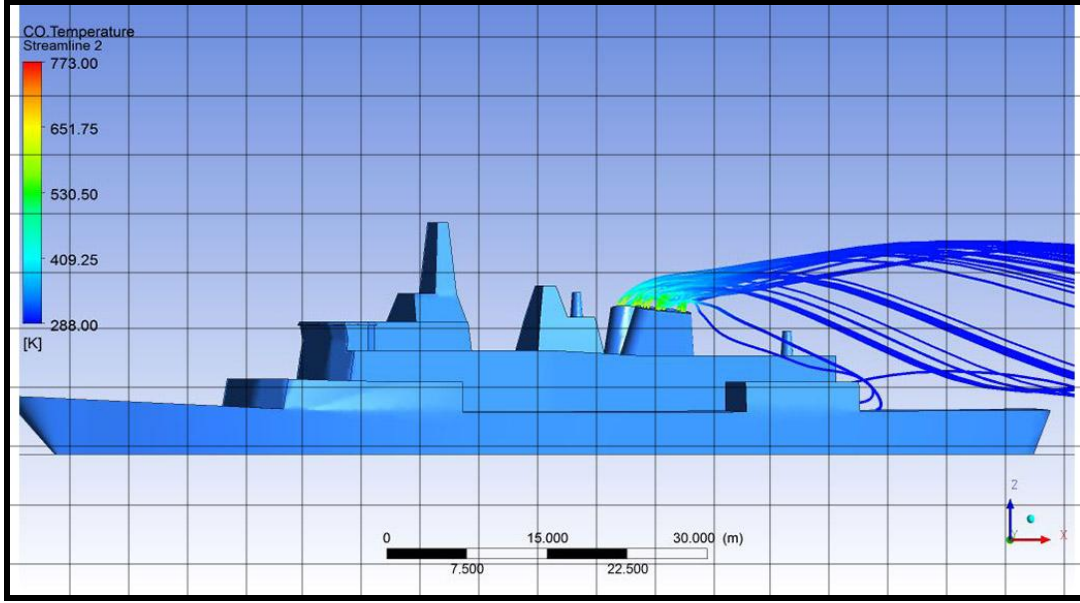
Şekil 6.162 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=15^0$).



Şekil 6.163 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=20^0$).



Şekil 6.164 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=25^0$).

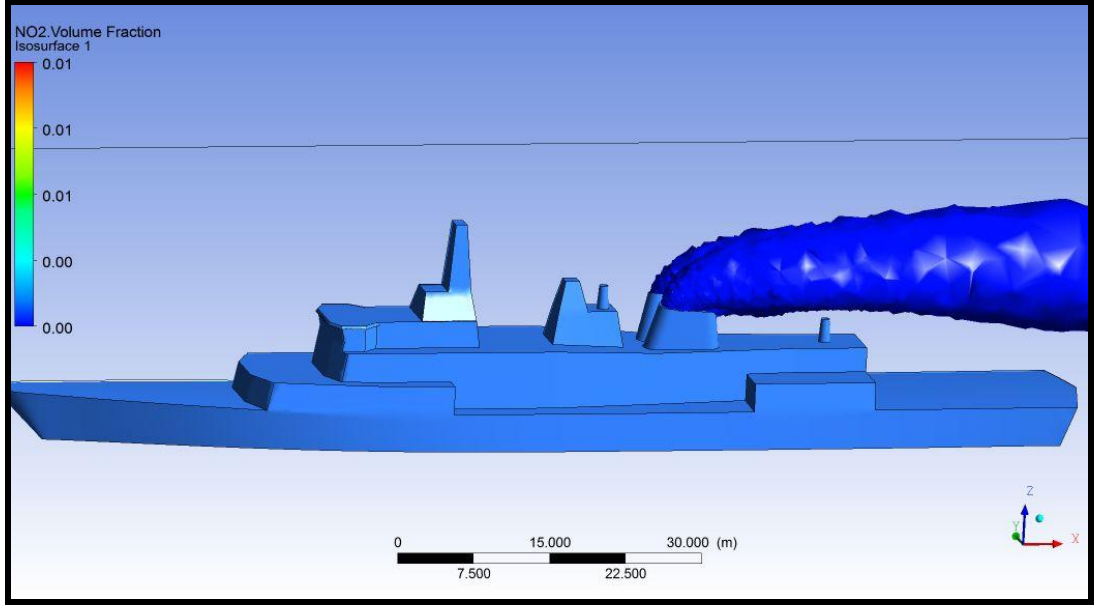


Şekil 6.165 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=30^\circ$).

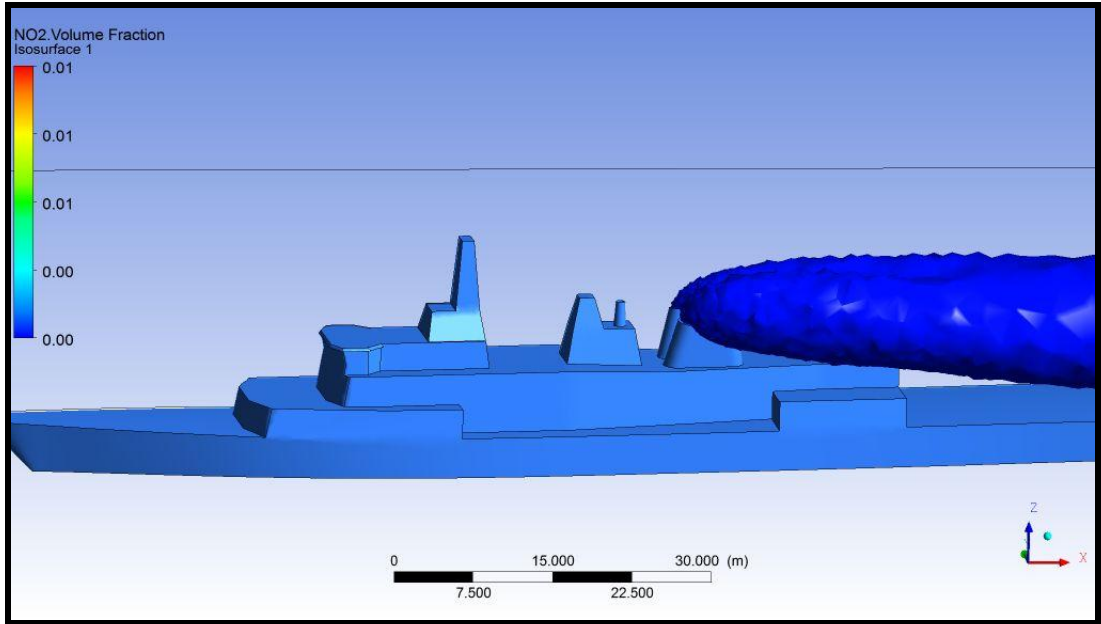
Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı gibi fırkateyn 5 knot sürat ile ileri yolda seyir yaparken, rüzgar baştan 20 knot ile estiğinde egzoz çıkış hızı 17 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315°C iken geminin yönü ve nispi rüzgardan oluşan sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değişiminin etkisinin olumsuz yönde olduğu görülmüştür. Sapma açısı $\Psi=0^\circ$ dan $\Psi=30^\circ$ ye değiştiği durumlarda egzoz gazlarının helikopter platformu üzerine düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle $\Psi=10^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz sıcaklığının baca arkasında bulunan silah sistemlerine zarar verebileceği görülmüştür (Şekil 6.162-Şekil 6.165).

6.2.4.4 Sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-3)

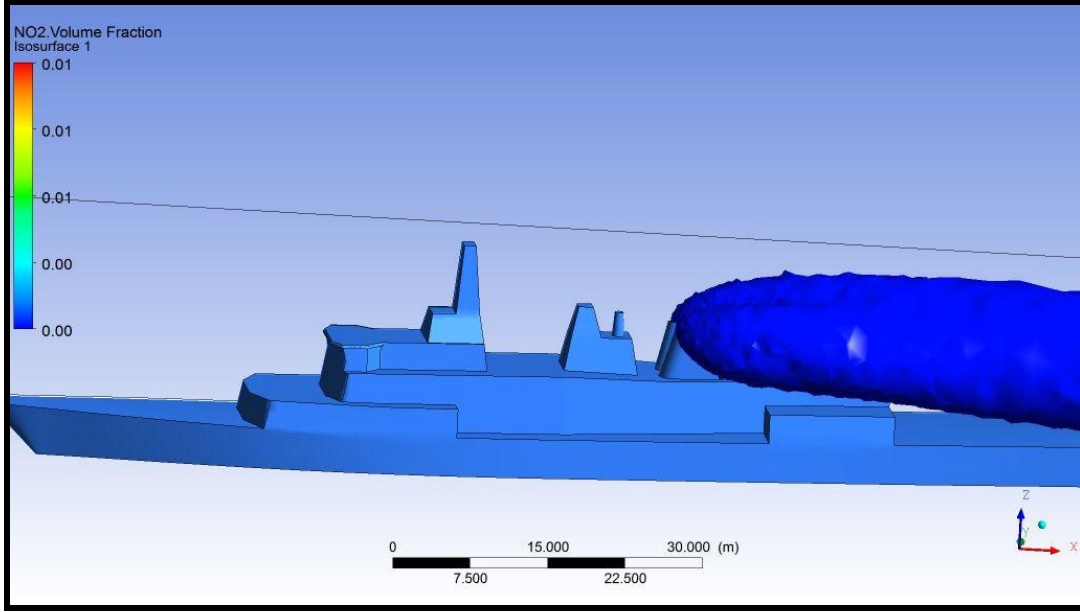
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.166- Şekil 6.172’de gösterilmiştir.



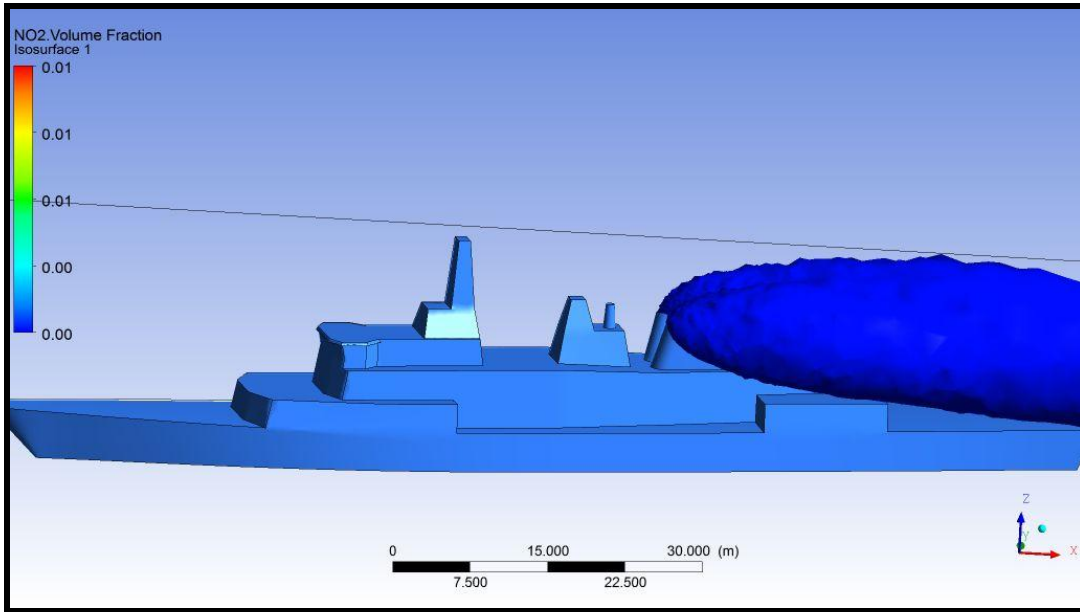
Şekil 6.166 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=0^0$).



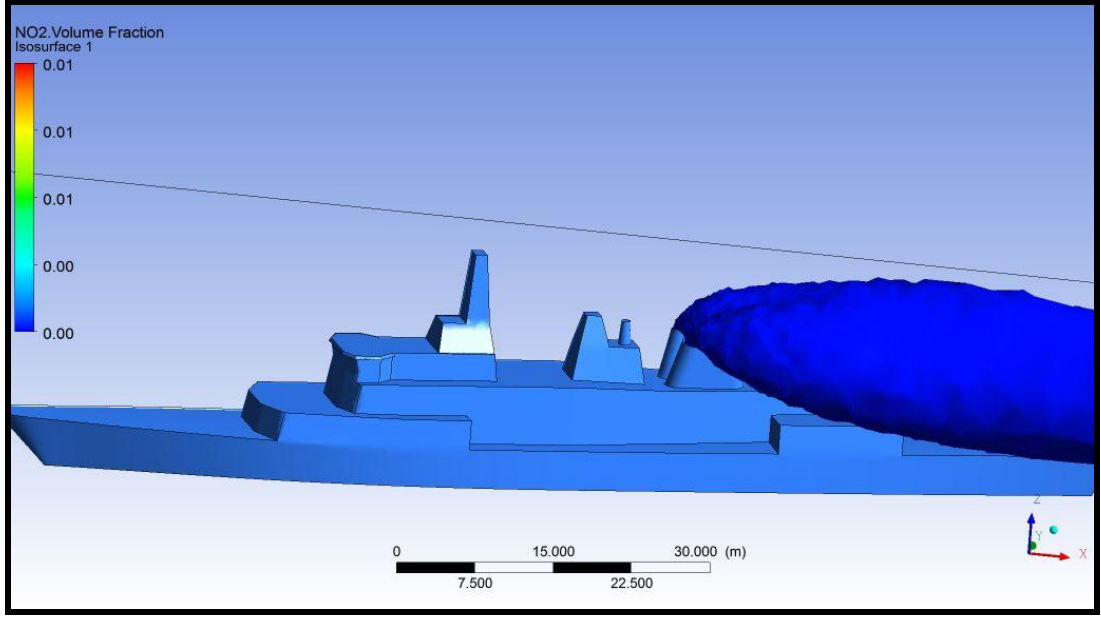
Şekil 6.167 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=5^0$).



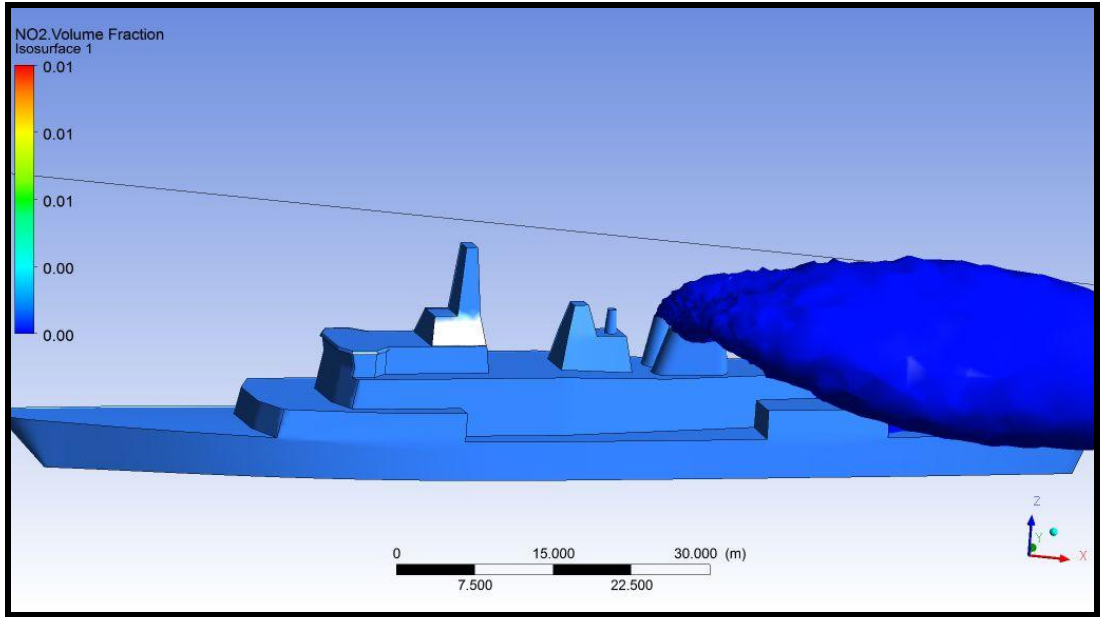
Şekil 6.168 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=10^0$).



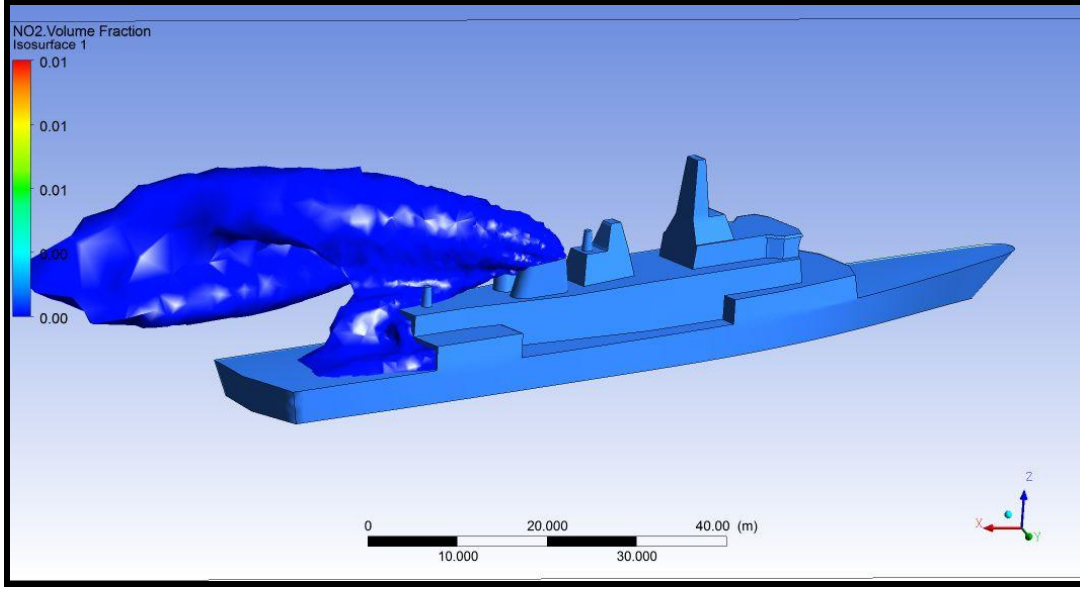
Şekil 6.169 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=15^0$).



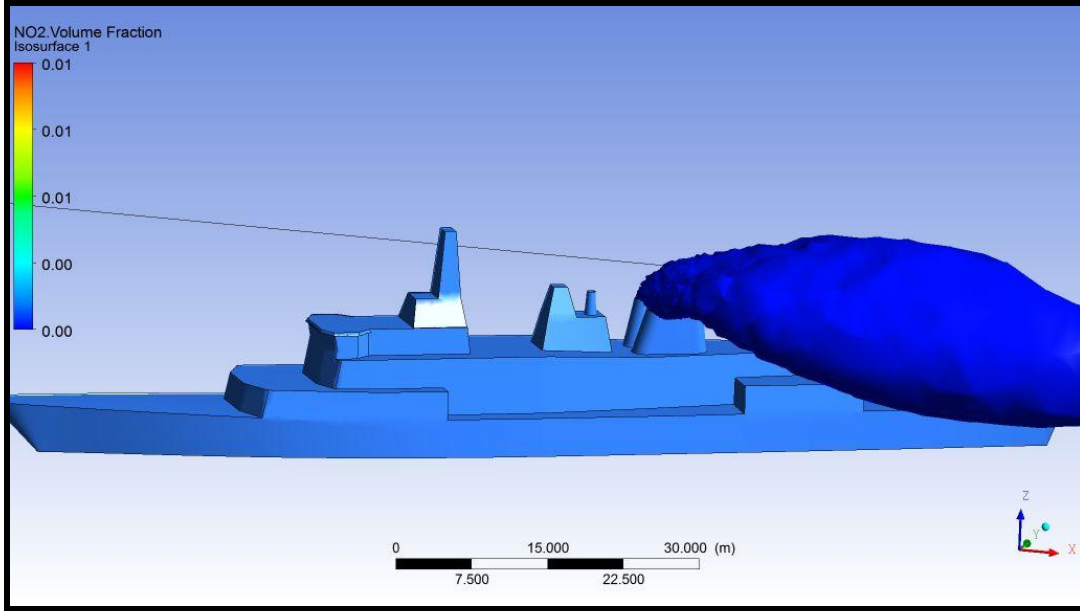
Şekil 6.170 : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=20^0$).



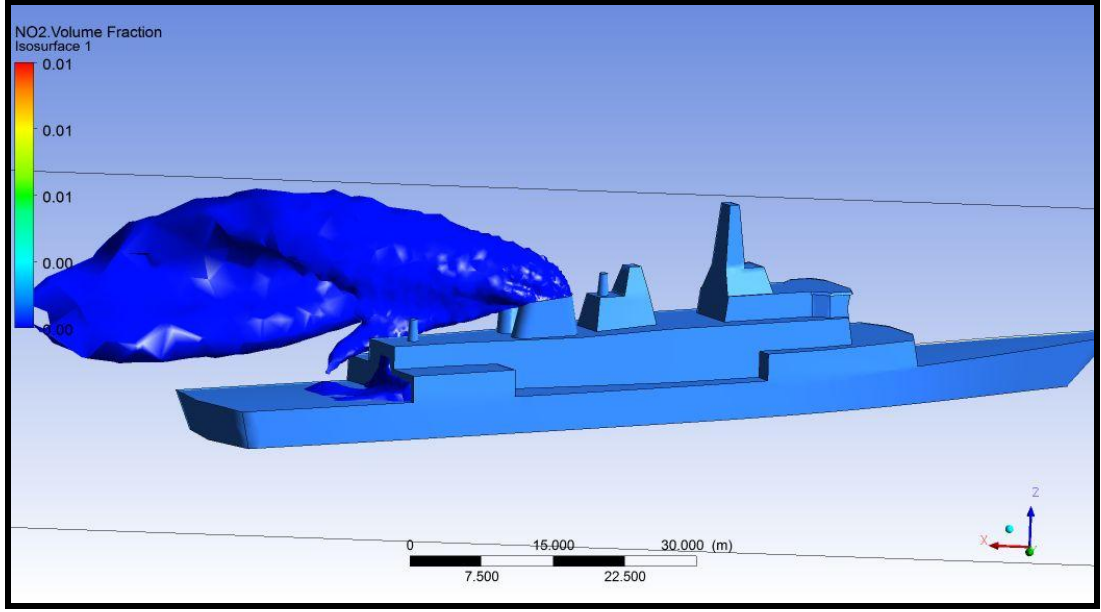
Şekil 6.171 a : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüş).



Şekil 6.171 b : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).



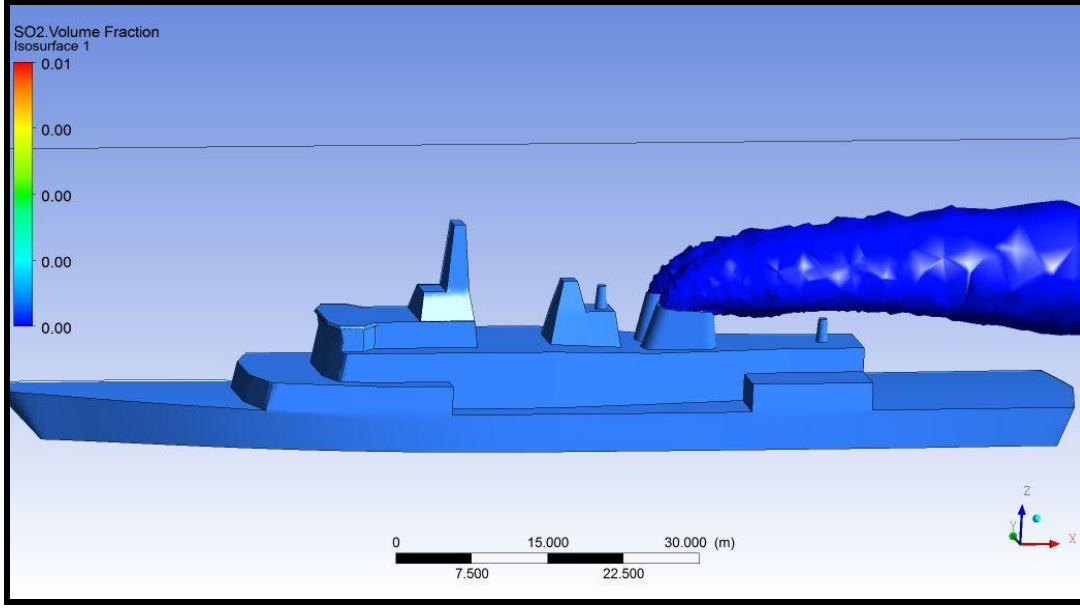
Şekil 6.172 a : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüş).



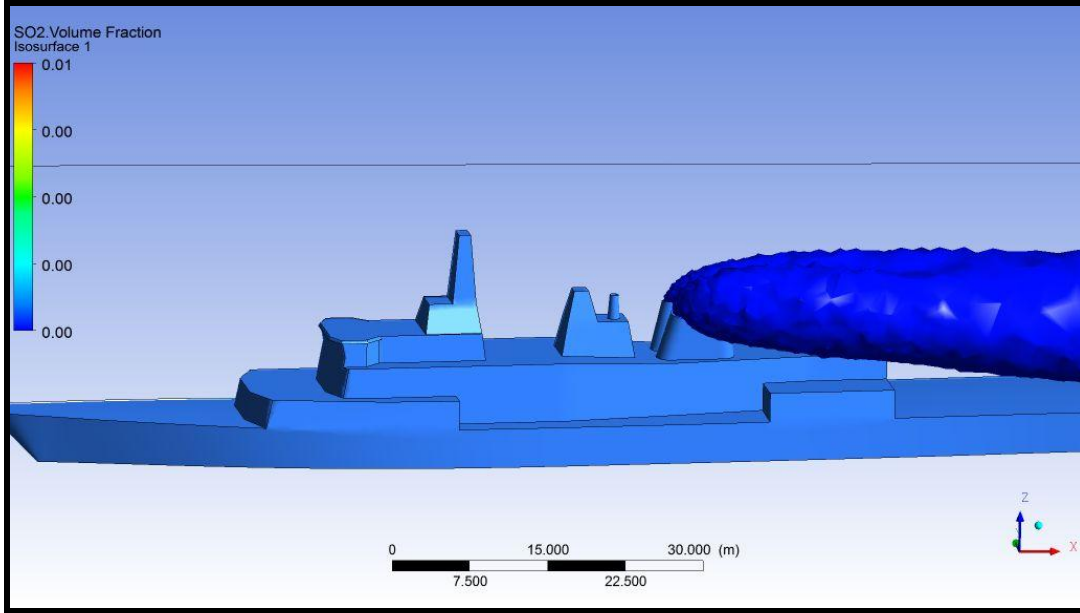
Şekil 6.172 b : Durum-3 için NO_x yayılımı ($\psi=0^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüş).

Sapma açısı $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz gazlarından NO_x gazının helikopter platformu üzerine doğru yöneldiği görülmüştür. Özellikle $\psi=20^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda insan sağlığına en zararlı egzoz gaz emisyonlarından NO_x gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla gazlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ile karşılaşılabilceği değerlendirilmektedir (Şekil 6.171-Şekil 6.172). Şekil 6.171 ve Şekil 6.172’de geminin iskele/sancak bordadan görünümeleri yer almaktadır. Sapma açısı $\psi=25^\circ$ ve $\psi=30^\circ$ için iskele bordadan gemi üzerine düştüğü görünen NO_x emisyonlarının sancak bordadan da helikopter platformuna düştüğü görülmüştür.

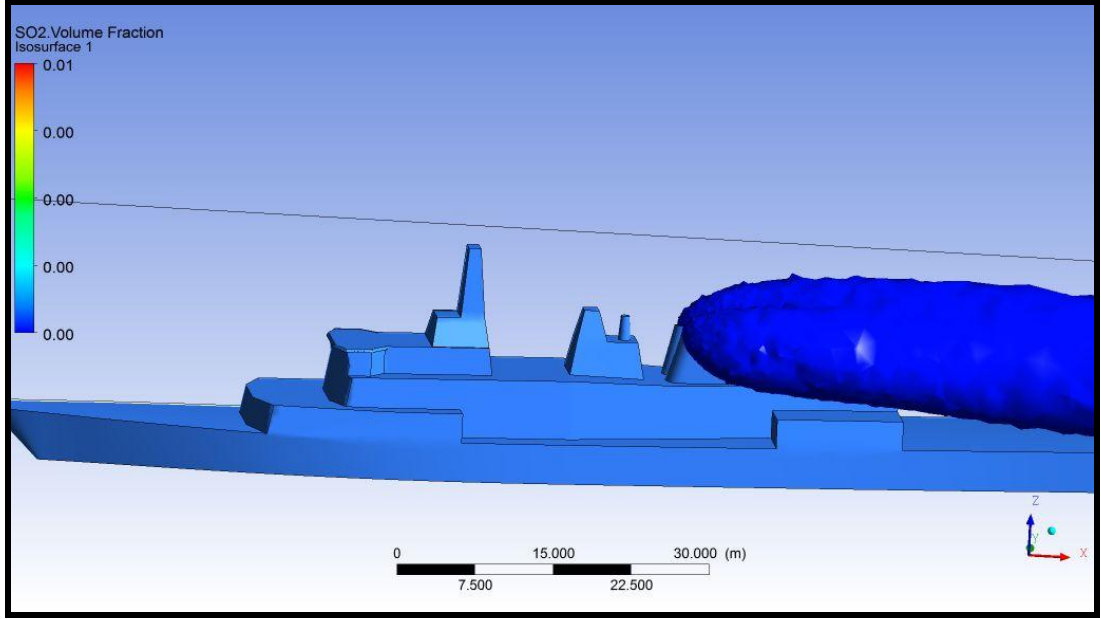
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.00005’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.173- Şekil 6.179’da gösterilmiştir.



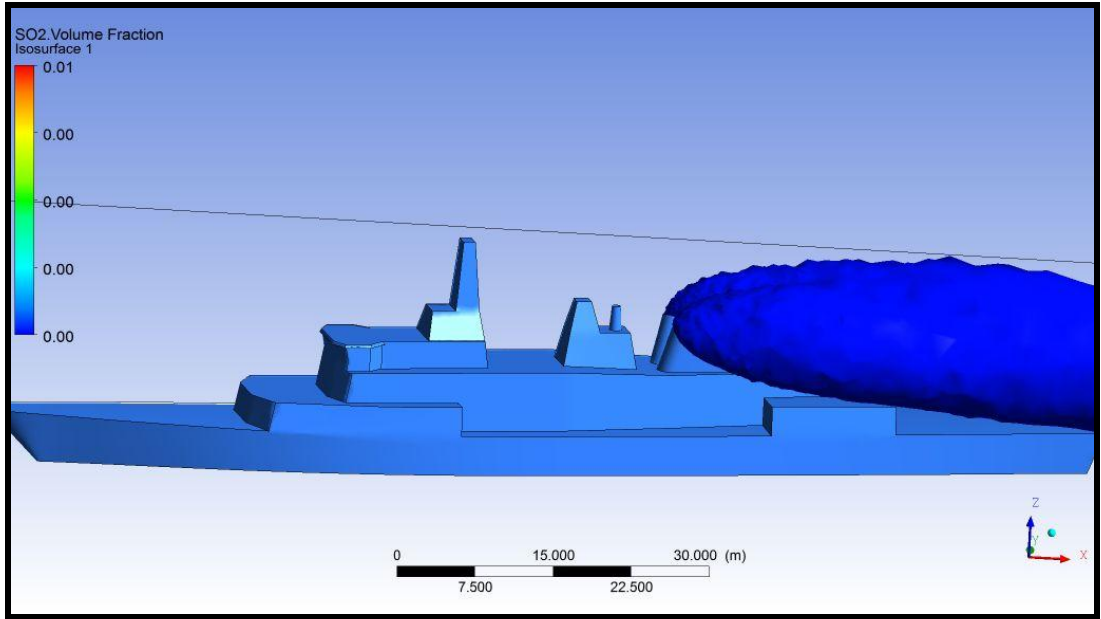
Şekil 6.173 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=0^\circ$).



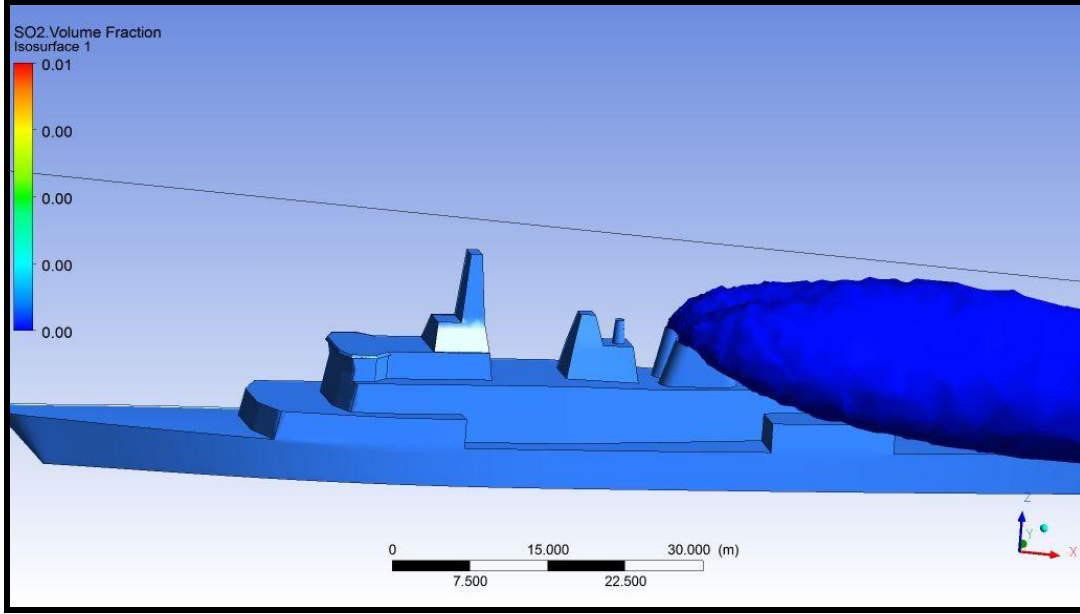
Şekil 6.174 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=5^\circ$).



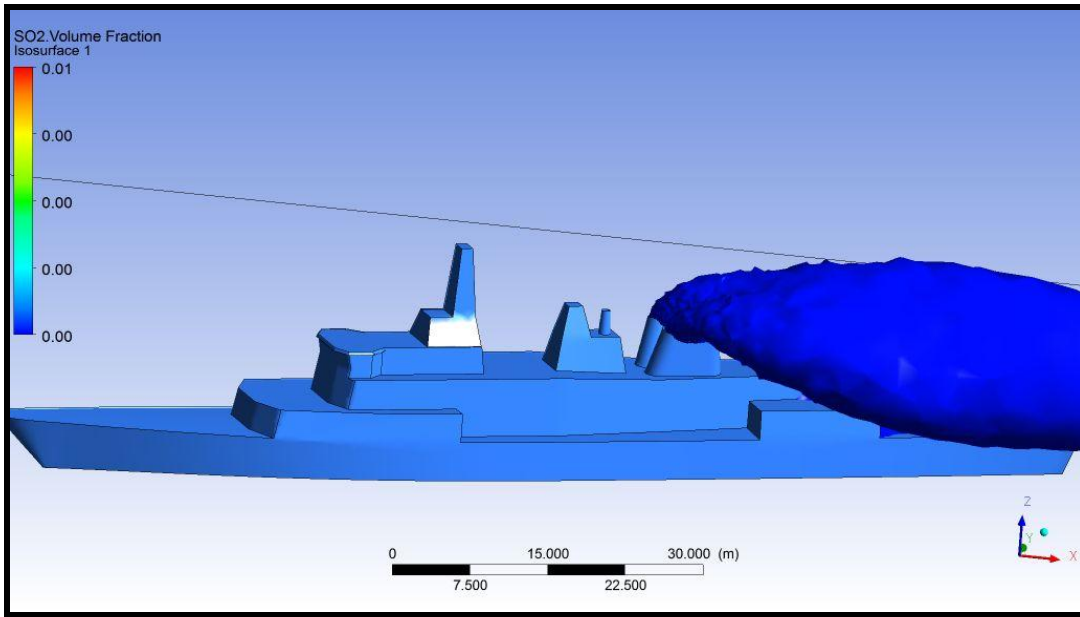
Şekil 6.175 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=10^\circ$).



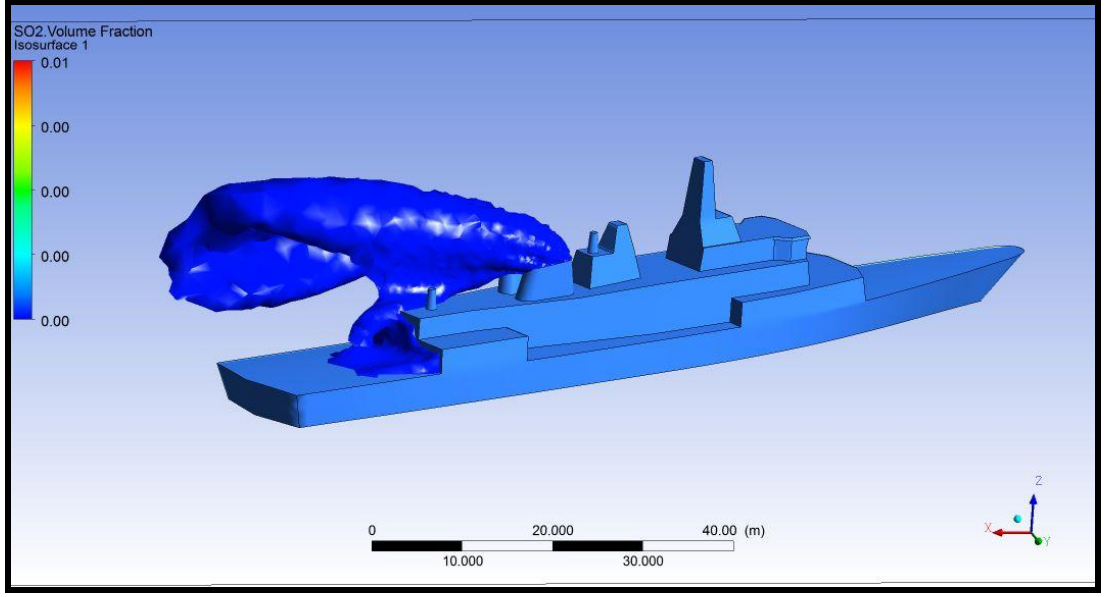
Şekil 6.176 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=15^\circ$).



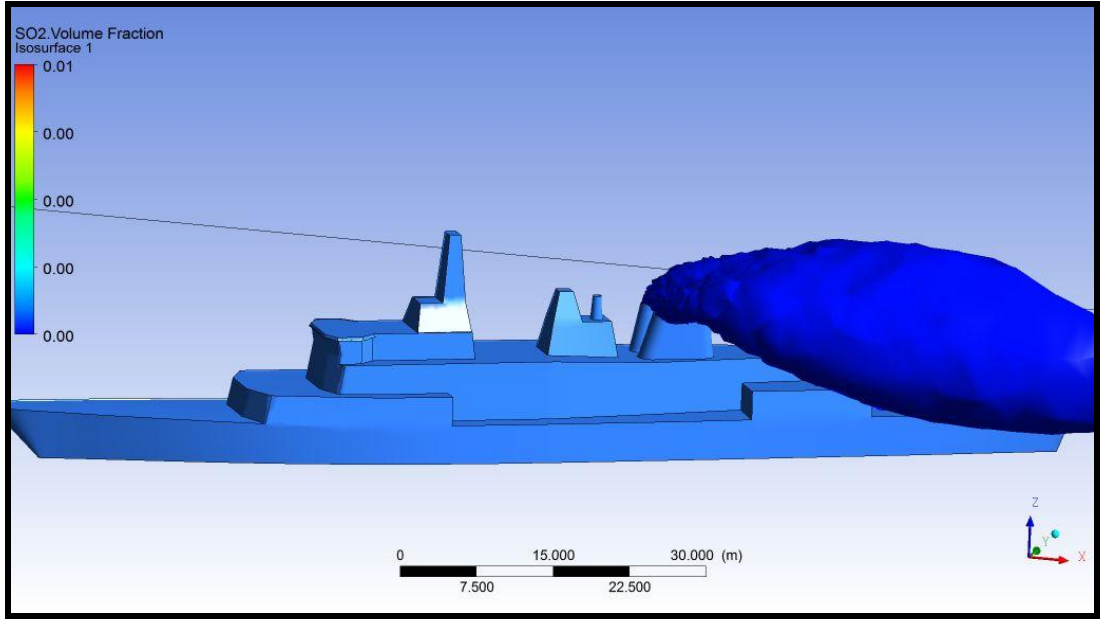
Şekil 6.177 : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=20^0$).



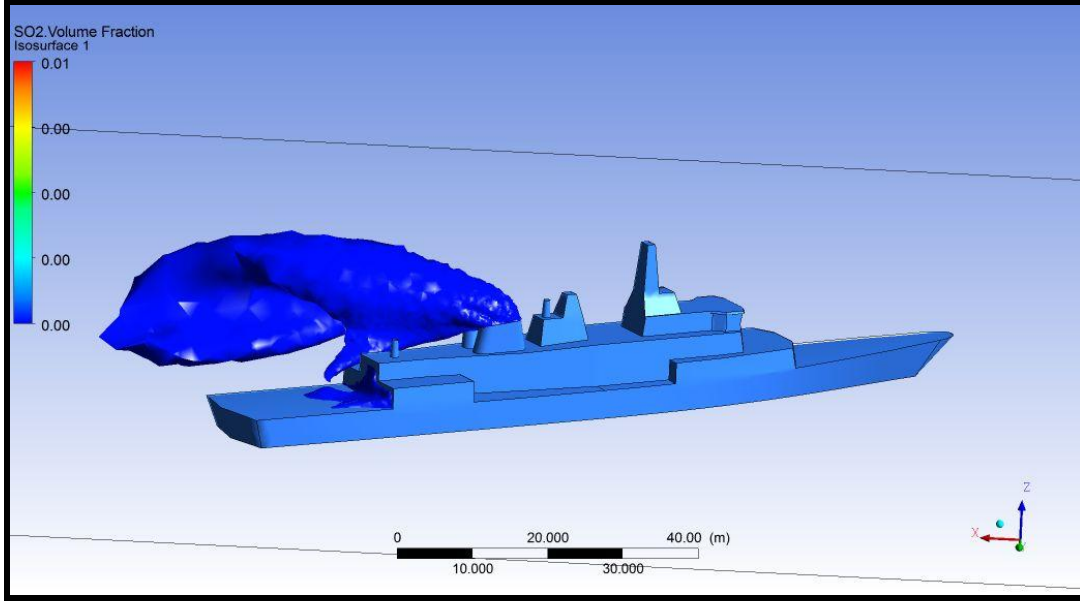
Şekil 6.178 a : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüm).



Şekil 6.178 b : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüm).



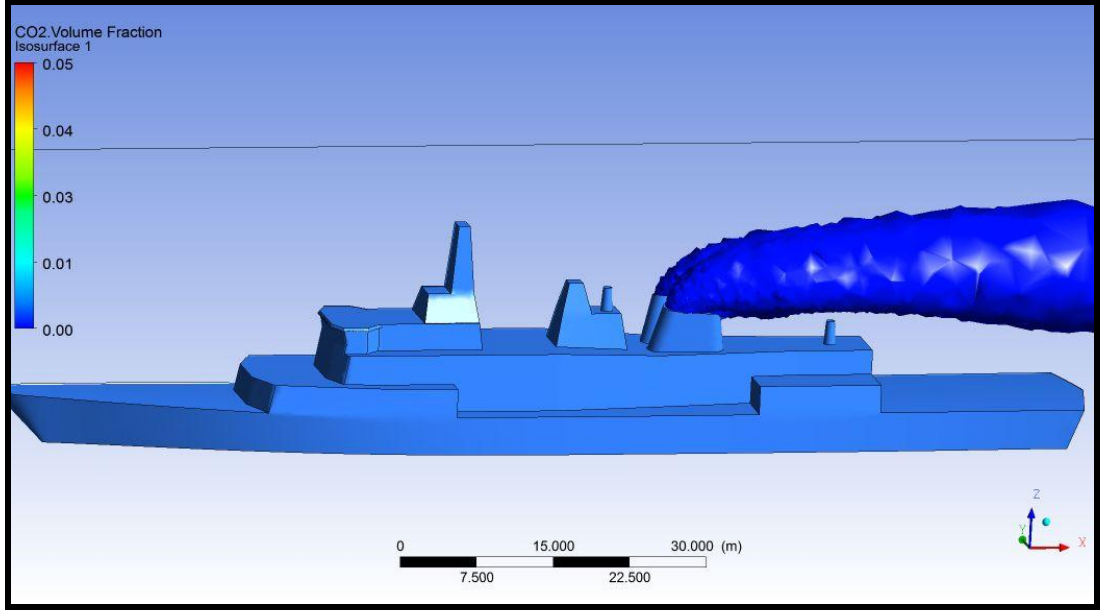
Şekil 6.179 a : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüm).



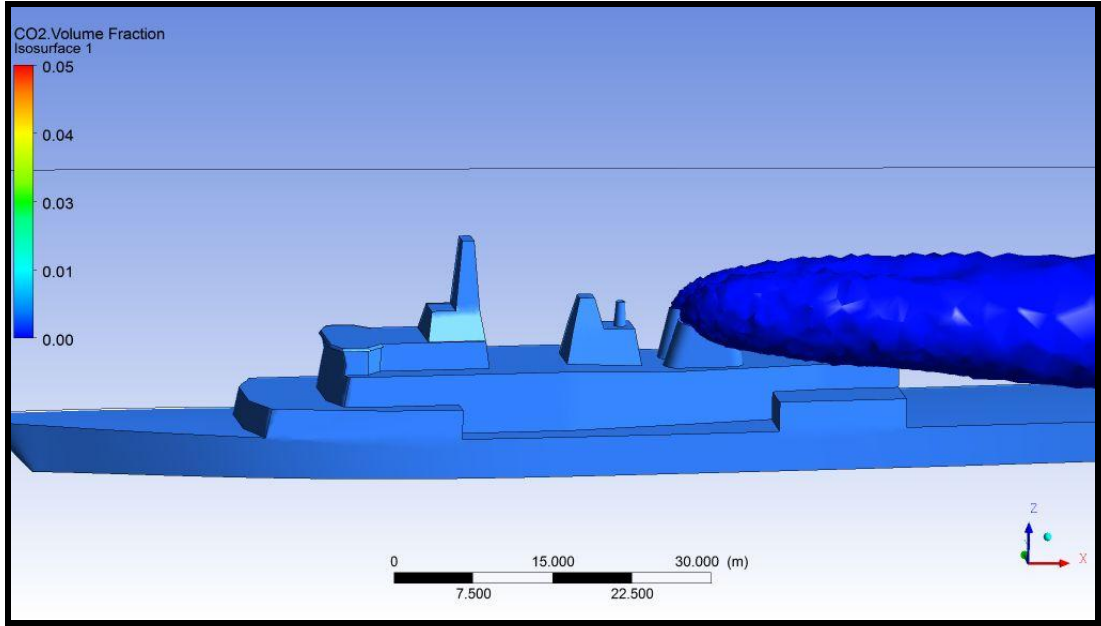
Şekil 6.179 b : Durum-3 için SO_x yayılımı ($\psi=30^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüm).

Sapma açısı $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz gazlarından SO_x gazının helikopter platformu üzerine düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle $\psi=15^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda insan sağlığına en zararlı egzoz gaz emisyonlarından SO_x gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla gazlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ile karşılaşılabileceği değerlendirilmektedir değerlendirilmektedir (Şekil 6.177-Şekil 6.179). Şekil 178 ve Şekil 179’da geminin iskele/sancak bordadan görünüşleri yer almaktadır. Sapma açısı $\psi=25^\circ$ ve $\psi=30^\circ$ için iskele bordadan gemi üzerine düştüğü görünen SO_x emisyonlarının sancak bordadan da helikopter platformuna düştüğü görülmüştür.

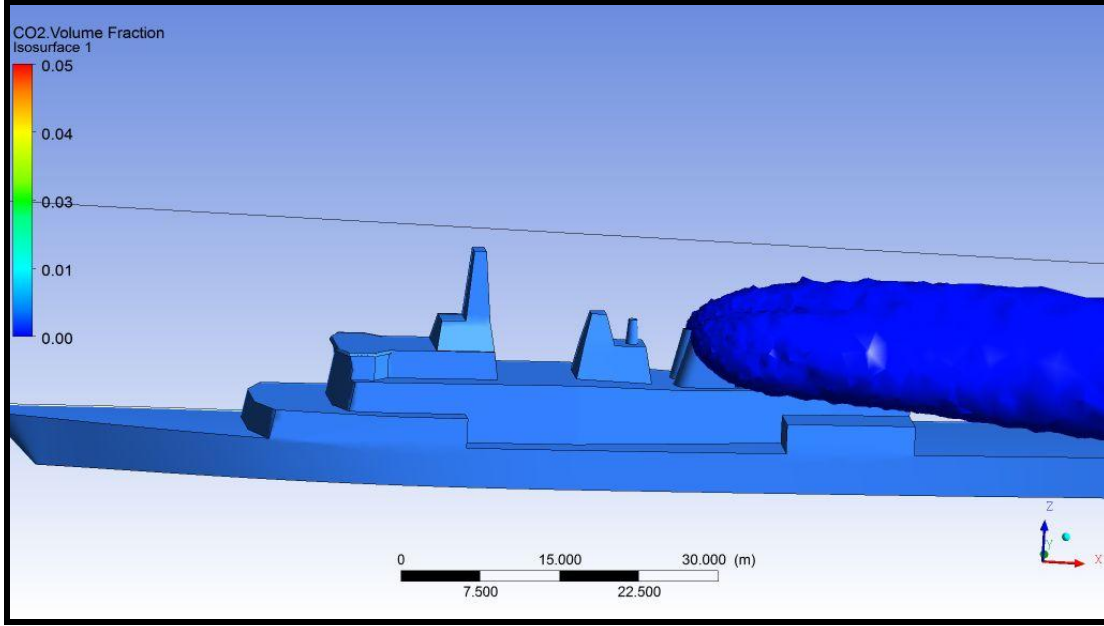
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.0005’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.180- Şekil 6.186’da gösterilmiştir.



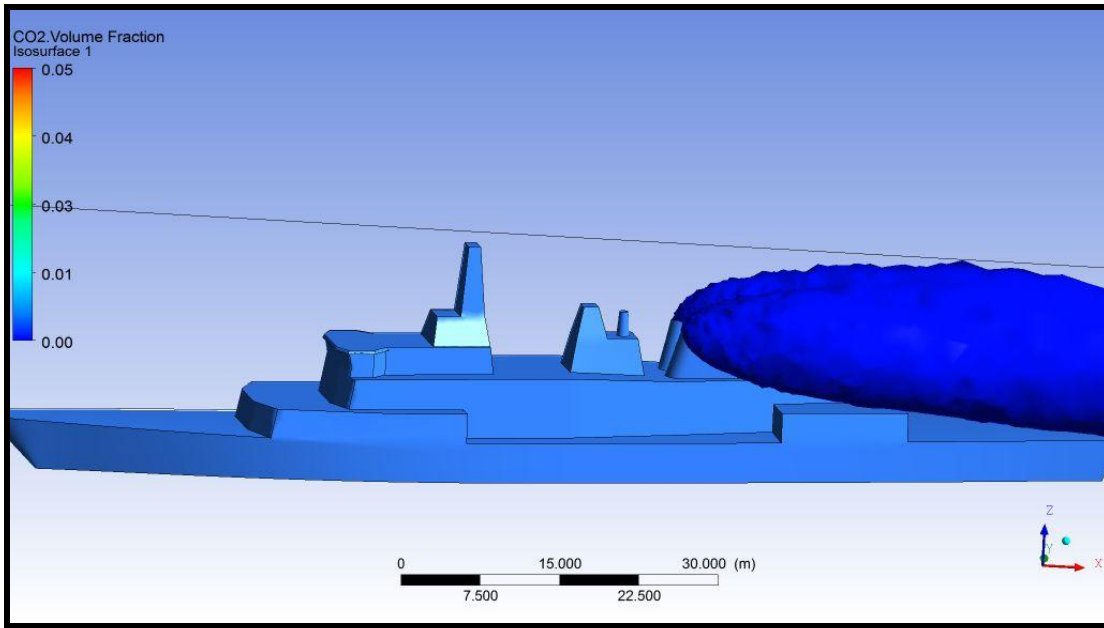
Şekil 6.180 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=0^0$).



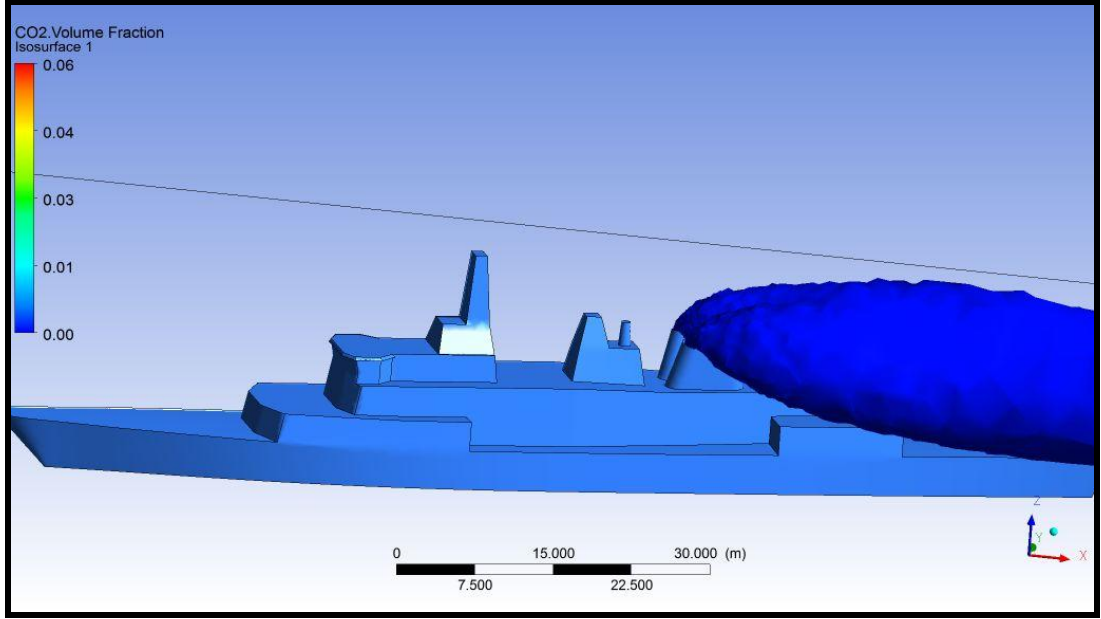
Şekil 6.181 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=5^0$).



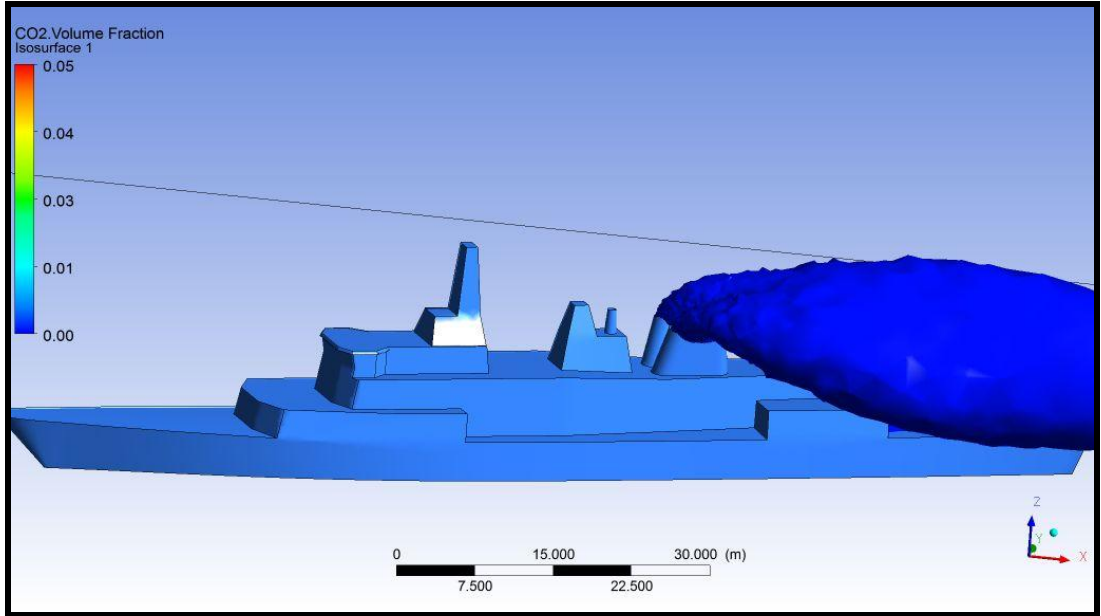
Şekil 6.182 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=10^\circ$).



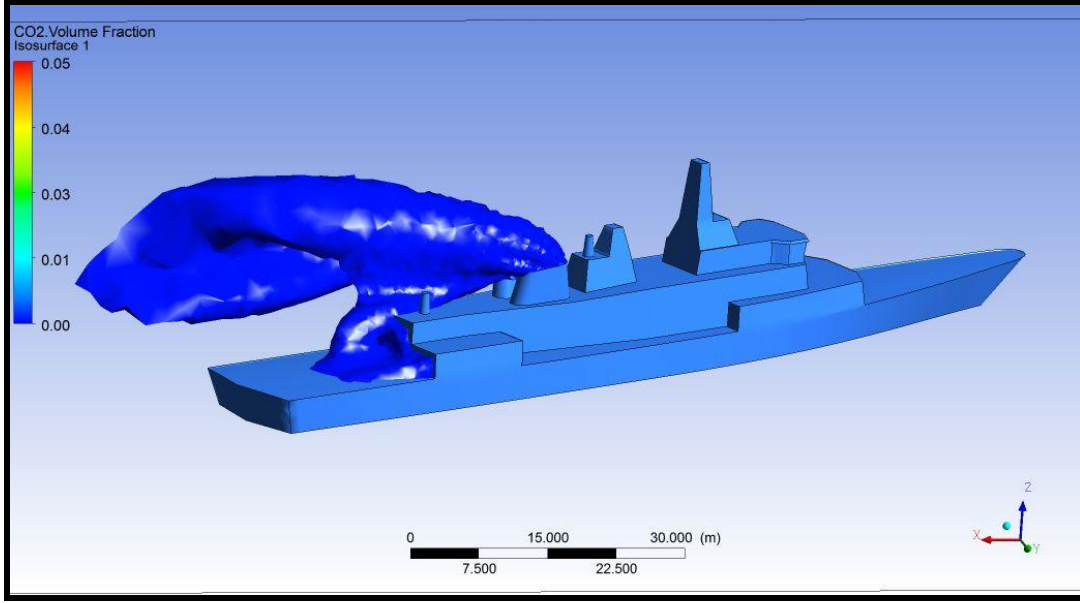
Şekil 6.183 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=15^\circ$).



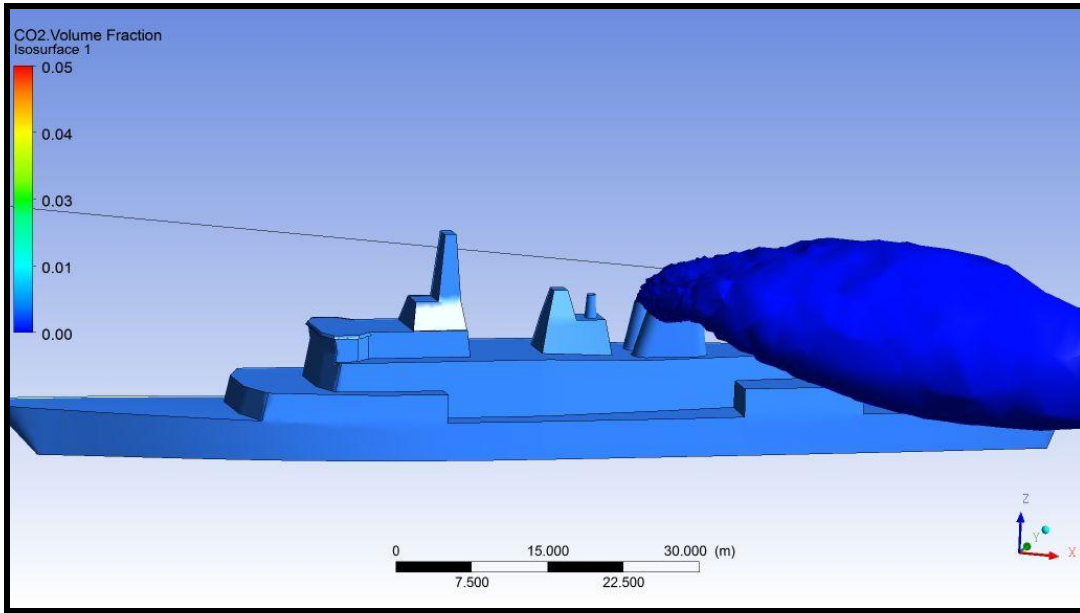
Şekil 6.184 : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=20^\circ$).



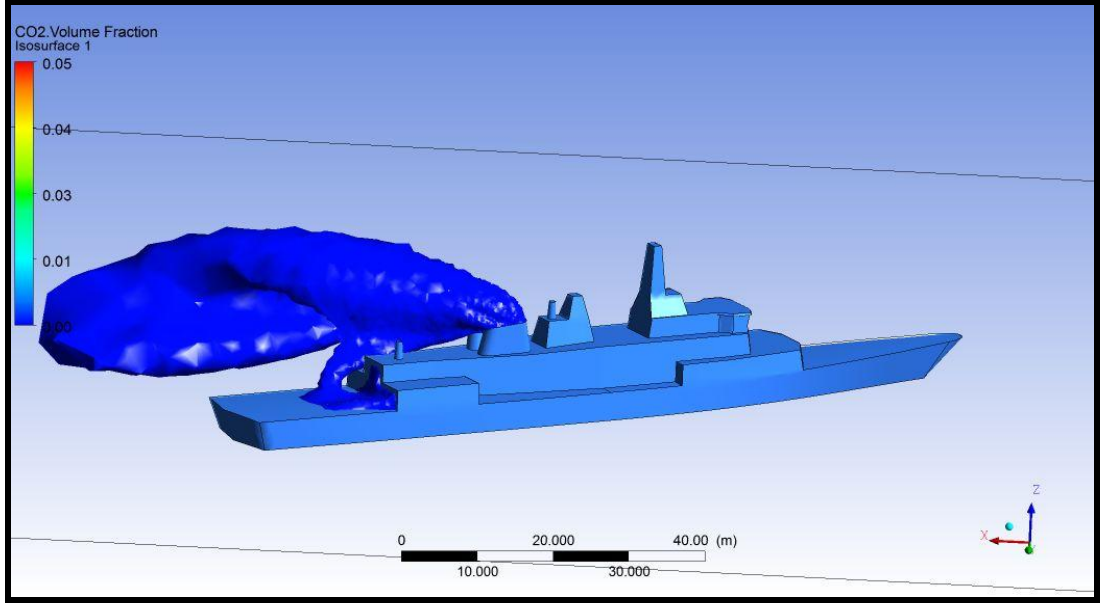
Şekil 6.185 a : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=25^\circ$) (İskele Bordadan Görünüm).



Şekil 6.185 b : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=25^0$). (Sancak Bordadan Görünüm).



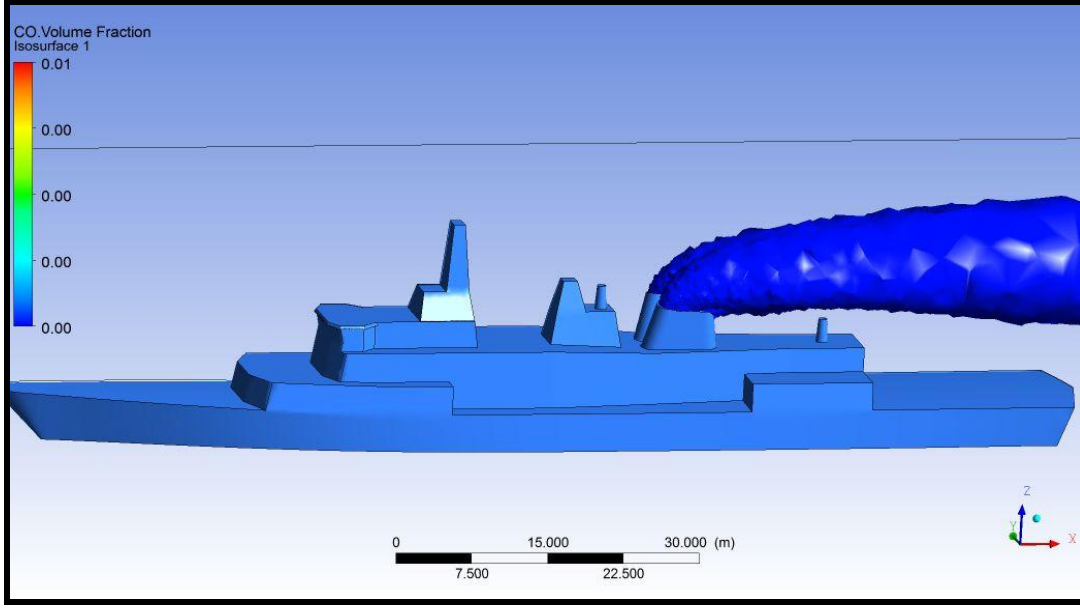
Şekil 6.186 a : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüm).



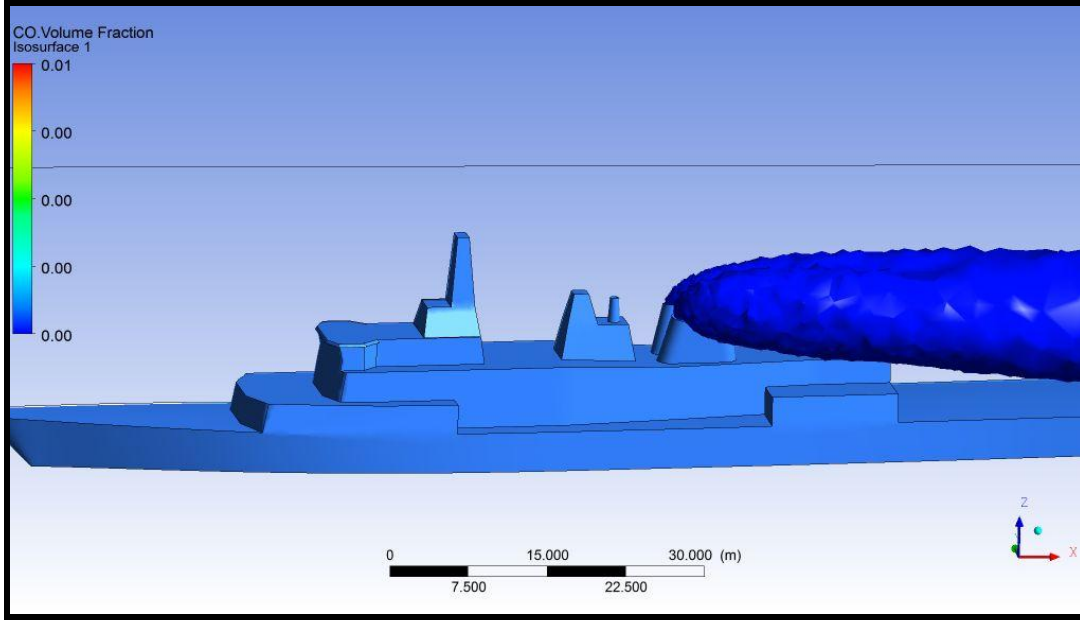
Şekil 6.186 b : Durum-3 için CO₂ yayılımı ($\psi=30^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüm).

Sapma açısı $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye değiştiğinde egzoz gazlarından CO₂ gazının helikopter platformu üzerine düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle $\Psi=15^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda insan sağlığına en zararlı egzoz gaz emisyonlarından CO₂ gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla gazlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ile karşılaşılabilceği değerlendirilmektedir (Şekil 6.184-Şekil 6.186). Şekil 185 ve Şekil 186’da geminin iskele/sancak bordadan görünümüleri yer almaktadır. Sapma açısı $\psi=25^\circ$ ve $\psi=30^\circ$ için iskele bordadan gemi üzerine düştüğü görünen CO₂ emisyonlarının sancak bordadan da helikopter platformuna düştüğü görülmüştür

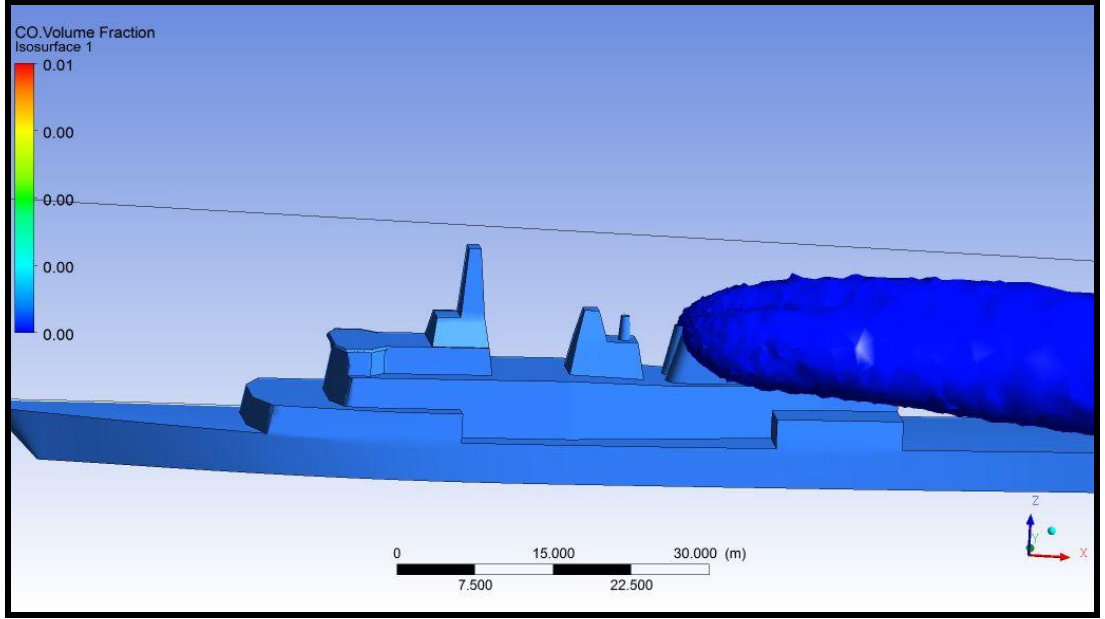
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.00005’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.187- Şekil 6.193’te gösterilmiştir.



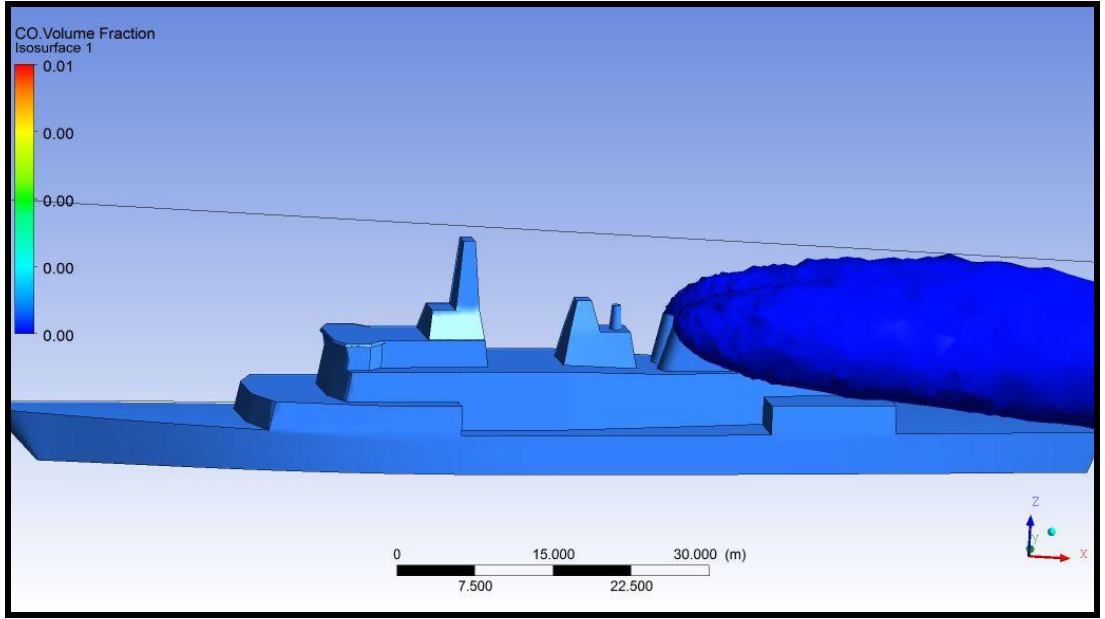
Şekil 6.187 : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=0^0$).



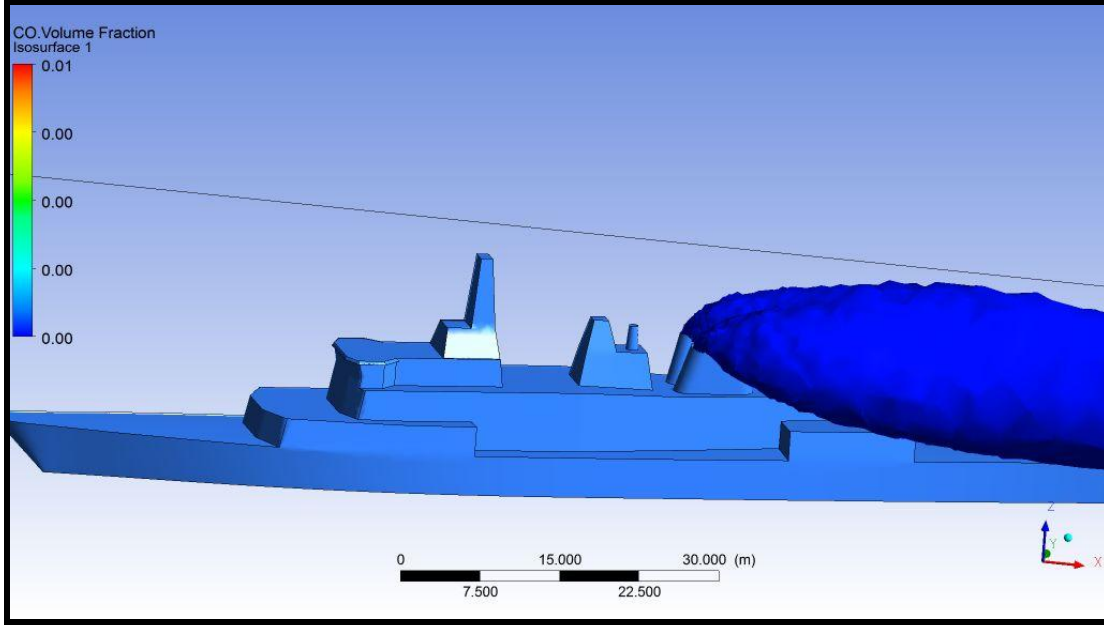
Şekil 6.188 : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=5^0$).



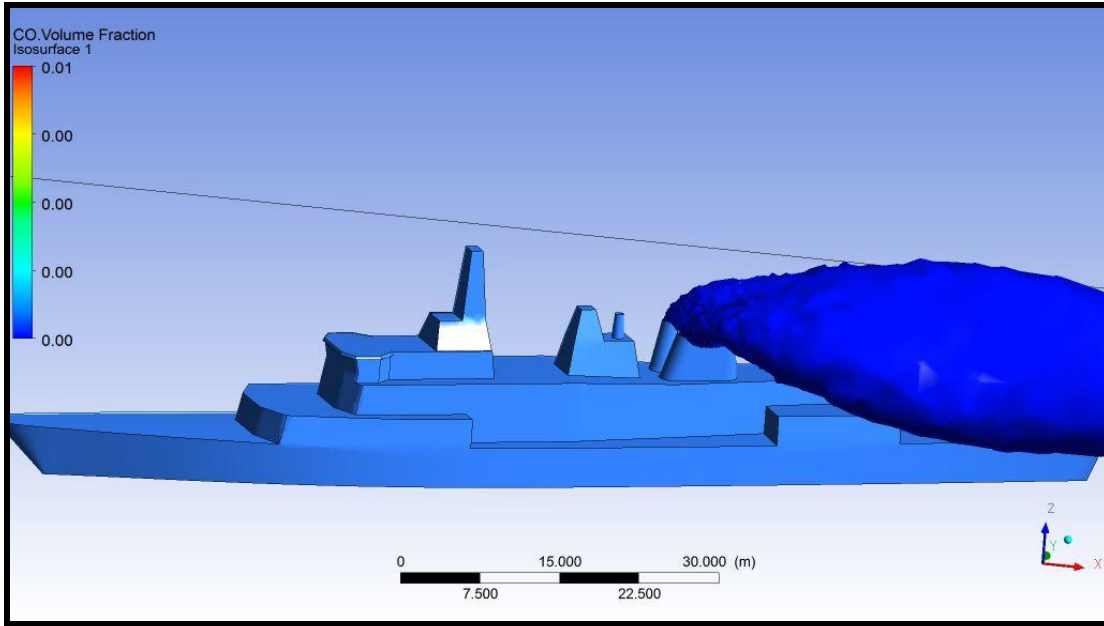
Şekil 6.189 : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=10^0$).



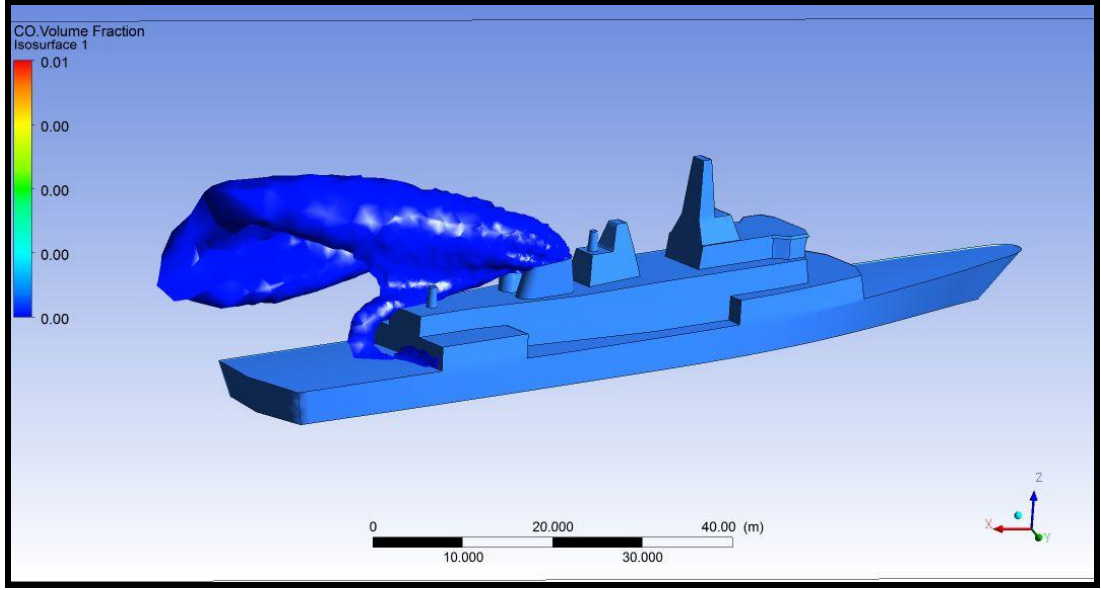
Şekil 6.190 : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=15^0$).



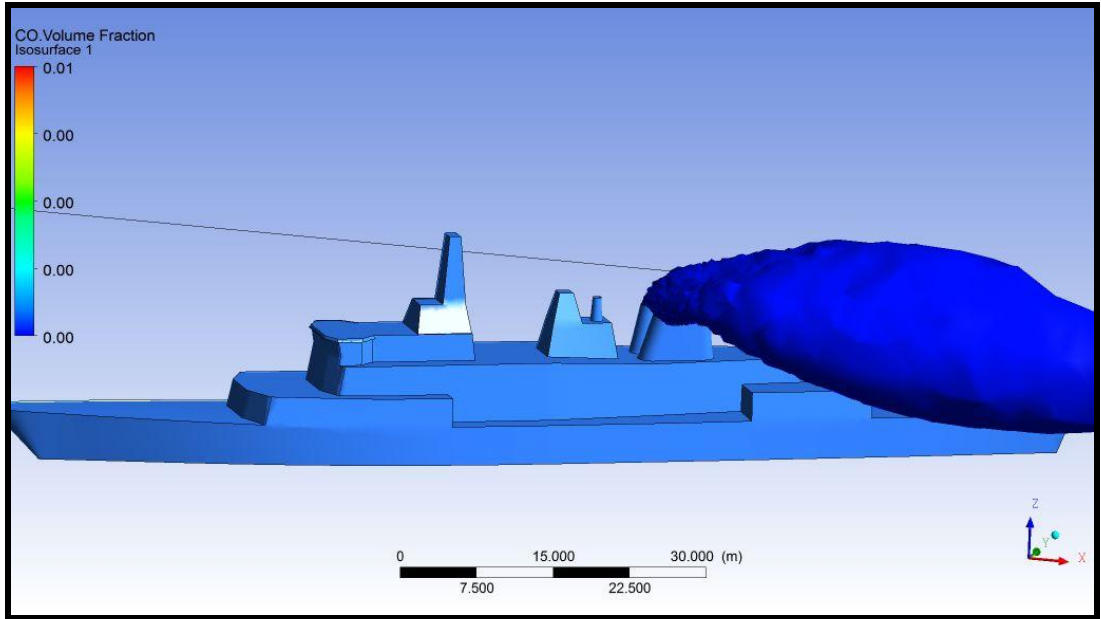
Şekil 6.191 : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=20^\circ$).



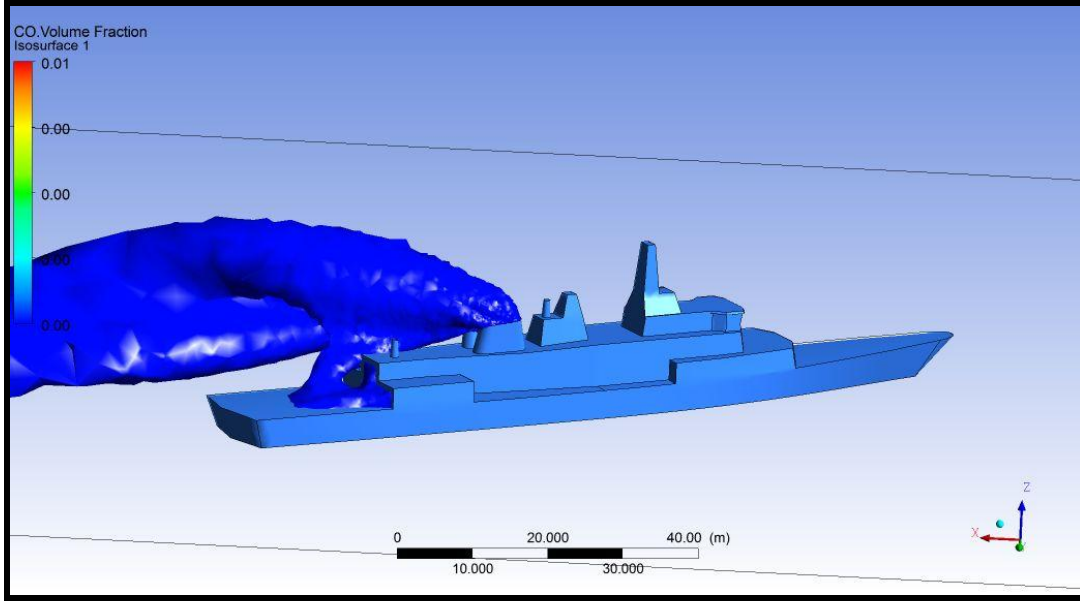
Şekil 6.192 a : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=25^\circ$) (İskele Bordadan Görünüm).



Şekil 6.192 b : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=25^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüm).



Şekil 6.193 a : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=30^\circ$) (İskele Bordadan Görünüm).

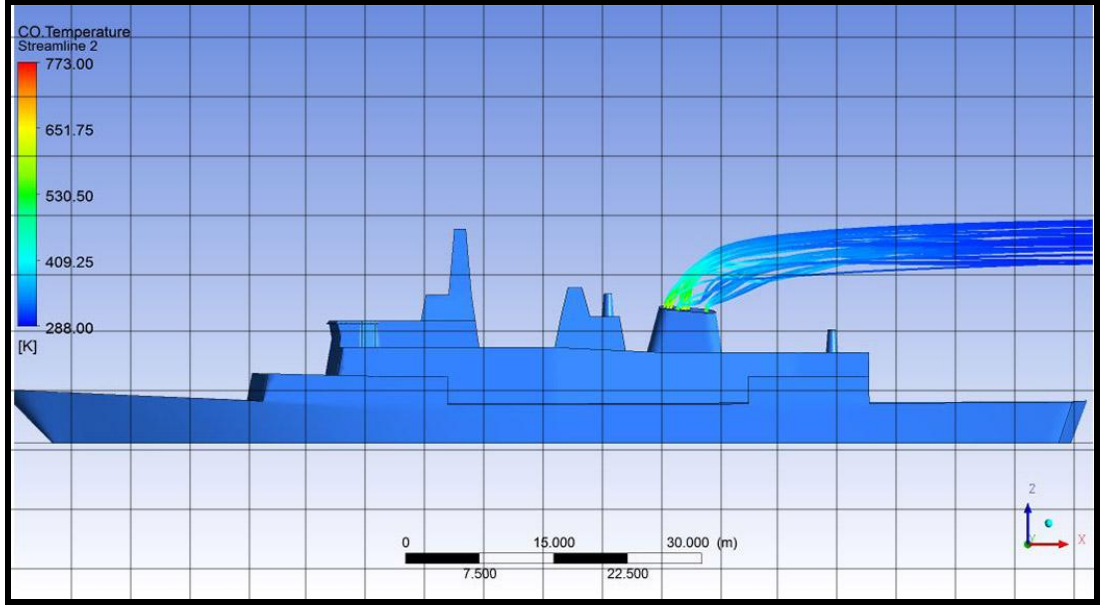


Şekil 6.193 b : Durum-3 için CO yayılımı ($\psi=30^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüm).

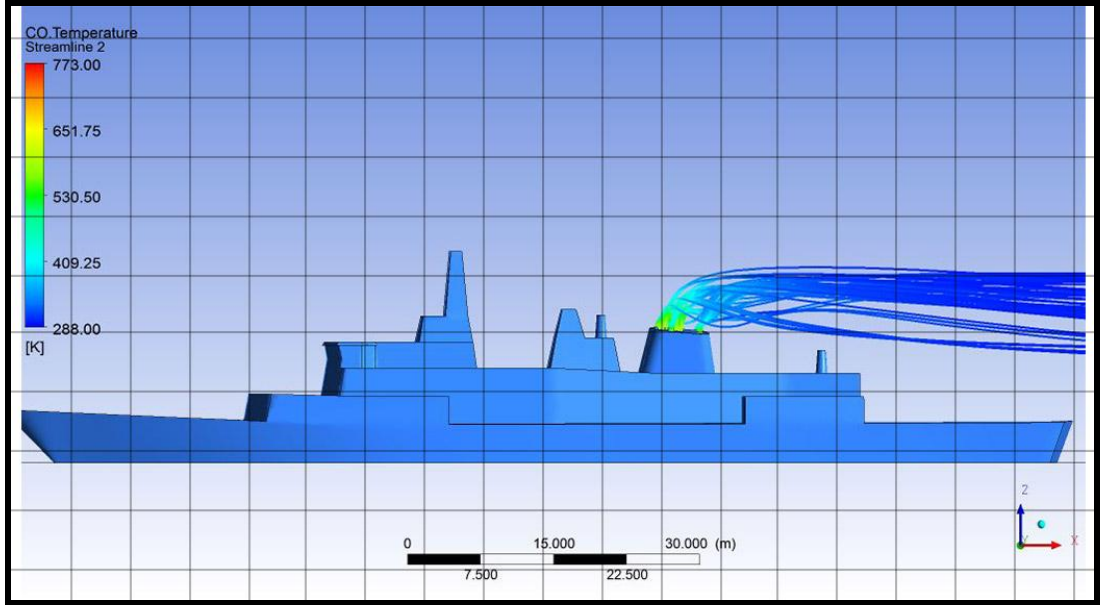
Gemi $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye döndüğünde egzoz gazlarından CO gazının helikopter platformu üzerine düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle $\Psi=15^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda yanma ürünlerinden insan sağlığına zararlı egzoz gaz emisyonlarından CO gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla gazlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ile karşılaşılabileceği değerlendirilmektedir (Şekil 6.191-Şekil 6.193). Şekil 6.192 ve Şekil 6.193’de ise geminin iskele/sancak bordadan görüntüleri yer almaktadır. İskele bordadan gemi üzerine düştüğü görünen CO emisyonları sancak bordadan da helikopter platformuna düştüğü teyit edilmiştir.

6.2.4.5 Sapma açısının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-4)

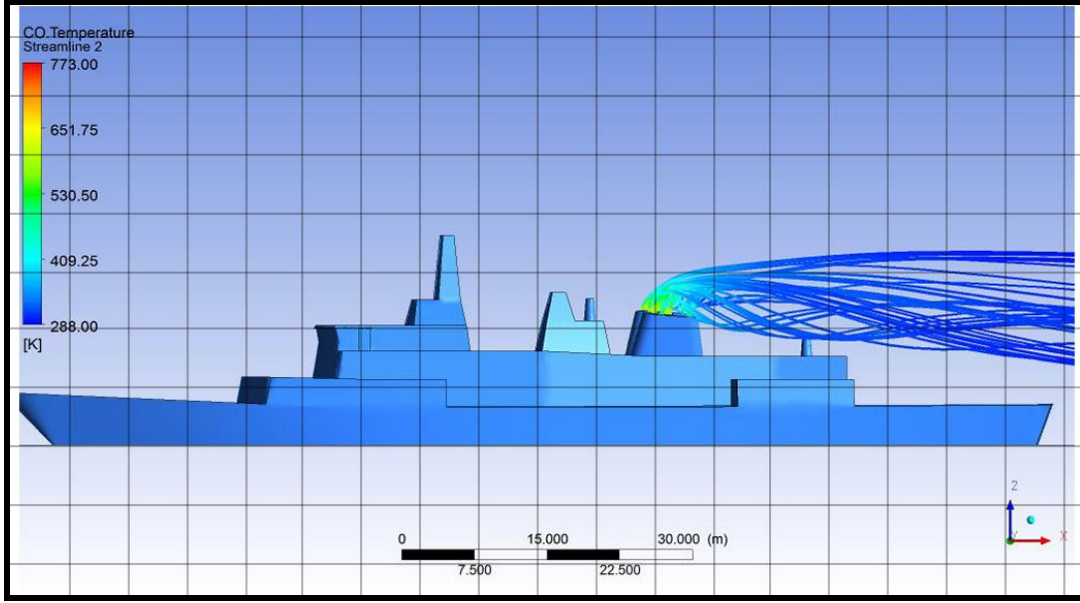
Fırkateyn 20 knot sürat ile ileri yolda giderken, rüzgar baştan 20 knot ile esmektedir. Egzoz çıkış hızı 57 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315°C ’dir. Bu şartlar altında hız oranı $K=2.772$ ’dir. Belirtilen gerçek seyir şartlarında helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynin yönü ve nispi rüzgardan oluşan sapma açısı ($\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30°) değişiminin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri Şekil 6.194- Şekil 6.200’de gösterilmiştir.



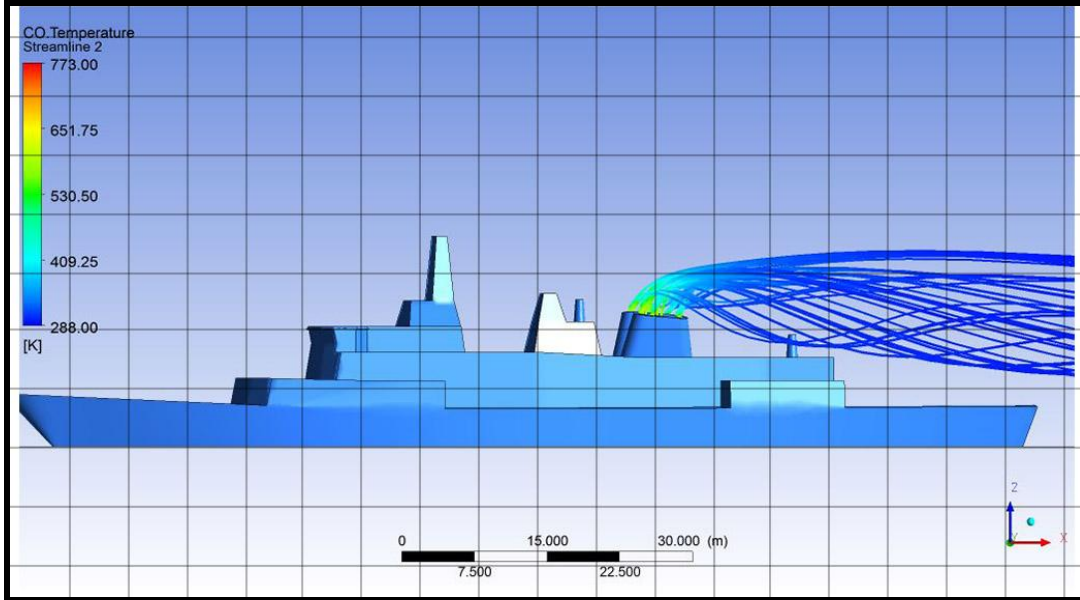
Şekil 6.194 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=0^0$).



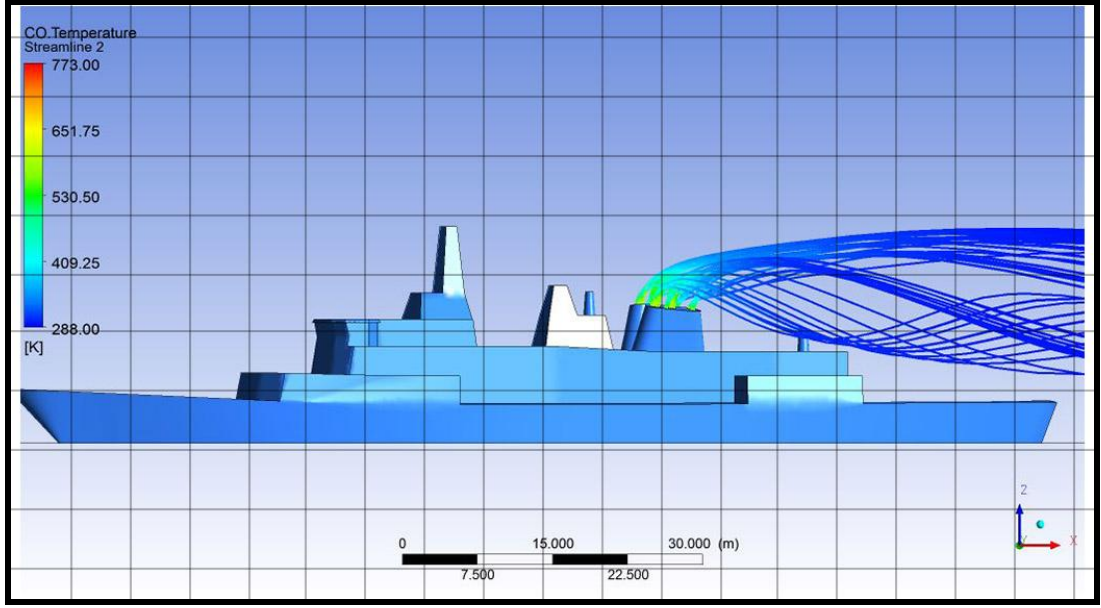
Şekil 6.195 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=5^0$).



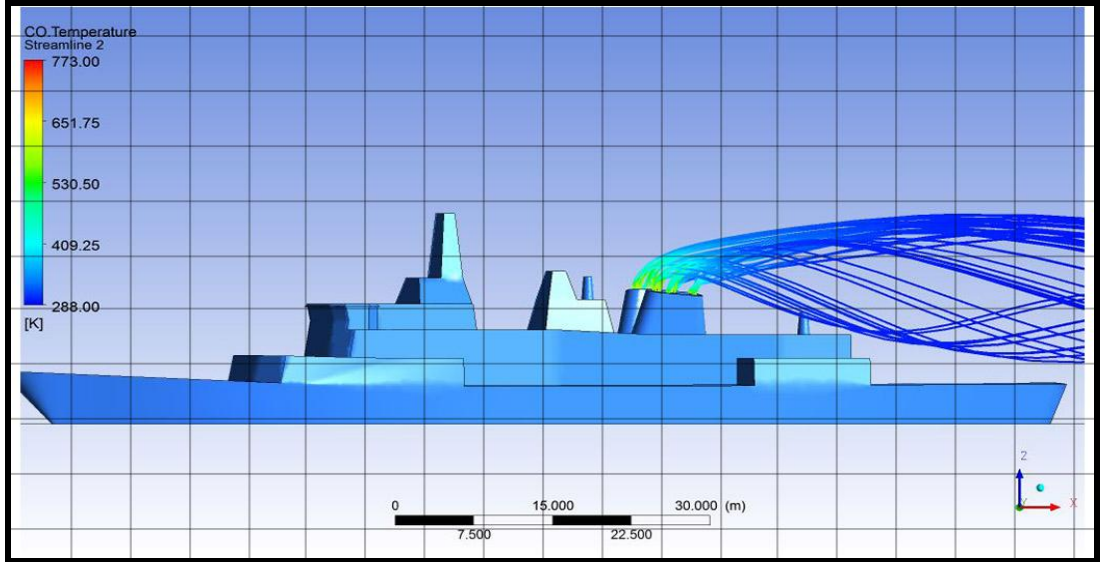
Şekil 6.196 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=10^0$).



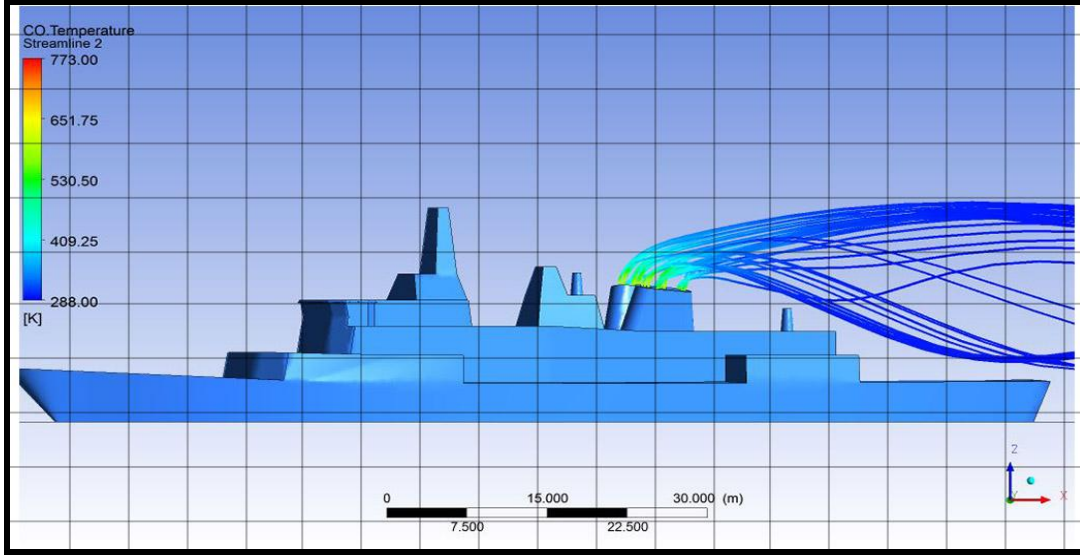
Şekil 6.197 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=15^0$).



Şekil 6.198 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=20^0$).



Şekil 6.199 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=25^0$).

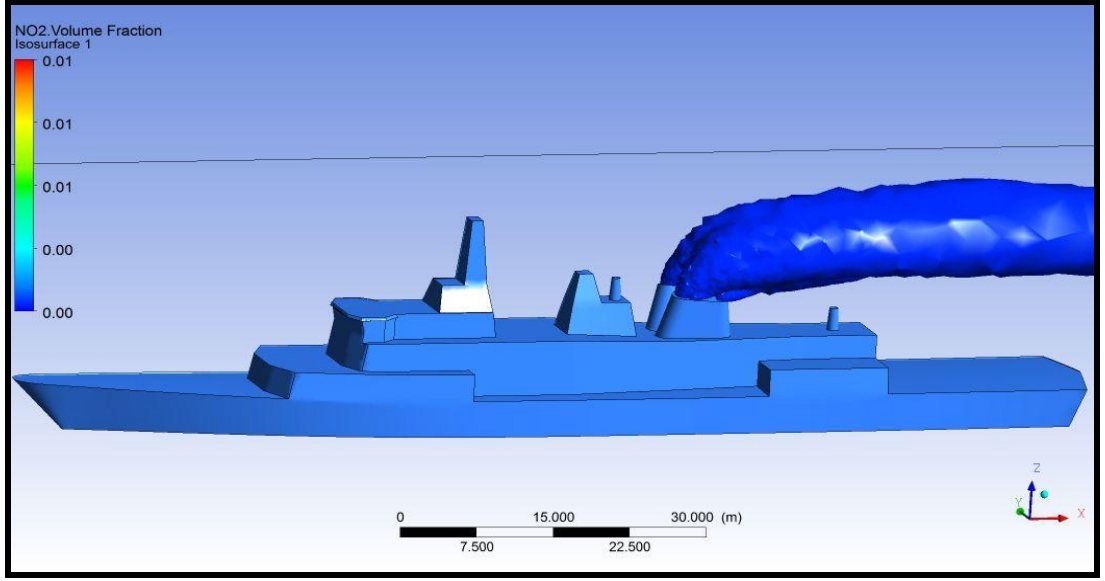


Şekil 6.200 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ($\psi=30^\circ$).

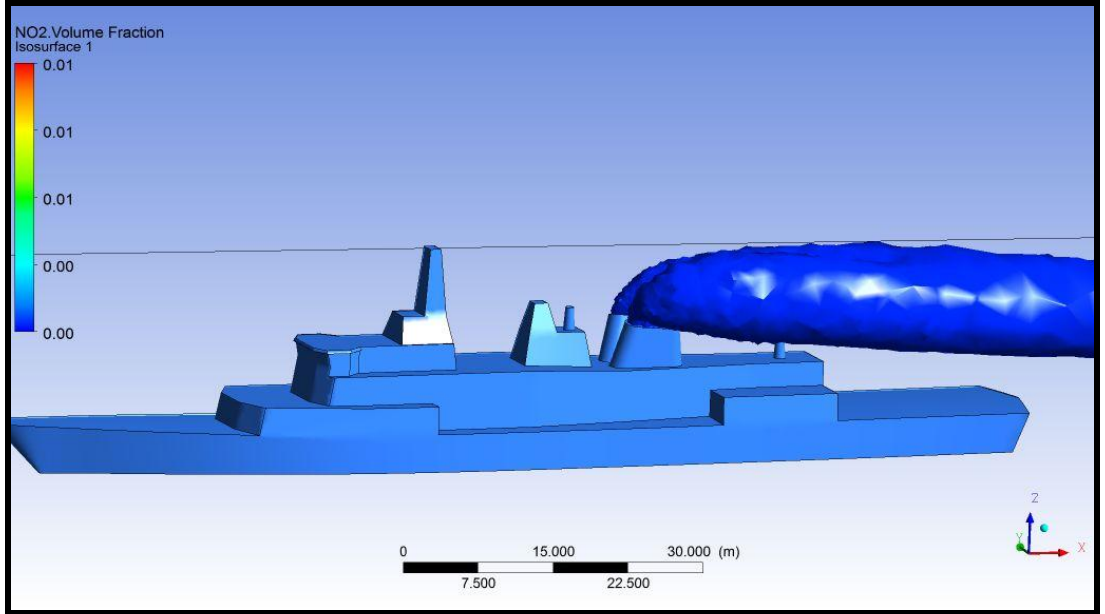
Yukarıdaki sonuçlardan da anlaşılacağı gibi fırkateyn 20 knot sürat ile ileri yolda seyir yaparken, rüzgar baştan 20 knot ile estiğinde egzoz çıkış hızı 57 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315°C iken geminin yönü ve nispi rüzgardan oluşan sapma açısı etkisinin önceki bölümlere (Durum-1 ($K=0.601$) ve Durum-3 ($K=1.32$)) benzer bir şekilde olumsuz yönde olduğu görülmüştür Şekil 6.194- Şekil 6.200). Ancak önceki durumlara göre egzoz gazlarının momentumlarının (Durum-4 ($K=2.772$)) yüksek olduğu da tespit edilmiştir. Fırkateyn $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye döndüğünde ya da rüzgarın belirtilen açılarda geldiği durumlarda egzoz gazlarının helikopter platformu üzerine düştüğü, özellikle $\psi=15^\circ$ ’den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz sıcaklığının baca arkasında bulunan silah sistemlerine zarar verebileceği değerlendirilmektedir (Şekil 6.198-Şekil 6.200). Sapma açısı arttıkça ortaya çıkan olumsuz etkilerden kurtulmak için egzoz gazlarının geminin sınır tabakasının üzerine çıkabilmesi maksadıyla egzoz çıkış hızını arttırarak momentumun daha fazla yükseltilebileceği değerlendirilmektedir.

6.2.4.6 Sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-4)

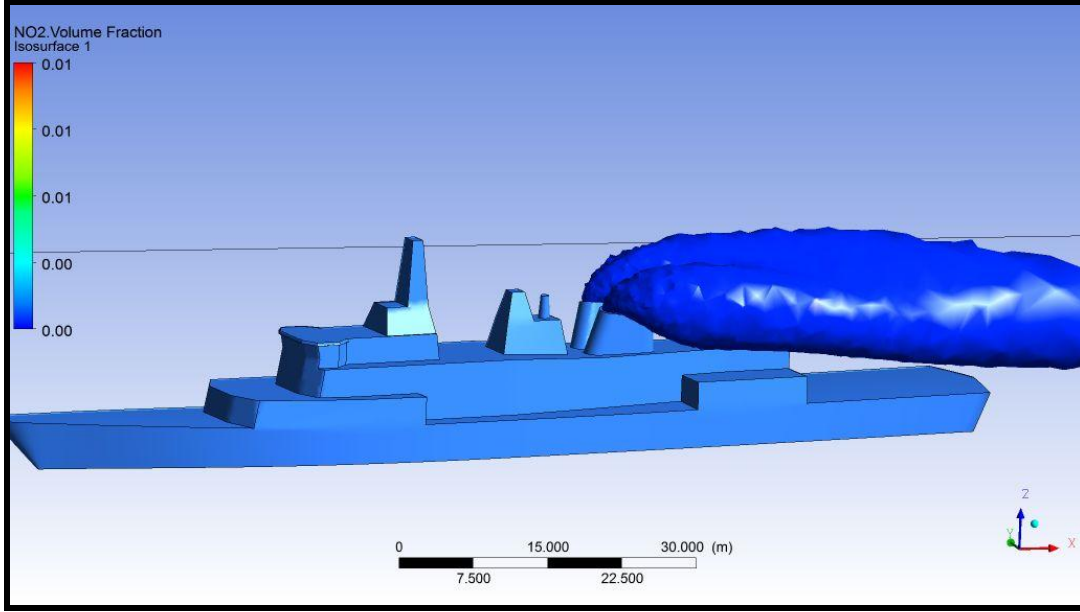
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.00031’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.201- Şekil 6.207’de gösterilmiştir.



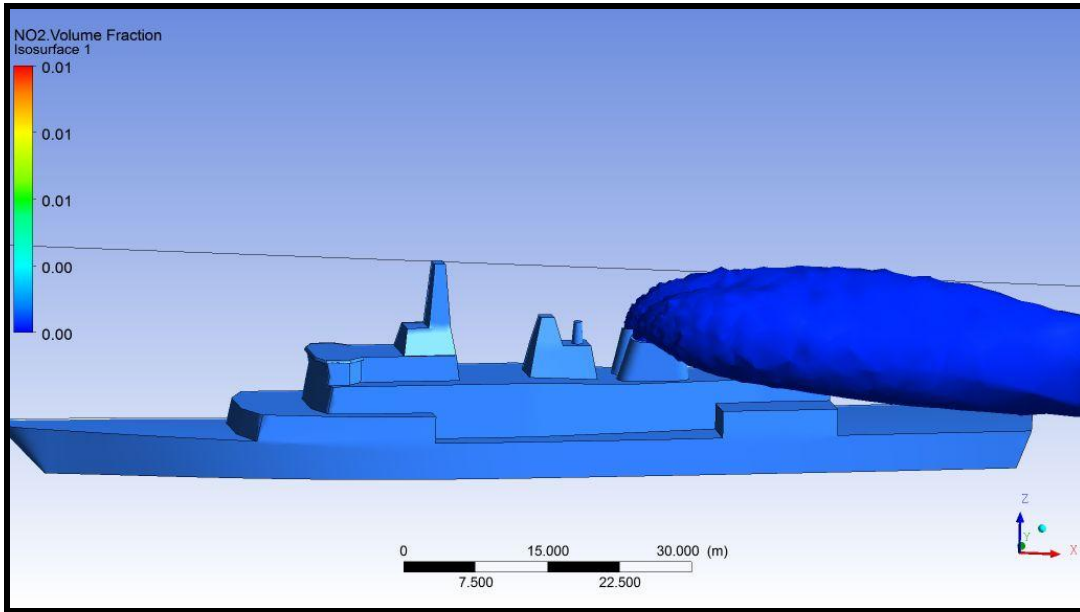
Şekil 6.201 : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=0^0$).



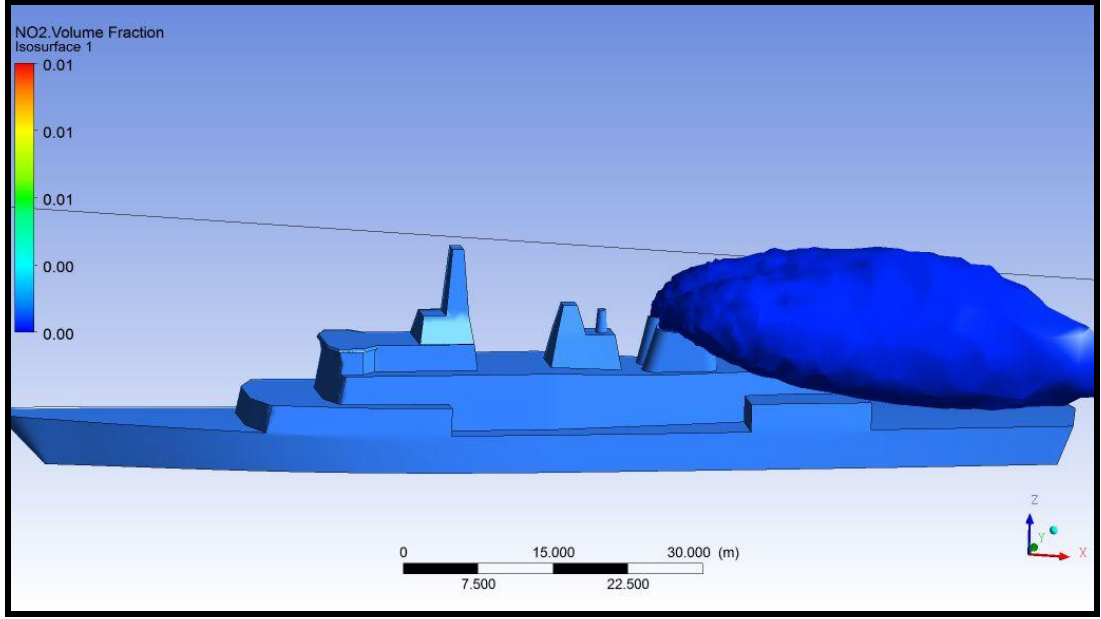
Şekil 6.202 : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=5^0$).



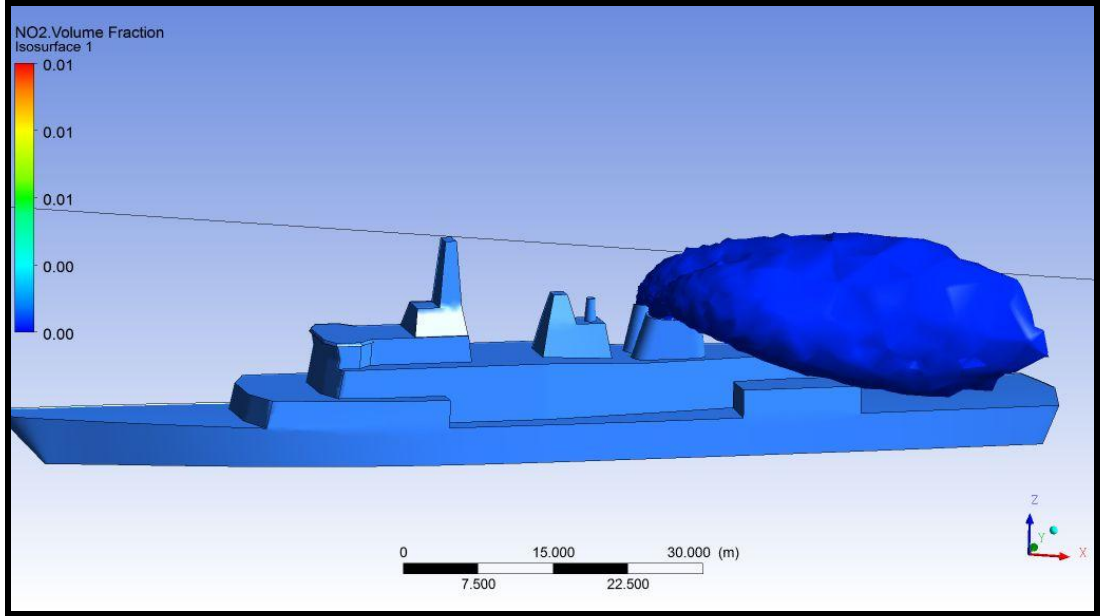
Şekil 6.203 : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=10^0$).



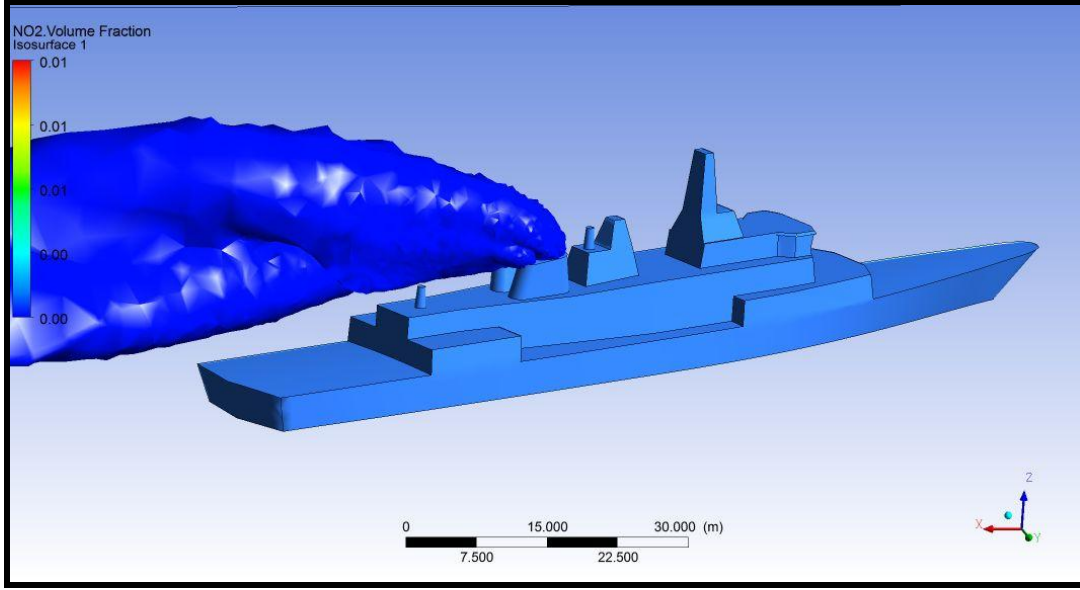
Şekil 6.204 : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=15^0$).



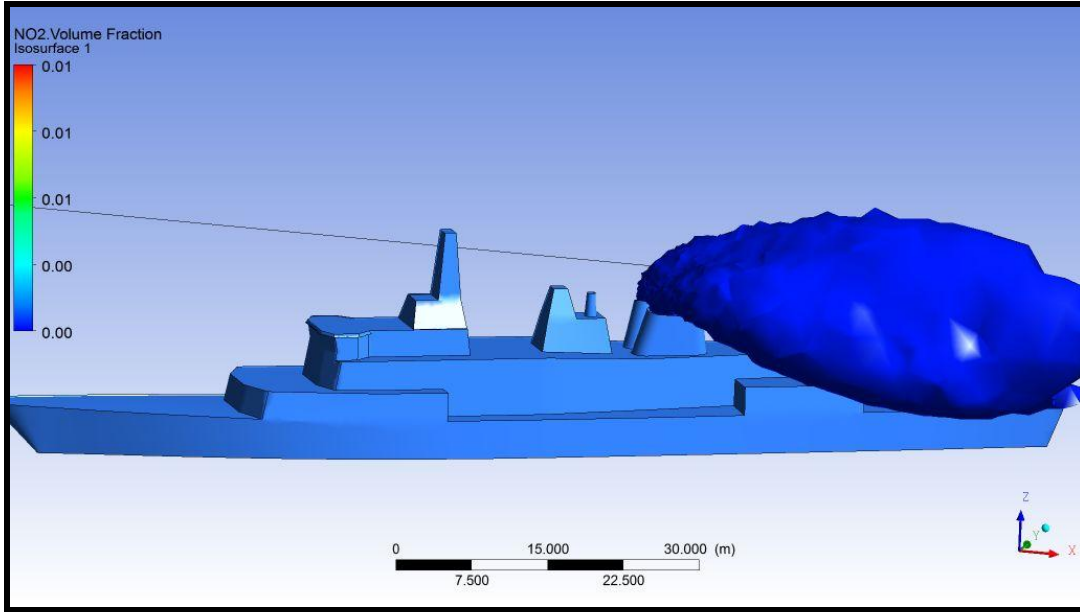
Şekil 6.205 : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=20^\circ$).



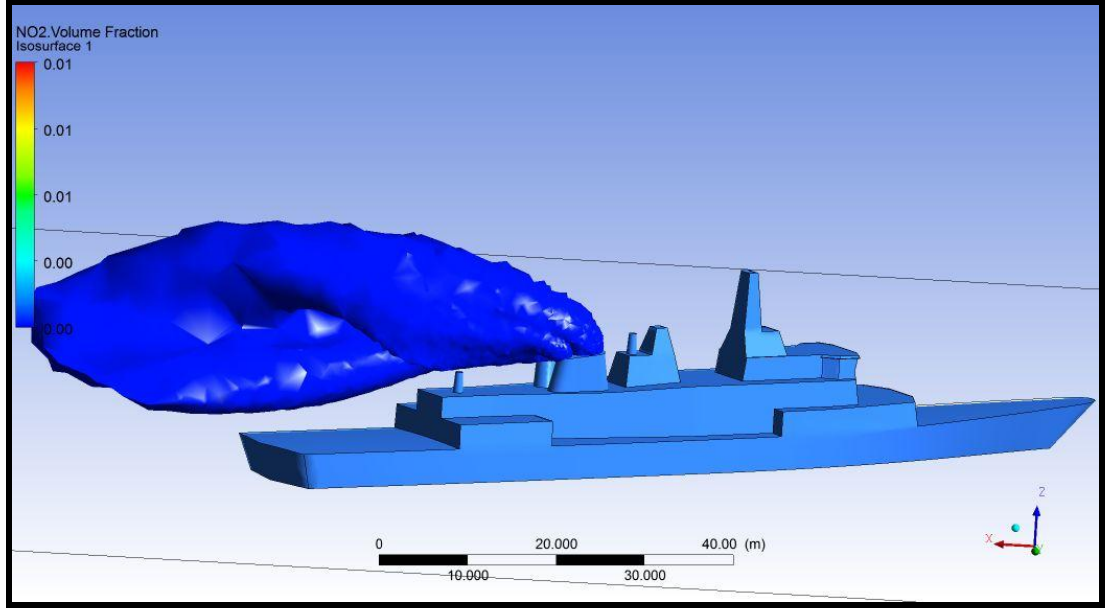
Şekil 6.206 a : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=25^\circ$) (İskele Bordadan Görünüş).



Şekil 6.206 b : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).



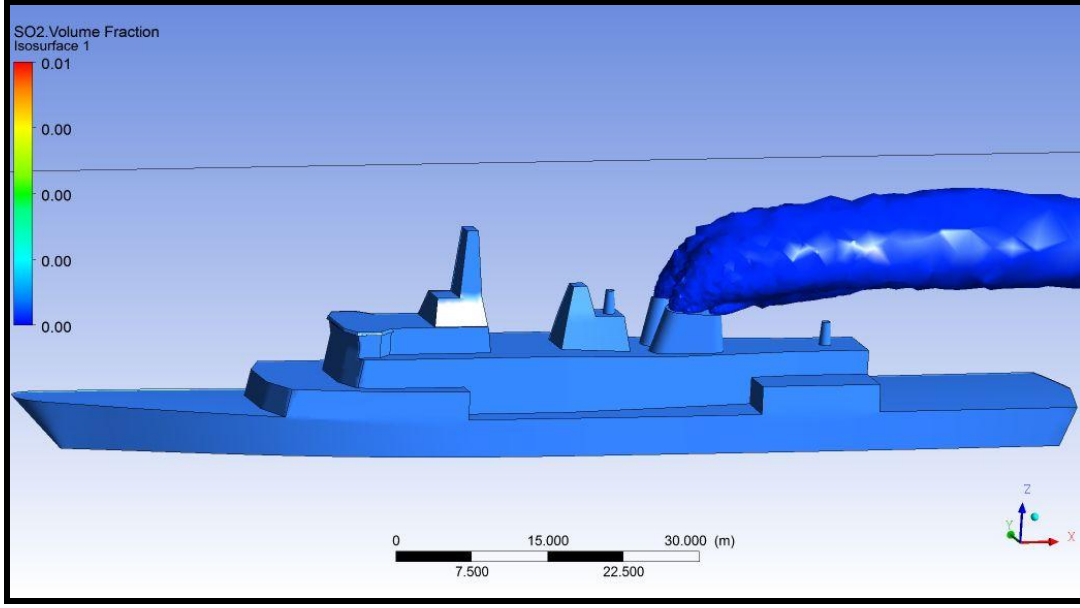
Şekil 6.207 a : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüş).



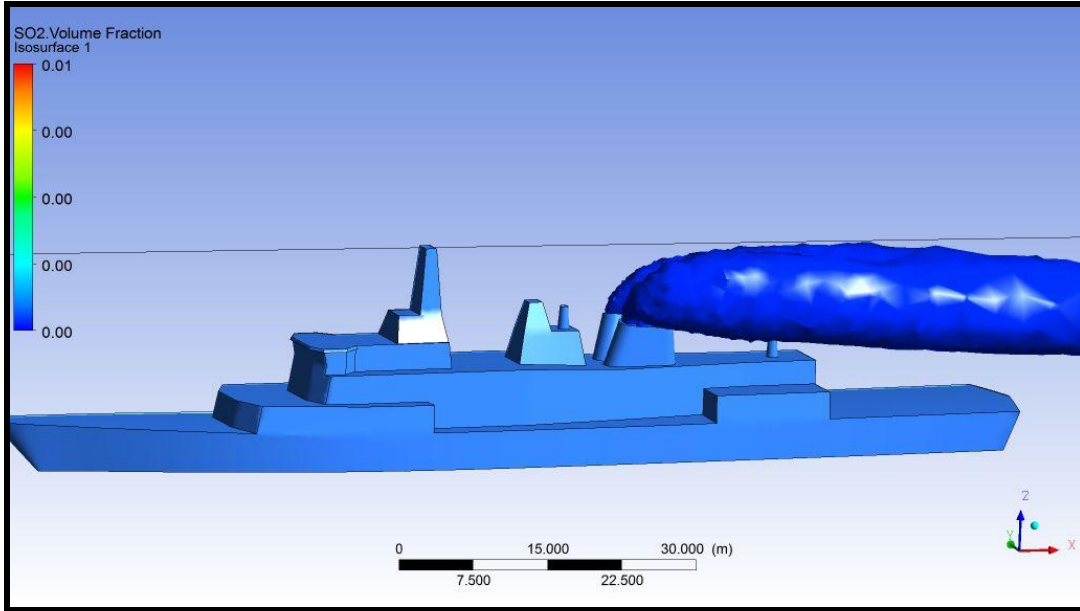
Şekil 6.207 b : Durum-4 için NO_x yayılımı ($\psi=30^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüş).

Fırkateyn $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye döndüğünde ya da rüzgarın belirtilen açılarda geldiği durumlarda egzoz gazlarından NO_x gazının konsantrasyonunun artarak helikopter platformuna yöneldiği tespit edilmiştir. Özellikle $\psi=10^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda yanma ürünlerinden insan sağlığına en zararlı egzoz gaz emisyonlarından NO_x gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna yöneldiği ancak platform üzerine düşmediği görülmüştür (Şekil 6.204- Şekil 6.207). Şekil 6.206 ve Şekil 6.207 (a) ve (b) incelendiğinde ise sapma açısı $\psi=25^\circ$ ile $\psi=30^\circ$ için iskele bordadan bakıldığında helikopter platformuna düştüğü görülen NO_x gazlarının aslında denize yöneldiği görülmektedir (Şekil 6.206- Şekil 6.207). Dolayısıyla bu durum için egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olmasından ötürü olumsuz bir etkinin oluşmayacağı değerlendirilmektedir.

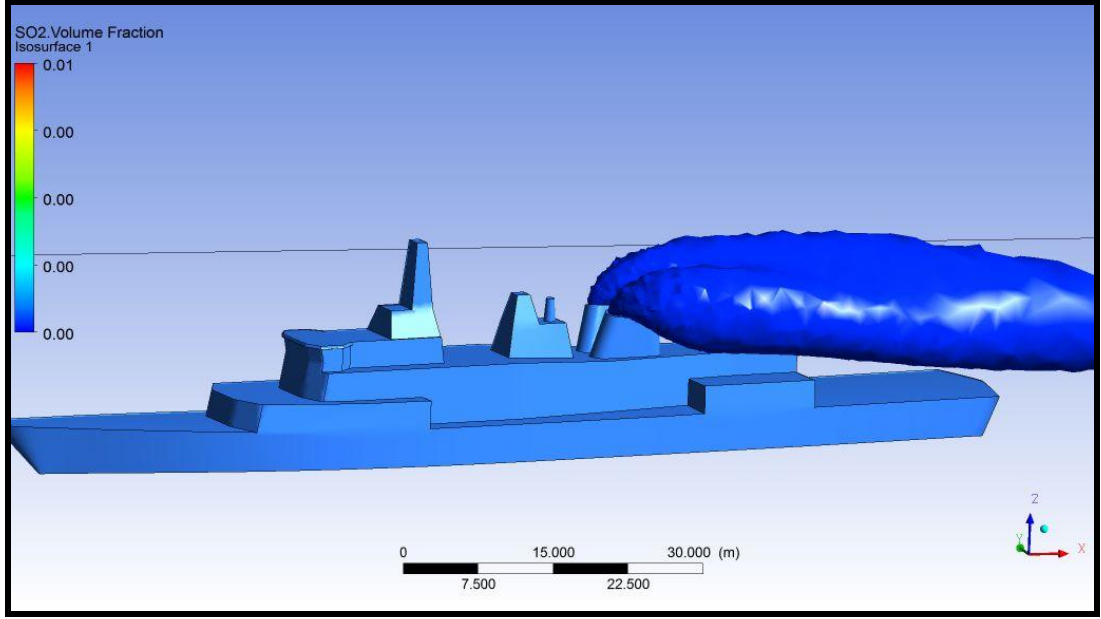
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.000161’u aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.208- Şekil 6.214’de gösterilmiştir.



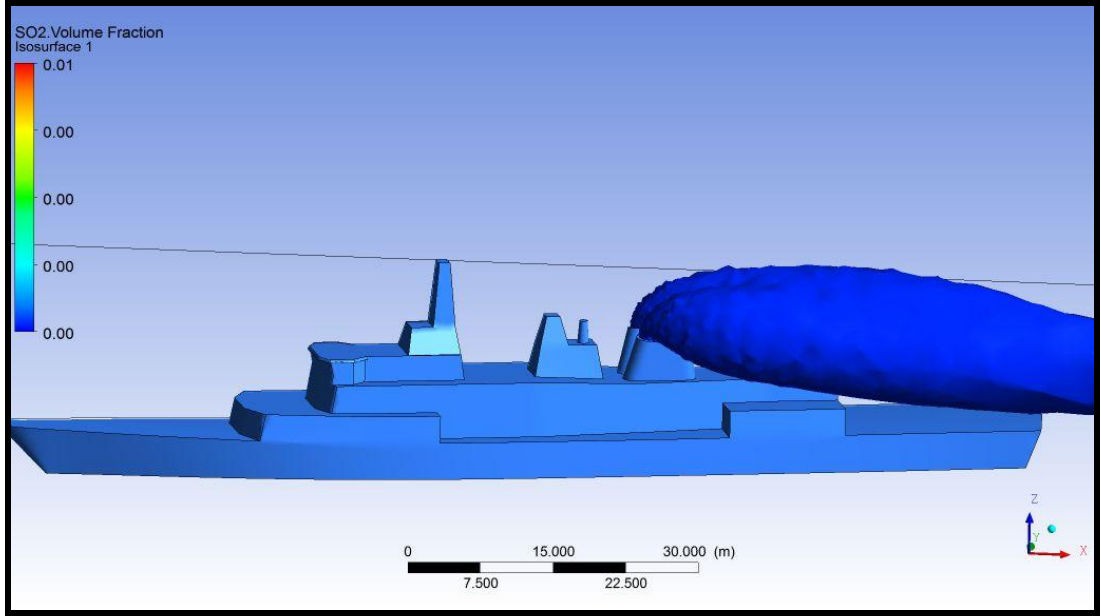
Şekil 6.208 : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=0^0$).



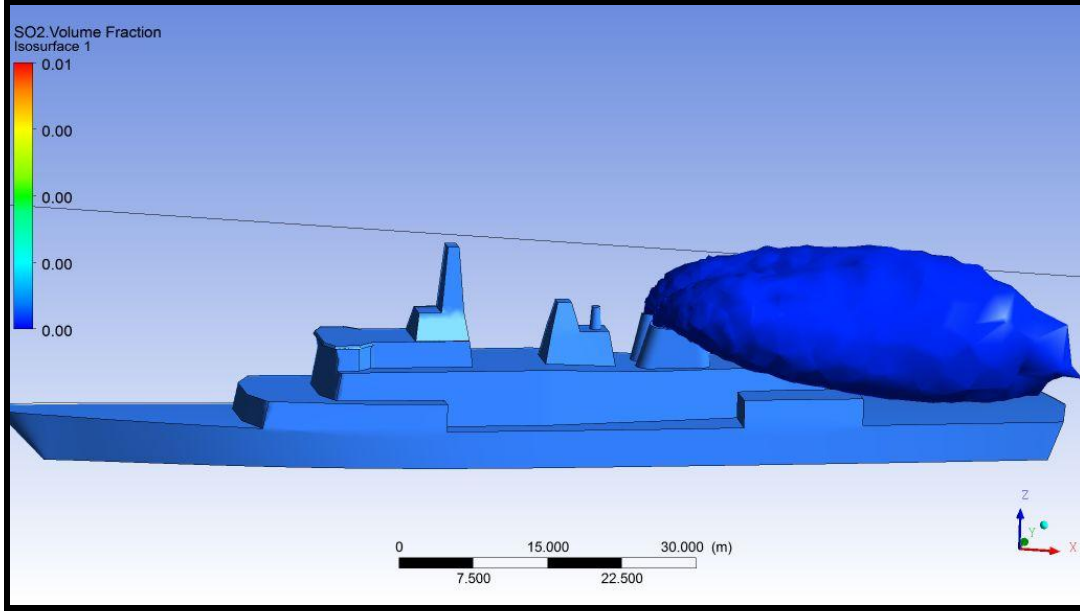
Şekil 6.209 : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=5^0$).



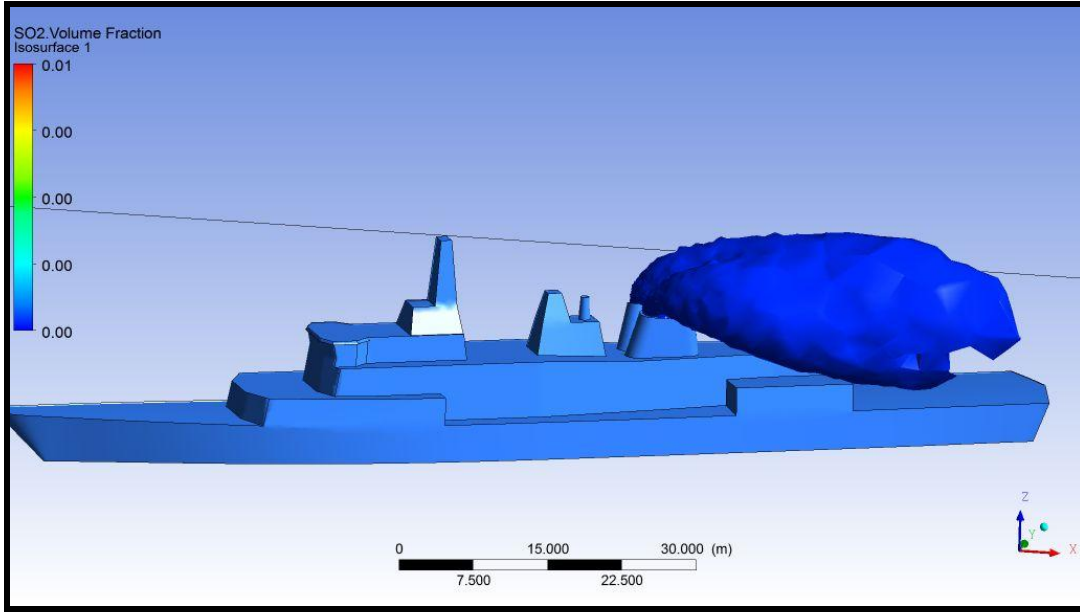
Şekil 6.210 : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=10^0$).



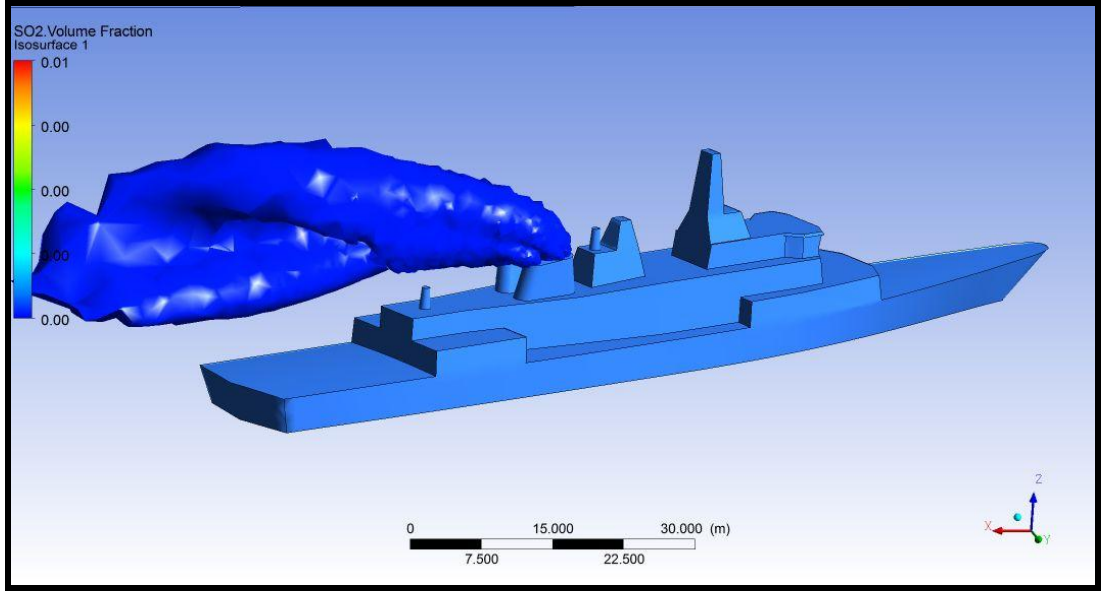
Şekil 6.211 : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=15^0$).



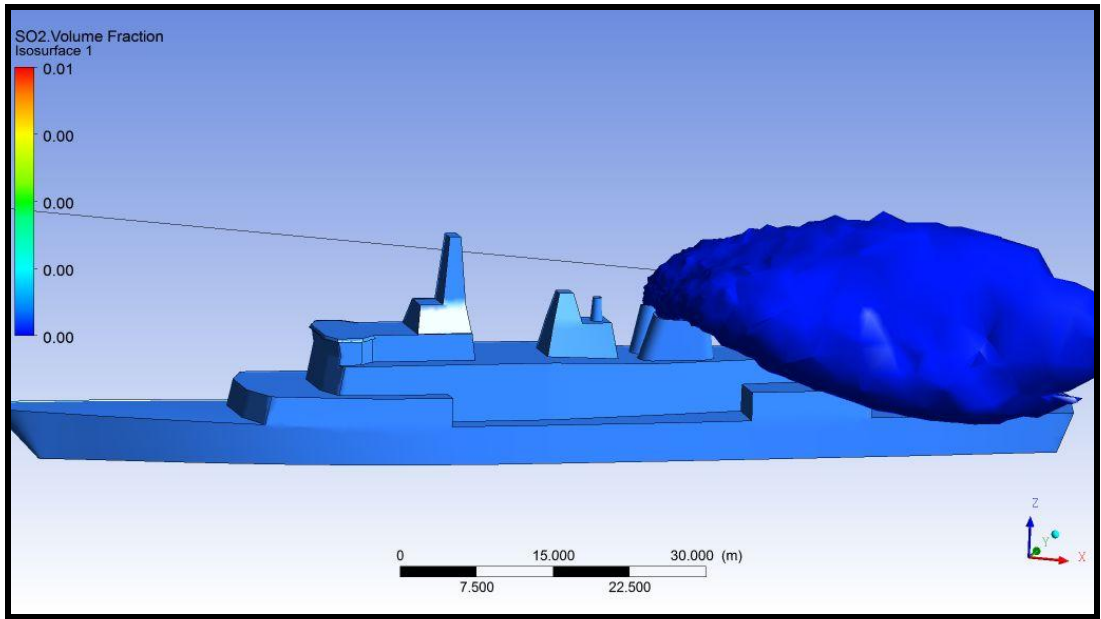
Şekil 6.212 : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=20^0$).



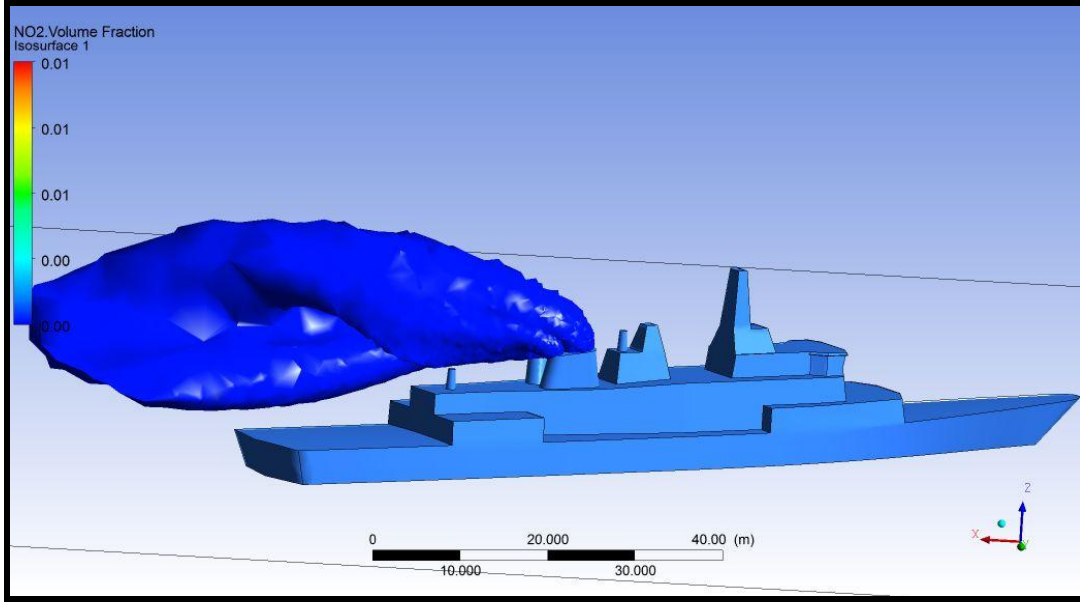
Şekil 6.213 a : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüş).



Şekil 6.213 b : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=25^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüş).



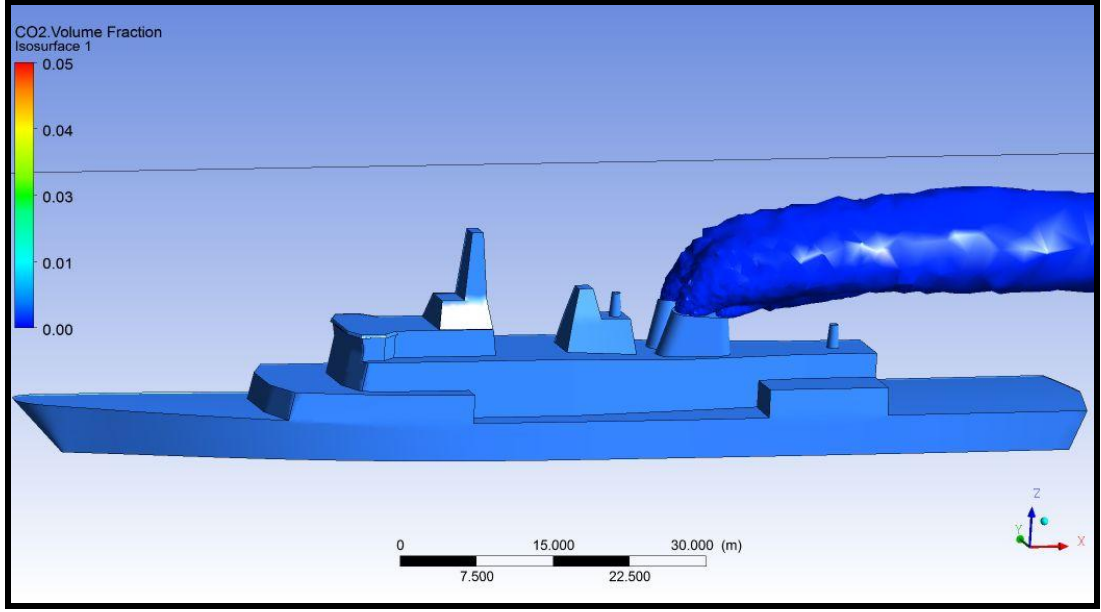
Şekil 6.214 a : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=30^\circ$) (İskele Bordadan Görünüş).



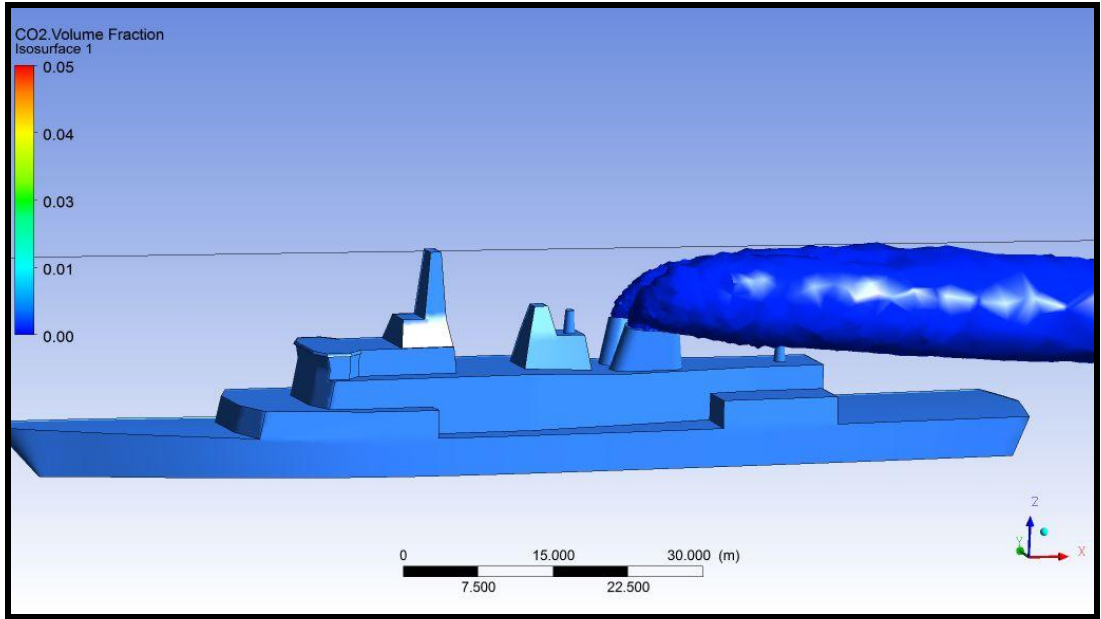
Şekil 6.214 b : Durum-4 için SO_x yayılımı ($\psi=30^\circ$). (Sancak Bordadan Görünüş).

Fırkateyn $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye döndüğünde ya da rüzgarın belirtilen açılarda geldiği durumlarda egzoz gazlarından SO_x gazının konsantrasyonunun artarak helikopter platformuna yöneldiği tespit edilmiştir. Özellikle $\psi=10^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda yanma ürünlerinden insan sağlığına zararlı egzoz gaz emisyonlarından SO_x gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna yöneldiği ancak platforma düşmediği görülmektedir (Şekil 6.211- Şekil 6.214). Şekil 6.213 ve Şekil 6.214 (a) ve (b) incelendiğinde ise sapma açısı $\psi=25^\circ$ ile $\psi=30^\circ$ için iskele bordadan bakıldığında helikopter platformuna düştüğü görülen SO_x gazlarının aslında denize yönlendiği görülmektedir. Dolayısıyla bu durum için de egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olmasından ötürü olumsuz bir etkinin oluşmayacağı değerlendirilmektedir.

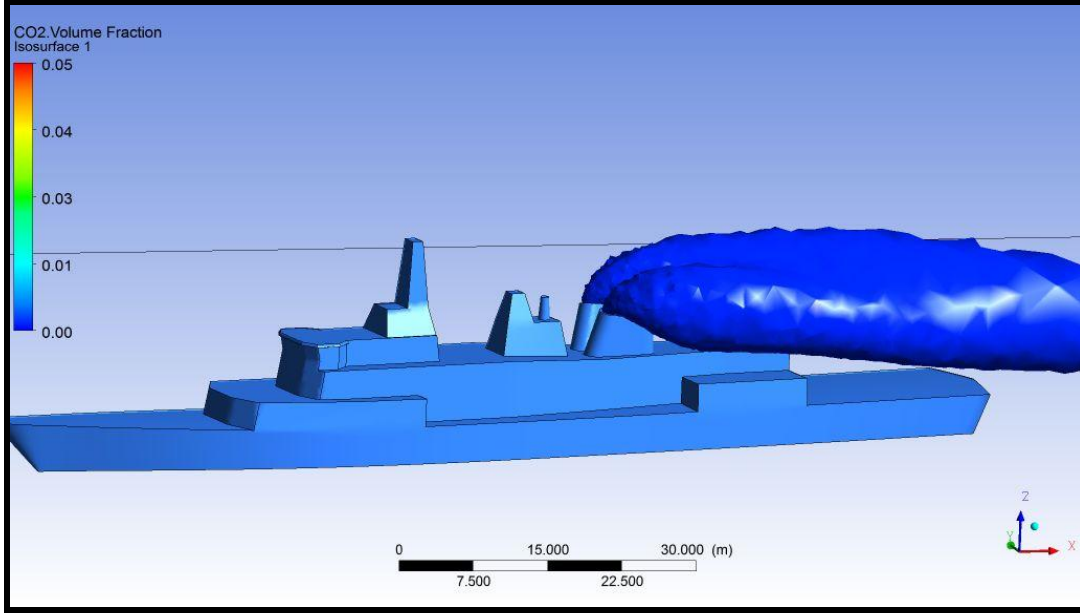
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.00145’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.215- Şekil 6.221’de gösterilmiştir.



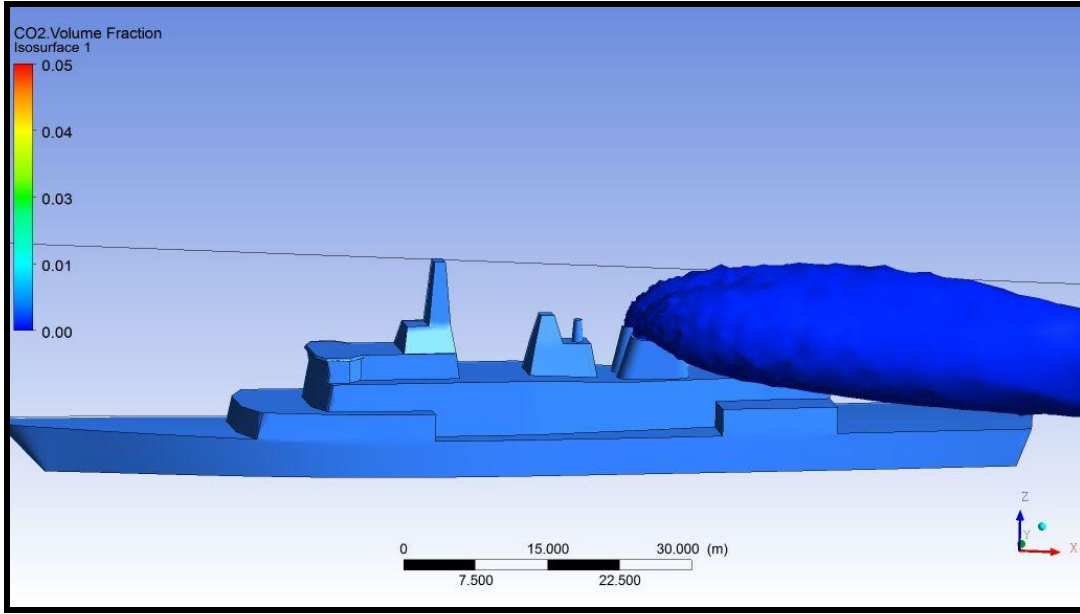
Şekil 6.215 : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=0^0$).



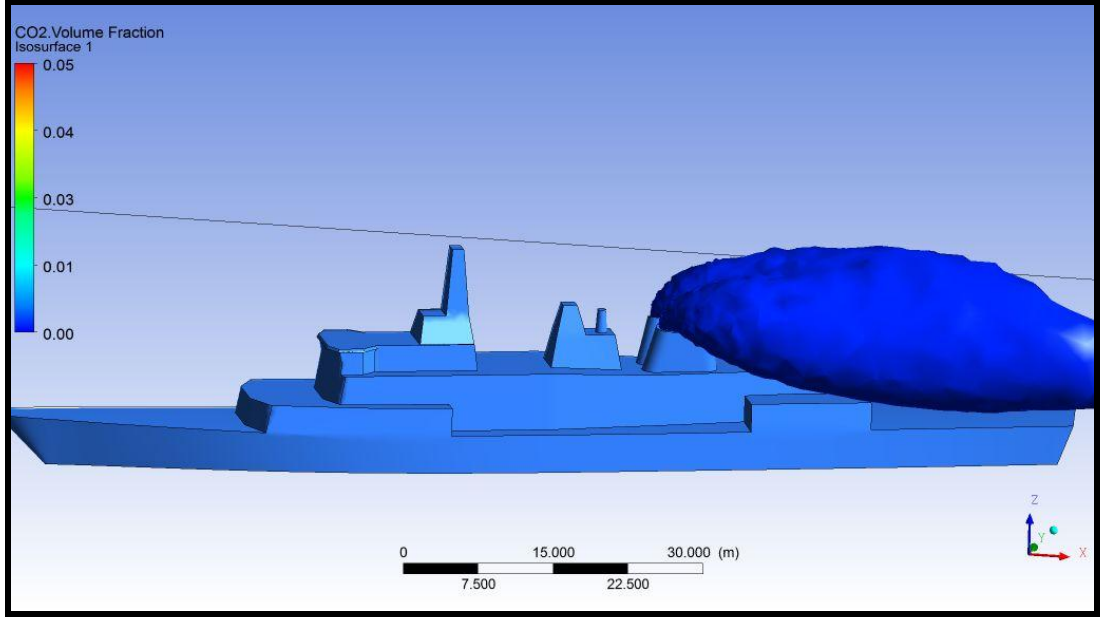
Şekil 6.216 : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=5^0$).



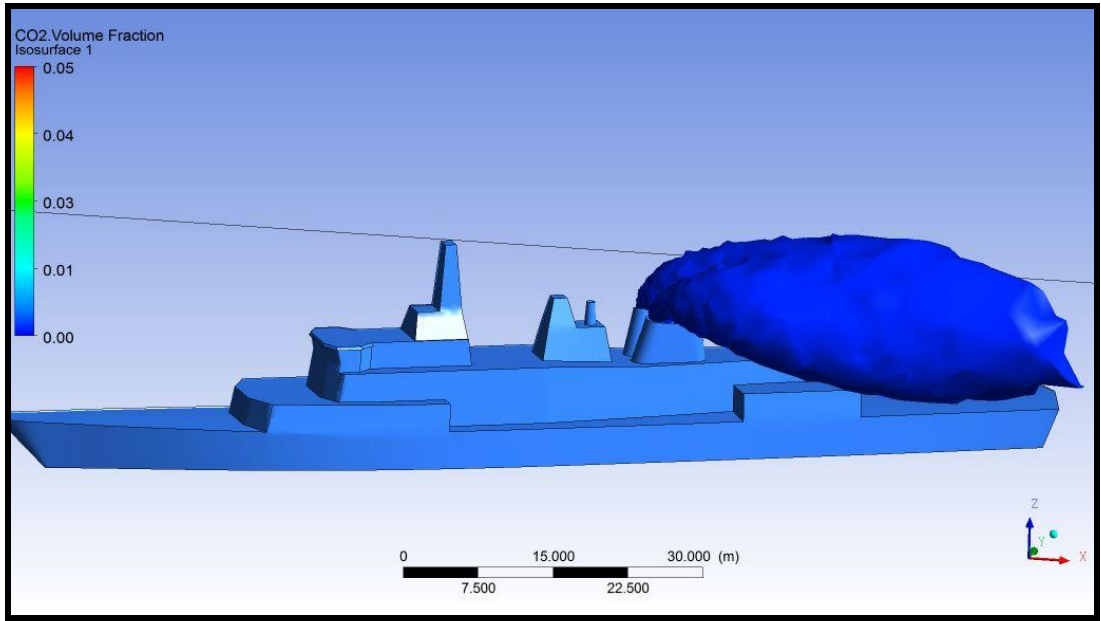
Şekil 6.217 : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=10^0$).



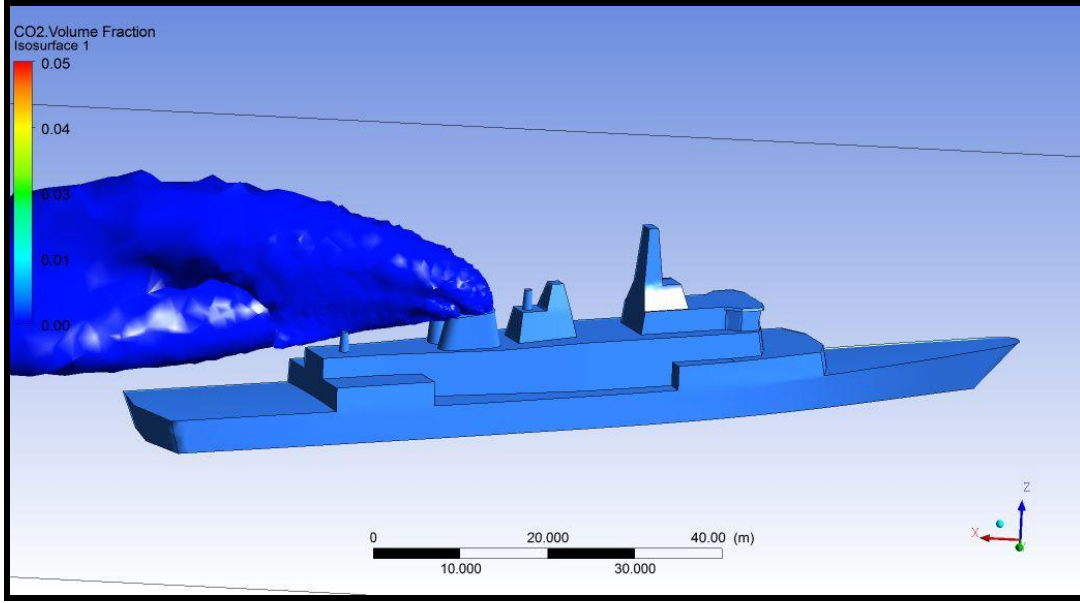
Şekil 6.218 : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=15^0$).



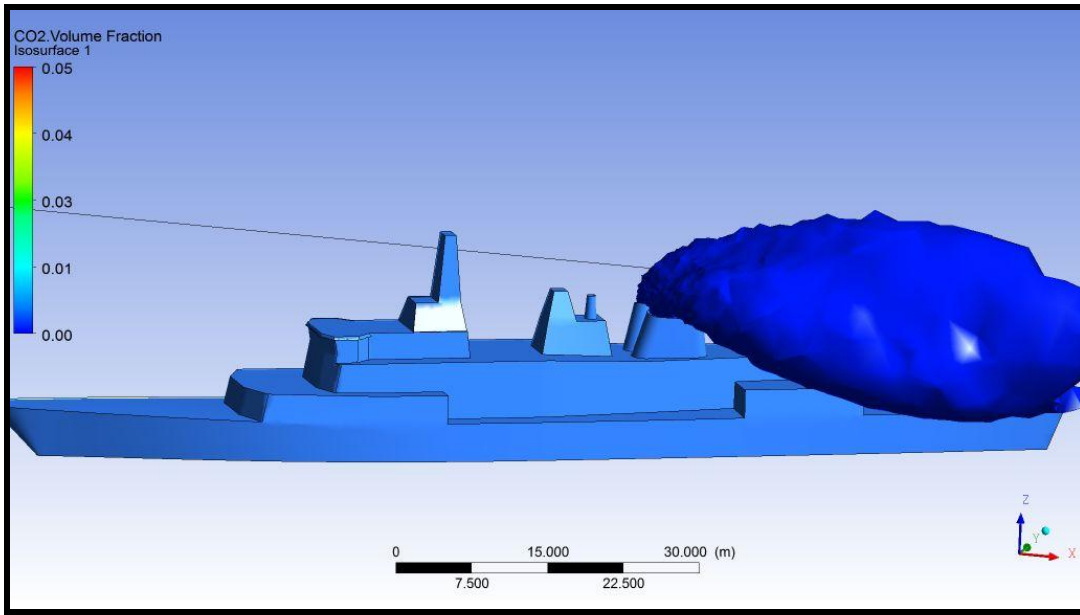
Şekil 6.219 : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=20^0$).



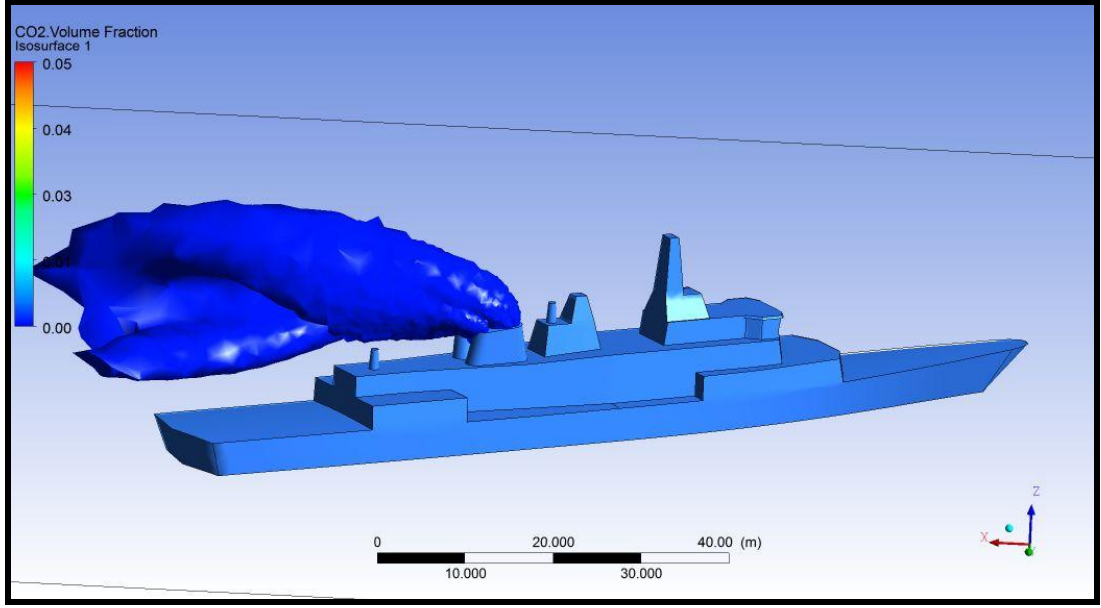
Şekil 6.220 a : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=25^0$) (İskele Bordadan Görünüş).



Şekil 6.220 b : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=25^0$) (Sancak Bordadan Görünüş).



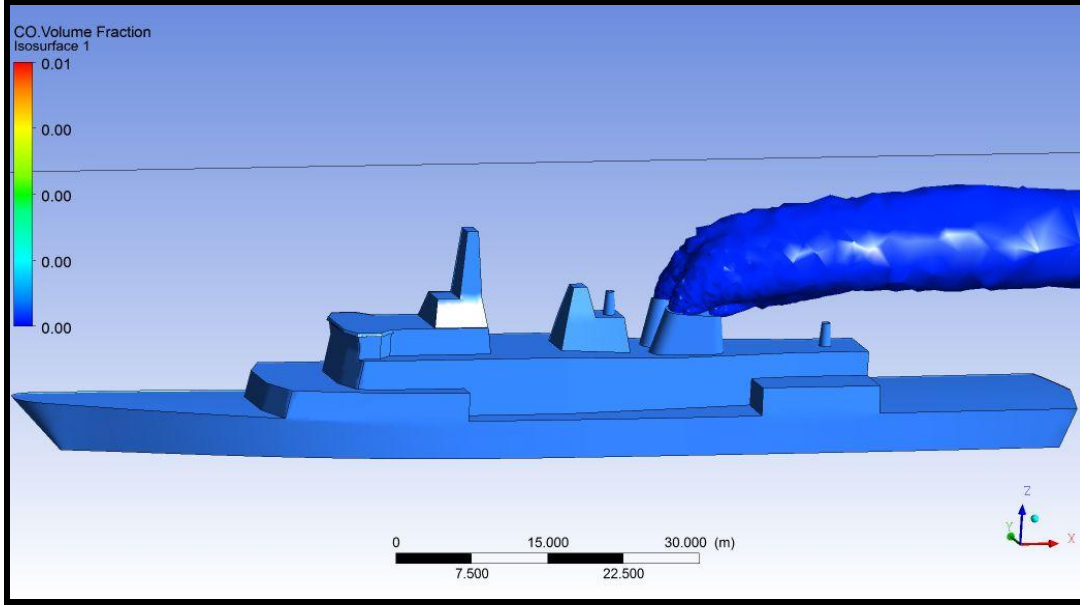
Şekil 6.221 a : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=30^0$) (İskele Bordadan Görünüş).



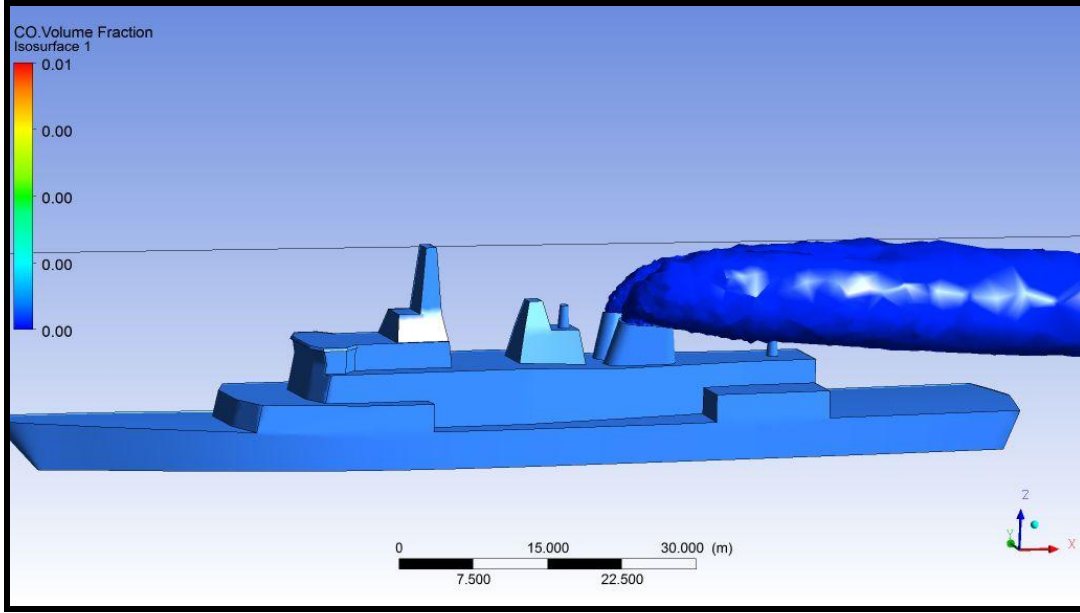
Şekil 6.221 b : Durum-4 için CO₂ yayılımı ($\psi=30^\circ$) (Sancak Bordadan Görünüş).

Fırkateyn $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye döndüğünde ya da rüzgarın belirtilen açılarda geldiği durumlarda egzoz gazlarından CO₂ gazının konsantrasyonunun artarak helikopter platformuna yöneldiği tespit edilmiştir. Özellikle $\psi=10^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda yanma ürünlerinden insan sağlığına zararlı egzoz emisyonlarından CO₂ gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna yöneldiği ancak platforma düşmediği görülmektedir (Şekil 6.218- Şekil 6.221). Şekil 6.220 ve Şekil 6.221 (a) ve (b) incelendiğinde ise $\psi=25^\circ$ ile $\psi=30^\circ$ sapma açısı için iskele bordadan bakıldığında helikopter platformuna düştüğü görülen CO₂ gazlarının aslında denize yönlendiği görülmektedir. Dolayısıyla bu durum için de egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olmasından ötürü olumsuz bir etkinin oluşmayacağı değerlendirilmektedir.

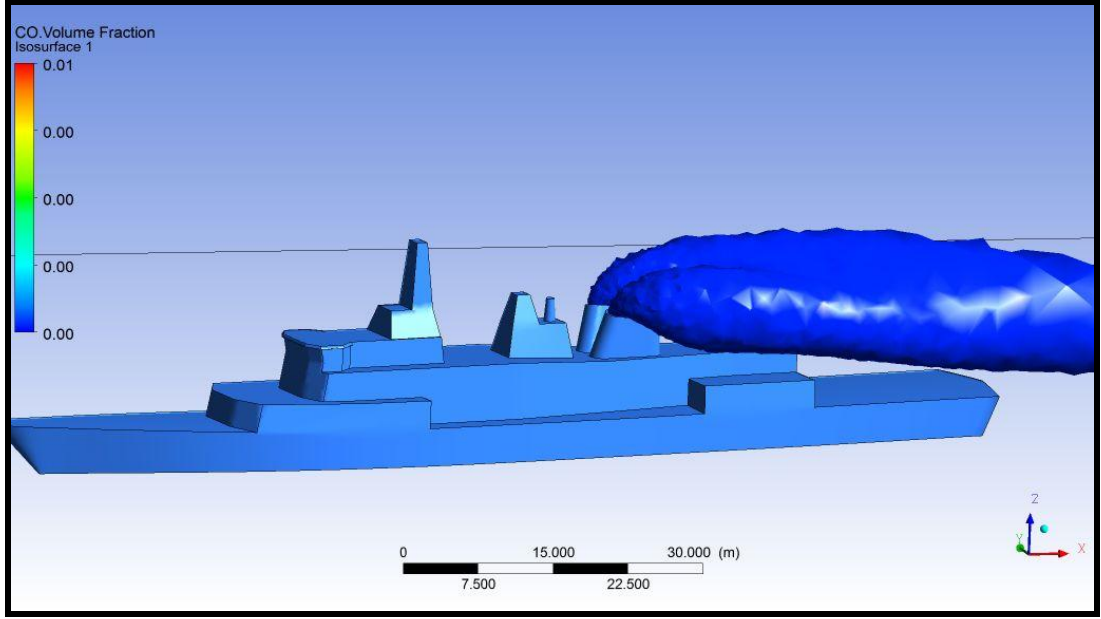
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) sapma açısı $\Psi=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ ve 30° değiştiğinde bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.000145’i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.222- Şekil 6.228’de gösterilmiştir.



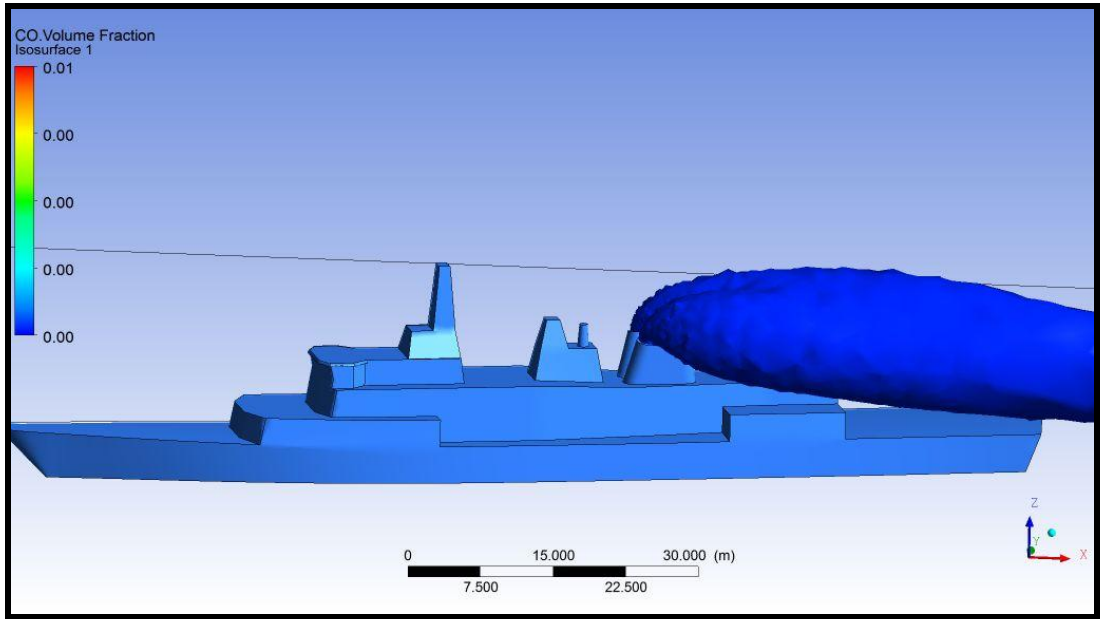
Şekil 6.222 : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=0^0$).



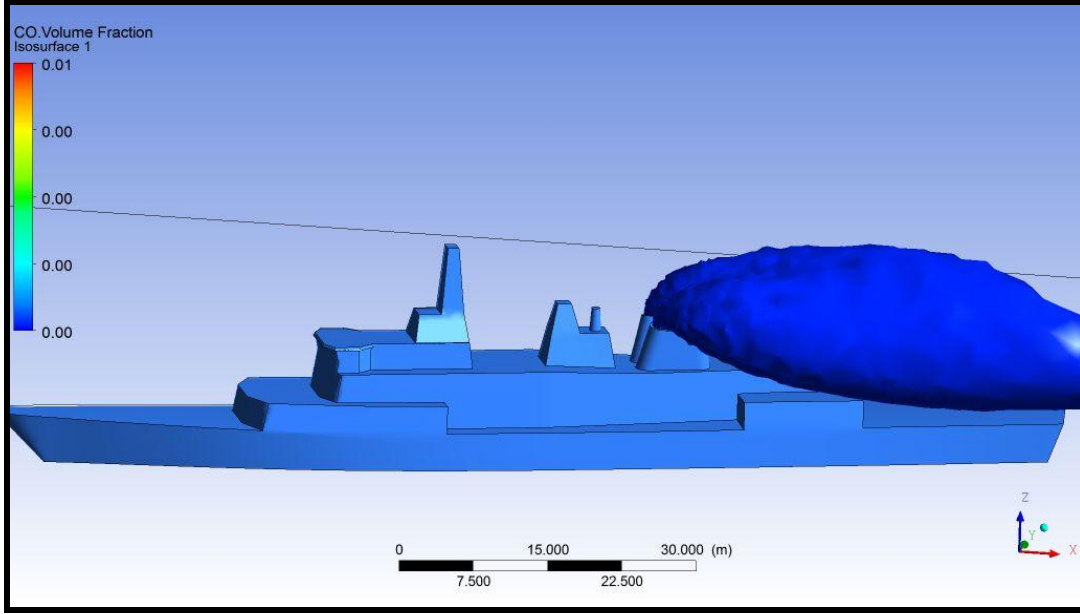
Şekil 6.223 : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=5^0$).



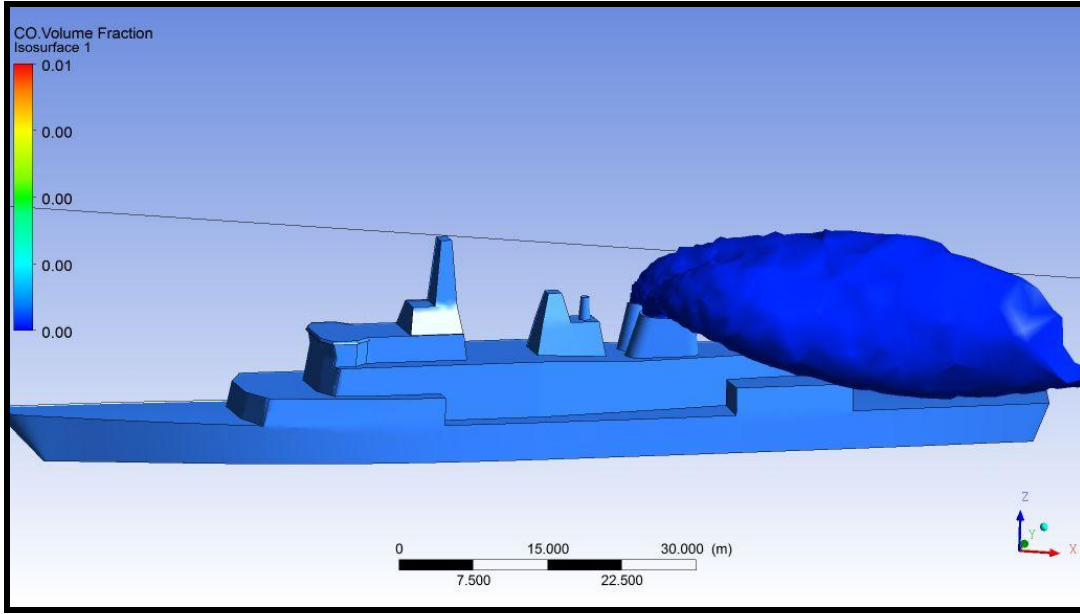
Şekil 6.224 : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=10^0$).



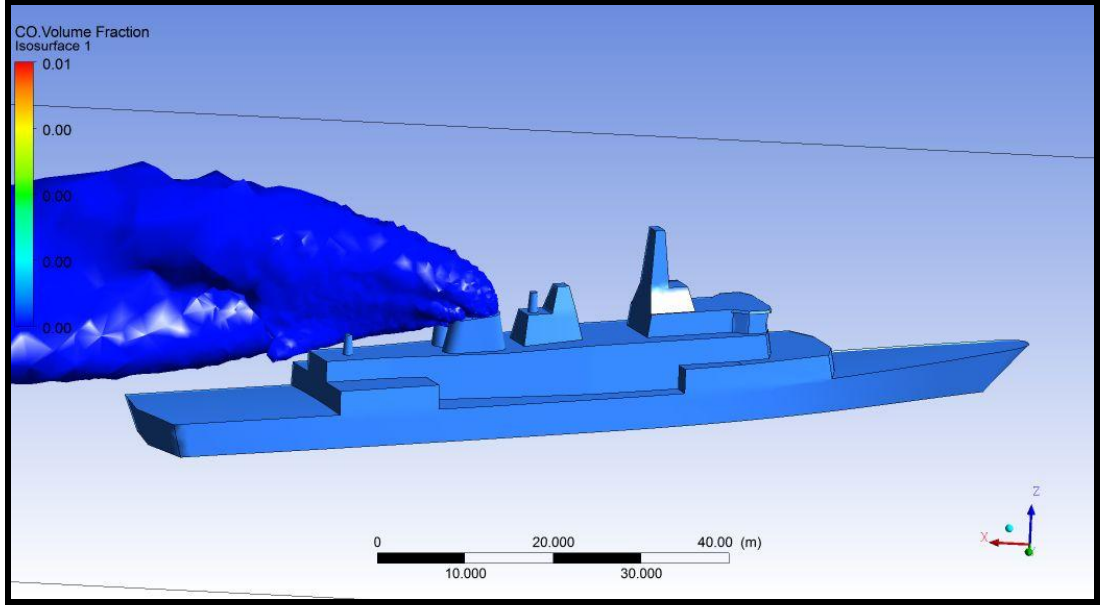
Şekil 6.225 : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=15^0$).



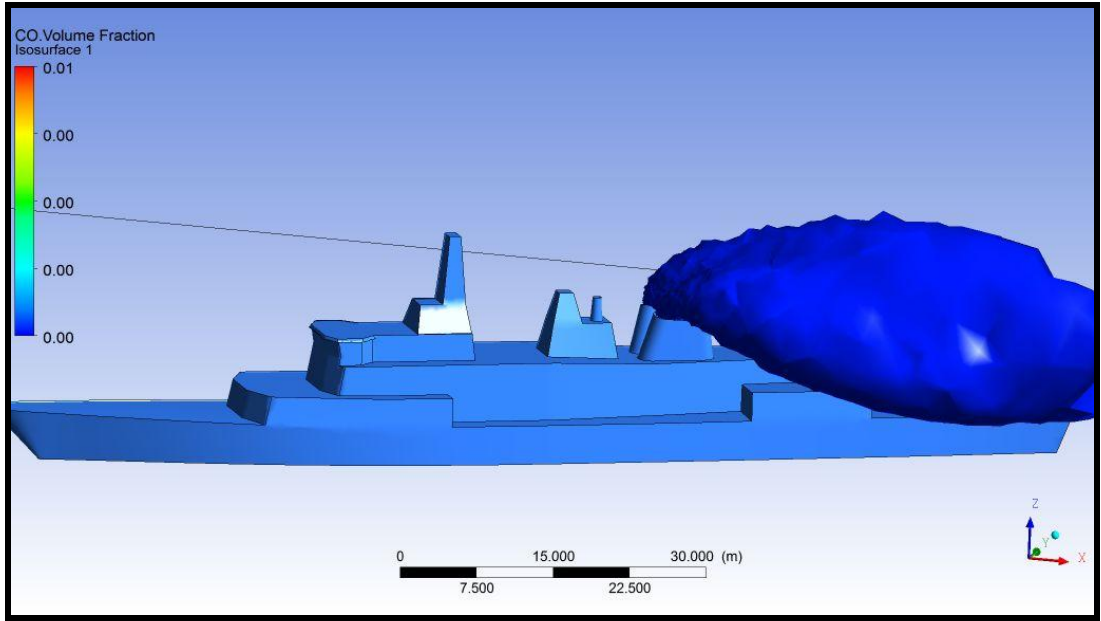
Şekil 6.226 : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=20^\circ$).



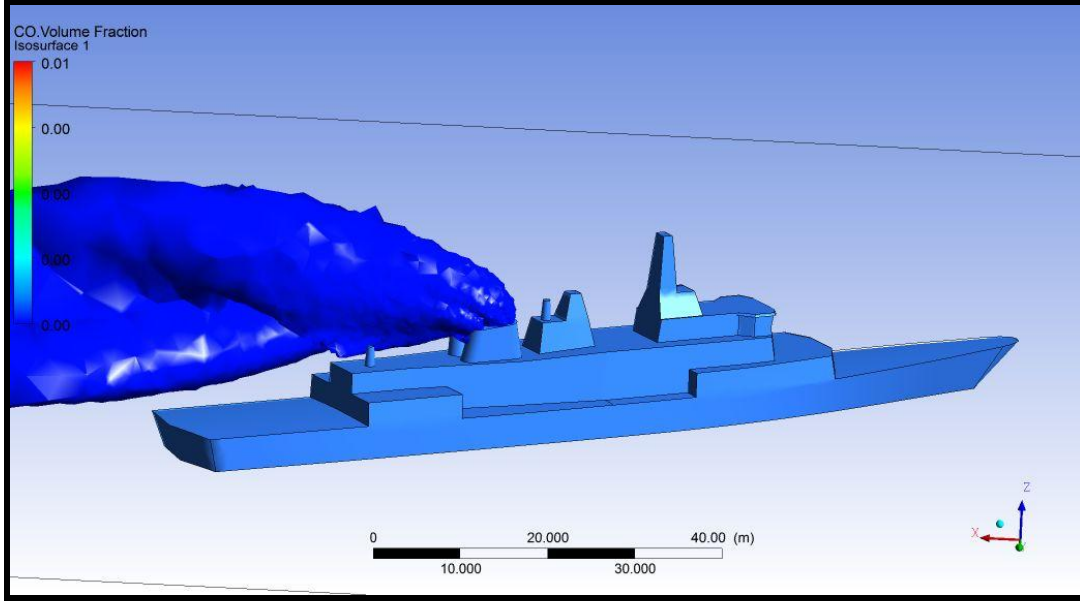
Şekil 6.227 a : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=25^\circ$) (İskele bordadan görünüm).



Şekil 6.227 b : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=25^\circ$) (Sancak bordadan görünüm).



Şekil 6.228 : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=30^\circ$). (İskele bordadan görünüm).



Şekil 6.229 : Durum-4 için CO yayılımı ($\psi=30^\circ$) (Sancak bordadan görünüm).

Fırkateyn $\psi=0^\circ$ dan $\psi=30^\circ$ ye döndüğünde ya da rüzgarın belirtilen açılarda geldiği durumlarda egzoz gazlarından CO gazının konsantrasyonunun artarak helikopter platformuna yöneldiği tespit edilmiştir. Özellikle $\psi=10^\circ$ ‘den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda yanma ürünlerinden insan sağlığına zararlı egzoz gaz emisyonlarından CO gazının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna yöneldiği ancak platforma düşmediği görülmektedir (Şekil 6.225- Şekil 6.229). Şekil 6.227 (a) ve (b), Şekil 6.228 ve Şekil 6.229 incelendiğinde ise sapma açısı $\psi=25^\circ$ ile $\psi=30^\circ$ için iskele bordadan bakıldığında helikopter platformuna düştüğü görülen CO gazlarının aslında denize yönlendiği görülmektedir. Dolayısıyla bu durum için de egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olmasından ötürü olumsuz bir etkinin oluşmayacağı değerlendirilmektedir..

6.2.5 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının yayılımına etkisi

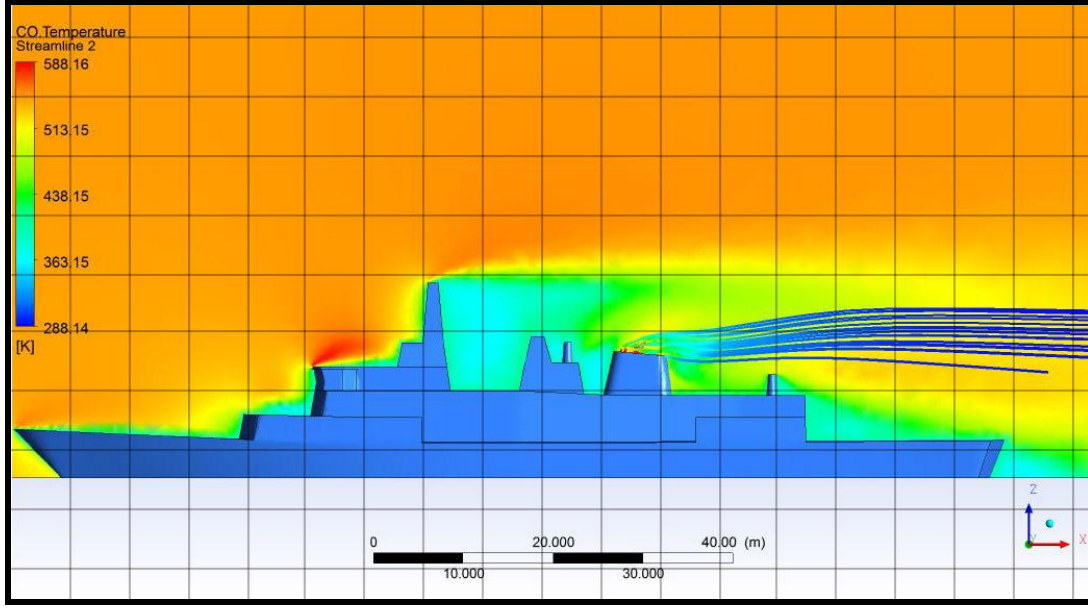
Bu bölümde gerçek boyutlardaki fırkateyn modelinde kullanmak üzere tasarlanan yükseklikleri ve geometrileri farklı 5 (beş) baca modelinin (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.5) (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca), 3 (üç) farklı hız oranı ($K=0.601, 1.32, 2.772$) için egzoz gaz yayılımına etkileri incelenmiştir.

Fırkateyn ileri yolda 5 knot sürat ile seyir halinde iken rüzgâr pruvadan 50 knot ve 20 knot hızla estiğinde hız oranı sırasıyla $K=0.601$ (Durum-1) ve $K=1.32$ (Durum-3) olarak belirlenmiş, fırkateyn 20 knot sürat ile ileri yolda seyir halinde iken rüzgar 20 knot hızla estiğinde ise hız oranı $K=2.772$ (Durum-4) olarak belirlenmiştir. Bu üç farklı durum (Hız oranı) için tasarlanan boyutları farklı 5 baca geometrisinin egzoz gazlarının yayılımına etkisi (Egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına ve egzoz emisyonlarına etkisi) incelenmiştir.

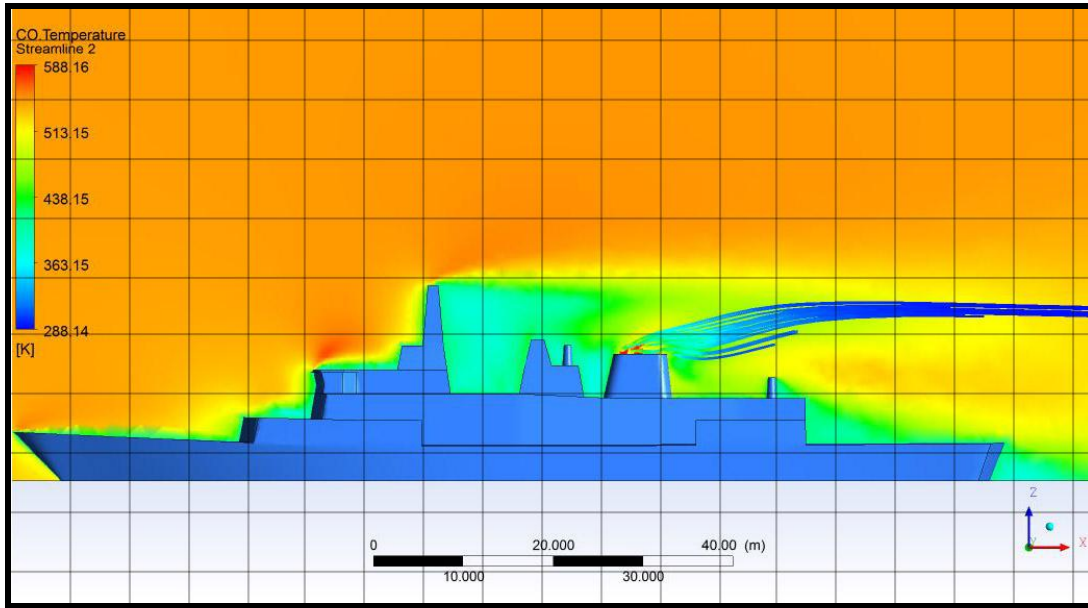
Hız oranı $K=0.601$ için düz baca ve baş-kıç eğimli baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sınır tabaka üstüne çıkma eğiliminde olduğu diğer baca konfigürasyonlarında ise egzoz gazlarının helikopter platformuna yöneldiği tespit edilmiştir. Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde ise düz baca ve baş-kıç eğimli baca kullanıldığında bacaların arkalarında oluşan türbülans sonucu bir dağılma olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda parampetli bacanın emisyonlar açısından en düzgün egzoz gaz yayılımına sahip olduğu görülmüştür. Diğer iki hız oranı içinde benzer sonuçlar elde edilmiş olup bu hız oranlarında türbülans sonucu oluşan egzoz yayılımının etkilerinin olumsuz etkiler doğurmadığı tespit edilmiştir. Baca geometrileri açısından parampetli bacanın tüm şartlarda en olumlu sonucu verdiği görülmüştür. Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının yayılımına etkileri aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

6.2.5.1 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-1)

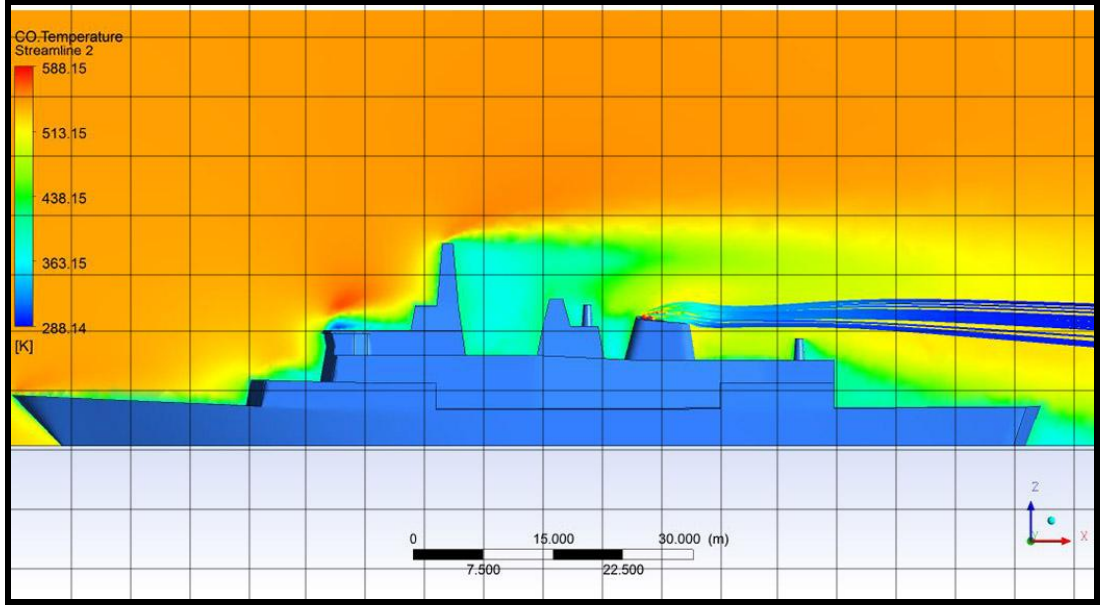
Fırkateyn 5 knot sürat ile ileri yolda giderken, rüzgar baştan 50 knot ile esmektedir. Egzoz çıkış hızı 17 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315^0 C'dir. Bu şartlar altında hız oranı $K=0.601$ (Durum-1) olarak belirlenmiştir. Belirtilen gerçek seyir şartlarında helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynde 5 farklı (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) baca geometrisinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarına etkileri Şekil 6.230-Şekil 6.234'de gösterilmiştir.



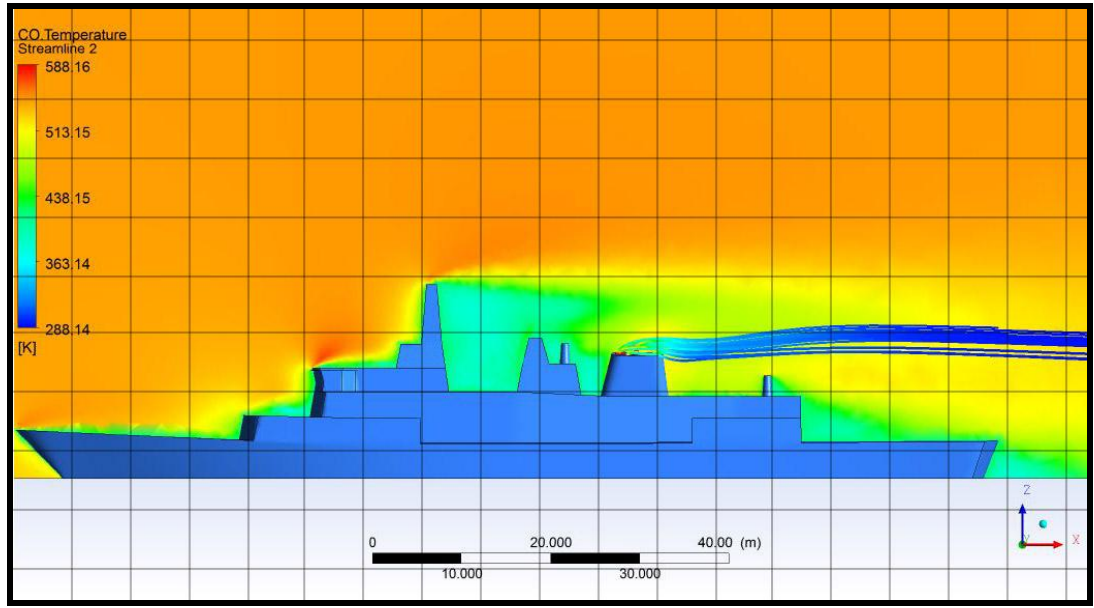
Şekil 6.230 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Baş-Kıç Eğimli baca geometrisi).



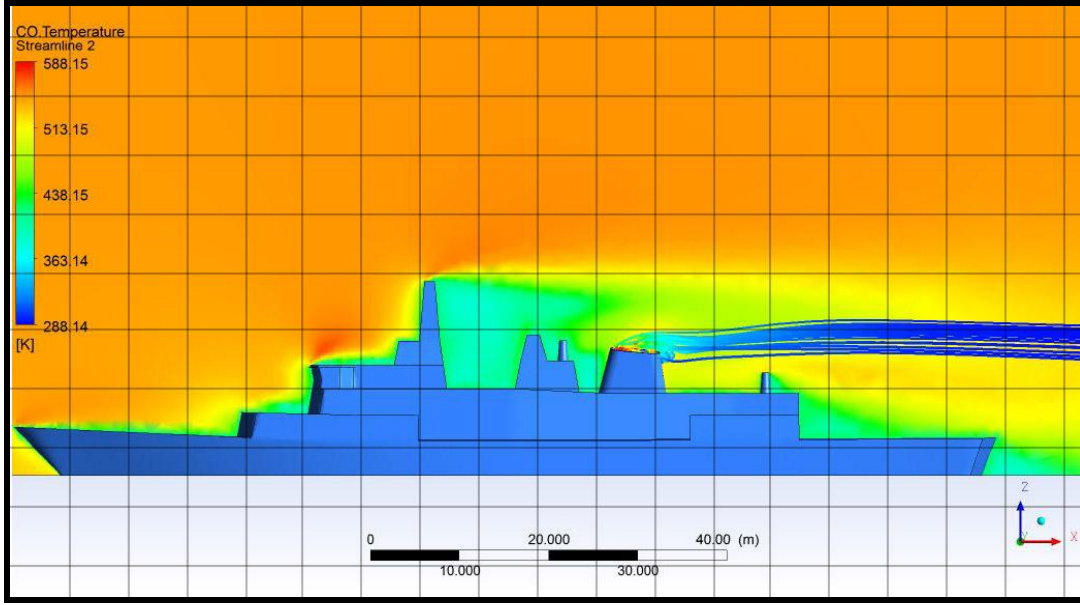
Şekil 6.231 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Düz baca geometrisi).



Şekil 6.232 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Sancak-İskele Baş-Kıç eğimli baca geometrisi).



Şekil 6.233 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Sancak-İskele eğimli baca geometrisi).

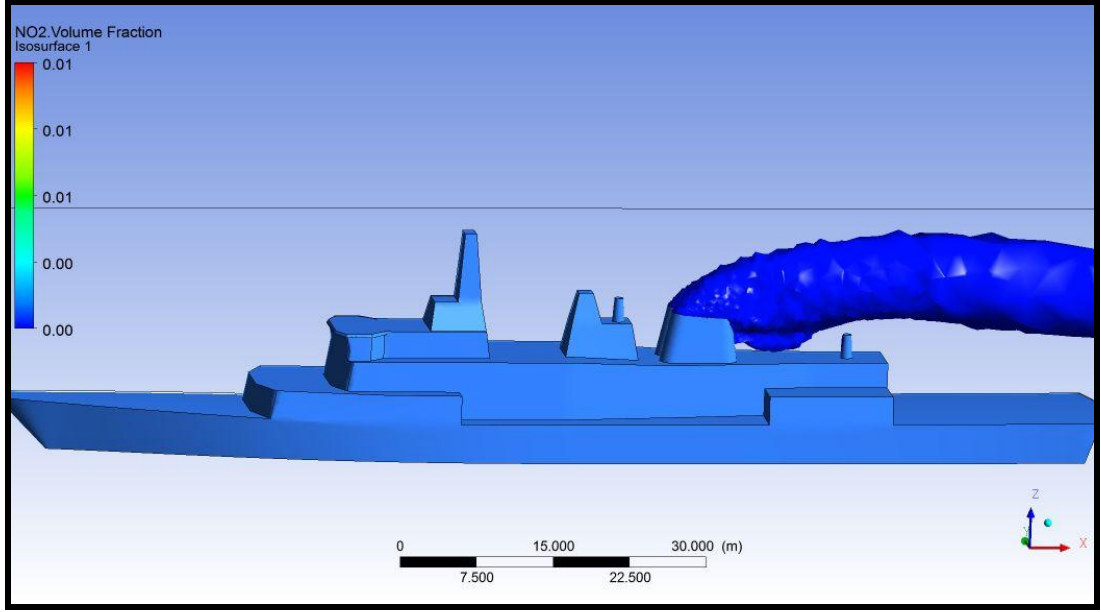


Şekil 6.234 : Durum-1 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Parampetli baca geometrisi).

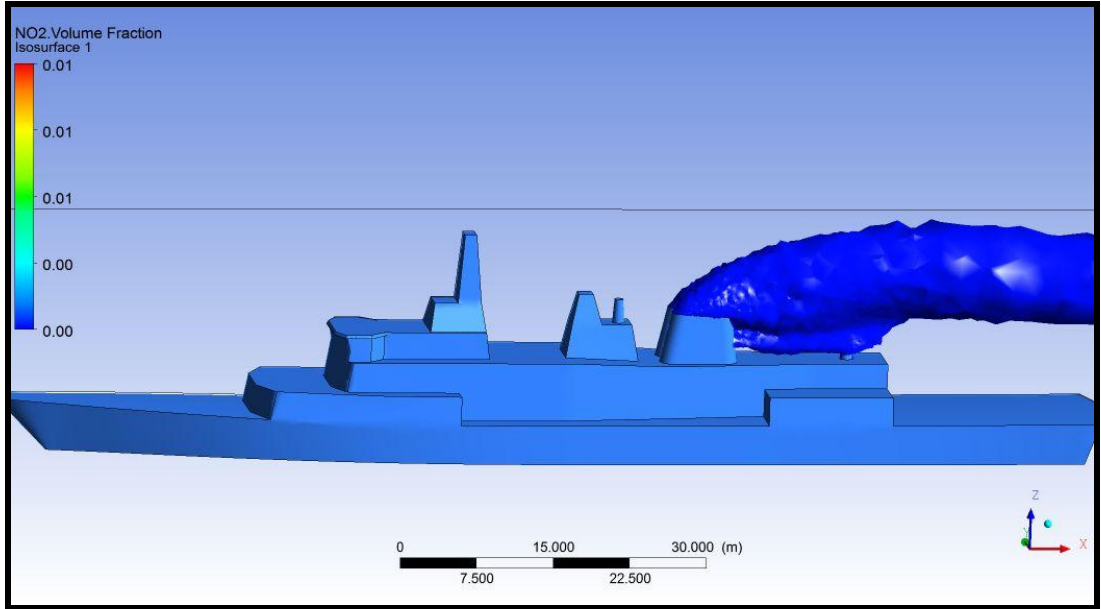
Fırkateyn 5 knot sürat ile ileri yolda seyir halindeyken belirlenen hız oranı ($K=0.601$) için baş kıç eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sınır tabakanın üstüne çıkma eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 6.230 ve Şekil 6.231). Baş kıç eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarının diğer baca geometrilerine nazaran helikopter platformundan daha uzak olduğu, özellikle sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca kullanıldığında baca gazlarının helikopter platformuna yöneldiği görülmüştür (Şekil 6.232). Dolayısıyla hız oranı $K=0.601$ için yüksekliği en az olan sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca geometrisi kullanıldığında seyir esnasında üst güvertede silah sistemi yakınında bulunan personel ve silah sistemi için egzoz gaz sıcaklığının olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

6.2.5.2 Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-1)

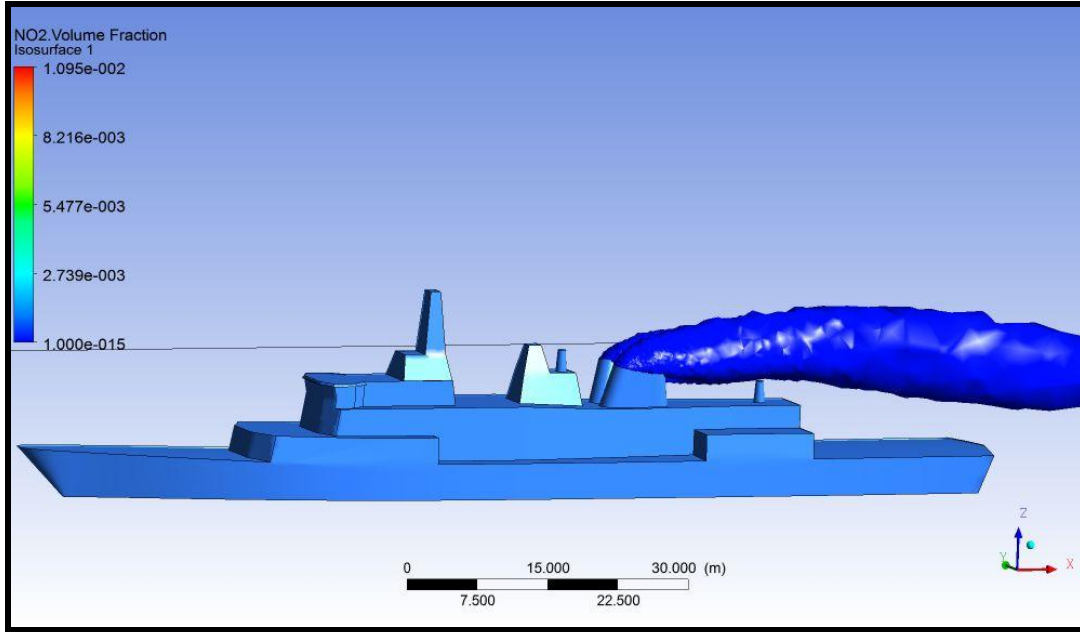
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-1) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.235- Şekil 6.239'da gösterilmiştir.



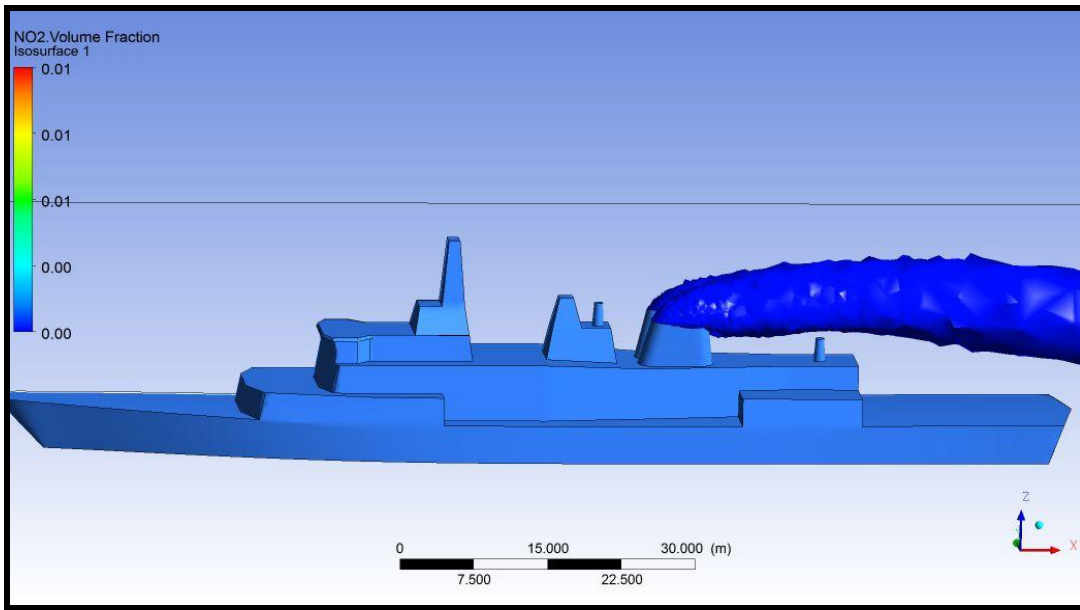
Şekil 6.235 : Durum-1 için NO_x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca) .



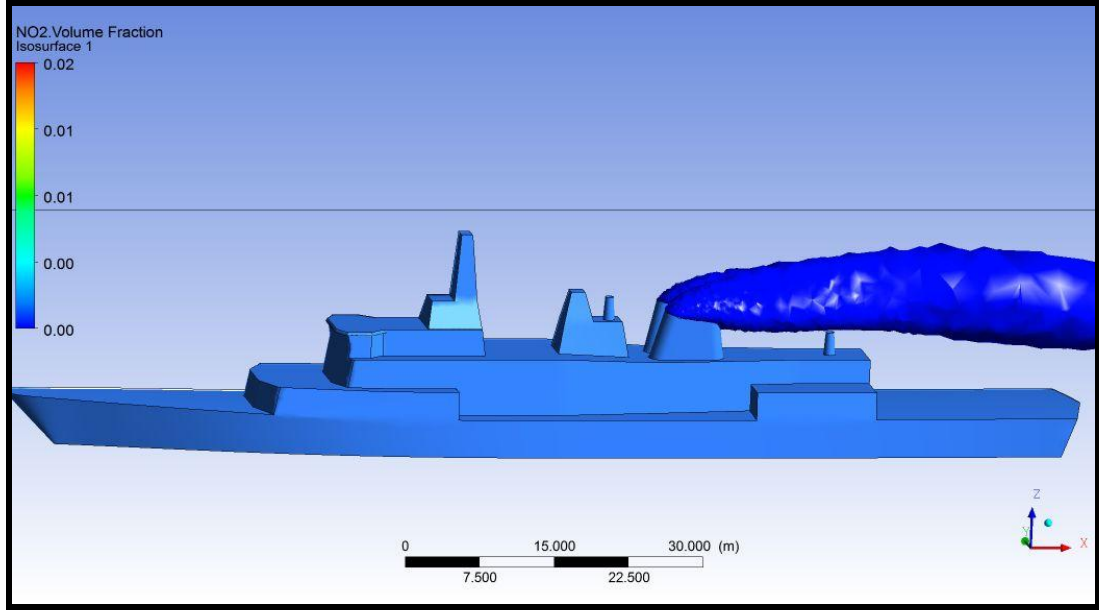
Şekil 6.236 : Durum-1 için NO_x yayılımı (Düz baca) .



Şekil 6.237 : Durum-1 için NO_x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca) .



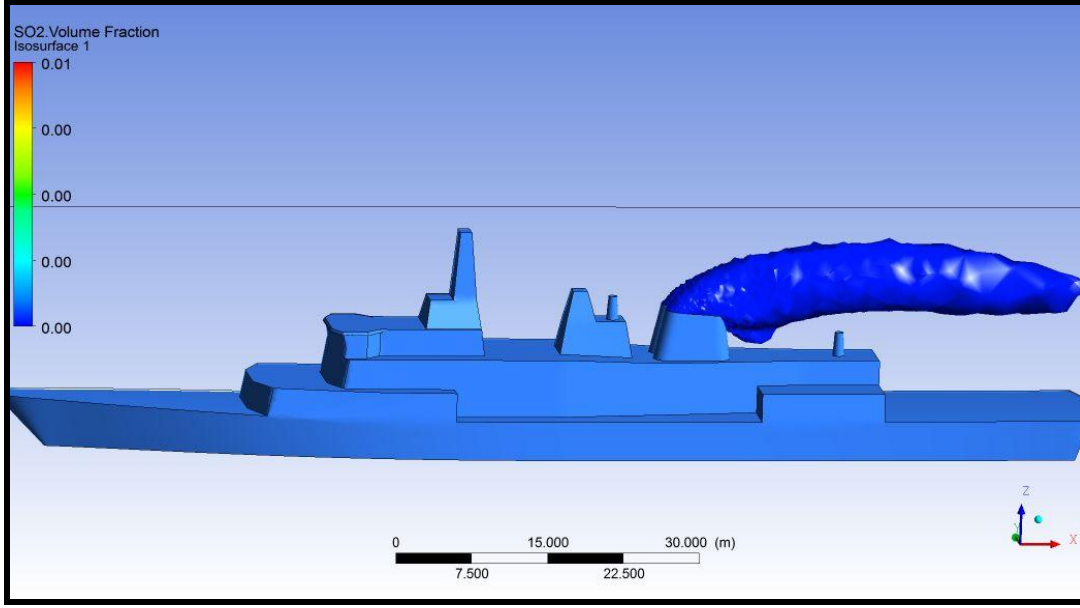
Şekil 6.238 : Durum-1 için NO_x yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



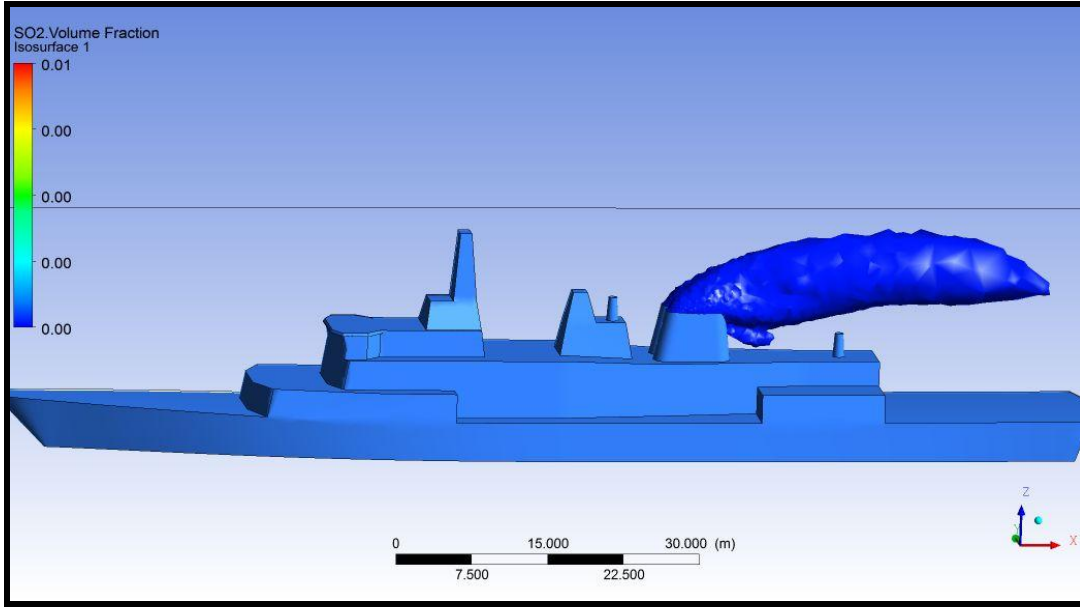
Şekil 6.239 : Durum-1 için NO_x yayılımı (Parampetli baca).

Gerçek seyir şartlarında Durum-1 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarından NO_x gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-kıç eğimli ve düz baca) için baca arkasında NO_x emisyonunun hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin arttığı ve NO_x gazının dağılarak bacanın arkasına doğru sarktığı görülmüştür (Şekil 6.235 ve Şekil 6.236). Durum-1 için baş-kıç eğimli ve düz baca geometrileri kullanıldığında seyir esnasında üst güvertede silah sistemi yakınında bulunan personel için NO_x gazının insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir. Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla NO_x gazının yayılımı açısından olumsuz bir etkinin olmayacağı görülmektedir.

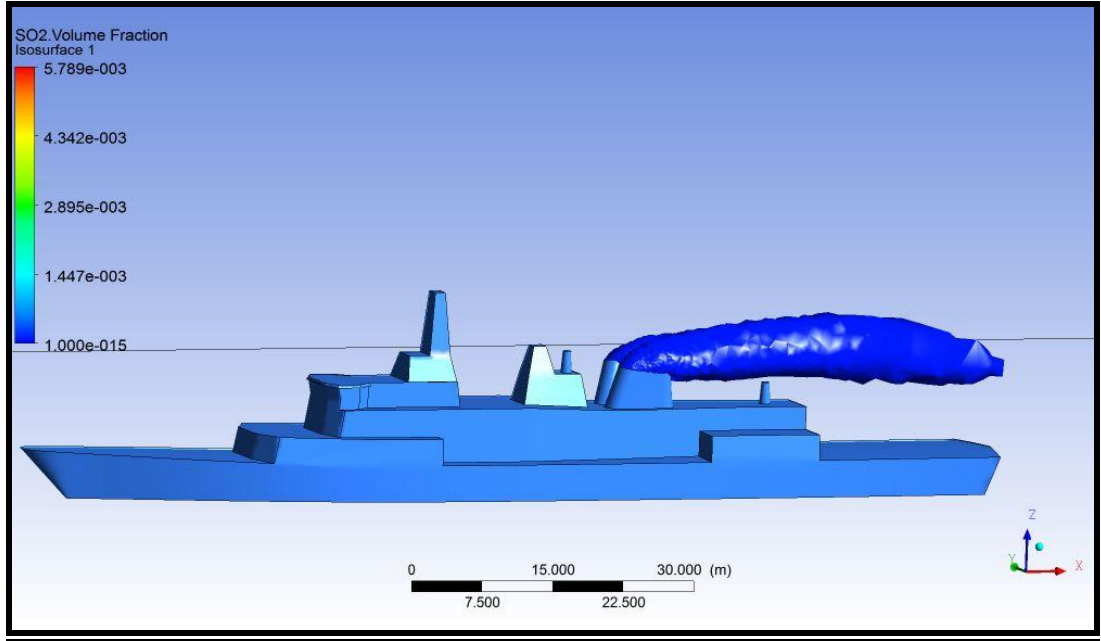
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-1) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.240- Şekil 6.244'de gösterilmiştir.



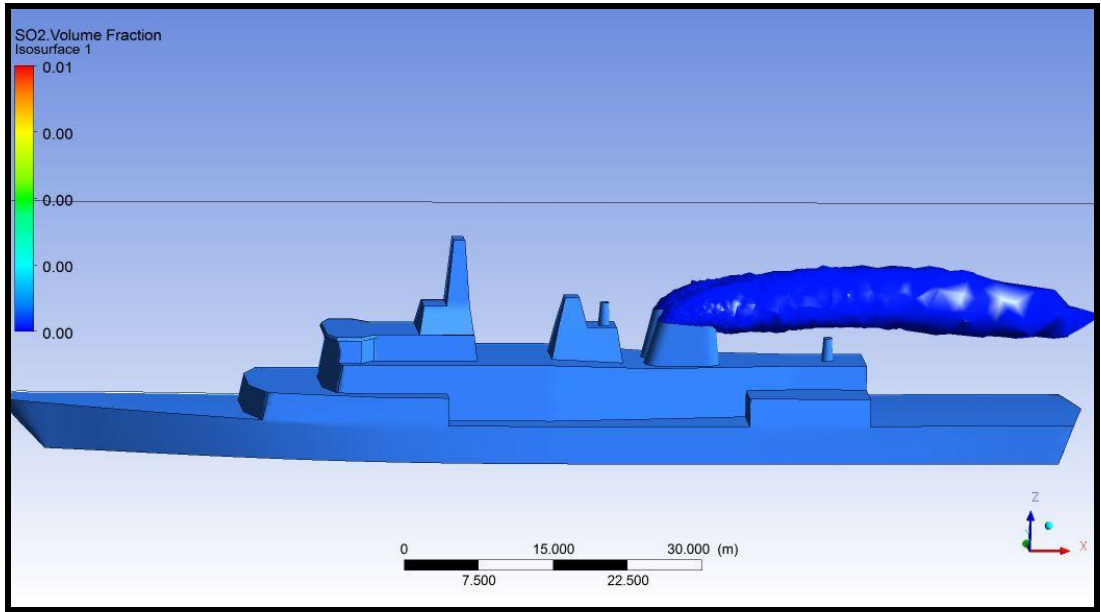
Şekil 6.240 : Durum-1 için SO_x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



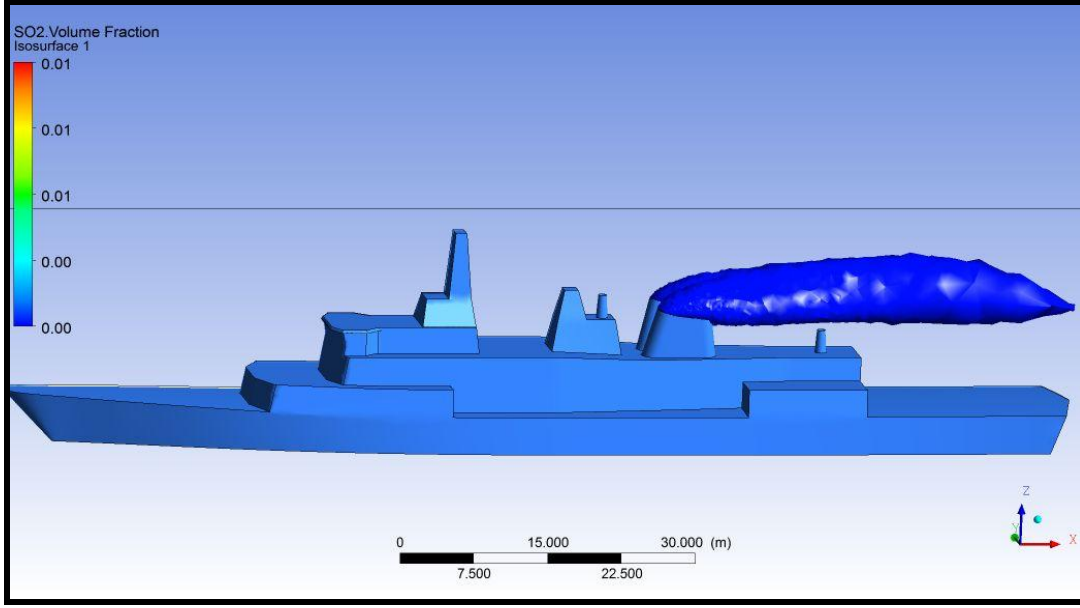
Şekil 6.241 : Durum-1 için SO_x yayılımı (Düz baca) .



Şekil 6.242 : Durum-1 için SO_x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



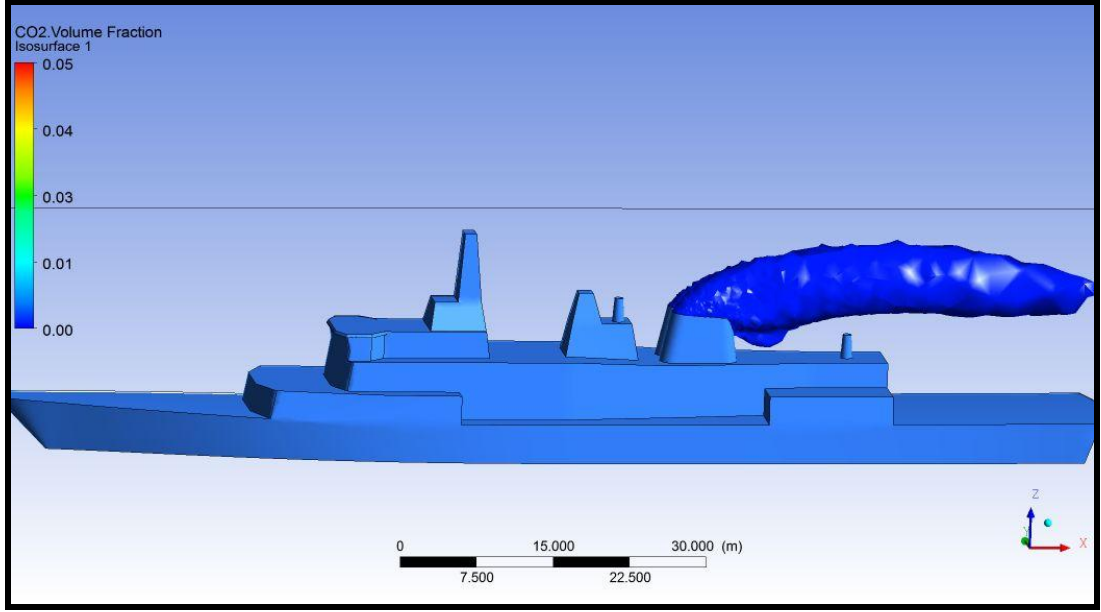
Şekil 6.243 : Durum-1 için SO_x yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



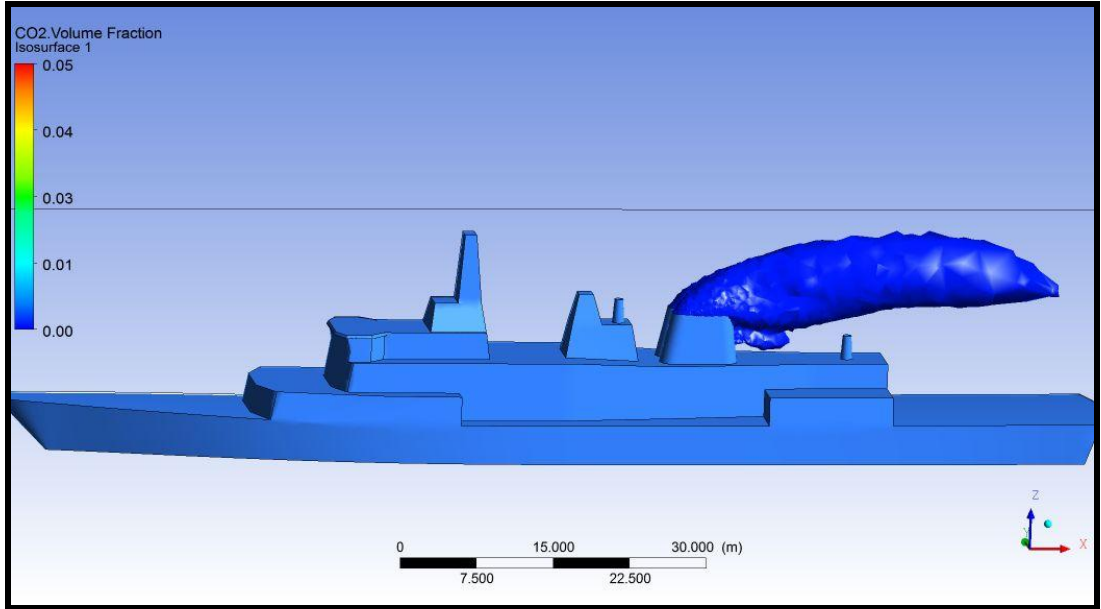
Şekil 6.244 : Durum-1 için SO_x yayılımı (Parampetli baca).

Gerçek seyir şartlarında Durum-1 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarından SO_x gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında SO_x gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin arttığı ve SO_x gazının dağılarak bacanın arkasına azda olsa sarktığı görülmüştür (Şekil 6.240 ve Şekil 6.241). Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla NO_x emisyonu kadar SO_x gazının olumsuz bir etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

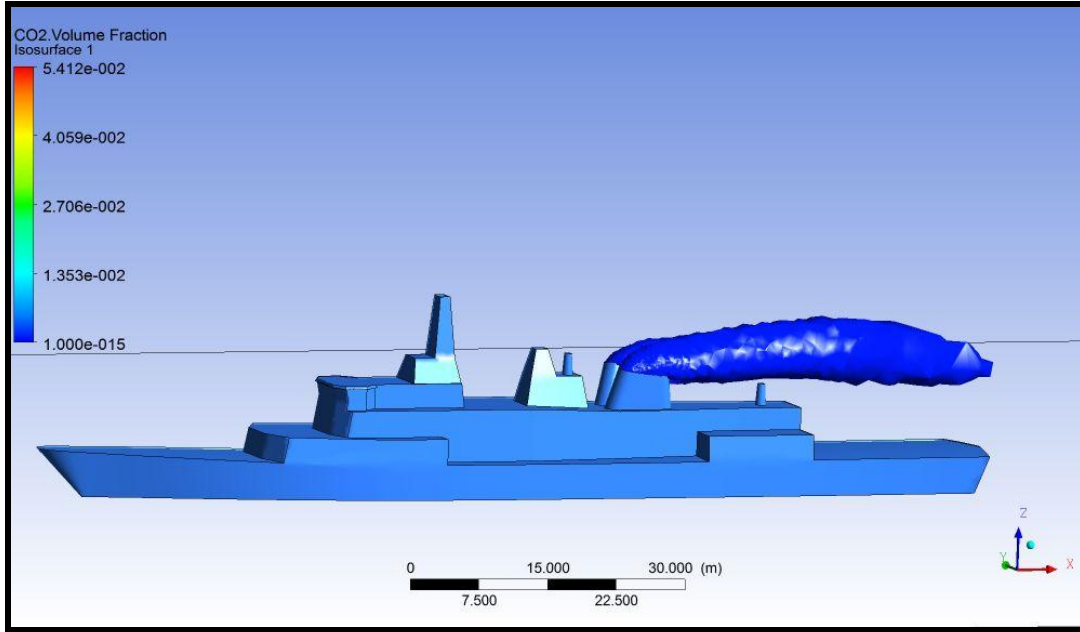
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-1) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.245- Şekil 6.249'da gösterilmiştir.



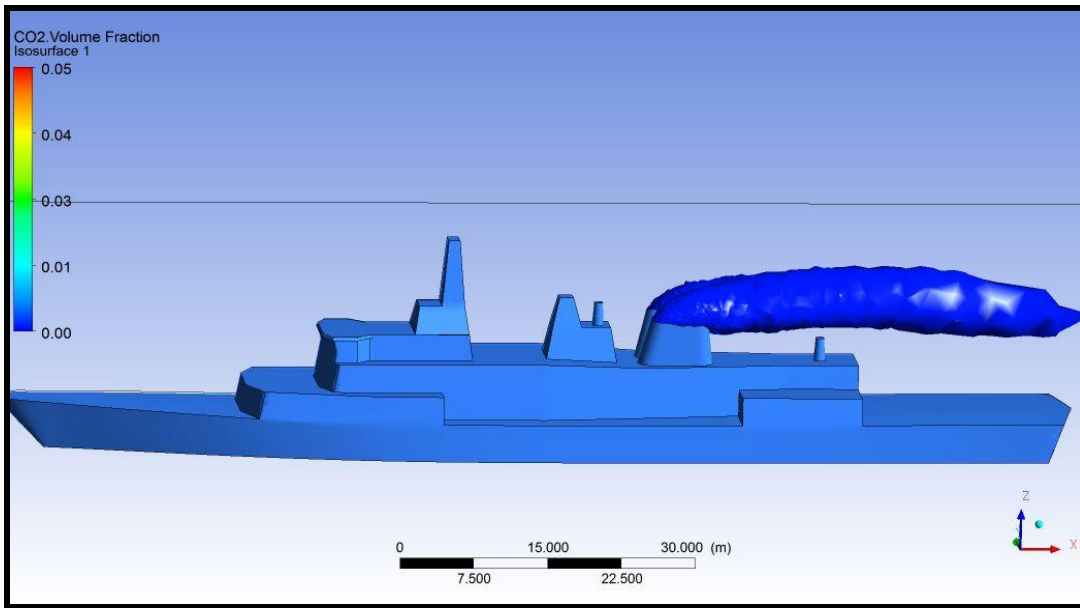
Şekil 6.245 : Durum-1 için CO₂ yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



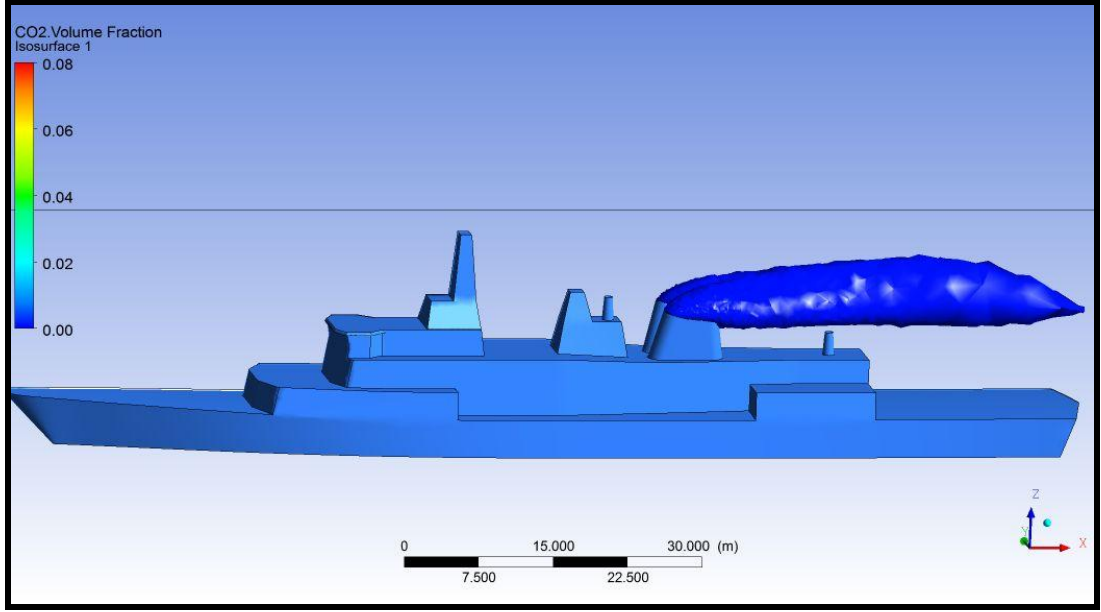
Şekil 6.246 : Durum-1 için CO₂ yayılımı (Düz baca) .



Şekil 6.247 : Durum-1 için CO₂ yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



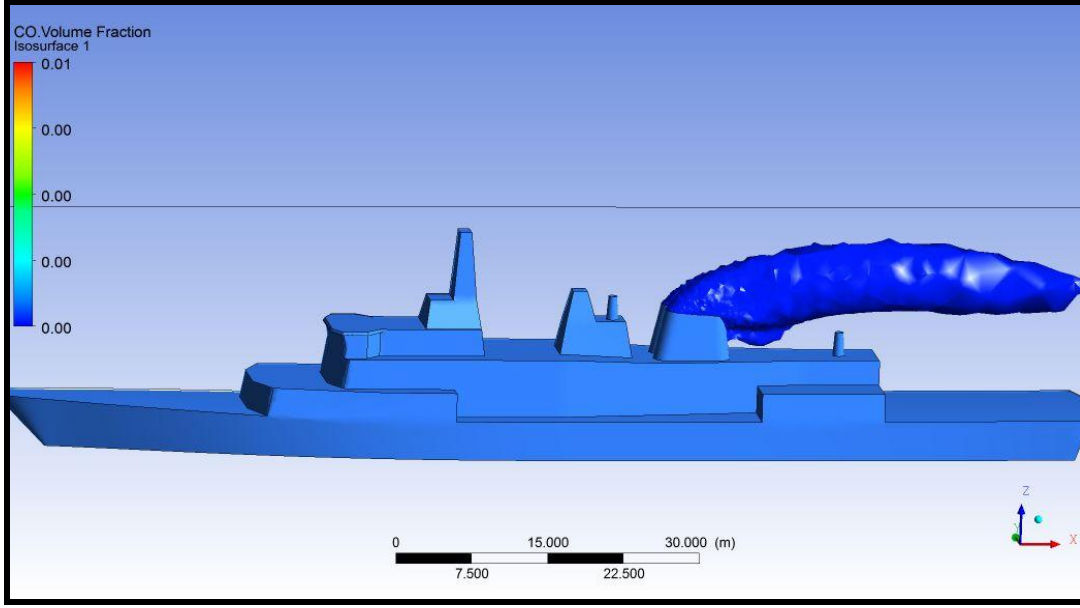
Şekil 6.248 : Durum-1 için CO₂ yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



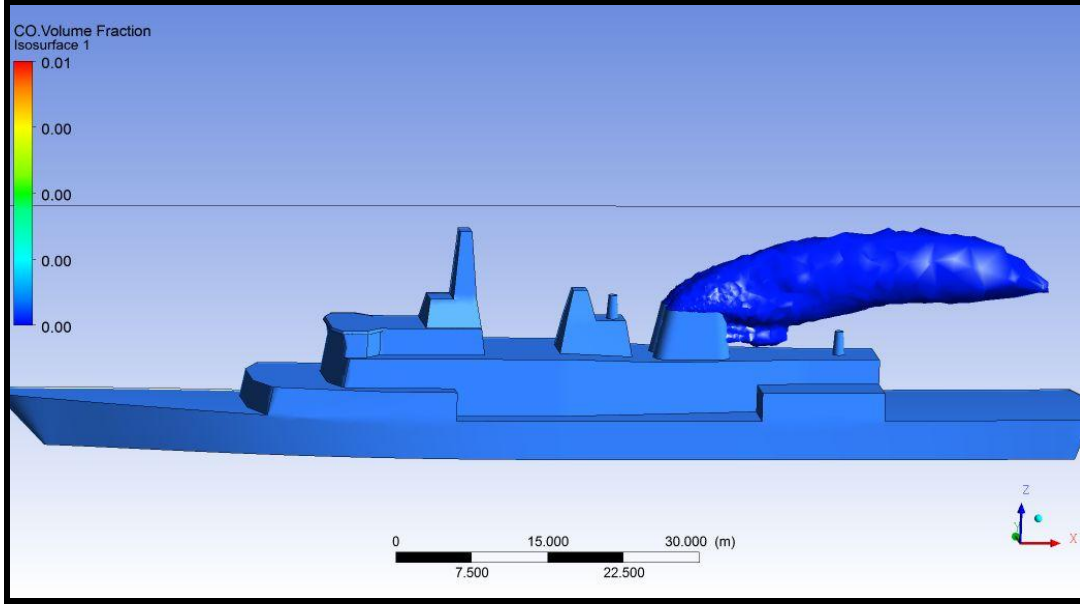
Şekil 6.249 : Durum-1 için CO₂ yayılımı (Parampetli baca) .

Gerçek seyir şartlarında Durum-1 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarından CO₂ gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında CO₂ gazının hacimsel olarak 0.001'in üstündeki bölgenin arttığı ve CO₂ gazının dağılarak bacanın arkasına azda olsa sarktığı görülmüştür (Şekil 6.245 ve Şekil 6.246). Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla NO_x emisyonu kadar CO₂ gazının olumsuz bir etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

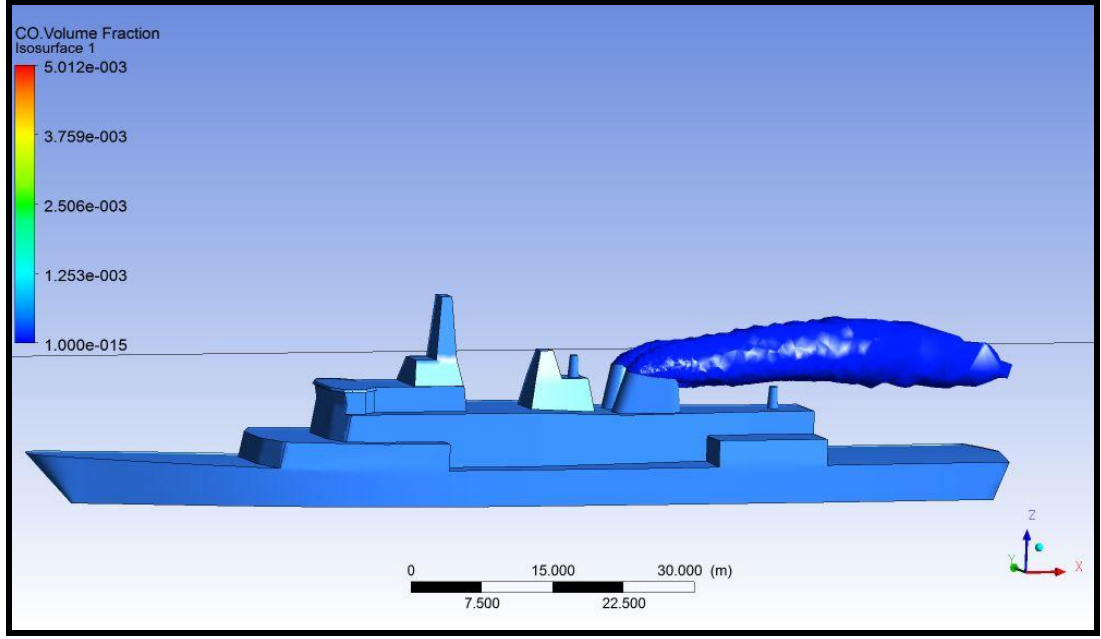
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-1) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.250- Şekil 6.254'de gösterilmiştir.



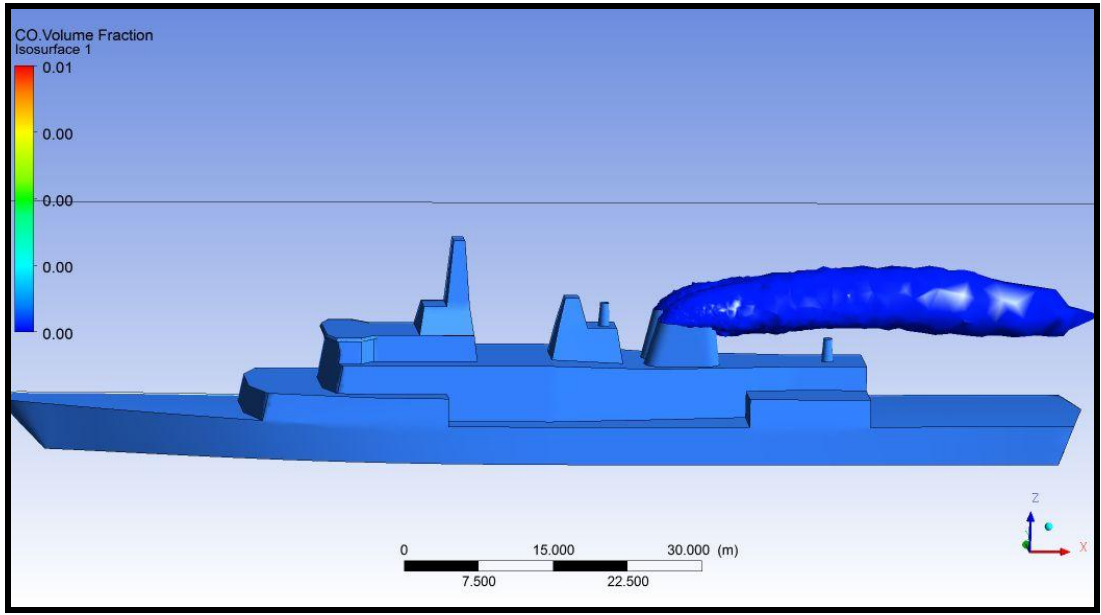
Şekil 6.250 : Durum-1 için CO yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



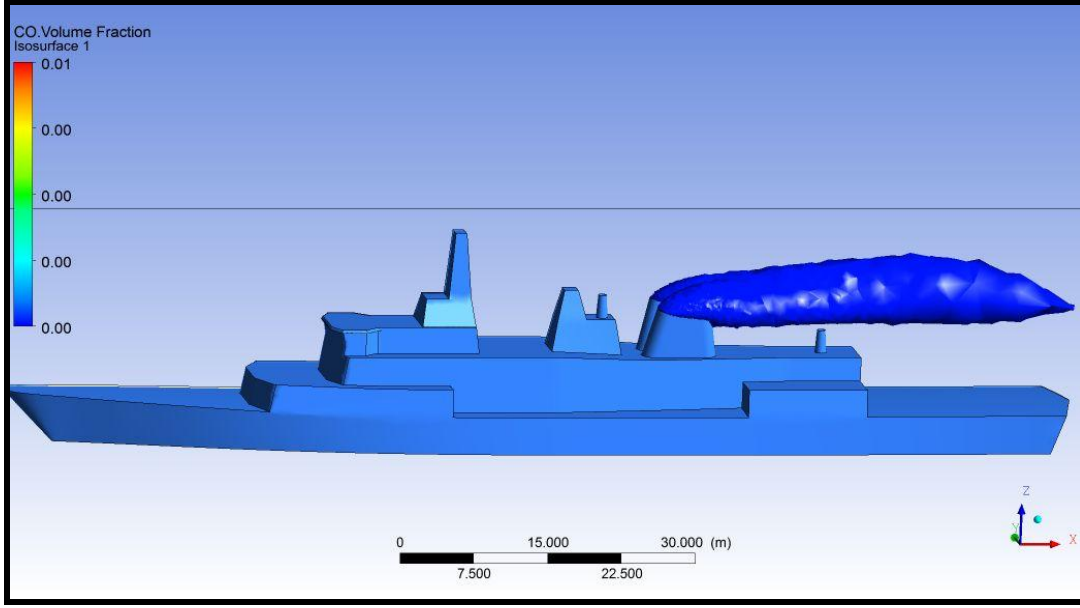
Şekil 6.251 : Durum-1 için CO yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.252 : Durum-1 için CO yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



Şekil 6.253 : Durum-1 için CO yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).

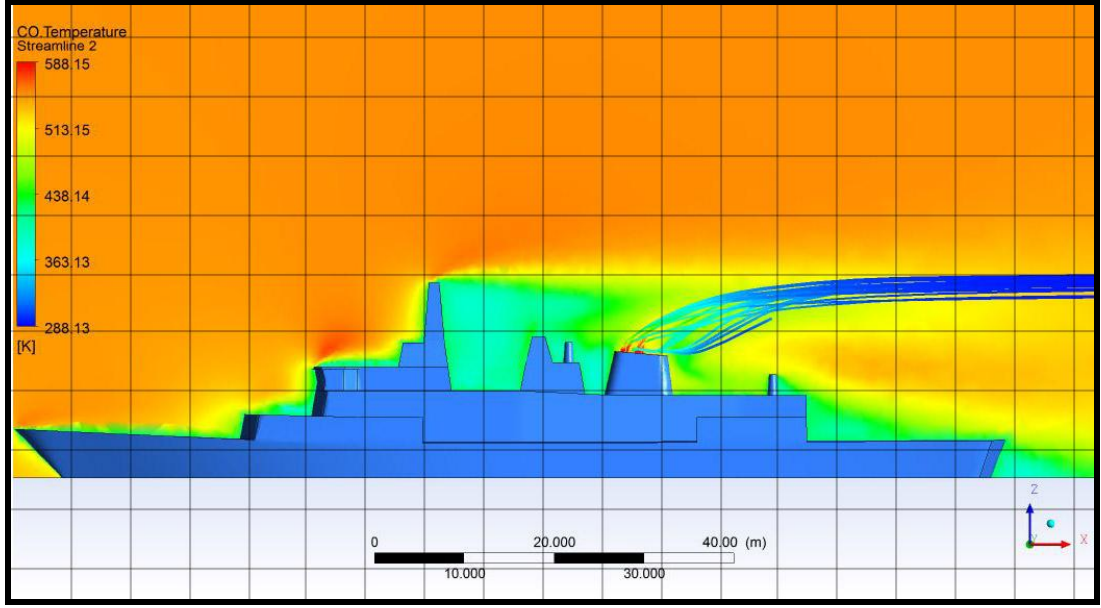


Şekil 6.254 : Durum-1 için CO yayılımı (Parampetli baca) .

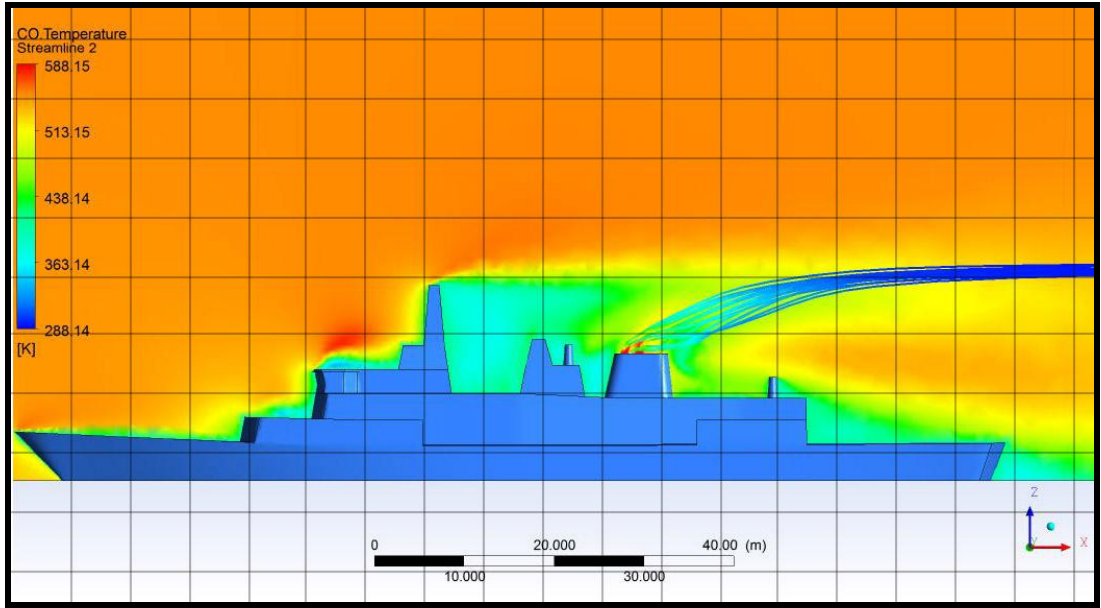
Gerçek seyir şartları altında Durum-1 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarından CO gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında CO gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin arttığı ve CO gazının dağılarak bacanın arkasına azda olsa sarktığı görülmüştür (Şekil 6.250 ve Şekil 6.251). Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla NO_x emisyonu kadar CO gazının olumsuz bir etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

6.2.5.3 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-3)

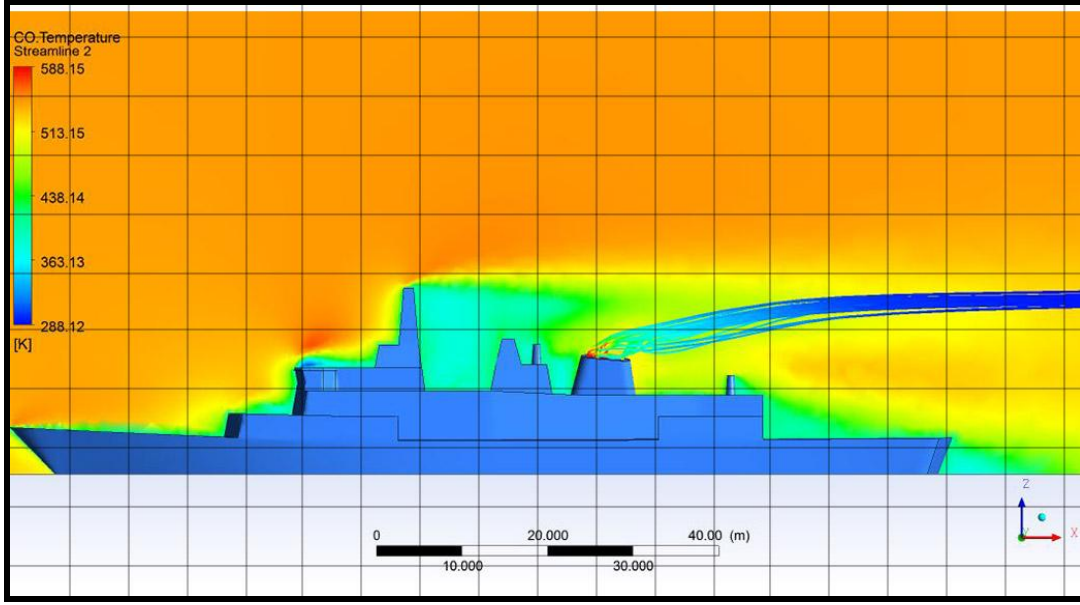
Fırkateyn 5 knot sürat ile ileri yolda giderken, rüzgar baştan 20 knot ile esmektedir. Egzoz çıkış hızı 17 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315⁰ C'dir. Bu şartlar altında hız oranı K=1.32 (Durum-3) olarak belirlenmiştir. Belirtilen gerçek seyir şartlarında helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynde 5 farklı (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) baca geometrisinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarına etkileri Şekil 6.255- Şekil 6.259'da gösterilmiştir.



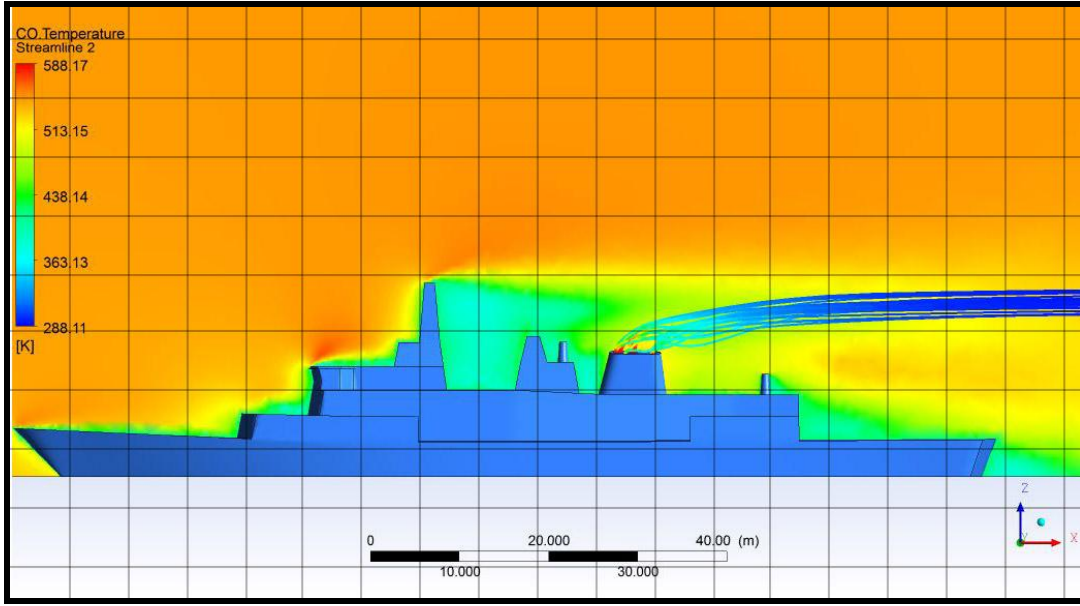
Şekil 6.255 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



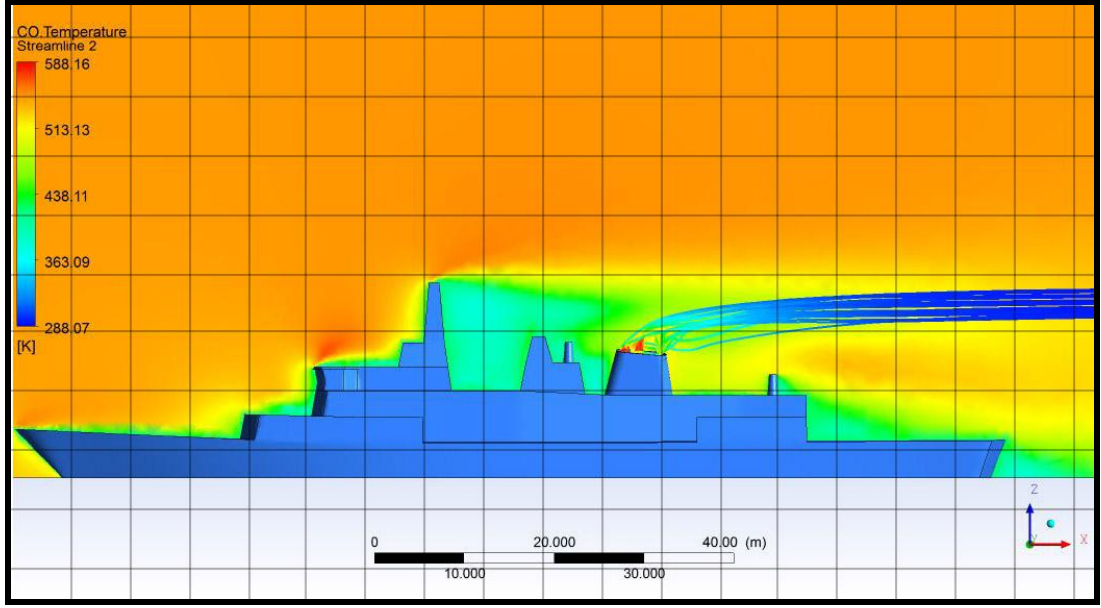
Şekil 6.256 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Düz baca) .



Şekil 6.257 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



Şekil 6.258 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Sancak-İskele eğimli baca geometrisi).

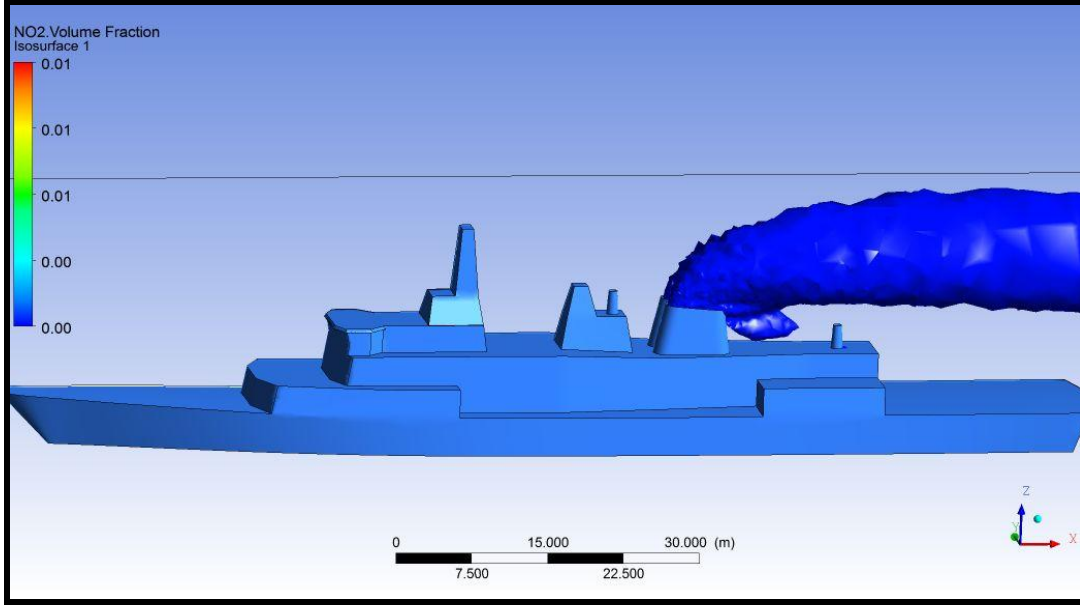


Şekil 6.259 : Durum-3 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Parampetli baca).

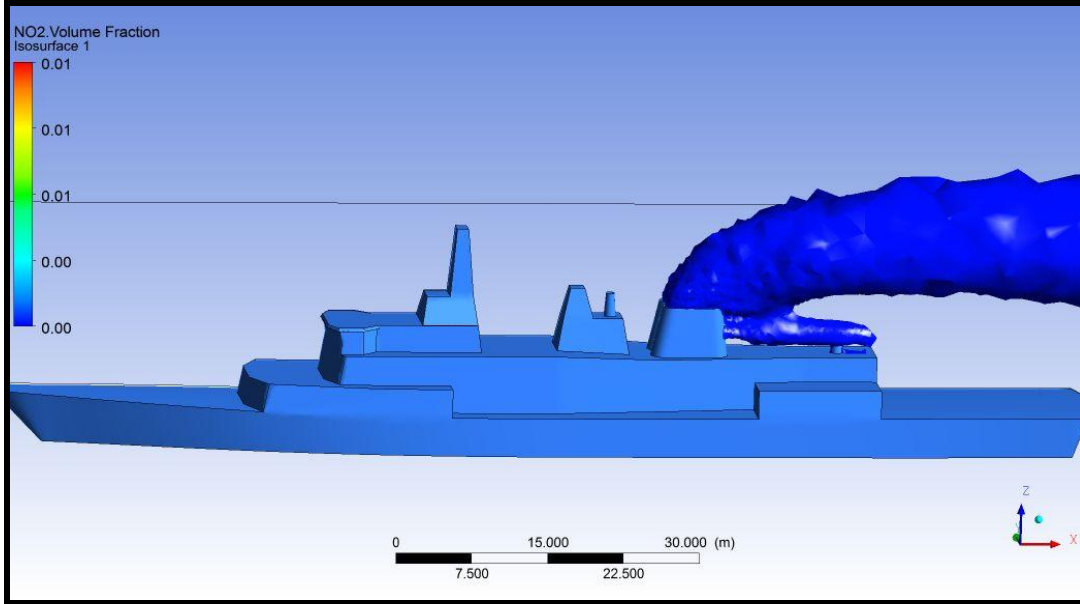
Gerçek seyir şartlarında Durum-3 için fırkateynde 5 farklı (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) baca geometrisinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarına etkileri incelendiğinde hız oranı $K=1.32$ iken tüm baca geometrileri için egzoz gazlarının yayılımının sınır tabaya yakın olduğu, baca gazlarının bu şartlarda momentumlarının yüksek olmasından dolayı genel olarak sıcaklık dağılımının elektronik cihazlara zararlı olmayacağı görülmüştür (Şekil 6.255- Şekil 6.259).

6.2.5.4 Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-3)

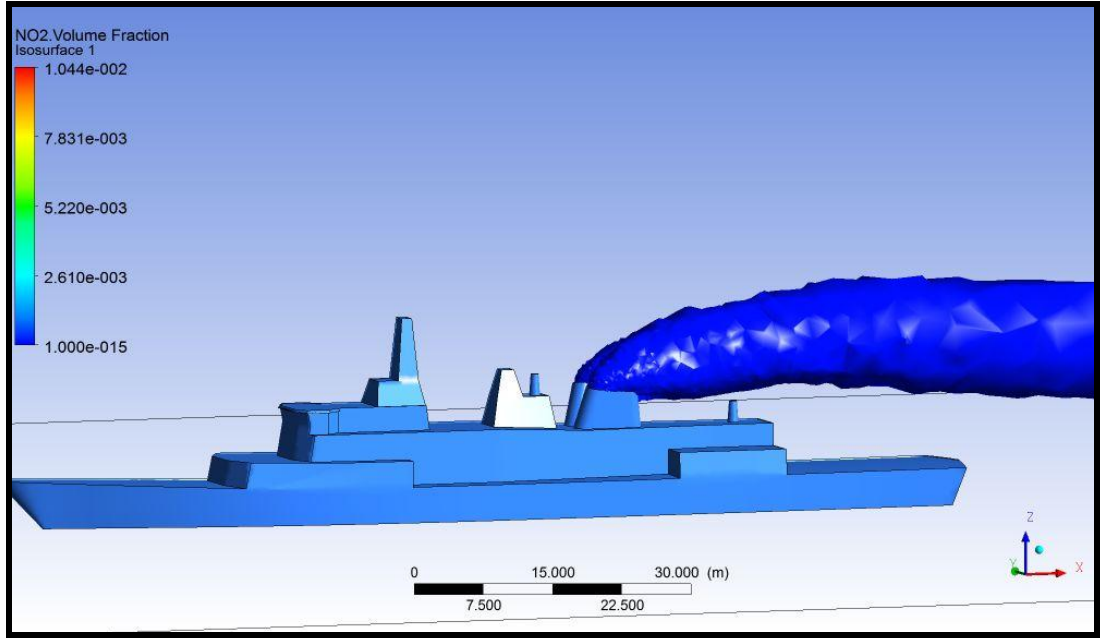
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.260- Şekil 6.264'de gösterilmiştir.



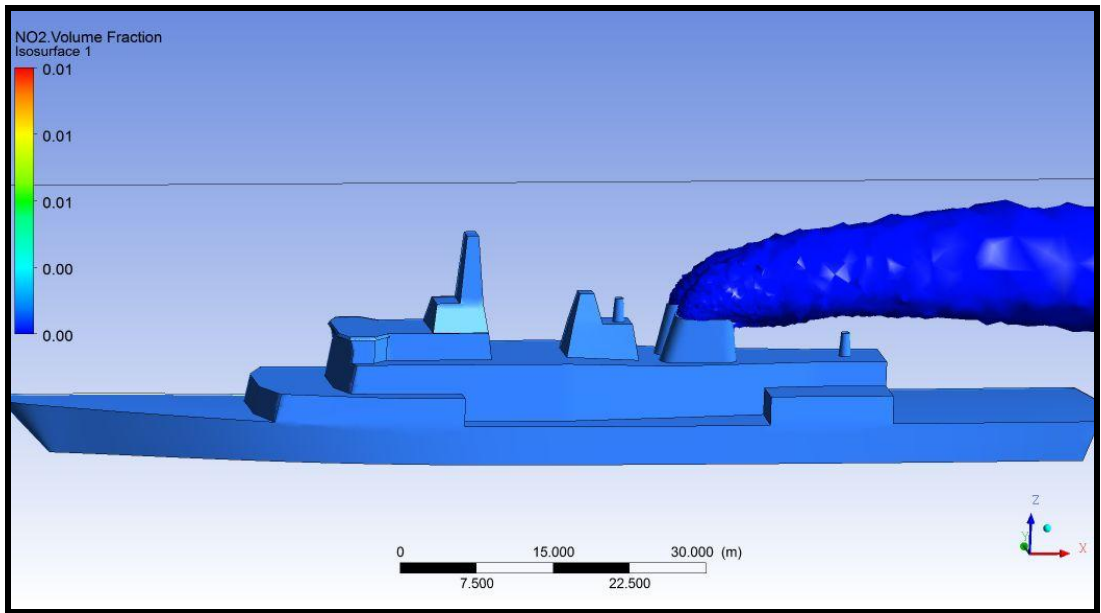
Şekil 6.260 : Durum-3 için NO_x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



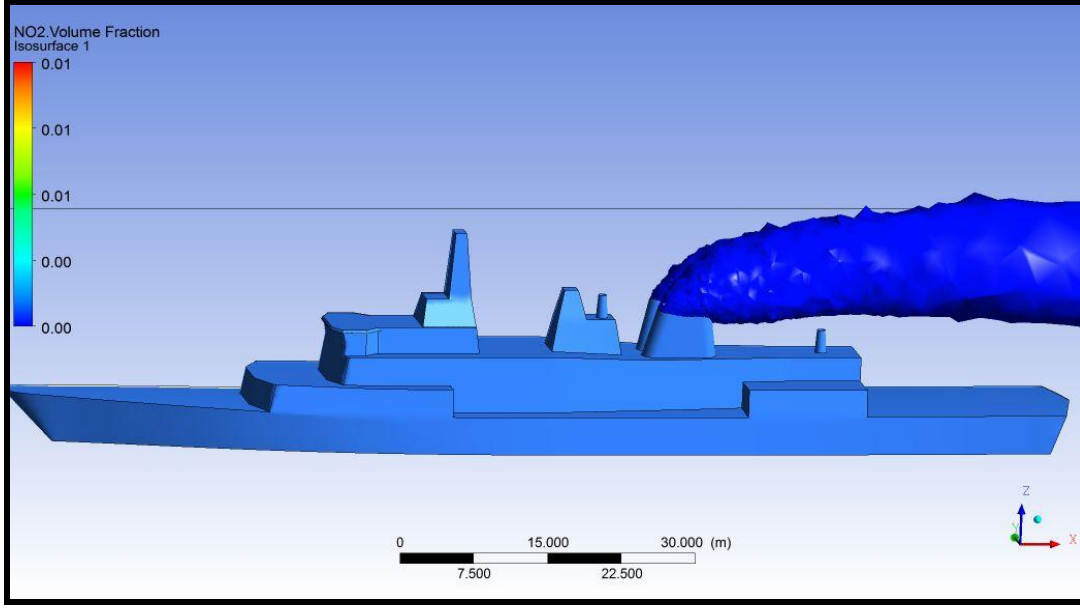
Şekil 6.261 : Durum-3 için NO_x yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.262 : Durum-3 için NO_x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



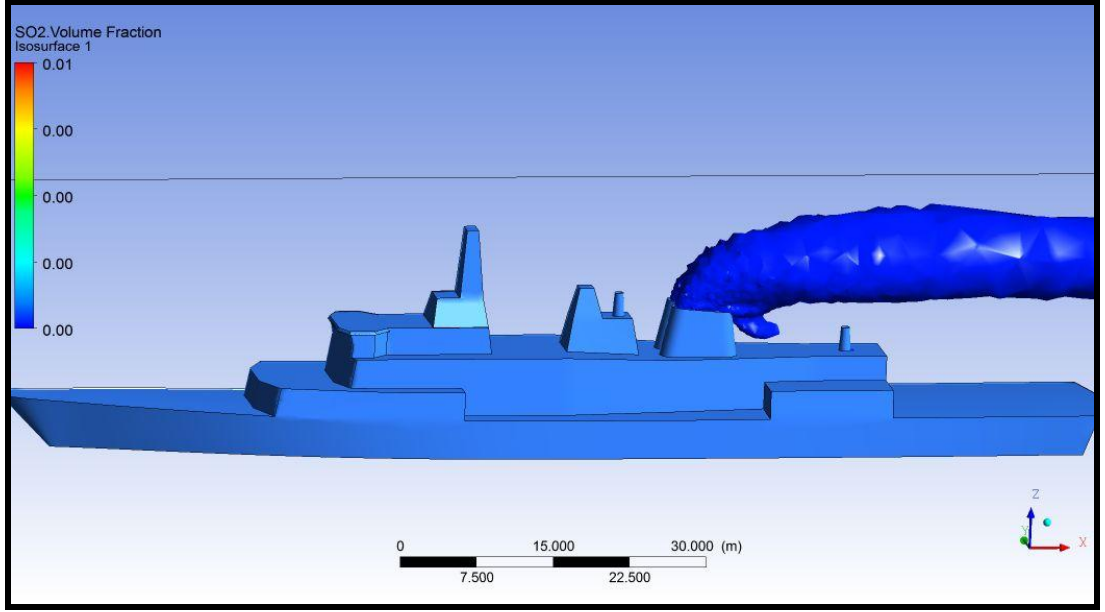
Şekil 6.263 : Durum-3 için NO_x yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



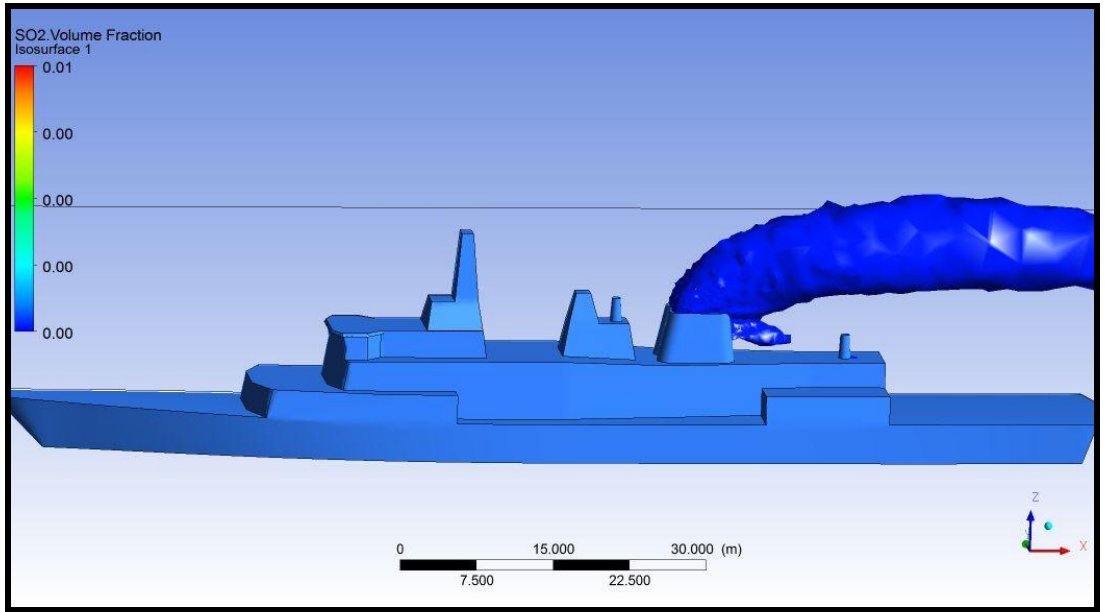
Şekil 6.264 : Durum-3 için NO_x yayılımı (Parampetli baca).

Gerçek seyir şartlarında Durum-3 için farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarından NO_x gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında NO_x gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin dağıldığı görülmüştür (Şekil 6.260 ve Şekil 6.261). Seyir şartlarında üst güvertede bulunacak personel için NO_x gazının insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmiş olup genel olarak bu hız oranı ($K=1.32$) için egzoz gazlarının helikopter platformuna düşmediği de görülmüştür.

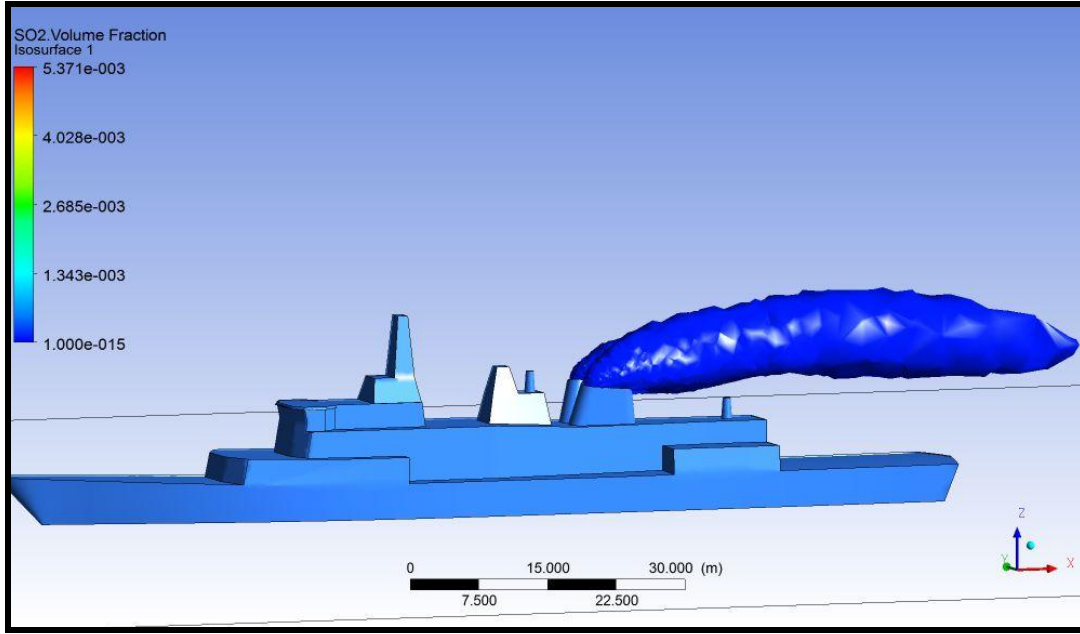
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.265- Şekil 6.270'de gösterilmiştir.



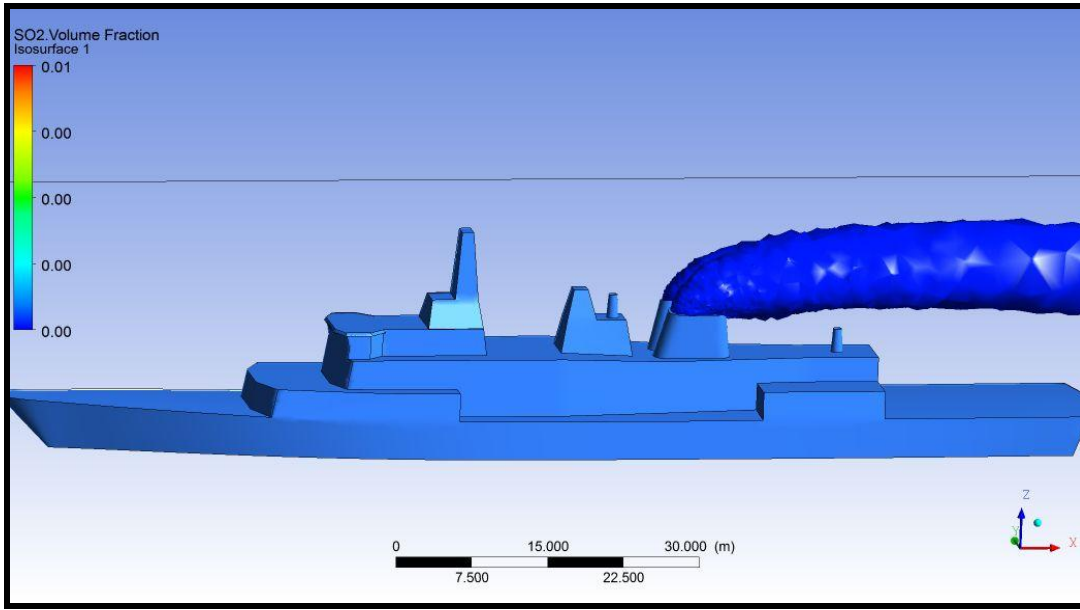
Şekil 6.265 : Durum-3 için SO_x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



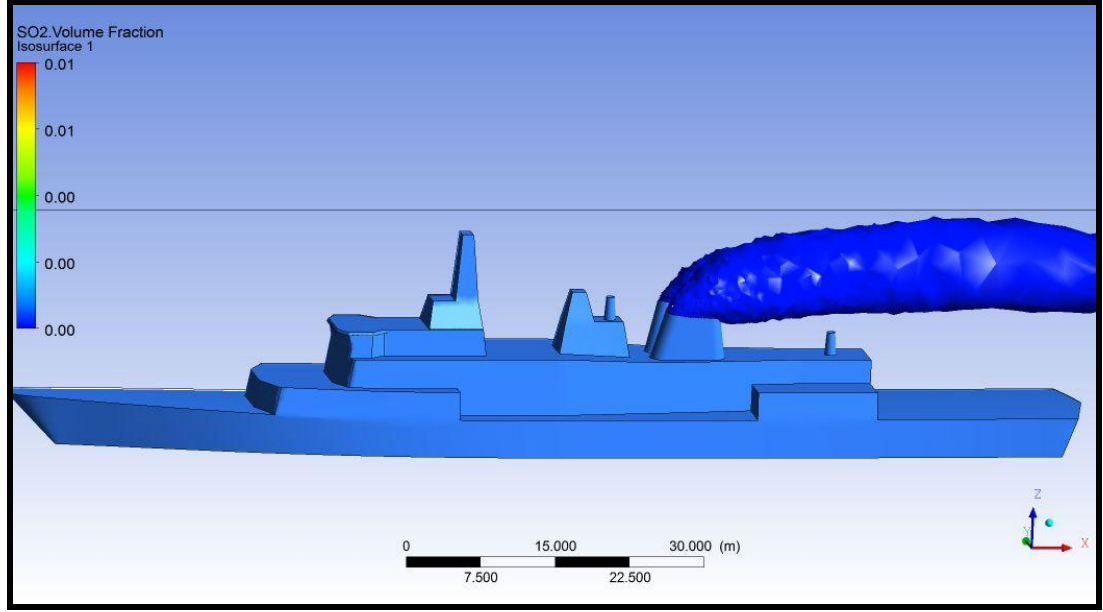
Şekil 6.266 : Durum-3 için SO_x yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.267 : Durum-3 için SO_x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



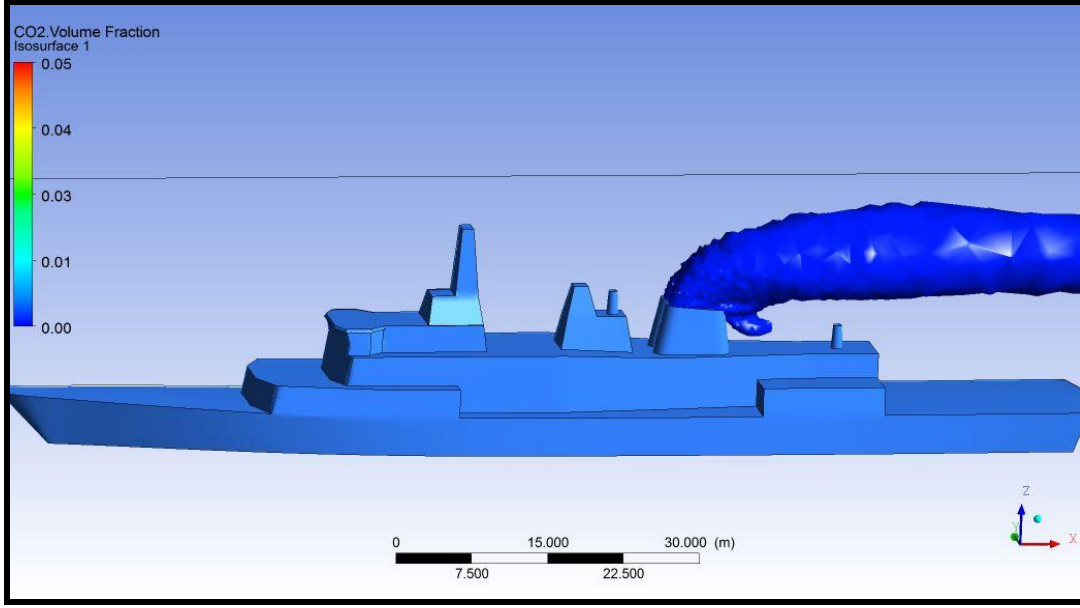
Şekil 6.268 : Durum-3 için SO_x yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



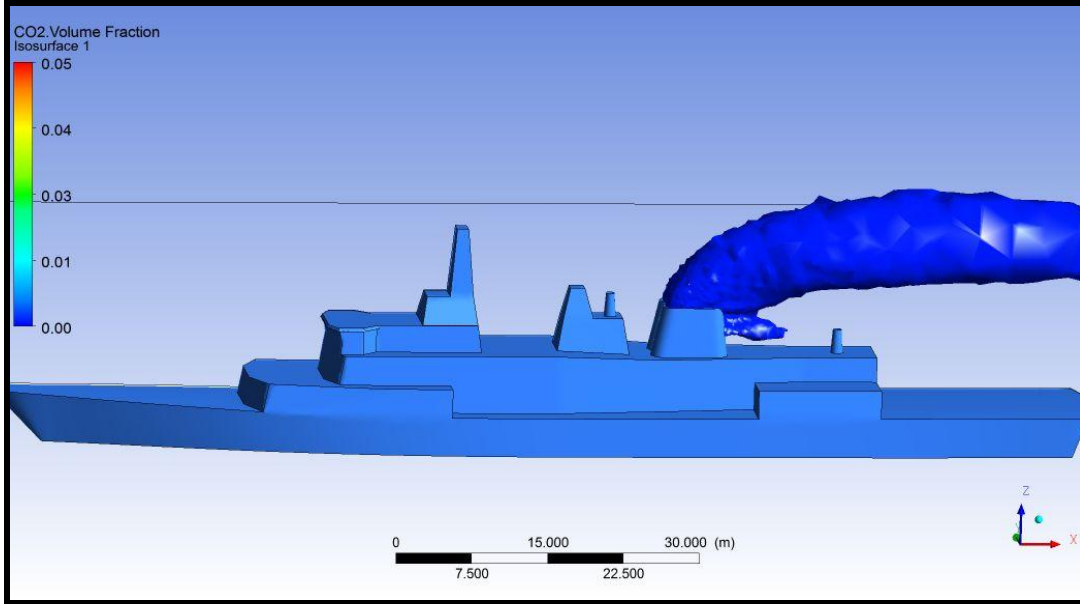
Şekil 6.269 : Durum-3 için SO_x yayılımı (Parampetli baca) .

Gerçek seyir şartları altında Durum-3 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarından SO_x gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında SO_x gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin arttığı ve SO_x gazının dağılarak bacanın arkasına azda olsa sarktığı görülmüştür (Şekil 6.265 ve Şekil 6.266). Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla NO_x emisyonu kadar SO_x gazının olumsuz bir etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir. Ancak genel olarak bu şartlarda SO_x egzoz emisyonunun helikopter platformuna düşmediği de görülmüştür.

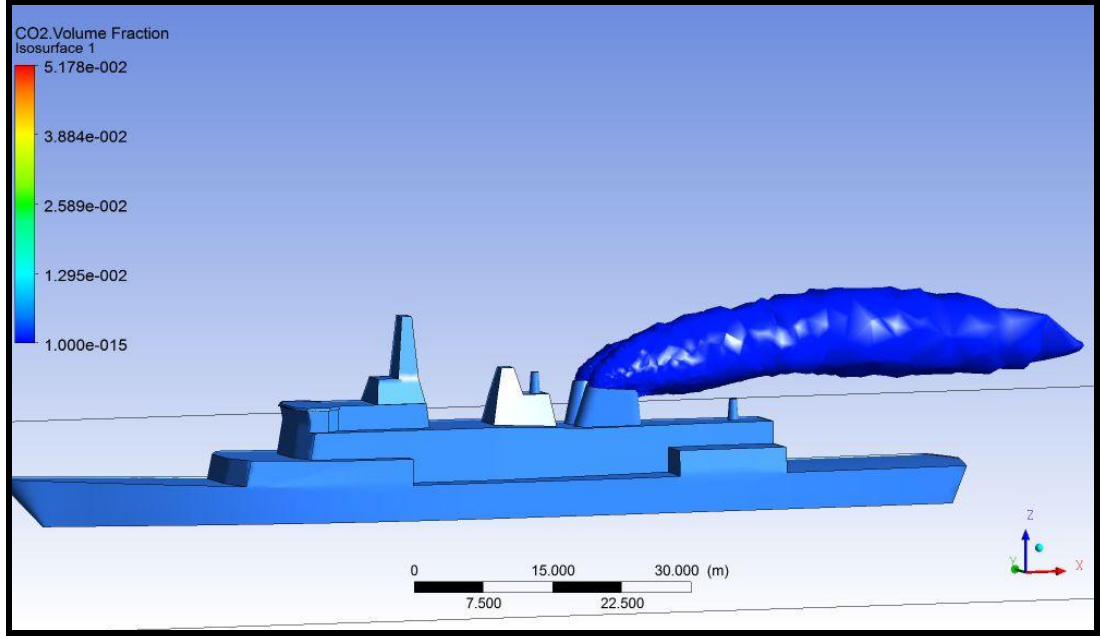
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından CO₂ gazının hacimsel oranının 0.001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.270- Şekil 6.274'de gösterilmiştir.



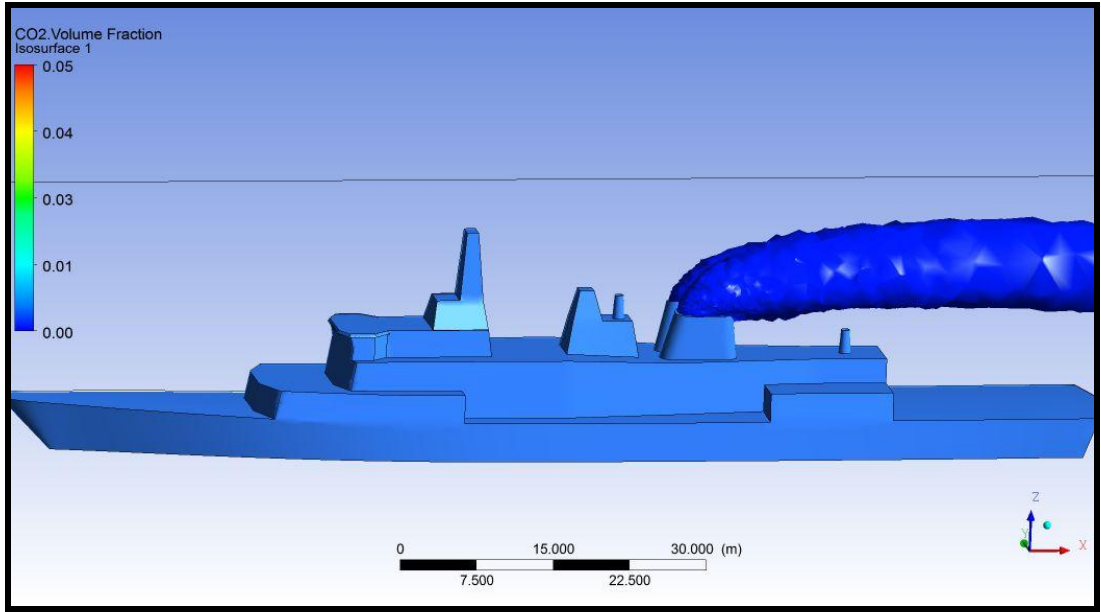
Şekil 6.270 : Durum-3 için CO₂ yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca) .



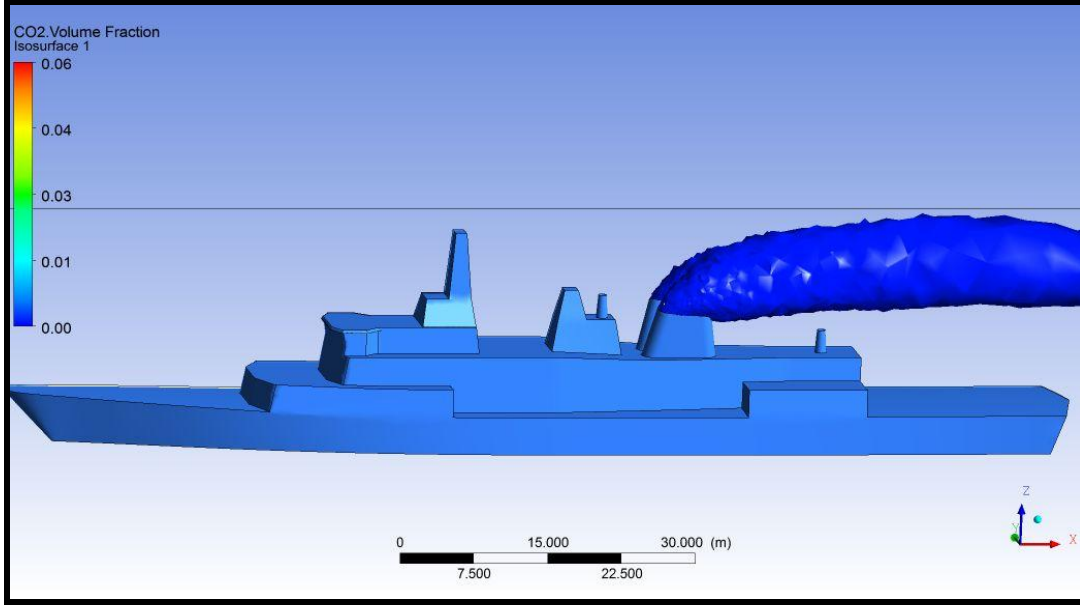
Şekil 6.271 : Durum-3 için CO₂ yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.272 : Durum-3 için CO₂ yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca) .



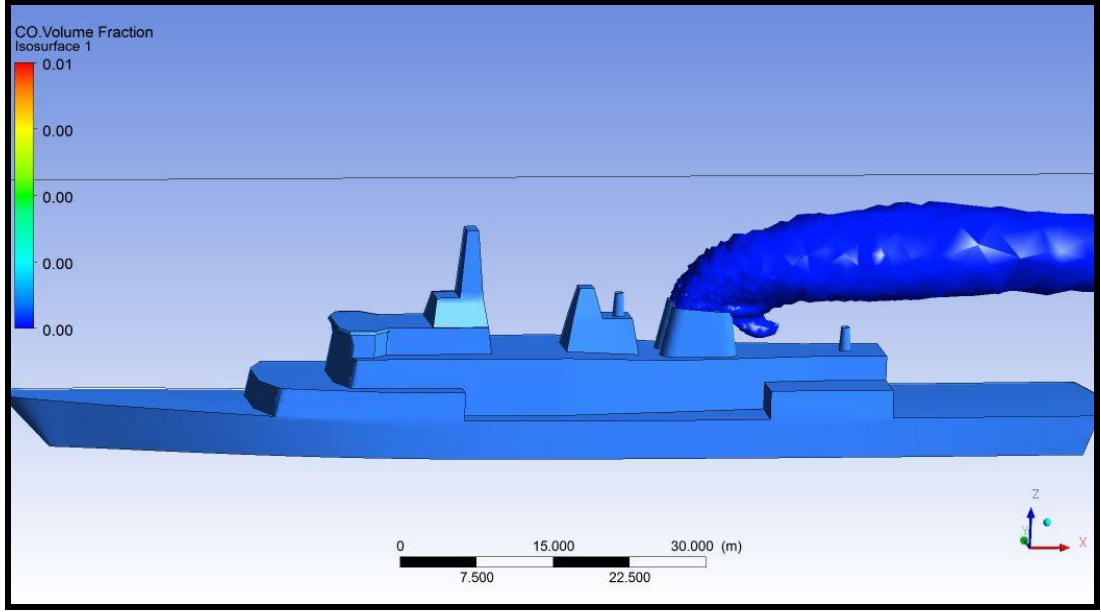
Şekil 6.273 : Durum-3 için CO₂ yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



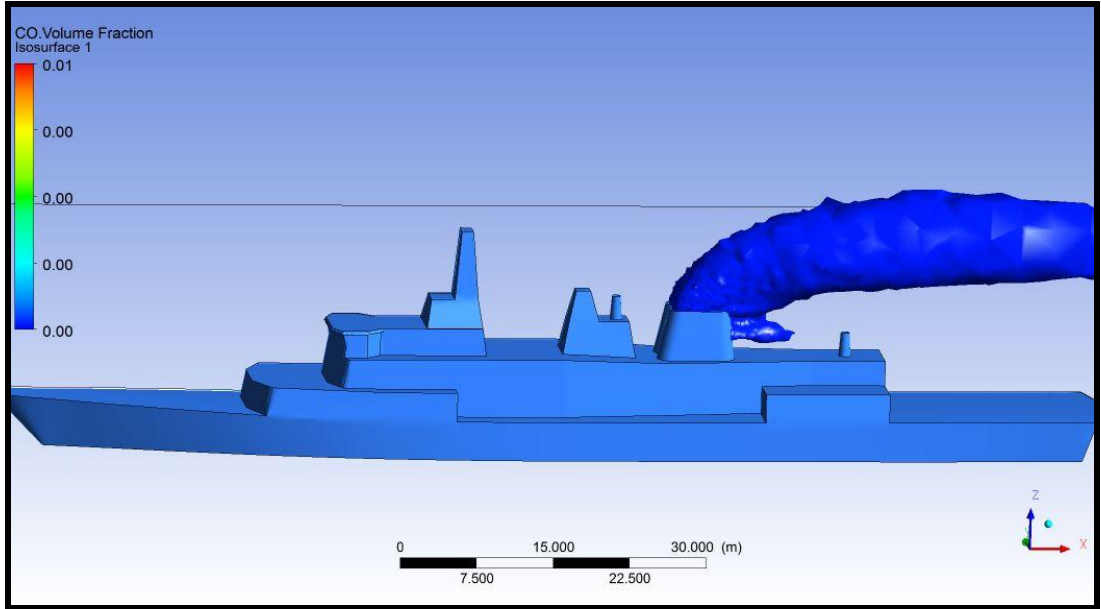
Şekil 6.274 : Durum-3 için CO₂ yayılımı (Parampetli baca).

Gerçek seyir şartları altında Durum-3 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarından CO₂ gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında CO₂ gazının hacimsel olarak 0.001'in üstündeki bölgenin arttığı ve CO₂ gazının dağılarak bacanın arkasına azda olsa sarktığı görülmüştür (Şekil 6.270 ve Şekil 6.271). Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla NO_x emisyonu kadar CO₂ gazının olumsuz bir etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir. Ancak genel olarak bu şartlarda CO₂ egzoz emisyonunun helikopter platformuna düşmediği de görülmektedir.

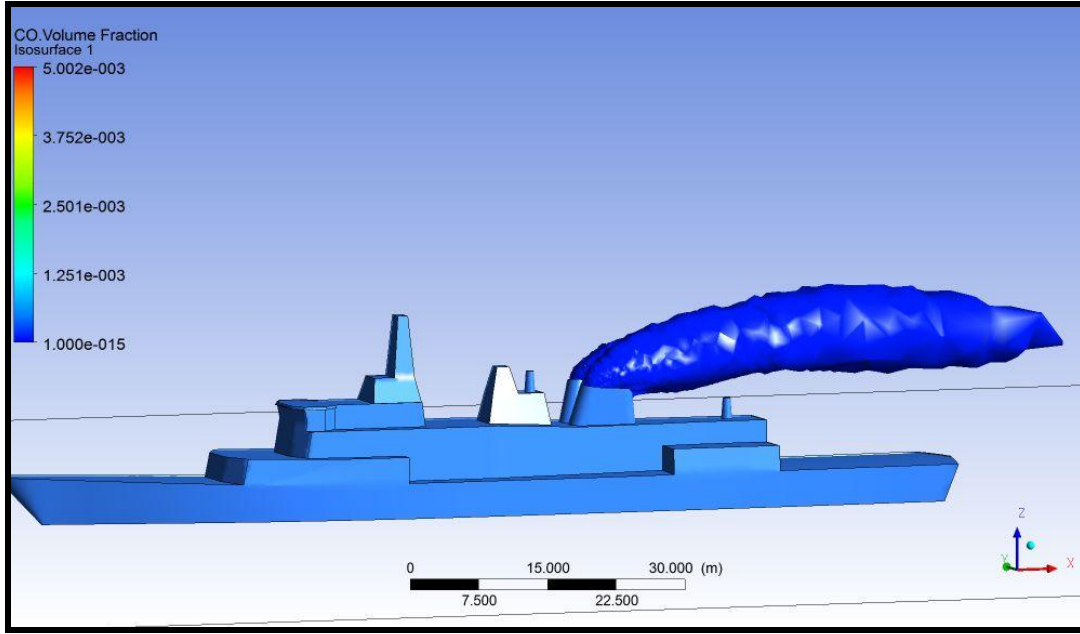
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-3) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.275- Şekil 6.279'de gösterilmiştir.



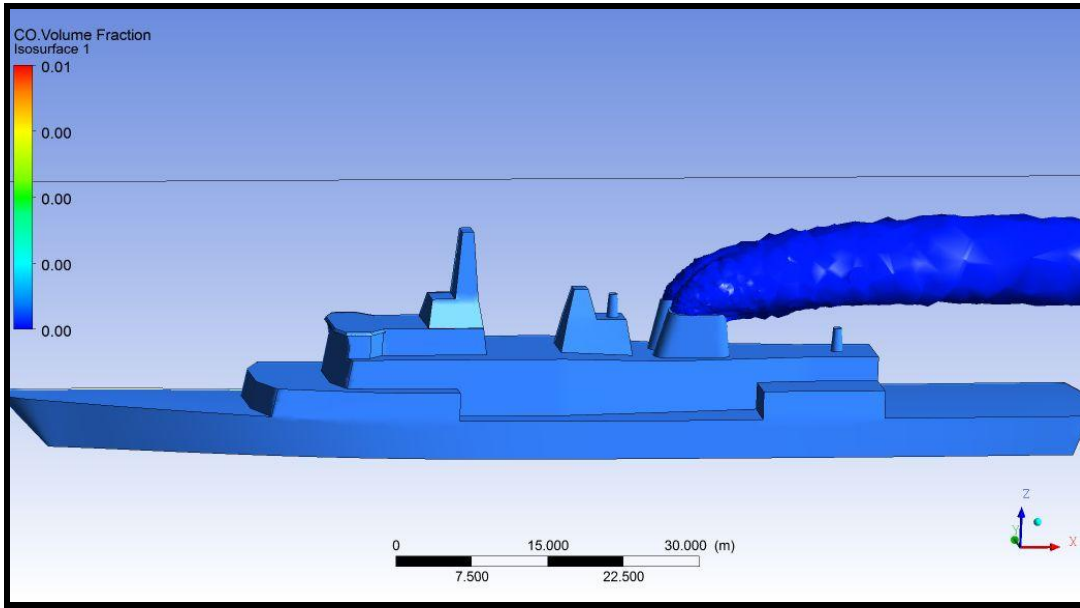
Şekil 6.275 : Durum-3 için CO yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



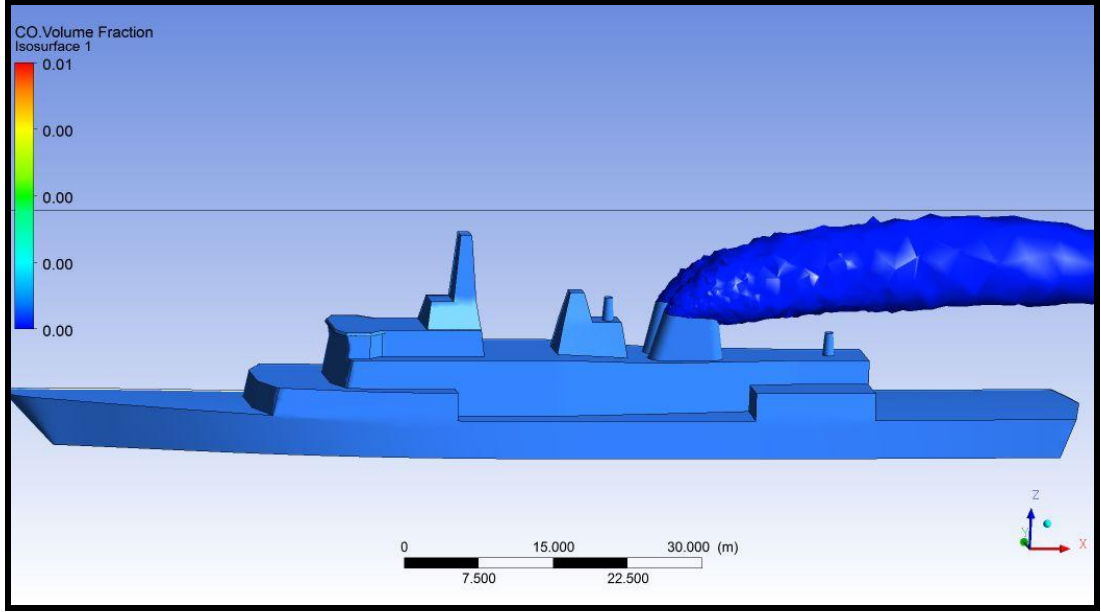
Şekil 6.276 : Durum-3 için CO yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.277 : Durum-3 için CO yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



Şekil 6.278 : Durum-3 için CO yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).

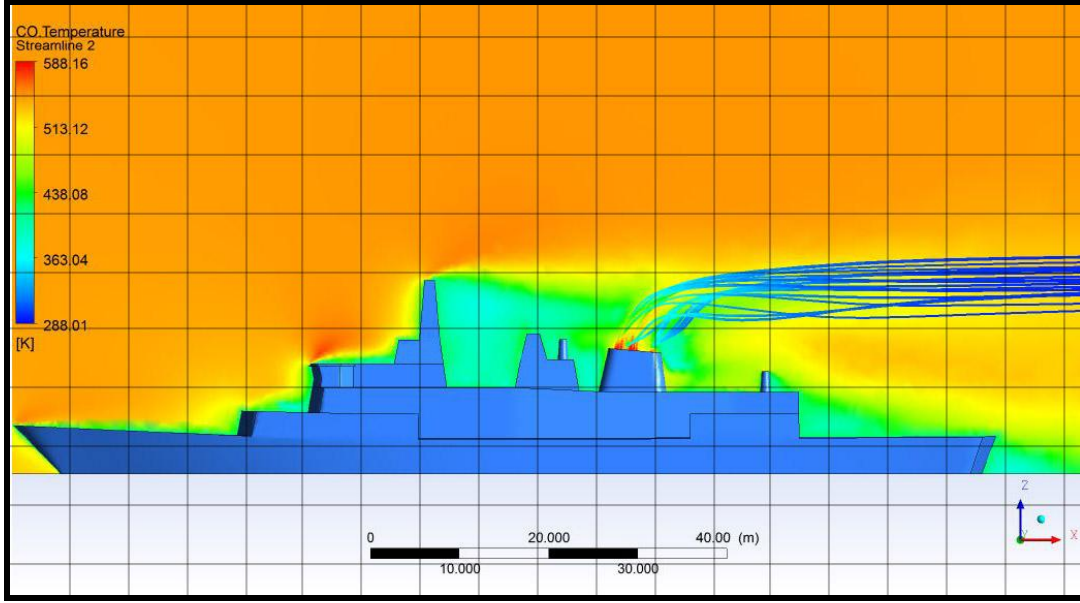


Şekil 6.279 : Durum-3 için CO yayılımı (Parampetli baca).

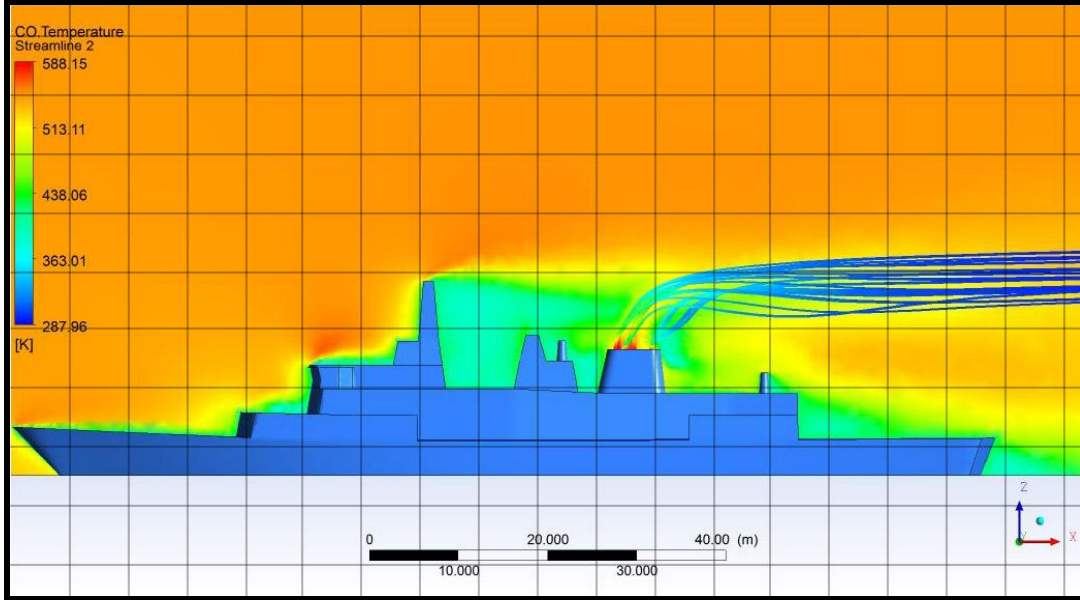
Belirlenen seyir şartları altında Durum-3 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarından CO gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında CO gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin arttığı ve CO gazının dağılarak bacanın arkasına azda olsa sarktığı görülmüştür (Şekil 6.275 ve Şekil 6.276). Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla NO_x emisyonu kadar CO gazının olumsuz bir etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir. Ancak genel olarak bu şartlarda CO egzoz emisyonunun helikopter platformuna düşmediği de görülmektedir.

6.2.5.5 Farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi (Durum-4)

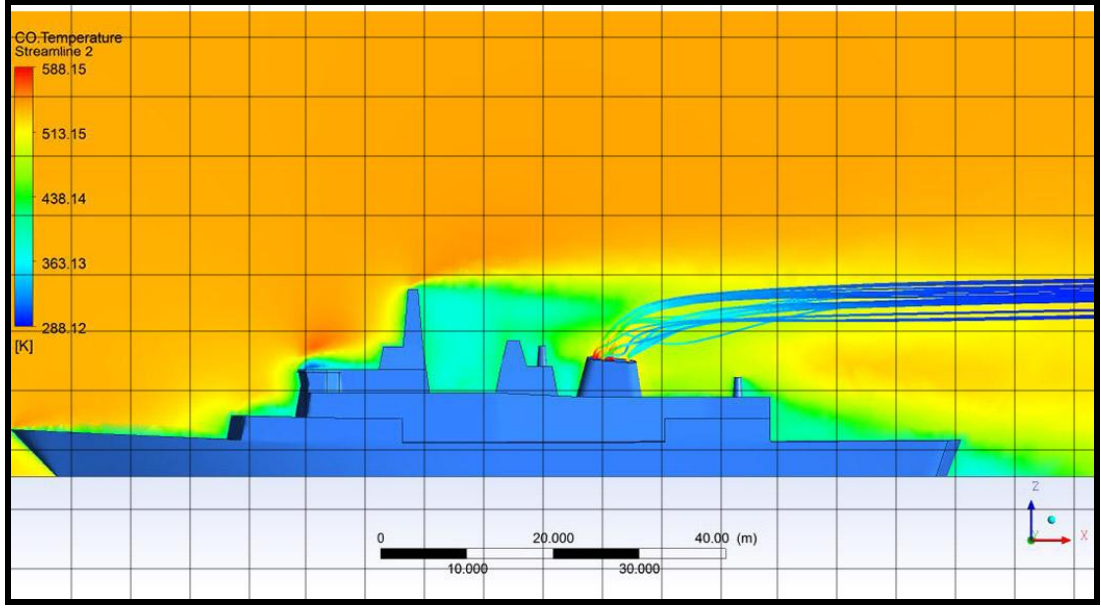
Fırkateyn 20 knot sürat ile ileri yolda giderken, rüzgar baştan 20 knot ile esmektedir. Egzoz çıkış hızı 57 m/s, egzoz çıkış sıcaklığı 315⁰ C'dir. Bu şartlar altında hız oranı K=2.772 (Durum-4) olarak belirlenmiştir. Belirtilen gerçek seyir şartlarında helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateynde 5 farklı (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) baca geometrisinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarına etkileri Şekil 6.280 – Şekil 6.284'de gösterilmiştir.



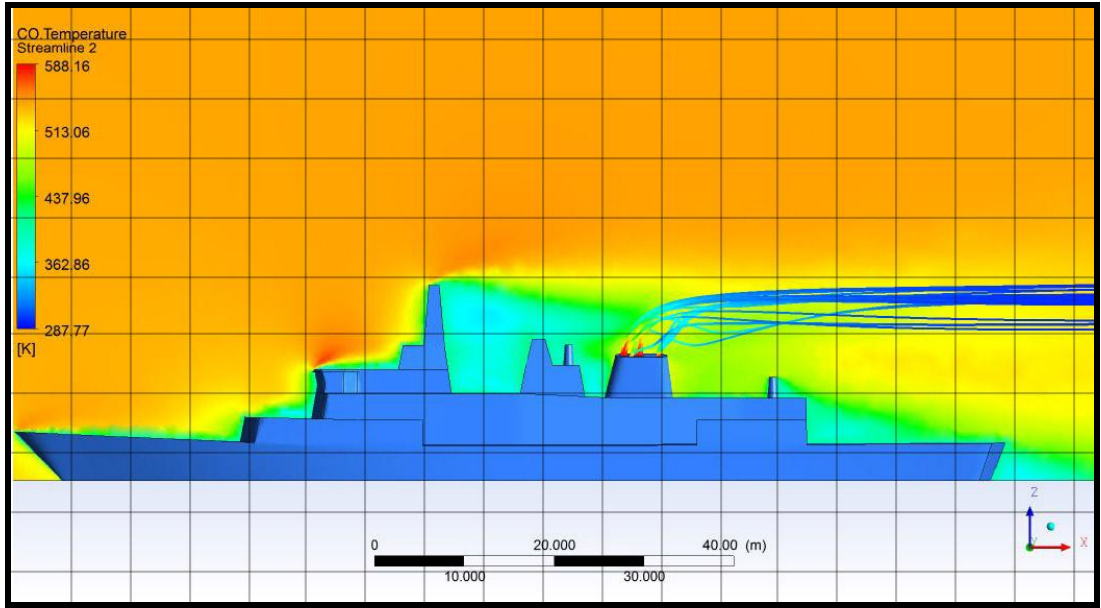
Şekil 6.280 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



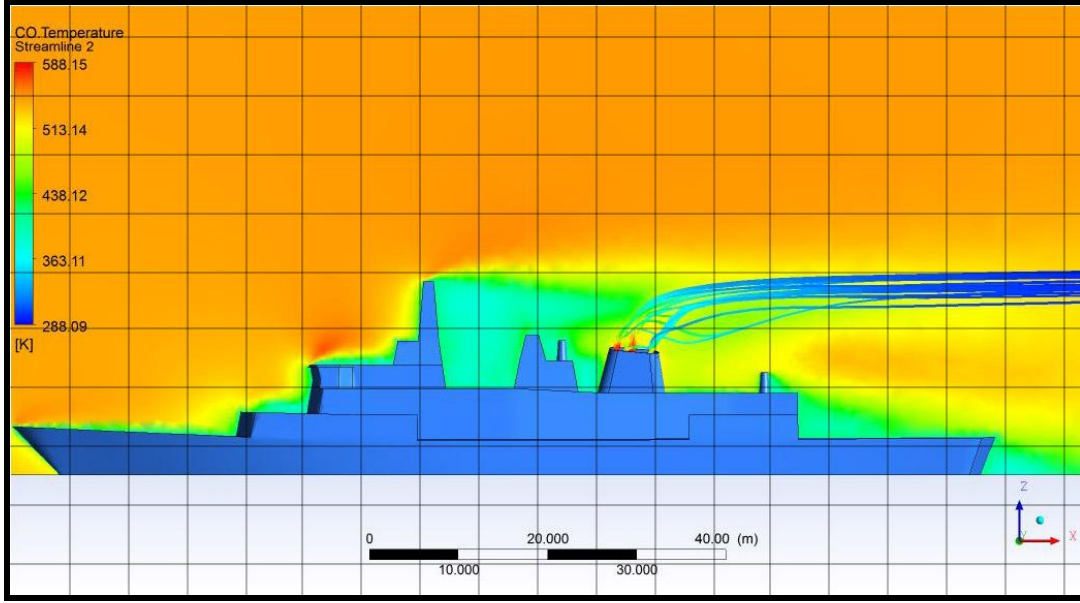
Şekil 6.281 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Düz baca) .



Şekil 6.282 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Sancak-İskele ve Baş-K14 eğimli baca).



Şekil 6.283 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Sancak-İskele eğimli baca).

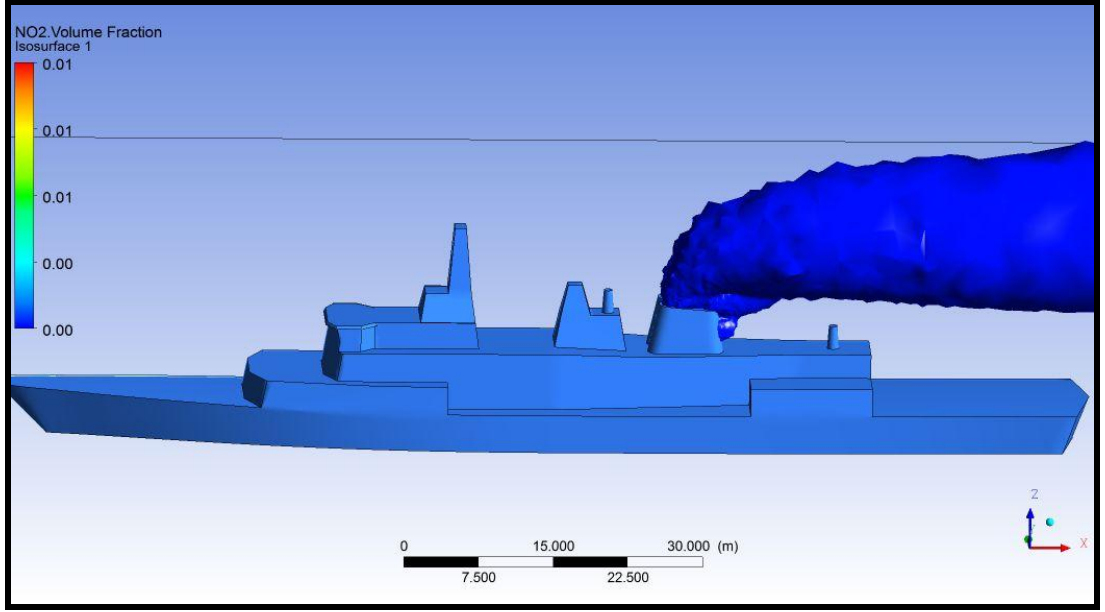


Şekil 6.284 : Durum-4 için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı (Parampetli baca geometrisi).

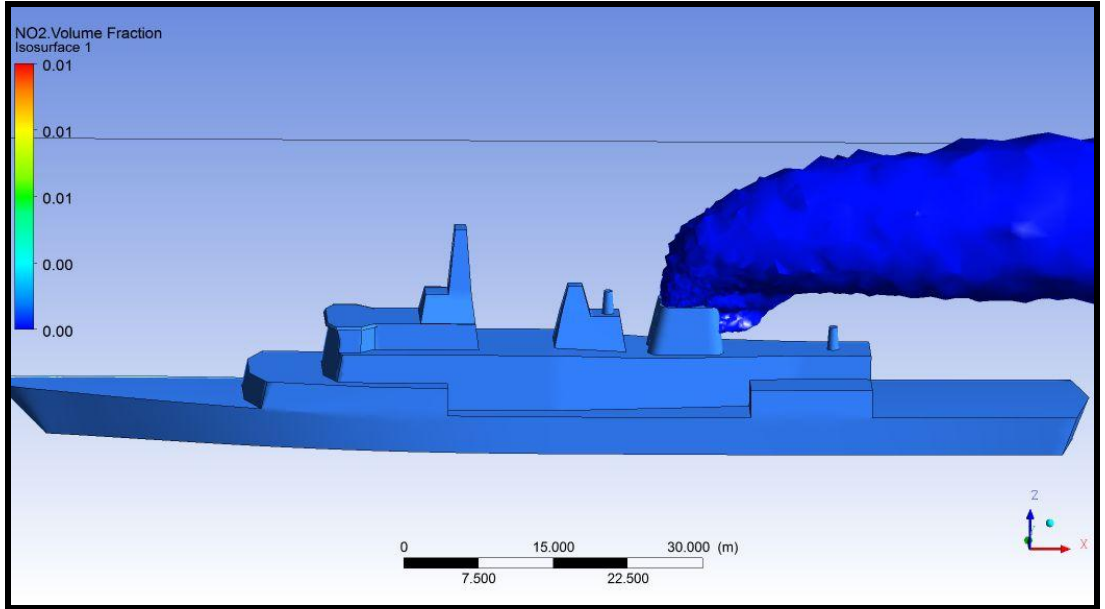
Gerçek seyir şartlarında Durum-4 için fırkateynde 5 farklı (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarına etkileri incelendiğinde hız oranı $K=2.772$ iken tüm baca geometrileri için egzoz gazlarının yayılımının sınır tabaya yakın olduğu, baca gazlarının bu şartlarda momentumlarının yüksek olmasından dolayı genel olarak sıcaklık dağılımının elektronik cihazlara zararlı olmayacağı görülmüştür (Şekil 6.280- Şekil 6.284).

6.2.5.6 Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi (Durum-4)

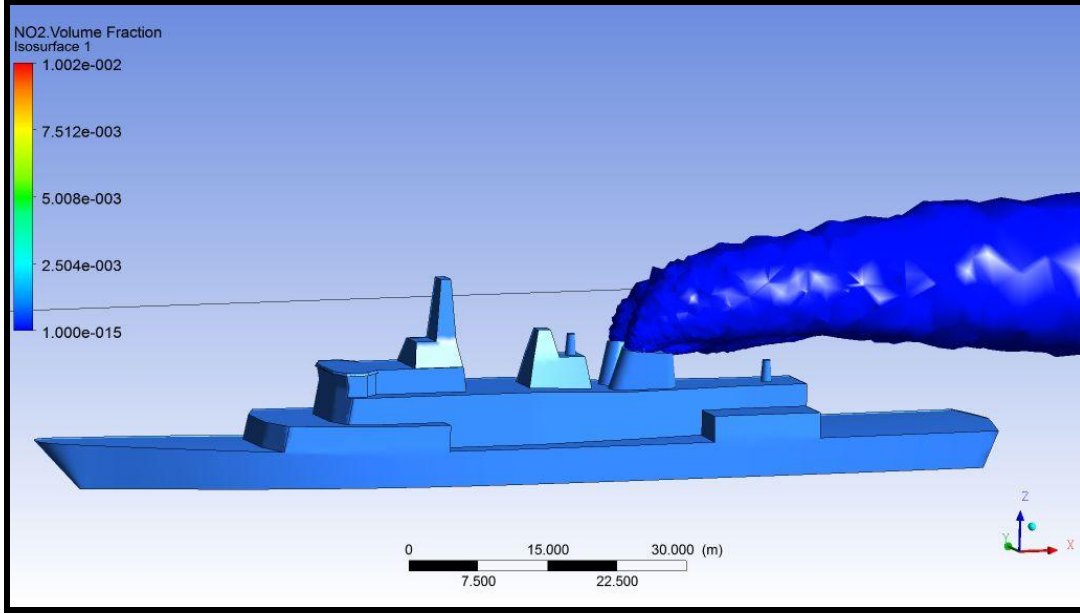
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından NO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.285 – Şekil 6.289'da gösterilmiştir.



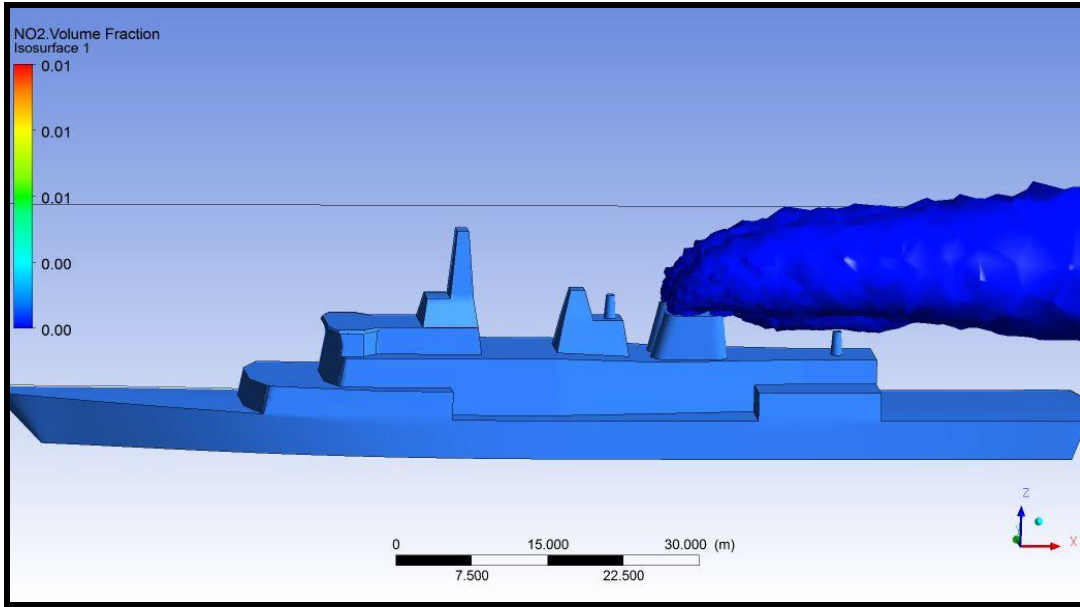
Şekil 6.285 : Durum-4 için NO_x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca) .



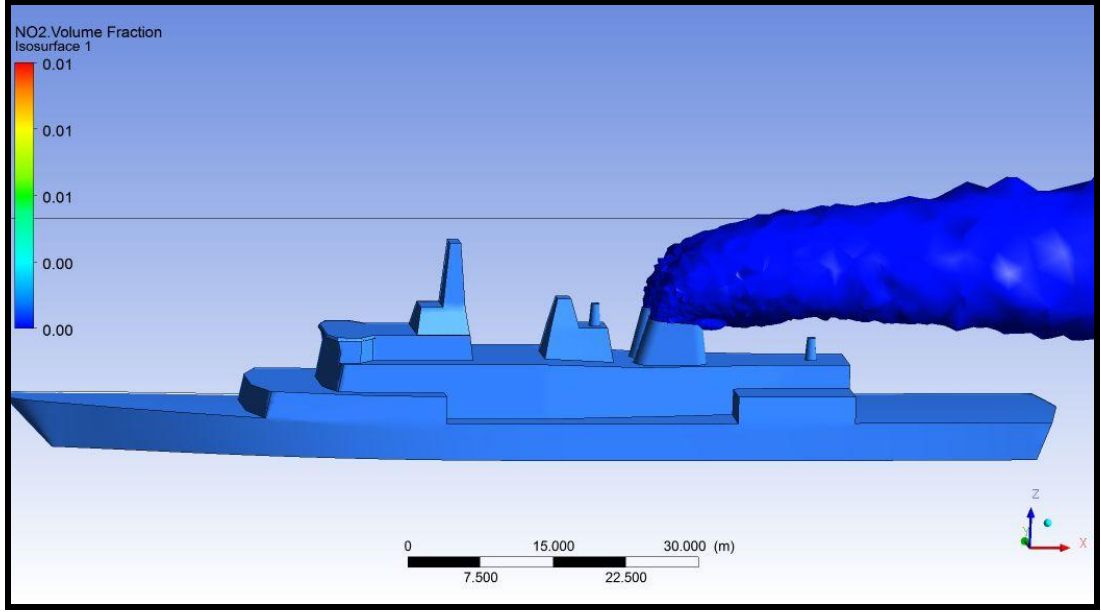
Şekil 6.286 : Durum-4 için NO_x yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.287 : Durum-4 için NO_x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



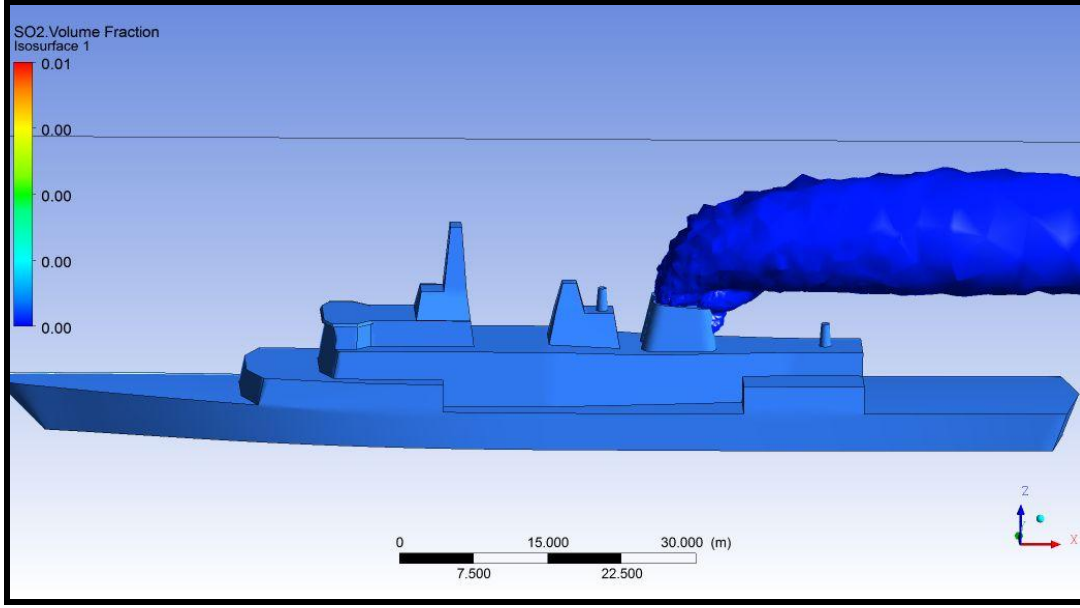
Şekil 6.288 : Durum-4 için NO_x yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



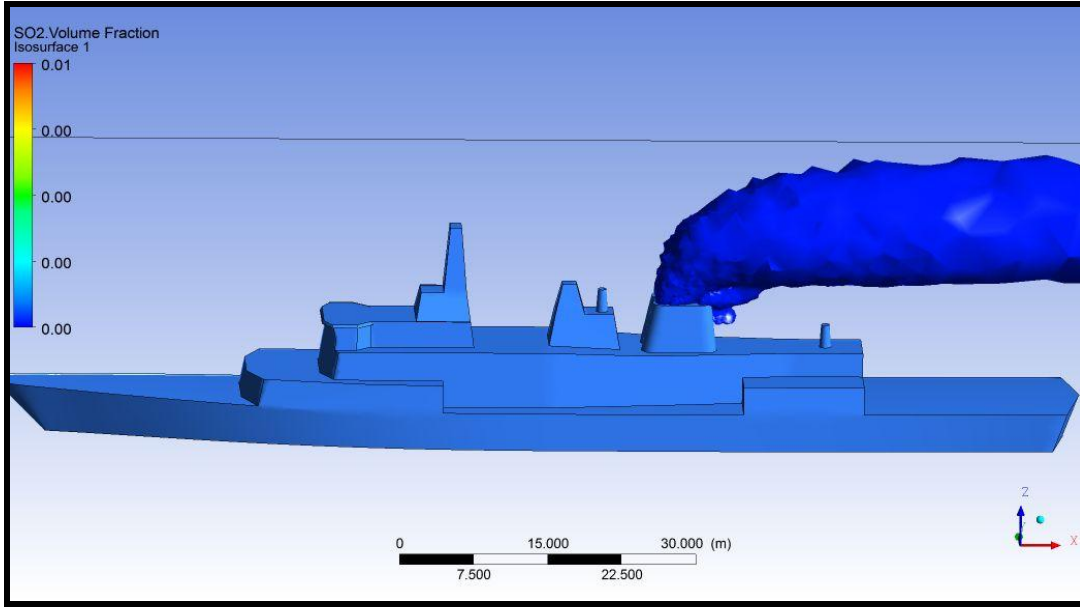
Şekil 6.289 : Durum-4 için NO_x yayılımı (Parampetli baca).

Belirlenen seyir şartlarında Durum-4 için farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarından NO_x gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında NO_x gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin az da olsa baca arkasına sarktığı görülmüştür (Şekil 6.285 ve Şekil 6.286). Ancak genel olarak bu şartlarda NO_x egzoz emisyonunun helikopter platformuna düşmediği de tespit edilmiştir.

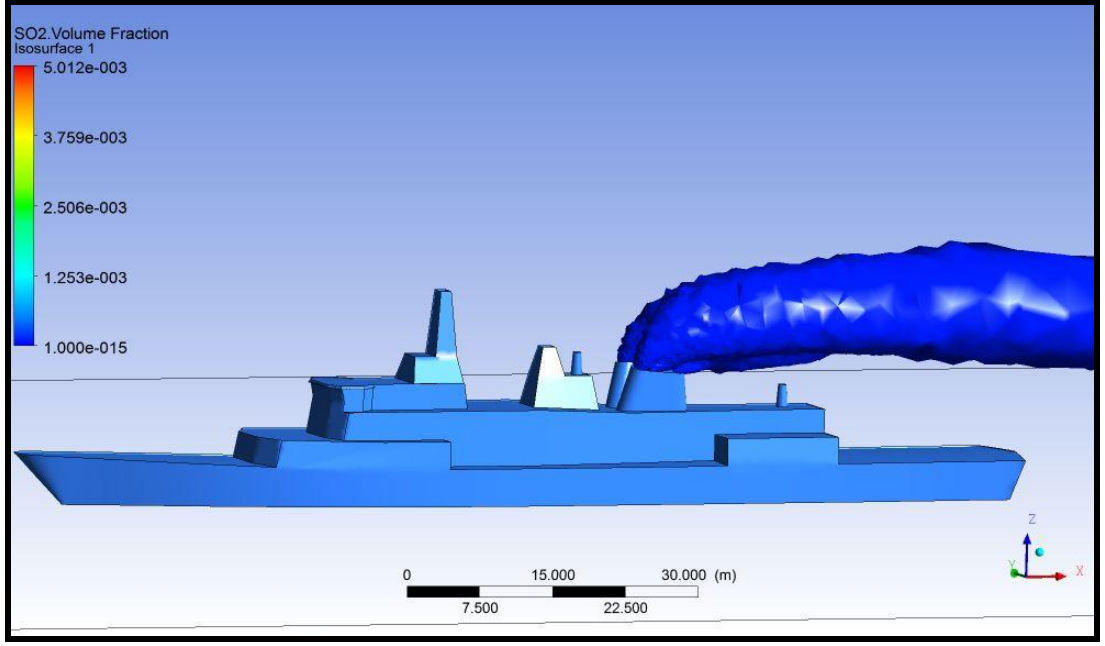
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından SO_x gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.290 – Şekil 6.294'te gösterilmiştir.



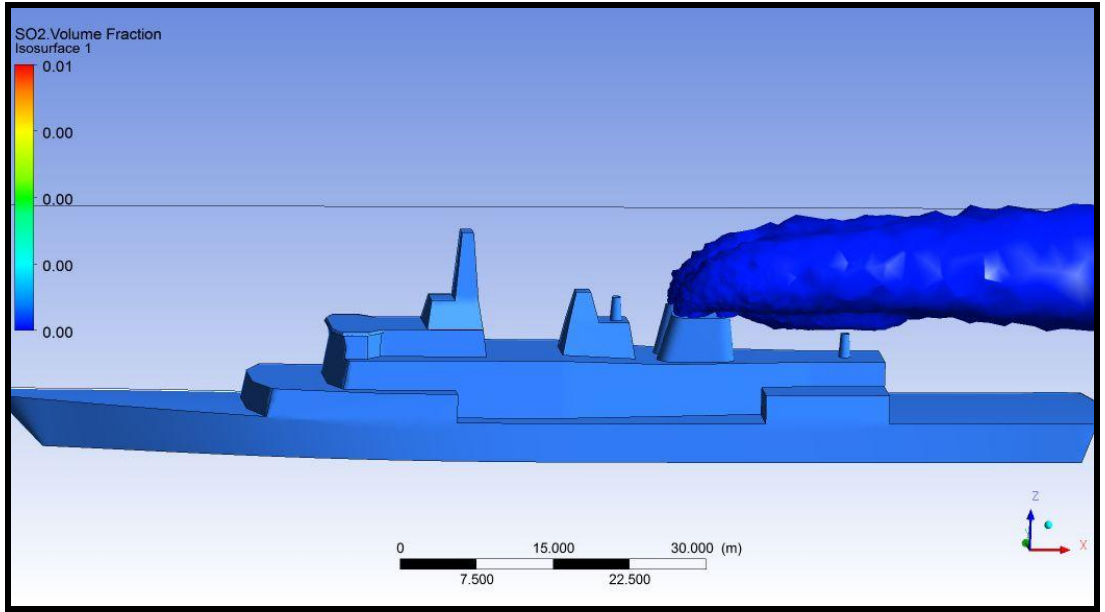
Şekil 6.290 : Durum-4 için SO_x yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



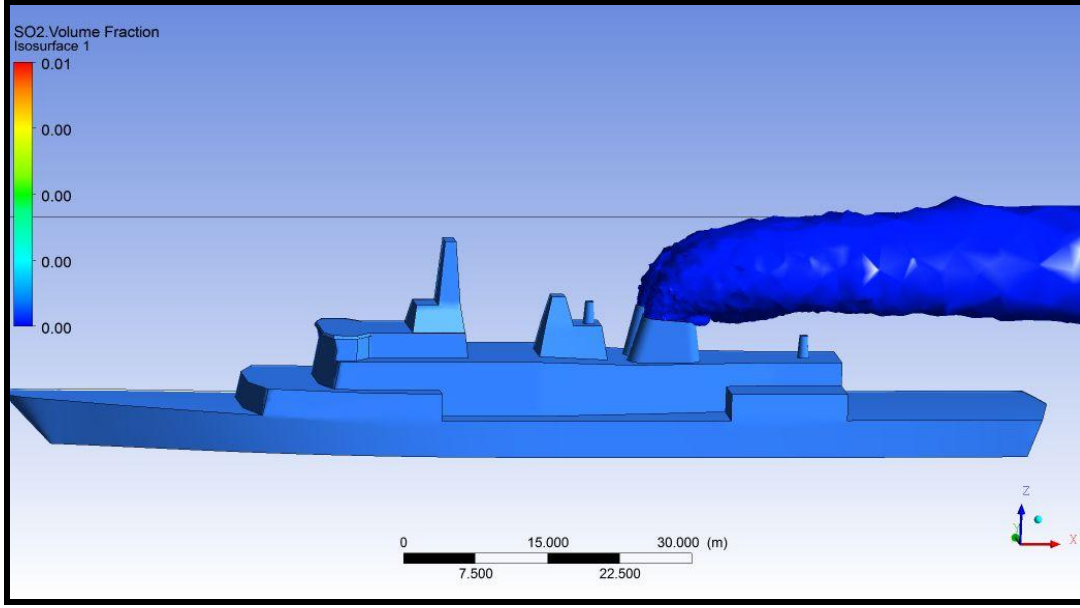
Şekil 6.291 : Durum-4 için SO_x yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.292 : Durum-4 için SO_x yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



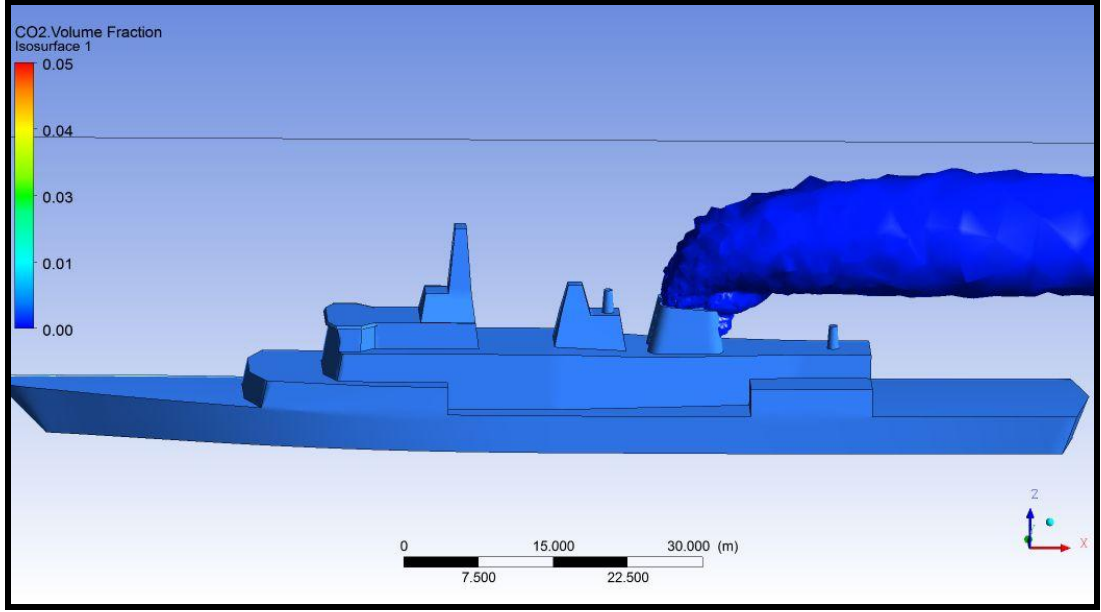
Şekil 6.293 : Durum-4 için SO_x yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



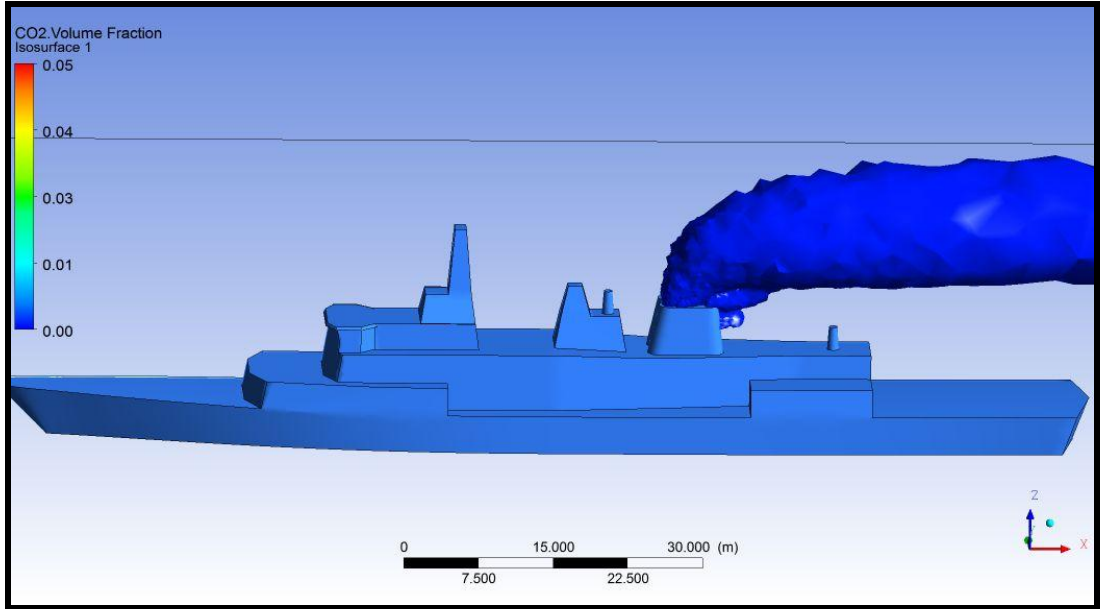
Şekil 6.294 : Durum-4 için SO_x yayılımı (Parampetli baca).

Belirlenen seyir şartlarında Durum-4 için farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarından SO_x gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında SO_x gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin az da olsa baca arkasına sarktığı görülmüştür (Şekil 6.290 ve Şekil 6.291). Ancak genel olarak bu şartlarda SO_x egzoz emisyonunun helikopter platformuna düşmediği de görülmektedir.

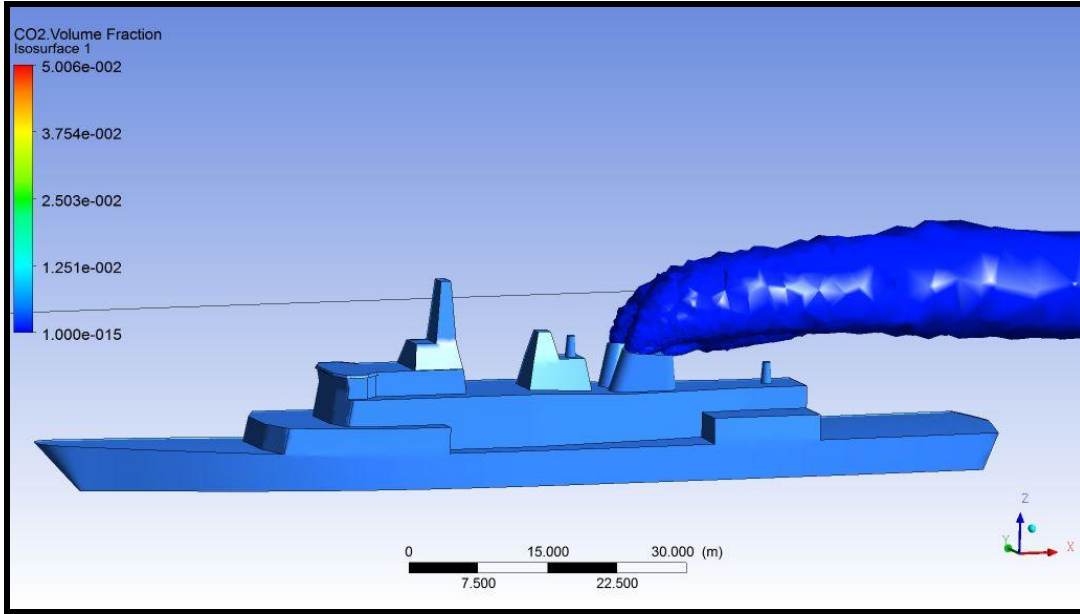
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından CO_2 gazının hacimsel oranının 0.001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.295 – Şekil 6.299'da gösterilmiştir.



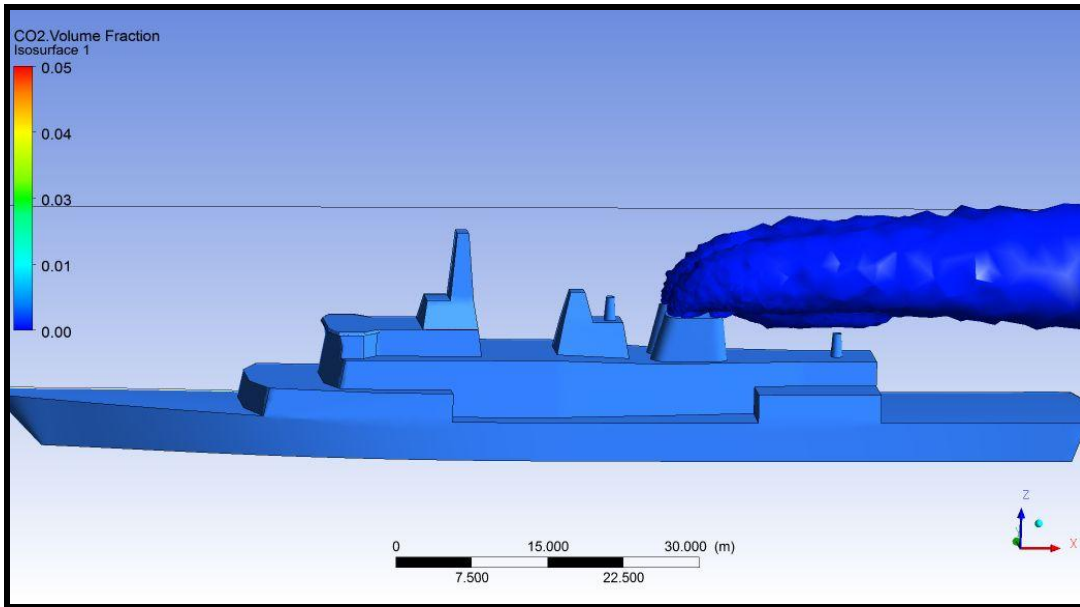
Şekil 6.295 : Durum-4 için CO₂ yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



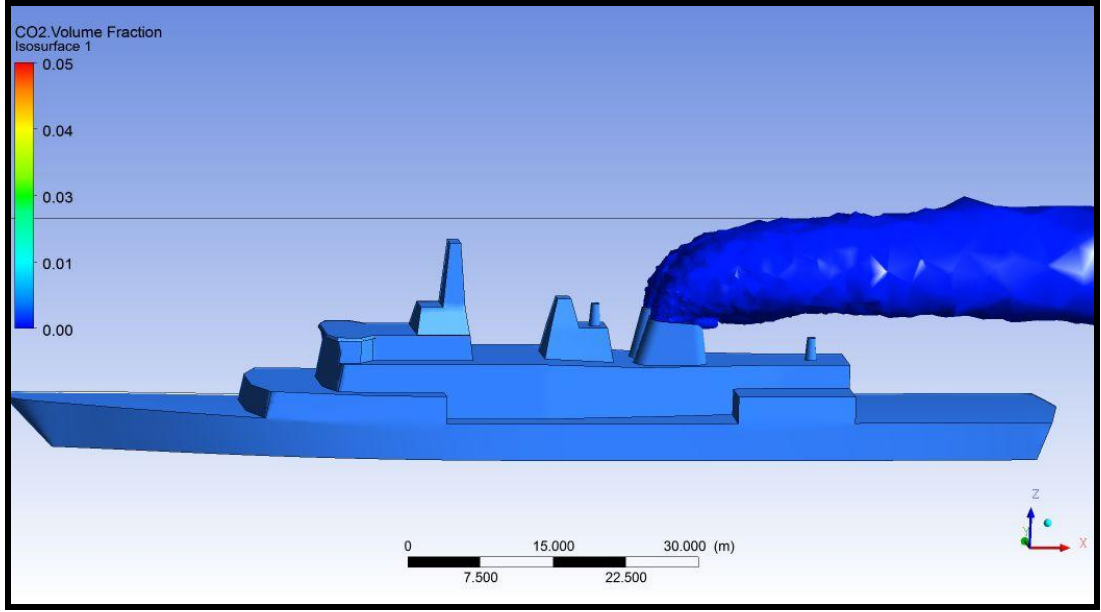
Şekil 6.296 : Durum-4 için CO₂ yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.297 : Durum-4 için CO₂ yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



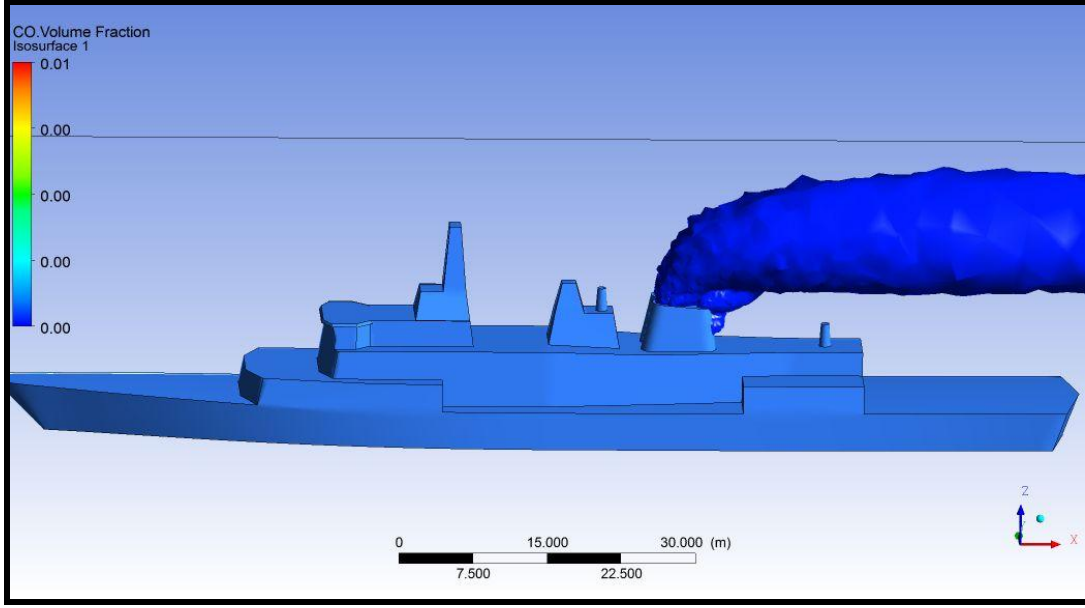
Şekil 6.298 : Durum-4 için CO₂ yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



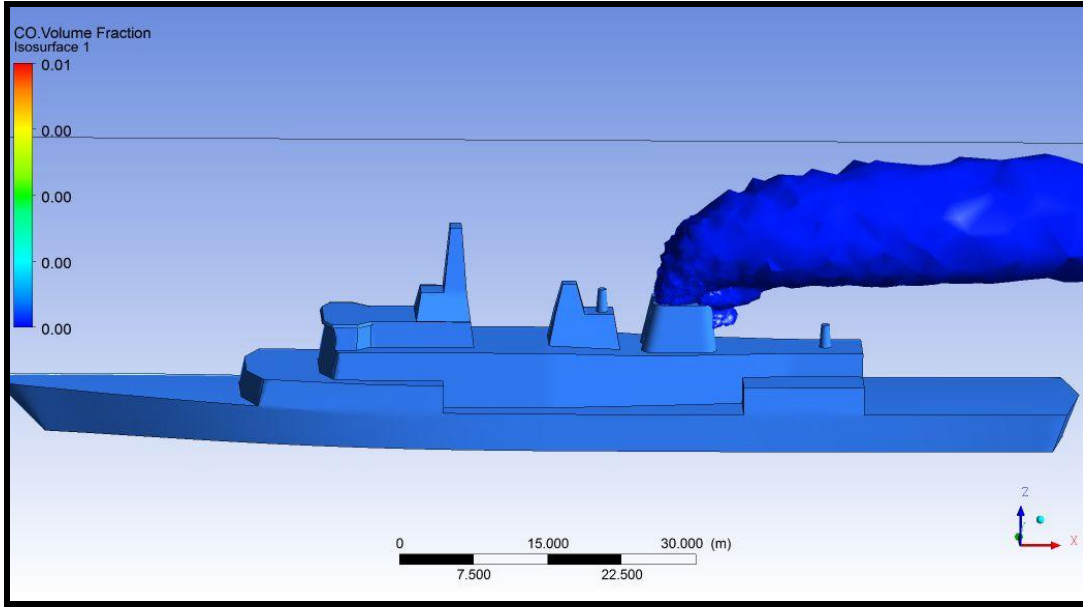
Şekil 6.299 : Durum-4 için CO₂ yayılımı (Parampetli baca).

Gerçek seyir şartlarında Durum-4 için farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarından CO₂ gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında CO₂ gazının hacimsel olarak 0.001'in üstündeki bölgenin az da olsa baca arkasına sarktığı görülmüştür (Şekil 6.295 ve Şekil 6.296). Ancak genel olarak bu şartlarda CO₂ egzoz emisyonunun helikopter platformuna düşmediği de görülmektedir.

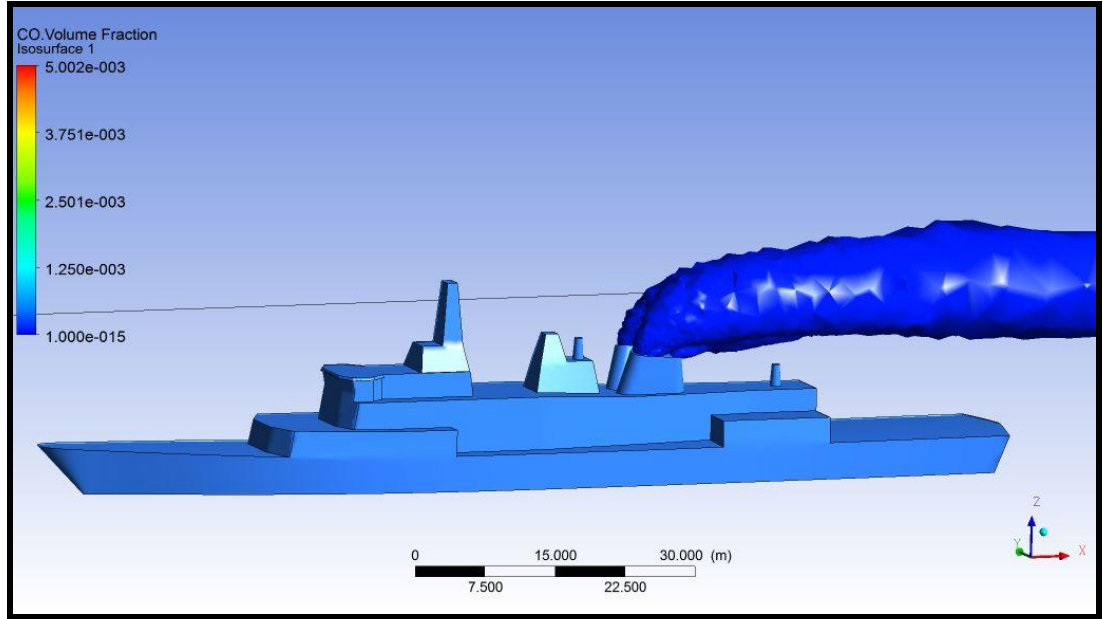
Tam boyutlardaki tipik fırkateyn için gerçek seyir şartlarında (Durum-4) farklı baca geometrileri için (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca) bacadan çıkan egzoz gazlarından gazlarından CO gazının hacimsel oranının 0.0001'i aştığı bölgeleri gösteren emisyon dağılımları Şekil 6.300 – Şekil 6.304'te gösterilmiştir.



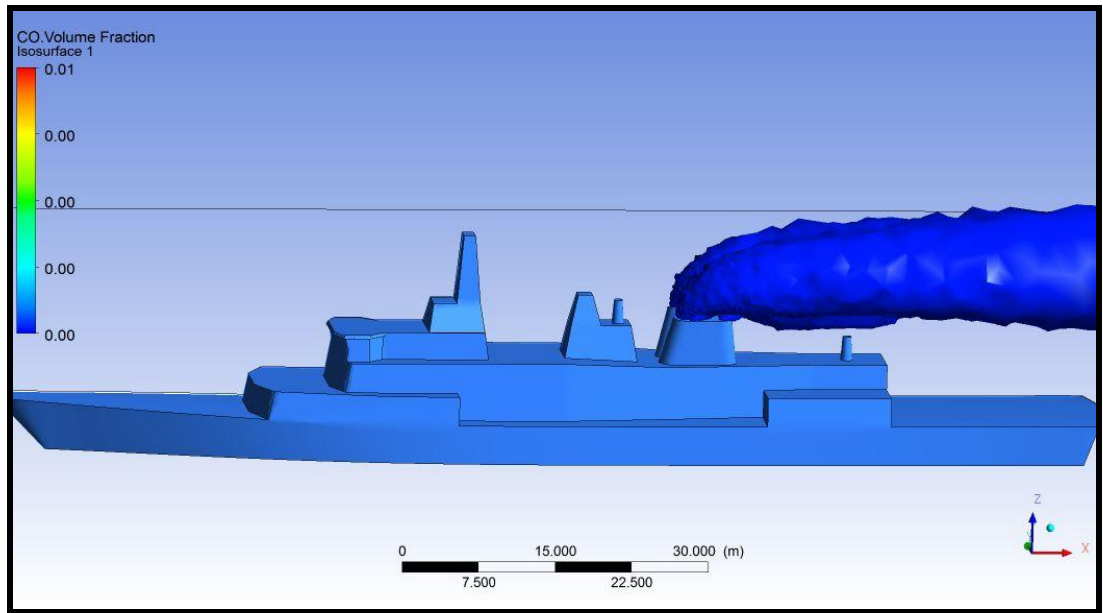
Şekil 6.300 : Durum-4 için CO yayılımı (Baş-Kıç Eğimli baca).



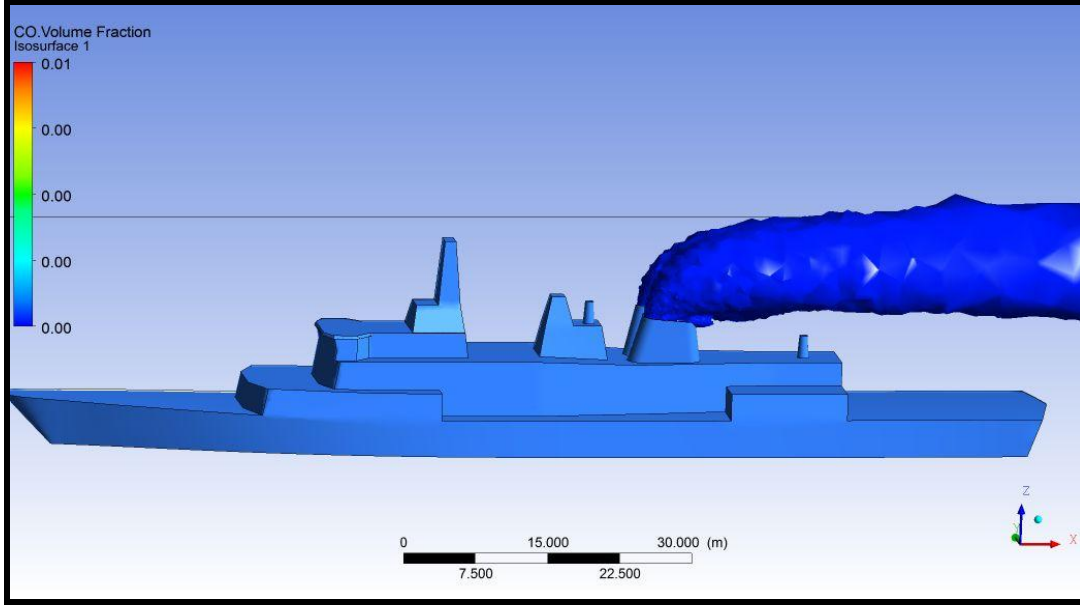
Şekil 6.301 : Durum-4 için CO yayılımı (Düz baca).



Şekil 6.302 : Durum-4 için CO yayılımı (Sancak-İskele ve Baş-Kıç eğimli baca).



Şekil 6.303 : Durum-4 için CO yayılımı (Sancak-İskele eğimli baca).



Şekil 6.304 : Durum-4 için CO yayılımı (Parampetli baca).

Belirlenen seyir şartlarında Durum-4 için farklı baca geometrilerinin egzoz gazlarından CO gazının yayılımına etkisi incelendiğinde ilk iki baca geometrisi (Baş-Kıç Eğimli ve düz baca) için baca arkasında CO gazının hacimsel olarak 0.0001'in üstündeki bölgenin az da olsa baca arkasına sarktığı görülmüştür (Şekil 6.300 ve Şekil 6.301). Ancak genel olarak bu şartlarda CO egzoz emisyonunun helikopter platformuna düşmediği de görülmektedir.

Sonuç olarak gerçek boyutlardaki fırkateyn modelinde kullanmak üzere tasarlanan yükseklikleri ve geometrileri farklı 5 (beş) baca modelinin (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca), 3 (üç) farklı hız oranı ($K=0.601$, 1.32 , 2.772) için egzoz gaz yayılımına etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Durum-1'deki seyir şartlarında hız oranı $K=0.601$ iken baş kıç eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sınır tabakanın üstüne çıkma eğiliminde olduğu, sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca kullanıldığında ise baca gazlarının helikopter platformuna yöneldiği ve bu baca geometrisi kullanıldığında seyir esnasında üst güvertede silah sistemi yakınında bulunan personel ve silah sistemi için egzoz gaz sıcaklığının olumsuz etkilerinin olabileceği görülmüştür. Durum-3 ve Durum-4'deki seyir şartlarında hız oranı sırasıyla $K=1.32$ ve $K=2.772$ iken ise egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olmasından dolayı egzoz gazlarının sınır tabaka üstüne çıkma eğiliminde olduğu ve genel olarak sıcaklık dağılımının elektronik cihazlara zararlı olmayacağı görülmüştür.

Farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde ise Durum-1'deki seyir şartlarında yani $K=0.601$ iken baş-kıç eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında NO_x gazının dağılarak bacanın arkasına doğru sarktığı, bu bacalar kullanıldığında seyir esnasında üst güvertede silah sistemi yakınında bulunan personel için NO_x gazının insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabileceği diğer egzoz emisyonlarında da benzer bir şekilde baca arkasında azda olsa sarkmalar olduğu ancak genel olarak egzoz gazlarının helikopter platformuna düşmediği görülmüştür. Durum-3 ve Durum-4'deki seyir şartlarında hız oranı sırasıyla $K=1.32$ ve $K=2.772$ iken ise yine baş-kıç eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında NO_x gazının dağılarak bacanın arkasına doğru sarktığı ancak baca gazlarının momentumlarının yüksek olmasından dolayı durum-1'deki kadar etkili olmadıkları görülmüştür. Bu şartlarda genel olarak egzoz emisyonlarının helikopter platformuna düşmediği tespit edilmiştir.

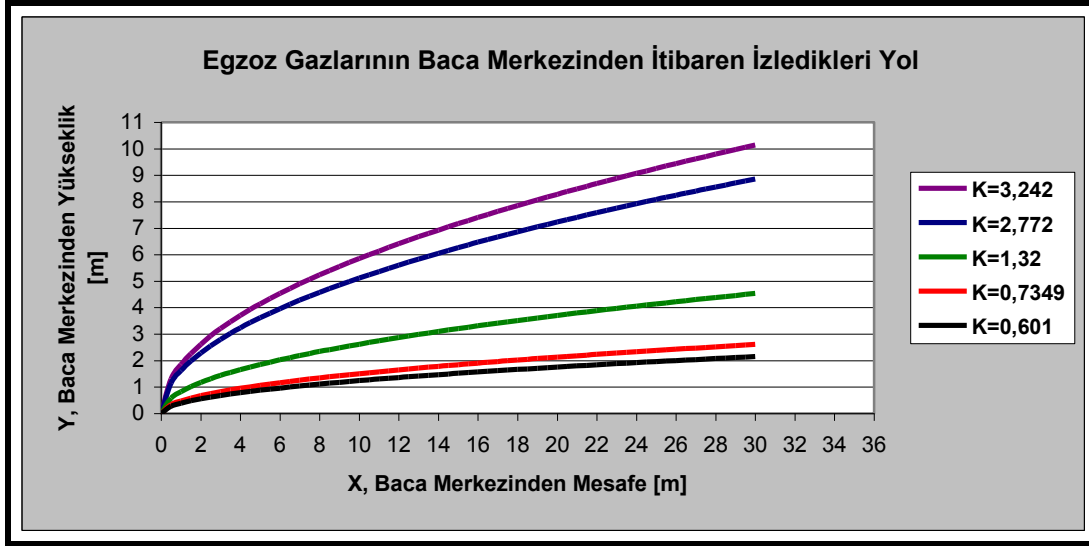
6.2.6 Farklı hız oranları için egzoz gazlarının yörüngesinin analitik sonuçlar ile karşılaştırılması

Tam boyutlu tipik fırkateyn modeli için yapılan bu sayısal çalışmada farklı 5 hız oranı ($K=0.601$, $K=0.7349$, $K=1.32$, $K=2.772$ ve $K=3.242$) için egzoz gazlarının baca merkezinden çıktığı andan itibaren izledikleri yol (Yörüngesi) analitik olarak hesaplanmıştır. Durum 1, Durum-2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5'de belirlenen seyir şartlarında seçilen tipik fırkateyn için hesaplanan L_m , L_b , X_c ve y fonksiyonu değerlerini gösteren analitik çözüm sonuçları Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Analitik Çözüm Sonuçları.

	K	L_m	L_b	X_c	y
Durum-1	0.601	0.33055	0.00223288	744.651	$0,291016128 \left(\frac{X}{0,55} \right)^{1/2}$
Durum-2	0.7349	0.404195	0.004076771	712.96	$0,353115140 \left(\frac{X}{0,55} \right)^{1/2}$
Durum-3	1.32	0.726	0.023775733	579.4687	$0,614020732 \left(\frac{X}{0,55} \right)^{1/2}$
Durum-4	2.772	1.5246	0.0194625	48036.35	$1,199394667 \left(\frac{X}{0,55} \right)^{1/2}$
Durum-5	3.242	1.7831	0.01580779	163941.5	$1,373119327 \left(\frac{X}{0,55} \right)^{1/2}$

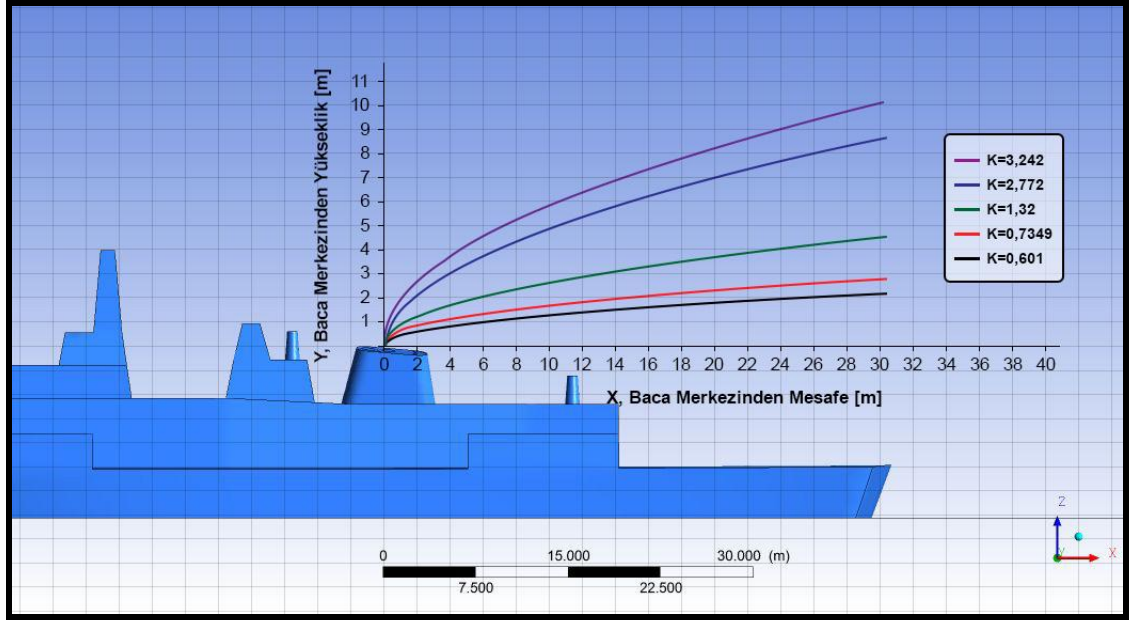
Gerçek seyir şartlarında helikopter platformuna sahip tipik fırkateyn için hız oranının $K=0.601$, $K=0.7349$, $K=1.32$, $K=2.772$ ve $K=3.242$ olarak arttırılması sonucunda egzoz gazlarının izledikleri yol analitik olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.305'te gösterilmiştir.



Şekil 6.305 : Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri yol (Analitik Çözüm Sonuçları).

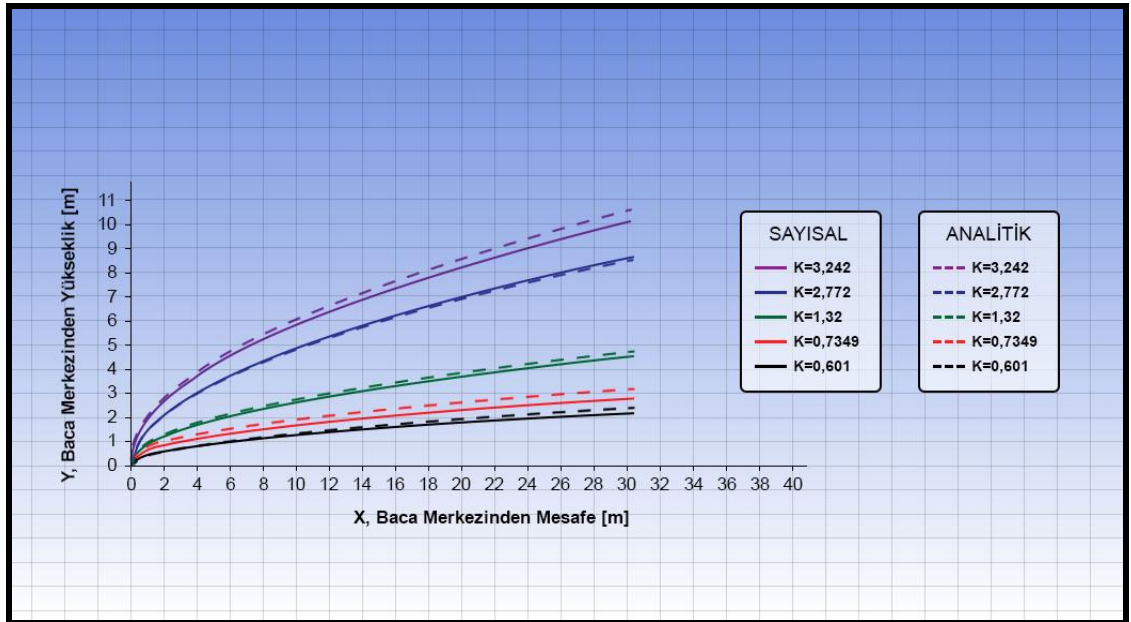
Şekil 6.305'de 0,0 noktası savaş gemisinin baca merkez eksenidir. x-ekseni merkezden yatay, y-ekseni merkezden dikey mesafeyi ve mor, mavi, yeşil, kırmızı ve siyah renkdeki eğriler ise farklı hız oranları için (Sırasıyla $K=0.601$, $K=0.7349$, $K=1.32$, $K=2.772$ ve $K=3.242$) egzoz gazlarının baca çıkışından itibaren izledikleri yolu göstermektedir. Çizelge 6.2'deki analitik denklemler sonuçları kullanıldığında hız oranının arttırıldığı zaman egzoz gazlarının sayısal çalışmada olduğu gibi yükseldiği görülmektedir (Şekil 6.305).

Ayrıca Bölüm 6.2.1'de sayısal olarak incelenen hız oranlarının egzoz gaz yayılımına etkisi kapsamında her bir hız oranı için egzoz gazlarının baca merkezinden çıkışından itibaren izledikleri yollar incelenmiştir. Bu inceleme bacadan çıkan egzoz gazlarının en üst noktaları hesaplanarak yapılmış ve Şekil 6.306'da gösterilmiştir.



Şekil 6.306 : Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri Yol (Sayısal Sonuçlar).

Şekil 6.306'daki sayısal sonuçlar incelendiğinde hız oranı arttığında egzoz gazlarının yükseldiği görülmektedir (Şekil 6.306). Ayrıca egzoz gazlarının izledikleri yollar hem sayısal hem de analitik olarak karşılaştırılmış ve Şekil 6.307'de gösterilmiştir.



Şekil 6.307 : Farklı Hız Oranları için Egzoz Gazlarının İzledikleri Yol-Sayısal ve Analitik Sonuçların Karşılaştırması.

Analitik sonuçlarla sayısal sonuçlar arasındaki fark ise hız oranı $K=0.601$ için ortalama % 3.8, hız oranı $K=0.7349$ için % 4.2, hız oranı $K=1.32$ için % 2.7, hız

oranı $K=2.772$ için % 1.6 ve hız oranı $K=3.242$ için % 4.8 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.307). Bu kapsamda sayısal modelleme sonunda elden edilen sonuçların Bölüm 4.6’da hesaplanan analitik sonuçlar ile uyum sağladığı değerlendirilmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu doktora çalışmasının amacı helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için egzoz gaz yayılımının sayısal ve deneysel olarak incelenmesidir. Deneysel çalışmada 1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn sesaltı rüzgar tüneline yerleştirilerek, akım görüntüleme deneyleri yapılmıştır. Rüzgar tüneli deneylerinde değişken parametre olarak beş farklı baca modeli, geminin pruvası ile rüzgarın nispi yönünden oluşan 4 farklı sapma açısı, $\psi=0^0$, 10^0 , 20^0 ile tornistan ve gemi bacasından çıkan egzoz gazlarının rüzgar tünelinin giriş hızına oranından oluşan 5 farklı hız oranı, $K=0.135, 0.203, 0.407, 0.815$ ve ∞ (Gemi Stopta) gözönüne alınmıştır.

1/100 ölçekli fırkateyn modeli ileri yoldayken yapılan akım görüntüleme deneylerinde hız oranı azaltıldığında egzoz gazının helikopter platformunun üzerine düşme eğilimi gösterdiği ve bu etkiden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkan gazların momentumlarının yükseltilerek, baca gazlarının helikopter platformuna düşmesinin engellenebileceği değerlendirilmektedir. Aynı şekilde 1/100 ölçekli fırkateyn modeli tornistan yoldayken hız oranı artışının azda olsa baca gazlarının yükselmesine sebep olduğu görülmüştür. Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde 1/100 ölçekli fırkateyn modeli üzerinde sadece rüzgar tünelinin hızını değiştirerek hız oranı artırılabilir. Dolayısıyla hız oranının artırılması momentumun artmasına ve baca gazlarının azda olsa yükselmesine yol açsa da tornistan yoldaki bu şartlarda egzoz gazlarının baca önündeki elektronik sistemlere zarar verebileceği değerlendirilmektedir.

Rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde 1/100 ölçekli fırkateyn modeli için yapılan deneysel çalışmada 4 farklı sapma açısının $\psi=0^0$, 10^0 , 20^0 ile tornistan için egzoz gazlarının yayılımına etkisi incelenmiştir. Sabit hız oranında ($K=0.815$), geminin yönünün kademeli olarak değiştirildiği akım görüntüleme deneyi sonucunda, sapma açısı $\psi=0^0$ 'den $\psi=20^0$ 'ye geçtikçe egzoz gazlarının helikopter platformuna doğru yönlendiği görülmüştür. Bu olumsuz etkilerden korunmak

maksadıyla egzoz gazlarının çıkış hızlarının arttırılarak zararlı gazların helikopter platformuna düşmesinin engellenebileceği değerlendirilmektedir.

Deneyisel çalışmada 1/100 ölçekli fırkateyn modeli için 5 farklı baca modelinin egzoz gazlarının yayılımına etkileri de incelenmiştir. Bu baca modelleri ölçülerinin rüzgar tüneli ölçülerine göre çok küçük olmasından dolayı akım görüntülenememiştir.

Sayısal çalışma kapsamında egzoz gazları ile gemi üst yapısı arasındaki etkileşim helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için sayısal olarak hesaplanmıştır. Öncelikle hesaplama ağının sonuçlara etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Hesaplama ağının sayısal sonuçlara etkisi 7 farklı ağ sıklığı için çalışılmıştır. Sonuçlar hesaplama ağının 312547 hücreli ağ sıklığına kadar arttıkça fırkateyn ileri yolda iken geminin etrafında oluşan hız dağılımının değiştiğini göstermektedir. Dolayısıyla ağ sıklığının sayısal sonuçları 312547 hücreli ağ sıklığına kadar etkilediği görülmüştür. Daha sonra hesaplama ağı bir kez daha arttırılmış, 398211 hücreli ağ sonuçlarının 312547 hücreli ağ sonuçları ile aynı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda ağ sıklığının değişmediği 312547 hücreli hesaplama ağı seçilerek sayısal çalışma yapılmıştır.

1/100 ölçekli fırkateyn modeli kullanılarak yapılan rüzgar tünelineki akım görüntüleme deneylerinde elde edilen sonuçlar ile aynı sınır şartları için yapılan sayısal çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. 1/100 ölçekli tipik fırkateyn için yapılan sayısal çalışmada gemi ileri ve tornistan yolda iken hız oranının ($K=0.407$ ve $K=0.815$), sapma açısının ($\Psi=0^\circ$, 10° , 20°) ve değişik baca geometrilerinin (Sancak/iskele-baş/kıç eğimli baca ve düz baca) egzoz gaz yayılımına etkileri incelenmiştir.

1/100 ölçekli tipik fırkateyn modeli için, gemi ileri yolda seyrederken hız oranı $K=0.407$ 'den $K=0.815$ 'e çıkarıldığında bacadan çıkan egzoz gazlarının momentumlarının arttığı dolayısıyla egzoz gazlarının helikopter platformundan uzaklaştığı hem deneysel sonuçlarda hem de sayısal sonuçlarda görülmüştür. Aynı deneysel çalışma fırkateyn tornistan yolda iken de yapılmıştır. Fırkateyn tornistan yolda seyrederken $K=0.407$ için, egzoz gazlarının bacanın önünde bulunan elektronik sistemlerin bulunduğu direk ve ana direği etkiledikleri, $K=0.815$ için egzoz gazlarının momentumunun arttığı ve egzoz gazlarının yükseldiği hem deneysel sonuçlarda hem de sayısal sonuçlarda görülmüştür.

Deneysel/sayısal çalışma kapsamında hız oranının egzoz gazlarının yayılımına etkisi incelenmiş 1/100 ölçekli helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn modeli için ileri ve tornistan yolda yapılan sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar, rüzgâr tünelineki akım görüntüleme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içinde olduğu, ayrıca hız oranının fırkateyn ileri ve tornistan yolda seyir halindeyken egzoz gazının olumsuz etkilerinden korumak için baskın bir parametre olduğu görülmüştür. Bu nedenle hız oranının geminin dizayn aşmasında gerçekleştirilecek sayısal modellemede göz önüne alınması gerektiği değerlendirilmektedir.

1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn modeli için yapılan 5 farklı baca geometrisi için yapılan deneysel çalışmada bu 5 farklı baca geometrisinin egzoz gaz yayılımına etkileri incelenmiş ancak 1/100 ölçekli yapılan bacaların ölçülerinin küçük olması ve rüzgar tüneli hızının yüksek olmasından dolayı akım görüntülenememiş ve sadece iki baca (Sancak/İskele Baş/Kıç Eğimli baca ve Düz Baca) için elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Baca geometrisinin (Sancak/İskele Baş/Kıç Eğimli baca ve Düz Baca) hem sayısal olarak hem de deneysel olarak egzoz gazlarının yayılımına büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun ölçeklendirildiğinde gemi boyuna nazaran çok daha küçük ölçülere sahip olan bacalardan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

1/100 ölçekli tipik bir fırkateyn için, sapma açısı $\Psi=0^0$ dan 20^0 'ye arttığında egzoz gazlarının yayılımı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde sapma açısının $\Psi=0^0$ dan 20^0 'ye artması ile egzoz gazlarının helikopter platformunun üstüne düştüğü hem sayısal hem de deneysel çalışmadan görülmektedir. Sonuç olarak sapma açısı büyüdükçe egzoz gazlarının helikopter platformuna düşme eğiliminin hızla artmakta olduğu ve bu kapsamda sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

1/100 ölçekli fırkateyn modeli için yapılan deneysel ve sayısal çalışma sonrasında, gerçek boyutlarda helikopter platformuna sahip tipik bir fırkateyn için seyir şartlarındaki tüm durumlar için hesaplamalar yapılmıştır. Bu kapsamda fırkateyn seyir halinde (ileri/tornistan yolda) iken bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklıkları ile hızları, geminin manevralarına bağlı olarak rüzgar hızı ile yönü değişmektedir. Bu kapsamda ileri ve tornistan yolda hız oranının ($K=0.601, 0.7349, 1.32, 2.772, 3.242$

ve 4.272), sapma açısının ($\Psi=0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0$ ve 30^0), egzoz gaz sıcaklığının ($T_s= 100^0, 200^0, 300^0, 400^0$ ve 500^0) ve geometrileri ve boyutları farklı 5 bacanın, bacadan çıkan egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ile egzoz emisyonlarına etkisi ve egzoz gazlarının gemi üst binası ile etkileşimi sayısal olarak incelenmiştir.

Tam boyutlardaki fırkateyn ileri yolda iken hız oranının egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre hız oranı $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye doğru arttıkça egzoz gazlarının momentumlarının artarak helikopter platformundan uzaklaştığı ve sınır tabakanın üstüne çıkmakta olduğu görülmüştür. Sabit baca geometrisi için $K=3.242$ hız oranının, egzoz gazlarının sıcaklık etkisi bakımından ve zararlı gazların helikopter platformundan uzak olduğu en ideal oran olduğu değerlendirilmektedir.

Fırkateyn tornistan yolda iken elde edilen sonuçlara göre ise düşük hız oranları için ($K=0.601, K=0.7349, K=1.32, K=2.772$ ve $K=3.242$) egzoz gazlarının sıcaklıklarının bacaların önünde bulunan elektronik sistemlere zarar verebileceği görülmüş, bu kapsamda egzoz gazlarının çıkış hızlarını arttırarak gazların momentumlarını yükseltmek, yani mümkün olduğu takdirde hız oranını arttırmanın ($K=4.724$) egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden kurtulmak için yeterli olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak hız oranının $K=3.242$ ve $K=4.724$ olduğu durumlarda geminin 20 knot tornistan yolda ilerlediği göz önünde bulundurularak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Egzoz gazlarının sıcaklık etkisinden kurtulmak maksadıyla gazların momentumu arttırılarak ana direktten uzaklaşması sağlanmıştır. Ancak normal şartlar altında tipik bir savaş gemisinin 20 knot tornistan sürat ulaşması zordur. Dolayısıyla egzoz gazlarının sıcaklık etkisinden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkış hızlarının ek önlemler alınarak yükseltilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca bir savaş gemisinin kullanım ömrü ve konsepti göz önüne alındığında tornistan sürat sadece liman/iskelede yanaşma manevralarında ve acil durumlarda kullanıldığından dolayı tornistan yolda egzoz gazının sıcaklık etkilerinin olumsuz seviyede olmayacağı değerlendirilmiştir.

Fırkateyn ileri yolda iken hız oranının egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde hız oranının $K=0.601$ 'den $K=3.242$ 'ye doğru artmasıyla fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazlarından NO_x, SO_x, CO_2 ve CO gazının kapladığı hacmin arttığı görülmüştür. Dolayısıyla makinelerin yüksek süratlerde çalıştığı durumlarda hız oranı arttıkça egzoz emisyonlarının konsantrasyonlarının arttığı ve egzoz gazlarının

momentumlarının yükselerek helikopter platformundan uzaklaştığı ve sınır tabakanın üstüne çıkmakta olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda bacadan çıkan egzoz gazlarının olumsuz etkilerinden korunmak, egzoz gazlarının helikopter platformunun üstüne düşmesini önlemek için egzoz çıkış hızını arttırarak hız oranını mümkün olduğu kadar yükseltmek gerektiği düşünülmektedir. Her gemi için özellikle helikopter platformuna sahip savaş gemileri için üst binasında bulunan elektronik/savaş sistemlerinden dolayı hız oranı artışının geminin dizayn aşamasında göz önüne alınmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Fırkateyn tornistan yolda seyir halindeyken hız oranı $K=0.601$ 'den $K=4.724$ 'e doğru arttıkça bacadan çıkan egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO gazının hacimsel oranının arttığı dolayısıyla makinelerin tornistan yolda yüksek sürat kademelerinde çalıştığı durumlarda egzoz gazının içinde bulunan emisyonlarının arttığı görülmüştür. Düşük hız oranları için gerçek seyir şartlarında tornistan yol genelde yanaşma manevralarında kullanıldığından o anda köprüüstünde bulunan personele zarar verebileceği değerlendirilmektedir. Hız oranının $K=4.724$ olduğu Durumdae geminin 20 knot tornistan yolda ilerlediği göz önünde bulundurularak gazların olumsuz etkilerinden kurtulmak maksadıyla momentumu arttırılmış ve ana direktan uzaklaşması sağlanmıştır. Ancak normal şartlar altında tipik bir savaş gemisinin 20 knot tornistan sürat ulaşması zordur. Dolayısıyla egzoz gazlarının sıcaklık etkisinden kurtulmak maksadıyla bacadan çıkış hızlarının ek önlemler alınarak yükseltilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca genel olarak bir savaş gemisinin kullanım ömrü ve konsepti göz önüne alındığında tornistan sürat sadece liman/iskeleye yanaşma manevralarında ve acil durumlarda kullanıldığından dolayı tornistan yolda egzoz gaz emisyonlarının olumsuz etkilerinin yüksek seviyede olmadığı tespit edilmiştir.

Tipik bir fırkateynin için egzoz çıkış sıcaklığının $T_s = 100^0$ C ile $T_s = 500^0$ C arasında değişiminin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi iki farklı durum (Durum-1 ve Durum-3) için incelenmiştir. Durum-1 için elde edilen sonuçlara göre fırkateyn ileri yolda seyir halindeyken bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s = 100^0$ C ile $T_s = 500^0$ C arasında değiştiği durumlarda egzoz gazının sıcaklık dağılımının çok fazla değişmediği görülmüştür.

Durum-3'de belirtilen gerçek seyir şartlarında bacadan çıkan egzoz sıcaklığının $T_s = 100^0$ C ile $T_s = 500^0$ C arasında değiştiği durumlarda egzoz gazlarının sıcaklık

dağılımının Durum-1'deki sonuçlardan biraz daha farklı olduğu tespit edilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı arttığında egzoz gazlarının momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu görülmüştür. Bunun sıcaklık farkından dolayı oluşan kaldırma kuvveti (Buoyancy) etkilerinden ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir. Ancak sonuç olarak belirtilen seyir şartlarındaki her iki durum için de bacadan çıkan egzoz gaz yayılımının olumsuz etkilerinin olmayacağı düşünülmektedir.

Durum-1'deki gerçek seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre fırkateyn ileri yolda seyir halindeyken egzoz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ile $T_s=500^0\text{C}$ 'ye yükselmesinin egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO konsantrasyonunun hacimsel olarak azalmasına sebep olduğu, genel olarak emisyonların helikopter platformuna doğru yönelmediği ancak egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ ve $T_s=200^0\text{C}$ olduğu durumlarda egzoz emisyonunun seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

Durum-3'deki gerçek seyir şartlarında egzoz sıcaklığı $T_s=100^0\text{C}$ ile $T_s=500^0\text{C}$ arasında değiştiğinde egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO konsantrasyonunun hacimsel olarak azaldığı, egzoz gazı sıcaklığı arttırıldığında emisyonların momentumlarının az da olsa artarak gazların yükselme eğiliminde olduğu, egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ olduğu durumda ise egzoz emisyonlarından NO_x ve SO_x gazlarının seyir esnasında görevi gereği üst güvertede bulunabilecek personel için olumsuz etkilerinin olabileceği görülmüştür. Sonuç olarak belirtilen seyir şartlarında egzoz gaz sıcaklığının $T_s=100^0\text{C}$ olduğu durum (NO_x ve SO_x gazları için) haricinde bacadan çıkan egzoz gaz emisyonlarının olumsuz etkilerinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

Değişik seyir şartlarında üç farklı durum için (Durum-1, Durum-3 ve Durum-4) sapma açısının ($\psi=0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0$ ve 30^0) egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkisi incelenmiştir. Yapılan sayısal çalışma sonunda elde edilen sonuçlara göre tüm durumlar (Durum-1, Durum-3 ve Durum-4) için gerçek seyir şartlarında sapma açısının artması ile egzoz gazlarının dağıldığı tespit edilmiştir. Sapma açısı $\Psi=0^0$ den $\Psi=30^0$ ye değiştiğinde egzoz gazlarının helikopter platformu üzerine düştüğü, özellikle $\Psi=10^0$ 'den sonra (Durum-4 için $\Psi=15^0$ 'den sonra) sapma açısı arttıkça egzoz gazlarının yayılımının düzensizleştiği, egzoz sıcaklığının baca

arkasında bulunan silah sistemlerine zarar verebileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda sapma açısının bu olumsuz etkilerinden kurtulmak ve egzoz gazlarının geminin sınır tabakasının üzerine çıkabilmesi maksadıyla egzoz çıkış hızının arttırılarak momentumunun daha fazla yükseltilebileceği değerlendirilmektedir.

Sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi de Durum-1, Durum-3 ve Durum-4 için incelenmiştir. Durum-1 için elde edilen sonuçlara göre sapma açısı $\Psi=0^0$ dan $\Psi=30^0$ ye değiştiğinde egzoz gazlarından NO_x gazının helikopter platformu üzerine düştüğü, özellikle $\Psi=20^0$ 'den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda insan sağlığına en zararlı egzoz gaz emisyonlarından olan NO_x gazının yayılımının düzensizleştiği ve tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla helikopter platformunda bulunan personele zarar verebileceği değerlendirilmektedir. Diğer emisyonların ise sapma açısının artışıyla özellikle $\Psi=20^0$ 'den sonra dağılma gösterdikleri ve egzoz çıkışındaki hacmin parçalandığı görülmüştür.

Durum-3 için sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde ise sapma açısı $\Psi=0^0$ dan $\Psi=30^0$ ye değiştiğinde tüm egzoz emisyonlarının helikopter platformuna doğru yöneldikleri görülmüştür. Özellikle $\Psi=15^0$ ve $\Psi=20^0$ 'den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda insan sağlığına zararlı egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO gazlarının yayılımının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna düştüğü dolayısıyla gazlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ile karşılaşılabilmesi değerlendirilmektedir.

Durum-4 için sapma açısının egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde sapma açısı $\psi=0^0$ dan $\psi=30^0$ ye arttığında egzoz emisyonlarından NO_x , SO_x , CO_2 ve CO gazlarının konsantrasyonunun artarak helikopter platformuna yöneldiği görülmüştür. Özellikle $\psi=10^0$ 'den sonra sapma açısı arttıkça gemi arkasında oluşan türbülans sonucunda egzoz emisyonlarının yayılımlarının düzensizleştiği, tamamen helikopter platformuna yöneldiği ancak platform üzerine düşmediği, aslında denize yönlendikleri görülmüştür. Dolayısıyla Durum-4 için egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olmasından ötürü olumsuz bir etkinin oluşmayacağı değerlendirilmektedir.

Gerçek boyutlardaki fırkateyn modelinde kullanmak üzere tasarlanan boyutları ve geometrileri farklı 5 (beş) baca modelinin (Parampetli baca, baş-kıç eğimli baca, düz

baca, sancak-iskele eğimli baca ve sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca), 3 (üç) farklı hız oranı ($K=0.601, 1.32, 2.772$) için egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı ile egzoz emisyonlarına etkisi ve egzoz gazlarının gemi üst binası ile etkileşimi sayısal olarak incelenmiştir.

Durum-1 için baca geometrisinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre baş kıç eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sınır tabakanın üstüne çıkma eğiliminde olduğu görülmüştür. Baş kıç eğimli ve düz baca geometrisi kullanıldığında egzoz gazlarının sıcaklık dağılımlarının diğer baca geometrilerine nazaran helikopter platformundan daha uzak olduğu, özellikle sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca kullanıldığında baca gazlarının helikopter platformuna yöneldiği görülmüştür. Dolayısıyla Durum-1 için yüksekliği en az olan sancak-iskele ve baş-kıç eğimli baca geometrisi kullanıldığında seyir esnasında üst güvertede silah sistemi yakınında bulunan personel için egzoz gaz sıcaklığının olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir.

Durum-3 ve Durum-4 için baca geometrisinin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına etkileri incelendiğinde ise elde edilen sonuçlara göre tüm baca geometrileri için egzoz gazlarının yayılımının sınır tabaya yakın olduğu, baca gazlarının bu şartlarda momentumlarının yüksek olmasından dolayı genel olarak sıcaklık dağılımının elektronik cihazlara zararlı olmayacağı değerlendirilmektedir.

Durum-1 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde baş-kıç eğimli ve düz baca geometrisi için baca arkasında emisyonların kapladıkları bölgenin arttığı ve özellikle NO_x gazının dağılarak bacanın arkasına doğru sarktığı görülmüştür. Baş-kıç eğimli ve düz baca geometrileri kullanıldığında seyir esnasında üst güvertede silah sistemi yakınında bulunan personel için NO_x , SO_x , CO_2 ve CO emisyonlarının insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir. Diğer bacalarda düzgün bir yayılımın olduğu dolayısıyla emisyonlar açısından olumsuz bir etkinin olmayacağı görülmüştür.

Durum-3 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde Durum-1'e benzer bir şekilde baş-kıç eğimli ve düz baca kullanıldığında NO_x gazının dağılarak bacanın arkasına doğru sarktığı diğer emisyonlar içinde bu durumun az da olsa geçerli olduğu görülmüştür. Diğer bacalarda emisyonların düzgün bir yayılıma sahip oldukları dolayısıyla olumsuz bir etkinin olmayacağı

değerlendirilmektedir. Genel olarak bu şartlarda egzoz emisyonlarının helikopter platformuna düşmediği de görülmektedir.

Durum-4 için farklı baca geometrilerinin egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde baş-kıç eğimli ve düz baca geometrisi için egzoz emisyonlarının dağılarak az da olsa bacanın arkasına doğru sarktığı ancak bu durum için egzoz gazlarının momentumlarının yüksek olması sebebiyle Durum-1 ve Durum-3'teki kadar olumsuz bir etkinin olmayacağı değerlendirilmektedir. Genel olarak tüm baca geometrileri arasında en ideal baca geometrisinin baca çıkışında muhafaza bulunan parampetli baca olduğu değerlendirilmektedir.

Tam boyutlardaki fırkateyn için farklı parametrelerin egzoz gazlarının sıcaklık dağılımına ve egzoz emisyonlarına etkisi sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Bunun yanında yine tam boyutlu tipk fırkateyn için 5 farklı hız oranı ($K=0.601$, $K=0.7349$, $K=1.32$, $K=2.772$ ve $K=3.242$) için egzoz gazlarının baca merkezinden çıktığı andan itibaren izlerikleri yol (Yörüngesi) analitik olarak da hesaplanmıştır. Analitik sonuçlar ile sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında hız oranı artışının egzoz gazlarının yükselmesini sağladığı görülmüştür. Analitik sonuçlarla sayısal sonuçlar arasındaki fark açısından ise hız oranı $K=0.601$ için ortalama % 3.8, hız oranı $K=0.7349$ için % 5.2, hız oranı $K=1.32$ için % 2.7, hız oranı $K=2.772$ için % 1.6 ve hız oranı $K=3.242$ için % 4.9 olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda tam boyutlu fırkateyn için yapılan sayısal modelleme sonunda elden edilen sonuçların hesaplanan analitik sonuçlar ile uyum sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak gerçek seyir şartlarında egzoz gazlarının yayılımının modellendiği bu doktora tezinde hız oranının egzoz gazlarının helikopter platformuna düşmesi (Downwash) sorununda en büyük faktör olduğu, bu düşüş (downwash) miktarının ise baca geometrisi ve sapma açısıyla ilgili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gemi seyir halindeyken üst binada bulunan sabit elektronik/silah sistemleri, ana direk ve baca geometrisi gibi rüzgara karşı duran cisimlerin arkalarında oluşan türbülans da bacadan çıkan egzoz gazlarının olumsuz etkilerini arttırmaktadır. Dolayısıyla özellikle helikopter platformuna sahip savaş gemilerinde dizayn safhasında dikkat edilmesi gereken parametreler üzerinde detaylı olarak çalışma yapılması ve bu çalışma sonuçlarına göre baca geometrisi ile üst bina yerleşiminin belirlenmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Müteakip dönemde egzoz gazlarının yayılımı ve egzoz gazlarının gemi üst yapısı ile etkileşimi konularında yapılacak çalışmalarda farklı parametreler için bacadan çıkan egzoz emisyonlarından partiküllerin yayılımının, gemi üst yapısı yerleşimindeki değişimlerin egzoz gazlarının yayılımına etkisinin ve seyir şartlarında farklı durumlarda bacadan çıkan egzoz gazlarının insan sağlığına etkilerinin incelenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kulkarni P.R., Singh S.N. ve Seshadri V.** (2005). Flow Visualization Studies of exhaust Smoke-Superstructure Interaction on Naval Ships, *Naval Engineering Journal*, Vol.117, 41-56.
- [2] **Vijayakumar R., Seshadri V., Singh S.N. ve Kulkarni PR.** (2008). A Wind Tunnel Study on the Interaction of Hot Exhaust from the Funnel with the Superstructure of a Naval Ship. *IEEE Sections Congress*. 978-1-4244-2126.
- [3] **Harrell J.P.** (1977). Experimentally Determined Effects Of Eductor Geometry on The Performance Of Exhaust Gas Eductors For Gas Turbine Powered Ships Naval Postgraduate School, Master Thesis.
- [4] **Overcamp T.J.** (2001). A review of Conditions Leading to Downwash in Physical Modeling Experiments, *Atmospheric Environment* 35, pp 3503-3508.
- [5] **Richard G. ve Steven J.Z.** (2002). Wind Tunnel Testing to Determine Unsteady Loads on a Helicopter Fuselage in a Ship Airwake, *ICAS 2002 Congress*.
- [6] **Michael K. J.** (1988). Flow Visualization of the Airwake Around a Model of a DD-963 Class Destroyer in a Simulated Atmospheric Boundary Layer *Naval Postgraduate School*, Master Thesis.
- [7] **McCallum D.** (1976). Technical Practices Manual For Surface Ship Stack Design Navsec Report 6136-76-18.
- [8] **Baham G.J. ve McCallum D.** (1977). Stack Design Technology For Naval And Merchant Ships, *Sname Transaction*, 85, 324-349.
- [9] **Michael P.F.** (1986). A Method To Predict Stack Performance, *Naval Engineering Journal*.
- [10] **Kim J.H., Park S.M.ve Seol S.S.** (2008). Numerical Research on Establishing Optimum Design Criterion of Ship's Funnel, *ASME*
- [11] **Okan O.B.** (2005). Savaş Gemilerinde Egzoz Ve Baca Sistemleri ve Tasarımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi.
- [12] **Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height**, (1985). *EPA-450/4-80-023R*
- [13] **Joseph C.S.** (1996). Computer Aided Analyses of Smoke Stack Designs, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Master Thesis.

- [14] **Bayraktar S., Safa A.ve Yılmaz T.** (2007). CFD and Analytical Analysis of Exhaust System of a Gas Turbine Used in a Ship, *Numerical Analysis and Applied Mathematics, International Conference*. 978-0-7354-0447-2.
- [15] **Eunseok J., Jaedon Y. ve Yongsoo K.** (2001) A Cfd-Based Parametric Study on The Smoke Behavior of A Typical Merchant Ship, *Elsevier Science*
- [16] **Kulkarni P.R., Singh S.N. ve Seshadri V.** (2007). Parametric Studies of Exhaust Smoke–Superstructure Interaction on a Naval Ship Using CFD, *Computer&Fluids*, 36, 794-816
- [17] **Ergin S. ve Paralı Y.** (2010). Savaş Gemilerinde Egzos Gazları ve Gemi Üst Yapısı Etkileşiminin Sayısal Olarak İncelenmesi, *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, Sayı 185, 4-6
- [18] **Sunho P., Jaekyung H., Byeong S.Y. ve Shin H. R.** (2011). Computational Analysis Of Ship's Exhaust-Gas Flow And Its Application for Antenna Location, *Applied Thermal Engineering*, 1-14
- [19] **Ergin S. ve Paralı Y. ve Dobrucalı E.** (2012). A Numerical Investigation of Exhaust Smoke-Superstructure Interaction on a Naval Ship, *Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources Vol.1*, 109-115.
- [20] **Huang J., Carrica P.M. ve Sternl A.** (2010). A Method to Compute Ship Exhaust Plumes with Waves and Wind, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 10.1002/fld.2499 .
- [21] **Moat B., Yelland M., Pascal R. ve Molland A.** (2005). An Overview of the Airflow Distortion at Anemometer Sites on Ships, *International Journal of Climatology Int. J. Climatol.* 25 : 997–1006.
- [22] **Popinet S., Smith M. ve Stevens C.** (2004). Experimental and Numerical Study of the Turbulence Characteristics of Airflow around a Research Vessel, *Journal of Atmospheric and Oceanic Teechnology*, Vol. 21 1575-1589.
- [23] **Ergin, S. ve Ota M.** (2005). A Study of the Effect of Duct Width on Fully Developed Turbulent Flow Characteristics in a Corrugated Duct, *Heat TransferEngineering*, Vol. 26, No.2, s. 54–62.
- [24] **Mishra D.P. ve Dash S.K.** (2010). Numerical Investigation of Air Suction Through the Louvers of a Funnel due to High Velocity Air Jet. *Computers & Fluids* 39 1597–1608.
- [25] **Wilkinson C.H., Zan S.J., Gilbert N.E. ve Funk J.D.** (1998). Modelling and Simulation of Ship Air Wakes for Helicopter Operations-A Collaborative Venture, *RTO AVT Symposium*.
- [26] **Syms G.F.** (2008). Simulation of Simplified-Frigate Airwakes Using A Lattice-Boltzmann Method, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96, 1197-1206.
- [27] **Syms G.F.** (2004). Numerical Simulation Of Frigate Airwakes, *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 18(2), 199-207.

- [28] **Nacaklı Y.** (2010). Analysis of Helicopter Downwash/Frigate Airwake Interaction Using Statistically Designed Experiments, *Old Dominion University*, PhD Thesis.
- [29] **Sharma A.L.N.** (2001). Long, Airwake Simulations on an LPD 17, 15th AIAA *Computational Fluid Dynamics Conference*, AIAA 2001-2589.
- [30] **Zan S.J., Syms G.F. ve Cheney B.T.** (1998). Analysis of Patrol Frigate Air Wakes, *RTO AVT Symposium* on “Fluid Dynamics Problems of Vehicles Operating near or in the Air-Sea Interface”. RTO MP-15, 7.1-14.
- [31] **Tsze C. T.** (1998). Simulation and Analysis of LHD Ship Airwake by Navier-Stokes Method, *RTO AVT Symposium* on Fluid Dynamics Problems of Vehicles Operating near or in the Air-Sea Interface, RTO MP-15, 4.1-10.
- [32] **Geder J., Ramamurti R. ve Sandberg W.C.** (2008). Ship Airwake Correlation Analysis for the San Antonio Class Transport Dock Vessel, *Naval Research Laboratory*, NRL/MR/6410--08-9127.
- [33] **Reddy K.R., Toffoletto R. ve Jones K.R.W.** (2000). Numerical Simulation of Ship Airwake, *Computers & Fluids*, 29 , pp 451-465.
- [34] **Landsberg A.M. ve Sandberg W.C.**, 2000, DDG 51 Flight II A airwake study : temperature field analysis for baseline and upgrade configurations. *Naval Research Laboratory Memorandum Report*, 6401-00-8432.
- [35] **Landsberg A.M., Sandberg W.C., Young T.R.** (1996). DDG 51 Flight II A airwake study : hangar interior flow. *Naval Research Laboratory Memorandum Report*, 96-78-98.
- [36] **Tattersall, P., Albone, C.M., Soliman, M.M. ve Allen, C.B.** (1998). Prediction of Ship Air Wakes over Flight Decks using CFD, *RTO AVT Symposium* on “Fluid Dynamics Problems of Vehicles Operating near or in the Air-Sea Interface, RTO MP-15, Amsterdam, Paper 5.
- [37] **Blocken B., Stathopoulos T., Saathoff P. ve Wang X.** (2008). Numerical Evaluation of Pollutant Dispersion in the Built Environment : Comparisons between Models and Experiments, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* , 96 (2008) 1817-1831.
- [38] **Lateb M., Masson C., Stathopoulos T. ve Bédard C.** (2010). Numerical Simulation of Pollutant Dispersion Around a Building Complex, , *Building and Environment*, 45 (2010) 1788-1798.
- [39] **Versteeg H.K. ve Malalasekera W.** (1995). An Introduction to Computational Fluid Dynamics.
- [40] **Roger C. B.** (2000). Flow Measurement Handbook : industrial designs, operating principles, performance, and applications.
- [41] **Wolfgang M.** (1974). *Flow Visualization*.
- [42] **White F. M.**, (2004). *Akışkanlar Mekaniği*:İstanbul:Yayınclık.
- [43] **Murakami S.** (1993). Comparison of various turbulence models applied to a bluff body. *J Wind Eng Ind Aerodyn* 1993;46-47 : 21-36.

- [44] **Heywood J.B.** (1998). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill.
- [45] **MARPOL 73/78 Annex VI**, (2005). Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships.
- [46] **White F. M.** (2004). *Akışkanlar Mekaniği*, ISBN : 975-04-0108-5.
- [47] **Çevre ve Orman Bakanlığının**, 06 Haziran 2008 tarihli, 26898 sayılı “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği.
- [48] **Kaykısızlı H.** (2006). Rüzgar Tüneli ve Akış Görüntüleme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi.
- [49] **Gosman A.D.** (1999). Developments in CFD for Industrial and Environmental Applications in Wind Engineering. *J Wind Eng Ind Aerodyn* ;81 : 21–39.
- [50] **Emission Control Two Stroke Low Speed Diesel Engines**, MAN B&W Diesel A/S, December 1996.
- [51] **Ergin S.** (2007). Gemi Dizel Motorları için Geliştirilen Egzos Emisyon Kontrol Sistemi, *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, Sayı 173, 7-11
- [52] **Quandt E.** (1996). European Technology for Reducing Exhaust Pollution from Naval Ship Engines, Naval Surface Warfare Center, NSWCCD-TR-80-96/2.
- [53] **Patankar, S.V.** (1980). Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, *McGraw-Hill*, New York,.
- [54] **Willard W.P.** (2003). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, University of Wisconsin.
- [55] **Stavroulakis I.P. ve Tersian S.A.** (2004). Partial Differential Equations (Second Edition), ISBN 981-238-815-X.
- [56] **Lienhard J.H.** (2008). A Heat Transfer Textbook Third Edition Cambridge, Massachusetts.
- [57] **Isyumov N. ve Tanaka, H.** (1979). Wind-tunnel Modelling of Stack Gas Dispersion Difficulties and Approximations, *Proc. of the fifth Int. Conf. on Wind Engineering*, Colorado, USA.
- [58] **Acker H.C.** (1952). Stack Design to Avoid Smoke Nuisance, *SNAME Transactions*, 60, 566–593.
- [59] **Nolan, R.W.** (1946). Design of Stacks to Minimize Smoke Nuisance. *Trans SNAME*, 54, 42–84.
- [60] **Seshadri V. ve Singh S.N.** (2000). Wind tunnel Studies to Obviate the Problem of Unwarranted Rise in Air Intake Temperatures of Gas Turbines in Naval Ship. Technical Report, *Applied Mechanics Department*, IIT Delhi.
- [61] **Seshadri V, Singh S.N., Kulkarni P.R.** (2006). A Study of the Problem of Ingress of Exhaust Smoke into the GT Intakes in Naval Ships. *J Ship Technol* ;2(1) : 22–35.

- [62] **Sherlock R.H., Stalker E.A.** (1940). Control of gases in the wake of smoke stacks. *Mech Eng* ;62 : 455–8.
- [63] **Sherlock R.H. ve Stalker EA.** (1941). A study of flow phenomenon in the wake of smoke stacks. *Eng Res Bull, Univ Michigan* 1941 : 44.
- [64] **Ower E, Third A.D.** (1959). Superstructure design in relation to the descent of funnel smoke. *Trans Inst Marine Eng (London,)*;1 : 109–38.
- [65] **Third A.D. ve Ower E.** (1962). Funnel design and smoke plume. *Trans Inst Marine Eng (London)* ;72 : 245–72.
- [66] **Burge C.H., Ower E.** (1950). Funnel design and smoke abatement. *Trans Inst Marine Eng (London)* ;62 : 119.
- [67] **Micheal K.J. ve Val Healy J.** (1989). The airwake of a DD 963 class destroyer. *Naval Eng J, ASNE* 1989(May) : 36–42.
- [68] **Kulkarni P.R., Singh S.N., Seshadri V.** (2005). Experimental study of the flow field over simplified superstructure of a ship. *Int J Maritime Eng, IJME Part A3* : 19–42.
- [69] **Davies M.E, Cole L.R., O'Neill P.G.** (1979). Wind tunnel investigation of the temperature field due to the hot exhaust of power generation plants on offshore platforms. UK : *National Maritime Institute*.
- [70] **Taylor K, Smith A.G.** (1979). CFD prediction of exhaust plumes and interaction with superstructures. Application of fluid dynamics in the safe design of topsides and superstructures. *London : Institute of Marine Engineers*; p. 56–61.
- [71] **Camelli F, Lohner R. Sandberg W.C, Ramamurti R.** (2004). VLES study of ship stack gas dynamics. AIAA paper 2004-0072. In : 42nd AIAA aerospace sciences meeting and exhibition, Reno (NV).
- [72] **Sandberg W.C., Camelli F, Ramamurti R, Lohner R.** (2004). Ship topside air contamination analysis: unsteady computations and experimental validation. In : *ASNE annual meeting*.
- [73] **Moctar E., Gatchell S., Bertram V.** (2001). RANSE simulations for aerodynamic flows around ship superstructures, 2001. In : *4th Num. towing tank symposium, Hamburg*.
- [74] **Kulkarni P.R, Singh S.N, Seshadri V.** (2005). Behaviour of a ship funnel in the wake of a bluff body MARINE CFD-2005. In : RINA's 4th int conference on marine hydrodynamics, Southampton, UK, 30–31. p. 115–24.
- [75] **Ramamurti R, Sandberg W.C.** (2002). Unstructured grids for ship unsteady airwake on the LPD-17 : a successful validation. *Naval Eng J, ASNE* ;114(4) : 41–53.
- [76] **Docton M.K.R., Underhill R. ve Morrison E.** (2005). Improving carrier operation through the application of CFD to the CVF design process. In: MARINE CFD, *RINA's 4th int conference on marine hydrodynamics, Southampton*, p. 125–31.

- [77] **Kulkarni P.R, Singh S.N, Seshadri V.** (2005). Comparison of CFD simulation of exhaust smoke–superstructure interaction on a ship with experimental data. In : Proc of naval platform technology seminar- (NPTS-05), Singapore, p. 150–72.
- [78] **Kulkarni P.R.** (2004). An aerodynamic study of exhaust smoke–superstructure interaction on naval ships. *PhD Thesis*, IIT Delhi, India.
- [79] **Tai T.C, Carico D.** (1995). Simulation of DD-963 ship airwake by Navier–Stokes method. *J Aircraft* 32(6) : 1399–401.
- [80] **Tai T.C.** (2001). Effect of ship motion on DD-963 ship airwake simulated by multizone Navier–Stokes solution. In: *21st Symposium on naval hydrodynamics*, p. 1007–17.
- [81] **Landsberg A.M, Boris J, Sandberg W.C, Young TR.** (1995). Analysis of the nonlinear coupling of a helicopter downwash with an unsteady airwake. AIAA Paper, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 0047, Washington, DC, 1995.
- [82] **Ramamurti R, Sandberg WC.** (2000). LPD-17 topside aerodynamic study : FEFLO. NRL Memorandum Report NRL/MR/6410-00-8498, Center for Reactive Flow and Dynamical Systems, Laboratory for Computational Physics and Fluid Dynamics – Naval Research Laboratory.
- [83] **Guillot M.J, Walker M.A, Reader K, Ramamurti R, Sandberg W.C.,**(2000). LPD-17 topside aerodynamic study. Final Technical Report, Naval Research Laboratory.
- [84] **Kulkarni P.R, Singh S.N, Seshadri V.** (2006). Study of exhaust smoke ingress into GT intake on ships MAHY-06. In : Int conference on marine hydrodynamics, NSTL, Visakhapatnam (India).
- [85] **Jensen A.G, Sondergaard T., Livesey F.,** (1997). Wind comfort for cruise/passenger vessels. *Cruise and Ferry*.
- [86] **Kulkarni P.R, Singh S.N, Seshadri V.** (2005) Study of smoke nuisance problem on ships– a review. *Int J Maritime Eng, IJME Part A2* 27–50.
- [87] **Park, S.H.** (2010). Rhee, Heat and fluid flow analysis of ship’s exhaust gas, in : *Proceedings of 3rd Asian Conference on Mixing, Jeju, Korea*.
- [88] **Bridges D.O., Horn J.F., Alpman E., Long L.N.** (2007). Coupled flight dynamics and CFD analysis of pilot workload in ship airwakes, in : *Proceeding of AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit*, South Carolina.
- [89] **Forrest J.S. ve Owen I.** (2010). An investigation of ship airwakes using detached-eddy simulation, *Computers and Fluids*, 39, 656-673.
- [90] **Roper D.M. Own I. ve Padfield G.D.** (2006). Integrating CFD and piloted simulation to quantify shipehicopter operating limits, *The Aeronautical Journal* 3051,419-428.
- [91] **Maltby R.L.** (1962). Flow visualization in wind tunnels using indicators North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aeronautical Research and Development.

- [92] **Smits A.J. ve Lim T.T.** (2000). *Flow visualization : techniques and examples*, River Edge, NJ : Imperial College Pres.
- [93] **Rezníček R.** (1989). *Flow visualization V : proceedings of the Fifth International Symposium on Flow Visualization, International Symposium on Flow Visualization*.
- [94] **Pope A.** (1954). *Wind tunnel testing*, N.Y. : R. E. Krieger Pub. Co.
- [95] **Justin D.P.** (2011). *Wind tunnels: aerodynamics, models, and experiments* New York : Nova Science.
- [96] **Elsenaar A.** (1984). Technical evaluation report on the Fluid Dynamics Panel Symposium on Wind Tunnels and Testing Techniques, North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aerospace Research and Development.
- [97] **Michael B. A. ve David R. B.** (1989). *Computational fluid dynamics and introduction for engineers*, Longman.
- [98] **Habashi W.G. ve Hafez M.M.** (1995). *Computational fluid dynamics techniques*, Gordon and Breach.
- [99] **Rhodes N.** (2001). *Computational fluid dynamics in practice*, Professional Engineering Publishing.
- [99] **Jiyuan T. Guan H.Y. ve Chaoqun L.** (2008). *Computational fluid dynamics : a practical approach / Butterworth-Heinemann*.
- [100] **Alyssa D.M.** (2011). *Computational fluid dynamics: theory, analysis, and applications*, Nova Science Publishers.
- [101] **Yeşilel H.** (2007). *Ship airwake analysis by computational fluid dynamics methods / Tez (Y.Lisans)-İTÜ Fen Bil. Enst.*
- [102] **Karakuzulu M.** (2003). *Piv measurements of an aircraft carrier airwake, Tez (Y. Lisans)-İTÜ Fen Bil. Enst.*
- [103] **Bailey C.** (2002). *Computational modelling*, Emerald Group Publishing.
- [104] **Murun J.** (2011). *Computational Modelling and Advanced Simulations* Springer Science+Business Media B.V.
- [105] **Springer G.S. ve Patterson D.J.** (1973). *Engine emissions: pollutant formation and measurement*, Plenum Pres.
- [106] **Eran S.** (1998). *Handbook of air pollution from internal combustion engines pollutant formation and control*, Academic Pres.
- [107] **Okşar M.** (1997). *Gemi disel motorlarından kaynaklanan emisyonların kontrolü ve SCR teknolojisi, Tez (Y. Lisans)-İTÜ Fen Bil. Enst.*
- [108] **Kılıç A.** (2006). *Gemilerden kaynaklanan egzoz yayılımları ve dağılım modellemesi, Tez (Y. Lisans)-İTÜ Fen Bil. Enst.*
- [109] **Çalık A.T.** (2007). *CFD modeling of emissions formation and reduction in heavy duty diesel engines, Tez (Doktora)- İTÜ Fen Bil. Enst.*
- [110] **Moreira D. ve Vilhena M.** (2010). *Air pollution and turbulence : modeling and applications*, Taylor & Francis.
- [111] **Jen C.C.** (1987). *Turbulence measurements and flow modeling*, Hemisphere.

- [112] **Mestani B. M.** (2000). Egzoz emiş ağızı etrafındaki akışın sayısal hesabı, Tez (Y.Lisans)--İTÜ Fen Bil. Enst.
- [113] **Contini D. ve Robins A.** (2001). Water tank measurements of buoyant plume rise and structure in neutral crossflows *Atmospheric Environment* 35 (2001) 6105–6115
- [114] **Haşimoğlu C., İçingür Y. ve Öğüt H.** (2002). Dizel Motorlar_nda Egzoz Gazları Resirkulasyonunun (EGR) Motor Performans_ ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi , *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 26 (2002) , 127 { 135.
- [115] **Andreopoulos J. ve Rodi W.** (1984). Experimental investigation of jets in a crossflow, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 138, pp.93-127, 1984
- [116] **Ergin S.** (1993). Measurements and Numerical Modelling of Natural Convection in a Stairwell Model, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, *Brunel University*, Uxbridge, Middlesex, England.
- [117] **Briggs, G.A.** (1984). Plume rise and buoyancy effects. *Atmospheric Sciences and Power Production*, DE84005 177. U.S. Department of Energy, National Technical Information Service, Springfield, VA, pp. 327-366.
- [118] **Hoult, D.P., Weil, J.C.,** (1972). Turbulent plume in a laminar cross flow. *Atmospheric Environment* 6, 513–530.
- [119] **Briggs, G.A.,** (1972). Discussion of “chimney plumes in neutral and stable surroundings”. *Atmospheric Environment* 6, 507-510
- [120] **Tatom, F.B.** (1986). Predictions of stack plume downwash. *Journal of Fluids Engineering* 108, 379–382.
- [121] **Overcamp, T.J., Ku, T.,** (1986). Effect of a virtual origin correction on entrainment coefficients as determined from observations of plume rise. *Atmospheric Environment* 20, 293–300.
- [122] **Overcamp, T.J.** (1983). Guidelines for stack downwash in plume modeling experiments. 76th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association. Paper 83-36.3, Atlanta, GA.
- [123] **Kijung. K.** (2006). “Wind tunnel tests for funnel smoke dispersion on 6,500 TEU Container Carrier,” KARI.
- [124] **Jaedon Y., Eunseok J. ve Yongsoo K..** (2000). Design of the Accommodation and Funnel in a Merchant Ship for Favorable Smoke Emission Performance. *The 5th Korean Fluent Users' Group Meeting*.
- [125] **Seo J.H., Seol D.M. Lee J.H. ve Rhee S.H.** (2010). Flexible CFD meshing strategy for prediction of ship resistance and propulsion performance, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 2 (2010) 139-145.
- [126] **Slessor M.D., Zhuang M. ve Dimotakis P.E.** (2000). Turbulent shear-layer mixing: growth rate compressibility scaling, *Journal of Fluid Mechanics* 414(2000) 35-45.

- [127] **Goebel S.C. ve Dutton J.C.** (1991). Experimental study of compressible turbulent mixing layers, *AIAA Journal* 29 (1991) 538-546.
- [128] **Erol N.S.** (t.y). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Üç-Boyutlu Karmaşık Akış Problemlerinin Yüksek Başarımlı Hesaplamaları, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
- [129] **ANSYS, CFX 12.1**
- [130] **Dobrucalı E., Ergin S.**, (2012). Tipik Bir Fırkateyn için Egzoz Gazlarının Yayılımının İncelenmesi, *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012 Bildiriler Kitabı*, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, Tuzla/İstanbul.
- [131] **Dobrucalı E., Ergin S.** (2012). Tipik Bir Fırkateyn için Egzoz Gazlarının Yayılımının İncelenmesi, *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, Sayı 192, 16-22

EKLER

EK A : Gerçek Boyutlu Fırkateyn için İncelenen Durumlar ve Sonuçlar

EK A

Çizelge A.1 : Gerçek Boyutlu Fırkateyn için İncelenen Durumlar ve Sonuçlar

			SONUÇLAR				
			TEMPERATUR E (İSKELE BORDADAN)	CO VOL. FRAC. (0.0001)	CO ₂ VOL. FRAC. (0.001)	NO _x VOL. FRAC. (0.0001)	SO _x VOL. FRAC. (0.0001)
DEĞİŞKENLER							
'K' HIZ ORANI ETKİSİ (GEMİ İLERİ YOLDA)	DURUM-1		Şekil 6.18	Şekil 6.28	Şekil 6.33	Şekil 6.23	Şekil 6.38
	DURUM-2		Şekil 6.19	Şekil 6.29	Şekil 6.34	Şekil 6.24	Şekil 6.39
	DURUM-3		Şekil 6.20	Şekil 6.30	Şekil 6.35	Şekil 6.25	Şekil 6.40
	DURUM-4		Şekil 6.21	Şekil 6.31	Şekil 6.36	Şekil 6.26	Şekil 6.41
	DURUM-5		Şekil 6.22	Şekil 6.32	Şekil 6.37	Şekil 6.27	Şekil 6.42
'K' HIZ ORANI ETKİSİ (GEMİ TORNİSTAN YOLDA)	DURUM-6		Şekil 6.43	Şekil 6.67	Şekil 6.61	Şekil 6.49	Şekil 6.55
	DURUM-7		Şekil 6.44	Şekil 6.68	Şekil 6.62	Şekil 6.50	Şekil 6.56
	DURUM-8		Şekil 6.45	Şekil 6.69	Şekil 6.63	Şekil 6.51	Şekil 6.57
	DURUM-9		Şekil 6.46	Şekil 6.70	Şekil 6.64	Şekil 6.52	Şekil 6.58
	DURUM-10		Şekil 6.47	Şekil 6.71	Şekil 6.65	Şekil 6.53	Şekil 6.59
	DURUM-11		Şekil 6.48	Şekil 6.72	Şekil 6.66	Şekil 6.54	Şekil 6.60
EGZOZ GAZ SICAKLIĞI ETKİSİ	DURUM-1	T_s °C)					
		100	Şekil 6.73	Şekil 6.93	Şekil 6.88	Şekil 6.78	Şekil 6.83
		200	Şekil 6.74	Şekil 6.94	Şekil 6.89	Şekil 6.79	Şekil 6.84
		300	Şekil 6.75	Şekil 6.95	Şekil 6.90	Şekil 6.80	Şekil 6.85
		400	Şekil 6.76	Şekil 6.96	Şekil 6.91	Şekil 6.81	Şekil 6.86
		500	Şekil 6.77	Şekil 6.97	Şekil 6.92	Şekil 6.82	Şekil 6.87
	DURUM-3	100	Şekil 6.98	Şekil 6.118	Şekil 6.113	Şekil 7.103	Şekil 7.108
		200	Şekil 6.99	Şekil 6.119	Şekil 6.114	Şekil 7.104	Şekil 6.109
		300	Şekil 6.100	Şekil 6.120	Şekil 6.115	Şekil 7.105	Şekil 6.110
		400	Şekil 6.101	Şekil 6.121	Şekil 6.116	Şekil 7.106	Şekil 6.111
		500	Şekil 6.102	Şekil 6.122	Şekil 6.117	Şekil 7.107	Şekil 6.112
SAPMA AÇISI ETKİSİ	DURUM-1	Ψ(°)					
		0	Şekil 6.124	Şekil 6.152	Şekil 6.145	Şekil 6.131	Şekil 6.138
		5	Şekil 6.125	Şekil 6.153	Şekil 6.146	Şekil 6.132	Şekil 7.139
		10	Şekil 6.126	Şekil 6.154	Şekil 6.147	Şekil 6.133	Şekil 6.140
		15	Şekil 6.127	Şekil 6.155	Şekil 6.148	Şekil 6.134	Şekil 6.141
		20	Şekil 6.128	Şekil 6.156	Şekil 6.149	Şekil 6.135	Şekil 6.142
		25	Şekil 6.129	Şekil 6.157	Şekil 6.150	Şekil 6.136	Şekil 6.143
		30	Şekil 6.130	Şekil 6.158	Şekil 6.151	Şekil 6.137	Şekil 6.144
	DURUM-3	0	Şekil 6.159	Şekil 6.187	Şekil 6.180	Şekil 6.166	Şekil 6.173
		5	Şekil 6.160	Şekil 6.188	Şekil 6.181	Şekil 6.167	Şekil 6.174
		10	Şekil 6.161	Şekil 6.189	Şekil 6.182	Şekil 6.168	Şekil 6.175
		15	Şekil 6.162	Şekil 6.190	Şekil 6.183	Şekil 6.169	Şekil 6.176
		20	Şekil 6.163	Şekil 6.191	Şekil 6.184	Şekil 6.170	Şekil 6.177

EK A

Çizelge A.1 (Devam): Gerçek Boyutlu Fırkateyn için İncelenen Durumlar ve Sonuçlar

			SONUÇLAR				
			TEMPERATURE (İSKELE BORDADAN)	CO VOL. FRAC. (0.0001)	CO ₂ VOL. FRAC. (0.001)	NO _x VOL. FRAC. (0.0001)	SO _x VOL. FRAC. (0.0001)
DEĞİŞKENLER							
SAPMA AÇISI ETKİSİ	DURUM- 3	25	Şekil 6.164	Şekil 6.192	Şekil 6.185	Şekil 6.171	Şekil 6.178
		30	Şekil 6.165	Şekil 6.193	Şekil 6.186	Şekil 6.172	Şekil 6.179
	DURUM- 4	0	Şekil 6.194	Şekil 6.222	Şekil 6.215	Şekil 6.201	Şekil 6.208
		5	Şekil 6.195	Şekil 6.223	Şekil 6.216	Şekil 6.202	Şekil 6.209
		10	Şekil 6.196	Şekil 6.224	Şekil 6.217	Şekil 6.203	Şekil 6.210
		15	Şekil 6.197	Şekil 6.225	Şekil 6.218	Şekil 6.204	Şekil 6.211
		20	Şekil 6.198	Şekil 6.226	Şekil 6.219	Şekil 6.205	Şekil 6.212
		25	Şekil 6.199	Şekil 6.227	Şekil 6.220	Şekil 6.206	Şekil 6.213
		30	Şekil 6.200	Şekil 6.228/9	Şekil 6.221	Şekil 6.207	Şekil 6.214
		BACA GEOMETRİSİ					
		BAŞ KIÇ EĞİMLİ BACA	Şekil 6.230	Şekil 6.250	Şekil 6.245	Şekil 6.235	Şekil 6.240
		DÜZ BACA	Şekil 6.231	Şekil 6.251	Şekil 6.246	Şekil 6.236	Şekil 6.241
BACA GEOMETRİSİNİN ETKİSİ	DURUM- 1	SAN-ISK, BAŞ-KIÇ EĞİMLİ BACA	Şekil 6.232	Şekil 6.252	Şekil 6.247	Şekil 6.237	Şekil 6.242
		SANCAK İSKELE EĞİMLİ BACA	Şekil 6.233	Şekil 6.253	Şekil 6.248	Şekil 6.238	Şekil 6.243
		PARAMETRLİ BACA	Şekil 6.234	Şekil 6.254	Şekil 6.249	Şekil 6.239	Şekil 6.244
		BAŞ KIÇ EĞİMLİ BACA	Şekil 6.255	Şekil 6.275	Şekil 6.270	Şekil 6.260	Şekil 6.265
		DÜZ BACA	Şekil 6.256	Şekil 6.276	Şekil 6.271	Şekil 6.261	Şekil 6.266
	DURUM- 3	SAN-ISK, BAŞ-KIÇ EĞİMLİ BACA	Şekil 6.257	Şekil 6.277	Şekil 6.272	Şekil 6.262	Şekil 6.267
		SANCAK İSKELE EĞİMLİ BACA	Şekil 6.258	Şekil 6.278	Şekil 6.273	Şekil 6.263	Şekil 6.268
		PARAMETRLİ BACA	Şekil 6.259	Şekil 6.279	Şekil 6.274	Şekil 6.264	Şekil 6.269
		BAŞ KIÇ EĞİMLİ BACA	Şekil 6.280	Şekil 6.300	Şekil 6.295	Şekil 6.285	Şekil 6.290
	DURUM- 4	DÜZ BACA	Şekil 6.281	Şekil 6.301	Şekil 6.296	Şekil 6.286	Şekil 6.291
		SAN-ISK, BAŞ-KIÇ EĞİMLİ BACA	Şekil 6.282	Şekil 6.302	Şekil 6.297	Şekil 6.287	Şekil 6.292

EK A**Çizelge A.1 (Devam): Gerçek Boyutlu Fırkateyn için İncelenen Durumlar ve Sonuçlar**

			SONUÇLAR				
			TEMPERATURE (İSKELE BORDADAN)	CO VOL. FRAC. (0.0001)	CO ₂ VOL. FRAC. (0.001)	NO _x VOL. FRAC. (0.0001)	SO _x VOL. FRAC. (0.0001)
DEĞİŞKENLER							
BACA GEOMETRİSİ İNİN ETKİSİ	DURUM- 4	SANCAK İSKELE EĞİMLİ BACA	Şekil 6.283	Şekil.7.303	Şekil 6.298	Şekil 6.288	Şekil 6.293
		PARAMPE TLİ BACA	Şekil 6.284	Şekil 6.304	Şekil 6.299	Şekil 6.289	Şekil 6.294

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Erinç DOBRUCALI
Doğum Yeri ve Tarihi : ESKİŞEHİR 07.08.1979
E-Posta : edobrucali@yahoo.com
Lisans : Deniz Harp Okulu Makine Mühendisliği
Yüksek Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Dobrucalı E., Ergin S.**, (2012). Tipik Bir Fırkateyn için Egzoz Gazlarının Yayılımının İncelenmesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012 Bildiriler Kitabı, 13–14 Aralık 2012, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, Tuzla/İstanbul.
- **Ergin, S., Paralı, Y., Dobrucalı, E.**, (2012). A Numerical Investigation of Exhaust Smoke-Superstructure Interaction on a Naval Ship, Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources Vol.1, 109-115.
- **Dobrucalı E., Ergin S.** (2012). Tipik Bir Fırkateyn için Egzoz Gazlarının Yayılımının İncelenmesi, *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, Sayı 192, 16-22.

