



**NUMERICAL MODELLING OF THE THERMAL SIGNATURE OF SHIP
STACK PLUMES**

Dündar BAYRAM*, Hasan HEPERKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 21.11.2011 Revised/Düzeltilme: 04.01.2012 Accepted/Kabul: 09.01.2012

ABSTRACT

In this article a model has been created for the thermal signature of the ship stack plume gases via computational fluid dynamics and this model was applied to a generated vessel. At the end of this application; ship stack plume density variations, stack plume flow changes, flow speed variations, speed contour and vectoral changes, temperature variations of the exhaust gases and air around the ship, ship surface temperature distribution and cooling distance of the exhaust gases, have been obtained. These results are the main data for calculation of the radiation caused by exhaust plumes and countermeasures against infrared guided missiles.

Keywords: Exhaust gas analysis, thermal signature, computational fluid dynamics, cooling of the exhaust gases.

GEMİLERDE BACA GAZI KAYNAKLI ISIL İZİN SAYISAL MODELLEMESİ

ÖZET

Bu makalede gemilerin baca egzoz gazlarından kaynaklanan ısı iz hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla modellenmesi yapılmış ve bu modelleme yaratılan gemi üzerinde uygulanmıştır. Uygulama sonucunda baca gazı yoğunluk değişimleri, baca egzoz gazı akış değişimleri, hız değişimleri, hız kontur ve vektörel değişimler, gemi etrafındaki havanın ve egzoz gazlarının sıcaklık değişimleri, gemi yüzeyi sıcaklık dağılımı ve egzoz gazlarının soğumasına ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar geminin baca gazı kaynaklı ışıma hesaplamalarının yapılması ve kızılötesi güdümlü mermilere karşı alınabilecek önlemlerin belirlenmesi için temel verileri oluşturmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Baca gazı analizi, ısı iz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, egzoz gazı soğuması.

1. GİRİŞ

Gemilerin ana makineleri ve jeneratörlerinden kaynaklanan baca gazları ısı iz oluşmasında en önemli kaynaklardır. Özellikle askeri amaçlı gemilerde bu iz geminin savunmasında bir risk oluşturmaktadır. Bu riskin temel nedeni kızılötesi güdümlü mermilerdir. Bacalardan ve makine dairelerinden kaynaklanan ısınma etkisi gemi yüzeyi ve etrafında kızılötesi bir alan oluşturacak ve güdümlü mermiler bu alanı hedef alacaklardır. Bu nedenle bu izin tespit edilmesi ve çeşitli ekipmanlar kullanarak azaltılmaya çalışılması bu tip gemilerin savunulması açısından hayati öneme sahiptir.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: dundarbayram@yahoo.com, tel: (505) 232 87 89

Bu çalışmada hesaplamalarda kullanılmak üzere bir gemi tasarlanmış ve tasarlanan geminin baca gaz özellikleri kullanılarak FLUENT programı ile modelleme yapılmıştır.

2. GEMİLERİN KIZILÖTESİ İZİNE YÖNELİK YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gemilerin kızılötesi izlerinin araştırılması kızılötesi güdümlü mermilerin bulunması ile birlikte II.Dünya Savaşı sırasında başlamıştır. Ancak bu çalışmalar sadece kızılötesi izle sınırlı kalmamış olup aynı zamanda radar kesit alanı, akustik iz gibi konuları da kapsamıştır. Bununla birlikte gemilerin bacalarından kaynaklanan egzoz gazlarının gemi üzerindeki ve gemi çevresindeki dağılımının incelenmesi ise daha gerilere giden bir araştırmanın konusudur.

Kulkarni vd. [1]., baca gazı dağılımının tespitinin tarihi gelişimi ile ilgili yaptıkları çalışmalarında bu tarihi 1800'li yılların sonuna kadar götürmektedirler. Ancak baca gazının askeri amaçlı gemilerin tespit edilebilirliğini artırdığını gören gemi inşa mühendisleri 1916 yılından itibaren bu konuyla ilgili çalışmalara başlamıştır. Yine aynı çalışmada bu problemin aşılabilmesi için gerekli çalışmaların yapıldığı rüzgar tünellerinin gelişimi ve rüzgar tüneline yapılan çalışmaların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile modellenmesi de ele alınmıştır.

Kızılötesi mermilerdeki gelişmeler Baqar'ın [2] çalışmasında ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışmada ayrıca uçaklar için termal izin bilgisayar destekli modellenmesi yapılmıştır. Davis vd. [3] gemilerin termal izinin bir bütün halinde ele alınarak modellenmesini sağlayan birçok çalışma yapmışlardır. Askeri platformlar için modern simülasyon teknikleri kullanılarak kızılötesi izin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarında bir platformun kızılötesi izine etki eden parametreler belirlenmiş, belirlenen bu parametrelerin baskılanması için yapılması gerekenler sıralanmıştır. Bunlar dört temel basamakta ele alınabilir. Baskılama yok (baz platform), görünebilen egzoz kanalı metal ve dış kısmının soğutulması (NBC yıkama sistemi ile) , egzoz kanalı ve egzoz gazlarının 250°C'ye kadar ve teknenin uygun yöntemle soğutulması, kanal soğutması, egzoz gazlarının 150°C'ye kadar ve tüm dış yüzeyin soğutulması (gemiler için dış yüzeyin su ile soğutulması) şeklinde sıralanmaktadır.

Birk ve Vandam [4]., deniz tipi gaz türbinlerinin egzoz gazlarının baskılanmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada Kanada Deniz Kuvvetlerine ait bir fırkateyn üzerinde seyir tecrübeleri yapılmış, seyir tecrübelerine ait sonuçlar ile ¼ benzerlik oranına sahip modeli üzerinde yapılan deneyler karşılaştırılmıştır. DRES Top Kızılötesi İz Baskılama Sistemi sonuçları değerlendirilmiştir. Reynolds sayısı etkisinden dolayı tam ölçekli seyir tecrübe sonuçlarının modele göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Hiscoke vd. [5], su püskürtme yöntemi ile egzoz gazı soğutulmasını inceledikleri çalışmasında hibrid bir edüktör/difüzer yardımıyla hem pasif egzoz gazı soğutulması hem de çeşitli oranlarda püskürttükları su yardımıyla aktif egzoz gazı soğutulma etkilerini değerlendirmişlerdir.

Keith ve Curran [6] ise kızılötesi iz modellerinin günümüzdeki ve gelecekteki muhtemel gelişmelerini inceledikleri çalışmalarında kara araçları için kullanılan bilgisayar destekli modelleri incelemişler ve ayrıntılı bir analiz yaparak mevcut sistemin geliştirilmesi için gerekli unsurları belirlemeye çalışmışlardır.

Kulkarni vd. [7] gemi egzoz dağılımının üst yapı ve helikopter hareketına etkisini incelemişlerdir. Egzoz gazının akış hızı ve gemi etrafındaki hareketleri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı baca yerleşimleri ele alınarak en iyi yerleşim düzeni oluşturulmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda, bu konu üzerine benzer bir sayısal çalışma Ergin ve Paralı [8] tarafından yapılmıştır.

Güven [9], tarafından savaş gemileri için bütün olarak kızılötesi izin azaltılmasına yönelik tedbirlerin uygulanabilirliği ve maliyeti incelenmiştir.

Guarnieri [10] çalışmasında, kızılötesi izin sıvı nitrojen ve su püskürtme yöntemiyle azaltılması deneysel ve sayısal olarak ele alınmıştır.

Lapierre vd. [11,12] tarafından yapılan çalışmada OSMOSIS adlı açık kodlu bir program geliştirilerek gemilerin kızılötesi izinin tespiti amaçlanmıştır.

Mahulikar vd. [13,14] çalışmasında, uçaklar ve uzay araçları için kızılötesi güdümlü mermilerin etkileri ve korunma yöntemleri ele alınmıştır.

Bourlier vd. [15] çalışmasında, kızılötesi izin deniz arka planındaki dağılımı ve kızılötesi güdümlü mermilere etkisi ele alınmıştır. Ayrıca Erdem [16] tarafından da kızılötesi bantta deniz arka plan ışınlarının hesaplanmasına yönelik sayısal çalışmalar yapılarak DAMA isimli bir program geliştirilmiştir.

Schafer [17] çalışmasında, küçük boyutlu askeri amaçlı gemilerin uçuş güvertesi üzerindeki akışı aktif ve pasif olarak ölçmeye yönelik sayısal bir çalışma yapılmıştır.

Vaitekunas vd. [18,19,20,21,22,23] tarafından geliştirilen SHIPIR adlı program yardımıyla çok boyutlu olarak gemiler etrafındaki kızılötesi izin hesaplanmasına yönelik çalışmalar, gerçek boyutlu gemiler için deneysel ve sayısal olarak incelenmiş ve tüm ışınlar göz önünde bulundurularak kullanılan program yardımı ile hesap edilmiştir.

3. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

(1) numaralı denklem ile verilen ısı yayılım denklemi, bir hacimdeki ana enerji dengesini tanımlar. Bu denklemin çıktıları tek bir hacim için fiziksel sıcaklığı ve bu hacimle ilişkili hacim ve düğüm noktalarının sıcaklık dağılımını verir. Bu düğüm noktaları hedef ve arka planı tanımlar.

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(kx \frac{\delta T}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(ky \frac{\delta T}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(kz \frac{\delta T}{\delta z} \right) + Q = \rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{\delta T}{\delta t} \right) \quad (1)$$

(2) numaralı denklem ile verilen ışınım denklemi, bir yüzeyden, emilim ve yansıma elemanlarını içeren ışınım enerjisi geçişinin hesaplanmasıdır. J ışınımı N yüzey için (i ve j = 1)

$$J_i = \varepsilon_i \cdot E_{bi} + \rho_i \cdot \sum_{j=1}^N F_{ij} \cdot J_j \quad (2)$$

Egzoz gazlarının modellenmesi esnasında sonlu farklar yöntemi için kullanılan düğümlere geçen net enerji miktarı toplam depolanan ısı enerjije eşittir.

$$\sum Q_i = m_i \cdot c_p \left(\frac{dT_i}{dt} \right) \quad (3)$$

Bu denklemlere açık nümerik çözümlerle çözümlerse, ısı ışınım, taşınım ve iletim için

$$\dot{T}_i = T_i + \frac{\Delta t}{m_i \cdot c_p} \cdot \sum Q_i \quad (4)$$

Q ısı terimi T_i 'nin bir fonksiyonu olup i ve j noktaları arasındaki sıcaklık farkı;

$$Q_i = c_{ij} (T_j - T_i) \quad (5)$$

$$c_{ij} = \frac{kA}{\Delta t} \text{ (İletim)}, c_{ij} = hA \text{ (Taşınım)} \quad (6)$$

$$c_{ij} = \sigma_{ij} \cdot A_i \cdot (T_j^4 - T_i^4) \text{ (Işınım)} \quad (7)$$

Buradan;

$$\frac{m_i c_p}{\Delta t} (\dot{T}_i - T_i) = \sum_{i=1}^N \left[c_{ij} \cdot \left(\frac{T_j^4 + T_i^4}{2} - \frac{T_i - T_j}{2} \right) \right] + Q_i \quad (8)$$

$$\dot{T}_i = \left[\frac{\sum_{i=1}^N c_{ij} T_j + \sum_{j=1}^N c_{ij} \dot{T}_j + 2Q_i - T_i \sum_{j=1}^N c_{ij} \left(1 - \frac{2m_i c_p}{\Delta t \sum_{j=1}^N c_{ij}} \right)}{\sum_{j=1}^N \left(1 + \frac{2m_i c_p}{\Delta t \sum_{j=1}^N c_{ij}} \right)} \right] \quad (9)$$

olacaktır.

Denklem (9) ile ulaşılan sonuçlar baca gazları tarafından gemi yüzeyi ve gemi etrafındaki havanın sıcaklık dağılımının elde edilmesini sağlayacak ve böylelikle bu sıcaklık profili kullanılarak baca gazı kaynaklı ışınım tespit edilebilecektir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Gemilerde baca gazlarının modellenmesi oldukça karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle, baca gazı hesaplamalarını yapabilmek için, zaman ve maliyet gerektiren deneysel yöntemlerin yerine Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metotlarına ve bu metotlara göre elde edilen sonuçları almak üzere gelişmiş bilgisayar sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Akışkanlar mekaniğinin temel denklemi olan kütle korunumu ve momentumun korunumu denklemlerinin analitik olarak çözmek mümkün değildir. Baca gazları açısından bakıldığında da bu durum açık şekilde görülmektedir. Çünkü hem bir akış söz konusudur hem de bu akıştan kaynaklanan bir ısı transferi oluşmaktadır. Bu nedenle temel denklemlerin yaklaşık olarak çözülebilmesi için bilgisayar destekli hesaplamalara ihtiyaç duyulmaktadır. HAD bu kapsamda oluşturulmuş uygulamalardan birisidir.

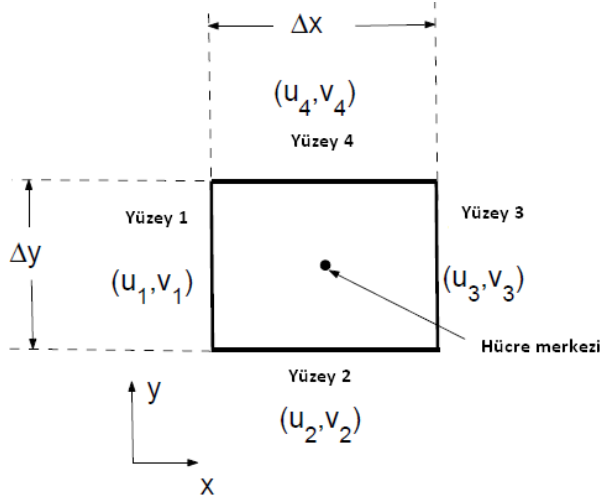
FLUENT programı veya bir başka sonlu-hacimler yöntemini kullanan program kullanılırken programın herbir hücre için kütle, momentum, enerji ve diğer ilgili değerlerin korunumuna yönelik bir sonuç bulmaya çalışacağı akıldan çıkarılmamalıdır.

Sonlu hacimler yönteminde oluşturulan elemanlara “hücre” ve bu hücrelerin birbirleri ile olan bağlantı noktalarına ise “düğüm” adı verilir. İki boyutlu bazı çalışmalarda üçgen elemanlar da kullanılabilir. Üç boyutlu çalışmalarda bu elemanlar hegzahedral, tetrahedral veya prizma şeklinde kullanılır. Sonlu -hacimler yaklaşımında korunum denklemleri hücre olarak tanımlanan kontrol hacimlerine uygulanır. Kararlı sıkıştırılmayan akışlar için süreklilik denkleminin integral formu aşağıdaki gibi olmaktadır [24].

$$\int_S \vec{V} \cdot \hat{n} dS = 0 \quad (10)$$

Bu integral kontrol yüzeyi ve yüzeyden dışarı doğru olan normali üzerinde alınmaktadır. Fiziksel olarak bu ifade kontrol hacmi içerisine doğru akan net hacimsel akışın sıfır olduğunu göstermektedir.

Dikdörtgen bir hücrenin gösterimi Şekil 1’de olduğu gibidir.



Şekil 1. Kontrol hacmi (hücre)

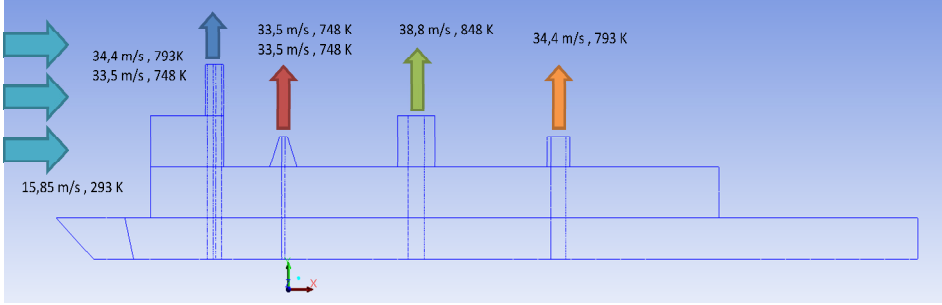
i yüzeyindeki hız $\vec{V}_i = u_i \hat{i} + v_i \hat{j}$ şeklinde vektörel formda gösterilmektedir. Verilen hücre ile tanımlanan kontrol hacmine Denklem 10 ile verilen kütle korunumunu uygularsak;

$$-u_1 \Delta y - v_2 \Delta x + u_3 \Delta y + v_4 \Delta x = 0 \quad (11)$$

Denklem (11) ile verilen ifade hücre için süreklilik denklemi olarak tanımlanmaktadır. Bu denklem kontrol hacmine giren net kütle akısının sifıra eşit olduğunu ifade eder. Kütle akısı sıfır olduğu için hücre için kütle korunmuş olmaktadır. Aynı şekilde momentum ve enerjinin korunumu denklemleri de elde edilebilir [24].

5. SAYISAL UYGULAMA İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Şekil 2’de sayısal modelleme de kullanılan sınır koşulları şematik olarak verilmiştir. Burada T_{∞} olarak atmosfer sıcaklığı (293 K), V_{∞} olarak bağıl hız (15,85 m/s) alınmıştır. Her bir bacadan çıkış hızları ve sıcaklıkları ayrı ayrı belirtilmiş, x ve y koordinatları gemi ana güvertesinden itibaren başlatılmıştır.



Şekil 2. Ele alınan sınır koşulları

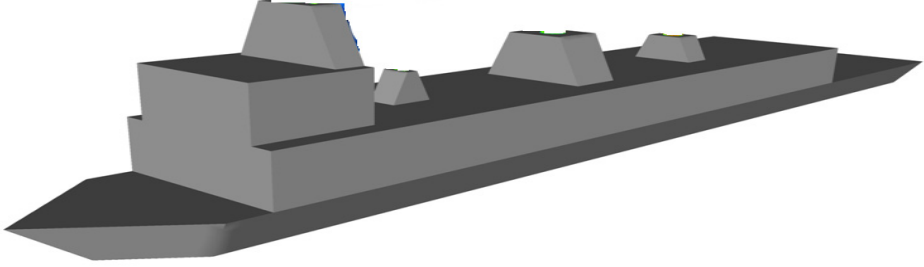
Hesaplamaların yapılması amacıyla tasarlanan geminin genel özellikleri aşağıda olduğu gibidir: Şekil 3 ve Şekil 4’te geminin genel yapısı ve baca konumlanmasına ilişkin hususlar belirtilmiştir.

Çizelge 1. Gemi özellikleri

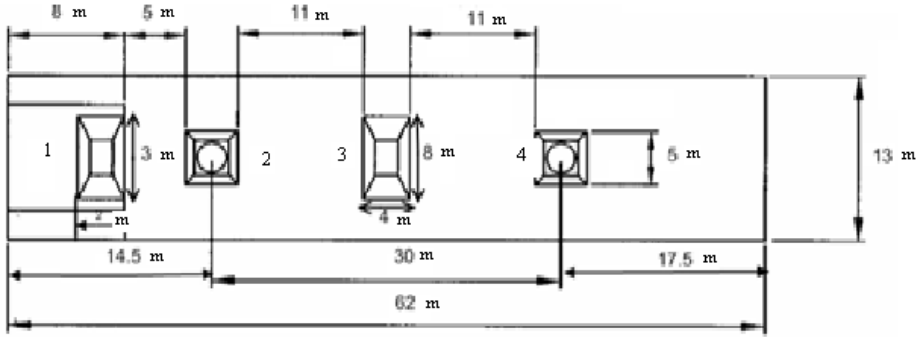
Tam Boy (m)	Genişlik (m)	Su Çekimi (m)	Ortalama Karina Derinliği (m)	Azami Hız (Knot)	Deplasman (Ton)
93,9	13,2	3,8	9,3	31,7	2465

Çizelge 2. Gemi sevk ve elektrik servis sistemi makinelerinin özellikleri

Sistem	Makine	Güç
Ana Tahrik Sistemi	1 Adet GE LM 2500 Gaz Türbini	22.000 KW
Ana Tahrik Sistemi	2 Adet MTU Diesel	5.200 KW
Gemi Elektrik Sistemi	3 Adet MTU Diesel	5.200 KW



Şekil 3. Ele alınan geminin üç boyutlu görünümü



Şekil 4. Gemiye ait baca yerleşimi

Çizelge 3. 1 numaralı bacadaki akış özellikleri

Makine	Egzoz Devresi Çapı (m)	Egzoz Debisi (m ³ /s)	Egzoz Sıcaklığı (K)	Egzoz Hızı (m/s)
1 No'lu Diesel Ana Makine	1,6	19,75	793	34,4
1 No'lu Diesel Jeneratör	0,3	3,2	748	33,5

Çizelge 4. 2 numaralı bacadaki akış özellikleri

Makine	Egzoz Devresi Çapı (m)	Egzoz Debisi (m ³ /s)	Egzoz Sıcaklığı (K)	Egzoz Hızı (m/s)
2 No'lu Diesel Jeneratör	0,3	3,2	748	33,5
3 No'lu Diesel Jeneratör	0,3	3,2	748	33,5

Çizelge 5. 3 numaralı bacadaki akış özellikleri

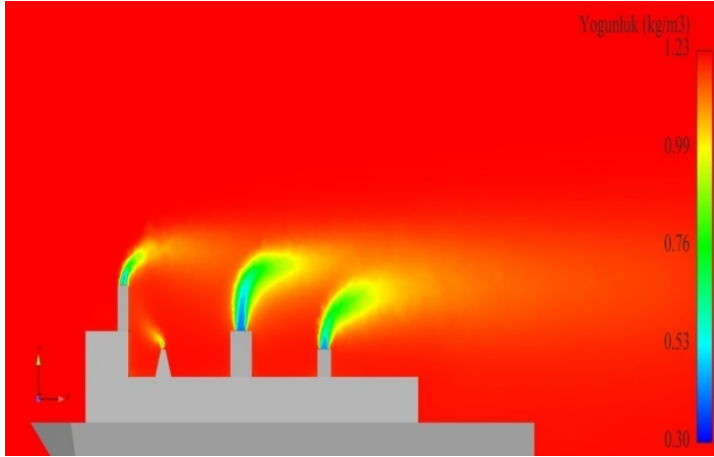
Makine	Egzoz Devresi Çapı (m)	Egzoz Debisi (m ³ /s)	Egzoz Sıcaklığı (K)	Egzoz Hızı (m/s)
Gaz Türbini	1,75	138,811	848	38,8

Çizelge 6. 3 numaralı bacadaki akış özellikleri

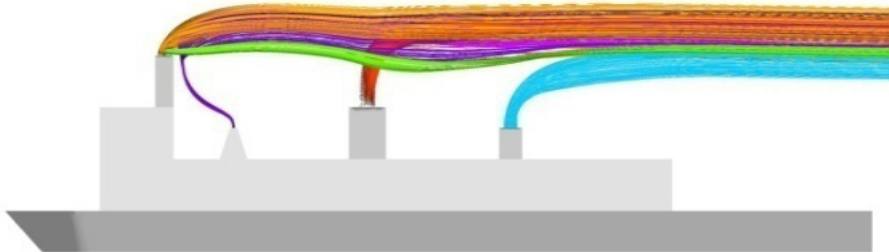
Makine	Egzoz Devresi Çapı (m)	Egzoz Debisi (m ³ /s)	Egzoz Sıcaklığı (K)	Egzoz Hızı (m/s)
2 No'lu Diesel Ana Makine	1,6	19,75	793	34,4

Rüzgar hızı 20 knot (36 m/s), gemi hızı ise 31,7 knot (57,06 m/s)'dir. Rüzgar geminin pruvasından geldiği kabul edilmiştir. Modelleme için 4.803.146 adet tetrahedral eleman kullanılmış olup çözüm ağı (mesh) GAMBIT 2.4.6 ile oluşturulmuştur, çözüm FLUENT 6.3.26 ile dört işlemcili bilgisayarda yapılmıştır. Viskoz modelleme için k-epsilon (iki denklemli) modeli kullanılmıştır.

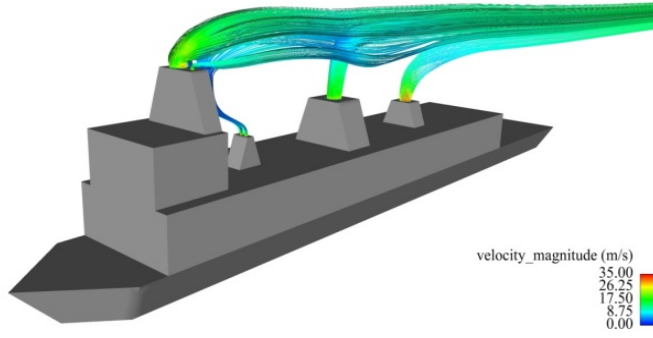
Eldeki veriler ışığında HAD ile yapılan modelleme sonucunda havanın yoğunluk dağılımı, her bacadan çıkan akım bilgileri, gemi etrafındaki havanın ve baca gazlarının hız dağılımları, gemi etrafındaki havanın ve baca gazlarının sıcaklık dağılımı, gemi yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve gemi baca gazlarının soğumasına ilişkin sonuçlar elde edilmiştir.



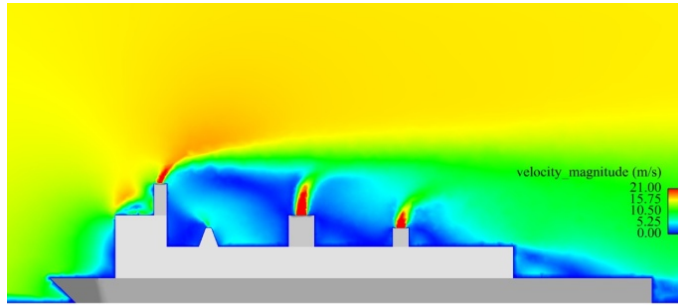
Şekil 5. Havanın yoğunluk dağılımı



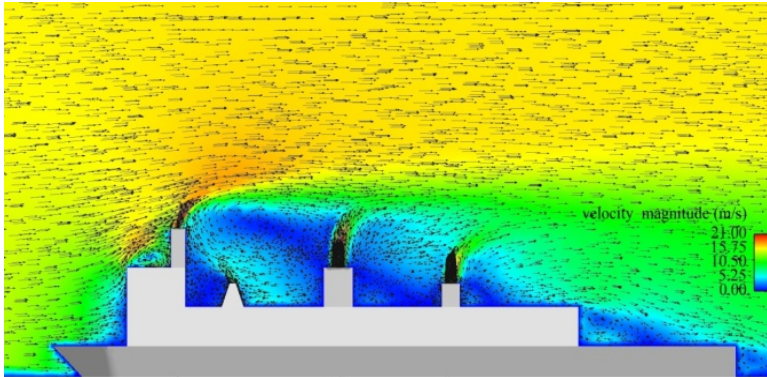
Şekil 6. Her bacadan çıkan gazların akım çizgilerinin gösterilmesi



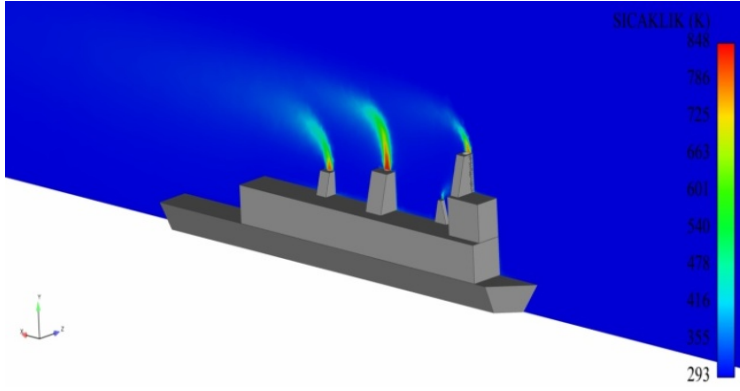
Şekil 7. Her bacadan çıkan gazların hıza göre gösterilmesi



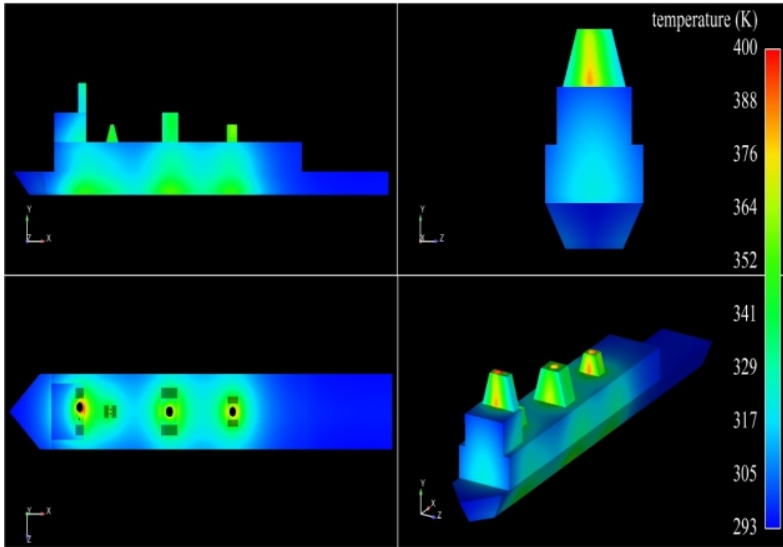
Şekil 8. Gemi etrafındaki havanın ve her bacadan çıkan gazların gemi etrafındaki hız dağılımı



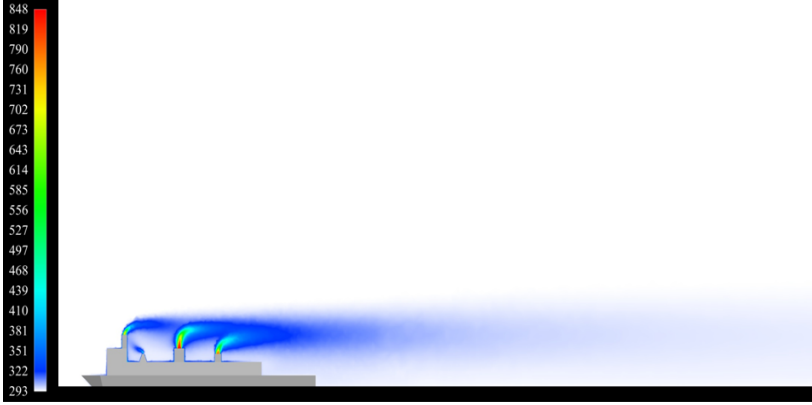
Şekil 9. Gemi etrafındaki havanın ve her bacadan çıkan gazların gemi etrafındaki hız dağılımı ve vektörleri



Şekil 10. Gemi etrafındaki havanın ve her bacadan çıkan gazların gemi etrafındaki sıcaklık dağılımı (293-848 K ölçeğinde)



Şekil 11. Gemi yüzeyi sıcaklık dağılımı (293-400 K ölçeğinde)



Şekil 12. Gemi baca gazlarının soğuması

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Modelleme sonucunda elde edilen veriler sıcaklık dağılımının doğal olarak baca gazı sıcaklığıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Hava yoğunluğu dağılımı Şekil 5'te görüldüğü gibi $0,30 \text{ kg/m}^3$ ile $0,99 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Şekil 6'da baca gazlarının akım çizgileri verilmiş, Şekil 7'de baca gazlarının hız dağılımları gösterilmiş olup bacadan çıkan gazların ortalama hızlarının geminin pupası (kıç) civarında $17,5 \text{ m/s}$ olduğu görülmektedir. Gemi etrafındaki havanın hızı ise Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiş ve bacaların etrafındaki alanda 5 m/s değerine yakın olduğu görülmektedir. Aynı şekilde gemi etrafındaki hava bacaların arasında kalan alanda bir türbülans oluşturacaktır. Baca gazları ise daha doğrusal bir iz göstermektedirler. Şekil 10'daki sıcaklık dağılımlarında da görüleceği üzere bacalardan çıkış anında ve tam merkezdeki bölgelerde sıcaklıklar 840 K civarında iken gemi etrafındaki havanın sıcaklığı 350 K değerine yakındır. Gemi yüzeyi sıcaklığı ise Şekil 11'de gösterilmiş olup bacaların üzerinde 400 K değerinde iken makine daireleri bölgesinde 340 K değerine yakındır. Geminin baş ve kıç bölgelerinde ise ortam sıcaklığı olan 293 K civarındadır. Gemi baca gazlarının soğuması olayı incelendiğinde Şekil 12'de görüleceği gibi geminin kıç tarafına doğru 300 m , baş tarafına doğru ise 150 m civarında ortam sıcaklığına eriştiği görülmektedir.

Bu sonuçları irdelediğimizde ısı izin gemi bünyesi ve etrafındaki dağılımının baca gazı sıcaklıkları ile doğrudan ilintili olmakla birlikte baca gazı soğutulması dışında baca yerleşiminin de ısı dağılımına etkisi olacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle bacaların değişik yerleşim ve sayıda olması ısı izin dağılımını etkileyecek ve gemilerin ısı güdümlü mermilere karşı hassasiyetini azaltacaktır.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Kulkarni P.R., Singh S.N. ve Seshadri V. (2005), "The Smoke Nuisance Problem on Ships-A Review", The Royal Institution of Naval Architects, London.
- [2] Baqar S. (2007), "Low-Cost PC-Based High-Fidelity Infrared Signature Modelling and Simulation", PhD Thesis, Cranfield University Defence College of Management Technology Department of Aerospace, Power and Sensors, USA.
- [3] Davis W.R. ve Thompson J., "Developing An IR Signature Specification for Military Platforms Using Modern Simulation Techniques", W.R. Davis Engineering Ltd.

- [4] Birk A.M. ve Vandam D (1992), "Infra-Red Signature Suppression for Marine Gas Turbines: Comparison of Sea Trial and Model Test Results for the DRESS Ball IRSS Systems", 92-GT-310.
- [5] Hiscoke B., "IR Suppression – Exhaust Gas Cooling by Water Injection", W.R. Davis Engineering Limited.
- [6] Keith R. ve Curran R., "Present State and Future of Infrared Signature Models" Michigan Technological University.
- [7] Kulkarni P.R., Singh S.N. ve Seshadri V. (2006), "Parametric Studies of Exhaust Smoke–Superstructure Interaction on a Naval Ship using CFD", *Computers and Fluids* 36 (2007), 794-816.
- [8] Ergin S. ve Paralı Y. (2010), "Savaş Gemilerinde Egzoz Gazları ve Gemi Üst Yapısı Etkileşiminin Sayısal Olarak İncelenmesi", *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, 185: 4-10.
- [9] Güven E. (2006), *The Feasibility and Efficiency Analysis of Infrared Radiation Reduction Methods for Warships*, MSc Thesis, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Guarnieri J.A. (2004), *Thermal Signature Reduction Through Liquid Nitrogen and Water Injection*, MSc Thesis, Texas A&M University, USA.
- [11] Lapierre F.D., Marcel J.P. ve Acheroy M. (2006), "Design of An Infrared Ship Signature Simulation Software for General Emissivity Profiles", 2nd International IR Target, Background Modelling and Simulation (ITBMS) Workshop, Germany.
- [12] Lapierre F.D., Duman R., Berghraef A., Marcel J.P. ve Acheroy M. (2007), "OSMOSIS: An Open –Source Software for Modelling of Ship Infrared Signatures", 10.1.1.157.5627.
- [13] Mahulikar S.P., Sonawane H.R., Rao G.A., "Infrared Signature Studies of Aerospace Vehicles", *Aerospace Science and Technology*, August 2007.
- [14] Mahulikar S.P. ve Rao G.A., "New Criterion for Aircraft Susceptibility to Infrared Guided Missiles", *Aerospace Science and Technology* 9 (2005) 701–712, August 2005.
- [15] Bourlier C., Saillard J. ve Berginc G. (2000), "Intrinsic Infrared Radiation of the Sea Surface", *Progress in Electromagnetics Research*, PIER 27:185-335.
- [16] Erdem E. (2007), *Kızılötesi Bantta Deniz Arka Alan Plan Işımlarının Hesaplanması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Shafer D.M. (2005), *Active and Passive Flow Control Over The Flight Deck of Small Naval Vessels*, MSc Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University Aerospace Engineering, USA.
- [18] Vaitekunas D.A., "Validation of ShipIR (v3.2): Methodology and Results" Davis Engineering Limited, April 2006.
- [19] Vaitekunas D.A., Alexan K. ve Birk A.M., "Naval Threat and Countermeasures Simulator", W.R. Davis Engineering Limited, 1994.
- [20] Vaitekunas D.A. ve Lawrence O.E., "Infrared Scene Capabilities of SHIPIR".
- [21] Vaitekunas D.A., Thompson J.T. ve Reid F., "IR Vulnerability of Modern Warships Using SHIPIR/NTCS".
- [22] Vaitekunas D.A., Alexan K ve Lawrence O.E. (1996), "SHIPIR/NTSC: A Naval Ship Infrared Signature Countermeasure and Threat Engagement Simulator", W.R. Davis Engineering Limited.
- [23] Vaitekunas D.A., Fraedrich D.S., "Validation of the NATO-Standard Ship Signature Model (SHIPIR)".
- [24] Davidson L.(2003) , "An Introduction to Turbulance Modelling", Chalmers University of Technology, Department of Thermo and Fluid Dynamics, Publication 97/2,Göteborg, Sweden.