

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**SAVAŞ GEMİLERİNDE EGZOZ KAYNAKLI KIZILÖTESİ İZ
BASKILAMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal KESKİN

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2021

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**SAVAŞ GEMİLERİNDE EGZOZ KAYNAKLI KIZILÖTESİ İZ
BASKILAMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kemal KESKİN
(181222009)**

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL
Eş Danıman: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU**

TEMMUZ 2021



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz, Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı (181222009) numaralı öğrencisi Kemal Keskin' in "Savaş Gemilerinde Egzoz Kaynaklı Kızılötesi İz Baskılama Sistemi Geliştirilmesi" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 06/07/2021 tarihli kararıyla oluşturulan jüri tarafından *Oy Birliği* ile Yüksek Lisans tezi olarak *Kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 07/07/2021

1) Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL

2) Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Utku Canci MATUR

3) Jüri Üyesi: Prof Dr. Gökhan BULUT

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Savaş Gemilerinde Egzoz Kaynaklı Kızılötesi İz Baskılama Sistemi Geliştirilmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (07/07/2021)

Kemal KESKİN

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi çalışmamızın konusu ve içeriği, özellikle askeri gemilerin egzoz gazlarının oluşturduğu kızılötesi ısı izler ile ilgili daha önce yapılan aynı ve benzer çalışmalar ile ilgili literatür ve makaleler araştırılmış, derlemesi yapılmış ve bu ısı izin baskılanması sistemi ile ilgili benzer bir sistem tasarlanarak geliştirilmesi ve tasarımın deneysel olarak model üzerinde bir dizi canlandırma ile ölçümler ve model analizleri ile bir gemi makine modeli seçilerek, makineye ait özelliklere uygun gerçek ölçülerde Ansys Fluent programında analiz ve karşılaştırılması yapılması çalışmalarıdır.

Yüksek Lisans Tez çalışmaları sırasında, ilerlemesi, planlanması, araştırılması ve yürütülmesinde engin bilgi ve deneyimleriyle bana destek olan, ayrıca görüşmelerimizde bana pozitif enerji vererek motive eden, deneysel çalışmalarda kullandığım sıcak hava tabancası ile bana destek veren sayın danışman hocam Sn.: Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL'a ve Ansys Fluent programında tüm işlemler boyunca bana yılmadan destek veren eş danışman hocam Sn.: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2021

Kemal KESKİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Kızılötesi İz ve İz Baskılama Hakkında	1
1.3 Matematiksel Formülasyon	5
1.4 Dizel Makineler	7
2. İZ BASKILAMA YÖNTEMLERİ	9
2.1 Egzoz kaynaklı Kızılötesi İz Baskılama Tasarımları	10
2.1.1 Edüktör (Basınç pompası)/ difüzör (Dağıtıcı)	10
2.1.2 Deniz Suyu Püskürtme	11
2.1.3 DRES Ball (DRES Top)	11
2.2 Işıma Kaynaklı İz baskılamaYöntemleri	13
2.2.1 Özel boyalar	13
2.2.2 Su yıkama	14
2.2.3 Sis sistemleri	14
2.2 Uygulanmasına Karar Verilen Optimum Çözüm	17
3. UYGULAMA VEYA DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
3.1 Proje Kapsamında Yapılan Tüm Çalışmalar	18
3.1.1 Model ve amaçlanan getiriler	18
3.1.2 Deneysel modelin ansys fluent analizi	24
3.2 Gerçek Ölçekte Yapılan Ansys Fluent Çalışmaları	24
3.2.1 Yedi taze hava girişli çalışma - 1	26
3.2.2 Yedi taze hava girişli çalışma – 2	28
3.2.3 On taze hava girişli geometri ile yapılan çalışma	29
4. UYGULAMA ALANLARI	33
4.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	33
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
5.1 Deneysel Çalışma Verileri ve Sonuçları.....	35
5.2 Gerçek Ölçekte Hazırlanan Geometrilerdeki Analiz Sonuçları	36
6. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMALAR	37
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	39

KISALTMALAR

- NBC** : Nükleer Biyolojik Kimyasal
IRSS : Infrared Signature Suppression (Kızılötesi İz Baskılama)
 \dot{Q}_{eg} : Egzoz gazlarının taşıdığı toplam ısı gücü (kW)
 \dot{m}_{eg} : Egzoz gazlarının kütleli debisi (kg/s)
 c_{pg} : Sabit basıçtaki egzoz gazının özgül ısısı ($kJ/kg.K$)
 T_{eg} : Egzoz gazı sıcaklığı (K)
 T_o : Dış ortam sıcaklığı (K).
 ρ : Yoğunluk (kg/m^3)
 μ : Viskozite ($10^{-4} Pa.s$)
 h : Entalpi (kJ/kg)
 s : Entropi ($kJ/kg.K$)
 k : Isıl iletkenlik katsayısı ($W/m.K$)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Kaynak Alınan Marin Dizel Makinenin Özellikleri.....	24
Çizelge 3.2: Diesel Egzoz Gazı Özellikleri	25
Çizelge 3.3: On ad. Taze Hava Girişli Analiz Giriş Çıkış Debi Değerleri.....	30

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Etkin Gövde Soğutma İşlemi Çalışması.....	4
Şekil 1.2: Davis, Solda Baskılanmamış, Sağda Baskılanmış Helikopter IR İz Görüntüsü.....	5
Şekil 1.3: Tipik Bir Baskılanmamış Askeri Gemi IR Görüntüsü	5
Şekil 1.4: Askeri Gemi Katı Modeli.....	8
Şekil 2.1: Bir Gemi Gövde Kızılötesi İz Görüntüsü.....	9
Şekil 2.2: Edüktör/Difüzör.....	10
Şekil 2.3: DRES Top	12
Şekil 2.4: Davis' in Uçak Gaz Türbini Baskılama Testi	12
Şekil 2.5: Tipik Askeri Gri Boyanın Solar Işması.....	13
Şekil 2.6: İz Baskılama Seviyeleri ve Farkedilme Süreleri	16
Şekil 3.1: Tasarlanan Model	19
Şekil 3.2: Sıcak Hava Tabancasının Çıkış Sıcaklığı.....	19
Şekil 3.3: Numunenin, Isı Kaynağından Sonra Başlayarak Çıkışına Kadar Hava Boşluklarından Ölçülen Sıcaklıkları	21
Şekil 3.4: Numunede Sıcak Havanın Hava Boşluklarındaki Sıcaklıklar.....	22
Şekil 3.5: Numunede Sıcak Havanın Soğuma Eğrisi	22
Şekil 3.6: Deney Modelinin Termal Kamera Ölçümleri	23
Şekil 3.7: Deney Modelinin Ansys Fluent Analiz Sonuçları.....	24
Şekil 3.8: Egzoz Gazı İçeriği	26
Şekil 3.9: Gerçek Ölçekli Egzoz Geometrisi İle Yapılan Ansys Analiz Sıcaklık Çıktı Sonuçları	27
Şekil 3.10: Yedi Taze Hava Girişli Analizin Hız Vektörleri Mertebeleri	28
Şekil 3.11: Yedi Taze Hava Girişli Analiz Sonucu – Sıcaklık (K)	29
Şekil 3.12: On ad. Taze Hava Girişli Analiz Sonucu – Sıcaklık (K).....	30
Şekil 3.13: On ad. Taze Hava Girişli Analiz Hız Vektörü	31
Şekil 3.14: Analiz Giriş ve Çıkış Bölgeleri	32
Şekil 4.1: İz Baskılama İşleminin Uygulama Alanları (Deniz ve Hava Savunma Araçları)	33
Şekil 4.2: Gaz ve Buhar Türbinleri Egzoz Soğutma (Marin ve Kara Enerji Tesisleri)	34
Şekil 5.1: Deney Analizinin Sıcaklık Karşılaştırma Noktası.....	36

SAVAŞ GEMİLERİNDE EGZOZ KAYNAKLI IR İZ BASKILAMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Söz konusu yüksek lisans tezinde, özellikle savaş gemilerinde, çeşitli nedenlerle ortaya çıkan kızıl ötesi izlerin türleri, bunlardan gemi makinesi egzoz gazı sıcaklığının oluşturduğu kızılötesi iz hakkındaki çalışmalar ve egzoz gazı dışarı atılırken sıcaklığı düşürülerek bu gazların ortaya çıkardığı ısı iz takibinin baskılanması ile ilgili literatür, makale ve ticari çalışmalar araştırıldı. Bu örnekler ışığında, yaklaşık 1/18 ölçeğinde numune model ile deneysel çalışmalar ve Ansys Fluent analiz çalışmaları yapılmıştır.

Uygulama sonucunda, egzoz gazlarının sıcaklık değişimleri ve egzoz gazlarının soğumasına ilişkin deneysel ve fluent analiz sonuçları elde edilmiştir ve bunlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar, savaş gemilerinin egzoz gazı kaynaklı ışıma hesaplamalarının yapılması ve kızılötesi güdümlü mermilere karşı alınabilecek önlemlerin belirlenmesi için temel verileri oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: *İz baskılama, Kızılötesi iz, Dizel motorlarda egzoz gazı soğutma*

DEVELOPMENT OF EXHAUST - INDUCED IR SIGNATURE SUPPRESSION SYSTEM IN NAVAL SHIP

ABSTRACT

In my MSc thesis, especially on naval ships, types of infrared signatures that occur due to various reasons, the infrared signatures created by ship engine exhaust gas temperature the scientific article, literature and commercial studies were investigated about the suppression of signature trace the thermal traces of these gases which were cooled while the exhaust gas of the ships was thrown out. In the light of these examples, experimental studies and Ansys Fluent analysis were examined with an experimental model with a scale of approximately 1/18.

As a result of the application, the results of the temperature changes of the exhaust gases and the cooling of the exhaust gases are obtained. These results form the basis for determining gaseous emission calculations of the flue gas and determining the precautions that can be taken against the infrared guided marbles.

Keywords: *Signature supression, Infrared signature, Exhaust gas cooling in the diesel engines*

1. GİRİŞ

Savaş Gemilerinde ana makinelerin açığa çıkardığı yüksek sıcaklıklı egzoz gazları, güneş ışınları ile gövde ısınması ve gövde ışıması kızılötesi ısı iz kaynaklarıdır. Bu tezde incelenen konu gemi makinelerinin egzoz gazı sıcaklık nedeni ile geminin baca gövdesi yüzeylerinde oluşturduğu kızılötesi ısı izlerdir. Ve bu durum geminin savunmasında önemli bir risk oluşturmaktadır. Makinelerin egzoz gazı sıcaklığı nedeni ile kaynaklanan ısınma etkisi gemi yüzeyi ve özellikle baca bölgesinde tespit edilebilir kızılötesi ısı iz yüzeyi oluşturarak ısı iz algılayıcı mermiler için tarafından kolayca görülüp saniyeler içinde vurulabilmektedir. Bu nedenle savaş gemilerinin görünürlüğünü önemli ölçüde azaltmak donanma gücünün devamlılığı için savunma açısından elzemdir. Egzoz kaynaklı sıcaklığın azaltılması mümkündür.

1.1 Çalışmanın Amacı

Projenin amacı, savaş gemilerindeki makinelerin yüksek sıcaklıklı egzoz gazlarının geminin baca bölgesi civarında oluşturduğu kızılötesi izi, egzoz borusunun dikey hattında soğutarak baskılamak. Bu kızılötesi iz için çeşitli teknikler, tasarımlar ve ya ısı geri kazanımları yöntemlerini incelemek, yapılan daha önceki çalışmalar ve yöntem baz alınarak bir model üzerinde deneysel çalışma yapmak. Ayrıca bilgisayar programı ile ısı analizleri yapılarak analiz sonuçlarını karşılaştırmak. Bunun sonucunda Egzoz sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürmek ve kızılötesi iz takibinin azaltılmasıdır yani baskılanmasını sağlamak. Ve daha sonra yapılacak çalışmalara ve modellere kaynak oluşturmaktır.

1.2 Kızılötesi İz ve İz Baskılama Hakkında

Savunma teknolojilerinin II. Dünya Savaşına kadar dönemin teknoloji seviyesi nedeni ile savaş gemilerinin baca gazı sıcaklıkları tehdit oluşturmuyordu. Ancak Kukarni, 19. Yy' in sonu ve 20. Yy' in başında bununla ilgili çalışmalar yapıldığını araştırmalarında ortaya koymuştur. II. Dünya savaşı sırasında savaşa karışmış ülkelerden özellikle Almanya savaş araçlarında ciddi geliştirmeler yapmıştır. Bu

nedenle diğer ülkelerin de savunma teknolojileri geliştirme zorunluluğu nedeni ile birlikte hava, deniz ve kara savunmalarında yeni teknolojiler geliştirilmeye başlamasına yol açmıştır. İşte kızılötesi güdümlü mermilerin bulunması ve geliştirilmesi da bu süreçten sonra ortaya çıkmıştır. Bu mermilerin kullanılmaya başlanması ile birlikte gemilerin baca gazlarının sıcaklığı, ısı iz oluşturarak gemileri açıkça hedef haline getirmiştir. Buna karşın savaş gemilerinin savunma sistemlerin de gelişme sağlanmış ancak, bu ısı izlerinin baskılanması savunma sistemlerine zaman kazandırmak için zorunlu ihtiyaç haline gelmiştir. Savaş Gemilerinde ki egzoz kaynaklı kızılötesi iz baskılama teknolojileri çalışmaları 20. Yy' ın ilk çeyreğinden özellikle II. Dünya Savaşından sonra birçok ülkede başlamıştır. Ancak, kızılötesi iz ile ilgili çalışmalardan başka, radar kesit alanı, akustik iz gibi konularda da çalışmalar yapılmıştır.

Bununla birlikte gemilerin egzoz gazlarının, gemi üzerindeki gemi etrafında ve deniz yüzeyinde dağılımının incelenmesi ise 20. Yy' ın başlarından günümüze gelen ve birçok araştırmanın konusudur. Bu konu ile ilgili yapılan bilimsel ve ticari çalışmalar şöyledir.

Egzoz kaynaklı ısı iz sayısal modellemesi ile ilgili makalede gemilerin baca egzoz gazlarından kaynaklanan ısı iz hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla modellemesi yapılmış ve bu modelleme oluşturulan 3 boyutlu gemi üzerinde uygulanmış. 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.

Düşük Kızılötesi (IR) imzası, bir savaş gemisinin beka kabiliyeti için büyük önem taşır. Bu makalede, IR imza yönetimine içgörü sağlamak için IR İmzalarının simülasyonunun yanında temel IR teorisi ele alınmış (Heperkan ve Bayram, 2012).

Kızılötesi iz yönetimine içgörü sağlamak için kızılötesi izlerin canlandırması yanında temel kızılötesi teorisi ele alınmış. Kızılötesi iz operasyonel önemi incelenmiş. Olası kızılötesi iz baskılama teknikleri sunulmuş ve detaylandırılmış. Kızılötesi iz hakkında genel bir inceleme ve değerlendirme ele alınmış. Davis Engineering çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir (Galle ve Schleijpen, 1998).

Savaş gemilerinin maruz kaldığı kızılötesi iz etkenleri güneş ve egzoz kaynaklı

kızılötesi izler incelenmiştir. Bunu, Askeri gemi tehditleri ve önleme simulatörü (naval threat and countermeasure simulator – NTCS) yazılımı kullanılarak geliştirilen analiz etme süreci, gemi modeli üzerinde gemideki kızılötesi izlerin baskılanmış durumlarının dalga boyları ve bunların tespit edilme analizleri üzerinden içermektedir (Liorente, Charris ve Torres, 2014).

ShipIR / NTCS kullanarak deniz platformlarının kızılötesi (IR) izlerini ve duyarlılığını analiz etmek için Vaitekunas (2010) tarafından sunulan yöntem için, üç temel iyileştirme sağladığı ortaya konulmuş. Bunlar, daha büyük bir iklim veri setinin kullanımı (N = 100), ufukta piksel örtüştürmeden kaynaklanan yanlış algılamaları ortadan kaldıran yeni bir hedef alt görüntü algoritması ve yeni bir tarayıcı modeli. Mevcut kızılötesi iz baskılama teknolojileri için (egzoz yığını bastırma, düşük güneş emici boyalar, uzatılmış gövde filmi soğutması) yeni yöntemler kullanılarak yeniden analiz çalışması yapılmış. Kızılötesi izdeki azalma istatistiklerine dayalı olarak etkinliklerinin daha titiz ve kapsamlı bir duyarlılık analizi yapılmış (Vaitekunas ve Kim, 2013).

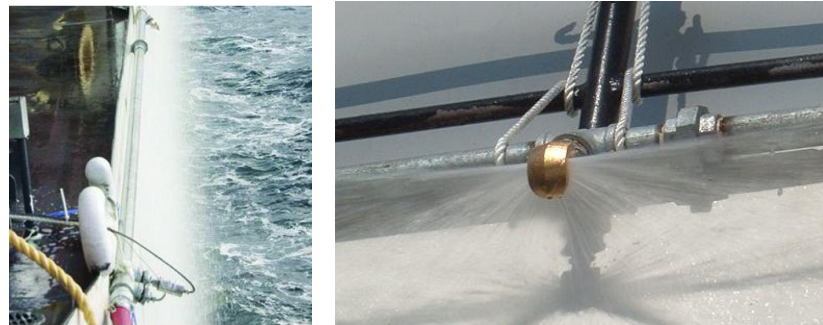
Daha önce kızıl ötesi iz baskılama şartnamelerindeki kısıtlı etkenlere karşın, daha fazla kızılötesi iz kaynağı ve nedenini incelemişler. Güneş enerjisiyle ısıtma, yansıma, deniz yüzeyi dağınıklığı, parlama tuzağı dağıtımı ve yakın zamana kadar ayrıntılı olarak düşünülemeyen diğer karmaşık süreçlerin incelendiği yeni yazılım programları incelenmiş. Kızılötesi izlerin çeşitleri, baskılanmamış ve baskılanmış kızıl ötesi izlerin görünürlüğünü sağlayan ışın dalga boyları ve menzillerinin farklılıkları incelenmiş. Göstermek için 3B model üzerinde analizler ile örnekler verilmiştir (Thompson, Vaitekunas ve Birk, 1998).

Savaş gemilerindeki kızılötesi iz ve kızılötesi algılama duyarlılığını analiz etme yöntemleri açıklanmaktadır. Bir sınıflandırılmamış ShipIR muhrip modeli, kızılötesi izin ve tespitin birincil kaynaklarını göstermek için kullanılmıştır. Askeri gemi tehditleri ve önleme simulatör (naval threat and countermeasure simulator – NTCS) tarafından kullanılan temel algılama algoritması ShipIR'ın Simulatör (NTCS) bileşeni tanımlanmış ve çeşitli görünmezliğin etkinliğini analiz etmek için kullanılmıştır. Egzoz baskılama, Düşük Güneş Emici (Low Solar Absorbitive - LSA) boyalar ve Aktif Gövde Soğutma (Active Hull Cooling - AHC) ve kızılötesi izleri baskılanmamış gemilerdeki ışın dalga boyları görünürlüğü, iklim şartlarındaki etkileri incelenmiş.

Standart denizcilik iklim istatistikleri, her işlem bölgesi için asgari (% 5), ortalama (% 50) ve azami (% 95) ısı koşulu belirlemek için kullanıldığı belirtilmiştir. Farklı irtifalarda çalışan iki dalga bandı sensörünün (3–5µm, 8–12 µm) algılama aralığındaki farklılıkları ve (10m, 270m) dört iklim koşulunun her birinde, her bir gizli çözümün etkinliğini değerlendirmesini yapmıştır. Sonuçlarda, genel olarak arka planda geminin kızılötesi duyarlılığı ve iz baskılamanın faydalarının arttığı gözlenmiştir. Açık gri boyanın ($\alpha= 0,50$), koyu gri boyadan % 30 daha az tespit edilebilirlik sağladığı belirlenmiştir (Vaitekunas, 2010).

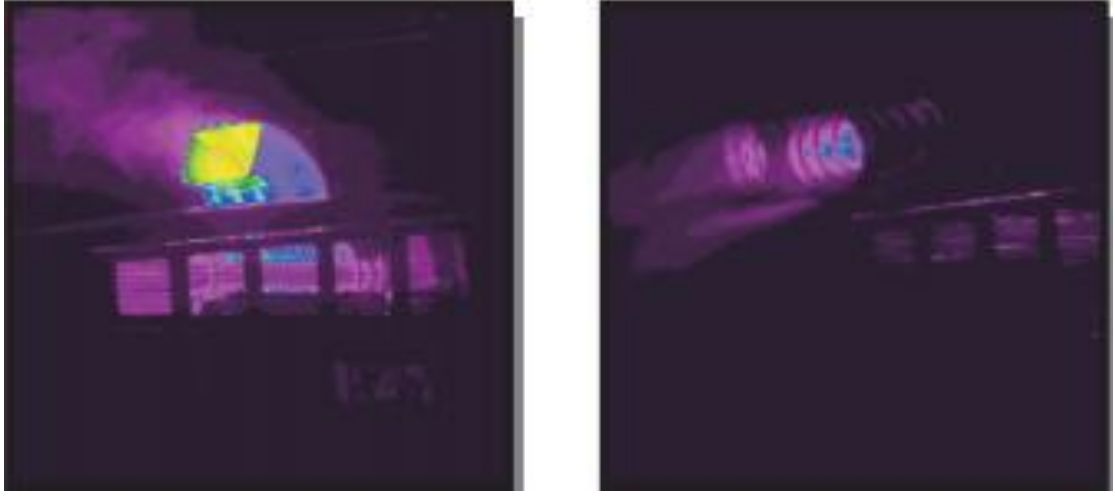
Tipik bir fırkateynin bacasından çıkan egzoz gazları ile üst yapısı arasındaki etkileşim sayısal olarak modellenmiştir. Çalışmada, örnek alınan fırkateynin sakin suda değişik hızlardaki seyri dikkate alınmıştır. Ve bunların matematiksel ifadesi belirlenmiştir. Bunun için sonlu hacimler yöntemi kullanılmış ve Fluent ile analizleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlarda düşük hız ve sıcaklıklarda baskılanmamış sıcak egzoz gazının dağılmayıp geminin üst yapısını etkilediği saptanmıştır (Ergin ve Paralı, 2010)

Davis firması, gemilerin ısı 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 soğutulması, egzoz gazlarının 150°C'ye kadar ve tüm dış yüzeyin soğutulması (gemiler için dış yüzeyin su ile soğutulması) şeklinde sıralanmaktadır (Davis Engineering, www.davis-eng.com)



Şekil 1.1: Etkin Gövde Soğutma İşlemi Çalışması

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)



Şekil 1.2: Davis, Solda Baskılanmamış, Sağda Baskılanmış Helikopter IR İz Görüntüsü

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)



Şekil 1.3: Tipik Bir Baskılanmamış Askeri Gemi IR Görüntüsü

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)

1.3 Matemetiksel Formülasyon

Anlık ısı iletimi, Fourier denklemi, katı bir ortamdan birim zamanda geçen ısı miktarını verir. Fourier denklemine daha çok deneysel verilere dayanan bir genelleştirme olarak bakılmalıdır.

Fourier yasası ısı akısının yöne bağlı bir büyüklük olduğunu ifade eder. Bir boyutlu durum için, q''_x in yönü A kesit alanına dik yöndedir. Daha genel olarak, ısı akısının yönü daima izotermal (eş sıcaklıkta) denilen sabit sıcaklık yüzeyine dik olmalıdır. Isı akısının yöne bağlı bir büyüklük olduğu hatırlanırsa, ısı iletim denkleminin (Fourier denklemi) daha genel ifadesi şu şekildedir;

$$q'' = -k\nabla T = -k\left[i\frac{\partial T}{\partial x} + j\frac{\partial T}{\partial y} + k\frac{\partial T}{\partial z}\right]$$

Aşağıda kartezyen koordinatlardaki ısı 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 (**Kaynak:** Heperkan ve Bayram, 2012)

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

Aşağıdaki ifade ile verilen denklem, ısınan yüzeylerden emilim ve yansıma elemanlarını içeren ışıınım enerjisi geçiş denklemdir. " J " ışıınımı " n " yüzey için (i ve $j = 1$)

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

(1) İfadesi, Egzoz gazlarının dağılımının modellenmesi için kullanılan sonlu farklar yönteminde düğümlerdeki net enerji miktarı toplam depolanan ısı enerjisiye eşit olduğunu gösteren ifade.

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

Tüm bu denklemler açık sayısal yöntemlerle çözüldüğünde, ısı ışıınım, taşınım ve iletim için gerekli ifade,

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

Aşağıdaki ifade Q ısı enerjisi simgesi ve c gazların özgül ısısı için i ve j noktaları arasındaki sıcaklık farkı ile;

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

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

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

Buradan;

$$\frac{m_i.c_p}{\Delta t} (\dot{T}_i - T_i) = \sum_{i=1}^n \left[c_{ij} \cdot \left(\frac{T_j + T_i}{2} - \frac{T_1 - T_i}{2} \right) \right] + Q_i \quad (8)$$

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

Şeklinde ifadesi elde edilir.

Bayram ve Heperkan (2012) denklem '9' ile ulaştıkları ifade, gemilerin egzoz gazlarının, gemi yüzeyi ve gemi etrafında oluşturduğu egzoz kaynaklı ışıının ısı izini tespit edilebilmesine imkan sağlayan matematiksel formülasyondur.

1.4 Dizel Makineler

Gemilerde dizel makineler kullanılır ve bir içten yanmalı tipi motordur. Bu makineler, yakıtların yanma odasında yakılması sonucunda patlama ile açığa çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. Dizel motorların çalışma prensibi yüzeysel olarak şu şekildedir; Piston taze havayı sıkıştırarak basıncını ve sıcaklığını yükseltir, sonra silindirde kızgın havanın üzerine motorin püskürtülür ve patlama meydana gelir. Bu patlamayla açığa çıkan ısı enerjisi krank-biyel mekanizması ile mekanik enerjiye dönüşür. Açığa çıkan ısı enerjisinin bir kısmı atık gaz olarak atmosfere atılır, atık gazı atmosfere atan sisteme "egzoz" adı verilir. Dizel motorlarda patlama ve sürtünme ile oluşan ısı enerjisi, soğutma suyu ve ışıınım gibi yollarla dışarı atılır.

Gemi Makinelerinde, egzoz gazındaki ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_{eg} = \dot{m}_g.c_{pg}(T_{eg} - T_o) \quad (10)$$

İfadesi ile hesaplanır (Galle ve Schleijsen, 1998).

Gemi makinelerinin egzoz gazı çıkış sıcaklığı ve debisi kapasitesine göre sırasıyla 450 °C - 650 °C arasında ve 4 - 9 m³/s ortalama değerlerindedir (Heperkan ve Bayram, 2012).



Şekil 1.4: Askeri Gemi Katı Modeli

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)

2. İZ BASKILAMA YÖNTEMLERİ

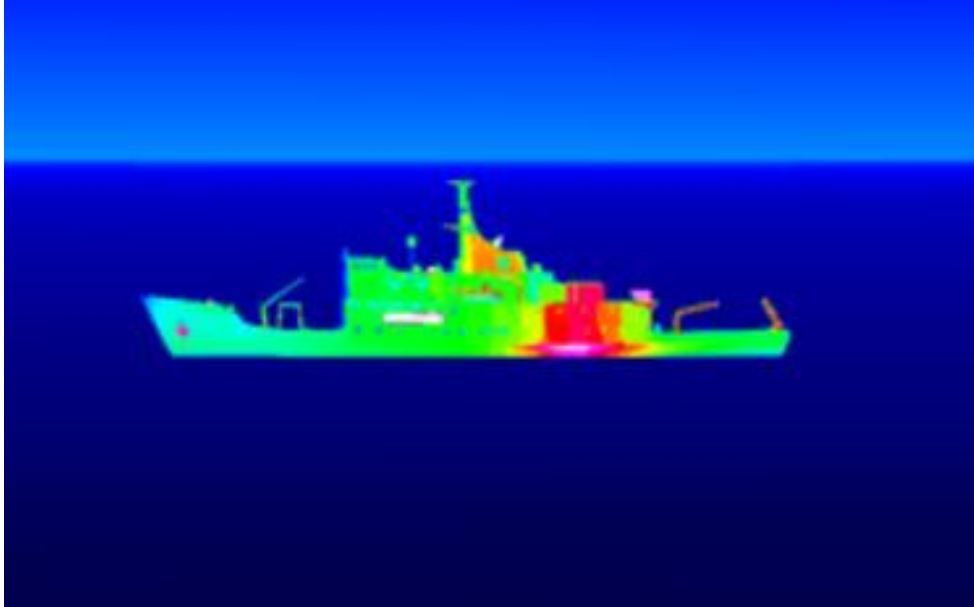
Gemilerde kızılötesi iz kaynakları aşağıdaki şekildedir;

- Egzoz kaynaklı kızılötesi iz,
- Güneş, Isınma, Işıma kaynaklı kızılötesi iz.

Gemilerde egzoz kaynaklı iz oluşumu yanında, güneş radyasyonu ve gemide ısı kaynakları nedeniyle, gemilerin gövdeleri ısınır, bu da gemilerde diğer kızılötesi iz oluşumuna neden olur.

İz baskılama yöntemleri;

- Egzoz gazı kaynaklı kızılötesi iz baskılama,
- Güneş, ısınma ve ışınma kaynaklı kızılötesi iz baskılama;
 - Özel boyalar ile
 - Gövde yıkama ile (Davis Engineering, www.davis-eng.com).



Şekil 2.1: Bir Gemi Gövde Kızılötesi İz Görüntüsü

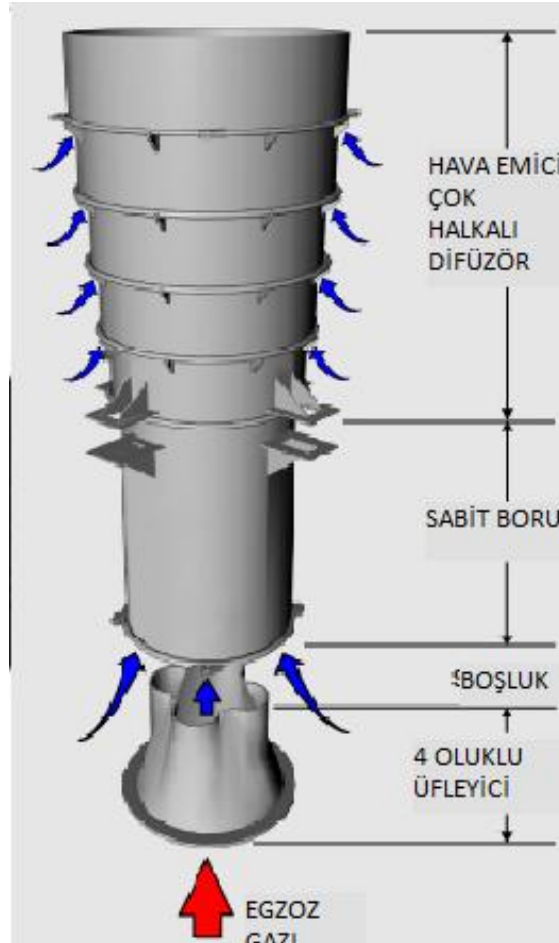
Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)

2.1 Egzoz kaynaklı Kızılötesi İz Baskılama Tasarımları

2.1.1 Edüktör (Basınç pompası)/ difüzör (Dağıtıcı)

Gaz türbinleri, dizel motorlar ve dizel jeneratörlerin kızılötesi iz baskılaması için kullanılır.

Üç ana bileşenden oluşur, püskürtme başlığı, karıştırma tüpü ve çok halkalı eşlik eden dağıtıcı (difüzör), püskürtücü, ortam havasını egzoz pompalayan bir hava püskürtücü görevi görür. Taze hava burada, ortam havası karıştırma borusundaki egzoz gazlarıyla karışır, sıcaklık bir miktar düşürülür. Son olarak, ortam havası, dağıtıcı halkalarının taze hava ile soğutmasını sağlayan dağıtıcının boşluklarından içeri doğal olarak sürüklenir. Egzoz sıcaklığını 250 °C' nin altına düşürür, Seviye 3 iz baskılaması sağlar, Seviye 4 için alt yapı oluşturur (Davis Engineering, www.davis-eng.com).



Şekil 2.2: Edüktör/Difüzör

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)

2.1.2 Deniz Suyu Püskürtme

Deniz Suyu Püskürtme (SWI / DSP) sistemi, 150 ° C'nin altındaki buhar sıcaklığı elde etmek için bir Eduktör / Difüzör ile birlikte kullanılabilir.

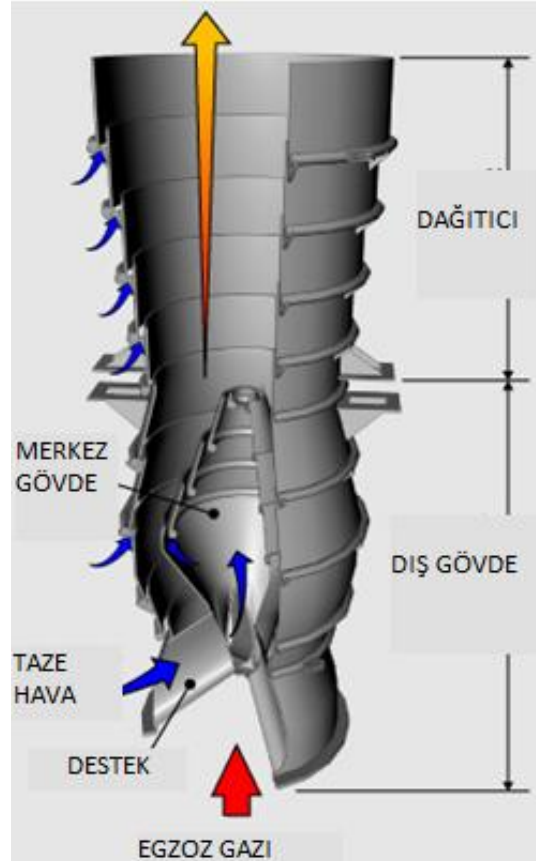
DSP sistemi doğrudan egzoz gazının egzoz hunisi girişine monte edilir ve Eduktör / Difüzör nozuluyla entegredir. Sistem, suyu egzoz akışına ince bir buğu püskürtmek için bir dizi atomize meme kullanır. Su buharlaştıkça, ısı, sıcak egzoz gazından su buharına aktarılır, böylece ortalama gaz sıcaklığı düşer. Püskürtme uçlarının yeri ve boyutu, sistemin suyu verimli bir şekilde kullanmasını ve sıcak gazın eşit olarak soğutulmasını sağlar. Eduktör/Difüzör ile birlikte kullanılarak seviye 4 baskılama sağlar (Davis Engineering, www.davis-eng.com).

2.1.3 DRES Ball (DRES Top)

DRES Top, Savunma Araştırma Kuruluşu Suffield ile birlikte tasarlanmış olup, gaz türbinleri, dizel motorlar ve dizel jeneratörler için egzoz gazı kızılötesi iz baskılamak için kullanılmaktadır. Parça direkt egzoz gazı alımı yapacak şekilde bağlanır ve normalde egzoz hunisi içine gömülmüştür. Egzoz gazı 250 ° C'nin altına düşürülür.

Egzoz gazı, huniye girerken ön karışım olarak taze hava alımı yapar ve içteki DRES Top' a birlikte girer. Merkez gövdeye tamamen taze hava dolar ve dış dövde ile iç gövde arasından geçen egzoz gazı hem merkezden ve hem de dıştan taze hava ile karıştırılmış olur. Bir kısım hava parça kenarlarından ilerlerken, içteki hava kademeli olarak hızlandırılmış olur. Böylece huninin halkaları arasından taze haze egzoz gazına karıştırılır. Bu modelde, merkezdeki egzoz gazıda soğutulmuş olur.

- Her boyutta ölçeklendirilebilir,
- Seviye 3 kızılötesi iz baskılaması ve gaz türbini egzoz kızılötesi izin için % 95 baskılanmasını sağlar (Davis Engineering, www.davis-eng.com).



Şekil 2.3: DRES Top

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)



Şekil 2.4: Davis' in Uçak Gaz Türbini Baskılama Testi

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)

2.2 Işıma Kaynaklı İz baskılamaYöntemleri

2.2.1 Özel boyalar

Özel boyaların seçimi çok karışık bir işlemdir. Örneğin, güneşli koşullar altında, tekne boyası:

- i. 3 μm dalga boyunun altındaki güneş radyasyonunu absorbe etme (yani, kısa dalga boyuna düşük emisivite)
- ii. 3 μm üzerindeki tüm radyasyonu emme (yani, orta ve uzun dalga için yüksek emisivite)

Emisivite, diğer adıyla emisyon gücü, olası tüm ışımada dalga boyları için birim zaman başında birim alana yayılan ısı enerjisi miktarı demektir.

Bu tür yüzeylerde gövde güneşten dolayı daha az ısınır, ancak 3 – 5 μm ve 8 –14 μm dalga boylarında güneşi yansıtmaz. Bu, düşük yansımaya yüksek emisyon anlamına gelir ve eğer gövde ortamın üstünde ısıtılırsa 3 - 14 μm aralığında güçlü bir şekilde yansımaya yapacaktır. Bu tür boya mevcuttur, ancak maliyetlidir. Standart gri tonlu boya, düşük emisyon emme ve düşük yansımaya arasında makul bir özelliktedir (Davis Engineering, www.davis-eng.com).



Şekil 2.5: Tipik Askeri Gri Boyanın Solar Işıması

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)

2.2.2 Su yıkama

Diğer bir kızılötesi iz baskılama tekniği; gemi yüzeyinin sıcak kısımlarını aktif olarak soğutmayı içermektedir. Gemilerde kullanılan, aktif gövde soğutma sistemleri adıyla anılan NBC (Nükleer Biyolojik Kimyasal), (Wash down) su yıkama sistemleri, önemli bir ilave maliyet olmaksızın gemi yüzeyini ortam sıcaklığına kadar etkili bir şekilde soğutabilme yeteneğine sahiptir.

Bir su yıkama sisteminin, en iyi şekilde etkili olabilmesi için geminin tüm yüzeyini 30 – 60 °C' lerden +5 °C kontrasta kadar soğutmalıdır. Soğutma sonrası yüzey sıcaklığındaki değişim 5 °C'den daha az olmalıdır. Büyük negatif kontrast, kızılötesi iz algılayıcılarına karşı olumlu bir hedef oluşturmaktadır (Liorente, Charris ve Torres, 2014).

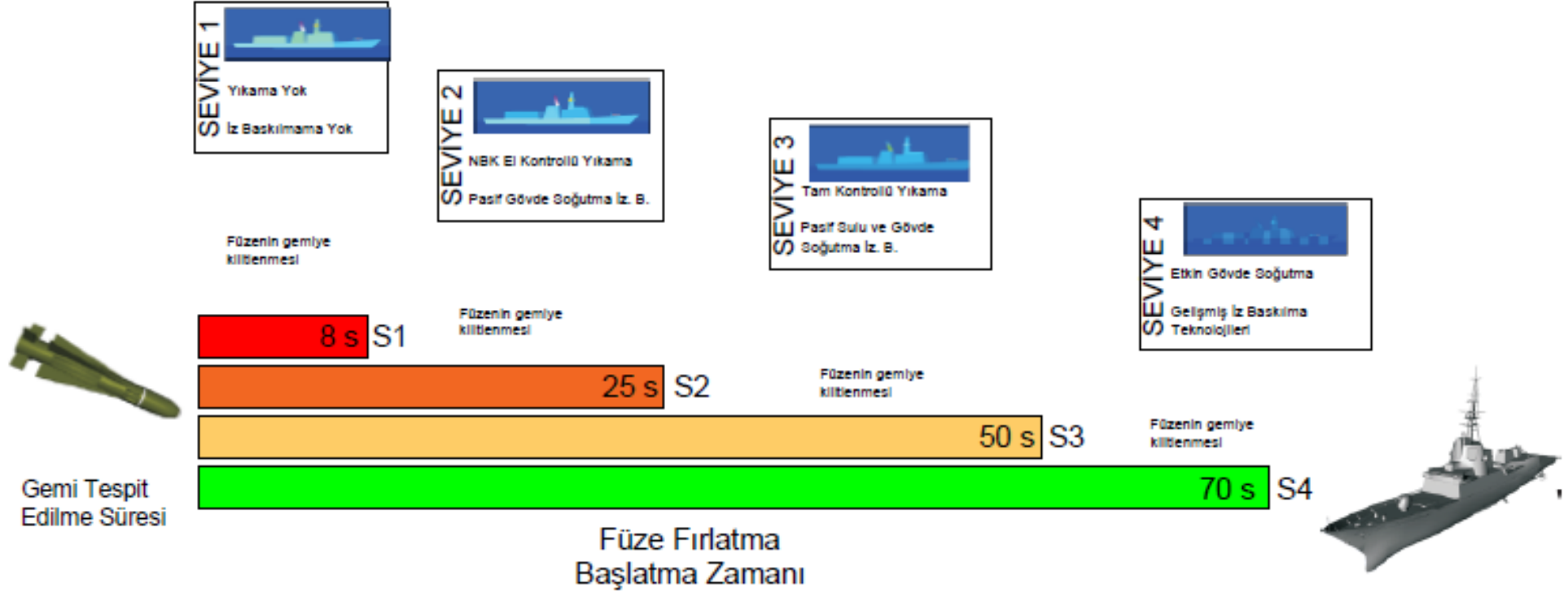
2.2.3 Sis sistemleri

Sis sistemleri su yıkama konseptinin uzantısı olarak, üçüncü bir çözüm getirmektedir. Sistemin çalışması; geminin, gövde etrafına püskürtülen kalın bir bulut tabakası ile gizlenmesi ve bunun sonucunda gemiyi kızılötesi iz algılayıcılarının tespit etmesini engelleme esasına dayanır. Kızılötesi ize bir tip önlem olarak bu sistemin etkinliği, deko gibi diğer karşı önlemlerin performansını azaltabilir. Sistemdeki bazı eksiklikler, yerleşik optik sensörün yüzeyinde tuz tabakası oluşmasına ve etkisizleşmesine neden olmaktadır. Basınçlı olarak sprey nozulları ile püskürtülen sıvı gemi yüzeyinin her yanında, bu sistemin devreye sokulması ve etkili olabilmesi için geminin durdurulduktan sonra sis ile gizleme devreye sokulur ve gemi gizlenir.

Bu yöntemlerin kullanılması için uygun izolasyon ve havalandırma tasarımı kullanımı gerekmektedir.

Gemilerin egzoz kaynaklı kızılötesi iz yanında diğer etkenlerden (Güneş ışınları ısınması ve gövde ısınması) kaynaklanan kızılötesi izlerin birlikte baskılama uygulaması yapılmalı. Egzoz kaynaklı kızılötesi iz baskılama sistemi ile seviye 3 koruması sağlanabilmektedir, bu durumda kızılötesi güdümlü mermilerin gemiyi bulma süresi 50 sn' dir. Su püskürtmeli egzoz soğutmasına ek olarak gövde soğutması işlemi yapılarak seviye 4 koruma sağlanabilir, bu durumda güdümlü mermilerin gemiyi bulma süresi 70 sn' ye çıkmaktadır. Bununla ilgili örnek Şekil

2.6' de iz baskılama uygulamalarının seviyeleri ve füzelerin gemiyi bulma süreleri gösterlmıştır (Liorente, Charris ve Torres, 2014).



Şekil 2.6: İz Baskılama Seviyeleri ve Farkedilme Süreleri

2.2 Uygulanmasına Karar Verilen Optimum Çözüm

Yüksek lisans proje çalışmam, savaş gemilerindeki egzoz gazı kaynaklı kızılötesi izlerin baskılanmasını kapsamaktadır.

Bu nedenle deneysel çalışmam için, Davis Mühendislik tarafından üretilen egzoz modellerine benzer yapıda, farklı çaptaki borularla her çap arasında hava boşluğu olacak şekilde kademeli egzoz model tasarımı yapıldı. Deney için ve Ansys Fluent programında analiz yapılacak model için yapılan tasarım, büyüyen çaplarda boruların aynı ekseninde merkezlenerek, birleştirilmesi ile çap farklarından dolayı hava boşlukları oluşturulmuş olur, sıcak egzoz gazı boru içinde akışı sırasında, borunun genişlemeye başladığı kısımda, boru çeperlerinde basınç düşer ve vakum oluşturur, oluşan vakum basıncıyla hava boşluklarından egzoz borusu içine taze hava çekilir ve sıcak hava ile karıştırır. Bu sayede sıcak egzoz gazının sıcaklığının düşürülmesi sağlanır. Bu yöntemden faydalanarak yukarıda anlatılan etkiyi yaratabilecek şekilde, çapları büyüyen boru parçalarını, aynı ekseninde birleştirerek bir numune egzoz numunesi oluşturma kararına varıldı.

3. UYGULAMA VEYA DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Proje Kapsamında Yapılan Tüm Çalışmalar

3.1.1 Model ve amaçlanan getiriler

Deneyin üçüncü kısmı için, ventüri prensibine uygun olarak 120 mm uzunlukta 4 adet farklı çaptaki borular Şekil 3.1' de gösterildiği gibi tasarlandı. Toplam model uzunluğu 485 mm' dir. Bu modelle ısı kaynağından verilen sıcak havanın sıcaklığını 120 - 150 °C civarına kadar düşürmek amaçlandı. Modelin dwg tasarımı Şekil 3.3' te verilmiştir

Modelin halkalardan küçük çaplı olanlar, bir büyük çaplı halkaların içinde, aynı ekseninde, küçük halkanın çapının % 0,5 oranında kalacak şekilde imal edildi. çapı 1 3/8" ($\cong 35\text{mm}$) en küçük olan boru, iki parçaya ayrıldı, girişteki parçanın hava çıkış kısmı çapının $\cong 0,8$ katına düşürülerek daraltıldı ($d_1 \times 0,8$), ikinci parça çapının % 0,5 oranında, 1 5/8" ($\cong 42\text{mm}$) olan borunun içinde kalacak şekilde kaynaklandı. 1 5/8" ($\cong 42\text{mm}$) olan boru iki parçaya ayrılarak Şekil 3.7' teki gibi revize edildi. Değişiklikler yapılan ikinci numunemizin uzunluğu 485 mm olarak elde edildi. kesit resmi Şekil 3.5' te verilmiştir

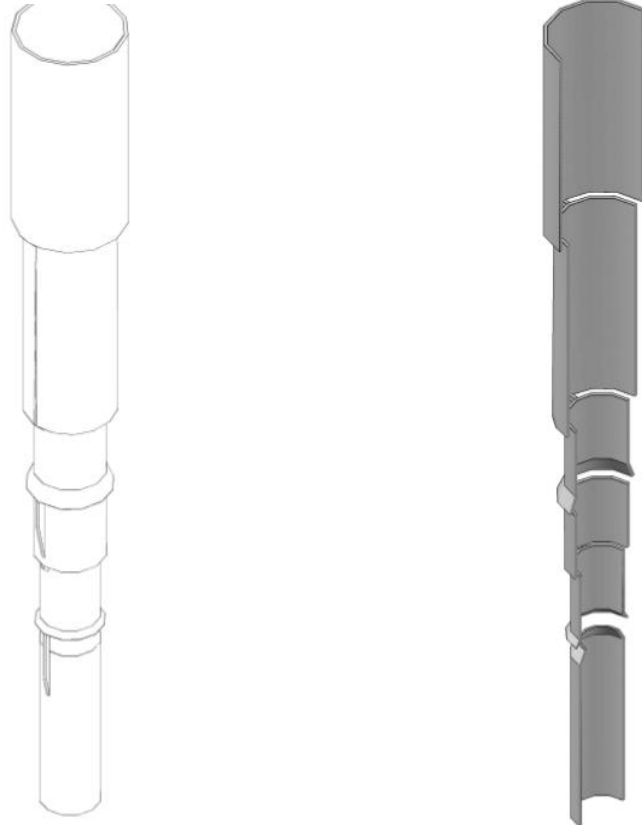
Tasarladığımız modeli projeye uygun şekilde oksji-gaz kaynak tekniği ile bakır alaşımli kaynak teli ile birleştirerek imal ettik. Bu boruların dış çapları küçükten büyüğe aşağıdaki gibidir;

1 3/8" = 34,925 mm - et kalınlığı: 1,5 mm - uzunluğu: 120 mm

1 5/8" = 41,275 mm - et kalınlığı: 1,75 mm - uzunluğu: 120 mm

2 1/8" = 53,975 mm - et kalınlığı: 1,85 mm - uzunluğu: 120 mm

2 5/8" = 66,675 mm - et kalınlığı: 2,00 mm - uzunluğu: 120 mm.



Şekil 3.1: Tasarlanan Model



Şekil 3.2: Sıcak Hava Tabancasının Çıkış Sıcaklığı

Modelin girişindeki borunun iç çapı 32 mm. 32 mm iç çaplı borudaki hava hızının hesaplanması;

Girişteki borunun kesitinin hesaplanması;

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,032^2}{4} = 0,0008042 \text{ m}^2$$

Tabancanın hacimsel debisi;

$$550 \text{ l/dk} = \frac{550 \left(\frac{\text{l}}{\text{dk}}\right)}{1000 \left(\frac{\text{l}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{0,55 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dk}}\right)}{60 \left(\frac{\text{s}}{\text{dk}}\right)} = 0,009166 \text{ m}^3/\text{s}$$

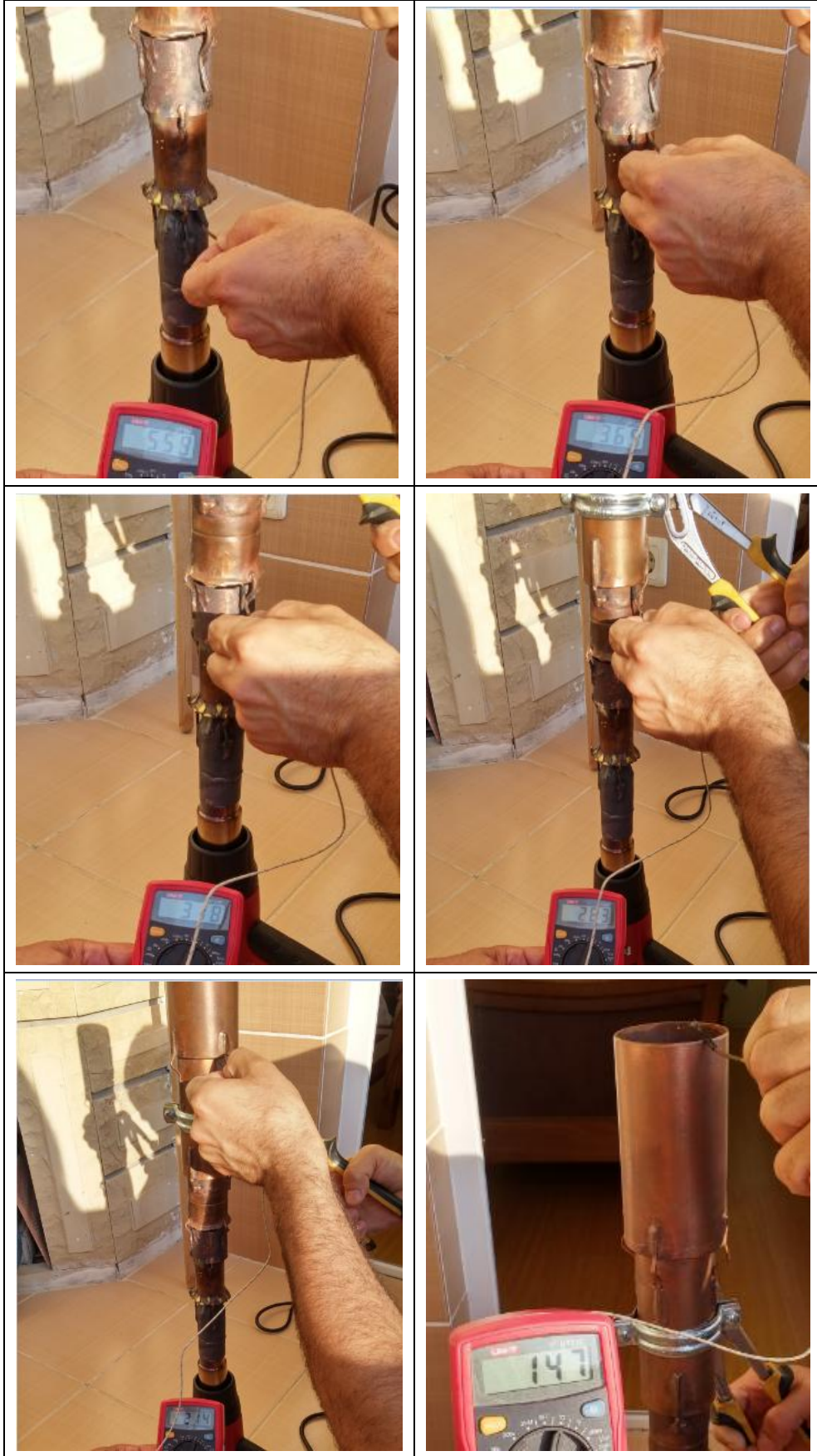
$$\dot{Q} = V * A \text{ buradan hız hesaplanır} \rightarrow V = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{0,009166 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{0,0008042 \left(\text{m}^2\right)} = 11,4 \text{ m/s}$$

Bu modelle yapılan deneyimiz aşağıdaki gibidir;

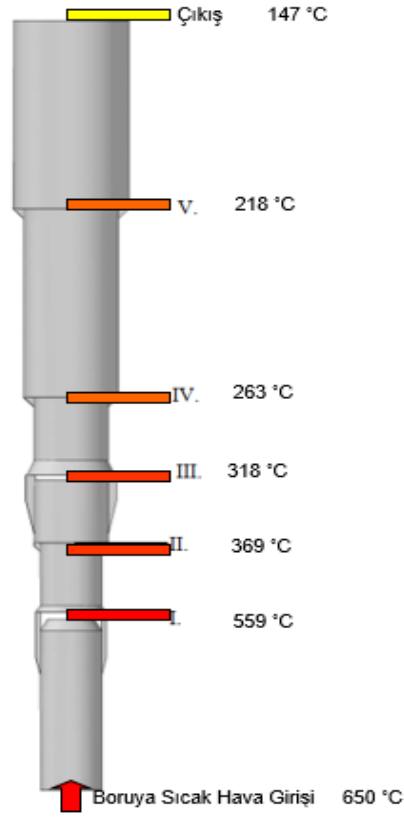
Modeli, ısı kaynağının ucuna birleştirerek yapılan deney çalışmasında, ısı kaynağının ucuna eklenebilen, tabanca ağız çapını 2/3 oranına düşüren nozul ile yapılan deney çalışmasında numune çıkışındaki sıcaklık yaklaşık 185 °C olarak gözlemlendi, nozul çıkarılarak tekrarlanan yapılan ölçüm sonucunda, numune çıkışındaki sıcaklığın 145 °C' ye kadar düştüğü gözlemlendi. Bu esnada, ölçümler yapılırken deneyimizi termal kamera ile görüntüledik. Deney sırasında, ısı kaynağımızdan sonra ilk hava boşluğundan başlayarak sıcaklıkları ölçüldü. Hava boşluklarındaki sıcaklık değişimleri kaydedildi ve hangi oranda soğuma sağlandığı görüldü.

Yapılan bu ölçümde elde edilen sıcaklık değerleri şöyle;

Isı kaynağından sonraki (I) hava boşluğunda en az 559 °C, ikinci boşluktan (II) 368 °C, üçüncü boşluktan (III) 318 °C, dördüncü boşluktan (IV) 263 °C, beşinci boşluktan (V) 218 °C ve çıkıştan 147 °C sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Deneyde yapılan ölçümlerin görselleri Şekil 3.3 ve 3.4' te gösterilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Numunenin, Isı Kaynağından Sonra Başlayarak Çıkışına Kadar Hava Boşluklarından Ölçülen Sıcaklıkları



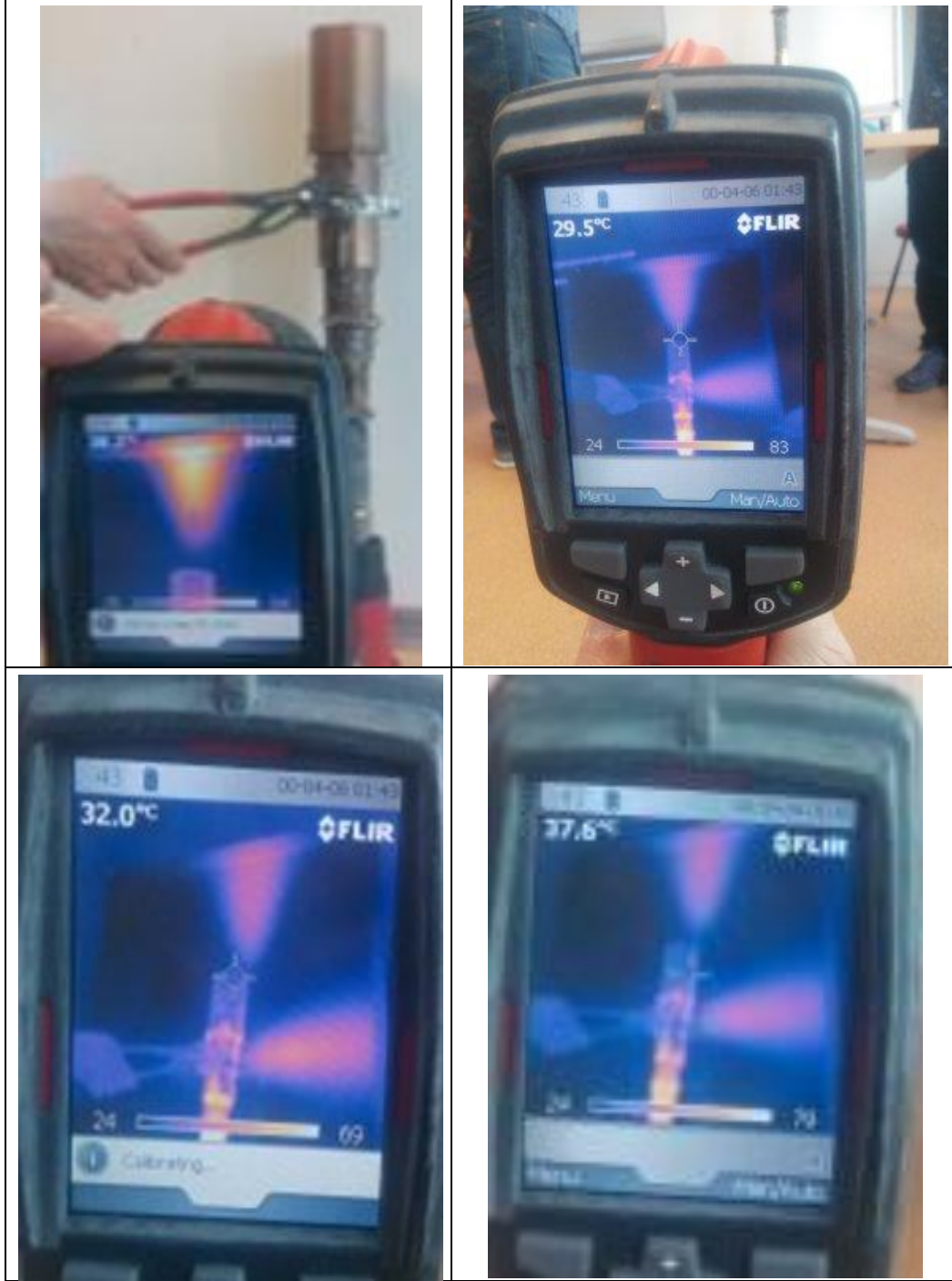
Şekil 3.4: Numunede Sıcak Havanın Hava Boşluklarındaki Sıcaklıklar



Şekil 3.5: Numunedeki Sıcak Havanın Soğuma Eğrisi

Deney çalışmasında sıcaklık ölçümlerine ek olarak bir de termal kamera ile görüntüleme yapılmıştır. Şekil 3.6' te Termal kamera ölçümleri görülmektedir.

Görüntülerde, sıcaklık değerleri thermal kameranın doğru ölçmemesi nedeniyle sıcaklık değerleri düşük olarak gösterilmekte. Ancak, renk kodlarına bakıldığında, kırmızı renk en yüksek sıcaklığı (yaklaşık 550 – 650 °C) göstermektedir, modelin çıkışındaki halkanın görüntülenen mavi rengi de deney sonucu olan sıcaklık değerini göstermektedir.

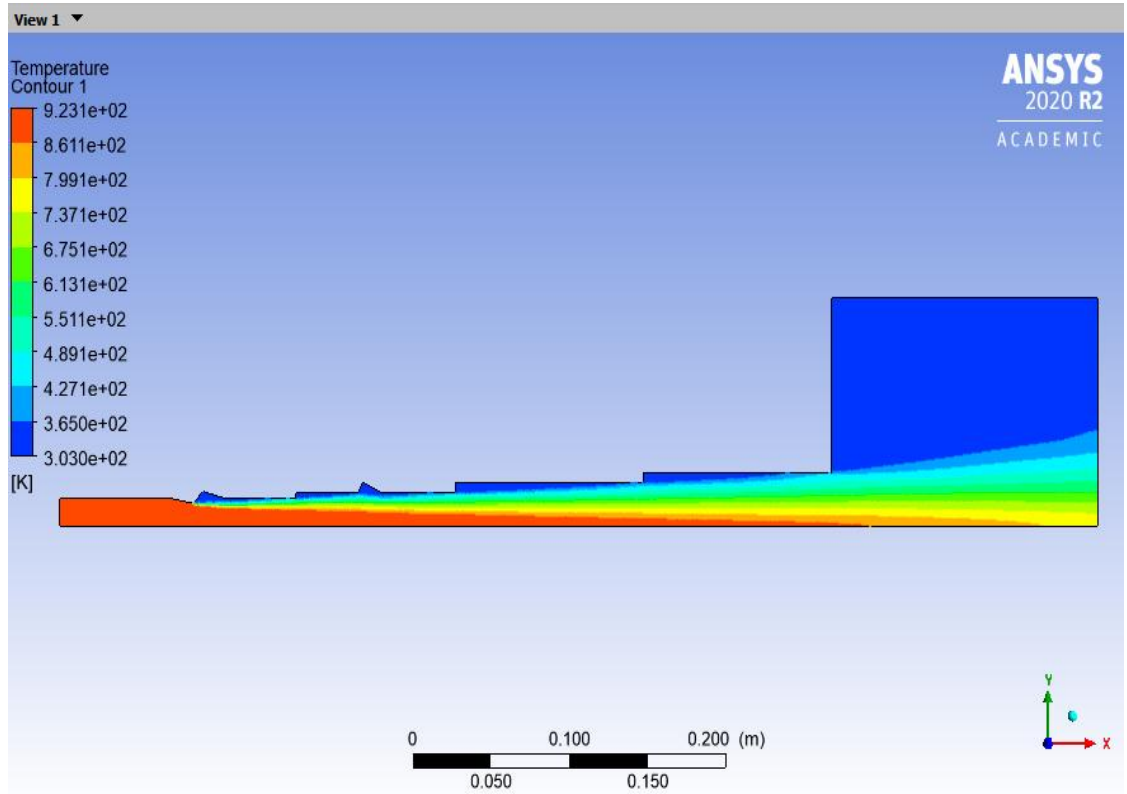


Şekil 3.6: Deney Modelinin Termal Kamera Ölçümleri

3.1.2 Deneysel modelin ansys fluent analizi

Çalışmanın bu aşamasında, model üzerinde yapılan deneyin Fluent programında deneydeki girdiler ve sınır koşulları ile 2B esenel simetri çözüm yapılmıştır. Akışkan hava olarak verildi. Egzoz girişi “Hız Girişi” taze hava girişleri ise “Basınç Girişi” olarak tanımlandı. Sıcaklık, 650 °C, Kelvin birimi cinsinden 923,14 K değeri tanımlandı. Hesaplamanın yaklaşım sayısı 300 olarak verilmiştir.

Analiz sonuçları Şekil 3.7’ e verilmiştir.



Şekil 3.7: Deneysel Modelinin Ansys Fluent Analiz Sonuçları

3.2 Gerçek Ölçekte Yapılan Ansys Fluent Çalışmaları

Bu çalışma için seçilen makine, Cummins marka 50 l’ lik marin tip QSK50’ dir. Makine özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.1: Kaynak Alınan Marin Dizel Makinenin Özellikleri

Marka - Model	Cummins QSK50 Marin tip
Gücü (kW)	1268 - 1641
Egzoz Gazı Debisi (m ³ /s)	5,69
Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)	430 – 496

(Kaynak: Cummins Türkiye)

Bu makinenin egzoz hattı, susturucudan sonra egzoz gazının hızı 40 m/s değerine göre hesaplandı. Buna göre hesaplanan egzoz çapı aşağıdadır;

Makinenin saniye başına egzoz hacimsel miktarı $\dot{Q} = 5.56 \text{ m}^3/\text{s}$

Seçilen egzoz hızı $V = 40 \text{ m/s}$,

Dairesel egzoz borusunun kesit hesabı $A = \frac{\pi \cdot (D(m))^2}{4}$

$\dot{Q} = V \cdot A$ buradan alan yalnız bırakılır $\rightarrow A = \frac{\dot{Q}}{V}$

ve buradan egzoz çapı $D(m) = \sqrt{\frac{\dot{Q} \cdot 4}{V \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{5,56 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \cdot 4}{40 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \cdot \pi}} = 0,420 \text{ m} = 420 \text{ mm}$

bulunur.

Ansys Fluent egzoz analizleri tespit edilen bu egzoz çapına göre ve 2 boyutlu aksel simetri olarak geometrisi oluşturulup çözümü yapılmıştır.

Makinenin egzoz sıcaklığı, 450 °C (723,14 K) olarak belirlendi, çevre sıcaklığı ise 30 °C (303,14 K) olarak girildi.

Kızılötesi iz baskılama için deney için hazırlanan modelin, seçilen makine özellikleri sonucunda hazırlanan gerçek ölçülerde, Ansys Fluent programında hazırlanan 2 boyutlu aksel simetri geometri ile analiz çözümleri yapılmıştır.

Dizel egzoz gazı özellikleri için hesaplamalarda havanın özellikleri ile yakın olduğu için yoğunluk, viskozite, özgül ısı, gizli ısı (entalpi), entropi vb gibi özellikler egzoz gazı içinde kullanılabilir. Egzoz Gazı özellikleri Çizelge 3.2' de vermiştir (Jääskeläinen, 2019).

Çizelge 3.2: Diesel Egzoz Gazı Özellikleri

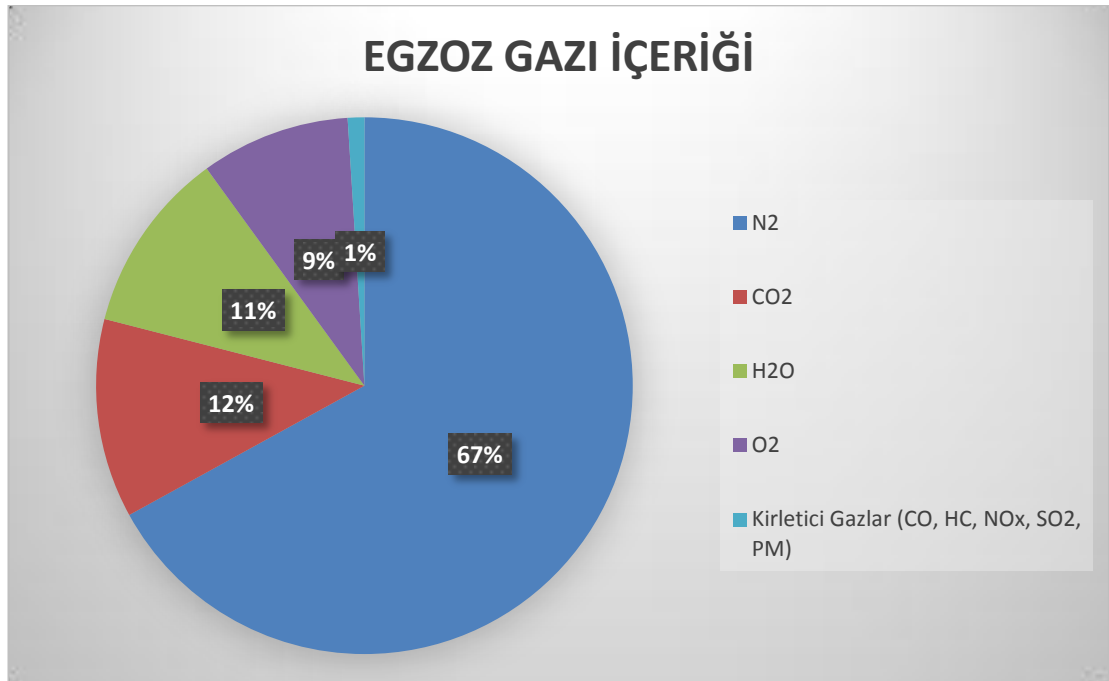
T (K)	ρ (kg/m ³)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	C _p (kJ/kg.K)	μ (10 ⁻⁴ Pa·s)	k (W/m.K)
260	1.340	260.0	6.727	1.006	0.165	0.0231
280	1.245	280.2	6.802	1.006	0.175	0.0247
300	1.161	300.3	6.871	1.007	0.185	0.0263
350	0.995	350.7	7.026	1.009	0.208	0.0301
400	0.871	401.2	7.161	1.014	0.230	0.0336

Çizelge 3.2: Devamı

T (K)	ρ (kg/m ³)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	C _p (kJ/kg.K)	μ (10 ⁻⁴ Pa.s)	k (W/m.K)
450	0.774	452.1	7.282	1.021	0.251	0.0371
500	0.696	503.4	7.389	1.030	0.270	0.0404
600	0.580	607.5	7.579	1.051	0.306	0.0466
800	0.435	822.5	7.888	1.099	0.370	0.0577
1000	0.348	1046.8	8.138	1.141	0.424	0.0681
1200	0.290	1278	8.349	1.175	0.473	0.0783
1400	0.249	1515	8.531	1.207	0.527	0.0927

(Kaynak: Jääskeläinen, 2019)

Egzoz gazı bileşenleri oransal olarak Şekil 3.8’ da gösterilmiştir (Reşitoğlu, Altınışık ve Keskin, 2015).



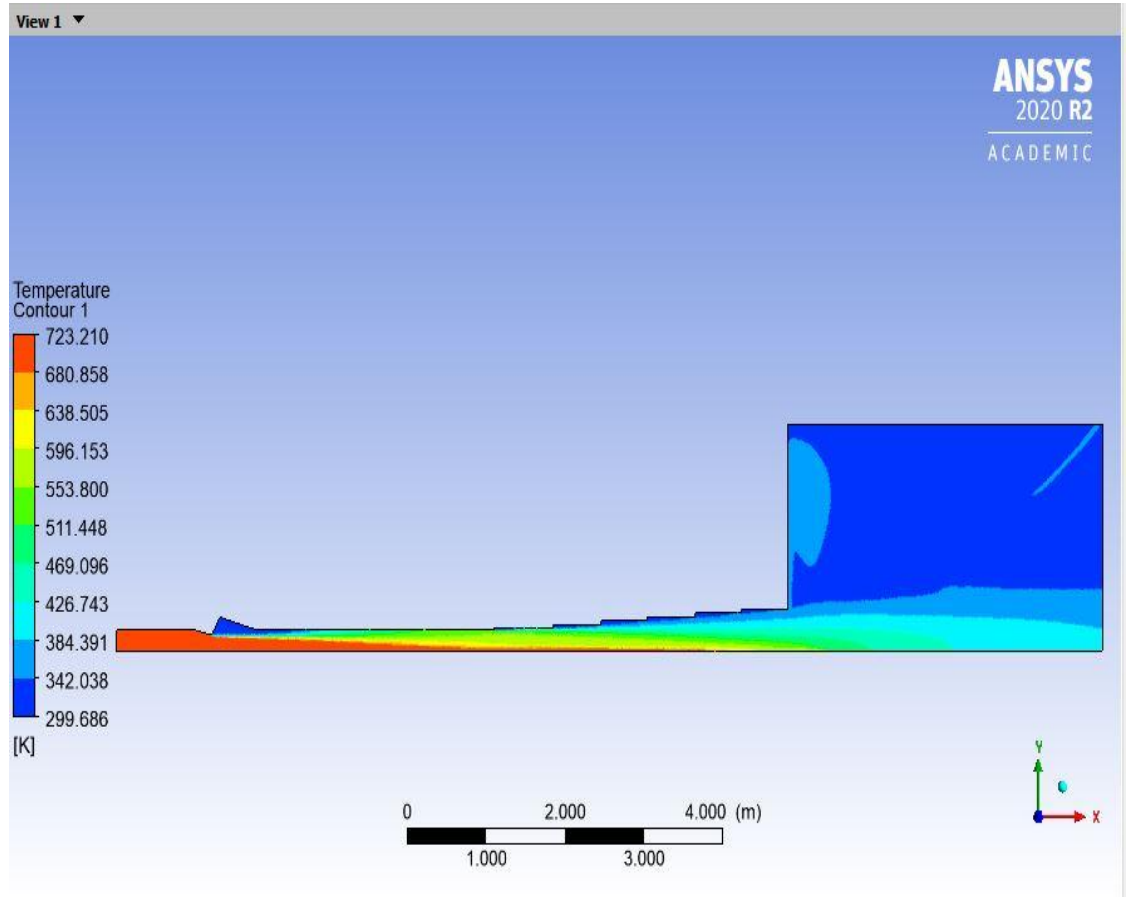
Şekil 3.8: Egzoz Gazı İçeriği

Kaynak: (Reşitoğlu, Altınışık ve Keskin, 2015)

3.2.1 Yedi taze hava girişli çalışma - 1

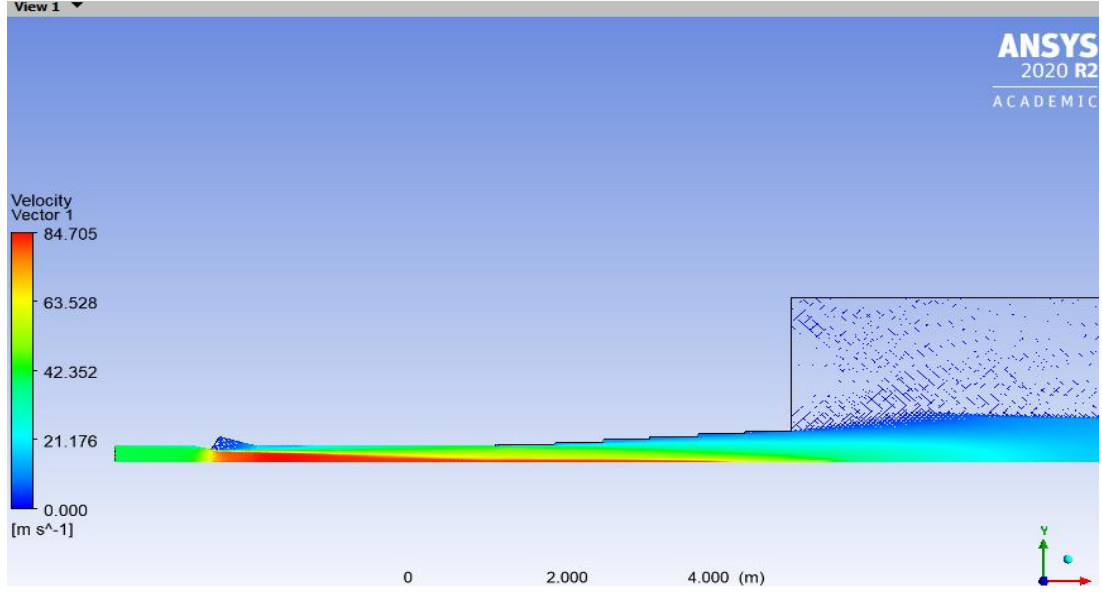
Analiz için hazırlanan bu geometri, deney için tasarlanan egzoz modeli gibi, bir egzoz giriş borusunun bir nozul ile egzoz giriş çapının %25’ i oranında daralan bölümünden sonra ilk hava girişi boşluğu sahip. Ve sonrasında, 6 adet her seferinde bir öncekinden daha büyük çaplı 6 halka ile yapıldı. Egzoz çapı, 420 mm, egzoz

modelinin toplam boyu 8500 mm. İkinci taze hava girişindeki, büyüyen ilk halka ile egzoz giriş borusu arasındaki hava boşluğu egzoz çapının % 3,5' i kadar. Sonraki her halka, aynı yükseklikte ve bir önceki ile aralarındaki boşluk, egzoz çapının % 10 kadar olacak şekilde oluşturuldu. Akışkan tanımlaması, Şekil 3.8' de verilen egzoz gazı içeriklerine göre yapılmıştır. Sıcaklık 723,14 K (450 °C), egzoz gazının hızı egzoz girişinde 40 m/s olarak tanımlanmıştır. Bu geometrinin çözümü yukarıdaki sınır şartları ile 200 yaklaşım sayısı ile hesaplama yapılmıştır. Aşağıda da görülebileceği üzere bu geometrinin merkezindeki sıcaklık çıktısı 469 – 500 K arasında yaklaşık 197 – 210 °C mertebelerindedir. Bu analizin sıcaklık çıktısını Şekil 3.9' da verilmiştir.



Şekil 3.9: Gerçek Ölçekli Egzoz Geometrisi İle Yapılan Ansys Analiz Sıcaklık Çıktı Sonuçları

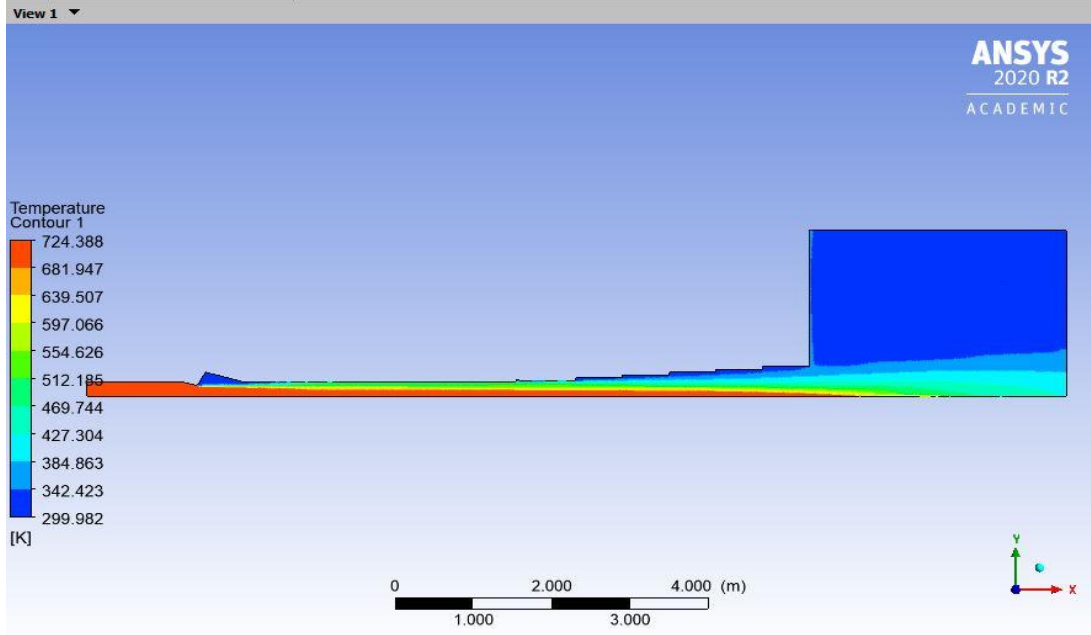
Şekil 3.10' da bu analizin hız vektörlerini görebilirsiniz. Burada, egzozda ilk kısımda egzoz çapının % 25' i oranında daralan nozul çıkışında hızın girişe göre 2 katından fazla oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 3.10: Yedi Taze Hava Girişli Analizin Hız Vektörleri Mertebeleri

3.2.2 Yedi taze hava girişli çalışma – 2

Bu geometri 3.2.1’deki modelin geometrisi ile aynı. Önceki geometride alınan sonuç sonrası sıcaklık değişimini olumlu yönde iyileştirmek adına iki noktada ölçü değişikliği yapıldı. İlk taze hava girişine kadar olan mesafe ölçüsü % 20, ikinci taze hava girişine kadar olan mesafe yaklaşık % 12 oranında artırılarak tekrar çözüm yapıldı. Egzoz geometrinin tam boyu 9200 mm. Akışkan seçimi Şekil 3.8’de verilen içerik ve egzoz gazı ile taze hava sıcaklıkları değiştirilmemiştir. Sıcaklık 723,14 K (450 °C), egzoz gazının hızı egzoz girişinde 40 m/s olarak tanımlanmıştır. Hesaplama yaklaşım sayısı 200 olarak yapılmıştır. Ve çözüm sonucu sıcaklık değişimi Şekil 3.11’deki gibi sonuçlanmıştır. Burada geometrinin merkezdeki sıcaklıktaki değişimin yaklaşık % 40 oranında arttığı gözlenmiştir.

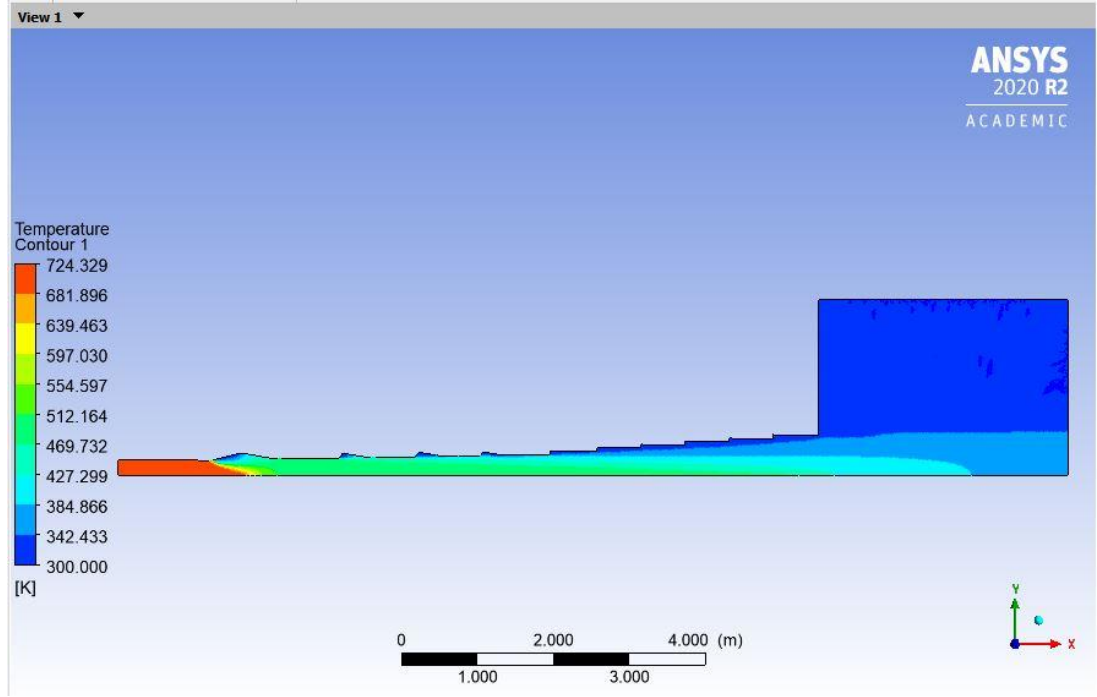


Şekil 3.11: Yedi Taze Hava Girişli Analiz Sonucu – Sıcaklık (K)

3.2.3 On taze hava girişli geometri ile yapılan çalışma

Geometrinin ilk hava girişindeki hava boşluğu aralığı önceki çalışmalarda egzoz giriş çapının %50' si kadar belirlenmişti. Çalışmanın bu aşamasında bu mesafe egzoz giriş çapının %95' i oranında artırıldı. Sonraki taze hava girişi sayısı 3 adet artırıldı. Bu üç hava girişlerinden sonraki çap egzoz giriş çapının yaklaşık % 5 oranında boşluk oluşturuldu. Daha sonrasında, her halkanın bir önceki ile arasında % 10 boşluk mevcut. Egzoz giriş çapı, önceki model çapları ile aynı yani 420 mm, egzoz boyu 9200 mm. Akışkan tanımlaması, Şekil 3.8' de verilen egzoz gazı içeriklerine göre yapılmıştır. Sıcaklık 723,14 K (450 °C), egzoz gazının hızı egzoz girişinde 40 m/s olarak tanımlanmıştır. Bu geometrinin çözümü yukarıdaki sınır şartları ile 200 yaklaşım sayısı ile hesaplama yapılmıştır. Analizin çözümü sonrası sonucu Şekil 3.12' de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığı zaman, egzoz çıkışındaki gaz sıcaklığının 384 – 427 K arası olduğu ve ortalama 400 K olarak kabul edilirse gaz sıcaklığının 127 °C olduğu sonucuna ulaşıyor.

İlk analiz çözümündeki girişteki nozul egzoz çapının % 25 oranında düşürülmesi sonucu nozul çıkışı hızın girişe göre 2 katından fazla artması ve sonucunda, merkezdeki sıcaklığın egzoz çıkışına kadar ulaştığı görüldü. Bu sonuçtan hareketle, hem ilk hava girişi aralığı artırılıyor ve nozul çapı giriş çapına göre sadece % 6 oranında düşürüldü.



Şekil 3.12: On ad. Taze Hava Girişli Analiz Sonucu – Sıcaklık (K)

Şekil 3.13’ de hız vektörleri görselinde görüleceği üzere, nozul çıkışındaki hızın, egzoz girişteki mesafenin yarısı kadar 40 m/s olan hız 54 m/s mertebeye ulaşıyor ve sonrasında 27 m/s civarına düşüyor. Bu, bize egzoz gazının sıcaklığının daha fazla düşürülmesi sonucuna ulaştırıyor.

Şekil 3.14’ te fluent analizi için sınır şartları belirleme için verilen, egzoz gazı ve taze hava girişleri verilmiştir, tanımları ve bu girişlerde ve buralardaki debi değerleri Çizelge 3.3’ deki şekildedir;

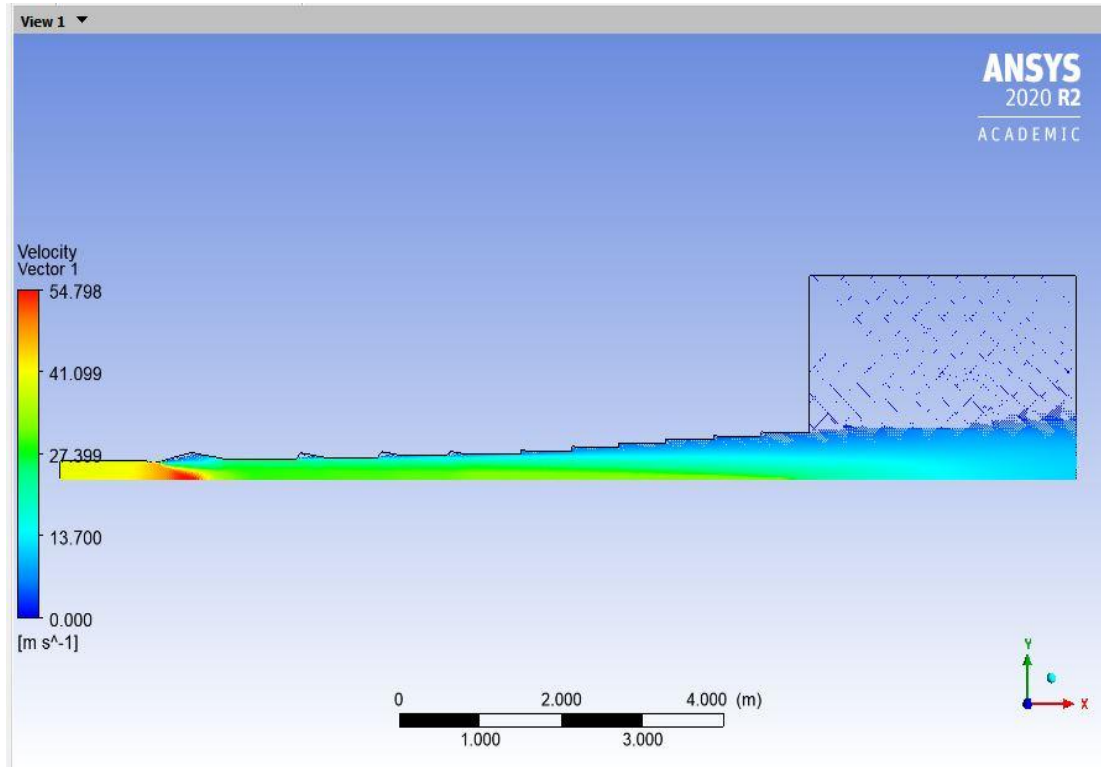
Egzoz gazı özellikleri için havanın özellikleri kullanılmaktadır. Çünkü, içerik olarak aynı olduğu ve ihmal edilebilecek farklılık olmasıdır (Jääskeläinen, 2019).

Çizelge 3.3: On ad. Taze Hava Girişli Analiz Giriş Çıkış Debi Değerleri

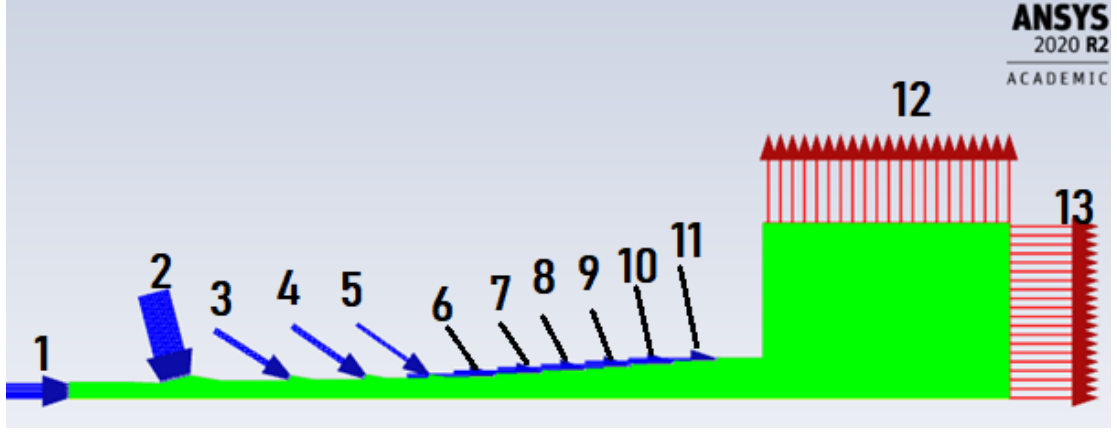
Adı	Giriş Tipi	Kütlesel Debi (kg/s)	Hacimsel Debi (m ³ /s)
1. Egzoz gazı girişi	(hız girişi)	2.6094689	5.43
2. Taze hava girişi 1	(basınç girişi)	0.42887372	0.36
3. Taze hava girişi 2	(basınç girişi)	0.21363123	0.18
4. Taze hava girişi 3	(basınç girişi)	0.29460898	0.25
5. Taze hava girişi 4	(basınç girişi)	0.45656866	0.38
6. Taze hava girişi 5	(basınç girişi)	0.72636628	0.61

Çizelge 3.3: Devamı

Adı	Giriş Tipi	Kütlesel Debi (kg/s)	Hacimsel Debi (m ³ /s)
7. Taze hava girişi 6	(basınç girişi)	0.77311885	0.64
8. Taze hava girişi 7	(basınç girişi)	0.79056722	0.66
9. Taze hava girişi 8	(basınç girişi)	0.77968311	0.65
10. Taze hava girişi 9	(basınç girişi)	0.7251513	0.60
11. Taze hava girişi 10	(basınç girişi)	0.5947358	0.50
12. Çıkış		2.8889565	2.86
13. Çıkış		-11.324949	-11.3



Şekil 3.13: On ad. Taze Hava Girişli Analiz Hız Vektörü



Şekil 3.14: Analiz Giriş ve Çıkış Bölgeleri

4. UYGULAMA ALANLARI

4.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Kızılötesi iz baskılama (IRSS), yalnızca savaş gemilerinin (dizel makineleri ve gaz türbinleri) ve hava araçlarının (gaz türbin motorlarının) egzoz gazı sıcaklıklarının düşürülmesi sonucunda bu araçların savunmasını kapsamaktadır. Bu nedenle, çalışmamızın uygulama alanı, savunma sanayi projeleridir. Egzoz gazı sıcaklığının soğutulması işlemi, egzoz ve baca gazlarındaki enerjinin kullanılabilir (ekserji) kısmının kazanılabilmesi için, enerji tesislerinde gaz ve buhar türbinlerinin atmosfere saldığı egzoz gazlarının sıcaklığı düşürülerek ısı geri kazanımı ile kızgın buhar elde edilmesinde de kullanılmaktadır.



Şekil 4.1: İz Baskılama İşleminin Uygulama Alanları (Deniz ve Hava Savunma Araçları)

Kaynak: (Davis Engineering, www.davis-eng.com)



Şekil 4. 2: Gaz ve Buhar Türbinleri Egzoz Soğutma (Marin ve Kara Enerji Tesisleri)

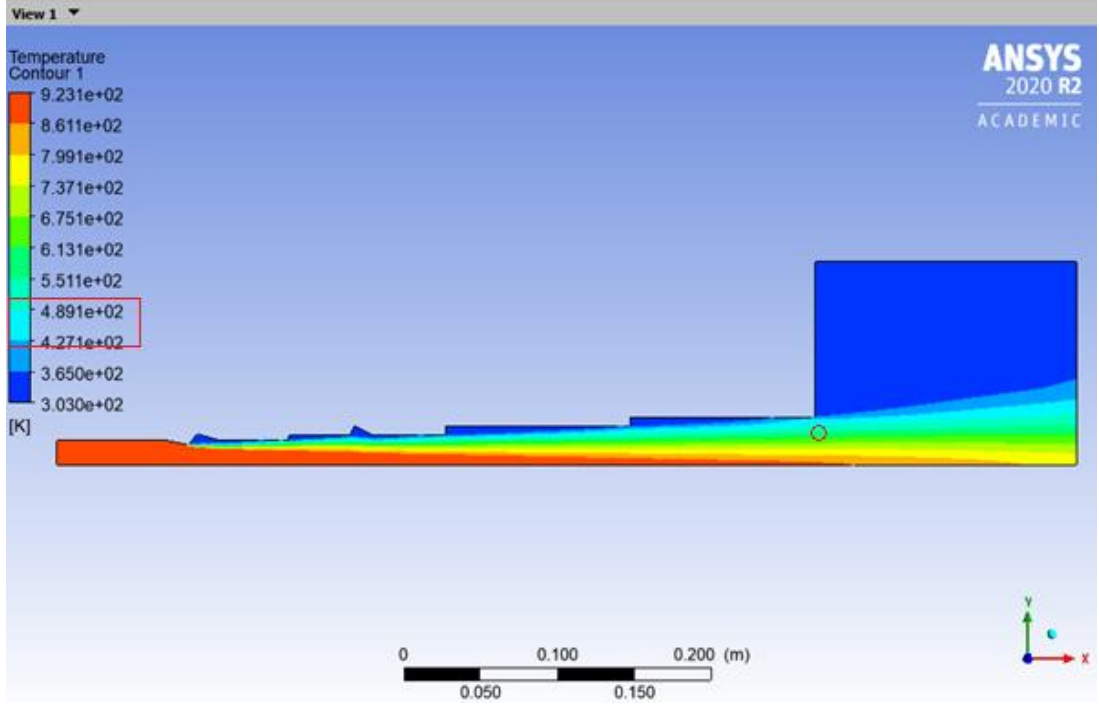
Kaynak: (Reşitoğlu, Altınışık ve Keskin, 2015)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Deneysel Çalışma Verileri ve Sonuçları

Deneysel çalışma için 1/18 ölçekli deney numune model ile, egzoz gazı sıcaklığını temsil etmek için özellikleri belirtilen sıcak hava tabancası kullanıldı. Hacimsel debi ve kesitler farklı olduğu durumu göz önüne alındı. Bu şekilde yapılan deneysel çalışmalarda, boru içinde küçük bir kesitten, büyük bir kesite doğru hareket eden akışkanın, farklı çaplardaki halkaların boşluğundan boru içine taze hava emişi sağlayarak sıcak havanın sıcaklığını nasıl düşürdüğü görüldü. Deneysel çalışmalarımız sonucunda, 650 °C giriş sıcaklık değeri, numune ile yapılan deneyde, ısı kaynağıımızdan çıkan sıcaklık, 147 °C sıcaklığa düşürüldü. Numunedeki ilk hava boşluğundan en az 559 °C, ikinci hava boşluğundan 369 °C, üçüncü hava boşluğundan 318 °C, dördüncü hava boşluğundan 263 °C, beşinci hava boşluğundan 214 °C ve çıkışta 147 °C sıcaklık değerleri ölçüldü. Deneysel çalışma sonucunda sıcak havanın giriş sıcaklığından % 70 – 75 oranında düşük çıkış sıcaklığı sağlandı.

Deneyde yapılan şartlar ile numunenin aynı geometrisi ile Ansys Fluent üzerinde yapılan analiz sonucu ve deney çalışmasında da yapılan sıcaklık ölçümünün, çıkıştaki en büyük halkanın yarı çapının, başlangıç noktası merkez olacak şekilde dış çapa yakın, % 60 – 65' lik bölgesinden yapılan ölçümle, analiz sonucundaki aynı noktadaki sıcaklık karşılaştırıldığında, sıcaklığın 427 – 489 K aralığında 440 - 450 K sıcaklık kabul edilirse 167 – 177 °C sıcaklık ortaya çıkıyor (Şekil 5.1' de verilmiştir). Burada, Deney sonucu ile analiz sonucu arasındaki farklılık oransal olarak yaklaşık % 19 civarındadır. Sonuç olarak deneysel çalışmada elde edilen sonuç, analizde çıkan sonuçtan daha düşük ve iyi bir değerdir.



Şekil 5.1: Deney Analizinin Sıcaklık Karşılaştırma Noktası

5.2 Gerçek Ölçekte Hazırlanan Geometrilere Analiz Sonuçları

Yedi taze hava girişli analiz geometrisinde iki farklı çalışma yapıldı ve iki farklı sonuç alındı. İlk çalışma ile ikinci analiz arasındaki fark geometride, ikinci geometride, ilk hava girişine kadar olan mesafe ve buradan ikinci hava girişine kadar olan mesafe ilkinden fazla. İkinci çözümde daha yüksek bir sıcaklık sonucuna ulaşıldı.

6. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMALAR

Bu sonuçlar çerçevesinde, Gemilerin dizel makineleri ve dizel generatörlerin egzoz sıcaklıkları 450 - 500 °C mertebelerinde olduğu bilgisinden hareketle çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmadaki deneyde egzoz gazı sıcaklığı için, 650 °C sıcaklık ve 550 l/dk (0,0092 m³/s) hacimsel sağlayabilen sıcak hava tabancası ile yürütüldü ve sonuçlar kısmında sıcaklık değerlerine ulaşıldı. Deney modelinin ölçülerinde ve şartlarında Ansys Fluent programında akış analizleri yapıldı. Deneyde elde edilen değerler ve analiz sonuçları arasında deneyde elde edilen sonucun daha iyi bir sonuç olduğu görüldü.

Ansys Fluent ile yapılan diğer gerçek ölçekte modelle üç farklı analiz yapıldı. Bunlardan ilk ikisinde geometri aynı yedi taze hava girişli geometri ancak, ilk analizdeki hava boşluğuna kadar olan hat ölçüsü ve ilk hava girişi ile ikinci arasındaki mesafe arttırıldı. Bu ölçüler arttırılan ikinci analizdeki sonuç ilk sonuca göre daha yüksek çıktı.

Üçüncü analizde on adet taze hava girişli bir geometri oluşturuldu ve yapılan analiz sonucu ulaşılabilen en iyi çıkış sıcaklığı olduğu görüldü.

Sonuçta, projemizde ulaşılan sonuçlar ile gerçekte yapılacak model ile yapılan çalışmanın çıktısının birbirine yakın ve hatta daha iyi olacağı görülmektedir. Ve bu sonuçlar Egzoz Kaynaklı Kızılötesi İz Baskılama için tek başına iyi bir baskılama seviyesi oluşturduğu görülmektedir.

Ayrıca bunlara, egzoz gazından ısı geri kazanımı yapılarak hem sıcak su ve buhar elde edilebilir hem de egzoz sıcaklığı 200 °C mertebelerine düşürülebilir ve sonrasında bu sıcaklık daha düşük çıkış sıcaklığına düşürülerek, gemi baca etrafında ısınma ve buna bağlı ışımanın önüne geçilmiş olur. Bu sayede egzoz gazının ısı enerjisinden faydalanılarak sıcak kullanım suyu elde edilecek sonucunda egzoz gazının soğuması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Bayram, D., & Heperkan, H.,** (2012). Gemilerde Baca Gazi Kaynakli Isil İzin Sayisal Modellemesi - Sigma 30, 292-302, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Araştırma Makalesi.
- Galle, L. F. & Dr. Schleijpen, R.M.A.,** (1998). Ship Infrared (IR) Signatures Ship Surviveability Part II) - Marineblad "Naval Engineers Journal" The Research Article.
- Llorente, S. del P.M., Charris, V.D. & Torre, J.M.G.,** (2014). *Infrared Signature Analysis of Surface Ships* - 2014 - Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial; Gerencia de Diseño e Ingeniería; Cartagena, Colombia.
- Vaitekurnas, D. A. & Kim Y.,** (2013). *IR Signature Management for the Modern Navy* - Proc. SPIE 8706, Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XXIV, 87060U doi:10.1117/12.2016499
- Thompson, J. & Vaitekurnas, D. A. & Birk, A. M.,** (1998). *IR Signature Suppression of Modern Naval Ships* - Presented at ASNE 21st Century Combatant Technology Symposium, 27-30 January.
- Vaitekurnas, D. A.,** (2010), IR Susceptibility of Naval Ships Using ShipIR/NTCS, *Presented at the SPIE Defence, Security, and Sensing*, Orlando, Florida, USA, 5-9 April, (Paper no. 7662-31)
- Ergin, S., & Parali, Y.,** (2010). Savaş Gemilerinde Egzoz Gazları ve Gemi Üst Yapısı Etkileşiminin Sayisal Olarak İncelenmesi - *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi* – Sayı: 185 – Temmuz .
- Davis Engineering,** (nd). IR Signature Suppression of Modern Naval Ships, Alındığı tarih: 13.06.2021, adres: <https://www.davis-eng.com/>
- Hannu Jääskeläinen,** (2019). *Diesel Exhaust Gas Properties*, , Alındığı tarih: 13.06.2021, adres: https://dieselnet.com/tech/diesel_exh.php#intro
- Reşitoğlu, A. İ., Altınışık, K. & Keskin, A.,** (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems – *Clean Technologies and Environmental Policy*, volume 17, pages15–27.

ÖZGEÇMİŞ

Kemal KESKİN:

11.02.1979 tarihinde Adana' da dünyaya geldi. İlk öğrenimini 1990 yılında, Tekirdağ Vedat Çeliker İlkokulu, ortaokul öğrenimini 1993 yılında Tekirdağ 50. Yıl Ortaokulunda, Orta öğrenimini 1997 yılında Tekirdağ Teknik Lise ve E.M. Lisesinde Teknik Makine bölümünde tamamladı. 1997 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ M.Y.O. İklimlendirme Soğutma Ön lisans Programına yerleşti, buradan 2000 şubat döneminde mezun oldu. Lisans eğitimini İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünde 2017 eğitim-öğretim yılı sonunda tamamladı.

Daha Sonra 2018 yılında Gedik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Aynı zamanda, evli ve bir erkek çocuk babasıdır.