

Analysis of Effective Characteristics in Reducing the Thermal Radiation of the Helicopter Body Surface

Hadi Amirabadi , Safa Khazai*, Mohammad Davoudabadi Farahani 

*Associate Professor, Faculty and Research Institute of Passive Defense, Imam Hossein (AS) University, Tehran, Iran
(Received: 07/04/2024, Revised: 05/05/2024, Accepted: 03/09/2024, Published: 26/10/2024)

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.3.2.3


ABSTRACT

Reducing the amount of radiated energy from military equipment such as helicopters leads to an increase in the possibility of hiding or camouflage them. In this study, the parameters affecting radiation heat transfer, including heat transfer equations, the effects of diffusion environment, the heat flux reaching the surface of the helicopter body, and the geometry of the helicopter body surface are investigated. Then, software simulation is performed in the presence of sunlight and at different angles and its effect on thermal sensors. The results obtained from the simulation show that the angle of the helicopter and the absorption coefficient are the effective characteristics in thermal radiation. By changing the angle of the helicopter, the visibility coefficient between the sensor and the helicopter changes, and as a result, the amount of radiation in between also changes, and these changes also change with the change in color, material, surface and other factors affecting the absorption coefficient.

Keywords: Helicopter, Thermal Infrared, Camouflage, Effective Characteristics

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: skhazai @ihu.ac.ir



پدافند غیرعامل



سال پانزدهم، شماره ۳، مانیر ۱۴۰۳ (پیاپی ۵۹): صص ۲۵-۱۷

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | شاپای الکترونیکی: ۸۰۳۰-۲۹۸۰

علمی - پژوهشی

تحلیل مشخصه‌های اثربخش در کاهش تشعشعات حرارتی سطح

بدنه بالگرد

هادی امیرآبادی^۱، صفا خزائی^{۲*}، محمد داودآبادی فراهانی^۳

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.3.2.3

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

چکیده

کاهش میزان انرژی‌های تشعشع یافته از ادوات نظامی نظیر بالگرد، منجر به افزایش امکان مخفی‌سازی یا استتار آنها می‌گردد. در این پژوهش ابتدا پارامترهای موثر بر انتقال حرارت تشعشعی شامل معادلات انتقال حرارت، تاثیرات محیط انتشار، شار حرارت رسیده به سطح بدنه بالگرد و هندسه سطح بدنه بالگرد مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس شبیه‌سازی نرم‌افزاری در حضور نور خورشید و در زوایای مختلف و میزان تاثیر آن بر سنجنده‌های حرارتی انجام می‌شود. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که زاویه بالگرد و ضریب جذب به ترتیب مشخصه‌های اثربخش در تشعشع حرارتی هستند. با تغییر زاویه بالگرد، ضریب دید بین سنجنده و بالگرد تغییر کرده و در نتیجه میزان تشعشع فی مابین نیز متغیر شده و این تغییرات هم باز با تغییر در رنگ، جنس، سطح و سایر عوامل موثر بر ضریب جذب، تغییر می‌کند.

کلیدواژه‌ها: بالگرد، فروسرخ حرارتی، استتار، مشخصه‌های اثربخش

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران (skhazai @ihu.ac.ir) - نویسنده مسئول

^۳ دکترای تخصصی، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران



* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

نویسندگان ©

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۱- مقدمه

مخفی بودن و استتار از دید دشمن یک برتری قابل توجه برای تجهیزات نظامی است و از دیرباز متخصصین تجهیزات نظامی به دنبال راه‌هایی برای ایجاد این برتری برای تجهیزات خود بودند. برای شناسایی یک شیء راه‌های مختلفی شامل امضای راداری، فروسرخ، میدان مغناطیسی و نور مرئی بوده که همه می‌توانند دشمن را به حضور یک شیء آگاه کنند. در سال‌هایی اخیر تحقیقاتی در طراحی، به‌کارگیری و بهبود عملکرد ناوگان مدرن نظامی بر استفاده از فناوری‌های مخفی‌سازی و عدم شناسایی توسط دیدبان دشمن انجام شده است. کاهش آسیب‌پذیری و در دید قرارگیری ادوات جنگی در برابر رهگیرهای مدرن حسگرهای حرارتی و موشک‌های رهگیر مادون‌قرمز (فروسرخ) باید با کاهش انتشار اثرات فیزیکی صورت پذیرد [۱-۳].

ماهولیکار^۱ و همکاران [۴]، به مطالعه شاخصه‌های مادون‌قرمز منتشر شده از انواع پرنده‌های نظامی و غیرنظامی پرداختند. این پژوهش با مرور شاخصه‌های فروسرخ و تحولات عصر حاضر، بر پیش‌بینی رفتار شاخصه فروسرخ در تجهیزات پرنده پرداختند. جیان‌وی^۲ و کیانگ^۳ [۵]، به تحلیل و شبیه‌سازی تشعشعات فروسرخ متصاعد شده از بدنه هواپیما پرداختند. در این پژوهش محاسبه اشعه فروسرخ ناشی از بدنه هواپیما با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و روش محاسباتی منت‌کارلو معکوس انجام گردید. نتایج نشان داد نمای جلو هواپیما (به دلیل گرمای آیرودینامیکی) نقش اساسی در تشعشع فروسرخ دارد. طالبی [۶]، به بررسی کاهش اثر فروسرخ پلوم هواپیما با استفاده از تغییرات هندسی در نازل خروجی آگزوز پرداخت. در این پژوهش از نرم افزار Fluent برای برآورد میزان تابش استفاده شد. چنگ‌ژیانگ^۴ و همکاران [۷]، به شبیه‌سازی و تحلیل تشعشعات حرارتی و فروسرخ منتشر شده از بالگرد پرداختند. در این تحقیق از شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی و نرم‌افزار تجاری Fluent استفاده گردید. آنها دریافتند تابش دمایی روی سمتی که روبروی تابش خورشیدی قرار می‌گیرد بسیار بالاتر از سایر بخش‌های بالگرد است، به‌طوری‌که بیشترین و میانگین اختلاف دما بین این دو بخش ۲۵ و ۳۵ درجه کلون است.

سالاری و ابراهیمی [۸] یک الگوی محاسباتی برای ارزیابی تشعشعات فروسرخ متصاعد شده از بدنه ناوها ارائه دادند. در این کار با تأکید بر مخفی‌سازی از منظر تشعشعات فروسرخ، علاوه بر

ارائه پارامترهای مؤثر، الگوریتم محاسباتی مناسبی برای یک بدنه نمونه از ناو فرضی ارائه شده است. ابراهیمی و حی‌شاد [۹]، به طراحی مفهومی نرم افزار هوشمند تعیین اثر فروسرخ حرارتی سطح بدنه ناوها پرداختند. در این کار، با تکیه بر معادلات انتقال حرارت تشعشعی جهت شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شدت تشعشع فروسرخ حرارتی سطح بدنه شناورهای نظامی و یا سایر تجهیزات نظامی با در نظر گرفتن پس‌زمینه و ویژگی‌های ارائه شده، میزان در معرض خطر قرارگرفتن شناورهای نظامی تعیین گردید. ابراهیمی [۱۰] و لانگ^۵ [۱۱]، تشعشعات فروسرخ ناشی از بدنه کشتی نظامی هال^۶ را محاسبه کردند. بدین منظور آنها از معادلات انتقال حرارت تشعشعی هم در طیف‌سنجی و هم در هندسه نمونه بهره گرفتند. سالاری و همکاران [۱۲]، با شبیه‌سازی یک شناور تندرو به ارائه یک روند محاسباتی و تحلیلی بر پارامترهای مؤثر بر تشعشعات فروسرخ حرارتی بدنه ناوها پرداختند. آنها دریافتند که به‌طور کلی پارامترها و معادلات حاکم بر تشعشعات حرارتی بدنه ناوها، زمینه ایجاد نرم‌افزاری مناسب برای تعیین سطح آشکارسازی فروسرخ حرارتی بدنه شناورهای مختلف در طول موج‌های ۸ تا ۱۲ میکرومتر را فراهم می‌آورد. ابراهیمی و سالاری [۱۳] به بررسی پارامترهای مؤثر در طراحی یک نرم افزار شبیه‌ساز تشعشعات فروسرخ حرارتی بدنه شناور پرداختند. در این پژوهش پارامترهای مؤثر جهت مدل‌سازی تشعشع فروسرخ حرارتی بدنه شناور نظامی ارائه گردید تا با تخمین میزان تشعشع بدنه شناور، تخمینی از شرایط شناسایی بدنه شناور توسط سنجنده فروسرخ حرارتی ارائه گردد. به‌طور کلی نتایج نشان داد پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی عددی مقدمه‌ای برای رسیدن به نرم‌افزاری مناسب است که قادر به مدیریت تشعشع پیچیده در یک زمان حدوداً متعارف برای تخمین‌های دقیق تشعشعات فروسرخ حرارتی بدنه شناور است که در صورت ایجاد تغییرات جهت کاهش تشعشعات، مقدار تأثیرگذاری را تعیین کند. طالبی و خلیل زاده [۱۴]، به تحلیل و بررسی اقدامات پدافند غیر عامل در کاهش اثرات فروسرخ کشتی‌های نظامی پرداختند. در این تحقیق مفاهیم گسیلندگی، تابش طیفی، بیان شده و گسیل فروسرخ در کشتی نظامی مورد بررسی قرار گرفته است.

در پژوهش پیش‌رو تأثیرات تشعشعات حرارتی و فروسرخ ناشی از پلوم و پوسته نوع خاصی از بالگرد روسی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین توزیع دما و اشعه فروسرخ تحت شرایط مختلف دما، شرایط جوی خورشیدی و همچنین جنس بدنه مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت تشعشع روی بدنه این بالگرد استفاده می‌گردد.

¹ Mahulikar

² Jianwei

³ Qiang

⁴ Chengxiong

⁵ Lang

⁶ Hull

$$Q_{12} = Eb_1 A_1 F_{12} - Eb_2 A_2 F_{21} \quad (۴)$$

در رابطه بالا، F_{12} مقداری از تشعشع است که سطح ۱ را ترک کرده و به سطح ۲ می‌رسد. F_{21} مقداری از تشعشع است که سطح ۲ را ترک کرده و به سطح ۱ می‌رسد. E_{b1} مقدار انرژی است که سطح جسم سیاه ۱ را ترک کرده و به جسم ۲ می‌رسد. E_{b2} نیز مقدار انرژی است که سطح جسم سیاه ۲ را ترک کرده و به جسم ۱ می‌رسد.

۲-۲-۲- تابش خورشید

انرژی خورشیدی به شکل امواج الکترومغناطیس بعد از عبور از اتمسفر به سطح زمین می‌رسد. تشعشع گسیل شده یا منعکس شده توسط اجزای تشکیل دهنده اتمسفر، تشعشع اتمسفریک را تشکیل می‌دهد. خورشید، یک جسم تقریباً کروی است که دارای قطر $1/39 \times 10^9$ متر و جرم 2×10^{30} کیلوگرم بوده و در فاصله متوسط $1/5 \times 10^{11}$ متری از زمین قرار دارد. خورشید با نرخ w $E_{sun} = 1/5 \times 10^{26}$ انرژی تشعشعی را گسیل می‌کند [۱۷ و ۱۸].

لازم به ذکر است که تابش مستقیم خورشید بر سطح زمین به عوامل مختلفی مانند جهت سطح نسبت به خورشید، ساعت روز، روز از سال، ضریب زاویه مشاهده و شرایط جوی بستگی دارد. زاویه‌ای که اشعه خورشید با خط عمود سطح مورد نظر می‌سازد تعیین کننده درصدی از تابش مستقیم است که با آن سطح برخورد می‌نماید [۱۷ و ۱۸].

۲-۳- هندسه سطح بدنه بالگرد

ایجاد هندسه صحیح جسم به صورت سه‌بعدی، اولین مرحله برای محاسبه تشعشع است. این امر به کمک نرم‌افزارهای طراحی رایانه ای سالدورکس^۱ انجام می‌پذیرد. این اطلاعات شامل مساحت سطح، جهت قرارگیری سطح، زاویه عمود بر سطح و تعداد سطوح را شامل می‌شود. در مرحله بعد، شبکه‌بندی سطح جسم به سطوح کوچک انجام می‌شود. شبکه‌ها با دو نوع: با ساختار و بی‌ساختار شناخته می‌شوند که شبکه‌های بی‌ساختار چهارضلعی^۲ بوده و شبکه‌های بی‌ساختار سه‌ضلعی هستند. استفاده از شبکه‌های بی‌ساختار مثلثی به منظور دستیابی به هندسه واقعی، راحت‌تر است. به هر مثلث، یک سطح کوچک^۳ می‌گویند. در این حالت، هر یک از سطوح جسم به M سطح کوچک مثلثی تقسیم می‌شود. زمان محاسباتی و مدیریت حافظه رایانه بر اساس تعداد سطوح کوچک در نظر گرفته می‌شود. با افزایش تعداد سطوح، زمان محاسبات بالا می‌رود.

۲- بررسی پارامترهای موثر بر انتقال حرارت

در این بخش پارامترهای موثر بر انتقال حرارت عواملی مانند تغییرات دما، اثر اکسید کردن فلزات و زبری و صافی سطح که بر ضریب گسیل و ضریب جذب تشعشع حرارتی تاثیرگذار هستند، بررسی می‌شود.

۲-۱- گسیل تشعشعات

منظور از تشعشع حرارتی، انرژی تابشی است که از اجسام و بر اثر دمای آن‌ها گسیل می‌شود. انتقال حرارت تشعشعی به فضای فیزیکی نیاز ندارد. این تبادل حرارتی توسط تشعشع حرارتی صورت می‌گیرد. تشعشع حرارتی در جامدات و مایعات یک پدیده سطحی است و از مولکول‌هایی منشأ می‌گیرد که تقریباً در فاصله ۱ میکرومتر از سطح پوسته جسم قرار دارند [۱۵].

وقتی انرژی تشعشعی به یک سطح برخورد کند، دو نوع پدیده انعکاسی را می‌توان مشاهده کرد: (۱) بازتاب طیفی (آینه‌ای) که در این حالت زاویه‌ی برخورد با زاویه انعکاس برابر است ($\phi_1 = \phi_2$)، (۲) بازتاب پخشی، که در این حالت پرتوهای تابش شده پس از انعکاس در تمام جهات به طور یکنواخت پراکنده می‌شوند.

مطابق بیان کرشهف [۱۶]، در تعادل حرارتی، توان جذب شده یک جسم برابر با توان تشعشعی توسط آن سطح است. بنابراین، G تشعشع ورودی به هر قسمت از سطح جسم کوچک با E تشعشع صادر شده از جسم در دمای T برابر است. مقادیر E و G طبق روابط زیر تعیین می‌شوند [۱۶]:

$$G = E_b(T) = \sigma T^4 \quad (۱)$$

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (۲)$$

مقدار تشعشع ورودی جذب شده (G_{abs}) به هر قسمت از سطح جسم کوچک نیز مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$G_{abs} = \alpha G = \alpha \sigma T^4 \quad (۳)$$

در روابط بالا، α ضریب جذب، ε ضریب گسیل و σ هدایت گرمایی است.

۲-۲- تاثیرات محیط انتشار

۲-۱- ضریب دید (ضریب زاویه ای)

ضریب دید یکی از پارامترهای محیط انتشار می‌باشد که نشانگر مقدار تشعشعی است که از یک جسم به جسم دیگر با توجه به موقعیت مکانی و هندسی می‌تواند برسد. مقدار انرژی مبادله شده از محیط ۱ به محیط ۲ (Q_{12}) برابر است با [۱۶]:

^۱ Solidworks
^۲ quad meshes
^۳ Facet

$$S_t = \frac{1}{2} a \cdot b = \frac{1}{2} |a| \cdot |b| \cos \theta \quad (12)$$

۲-۴- گسیل تشعشعات به سطح بدنه بالگرد

بالگرد با دمای سطح (Ts)، مقابل دمای تشعشعی سطح خورشید (Tsol) و دمای محیط پیرامونی (Tsur) قرار دارد. تجهیزات داخلی و سایر فعالیت‌های داخل بالگرد تولید حرارت می‌کنند و این حرارت از طریق رسانش بر حرارت روی سطح بدنه تاثیر می‌گذارد. به علاوه تشعشع خورشید در حین عبور از اتمسفر زمین باعث گرم شدن هوای محیط، ذرات ریز معلق در هوا و سطح بدنه بالگرد می‌شود. حرارت از طریق تشعشع از سطح بدنه بالگرد به محیط پیرامونی گسیل می‌گردد و تا رسیدن به سنجنده حرارتی از میان اتمسفر محیط عبور می‌کند و با توجه به شرایط اتمسفر و خصوصیات سنجنده، میزان شدت دریافتی توسط سنجنده متفاوت می‌باشد.

۲-۴-۱- تعیین دمای مش‌ها

مهم‌ترین عامل در محاسبه تشعشع حرارتی، تعیین دمای سطوح کوچک است؛ بنابراین بایستی پس از به‌دست‌آوردن معادلات تشعشع سطوح کوچک و محاسبه تشعشع هر سطح کوچک، مجموع تشعشعات جسم به دست آید. در اینجا عوامل مؤثر در تشعشع سطوح کوچک بیان می‌شود. بدین منظور اصل بقای انرژی برای هر سطح کوچک به کار گرفته شده است [۱۶].

$$a \frac{\partial T}{\partial t} = \Phi_{abs} - \Phi_{lost} - \dot{U} \quad (13)$$

در رابطه (۱۳)، $\frac{\partial T}{\partial t}$ تغییرات شار حرارتی (بر حسب وات بر متر مربع) بر روی یک سطح با ماهیتی خاص، Φ_{abs} شار حرارت جذب شده سطح، Φ_{lost} شار حرارتی تلف شده سطح در محیط، \dot{U} تغییرات انرژی درونی جسم و a یک مقدار ثابت مربوط به ماهیت مواد مختلف می‌باشند.

طبق قانون بقای انرژی، مجموع انرژی‌های تابیده بر سطح برابر مجموع انرژی‌های خارج شده از آن جسم است. انرژی‌های تابیده شده بر سطح عبارت‌اند از انرژی تابش مستقیم خورشید، انرژی تابشی اتمسفر، تابش‌های چندگانه و انرژی تابشی سطح دریا. انرژی‌های که از سطح خارج می‌شوند برابر با تشعشع تابیده شده از سطح و انتقال حرارت رسانشی و جابه‌جایی بر سطح است که سبب ایجاد تعادل حرارتی بر سطح می‌شود.

۳- شبیه‌سازی

مدل‌سازی هندسی بدنه بالگرد در نرم‌افزار سالیدورکس انجام شده است. سالیدورکس یک نرم‌افزار برای مدل‌سازی جامدات است که مبتنی بر پاراسالید بوده و از رویکرد پارامتری مبتنی بر

۲-۳-۱- بردار نرمال مش‌ها

توان تشعشعی سطح بالگرد با محاسبه شدت تشعشع هر سطح با سنجنده‌ای حرارتی محاسبه می‌شود؛ بنابراین در ابتدا بایستی بردار نرمال هر سطح کوچک و مساحت هر سطح کوچک جسم محاسبه شود. محاسبه بردار نرمال سطح کوچک نیازمند داشتن مختصات رئوس سطح است. سطوح کوچک سطح می‌تواند مثلثی یا چهارضلعی باشد که برای ترسیم بهتر سطح جسم، این سطوح مثلثی ترسیم می‌شود. مختصات هر رأس شامل نقطه‌ای با مختصات x, y, z است. با داشتن مختصات سه نقطه، A, B و C بردارهای نمونه و نرمال (عمود) سطح به دست می‌آید [۱۶].

$$\vec{a} = \overline{BC} = \left((x_C - x_B), (y_C - y_B), (z_C - z_B) \right) = (x_a y_a z_a) \quad (5)$$

$$\vec{b} = \overline{AC} = \left((x_C - x_A), (y_C - y_A), (z_C - z_A) \right) = (x_b y_b z_b) \quad (6)$$

$$\vec{c} = \overline{AB} = \left((x_B - x_A), (y_B - y_A), (z_B - z_A) \right) = (x_c y_c z_c) \quad (7)$$

$$\vec{n} = \vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_a & y_a & z_a \\ x_b & y_b & z_b \end{vmatrix} \quad (8)$$

در رابطه بالا، $\vec{n} = (x_n, y_n, z_n)$ بردار نرمال (بردار عمود) سطح می‌باشد.

۲-۳-۲- مساحت سطوح مش‌ها

روش اول: با استفاده از اندازه بردار نرمال سطح می‌توان در دو حالت ذیل، مساحت سطح مذکور را مطابق روابط زیر محاسبه کرد.

الف: در صورتی که شکل سطح چهارضلعی باشد [۱۶]:

$$S_q = |\vec{n}| = \sqrt{(x_n)^2 + (y_n)^2 + (z_n)^2} \quad (9)$$

ب: در صورتی که شکل سطح مثلثی باشد، مساحت چهارضلعی تقسیم بر دو می‌شود و معادله به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$S_t = \frac{1}{2} |\vec{n}| = \frac{1}{2} \sqrt{(x_n)^2 + (y_n)^2 + (z_n)^2} \quad (10)$$

روش دوم: در این روش از ضرب داخلی دو بردار استفاده می‌شود؛ یعنی اندازه بردارهای اضلاع در کسینوس زاویه بین آنها ضرب شده و برای محاسبه مساحت سطح استفاده می‌شود [۱۶]:

$$S_q = a \cdot b = |a| \cdot |b| \cos \theta \quad (11)$$

برای محاسبه مساحت سطح مثلثی، معادله فوق تقسیم بر ۲ می‌شود:

مدل به صدور تشعشع از دیوارها غیرحساس است. تبادل تشعشع با ذرات: تنها مدل‌های P1 و DO می‌توانند تبادل تشعشع بین ذرات و توده گازهای موجود در دامنه حل را مدل کنند.

اجسام نیمه شفاف و تشعشع طیفی: تنها مدلی که تأثیر بازتاب تشعشع طیفی (به طور مثال درون آینه) را در نظر می‌گیرد مدل DO است. همچنین این مدل تنها گزینه جهت مدل کردن عبور تشعشع از اجسام شفاف و نیمه شفاف مانند شیشه است.

تشعشع از اجسام غیر خاکستری: در مدل کردن تشعشع از اجسام غیر خاکستری تنها گزینه موجود مدل DO است.

اعمال منابع گرمایی موضعی درون دامنه حل: در مسائلی که منابع تولید گرمای موضعی (المان‌های حرارتی) وجود دارد استفاده از مدل P1 ممکن است میزان شار حرارتی را بیش از حد تخمین بزند. در این حالت استفاده از مدل DO بهترین گزینه است.

تشعشع درون محفظه‌های فاقد گازهای قطبی: در مدل کردن تشعشع درون محفظه‌های فاقد محیط واسط (گازهای قطبی) بهترین گزینه استفاده از مدل سطح به سطح S2S⁴ است. در این حالت استفاده از مدل‌های پیشین (با حضور سیال واسط) نیز ممکن است، لیکن متضمن افزایش بی‌دلیل هزینه محاسبات است.

مدل کردن تشعشع در خارج از مرزهای دامنه حل: اگر در خارج از دامنه حل منبع تشعشعی وجود داشته باشد که دما و ضریب صدور آن مشخص باشد، می‌توان تأثیر آن را با صرف هزینه بسیار کمتر و به‌عنوان یک شرط مرزی بر روی دیواری که در معرض تشعشع است اعمال نمود. در مورد خروجی و ورودی‌های دامنه⁵ نیز می‌توان به طرز مشابهی تأثیر تشعشع محیط خارجی را اعمال نمود.

در این تحقیق به دلیل استفاده از Fluent و شبیه‌سازی عددی مدل تابشی DO در نظر گرفته شد.

۳-۲- مدل تشعشعی جهت های تفکیک شده (DO)

این مدل، معادله انتقال تشعشع را برای تعدادی زوایای فضایی معین حل می‌کند. هر یک از این زوایای فضایی بر روی یک راستای مشخص (بردار جهت s) ساخته می‌شود. این روش از نظر تفکیک زوایای فضایی مشابهتی با مدل DTRM دارد با این تفاوت که در این روش فرایند تعقیب اشعه (مورد استفاده در مدل DTRM) انجام نمی‌شود و به جای آن معادله انتقال تشعشع برای هر سلول نوشته می‌شود و مانند معادلات دیگر جریان تا حد

ویژگی برای ساخت مدل‌ها و مونتاژها استفاده می‌کند. پارامتر به ثابت‌هایی اطلاق می‌شود که مقدار آن‌ها شکل یا هندسه مدل یا مونتاژ را تعیین می‌کند. پارامترها هم به‌صورت پارامترهای عددی نظیر طول خطوط یا قطر دایره بوده و هم به‌صورت قیده‌های هندسی نظیر مماس، موازی، متقارب و هم مرکز هستند. پارامترهای عددی از طریق روابط با یکدیگر مرتبط بوده که امکان برآورده ساختن خواسته‌های طراحی را فراهم می‌کند. بعد از مدل‌سازی در نرم‌افزار، مدل به فرمت STEP که دارای مشخصه‌های مکانی هستند تبدیل می‌شود. این اطلاعات جهت شبکه‌بندی به نرم‌افزار گمبیت¹ منتقل می‌گردد. از نرم‌افزار گمبیت جهت ساخت فایل ورودی نرم‌افزار Fluent با فرمت msh استفاده می‌شود.

نرم‌افزار Fluent قابلیت مدل‌سازی جریان‌های دو و سه بعدی و همچنین حل معادلات انرژی و انتقال حرارت را دارا است. برای استفاده از این نرم‌افزار ابتدا توسط یک نرم‌افزار کمکی مانند گمبیت هندسه جریان مشخص می‌گردد و عمل شبکه‌بندی نیز صورت گرفت. این نرم‌افزار بر پایه روش حجم محدود که یک روش بسیار قوی و مناسب در روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد، بنا شده است. نرم‌افزار Fluent دارای پنج مدل تشعشعی است که در ادامه، معیارها و روش انتخاب یک مدل از بین مدل‌های موجود ارائه می‌گردد.

۳-۱- انتخاب مدل تشعشعی

در انتخاب مدل تشعشعی مناسب، پارامترهای ذیل تأثیرگذار هستند.

ضخامت نوری: ضخامت aL می‌تواند معیار خوبی در انتخاب مدل موردنظر باشد. a ضریب جذب و L نیز طول مشخصه دامنه حل است که بسته به فیزیک مسئله تعیین می‌شود. این طول برای یک محفظه احتراق برابر قطر محفظه است. در حالت کلی زمانی که این مقدار بسیار بزرگتر از ۱ باشد مدل‌های P1 و Rosseland گزینه‌های مناسبی هستند. در عمل اگر این مقدار بزرگتر از یک باشد امکان استفاده از P1 وجود دارد، لیکن برای مقادیر بزرگتر از ۳ مدل Rosseland بسیار کم‌هزینه‌تر و در نتیجه مناسب‌تر است. مدل‌های DO² و DTRM³ بر روی گستره وسیعی از مقادیر ضخامت نوری دقیق عمل می‌کنند.

پراکندگی و صدور: مدل‌های P1، Rosseland و DO پدیده تفرق تشعشع را محاسبه می‌کنند درحالی‌که مدل DTRM این پدیده را در نظر نمی‌گیرد. از طرفی از آنجاکه در مدل Rosseland شرط عدم لغزش دمایی بر روی دیوارها اعمال نمی‌شود، این

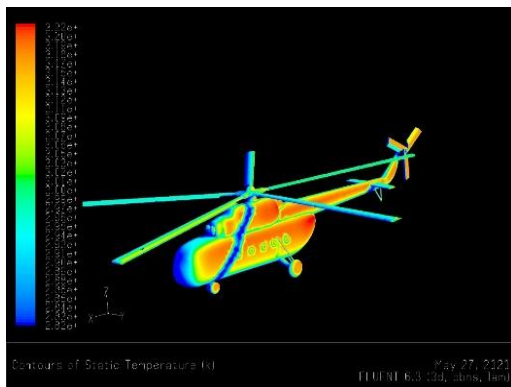
⁴ Surface to Surface

⁵ Inlets and Outlets

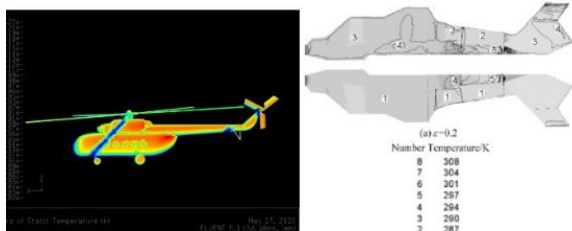
¹ Gambit

² thickness

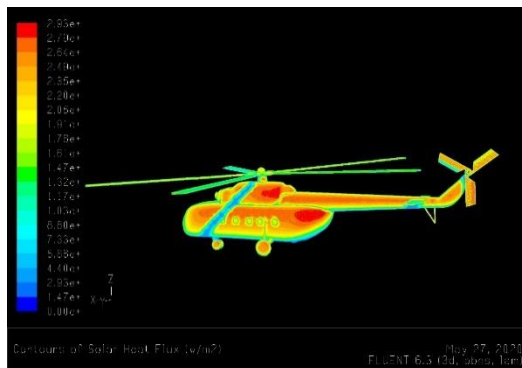
³ Discrete Ordinates Radiation Model



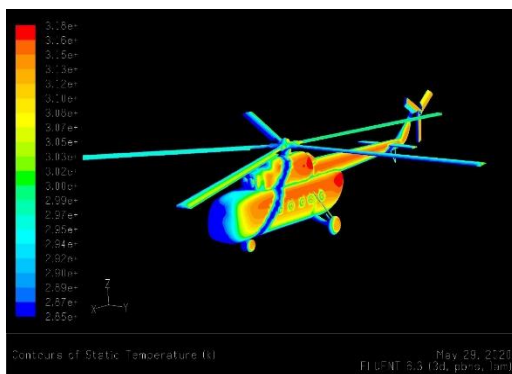
شکل (۲): کانتور دما شبیه‌سازی شده در کار حاضر در شرایط مشابه [۷] و با ضریب جذب ۰/۲



شکل (۳): نتایج حاصل از شبیه‌سازی کار حاضر و نتایج منتشر شده در [۷] و با ضریب جذب ۰/۲



شکل (۴): کانتور سولار فلاسک یا تابش خورشیدی شبیه‌سازی شده در این تحقیق در شرایط مشابه [۷] و با ضریب جذب ۰/۵



شکل (۵): کانتور دما شبیه‌سازی شده در کار حاضر در شرایط مشابه [۷] و با ضریب جذب ۰/۵

همگرایی انجام می‌شود. در این مدل همچنین امکان تفکیک کل گستره طول موج تشعشعی به فواصل کوچکتر وجود دارد. این تفکیک جهت مدل‌کردن تشعشع خروجی از اجسام غیر خاکستری کاربرد دارد.

این مدل دارای انواع مختلف تابع فاز جهت مدل‌کردن تفرق ایزوتروپ است. می‌توان از این بین، تابع فاز ثابت (ایزوتروپ^۱)، خطی، دلتا-ادینگتون^۲ و یا یک تابع معرفی شده توسط کاربر را برگزید. در این مدل همچنین امکان مدل‌کردن تشعشع و همچنین تفرق تشعشع از یک فاز مجزا مثل ذرات غبار و قطرات سوخت مایع نیز وجود دارد. در صورت حضور این ذرات در داخل دامنه حل، نرم‌افزار به صورت خودکار از تأثیر پدیده تفرق تشعشع توسط توده گاز صرف نظر می‌کند. با استفاده از مدل تشعشعی DO امکان مدل‌کردن انعکاس و عبور تشعشع بر روی سطوح مربوط به محیط نیمه شفاف که دارای خاصیت انعکاس آینه‌ای و یا دیفیوز باشند وجود دارد. در این مورد می‌توان بخشی از انرژی که به صورت دیفیوز از سطح عبور می‌کند و یا بازتابیده می‌شود را تعیین و مابقی انرژی به انعکاس آینه‌ای از سطح مزبور اختصاص می‌یابد.

۴- بحث و نتایج

۴-۱- اعتبار سنجی

به منظور اعتبارسنجی پژوهش چنگ‌ژیانگ و همکاران [۷] مورد استفاده قرار گرفت. چنگ‌ژیانگ و همکاران یک دستگاه بالگرد در شهر Chaozhou در کشور چین با مختصات: عرض جغرافیایی ۲۳ و طول جغرافیایی ۱۱۶ در ساعت ۱ ظهر در ماه سپتامبر مورد ارزیابی سولار فلاسک^۳ قرار دادند. بدین منظور جهت اعتبار سنجی، ضریب جذب ۰/۲ و ۰/۵ در نظر گرفته شد. تصاویر ارائه شده در شکل‌های ۱ تا ۳ نتایج حاصل از این شبیه‌سازی را در حالت ضریب جذب ۰/۲ و شکل‌های ۴ تا ۶ نتایج حاصل از این شبیه‌سازی را در حالت ضریب جذب ۰/۵ نشان می‌دهند.

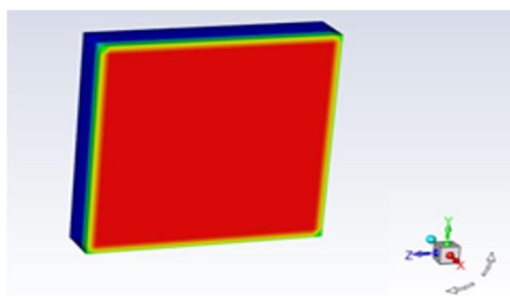


شکل (۱): کانتور سولار فلاسک یا تابش خورشیدی شبیه‌سازی شده در این تحقیق در شرایط مشابه [۷] و با ضریب جذب ۰/۲

¹ Isotropic
² Delta-Eddington
³ Solar Flux

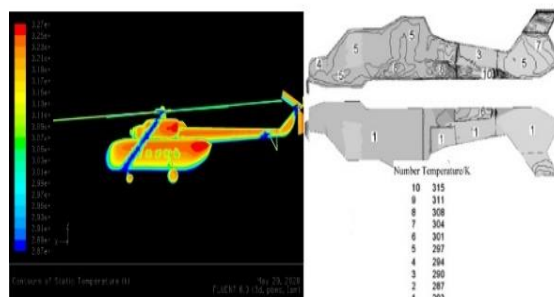
نکته مهم این است که تشعشع دریافتی سطح از چشمه، مستقیماً با زاویه‌ای که سطح از روی چشمه دیده می‌شود، متناسب است. این حالت تنها هنگامی رخ می‌دهد که امواج گسیل شده از چشمه در همه جهتها و به‌صورت یکنواخت در همه زوایا حرکت کنند و فضای بین سطح و چشمه، امواج را جذب یا پراکنده نکنند [۷].

تحلیل تشعشع یک سطح در حالت عادی نیازمند آن است که امواج ورودی و خروجی در همه جهتها در نظر گرفته شوند. هنگام تحلیل یک مسئله تشعشعی، فضای بسته‌ای رسم می‌کنیم تا تمام سطوحی که در تشعشع درگیر هستند، درون آن قرار گیرند. در چنین روشی، حتی دریاچه‌های باز هم به‌عنوان سطوح فرضی در نظر گرفته می‌شوند که رفتار تشعشعی آنها با دریاچه‌های باز معادل باشد. به‌منظور محاسبه ضریب دید بین سنجنده در این تحقیق و بدنه بالگرد در نرم‌افزار Fluent از روش S2S استفاده گردید. این روش هندسه مورد سؤال را به هندسه‌های کوچکتری تقسیم کنیم که ضریب دید هر یک از آنها مشخص باشد. به‌منظور بررسی اثر فروسرخ ناشی از آگزوز و همچنین نور خورشید تابیده شده به بدنه بالگرد، سنجنده‌ای به ابعاد 5×5 سانتی‌متر با جنس آلومینیوم به فاصله ۳۰۰ متری در دو زاویه ۹۰ و ۱۸۰ درجه از نوک بالگرد (زوایای بغل و پشت) مورد بررسی قرار گرفته است. فروسرخ جذب شده در سنجنده محاسبه گردیده و در این دو محدوده پشت و بغل مقایسه می‌گردد. شکل ۷ نرخ فروسرخ جذب شده توسط سنجنده در زاویه ۹۰ درجه (محدوده بغل) را نشان می‌دهد.



شکل (۷): نرخ فروسرخ جذب شده توسط سنجنده در زاویه ۹۰ درجه (محدوده بغل)

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود نرخ دریافت فروسرخ در سنجنده ۴۴ وات برمتر مربع بوده که برای سنجنده با مساحت 5×5 سانتی‌متر برابر ۰/۱۱ خواهد بود. برای زاویه ۱۸۰ درجه یا محدوده پشت همین سنجنده را قرار داده و یک بار دیگر محاسبه را انجام می‌دهیم. شکل (۸) میزان دریافت فروسرخ ناشی از آگزوز و دمای حاصل از تابش نور خورشید به بدنه بالگرد را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، نرخ دریافت فروسرخ توسط سنجنده برابر ۲۸ وات برمتر مربع بوده که میزان



شکل (۶): نتایج حاصل از شبیه‌سازی کار حاضر و نتایج منتشر شده در [۷] و با ضریب جذب ۰/۵

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود در حالت ضریب جذب ۰/۲، بیشینه و کمینه دما، در قسمتی از بدنه بالگرد که زیر نور خورشید قرار دارد، به ترتیب ۳۲۲ و ۲۸۲ کلوین است که در مقایسه با نتایج به دست آمده در پژوهش [۷] (۳۰۸ و ۲۸۳ کلوین) دارای خطا ۴٪ می‌باشد.

باتوجه به شکل (۶)، در حالت ضریب جذب ۰/۵، بیشینه و کمینه دما، در قسمتی از بدنه بالگرد که زیر نور خورشید قرار دارد، به ترتیب ۳۲۷ و ۲۸۷ کلوین است که در مقایسه با نتایج به دست آمده در پژوهش [۷] (۳۱۵ و ۲۸۳ کلوین) دارای ۳/۱۸٪ خطا می‌باشد. جدول (۱) بیشینه دما را برای نقاط مختلف بالگرد در دو ضریب جذب ۰/۲ و ۰/۵ نشان می‌دهد.

جدول (۱): بیشینه دما (بر حسب کلوین) در نقاط مختلف بالگرد در دو ضریب جذب مختلف

دم	سر	بدنه تحتانی	بدنه فوقانی	حداکثر دما برای ضریب جذب
۳۱۸	۳۱۸	۳۲۲	۳۲۰	۰/۲
۳۲۳	۳۲۱	۳۲۷	۳۲۶	۰/۵

۲-۴-۲- مشخصه‌های اثر بخش در کاهش تشعشعات

حرارتی بدنه بالگرد

۲-۴-۱- زاویه دید

برای اینکه بتوانیم اثرات جهت‌گیری دو سطح نسبت به هم را در تشعشع بررسی کنیم، پارامتر جدیدی به نام ضریب دید تعریف می‌شود. ضریب دید یک کمیت هندسی بوده و مستقل از ویژگی‌ها و دمای سطح است. ضریب شکل و ضریب زاویه نام‌های دیگری است که به این کمیت گفته می‌شود. مقدار ضریب دید همواره عددی بین صفر و یک است. ضریب دید نقش زیادی در تحلیل انتقال گرما از طریق تشعشع دارد زیرا می‌تواند کسر تشعشع خروجی از یک سطح را که به سطحی دیگر برخورد می‌کند، برحسب جهت‌گیری آن دو سطح نسبت به هم بیان کند.

دریافتی سنجنده برابر با ۰/۰۷ وات خواهد بود.

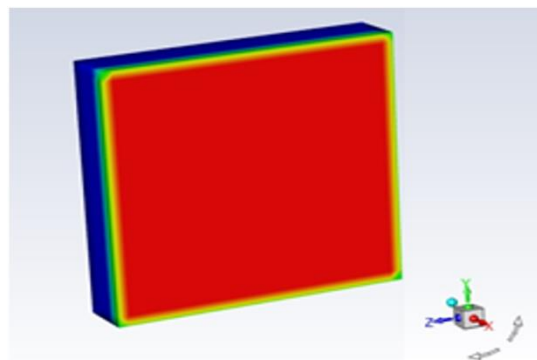
همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌گردد، با تغییر ضریب جذب ناشی از تغییر در رنگ، جنس یا زبری سطح می‌توان میزان انتقال فروسرخ ناشی از تابش خورشید به بدنه بالگرد را تغییر داد. با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که با تغییر زاویه سنجنده نسبت به منبع گرما (بالگرد) نرخ دریافت و میزان دریافت فروسرخ در سنجنده تغییر می‌کند. همان‌طور که مورد انتظار است، در مدل‌سازی پشت میزان فروسرخ دریافتی در سنجنده کمتر از مدلسازی بغل است زیرا ضریب دید در این دو زاویه با یکدیگر متفاوت بوده و لذا میزان دریافت نیز متفاوت است.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیر پارامترهای مؤثر بر تشعشعات فروسرخ حرارتی سطح بدنه بالگردها از طریق مدل‌سازی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور، تأثیرات تابش خورشید و گرمایش آن روی یک بدنه بالگرد روسی و همچنین میزان تشعشع خروجی بالگرد و میزان تشعشع دریافتی توسط سنجنده در زوایای مختلف با استفاده از تکنیک حل معادلات تشعشع در نرم‌افزار Fluent بررسی و تحلیل گردید. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد که با تغییر زاویه بالگرد، ضریب دید بین سنجنده و بالگرد تغییر کرده و در نتیجه میزان تشعشع فی‌مابین نیز تغییر یافته و این تغییرات هم با تغییر ضریب جذب که وابسته به رنگ، جنس و تخلخل سطح است، تغییر می‌کند؛ لذا، برای پنهان ماندن از دید حسگرهای حرارتی دشمن، همه پارامترهای زاویه بالگرد و ضریب جذب می‌بایست لحاظ گردد.

۶- مراجع

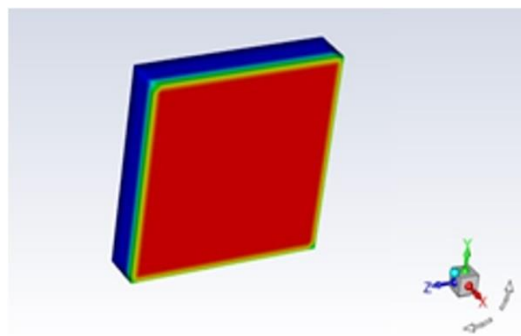
- [1] S. Khazaei, "Remote sensing with an attitude on identification and care," Tehran, Printing and Publishing Institute of Imam Hossein University (AS), 2008 (In Persian)
- [2] A. Talebi, J. Khalilzadeh, Passive defense measures to reduce the infrared effects of military ships. Summer, Passive Defense Quarterly, 2009, 11-17 (In Persian).
- [3] F. Jobin, P. Paradis, Recent developments in lanthanide-doped mid-infrared fluoride fiber lasers, Optica, 2022, vol. 30, pp.8615-8640, <https://doi.org/10.1364/OE.450929>
- [4] S.P. Mahulikar, H.R. Sonawane, G.A. Rao, Infrared signature studies of aerospace vehicles, Progress in Aerospace Sciences, 2007, vol. 43, pp.218-245, <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2007.06.002>
- [5] L. Jianwei, W. Qiang, Aircraft-skin Infrared Radiation Characteristics Modeling and Analysis, Chinese Journal of Aeronautics, 2009, vol. 22, pp. 493-497. [https://doi.org/10.1016/S1000-9361\(08\)60131-4](https://doi.org/10.1016/S1000-9361(08)60131-4)
- [6] A. Talebi, Reducing the infrared effect of the aircraft plume using geometrical changes in the exhaust outlet nozzle", non-active defense scientific-promotional quarterly, 2013, No. 4(12), 37-43 (In Persian).



شکل (۸): نرخ فروسرخ جذب شده توسط سنجنده در زاویه ۱۸۰ درجه (محدوده پشت)

۴-۲-۲- ضریب جذب

تمام اجسام به‌خاطر دمایی که دارند انرژی تابش می‌کنند، این انرژی به فضای اطراف پخش می‌شود. اجسام دیگر مقداری از انرژی ساطع شده را جذب می‌کنند، مثل تابش نور خورشید که در فضا پخش می‌شود، وقتی این تابش به جسمی برخورد می‌کند مقداری از آن بازتاب می‌گردد که این امر باعث دیده‌شدن جسم می‌شود، مابقی نور تابیده شده به جسم، جذب آن می‌شود که این موضوع باعث گرم‌شدن جسم می‌گردد. برای هر جسم ضریب جذب به‌صورت نسبت انرژی تابشی جذب شده توسط یک جسم به کل انرژی تابشی که بر جسم فرود آمده است تعریف می‌شود. ضریب جذب به خصوصیات سطح جسم مانند رنگ، جنس، زبری و ... بستگی دارد. انرژی تابشی که به یک جسم می‌رسد یک طیف پیوسته است که شامل طول‌موج‌های مختلف است. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که انرژی جذب شده توسط جسم برای طول‌موج‌های مختلف متفاوت است. مدل‌سازی در زاویه ۹۰ درجه با تغییر ضریب جذب بدنه بالگرد که می‌توان با تغییر در جنس یا رنگ بدنه به آن رسید انجام شده است [۷] بدین منظور ضریب جذب را برابر ۰/۱۳ در نظر می‌گیریم.



شکل (۹): نرخ فروسرخ جذب شده توسط سنجنده در زاویه ۹۰ درجه در ضریب جذب ۰/۱۳

- [13] R. Laleh, Ramin, M. Salari, Effective parameters in the design of a software for simulating the thermal infrared radiation of a floating body", *Journal of High-Speed Vessel Engineering*, 2013, 41. (In Persian)
- [14] A. Talebi, J. Khalilzadeh, Non-Available Defense Measures in Reducing the Infrared Effects of Military Ships, *Non-Available Defense Quarterly*, 2009, Vol. 2, No. 2 (In Persian)
- [15] B. Pousti, Heat transfer. fourth edition. Tehran, publishing academic books, 2007, 400-426. (In Persian)
- [16] S.H. Yasuh, A. Jabari, Engineering heat transfer. Mashhad, Ferdowsi University of Mashhad, Institute of Printing and Publishing, 2006, Vol. 2, 433-485 (In Persian)
- [17] I. Khushrovan, Heat transfer. Tehran University Publishing Center, 2018, Vol. 2, pp. 297-405 (In Persian)
- [18] S.R. Rafiei Tabatabai, Geothermal solar energy and other clean energy sources. Tehran, Azadeh Publications, 2009, 162-184 (In Persian)
- [7] P. Chengxiong, Z. Jingzhou, S. Yong, Modeling and Analysis of Helicopter Thermal and Infrared Radiation, *Chinese Journal of Aeronautics*, 2011, vol. 24, 558-567. [https://doi.org/10.1016/S1000-9361\(11\)60065-4](https://doi.org/10.1016/S1000-9361(11)60065-4)
- [8] M. Salari, R. Ebrahimi Laleh, Presentation of a computational model for the evaluation of thermal infrared radiation from the hull of ships, the first national conference of technological sciences and naval battle management systems, Ferdowsi University of Mashhad, 2013 (In Persian)
- [9] R. Ebrahimi Laleh, Conceptual design of intelligent software to determine the thermal infrared effect of the hull surface of ship, 2012 (In Persian)
- [10] R. Ebrahimi Laleh, N. Ghasemloo, Calculate Thermal Infrared Intensity of the Hull's Military Ship, *Journal of Geographic Information System*, 2014, vol. 6. <https://doi.org/10.4236/jgis.2014.64029>
- [11] F.P. Lang, H. Wang, Review on variable emissivity materials and devices based on smart chromism, *International Journal of Thermophysics*, 2018, vol. 39. <https://doi.org/10.1007/s10765-017-2329-0>
- [12] M. Salari, S. Khazaei, R. Ebrahimi Laleh, Presentation of a calculation process and analysis on the parameters affecting the thermal infrared radiation of ships' hulls, *Marine Science and Technology*, 2012, No. 60. (In Persian)