

# استخراج توزیع حرارتی و تحلیل تشعشعات مادون قرمز اهداف دریایی

## با استفاده از نرم افزار CST-Mphysics

بیژن ذاکری<sup>۱</sup>، محمدرضا خرمیان<sup>۲</sup>

۱ دانشیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، zakeri@nit.ac.ir

۲ کارشناسی ارشد برق مخابرات، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۵

### چکیده

کاهش تشعشعات مادون قرمز اهداف دریایی نقش مهمی را در پنهان‌مانی آنها بازی می‌کند. در این مقاله برای تحلیل میزان پنهان‌مانی یک شناور خاص، روشی جدید برای محاسبه‌ی خصوصیات مادون قرمز ارائه شده است. تحلیل گرمایی به ما این امکان را می‌دهد که توزیع حرارتی و در نتیجه تشعشعات مادون قرمز در قسمت‌های مختلف جسم ارزیابی شده و نشان داده شود کدام قسمت تشعشع حرارتی بیشتری دارد. ویژگی خاص این مقاله بررسی اثر آب دریا در تشعشعات حرارتی شناور می‌باشد. همچنین منابع اصلی تولید کننده‌ی اثرات مادون قرمز در روی عرشه‌ی شناور مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل عددی بکار رفته، این اجازه را داده‌است که اثرات عواملی مثل گرمای خورشید، بازتابش و کلاتر سطح دریا استخراج شود. در ادامه این تحقیق نتایج تست‌های میدانی یک شناور خاص با استفاده از دوربین حرارتی ارائه گردید. آزمایشات در دو حالت اصلی روز و شب انجام گرفت و تشعشع خورشید و میزان بازتابش از سطوح مختلف جسم استخراج و با نتایج شبیه سازی تطبیق داده شد.

### کلیدواژه

اثرات مادون قرمز، تحلیل عددی، تکنولوژی پنهان سازی

### مقدمه

ارتفاع، مواد سازنده و ویژگی‌های پوشش خارجی‌ای که برای محافظت و استتار استفاده شده می‌باشد. افزون بر این، تشعشع گرمایی یک شناور از روی تفاوت گرمایی بین شناور و پس زمینه اش مشخص می‌شود. در نتیجه این خصوصیات را می‌توان با کنترل دما و جهتی که امواج مادون قرمز منتشر می‌شود، کاهش و یا بهبود داد [۳-۵]. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به پوشاندن شکاف‌ها یا هر قسمت دیگر از بدنه شناور با رنگ‌ها و مواد خاص و قرار دادن شکاف‌ها و بدنه‌های اصلی<sup>۱</sup> در گوشه‌ها و مکان‌های خاص شناور نام برد. همچنین مکان قرارگیری دوربین حرارتی بخصوص ارتفاع از سطح دریا، جهت مشاهده و فاصله‌ی شناور تا دوربین فاکتورهای کلیدی هستند که آشکارسازی شناور در بازه فرکانسی مادون قرمز را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۶-۷].

برای پیش بینی میزان تشعشع مادون قرمز یک جسم لازم است که در ابتدا به بررسی ویژگی‌های گرمایی شی مورد نظر پرداخته شود. برای اینکه نتایج دقیقی بدست آیند و تا جای ممکن به

امنیت یک شناور دریایی به میزان آشکار نبودن آن بستگی دارد. با پیدایش سنسورهای مدرن الکترومغناطیسی و حرارتی مسئله‌ی آشکارسازی به مسئله بسیار مهمی تبدیل شده است. همه‌ی اهداف با دمای بیشتر از صفر کلونین دارای تشعشعات حرارتی می‌باشند که از طریق هوا پخش می‌شوند. این امواج از طریق سنسورهایی دریافت می‌شوند که می‌توانند به تهدیدی برای آنها تبدیل شوند [۱].

تشعشع حرارتی یا مادون قرمز یک شناور دو منبع اساسی دارد. منابع داخلی بوجود آورنده اثر مادون قرمز، شامل موتور، دودی که از آگزوز آن خارج می‌شود، ژنراتورهای الکتریکی و گرمای بازتاب یافته از فضای داخلی شناور است. منبع خارجی همان سطح شناور است که تشعشع تولید شده توسط خورشید، آسمان و دریا را بازتاب می‌دهد [۲].

تحقیقاتی زیادی در زمینه‌ی کاهش قابلیت دیده شدن یک شناور در طیف مادون قرمز انجام شده است. آشکارسازی و شناسایی یک شناور بر اساس ویژگی حرارتی و گرمایی‌اش تابعی از اندازه و

۱ Superstructure

در رابطه‌ی فوق، A نشان دهنده‌ی مساحت ناحیه‌ی در حال تشعشع است. همچنین منظور از ZR این است که اثر اتمسفر در نظر گرفته نشده است. در رابطه‌ی بالا  $N_{ZR}$  توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$N_{ZR} = \int \frac{\varepsilon W_{\lambda}^{bb}(\lambda)}{\pi} d\lambda \quad (3)$$

در رابطه فوق،  $\varepsilon$  نشان دهنده‌ی نسبت تشعشع منبع به تشعشع جسم سیاه در همان دما است و  $W_{\lambda}^{bb}$  نشان دهنده‌ی طیف تشعشعی جسم سیاه است که به توزیع دمای جسم روی سطح وابسته است و با رابطه‌ی زیر نشان داده می‌شود [۱۱].

$$W_{\lambda}^{bb} = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \quad (4)$$

که در آن  $C_1$  و  $C_2$  به ترتیب برابر  $3.741 \times 10^{-16}$  و  $1.439 \times 10^{-2}$  هست. بخشی از انرژی ورودی به سطح جسم، موجب جنبش مولکولی و در نتیجه افزایش انرژی درونی گرمایی آن می‌شود. انرژی گرمایی داخل جسم با معادلات مشتقات جزئی و توسط رابطه زیر نشان داده می‌شود [۱۱].

$$\rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \cdot \nabla T) = Q \quad (5)$$

در رابطه فوق، Q انرژی گرمایی ذخیره شده بر حسب ژول،  $C_p$  ظرفیت گرمایی،  $\rho$  دانسیته و k هدایت گرمایی است. برای تحلیل گرمایی جسم نیاز به مش بندی سطح جسم به N بخش است. تابش ورودی به سطح، با E بر حسب  $W/m^2$  و بازتابش با M بر حسب  $W/m^2$  در رابطه (۶) نشان داده شده است [۱۲-۱۳].

$$\alpha_{e,n} \frac{\partial T_n}{\partial t} = E_{abs}^n(T_n, t) - M_{lost}^n(T_n, t) - Q_{cond}^n(T_n, t) \quad (6)$$

در رابطه (۶)  $\alpha_{e,n} = \rho_n C_{p,n} e_n$  به ترتیب نشانگر دانسیته، ظرفیت گرمایی و پهنای هر قسمت ماده سازنده مش بندی یا n است.  $E_{abs}^n(T_n, t)$  تابشی است که توسط هر n جذب شده است.  $M_{lost}^n(T_n, t)$  انرژی هدر رفته از هر قسمت n توسط خود تشعشعی<sup>۷</sup> و کنوکسیون<sup>۸</sup> و  $Q_{cond}^n(T_n, t)$ ، تغییرات شار گرمایی ورودی در هر قسمت n به خاطر هدایت گرمایی است.

### تحلیل شناور در تحلیلگر عددی حوزه زمان

طرح کلی در نظر گرفته شده، یک شناور با تجهیزات نظامی است که در محدوده‌ی جغرافیایی ۱۵ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته است. دمای هوا و آب دریا بین ۲۵ تا ۳۰ درجه اندازه‌گیری شده و شرایط جوی صاف و آفتابی در نظر گرفته شده و سرعت باد برای مدل در نظر گرفته شده  $10/9 \text{ km/h}$  اندازه‌گیری شده است. شکل

واقعیت نزدیک باشند باید مسائل گوناگونی مثل شرایط تولید و انتقال گرما را در نظر گرفته شده و به اطلاعات مختلف مترولوژیکی، جغرافیایی و زمانی برای شبیه سازی پس زمینه‌ی نظامی شناور نیاز است. در شبیه سازی IR ویژگی‌های فیزیکی هدف از قبیل شکل سه بعدی، ویژگی‌های نوری سطح، سرعت و مسیر حرکت در مشخص کردن خصوصیات شناور جزء عناصر کلیدی هستند [۸-۹].

در این مقاله برای اولین بار اثر مادون قرمز یک شناور در طول موجهای ۳-۵ و ۸-۱۲ میکرومتر و تحلیل گرمایی آن با در نظر گرفتن حرکت خورشید در طول یک شبانه روز به کمک نرم افزار CST-MPhysics استخراج شد. همچنین نتایج تست محیطی در شرایط واقعی دریا و در بازه‌های زمانی صبح، ظهر و شب ارائه گردید. در بخش بعد تئوری و عوامل انتقال گرما ارائه و در مورد روش‌های محاسبه‌ی شدت تشعشع بحث می‌شود. شکل و ساختار کلی جسم مورد نظر مشخص شده و نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و شبیه سازی و همچنین نتایج بدست آمده از تست میدانی ارائه می‌شوند.

### تئوری و پارامترهای انتقال گرما

هر جسم ماکروسکوپی که دمایش بیشتر از صفر کلوین (-۲۷۳ درجه سانتیگراد) باشد پرتوهای مادون قرمز تشعشع می‌کند. دانسیته‌ی انرژی برای یک جسم سیاه کامل در دمای T با رابطه‌ی توزیع انرژی پلانک<sup>۲</sup> بصورت زیر داده می‌شود [۱۰]:

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{\{\exp[\frac{h\nu}{kT}] - 1\}} \quad (1)$$

قانون جابجایی استفان-بولتزمن<sup>۳</sup> و وین<sup>۴</sup> از روابط  $P = \varepsilon \sigma T^4 A$  و  $\lambda_{max} T = 2.97 \times 10^{-3}$  پیروی می‌کند. در روابط بالا  $\nu$  فرکانس بر حسب Hz، c سرعت نور، h ثابت پلانک، kT انرژی گرمایی، P توان،  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$  بر حسب  $\frac{W}{m^2 k^4}$  ثابت استفان-بولتزمن، A مساحت،  $\lambda$  طول موج و  $\varepsilon$  قابلیت انتشار<sup>۵</sup> است. قانون وین می‌گوید که بیشینه طیف توان برای یک جسم سیاه در دمای اتاق در طول موج  $10 \mu\text{m}$  است.

به منظور محاسبه و ارزیابی خصوصیات مادون قرمز، جسم به صورت جسم خاکستری در نظر گرفته شده است. شار بازتاب یافته متناسب با کسینوس زاویه‌ی بین تابش ورودی و بردار نرمال سطح است. رابطه ابتدایی برای محاسبه‌ی شدت تشعشع به صورت زیر نشان داده شده است.

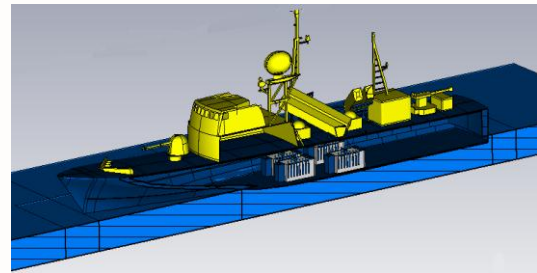
$$J_{ZR} = \int N \hat{n} \cdot \vec{d}(\theta, \varphi) dA \quad (2)$$

2 Max Planck  
3 Stefan boltzmann  
4 Wilhelm Wien  
5 Emissivity

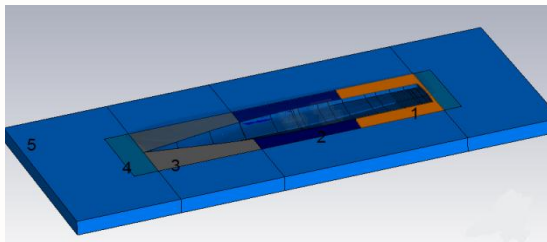
(۱) طرح سه بعدی استفاده شده برای شبیه سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. اختصاص پارامترهای گرمایی به آب دریا

| Thermal capacity (KJ/K/Kg) | Conductivity (W/K/m) | دما (k) | بخش             |
|----------------------------|----------------------|---------|-----------------|
| 4.184                      | 0.650                | 330     | بدنه اصلی       |
| 4.182                      | 0.645                | 325     | موتور ۱۶ سیلندر |
| 4.178                      | 0.628                | 310     | اگزوز           |
| 4.178                      | 0.620                | 305     | بدنه شناور      |
| 4.179                      | 0.613                | 300     | آب دریا         |



شکل ۱. طرح کلی استفاده شده در شبیه سازی

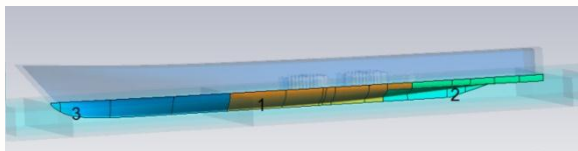


شکل ۳. طرح کلی در نظر گرفته شده برای شبیه سازی آب دریا

قسمت بعدی مربوط به طراحی آبخور شناور است. چون تخصیص پارامترهای گرمایی به آب تابعی از دمای آن می‌باشد، در شبیه سازی سطوح تماسی آب دریا با آبخور شناور به خاطر تفاوت دمای آب در قسمت های مختلف، پارامترهای گرمایی متفاوتی را در نظر گرفته شده است. بدنه آبخور شناور هم با توجه به دوری یا نزدیکی به منابع حرارتی داخلی دارای توزیع حرارتی متفاوتی می باشند. پارامترهای اختصاص یافته به بدنه آبخور شناور و طرح کلی مور نظر برای آن به ترتیب مطابق جدول شماره (۲) و شکل شماره (۴) است [۱۶-۱۴]. در جدول شماره ۲ قابلیت تشعشع، همرفتی و هدایت گرمایی نشان داده شده است. سطح آبخور شناور از جنس استیل در نظر گرفته شده است. شماره های ۱ تا ۳ در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول ۲. پارامترهای گرمایی اختصاص یافته به سطح آبخور شناور

|              | قسمت ۱ | قسمت ۲ | قسمت ۳ |
|--------------|--------|--------|--------|
| Emissivity   | 0.075  | 0.075  | 0.075  |
| Convection   | 30     | 25     | 25     |
| Conductivity | 65.2   | 65.2   | 65.2   |

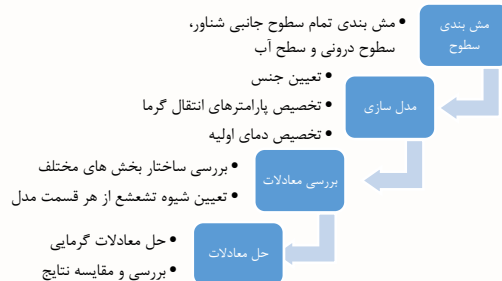


شکل ۴. طرح کلی در نظر گرفته شده برای آبخور شناور

بدنه شناور از دو قسمت پوسته‌ی داخلی و پوسته‌ی خارجی تشکیل شده است. پوسته‌ی داخلی در تبادل مستقیم با هوای موتورخانه و پوسته بیرونی در تبادل حرارتی مستقیم با هوای بیرون شناور و تابش خورشید می باشد. پارامترهای اختصاص یافته

برای مدل کردن و استخراج نتایج صحیح نیاز است چهار مرحله زیر طی شود (مطابق شکل شماره (۲)):

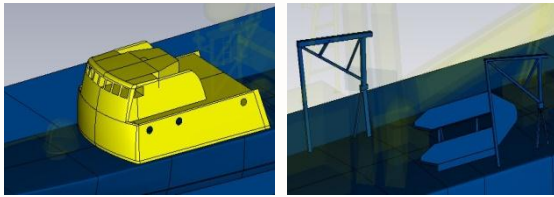
- ۱- مش بندی سطح شناور.
- ۲- مدل کردن محیط از قبیل دریا و آسمان.
- ۳- بررسی معادلات انتقال گرما برای هر قسمت از سطح مش بندی شده با در نظر گرفتن اثر اتمسفر، باد، نور خورشید خورشید، خود تشعشعی مواد سازنده و هدایت گرمایی.
- ۴- حل کردن معادلات برای بدست آوردن دمای هر قسمت از سطح مش بندی شده.



شکل ۲. فلوچارت کلی مدل سازی و استخراج نتایج

در ابتدا باید قسمت های مختلف روی یک شناور را مشخص نمود. مهمترین اجزای یک شناور شامل بدنه اصلی، موتور ۱۶ سیلندر، اگزوز، بدنه شناور و آب دریا می باشند. آب دریا نقش عمده‌ای در تبادل حرارتی سطوح زیرین شناور ایفا می‌کند. برای آب دریا در شبیه سازی ۲/۵ متر ارتفاع، ۳۰ متر عرض و ۷۵ متر طول در نظر گرفته شده است. تخصیص پارامترهای گرمایی به پنج بخش مشخص شده مطابق جدول شماره (۱) می باشد [۱۶-۱۴]. در این جدول هدایت گرمایی و ظرفیت گرمایی نشان داده شده است. طرح در نظر گرفته شده در نرم افزار برای قسمت های مختلف آب دریا مطابق شکل شماره (۳) است.

شکل (۷) برخی از بدنه های طراحی شده در نرم افزار را نشان می دهد.



شکل ۷. طرح کلی در نظر گرفته شده برای برخی از سوپراستراکچرها

منابع اصلی داخلی تولید کننده مادون قرمز، اجزای روی عرشه ی شناور از جمله موتورها و ژنراتورهای الکتریکی می باشند. جدول (۵) اجزای بدنه اصلی و پارامترهای گرمایی اختصاص یافته به آنها را نشان می دهد.

به سطح داخلی شناور مطابق جدول شماره (۳) می باشد [۱۶-۱۴]. طرح بدنه اصلی در محیط نرم افزار به صورت شکل (۵) در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. پارامترهای گرمایی اختصاص یافته به بدنه ی شناور

|       |       |                          |
|-------|-------|--------------------------|
| 0.075 |       | Emissivity               |
| Day   | Night |                          |
| 10    | 5     | Convection ( $W/m^2/k$ ) |
| 65.2  |       | Conductivity ( $W/k/m$ ) |



شکل ۵. طرح کلی در نظر گرفته شده برای شبیه سازی بدنه

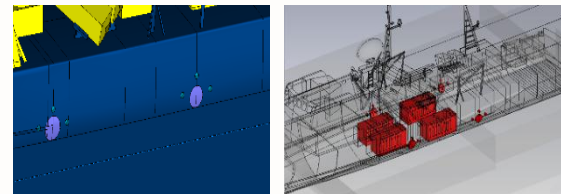
جدول ۵. اختصاص پارامترهای گرمایی به برخی از سوپراستراکچرها

| پارامترها                |  | کابین |       | قایق تجارت |
|--------------------------|--|-------|-------|------------|
| Emissivity               |  | 0.07  |       | 0.075      |
| Convection ( $W/m^2/k$ ) |  | Day   | Night | Day        |
| Conductivity ( $W/k/m$ ) |  | 10    | 5     | 10         |
|                          |  | 273   |       | 65.2       |

تبادل حرارتی پوسته بیرونی در شب کمتر از روز می باشد به همین دلیل ضریب همرفتی کمتری برای آن در شب در نظر گرفته شده است. گازهای تولید شده موتور توسط اگزوز خارج می شود. علاوه بر این این هر موتور توسط سیستم خنک کننده ی آب سرد می شود. در طراحی ۴ عدد موتور، ۴ عدد اگزوز و ۱۲ عدد خروجی آب در نظر گرفته می شود. شکل (۶) طرح کلی در نظر گرفته شده برای موتور و خروجی آب را نشان می دهد. تخصیص دما به قسمت های گفته شده مطابق جدول (۵) می باشد [۱۶-۱۴].

### نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج وابسته به تحلیل گرمایی و مادون قرمز یک شناور در طول موجهای ۳-۵ و ۸-۱۲ میکرو متر ارائه شده است. شکل (۸) توزیع تشعشعی روی شناور را در زمان های مختلف در یک شبانه روز نشان می دهد. شکل ۸ (الف) نشان دهنده توزیع حرارتی یک شناور در هنگام صبح می باشد. با توجه به نتایج ارائه شده، می توان به راحتی دمای قسمت های مختلف را در هنگام صبح با یکدیگر مقایسه کرد. شکل ۸ (ب) توزیع حرارتی را در هنگام ظهر نشان می دهد. با مقایسه با شکل قبلی می توان پی برد که تابش خورشید در بازه ی زمانی بین صبح تا ظهر باعث افزایش دمای قسمت های مختلف شناور شده است. شکل ۸ (ج) نیز توزیع حرارتی یک شناور در هنگام شب را نشان می دهد. با توجه به این شکل می توان فهمید کاهش دما در هنگام شب روی توزیع دمایی قسمت های مختلف شناور تأثیر زیادی گذاشته است.



شکل ۶ الف- موتور ب- خروجی آب

با مقایسه سه شکل بالا می توان دریافت که در یک شبانه روز با افزایش دما میزان انرژی منتشر شده از یک جسم افزایش می یابد به همین دلیل است که در هنگام ظهر، رنگ ها در شکل (ب) به سمت تیره تر شدن پیش رفته و رنگ های قرمز، زرد و سفید که بیانگر دماهای بالا می باشند بیشتر دیده می شوند ولی در شکل های (الف) و (ج) رنگ های بنفش، آبی و سبز که بیانگر دماهای کمتر می باشند قسمت بیشتری از شکل ها را در بر گرفته اند.

جدول ۴. دمای اجزای نشان داده شده در بالا

| بخش مورد نظر    | دما (k) |
|-----------------|---------|
| موتور           | 330     |
| گاز خروجی اگزوز | 533     |
| آب خروجی        | 350     |

سازه ها و ساختارهای روی شناور در روز در معرض تابش مستقیم نور خورشید می باشند. در نتیجه قابل انتظار هست که افزایش دمای قابل توجهی برای آنها رخ دهد. بنابراین ضریب همرفتی بزرگتری در روز نسبت به شب برای آنها در نظر گرفته می شود.

جدول ۶. شرایط انجام آزمایش

| بیشترین فاصله تا دوربین | کمترین فاصله تا دوربین | سرعت شناور | زمان      |
|-------------------------|------------------------|------------|-----------|
| 2.5Km                   | 500m                   | 10.9Km/h   | 11:30     |
| سرعت باد                | رطوبت                  | دمای آب    | دمای محیط |
| 11Km/h                  | 68%                    | 27°C       | 29°C      |

تشعشع حرارتی یک شناور را باید با در نظر گرفتن دمای محیط پیرامون شناور که آن را زمینه‌ی محیطی می‌نامند محاسبه کرد. برای آنکه شناور با وضوح بیشتری در تصویر برداری حرارتی نشان داده شود باید نسبت به زمینه‌ی محیطی آن تضاد حرارتی داشته باشد. به همین دلیل پیاده سازی انواع روش های کاهش تشعشعات حرارتی در شناور، تابعی از دمای زمینه محیطی می باشد. به این ترتیب در شب که دمای محیطی کمتر است کاهش تشعشع مادون قرمز در سطح بالاتری مورد نیاز خواهد بود تا تضاد حرارتی بین شناور و زمینه آن زیاد نشود. در یک تست میدانی مشابه که هم در روز و هم در شب انجام شد می توان تفاوت در میزان تشعشع انتشار یافته را به خوبی مشاهده کرد. تفاوت موجود در دو شکل زیر به خاطر وجود نور خورشید در طول روز و گرم شدن زیاد شناور در آن زمان است. تصویر توسط دوربین حرارتی سرد شونده‌ی ۵-۳ میکرومتر IRCAM3 گرفته شده است. در شکل (۹) و در قسمت (الف) تصویر IR یک شناور در روز و در قسمت (ب) تصویر IR همان شناور در شب نشان داده شده است.



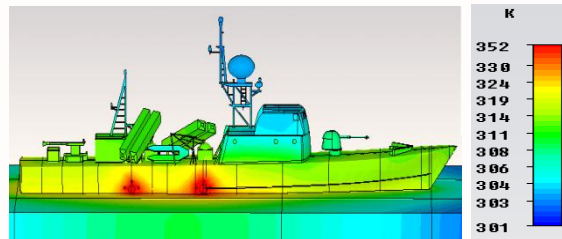
(الف)



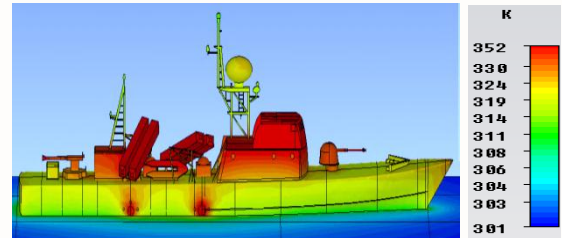
(ب)

شکل ۹. (الف) - تصویر گرفته شده از شناور در فاصله ۵۰۰ متری در هنگام روز (ب) - تصویر گرفته شده از شناور در فاصله‌ی ۵۰۰ متری در هنگام شب

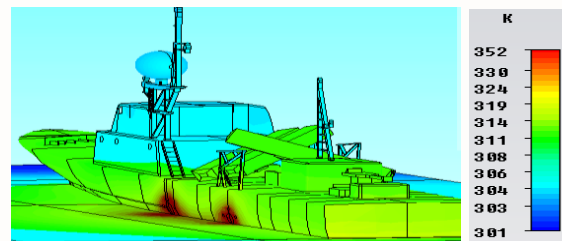
در هر دو حالت گفته شده در بالا شرایط بیرونی از قبیل تشعشع پس زمینه می تواند بر نتیجه‌ی تحلیل گرمایی بدست آمده به طرق مختلف تاثیر بگذارد و نتایج متفاوتی بدست آید. منابع اصلی



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۸. توزیع تشعشعی روی شناور در زمانهای مختلف. (الف) - در هنگام صبح (ب) - در هنگام ظهر (ج) - در هنگام شب

### اندازگیری میدانی

دوربین‌های حرارتی یا اسپکترومترها برای اندازه گیری تشعشع مادون قرمز از سطوح مختلف با ویژگی های تشعشعی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در طول شرایط خاص مشاهده‌ی شناور در دریا، تشعشعی که از سطح شناور به دوربین حرارتی می رسد از سه منبع اصلی ناشی می شود که عبارتند از: خود تشعشعی گرمایی ساختارهای روی شناور، بازتاب تابش از آسمان به سطح شناور و بازتاب تابش از سطح دریا به سطح شناور. علاوه بر خودتشعشعی دو عامل دیگر یاد شده نیز بسیار مهم هستند چون هم دریا و هم آسمان از نظر وسعت، بسیار بزرگ می باشند و در نتیجه بسیاری از اجزا و المانهای روی شناور تابش آنها را به سمت دوربین حرارتی بازتاب می‌کنند.

مقادیر لحظه ای تشعشعات از اجزای مختلف شناور وابسته به شکل و فرم کلی آن، زاویه‌ی مشاهده‌ی هدف و قابلیت انتشار شی مشاهده شده توسط دوربین حرارتی است. شرایط تست میدانی IR انجام شده در روز مطابق جدول (۷) می‌باشد.

متر نشان داد که تطبیق مناسبی بین نتایج شبیه سازی و اندازه گیری وجود دارد. این تحقیق نشان داد که بر اساس نتایج شبیه سازی می توان بهترین طرح را در فضای عددی حوزه زمان پیاده سازی کرد و یک شناوری با حداقل سیگنال آشکارسازی طراحی نمود.

### قدر دانی

نویسندگان این مقاله لازم می دانند تا از آقای امین گرجی بندی که نقش کلیدی و بسزایی در کلیه مراحل مدل سازی و شبیه سازی نرم افزار CST-Mphysics به همراه تحلیل نتایج تست های میدانی ایفا کرده است قدردانی نمایند.

### مرجع ها

- [1] I. Jeffery, B. Brooking, "A survey of New Electromagnetic Stealth Technologies," presented at 21<sup>st</sup> Century Combatant Technology Symposium, 27-30 January 1998.
- [2] J. Thompson, D. Vaitekuras, A. M. Birk, "IR Suppression of Modern Naval Ships," presented at 21<sup>st</sup> Century Combatant Technology Symposium, 27-30 January 1998.
- [3] Milewski S., Dulski R., Kastek M., Trzaskawka P., Barela J., Firmanty K., "Coating masking in near, medium and far used for camouflage," Proc. of SPIE, 8185, 81850V, 2011.
- [4] Dulski R., Madura, H., Piątkowski, T., Sosnowski, T., "Analysis of a thermal scene using computer simulations," Infrared Physics & Technology 49, 257-260, 2007.
- [5] Holst G. C., "Electro-optical Imaging System Performance" JCD Publishing, 1995.
- [6] Dulski R., Powalisz P., Kastek M., Trzaskawka P., "Enhancing image quality produced by IR cameras," Proc. of SPIE, 7834, 783415, 2010.
- [7] Sosnowski T., Bieszczad G., Madura H., Kastek M., "Digital image processing in high resolution infrared camera with use of programmable logic device," Proc. of SPIE, 7660, 78380, 2010.
- [8] Fabian D. Lapiere, Marc Acheroy, "Performance enhancement and validation of the open-source software for modeling of ship infrared signatures (OSMOSIS)," Journal of Computational and Applied Mathematics 234, 2010, 2342 – 2349.
- [9] D.A. Vaitkunas, W. R. Watkins, D. Clement, W.R. Reynolds, Validation of SHIPIR, "methodology and results, in: targets and backgrounds: characterization and representation XII, vol. 6239, SPIE, 2005.
- [10] Daniel P. Sheehan, "cloaking, stealth, and the second law of thermodynamics," Entropy 2012, 14, 1915-1938.
- [11] Yunus Çengel, Michael A. Boles, "Thermodynamics – An Engineering Approach", 8th edition, 2015 McGraw-Hill Pub.
- [12] F. Lapiere, J.-P. Marcel, M. Acheroy, "Design of an infrared ship signature simulation software for general emissivity profiles," in: 2<sup>nd</sup> International IR Target, Background Modelling & Simulation (ITBMS) Workshop, Ettlingen, Germany, 2006.

تولید کننده ی IR در شکل (۱۰) و در قسمت (الف) نشان داده شده است. این منابع نقش اصلی را در تولید اشعه مادون قرمز در یک شناور را ایفا می کنند. در شکل (ب) تصویر IR شناور در فاصله ی ۵۰۰ متری نشان داده شده و همان طور که مشخص است خروجی آب و آگروز به صورت بسیار برجسته نمایان شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. (الف) - منابع اصلی تولید کننده ی IR (ب) - تصویر IR شناور در فاصله ی ۵۰۰ متری

گاز خروجی آگروز، آب خروجی سیستم خنک کننده، هواکش موتور و درب خروج پرسنل در مجموع بیشترین تشعشع مادون قرمز را از خود نشان می دهد. گازهای داغ خارج شونده از آگروز در شکل فوق عمدتاً از دی اکسید کربن و بخار آب تشکیل شده است و در طیف باریکی از طول موج از ۴/۱ تا ۴/۶ میکرومتر تشعشع دارد که بخشی از آن توسط اتمسفر جذب می شود و بخشی دیگر می تواند تا نزدیک به ۱۰ کیلومتر پیش رود و این همان بخشی است که به رادارهای حرارتی می رسد و موجب شناسایی شناور از این فاصله می شود.

### نتیجه گیری

مشخص کردن مشکلات اثرات مادون قرمز و انتخاب موثرترین راه برای کاهش این اثرات می تواند بسیار مشکل باشد. تکنیک های مدل کردن کامپیوتری به سطوحی بسیار پیچیده و دقیق پیشرفت کرده است به طوریکه به کمک آن می توان به بررسی جنبه های مختلف خصوصیات IR پرداخت و اگر به درستی انجام شود این توانایی را دارد که در بهینه سازی خصوصیات یک شناور کمک نماید. تحلیل انجام شده توسط ماژول انتقال گرما در نرم افزار CST Mphysics برای آنالیز و مدل کردن مسائل پیچیده همانند کاری که در این مقاله صورت گرفته، مناسب می باشد. نتایج تست میدانی با دوربین های حرارتی باند طول موج ۳-۵ و ۸-۱۲ میکرو

- [13] F. Lapierre, R. Dumont, A. Borghgraef, J.-P. Marcel, M. Acheroy, "OSMOSIS: An open-source software for modelling of ship infrared signature," in: 3<sup>rd</sup> International IR Target, Background Modelling & Simulation (ITBMS) Workshop, Toulouse, France 2007.
- [14] Handbook of Chemistry and Physics, Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio.
- [15] Thermal Radiation Properties Survey, Honeywell Research Center.
- [16] [www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com)