

بررسی گسترش حریق و دود در فرایند طراحی شناورها و زیرسطحی ها و لزوم بهره گیری از یک نرم افزار بومی مناسب در این زمینه

فرهاد نامدار^۱

Fnamdar2012@Yahoo.com

۱- عضو هیات علمی دانشگاه دریایی امام خمینی^(ه) نوشهر

چکیده

چنانچه بتوان به سرعت و با دقت، گسترش دود و حریق را در شناورها و زیردریایی ها پیش بینی نمود می توان مأموریت محوله را به نحو مطلوب تری به انجام رساند. بنابراین در فرایند طراحی اولیه شناورهای نظامی و زیرسطحی ها بایستی بتوان بگونه ای گسترش حریق و دود را شبیه سازی نمود. شبیه سازی گسترش حریق و دود کمک می کند که چیدمان کمپارتمانها را بهینه نمود. همچنین نوع سیستم تهویه بکار گرفته در شناورهای نظامی و زیرسطحی بایستی متاثر از شبیه سازی صورت گرفته در فرایند طراحی باشد. به همین علت در این مقاله چگونگی شبیه سازی گسترش حریق در کمپارتمانها و لزوم بهره گیری از یک نرم افزار بومی در این زمینه مورد بررسی قرار می گیرد. معمولا از یک مدل شبکه ای برای شبیه سازی دود و حریق بهره گرفته می شود. شبکه شبیه سازی دود شامل مواردی از جمله انتقال حرارت (تشعشی، هدایتی)، کشف حریق، اطفاء حریق و یک سیستم کنترلی ساده می باشد.

واژگان کلیدی

شبیه ساز حریق، گسترش حریق، گسترش دود، اطفاء حریق

۹۱/۶/۱۶

تاریخ دریافت مقاله :

۹۱/۸/۲۳

تاریخ پذیرفته شدن مقاله :

۱- مقدمه

امروزه بررسی گسترش حریق و دود در شناورهای نظامی و زیردریایی ها از موضوعات مورد علاقه طراحان می باشد. حریق می تواند ناشی از حمله دشمن، خطای انسانی و یا تصادفات باشد. یکی از پیچیده ترین موضوعات در بحث جانمایی عمومی شناورها و زیردریایی ها چیدمان راهروها، مسیرهای فرار، دربها و هچها است که این امر بایستی با یک دقت بسیار بالا صورت پذیرد. ایجاد حریق و گسترش دود در شناورهای نظامی و زیرسطحی ها از محتمل ترین اتفاقاتی است که اینگونه شناورها در طول دوره سرویس دهی خود با آن روبرو هستند.

برای اینکه بتوان به یک جانمایی عمومی مناسب در طراحی شناورها و زیرسطحی ها دست یافت، شایسته است که در فرایند طراحی موضوع گسترش حریق و دود به عنوان یک گلوگاه طراحی در شناورهای نظامی و زیر سطحی ها به آن نگریده شود.

در حال حاضر روشهای مختلفی برای محاسبه اثرات حریق بر روی شناور و خدمه آن وجود دارد. معمولاً روشهای موجود برای بررسی سناریوی حریق در یک کمپارتمان می باشد. بنابراین بایستی بتوان از این روشها جهت بررسی حریق و انتشار آن در چندین کمپارتمان بهره گرفت. بنابراین استفاده از مدل‌های منطقه ای جهت بررسی انتقال حرارت، تهویه و خنک سازی محیط توصیه می شود که این موضوع با بهره گیری از دینامیک سیالات محاسباتی انجام می گردد.

در سال ۲۰۰۱ ویلیام و همکاران [۱] از یک مدرسه کنترل صدمات با چندین کمپارتمان نسبت به بررسی انتشار حریق و دود پرداختند. در سال ۲۰۰۳ فلویید و همکاران [۲] در خصوص شبکه شبیه‌ساز حریق بر روی شناورها تحقیق نمودند و یک سند توسعه به همراه الزامات مورد نیاز برای آن ارائه نمودند. در سال ۲۰۰۳ بک و همکاران [۳] تحقیقاتی در خصوص پیش‌بینی گسترش حریق ناشی از انفجار سلاح بر روی شناورها انجام دادند.

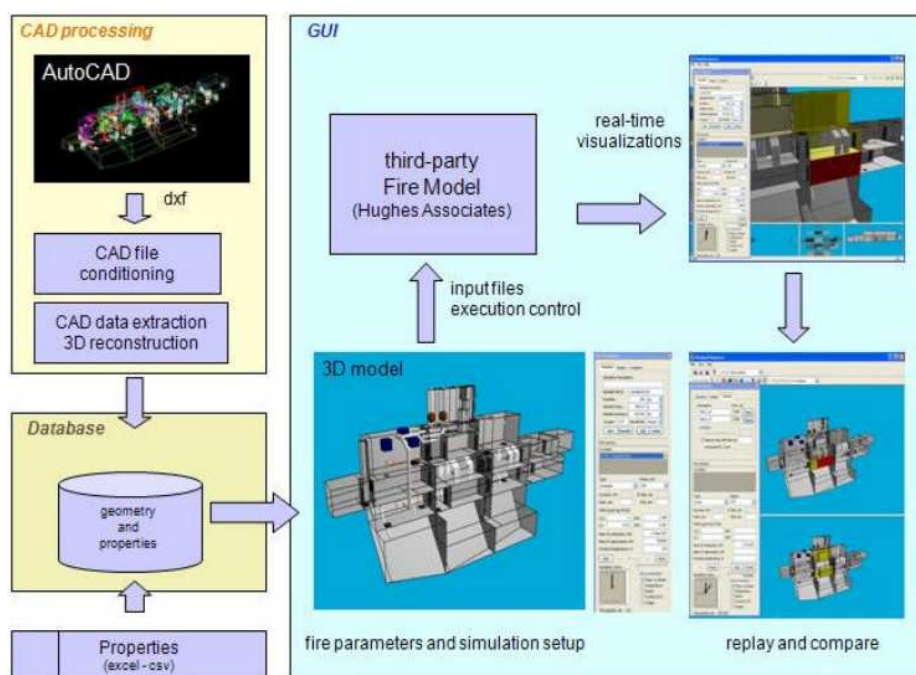
جهت پیش‌بینی سریع گسترش حریق نرم‌افزاری توسط گرگ و همکاران تهیه شده است. این نرم‌افزار می‌تواند در اطفاء حریق به کارکنان شناور کمک شایانی بکند. همچنین توسط این نرم‌افزار می‌توان سناریوهای مختلف حریق را برای آموزش کارکنان ایجاد نمود. شکل گرافیکی این نرم‌افزار در شکل (۱) آورده شده است. فعالیت تحقیقاتی این گروه در لابراتوار دریایی دانشگاه میسی‌سی‌پی انجام گرفته است.



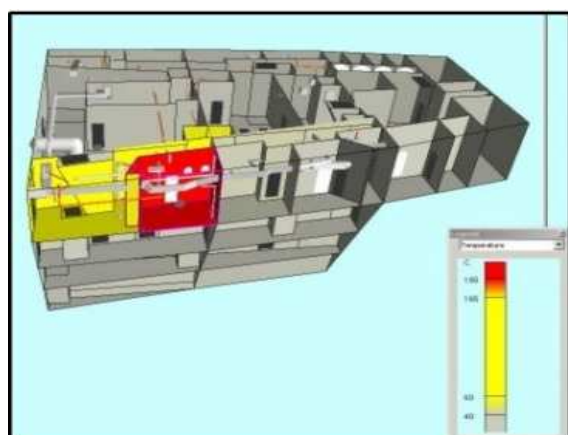
شکل (۱) صفحه ارتباط کاربر با نرم افزار

در ابتدا برای اینکه بتوان یک روش مناسب برای نشان دادن حریق در شناور نشان داد نیاز است که بتوان شکل سه بعدی بدنه شناور را شبیه‌سازی نمود. ابتدا جانمایی دو بعدی شناور را می‌توان به کمک یکی از نرم‌افزارهای CAD/CAM تولید و سپس به صورت سه بعدی شبیه‌سازی نمود به گونه‌ای که کلیه سطوح و حجم‌ها به درستی مدل‌سازی گردند. سپس می‌توان فرایند شبیه‌سازی را مطابق شکل (۲) پیاده‌سازی نمود: به صورت نمونه نتایج حاصل از تحقیقات بدست آمده از نرم افزار را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود:

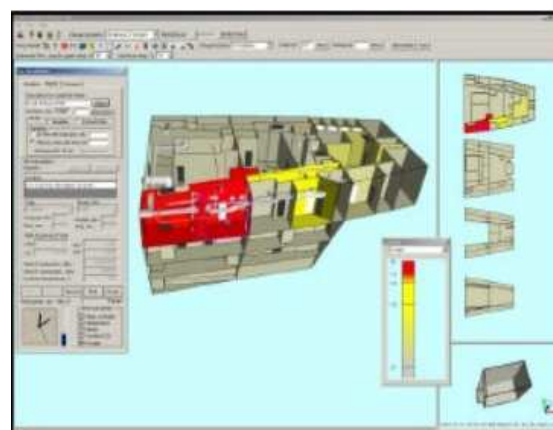
در طی ۱۰ دقیقه که فقط در یک محل حریق اتفاق افتاده است می‌توان تجمع اکسیژن را در شکل (۳) مشاهده نمود. مقدار تجمع اکسیژن بالاتر و برابر با ۲۱٪ با رنگ خاکستری، بین ۱۵٪ تا ۲۱٪ با رنگ زرد پر رنگ، بین ۱۳٪ تا ۱۵٪ با رنگ زرد کم رنگ، بین ۱۲٪ و ۱۳٪ با رنگ زرد و قرمز و زیر ۱۲٪ با رنگ ۱۲٪ نشان داده شده است. همچنین توزیع حرارت را در کمپارتمان های مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۲) اجزاء سیستم شبیه سازی



شکل (۴) نمایش حرارت در کمپارتمانهای مختلف



شکل (۳) شکل گرافیکی تجمع اکسیژن

در طراحی شناورهای رزمی آینده نیاز است که بتوان الگوی شبیه ساز حریق را در فرایند طراحی در نظر گرفت.

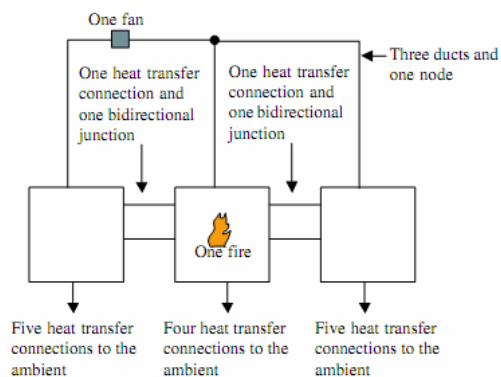
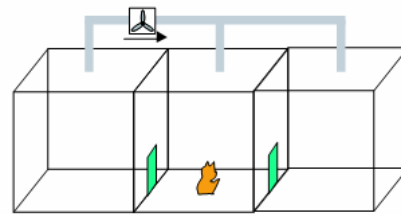
۲-۱- مدل شبکه حریق

انتقال حرارت و جرم را با ارتباط بین گره‌ها می‌توان بیان نمود. این ارتباط بیانگر مسیر جریان برای انتقال اطلاعات بین گره‌ها می‌باشد. اطلاعاتی که بایستی بین گره‌ها انتقال یابد جرم، انرژی و ممنتوم می‌باشد.

۲- انگیزه تولید یک شبکه شبیه‌ساز برای اطفاء حریق:

انگیزه برای توسعه یک مدل شبکه حریق از نیازهای فعلی فرایند طراحی برای شناورهای رزمی حال و آینده می‌باشد. وجود حریق علاوه بر اینکه بر کارکنان تاثیر می‌گذارد، بر دستگاهها و تجهیزات نیز اثر مخربی دارد که می‌تواند مأموریت شناور را تحت تاثیر قرار دهد و قابلیت عملیاتی شناور را کاهش دهد.

چنانچه هر یک از کمپارتمانها به عنوان یک گره در نظر گرفته شود فضای محاسباتی کوچک شده و حجم محاسبات کاهش می‌یابد. برای یک شناور نظامی که دارای تعداد زیادی کمپارتمان می‌باشد و از طرفی ارتباط هر یک از این کمپارتمانها توسط چندین مسیر جریان به شکل درب، هج و کانالهای تهویه و تهویه مطبوع برقرار می‌گردد، تولید مدل شبکه بسیار با اهمیت می‌باشد. دیاگرام شماتیک مدل مفهومی شبکه در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵) مدل مفهومی شبکه

۲-۲- مدل هیدرولیکی

برای تشریح شبیه‌سازی حریق می‌توان از مدل هیدرولیکی بهره گرفت. در این روش معادلات بقاء یک بعدی برای جرم، ممنتوم و انرژی حل می‌گردد. انرژی و جرم به‌صورت صریح حفظ گردیده و در حالیکه ممنتوم به‌صورت ضمنی حفظ گردیده است. از بقاء جرم و انرژی در روش حجم کنترل استفاده می‌شود که هر یک از کمپارتمانها یا یک سیستم تهویه به عنوان یک گره در نظر گرفته می‌شود. ممنتوم نیز به‌صورت ضمنی در اتصال ونتها و کانالها حل می‌گردد. معادلات جرم، انرژی، ممنتوم و حالت به‌صورت زیر بیان می‌شود:

جرم:

$$\frac{dM_i}{dt} = \sum_j \sigma_{ij} \rho_j^d v_j F_j A_j + \dot{M}_i \quad (1)$$

انرژی:

$$\frac{dE_i}{dt} = \sum_j \sigma_{ij} v_j F_j A_j \rho_j^d h_j^d + \dot{E}_i \quad (2)$$

ممنتوم:

$$\rho_j L_j \frac{dv_j}{dt} = (P_i - P_k) + (\rho g \Delta z)_j + \Delta P_j - \frac{1}{2} K_j \rho_j |v_j| v_j \quad (3)$$

معادله حالت:

$$P_i V_i = \frac{R}{m w_{air}} \frac{E_i}{c_{p_i}(T_i)} \quad (4)$$

در معادلات فوق i و k یک گره را بیان میکنند و j یک ارتباط، از قبیل درب، هج و یا داکت، را نشان میدهد. از معادلات می‌توان نتیجه گرفت که دو کمپارتمان می‌تواند بکمک چندین مسیر با یکدیگر در ارتباط باشند. علامت سیگما نشان دهنده جهت می‌باشد. d نشاندهنده دهنده و یا بالادست می‌باشد. A بیانگر حداکثر جریان از یک ارتباط می‌باشد و F کسری از سطح جریان قابل دسترس بوده و برای ارتباط اماکن وابسته به زمان بکار می‌رود (مانند باز و بسته شدن یک درب). البته معادلات انرژی و جرم اندکی برای گره داکتها در مقایسه با گره کمپارتمانها متفاوت می‌باشد. در محاسبات می‌توان فرض نمود که هیچ انرژی و یا جرمی در سیستم تهویه مطبوع انباشته نمی‌شود. بنابراین در هر گره بقاء جرم و انرژی حاکم است. بنابراین برای یک گره داکت، مشتق زمانی جرم و انرژی برابر با صفر می‌باشد. معادله ممنتوم به‌صورت ضمنی و معادلات انرژی و جرم به‌صورت صریح حل می‌گردند. معادلات

معادله ممنتوم پیچیده می‌باشد. سرعت در گام زمانی بعدی بوسیله اختلاف فشار میانگین در عرض یک ارتباط بدست می‌آید (کمپارتمان i و j). فشار در کمپارتمان تابعی از جرم و انرژی ورودی و خروجی از کمپارتمان می‌باشد. بنابراین سرعت در یک ارتباط، تابعی از فشارها در همه کمپارتمان‌هایی می‌باشد که به نقطه انتهایی ارتباط متصل می‌باشد.

۳- الگوریتم حل نمونه

برای حل معادلات فوق الذکر و حرارت می‌توان از یک الگوریتم مناسب بهره گرفت. این الگوریتم دارای دو حلقه داخلی و خارجی می‌باشد که به صورت گام زمانی حل را انجام می‌دهد. حلقه خارجی به صورت کلی همگرایی را در گام زمانی کنترل می‌کند و حلقه داخلی حل مربوط به سرعت را مدیریت می‌نماید. شکل (۶)

دیفرانسیلی که می‌توان برای این منظور بکار گرفت به شکل زیر می‌باشد:

جرم:

$$M_i^n = \left(\sum_j \sigma_{ij} \rho_j^d v_j^n F_j^n A_j + \dot{M}_i^n \right) \Delta t^n + M_i^{n-1} \quad (5)$$

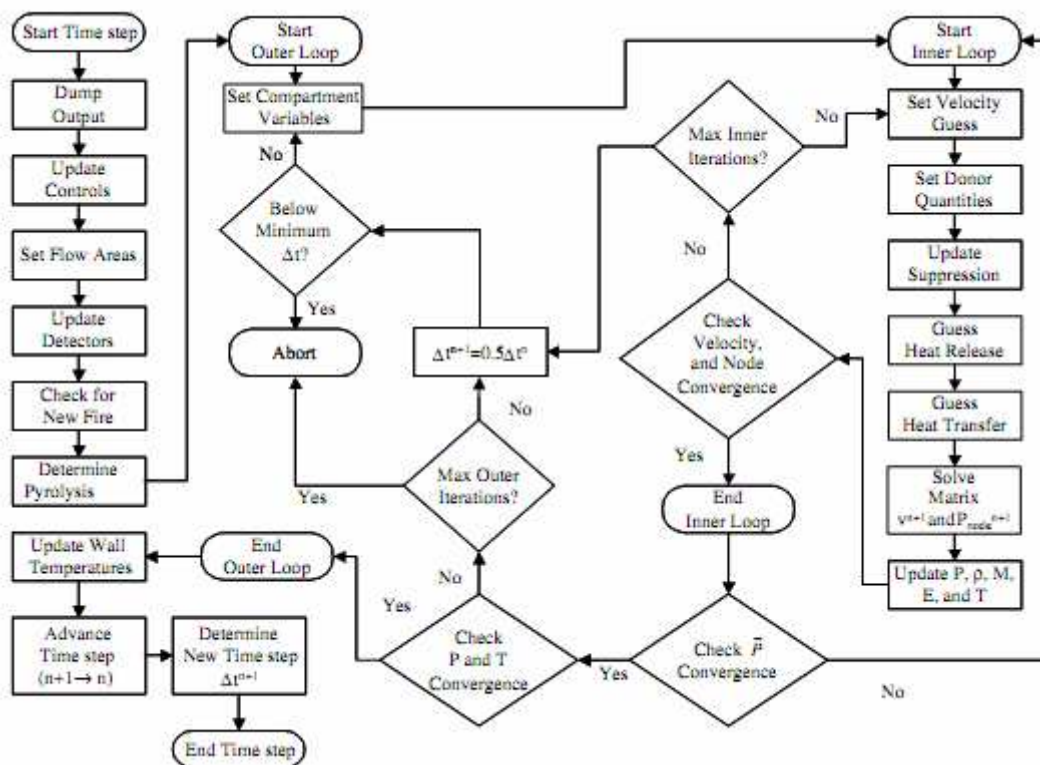
انرژی:

$$E_i^n = \left(\sum_j \sigma_{ij} v_j^n F_j^n A_j \rho_j^d h_j^d + \dot{E}_i^n \right) \Delta t^n + E_i^{n-1} \quad (6)$$

ممنتوم:

(۷)

$$v_j^n \left(1 + \frac{K_j \Delta t^n}{2L_j} |v_j^n - v_j^{n+1}| \right) - \frac{\Delta t^n R}{\rho_j L_j m_{wair}} \times \left(\frac{1}{V_i c_{pi}^{n+1}} \sum_{j_1 \text{ connected to } i} \sigma_{j_1} \rho_{j_1}^d A_{j_1} F_{j_1}^d v_{j_1}^d h_{j_1}^d - \frac{1}{V_k c_{pk}^{n+1}} \sum_{j_2 \text{ connected to } k} \sigma_{j_2} \rho_{j_2}^d A_{j_2} F_{j_2}^d v_{j_2}^d h_{j_2}^d \right) = v_j^{n-1} + \frac{\Delta t^n}{\rho_j L_j} \left(P_i^{n-1} \frac{c_{pi}^{n-1}}{c_{pi}^{n+1}} + q_i \frac{R}{m_{wair} V_i c_{pi}^{n+1}} - P_k^{n-1} \frac{c_{pk}^{n-1}}{c_{pk}^{n+1}} - q_k \frac{R}{m_{wair} V_k c_{pk}^{n+1}} \right) + \Delta P_j + (\rho g \Delta z)_j^{n-1} + \frac{K_j \Delta t^n}{2L_j} (|v_j^n + v_j^{n-1}|)$$



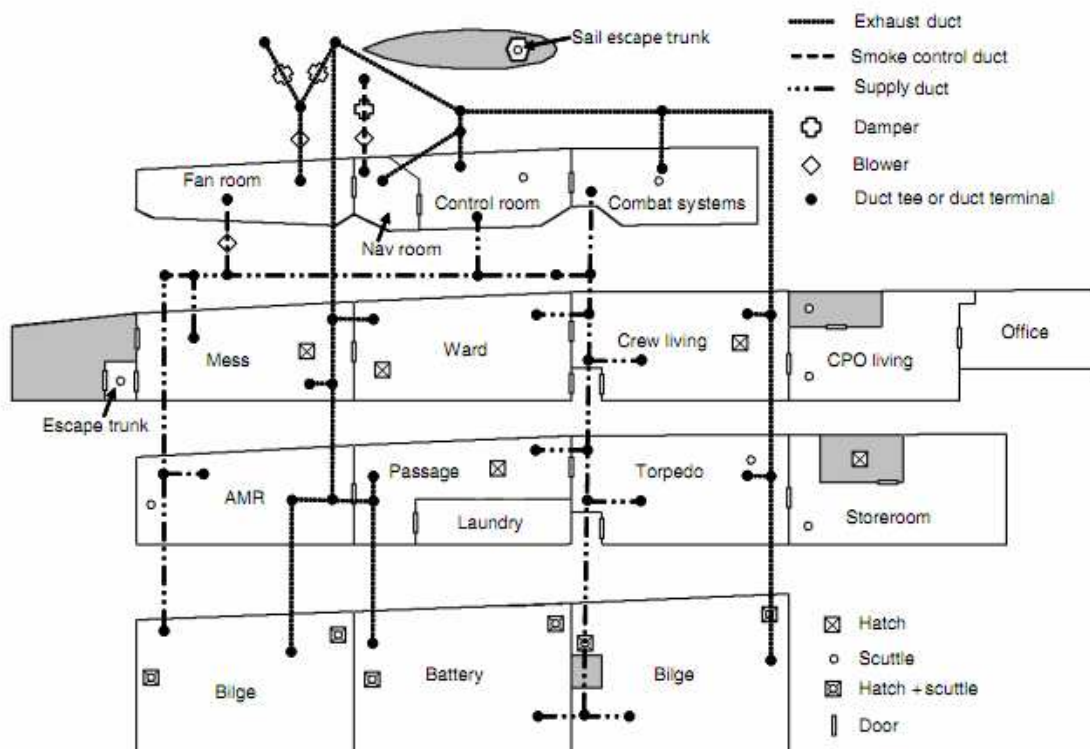
شکل (۶) الگوریتم حل نمونه

سیستم کنترل دود به همراه سه عدد فن ترکیبی، سه عدد دمپر و ۴۸ دریچه جداکننده کانال کشی می‌باشد. سه مد عملکردی برای سیستم تهویه وجود دارد. در اولین مد عملکردی چرخش هوا در سیستم تغذیه از اتاق فن انجام و به محوطه آزمایش تخلیه می‌شود و به سیستم تخلیه هوا را از محوطه آزمایش مکش و به اتاق فن تخلیه می‌کند. دومین مد عملکردی، مد تخلیه سطحی می‌باشد. در این مد فن‌های تغذیه هوا را از اتاق فن گرفته و به کمپارتمان‌ها ارسال می‌کنند. فن تخلیه از بالای برجک تخلیه را انجام می‌دهد. قابل ذکر است که در این مد از چندین هیچ برای کمک به سیستم تخلیه کمک گرفته می‌شود. سومین مد عملکردی، مد تهویه اضطراری می‌باشد به گونه‌ای که سیستم تغذیه و تخلیه محافظت شده و سیستم کنترل دود هوا را از اتاق کنترل تجهیزات ناوبری گرفته و به برجک تخلیه می‌کند.

۴- مطالعه موردی؛ سری آزمایشهای صورت گرفته در زیردریای Ex-USS Shadwell 688

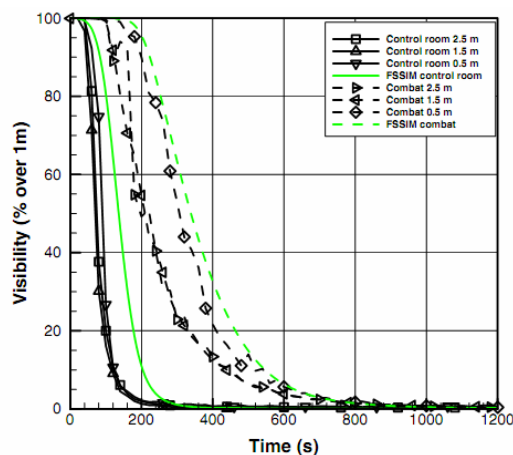
در طی سال ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ یک سری تستهایی در بخش تصحیح شده سمت چپی زیردریای Shadwell صورت پذیرفته است. حدود ۱۰۸ آزمایش در مجموع بر روی این زیردریای جهت بررسی وضعیت عملیاتی آن در شرایط مختلف صورت پذیرفته است. منطقه مورد آزمایش زیردریایی مذکور در شکل (۷) نمایش داده شده است.

اماکن مورد آزمایش زیردریایی شامل ۲۳ کمپارتمان می‌باشد. تعداد چهار کمپارتمان فضای مرده بوده و حجمی برابر با ۱۰۰۰ متر مکعب را تشکیل می‌دهند. کمپارتمان‌های فعال توسط ۱۴ عدد هیچ، ۱۱ عدد درب، ۳ سیستم تهویه و تعداد ۸ عدد کانال عمودی برای ارتباط خشکشویی و اتاق اژدر به اتاق کنترل و فضای سیستم سلاح با یکدیگر در ارتباط می‌باشند. سامانه‌های تهویه شامل سیستم تغذیه، تخلیه و

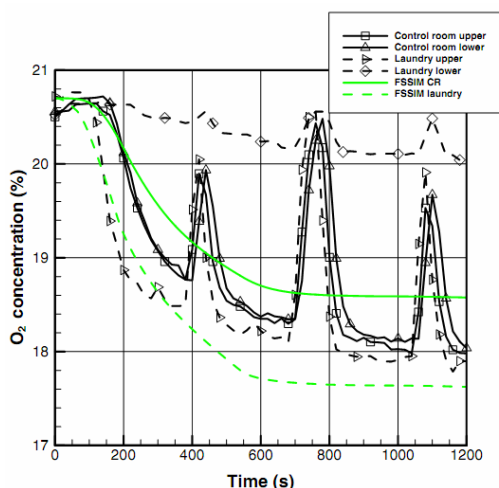


شکل (۷) دیاگرام محفظه مورد آزمایش زیردریایی Ex-USS Shadwell 688 با ترسیم سیستم تهویه مطبوع

در شکل (۱۱) و (۱۲) وضوح و تجمع اکسیژن را در اتاق کنترل و اتاق سیستم سلاح/خشکشویی نشان می‌دهد.



شکل (۱۱) وضوح و شفافیت اندازه گرفته شده و پیش بینی شده در اتاق کنترل و سیستم سلاح برای زیرسطحی Shadwell



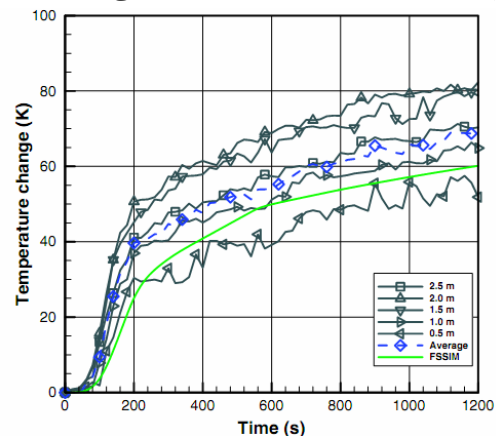
شکل (۱۲) تجمع اکسیژن اندازه گرفته شده و پیش بینی شده در اتاق کنترل و خشکشویی برای زیرسطحی Shadwell

۵- نتیجه گیری

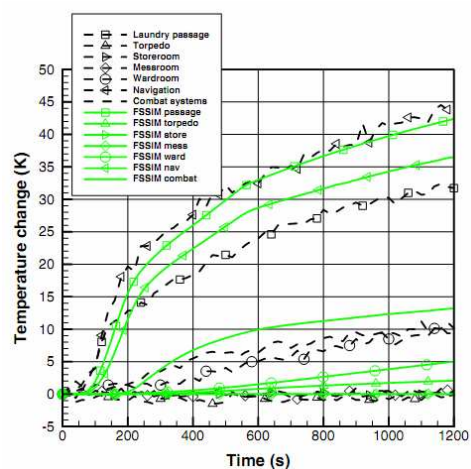
برای اینکه بتوان به صورت سریع هم در فرایند طراحی و هم در زمان آموزش کارکنان انتشار دود و گسترش حریق را تحت سناریوهای مختلف در یک شناور نظامی و یا زیرسطحی را بررسی نمود نیاز است که به یک شبیه‌ساز بومی دست پیدا کرد. این شبیه‌ساز بایستی قابلیت این را داشته باشد که بتواند متغیرهای مورد نظر طراح را گرفته و تحلیل‌های مناسب ارائه

در ابتدا یک موتور ۲۵۰ کیلو واتی در خشکشویی دچار حریق می‌شود و هج فرا به فضای آزاد باز گردیده و سپس سیستم تهویه بعد از یک دقیقه پس از جرقه آتش، از حالت عادی به حالت اضطراری تغییر وضعیت داده می‌شود. کلیه مشخصات از قبیل حجم، مساحت سطوح، ضخامت دیواره‌ها، ارتباط اماکن و ویژگی سیستم تهویه مطبوع به عنوان ورودی تحلیل‌ها بایستی مشخص گردند.

در شکل (۹) تغییرات دما در اتاق کنترل به کمک اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده ترسیم شده است. در شکل (۱۰) دمای میانگین اندازه گرفته شده و تغییرات دمای پیش‌بینی شده برای یک تعداد کمپارتمان در محدوده تست را نشان می‌دهد.



شکل (۹) تغییرات دمای اندازه گرفته شده در مقایسه با پیش بینی شده برای زیرسطحی Shadwell 688



شکل (۱۰) تغییرات میانگین دمای اندازه گرفته شده در مقایسه با پیش بینی شده برای زیرسطحی Shadwell 688

دهد. خروجی‌ها بایستی به شکل گرافیکی متناسب با جانمایی شناور و یا زیر سطحی صورت پذیرد. یکی از گلوگاهها در طراحی شناورهای جدید ارائه چیدمان کمپارتمان‌ها بر اساس تحلیل گسترش دود و حریق می باشد. از طرفی با بهره‌گیری از نرم‌افزار مورد نظر می‌توان مسیرهای فرار، درب‌ها و هچ‌ها را به درستی تعبیه نمود تا بتوان در هنگام بروز حریق در شناور و یا زیرسطحی حداکثر توان عملیاتی را حفظ نمود.

۶- مراجع

- [1] Williams, F., Nguyen, X., Buchanan, J., Farley, J., Scheffey, J., Wong, J., Pham, H. And Toomey, T., Ex-Uss Shadwell (Lsd-15) – The Navy’s Full-Scale Damage Control And Rdt&E Test Facility, Nrl/Mr/6180—01-8576, Naval Research Laboratory, Washington, Dc, 2001.
- [2] Floyd, J., Scheffey, J., Haupt, T., Habbash, H., Hodge, B., Norton, O., Williams, F. Tatem, P., Requirements And Development Plan For A Shipboard Network Fire Model, Nrl Ltr. Rpt. Ser 6180/0469, Naval Research Laboratory, Washington, Dc, 2003.
- [3] Back, G., Mack, E., Peatross, M., Scheffey, J., White, D., Williams, F., Farley, J. And Satterfield, D., A Methodology For Predicting Fire And Smoke Spread Following A Weapon Hit, Nrl/Mr/6180—03-8708, Naval Research Laboratory, Washington, Dc, 2003.
- [4] Jason E. Floyd And Sean P. Hunt, A Network Fire Model For The Simulation Of Fire Growth And Smoke Spread In Multiple Compartments Complex Ventilation, Hughes Associates, Inc., 3610 Commerce Dr., Suite 817, Baltimore, Md 21227-1652, Usa, Journal Of Fire Protection Engineering, Vol. 15—August 2005