



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



## کاربرد فناوری اطفای حریق ایروسول مگ در کانتینرهای حامل کالاهای خطرناک

مهدی رستگاری\*<sup>۱</sup>، لطفاله متقی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۳

\*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۳

© نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۵، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل و نقل دریایی است.

### چکیده

حریق ناشی از کالاهای خطرناک در شمار جدی‌ترین مخاطرات محتمل در کشتی‌های کانتینربر قرار می‌گیرد. با آنکه آثار چنین مخاطراتی در کشتیرانی تجاری دربرگیرنده آسیب‌های انسانی، لطمه‌های اقتصادی و پیامدهای زیست‌محیطی بسیار مخرب هستند، کارایی و کارسازی راهکارهای پیشگیرانه و واکنشی برای کاهش یا حذف ریسک‌های ناشی از آنها اندک است. مشکلات موجود در زمینه دسترسی به کانتینر و محموله درون آن، محدودیت‌های موجود در زمینه امکان به‌کارگیری تجهیزات ایمنی، محدودیت‌های موجود در زمینه تأمین و بسیج منابع موردنیاز برای واکنش در شرایط اضطراری، دشواری دسترسی به امکانات پشتیبانی در هنگام سفر دریایی، ملاحظات زیست‌محیطی، مقرون به‌صرفه نبودن استفاده از بسیاری از دستگاه‌های ایمنی در کشتی و عوامل دیگر موجب پیچیدگی موضوع اطفای حریق در کشتی‌های کانتینر بر شده است.

یکی از راهکارهای متصور برای این مسئله چالش‌برانگیز در کشتیرانی کانتینری، آن است که به‌جای نصب تسهیلات و تجهیزات بزرگ اطفای حریق در کشتی، بر ایمن‌سازی واحد کانتینر حمل‌ونقلی تمرکز شود. جمهوری اسلامی ایران در سند شماره DSC13-3-11، پیشنهاد بهره‌برداری از فناوری ایروسول مگ را در داخل کانتینر حمل‌ونقلی ارائه کرده است. فناوری ایروسول مگ محصول نسبتاً جدیدی در صنعت اطفای حریق است که پیش‌از این به نحو مؤثری در کاربردهای متنوع اطفای حریق از قبیل صنایع فراساحلی و موتورخانه کشتی‌های تجاری استفاده می‌شد. به نظر می‌رسد با توجه به مزایا و قابلیت‌های این فناوری، کاربرد آن در حمل‌ونقل کانتینری کالاهای خطرناک می‌تواند بسیار کارساز باشد. در این مقاله ضمن ارائه روندهای اطفای حریق موجود در صنعت، توصیف اختصاصی فناوری ایروسول مگ، طرح مفهومی راهکار و تجاری‌سازی آن، به بررسی و پیشنهاد بهره‌برداری از این فناوری در اطفای حریق کانتینرهای حمل‌ونقلی محتوی کالاهای خطرناک پرداخته شده است.

**واژه‌های کلیدی:** فناوری ایروسول مگ، کالاهای خطرناک، کشتیرانی، کانتینر حمل‌ونقلی، کنترل حریق

۱. رئیس امور تحقیق و توسعه شرکت خدمات بندری و دریایی سینا، مدرس وابسته سازمان بنادر و دریانوردی، Mehdirastegary@Gmail.Com

۲. کارشناس ارشد مدیریت بنادر از دانشگاه آنتورپ، مدیر امور لجستیک شرکت خدمات بندری خلیج پژم

## ۱- مقدمه

## ۱-۱- کالاهای خطرناک و حمل کانتینری آنها در دریا

کالاهای خطرناک به عنوان اقلام و اجناسی که در شرایط حمل و نقل ریسک زیادی را متوجه سلامت انسان، محیط زیست و دارایی می کنند، در شمار دغدغه های بزرگ جامعه بشری هستند. این کالاها اغلب در شمار خوراک صنایع شیمیایی، یا محصول نهایی یا میانی این صنایع (و در برخی موارد ضایعات و پسماندهای این صنایع) بوده و می توانند زمینه ساز وقوع حوادث شیمیایی بزرگ و حتی فجایع صنعتی در زنجیره های تأمین شوند. با توجه به هم افزایی که در صنعت حمل و نقل بین ریسک های ذاتی کالاهای خطرناک و ریسک های موجود در فعالیت های صنعت حمل و نقل وجود دارد، تدابیر و برنامه های فراوانی برای فراهم آوردن سطح مقبولی از ایمنی در حمل و نقل این گونه کالاها به کار بسته شده است. بر اساس برآورد به عمل آمده، کالاهای خطرناک مندرج در قانون بین المللی حمل و نقل دریایی کالاهای خطرناک، حدود ۱۰٪ از کل انواع کالاهای موجود در ترکیب جریان تجارت دریایی کانتینری را تشکیل می دهند.

از بین وجوه مختلف حمل و نقلی، شرایط زمینه ای حمل و نقل کالاهای خطرناک در حمل و نقل دریایی اهمیت آن را به نحو مضاعفی افزایش می دهد. تجمع انبوهی از کالاهای متنوع (با ماهیت و ارزش متفاوت) در کشتی، صفای متراکم و محدودیت های اکید ناشی از آن در عملیات واکنش به شرایط اضطراری، دغدغه های انسانی و زیست محیطی متصور بر حوادث دریایی، انزوای کشتی در هنگام دریایمایی و دشواری دسترسی به پشتیبانی و امداد در صورت وقوع حوادث در هنگام سفر، از جنبه های چالش برانگیز در حمل و نقل دریایی کالاهای خطرناک محسوب می شوند.

حریق و انفجار در محموله های کالای خطرناک بر روی کشتی جزء جدی ترین حوادث محتمل در کشتی های کانتینر هستند که می توانند عواقب زیر را به بار بیاورند: (۱) ایراد خسارت یا نابودی سازه کشتی، (۲) کشته شدن یا آسیب دیدن سرنشینان، (۳) پیامدهای زیست محیطی سنگین، (۴) ایراد خسارت سنگین به اموال (مرتبط با کشتی، محموله های آن و یا تسهیلات پیرامون کشتی) و یا حتی نابودی آنها، (۵) سرایت آتش به سایر محموله ها و یا بخش های کشتی، (۶) توسعه حوادث آتی در اثر انتشار حریق در کشتی و (۷) افت یا توقف کامل کارکردهای کشتی.

کنترل حریق در کشتی های کانتینری امری به غایت پیچیده است که در پی سه هدف اصلی است: (۱) حفاظت جانی از سرنشینان: امکان تخلیه اماکن غیرایمن از سرنشینان و تجمع آنها در اماکن ایمن (داخل یا خارج کشتی) و حفاظت متناسب از سرنشینان در اماکنی که حضور افسران و خدمه در آنها برای راهبری کشتی ضروری است، (۲) حفاظت از اموال: دلالت بر حفاظت از محموله ها و بارها، سازه و تأسیسات و تجهیزات کشتی، مایملک سرنشینان کشتی و سایر اموال دارد و (۳) تداوم مأموریت کشتی: مأموریت کشتی کانتینری همانا سفر دریایی برای تحویل محموله های بارگیری شده در مقصد سفر است. کنترل حریق باید قابلیت تحقق این مأموریت را در کشتی حفظ کند.

تحقق حداکثری و همزمان این سه هدف در کشتی کانتینری مستلزم برقراری تعادل و مصالحه بین جنبه های متفاوت سیستم اطفای حریق انتخاب شده است که از جمله آنها می توان به این موارد اشاره کرد:

اثر بخشی اطفای حریق، اتکا پذیری، فراوانی منابع و آماده به کاری آنها، هزینه ها، حجم، وزن، قابلیت های عملیاتی و ...

این جنبه ها اغلب با یکدیگر تداخل دارند و این امر پیچیدگی مسئله اطفای حریق در کشتی را به نحو چشمگیری افزایش می دهد. موضوع پیچیده کننده دیگر مسئله اطفای حریق در کشتی های کانتینر بر، به «پنهانی حریق» در مراحل اولیه توسعه آن در محموله های کانتینری باز می گردد. از آنجا که محموله های کانتینری قبل از بارگیری به کشتی مهر و موم می شوند، کشف حریق در آنها با تأخیر فراوان و به قرینه سنجش یا مشاهده دود، بو، حرارت یا صوت انجام می شود. این موضوع می تواند به ویژه در حریق اجناس آرام سوز (مانند پنبه، تنباکو، زغال، مسوجات، دانه های روغنی، دانه های مغزدار و...) بسیار مخاطره انگیز باشد؛ چه بسیار مشاهده شده است که به رغم ظاهر سالم این گونه محموله ها به مجرد گشوده شدن درب کانتینر محتویات آن دستخوش حریق های شدید می شود.



تصویر (۱): کشتی MSC Flamina پس از اطفای حریق در آن (اقیانوس اطلس، ژوئیه ۲۰۱۲)

محدودیت دیگر در این مسئله به تراکم صفای محموله ها در کشتی کانتینری باز می گردد. طراحی کشتی کانتینر به گونه ای است که متراکم ترین صفای ممکن محموله های کانتینری در آن امکان پذیر باشد. کانتینرها و محموله های کانتینری در چینه هایی صفای می شوند که در هر طرف حداقل فاصله ممکن را بین آنها فراهم آورد؛ بخش قابل توجهی از فاصله باقیمانده نیز توسط لاشینگ و مهاربندها اشغال می شود. دسترسی به کانتینرهایی که در میانه چینه مورد صفای بر روی عرشه و یا در داخل انبار قرار می گیرند، بسیار دشوار است. این موضوع نه تنها کشف حریق در کانتینرها را دشوار می کند، بلکه عملیات اطفای حریق را نیز در کشتی با دشواری های بسیار مواجه می کند. مکانیسم های مهارکشی و مهاربندی کانتینرها نیز نسبت به انفجار و حریق های بزرگ آسیب پذیر بوده و تسلیم سازه ای آنها موجب فروریختن چینه های کانتینری بر روی عرشه و یا به داخل دریا می شود.

برآیند این محدودیتها متضمن چالش برانگیزی انتخاب سیستم اطفای حریق مناسب برای کنترل ریسک حریق (و به ویژه حریق کالاهای خطرناک) برای حفاظت از کشتی، سرنشینان و محموله های آن در عین حیاتی بودن آن است.

## ۱-۲- مفهوم آتش زایی

آتش زایی یکی از پر مواجهه ترین مخاطرات و در فهرست کالاهای خطرناک سازمان ملل متحد است؛ در واقع خطر آتش زایی در بسیاری از اجناس و کالاهای حمل و نقلی مانند سوختها، کودها، مواد شیمیایی،

## ۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

### ۲-۱- فناوری ایروسول مگ

فناوری ایروسول مگ یکی از دستاوردهای بارز در آتش‌نشانی است: این فناوری که حدود بیست‌وپنج سال پیش برای مقاصد کنترل حریق در متن برنامه فضایی سایوز (SOYUZ) روسیه عرضه گردید، به دلیل مزایای فوق‌العاده‌اش نسبت به انواع دیگر اطفای کننده‌های موجود در بازار، کاربردهای فراوانی در صنایع و جوامع پیدا کرد. از جمله این کاربردها می‌توان به اطفای حریق در صنایع نیروگاهی، معادن، صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، دریانوردی، هوانوردی، اماکن و تجهیزات نظامی، موزه‌ها و کتابخانه‌ها، خزانه بانک‌ها، آسمان‌خراش‌ها، خودروها، ساختمان‌ها، تأسیسات الکتریکی، تأسیسات مخابراتی، اتاق‌های سرور، اتاق‌های کنترل، تجهیزات صنعتی و بسیاری دیگر اشاره کرد.

فناوری ایروسول مگ بر مبنای تولید و انتشار یک مخلوط گازی اطفای کننده و سردسازی آن برای انتشار یکنواخت در صحنه حریق عمل می‌کند. واحدهای اطفای کننده ایروسول مگ که در بازار تجهیزات ایمنی به «پایروژن» نیز شهرت یافته، به شکل یک کپسول استوانه‌ای هستند که دارای یک مخلوط ترموپلاستیک می‌باشد که محتوی یک عامل اکساینده، یک شیرازه آتش‌گیر و برخی افزودنی‌ها است. عامل اکساینده از جنس نیترات پتاسیم بوده و شیرازه آتش‌گیر از جنس نیترو سلولز (CnHmNpOq) جامد است که برخی عوامل پایدارکننده به آن افزوده شده است. این سیستم مجهز به یک سیستم کشف‌کننده حریق است که در انواع تجاری موجود در بازار از یک فیتله آتش‌گیر منتقل‌کننده حریق و یا زیرسیستم تجاری کشف‌کننده حرارت تشکیل شده است.

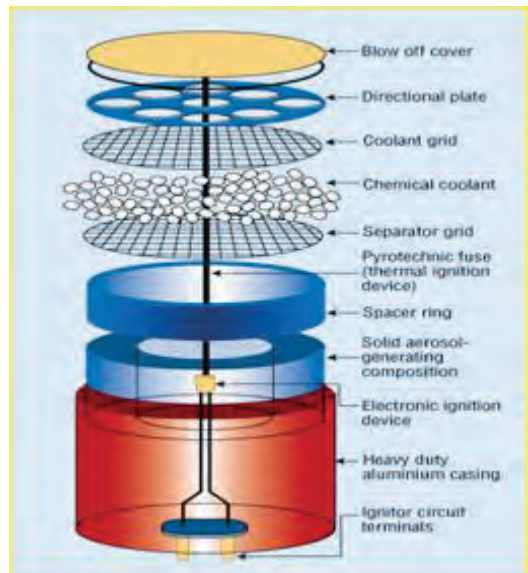
فراورده‌های نفتی و غیر آن وجود دارد. بسیاری از حوادث شیمیایی صنعت حمل‌ونقل نیز به نحوی با اجناس آتش‌زا مرتبط‌اند. طبق مندرجات سند ارزیابی رسمی ایمنی (FSA) ارائه‌شده به سازمان بین‌المللی دریانوردی به شماره MSC 87-INF2، اجناس آتش‌زا و آتش‌گیر حدود ۴۰٪ حوادث کالاهای خطرناک را در جهان رقم زده‌اند. از سوی دیگر، بر مبنای همین سند بین سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۸، کلیه حوادث بزرگ صنعت حمل‌ونقل دریایی از جنس حریق یا انفجار بوده‌اند.

همان‌طور که گفته شد در گزینش سیستم اطفای حریق متناسب برای کشتی‌ها باید عوامل بسیاری لحاظ شوند. در این میان اثربخش بودن آتش‌نشانی، وابستگی بسیار زیادی به شیوه انتخاب‌شده برای اطفای حریق دارد. شیوه اطفای حریق عمدتاً بر مبنای مکانیسم و سینتیک توسعه حریق و خواص مواد سوختنی مانند نقطه اشتعال، دمای تجزیه خودبه‌خودی، نقطه تصعید، نقطه آتش، نقطه خودافروزی، چگالی بخار، وزن مخصوص و ... صورت می‌پذیرد. در آتش‌نشانی، اطفای حریق از طریق حذف یکی از چهار مؤلفه اصلی تشکیل‌دهنده حریق یعنی سوخت، اکسیژن، حرارت و واکنش‌های شیمیایی زنجیره‌ای انجام می‌شود. از بین این مؤلفه‌ها که دوزنقه آتش را تشکیل می‌دهند، اکسیژن کاملاً از ماهیت و جنس ماده سوختنی مستقل است.

خصوصیت کلیدی اجناس آتش‌زا یا آتش‌گیر این است که گرچه حوادث مرتبط با این اجناس پیامدهای مشابهی از جنس حریق یا انفجار را در پی دارند، اما ماهیت توسعه این عواقب و تداوم حریق در اجناس مختلف تفاوت بسیاری دارد. بر این اساس الگوی کلی آسیب یا خسارت در این حوادث مشابه است، اما شیوه‌های واکنش یا کنترل حریق و انفجار بر اساس نحوه آغاز حریق و توسعه آن تفاوت پیدا می‌کند.

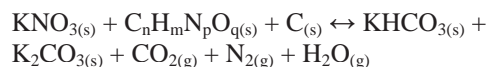
جدول (۱): حوادث بزرگ کالاهای خطرناک در حمل‌ونقل دریایی

تلفات انسانی	خسارت مالی	نوع حادثه	سال	نام کشتی
۲ نفر کشته	بیش از ۲۰ میلیون دلار	حریق	۱۹۹۸	DG Harmony
۲ نفر کشته	بیش از ۱۵ میلیون دلار	انفجار، حریق	۱۹۹۸	Sealand Mariner
		انفجار، حریق	۱۹۹۸	Aconagua
		حریق پس از تصادم	۱۹۹۹	Ever Decent
	بیش از ۲۵ میلیون دلار	انفجار، حریق	۱۹۹۹	CMA Djakarta
		حریق	۲۰۰۰	Hanjin Bremen
		حریق	۲۰۰۱	Sloman Traveller
۲ کشته	بیش از ۱۰۰ میلیون دلار	انفجار، حریق	۲۰۰۲	Hanjin Pennsylvania
یک کشته		حریق	۲۰۰۳	Sea Elegance
		حریق	۲۰۰۳	LT Utile
		حریق	۲۰۰۶	MOL Renaissance
۲ کشته	بیش از ۱۰۰ میلیون دلار	انفجار، حریق	۲۰۰۲	Hanjin Pennsylvania
یک کشته		حریق	۲۰۰۳	Sea Elegance
		حریق	۲۰۰۳	LT Utile
		حریق	۲۰۰۶	MOL Renaissance
	حدود ۳۰۰ میلیون دلار	انفجار، حریق	۲۰۰۶	Hyundai Fortune
		حریق	۲۰۰۶	YM Green
۲ کشته ۱ مفقود		حریق	۲۰۱۲	MSC Flamini
		حریق	۲۰۱۲	Amsterdam Bridge
	بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیون دلار	اشکال‌سازه‌ای و حریق	۲۰۱۳	MOL Comfort
		حریق	۲۰۱۳	Maersk Kampala
		حریق	۲۰۱۳	Zim Rotterdam
		انفجار	۲۰۱۳	Hansa Brandenburg



تصویر (۲): واحد اطفای کننده مگ در اندازه‌های مختلف و اجزای آن

با توسعه حریق در محیط، کشف‌کننده حریق با انتقال پیام حرارتی یا الکتریکی از محیط حریق به داخل کپسول، ترکیب ترموپلاستیک را تحریک نموده و موجب تولید مخلوط ایروسول اطفای‌کننده از طریق واکنش زیر در محفظه تولید گاز می‌شود:



محصول گازی پرفشار این واکنش که حاوی کربنات پتاسیم، بی‌کربنات پتاسیم، دی‌اکسید کربن، نیتروژن و آب است، در معرض مجموعه‌ای از عوامل سردکننده شیمیایی و فیزیکی جریان می‌یابد تا مخلوط یکنواختی از ذرات معلق در گاز (ایروسول) ایجاد شود که همانا عامل اطفای‌کننده حریق در این محصول است.

جزء کلیدی عمل‌کننده در مخلوط گازی اطفای‌کننده، بی‌کربنات پتاسیم و کربنات پتاسیم است. این اجناس اغلب در فاز گاز تولید شده و متعاقباً پس از تبرید به صورت ذرات فوق‌العاده ریز میعان و انجماد یافته و به‌طور یکنواخت در گاز منتشر و حمل می‌شوند. در نتیجه عامل اطفای‌کننده تولید شده می‌تواند به نحو مؤثری در سرتاسر صحنه حریق (حتی در نقاط پنهان یا پوشیده) نفوذ کرده و منتشر شود. به دلیل ابعاد فوق‌العاده ریز ذرات این مواد، مساحت سطح فعال آنها فوق‌العاده افزایش یافته و قابلیت آنها در برخورد، واکنش شیمیایی و انتقال حرارت با ذرات موجود در صحنه حریق به نحو خارق‌العاده‌ای فزونی می‌یابد.

به این ترتیب مخلوط گازی اطفای‌کننده به دو طریق در زمینه اطفای حریق عمل می‌کند: (۱) برخورد ذرات پتاسیم‌دار با یون‌های اکسیژن، هیدروژن و هیدروکسیل واکنش شیمیایی بین این ذرات موجب حذف آنها از صحنه حریق می‌شود. به عبارتی مخلوط اطفای‌کننده با مداخله در واکنش‌های زنجیره‌ای پیش‌برنده احتراق موجب اطفای حریق می‌شود و (۲) به‌طور همزمان، سردسازی محیط حریق عملکرد اطفایی را تقویت می‌کند. از آنجا که مخلوط گازی اطفای‌کننده محتوی آب، دی‌اکسید کربن و نیتروژن است، این ترکیبات قسمتی از انرژی حرارتی موجود در صحنه حریق را از محیط جذب می‌کنند.

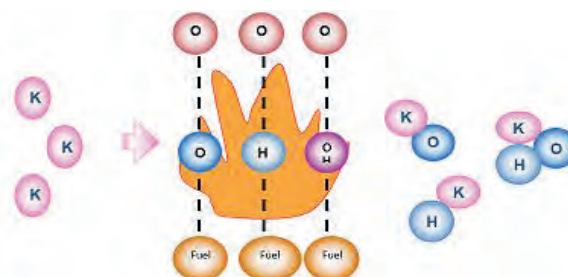
جدول (۲): اطلاعات فنی دستگاه ایروسول مگ

مشخصات الکتریکی (حرارتی)	مشخصات کپسول
۱ میلی‌آمپر $\geq$	جنس کپسول
$\leq 400$ میلی‌آمپر در $24/12/6$ ولت طی ۱۰ هزارم ثانیه	پوشش سطح
۱۷۵ درجه سانتی‌گراد	حداکثر/حداقل دمای محیط
۴-پین نظامی تیپ ۲ PMDT	مقاومت در برابر شوک
آنالوگ MIL-C-5015	مقاومت در برابر شوک
$> 250$ متر	مقاومت در برابر ارتعاش
۳۸ اهم بر کیلومتر	مقاومت در برابر خوردگی
	مقاومت در برابر ضربه
	رطوبت
	مشخصات مخلوط اطفای‌کننده (حداکثر غلظت طراحی)
طبقه‌بندی	کربنات‌های پتاسیم (جامد)
کلاس A- حریق مواد جامد	۷ گرم بر مترمکعب
کلاس B- حریق مواد مایع	۷۰ درصد حجمی
کلاس C- حریق گازها	۱/۲ درصد حجمی
کلاس E- حریق الکتریکی	۰/۴ درصد حجمی
کلاس F- حریق روغن‌های خوراکی و چربی‌ها	۴۰ تا ۱۰۰ پی.پی.ام.
تحت شناسه بین‌المللی کالا‌های خطرناک UN 1325 و کلاس خطرناکی ۱-۴	۰/۷۵ درصد
II	دمای نازل $+500$ میلی‌متر
	غلظت اکسیژن
	مدت اطفای
	۷۵ درجه سانتی‌گراد
	۱۷ تا ۲۰ درصد
	$\geq 60$ درجه سانتی‌گراد

مطالعات اروپایی ارائه شده در سازمان بین‌المللی دریانوردی نشان می‌دهد محموله‌های کانتینری بین ۵ تا ۱۰٪ از محموله‌های حمل‌ونقل دریایی تجارت کانتینری جهان را تشکیل می‌دهند. برآورد می‌شود که بین ۲۰ تا ۳۰٪ این محموله‌ها در هنگام حمل‌ونقل دریایی به نحو صحیح اظهار نمی‌شوند. باید توجه داشت که هر محموله کالای خطرناک می‌تواند سبب ایجاد مجموعه‌ای از حوادث باشد که بسیاری از آنها پتانسیل تبدیل به فجایع شیمیایی را در حمل‌ونقل دریایی دارند. با توجه به پیشرفت سریع این روند، لازم است که ایمنی شیمیایی به عنوان جزئی اساسی از ایمنی در حمل‌ونقل دریایی در نظر گرفته شود.

اغلب محموله‌های کالاهای خطرناک در کانتینرهای حمل‌ونقلی ۲۰ فوتی، ۴۰ فوتی و کانتینرهای یخچالی ۴۰ فوتی حمل می‌شوند. این کانتینرها از جنس فولاد ساخته شده و دارای مشخصات مندرج در جدول (۴) می‌باشند.

طبق کنوانسیون کانتینر ایمن (CSC-1996)، دیواره‌های انتهایی و کناری کانتینر باید به ترتیب نیروهایی با شتاب  $0.4g$  و  $0.6g$  را متحمل شوند. محموله‌های کانتینری معمولاً برای جلوگیری از سرقت و دستبرد در حین حمل‌ونقل مهر و موم می‌شوند. در شرایط عادی، برای پیشگیری از پیامدهای مسئولیت‌آور دسترسی افراد غیرمجاز به محتویات محموله‌های کانتینری، تمام تدابیر ممکن به کار بسته می‌شود تا دسترسی به داخل کانتینر در طی مسیر حمل‌ونقل اکیداً دشوار باشد. حجم محدود و بسته فضای داخلی کانتینر موجب می‌شود اغلب حریق‌های آغاز شونده در آن به دلیل ناکافی بودن محتوای اکسیژن در اوایل زمان توسعه آن متوقف گردد. همچنین استحکام سازه فولادی کانتینر موجب می‌شود انتقال حریق محموله به کانتینرها و تأسیسات همجوار بسیار دشوار شود. به این ترتیب حمل‌ونقل کانتینر محموله‌ها می‌تواند از بین اهداف سه‌گانه ایمنی حریق در کشتی، اهداف حفاظت جانی سرنشینان و تداوم مأموریت کشتی را پوشش



تصویر (۳): اطفای حریق از ترکیبات پتاسیم رادیکال‌های آزاد پیش‌راننده واکنش احتراق را از صحنه حریق حذف می‌کند

## ۲-۲- حمل‌ونقل کانتینر و کالاهای خطرناک

طی دهه‌های گذشته، موج کانتینریزاسیون صنعت حمل‌ونقل را در هم نوردیده است؛ به نحوی که هم‌اکنون ۹۰٪ محموله‌های غیرفله در جهان از طریق کانتینر حمل می‌شود. بر اساس آمار انتشار یافته آنکتاد، حجم تجارت دریایی کانتینر در سال ۲۰۱۲ بالغ بر ۱۵۵ میلیون T.E.U. می‌باشد. شبکه‌های کشتیرانی بین‌المللی ساختارهای راهبردی و ارزشمندی هستند که زیربنای سیستم تجارت جهانی را تشکیل می‌دهند. روند سفارش ساخت کشتی‌های کانتینر بر در سطح جهان نشان می‌دهد که ابعاد کشتی‌ها برای افزایش صرفه‌جویی مقیاس در طراحی‌های جدید در حال رشد است. این روند در ده سال گذشته خیره‌کننده بوده است. جدول زیر می‌تواند تاحدی این موضوع را مشخص نماید:

ابعاد فزاینده کشتی‌های کانتینربر متضمن آن هستند که: (۱) به مرور زمان ارزش کشتی (به عنوان یک دارایی) و مجموع ارزش محموله قابل‌بارگیری آن در صنعت افزایش می‌یابد، (۲) با بزرگ‌تر شدن ابعاد چینه‌های محموله‌ها در کشتی کانتینربر احتمال ایجاد حادثه در این کشتی‌ها افزایش می‌یابد و (۳) با افزایش ابعاد این چینه‌ها، قابلیت دسترسی در آنها برای پیشگیری و کنترل حوادث کاهش می‌یابد.

جدول (۳): ترکیب ناوگان جهانی کشتی‌های کانتینری از منظر ابعاد کشتی بین سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۲

فیدر	نام مشخص	۱	۲	۱	۳	۴	۵	۱	۱	۷۷
۱۰	فیدر ماکس	۱۴۶۸	۱۵۵۱	۱۶۴۸	۱۷۶۵	۱۸۸۵	۱۸۸۴	۱۸۶۹	۱۸۶۹	۵۳
۱۱		۴۰۰	۴۱۵	۴۳۴	۴۸۳	۵۲۱	۵۲۷	۵۴۹	۵۴۹	۲۳
۱۲		۲۸۹	۳۲۶	۳۶۸	۳۹۴	۴۲۹	۴۲۷	۴۲۲	۴۲۲	۲۷
۱۳	پاناما کس	۸۱۶	۸۸۵	۹۶۵	۱۰۷۴	۱۱۵۵	۱۱۸۲	۱۲۴۸	۱۲۴۸	۶۸
۱۴		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۴	۱۴
۱۵	پست پاناما کس	۳۰	۳۱	۳۱	۳۰	۳۰	۲۹	۳۲	۳۲	۷۱
۱۶		۲۳۱	۲۵۱	۲۷۱	۲۹۹	۳۳۲	۳۵۳	۳۷۶	۳۷۶	۱۶
۱۷	سوپر پست پاناما کس	۷۵	۱۱۴	۱۷۵	۱۹۴	۲۱۴	۲۳۴	۲۶۲	۲۶۲	۴۰
۱۸		۰	۴	۱۶	۳۷	۶۷	۸۷	۹۲	۹۲	۶۱
۱۹		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۰	۸۸
۲۰	نو پاناما کس	۰	۰	۰	۰	۱	۵	۲۵	۲۵	۲۵
> ۲۰*	نو پست پاناما کس	۰	۰	۳	۷	۸	۸	۸	۸	۲۰

\*مصادقات‌های موجود: کلاس E مرسک با عرض عرشه ۲۲ ردیف کانتینر؛ کلاس EEE مرسک با عرض عرشه ۲۳ ردیف کانتینر (مؤسسه لجستیک و اقتصاد کشتیرانی (ISL) برچین (۲۰۱۲): تطبیق یافته با تعاریف Ashar و Rodrigue (۲۰۱۲)).

جدول (۴): مشخصات کانتینرهای متعارف مورد استفاده در حمل‌ونقل کانتینرهای خطرناک

نوع کانتینر	ابعاد (فوت)	حجم فضای داخلی (مترمکعب)	ارزش واحد (دلار)	سقف بارگیری (تن)	وزن متوسط محموله (تن)	ارزش متوسط محموله (دلار)
چندمنظوره	۲۰	۳۰-۳۲/۱	۲۰۰۰	۲۰/۳۲-۲۴	۱۰	۲۰۰۰۰
چندمنظوره	۴۰	۶۵-۶۵/۷	۳۲۰۰	۳۰/۴۸-۳۲	۱۸	۳۶۵۰۰
چندمنظوره-مرتفع	۴۰	۷۶/۳	۳۴۰۰	۳۰/۴۸	۱۸	۳۶۷۰۰
یخچالی	۴۰	۶۰	۱۶۵۰۰	۲۹	۱۸	۴۹۸۰۰



تصویر (۴): ترکیدن کانتینر محتوی فسفید آلومینیوم در اثر حریق در انبار کشتی Maersk Kinloss

با توجه به همه آنچه گفته شد کنترل حریق در کانتینرهای محتوی کالاهای خطرناک در شمار نیازهای حتمی حمل و نقل دریایی است. به نظر می‌رسد فناوری ایروسول مگ راهکاری متناسب برای پاسخ به این نیاز است. در ادامه به بررسی تناسب کاربرد این فناوری برای استفاده در کانتینر حمل و نقلی می‌پردازیم.

## ۲-۳- مزایا و معایب بهره‌برداری از فناوری ایروسول مگ در کانتینر حمل و نقلی

فناوری ایروسول مگ سیستم اطفاءگری است که مزایای فراوان و معایب اندکی دارد. در اینجا برخی از خصوصیات این سیستم را تحت دو مقوله خصوصیات عمومی و کار ویژه بررسی می‌کنیم.

### ۲-۳-۱- خصوصیات عمومی

فناوری ایروسول مگ دارای خصوصیات ذاتی فراوانی است که آن را در عموم مصارف متصور برای اطفاءکننده‌ها ممتاز می‌کند. از جمله این خصوصیات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(۱) *کارسازی در اطفاء:* چنان که قبل از این نیز ذکر شد، فناوری ایروسول مگ در اطفای کلیه انواع حریق (فارغ از حالت و خواص ماده سوختنی) مؤثر عمل می‌کند. این خصوصیت در مقایسه با قابلیت‌های کارکردی سایر انواع اطفاءکننده‌ها امتیاز بسیار بزرگی به‌شمار می‌آید. همچنین در اطفای حریق در یک حجم کنترل مشخص نیز ایروسول مگ به مراتب بهتر از سایر اطفاءکننده‌ها عمل می‌کند. این موضوع ناشی از سطح فعال عوامل اطفاء، رفتار گازی و توزیع و واکنش سریع و یکنواخت آنها با رادیکال‌های آزاد در محیط حریق و در نهایت قابلیت نفوذ آنها در نقاط پوشیده و پنهان در صحنه حریق است؛ به نحوی که کارسازی آن نسبت ۴ برابر هالون ۱۳۰۱، ۶ برابر FM-200، ۷/۵ برابر FE-13، ۱۵/۵ دی‌اکسید کربن و ۴۰ برابر آرگوتک، اینرژن و آرگونیت ارزیابی شده است. جدول زیر مقایسه‌کننده وجوه کارکردهای اطفاءکننده‌های گوناگون است. همچنین کاربرد ایروسول مگ می‌تواند در مواردی که آب یا سایر ترکیبات شیمیایی قابل بهره‌برداری نیست، بسیار کارساز باشد.

(۲) *سازگاری زیست‌محیطی:* ایروسول مگ اطفاءکننده‌ای سازگار با محیط‌زیست است. پتانسیل تخریب آوزون در آن صفر بوده و آثار گلخانه‌ای آن بسیار اندک است. مقدار اکسیدهای نیتروژن ناشی از آن نیز بسیار کم

دهد؛ اما ماهیت حریق و انفجار در محموله‌های کالاهای خطرناک به کلی متفاوت است: اکثر کالاهای خطرناک مستعد انفجار و حریق، در شرایط حمل و نقلی بسیار فرار بوده و به سرعت به فاز گاز منتقل می‌شوند. در هنگام ایجاد حریق در محموله‌های کالاهای خطرناک، تجمع فزاینده گازها و بخارهای آتش‌زا یا انفجاری و محصولات احتراقی در فضای محدود داخل کانتینر آن را تبدیل به یک بمب ساعتی می‌کند که هر لحظه مستعد ترکیدن و یا انفجار است. این‌گونه وقایع در حریق گازهای آتش‌زا، مواد منفجره، مایعات آتش‌زا، جامدات آتش‌زا، پراکسیدهای آلی و غیر آن، کاملاً محتمل هستند. در موارد استفاده از کانتینرهای حمل و نقلی برای حمل مواد شیمیایی، همواره سعی بر آن است تا مقدار بیشتری از محموله در کانتینر گنجانده شود. این موضوع متضمن تجمع ده‌ها تن از این مواد در یک واحد حمل و نقلی است؛ به عبارت دیگر آغاز حریق در داخل چنین کانتینری چندان تفاوتی با حریق در انباری مملو از کالای خطرناک مزبور ندارد. حریق‌های شدیدی که انبوه مواد سوختنی را در محموله‌های کالاهای خطرناک در بر می‌گیرند، یک محمصه تمام عیار برای کشتی در حال سفر تلقی می‌شوند. از جمله پیامدهای محتمل انفجار یا ترکیدن یک محموله کانتینری کالای خطرناک می‌توان به تولید پرتابه‌های پرنرژی متعدد، انتشار موج انفجاری، انتشار تابشی حرارت، نشت و انتشار محتویات کالاهای خطرناک در انبار و یا عرشه، سرایت حریق به کانتینرها و تأسیسات مجاور، سرایت حریق به محموله‌های کالای خطرناک مجاور و درگیر کردن آنها در حادثه اشاره کرد. نتایج این پیامدها می‌تواند گسترش دامنه حادثه و افزایش وخامت اوضاع، تلفات جانی، تخریب گسترده در کشتی، خسارات گسترده در اموال و در نهایت انتقال به وضعیت فاجعه در کشتی باشد.

کنترل حریق کانتینر حامل کالاهای خطرناک در خشکی تفاوت‌های بسیاری با کشتی پیدا می‌کند. در یک نمونه طرح واکنش ارائه شده برای کنترل حریق در کانتینر حمل و نقلی، یک بیضی محاط به کانتینر با فاصله ۵۰ متر از آن به عنوان «منطقه پرخطر» در نظر گرفته شده و دوزنقه‌ای به ارتفاع ۸۰ متر (با زاویه ۴۵ درجه در رأس دوزنقه نسبت به دو ستون کنار درب کانتینر) به عنوان «منطقه عملیاتی» تخلیه می‌شود؛ اما این امکان عملیاتی به هیچ‌وجه در چینه‌های متراکم کانتینری عرشه و انبارهای کشتی وجود ندارد. چنان که گفته شد، کانتینرها در چینه‌های مرتفع و متراکمی در عرشه و انبارها صفاقی می‌شوند و نه تنها امکان دسترسی به محموله آنها وجود ندارد، بلکه حتی دسترسی به سطوح خارجی آنها نیز فوق‌العاده دشوار و صعب است. در سطح عرشه کشتی، هیچ‌گونه مکانیسمی برای کشف حریق در محموله‌های کانتینری وجود ندارد و اقدام و واکنش با تأخیر فراوان و بر اساس مشاهدات دیداری استوار است. از طرفی صرفاً برخی از انبارهای کشتی به دستگاه‌های کشف و اطفاء دی‌اکسید کربن مجهز بوده و احتمال کشف و اطفای حریق کانتینر توسط این سیستم نیز ۵۰٪ است. البته این کشف و اطفاء نیز پس از توسعه حریق در داخل کانتینر و افزایش حرارت انبار یا انباشته شدن آن از دود اجرا می‌شود که طبعاً با تأخیر فراوان همراه است در اطفای حریق کانتینرهای صفاقی شده در عرشه، از تجهیزاتی مانند مانتور آب و آب افشان‌ها (Water Screen) استفاده شده و البته بهره‌گیری از تفنگ‌های اطفاءگر (water lance) و نازل‌های قابل نصب نیز توصیه می‌شود.

(۴) سادگی کاربرد و صرفه‌جویی: کپسول‌های اطفانکننده ابروسول مگ در مقایسه با سایر اطفانکننده‌ها سبک‌وزن و کوچک هستند و این موضوع حمل و نصب آنها را آسان می‌کند. واحدهای ابروسول مگ تقریباً در هر مکانی قابل‌نصب بوده و قابلیت افزوده شدن به هرگونه تأسیساتی را دارد. این فناوری در مواردی که سایر تجهیزات اطفای حریق در شرایط اضطراری از دور خارج می‌شوند (مثل مواردی که پمپ‌های آب از دور خارج شده و یا به تدابیر احتیاطی ویژه نیاز است) عمل می‌کند. عمر مفید هر واحد ابروسول مگ ده سال است و در این مدت نیاز به تعمیرات و نگهداری ندارد و از این رو، این اطفانکننده فوق‌العاده مقرون به صرفه تلقی می‌شود.

(۵) حفاظت از اموال: اطفای حریق توسط ابروسول مگ هیچ‌گونه خسارتی را متوجه اموال گران‌قیمت و تجهیزات و تأسیسات حساس نمی‌کند و در عین کنترل مؤثر حریق، این اموال را کاملاً سالم در صحنه حریق بر جای می‌گذارد.

(۶) فراهم بودن در بازارها و گواهی‌های محصول: ابروسول مگ یک محصول قابل تهیه و خرید از بازارهای تجاری است. همچنان که گفتیم این محصول در مصارف فراوانی در بازارهای جهانی به کار گرفته شده، و استانداردهای کیفی فراوانی برای توسعه کاربردها و تضمین کیفیت آن تنظیم و به اجرا درآمده و پیش از عرضه در بازارها تحت آزمون‌های کیفی و ایمنی بسیاری قرار گرفته است. از جمله این استانداردها، گواهینامه‌ها

است. بر خلاف سایر اطفانکننده‌ها، ابروسول مگ هیچ‌گونه پسماند، پساب یا زباله‌ای تولید نکرده و اطفای حریق با آن مستلزم عملیات پاک‌سازی آتی نیست. سمیت ناشی از انتشار آن در محیط نیز کم است. بر این اساس، آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده در برنامه خود موسوم به SNAP (Significant New Alternatives Program) ابروسول مگ به عنوان یکی از جایگزین‌های اصلی اطفانکننده‌های هالون معرفی شده است.

(۳) ایمنی و اتکاپذیری: ابروسول مگ در مقایسه با سایر اطفانکننده‌ها، از فناوری ایمن و اتکاپذیر برخوردار است. این سیستم کاملاً ایستا بوده و هیچ‌گونه اجزای متحرکی (مانند پمپ یا کمپرسور) ندارد. این سیستم از ظروف تحت‌فشار یا لوله‌کشی در صحنه حریق بهره نمی‌گیرد. کپسول ابروسول مگ سبک‌وزن بوده و مقاومت خوبی در مقابل ضربه، خوردگی و رطوبت دارد. این فناوری قابلیت عمل با حداقل مداخله انسانی را داشته و حتی قابلیت اتوماسیون کامل را دارد. واحد اطفانکننده ابروسول مگ رسانای الکتریسیته نیست. جمیع این امور اتکاپذیری و ایمنی فناوری ابروسول مگ را در شرایط عملیاتی افزایش می‌دهد. با این حال در موارد چندی، ترکیدن تصادفی کپسول ابروسول مگ در محل تعبیه مشاهده شده است. این موارد بیان‌کننده ضرورت پژوهش برای بهبود این محصول است. توصیه برخی از مراجع بر آن است که برای ایمنی بیشتر، قفس محافظی (با رعایت فاصله ایمن از نازل تخلیه‌کننده مخلوط اطفانکننده) بر کپسول ابروسول مگ مورد تعبیه محاط گردد.

جدول (۵): مقایسه وجوه کارکردی اطفانکننده‌های موجود در بازار

اطفانکننده	فرمول	ترکیب درصد	سمیت	پتانسیل گرمایش جهانی (حرارت معادل حبس شده در تعداد واحد جرم دی اکسیدکربن در یک صدسال)	پتانسیل تخریب لایه اوزون ODP	دوره عمر اتمسفر یک (سال)	غلظت اطفانکننده درصد حجمی	مکانیسم اطفای گرم بر مترمکعب
ایروسول مگ	کربنات کلسیم پلاستیک سبک شده	۶۲/۳	کم*	۰	۰	۰	-	شیمیایی
هالون ۱۳۰۱	CBrF3	-	کم	۵۶۰۰	۱۰	۶۵	۵	شیمیایی
FM-۲۰۰	CF3CH2CF3	-	کم	۲۹۰۰	۰	۳۶/۵	۷	فیزیکی
NAF S III	CHCl2CF3 CHClF2 CHClFCF3	۴/۷۵ ۸۲ ۹/۵	کم	۱۴۵۰	۰/۰۳۶	۱۲	۱۱/۹	فیزیکی
FE-13	CHF3	-	کم	۱۱۷۰۰	۰	۲۶۴	۱۶-۱۸	فیزیکی
FE-25	CHF2CH3	-	کم	۲۸۰۰	۰	۳۲/۶	۱۰/۹	فیزیکی
3M PF 410	C4F10	-	کم	۱۸/۲	۰	۲۶۰۰	۵	فیزیکی
آرگونیت	N2 Ar	۵۰ ۵۰	کم	۰	۰	۰	۳۳/۶	فیزیکی
آرگوتک	Ar	۱۰۰	کم	۰	۰	۰	۳۸	فیزیکی
ایزژون	N2 Ar CO2	۵۲ ۸ ۴۰	کم	۰	۰	۰	۳۷/۵	فیزیکی
دی‌اکسید کربن	CO2	۱۰۰	زیاد	-	۰	-	۵۰	فیزیکی
آب	H2O	-	صفر	۰	۰	۰	-	فیزیکی
پودر شیمیایی	-	-	کم	۰	۰	۰	۱۴۰۰-۱۸۰۰	فیزیکی یا شیمیایی

\* سمیت اندک ابروسول مگ از سوی آکادمی علوم و موسسه بیوفیزیک مسکو گواهی شده است.



انباشت بیشتر کانتینر فضای کمتری برای انباشت گاز و بخار (به عنوان بستر پیشرفت فرایند احتراق) در آن باقی می‌ماند. به این ترتیب فشردگی صفاقی در فضای داخلی کانتینر به کارکرد اطفای حریق سیستم ایروسول مگ کمک می‌کند؛ حال آنکه در سیستم‌های اطفای حریق دیگر انباشتگی بیشتر کانتینر از کالا موجب تقویت حریق فرض شده و علاوه بر صعب‌تر شدن عملیات اطفاء، مقدار بیشتری از اطفاکنده را نیز طلب می‌کند.

(۳) کوچک‌سازی سیستم اطفای حریق: سیستم‌های متعارف اطفای حریق در شناورهای تجاری از تأسیسات بزرگ مشتمل بر مجموعه‌ای از مخازن بزرگ، پمپ‌ها و کمپرسورهای پر قدرت، شبکه لوله‌ها و هیدرانت‌ها تشکیل می‌شوند. سیستم‌های اطفای حریق دریایی به دلیل ضرورت مؤکد اتکاپذیری، ایمنی، کارسازی و مقاومت در برابر خوردگی در شمار گران‌قیمت‌ترین سیستم‌های اطفای حریق موجود در بازار هستند. نصب این سیستم (که از منظر کنوانسیون‌های بین‌المللی دریانوردی الزامی تلقی شده و معمولاً دربرگیرنده زیرسیستم آب افشان و گاز خشک است) علاوه بر هزینه‌بری در نصب، تعمیرات و نگهداری فضای زیادی از کشتی را نیز اشغال کرده و احياناً می‌تواند موجب خطراتی در عملیات عادی و غیرعادی کشتی (به‌ویژه در هنگام واکنش در شرایط اضطراری) شوند. علاوه بر این همچنان که در FP 53/INF و FP 54/INF.2 نیز قید شده، این سیستم‌ها قابلیت کنترل خودکار حریق را در حریق‌هایی که در عرشه کشتی روی می‌دهند، نداشته و این حریق‌ها باید به شیوه دستی اطفاء گردند. با این اوصاف می‌توان گفت که این تأسیسات سرمایه‌بر بوده و کارسازی محدودی در کنترل حریق در کشتی دارند. در مقابل این سیستم‌ها، سیستم ایروسول مگ یک سیستم قابل حمل است که قابلیت نصب (برداشت و یا نصب مجدد) را در داخل کانتینر داشته و به هیچ‌یک از اجزای الزامی موردنظر نیاز ندارد. این سیستم فضای زیادی از کشتی را اشغال نکرده و در طی سفر دریایی یا توقف نیاز به نگهداری و یا حتی بازدید و سرکشی ندارد. در صورت افزایش دمای داخل کانتینر، این سیستم اطفای حریق به طور خودکار وارد سرویس شده و بدون تأثیرپذیری از محل یا نحوه صفاقی کانتینر در کشتی به نحو کارساز عمل می‌کند. با توجه به عمر ده‌ساله واحد ایروسول مگ، هر واحد از این اطفاکنده را می‌توان بارها و بارها در محموله‌های کانتینری مختلف نصب نموده و در سفرهای دریایی مورد استفاده قرار داد تا زمانی که واحد موردنظر در شرایط حریق مصرف شده و یا تاریخ مصرف آن منقضی گردد. از این‌رو بهره‌برداری از فناوری ایروسول مگ در محموله‌های کانتینری می‌تواند زمینه‌ساز صرفه‌جویی قابل توجهی در فضا، وزن و هزینه‌ها در شناورهای کانتینربر شود. هرچند تأسیسات اطفای حریق کشتی همچنان نقش حیاتی خود را حفظ خواهند کرد، اما کاربرد سیستم‌های اطفای حریق درون محموله‌ای می‌تواند به این سیستم‌ها کمک کرده و زمینه بهبود کارکردی آنها را فراهم آورد. شاید دستیابی به سطح نسبتاً مقبولی از ایمنی در قسمت بارچینی کشتی، زمینه انتقال تمرکز صاحبان کشتی را از «ایمنی محموله‌ها» به «ایمنی کشتی» فراهم آورد. این موضوع نیاز به بررسی دقیق‌تری در آینده دارد.

(۴) بهبود کارسازی و ایمنی در کنترل حریق محموله‌ها: همان‌طور که ذکر شد، در هنگام سفر دریایی دسترسی به فضای داخلی کانتینر به شدت محدود می‌شود و کشف حریق در محموله‌های صفاقی شده در کشتی اغلب با تأخیر فراوان صورت می‌گیرد. همچنین گفتیم که عملیات اطفای حریق

و تأییدیه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: AS/NZS، AS 4487، 1851، گواهینامه‌های محصول از برنامه فضایی سایوز (SOYUZ) سازمان هوا - فضای روسیه، گواهینامه ثبت استاندارد از ثبت نوابری دریایی روسیه، گواهینامه بهداشت از وزارت بهداشت روسیه، گواهینامه مقاومت در برابر خوردگی از مؤسسه روسی مهندسی مکانیک در هوانوردی، گواهینامه عدم تخریب لایه اوزون از آکادمی علوم روسیه، تأییدیه استفاده در ماشین‌آلات قایق‌های کوچک گارد ساحلی انگلستان، تأییدیه بهره‌برداری در شناورهای تجاری نیوساوت ولز توسط نهاد ناظر بر آبراهه‌های استرالیا، ثبت تحت سند AFI1731 در فهرست تجهیزات حفاظت از حریق در آزمایشگاه‌های خدمات علمی استرالیا (SSL)، تأییدیه اجزای شیمیایی تشکیل‌دهنده از NICNAS استرالیا، ثبت تحت برنامه SNAP در آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (EPA)؛ آزمایش کاربرد محصول توسط مراجعی چون آزمایشگاه‌های خدمات علمی استرالیا (SSL)، نهاد پوشش کار استرالیا، کتابخانه ملی روسیه؛ و نامه‌های پذیرش از بخش دریایی BV، سازمان آتش‌نشانی و نجات مالزی، BHP استرالیا و بسیاری دیگر.

## ۲-۳-۲- خصوصیات کار ویژه

کاربرد ویژه فناوری ایروسول مگ در حمل‌ونقل دریایی کانتینرهای حامل کالاهای خطرناک می‌تواند موجد مزایایی به این شرح در صنعت دریانوردی باشد:

(۱) وسعت دامنه کارکردی اطفای حریق: در بهره‌برداری از سیستم‌های رایج اطفای حریق، حجم کنترل بر روی چینه کانتینرهای صفاقی شده بر روی کشتی بسته می‌شود. این موضوع موجب تفاوت بارزی در کانتینرهای مورد صفاقی بر روی عرشه و کانتینرهای مورد صفاقی در انبارها می‌شود؛ اما در صورت کاربرد فناوری ایروسول مگ در داخل کانتینر، حجم کنترل مورد تعریف در کارکرد حفاظت از حریق بر روی کانتینر حمل‌ونقلی بسته‌شده و عملیات اطفاء فارغ از محل صفاقی کانتینر در کشتی در داخل کانتینر اجرا می‌شود. به عبارت دیگر، سیستم ایروسول مگ در داخل واحد حمل‌ونقلی عمل کرده و عملیات اطفاء تحت تأثیر محدودیت‌های ناشی از محیط پیرامون کانتینر قرار نمی‌گیرد. از این‌رو، دامنه اطفای حریق (بر خلاف سیستم‌های اطفاء کننده دی‌اکسید کربن در انبارها و جت‌های آب در عرشه) کلیه اماکن صفاقی کالا را در کشتی به نحو یکسان در بر می‌گیرد. از سوی دیگر باید در نظر داشت که کانتینر حمل‌ونقلی همواره بین وجوه حمل‌ونقلی در تبادل بوده و ریسک‌های محموله محتوی در آن نیز به این طریق از یک وجه حمل‌ونقلی به وجه دیگر منتقل می‌شود. بهره‌برداری از سیستم اطفای حریق مورد نصب در داخل کانتینر حمل‌ونقلی و تعریف حجم کنترل بر روی آن می‌تواند موجب امتداد دامنه کارکردی اطفای حریق از یک وجه حمل‌ونقلی خاص به سرتاسر زنجیره تأمین شود. این امر می‌تواند ابتکاری مؤثر برای انسجام‌بخشی تدابیر ایمنی در حمل‌ونقل بین وجهی کالاهای خطرناک به شمار آید.

(۲) کارایی در اطفای حریق: در صورت بهره‌برداری از فناوری ایروسول مگ، هرچه فضای کانتینر حمل‌ونقلی انباشته‌تر از محموله باشد، حجم کمتری از مخلوط اطفاکنده برای اطفای حریق مورد نیاز خواهد بود. این امر ناشی از آن است که به دلیل بسته بودن فضای داخل کانتینر، با

(۶) سایر مصارف: در صورت کاربرد گسترده این فناوری، می‌توان هر کشتی را ملزم به همراه داشتن چند واحد ایروسول مگ کرد. این واحدها قابلیت کاربرد در فضاهای بسته کشتی همچون موتورخانه و یا انبارهای کشتی را دارند و در صورت ایجاد حریق در آنها می‌توانند به راحتی برای اطفای حریق به کار گرفته شوند و پس از مصرف یک واحد در ادامه سفر با نصب واحد دیگری جایگزین شوند. همچنین برای سهولت استفاده از این فناوری در فضاهای بسته می‌توان به جای کپسول ایروسول مگ از نارنجک‌های پرتابی آن استفاده کرد.

بنا بر توصیف ارائه شده از خصوصیات عمومی و کارویژه فناوری ایروسول مگ، می‌توان گفت که این فناوری راهکاری کارساز و کارآمد برای کنترل حریق در کانتینرهای حامل کالاهای خطرناک است. البته جنبه‌هایی مانند قیمت، ایمنی و اتکاپذیری این محصول همچنان جای بهبود دارد و انتظار می‌رود با کاربرد گسترده آن در صنعت دریانوردی این جنبه‌ها نیز رو به بهبود گذارند. البته بر الگوی عرضه این محصول و خدمات حین و یا پس از فروش آن در بازارهای جهانی و بازار داخلی ایران نیز نقدهایی وارد است که برای ترویج استفاده گسترده از آن باید کاملاً جدی گرفته شوند.

بهره‌گیری از فناوری ایروسول مگ در کانتینرهای حامل کالاهای خطرناک مورد توجه ویژه بخش دریانوردی جمهوری اسلامی ایران بوده است. بهره‌برداری از این فناوری در حمل‌ونقل دریایی کانتینرها در سال ۲۰۰۸ میلادی طی سند شماره DSC 13/3/11 به کمیته فرعی کالاهای خطرناک، کانتینر و کالای خشک سازمان بین‌المللی دریانوردی پیشنهاد شد و در سال ۱۳۸۹ نیز در بندر مجتمع بندری شهیدرجایی مورد آزمایش قرار گرفت. نتیجه حاصل از این آزمایش‌ها نشان‌دهنده قابلیت بهره‌برداری از این فناوری برای کنترل حریق در کانتینرهای حامل کالاهای خطرناک بود. امیدواریم با توجه و پشتیبانی عرضه‌کنندگان این محصول در سطح ملی و بین‌المللی امکان کار، منزلت حمایت کارشناسانه جمهوری اسلامی ایران از این محصول تجاری پاس داشته شود و زمینه کار بیشتر بر روی این راهکار و پیشنهاد آن به مراجع بین‌المللی صنعت دریانوردی فراهم گردد؛ چرا که این امر موجب ارتقای سطح ایمنی در صنعت حمل‌ونقل دریایی شده و زمینه بسیاری از حوادث و فجایع محتمل در صنعت حمل‌ونقل را بر خواهد چید. البته با توجه به سودآوری فوق‌العاده این امر برای تأمین‌کنندگان این محصول تجاری انتظار می‌رود که این گروه سوداگری جزئی‌نگرانه را کنار بگذارند و به نحو مؤثرتری به پشتیبانی در مفهوم‌پردازی لارم در این زمینه اهتمام ورزند.

### ۳- نتیجه‌گیری

مخاطرات حریق در شناورهای کانتینربر مسئله‌ای چالش‌برانگیز در حمل‌ونقل دریایی می‌باشد. از یک‌سو، ریسک‌ها و هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن قابل‌تحمیل نیست و از طرف دیگر، کنترل حریق در کشتی با محدودیت‌های جدی مواجه است. این موضوع در مراجع بین‌المللی، به‌ویژه در اسناد سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO) بسیار مورد توجه بوده است.

در محموله‌های کانتینری دریایی اغلب با محدودیت‌های متعددی مواجه است که به کشتی یا محموله باز می‌گردند. در مواجهه با این چالش، بهره‌برداری از سیستم ایروسول مگ می‌تواند عملکرد ممتازی را در زمینه اطفای حریق فراهم آورد. این سیستم در صورت دریافت سیگنال الکتریکی افزایش درجه حرارت داخل کانتینر<sup>۳</sup>، یا آتش گرفتن فتیله متصل به سیلندر فعال می‌شود. کاربرد فناوری ایروسول مگ در محموله‌های کانتینری نه تنها موجب کشف سریع و اطفای شتاب‌مند و کارساز حریق می‌شود، بلکه مداخله انسان را نیز در اطفای حریق به حداقل می‌رساند. این مشخصه موجب صیانت از نفوس انسانی در اطفای حریق شده و در عین حال آثار خطای انسانی در این گونه عملیات به حداقل می‌رساند.

(۵) قیمت: با توجه به ابعاد داخلی کانتینرهای ۲۰ فوتی و ۴۰ فوتی، اطفای حریق مؤثر در این کانتینرها به ترتیب نیاز به MAG13 و MAG16 دارد. در بازارهای ایمنی، ایروسول مگ در شمار اطفاکنده‌های نسبتاً گران قرار می‌گیرد. از آنجا که تجهیز هر محموله کالای خطرناک مستلزم نصب یک واحد ایروسول مگ در کانتینر حمل‌کننده آن است، الزام صاحبان کالا به خرید یک واحد از این اطفاکنده برای هر یک از محموله‌های شان می‌تواند در فرایند حمل‌ونقل بسیار هزینه‌زا تلقی گردیده و حتی توجیه اقتصادی حمل‌ونقل کالاهای خطرناک را با چالش مواجه کند. این در حالی است که حمل‌ونقل بخش اعظم محموله‌های کالای خطرناک عاری از حوادث (از جمله ایجاد حریق) است و این موضوع موجب خواهد شد که اکثر قریب به اتفاق واحدهای ایروسول مگ در انتهای سفر دریایی نزد بسیاری از صاحبان کالا بی‌استفاده باقی بماند. به نظر می‌رسد هزینه‌های بهره‌برداری از این فناوری در حمل‌ونقل کانتینری را با توسعه شبکه واگذاری کانتینرهای مجهز به اطفاکنده ایروسول مگ حل کرد. همچنان که گفتیم عمر مفید این اطفاکنده به ده سال بالغ می‌شود و اغلب محموله‌های کالای خطرناک نیز با توجه به تدابیر پیشگیرانه به نحوی ایمن در دریا حمل می‌شوند. از آنجا که این کپسول‌ها قابلیت نصب مجدد در کانتینرهای حمل‌ونقلی را دارد، خطوط کشتیرانی می‌توانند با تهیه موجودی معینی از این کپسول‌ها در سطح شبکه توزیع کانتینر خود، آنها را صاحبان کالاهای آتش‌زا یا آتش‌گیر یا منفجره عرضه نمایند. راهکار سهل‌تر، نصب دائمی کپسول ایروسول مگ بر روی تعدادی از کانتینرهای حمل‌ونقلی خط کشتیرانی و تخصیص ویژه آنها برای محموله‌بندی کالاهای خطرناک است. به این طریق خطوط کشتیرانی علاوه بر اینکه مشتریان خود را از تقبل هزینه سنگین خرید واحدهای ایروسول مگ می‌رهانند، با واگذاری و کرایه واحدهای اطفاکنده مزبور در عین تحصیل درآمد، ایمنی کالای مورد حمل، کانتینر حامل آن و کشتی حمل‌کننده آن را نیز افزایش می‌دهند. با این حال باید توجه داشت که در صورت الزام قانونی به بهره‌برداری از فناوری ایروسول مگ، تقاضای عمده‌ای برای آن در بازارها ایجاد خواهد شد که می‌تواند محرک افزایش حجم تولید و کاهش هزینه‌های تولید در اثر صرفه‌جویی‌های مقیاس نزد تولیدکنندگان این محصول گردد.

۳. دمای پیش‌فرض فعال‌سازی سیلندر معمولاً برابر ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد است و البته می‌توان آن را در سطوح موردنظر در محموله تنظیم نمود.

## مراجع:

1. IMO; International Maritime Dangerous Goods Code; 2012.
2. Vandeborn, Yves; Misdeclared Cargo: The stand; Safety ulletin of The Standard Club Ltd., July 2014.
3. US Coast Guard; Theoretical Basis of the Ship Fire Safety Engineering Methodology; 1996
4. IMO ; MSC87-INF.2:FSA – Dangerous Goods Transport with Open-Top container vessels; 2009
5. Baratov, A.N.; Practice of Use of Aerosol Extinguishing Agents Obtained by Combustion of Propellants; International Association for Fire Safety Science;
6. International Aircraft Systems; Pyrogen™: The New Revolution in Fire Suppression Technology; Atlantic City NJ. 2000.
7. Active Fire Protection Equipment Listing Scheme; AFP 1317; Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia; 2009
8. UNCTAD; Review of Maritime Transport 2013.
9. Institute of Shipping Economics and Logistics; Shipping Statistics and Market Review, Volume 56, No.5/6; Bremen; 2012.
10. IMO; MSC 83/INF.8: FSA – container vessels; 2007.
11. Munich Re Group; Containers: Transport, Technology, Insurance; 2002.
12. IMO; Convention on Safe Container (CSC); 1996.
13. US Coast Guard; Fire Performance of Intermodal Shipping Containers; 1977.
14. Delcourt, Don; Garis, Len; Intermodal Shipping Container Fire Safety: A Way Towards Better Practices; University of Fraser Valley; 2014.
15. DNV; Technical Paper-Cargo Fires on Container Carriers; 2003
16. Sames, Pierre; Fire safety research for container vessels; Germanischer Lloyd; 2008.
17. PYROGEN™; A Revolution in Fire Suppression Technology (product catalogue); 2005.

فناوری ایروسول مگ در شمار دستاوردهای بارز صنعت آتش‌نشانی است. در این مقاله به توصیف اجمالی این فناوری پرداخته شد و شرح دادیم که این فناوری از منظر کارسازی در اطفاء ایمنی و اتکاپذیری، سادگی کاربرد و صرفه‌جویی، حفاظت از اموال، فراهم بودن در بازارهای تجاری و گواهی‌های محصول و سازگاری با محیط‌زیست نسبت به اطفاکنده‌های دیگر موجود در بازار دارای مزایای بارزی است. همچنین استفاده از این اطفاکنده در کانتینرهای حامل کالاهای خطرناک مزایای بارز دیگری را ایجاد می‌کند که از جمله آنها می‌توان به توزیع دامنه کارکردی اطفای حریق، بهبود کارایی در کنترل حریق، کوچک‌سازی سیستم اطفای حریق، بهبود کارسازی و ایمنی در کنترل حریق محموله‌ها و سایر مصارف اشاره کرد. در راستای مفهوم‌پردازی در زمینه کاربرد این فناوری در حمل‌ونقل دریایی محموله‌های کانتینری و تجاری‌سازی آن، مدل واگذاری استیجاری واحدهای ایروسول مگ یا کانتینرهای تجهیز شده به این فناوری را تشریح شد. بر این مبنا به نظر می‌رسد که فناوری ایروسول مگ راهکاری مناسب برای کنترل حریق در محموله‌های کانتینری کالاهای خطرناک می‌باشد و صنعت دریانوردی و در دامنه‌ای فراخ‌تر کل صنعت حمل‌ونقل می‌تواند از این رهگذر منتفع شود. البته ارتقای ایمنی، اتکاپذیری، قیمت و عرضه این اطفاکنده در بازارهای جهانی و ملی در شمار ضروریات است.

صنعت دریانوردی جمهوری اسلامی ایران اهتمام ویژه‌ای به مفهوم‌پردازی کارشناسانه در زمینه معرفی این اطفاکنده به صنعت حمل‌ونقل کانتینری به عمل آورده است. از جمله اقدامات صورت‌پذیرفته در این زمینه می‌توان به ارائه تنظیم سند پیشنهاد کاربرد این فناوری در کانتینرهای حامل کالاهای خطرناک و آزمایش‌های حریق کالاهای خطرناک در بنادر کشور اشاره کرد، جای آن دارد که تأمین‌کنندگان فناوری ایروسول مگ ضمن قدردانی از دولت جمهوری اسلامی ایران، از مطالعات مفهومی در زمینه توسعه این کاربرد نوین برای فناوری یادشده پشتیبانی کنند.