

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

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

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۳

\*نویسنده مسئول

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۳

© 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 کانتینر 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 پیش از 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 پرم

## 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 دریابیمایی 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 کانتینربر 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 آبی در اثر انتشار حریق در کشتی و (۷) افت یا توقف کامل کار 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: اثربخشی اطفای حریق، اتکاپذیری، 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، منسوجات، 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 Flaminia پس از اطفای حریق در آن (اقیانوس اطلس، ژوئیه ۲۰۱۲)

محدودیت دیگر در این مسئله به تراکم صفای محموله‌ها در کشتی کانتینری باز می‌گردد. طراحی کشتی کانتینر بر به گونه‌ای است که متراکم‌ترین صفای ممکن محموله‌های کانتینری در آن امکان‌پذیر باشد. کانتینرها و محموله‌های کانتینری در چینه‌هایی صفای می‌شوند که در هر طرف حداقل فاصله ممکن را بین آنها فراهم آورد؛ بخش قابل توجهی از فاصله باقیمانده نیز توسط لاشینگ و مهاربندها اشغال می‌شود. دسترسی به کانتینرهایی که در میانه چینه مورد صفای بر روی عرشه و یا در داخل انبار قرار می‌گیرند، بسیار دشوار است. این موضوع نه تنها کشف حریق در کانتینرها را دشوار می‌کند، بلکه عملیات اطفای حریق را نیز در کشتی با دشواری‌های بسیار مواجه می‌کند. مکانیسم‌های مهارکشی و مهاربندی کانتینرها نیز نسبت به انفجار و حریق‌های بزرگ آسیب‌پذیر بوده و تسلیم سازه‌ای آنها موجب فروریختن چینه‌های کانتینری بر روی عرشه و یا به داخل دریا می‌شود.

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

## ۱-۲- مفهوم آتش‌زایی

آتش‌زایی یکی از پر مواجهه‌ترین مخاطرات و در فهرست کالاهای خطرناک سازمان ملل متحد است؛ در واقع خطر آتش‌زایی در بسیاری از اجناس و کالاهای حمل‌ونقلی مانند سوخت‌ها، کودها، مواد شیمیایی، 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.

جدول (۱): حوادث بزرگ کالاهای خطرناک در حمل و نقل 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 Flaminia
		حریق	۲۰۱۲	Amsterdam Bridge
	بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیون دلار	اشکال سازه‌ای و حریق	۲۰۱۳	MOL Comfort
		حریق	۲۰۱۳	Maersk Kampala
		حریق	۲۰۱۳	Zim Rotterdam
		انفجار	۲۰۱۳	Hansa Brandenburg

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.

## ۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

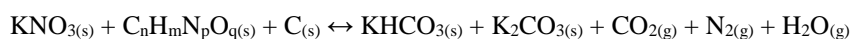
### ۲-۱- فناوری ابروسول مگ

فناوری ابروسول 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 اطفای‌کننده‌های 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

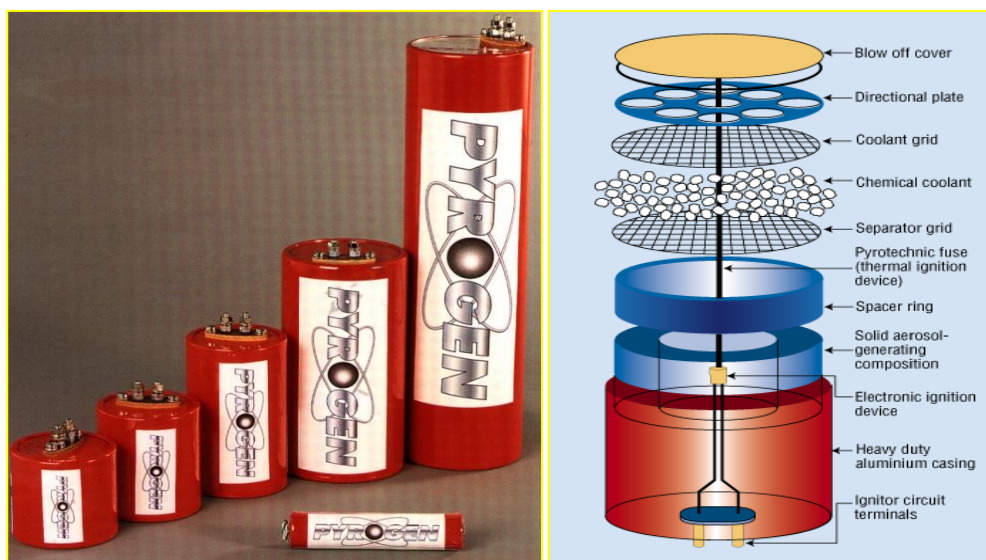
و کتابخانه‌ها، خزانه بانک‌ها، آسمان‌خراش‌ها، خودروها، ساختمان‌ها، تأسیسات الکتریکی، تأسیسات مخابراتی، اتاق‌های سرور، اتاق‌های کنترل، تجهیزات صنعتی و بسیاری دیگر اشاره کرد.

فناوری ایروسول مگ بر مبنای تولید و انتشار یک مخلوط گازی اطفاف کننده و سردسازی آن برای انتشار یکنواخت در صحنه حریق عمل می‌کند. واحدهای اطفاف 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 آتش گیر و برخی افزودنی‌ها است. عامل اکساینده از جنس نیترات پتاسیم بوده و شیرازه آتش گیر از جنس نیترو سلولز (CnHmNpOq) جامد است که برخی عوامل پایدارکننده به آن افزوده شده است. این سیستم مجهز به یک سیستم کشف کننده حریق است که در انواع تجاری موجود در بازار از یک فتیله آتش گیر منتقل کننده حریق و یا زیرسیستم تجاری کشف کننده حرارت تشکیل شده است.

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

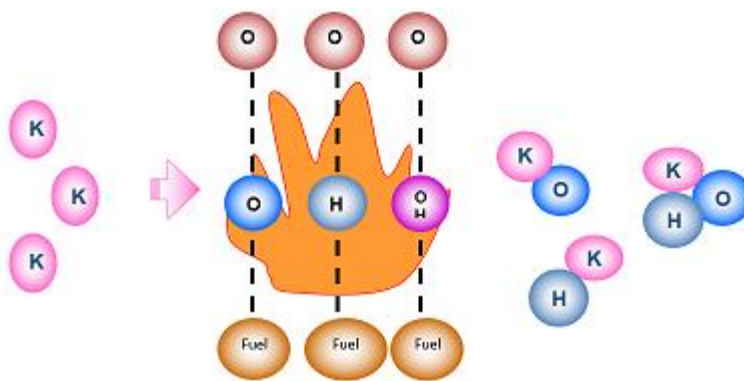


محصول گازی پرفشار این واکنش که حاوی کربنات پتاسیم، بی کربنات پتاسیم، دی اکسید کربن، نیتروژن و آب است، در معرض مجموعه‌ای از عوامل سردکننده شیمیایی و فیزیکی جریان می‌یابد تا مخلوط یکنواختی از ذرات معلق در گاز (ایروسول) ایجاد شود که همانا عامل اطفاف کننده حریق در این محصول است.



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

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



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

به این ترتیب مخلوط گازی اطفاف کننده 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 اطفاف کننده با مداخله در واکنش‌های زنجیره‌ای پیش‌برنده احتراق موجب اطفای حریق می‌شود و (۲) به طور همزمان، سردسازی محیط حریق عملکرد اطفایی را تقویت می‌کند. از آنجا که مخلوط گازی اطفاف کننده 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 میلی آمپر $\geq$	جنس کپسول
$400 \leq$ میلی آمپر در $24/12/6$ ولت طی ۱۰ هزارم ثانیه	پوشش سطح
۱۷۵ درجه سانتی گراد	حداکثر/حداقل دمای محیط
۴-پین نظامی تیپ ۲ PMDT	مقاومت در برابر شوک
آنالوگ MIL-C-5015	مقاومت در برابر شوک
$250 >$	مقاومت در برابر ارتعاش
۲۸ اهم بر کیلومتر	مقاومت در برابر خوردگی
	مقاومت در برابر ضربه
	رطوبت
طبقه بندی	مشخصات مخلوط اطفاف کننده (حداکثر غلظت طراحی)
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.
	۰/۰۷۵ درصد
تحت شناسه بین‌المللی کالاهای خطرناک UN 1325 و	$75 \geq$ درجه سانتی گراد
کلاس خطرناکی ۱-۴	۱۷ تا ۲۰ درصد
II	$60 \geq$ درجه سانتی گراد

## ۲-۲- حمل و نقل کانتینر و کالاهای خطرناک

طی دهه‌های گذشته، موج کانتینریزاسیون صنعت حمل و نقل 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 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:

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

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

\*مصداق‌های 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) برین (۲۰۱۲)؛ تطبیق یافته با تعاریف Ashar و Rodrigue (۲۰۱۲).

ابعاد فزاینده کشتی‌های کانتینر متضمن آن هستند که: (۱) به مرور زمان ارزش کشتی (به عنوان یک دارایی) و مجموع ارزش محموله قابل بارگیری آن در صنعت افزایش می‌یابد، (۲) با بزرگ‌تر شدن ابعاد چینه‌های محموله‌ها در کشتی کانتینر 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.

مطالعات اروپایی ارائه شده در سازمان بین‌المللی دریانوردی نشان می‌دهد محموله‌های کانتینری بین ۵ تا ۱۰٪ از محموله‌های حمل و نقل دریایی تجارت کانتینری جهان را تشکیل می‌دهند. برآورد می‌شود که بین ۲۰ تا ۳۰٪ این محموله‌ها در هنگام حمل و نقل 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 حمل و نقل دریایی دارند. با توجه به پیشرفت سریع این روند، لازم است که ایمنی شیمیایی به عنوان جزئی اساسی از ایمنی در حمل و نقل دریایی در نظر گرفته شود.

اغلب محموله‌های کالاهای خطرناک در کانتینرهای حمل و نقلی 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.

جدول (۴): مشخصات کانتینرهای متعارف مورد استفاده در حمل و نقل 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

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 حمل و نقل 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 حمل و نقل 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 حمل و نقل کانتینر محموله‌ها می‌تواند از بین اهداف سه‌گانه ایمنی حریق در کشتی، اهداف حفاظت جانی سرنشینان و تداوم مأموریت کشتی را پوشش 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 مخمصه 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 پرنان‌ری متعدده، 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 صفا 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 اطفای حریق مجهز بوده و احتمال کشف و اطفای حریق کانتینر توسط این سیستم نیز ۵۰٪ است. البته این کشف و اطفای حریق نیز پس از توسعه حریق در داخل کانتینر و افزایش حرارت انبار یا انباشته شدن آن از دود اجرا می‌شود که طبیعتاً با تأخیر فراوان همراه است در اطفای حریق کانتینرهای صفا شده در عرشه، از تجهیزاتاتی مانند مانی‌تور آب و آب افشان‌ها (Water Screen) استفاده شده و البته بهره‌گیری از تفنگ‌های اطفای (water lance) و نازل‌های قابل نصب نیز توصیه می‌شود.





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 کاربردی 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 اوزون در آن صفر بوده و آثار گلخانه‌ای آن بسیار اندک است. مقدار اکسیدهای نیتروژن ناشی از آن نیز بسیار کم است. بر خلاف سایر اطفاءکننده‌ها، ایروسول 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 ایالات متحده در برنامه خود موسوم به SNAP (Significant New Alternatives Program) ایروسول مگ به عنوان یکی از جایگزین‌های اصلی اطفاءکننده‌های هالون معرفی شده است.

(۳) ایمنی و اتکاپذیری: ایروسول مگ در مقایسه با سایر اطفافکننده‌ها، 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 تحت فشار یا لوله‌کشی در صحنه حریق بهره نمی‌گیرد. کپسول ایروسول 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 اطفافکننده ایروسول مگ رسانای الکتریسیته نیست. جمیع این امور اتکاپذیری و ایمنی فناوری ایروسول مگ را در شرایط عملیاتی افزایش می‌دهد. با این حال در موارد چندی، ترکیدن تصادفی کپسول ایروسول 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 تخلیه کننده مخلوط اطفافکننده) بر کپسول ایروسول مگ مورد تعبیه محاط گردد.

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

مکانیسم اطفافکننده	غلظت اطفافکننده		دوره عمر اتمسفر یک (سال)	پتانسیل گرمایش جهانی GWP (حرارت معادل حبس شده در تعداد واحد جرم دی اکسید کربن در یک صدسال)		سمیت	ترکیب درصد	فرمول	اطفافکننده
	گرم بر مترمکعب	درصد حجمی		پتانسیل تخریب ODP لایه اوزون	پتانسیل گرمایش جهانی GWP (حرارت معادل حبس شده در تعداد واحد جرم دی اکسید کربن در یک صدسال)				
شیمیایی	۱۰۰	-	۰	۰	۰	کم*	۶۲/۳	کربنات کلسیم پلاستیک سائز شده	ایروسول مگ
شیمیایی	۳۳۰	۵	۶۵	۱۰	۵۶۰۰	کم	۱۲/۷٪ ۱۶٪۹	نیتروسلولز کربن چسب	هالون ۱۳۰۱
فیزیکی	۵۳۰	۷	۳۶/۵	۰	۲۹۰۰	کم	-	CBrF3	۲۰۰-FM-
فیزیکی	۵۳۰	۱۱/۹	۱۲	۰/۰۳۶	۱۴۵۰	کم	۴/۷۵٪ ۸٪ ۹/۵٪	CHC12CF3 CHC1F2 CHC1FCF3	NAF S III
فیزیکی	۴۷۰	۱۶-۱۸	۲۶۴	۰	۱۱۷۰۰	کم	-	CHF3	FE-13
فیزیکی	۵۸۰	۱۰/۹	۳۲/۶	۰	۲۸۰۰	کم	-	CHF2CH3	FE-25
فیزیکی	۵۳۰	۵	۲۶۰۰	۰	۱۸/۲	کم	-	C4F10	3M PF 410
فیزیکی	۶۰۰	۳۳/۶	۰	۰	۰	کم	۵۰٪ ۵۰٪	N2 Ar	آرگونیت
فیزیکی	۵۰۰	۳۸	۰	۰	۰	کم	۱۰۰٪	Ar	آرگونیک
فیزیکی	۵۰۰	۳۷/۵	۰	۰	۰	کم	۵۲٪ ۴۰٪۸	N2 Ar CO2	اینرژن
فیزیکی	۹۰۰	۵۰	-	۰	-	زیاد	۱۰۰٪	CO2	دی‌اکسید کربن
فیزیکی	-	-	۰	۰	۰	صفر	-	H2O	آب
فیزیکی یا شیمیایی	-	۱۴۰۰-۱۸۰۰	۰	۰	۰	کم	-	-	پودر شیمیایی

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

(۴) سادگی کاربرد و صرفه‌جویی: کپسول‌های اطفافکننده ایروسول مگ در مقایسه با سایر اطفافکننده‌ها سبک‌وزن و کوچک هستند و این موضوع حمل و نصب آنها را آسان می‌کند. واحدهای ایروسول مگ تقریباً در هر مکانی قابل نصب 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 ایروسول مگ ده سال است و در این مدت نیاز به تعمیرات و نگهداری ندارد و از این رو، این اطفافکننده فوق‌العاده مقرون به صرفه تلقی می‌شود.

(۵) حفاظت از اموال: اطفای حریق توسط ایروسول 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: ایروسول 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 و تأییدیه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: AS 4487، AS/NZS 1851، گواهینامه‌های محصول از برنامه فضایی سایوز (SOYUZ) سازمان هوا - فضای روسیه، گواهینامه ثبت استاندارد از ثبت ناوبری 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 AFP1731 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 صفافی شده بر روی کشتی بسته می‌شود. این موضوع موجب تفاوت بارزی در کانتینرهای مورد صفافی بر روی عرشه و کانتینرهای مورد صفافی 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 بسته شده و عملیات اطفای فارغ از محل صفافی کانتینر در کشتی در داخل کانتینر اجرا می‌شود. به عبارت دیگر، سیستم ایروسول مگ در داخل واحد حمل‌ونقلی عمل کرده و عملیات اطفای تحت تأثیر محدودیت‌های ناشی از محیط پیرامون کانتینر قرار نمی‌گیرد. از این‌رو، دامنه اطفای حریق (بر خلاف سیستم‌های اطفای کننده دی‌اکسید کربن در انبارها و جت‌های آب در عرشه) کلیه اماکن صفافی 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 انباشت بیشتر کانتینر فضای کمتری برای انباشت گاز و بخار (به عنوان بستر پیشرفت فرایند احتراق) در آن باقی می‌ماند. به این ترتیب فشردگی صفافی 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 اطفای، 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 پرقدرت، 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

احیاناً می‌توانند 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 قیدشده، این سیستم‌ها قابلیت کنترل خودکار حریق را در حریق‌هایی که در عرشه کشتی روی می‌دهند، نداشته و این حریق‌ها باید به شیوه دستی اطفأ 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 صفا کانتینر در کشتی به نحو کارساز عمل می‌کند. با توجه به عمر ده‌ساله واحد ایروسول مگ، هر واحد از این اطفأ کننده را می‌توان بارها و بارها در محموله‌های کانتینری مختلف نصب نموده و در سفرهای دریایی مورداستفاده قرار داد تا زمانی که واحد موردنظر در شرایط حریق مصرف‌شده و یا تاریخ‌مصرف آن منقضی گردد. از این‌رو بهره‌برداری از فناوری ایروسول مگ در محموله‌های کانتینری می‌تواند زمینه‌ساز صرفه‌جویی قابل‌توجهی 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 صفا شده در کشتی اغلب با تأخیر فراوان صورت می‌گیرد. همچنین گفتیم که عملیات اطفای حریق 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 این‌گونه 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 اطفأکننده‌های 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 اطفأکننده 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 اطفأکننده ایروسول مگ حل کرد. همچنان که گفتیم عمر مفید این اطفأ کننده 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 اطفأکننده 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

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

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.

(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 ارائه‌شده 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.

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 تأمین کنندگان فناوری ایروسول مگ ضمن قردادانی از دولت جمهوری اسلامی ایران، از مطالعات مفهومی در زمینه توسعه این کاربرد نوین برای فناوری یادشده پشتیبانی کنند.

## Reference

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.