

نشریه علمی پژوهش در ایمنی سلامت و محیط زیست

سال اول، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲: (پیاپی ۱۳-۱۲)

علمی

مدل سازی سناریوهای حریق و انفجار در مخزن مونو متیل هیدرازین با نرم افزار PHAST

سید رضا کریمی^۱، حمید ایثاری نیا^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

چکیده

انجام کار و فرایند تست موتورهای با پیشران مایع فرایندی بسیار پیچیده است. در این مقاله سعی شده ضمن معرفی مخاطرات کار استند تست استاتیک پیشران مایع بر پایه پیشرانه مونو متیل هیدرازین نامتقارن و نیتروژن تترا اکسید، استانداردهای حاکم مثل DOD 6055 و ناسا مدنظر قرار می‌گیرد. بیان محاسبات مربوط به وزن پیشران مورد نیاز این ۲ ماده، الزامات استاندارد حاکم بر مکان‌یابی سایت، مخاطرات کار کردن با این مواد با روش مطالعات استانداردهای موجود دنیا بررسی شد. در این تحقیق ضمن استفاده از استانداردها جهت در نظر گرفتن فواصلی چون اتاق کنترل تست، با مدل سازی مقادیر و سناریوهای مرتبط در محل مذکور سعی شد تا بررسی کاملی صورت پذیرد. با قرارگیری اتاق کنترل در فاصله ۱۹۳ متری احتمال شکستن شیشه‌ها و آسیب به گوش کارکنان در صورت انفجار بسیار کمتر از ۱٪ است. الگوهای حاصل از انتشار و اشتعال نشان می‌دهند که آسیب‌های سطح بالای مخزن باید در اولویت قرار گیرند و باتوجه به شرایط و جهت باد اتاق کنترل باید جانمایی شود. پیشنهاد می‌شود تا فاصله ۳۰ متری از مخزن MMH از تجهیزات پلاستیکی و چوبی استفاده نشود و در صورت ضرورت حتماً عایق کاری حرارتی شود. همچنین تا فاصله ۲۳ متری از مخزن از سازه‌های سبک استفاده نشود.

کلیدواژه‌ها: انفجار، مخزن، انتشار، متیل هیدرازین، phast

^۱ - پژوهشگر، دکتری محیط زیست، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع). تهران، ایران -

(srk.aria22@gmail.com) نویسنده مسئول

^۲ - کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی و اقدامات تامینی، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع). تهران، ایران

۱- مقدمه

امروزه در کشور ما با توجه به توسعه فعالیت‌های فضایی نیاز به سامانه‌های پیشرفته‌تری یکی از الزامات توسعه فضایی است. چنانچه در سند نقشه جامع علمی کشور مصوب سال ۱۳۸۹، حوزه فن آوری فضایی در الویت الف قرار گرفته و در این راستا ۲ حکم مهم دستیابی انسان به فضا و کسب دانش طراحی و ساخت و پرتاب ماهواره زمین‌آهنگ در الویت قرار گرفته و بسترسازی جهت ایجاد و توسعه زیر ساخت‌های طراحی مورد آزمایش و پرتاب است [۱]. اما نکته قابل توجه این فرایند الزامات ایمنی است. این سامانه‌ها قبل از پرواز و نهایی شدن مثل هر سامانه دیگری نیاز به تست و صحت سنجی دارند؛ شاید اولین سندی که به بیان مخاطرات پرداخته است الزامات و موضوعات بیان شده در سند ناسا [۲] باشد. پیشرانه MMH و N_2O_4 به‌عنوان یک ماده سمی و پرخطر بیان شده است. همچنین در صفحه ۷ همین سند اشاره دارد که نشت N_2O_4 از سامانه آپولو در ۱۹۷۵ jul موجب آسیب به کارکنان گردید. همچنین در استاندارد AIAA-SP-086-2006 [۳] ضمن اعلان این ماده به‌عنوان یک پیشراننده فضایی آن را ماده بسیار سمی و خود مشتعل با بسیاری از مواد اعلام کرده است. با نگاهی به حوادث که در سند ناسا استنتاج می‌شود که حوادث کار با پیشراننده‌های جامد هنوز هم ادامه دارد تا جایی که نشت N_2O_4 در حین شارژ سامانه کنترل رول در سال ۲۰۰۶ منجر به آسیب کارکنان گردید. این بیانگر این است که حوادث کار با پیشراننده محدود به زمان خاصی نمی‌باشد. همچنین در صفحه ۹ مطالعه و اجرای سیستم تست میز موتور راکتی [۴] وظایف ایمنی سایت را کاهش خطرات ناشی از احتراق موتور بیان کرده است؛ لذا با توجه به خطرات بیان شده نسبت به بررسی اسنادی و استانداردهای ایمنی حاکم بر استند استاتیک سوخت مایع بر پایه پیشرانه فوق پرداخته می‌شود. نتیجه پژوهش‌ها و مقالات نشان می‌دهد که این موضوع به‌صورت جامع و تخصصی در ایران کار نشده است و لذا در این مقاله سعی شده به‌صورت خاص به این موضوع پرداخته شود.

۲- تعاریف اصطلاحات تخصصی

استند استاتیک: محلی است که در آن موتور و پیشرانه مایع یا جامد مورد آزمون قرار می‌گیرند [۵].
مونو متیل هیدرازین نامتقارن MMH: ماده‌ای است شیمیایی که به‌عنوان پیشراننده مورد استفاده قرار می‌گیرد.
نیتروژن تتر اکساید NTO: به‌عنوان اکسیدکننده متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵].

پیشرانه مایع: به مجموعه سوخت و اکسیدکننده‌ای می‌گویند که در دمای محیط به شکل مایع وجود دارند و از

آن‌ها جهت رانش در موتورهای موشک استفاده می‌گردد.



شکل (۱): نمای استند استاتیک سوخت مایع NASA

۳- روش تحقیق

۳-۱- استانداردها، الزامات و اسناد ایمنی حاکم بر

پیشرانه مایع MMH:

MMH یا مونو هیدرازین نامتقارن، قوی‌ترین سوخت‌های مایع پایه هیدرازینی بوده و این ماده دارای دانسیته ۰.۸۷ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد و اولین استاندارد که در خصوص این ماده باید مطالعه گردد استانداردهای MIL-PRF-27404D-2006 performance specification [۶] است که مشخصات و خواص فیزیکی این ماده بیان شده است. همچنین در بخش مرتبط با MMH در کتاب rocket propellant hand book که یک کتاب مرجع برای کلیه پژوهشگران حوزه هوا فضا می‌باشد، این ماده را به‌عنوان یک ماده سمی و پرخطر بیان نموده است. ضمناً با مراجعه به MSDS ماده مشخص می‌شود که این ماده سمی است و حساسیت بالایی نیز به الکتریسیته ساکن دارد.

۳-۲- محاسبات و برآورد جرم و حجم پیشرانه‌ها

فرضیات مأموریت

به‌منظور به‌دست‌آوردن حجم پیشرانه مأموریت ما طراحی استند استاتیک سوخت مایع تا قدرت ۱۰۰۰۰ کیلوگرم پیشرانه‌های MMH و N_2O_4 با فشار داخلی ۱۵ بار و $\alpha = 0.8$ با ۸ دقیقه کارکرد می‌باشد.

محاسبات اولیه

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار RPA پارامترهای دما، فشار، نسبت اکسید به سوخت و... به دست می‌آید.

نتایج حاصله

محاسبات میزان نیتروژن مورد نیاز

جهت نیتروژن از مخازن استاندارد ۱۵۰ باری استاندارد استفاده می‌شود:

$$P_{MMH} * V_{(MMH+N2O4)} = P_{N2} * V_{N2} = 566V_{N2} \quad (11)$$

$$= 566 \text{ liter}$$

تعیین فواصل با استفاده از استاندارد

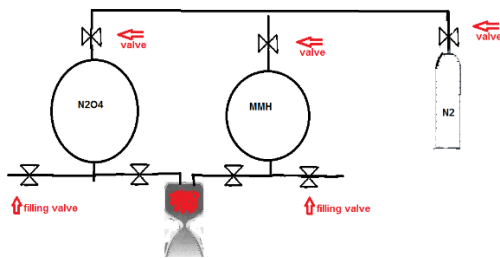
با مراجعه به استاندارد و روش عملیاتی شرکت NAR تا TOTAL IMPULS= ۴۰۰۰۰ مقادیر و فواصل پیشنهاد شده است. اما این مقدار برای سامانه مدنظر ما بیش از ۱۰۶NS*۴ می‌شود که تنها استاندارد مرجع NSS۱۷۴۰،۱۲ [۱۳] می‌باشد که استانداردهای NFPA۱۱۲۵،۱۱۲۷ مورد کاربرد در این حجم موتور نمی‌باشند.

- پیشنهاد شده برای معادل‌سازی TNT معادل ۱۰٪ استند استاتیک در نظر گرفته شود.
- بشکه‌ها و مخازن با طول عمر ۲ساله در نظر گرفته شوند و حتماً به ارت مؤثر متصل باشند.
- بشکه‌ها و مخازن از تابش مستقیم آفتاب دورنگه داشته شوند.

- فاصله مخازن از یکدیگر:

$$MN_2O_4 * 0.1 = 14136 * 0.1 = 1414 = 3117 \text{ Lb}$$

- فاصله مخازن از یکدیگر ۱۳۰ فوت برابر با ۳۶ متر
- فاصله از ساختمان داده‌برداری ۲۱۲۴ کیلوگرم جرم معادل TNT برلبر ۶۳۵ فوت، برلبر با ۱۹۳متر حداقل فاصله در نظر گرفته می‌شود، همچنین فاصله از خطوط فشارقوی نیز حداقل ۹۳ متر می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱): طرحواره پیشنهادی اولیه

۳-۳- روش مدل سازی PHAST

$$ISP = 226$$

$$o/f = 1.99$$

دمای محفظه احتراق: ۳۲۱۱ درجه کلونین

میزان HCN در خروجی ۰٪

دمای شعله ۲۳۶۴

محاسبات جرم

محاسبه دبی جرمی پیشرانه:

$$\dot{m} = \frac{F}{I_{sp}} = \frac{10000}{226} = 44.25 \frac{Kg}{s} \quad (1)$$

$$\dot{m}_{MMH} = \frac{\dot{m}}{1 + \frac{o}{f}} = \frac{44.25}{1 + 1.99} = 14.8 \text{ Kg/s} \quad (2)$$

$$\dot{m}_{N2O4} = \dot{m}_{MMH} * \frac{o}{f} = 14.8 * 1.99 = 29.45 \text{ Kg/s} \quad (3)$$

$$\dot{m}_t = \dot{m}_{MMH} + \dot{m}_{N2O4} = 29.45 + 14.8 = 44.25 \quad (4)$$

دبی جرمی پیشرانه N_2O_4 برابر است با ۲۹.۴۵ کیلو گرم بر ثانیه

دبی جرمی پیشرانه MMH برابر است با ۱۴.۸ کیلو گرم بر ثانیه

محاسبات جرم کل و حجم پیشرانه‌ها

جرم کل پیشرانه MMH برابر است با

$$M_{MMH} = \dot{m}_{MMH} * t = 14.8 \left(\frac{kg}{s} \right) * 480(s) = 7104 \text{ Kg} \quad (5)$$

جرم کل پیشرانه N_2O_4 برابر است با:

$$M_{N2O4} = \dot{m}_{N2O4} * t = 29.45 \left(\frac{kg}{s} \right) * 480(s) = 14136 \text{ Kg} \quad (6)$$

حجم و ابعاد مخزن پیشرانه N_2O_4

$$v = \frac{M}{d_4^{20}} = \frac{14136(kg)}{1440 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = 9.816 m^3 = 9816 \text{ liter} \quad (7)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{v}{\pi}} = 1.46 m \quad (8)$$

و همچنین برای پیشرانه MMH داریم

$$v = \frac{M}{d_4^{20}} = \frac{7104(kg)}{870 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = 8.165 m^3 = 8165 \text{ liter} \quad (9)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{v}{\pi}} = 1.37 m \quad (10)$$

پراکندگی در جو ارزیابی اثرات اشتعال و سمی است [۱۵].

صحت نرم افزار phast

در سال های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ مک کنا و همکاران مجموعه آزمایشاتی را در مقیاس بزرگ انجام دادند. این آزمایشها تحت عنوان جک بیت ۲ نام گرفت، و تا فاصله ۱۱ کیلومتری از منبع نشت سنسور گذاری شد. همچنین ویتلوکس و همکاران دقت نتایج حاصل از پراکندگی phast را مورد آزمایش قرار دادند که نتایج بسیار خوبی به دست آمد. نتایج حاصل نشان داد مقایسه phast بسیار دقیق تر از نرم افزار aloha بوده و نتایج بهتری را ارائه می دهد [۱۷]. در این تحقیق از نرم افزار PHAST ورژن ۷ استفاده کرده و همچنین شرایط جوی را بر مبنای باد صفر و دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد به عنوان شرایط مرجع پرداخته شد.

سناریوی آتش استخری

در زمان ذخیره یا انتقال مایعات قابل اشتعال چنانچه این ظروف دچار شکستگی یا نشت شوند در نزدیکی این مخازن حوضچه ای از ماده تشکیل می شود (شکل ۲). از آنجایی که بخار ناشی از تبخیر بر روی حوضچه، ابر گازی تشکیل می دهند در صورتی که به جرقه برسند آتش در مسیر انتشار باد به صورت استخری صورت می گیرد [۱۸].



الف) تشکیل استخر

شکل (۲): نمای انتشار استخری

سناریوی ابر بخار

همزمان با نشتی مایعات خروجی، به طور سریع و ناگهانی در هوا منتشر شده به طوری که مایعات موجود به صورت قطرات کوچک همراه بخار حمل می شوند (شکل ۳).



ب) تشکیل ابربخار

روش تحقیق مورد بررسی در مقاله مدل سازی با نرم افزار PHAST^۱ می باشد. در دنیای امروز استفاده از کامپیوتر و انجام محاسبات فرایندی به کمک نرم افزارها، روزبه روز بیشتر گسترش یافته است. به طوری که استفاده از آنها مزایای متعددی به دنبال دارد. از طرفی روزبه روز توجه مهندسين فرایند به حوادث فرایندی و راه های ارزیابی پیامد و مدل سازی آنها جهت پیش بینی اقدامات پیشگیرانه بیشتر و بیشتر می شود. نرم افزار PHAST محصولی است که توسط شرکت DNV یکی از پیشگامان ارزیابی مخاطرات و حوادث صنعتی تهیه شده است و این نرم افزار به عنوان یکی از ابزارهای تصمیم گیری شرکتها و دولت ها در امر مخاطرات صنعتی و ایمنی عمومی شناخته شده است. کاربرد این نرم افزار با توجه به قابلیت هایی که دارد روز به روز بیشتر شده است. پیش بینی و مدل سازی حوادث فرایندی که شامل: آتش سوزی، انتشار مواد سمی، انفجار و ... را می توان با کمک این نرم افزار انجام داد.

یکی از روش های مؤثر در راستای پیشگیری از حوادث، مطالعه پیامد و مدل سازی آن با استفاده از نرم افزار می باشد. امروزه مدل های مختلفی به منظور مدل سازی وجود دارند، نرم افزار PHAST و aloha^۲ از جمله این نرم افزارها می باشند. [۱۴]. در روش های ارزیابی ریسک کیفی به دلایلی از جمله عدم شناسایی همه مخاطرات، ماتریس عدم ریسک، عدم مدل سازی پیامد و... انجام مطالعات جامع، کمی و دقیق امکان پذیر نمی باشد. با روش های موجود در هنگام ارزیابی اثرات پیوسته چندعاملی، قادر به برآورد دقیق نیستند. کاهش خطر ایمنی در زندگی نیاز به درک عواملی دارد که بر شدت پیامد تأثیرگذار است. مدل سازی پیامد یکی از تحلیل های مهندسی ایمنی است که می تواند قسمت اعظم حوادث را پیش بینی کرده و خسارات ناشی آن را بکاهد. مدل سازی ارزیابی ریسک جهت انتشار مواد خطرناک اغلب با استفاده از بسته های نرم افزاری یکپارچه ای انجام می شود که به دنبال مدل سازی پیامدهای حوادث و انتشار تا اثرات قابل اشتعال و سمی بر روی جمعیت انسان می شود. ایجاد اطمینان در این ارزیابی ها مستلزم آن است که در هر مرحله محاسبات به درستی مدل سازی شود. نرم افزار مدل سازی برای انتشار تصادفی مواد شیمیایی قابل اشتعال و سمی شامل مدل سازی

^۲ - Area Location of Hazardous Atmospheres

^۱ - process hazard analys software

ثانیه سوختگی درجه اول		
سوختگی درجه ۲ بعد از ۲۰ ثانیه	KW/m ^۲	۵/۹
ذوب مواد پلاستیکی و انرژی لازم برای جرقه برای پالت چوبی	KW/m ^۲	۵/۱۲
این میزان تشعشع موجب آسیب شدید به انسان است به گونه‌ای که اگر تیم نجات نرسد مرگ حتمی است.	KW/m ^۲	۲۰
حداقل انرژی برای آتش‌سوزی چوب	KW/m ^۲	۲۵
تشعشع بیشتر از این مقدار برای آسیب به تجهیزات کافی است و در صورت رسیدن به انسان موجب مرگ آنی می‌شود	KW/m ^۲	۵/۳۷



شکل (۳): تشکیل ابر بخار

سناریوی آتش ناگهانی

زمانی که گازهای قابل اشتعال با غلظت اشتعال‌پذیری و در یک محیط باز به منبع جرقه برسند احتراق در مدت کوتاهی رخ می‌دهد که به آن آتش ناگهانی گویند [۱۸].

سناریوی آتش جت

از نشستی کوچک در خطوط لوله و مخازن تحت فشار، سیال با سرعت از این ظروف خارج می‌شود. پس از خروج و رسیدن به منبع جرقه باریکه ممتدی از آتش به صورت جت تشکیل می‌شود [۱۸].

سناریوی انتشار گرمایی

گرمای حاصل از اشتعال به صورت امواج گرمایی را نشان می‌دهند و اثر میزان انتشار گرما و تبعات آن در (جدول ۱) آمده است.

سناریوی انفجار

در این سناریو مخزن به دلایلی دچار انفجار می‌گردد که با توجه به فشار و نوع آسیب ارزیابی می‌شود. جدول ۲ میزان خطرات ناشی از انفجار را نشان می‌دهد [۱۹].

جدول (۲): تاثیر خطرات انفجار باتوجه به فشار

پیامد مخرب	میزان فشار (psi)	میزان فشار (bar)
مرگ انسان	۱۴.۵-۲۹	۱-۱.۹۹
تخریب کامل ساختمان‌ها	۱۰	۰.۶۸۹
خسارت شدید به سازه‌ها اصلی و سنگین	۵	۰.۳۴
آسیب غیرقابل جبران به سازه‌های اصلی	۳	۰.۲
پارگی پرده گوش و خسارت به سازه‌های سنگین	۲.۵	۰.۱۷
فروریختن سازه‌های سبک	۲	۰.۱۳۷
احتمال شکستن پنجره‌ها	۱	۰.۰۶۹
شکسته شدن ۱۰٪ شیشه‌ها	۰.۷	۰.۰۴۸
آسیب جزئی به ساختمان‌ها	۰.۳	۰.۰۲

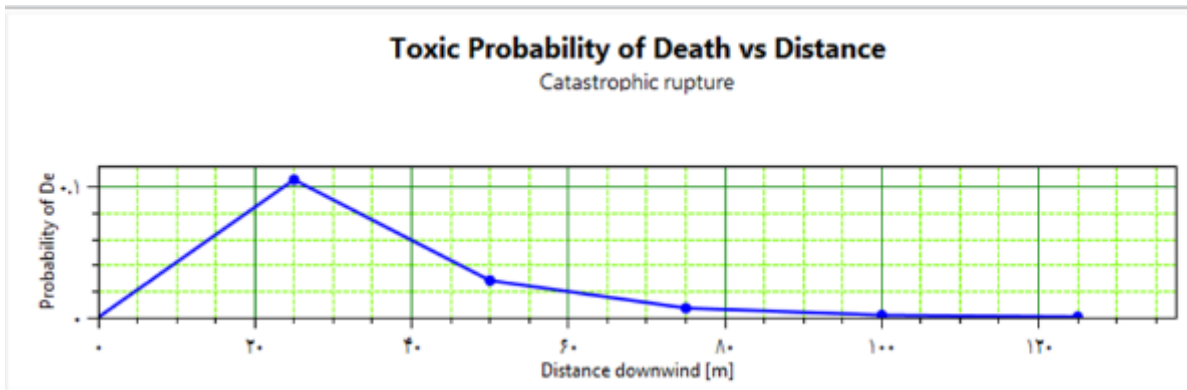
۴- نتایج و یافته‌های تحقیق

- مدل‌سازی نشستی از ته مخزن (شکستگی یا گسست پایپ انتهایی)

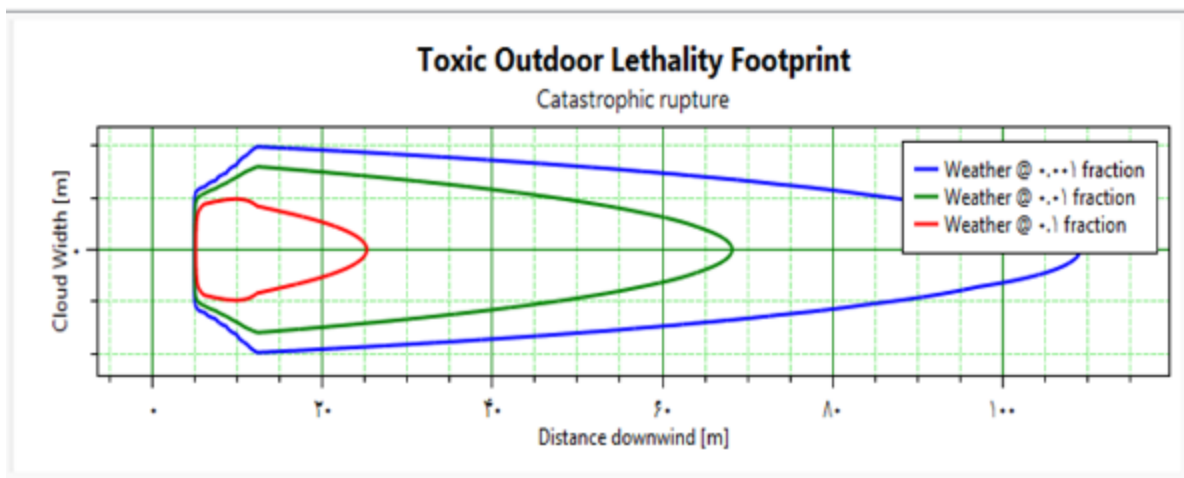
نمودار احتمال مرگ در فاصله‌ای از مخزن به شکل نمودار زیر است. با توجه به سمیت بالای MMH که TLV- ۰.۰۱۰۰۰۰ دارد نشان می‌دهد نشت با احتمال مرگ در صورت نشت تا فاصله ۲۵ متری ۱۰۰٪ است و همچنین احتمال مرگ ۹۰٪ در فاصله ۲۳ الی ۳۵ متری وجود دارد (شکل ۴).

جدول (۱): اثرات تشعشع گرمایی

میزان تشعشع	واحد	پیامد
۴	KW/m ^۲	حد آستانه درد است؛ اما فرد توانایی فرار را دارد در صورت تماس بیش از ۴



شکل (۴): توزیع احتمال مرگ در اثر نشت MMH

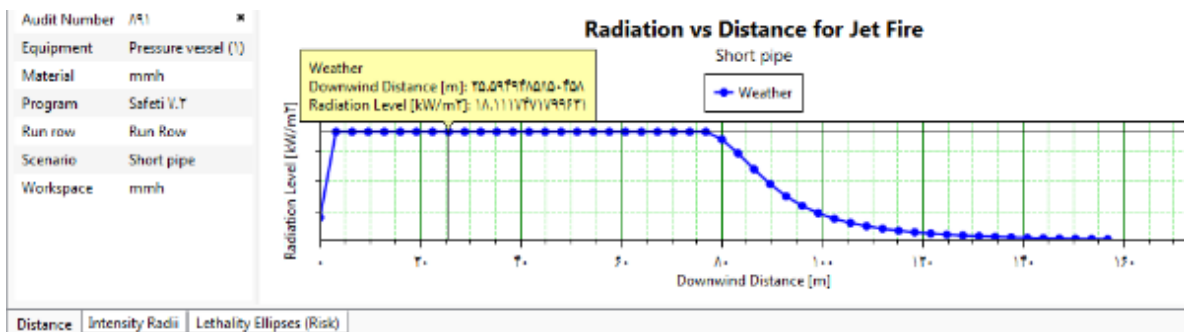


شکل (۵): توزیع احتمال‌های مختلف مرگ در اثر نشت MMH از ته مخزن

شکل ۵ نشان می دهد که با شرایط وجود باد در فاصله ۲۵ متری احتمال مرگ ۱۰۰٪ است و رنگ سبز نشان دهنده این است که در فاصله ۶۵ متری احتمال مرگ در اثر مسمومیت ۱۰٪ است و نمودار آبی نشان دهنده این است که در فاصله ۱۲۰ متری احتمال مرگ در اثر سمیت ۱٪ است. اما نکته حائز اهمیت این است که محل کنترل خطر کمتر از ۱٪ است.

- آتش جت فایر

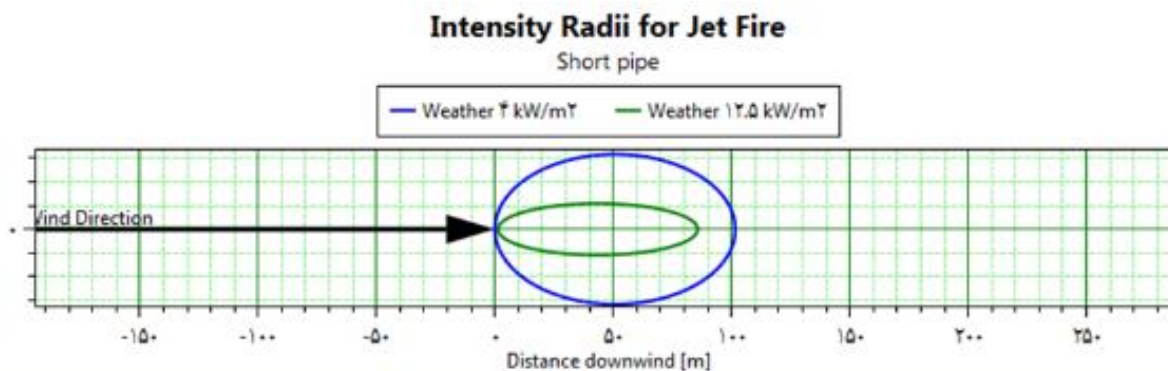
نمودار آتش جت فایر نوعی از آتش است که آتش تحت فشار از مخزن خارج می شود:



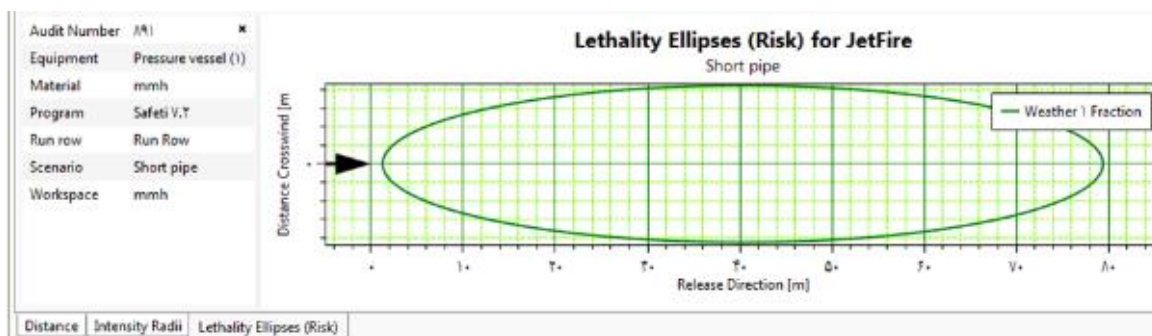
شکل (۶): آتش جت فایر ناشی از نشت از مخزن MMH

و ۷ به عنوان مکمل شعاع خطر به صورت مبسوط‌تر شرح می‌دهد.

این مدل نشت بیانگر این مطلب است که شعاع خطر ناشی از آتش جت در الگوی نشت از سر مخزن بالاتر از نشت از ته مخزن می‌باشد و تفسیر بیان شده در شکل ۶



شکل (۷): شعاع شدت تشعشعات ناشی از آتش جتی



شکل (۸): شعاع مرگ حتمی ناشی از آتش فواران (jet fire) از نشت سر مخزن MMH

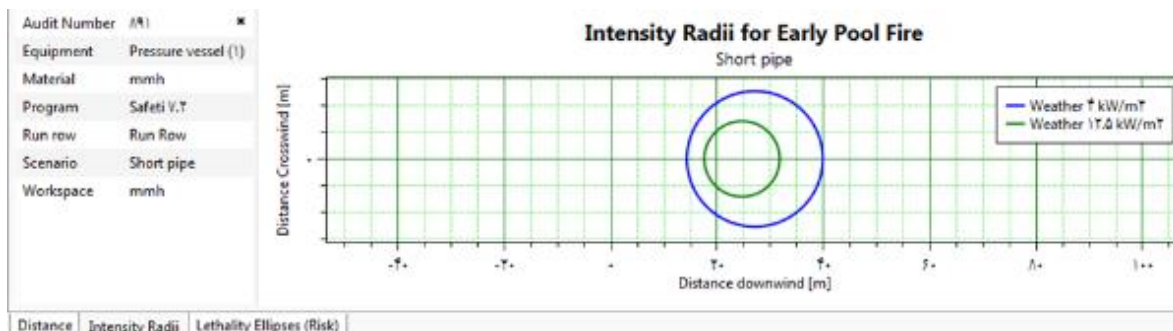
در MMH تا میزان تقریبی ۷۸.۳ متر است و سرعت خروج ۴۱ متر بر ثانیه می‌باشد.

همان‌طور که در شکل‌های ۸ و جدول ۳ در خصوص آتش فوارانی دیده می‌شود، شعاع مرگ ناشی از این نوع آتش

جدول (۳): آتش جت مربوط به نشت MMH از بالای مخزن

Flame emissive power	18.1117	kW/m2
Fraction of emissivity	0.435186	fraction
Jet velocity	41.2304	m/s
Flame length	78.3845	m
Frustum length	77.2088	m
Frustum base width	1.63032	m
Frustum tip width	28.1891	m
Frustum lift off distance	1.17577	m
Flame length in still air	60.9375	m

آتش استخری

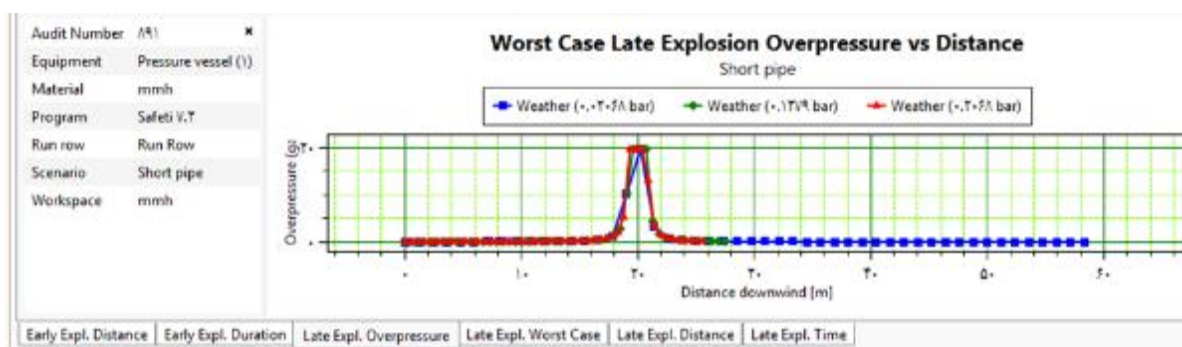


شکل (۱۰): شعاع تاثیر آتش استخری با منبع جرقه سریع

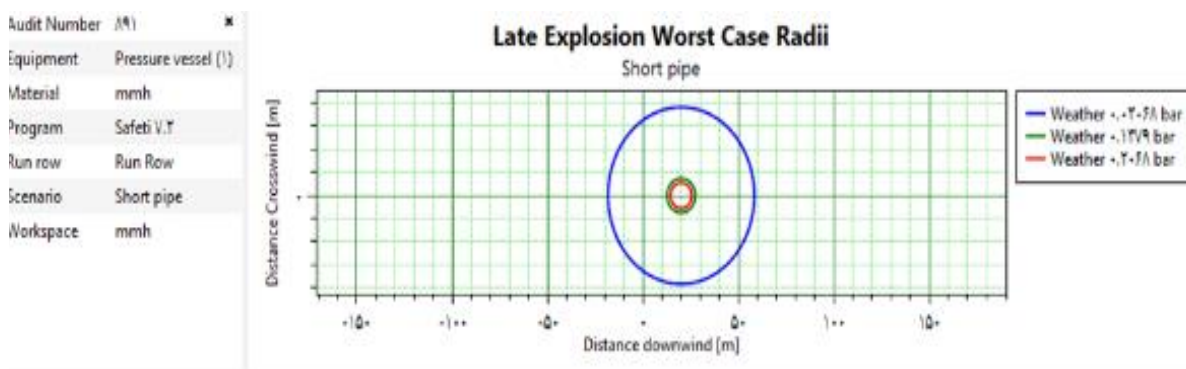
• انفجار مربوط به نشت از سر مخزن MMH

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان دهنده میزان فشار ناشی از انفجار MMH در سر مخزن است.

همان‌طور که در شکل ۱۰ پیداست در صورت ایجاد آتش استخری با منبع جرقه ناشی از نشتی در سر مخزن تا شعاع ۴۰ متری تشعشع امواج به میزان ۴ کیلووات بر مترمربع است و تشعشع میزان ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع از فاصله تقریبی ۱۷ الی ۳۰ متر است؛ اما در نزدیکی مخزن این مقدار وجود ندارد.



شکل (۱۱): مدل انفجار MMH



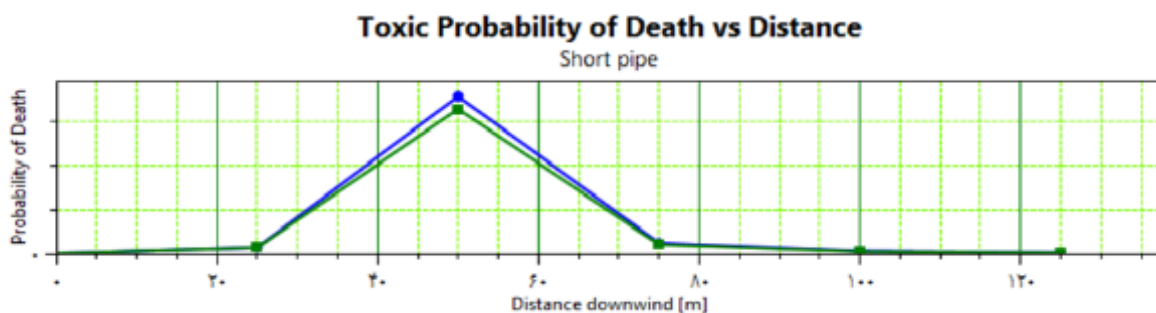
شکل (۱۲): فشار انفجار MMH

متری ادامه دارد. با مراجعه به استاندارد ۶۰۵۵ DOD این مقدار برابر است با احتمال ۱۰۰٪ شکستن شیشه پنجره آسیب به سازه‌های سنگین و در سطح ۳ PSI ۱٪ احتمال برای کری گوش وجود دارد.

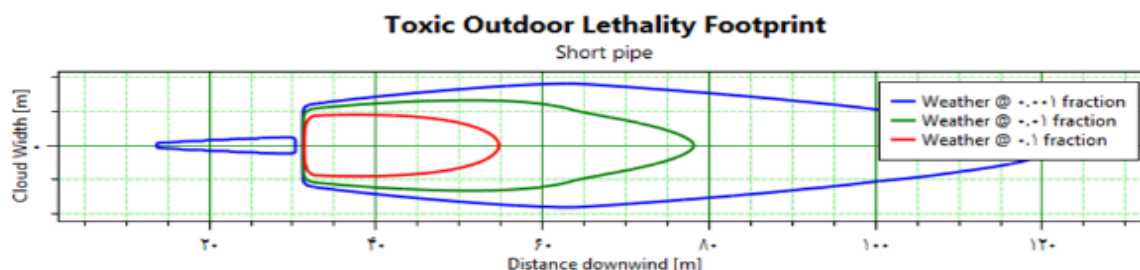
• نمودار مربوط به انتشار و دز کشنده نشت از سر مخزن

اگر به هر علتی نشتی از سر مخزن (عملکرد شیر اطمینان، آسیب به اتصالات، و...) رخ دهد نمودارهای انتشار و آلودگی آن به شرح (شکل ۱۳) است.

دایره آبی‌رنگ فشار حاصل از انفجار ۰.۲۰۶ بار معادل PSI ۰.۲۹۹ است که نمایش داده می‌شود تا فاصله تقریبی ۶۰ متر فشار انفجار به این عدد می‌رسد. با مراجعه به استاندارد ۶۰۵۵ DOD این مقدار آسیب به شیشه‌ها نمی‌زند و دایره سبز فشار ۰.۱۳۷۹ Bar معادل ۲ psi است که تا شعاع ۲۷ متری ادامه دارد که موجب برهم ریختن سازه‌های سبک می‌شود. با مراجعه به استاندارد ۶۰۵۵ DOD این مقدار برابر است با احتمال ۱۰۰٪ شکستن شیشه پنجره و در دایره قرمز میزان فشار برابر است با ۰.۲۰۶ BAR و معادل ۲.۹ psi و این مقدار تا شعاع ۲۲



شکل (۱۳): احتمال مرگ ناشی از نشت سر مخزن



شکل (۱۴): احتمالات مرگ ناشی از نشت سر مخزن در وضعیت‌های مختلف

۵- نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های حاصل از مدل‌سازی در مخازن MMH و N_2O_4 در استند استاتیک پیش‌رانه مایع دارای مخاطرات و مشکلات زیادی خواهد بود.

همان‌طور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود در محدود قرمز رنگ که شعاع تقریباً ۵۵ متری می‌باشد احتمال مرگ ۱۰۰٪ وجود دارد. در شعاع تقریباً بیش از ۷۵ متری که شعاع سبز رنگ است احتمال مرگ ۱۰٪ است و در شعاع تقریبی ۱۲۰ متری احتمال مرگ ۱٪ می‌باشد.

جدول (۴): ارزیابی سطح خطرات مخزن مونو متیل هیدرازین

ردیف	محل مشکل	نوع خطر	شعاع خطر	شدت خطر	در معرض خطر تجهیزات (بدون حفاظت)	افراد در معرض خطر (بدون حفاظت)
۱	نشست مواد از ته مخزن	انتشار مواد آلاینده	۲۵ متر	مرگ بیش از ۹۰٪	-----	کارکنان عملیاتی
		انتشار مواد آلاینده	۶۵ متر	مرگ ۱۰٪	-----	کارکنان پشتیبان عملیاتی، ناظران
		انتشار مواد آلاینده	۱۲۰ متر	مرگ ۱٪	-----	ناظران - مهندسان کنترل
		آتش استخری ناشی از نشست	۷ متر	سوختگی شدید و مرگ	تجهیزات مجاور و ذوب تجهیزات پلاستیکی	کارکنان مجاور
		انفجار	۲۷	۱۰۰٪ شکست پنجره	تجهیزات مجاور، فروریختن سازه‌های سبک	کارکنان
		انفجار	۲۳	۱۰۰٪ شکست پنجره، کری ۱٪	تجهیزات مجاور ۰ آسیب به سازه‌های سنگین	کارکنان
۲	نمودار نشست از سر مخزن	انتشار مواد آلاینده	۵۵	مرگ بیش از ۹۰٪		کارکنان مجاور
		انتشار مواد آلاینده	۷۵	مرگ بیش از ۱۰٪		کارکنان مجاور - کارکنان پشتیبان
		انتشار مواد آلاینده	۱۲۰ متر	مرگ ۱٪	-----	ناظران - مهندسان کنترل
		آتش جت	۸۰ متر	سوختگی شدید و مرگ	تجهیزات آسیب خواهند دید	کارکنان پشتیبان عملیاتی، ناظران
		آتش جت	۹۵ متر حد ۴ کیلووات	سوختگی خفیف	تجهیزات آسیب خواهند دید	کارکنان پشتیبان عملیاتی، ناظران
		آتش استخری ناشی از نشست	۱۷-۳۰ متر	سوختگی شدید و مرگ	تجهیزات مجاور	کارکنان مجاور
		انفجار	۲۷	۱۰۰٪ شکست پنجره	تجهیزات مجاور، فروریختن سازه‌های سبک	کارکنان
		انفجار	۲۳	۱۰۰٪ شکست پنجره، کری ۱٪	تجهیزات مجاور ۰ آسیب به سازه‌های سنگین	کارکنان

[۱۱] NFPA ۱۱۲۵, Code for the Manufacture of Model Rocket and High-Power Rocket Motors, ۲۰۱۸

[۱۲] NFPA ۱۱۲۷, Code for High Power Rocketry, ۲۰۱۸

[۱۳] NSS ۱۷۴۰۰.۱۲, SAFETY STANDARD FOR EXPLOSIVES, PROPELLANTS, AND PYROTECHNICS, ۲۰۰۶

[۱۴] عنابی، فریده و همکاران ۱۳۹۵. بررسی حریم ایمنی ۵ ماده سمی متداول در حوادث حمل و نقل جاده‌ای مواد شیمیایی با استفاده از نرم افزارهای PHAST, ALOHA و شاخص CEI (مطالعه موردی: اتوبان تهران- قزوین) نشریه سلامت کار ایران.

[۱۵] کریمی، سید رضا، ۱۳۹۷. مدل‌سازی پیامد نشت بنزین از مخازن پالایشگاه با رویکرد مدیریت بحران نشریه مدیریت بحران

[۱۶] ایثارنیا، حمید، ۱۴۰۲. ارزیابی ریسک استند استاتیک سوخت مایع با پیشران MMH, N₂O₄ با روشهای PHAST, HAZOP پایان نامه کارشناسی ارشد.

[۱۷] نبی جوادی و غلامرضا نیا، ۱۳۹۵. ارزیابی پیامدهای ناشی از انفجار بمبهای شیمیایی با نرم افزار PHAST، هفتمین همایش سراسری پدافند جنگ نوین

[۱۸] شهرکی و همکاران، ۱۴۰۰. شبیه سازی پیامد ناشی از آتش‌سوزی برای خطوط لوله گاز با استفاده از نرم افزار PHAST

[۱۹] رحمان بهمنی و همکاران ۱۳۹۹. ارزیابی ریسک و تحلیل پیامد حریق و انفجار در یک مخزن وینیل کلراید با استفاده از نرم‌افزار PHAST

[۲۰] FLAEPABILITY QURACERISTICS OF HYDRAZINE FUELS IN NITROGEN TETROXIDE ATMOSPHERES; Henry E. Perlee, Agnes C. M o f, and Michael G. Zabetak^o.s, ۱۹۹۰

جدول ۴ نشان می‌دهد که اولاً شعاع خطر مربوط به نشتی سر مخازن بسیار بالاتر است. خطرات انفجار و آتش‌سوزی در پیشران MMH وجود دارد. اتاق کنترل که بنا به توصیه‌های استاندارد در فاصله ۱۹۳ متری قرار گرفته از نظر آسیب‌های انفجار کاملاً ایمن است. فاصله‌های بیان شده در ۳۰ متری استفاده از تجهیزات پلاستیکی محدود شده و تحت عایق‌بندی باشد. سازه‌های سبک تا فاصله ۲۳ متری از مخزن MMH قرار نگیرند و عایق‌کاری شوند. با توجه به یافته‌های فوق باید اتاق کنترل در خارج از مسیر باد قرار داد و برای آن سیستم‌های تصفیه هوا ایجاد کرد. برای شیرهای روی مخزن و شیر اطمینان حتماً با اسکراب‌هایی مانع از نشت به محیط شد و برای روی مخازن گارد محافظ نصب کرد تا از آسیب پیشگیری شود. در اطراف استند دیواره حایل باید نصب کرد تا مواد سمی کمتر منتشر شوند.

۵- مراجع

[۱] قانون ملی فضا- ضرورت و چالش‌ها و الزامات- معاونت پژوهش‌های مجلس شماره مسلسل ۱۵۹۱۳

[۲] Summary of NASA and USAF Hypergolic Propellant Related Spills and Fires- System Engineer NASA Kennedy Space Center, Engineering Directorate, Fluids Division, Hypergolic and Hydraulic Systems Branch, ۲۰۰۹

[۳] AIAA-SP-۰۸۶-۲۰۰۱- Fire, Explosion, Compatibility, and Safety Hazards of Nitrogen Tetroxide, ۲۰۰۴

[۴] STUDY AND IMPLEMENTATION OF AMIDDLE-SIZED ROCKET MOTOR BENCH TEST SYSTEM; MASTER'S DEGREE IN AEROSPACE ENGINEERING UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA September ۲۰th, ۲۰۱۹

[۵] DoD; ۲۰۰۵. DOD AMMUNITION AND EXPLOSIVES SAFETY STANDARDS, ۲۰۰۴

[۶] MIL-PRF-۲۷۴۰۴D

[۷] MIL-PRF-۲۵۶۲۰۴D

[۸] MIL-PRF-۲۶۵۳۹E, PERFORMANCE SPECIFICATION PROPELLANTS, DINITROGEN TROXIDE, ۲۰۰۴

[۹] N₂O₄, MSDS of DINITROGEN TROXIDE, MERK CO, ۲۰۱۷

[۱۰] FLAEPABILITY QURACERISTICS OF HYDRAZINE FUELS IN NITROGEN TETROXIDE ATMOSPHERES

fire Modeling and explosion scenarios for monomethylhydrazine tank in with PHAST software

Seyyed Reza karimi^{۱*}, Hamid isarnia^۲

^۱-Researcher, Ph.D. Department of Environment, Faculty and Institute of Non-Proliferation of Nuclear Weapons, Imam Hossein University. Tehran, Iran- (srk.aria^{۲۲}@gmail.com)- Responsible author

^۲- Master's degree in safety engineering and security measures, non-operating defense faculty and research institute of Imam Hossein University. Tehran Iran

Abstract

Carrying out work and the process of testing engines with liquid propulsion is a very complicated process. In this article, while introducing the hazards of the liquid propulsion static test stand based on asymmetric monomethylhydrazine and nitrogen tetroxide propulsion, governing standards such as DOD^{۱۰۵۵} and NASA are considered. The calculations related to the propellant weight required for these ^۲ materials, the standard requirements governing the location of the site, the risks of working with these materials were examined by the method of studying the existing standards of the world. In this research, while using the standards to consider distances such as the test control room, by modeling the related values and scenarios in the mentioned place, it was tried to make a complete investigation. With the location of the control room at a distance of ^{۱۹۳} meters, the probability of breaking the windows and damaging the employees' ears in the event of an explosion is much less than ^{۱٪}. The resulting emission and ignition patterns show that damage to the upper level of the tank should be prioritized and the control room should be positioned according to the conditions of the wind direction. It is recommended not to use plastic and wooden equipment within a distance of ^{۳۰} meters from the MMH tank and thermal insulation should be done if necessary. Also, do not use light structures up to a distance of ^{۲۳} meters from the tank.

Keywords: explosion, tank, release, methylhydrazine, phast