نشریه علمی پژوهش در ایمنی سلامت و محیط زیست

سال اول، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲: (پیاپی ۳) ۱-۱۲

علمی

مدل‌سازی سناریوهای حریق و انفجار در مخزن مونو متیل هیدرازین با نرم‌افزار 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 موتورهایی 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 DOD٦٠٥٥ و ناسا مدنظر قرار می‌گیرد. بیان محاسبات مربوط به وزن پیشران موردنیاز این ۲ ماده، الزامات استانداردی حاکم بر مکان‌یابی سایت، مخاطرات کارکردن با این مواد با روش مطالعات استانداردهای موجود دنیا بررسی شد. در این تحقیق ضمن استفاده از استانداردها جهت درنظرگرفتن فواصلی چون اتاق کنترل تست، با مدل‌سازی 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 وجهت 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 عایق‌کاری 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 پدافندغیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع). تهران.ایران- (srk.aria۲۲@gmail.com)- نویسنده مسئول

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

۱- مقدمه

امروزه در کشور ما با توجه به توسعه فعالیت‌های فضایی نیاز به سامانه‌های پیشرانشی 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 زمین آهنگ در الویت قرار گرفته و بسترسازی جهت ایجاد و توسعه زیر ساخت‌های طراحی مورد آزمایش و پرتاب است[۱] . اما نکته قابل‌توجه این فرایند الزامات ایمنی است. این سامانه‌ها قبل از پرواز و نهایی‌شدن 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 پر خطر بیان شده است. همچنین در صفحه ۷ همین سند اشاره دارد که نشت N_2O_4 از سامانه آپولو در jul۱۹۷۵ موجب آسیب به کارکنان گردید. همچنین در استاندارد -AIAA-SP-۰۸۶- ۲۰۰۶ [۳]ضمن اعلان این ماده به‌عنوان یک پیشرانش 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 پیشرانه‌های 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 پیشرانه محدود به زمان خاصی نمی‌باشد. همچنین در صفحه ۹ مطالعه و اجرای سیستم تست میز موتور راکتی [٤] 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 پیشران مورداستفاده قرار می‌گیرد.

نیتروژن تتر اکساید NTO: به‌عنوان اکسیدکننده متداول مورداستفاده 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 می باشد و اولین استانداری که در خصوص این ماده باید مطالعه گردد استانداردهای-MIL-PRF-۲۷٤۰٤D performanc specification ;[٦] 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 می باشد، این ماده را بعنوان یک ماده سمی و پرخطر بیان نموده است. ضمنا 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 وحجم 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 $\propto = ۰,۸$ 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

ISP= ۲۲۶

o/f=۱.۹۹

دمای محفظه احتراق: ۳۲۱۱ درجه کلوین

میزان HCN در خروجی ۰٪

دمای شعله ۲۳۶۴

محاسبات جرم

محاسبه دبی جرمی پیشرانه:

$$\dot{m} = \frac{F}{I_{sp}} = \frac{10000}{226} = 44.25\frac{Kg}{s}) \quad (۱)$$

$$\dot{m}_{MMH} = \frac{\dot{m}}{1+\frac{o}{f}} = \frac{44.25}{1+1.99} = 14.8\ \mathrm{Kg/s} \quad (۲)$$

$$\dot{m}_{N2O4} = \dot{m}_{MMH} * \frac{o}{F} = 14.8 * 1.99 = 29.45\ Kg/s \quad (۳)$$

$$\dot{m}_t = \dot{m}_{MMH} + \dot{m}_{N2O4} = 29.45 + 14.8 = 44.25 \quad (۴)$$

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

$$M_{MMH} = \dot{m}_{MMH} * t = 14.8\left(\frac{kg}{s0}\right) * 480(s): 7104Kg \quad (۵)$$

جرم کل پیشرانه N_2O_4 برابر است با:

$$M_{N2O4} = \dot{m}_{N2O4} * t = 29.45\left(\frac{kg}{s0}\right) * 480(s): 14136Kg \quad (۶)$$

حجم و ابعاد مخزن پیشرانه N_2O_4

$$v = \frac{M}{d_4^{20}} = \frac{14136(kg)}{1440(\frac{kg}{m3})} = 9.816m3 = 9816liter \quad (۷)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{v}{\pi}} = 1.46m \quad (۸)$$

و همچنین برای پیشرانه MMH داریم

$$v = \frac{M}{d_4^{20}} = \frac{7104(kg)}{870(\frac{kg}{m3})} = 8.165m3 = 8165liter \quad (۹)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{v}{\pi}} = 1.37m \quad (۱۰)$$

محاسبات میزان نیتروژن موردنیاز

جهت نیتروژن از مخازن استاندارد ۱۵۰ باری استاندارد استفاده می‌شود:

$$P_{MMH} * V_{(MMH+N2O4)} = P_{N2} * V_{N2} = 566V_{N2} = 566litr \quad (۱۱)$$

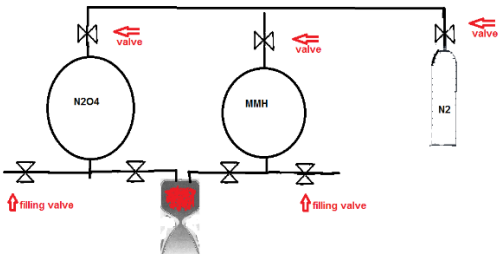
تعیین فواصل با استفاده از استاندارد

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 ۴*۱۰^۶NS 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:

MN۲O٤*۰,۱= ۱٤۱۳٦*۰,۱=۱٤۱٤=۳۱۱۷ Lb

- فاصله مخازن از یکدیگر ۱۳۰ فوت برابر با ۳۶ متر
- فاصله از ساختمان داده‌برداری ۲۱۲۴ کیلوگرم جرم معادل TNT برابر ۶۳۵ فوت، برابر 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

روش تحقیق مورد بررسی در مقاله مدل‌سازی با نرم‌افزار PHAST[۱] می‌باشد. در دنیای امروز استفاده از کامپیوتر و انجام محاسبات فرایندی به کمک نرم‌افزارها، روزبه‌روز بیشتر گسترش‌یافته است. به‌طوری‌که استفاده از آن‌ها مزایای متعددی به دنبال دارد. از طرفی روزبه‌روز توجه مهندسین فرایند به حوادث فرایندی و راه‌های ارزیابی پیامد و مدل‌سازی آن‌ها جهت پیش‌بینی اقدامات پیشگیرانه بیشتر و بیشتر می‌شود. نرم‌افزار PHAST محصولی است که توسط شرکت DNV یکی از پیشگامان ارزیابی مخاطرات و حوادث صنعتی تهیه شده است و این نرم‌افزار به‌عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری شرکت‌ها و دولت‌ها در امر مخاطرات صنعتی و ایمنی عمومی شناخته شده است. کاربرد این نرم‌افزار با توجه به قابلیت‌هایی که دارد روز به روز بیشتر شده است. پیش‌بینی و مدل‌سازی حوادث فرایندی که شامل: آتش‌سوزی، انتشار مواد سمی، انفجار و ... را می‌توان با کمک این نرم‌افزار انجام داد.

یکی از روش‌های مؤثر در راستای پیشگیری از حوادث، مطالعه پیامد و مدل‌سازی آن با استفاده از نرم‌افزار می‌باشد. امروزه مدل‌های مختلفی به منظور مدل‌سازی وجود دارند، نرم‌افزار PHAST و aloha[۲] از جمله این نرم‌افزارها می‌باشند. [۱۴]. در روش‌های ارزیابی ریسک کیفی به دلایلی از جمله عدم شناسایی همه مخاطرات، ماتریس عدم ریسک، عدم مدل‌سازی پیامد و... انجام مطالعات جامع، کمی و دقیق امکان‌پذیر نمی‌باشد. با روش‌های 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. مدل‌سازی پیامد یکی از تحلیل‌های مهندسی ایمنی است که می‌تواند قسمت اعظم حوادث را پیش‌بینی کرده و خسارات ناشی آن را بکاهد. مدل‌سازی و ارزیابی ریسک جهت انتشار مواد خطرناک اغلب با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری یکپارچه‌ای انجام می‌شود که به دنبال مدل‌سازی پیامدهای حوادث و انتشار تا اثرات قابل‌اشتعال و سمی بر روی جمعیت انسان می‌شود. ایجاد اطمینان در این ارزیابی‌ها مستلزم آن است که در هر مرحله محاسبات به‌درستی مدل‌سازی شود. نرم‌افزار مدل‌سازی برای انتشار تصادفی مواد شیمیایی قابل اشتعال و سمی شامل مدل‌سازی پراکندگی در جو ارزیابی اثرات اشتعال و سمی است[۱۵] .

صحت نرم‌افزار phast

در سال‌های 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 دقیق‌تر از نرم‌افزار aloha بوده و نتایج بهتری را ارائه می‌دهد [۱۷] . در این تحقیق از نرم‌افزار PHAST ورژن ۷ استفاده کرده و همچنین شرایط جوی را بر مبنای باد صفر و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد 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 حوضچه‌ای از ماده تشکیل می‌شود (شکل ۲). از آنجایی که بخار ناشی از تبخیر بر روی حوضچه، ابر گازی تشکیل می‌دهند در صورتی که به جرقه برسند آتش در مسیر انتشار باد به صورت استخری صورت می‌گیرد[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 به‌صورت قطرات کوچک همراه بخار حمل می‌شوند (شکل ۳).

ب) تشکیل ابربخار

[۱]- process hazard analys software

[۲] - Area Location of Hazardous Atmospheres

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

سناریوی انتشار گرمایی

گرمای حاصل از اشتعال به‌صورت 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 (۱): اثرات تشعشع گرمایی

میزان تشعشع	واحد	پیامد
۴	KW/m۲	حد آستانه درد است؛ اما فرد توانایی فرار را دارد در صورت تماس بیش از ۴ ثانیه سوختگی درجه اول
۵/۹	KW/m۲	سوختگی درجه ۲ بعد از ۲۰ ثانیه
۵/۱۲	KW/m۲	ذوب مواد پلاستیکی و انرژی لازم برای جرقه برای پالت چوبی
۲۰	KW/m۲	این میزان تشعشع موجب آسیب شدید به انسان است به‌گونه‌ای که اگر تیم نجات نرسد مرگ حتمی است.
۲۵	KW/m۲	حداقل انرژی برای آتش‌سوزی چوب
۵/۳۷	KW/m۲	تشعشع بیشتر از این مقدار برای آسیب به تجهیزات کافی است و در صورت رسیدن به انسان موجب مرگ آنی می‌شود

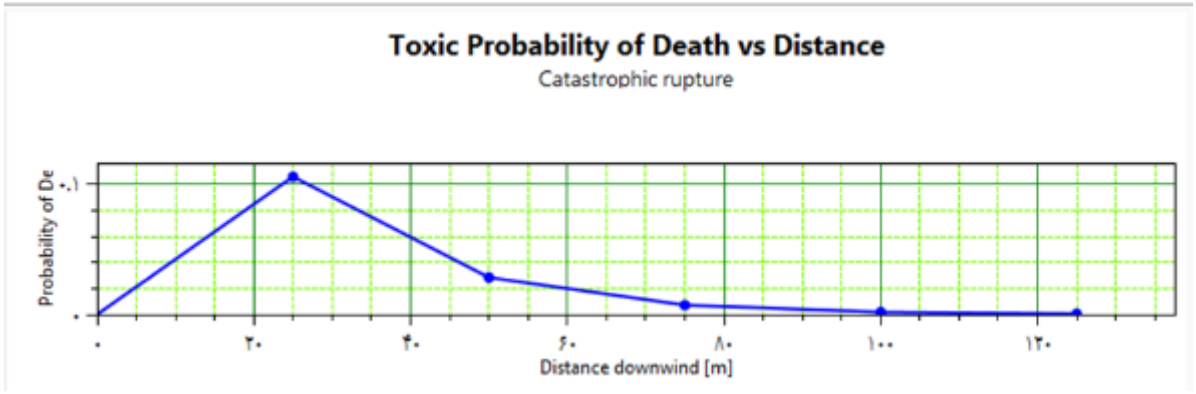
جدول (۲): تاثیر خطرات انفجار باتوجه به فشار

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

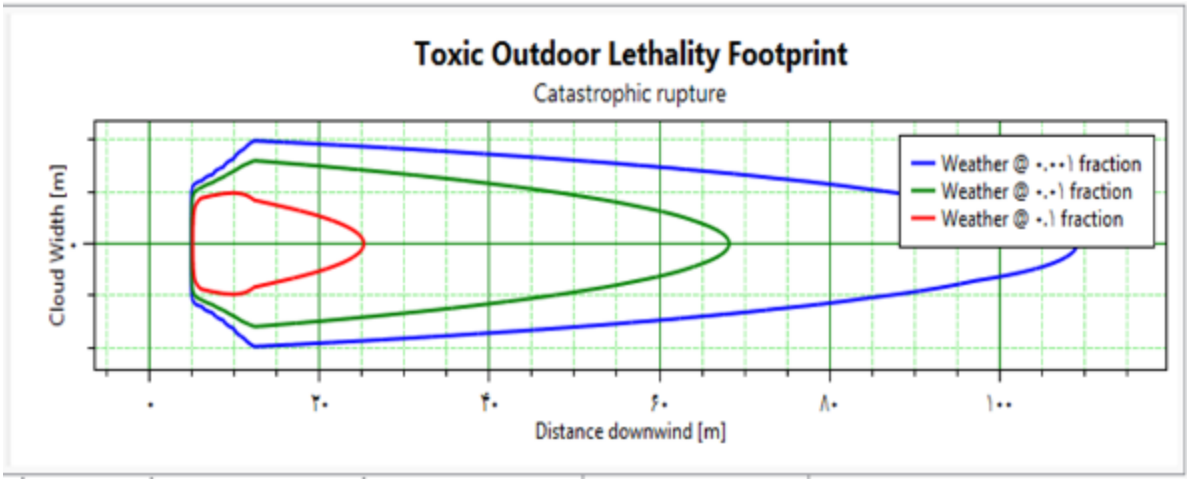
۴- نتایج و یافته های تحقیق

- مدل‌سازی نشتی 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- ۰.۰۱□□□ 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).



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

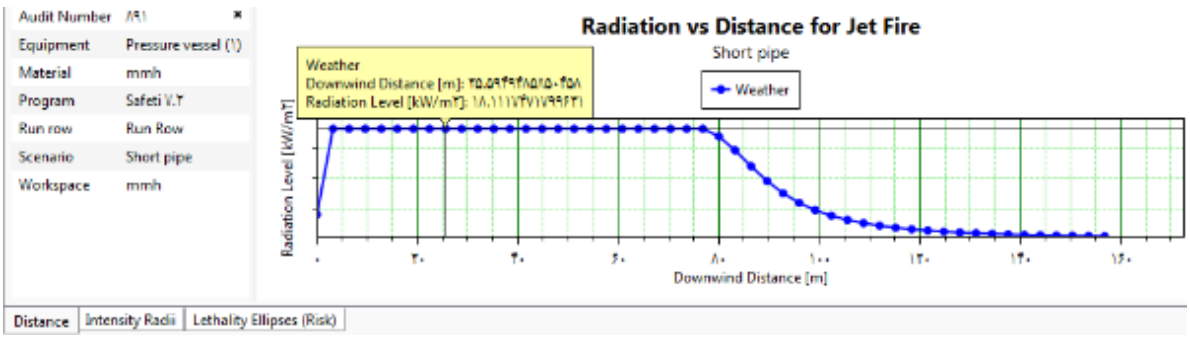


شکل (۵): توزیع احتمال‌های مختلف مرگ در اثر نشت MMH از ته مخزن

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.

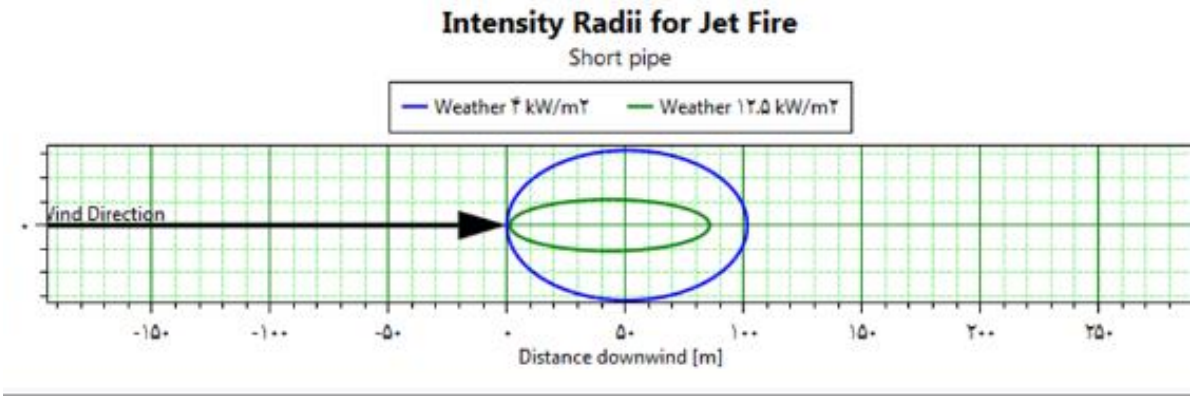
- **آتش جت فایر**

نمودار آتش جت فایر نوعی از آتش اســـت کـه آتش تحت‌فشار از مخزن خارج می‌شود:

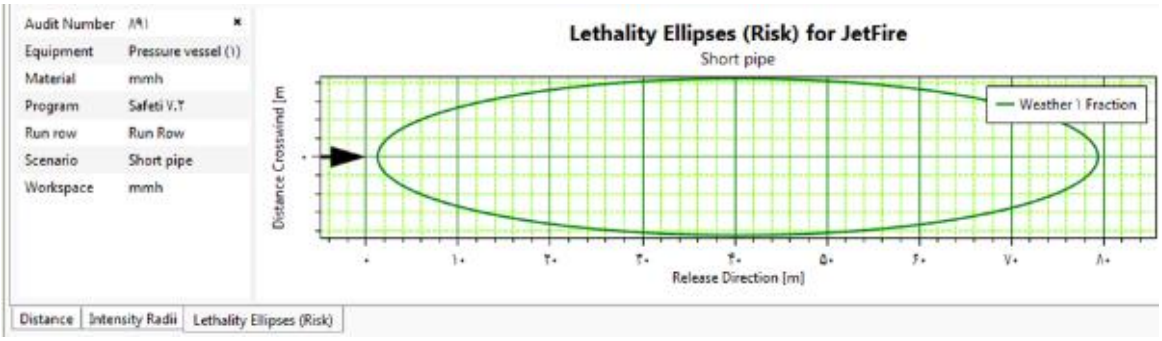


شکل (۶): آتش جت فایر ناشی از نشت ازمخزنMMH

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



شکل (۷): شعاع شدت تشعشات ناشی از اتش جتی



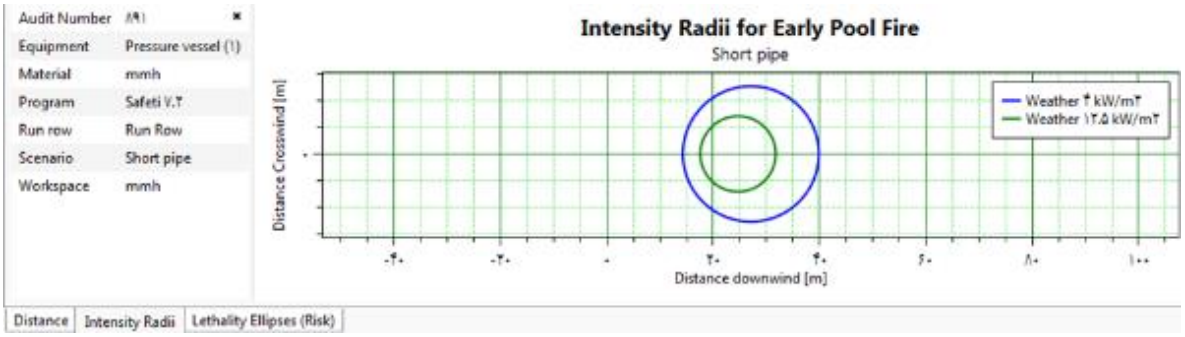
شکل (۸): شعاع مرگ حتمی ناشی از اتش فواران (jet fire) از نشت سر مخزن MMH

همان‌طور که در شکل‌های ۸ و جدول ۳ درخصوص آتش فورانی دیده می‌شود، شعاع مرگ ناشی از این نوع آتش در MMH تا میزان تقریبی ۷۸.۳ متر است و سرعت خروج ۴۱متر برثانیه می‌باشد.

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

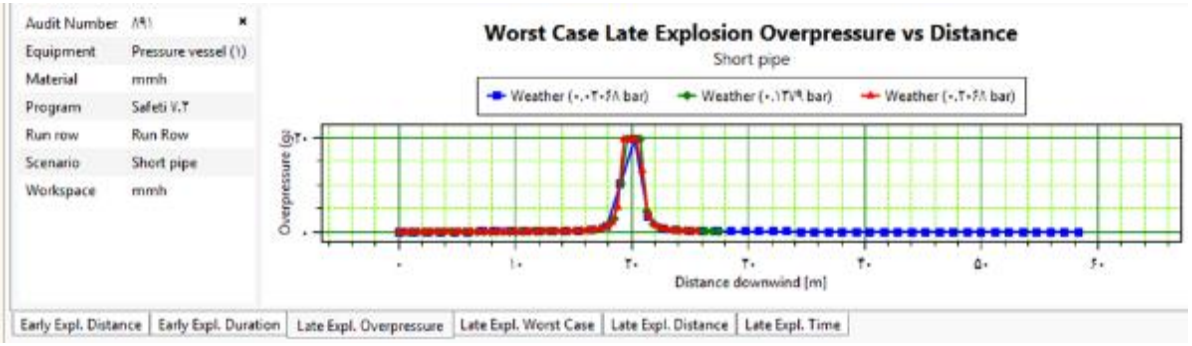


شکل (۱۰): شعاع تاثیر آتش استخری با منبع جرقه سریع

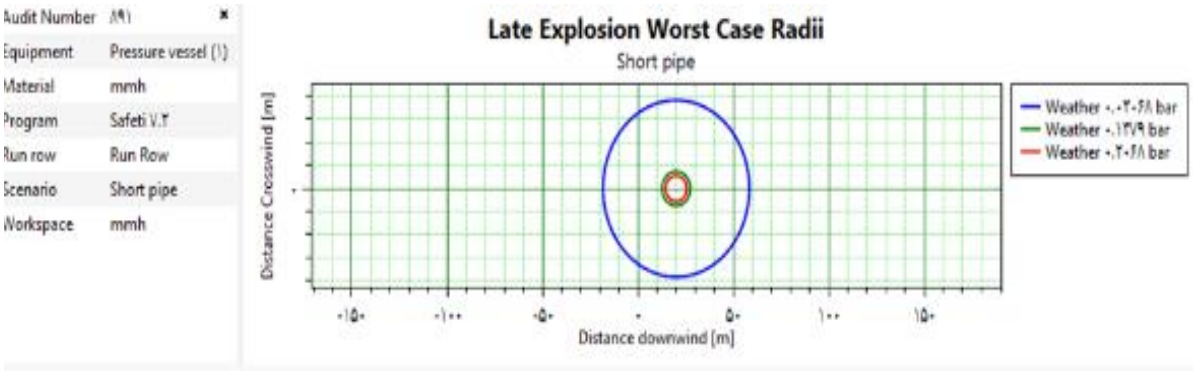
همان‌طور که در شکل ۱۰ پیداست در صورت ایجاد آتش استخری با منبع جرقه ناشی از نشتی در سر مخزن تا شعاع ۴۰ متری تشعشع امواج به میزان ۴ کیلووات بر مترمربع است و تشعشع میزان ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع از فاصله تقریبی ۱۷ الی ۳۰ متر است؛ اما در نزدیکی مخزن این مقدار وجود ندارد.

- **انفجار مربوط به نشت از سر مخزن MMH**

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



شکل (۱۱): مدل انفجار MMH

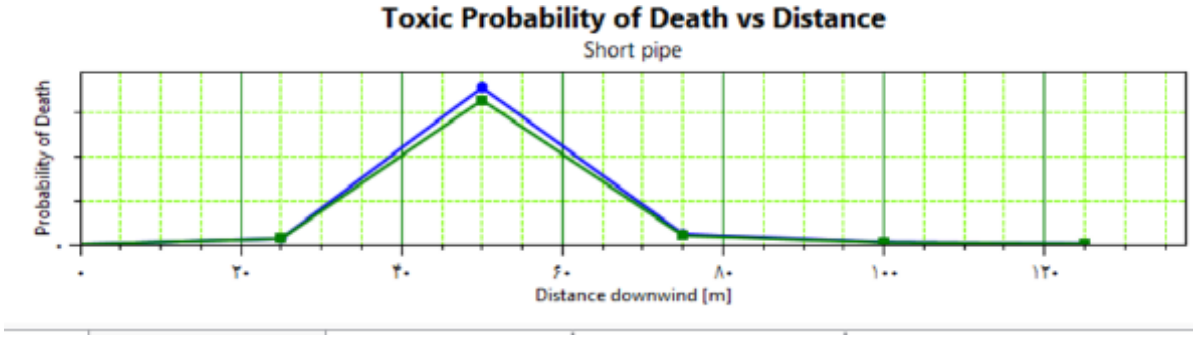


شکل (۱۲): فشار انفجار MMH

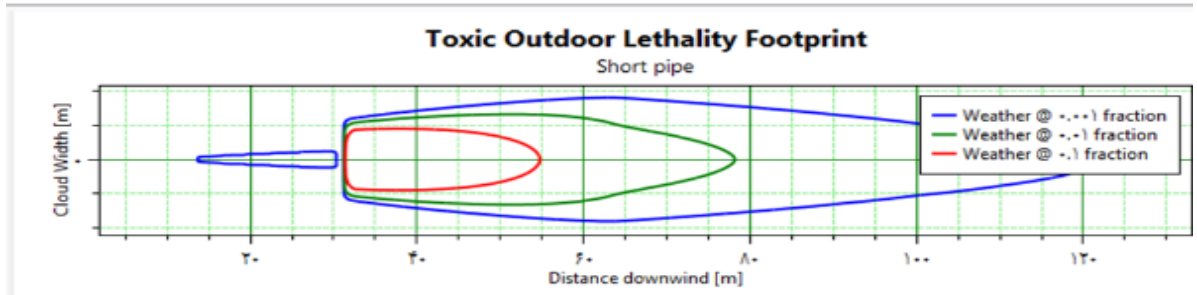
دایره آبی‌رنگ فشار حاصل از انفجار ۰.۰۲۰۶ بار معادل ۰.۲۹۹PSI است که نمایش داده می‌شود تا فاصله تقریبی ۶۰ متر فشار انفجار به این عدد می‌رسد. با مراجعه به استاندارد DOD٦٠٥٥ این مقدار آسیب به شیشه‌ها نمی‌زند و دایره سبز فشار ۰.۱۳۷۹Bar معادل ۲psi است که تا شعاع ۲۷ متری ادامه دارد که موجب برهم ریختن سازه های سبک میشود. با مراجعه به استاندارد DOD٦٠٥٥ این مقدار برابر است با احتمال ۱۰۰٪شکستن شیشه پنجره و در دایره قرمز میزان فشار برابر است با ۰.۲۰۶BAR و معادل ۲.۹psi و این مقدار تا شعاع ۲۲ متری ادامه دارد. با مراجعه به استاندارد DOD٦٠٥٥ این مقدار برابر است با احتمال ۱۰۰٪ شکستن شیشه پنجره آسیب به سازه های 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.



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



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

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

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.

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	نشت 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 نشت	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 اسیب به سازه های سنگین	کارکنان
۲	نمودار نشت 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 نشت	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 اسیب به سازه های سنگین	کارکنان

جدول ۴ نشان می‌دهد که اولاً شعاع خطر مربوط به نشتی سر مخازن بسیار بالاتر است. خطرات انفجار و آتش‌سوزی در پیشرانه MMH وجود دارد. اتاق کنترل که بنا به توصیه‌های استانداردی 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 اسکرابرهایی 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 چالش ها و الزامات- معاونت پژوهش های 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-۰۸٦-۲۰۰۱- Fire, Explosion, Compatibility, and Safety Hazards of Nitrogen Tetroxide,۲۰۰٤

[٤] STUDY AND IMPLEMENTATION OF AMIDDLE-SIZED ROCKET MOTOR BENCH TEST SYSTEM; MASTER'S DEGREE IN AEROSPACE ENGINEERING UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA September ۳۰th, ۲۰۱۹

[٥] DoD;٦٠٥٥. DOD AMMUNITION AND EXPLOSIVES SAFETY STANDARDS,۲۰۰٤

[٦] MIL-PRF-۲۷٤۰٤D

[۷] MIL-PRF-۲٥٦۲۰٤D

[۸] MIL-PRF-۲٦٥۳۹E, PERFORMANCE SPECIFICATION PROPELLANTS, DINITROGEN TROXIDE,۲۰۰٤

[۹] N۲O٤ , MSDS of DINITROGEN TROXIDE,MERK CO,۲۰۱۷

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

[۱۱] NFPA۱۱۲٥, Code for the Manufacture of Model Rocket and High-Power Rocket Motors,۲۰۱۸

[۱۲] NFPA۱۱۲۷ ,Code for High Power Rocketry,۲۰۱۸

[۱۳] NSS۱۷٤۰،۱۲, SAFETY STANDARD FOR EXPLOSIVES, PROPELLANTS, AND PYROTECHNICS,۲۰۰٦

[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] ایثاری نیا، حمید،۱۴۰۲.ارزیابی ریسک استند استاتیک سوخت مایع با پیشرانه MMH,N۲O۴ با روشهای PHAST,HAZOP پایان نامه کارشناسی ارشد.

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

[۱۸] شهرکی وهمکاران،۱۴۰۰. شبیه سازی پیامد ناشی از آتش‌سوزی برای خطوط لوله گاز با استفاده از نرم افزارPHAST

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

[۲۰] FLAEPIABILITY QURACERISTICS OF HYDRAZINE FUELS IN NITROGEN TETROXIDE ATMOSPHERES; Henry E. Perlee, Agnes C. M o f, and Michael G. Zabetak٥.s,۱۹۹۰

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.aria۲۲@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 tetraoxide propulsion, governing standards such as DOD٦٠٥٥ 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