الزامات ایمنی استند استاتیک سوخت مایع فضایی با پیشران MMH

سید رضا کریمی [1]، عبد الرحمن کشوری[2]، حمید ایثاری نیا[3*]

1-پژوهشگر دانشکده و پژوهشکده پدافندغیر عامل، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران. ایران

2- استادیار، دانشکده و پژوهشکده پدافندغیر عامل، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران. ایران

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده و پژوهشکده پدافندغیر عامل، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران. ایران

(آدرس نویسنده مسئول heira@chmail.ir)

خلاصه

انجام کارو 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 MMH و نیتروژن تتراکسید N2O4 ،با مطالعه استانداردهای حاکم مثل DOD6055 و استانداردهای ناسا، بیان محاسبات مربوط به وزن پیشران مورد نیاز،MSDS این 2 ماده، الزامات استانداردی حاکم بر مکان یابی سایت ،مخاطرات کارکردن با این مواد را از روش مطالعات استانداردهای موجود دنیا بررسی کرد، این موضوع برای بار اول است که در یک مقاله فارسی در حوزه HSE به آن پرداخته شده ا ست. اما حوادث ف ضایی ما را بر آن دا شت تا این مو ضوع ب صورت خاص به مو ضوع پی شرانه پرداخته شود وحوادثی از جمله؛حادثه حین شارژ ماهواره بر آپولو در جولای 1975 بود که موجب آسیب و جراحت کارکنان گردید.با توجه به یافته‌های این پژوهش محل تست استاتیک باید 365 متر از محل‌های تجمع کارکنان و جاده‌های عمومی فاصله داشته باشد و همچنین مخازن باید دارای تجهیزات خاص وایمنی مثل شیر اطمینان و ... باشد.

کلمات کلیدی: استند تست استاتیک، مونومتیل هیدرازین استاندارد، MMH، پیشران

1. مقدمه

امروزه در کشور ما با توجه به توسعه فعالیتهای فضایی نیاز به سامانه های پیشرانشی یکی از الزامات توسعه فضایی می باشد . چنانچه در بیان رهبر انقلاب در پیام نوروزی سال 1400 رسیدن به ماهواره در مدار 36000 کیلومتر بعنوان یک خواسته و ضرروت بیان گردید[1] . اما نکته قابل توجه این فرایند الزامات ایمنی می باشد، این سامانه‌ها قبل از پرواز و نهایی

شدن مثل هر سامانه دیگری نیاز به تست و صت سنجی دارند ؛ شاید اولین سندی که بیان مخاطرات پرداخته است الزامات و موضوعات بیان شده در سند [2] باشد که در آن پیشرانه MMH و N2O4 بعنوان یک ماده سمی و پر خطر بیان شده است. همچنین در صفحه 7 همین سند اشاره دارد که نشت N2O4 از سامانه آپولو در 1975موجب آسیب به کارکنان گردید. همچنین در استاندارد AIAA-SP-086-2006 [3] ضمن اعلان این ماده بعنوان یک پیشرانش فضایی آن را ماده بسیار سمی و خود مشتعل با بسیاری از مواد اعلام کرده است . همچنین از وظایف ایمنی سایت را کاهش خطرات ناشی از احتراق موتور بیان کرده است. لذا با توجه به خطرات بیان شده نسبت به بررسی اسنادی واستانداردهای ایمنی حاکم بر استند استاتیک سوخت مایع بر پایه پیشرانه فوق پرداخته می شود.

2. واژه نامه:

موتور موشک*موتوری عکس‌العملی است که از حرکت سیال انرژی حرکت به جلوی وسیله را تولید می‌کند.

موتور سوخت مایع: از پیشرانه به شکل مایع استفاده می‌کند.

ضربه مخصوص پیشرانه : به میزان نیرویی که از حاصل از احتراق یک کیلوگرم پیشرانه حاصل می شود ضربه مخصوص پیشران یا ISP می‌گویند.

نسبت سوخت به اکسید : به میزان نرخ مصرف اکسیدکننده به سوخت گویند که با علامت O/F نمایش داده می‌شود

دبی جرمی: به میزان جرمی از پیشـــرانه که در طی یک ثانیه جریان پیدا می‌نمایند دبی جرمی، گویند که با علامت $\dot{m}$ نمایش داده می‌شود

جرم کل :به جرم کل پیشرانه(سوخت و اکسید) یا کل داخل یک استند گفته می‌شود .

فشار کاری محفظه احتراق:به فشار حاصل از احتراق داخل محفظه احتراق موتور می‌گویند.

MMH: مونو متیل هیدرازین که بعنوان جزء سوخت در موتورهای مایع مصرف می‌شود

NTO: N2O4 با خلوص بالا و گرید نظامی است که بعنوان جزء اکسیدکننده در موتورهای مایع مصرف می‌شود

∝: نسبت سوخت و اکسید واقعی به نسبت بهینه

M OX: جرم کل N2O4 موجود در استند

M fu: جرم کل MMH موجود در استند

*Rocket engine

Iso17450,2016

$\frac{O}{F}$: نسبت مصرف اکسیدکننده به سوخت

Pcc: فشار داخلی موتور

m fu دبی جرمی سوخت

m_{ox} :دبی جرمی اکسید کننده

3. تاریخچه تحقیق:

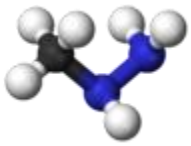
مطابق با تحقیقات به عمل آمده جز تحقیق ارائه شده در منبع شماره 2 که توسط ناسا ارائه شده است هیچ تحقیق بصورت خاص به این موضوع نپرداخته است .

شکل 1-1 شکل 1- نمای استند استاتیک سوخت مایع **NASA**

4. ضوابط واستانداردهای حاکم:

4-1.ضوابط و استانداردهای حاکم بر MMH

MMH یا مونو متیل هیدرازین یکی از پر مصـــرف ترین ســـوختهای مایع پایه هیدرازینی بوده . این پیشـــرانه به دلیل خود ا شتعالی*بالا در صنایع نظامی و فضایی کاربرد دارد، این ماده با توجه به دانسیته بالاتری که نسبت به *UDMH* دارد موجب کاهش حجم مخازن و جرم مرده سامانه می‌شود. این ماده دارای دانسیته *0.87* گرم بر سانتی متر مکعب می باشد و اولین استانداری که در خصوص این ماده باید مطالعه گردد ، استانداردهای Mil-PRF-27404-performanc specification *[7];* است، که مشخصات و خواص فیزیکی این ماده بیان شده است و همچنین در سند *AIAA SP-085* این ماده را بعنوان یک ماده سمی و پر خطر بیان نموده است. ضمنا با مراجعه با *MSDS* ماده متوجه می شویم که این ماده یک ماده سمی استانه انفجار آن بین 2/5 تا 97 ، حساسیت بالایی به الکتریسیته ساکن دارد.



شکل 2-1 شکل2- ساختارمولکولی مونومتیل هیدرازین

مطابق با استناد حد تماس شغلی با *MMH* برابر با *0.01PPM* است و چون حد تماس این ماده بسیار پایین است؛ لذا استفاده از فیلترهای تصفیه برای این ماده پیشنهاد نمی‌گردد مگر اینکه از کیفیت تهویه مهندسی اطمینان داشته باشید. در صورت اطمینان از اینکه سطح آلودگی بیرونی کمتر از *20PPM* است می‌توانید از این ماسک تمام‌صورت با فیلتر *K* استفاده شود و مطابق با الزامات *DOT* و *OSHA* ماده‌ای قابل اشتعال است و باید در حین حمل‌ونقل بر روی آن لیبل ماده قابل اشتعال نصب شود.الزامات *49CFR173.145* برای حمل‌ونقل الزامی است.برای انهدام ضایعات این ماده از اقدامات کلرینه سازی مثل واکنش با نیتروژن دی کلرین، متیل کلرید و یا مواد مشابه استفاده شود

(AIAA SP-085,2004).

*Hypergolic whith oxidizer

جدول 1-1 جدول مواد سازگار با MMH در شرایط محیط

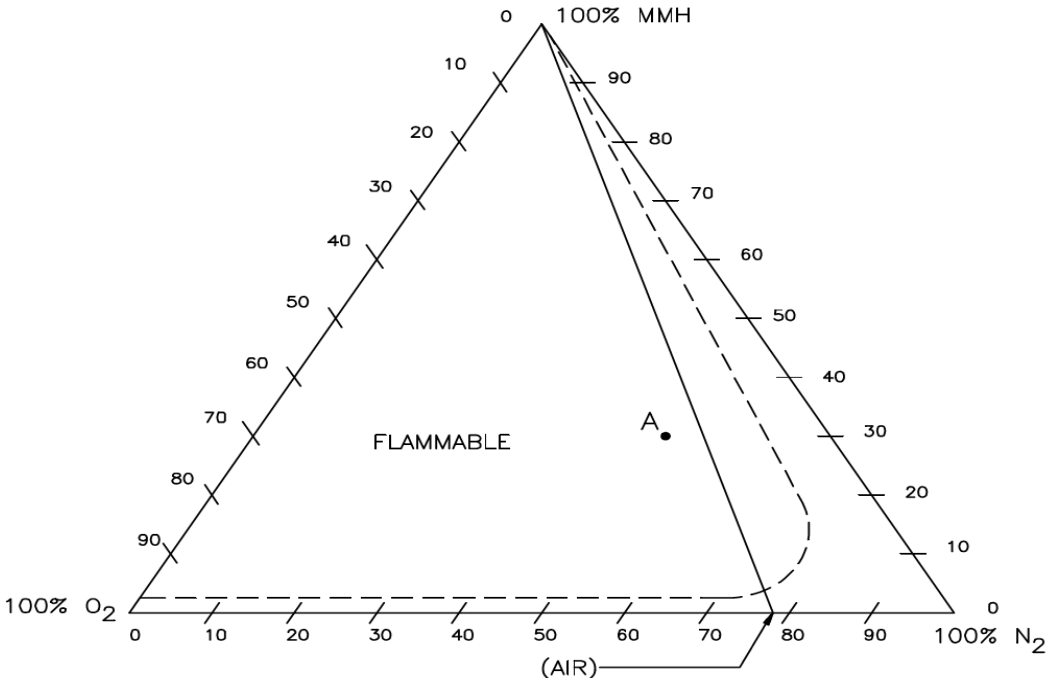
able 12 — Compatibility of metallic materials with MMH at ambient temperature

Material	Compatibility
Aluminum Alloys	Compatible in general[a]
1100	Compatible[a]
2014	Compatible[a]
2024	Compatible[a]
2219	Compatible[a]
6061	Compatible[a]
6061-T6	Compatible for at least 10 years[b]
Chromium	Probably incompatible[a]
Copper	Probably incompatible[a]
Hastelloy C, W	Probably compatible[a]
Lead	Probably compatible[a]
Molybdenum	Incompatible[a]
Monel	Probably incompatible[a]
Nickel	Probably incompatible[a]
Pure Iron	Probably incompatible; iron oxide violently catalyzes MMH in the presence of oxygen[a]
Stainless Steels	Probably compatible in general[a]
301 cryoformed	Probably compatible[a]
304	Probably compatible[a]
304L	Compatible for at least 10 years[b]
316	Probably incompatible[a]
321	Probably compatible[a]
347	Compatible for at least 10 years[b]
17-7 PH or 17-4 PH	Probably compatible[a]
A-286	Probably compatible[a]
Carpenter 20 Cb.	Probably compatible[a]
Ni maraging steels	Probably incompatible[a]
Titanium Alloys	Compatible in general[a]
6Al-4V	Compatible for at least 10 years[b]
5Al-2.5Sn	Compatible[a]

[a]Uney and Fester 1972
[b]Moran and Bjorklund 1982

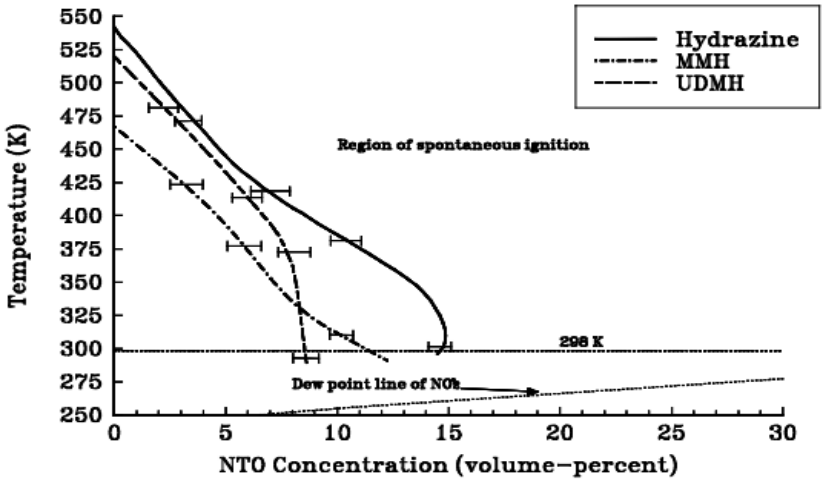
لباس تمام حفاظتی برای این ماده الزامی است؛ در محل کار چشم‌شوی ایمنی الزامی است. در صورت آتش غیر مهار شدنی در محیط *MMH* تا مسافت 1/5 کیلومتر را تخلیه نمایید. ازآنجایی‌که این ماده دارای خطر زیست‌محیطی است حتماً در صورت نشت بیش از 4/5 کیلوگرم باید مقامات محلی را خبر کرد، نشتی این ماده علاوه بر خطر مسمومیت دارای مخاطرات آتش و انفجار نیز است.

- لباس، عینک و تجهیزات حفاظتی بپوشید.(لباس و دستکش از جنس بوتیل رابر)
- با اضافه‌کردن آب و جمع‌آوری این آب در ظروف مخصوص آلودگی را از محیط دور کنید
- میزان باقی‌مانده در سطح را با محلول هیپوکریت رقیق خنثی نموده و سپس با آب کافی بشوید
- مواد و تجهیزات آلوده را آلودگی‌زدایی نمایید (*AIAA SP-085, 2004*) .



شکل 3-1 شکل 3- نمودار آتش گیری **MMH**درهوا

همچنین این ماده در هرد مایی با *N2O4*مشـــتعل می شـــود که نتیجه تحقیق*[11] FLAEPIABILITY QURACERISTICS OF HYDRAZINE FUELS IN NITROGEN TETROXIDE ATMOSPHERES* این مواد را در نسبتهای بسیار پایین خود اشتعال بیان کرده است ،نمودارهای نمایانگر مخاطرات بالای این دو ماده است.



شکل 4-1 شکل 5- نمودار خود اشتغالی پیشرانه‌های هیدرازینی با نیتروژن تترا اکسید

5. الزامات و استاندارد حاکم بر فضای کاری:

مطابق با تعریفی که استاندارد(DOD6055-page 346) دیده میشود محلی است که در آن موتور و پیشرانه مایع یا جامد مورد آزمون قرار می گیرند و همچنین با توجه به تعریف در همین استاندارد وجود دارد پیشرانه MMH و N2O4 در تماس با یکدیگر کاملا هایپرگول بوده و با یکدیگر بدون نیاز به محرک خارجی م شتعل می شوند .همچنین ما جهت بررسی الزامات از یکی از اسناد کاربردی که کمک می گیریم استاندارد NSS1740.12; SAFETY [12] STANDARD FOR EXPLOSIVES, PROPELLANTS, AND PYROTECHNICS است که در بخش 6 پیشرانه‌های مایع و در بخش 7 استندهای تست استاتیک شرح داده شده است.

مخازن پیشرانه های مایع باید به اندازه ایمن از یکدیگر جدا باشند و همچنین فضاهای ذخیره‌سازی به اندازه ایمن QD از جایگاه تست جدا باشند؛ همچنین سیستم باید کاملا نسبت به ورود هوا ایزوله باشد ،(نزدیکی مخازن اجرایی با رعایت سایر ضوابط به محل تست اشکال ندارد). برای بدست آوردن فاصله ایمن از متناطق مسکونی، جاده های ارتباطی و ... جرم معادل TNT را 10٪ در نظر گرفته می شود، همچنین مطابق با استاندارد مطابق با سند KSC-STD-E-00 12F;[13] باید تمامی تاسیسات ناسا دارای حفاظت در برابر صاعقه باشند و تمامی اتصالات و نگه‌دارنده‌ها مطابق با الزامات NASA-STD-3000 انتخاب شوند.همچنین مخازن پیشرانه باید دور از نور آفتاب ودارای اتصال ارت باشند. در سند NSS1740.12 بیان شده است که مخازن باید به ارت متصل بوده و در مکانهایی که احتمال وجود بخارات قابل اشتعال وجود دارد از تجهیزات ضد الکتریسیته استفاده شود و تا فاصله 15 متری مکان های نگه داری و کارکردن با مواد قابل اشتعال و انفجار آتشبر ایجاد گردد. برای کلیه فرایندهای پر خطر منبع اب اضطراری باید وجود داشته باشد [12] .سیستمهای تحت فشار باید مطابق با استانداردها ASME ساخته و تست شوند. همچنین در سند YLP ;[13]مشاهد می کنیم که در طرحواره خود پوشش دیواره جانبی را برای جلوگیری از پرتاب قطعات پیشنهاد داده است.

6. نتیجه و اجابت استانداردها و سایر الزامات:

با توجه به قدرت موتور پیشنهادی فضایی با فشار 15 بار و α=0.8 نسبت به محاسبه جرم و سایر الزامات و براورده سازی آنها اقدام می نماییم .

6-1- محاسبات جانمایی ایمن استند استاتیک سوخت مایع

با توجه به معادلات 1 تا 4 جرم پیشران موجود در استند را محاسبه و نسبت به فاصله نمایی اقدام می کنیم :

1. محاسبه دبی جرمی پیشران موجود در استند

$$\dot{m} = \frac{F}{ISP} = \frac{1000}{226} = 4.43 kg/s$$

2. محاسبه جرم کل پیشران

$$Mt = \dot{m} * t = 4.43 * 8 * 60 = 2126.4 \text{ کیلوگرم}$$

3. محاسبه جرم N2O4 , MMH

$$M_{fu} = \frac{M}{1 + \frac{O}{F}} = \frac{2126.4}{2.99} = 711.2Kg$$

$$M_{ox=} M_t - M_{fu} = 2126.4 - 711.2 = 1415.2\ Kg$$

حال با توجه به داده های بدست آمده اقدام به اجابت مابقی الزامات می نماییم .

جرم MMH برابر با 711.2 کیلوگرم، جرم N2O4 برابر با 1415.2 کیلوگرم وجرم کل پیشرانه برابر با 2126.4 کیلوگرم معادل 4688 پوند است.

- محاسبه فاصله ایمن جهت مصون ماندن از انفجار :

روش اول استفاده از NFPA [14,15]:

در این روش از متد ضربه‌کل پیشران جهت جانمایی و فاصله‌های ایمن استفاده شده است؛ لذا ما برای محاسبه total impulse داریم :

4. ضربه کل یا total impulse

$$Total\ impuls = ISP * M_t = 2126 * 226{:}480476N.S$$

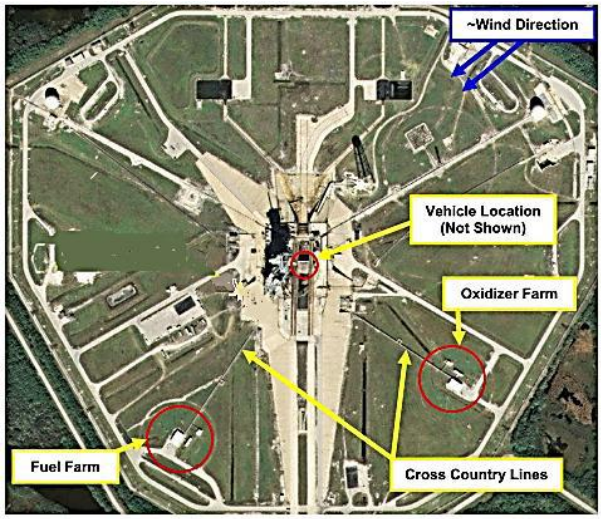
اما بیشترین مقداری که در NFPA1127 قرار گرفته 40000N.S است و لذا در این بخش نمی‌توان از آن الزامات بهره برد.

روش استفاده از الزامات و استانداردهای NASA و KSC :

در این روش با مرجعه به بخش 7 استاندارد NSS1740.12 [12] به بیان الزامات می پردازیم .

با مراجعه به جداول مربوطه کلاس داخلی بیان شده فاصله تا جاده های عمومی و مناطق اداری مجاز مرتبط 205feet معادل 62 متر بیان شده است .فاصله بین مجازن از مناطق عمومی جهت مصون ماندن از موج انفجار برای عموم مردم 60٪ معادل TNT بیان می گردد، که برابر است با 635 فوت همچنین

فاصله اتاق کنترل برابر با 380فوت باشد و فاصله بین مخازن اصلی بدون حفاظت باید280 فوت باشد و از طرفی در اسناد ناسا با توجه به اینکه این دو ماده به شدت باهم hypergolic می باشند . طرح واره ای که موجود است مخازن به گونه ای قرار گرفته اند که جهت باد غالب موجب انتقالات بخار یکی از این 2 به سوی دیگری نگردیده است(شکل 3)



شکل 5-1 شکل 8- طرح واره و عکس هوایی یک استند سوخت مایع

همچنین استند فوق باید به اندازه 380 فوت نیز از خطوط فشار قوی 63 کیلوولت به بالا فاصله داشته باشد.همچنین باید اطراف استند تا شعاع 15 متر از علفها و مواد قابل اشتعال تمیز گردد.

الزامات مخازن

مخزن MMH :

این مخزن باید از جنس سازگار با ماده ساخته شود ، این مخزن با توجه به الزامات نگه داری و فشار گذاری مورد نیاز باید حداقل تحمل فشار تا 1/5 برابر فشار کاری را دا شته با شد(جدول 1-1)، همچنین باید مطابق با الزامات NASA-STD-5012B باید تستهای صلایت سنجی شده با شند . همچنین بر روی تمامی مواد فلزی و غیر فلزی ازمون سازگاری انجام شده باشد. مطابق با الزامات ASME مخازن تحت فشار باید دارای شیر اطمینان Safety valve باشند. بین موتور مخزن به دلیل احتمالات ناشی از انفجار دیواره حائل ایجاد می شود و مخزن باید به سامانه ارتینگ متصل شود . از انجایی که این ماده در ا ستانه LEL –UEL بالایی قرار دارد بر روی آن شارژ ازت پرج می شود، ومخزن باید دارای چاهک به منظور جمع آوری رسوباتدر ته مخزن باشد.

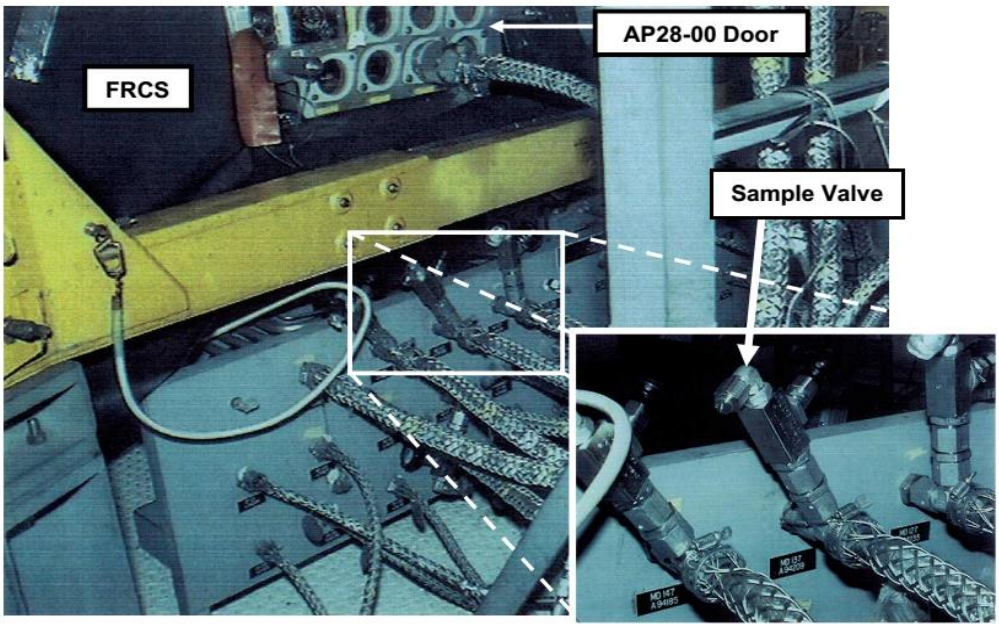


Figure 36-1: MD137 Flexhose Sample Valve

شکل 6-1 نمونه اتصال و شیر نمونه‌برداری مخازن فضایی **NASA**

مخزن N_2O_4: الزامات مخازن و سازگاری این ماده مطابق با استانداردهای rocket propellant handbook و Fire, Explosion, Compatibility, and Safety Hazards of Nitrogen Tetroxide, AIAA SP-086شامل موارد زیر است :

این ماده با تیتانیوم 6Al-4V و استیل‌های 304L,316,321,347,410,416,430و اینکونل سازگار ا ست.مخازن ا ستاندارد این ماده باید دارای VENT و شیر فشار گذاری و شیر نمونه‌برداری با شند.کلیه مخازن فلزی که برای این ماده ساخته می‌شوند باید قبل از بکار گیری با محلول نیترو فلوراید (3-5%HF, 15-20HNO3) پسیو شده باشند. کلیه شیرهای این ماده باید از جنس استنلس استیل باشند.مخازن باید حداقل اتصالات را داشته باشند، لوله‌ها و اتصالات باید مطابق با ASME-B31-3 باشد. طراحی مخازن باید مشابه مخازن تحت‌فشار باشد و مخازن باید مجهز به شیر ایمنی safety valve باشد

4- نتیجه گیری:

استند استاتیک سوخت مایع با پیشرانه MMH و N_2O_4 یکی از مکانهای پر خطر کاری برای کار کنان خود است که مهمترین مخاطرات آن شعله و دمای بالا ناشی از احتراق ، وجود فشار بالا ، وجود مواد سمی

پر خطر N2O4 و MMH با حد نصاب شغلی بسیار پایین است که این محل علاوه بر مخاطره برای کارگران برای عموم مردم نیز احتمالات خطر بسیار بالایی دارد، در جانمایی استند با استفاده از الزامات NSS1740.12 استند مفروض باید حداقل 192 متر از محلهای عمومی کارکنان غیر مرتبط، 62 متر از جاده های عمومی باشد ، همچنین با توجه به نیاز مند بودن به سامانه های فشار گذاری خاص نیتروژن الزامات نشت و فشار و ... برای این چنین مراکزی وجود دارد و بعلاوه شیر اطمینان برای تمامی سیستمهای تحت فشار الزامی است [19] بعلاوه با توجه به مخاطرات خاص برای این مراکز سندهای ارزیابی ریسک دیده شود و همواره مورد پایش و رصد ایمنی و محیط زیست قرار داشته باشد.

5- منابع و ماخذ

1. بیانات مقام معظم رهبری در پیام نوروزی سال1400،برگرفته از سایت Kamenei.ir

2. 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,2006

3. AIAASP86-2001- Fire, Explosion, Compatibility, and Safety Hazards of Nitrogen Tetroxide,2004

4. STUDY AND IMPLEMENTATION OF AMIDDLE-SIZED ROCKET MOTOR BENCH TEST SYSTEM; MASTER'S DEGREE IN AEROSPACE ENGINEERING UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA September 30th, 2019

5. DOD6055; DOD AMMUNITION AND EXPLOSIVES SAFETY STANDARDS,2004

6. Rocket propellant handbook

7. MIL-PRF-27404-performanc specification for MMMH,2004

8. AIAA SP-085-2001,Fire, Explosion, Compatibility, and Safety Hazards of mono methyl hydrazine, 2004

9. N2O4 –MSDS

10. Mil-PRF-26539 E, PERFORMANCE SPECIFICATION PROPELLANTS, DINITROGEN TROXIDE,2004

11. FLAEPIABILITY QURACERISTICS OF HYDRAZINE FUELS IN NITROGEN TETROXIDE ATMOSPHERES; Henry E. Perlee, Agnes C. M o f , and Michael G. Zabetak5.s,2006

12.NSS1740.12; SAFETY STANDARD FOR EXPLOSIVES, PROPELLANTS, AND PYROTECHNICS,2006

13. Experimental Rocket Motor Safety & Standards Manual

14. KSC-STD-E-00 12F,2013

15. NFPA1125 Code for the Manufacture of Model Rocket and High Power Rocket Motors,2018

16. NFPA1127 Code for High Power Rocketry.2018

17. Mil-PRF-27401 F,

18. KSC-SPC-K12186-85,2013