

## آزمون‌های مهمات غیر حساس (IM)

احد جهانیان<sup>۱\*</sup>، عباسعلی مقیسه<sup>۲</sup>، مرتضی صفر دوست<sup>۳</sup>

سازمان صنایع دفاع

\*E-mail: A\_1363\_jahaniyan@yahoo.com

(تاریخ وصول: ۹۱/۱۰/۲۵، تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۱)

### چکیده

بررسی پاسخ مهمات به محرک‌های حرارتی و مکانیکی به منظور تعیین میزان حساسیت مهمات از موارد مهم در توسعه مهمات جدید می‌باشد. آزمون‌های مهمات غیر حساس شامل آزمون حرارت دهی (سریع و آهسته)، اصابت ترکش، اصابت پرتابه، اصابت خرج گود و انفجار پیایی می‌باشند. در این مقاله ضمن تعریف مهمات غیر حساس و توصیف انواع پاسخ مهمات به تهدیدات خطرناک، اصول و روش‌های انجام این آزمون‌ها مورد بررسی قرار گرفته و در انتها به اثر پیرشدگی بر حساسیت مهمات پرداخته شده است.

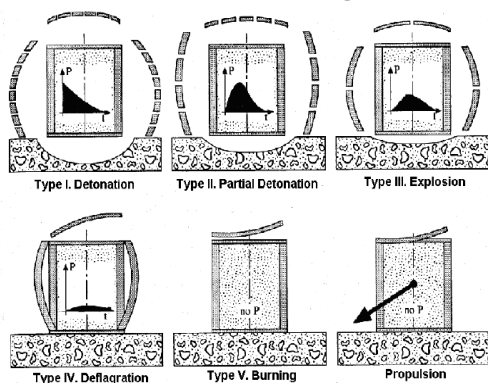
واژه‌های کلیدی: مهمات غیر حساس، آزمون‌های مهمات غیر حساس.

### ۱- مقدمه

در بسیاری از کشورهای جهان تلاش‌های زیادی در جهت تولید مهمات غیر حساس با کارایی بالا صورت می‌گیرد، به همین منظور انجام آزمون‌هایی برای تعیین میزان حساسیت مهمات اهمیت خاصی برخوردار است [۲]. در طراحی مهمات غیر حساس، فرایند آزمون اهمیت حیاتی داشته، به طور کلی آزمون‌های مهمات غیر حساس وسیله‌ای برای ارزیابی شدت واکنش سیستم‌های مهمات در هنگام مواجهه با عوامل مختلف می‌باشد. عموماً این آزمون‌ها در مقیاس کوچک یا بزرگ انجام شده و ممکن است پرهزینه و خطرناک نیز باشند [۳]. اخیراً کشورهای بسیاری در جهان از استاندارد نظامی MIL-STD-2105 B به عنوان یک دستورالعمل برای ارزیابی حساسیت سیستم‌های مهمات استفاده می‌کنند [۴]. به طور کلی انواع آزمون‌های مهمات غیر حساس شامل پنج آزمون زیر می‌باشند [۵]:

مهمات غیر حساس<sup>۴</sup> مهماتی هستند که تحت هر شرایطی غیر از مأموریت در نظر گرفته شده برای از بین بردن یک هدف خاص، نبایستی منفجر شوند. انتظار می‌رود مهمات غیر حساس، کارایی، آمادگی و نیازمندی‌های عملیاتی را در صحنه نبرد حفظ کنند، به علاوه، احتمال آغاز غیرعمدی و شدید آنها در سلاح و سیستم‌های لجستیک، هنگامی که در معرض اثرات خطرناک مکانیکی یا حرارتی قرار می‌گیرند به حداقل کاهش یابد. عواقب احتمالی ناشی از حوادث مهمات اغلب بسیار شدید است، در سال‌های اخیر حوادث بسیاری نظیر از دست دادن جان بسیاری از انسان‌ها و خسارات به زیر سیستم‌های مربوطه، بخصوص در طی تولید، انبارداری، انتقال و در حین استفاده از مهمات‌های مختلف، به ثبت رسیده است [۱]. امروزه

۲) همانند حالت انفجار، موج شوک شدید پدید می‌آید. اما در این نوع واکنش، بخشی از پوسته مهمات به ترکش‌های کوچکی تبدیل می‌شوند، و دیگر بخش‌های پوسته ترکش‌های بزرگتری را ایجاد می‌کنند. برخلاف حالت انفجار، بخشی از مواد واکنش پذیر ممکن است در طول انفجار جزئی، منفجر نشوند. انفجار<sup>۸</sup> (واکنش نوع ۳) باعث اشتعال و سوزش سریع مواد پرانرژی محبوس می‌شود، در این حالت به طور موضعی فشار بالا می‌رود که منجر به پارگی پوسته مهمات با فشار شدید می‌گردد. ترکش‌ها و مواد پرانرژی سوخته نشده ممکن است تا فواصل طولانی پرتاب شوند. همچنین فشار انفجار در این نوع واکنش مشاهده می‌شود، منتها همانند واکنش‌های نوع (۱) و نوع (۲) قوی نیست. سوزش شدید<sup>۹</sup> (واکنش نوع ۴) به عنوان اشتعال و احتراق مواد پرانرژی بدون آزاد شدن فشار شدید تعریف می‌شود. در این نوع واکنش، فشار بالا نیست که نتیجه استحکام پایین یا وجود منافذی در سرتاسر دیواره پوسته مهمات است، اگرچه در این نوع واکنش، پوسته پاره می‌شود، منتها ترکش ایجاد نمی‌شود. تنها آسیب مهم در این نوع واکنش، آزاد شدن حرارت و دود ناشی از سوزش مواد پرانرژی است. سوزش (واکنش نوع ۵) واکنشی با حداقل شدت است، در این نوع واکنش، پوسته مهمات ممکن است جهت خروج گازهای احتراق، به شدت پاره شود، آثار ناشی از آتش نیز وضعیت مهلکی را برای پرسنل ایجاد نمی‌کند. نیروی تولید شده در نتیجه واکنش ممکن است باعث پرتاب مهمات شود. این واکنش به عنوان واکنش پیشران<sup>۱۰</sup> تعریف می‌شود. در حقیقت واکنش‌های نوع (۱) و نوع (۲) پاسخ‌های فیزیکی غیر قابل پذیرش هستند، در بعضی حالات واکنش‌های نوع (۳) و (۴) قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در طراحی مهمات غیر حساس عمدتاً طرح ریزی برای رسیدن به واکنش نوع (۵) مد نظر می‌باشد. اگر واکنش نوع (۵) ممکن نباشد، واکنش نوع (۴) در نظر گرفته می‌شود [۱].



شکل ۱- پاسخ‌های واکنش به تهدیدات مکانیکی و حرارتی مختلف [۱].

- آزمون حرارت دهی (حرارت دهی سریع و آهسته)<sup>۱</sup>
  - آزمون اصابت پرتابه<sup>۲</sup>
  - آزمون اصابت ترکش<sup>۳</sup>
  - آزمون اصابت خرج گود<sup>۴</sup>
  - آزمون انفجار پیایی<sup>۵</sup>
- در جدول ۱ خطرات، روش‌های آزمون و الزامات مهمات غیر حساس ارائه شده است.

جدول ۱- تهدیدات، روش‌های آزمون و الزامات مهمات غیر حساس [۲].

| تهدیدات بالقوه                                | آزمون                 | الزامات و اهداف                                   |
|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|
| انبار مهمات، هواپیما یا آتش سوزی وسایل نقلیه  | آزمون حرارت دهی سریع  | هیچ واکنشی شدید تر از نوع (۵) مشاهده نشود- سوزش   |
| آتش سوزی در مجاورت انبار مهمات یا وسایل نقلیه | آزمون حرارت دهی آهسته | هیچ واکنشی شدید تر از نوع (۵) مشاهده نشود- سوزش   |
| اصابت پرتابه حاصل از سلاح‌های سبک             | آزمون اصابت پرتابه    | هیچ واکنشی شدید تر از نوع (۵) مشاهده نشود- سوزش   |
| اصابت ترکش‌های حاصل از مهمات به دیگر مهمات    | آزمون اصابت ترکش      | هیچ واکنشی شدید تر از نوع (۵) مشاهده نشود- سوزش   |
| اصابت خرج شکل یافته به مهمات                  | آزمون اصابت خرج گود   | پاسخ ماده آزمون نوع (۱) یا نوع (۲) نباشد          |
| انفجار در انبار مهمات، هواپیما یا وسایل نقلیه | آزمون انفجار پیایی    | هیچ واکنشی شدید تر از نوع (۳) مشاهده نشود- انفجار |

## ۲- پاسخ مهمات به محرک‌های خطرناک

انواع واکنش‌هایی که مهمات به دلیل قرار گرفتن در معرض مخاطرات خاص از خود نشان دهند به طور شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است، در اثر هرگونه اثر خطرناک، واکنش انفجار در محیط واکنشی انجام می‌گیرد و شوک شدید (انفجار) در محیط اطراف شکل می‌گیرد (واکنش نوع ۱). واکنش نوع ۱ به عنوان شدیدترین واکنش تعریف می‌شود. علاوه بر این تغییر شکل پلاستیکی پوسته مهمات ممکن است منجر به ترکش‌های مخربی شود. در طول انفجار، تقریباً همه مواد واکنش پذیر مصرف می‌شوند. در انفجار جزئی<sup>۶</sup> (واکنش نوع

8-Explosion  
9- Deflagration  
10- Propulsion

1-Fast cook-off & Slow cook-off tests  
2-Bullet impact test  
3-Fragment impact test  
4-Shaped charge jet impact test  
5-Sympathetic detonation test  
6-Detonation  
7-Partial detonation

### ۳- انواع آزمون های مهمات غیر حساس

هدف از انجام آزمون های مهمات غیر حساس شبیه سازی شرایط واقعی برای زمانی است که مهمات در معرض تهدیدات ناگهانی حاصل از آتش دشمن در (زمان جنگ) و یا تهدیدات طبیعی ناخواسته (زمان صلح) قرار می گیرند. به همین منظور انجام چنین آزمون هایی برای بررسی پاسخ مهمات به مخاطرات حرارتی و مکانیکی خاص که ممکن است در طول چرخه عمر مهمات اتفاق بیافتد، ضروری است. این آزمون ها به تفصیل در زیر تشریح شده اند.

#### ۳-۱- آزمون های حرارت دهی (آهسته و سریع):

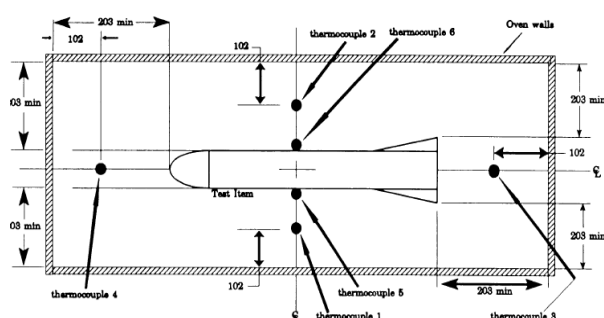
اغلب آزمون های مخاطرات حرارتی به طور جدی در اواسط سال ۱۹۷۰م به عنوان بخشی از برنامه مهمات غیر حساس، در ایالات متحده مورد بررسی قرار گرفتند. آزمون های حرارت دهی گاهی اوقات مخرب اند، زیرا سیستم جنگ افزار ممکن است در برابر واکنش های شدید تر از سوزش مقاومت نداشته باشد، در اغلب موارد یک انفجار شدید اتفاق می افتد، بنابراین ضروری است که در آزمون از تجهیزات مصرفی با ارزانه ترین نوع تجهیزات نظارتی استفاده شود. این آزمون معمولاً شامل مجموعه ای از ترموکوپل ها می باشد که در وضعیت های مختلفی نصب می شوند. دوربین های فیلم برداری و گنج های اندازه گیری موج شوک تولید شده حاصل از انفجار، در اطراف محل آزمون قرار می گیرند. به طور کلی با توجه به شدت و وضعیت قرار گرفتن مهمات در معرض تهدیدات حرارتی، این آزمون ها به دو دسته آزمون حرارت دهی آهسته و سریع تقسیم می شوند.

#### ۳-۱-۱- آزمون حرارت دهی آهسته

این آزمون برای شبیه سازی شرایطی که مواد پراورزی و یا مهمات در معرض افزایش آهسته دما قرار می گیرند، استفاده می شود. به عنوان مثال، سیستم های مهمات تحت تاثیر نور خورشید ممکن است در معرض خطر حرارت دهی قرار گیرند، همچنین آتش سوزی در انبار های مجاور نیز می تواند باعث حرارت دهی در مهمات انبار شده شود. ماده آزمون ممکن است هشت ساعت قبل از شروع آزمون در دمای  $21^{\circ}\text{C}$  قرار داده شود. نرخ افزایش دمای  $3/3^{\circ}\text{C}$  در هر ساعت به عنوان یک مشخصه از محیط برای این آزمون انتخاب شده است. در این آزمون، ماده آزمون در درون یک آون مصرفی<sup>۱</sup> تحت حرارت دهی پیوسته قرار می گیرد، تا زمانی که همه مواد منفجره واکنش داده و یا تا زمانی که واکنش ماده آزمون در آون کامل شود (شکل ۲)، سلاح توسط چرخش هوای گرم که ظرفیت حرارتی کافی و خصوصیات انتقال حرارت قابل پذیرشی را داشته باشد، حرارت دهی می شود، زیرا نرخ حرارت دهی می بایست بسیار آرام باشد. دما و سپری شدن زمان واکنش می بایست مشاهده و به طور پیوسته اندازه گیری شود، حداقل

دو ماده آزمون می بایست به طور جداگانه مورد آزمایش قرار گیرد. یک قسمت الحاقی برای چنین آزمونی این است که اگر در طول آزمون سوزش یا انفجار به طور کامل رخ ندهد، سلاح بعد از انجام آزمون بایستی تخریب شود. از آنجایی که شرایط و وضعیت مکانی قطعات حاصل از ماده آزمون در ارزیابی نتایج آزمون بسیار حیاتی است، بنابراین در این آزمون بایستی بعد از انجام آزمون، به منظور کشف بقایای ماده آزمون، محل به دقت مورد کاوش قرار گیرد. تجهیزات آزمون می بایست توانایی فراهم نمودن کنترل محیط حرارتی، افزایش دمای هوای آون و ماده آزمون در درون آون را با سرعت خطی  $3/3^{\circ}\text{C}$  در هر ساعت یا سرعت های بالاتر معین، در سراسر گستره دمای عملیاتی را داشته باشد. معیار پاس کردن این آزمون این است که پاسخی شدید تر از واکنش نوع (۵) مشاهده نشود [۶]. به طور کلی تجهیزات مورد نیاز در آزمون حرارت دهی شامل موارد زیر می باشند:

- آون مصرفی، بایستی به گونه ای طراحی شود که قابلیت کامل آزمون در آن وجود داشته باشد.
- ترموکوپل، برای اندازه گیری دما در داخل آون و در سطح ماده آزمون، حداقل چهار ترموکوپل اندازه گیری کننده دمای هوای داخلی آون بایستی نصب شوند.
- دوربین فیلم برداری و عکسبرداری، به منظور ثبت شرایط ماده آزمون و محل آزمون، قبل و بعد از انجام آزمون.
- صفحات شاهد، به منظور اثبات شدت واکنش ماده آزمون.



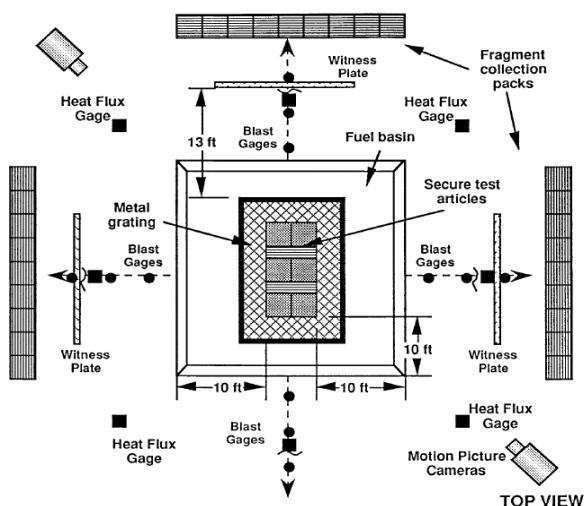
شکل ۲- پیکربندی آزمون نوعی حرارت دهی آهسته [۶].

امروزه به منظور شبیه سازی آزمون حرارت دهی آهسته از آنالیز حرارتی نیز استفاده می شود، به عنوان مثال نتایج حاصل از اندازه گیری حاصل از آنالیز کالریمتری پیمایش تفاضلی<sup>۲</sup> (DSC) برای سه میلی گرم از یک نوع از پیشران نیتروسلولزی، دمای اشتعال  $190^{\circ}\text{C}$  را نشان داده است، حال آنکه پیش از این، با استفاده از آزمون حرارت دهی آهسته در مقیاس کوچک (با  $350^{\circ}\text{C}$  گرم پیشران) برای همین پیشران (با پیش شرط باقی ماندن در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  به مدت ۶ ساعت با نرخ حرارت دهی  $3/3^{\circ}\text{C}$ ) در لوله فولادی، دمای  $130^{\circ}\text{C}$  به

2-Differential scanning calorimetry

1-Expendable

سلاح، استفاده می شود (شکل ۴). برای انجام یک آزمون مناسب، ضروری است که بین ۳۰ تا ۳۵ ثانیه بعد از اشتعال، دما در نزدیکی سلاح به  $538-550^{\circ}\text{C}$  برسد. میانگین دمای شعله حدود  $870^{\circ}\text{C}$  (اندازگیری شده در همه ترموکوپل ها)، به منظور ایجاد نتایج معتبر مورد نیاز است. شدت واکنش از طریق ثبت کردن صدا، تصویر و اندازگیری پیک فشار حاصل از موج شوک انفجاری، تعیین می شود. بعد از انجام این آزمون به منظور جمع آوری بقایای ماده آزمون، محل آزمون به دقت مورد کاوش قرار می گیرد. شرایط و وضعیت مکانی قطعات حاصل از آزمون، شاخصی قابل تامل در ارزیابی نتایج حاصل از آزمون است [۹].



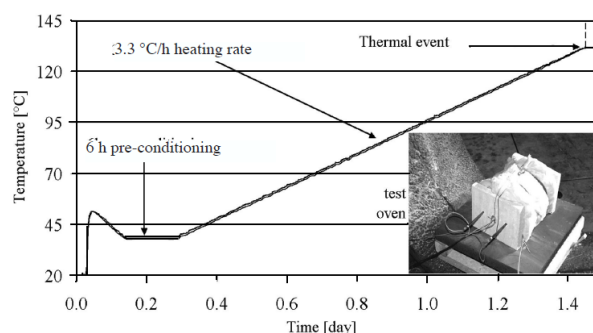
شکل ۴- پیکربندی آزمون حرارت دهی سریع (نمای بالا) [۱۰].

به طور کلی تجهیزات مورد نیاز برای این آزمون شامل موارد زیر می باشد [۱۱]:

- ترموکوپل، به منظور اندازگیری دمای شعله
- دوربین فیلم برداری برای ثبت وقایع آزمون
- گیج های اندازگیری فشار حاصل از موج شوک انفجاری

معیار پاس کردن این آزمون این است که پاسخی شدید تر از واکنش نوع (۵) مشاهده نشود، این بدان معنی است که اثرات واکنش های ماده آزمون بایستی به منطقه ای در حدود ۱۵ متری از محل آزمون، محدود شود. امروزه برخی از مراکز آزمون مهمات غیر حساس به دلیل مزایایی همچون سازگاری بیشتر با محیط زیست، هزینه کمتر سوخت، زمان نصب کوتاه تر، زمان اجرای کوتاه تر (امکان انجام چهار آزمون در روز)، امکان انداز گیری فشار حاصل از انفجار در فاصله پنج متری از ماده آزمون، بهبود محیط کار برای پرسنل، استفاده از گاز مایع پروپان<sup>۲</sup> را به جای سوخت هیدروکربنی مایع را در آزمون حرارت دهی

دست آمد (شکل ۳). چنین نتایجی نشان می دهد که رفتار مواد منفجره شدیداً به مقیاس و میزان حبس شدگی<sup>۱</sup> وابسته است. بنابراین نتایج به دست آمده توسط آنالیزهای مقیاس کوچک (مانند DSC) برای استفاده در آزمون های مقیاس بزرگ، با احتیاط قابل تفسیر می باشند [۷]. استفاده از نتایج پایداری حرارتی برای آنالیز های ایمنی بایستی با آزمون های مقیاس بزرگ، مقایسه شوند. امروزه با توسعه تکنولوژی کامپیوتری، راه حل های جالبی نظیر استفاده از نرم افزارهای جدید آنالیز حرارتی برای شبیه سازی آزمون حرارت دهی آهسته فراهم شده است [۸].



شکل ۳- منحنی دما- زمان آزمون حرارت دهی آهسته در یک پیشرانه نیتروسلولزی [۷].

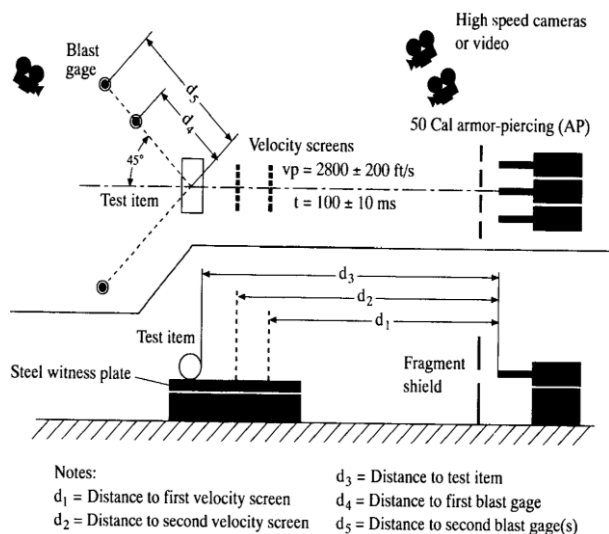
### ۳-۱-۲- آزمون حرارت دهی سریع

هدف از انجام این آزمون، شبیه سازی شرایطی است که طی آن مهمات ممکن است تحت آتش دشمن، در طی استفاده یا در طول مدت انبارداری، در معرض آتش مستقیم قرار گیرند. در این آزمون، ماده آزمون به صورت معلق بالای تشتک یا آتشدان حاوی سوخت در حال سوزش قرار می گیرد، در آتشدان، سوخت مناسبی که شعله آن تا حدود ۲۰ دقیقه یا زمانی که برای واکنش کامل مهمات لازم است بسوزد، ریخته می شود، عموماً از سوخت های هیدروکربنی مایع مناسب نظیر JP-4، JP-5، Jet A-1 و AVCAT یا کروزین تجاری استفاده می شود. برای اطمینان از غوطه وری کامل ماده آزمون در شعله، به منظور ایجاد واکنش مورد نظر، اندازه تشتک و مقدار سوخت بایستی به اندازه کافی باشد. در آزمون ایالات متحده، آتشدان حدود ۱۰ متر مربع بوده و به وسیله دیواری متشکل از یکسری بلوک های به هم پیوسته که سوراخ هایی در بین آن ها برای تهویه ایجاد شده است، احاطه می شود که به عنوان باد شکن عمل کرده و همچنین محل آزمون را از قطعات متلاشی شده محافظت می کند. در این آزمون از چندین ترموکوپل (با ثابت زمانی کمتر از ۰/۱ ثانیه) برای ثبت دمای شعله های حاصل از سوخت، در هر انتهای سلاح و در طرفین نقطه مرکزی در سطح افقی خط مرکزی حدود ۱۰۰ میلی متری از پوسته

2-Liquid propan gas

1-Confinement

پوشش دهی شده در سطح گرین، شدت پاسخ به اصابت پرتابه را کاهش می‌دهد [۱۵].



شکل ۵- آزمون اصابت پرتابه ( شکل بالا اصابت سه پرتابه و شکل پایین اصابت تک پرتابه) [۱۶].

### ۳-۳- آزمون اصابت ترکش

آزمون اصابت ترکش به منظور بررسی واکنش مهمات به اصابت حاصل از ترکش‌های با سرعت بالا که ممکن است از منابعی مانند انفجار بمب‌ها یا پوسته مهمات ایجاد گردند، انجام می‌شود. در این آزمون، ماده آزمون در توسط یک شبیه ساز که ترکش‌های با سرعت بالا تولید می‌کند تحت اصابت قرار می‌گیرد (شکل ۶). شبیه ساز ترکش استوانه مدور با قطر عمودی ۹/۱۶ اینچ و دارای نوک مخروطی است، سرعت استاندارد ۸۳۰۰ فوت بر ثانیه می‌باشد. در مرکز تحقیقات نیروی دریایی آمریکا از تفنگ ۶۰ میلی متر بدون خان که اصلاحاتی بر روی آن صورت گرفته جهت پرتاب ترکش استفاده می‌شود. چنانچه پرتابه تقریباً با جلوی صاف، به شدت به هدف اصابت کند ( ترکش استاندارد که در آزمون‌ها استفاده می‌شود دارای یک مخروط ۱۶۰° در صفحه جلو می‌باشند)، به پوسته و مواد پرنرزی برخورد می‌کنند. اگر ترکش‌ها قادر به نفوذ به پوشش باشند موجب ایجاد خسارات قابل توجهی خواهند شد. در مقایسه با آزمون اصابت پرتابه، یک موج شوک قوی توسط این نوع آزمون در هدف ایجاد می‌شود و این ممکن است باعث ایجاد آسیب قابل توجهی در پوشش و مواد پرنرزی شود. در نتیجه رساندن این پالس انرژی بزرگ، مواد پرنرزی ممکن است به شدت ترکیده شده و سطح جدیدی زیادی را ایجاد نماید. این آزمون، نسبت به آزمون اصابت پرتابه با یک تک پرتابه با سرعت و جرم مشابه، به علت شرایط ابتدایی بسیار شدید ممکن است به وقایع بزرگتری

سریع پیشنهاد می‌کنند [۱۲]. انجام آزمون حرارت دهی با گاز پروپان مایع نشان می‌دهد که نتایج چنین آزمون‌هایی با نتایج حاصل از انجام آزمون با سوخت هیدروکربنی مایع، قابل مقایسه می‌باشد.

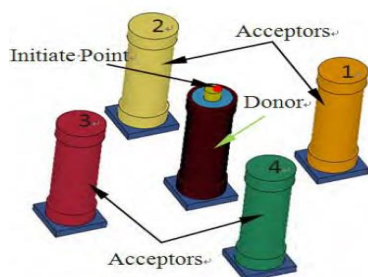
### ۲-۳- آزمون اصابت پرتابه:

آزمون اصابت پرتابه به منظور بررسی واکنش مهمات به شلیک حاصل از سلاح‌های سبک انجام می‌شود. در این آزمون نمونه معمولاً توسط شلیک ماکزیمم سه پرتابه کالیبر ۰/۵ ضد زره از یک سلاح نفوذی (AP) که دارای سرعت دهانه ۸۵۳ متر بر ثانیه است، مورد اصابت قرار می‌گیرد (شکل ۵) پرتابه‌ها به طور پی در پی در فواصل زمانی ۱۰۰ میلی ثانیه به منظور شبیه سازی نواخت با ۶۰۰ تیر در دقیقه، شلیک می‌شوند. همچنین این آزمون ممکن است که با یک تفنگ که توانایی شلیک با نواخت مورد نیاز را دارد یا توسط سه تفنگ مجزا با قابلیت شلیک یک تیر، انجام شود. اگر از چندین تفنگ استفاده شود، می‌بایست همگی به سوی یک نقطه مشترک در ماده آزمون شلیک شوند [۱۳]. به عنوان نمونه، دو بخش تست می‌شوند که یک بخش در قسمت بزرگترین جزء انفجاری همچون خرج سرجنگی یا گرین‌های پیش‌ران می‌باشد و بخش دیگر حساس‌ترین جزء بجز بوستر است. همانند آزمون‌های حرارت دهی پس از آزمون، وضعیت و موقعیت مکانی محل و باقی مانده‌های بقایای ماده آزمون مورد بررسی قرار می‌گیرند، زیرا در ارزیابی نتایج بسیار قابل توجه می‌باشند. معیار پاس کردن برای این آزمون این است که پاسخی شدید تر از واکنش نوع (۵) نداشته باشند. به طور کلی تجهیزات مورد نیاز آزمون شامل موارد زیر می‌باشد [۱۴]:

- تجهیزات اندازه‌گیری زمان شلیک تفنگ
  - اندازه‌گیری سرعت پرتابه
  - اندازه‌گیری موج شوک گاز‌های حاصل از انفجار
  - دوربین فیلم برداری با سرعت بالا به منظور پوشش وقایع آزمون
- به علاوه، آزمون اصابت پرتابه خود می‌تواند برای بررسی دیگر پارامترها نظیر اندازه گرین یا شرایط پوشش سطح مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال در یک تحقیق آریساوا و کیمورا<sup>۱</sup> (آژانس دفاعی ژاپن) آزمون اصابت پرتابه را در مقیاس کوچک به همراه مونیتورینگ فشار برای دو نوع از پیش‌ران‌های تفنگی (پیش‌ران‌های تفنگی دو پایه و سه پایه) انجام دادند. آنان به منظور بررسی مکانیسم پاسخ پیش‌ران‌های تفنگی تحت اصابت پرتابه، اندازه گرین و شرایط سطحی، گرین‌های متفاوتی را انتخاب کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که پاسخ پیش‌ران‌های تفنگی تحت اصابت پرتابه به اندازه گرین و شرایط سطحی (پوشش سطح) و ترکش‌های داغ تولید شده از دیوار پشتی ظرف آزمون بستگی دارد، به طوری که افزایش اندازه گرین و گرافیت

1-Armor piercing (AP)

2-Arisava&kimura



شکل ۷- مدلی از آزمون انفجار پیاپی [۱۹].

در این آزمون، که به ویژه برای بمب‌ها، پرتابه توپ و مهمات دیگر با محتوای انفجاری بالا دارای اهمیت می‌باشد، آرایش آزمون معمولاً به گونه ای است که بدترین شرایط را شبیه سازی کند. برای آیت‌هایی نظیر موتورهای راکت یا خرج‌های توپخانه‌ای، دهنده به طریقی که بیشترین وقایع را ایجاد نماید، به اجرا در می‌آید. این آزمون معمولاً دو مرتبه انجام می‌شود: یک مرتبه با حبس خارجی اضافی، نظیر محفظه‌های پر شده با ماسه که در اطراف ماده آزمون قرار می‌گیرند و یک بار نیز بدون هیچ گونه حبس اضافی. خاطر نشان می‌شود که این آزمون نه تنها از پیک فشار بلکه از مدت رویداد پالس شوک نیز متأثر می‌باشد. معیار گذراندن این آزمون این است که به هیچ وجه پاسخ نوع (۱) یا (۲) را ایجاد ننماید، به این معنی که هیچ انفجاری از مواد منفجره یا مواد پرانرژی در پذیرنده ایجاد نشود. تجهیزات مورد نیاز برای آزمون عبارتند از:

- دوربین فیلم برداری با سرعت بالا به منظور پوشش وقایع
- در برخی موارد، گنج‌های موج شوک انفجاری

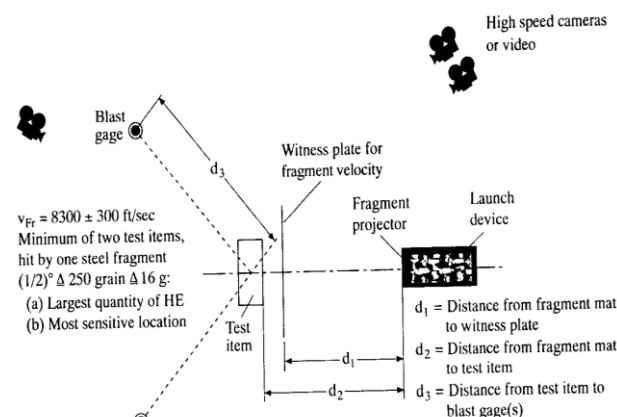
### ۳-۵- آزمون اصابت خرج گود

یک استوانه از ماده منفجره با یک حفره خالی در یک انتها و یک چاشنی در انتهای دیگر آن خرج گود نامیده می‌شود. حفره خالی (با اشکال هندسی مختلف) باعث می‌شود که انرژی ناشی از انفجار بر روی محور تمرکز یابد. این تمرکز می‌تواند فشارهای بسیار بزرگی در بخش توخالی خرج ایجاد نماید و چنانچه یک بلوک فلزی در مقابل حفره و در معرض این فشار متمرکز قرار گیرد، تا عمق قابل توجهی سوراخ می‌شود. سوراخ ایجاد شده به وسیله یک خرج حفره دار از خرج بدون حفره که جرم بیشتری هم دارد، عمیق تر است. چنانچه سطح این حفره توسط یک آستر فلزی (به نام لاینر) پوشانده شود، در اثر انفجار خرج و فروپاشی لاینر، جریانی از فلز به نام جت تشکیل می‌شود که با سرعت بسیار زیادی حرکت می‌کند و می‌تواند در هر مانعی نفوذ نماید. بخشی از مواد لاینر پس از فروپاشی با سرعت کمتری و به دنبال جت حرکت می‌نماید که به آن اسلاگ<sup>۳</sup> می‌گویند.

منجر شود [۱۶]. شرایط پس از آزمون و موقعیت مکانی باقیمانده‌های آزمون برای ارزیابی نتایج بسیار حیاتی است. گنج‌های موج شوک حاصل از انفجار اغلب برای تعیین این که آیا واکنش‌های ماده آزمون پیک فشار قابل توجهی را ایجاد می‌کنند یا نه مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی تجهیزات مورد نیاز آزمون عبارتند از [۱۷]:

- پروژکتور ترکش
- اندازه‌گیری سرعت شبیه ساز ترکش
- دوربین فیلم برداری با سرعت بالا به منظور پوشش وقایع
- گنج‌های فشار

معیار گذراندن این آزمون این است که هیچ پاسخی شدید تر از واکنش نوع (۵) وجود نداشته باشد.



شکل ۶- آرایش آزمون اصابت ترکش [۱۶].

### ۳-۴- آزمون انفجار پیاپی

در یک کارخانه یا انبار حاوی مواد پرانرژی، در صورت رخ دادن یک حادثه انفجاری (به علت یک انفجار به حد کافی نزدیک حاصل از یک پرتابه یا بمب) به منظور اجتناب از آسیب‌های بیشتر به علت وقوع واکنش‌های زنجیری، بایستی از انفجار پیاپی جلوگیری شود، از این رو درک انفجار پیاپی مواد پرانرژی از نقطه نظر مهندسی ایمنی بسیار با اهمیت می‌باشد. هدف از این آزمون این است که آیا انفجار یکی از مهمات باعث انفجار همزمان، یا تقریباً به طور همزمان در دیگر مهمات مجاور خواهد شد یا نه. به منظور شبیه سازی چنین شرایطی، در این آزمون یکی از مهمات به طور عمدی منفجر شده و بقیه مهمات برای واکنش آزاد گذاشته می‌شوند. در این آزمون یک خرج دهنده<sup>۱</sup> در دسته ای از خرج‌ها (خرج‌های پذیرنده<sup>۲</sup>) با آرایشی خاص، منفجر می‌شود [۱۸] (شکل ۷).

3- Slug

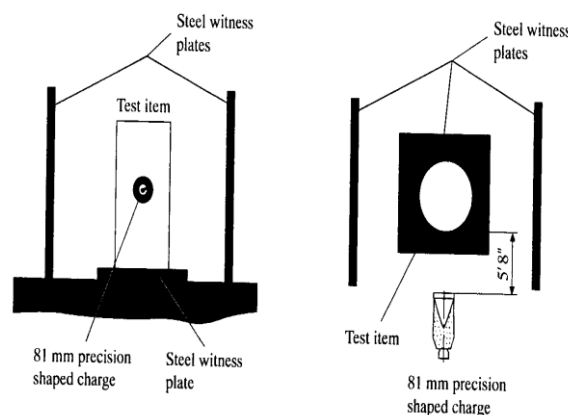
1-Donor  
2-Acceptor

در نتیجه پیر شدگی پس از چند سال بر روی مهمات رخ می‌دهد، خطر ارزیابی نامعتبر مهمات را افزایش می‌دهد. بنابراین در صورت انبار کردن مهمات می‌تواند فاجعه بار باشد، در صورت پیش آمدن چنین وضعیتی مهمات باید از به کارگیری خارج شوند. از این رو امتحان و پیش بینی رفتار پیر شدگی پیش‌رانه‌ها در کنار بررسی پاسخ مهمات به انواع محرک‌های مختلف از اهمیت خاصی برخوردار است [۲۳].

#### ۵- نتیجه گیری

با توسعه روز افزون مهمات و بهره‌گیری از مواد پُرانرژی جدید، انجام آزمون‌هایی به منظور تعیین میزان حساسیت مهمات بسیار ضروری است. مهمترین هدف توسعه مهمات غیر حساس، افزایش آمادگی تدارکاتی و سیستم‌های تاکتیکی و کاهش ریسک صدمات در برخی از موقعیت‌های تصادفی است. اساساً آزمون‌های مهمات غیر حساس در مقیاس کوچک و بزرگ قابل انجام می‌باشد. در آزمون حرارت دهی سریع، مهمات ماده آزمون در داخل ظرفی مخصوص قرار گرفته و از بالای سوخت بنزین یا سوخت جت که در حال اشتعال است، به طور معلق قرار می‌گیرند، صعود دما در این آزمون به تندی انجام شده و موجب غوطه‌ور شدن مهمات در آتش حاصل از واکنش انجام می‌شود، در حالی که در آزمون حرارت دهی آهسته، دما با سرعتی کمتر (در مقایسه با حرارت دهی سریع) در یک آون مخصوص که برای این آزمون در نظر گرفته شده است، به طور مرتب افزایش می‌یابد. آزمون‌های اصابت پرتابه و ترکش به منظور بررسی واکنش مهمات به شلیک سلاح‌های سبک و همچنین اصابت حاصل از ترکش‌های با سرعت بالا که ممکن است از منابعی مانند انفجار بمب‌ها یا پوسته مهمات رسیده باشد، انجام می‌شود. در تمامی آزمون‌های مهمات غیر حساس، نوع واکنش و آوارهای باقی مانده مورد ارزیابی قرار داده می‌شود. برای انجام هریک از آزمون‌های مهمات غیر حساس، بایستی ملاحظات ایمنی را برای افرادی که این آزمون‌ها را انجام می‌دهند، در نظر گرفت. آزمون‌های مهمات غیر حساس هنگامی که به طور تطبیقی برای مهمات متداول و جدید به کار برده شوند، داده‌های بسیار سودمندی را به دست خواهند داد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی کامپیوتری، امکان شبیه‌سازی برخی از آزمون‌های مهمات غیر حساس، خصوصاً آزمون‌های حرارت دهی با استفاده از نرم افزارهای شبیه‌سازی فراهم شده است، بنابراین نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده با نرم افزارهای مخصوص به همراه نتایج حاصل از آزمایشات تجربی، بسیار مفید خواهند بود.

قرار گرفتن هدف در فاصله مشخصی از خرج شکل یافته (به نام فاصله توقف<sup>۱</sup>) موجب افزایش نفوذ می‌گردد [۲۰]. اصول آزمون اصابت خرج گود واقع بینانه بوده اما این آزمون همیشه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، زیرا در بسیاری از موارد بعید است که یک سلاح با چنین تهدیدی مواجه شود. به طور معمول، نتیجه اصابت جت خرج شکل یافته انفجار مواد پُرانرژی در هدف است، زیرا این طریقه اصابت از اجتماع بزرگترین نیروها به یک گیرنده، حاصل از هر یک از آزمون‌های مهمات غیر حساس، گرفته شده است. نوعاً در آزمون اصابت خرج گود، ماده آزمون توسط جت خرج گود حاصل از بمب خوشه‌ای نوع راکت ای<sup>۲</sup> تحت اصابت قرار می‌گیرد (شکل ۸). با این وجود پیکربندی این آزمون شامل یک ورقه شاهد و ویدئو دیجیتالی با سرعت بالا یا دوربین‌های با تصاویر متحرک با هدف ارزیابی نتایج آزمون است. معیار گذراندن این آزمون این است که پاسخ ماده آزمون نوع (۱) یا نوع (۲) نباشد [۱۶].



شکل ۸- آزمون اصابت توسط جت خرج شکل یافته [۱۶].

#### ۴- اثر پیر شدگی بر حساسیت مهمات:

انبارداری دراز مدت پیش‌رانه‌ها موجب تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی (پیر شدگی<sup>۳</sup>) در پیش‌رانه‌ها می‌شود [۲۱]. تجزیه‌بایندر، تخریب خصوصیات مکانیکی، رطوبت‌زدایی<sup>۴</sup>، مهاجرت نرم‌کننده‌ها، تجزیه شیمیایی اجزاء مواد پُرانرژی، ناسازگاری مواد و تشکیل ترک از مهمترین مکانیسم‌های پیر شدگی می‌باشند. اساساً پیر شدگی از دو طریق بر مهمات غیر حساس اثرات شدیدی می‌گذارد، اول ممکن است وضعیت غیر حساس مهمات را تغییر داده، به طوری که سطح پاسخ مهمات را زمانی که در معرض تحریکات خارجی قرار می‌گیرند، تغییر دهد، دوم عمر مورد انتظار برای مهمات غیر حساس را در مقایسه با مهماتی که غیر حساس نمی‌باشند را تغییر دهد [۲۲]. تعیین سطح غیر حساس بودن مهمات مختلف بدون در نظر گرفتن اثر تغییراتی که

1- Stand-off  
2-Rockeye sub-munition  
3-Aging  
4-De-wetting

## مراجع

- [1] Bekir, N. "Oneand Two Dimensional Numerical Simulation of Deflagration to Detonation Transition Phenomenon Solid Energetic Materials."; Ph.D. Thesis, School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Istanbul, 2010.
- [2] Clifford, J. " Insensitive Munitions Why and what. "; 8<sup>th</sup> of the International Conference on Propellants, Explosives and Pyrotechnics 2005, pp.358-369.
- [3] Gutman, E.; Gali, S.; Shachar, E. " Surveillance Tests of a New LOVA Gun Propellant. "; In Proc. of the International Conference on Propellants, Explosives and Pyrotechnics 2006, pp. 457-467.
- [4] Forrester, M. R.; Forrester, T. D. "Biography for Insensitive Munitions Testing Protecting Ourselves from our Ammunition. "; J. Expl.Soc. 2006 , 68, 698- 709.
- [5] Nyholm, S. " Insensitive Munitions and Aging. "; 5<sup>th</sup> the International Conference on Energetic Materials 2002, pp. 132-140.
- [6] US-Military Standard, MIL-STD-2105 A(NAVY), Hazard Assessment Test for Non-nuclear Munition, 1994.
- [7] Folly, P. C. "Thermal Stability of Explosives."; J. Am. Chim. Soc. 2004, 58, 379- 388.
- [8] Roduit, R. B. "Determination SADT and Cook off Ignition Temperature by Advanced Kinetic Elaboration of DSC Data."; <http://www.akts.ch/dwlds/kinetics-SADT-slow-cockoff.html> , 2010.
- [9] MIL-STD-2105 C, Department of Defence Test method Standard, Hazzard Assessment Test for non-Nuclear Munitions, 2003.
- [10] Vittitow, P. S. "Combined Insensitive Mmunitions/ Final Hazard Classification Test Plan."; J. Am. PEP. Soc. 1994, 58, 1258- 1268.
- [11] Liquid Fuel /External Fir, Munitions Test Procedures, STANAG 4240, Edition 11, 2003.
- [12] Toreheim, S. " Fast Cook off Using Liquified Propane Gas- the Development of an Alternative Test Method."; 21<sup>th</sup> of the International Conference on " InsensitiveMunitions 2010, pp. 1784-1798.
- [13] Charles, R. " HazardAssessment tests of Explosive Munitions Under MIL-STD-2105, (SAVIAC). "; In Proc. of the International Conference on " Shock and Vibration Information Analysis Center 2004, pp. 314-321.
- [14] Bullet Impact Test, MunitionTest Procedures,NATO STANAG 4241, Edition 1, 2003.
- [15] Haruyuki, A. "A study of resouse mechanism of gun propellants at Bullet impact."; Ja. Expl. Soc. 1999, 60, 184- 190.
- [16] Walters, W. T.; Zukas, J. A. "Explosive Effects and Applications."; Oxford University Press: Oxford, 1998.
- [17] Barrington, L. "Full Scale Insensitive Munitions Testing of the RAN 5/54 Cartridge Case, Explosive Ordnance Division."; J. Am. PEP. Soc. 1994, 234-236.
- [18] Mcgregor, T. " Insensitive Munitions (IM) Testing for the M816 81mm Infrared Mortar Cartridge. "; 14<sup>th</sup> of the International Conference on " Energetic Material Technology 2006, pp. 615-621.
- [19] Chen, L. " Experiment and Numerical Simulation of Explosive Safety. "; 36<sup>th</sup> of the International Conference on " Energetic Material 2010, pp. 814-826.
- [۲۰] علوی نیا ، علی ، احمدی کیا، حسین ، حجتی، اصغر " تحلیل عددی انفجار و تشکیل جت در خرج گود."؛ مجله علمی پژوهشی مواد پراثرژی، سال دوم، شماره ۲، شماره پیاپی ۴، پاییز و زمستان ۱۳۸۶.
- [21] Bohn, M. " Comparision of Surveillance Methods for Gun Propellants. "; 21<sup>th</sup> of the International Conference on Propellants, Explosives and Pyrotechnics 2002, pp. 98-108.
- [22] Sharp, M. " Insensitive Munitions and Aging. "; 8<sup>th</sup> of the International Conference on Propellants, Explosives and Pyrotechnics 2000, pp. 132-140.
- [۲۳] جهانیان، احد، تقیان نسب، ابوالفضل، فردوسی، محمد " مروری بر طول عمر بالستیکی پیشران‌های تفنگی." ؛ اولین همایش طول عمر مهمات و مواد ناریه، سازمان صنایع دفاع، ۱۳۹۰.