

مروری بر آزمون‌های تعیین حساسیت در استانداردهای مواد منفجره‌ی نانومقیاس

علی ملکی *

وحید شعبانی **

جمال رحیمی ***

چکیده:

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۶

تعیین میزان حساسیت مواد منفجره نه تنها از منظر تئوری آن (ناپایداری سیستم، ارتباط میان ساختار و خصوصیات انفجاری) دارای مزیت است، بلکه از جنبه‌های ایمنی در بهره‌برداری از این مواد دارای اهمیت کاربردی است. انجام این آزمایش‌ها در هنگام تأییدیه‌ی اولیه‌ی مواد منفجره‌ی جدید و نیز در صورت هرگونه بهینه‌سازی یا اصلاح روی مواد منفجره‌ی متداول الزامی هستند. با تعیین حساسیت این دسته از مواد پرانرژی و برآورده‌سازی الزامات موردنظر، از ایمنی این محصولات در چرخه‌ی عمر آن‌ها (انبارش، حمل‌ونقل، بهره‌برداری و ...) اطمینان حاصل می‌شود. محققانی که در زمینه‌ی مواد پرانرژی فعالیت دارند همواره در تلاشند تا به موادی با عملکرد بالاتر و حساسیت کمتر به ضربه و اصطکاک دست یابند. یکی از روش‌های کاهش حساسیت مواد منفجره، ریزکردن آن‌هاست. مواد منفجره در مقیاس نانو به دلیل نقص بلور^۱ کمتر معمولاً دارای حساسیت کمتر و ایمنی بیشتری بوده و به واسطه‌ی آزادسازی انرژی بیشتر، عملکرد محصولات نظامی را افزایش می‌دهند. با ریزکردن مواد منفجره‌ی سطح تماس آن‌ها تغییر کرده و رفتارشان عوض می‌شود. در مواد توده‌ای تنها درصد کمی از اتم‌ها در سطح و یا نزدیکی سطح وجود دارند. در مواد نانو، اندازه‌ی کوچک باعث حضور بیش از نیمی از ذرات در نزدیکی سطوح تماس شده و خصوصیات سطح مثل: سطوح انرژی، ساختار الکترونی و واکنش‌پذیری برای حالت‌های ذکر شده متفاوت است و از این‌رو خصوصیات متفاوتی در مواد ایجاد خواهد شد. بر مبنای تحقیقات مختلف صورت گرفته با کاهش اندازه‌ی ذرات، میزان حساسیت مواد پرانرژی نانومقیاس به ضربه، اصطکاک، شوک، تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن و ... به دلیل کاهش امکان تشکیل نقطه‌های داغ^۲، کمتر می‌شود. صحنه‌گذاری ایمنی مواد منفجره‌ی جدید نانومقیاس برای کاربری در طول عمر خدمات‌دهی آن‌ها با استفاده از روش‌های ارزیابی حساسیت به ضربه، حساسیت اصطکاک، الکتریسیته‌ی ساکن، شوک و ... انجام می‌پذیرد. از این‌رو، با توجه به آنکه مواد منفجره‌ی نانومقیاس تولیدشده با هریک از روش‌های بالا به پایین یا پایین به بالا در زمره‌ی مواد منفجره‌ی جدید قرار می‌گیرند، باید میزان حساسیت آن‌ها تعیین شود. از جمله الزاماتی که برای تعیین ایمنی این دسته از مواد پرانرژی کنترل می‌شود، حساسیت آن‌ها به ضربه، اصطکاک، تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، شوک و قطر بحرانی است.

واژگان کلیدی:

مواد منفجره، نانومقیاس، حساسیت، ضربه، اصطکاک، تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، شوک، قطر بحرانی

۱. مقدمه

NO_2 و NO_3 . با وقوع یک واکنش شیمیایی مقادیر زیادی انرژی آزاد می‌شود که معمولاً با خروج گازهای داغ همراه است. حرارت آزادشده در طی واکنش (گرمای واکنش) برابر اختلاف میان حرارت موردنیاز برای شکستن مولکول‌های ماده‌ی منفجره به عناصر آن و حرارت آزادشده از ترکیب مجدد این عناصر برای تشکیل CO_2 ، H_2O ، N_2 و غیره است [۱ تا ۳].

محققانی که در زمینه‌ی تحقیق و توسعه‌ی مواد پرانرژی فعالیت دارند همواره در تلاشند تا به موادی با عملکرد بالاتر و حساسیت پایین‌تر نسبت به ضربه، اصطکاک، تخلیه‌ی

مواد پرانرژی، ترکیبات شیمیایی یا مخلوط‌هایی از ترکیبات شیمیایی هستند که براساس کاربرد، به سه دسته‌ی پیش‌رانه‌ها، پیروتکنیک‌ها و مواد منفجره تقسیم می‌شوند. با فعال کردن مناسب مواد منفجره و پیش‌رانه‌ها، حجم زیادی گاز داغ در مدت کوتاه ایجاد می‌شود. اکثر موادی که در گروه مواد منفجره قرار می‌گیرند معمولاً دارای اکسیژن، نیتروژن و عناصر قابل اکسیدشدن (سوخ‌ها) از قبیل کربن و هیدروژن هستند. اکسیژن معمولاً به نیتروژن متصل است، مانند گروه‌های NO

1. Crystal defects
2. Hot spot

* دکتری شیمی آلی، دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران - نویسنده‌ی مسئول
** کارشناسی ارشد علوم و فناوری نانو - نانو شیمی
*** دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی آلی (دانشگاه علم و صنعت ایران)

الکتریسیته‌ی ساکن و ... دست یابند. یکی از روش‌های کاهش حساسیت مواد منفجره، ریزکردن آن‌هاست. با ریزکردن مواد منفجره سطح تماس آن‌ها تغییر کرده و رفتارشان عوض می‌شود. اصولاً مواد منفجره‌ی با قدرت انفجاری بالاتر و حساسیت پایین‌تر (به منظور تأمین ایمنی کاربران) مورد تقاضا هستند. از این رو لازم است با کاهش اندازه‌ی ذرات و رسیدن به ابعاد نانو، مجدداً حساسیت مواد پرانرژی نانو مقیاس تولید شده با انواع میکروی آن‌ها مقایسه شود تا در کاربری آن‌ها اعم از دستکاری، حمل و نقل، انبارش، عملکرد و ... ایمنی لازم فراهم شده باشد. براساس تعریف استانداردهای بین‌المللی، ماده‌ی منفجره‌ای که یکی از شرایط زیر را داشته باشد، ماده‌ی منفجره‌ی جدید بوده و باید الزامات طراحی، از جمله آزمایش‌های حساسیت را که در این مطالعه به آن پرداخته شده است، بگذرانند [۱ تا ۷]:

(الف) قبلاً به‌عنوان ماده‌ی منفجره تأیید نشده باشد؛

(ب) هرگونه بهینه‌سازی یا اصلاحی که روی ماده‌ی منفجره‌ی موجود ایجاد شده باشد، از قبیل تغییر در ترکیب ماده‌ی

منفجره، اجزای سازنده‌ی آن، خواص فیزیکی آن (اندازه‌ی ذرات) یا فرایند تولید؛

(پ) سازنده‌ی ماده‌ی منفجره یا محل تولید آن تغییر کرده باشد؛

(ت) ماده‌ی منفجره برای کاربردی استفاده شود که قبلاً برای آن کاربرد تأیید نشده است.

۱- اثر کاهش اندازه‌ی ذرات مواد منفجره بر حساسیت آن‌ها در زیر برخی از تحقیقات انجام شده توسط محققین حوزه‌ی مواد پرانرژی در ارتباط با اثرات کاهش اندازه‌ی ذرات مواد منفجره بر خواص آن‌ها پرداخته شده است:

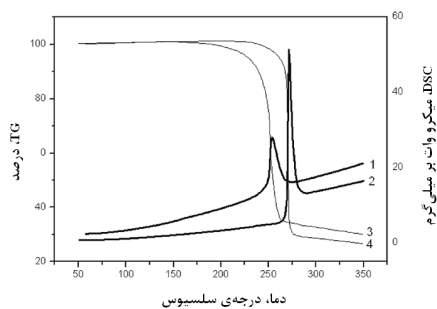
تحقیقات نشان می‌دهد، بعد از تهیه‌ی ماده‌ی منفجره‌ی CL-20 در ابعاد نانو، ویژگی‌های ایمنی محصول شامل حساسیت به ضربه، اصطکاک و تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن ماده‌ی منفجره‌ی CL-20 نانومقیاس در مقایسه با نوع میکرو مقیاس آن کاهش یافته است. این نتایج در جدول (۱) ارایه شده است [۸].

جدول ۱: اثر اندازه‌ی ذرات روی ویژگی‌های ایمنی ماده‌ی منفجره‌ی CL-20

متوسط اندازه‌ی ذرات (میکرومتر)	اصطکاک (کیلوگرم)	تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن (ژول)	ضربه (سانتی‌متر)
۱۵	۶/۴	۴۵	۲۵
۱۴	۸	۴۹	۳۲
۱	بدون واکنش	۴۹	۴۰
۰/۰۹۵	بدون واکنش	۶۰	۵۵

در تحقیق دیگر، حساسیت به ضربه‌ی ماده‌ی منفجره‌ی NTO در مقیاس میکرومتر با نانو ذرات این ماده مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی آن است که پس از کاهش اندازه‌ی ذرات، میزان حساسیت به ضربه‌ی آن از ۲,۲۶ سانتی‌متر به ۵,۳۵ سانتی‌متر تغییر یافته است. این نتیجه بیانگر کاهش میزان حساسیت به ضربه در بلورهای نانومقیاس این ماده است. دلیل این کاهش حساسیت آن است که در بلورهای بسیار ریز امکان تشکیل نقاط داغ که عامل بروز انفجارات ناخواسته هستند، کمتر است. از سوی دیگر در همین گزارش میزان پایداری حرارتی نانو ذرات NTO با نوع میکروی آن مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌های DSC و TG در شکل (۱) ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تجزیه‌ی حرارتی نانو ذرات NTO در محدوده‌ی دمایی ۲۴۰ تا ۲۷۰ درجه‌ی سلسیوس

صورت گرفته است که ۱۶ درجه‌ی سلسیوس پایین‌تر از نوع میکروی این ماده است. همچنین نتایج تجزیه‌ی وزن‌سنجی حرارتی (TGA) نشان می‌دهد که بلورهای نانو در دمای ۱۷۰ درجه‌ی سلسیوس شروع به از دست‌دادن وزن خود می‌کنند که این دما، ۴۰ درجه‌ی سلسیوس پایین‌تر از دمای کاهش وزن در مورد بلورهای میکرو مقیاس آن است [۹].



۱- منحنی DSC نانو NTO، ۲- منحنی DSC میکرو NTO، ۳- منحنی TG نانو NTO، ۴- منحنی TG میکرو NTO

شکل ۱: نتایج آزمون‌های تجزیه‌ی حرارتی ماده‌ی منفجره‌ی NTO

در تحقیق دیگر، ویژگی‌های ایمنی ماده‌ی منفجره‌ی اکتوزن (HMX) در ابعاد زیر میکرون با بلورهای معمولی آن در ابعاد استاندارد مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به جدول

(۲) ملاحظه می‌شود که کاهش اندازه‌ی ذرات باعث کاهش حساسیت ماده به محرک‌های ضربه، اصطکاک و تخلیه‌ی الکترواستاتیک شده است [۱۰].

جدول ۲: اثر کاهش اندازه‌ی ذرات بر ویژگی‌های ایمنی اکتوزن (HMX)

نمونه	اصطکاک (کیلوگرم)	تخلیه‌ی الکترواستاتیکی ساکن (ژول)	ضربه (سانتی‌متر)
HMX زیر میکرون	۱۵۶	۰٫۶۲۵	۲۶٫۴
HMX استاندارد	۱۱۶	۰٫۲۵	۲۴٫۹

مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول (۳) نتایج حساسیت هگزوزن (RDX) در ابعاد استاندارد (میکرومتر) با ابعاد نانو ارایه شده است. در این جدول حساسیت نانو ذرات هگزوزن (RDX) که از دو روش مختلف آسیاب کردن و انبساط سریع سیال فوق بحرانی^۳ تهیه شده‌اند، باهم مقایسه شده است. این نتایج حاکی از آن است که حساسیت به ضربه‌ی نانو ذرات هگزوزن (RDX) در مقایسه با نوع استاندارد آن کاهش یافته است. همچنین نشان می‌دهد که نانوبلورهای به دست آمده از روش RESS دارای حساسیت پایین‌تری نسبت به نوعی است که از روش آسیاب تهیه شده است [۱۱].

در گزارش دیگری در مورد اکتوزن (HMX)، تأثیر اندازه‌ی ذرات اکتوزن (HMX)، روی نتایج تجزیه‌ی حرارتی DSC و TG مورد بررسی قرار گرفته است. این نتایج نشان می‌دهد؛ تجزیه‌ی حرارتی نانو اکتوزن (HMX) در دمای ۲۷۶٫۱ صورت می‌گیرد؛ در حالی که تجزیه‌ی حرارتی میکرو اکتوزن (HMX) در دمای ۲۸۲ درجه‌ی سلسیوس روی می‌دهد، یعنی تجزیه‌ی حرارتی اکتوزن (HMX) نانومقیاس حدود شش درجه‌ی سلسیوس پایین‌تر از نوع میکرو مقیاس آن شروع به تجزیه می‌کند [۱۰].

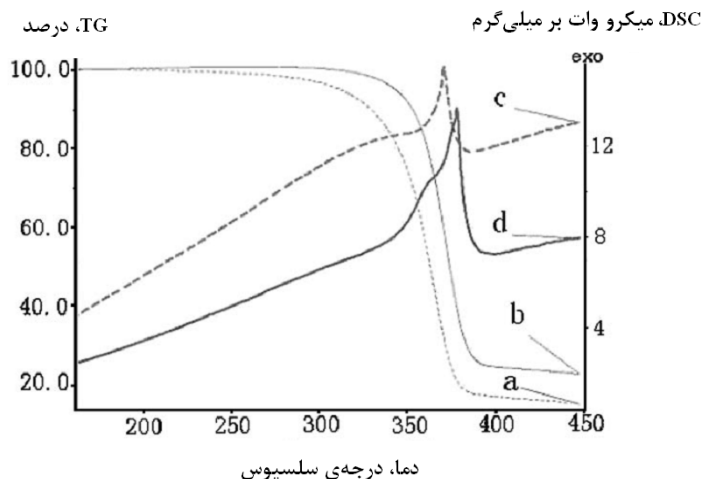
در تحقیق دیگری، تأثیر روش‌های مختلف تولید نانو ذرات بر ویژگی‌های ایمنی هگزوزن (RDX) نانومقیاس و میکرو مقیاس

جدول ۳: اثر اندازه‌ی ذرات روی ویژگی‌های هگزوزن (RDX)

نمونه	اصطکاک (کیلوگرم)	تخلیه‌ی الکترواستاتیک (ژول)	ضربه (سانتی‌متر)
نانو RDX (تهیه شده از طریق آسیاب)	۲۱۶	۰٫۲۵	۵۴٫۱
نانو RDX (تهیه شده با روش RESS)	۲۱۶	۰٫۲۵	۷۵
RDX استاندارد	۲۱۶	۰٫۲۵	۲۳

میکرو مقیاس آن است. همچنین در مورد نانو TATB کاهش وزن در تجزیه‌ی وزن سنجی حرارتی (TGA) که در دمای ۲۳۰ درجه‌ی سلسیوس رخ می‌دهد، نسبت به نوع میکرو مقیاس آن اندکی بیشتر است [۱۲].

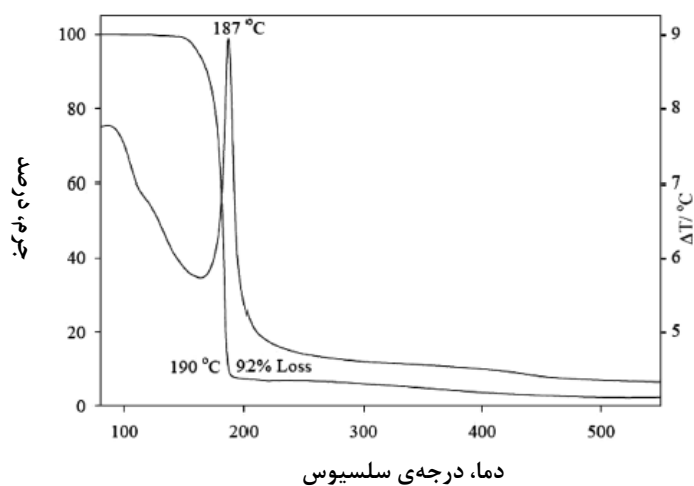
نتیجه‌ی مقایسه‌ی پایداری حرارتی ماده‌ی منفجره‌ی TATB در ابعاد نانو و میکرو در شکل (۲) نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تجزیه‌ی حرارتی نانو TATB در محدوده‌ی دمایی ۵٫۳۵۶ تا ۵٫۳۷۶ درجه‌ی سلسیوس صورت می‌گیرد که حدود ۱۰ درجه‌ی سلسیوس پایین‌تر از نوع



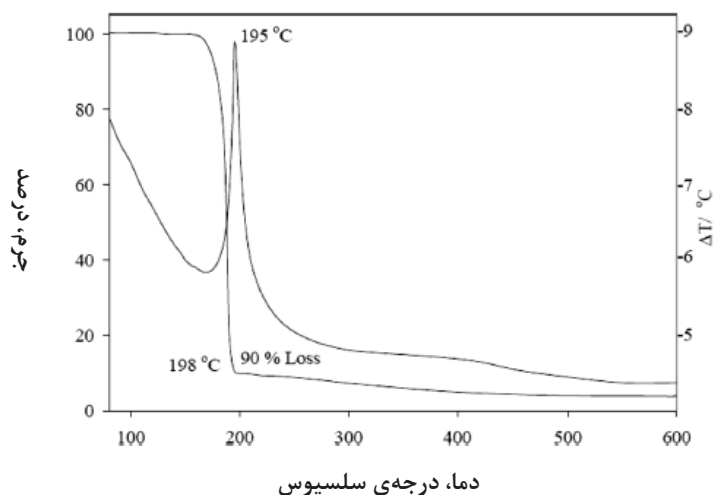
شکل ۲: نتایج آزمون‌های تجزیه حرارتی ماده‌ی منفجره‌ی TATB: a منحنی TGA نانو TATB, b منحنی TGA میکرو TATB, c منحنی DSC نانو TATB, d منحنی DSC میکرو TATB

پایداری حرارتی نانو ذرات ماده‌ی منفجره‌ی K-6 (کتو RDX) پس از سنتز در مقایسه با بلورهای میکرومقیاس آن مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج تجزیه‌ی وزن‌سنجی حرارتی (TGA) نشان می‌دهد که نانو ذرات K-6 در دمای حدود ۱۵۵ درجه‌ی سلسیوس شروع به ازدست‌دادن وزن می‌کنند که نسبت به نوع میکرومقیاس آنکه در دمای ۱۶۵ درجه‌ی سلسیوس شروع به تجزیه‌شدن می‌کند، ناپایدارتر است (شکل‌های ۳ و ۴). نتایج آزمون DTA نیز حاکی از آن است که پایداری حرارتی نانو K-6 کاهش یافته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود منحنی [۱۳].

DTA نانو K-6 و میکرو K-6 به‌ترتیب دارای پیک‌هایی در دماهای ۱۸۷ و ۱۹۵ درجه‌ی سلسیوس هستند. در این تحقیق همچنین به بررسی میزان حساسیت این ماده‌ی منفجره و تأثیر کاهش اندازه‌ی ذرات بر آن پرداخته شده و حساسیت به ضربه و اصطکاک این دو نوع بلور مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو آزمون حساسیت ماده‌ی منفجره‌ی K-6 با کاهش اندازه‌ی ذراتش رابطه‌ی مستقیم دارد [۱۳].



شکل ۳: نتایج آزمون تجزیه‌ی وزن‌سنجی حرارتی (TGA) ماده‌ی منفجره‌ی K-6 نانومقیاس



شکل ۴: نتایج آزمون تجزیه‌ی وزن‌سنجی حرارتی (TGA) ماده‌ی منفجره‌ی K-6 میکرومقیاس

۲- آزمون‌های تعیین حساسیت مواد منفجره‌ی نانو سائز

۲-۱ آزمون حساسیت به ضربه با روش BAM^۴

این روش آزمون، بر مبنای استانداردهای NATO AOP-7، NATO STANAG 4489، MIL-STD-650 Test Meth- و odes for Explosives استخراج شده است [۴، ۱۴، ۱۵ و ۱۹].

۲-۱-۱ وسایل مورد نیاز

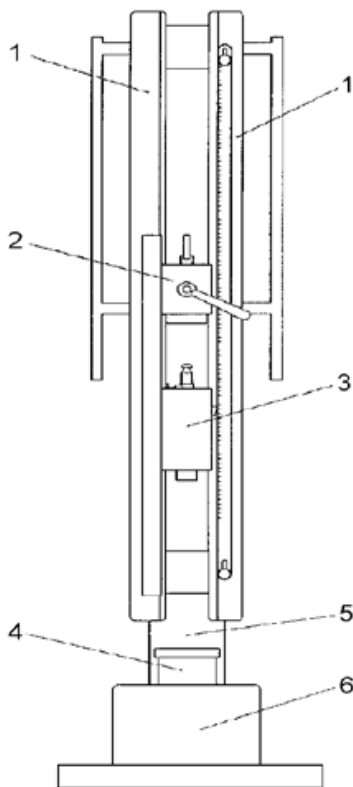
• ترازو با دقت یک میلی‌گرم یا قاشق کالیبره با حجم حدود ۴۰ میلی‌متر مکعب یا پیمانه به قطر ۳٫۷ میلی‌متر و ارتفاع ۳٫۷ میلی‌متر؛

• دستگاه اندازه‌گیری حساسیت به ضربه BAM (شکل ۵): این دستگاه دارای وزنه‌هایی به جرم یک، پنج و ۱۰ کیلوگرم است.

یادآوری: از وزنه‌ی یک کیلوگرمی جهت ارتفاع ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر (انرژی یک‌دهم تا پنج‌دهم کیلوگرم بر متر)، از وزنه‌ی پنج کیلوگرمی جهت ارتفاع ۱۵ تا ۶۰ سانتی‌متر (انرژی ۰٫۷۵ تا سه کیلوگرم بر متر) و از وزنه‌ی ۱۰ کیلوگرمی جهت ارتفاع ۳۵ تا ۵۰ سانتی‌متر (انرژی ضربه ۳٫۵ تا پنج کیلوگرم بر متر) استفاده می‌شود.

• استوانه‌ی فولادی (پیستون) و استوانه‌ی توخالی (سیلندر) برای قرار گرفتن نمونه

یادآوری: قبل از استفاده از استوانه‌های فولادی و استوانه‌ی توخالی (سیلندر)، باید چربی و روغن آن‌ها توسط استون برطرف شود. در هنگام آزمایش ضربه از هر سطح استوانه‌ی فولادی باید تنها یک‌بار استفاده شود. در صورت وقوع انفجار، هر دو استوانه‌ی فولادی و استوانه‌ی توخالی، دیگر قابل استفاده



۱- راهنماها ۲- تجهیز رهاکننده ۳- وزنه‌ی سقوط‌کننده

۴- سطح اتکا ۵- ستون ۶- بلوک فولادی

شکل ۵: نمونه‌ای از دستگاه اندازه‌گیری حساسیت به ضربه BAM

4. German Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)

حدود ۴۰ میلی گرم ماده‌ی منفجره‌ی نانومقیاس برداشته می‌شود. دمای اتاق آزمایش باید حدود ۱۹ درجه‌ی سلسیوس و میزان رطوبت نسبی ۱۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته شود. یکی از پیستون‌ها داخل استوانه‌ی فولادی قرار گرفته و نمونه روی آن ریخته می‌شود. سپس پیستون دوم روی آن قرار گرفته و به آرامی فشار داده می‌شود تا پیستون‌ها به هم بچسبند. در این حالت یک لایه‌ی یکنواخت از مواد بین دو پیستون ایجاد می‌شود. مجموعه‌ی آماده‌سازی شده در محل مخصوص خود بر روی سندان دستگاه آزمون حساسیت به ضربه قرار می‌گیرد. روش دیگر آن است که ابتدا یکی از پیستون‌ها و سیلندر در محل سندان دستگاه قرار گرفته و نمونه‌ی مورد آزمون روی پیستون ریخته شده و در نهایت پیستون دوم روی آن قرار گیرد. در ادامه، وزنه‌ی مشخص در محل مخصوص دستگاه قرار گرفته و در ارتفاع معین تنظیم می‌شود. سپس محافظ (در چوبی) دستگاه بسته شده و تهویه‌ی دستگاه روشن می‌شود. توصیه می‌شود که در حین انجام آزمون از تجهیزات حفاظت فردی (عینک و کلاه مخصوص) استفاده شود. سپس ضامن مخصوص دستگاه آزاد می‌شود تا وزنه‌ی مشخص شده از ارتفاع معین بر روی پیستون بالایی سقوط کند. با روش بالا، آزمایش پنج مرتبه‌ی دیگر با همان انرژی سقوط اولیه تکرار می‌شود. این آزمایش برای هر نمونه از ماده‌ی منفجره به صورت شش مرتبه‌ی پی‌درپی در هر ارتفاع و جرم وزنه (انرژی سقوط) صورت می‌پذیرد.

نتیجه‌ی آزمایش می‌تواند شامل یکی از سه حالت زیر باشد:

الف) عدم عملکرد نمونه‌ها در شش آزمون متوالی، که به صورت ۶- نشان داده می‌شود.

ب) تعدادی از نتایج به صورت عملکرد (انفجار) کامل (x+) و تعدادی از نتایج به صورت عدم عملکرد کامل (عدم انفجار) یا (x-۶) نشان داده می‌شوند، که در مجموع به صورت (x+)/(۶-x) نشان داده می‌شود.

پ) تعدادی تخریب نمونه (به صورت سوختن یا سیاه شدن همراه با قسمتی از ماده‌ی عمل‌نکرده)، عدم تغییر در نمونه و انفجار نمونه مشاهده می‌شود.

با کاهش یا افزایش ارتفاع سقوط (با توجه به محدوده‌ی تعریف شده برای هر وزنه و نهایتاً با جابه‌جایی وزنه‌ها) با گام پنج سانتی‌متر باید یکی از نتایج زیر حاصل شود:

الف) انرژی عدم عملکرد برای حالت ۶-: که در این انرژی و مقادیر کمتر از آن، ماده‌ی مورد آزمون هیچ‌گونه عملکردی (انفجار یا تخریب) نخواهد داشت؛

ب) کمینه یک عملکرد (انفجار) کامل در شش آزمایش متوالی (مثلاً: نتیجه‌ی ۱/۵ یا ۲/۴) و همچنین نتیجه‌ی ۶+ (در بیشترین مقدار انرژی سقوط).

۲-۱-۳ ارزیابی نتایج

در ارزیابی نتایج آزمایش مواد منفجره از نظر حساسیت به ضربه، بین «عدم واکنش»، «تجزیه» (بدون صدای انفجار) و «انفجار» (با ایجاد صدای ضعیف تا قوی) تفاوت وجود دارد. در برخی مواد «اشتعال بدون ایجاد صدای انفجار» صورت می‌گیرد؛ این واکنش به عنوان انفجار تلقی می‌شود، زیرا کل نمونه‌ی آزمایش واکنش نشان داده و نیز در معرض همین شرایط ممکن است «انفجار» رخ دهد. در گزارش میزان حساسیت به ضربه‌ی مواد منفجره، انرژی ضربه‌ی اندازه‌گیری شده بر حسب کیلوگرم بر متر (ژول) بیان می‌شود. هرچه انرژی ضربه‌ی تعیین شده کمتر باشد، حساسیت ماده‌ی منفجره‌ی نانومقیاس در برابر ضربه به همان میزان بیشتر است.

الف) نتیجه‌ی ۶-: در آن هیچ‌گونه عملکردی (انفجار یا تخریب) رخ نداده است. در انرژی‌های برابر یا کمتر از آن، ماده‌ی مورد نظر نسبت به ضربه غیر حساس است.

ب) نتیجه‌ی (X-۶) و X+: در آن یک یا بیش از یک عملکرد رخ داده است. انرژی تعیین شده به عنوان حساسیت به ضربه در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲ آزمون حساسیت به اصطکاک BAM

این روش آزمون، بر مبنای استانداردهای NATO AOP-7، Test Meth- و MIL-STD-650، NATO STANAG 4487 odes for Explosives استخراج شده است [۴، ۱۴، ۱۶ و ۱۹].

۲-۲-۱ وسایل مورد نیاز

- ترازوی با دقت یک میلی گرم
- دستگاه اندازه‌گیری میزان حساسیت به اصطکاک BAM: یک نمونه از آن در شکل (۶) نشان داده شده است. از جمله متعلقات این دستگاه، نه وزنه با جرم‌های مشخص است که شماره و جرم وزنه‌ها در جدول (۴) آمده است. وزنه‌ها از طریق قلاب مربوط در شش نقطه‌ی مشخص (شیار یا گره) از بازوی دستگاه آویزان می‌شوند. فاصله‌ی بین دو شیار (گره) حدود

جدول ۴: شماره و جرم وزنه‌های دستگاه حساسیت به اصطکاک

شماره‌ی وزنه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
جرم وزنه (گرم)	۲۱۳	۴۹۳	۱۰۵۳	۱۶۱۴	۲۱۷۴	۳۲۹۳	۴۴۱۴	۶۶۵۵	۱۰۰۰۵



شکل ۶: نمونه‌ای از یک دستگاه حساسیت به اصطکاک BAM

همین روش پنج آزمایش دیگر با این نیرو انجام می‌شود. در واقع، برای هر نمونه از ماده‌ی مورد آزمون، شش آزمایش متوالی در هر نیروی جدول (جرم و گره) انجام می‌شود.

۲-۲-۳ ارزیابی نتایج

نتیجه‌ی آزمایش می‌تواند یکی از چند حالت زیر باشد:

الف) عدم عملکرد نمونه در شش آزمون پی‌درپی، که به صورت 6^- نشان داده می‌شود.

ب) نتیجه‌ی $(6-X)^+$ که در آن یک یا بیش از یک عملکرد رخ داده باشد. انرژی تعیین شده به‌عنوان حساسیت به اصطکاک در نظر گرفته می‌شود. X ، تعداد اشتعال، جز جز یا انفجار است.

پ) تعدادی واکنش جزئی نمونه (تغییر رنگ، بو و غیره)، عدم تغییر (بدون واکنش) در نمونه، اشتعال و جز جز و انفجار نمونه نیز ممکن است، مشاهده شود.

نتیجه‌ی آزمون ممکن است به یکی از پنج حالت (بدون واکنش، واکنش جزئی (تغییر رنگ، بو و غیره)، آتش گرفتن (اشتعال)، جز جز کردن (ایجاد صدای خش‌خش) و انفجار) مشاهده شود.

۲-۳ آزمون حساسیت به تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن

این روش آزمون، بر مبنای استانداردهای NATO AOP-70، Test Meth- و MIL-STD-650، NATO STANAG 4490 و odes for Explosives استخراج شده است [۴، ۱۴، ۱۸ و ۱۹].

• صفحات مربع شکل چینی با ابعاد 25×25 میلی‌متر و ضخامت پنج میلی‌متر که سطح آن‌ها دارای دندان‌های ریزی با عمق نه تا 32 میکرومتر برای ایجاد اصطکاک است. دندان‌های صفحه‌ی چینی روی هر دو سطح (طرفین صفحه) وجود دارند و دارای جهت خاصی هستند. جهت حرکت پین (سُنبه) باید خلاف جهت دندان‌های صفحه‌ی چینی انتخاب شود تا اصطکاک بین این صفحه و پین (سُنبه)، بیشترین مقدار ممکن باشد.

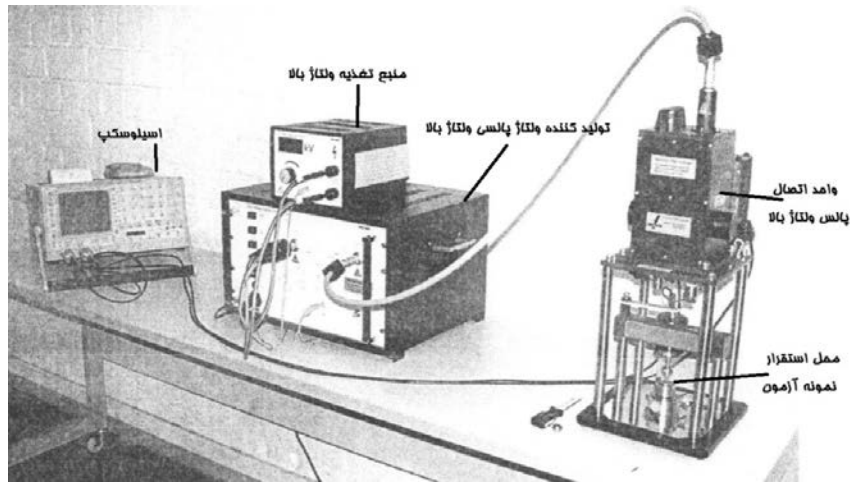
• پین چینی با سر کروی شکل که دارای ارتفاع 15 میلی‌متر و قطر 10 میلی‌متر است.

۲-۲-۲ روش آزمون

حدود 10 میلی‌گرم ماده‌ی منفجره‌ی نانو مقیاس توزین می‌شود. برای کمک به مشاهده‌ی نتیجه‌ی آزمایش (ایجاد نور ناشی از عملکرد، در برخی موارد) بهتر است نور اتاق آزمایش محدود شود. دمای اتاق آزمایش باید حدود 19 درجه‌ی سلسیوس و میزان رطوبت نسبی 10 تا 80 درصد باشد.

صفحه‌ی چینی و سُنبه در جای مخصوص خود در دستگاه قرار می‌گیرند. نمونه، به‌صورت یک نوار باریک روی صفحه‌ی چینی قرار می‌گیرد. موقعیت نمونه باید در یک جهت، به‌گونه‌ای تنظیم شود که نوک سنبه‌ی چینی عمود بر محور خطی نمونه‌ی مورد آزمون قرار گیرد. با استفاده از وزنه و گره مشخص برای هر ماده و روشن کردن کلید دستگاه، آزمایش شروع می‌شود. با

دستگاه تعیین حساسیت مواد منفجره به تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن (شکل ۷).



شکل ۷: دستگاه تعیین حساسیت مواد منفجره به تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن

۲-۳-۲ آماده‌سازی نمونه

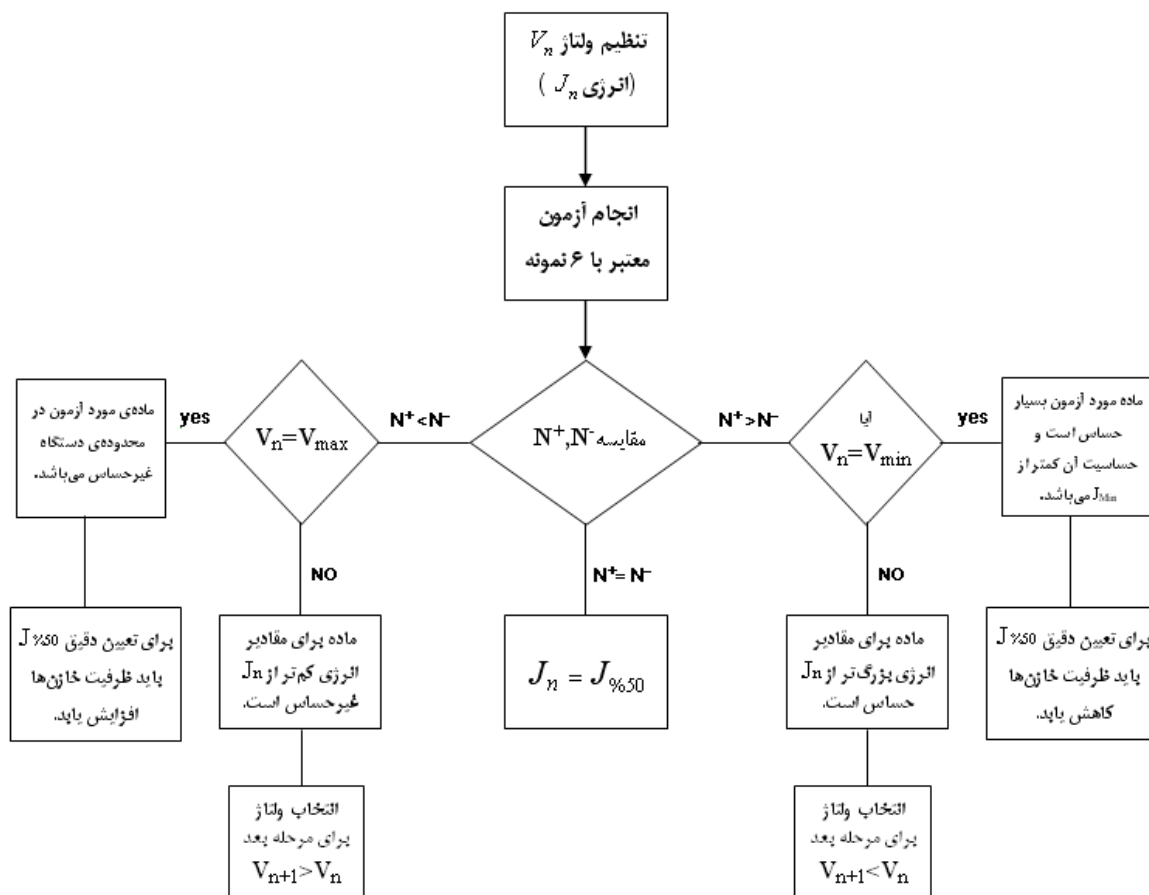
در هنگام آماده‌سازی نمونه در آزمایشگاه باید از میز کار مجهز به سیستم تخلیه‌ی الکترواستاتیک به زمین استفاده شود. اپراتور باید از دست‌بند تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن استفاده کند و بدن اپراتور به میز ارت شود. بیشینه رطوبت نسبی محیط در هنگام ساخت نمونه باید حدود ۵۰ درصد باشد. مواد مورد آزمایش باید قبلاً در آن مناسب خشک شده باشند. دمای محیط آزمون باید در محدوده‌ی ۱۶ تا ۲۵ درجه‌ی سلسیوس تنظیم شود. اپراتور دستگاه باید آموزش لازم در خصوص کار با دستگاه تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن را گذرانده و برای مشاهده‌ی نتیجه‌ی آزمون که به صورت یک رخداد فیزیکی شامل ایجاد نور، صدا، دود و یا بو است، از نظر صحت حواس پنج‌گانه تأیید شده باشد. در هنگام تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، نور محیط آزمون به حدود ۲۰۰ لوکس کاهش یابد تا رؤیت نور ایجاد شده از عملکرد نمونه راحت‌تر باشد. با استفاده از قیف شارژ، حدود ۲۰ میلی‌گرم نمونه در تیوب پر می‌شود. ۱۰ نمونه، آماده‌سازی شده و در دسیکاتور قرار می‌گیرند تا رطوبت نمونه‌ها حین خارج شود.

۲-۳-۳ روش آزمون و ارزیابی نتایج

در هر مرحله از آزمایش تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، شش نمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرند. مثبت یا منفی بودن نتیجه‌ی آزمون بر مبنای ایجاد صدا، نور، دود، شعله و یا نهایتاً ایجاد بوی سوختگی مشخص می‌شود. هریک از این شواهد حاکی از عملکرد نمونه است. باید توجه شود که خود تخلیه‌ی

الکتریسیته‌ی ساکن (بدون ماده‌ی منفجره) ایجاد یک صدای انفجار خفیف می‌کند. معمولاً در آزمون تعیین حساسیت مواد منفجره، رخداد فیزیکی شدیدی که شامل انفجار کامل نمونه باشد، رخ نمی‌دهد.

با توجه به نتیجه‌ی آزمون شش نمونه در هر مرحله، آزمایش، ادامه می‌یابد یا متوقف می‌شود. برای شروع، ولتاژ دستگاه روی ۱۲/۵ کیلوولت تنظیم می‌شود و اولین گروه شش تایی از نمونه‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرند. چنانچه N^+ (به معنی عملکرد نمونه) و N^- (به معنی عدم عملکرد نمونه) باشد، با توجه به تعداد N^+ در شش نمونه‌ی مورد آزمون، در هر مرحله از آزمایش طبق شکل (۸) اقدام می‌شود:



شکل ۸: مراحل اجرای آزمایش تعیین حساسیت به تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن مواد منفجره

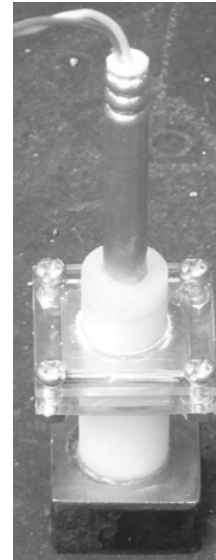
نشان نمی‌دهد، مشخص می‌کند. میزان انرژی در تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن معمولی بدن انسان حدود سه میلی‌ژول است و بیشینه میزان تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن در عملیات یک فرد (تحرک، جابه‌جایی و سایش) به ۲۰ میلی‌ژول می‌رسد، معمولاً در آزمایش تعیین حساسیت مواد به تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، مواد منفجره‌ای را که دارای حساسیت کمتر از سه میلی‌ژول باشد به‌عنوان «بسیار حساس»، مواد منفجره‌ای را که در محدوده‌ی سه تا ۲۰ میلی‌ژول عملکرد داشته باشند، به‌عنوان «حساس» و مواد منفجره‌ای را که در محدوده‌ی انرژی تا ۲۰ میلی‌ژول واکنشی نشان ندهند، به‌عنوان «غیرحساس» طبقه‌بندی می‌کنند.

۲-۴ آزمون حساسیت به شوک

روش آزمون حساسیت به شوک، بر مبنای استانداردهای NATO AOP-7، MIL-STD-650، NATO STANAG 4488 و Test Methodes for Explosives استخراج شده است [۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸].

در این نمودار، V_n ولتاژ تنظیمی برای منبع تغذیه‌ی ولتاژ بالا و J_n انرژی حاصل از آن برای تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن بوده و V_{Max} و V_{Min} به ترتیب بیشینه و کمینه ولتاژ قابل تنظیم برای منبع تغذیه‌ی ولتاژ بالاست. اولین ولتاژ تنظیمی، V_1 ، ۱۲/۵ کیلوولت انتخاب می‌شود. در صورتی که طبق نمودار، $N^+ > N^-$ باشد، مقدار V_2 برابر پنج کیلوولت و در صورتی که $N^+ < N^-$ باشد، مقدار V_2 برابر ۲۵ کیلوولت انتخاب می‌شود. بر مبنای ولتاژ منبع تغذیه یا انرژی تخلیه‌ی پالس الکتریسیته‌ی ساکن باشد، این رویه تا رسیدن به یک مقدار مناسب برای $J_{50\%}$ ادامه می‌یابد. بیشینه تعداد تکرار آزمون‌ها با شش نمونه، پنج مرحله است و به این ترتیب محدوده‌ی مناسبی برای حساسیت ماده‌ی منفجره به تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن تعیین می‌شود. چنانچه طی پنج مرحله آزمون، $N^- = N^+$ رخ ندهد، مقدار $J_{50\%}$ از میانگین آخرین مقادیری از انرژی که برای آن‌ها $N^- > N^+$ و $N^+ < N^-$ بوده است، تعیین می‌شود. مقدار اول، کمینه انرژی را مشخص می‌کند که می‌تواند منجر به عملکرد ماده‌ی منفجره شود و مقدار دوم، بیشینه انرژی را که نمونه به آن واکنش

- قطعات تفلونی و فویل های برنجی به عنوان میراکننده ی موج به ضخامت ۰٫۰۵ میلی متر (۰٫۰۰۲ اینچ)؛
- یک بدنه ی تفلونی مناسب و یک قالب مناسب پرس تک مرحله ای برای ساخت قرص PETN.



شکل ۹: مجموعه ی کامل آزمون گپ مقیاس کوچک

- برای آماده سازی نمونه های حساسیت به شوک، کارگاه نمونه سازی باید دارای شرایط زیر باشد:
- سیستم تخلیه ی الکترواستاتیک به زمین دارای مقاومت اهمی کمتر از ۲٫۵ اهم باشد؛
- کف پوش کارگاه ضدالکتریسیته ی ساکن کنداکتیو باشد؛
- میز کار مجهز به روکش ضدالکتریسیته ی ساکن کنداکتیو و متصل به سیستم تخلیه ی الکترواستاتیک به زمین باشد؛
- لباس های زیر و رو، کتانی و کفش ها ضدالکتریسیته ی ساکن باشند.

۲-۴-۲ آماده سازی نمونه

برای شروع انفجار از یک کپسول انفجاری نمره ۸ (دهنده ی موج) استفاده می شود. در مواردی که حساسیت به شوک مواد منفجره نسبتاً کم است و برای آغازگری آن ها از یک دهنده ی قوی تر استفاده می شود. این دهنده، همان دهنده ی اولیه است که با اضافه کردن یک خرج کوچک از جنس پنتریت (PETN) پرس شده، تقویت شده است.

تضعیف کننده ی موج شوک (گپ) از تعدادی ورق برنجی مربعی تشکیل شده است. طول هر ضلع این مربع برابر

۲۰ میلی متر در نظر گرفته شده است. این ورق ها به صورت تجاری در ابعاد ۹۰×۱۵۰ میلی متر و ضخامت ۰٫۰۵ میلی متر (۰٫۰۰۲ اینچ) موجود هستند. بنابراین، با قراردادن تعدادی از این ورق ها بر روی هم می توان ضخامت مطلوب را به دست آورد. ورق های برنجی که گپ را تشکیل می دهند باید کاملاً صاف و لبه های آن بدون زدگی و برآمدگی باشند تا از رسوخ هوا بین ورق ها جلوگیری شود. برای این منظور دو قطعه از جنس پلاکسی گلاس به عنوان نگهدارنده ی ورق ها روی هم استفاده می شود.

در این آزمایش، شاهد یک بلوک فولادی به ابعاد ۱۲٫۷×۲۵٫۴×۲۵٫۴ میلی متر است. در مواقعی که آزمایش روی مواد منفجره ی با قدرت نسبی پایین انجام می شود، به جای بلوک فولادی می توان از یک بلوک آلومینیمی با همان ابعاد استفاده کرد. چون آلومینیم نسبت به فولاد فلز نرم تری است، در انفجارهایی با قدرت یکسان عمق گودی ایجاد شده در بلوک آلومینیمی حدود سه برابر عمق گودی ایجاد شده در بلوک فولادی است.

روی بلوک شاهد، محفظه ی نمونه ی آزمون با چسب های رزینی چسبانده می شود تا یک ظرف برای شارژ نمونه ی اصلی فراهم شود. نمونه ی آماده شده شامل خرج مورد آزمایش اتصال کاملی با بلوک شاهد دارد. لازم است محفظه ی شارژ به طور کاملاً لب لباب از ماده ی منفجره ی مورد آزمون پر شود تا اتصال کامل آن با گپ تضمین شود. در ادامه، ورق های برنجی (گپ) بر روی خرج قرار گرفته و در پایان، دهنده ی موج روی مجموعه مونتاژ می شود. مجموعه ی مونتاژ شده به وسیله ی چسب کاملاً تثبیت می شوند. اکنون مجموعه ی مونتاژ شده آماده ی آزمایش است.

در هنگام شارژ نمونه های پودری به این نکته توجه شود که بعد از اطمینان از اتصال مناسب محفظه ی نمونه ی آزمون با بلوک شاهد، پودر ماده ی منفجره ی ریخته شده داخل محفظه، با زدن ضربه های آرام به بدنه ی محفظه از پرسیدن یکنواخت این مواد اطمینان حاصل شود. مواد پودری نباید در محفظه، مورد فشار قرار گیرند؛ به دلیل آنکه این فشار باعث غیریکنواخت شدن چگالی ماده ی منفجره شارژ شده در پوسته شده و آزمون با خطا مواجه می شود.

۲-۴-۳ روش آزمون و ارزیابی نتایج

پس از شارژ نمونه های آزمون، نمونه های آزمون تهیه شده،

شماره‌گذاری و برای انجام آزمون حساسیت به شوک به محل انجام آزمایش منتقل می‌شوند. حمل نمونه‌ها باید با ایمنی کامل صورت پذیرد؛ به این دلیل که نمونه‌های تهیه‌شده، مواد منفجره‌ی خالص و خشکی هستند که به‌شدت به تخلیه‌ی الکترواستاتیک حساس هستند و خطر انفجار آن‌ها در حین حمل و نقل وجود دارد. بهتر است فاصله‌ی محل آزمایش با کارگاه نمونه‌سازی کمترین فاصله را داشته و در حین حمل از لوازم حمل مناسب و مجهز به تخلیه‌ی الکترواستاتیک به زمین استفاده شود.

برای فعال‌سازی بوستر از چاشنی الکتریکی آبی نمره‌ی ۸ و فیله‌ی ایمنی کندسوز استفاده می‌شود. بعد از انفجار نمونه، نتیجه‌ی آزمون به صورت یک تغییر شکل (تورفتگی) روی بلوک‌های شاهد قابل مشاهده است.

آزمایش بالا، کمینه پنج مرتبه انجام می‌شود. برای هر نمونه‌ی ساخته‌شده برای حساسیت به شوک، وزن ماده‌ی منفجره‌ی شارژشده در محفظه‌ی تفلونی ثبت می‌شود. قبل از انتقال نمونه‌ها به میدان برای اندازه‌گیری حساسیت به شوک، چگالی بارگذاری نمونه‌ها با هم مقایسه می‌شود. چنان‌چه ρ_{Min} کوچک‌ترین چگالی و ρ_{Max} بزرگ‌ترین مقدار چگالی در نمونه‌ها باشد، $\rho_T = (\rho_{Max} - \rho_{Min})$ به‌عنوان شاخصی برای دقت نمونه‌سازی اپراتور تعیین می‌شود. هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد نمونه‌های ساخته‌شده از دقت بیشتری برخوردار هستند. بیشینه مقدار موردقبول برای ρ_T ، 0.02 گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

بهتر است در اولین آزمون از 50 ورق به‌عنوان گپ استفاده شود. اگر در نمونه، انفجار رخ داد (تشخیص وقوع یا عدم وقوع انفجار در نمونه بر مبنای ایجاد دندانه یا گودی در بلوک شاهد است)، برای آزمایش بعدی ضخامت گپ دو برابر در نظر گرفته می‌شود و اگر انفجار رخ نداد برای آزمایش بعدی ضخامت گپ نصف در نظر گرفته می‌شود. این فرایند آن‌قدر ادامه داده می‌شود تا یک‌بار انفجار و یک‌بار عدم انفجار اتفاق بیفتد. پس‌ازاین اتفاق درواقع یک محدوده برای ضخامت بحرانی گپ تعیین می‌شود. ضخامتی که در آن انفجار رخ‌داده حد پایین و ضخامتی که در آن انفجار رخ‌نداده حد بالای محدوده را تشکیل می‌دهند. معمولاً با انجام پنج آزمایش، این محدوده تعیین می‌شود. ضخامتی که در آن انفجار رخ‌داده، حد پایین و ضخامتی که در آن انفجار رخ نداد، حد بالای محدوده را

تشکیل می‌دهند. این ضخامت می‌تواند با تعداد ورق‌ها بیان شود. از مقادیر تعیین‌شده برای حد بالا و حد پایین جهت گزارش نهایی حساسیت به شوک ماده منفجره‌ی مورد آزمون میانگین‌گیری می‌شود.

۲-۵ آزمون تعیین قطر بحرانی

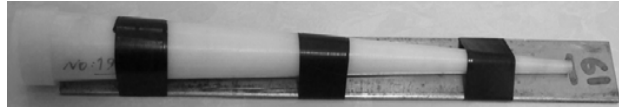
روش آزمون حساسیت به شوک، بر مبنای استانداردهای Test Methodes for NATO AOP-70 MIL-STD-650 و Explosives استخراج شده است [۴، ۱۶ و ۱۸].

۲-۵-۱ آماده‌سازی نمونه

در حین شارژ توجه شود که نمونه به‌اندازه‌ی کافی خشک باشند. برای ساخت نمونه‌ی آزمون لازم است قطعه‌ی تفلونی مخروطی شکل از ماده‌ی منفجره‌ی نانو مقیاس پر شود. برای مواد منفجره‌ی پودری باید نوک مخروط آب‌بند شود تا ماده‌ی منفجره از سوراخ تخلیه نشوند. برای این منظور استفاده از موم، چسب‌های سوپر گلو (قطره‌ای) یا نوارچسب مناسب هستند. پوسته‌ی مخروطی تا 10 میلی‌متری لبه‌ی ته مخروط از ماده‌ی منفجره پر می‌شود. مواد پودری نباید در پوسته‌ی مخروطی تحت فشار قرار گیرند چراکه این فشار باعث غیریکنواخت شدن چگالی ماده‌ی منفجره شارژشده در پوسته‌شده و آزمون با خطا مواجه می‌شود. بعد از شارژ نمونه، حدود 50 گرم ترکیب C4 روی مواد شارژ می‌شود و سپس نگهدارنده‌ی دتوناتور قرار داده می‌شود و با چسب آب‌بند می‌شود. نمونه، آماده‌ی چاشنی‌گذاری و انجام آزمون است.

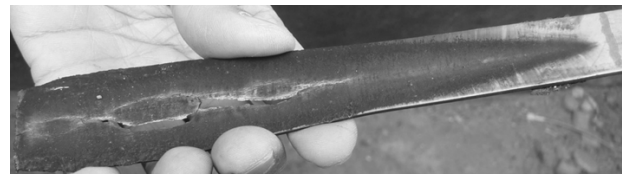
۲-۵-۲ روش آزمون

پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها باید با ایمنی کامل به میدان آزمایش منتقل شوند. پس از انتقال نمونه‌ها به میدان آزمون، تسمه‌ی مسی تهیه‌شده به‌عنوان قطعه‌ی شاهد، مطابق شکل (۱۰) با چسب نواری لاستیکی روی بدنه‌ی پوسته مخروطی تثبیت می‌شود. لازم است با یک مارکر مناسب نقطه‌ی انتهایی (نوک) مخروط روی تسمه‌ی مسی علامت‌گذاری شود و کد نمونه و یا شماره‌ی آزمون روی تسمه مسی ثبت شود. برای علامت‌گذاری نوک مخروط روی تسمه‌ی مسی بهتر است با استفاده از نوک کاتر یک خط تورفته روی آن ایجاد شود. مجموعه‌ی مونتاژشده روی یک صفحه‌ی فولادی بزرگ قرار گرفته و چاشنی‌گذاری می‌شود.



شکل ۱۰: نمونه‌ی مونتاژشده‌ی آزمون قطر اُفت

باید برای فعال‌سازی خرج از کپسول انفجاری الکتریکی نمره‌ی ۸ و فتیله‌ی ایمنی کندسوز استفاده شود. بعد از انفجار نمونه، نتیجه‌ی آزمایش، ثبت انجام‌شده روی قطعه‌ی مسی شاهد است. این ثبت به صورت یک تغییر شکل یا تورفتگی در طول محل اتصال پوسته‌ی مخروطی است که ممکن است در مواضع قطر مخروط منجر به پارگی صفحه‌ی مسی نیز شده باشد. در شکل (۱۱) تصویر صفحه‌ی مسی بعد از آزمون مشاهده می‌شود. آزمون بالا، کمینه پنج مرتبه برای یک ماده‌ی منفجره تکرار می‌شود.



شکل ۱۱: نتیجه‌ی ثبت‌شده روی صفحه‌ی مسی به صورت تورفتگی و تغییر شکل پلاستیک صفحه

۲-۵-۳ روش تحلیل نتایج

برای هر نمونه‌ی ساخته‌شده برای آزمون تعیین قطر بحرانی، وزن ماده‌ی منفجره شارژشده در پوسته‌ی مخروطی ثبت شود. قبل از انتقال نمونه‌ها به میدان برای اندازه‌گیری حساسیت به شوک، چگالی بارگذاری نمونه‌ها باهم مقایسه می‌شوند. چنانچه P_{Min} کوچک‌ترین چگالی و P_{Max} بزرگ‌ترین مقدار چگالی در نمونه‌ها باشد، $P_T = (P_{Max} - P_{Min})$ به عنوان شاخصی برای دقت نمونه‌سازی اپراتور تعیین می‌شود. هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد نمونه‌های ساخته‌شده از دقت بیشتری برخوردار هستند. بیشینه مقدار موردقبول برای P_T ، 0.02 گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

دقت مقادیر تعیین‌شده برای قطر اُفت به دقت تثبیت پوسته‌ی مخروطی روی صفحه‌ی مسی و علامت‌گذاری مناسب محل استقرار نوک مخروط روی صفحه‌ی شاهد و دقت اپراتور در محل رخداد فرورفتگی روی صفحه‌ی شاهد مرتبط است. بر مبنای بررسی‌های انجام‌شده دقت تثبیت پوسته مخروطی روی صفحه‌ی شاهد و ثبت نوک مخروط روی آن و تشخیص

موقعیت فرورفتگی در صفحه، بیشینه یک میلی‌متر است. در این صورت مثلاً اگر فاصله‌ی محل تورفتگی از محل علامت‌گذاری شده ۸۰ میلی‌متر باشد، این مقدار می‌تواند ۸۱ یا ۷۹ باشد. در این صورت انفجار در پوسته‌ی مخروطی در موضعی با قطر ۱۰/۱ یا ۹/۹ میلی‌متر اتفاق افتاده است. در این صورت دقت اندازه‌گیری قطر اُفت حدود ۱/۰ درصد تعیین می‌شود. اختلاف چگالی نمونه‌ها نیز تأثیر مستقیم بر قطر اُفت آن‌ها دارد و تقریباً برای تمامی مواد منفجره، افزایش دانسیته منجر به کاهش قطر اُفت خواهد شد. از مقادیر تعیین‌شده برای قطر اُفت نمونه‌ها (کمینه پنج مورد) جهت گزارش قطر اُفت نهایی ماده‌ی مورد ارزیابی میانگین‌گیری می‌شود. با توجه به موارد ذکرشده متأثر از تمامی عوامل، آزمون اندازه‌گیری قطر اُفت برای نمونه‌های مورد آزمون می‌تواند تا پنج درصد مقدار گزارش‌شده تلورانس داشته باشد.

۳ نتیجه‌گیری

صحه‌گذاری ایمنی مواد منفجره‌ی نانومقیاس جدید برای کاربری در طول عمر خدمات‌دهی آن‌ها، با استفاده از روش‌های ارزیابی حساسیت به ضربه، حساسیت اصطکاک، الکتریسیته‌ی ساکن، شوک و ... انجام می‌پذیرد. با استفاده از آزمون ضربه، حساسیت مواد منفجره به ضربه‌ی مستقیم یک وزنه‌ی مشخص که از یک ارتفاع معین سقوط داده می‌شود، بررسی و انرژی لازم (برحسب جرم وزنه و ارتفاع سقوط) برای عملکرد آن‌ها، محاسبه می‌شود. ارزیابی حساسیت مواد منفجره به اصطکاک با استفاده از دستگاه BAM تعیین می‌گردد؛ در این روش، بیشینه نیرویی که در آن آغازش ماده‌ی منفجره صورت نمی‌گیرد، تعیین و به عنوان حساسیت ماده‌ی منفجره به اصطکاک در نظر گرفته می‌شود. در ارزیابی حساسیت مواد منفجره‌ی نانومقیاس به تخلیه‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، مواد دارای حساسیت کمتر از سه میلی ژول به عنوان «بسیار حساس»، مواد دارای عملکرد در محدوده‌ی سه تا ۲۰ میلی ژول به عنوان «حساس» و موادی که با انرژی کمتر از ۲۰ میلی ژول واکنش نشان ندهند، به عنوان «غیرحساس» طبقه‌بندی می‌شوند. حساسیت مواد منفجره‌ی نانومقیاس به موج شوک ایجادشده از انفجار، بر مبنای عبور موج شوک از صفحات برنجی میراکننده و کاهش انرژی موج تعیین می‌شود. در آزمون ارزیابی قطر بحرانی، ماده‌ی منفجره در یک بدنه‌ی پلاستیکی مخروطی، شارژ و با استفاده از اثر



- [13] A. Shokrolahi, A. Zali, A. Mousaviazar, M. H. Keshavarz, H. Hajhashemi, "Preparation of Nano-K-6 (Nano-Keto RDX) and Determination of Its characterization and Thermolysis", Journal of Energetic Materials, Vol. 29, 2011, pp. 115-126.
- [14] MIL-STD-650, Explosive: Sampling, Inspection and Testing, 1987.
- [15] NATO STANAG 4489: 1999; Explosives, Impact Sensitivity Tests.
- [16] NATO STANAG 4487: 2002; Explosive, Friction Sensitivity Tests.
- [17] NATO STANAG 4488: 2002; Explosives, Shock Sensitivity Tests.
- [18] NATO STANAG 4490: 2001; Explosives, Electrostatic Discharge Sensitivity Test(S).
- [19] Suceska, Muhamed, "Test Methodes for Explosives", Springer-Verlag, New York, Inc., 1995.

تغییر شکل پلاستیک ایجادشده روی یک صفحه مسی شاهد، نتیجه‌ی آزمون ارزیابی می‌شود.

۴ مراجع و منابع

- [1] J. Akhavan, "The Chemistry of Explosives", The Royal Society of Chemistry, 1998.
- [۲] ی. بیات، ح. دهقانی، ن. ذکری، ف. ابریشمی، مواد منفجره‌ی نانو سائیز - روش‌های تهیه و بررسی خواص، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۵.
- [3] TM 9-1300-214, "Military Explosives", Department of The Army Technical Manual, 1984.
- [4] NATO AOP-7: 2004; Manual of Data Requirements and Tests for the Qualification of Explosive Materials for Military use.
- [5] NATO STANAG 4170, Principles and Methodology for the Qualification of Explosive Materials for Military use, 1985.
- [6] Jie LIU, Wei JIANG, Qing YANG, Jian SONG, Ga-zi HAO, Feng-sheng LI, "Study of nano-nitramine explosives: preparation, sensitivity and application", Defence Technology, 184-189, 10, 2014.
- [7] Jie LIU, Wei JIANG, Jiang-bao ZENG, Qing YANG, Yu-jiao WANG, Feng-sheng LI, "Effect of drying on particle size and sensitivities of nano hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine", Defence Technology, 9-16, 10, 2014.
- [8] Y. Bayat, V. Zeynali, "Preparation and Characterization of Nano-CL-20 Explosive", Journal of Energetic Materials, Vol. 29, 2011, pp. 281-291.
- [9] G. Yang, F. Nie, H. Huang, L. Zhao, W. Pang, "Preparation and Characterization of Nano-TATB Explosive", Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 31, No. 5, 2006, pp. 390-394.
- [10] G. Yang, F. Nie, J. Li, Q. Guo, Z. Qiao, "Preparation and Characterization of Nano-NTO Explosive", Journal of Energetic Materials, Vol. 25, 2007, pp. 35-47.
- [11] K. Y. Lee, D. S. Moore, B. W. Asay, A. Lobet, "Submicron-Sized Gamma-HMX, Preparation and Initial Characterization", Journal of Energetic Materials, Vol. 25, 2007, pp. 161-171.
- [12] P. Redner, D. Kapoor, R. Patel, M. Chung, D. Martin, "Production And Characterization Of Nano-RDX", U.S. Army, RDECOM-ARDEC, Picatinny, NJ 07806-5000, NOV. 2006.