تحقیق و توسعه مواد پرانرژی

سال نهم- شماره۲- شماره پیاپی ۱۹- تابستان ۱۳۹۲

پایداری بالستیکی پیشرانه های تفنگی

احد جهانیان [۱]*، محمد فردوسی [۲] ، خسرو بابایی [۳]

سازمان صنایع دفاع

***Email: A_6313_ jahaniyan@yahoo.com**

(تاریخ وصول: ۹۲/۲/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۲۵)

چکیده

عموماً، انبارداری دراز مدت پیشرانه های تفنگی به اثرات منفی بالستیکی منجر می شود. بنابراین، حفظ پارامترهای بالستیکی(سرعت دهانه و ماکزیمم فشار گاز) پیشرانه های تفنگی در طول انبارش یکی از الزامات پیشرانه های تفنگی جدید است. برای مثال، پیر شدگی پیشرانه ها، بویژه نفوذ از سطح به طور قابل توجهی بر طول عمر بالستیکی مهمات تاثیر می گذارد. از اینرو، آگاهی از چنین فرایند هایی به منظور بهینه کردن طراحی در تولید پیشرانه های جدید با عملکرد بالا بسیار ضروری است. در این مقاله، پایداری بالستیکی پیشرانه های تفنگی متداول و جدید مورد بحث قرار گرفته است. در ضمن، عوامل موثر بر پایداری بالستیکی و تغییر پارامتر های بالستیکی در طول پیرشدگی به طور خلاصه در این مقاله آمده است.

واژه‌های کلیدی: پیشرانه‌های تفنگی، پایداری بالستیکی، پیرشدگی.

۱- مقدمه

امروزه موضوع پژوهش بسیاری از محققین در سراسر جهان بر تولید و توسعه اجزاء پرانرژی جدید در پیشرانه‌ها به منظور استفاده در بسیاری از کاربرد ها از سلاح‌های کوچک گرفته تا موشک های پیشرفته متمرکز شده است. حاصل این تلاش‌ها به ایجاد پیشرانه هایی با انرژی بالا، اجزاء با حساسیت پایین و طول عمر نگه داری بالا منجر شده است. افزایش طول عمر نگه داری با در نظر گرفتن جنبه‌های ایمنی و عملیاتی از حوزه‌های جالب مورد توجه پژوهشگران در مراکز تحقیقاتی کشورهای صاحب تکنولوژی دفاعی است. برای نایل شدن به این هدف، سنتز مواد پرانرژی دارای پایداری شیمیایی ذاتی بالا با قابلیت سازگاری با ماتریس پیشرانه و نیز توسعه روش‌های تخمین طول عمر پیشرانه‌ها، ضروری است. علاوه بر طول عمر ایمن پیشرانه‌ها که از جنبه‌های ایمنی و اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد، طول عمر بالستیکی پیشرانه ها نیز در طی انبارداری بایستی در سطح مطلوبی نگه داشته شود، به عبارت دیگر یک پیشرانه در طی انبارداری دراز مدت بایستی بتواند خصوصیات بالستیکی(فشار محفظه، سرعت دهانه) خود را حفظ نماید که این به مفهوم پایداری بالستیکی یک پیشرانه است. برای بررسی پایداری بالستیکی پیشرانه های تفنگی، پدیده هایی همچون نفوذ تعدیل کننده ها[۴]، مهاجرت نرم کننده‌ها و بررسی خصوصیات مکانیکی از اهمیت خاصی برخودار می باشند. تمامی این پدیده‌ها بر احتراق پیشرانه موثر می باشد، از اینرو با بررسی این عوامل و نیز انجام آزمون‌های بالستیکی مناسب با استفاده از بمب بالستیک یا آزمون شلیک برآورد خوبی از پایداری بالستیکی یک پیشرانه در طی

۱و۲و۳- کارشناسی ارشد

4- Deterrent

دوره انبارداری انجام می شود.

۲- خواص بالستیکی پیشرانه‌های تفنگی

خواص بالستیکی پیشرانه‌های تفنگی(نمای سرعت سوزش، ماکزیمم فشار گاز، سرعت دهانه و نظایر آن) نقش مهمی در عملکرد یک سلاح بازی می‌کنند. از اینرو، خواص بالستیکی پیشرانه در هنگام طراحی یک سلاح بایستی تعیین و در اختیار مهندسین قرار گیرد. در مقیاس آزمایشگاهی، مهمترین دستگاه برای تعیین خصوصیات بالستیکی پیشرانه‌های تفنگی بمب بالستیک می باشد، در پی اشتعال پیشرانه در بمب بالستیک، محصولات گازی و حرارت بالایی تولید می شوند[۱]. ناحیه زیر منحنی فشار – زمان که توسط احتراق پیشرانه تشکیل می شود با سرعت پرتابه متناسب است. در یک منحنی فشار- زمان، تا هنگام اتمام احتراق یک افزایش تند تا پیک فشار ایجاد شده و سپس از طریق انبساط آدیاباتیک گازها به صفر افت پیدا می کند. به علت بیشینه شدن سطح زیر منحنی فشار- زمان، سرعت دهانه به ماکزیمم مقدار خود می رسد. به منظور ارزیابی عملکرد بالستیکی پیشرانه ها اندازه گیری خصوصیاتی مانند ثابت نیرو[۱]، چالاکی[۲] و تابع شکل[۳] ضروری است، که به ترتیب بیانگر مقدار انرژی، سرعت اصلی سوزش و هندسه گرین پیشرانه به عنوان فاکتور کنترل کننده سرعت انرژی آزاد شده می‌باشد[۲]. به عنوان مثال، چالاکی دینامیک یکی از مهمترین پارامترهای عملکردی است که از سابقه فشار با استفاده از بمب بالستیک گرفته می شود، چالاکی دینامیک شاخصی از هندسه گرین پیشرانه در آزمایش بمب بالستیک بوده و برای سنجش پیشروندگی[۴] هندسه پیشرانه و این که آیا مساحت سطح متحمل شکستگی می شود یا نه، استفاده می شود. چالاکی دینامیک(A) مطابق رابطه(۱) تعریف می شود[۳]:

$$A=\frac{\frac{dp(t)}{d(t)}}{p(t)*\ p_{max}} \qquad (۱)$$

که در آن P فشار بمب بالستیک و P_{max} ماکزیمم فشار در آزمایش، A هم اغلب تابعی از p/p_{max} است. چالاکی دینامیک برای توصیف خصوصیات تولید گاز و سرعت سوزش پیشرانه در شرایط سوزش به کار برده می شود. از آنجایی که چالاکی دینامیک به مساحت سطح کلی، هندسه و ابعاد گرین پیشرانه وابسته می‌باشد، از اینرو انتظار می رود که شکنندگی گرین اثر قابل توجهی بر چالاکی دینامیک داشته باشد. تغییرات ایجاد شده در چالاکی دینامیک معیار بسیار مناسبی برای ارزیابی رفتار حساسیت دمایی و تغییرات عمر بالستیکی پیشرانه های تفنگی می‌باشد.

۳- پیرشدگی در پیشرانه های تفنگی

اجزاء پیشرانه در طول انبارداری ممکن است با همدیگر یا با اتمسفر هوا واکنش دهند، چنین برهمکنش هایی می تواند به تغییرات برگشت ناپذیری در خواص پیشرانه (بالستیکی و مکانیکی) منجر شود[۴]. به عبارت دیگر، پیشرانه های تفنگی در طول انبارداری در معرض یک سری از فرایند های فیزیکی و شیمیایی قرار می گیرند، تحت این فرایندها ممکن است خواص پیشرانه‌ها تغییر نماید، که به اصطلاح این پدیده، پیر شدگی[۵] نامیده می شود. بخشی از پیر شدگی ممکن است به علت واکنش های شیمیایی و همچنین فرایند های فیزیکی، شیمیایی- فیزیکی باشد، که از جمله می‌توان به نفوذ یا مهاجرت ترکیبات با وزن مولکولی پایین نظیر نرم کننده ها و تعدیل کننده های سرعت سوزش اشاره کرد[۵]. عموماً عمر ایمن یا شیمیایی(مدت زمانی که طی آن پیشرانه بدون هیچ خطری می تواند انبارداری شود) و عمر کارکردی[۶] یا بالستیکی(مدت زمانی که طی آن نیازمندی های بالستیک داخلی به طور کامل حفظ شود) پیشرانه‌ها در طی پیر شدگی محدود می شوند[۶]. عمر شیمیایی به اندازه واکنش های پیر شدگی شیمیایی مانند تجزیه نیترات استر و واکنش های فراورده های تجزیه ای با پایدار کننده بستگی دارد که با کالریمتری جریان حرارتی[۷](HFC) و کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا[۸](HPLC) تحت بررسی قرار می‌گیرد[۷]. به همراه پیر شدگی شیمیایی پیشرانه‌ها، پیر شدگی مکانیکی و بالستیکی نیز وجود دارد که پدیده‌هایی مرتبط با همدیگر می باشند[۸]. به عنوان مثال پیر شدگی پیشرانه‌های تفنگی به علت تجزیه نیتروسلولز نه تنها موجب آزاد شدن حرارت بلکه باعث شکستن زنجیرهای پلیمری نیتروسلولز می شوند، که خود می تواند موجب کاهش یکپارچگی مکانیکی گرین‌های پیشرانه‌های تفنگی شود. در خصوص پیشرانه‌های تفنگی خصوصیات مکانیکی بر رفتار اشتعال بستر گرین پیشرانه تاثیر می‌گذارند به طوری که با شکست گرین‌ها مساحت سطح سوزش افزایش یافته و یک فشار تسریع یافته ایجاد می‌شود که نهایتاً می تواند به ایجاد یک فشار بسیار زیاد و نامنظم منجر شود[۹]. از اینرو پیش بینی اثرات پیر شدگی بر عمر پیشرانه‌های تفنگی و درک جنبه‌های مختلف این پدیده از اهمیت خاصی برخوردار است. جنبه‌های پیر شدگی و کمیت‌های مورد اندازه گیری با جزئیات در جدول (۱) نشان داده شده است. انتخاب کمیت های مورد اندازه‌گیری برای بررسی پدیده پیر شدگی به نوع پیشرانه تفنگی، اندازه گرین، و مولفه پیر شدگی بستگی دارد.

1- Force
2- Vivacity
3- Form function
4- progressivity

5- Ageing
6- Functional life
7- Heat flow calorimetry
8- High performance liquid chromatography

جدول۱- جنبه ها و کمیت های مورد اندازه گیری در پیر شدگی پیشرانه های تفنگی [۱۰].

مولفه پیر شدگی	کمیت مورد اندازه گیری	
-	اطلاعات مستقیمی از وضعیت پیر شدگی می دهد	مرتبط اما اطلاعات مستقیمی از حالت پیر شدگی نمی دهد
ترکیب شیمیایی(پایداری شیمیایی)	مقدار پایدار کننده، کاهش میانگین جرم مولکولی نیتروسلولز	محدوده خود اشتعالی
گرادیان اصلاح کننده های سوزش و دیگر ترکیبات (تا حدودی پایداری بالستیکی)	آزمون تیراندازی، مهاجرت کاتالیست های سوزش	مهاجرت کاتالیست های سوزش نظیر آب، الکل یا نرم کننده ها)
محتوای انرژی(تا حدودی پایداری بالستیکی)	تعیین حرارت انفجار توسط بمب کالریمتر، آزمون تیر اندازی	تعیین تولید حرارت و مقدار پایدار کننده
خود اشتعالی	تعیین سرعت تولید حرارت با میکروکالریمتر	تعیین مقدار پایدار کننده
استحکام مکانیکی (پایداری مکانیکی گرین)	تعیین استحکام فشردگی	کاهش جرم مولکولی (طول زنجیر) نیتروسلولز
نوع شکنندگی گرین پیشرانه: (شکل پذیر، شکننده)	شکستگی توسط تراکم، تعیین انتقال شکستگی- نرمی، متراکم سازی استاتیک و سوزش در بمب بالستیک	دمای انتقال شکنندگی- چکش خواری[1] که با کاهش میانگین جرم مولکولی مرتبط می باشد.
بالستیکی(پایداری بالستیکی)	آزمون تیر اندازی، سرعت دهانه، ماکزیمم فشار گاز، چالاکی شبیه سازی سوزش تفنگ	تاثیر خصوصیات گوناگون، تا حدی مرتبط با: کاهش جرم مولکولی، محتوای انرژی، مهاجرت اصلاح کننده های سوزش و اتلاف نرم کننده های پرانرژی

1- Brittle–ductile transition temperatur

۴- پیرشدگی بالستیکی در پیشرانه های تفنگی

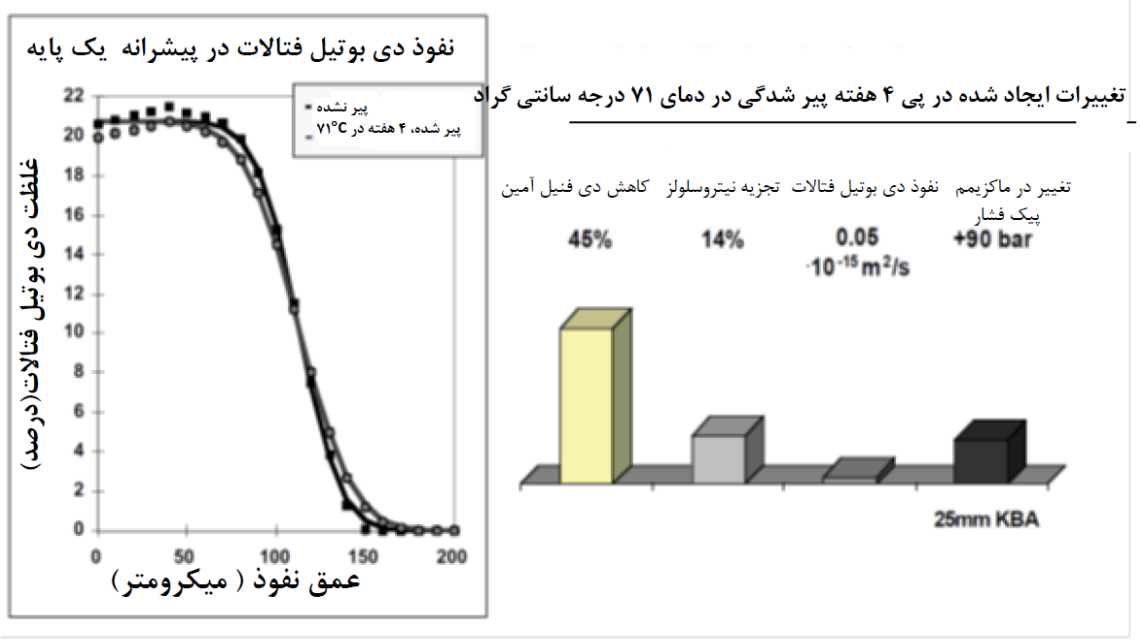
۴-۱- کلیات

مطالعه عمر بالستیکی پیشرانه ها در کنار پرداختن به مبحث طول عمر ایمن پیشرانه‌ها بسیار حائز اهمیت است. این یک موضوع ثابت شده است که عملکرد یک سلاح به ترکیب شیمیایی پیشرانه آن وابسته است، از اینرو انبارداری دراز مدت پیشرانه ها و مهمات به علت ایجاد تغییر در ترکیب پیشرانه می تواند موجب ایجاد تاثیرات منفی بر پارامترهای بالستیکی پیشرانه می شود. بسته به نوع پیشرانه و اجزاء مورد استفاده در پیشرانه، تاثیر پذیری پارامترهای بالستیکی از پیر شدگی متفاوت می باشد، به عنوان مثال، برای پیشرانه های با سطح پوشش دهی شده[2] مهمترین فاکتور، کاهش وزن مولکولی نیتروسلولز و نفوذ عوامل پوشش دهنده از سطح به درون گرین پیشرانه می باشد. نتایج مطالعات نشان می دهد که تغییر طول زنجیر پلیمری نیتروسلولز به علت پیر شدگی، موجب کاهش یکپارچگی مکانیکی گرین پیشرانه می شود[۹]. یا به عنوان مثال به طور تجربی ثابت شده است که تغییر در خصوصیات بالستیکی زمانی رخ می دهد که وزن مولکولی نیتروسلولز بیش از۴۵٪ کاهش یابد[۱۱]. به طور خلاصه ناسازگاری، فرایند مهاجرت و تا حدی تجزیه جزئی نیتروسلولز مهمترین فاکتورهایی می باشند که عمر مفید پیشرانه را محدود می کنند[۷]. از اینرو، بررسی این پدیده ها می تواند شاخصی از پایداری بالستیکی پیشرانه های تفنگی باشد. در این بخش تاثیر پذیری پارامتر های بالستیکی پیشرانه از پیر شدگی برای پیشرانه های مختلف و نیز علل آن مورد بحث قرار می گیرد.

۴-۲- پیشرانه های یک پایه

برای پیشرانه های یک پایه بر خلاف پیشرانه های دو پایه و سه پایه رفتار پیر شدگی به طور کامل به تجزیه نیتروسلولز وابسته می باشد، اما در پیشرانه های دو پایه و سه پایه به علت حضور نرم کننده پر انرژی نیتروگلیسرین رفتار پیر شدگی پیچیده تر می شود[۱۲]. بر طبق یافته های وگل سانگر[3] و همکارانش سرعت پیر شدگی شیمیایی پیشرانه های یک پایه برای استفاده در مهمات کالیبر کوچک و متوسط (با در نظر گرفتن کاهش پایدار کننده و تجزیه نیتروسلولز) بسیار پایین می باشد، علاوه بر این در این پیشرانه ها، تعدیل کننده های رایج مورد استفاده که برای پوشش دهی سطح به کار می روند به درون گرین های پیشرانه های یک پایه بسیار به آرامی نفوذ می کنند، در نتیجه، تنها تغییرات کوچکی در رفتار بالستیک داخلی حتی تحت شرایط پیر شدگی شدید رخ می دهد[۱۳]. از اینرو برای این نوع از پیشرانه ها مقدار عمر خدمات دهی و عمر عملیاتی عالی پیش بینی می شود(شکل۱).

2- Coated propellant
3- Vogelsanger

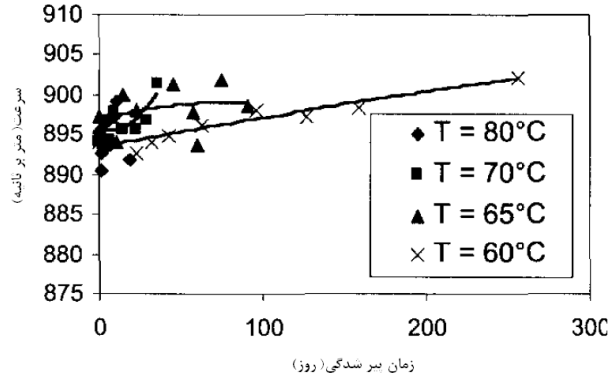


شکل۱- تغییرات در پیشرانه یک پایه، پوشش دهی شده با دی بوتیل فتالات(DBP) پس از چهار هفته در دمای ۷۱°C[۱۳].

۴-۳- پیشرانه های دوپایه

در پیشرانه های دو پایه به علت پایداری کمتر نیتروگلیسرین نسبت به نیتروسلولز سرعت پیر شدگی به طور ذاتی بالاست. در این نوع از پیشرانه ها اغلب نفوذ تعدیل کننده به سرعت انجام می شود، که نه تنها در دماهای بالا بلکه در دمای اتاق نیز مشاهده می شود. نتایج مطالعات نشان می دهد که در طی پیر شدگی برخی از پارامترهای این پیشرانه به طور قابل توجهی تغییر می کند، این پارامتر ها خصوصاً با خواص مکانیکی مرتبط می باشند. چنین تغییراتی عمدتاً از کاهش طول زنجیر پلیمری ناشی می شوند. به علاوه، به نظر می رسد سرعت سوزش در طول پیر شدگی برای این پیشرانه‌ها تحت شرایط حبس شدگی تغییر نمی کند. با این حال اگر پیشرانه ها تحت شرایط غیر حبس شدگی[1] قرار گیرند، افزایش نسبتاً چشمگیری در سرعت سوزش و چالاکی مشاهده می شود که احتمالاً توسط اثرات تبخیر ایجاد می شود و می تواند به ایجاد ترک و افزایش مساحت سطح منجر شود. به عبارت دیگر عمر بالستیکی به علت اتلاف کیفیت مکانیکی محدود می شود[۱۴]. به علاوه در پیشرانه‌های کروی دو پایه نفوذ تعدیل کننده و ناسازگاری نسبی بین پایدار کننده دی فنیل آمین با نیتروگلیسرین طول عمر خدمات دهی پیشرانه را محدود می کند. جونیو[2] و همکارانش برای تعیین اثرات مهاجرت و فرایند های تجزیه در پیشرانه‌های کروی تحقیق مفصلی را بر روی پایداری شیمیایی، بالستیکی و ارتباط بین مهاجرت تعدیل کننده در پیشرانه های کروی و آزمون های حاصل از شلیک و آزمون بمب بالستیک، انجام دادند[۱۵]. یافته های آنان نشان داد که پس از پیر شدگی، تعدیل کننده با یک انتقال آرام از بخش حاوی تعدیل کننده به بخش اصلی پیشرانه مهاجرت می کند، بنابراین در اثر این موضوع احتراق کاملاً مشابهی با پیشرانه های فاقد تعدیل کننده به دست می آید. به علت کاهش غلظت تعدیل کننده دی بوتیل فتالات در سطح پیشرانه، فشار افزایش می یابد. به همان اندازه که از غلظت دی بوتیل فتالات کاسته می شود، سرعت احتراق نیز افزایش یافته و بنابراین سرعت تولید گاز در فاز ابتدایی احتراق افزایش می یابد[۱۶]. نتایج حاصل از بررسی های آزمایشگاهی جونیو و همکارانش بر روی نمونه های پیشرانه های کروی دو پایه با روش های مختلف نشان داد که مهاجرت تعدیل کننده فرایندی اساسی در پیر شدگی پیشرانه‌های مورد بررسی است. به علاوه ارتباط بین ماکزیمم فشار در کارتریج و درصد دی بوتیل فتالات در سطح، اثر مهم فرایند مهاجرت را بر روی خواص بالستیکی تایید می کند. شکل(۲) تغییر سرعت پرتابه را به عنوان تابعی از زمان پیر شدگی نشان می دهد، با توجه به شکل در پیشرانه های کروی مورد بررسی فقط یک افزایش جزئی (کمتر از۱/۵٪) در سرعت دهانه مشاهده می شود. از این رو چنین می توان نتیجه گرفت که در این نوع پیشرانه مورد بررسی پایداری شیمیایی تاثیر قابل توجهی بر عمر بالستیکی نداشته است.

1- Unconfined condition
2- Jeunieau



شکل۲- تغییرات سرعت دهانه به عنوان تابعی از پیر شدگی[۱۵].

۴-۴- پیشرانه های سه پایه

پیشرانه‌های سه پایه به دلایلی نظیر کاهش برق دهانه دمای شعله و سایش لوله، پیشرانه های مفیدی می باشند در این نوع از پیشرانه های تفنگی از نیتروگوانیدین به همراه نیتروسلولز و نیتروگلیسرین در ترکیب پیشرانه استفاده می‌شود. در برخی از پیشرانه های سه پایه حاوی نیتروگوانیدین پس از یک دوره یک ساله به علت پیر شدگی، این نوع از پیشرانه ها ترد و شکننده می شوند، چنین وضعیتی خصوصاً در دماهای پایین به تغییر مساحت سطح و افزایش چالاکی منجر می شود که باعث ایجاد وضعیتی نامطمئن در تفنگ در حین شلیک می شود[۱۷]. تحقیقات اخیر در خصوص جایگزینی نرم کننده بی اثرDBP با دو نرم کننده پرانرژی آزیدو استر تریس(آزیدو استوکسی متیل) پروپان[۱](TAAMP) و بیس(آزیدو استوکسی) بیس (آزیدو متیل) پروپان[۲](BABAMP) به بهبود خصوصیات مکانیکی و عملکردی در پیشرانه های سه پایه منجر می شود. از اینرو، با تغییر فرمولاسیون، این نوع از پیشرانه‌های تفنگی علاوه بر افزایش خصوصیات عملکردی و مکانیکی، شاید بتوان عمر بالستیکی را در این پیشرانه ها افزایش داد، که چنین کاری مستلزم تحقیقات بیشتری در زمینه انجام پیر شدگی مصنوعی و انجام آزمون های بالستیکی در این نوع از پیشرانه های جدید و مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از آزمون های بالستیکی پس از پیر شدگی پیشرانه‌های سه پایه متداول است[۱۸].

۴-۵- پیشرانه با آسیب پذیری پایین

تحقیقات انجام شده توسط پینتو[۳] و همکارانش بر روی خصوصیات مکانیک دینامیک چند نمونه از پیشرانه های یک پایه، دو پایه و سه پایه را با یک نمونه پیشرانه با آسیب پذیری پایین[۴](LOVA) را مورد بررسی قرار دادند، نتایج مطالعات آنان نشان داد که پس از ۱۸ ماه پیر شدگی تسریع یافته، پیشرانه LOVA تغییرات اندکی(یا بدون تغییر) در استحکام فشردگی را از خود نشان می دهد، در حالی که پیشرانه های دو پایه و سه پایه نیتروسلولزی کاهش قابل توجهی را در استحکام فشردگی[۵] از خود نشان می‌دهند. به علاوه پینتو و همکارانش فرایند های احتمالی علت تغییرات مشاهده شده و نیز ارتباط این تغییرات با تغییرات در احتراق و خصوصیات بالستیکی را مورد بحث قرار دادند[۱۹]. مطالعات انجام شده در خصوص برخی از پیشرانه‌های LOVA با فرمولاسیون[۶](NC/RDX/CAB) نشان می دهد که در طول فرایند خشک کردن و نیز انبارداری نرم کننده موجود در فرمولاسیون به همراه حلال مهاجرت کرده که نتیجه آن تجمع نرم کننده در سطح گرین خواهد بود، این موضوع موجب تغییر خصوصیات سوزش خواهد بود، در صورتی که اگر میزان حلال باقیمانده کم باشد مهاجرت نرم کننده نیز پایین خواهد بود. برای حل این موضوع بایستی شرایط انبارداری مناسب و استفاده از خشک کن های جدید مورد توجه قرار گیرد[۲۰]. جونیچی[۷] نیز پیر شدگی شش نمونه پیشرانه LOVA برای استفاده در پیشرانه های تفنگی را در مقایسه با یک پیشرانه مرجع سه پایه (M30A) برای بررسی خصوصیات سوزش در مقیاس کوچک و بزرگ مورد مطالعه قرار داد، مقایسه عملکرد پیشرانه های LOVA تحت بررسی با پیشرانه‌های پیر نشده و پیشرانه های دو سال پیر شده نشان داد که تغییرات عملکردی قابل توجهی در این پیشرانه‌ها مشاهده نمی شود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در طول دوره انبار داری کوتاه مدت (پنج سال) پیشرانه‌های تفنگی با پایه RDX تغییرات عملکردی را از خود نشان نمی دهد، با این وجود به نظر جونیچی برای این پیشرانه‌های LOVA انبارداری بیش از پنج سال نیازمند بررسی‌های بیشتری است[۲۱]. به طور کلی عملکرد بالستیکی مطلوب این نوع از پیشرانه‌ها در مقایسه با پیشرانه‌های متداول مرهون خصوصیات شیمیایی این نوع از پیشرانه‌ها است.

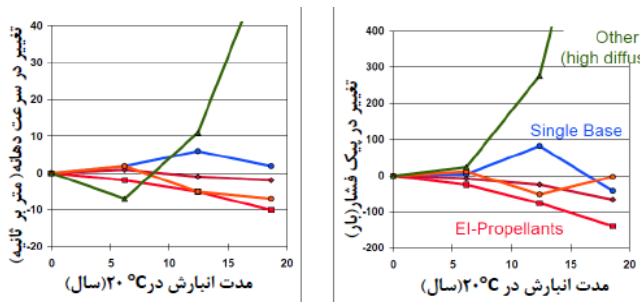
۴-۶- پیشرانه اکسترودی تلقیح شده

اخیراً پیشرانه پیشرانه اکسترودی تلقیح شده[۸](EI) بر مشکلات مرتبط مرتبط با سیستم‌های پیشرانش متداول فایق آمده و در کاربردهای با کالیبر کوچک و متوسط و نیز خمپاره ها، عملکرد قابل ملاحظه ای را از خود نشان داده است. پیشرانه‌های EI از گرین پیشرانه های یک پایه اکسترود شده که به روغن های انفجاری آغشته شده اند و سپس با یک پلیمر تعدیل می شود، تهیه می شوند. در این پیشرانه‌ها روغن های انفجاری یک لایه خارجی با ضخامت چند صد میکرون را تشکیل می‌دهند. در پیشرانه EI، نفوذ عوامل پوشش دهنده سطحی را می‌توان توسط متعادل کردن دقیق نوع و غلظت تعدیل کننده‌ها و روغن‌های

1- Tris(azido acetoxy methyl) propane
2- Bis(azido acetoxy) bis(azido methyl) propane
3- Pinto
4 - Low vulnerability ammunition(LOVA)

5- Compression strenght
6- Cellulose acetate butyrate(CAB)
7- Jun'ichi
8- Extruded impregnated

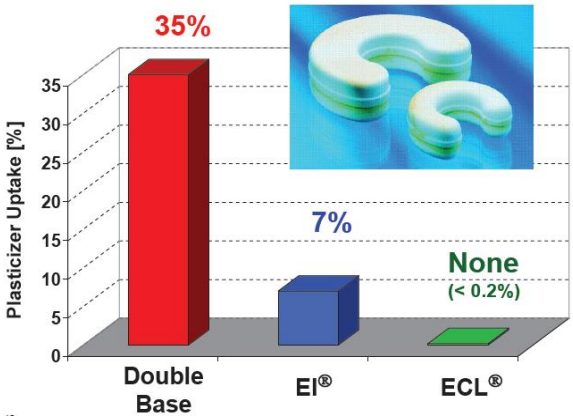
انفجاری به حداقل رساند. در پیشرانه EI اثرات نفوذ صرفاً به طور جزئی نسبت به پیشرانه‌های یک پایه، بالاتر بوده و مقادیر عمر بالستیکی بسیار خوبی به دست می آید شکل(۳)[۱۱]. در یک تحقیق ارزیابی پایداری بالستیکی پیشرانه EI (۳۶ هفته پیر شدگی تسریع یافته در دماهای ۴۰°C، ۵۰°C و ۶۰°C) نشان داد که این نوع پیشرانه عمر بالستیکی بسیار خوبی را در سیستم‌های مهمات مختلف فراهم می کند. در تمامی گستره دمایی شلیک(-۵۴°C تا ۷۱°C) تنها تغییرات جزئی در پیک فشار و سرعت دهانه توسط پیر شدگی مصنوعی معادل با ۲۰ سال انبار داری در ۲۰°C ایجاد می شود. به ویژه رشد خطرناکی در پیک فشار (>۱۵۰bar) مشاهده نمی‌شود و حساسیت دمایی پایین پیشرانه EI حفظ می‌شود که نشان دهنده پایداری بالستیکی بالای این پیشرانه‌ها است. به علاوه پیشرانه جدید فاقد نیتروگلیسرین به نام پیشرانه +EI نیز در طی دوره پیر شدگی، نیز پایداری بالستیکی مطلوبی را از خود نشان می‌دهد که به علت مهاجرت ناچیز نرم کننده در طی دوره پیر شدگی می باشد[۲۲].



شکل۳- ارزیابی عمر بالستیکی برای پیشرانه های با کالیبر متوسط، نمونه های پیشرانه ۰، ۴، ۸ و ۱۲هفته در دمای ۶۰°C (دما در طول شلیک ۲۱°C) [۱۱].

۴-۷- پیشرانه های کامپوزیتی اکسترود شده با حساسیت پایین

شرکت نیتروکمی[1] در اواخر دهه گذشته فرمولاسیون های پیشرانه های فاقد نیتروگلیسرین را در یک خانواده جدید با عنوان پیشرانه های کامپوزیتی اکسترود شده با حساسیت پایین (ECL)[2] به منظور استفاده در سلاح های با کالیبر متوسط تحت توسعه قرار دادند. تکنولوژی پیشرانه متعلق به شرکت نیتروکمی بر اساس یک فرمولاسیون پایه خاص در ترکیب با فرایند پوشش دهی با استفاده از اصلاح کننده های سرعت سوزش غیر انرژتیک می باشد. این پیشرانه پایداری شیمیایی و بالستیکی برجسته ای را که توسط پیشرانه های متداول حاوی نیتروگلیسرین قابل دسترس نمی باشد، را ارائه می نماید. به طور کلی در مقایسه با پیشرانه های یک پایه، دو پایه و فرمولاسیون های EI، پیشرانه های ECL پایداری شیمیایی و بالستیکی عالی را از خود نشان می دهند. مشکل مهاجرت نرم کننده مورد استفاده در پیشرانه های ECL در مقایسه با پیشرانه های EI و دو پایه حل شده است(شکل۴)[۲۳].



شکل۴- مقایسه مهاجرت نرم کننده در پیشرانه ECL، EI و دو پایه[۲۴].

از این رو خصوصیات مکانیکی مواد پیشرانه در طی انبارداری در دمای بالا در این پیشرانه‌ها تغییری نمی‌کند. نفوذ تعدیل کننده در پیشرانه ECL در مقایسه با پیشرانه های دوپایه پایین بوده به علاوه با انجام پیر شدگی نفوذ تعدیل کننده تغییری نمی کند، که این موضوع می تواند به عمر بالستیکی عالی در این نوع از پیشرانه‌ها منجر شود. در یک مطالعه به منظور ارزیابی تغییرات بالستیکی در طی پیر شدگی، پیشرانه ECL در دمای ۸۵°C به مدت چهار هفته قرار داده شد، سپس تحت آزمون بمب بالستیک(در فواصل زمانی مختلف) قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هفته اول تا چهارم تغییری در چالاکی دینامیک مشاهده نمی‌شود و این به مفهوم پایداری بالستیکی عالی این نوع از پیشرانه‌های تحت شرایط پیر شدگی شدید می‌باشد.

۵- عوامل موثر بر پایداری بالستیکی پیشرانه های تفنگی

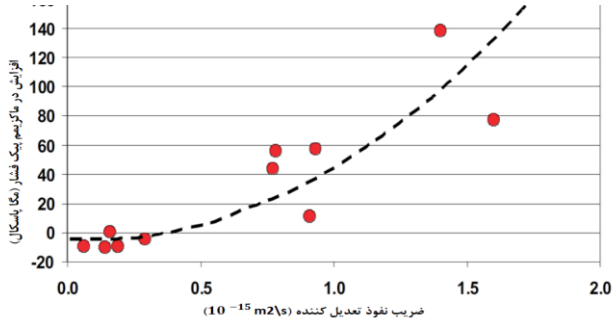
علاوه بر تجزیه نیتروسلولز، نفوذ تعدیل کننده‌ها از سطح به درون بخش مرکزی گرین پیشرانه و تغییرات مکانیکی ناشی از مهاجرت نرم کننده از مهمترین دلایل محدود شدن عمر بالستیکی پیشرانه های تفنگی است، در زیر به طور مفصل اثر نفوذ تعدیل کننده و یکپارچگی مکانیکی گرین پیشرانه‌های تفنگی بر طول عمر بالستیکی پیشرانه‌های تفنگی مورد بحث قرار گرفته است.

۵-۱- نفوذ تعدیل کننده

پیشرانه‌ها می توانند آنقدر سریع بسوزند که افزایش فشار ابتدایی در

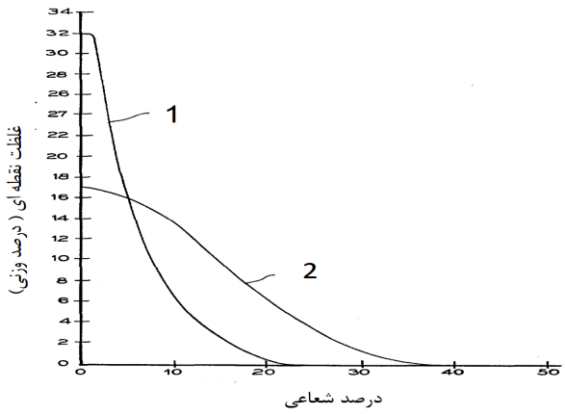
1- Nitrochemie
2- Extruded composite low vulnerability (ECL)

سلاح شدید تر از چیزی باشد که مورد نیاز می‌باشد، برای اجتناب از این اثرات ناخواسته با استفاده از به کار بردن تعدیل کننده های سطحی سرعت سوزش ابتدایی کاهش یافته و سرعت فاز گازی رضایت بخشی فراهم می‌شود. چنین اصلاحی معمولاً شامل اشباع سازی[1] پیشرانه توسط تعدیل کننده می‌باشد که صرفاً تا یک عمق معین و یک غلظت معین در سطح وجود دارد. در پیشرانه‌های حاوی تعدیل کننده، غلظت تعدیل کننده در لایه سطحی نسبت به بخش مرکزی پیشرانه بالاتر است[۲۵]. این گرادیان تعدیل کننده به ایجاد یک فشار تقریباً ثابت در طول فرایند احتراق منجر می‌شود. در واقع در این پیشرانه‌ها تعدیل کننده به عنوان اصلاح کننده احتراق عمل می‌کنند. با این وجود، عیب این طراحی خاص مهاجرت تعدیل کننده در سرتاسر پیشرانه است، در چنین مواردی سرعت سوزش در آغاز فرایند سوزش افزایش یافته و به ایجاد فشارهای بالا در سلاح منجر می‌شود، چنین موضوعی می تواند به سلاح آسیب رسانده و یا باعث عملکرد نادرست در مهمات شود. یکی از مشکلات تعدیل کننده های متداول خصوصاً زمانی که در معرض دماهای بالا (۴۰°C و بالاتر) قرار می‌گیرند، ناپایداری بالستیکی است که به تغییرات در عملکرد بالستیکی و محدود کردن طول عمر بالستیکی منجر می شود[۲۶]. امروزه این موضوع محرز شده است که بین ماکزیمم فشار در کارتریج و غلظت تعدیل کننده در سطح گرین ارتباط وجود دارد (شکل۵) به علاوه نوع و غلظت باز دارنده و روغن های انفجاری به طور قابل توجهی بر مقدار نفوذ تاثیر گذار است از این رو درک فرایند مهاجرت تعدیل کننده و روغن های انفجاری در ماتریس نیتروسلولز از اهمیت زیادی برخوردار است[۷]. فرایند نفوذ اغلب با استفاده از اسپکتروسکپی تبدیل فوریه مادون قرمز تعیین می شود. اساساً تعدیل کننده‌ها به دو نوع نرم کننده و سد کننده[2] تقسیم می‌شوند. تعدیل کننده های نوع نرم کننده به درون گرین پیشرانه نفوذ می‌کنند در حالی که تعدیل کننده‌های نوع سد کننده توانایی نفوذ به درون گرین پیشرانه را ندارند. در حالت مطلوب نفوذ تعدیل کننده به درون گرین پیشرانه یک گرادیان غلظت را برقرار می‌کند، غلظت تعدیل کننده در سطح بیرونی گرین پیشرانه بالاست و در برخی از نقاط درونی گرین به صفر کاهش می‌یابد. اگر تغییر گرادیان غلظت به وسیله حرارت موجب مهاجرت تعدیل کننده به درون گرین شود به اثرات بالستیکی منفی منجر می‌شود از اینرو برای پیشرانه‌های بر پایه نیتروسلولز، تعدیل کننده هایی با توانایی فراهم نمودن پایداری بالستیکی مناسب مورد نیاز می باشد، به منظور به دست آوردن پایداری نفوذ عالی بایستی بین نوع و غلظت روغن های انفجاری و تعدیل کننده پلیمری تعادل برقرار شود[۲۷].



شکل۵– رابطه بین افزایش پیک فشار و سرعت نفوذ تعدیل کننده برای یک پیشرانه نوعی پس از چهار هفته پیر شدگی در دمای ۷۱°C[۶].

برای این منظور استفاده از ترموپلاستیک های سلولزی توصیه می شود، این تعدیل کننده‌ها تحت دمای بالا و مقدار حلال بالا در درون گرین پیشرانه قرار می‌گیرند. از مزایای این نوع از تعدیل کننده-های سلولزی، مهاجرت کم آن ها در مقایسه با پلی استرهای خطی و دیگر تعدیل کننده‌های متداول مورد استفاده می‌باشد (شکل۶). برای تعدیل کننده‌های ترموپلاستیک سلولزی مهاجرت تعدیل کننده پس از انبارداری در دمای اتاق و یا برای یک دوره زمانی طولانی در دمای بالا، پایین است. مزیت دیگر این نوع از تعدیل کننده‌ها این است که با هر دو پیشرانه دو پایه و یک پایه سازگار می‌باشند. تعدیل کننده‌های مطلوب از نوع ترموپلاستیک‌های سلولزی، استر های سلولزی می باشند که توسط مخلوط کردن سلولز با اسید های آلی مناسب، انیدرید اسید و کاتالیست ها تشکیل می‌شوند. غالباً از ترموپلاستیک های سلولزی که وزن مولکولی ۱۰۰۰۰ تا حدود ۱۰۰۰۰۰ دارند، استفاده می‌شوند و بهتر است که وزن مولکولی آن ها از ۱۲۰۰۰ تا حدود ۷۵۰۰۰ واحد جرمی بوده و با نیتروسلولز و نیتروگلیسرین نیز سازگار باشند. مواد مطلوب شامل سلولز استات بوتیرات[3](CAB) و سلولز استات پروپیونات[4](CAP) می‌باشند.

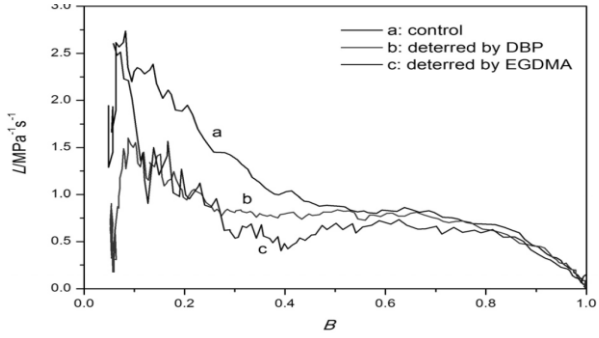


شکل۶– گرادیان غلظت تعدیل کننده پلی استر خطی (۱) و ترموپلاستیک سلولزی (۲) پس از ۳۰ روز در دمای ۴۰°C[۲۶].

1- Impregnation
2- Barrier type

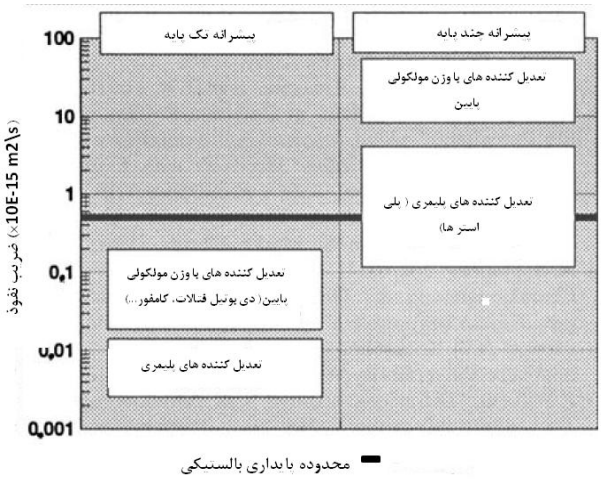
3- Cellulose acetate butyrate
4- Cellulose acetate propionate

به علاوه مطالعات اخیر پیرامون نفوذ تعدیل کننده‌ها در پیشرانه‌ها نشان می دهد که مهاجرت تعدیل کننده اتیلن گلیکول دی متاکریلات[1] (EGDMA) برخلاف دی بوتیل فتالات[2](DBP) به درون ماتریس پیشرانه یک پایه کروی کمتر است، EGDMA با یک نوع شروع کننده پلیمریزه شده و توسط پیوند هیدروژنی با نیتروسلولز شبکه ای می‌شود. سرعت نفوذ و مقدار شروع کننده بر سرعت پلیمریزاسیون و ساختار نهایی پلی اتیلن گلیکول دی متاکریلات [3] (PEGDMA) بسیار تاثیر گذار است. مزیت ثانوی این تعدیل کننده کاهش حساسیت دمایی پیشرانه است[۲۸]. در شکل(۷) اثر نوع تعدیل کننده EGDMA در مقایسه با DBP نشان داده شده است.



شکل۷- تاثیر نوع بازدارنده در چالاکی دینامیک یک نوع پیشرانه کروی یک پایه[۲۸].

DBP به آسانی به درون ماتریس نیتروسلولزی نفوذ کرده و بنابراین بر خصوصیات سوزش تاثیر می‌گذارد. چنین نتایجی مخصوصاً در طی دوره نگهداری پیشرانه ها در انبار می‌تواند بر پایداری بالستیکی پیشرانه ها تاثیر منفی داشته باشد. به علاوه مزیت دیگر تعدیل کننده-های سطحی کاهش حساسیت دمایی در پیشرانه است، اگر پیشرانه‌های تفنگی حساسیت دمایی خود را در طی دوره انبارداری در دمای بالا حفظ نمایند، به نوعی نشان دهنده پایداری بالای بالستیکی پیشرانه است. به طور خلاصه نفوذ تعدیل کننده در طی فرایند تعدیل کردن پیشرانه و نیز در طی انبارداری دراز مدت عمر بالستیکی یک پیشرانه را محدود می کند. در شکل(۸) نمودار مقادیر ضریب نفوذ برای سیستم های پیشرانه– تعدیل کننده در طول انبارداری در دمای ۷۱°C نشان داده شده است. با توجه به شکل تعدیل کننده‌های با وزن مولکولی پایین نسبت به تعدیل کننده‌های پلیمری نفوذ سریعتری دارند. از اینرو استفاده از تعدیل کننده‌های با وزن مولکولی پایین که در پیشرانه های کروی که در سلاح‌های با کالیبر کوچک استفاده می‌شود برای استفاده در پیشرانه‌های دو پایه برای سلاح‌های کالیبر متوسط مطلقاً مناسب نمی‌باشد.



شکل۸- گستره نوعی ضریب نفوذ بر حسب محدوده پایداری بالستیکی برای تعدیل کننده های پلیمری و تعدیل کننده های با وزن مولکولی پایین برای پیشرانه یک پایه و دو پایه (یا EI) در دما ۷۱ °C[۲۷].

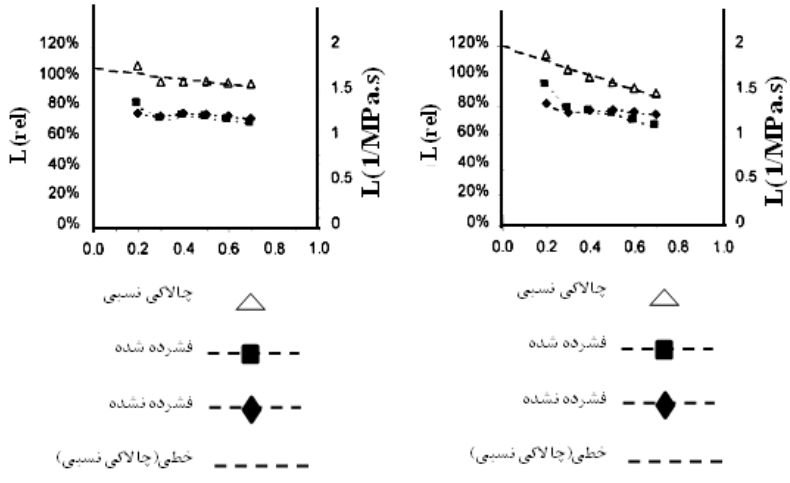
۵-۲- یکپارچگی مکانیکی

در پیشرانه‌های تفنگی متداول پایداری عملکردی به علت تجزیه نیتروسلولز محدود می‌شود. تجزیه نیتروسلولز در کنار تاثیر بر پایداری حرارتی پیشرانه‌ها بر یکپارچگی مکانیکی[4] گرین های پیشرانه‌ها نیز اثر می گذارد. به طوری که باتجزیه نیتروسلولز، یکپارچگی مکانیکی گرین ها کاهش می‌یابد. کاهش یکپارچگی مکانیکی گرین می‌تواند به تغییر در خصوصیات سوزش در طول چرخه بالستیکی منجر شود[۲۹]. با شکنندگی گرین ها مساحت سطح بستر پیشرانه افزایش یافته که خود می‌تواند به یک فشار تسریع یافته غیر قابل قبول در هنگام شلیک با یک تفنگ منجر شود. وان دریل و کلارک۵ برای بررسی اثر پیر شدگی بر یکپارچگی مکانیکی، پیشرانه‌های نیتروسلولزی یک پایه و دوپایه را تحت مطالعه قرار دادند. آنان برای ایجاد پیر شدگی مصنوعی پیشرانه‌های یک پایه را سه هفته در دمای ۸۵ °C و پیشرانه‌های دو پایه را ۱۰ هفته در دمای ۷۵ °C(معادل یک دوره افزایش عمر ۲۰ تا ۳۰ ساله) قرار دادند. تغییرات خصوصیات مکانیکی گرین‌های پیشرانه ها به روش تراکم شبه استاتیک بستر پیشرانه ایجاد شد. نتایج نشان داد که لات‌های پیشرانه بعد از بار مکانیکی افزایش شکنندگی را نشان می‌دهند که موجب تغییر قابل توجهی در منحنی چالاکی می‌شود شکل(۹) و (۱۰). تغییرات در خصوصیات سوزش به علت پیر شدگی به افزایش پیک فشار غیر قابل پذیرشی(مخصوصاً در دانسیته های بارگذاری بالا) در سلاح منجر خواهد شد. شلیک های تفنگ با پیشرانه‌های پیر شده و پیر نشده نیز این ادعا را اثبات کرد[۲۹]. نتایج به دست آمده توسط وان دریل و کلارکاز این مطالعه به طور خلاصه به این صورت است که در طول پیر شدگی به علت تجزیه نیتروسلولز،

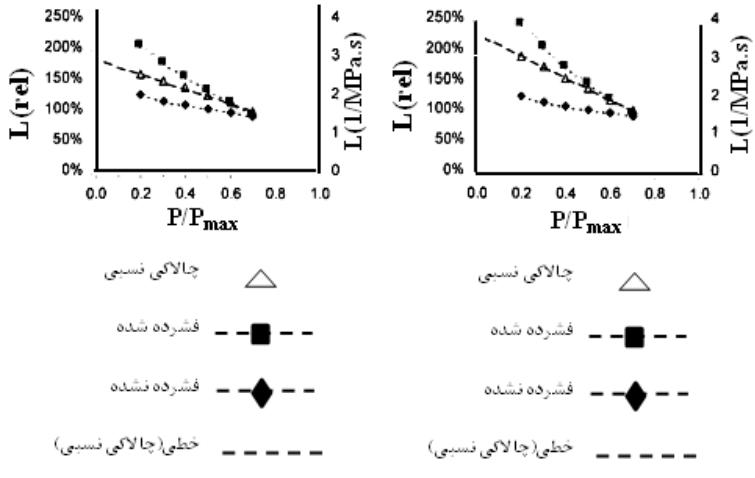
1- Ethylene glycol dimethacrylate
2- Dibutyl phetalate
3- Poly(Ethylene glycol dimethacrylate)

4 -Mechanical Integrity
5- Van driel and Klerk

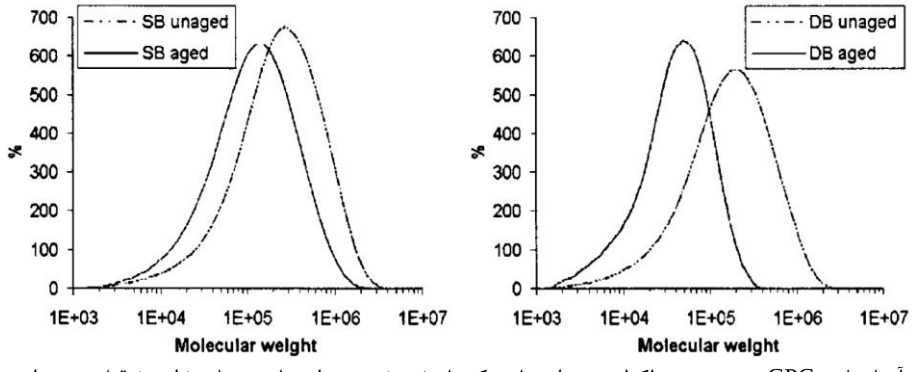
طول زنجیر پلیمری نیتروسلولز تغییر می‌کند(شکل۱۱). پیر شدگی به کوتاه شدن ۵۰ ٪ طول زنجیر نیتروسلولز برای پیشرانه یک پایه و ۸۰ ٪ برای پیشرانه دو پایه منجر می‌شود. چنین نتایجی باعث کاهش استحکام مکانیکی گرین پیشرانه می شود. رابطه بین شکنندگی گرین‌ها و کاهش وزن مولکولی نیتروسلولز این موضوع را نشان می‌دهد که با کاهش طول زنجیر پلیمری نیتروسلولز پیشرانه‌ها ترد و شکننده می‌شوند.



شکل۹- منحنی های چالاکی دینامیک برای پیشرانه یک پایه پیر نشده(چپ) و پیشرانه های پیر شده(راست)[۱۴].



شکل۱۰- منحنی های چالاکی دینامیک برای پیشرانه دو پایه پیر نشده(چپ) و پیشرانه های پیر شده(راست)[۱۴].



شکل۱۱- نتایج آزمایشات–GPC توزیع وزن مولکولی پیشرانه های یک پایه(چپ) و پیشرانه های دو پایه (راست) قبل و پس از پیر شدگی[۱۴].

۶- روش‌های ارزیابی پایداری بالستیکی پیشرانه‌های تفنگی

عموماً از پیرشدگی تسریع یافته[1] در شرایط کنترل شده دمایی برای ارزیابی عمر پایدار شیمیایی پیشرانه‌ها استفاده می‌شود. همچنین به منظور ارزیابی تغییرات بالستیکی پیشرانه‌ها که پس از انبارداری دراز مدت انتظار آن می رود می رود اتفاق بیافتد، از انبارداری مشابهی (مشابه با انبارداری برای ارزیابی پایداری شیمیایی) استفاده می‌شود. پس از پیر شدگی تسریع یافته پیشرانه‌ها از روش‌های مختلفی برای ارزیابی تغییرات در خواص بالستیکی پیشرانه های پیر شده و مقایسه با پیشرانه های پیر نشده استفاده می‌شود، برخی از مهمترین روش‌های ارزیابی بالستیکی پیشرانه‌های تفنگی به طور خلاصه در زیر آمده است:

۶-۱- آنالیز غلظت تعدیل کننده و نفوذ آن بر اساس اسپکتروسکپی تبدیل فوریه مادون قرمز

به منظور بررسی پایداری بالستیکی پیشرانه‌های حاوی تعدیل کننده، فرایند مهاجرت و مقدار آن از طریق بررسی پروفایل غلظت تعدیل کننده تعیین می‌شود، این نوع آنالیز امکان تعیین ضریب نفوذ تعدیل کننده بر حسب دما به منظور محاسبه انرژی فعال سازی را فراهم می نماید. اساساً برای تعیین تغییرات گرادیان غلظت تعدیل کننده در طی پیر شدگی اسپکتروسکپی تبدیل فوریه مادون قرمز استفاده می شود[۱۶].

۶-۲- آزمون بمب بالستیک

اندازه گیری‌های بمب بالستیک با استفاده از یک دستورالعمل اشتعال ویژه تعیین می‌شود. این آزمون امکان تعیین عمق نفوذ تعدیل کننده و مشاهده مهاجرت تعدیل کننده با زمان را از طریق تعیین سرعت سوزش فراهم می آورد[۱۶]. در این آزمون دو نمونه یکسان از پیشرانه، یکی ذخیره شده در شرایط معمولی و دیگری در شرایط پیر شدگی تسریع یافته مورد مقایسه قرار می گیرند. به طور معمول در این آزمون ها برای پیشرانه‌های معمولی پس از این که ماهها در شرایط انبارداری تسریع شده قرار می گیرند، تغییرات قابل توجه در چالاکی به سختی در دو یا سه درصد مشاهده می‌شود، به علاوه روش تعیین عمر بالستیکی با استفاده از بمب بالستیک همانطور که برای ارزیابی عمر باقی مانده مهمات قدیمی موجود در انبار مفید است، برای مهمات جدید خریداری شده نیز مفید می‌باشد[۲].

۶-۳- آزمون شلیک

آزمون شلیک با ثبت اندازه گیری فشار محفظه احتراق و سرعت پرتابه، امکان ارزیابی اثر فرایند پیر شدگی بر رفتار بالستیکی پیشرانه را ایجاد می‌کند[۱۶]. در مقایسه با بمب بالستیک، در آزمون شلیک دقت کافی برای اندازه گیری(اندازه گیری سرعت دهانه و ماکزیمم فشار) وجود ندارد و از اینرو مستلزم شرایط آزمایشگاهی بسیار مناسبی می‌باشد. به علاوه مهمات و فضای نسبتاً زیادی برای انبارداری تسریع یافته در شرایط گرم مورد نیاز می‌باشد، در حالی که اندازه گیری با استفاده از بمب بالستیک اقتصادی بوده و اغلب مقدار کمی پیشرانه در این آزمون مورد نیاز می‌باشد.

۶-۴- آزمون حرارت انفجار

اساساً تجزیه پیشرانه موجب افزایش دما می شود که ممکن است به خود اشتعالی، اتلاف انرژی و نتیجتاً کاهش سرعت دهانه منجر شود. بررسی انجام شده در خصوص پایداری بالستیکی یک نمونه پیشرانه سه پایه توسط بورس[2] و همکارانش نشان داد که پایداری بالستیکی به علت کاهش مقادیر گرمایی کاهش می‌یابد، که این کاهش مستقیماً با مقدار کلی حرارت آزاد شده در طی انبارداری متناسب است. به علاوه نتایج تحقیقات جونکوو جونیچی[3] نشان می‌دهد که به علت تغییر انرژی پیشرانه های تفنگی در طی پیر شدگی، عمر بالستیکی محدود شود. یافته های آنان نشان می‌دهد که تغییر انرژی پیشرانه های تفنگی در طی پیر شدگی با اندازه گیری حرارت انفجار قابل توصیف می‌باشد. به عنوان مثال با بررسی حرارت انفجار در یک سری از پیشرانه‌های یک پایه و یک سری از پیشرانه‌های دو پایه، یک افزایش جزئی در حرارت انفجار برای پیشرانه‌های یک پایه و یک کاهش قابل توجه در پیشرانه‌های دو پایه مشاهده کردند. این نتایج با نتایج حاصل از آزمایشات شلیک واقعی برای پیشرانه‌های تفنگی پیر شده، قابل انطباق است به طوری که برای پیشرانه‌های یک پایه یک افزایش جزئی در سرعت دهانه و یک کاهش قابل توجه در سرعت دهانه برای پیشرانه دو پایه مشاهده شد. نتایج این تحقیقات به خوبی این موضوع را ثابت می‌کند که اندازه گیری حرارت انفجار یک روش خوب برای ارزیابی عمر بالستیکی در پیشرانه های تفنگی است[۳۰]. به طور خلاصه اندازه گیری تغییر مقادیر حرارتی در طی پیر شدگی برای تعیین این که آیا پیشرانه پیر شده به ضوابط بالستیکی دست می‌یابد یا نه به کار می‌رود. به طور معمول مقادیر حرارتی در طی پیر شدگی چندان تغییر نمی‌کنند و فقط صرفاً از نظر تئوری به یک تغییر کوچک در سرعت دهانه منجر می‌شود. با این وجود این تنها زمانی اتفاق می افتد که دیگر پارامترهای پیشرانه که با رفتار سوزش در ارتباط می باشند نظیر خصوصیات مکانیکی بدون تغییر باقی بمانند[۱۴].

۷- نتیجه گیری

انبارداری دراز مدت پیشرانه‌ها و مهمات به علت ایجاد تغییر در ترکیب پیشرانه می‌تواند موجب ایجاد تاثیرات منفی بر پارامتر های بالستیکی

1 -Accelerated aging

2- Boers
3- Junko and Jun'ichi

پیشرانه شود. در پیشرانه‌های متداول تفنگی پدیده تجزیه نیتروسلولز در کنار تاثیر بر پایداری حرارتی پیشرانه‌ها بر یکپارچگی مکانیکی گرین‌های پیشرانه‌ها نیز موثر است. چنین نتایجی با آزمایشات تجربی انجام شده پس از پیر شدگی مصنوعی پیشرانه‌ها و سپس بررسی خصوصیات بالستیکی آن توسط بمب بالستیک و آزمون های شلیک توسط محققین به اثبات رسیده است. علاوه بر تجزیه نیتروسلولز نفوذ تعدیل کننده‌های سطح که با هدف اصلاح سوزش و کاهش حساسیت دمایی پیشرانه به کار می روند نیز بسیار حائز اهمیت است. بررسی های انجام شده توسط محققین مختلف نشان می‌دهد که تغییر گرادیان غلظت تعدیل کننده موجب تغییر ماکزیمم فشار محفظه و سرعت دهانه می‌شود. به طور خلاصه ناسازگاری، فرایند مهاجرت و تا حدی تجزیه جزئی نیتروسلولز مهمترین فاکتور هایی می‌باشند که عمر مفید یک پیشرانه را محدود می‌کنند. در این مطالعه با بررسی انواع پیشرانه‌های مختلف مشخص شد که پیشرانه های LOVA، EI و ECL پایداری بالستیکی بالایی را در طی انبارداری از خود نشان می‌دهند. برای بررسی علت ناپایداری بالستیکی در یک پیشرانه معین پیشنهاد می‌شود که کاهش وزن مولکولی نیتروسلولز، نفوذ تعدیل کننده های سطحی، مهاجرت نرم کننده به خوبی تحت بررسی قرار گیرد. به علاوه بین نتایج حاصل از آزمایشات شیمیایی، بالستیکی و مکانیکی مقایسه تطبیقی انجام شود.

مراجع

[1] Barboza, R. L.; Rodrigues, M. " Closed Vessel Experiment Modelling and Ballistic Parameter Estimation of Gun Propellants for Lifetime Prediction ."; Latin American Applied Research, 2006, 36, 229-233.

[2] Siva, R . "Closed Vessel Technique for Assessment of Ballistic Characteristics in Quality Control of Propellant Manufacture."; Journal Defence Science, 1988, 28, 180-202.

[3] William, F. O . " Dynamic Vivacity and Its Application to Conventional and Electrothermal-Chemical (ETC) Closed Chamber Results."; ARL-TR-2631, 2001,21, 1-49.

[4] Geibler, N.; Eisenreich, A. G. " New Aspects for Determination of Aging Behaviour of Energetic Materials."; 32nd International Annual Conference of ICT 2001, 1-12.

[5] Muhamed Suceka . "Application of DSC Stubility Studies of Double Base Propellants. "; 6th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials 2003, 392-404.

[6] Beat, V.; Bruno, O. "Ballistics Shelf Life of Propellants for Medium and Small Caliber Ammunition – Influence of Deterrent Diffusion and Nitrocellulose Degradation."; 19th International Symposium of Ballistics 2001,35, 41-48.

[7] Bertrand, R.; Rainer, B. " Simulation of Deterrent Diffusion in Double Base Propellant Under Different Temperature Profiles."; http://www.akts.com, 2009.

[8] Lussier, L.S. " Developments of Modern Methods for Determination of Stabilizer in Propellants."; Defence Research Establishment Center DE Pour LA Defense Valcatier,1996,4,1-61.

[9] Chris, V. D.; Wim, D,K. "Functional Life time of Gun Propellants."; 19th International Symposium of Ballistics 2001, 139-145.

[10] Manfred, A. B. "Comparision of Surveilance Methods for Gun Propellants."; 33nd International Annual Conference of (ICT)2002, 1-8.

[11] Beat,V.; Ryf , K. " EI-Technology- The Key for High Performance Propulsion Design."; 29th Annual Conference of ICT 1998, 1-14.

[12] Volk, F.; Manfered, A. B. " Determination of Chemical and Mechanical Properties of Double Base Propellants During Aging."; Propellants, Explosives, Pyrotechnics. 1987, 12, 81-87.

[14] Wim, D. K . "Stability of propellants. thermal or functional. "; 31 International Annual Conference of ICT 2000, 1-8.

[15] Jeunieau, L.; Lefebvre, M. H. "Stability Analyses of Rolled Ball Propellants Part II - Ballistic Stability."; 35th International Annual Conference of ICT 2004, 1-14.

[16] Jeunieau, L.; Michel, H. L. "Physical and Chemical Stability of Deterred Propellants."; Proceedings of the International Autumn Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics, 2005, 465-474.

[17] Nicolaides, S.; Wiegand, D. A. "The mechanical Behavior of Gun Propellant Grains in Interior Ballistics."; Army Armament Research and Development, Large Caliber Weapon System Lab 1982, 82, 1-25.

[18] Singh, K.; Pant, C.S. ; Sanghavi, R. ; Singh, A ." Studies on Triple Base Gun Propellant Based on Two Energetic Azido Esters."; Journal of Energetic Materials . 2008, 30 , 356-362.

[19] Pinto, J.; Georgevich, D.; Nicolaides ." Dynamic Mechanical Properties of Candidate Lova and Nitrocellulose Base Gun Propellants after up to 18 Months of Accelerated (High Temperature) Aging."; Army Armament Research and Development Center Dover NJ Large Caliber Weapon System Lab, 1984,157, 1-57.

[20] Rose, A. R ." LOVA Propellant Ageings: Effects of Residual Solvent."; ARL-TR-472, 1996,1-20.

[21] Maruyama, J.; Kimura Jun'ichi ." Aging of LOVA Candidate Gun Propellants."; Technical Report. Technical Research and Development Institute, Japan Defense Agency 1999, 1-15.

[22] Beat, V. " EI^{+} -a New Nitroglycerine Free and Sensitiveness Reduced Propellant for Medium Caliber and Mortar Applications. "; 33nd International Annual Conference of ICT 2002, 1-15.

[23] Kelly, M.; Jim, W. " ECL®Propellant Demonstration for Extended Range in 120mm Mortar Combined with Ballistic and Chemical Stability Equals Win for the Warfighter."; 2009, 1-15.

[24] Wimmis, M. "ECL® Technology – New High Performance Medium Calibre Propellants With High Thermal Resistance."; http://www.nitrochemie.com, 2009.

[25] Laurence, J.; Michel, Lefebvre, A ."Spherical Deterred Propellant: Influence of the Concentration Gradient on the Burninig Rate Calculation."; 34th International Annual Conference of ICT 2003, 1-11.

[26] Meara, O. " Nitrocellulose Propellant Containing a Cellulosic Burn Rate Modifire."; US Patent 5, 524, 544, 1996.

[27] Beat, V.; Bruno, O ." The Diffusion of Deterrents into Propellants Observed by FTIR Microspectroscopy- Quantification of the Diffusion Process."; Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1996, 21, 330-336.

[28] XIAO, Z.; YING, S. "Preparation and Combustion Performance of High Progressivity Single-Base Oblate Spherical Powder with Large Web Thickness."; Proceedings of the 2011 International Autumn Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics 2011, 156-157.

[29] Klerk, W. P.; Van driel, C. A . " Changing of Ballistic Parameters from Aged Gun Propellants."; International Conference on Computational Ballistics 2003, 193-203.

[30] Morita, J.; Kimura, J. “ Life Cycles of Energetic Materials. (Part 2). Comparison between Heat of Explosion for Aged Propellants and the Actual Firing Test Data for Aged Propellants.”; Technical Research and Development Institute, 2000, 67, 67-77.