تحقیق و توسعه مواد پرانرژی

سال هفتم- شماره ۲ - شماره پیاپی ۱۴- پاییز ۱۳۹۰

مروری بر روند توسعه پیشرانه های تفنگی

علیرضا زارعی*[1]، احد جهانیان[2]

تهران- دانشگاه صنعتی مالک اشتر

***E-mail: zarei1349@gmail.com**

(تاریخ وصول: ۹۰/۱/۱۶ ، تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱۰)

چکیده

پیشرانه ماده منفجره ای است که دستخوش احتراق سریع و قابل پیش بینی می شود، در نتیجه احتراق پیشرانه‌ها حجم بالایی از گاز های داغ تولید می شود، از این گازها برای به جلو راندن پرتابه‌ها استفاده می شود. سرعت پرتاب پرتابه در پیشرانه‌های تفنگی، به سرعت تولید گاز که خود به انرژی شیمیایی آزاد شده وابسته است، بستگی دارد. امروزه برای توسعه پیشرانه‌های تفنگی جدید با قابلیت های ویژه تلاش‌های زیادی صورت گرفته است. در این مقاله ضمن معرفی برخی از اصول حاکم بر پیشرانه‌های تفنگی و معرفی پیشرانه‌های متداول تفنگی، به بررسی دستاوردهای علمی جدید نظیر پیشرانه تفنگی نیترآمینی ، پیشرانه تفنگی با آسیب پذیری پایین(LOVA)، پیشرانه تفنگی با ضریب دمایی پایین(LTC)، پیشرانه تفنگی بر پایه CL-20،پیشرانه های تفنگی بر پایه ترکیبات غنی از نیتروژن(NRC)، پیشرانه تفنگی جدید بر پایه AL و AP پرداخته شده و در نهایت خصوصیات هر کدام از این نوع پیشرانه‌ها مورد بررسی قرار داده می شوند.

واژه های کلیدی: پیشرانه، پیشرانه‌های تفنگی جدید.

۱- مقدمه

باروت سیاه (متشکل از نیترات پتاسیم، سولفور و زغال چوب) که به باروت نیز معروف است، به احتمال بسیار زیاد اولین ترکیب منفجره بوده است. این ترکیب ۲۲۰ سال قبل از میلاد، توسط گروهی از کیمیاگران چینی به طور تصادفی به دست آمد. در پایان قرن ۱۳م در بسیاری از کشورها، با اهداف نظامی، مانند ایجاد شکاف در دیوار قلعه‌ها و شهرها از باروت سیاه استفاده شد. سابقه استفاده از باروت سیاه در مصارف غیر نظامی به سال های ۱۵۷۲- ۱۵۴۸م مربوط می‌شود، که از این ترکیب برای لایروبی رودخانه نیمن در اروپای شمالی استفاده شد[۱]. با پیشرفت های علمی بشر در قرن ۱۹-۱۸، به تدریج اجزاء پر انرژی نظیر نیتروسلولز، نیتروگلیسرین و نیتروگوانیدین کشف شد، با کشف این ترکیبات پرانرژی و ترکیبات

۱- دانشیار شیمی تجزیه

۲- کارشناس ارشد پیشرانه

Archive of SID

www.SID.ir

کریستالی پرانرژی دیگری نظیر RDX و HMX، تحول اساسی در تولید مواد منفجره و پیشرانه‌ها اتفاق افتاد. امروزه به طور گسترده ای در سلاح‌هایی با کالیبر مختلف از پیشرانه‌های تفنگی استفاده می شود. در یک سلاح با فشردن ماشه اسلحه، دستگیره شلیک آزاد شده و به چاشنی اصابت کرده و موجب سوزش پیشرانه می‌شود. در نتیجه سوزش پیشرانه، مقدار قابل توجهی از گاز با دمای بالا تولید می‌شود که باعث افزایش فشار در محفظه احتراق می شود، فشار تولید شده موجب پرتاب پرتابه با سرعت بسیار زیادی می‌شود [۲]. در شکل (۱) مراحل شلیک نمایش داده شده است. به طور کلی هدف اولیه از تلاش در جهت توسعه پیشرانه های تفنگی نایل شدن به اهدافی مانند موارد زیر می‌باشد:

- دستیابی به ثابت نیروی بالا(ایمپتوس)[1]
- کاهش شعله دهانه
- کاهش آسیب پذیری
- سهولت تولید
- کاهش سایش لوله سلاح به منظور افزایش دقت تیر اندازی و افزایش طول عمر لوله

شکل۱- مشتعل شدن کارتریج [۲].

در سال‌های اخیر برای توسعه پیشرانه‌های تفنگی تلاش‌های زیادی صورت گرفته است، حاصل این تلاش‌ها به افزایش کارایی و کاهش آسیب پذیری منجر شده است. قبل از تشریح روند توسعه پیشرانه‌های تفنگی به مفاهیمی نظیر سرعت سوزش پیشرانه، ایمپتوس، چالاکی دینامیک و افزودنی های پیشرانه‌های تفنگی پرداخته می‌شود.

۲- برخی از مفاهیم پیشرانه‌های تفنگی

شاید برای مهندسین و محققینی که در ارتباط با پیشرانه‌های تفنگی کار می‌کنند، اطلاع از برخی از اصول اساسی در زمینه پیشرانه‌های تفنگی مفید باشد، بدین منظور در این بخش، برخی از این مفاهیم مورد بررسی قرار گرفته اند.

۲-۱- سرعت سوزش

یکی از خصوصیات مهم پیشرانه‌های تفنگی سرعت سوزش است. طبق نظریه بالستیکی،گرین پیشرانه در لایه‌های موازی می‌سوزد، این سوزش در یک مسیر عمود بر سطح به پیش می‌رود. این مفهوم پذیرفته شده جهانی به قانون پیوبرت[2] معروف است و توسط بسیاری از آزمون‌ها و بررسی‌ها تایید می‌شود. اصولاً پیشرانه‌های تفنگی به منظور کنترل سرعت سوزش به شکل‌های مختلفی تولید می‌شوند شکل(۲). سرعت سوزش خطی بر حسب فشار گاز پیشرانه تفنگی مشخصه یک ترکیب است و برای اغلب محاسبات بالستیک داخلی مورد نیاز است. به طور معمول سرعت سوزش پیشرانه را نمی توان محاسبه کرد و بایستی مورد اندازگیری قرار گیرد[۳]. سرعت سوزش پیشرانه تفنگی عموماً به وسیله بمب بسته[3] تعیین می شود. به علاوه خصوصیات سرعت سوزش می‌تواند توسط رابطه $r = \beta P^{\alpha}$ بیان شود، که در آن r سرعت سوزش، (β) ضریب سرعت سوزش، α نمای سرعت سوزش و p فشار محفظه احتراق است.

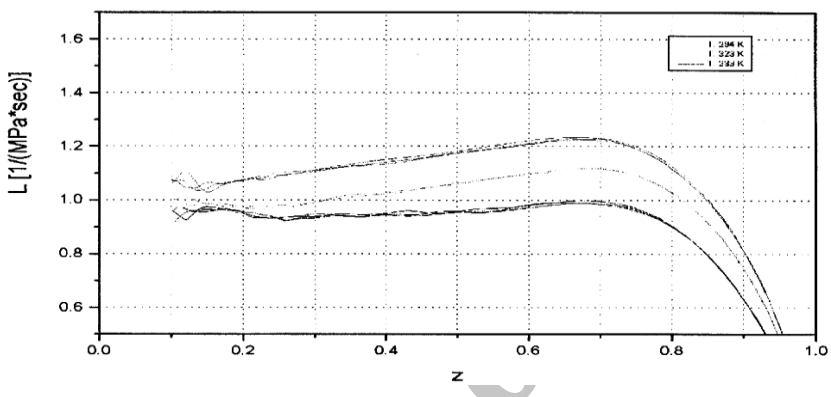
نمای سرعت سوزش پایین ($\alpha < 1$) و ضریب خطی سرعت سوزش مناسب، ($\beta < 0/15 cm/s/Mpa$) شرایط مورد پذیرش برای پیشرانه‌های تفنگی است[۴].

1- Impetuse

2- Piobret
3 -Closed vessel

Archive of SID
www.SID.ir

شکل۲- نمونه‌هایی از گرین‌های بدون دود استوانه ای در شکل و اندازه‌های مختلف[۴].



شکل۳- خصوصیات چالاکی دینامیک پیشرانه JA2 در سه دمای (°C ۵۰+، °C ۲۱ و °C ۴۰-) با حجم بمب ۲۰۰ میلی لیتر و دانسیته بارگذاری g/cm^3 ۰/۳[۷].

۲-۲- ایمپتوس

مقدار نیروی اعمال شده به پرتابه توسط گازهای احتراق ایمپتوس تعریف می‌شود، این کمیت به مقدار و دمای گازهای ناشی از احتراق پیشرانه وابسته می باشد و با معادله زیر بیان می‌شود:

$$F = nRT_o = \frac{RT_o}{\bar{M}} \qquad (۱)$$

که در آن F نیروی اعمال شده به پرتابه (ایمپتوس) بر حسب ژول بر گرم، n تعداد مول گاز تولید شده از یک گرم پیشرانه بر حسب مول بر گرم، T_o دمای شعله آدیاباتیک برحسب کلوین، $\bar{M}$ جرم مولی متوسط گازهای تولید شده برحسب گرم بر مول و R ثابت جهانی گازها بر حسب J/mol.k می باشد. مقدار F پارامتر بسیار مفیدی برای مقایسه عملکرد پیشرانه‌های تفنگی است و به طور تجربی توسط مقدار سوزش پیشرانه در کلوزد وسل تعیین می شود.

۲-۳- چالاکی دینامیک

چالاکی دینامیک[1] در پیشرانه‌های تفنگی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، چالاکی دینامیک شاخص بسیار مهمی برای هندسه پیشرانه در آزمایشات محفظه فشار است و به عوامل متعددی همچون هندسه گرین وابعاد آن، نمای سرعت سوزش، شکنندگی گرین، تغییر پذیری اشتعال و غیره حساس است. چالاکی دینامیک به تنهایی به خصوصیات پیشرانه ارتباط ندارد، چالاکی دینامیک طبق رابطه زیر بیان می‌شود[۵].

$$L = \frac{\frac{dp(t)}{dt}}{p * p_{max}} \qquad (۲)$$

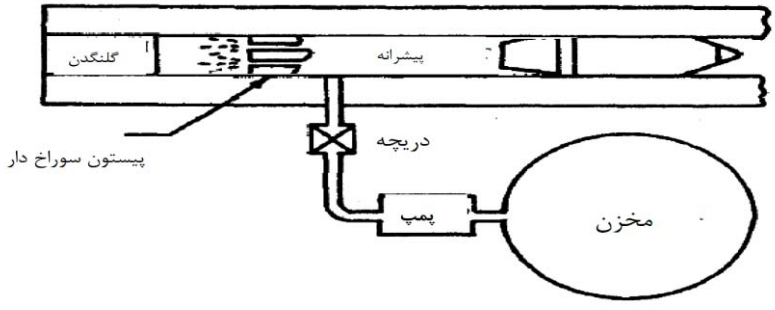
که در این رابطه p(t) فشار در هر لحظه از زمان و p_{max} ماکزیمم فشار در آزمایش است. به علاوه چون p(t) به طور یکنواخت به عنوان تابعی از زمان افزایش می‌یابد، بنابراین اغلب L به عنوان تابعی از p/p_{max} بیان می‌شود[۶]. چالاکی دینامیک پیشرانه دو پایه JA2 مطابق شکل(۳) می‌باشد[۷].

1 - Dynamic Vivacity

www.SID.ir

جدول۱- برخی از افزودنی‌های پیشرانه‌های تفنگی و وظیفه آنها[۱].

وظیفه	افزودنی	فعالیت
پایدار کننده	کاربامیت(دی فنیل دی اتیل اوره)، متیل سنترالیت	افزایش عمر پیشرانه
نرم کننده	دی فنیل فتالات، کاربامیتو متیل سنترالیت	ژلاتینی نمودن نیترو سلولز
خنک کننده	دی فنیل فتالات، کاربامیت، متیل سنترالیت و دی نیترو تولئن	کاهش دمای شعله
تعدیل کننده سطح	دی فنیل فتالات، کاربامیت، متیل سنترالیت ،دی نیترو تولئن وگرافیت	کاهش سرعت سوزش سطح گرین
بازدارنده های برق دهانه	پتاسیم سولفات،پتاسیم نیترات،فلوئورید و سدیم کریولیت	کاهش برق دهانه
عامل مس زدا	سرب یا فویل قلع، ترکیبات حاوی سرب یا قلع	حذف مس ته نشین شده
ضد فرسایش	دی اکسید تیتانیم و تالک	کاهش سایش لوله تفنگ
روان کننده سطح	گرافیت	بهبود خصوصیات جریان



شکل۴- سیستم تفنگ با پیشرانه مایع[۱۸].

با توجه به شکل(۳)، چالاکی دینامیک پیشرانه دو پایهJA2، با افزایش دما بیشتر می شود، و این به معنی وابستگی سوزش پیشرانه به دما می باشد. عموماً از چالاکی دینامیک برای مقایسه بسیاری از پارامتر های پیشرانه‌های تفنگی استفاده می‌شود.

۲-۴- افزودنی‌های پیشرانه‌های تفنگی

پیشرانه‌های تفنگی شامل افزودنی هایی می‌باشند که به منظور رساندن خصوصیات مورد نیاز معین به پیشرانه افزوده می‌شوند. این افزودنی ها مطابق کاربرد طبق جدول (۱) طبقه بندی می‌شوند. یک افزودنی ممکن است بیش از یک نقش داشته باشد به عنوان مثال، کاربامیت به عنوان پایدار کننده، نرم کننده، خنک کننده و تعدیل کننده سطح نیز استفاده می‌شود.

۳- انواع پیشرانه‌های تفنگی

به طور کلی پیشرانه‌های تفنگی شامل پیشرانه‌های تک پایه، دو پایه سه پایه، نیترآمینی می‌باشند، اخیراً پیشرانه‌های با آسیب پذیری پایین[1](LOVA)، پیشرانه تفنگی با ضریب دمایی پایین[2](LTC) و پیشرانه‌های تفنگی مایع نیز در کشورهای توسعه یافته، مورد تحقیق و توسعه قرار گرفته اند[۸]. در این بخش به طور خلاصه این پیشرانه‌ها معرفی شده و روند توسعه این پیشرانه‌ها بررسی می‌شود.

۳-۱- پیشرانه تفنگی مایع

در سال‌های اخیر، در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته، بالاخص ایالات متحده و آلمان تحقیقات گسترده ای جهت جایگزینی پیشرانه‌های جامد صورت گرفته است. نتیجه این تحقیقات منجر به تهیه نسل جدیدی از پیشرانه ها موسوم به پیشرانه‌های تفنگی مایع[3] شده است[۱۷]. به طور کلی یک پیشرانه مایع، ترکیبی است که در یک محفظه ی احتراق در حالت مایع محترق می‌شود. به طور کلی، مزیت استفاده از پیشرانه‌های تفنگی مایع شامل وزن سبک، تولید

1- Low Vulnerability Ammunition(LOVA)
2- Low Temperature Coefficient(LTC)
3- Liquid gun propellant(LGP)

www.SID.ir

ارزان، آسیب پذیری کمتر به اشتعال تصادفی، بازده انرژی بالا در واحد حجم و ظرفیت ذخیره سازی بالا می‌باشد. تحقیقات قابل توجهی در زمینه این پیشرانه‌ها انجام شده است و پژوهش‌های زیادی نیز در دست مطالعه می‌باشد. به نظر می‌رسد، پیشرانه‌های تفنگی مایع، احتمالاً در قرن ۲۱ به کار گرفته شوند. پیشرانه تفنگی مایع در دست توسعه، دارای ترکیباتی است که عمدتاً شامل محلول دوغابی (حدود۶۳٪) نمک کریستال هیدروکسیل آمونیوم نیترات (HAN)، مخلوط ۵۰:۵۰ نیترومتان و ایزوپروپیل نیترات می باشد. در شکل(۴) شماتیک سیستم تفنگ با پیشرانه مایع نشان داده شده است. مطالعات نشان می دهد که برای به روز آوری این نوع از پیشرانه‌های تفنگی، تحقیقات بسیار زیادی در زمینه سیستم پیشرانش لازم است[۱۸].

۳-۲- پیشرانه‌های تفنگی جامد

۳-۲-۱- پیشرانه‌های متداول تفنگی(تک پایه، دو پایه و سه پایه)

در پیشرانه‌های تک پایه فقط از نیتروسلولز استفاده می‌شود، نیتروسلولز موجود با استفاده از نرم کننده هایی مانند دی بوتیل فتالات ژل می‌شود. در حالی که در پیشرانه‌های دو پایه علاوه بر نیتروسلولز عمدتاً از نیتروگلیسرین برای ژل کردن نیتروسلولز استفاده می‌شود. این پیشرانه دمای شعله بالایی را ایجاد می‌کند و بنابراین باعث سایش لوله تفنگ می‌شود به علاوه، از مشکلات دیگر این پیشرانه ها برق دهانه می‌باشد [۹]. به علاوه، در برخی از پیشرانه های تفنگی دو پایه از ترکیب نیتروگلیسرین و دی اتیلن گلیکول دی نیترات(DEGDN) به همراه نیتروگلیسرین برای ژل کردن نیتروسلولز استفاده می شود، پیشرانه دوپایه تفنگی JA2 نمونه ای از چنین پیشرانه هایی می‌باشد. به منظور کاهش دمای شعله پیشرانه‌های دو پایه، یک ماده پرانرژی سوم به نام نیتروگوانیدین به نیتروسلولز و نیتروگلیسرین افزوده می‌شود که به چنین پیشرانه ای، پیشرانه سه پایه گفته می‌شود. وارد کردن حدود ۵۰٪ نیتروگوانیدین به ترکیب، به کاهش دمای شعله و افزایش حجم گاز منجر می‌شود. غالباً، سایش لوله تفنگ و برق دهانه نیز کاهش می یابد، با این وجود مقدار جزئی از عملکرد پیشرانه نیز کاهش می‌یابد.

۳-۲-۲- پیشرانه‌های نیترآمینی

به منظور افزایش سرعت دهانه و افزایش انرژی پیشرانه سه پایه، RDX با نیتروگوانیدین در پیشرانه سه پایه جایگزین شد. عیب استفاده از پیشرانه های نیترآمینی، سایش لوله تفنگ به علت بالا رفتن دمای شعله و آسیب پذیری به اشتعال تصادفی است که می تواند به انفجار منجر شود، می‌باشد. در غیاب نیترات استرهای، این پیشرانه حساسیت به ضربه کمتری را از خود نشان می‌دهد، بنابراین، در مقایسه با پیشرانه‌های متداول این نوع از پیشرانه‌ها توسط تحریک خارجی کمتر مستعد اشتعال می‌شوند. تقریباً تمام فرمولاسیون های حاوی کریستال های نیترآمینی حلقوی، حساسیت بالایی از سرعت سوزش با فشار (نمای فشار بالا) در ناحیه فشاری بالا را از خود نشان می‌دهند[۱۰].

۳-۲-۳- پیشرانه‌های با آسیب پذیری پایین (LOVA)

در طول سال های اخیر، به دلیل شروع تصادفی پیشرانه‌های متداول(تک پایه، دو پایه و سه پایه) که می تواند به وقایع ناگواری منجر شود و نیز سبب تلفات سنگین برای خدمه و تجهیزات با ارزش شود، مهمات با آسیب پذیری پایین (LOVA) اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده اند[۱۱]. در پیشرانه‌های LOVA از نیترات های استر که حساسیت بالایی را از خود نشان می‌دهند به میزان بسیار کمی استفاده می شود، در این پیشرانه ها از اجزاء جدیدتر در فرمولاسیون پیشرانه استفاده می‌شود. در این فرمولاسیون ها از یک بایندر بی اثر مانند سلولز استات، سلولز استات بوتیرات، سلولز استات پروپیونات و غیره استفاده می‌شود. به علاوه در فرمولاسیون های پیشرانه‌های تفنگی LOVA از نیترآمین هایی نظیر RDX و HMX که انرژی مورد نیاز را تامین می کنند، استفاده می‌شود [۱۲]. در جدول (۲) ترکیب چند نوع از پیشرانه‌های تفنگی LOVA ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

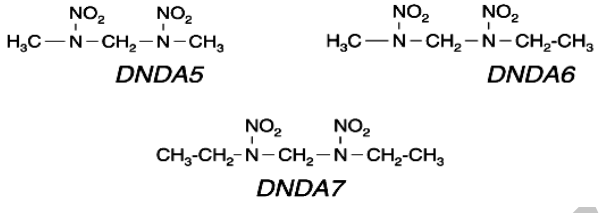
جدول ۲- ترکیب شیمیایی چند نمونه از پیشرانه‌های (LOVA) [۱۱].

نوع بایندر	ترکیب					
	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
سلولز استات	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۶
نیتروسلولز (۱۲/۲ N2٪)	۴	۴	۴	۴	۴	-
RDX	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰	۸۰
تری استین	۷/۸	۶/۸	۵/۸	۴/۸	۳/۸	۳/۸
کاربامیت	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲

۳-۲-۴- پیشرانه تفنگی با ضریب دمایی پایین (LTC)

عموماً پیشرانه‌ها به عنوان یک ماده جامد، در شرایط محیطی مختلف به کار برده می‌شوند. بنابراین قبل از شلیک در اسلحه، پیشرانه درگستره دمایی ۴۰°C- تا ۵۰°C+ قرار می‌گیرد. مهمترین نتیجه این شرایط محیطی مختلف، کاهش دقت تیراندازی است که به علت تخریب مواد به علت ترک خوردگی گرین در دمای پایین و نرم شدگی در دماهای بالا ایجاد می‌شود، به علاوه، این رویداد سبب از بین رفتن کنترل سطح سوزش می‌شود. این مشکل همچنین در راکت و یا بوستر پرتاب کننده‌ها[1] نیز می‌تواند اتفاق بیافتد و موجب ترک خوردگی و تخریب مجموعه شود. این نقایص، نهایتاً می‌تواند باعث افزایش غیرقابل کنترل سطح سوزش شود. نتیجه کلی این موضوع، احتراق غیرقابل کنترلی است که موجب ایجاد فشار غیرعادی،کاهش کارایی در سلاح، کاهش دقت تیر اندازی و کاهش برد می‌شود [۱۳]. مولر و لنگلوتز[2] پیشرانه‌ای را که شامل RDX و مخلوطی از سه نرم کننده دی‌نیترآمینی(DNDA57) را مورد بررسی قرار دادند. تحقیقات نشان داد که چنین ترکیبی به احتراق مستقل از دما منجر می‌شود. نرم کننده مخلوط DNDA57 شامل سه نوع از مولکول های مختلف است، این مخلوط شامل۲،۴- دی نیترو ۲،۴- دی آزا پنتان (DNDA5)، ۲،۴- دی نیترو۲،۴- دی آزا هگزان (DNDA6) و ۳،۵- دی نیترو ۳،۵ دی آزا هپتان(DNDA7) می باشد[۱۴]. شکل (۵) ساختار این سه نرم کننده پرانرژی جدید را نشان می‌دهد.

این نوع از پیشرانه‌های تفنگی، با فرمولاسیونی خاص مشکلات پیشرانه‌های متداول را برطرف می‌کند. این پیشرانه جدید براساس RDX، بایندر نیتروسلولزی و ترکیب سه نرم‌کننده مخصوص (DNDA57) می‌باشد، که به پیشرانه تفنگی با ضریب دمایی پایین (LTC)[3] معروف است.



شکل ۵- ساختار نرم کننده‌هایDNDA5 ، DNDA6 وDNDA7 [۱۳].

به علاوه از مزایای دیگر این پیشرانه جدید، دمای اشتعال بالا و پایداری شیمیایی قابل توجه، در مقایسه با پیشرانه‌های متداول می‌باشد، از طرف دیگر این پیشرانه جدید علاوه بر داشتن ثابت نیروی بالا، دارای دمای شعله آدیاباتیک پایین و وزن مولکولی پایین گازهای واکنش می باشد، که باعث کاهش سایش لوله تفنگ در این پیشرانه جدید می‌شود [۱۵]. در پیشرانه تفنگی جدید LTC، سرعت سوزش به سختی به دمای پیشرانه وابسته است و این بدان معنی است که ضریب دمایی در این نوع از پیشرانه‌ها پایین است و این آن چیزی است که آن را پیشرانه تفنگی با ضریب دمایی پایین می‌نامند. در پیشرانه تفنگی LTC ماکزیمم فشار گاز می‌تواند با تمام مزیت‌های خود عمل کند و می‌تواند برای افزایش سرعت دهانه به کار برده شود، این در حالی است که در پیشرانه‌های متداول تفنگی ماکزیمم فشار گاز تقریباً به طور خطی با دما افزایش می‌یابد. چنین موضوعی در

1-Luncher booster
2-Mueller& Langlotz

3 -Low temperature coefficient (LTC) gun propellant

Archive of SID
www.SID.ir

پیشرانه‌های متداول به کاهش عملکرد در دماهای پایین و ایجاد بیش از اندازه فشار، در دما های بالا منجر می‌شود [۱۶].

۳-۲-۵- پیشرانه تفنگی جدید بر پایه CL-20

در سال‌های اخیر با سنتز ترکیبات پرانرژی جدید، زمینه ورود این ترکیبات به پیشرانه های تفنگی فراهم آمده است. یکی از این ترکیبات پرانرژی جدید ترکیب کریستالی CL-20 است، در یک تحقیق از پیشرانه حاوی CL-20 با نرم کننده پرانرژی BDNPA/F استفاده شد، نتایج آزمایش بالستیکی این نوع پیشرانه جدید در دماهای۴۰°C - ، ۲۱ °C + و۵۰°C + در محفظه بسته نشان می‌دهد که این نوع پیشرانه تفنگی جدید با پایه CL-20 و BDNPA/F خصوصیاتی شبیه به پیشرانه JA2 از خود نشان می‌دهد، اما صرفاً چالاکی دینامیک این پیشرانه از پیشرانه JA2 بالاتر است، در جدول (۳) فرمولاسیون و داده های ترمودینامیکی پیشرانه حاوی CL-20 و RDX با نرم کننده پرانرژی BDNPA/F مقایسه شده است.

جدول ۳- فرمولاسیون و داده‌های ترمودینامیکی[۷].

CL-20	x	x	-	-
RDX	x	x	-	-
NC	x	x	x	x
BDNPA/F	x	-	x	-
EPX	-	x	-	x
Stab.	x	x	x	x
Force(J/g)	1240	1220	1286	1253
T(K)	3330	3390	3680	3698
Mean mol-wt of gases	22.2	23.1	23.8	24.8
Q_{ex}(J/g)	4565	4550	4825	4830

نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که فرمولاسیون پیشرانه حاوی CL-20 در فرایند بچ[1] عملکرد بالایی از پیشرانه با نیروی J/g ۱۲۵۳، دمای احتراق K ۳۶۹۸و کالری یا محتوای انرژی(Qex) برابر با J/g ۴۸۳۰ را فراهم می‌کند. این پیشرانه با ایمنی کافی در کلوزد وسل و تفنگ۴۰ میلیمتری شبیه سازی شده، تست شده است. همچنین پیشرانه حاوی RDX و نرم کننده BDNPA/F با پیشرانه حاوی CL-20 و نرم کننده BDNPA/F مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بسته به وزن گلوله، پیشرانه بار گذاری شده، فرمولاسیون پیشرانه با پایه CL-20 در حدود ۲۰ - ۱۵ ٪ افزایش کارایی را از خود نشان می‌دهد، به علاوه ضریب دمایی(تغییرات فشار محفظه یا سرعت دهانه با تغییرات دما) در این نوع از پیشرانه‌های تفنگی جدید در دمای ۴۰ °C - تا ۵۰ °C برای این سطح از انرژی قابل قبول است[۷].

نتایج مطالعات نشان می‌دهد، پیشرانه جدید تفنگی بر پایه CL-20 علاوه بر پایداری شیمیایی مناسب، حساسیت در برابر ضربه و اصطکاک قابل مقایسه با پیشرانه حاوی RDX را از خود نشان می‌دهد. با این وجود استفاده از این نوع پیشرانه جدید نیازمند تحقیقات بیشتری است.

۳-۲-۶- پیشرانه‌های تفنگی بر پایه ترکیبات غنی از نیتروژن (NRC)

ترکیبات بر پایه NC-RDX ثابت نیرو بالایی را در فرمولاسیون‌های پیشرانه‌های تفنگی ایجاد می‌کنند، اما دمای شعله را به فراتر از محدوده ایمنی تفنگ افزایش می‌دهند. دمای شعله بالا نه تنها سایش تفنگ را افزایش می‌دهد بلکه موجب افزایش خصوصیات سرعت سوزش، نمای سرعت سوزش(α) و ضریب خطی سرعت سوزش (β) می‌باشند. انرژی ترکیبات غنی از نیتروژن[2](NRC) به علت گرمای تشکیل بالاتر و تولید گازهایی با حجم بالا که عمدتاً شامل نیتروژن است، می باشد. احتراق گازهای غنی از نیتروژن پیشرانه، سطح منافذ لوله تفنگ را در طول شلیک دوباره نیتریده[3] می‌کند و از واکنش خوردگی سطح ممانعت می‌کند. به علاوه، غلظت پایین تر هیدروژن در گازهای احتراق در برخی از پیشرانه ها ممکن است مشارکت هیدروژن را در ترک خوردگی[4] سطح داخلی لوله تفنگ[5] کاهش می‌دهند. از این منظر، در سال های اخیر به ترکیبات غنی از نیتروژن توجه زیادی می‌شود.

1- Batch

2- Nitrogen rich componuds
3 -Re-nitride
4 -Cracking
5- Bore

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴- نتایج تست بمب بسته پیشرانه‌های نیترآمینی با پیشرانه‌های حاوی ترکیبات غنی از نیتروژن[۱۹].

ردیف	ترکیب پیشرانه	ثابت نیرو(ژول بر گرم)		دمای شعله(کلوین)	ضریب خطی سرعت سوزش (β)	نمای فشار (α)
		تئوری	تجربی			
۱	NC(13.1%)/RDX/DOP/carba 28 65 6 1	۱۲۰۳	۱۲۰۰	۳۲۱۰	۰/۱۴	۰/۸۴
۲	NC(13.1%)/RDX/GA/DOP/carba/Res 28 60 5 6 0.5 0.5	۱۱۸۵	۱۱۸۲	۳۰۹۰	۰/۱۴	۰/۸۵
۳	NC(13.1%)/RDX/GA/DOP/carba/Res 28 55 10 6 0.5 0.5	۱۱۷۰	۱۱۶۸	۲۹۸۰	۰/۱۴	۰/۸۵
۴	NC(13.1%)/RDX/GA/DOP/carba/Res 28 50 15 6 0.5 0.5	۱۱۶۰	۱۱۵۷	۲۸۷۰	۰/۱۵	۰/۹۰
۵	NC(13.1%)/RDX/GA/DOP/carba/Res 28 45 20 6 0.5 0.5	۱۱۴۰	۱۱۳۷	۲۷۶۰	۰/۱۳	۰/۸۰
۶	NC(13.1%)/RDX/GA/DOP/carba/Res 28 40 25 6 0.5 0.5	۱۱۲۰	۱۱۱۸	۲۶۵۰	۰/۱۳	۰/۸۰
۷	NC(13.1%)/RDX/TAGN/DOP/carba/Res 28 50 15 6 0.5 0.5	۱۱۶۵	۱۱۶۳	۲۹۹۵	۰/۳۰	۱/۴۰
۸	NC(13.1%)/RDX/TAGAZ/DOP/carba/Res 28 50 15 6 0.5 0.5	۱۱۶۰	۱۱۵۷	۲۸۵۵	۰/۳۰	۱/۴۰

در این راستا تترازول ها، آزید ها، تری آزین ها و نمک های تری آمینوگوانیدین به عنوان ترکیبات غنی از نیتروژن برای فرمولاسیون‌های با پایه نیتروسلولز به منظور کاهش دمای شعله و حداقل رساندن سایش لوله تفنگ، شناخته می‌شوند.

با این وجود، آخرین مطالعات تجربی نشان می‌دهد که وارد کردن نمک های تری آمینو گوانیدن مانند تری آمینو گوانیدین نیترات(TAGN) و تری آمینو گوانیدین آزید(TAGAZ) به ماتریس پیشرانه، دمای شعله را کاهش می‌دهد، و در عین حال پیشرانه متحمل سوزش سریع تری می‌شود و در نتیجه، مقادیر خصوصیات سرعت سوزش نیز افزایش می‌یابد. دمسه[1] و همکارانش مکانیسم های تجزیه ترکیبات غنی از نیتروژن را در فرمولاسیون های مختلفی مورد بررسی قرار دادند، یافته‌های آنان نشان می‌دهد که گوانیدیوم-۵-آمینو تترازول (GA) یک کاندیدای مناسب در فرمولاسیون‌های پیشرانه‌های تفنگی است که می‌تواند خصوصیات سرعت سوزش (α وβ) را کاهش دهد. از این لحاظ، مطالعه سیستماتیکی بر روی ترکیب پیشرانه حاوی گوانیدیوم-۵- آمینو تترازول (GA) به عنوان یک ترکیب غنی از نیتروژن انجام شده است. در جدول (۴) فرمولاسیون چند پیشرانه نیترآمینی و پیشرانه بر پایه ترکیبات غنی از نیتروزن مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که TAGAو GA بالاترین پتانسیل را برای کاهش دمای شعله پیشرانه همراه با یک کاهش جزئی در ثابت نیرو از خود نشان می دهند که این موضوع به محتوای نیتروژن بالا (TAGA=٪۸۵, GA=٪۷۸)، گرمای تشکیل مثبت (TAGAZ= ۴۱۴ kj/mol ,GA= ۸۵/۹ kj /mol)، وزن مولکلی پایین گاز های احتراق و حرارت مخصوص بالای گاز ها (γ) (GA=۱/۲۷۵ و TAGAZ=۱/۲۷۷) در مقایسه با RDX و TAGN نسبت داده می‌شود. با این وجود، مقدار ضریب خطی سرعت سوزش(β) و نمای سرعت سوزش (α) برای پیشرانه های با پایه TAGN وTAGAZ در مقایسه با پیشرانه با پایه GA بالاتر است. همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهد گوانیدیم-۵-آمینو تترازول (GA) یک کاندیدای مناسب در میان ترکیبات غنی از نیتروژن است، به طوری که با استفاده از این ترکیب، دمای شعله پیشرانه به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، بدون اینکه اثر شدیدی بر خصوصیات سرعت سوزش داشته باشد. در مقابل، دیگر ترکیبات غنی از نیتروژن، مانند تری آمینو گوانیدین نیترات و تری آمینو گوانیدین آزید با وجود این که دمای شعله پیشرانه را کاهش می‌دهند، اما خصوصیات سرعت سوزش(α وβ) را به فراتر از سطح پذیرفته شده برای پیشرانه‌های تفنگی افزایش می‌دهند. به علاوه با وارد کردن ترکیب (GA) سطح حساسیت، پایداری حرارتی و خصوصیات مکانیکی در گستره پذیرفته شده برای پیشرانه‌های تفنگی حفظ می‌شود[۱۹].

1-Damse

www.SID.ir

جدول ۵– مقایسه عملکرد بالستیکی ترکیبات پیشرانه جدید با پایه AP وAl با پیشرانه سه پایه متداول[۲۰].

Ballistic performance of the propellant compositions

Propellant composition	Force constant (J/g)		Flame temperature (K)	Linear rate of burning co-efficient β_1, (cm/(s MPa))	Pressure exponent (α)
	Theoritical	Experimental			
Propellant NQ	1025	1024	2760	0.12	0.68
NQ + Al(5p)	1090	1090	3085	0.13	0.73
NQ + Al(5p) + AP(2p)	1095	1094	3110	0.14	0.73
NQ + Al(5p) + AP(4p)	1100	1098	3155	0.15	0.73
NQ + Al(5p) + AP(6p)	1104		3195		
NQ + Al(5p) + AP(8p)	1108		3235		
NQ + Al(5p) + AP(10p)	1112		3275		
NQ + Al(5p) + AP(12p)	1115		3315		

Propellant NQ (chemical composition): NC (12.95 N%): 20.80 + NG: 20.60 + Picrite: 55.00 + corbamite: 3.60 + K_2SO_4: 0.30 parts, Al, aluminium, AP, ammonium perchlorate, p, parts.

۳-۲-۷- پیشرانه تفنگی بر پایه AP و Al

تحقیقات نشان می‌دهد پیشرانه‌های متداول سه پایه با وجود این که نیازمندی های دمای شعله و خصوصیات سرعت سوزش را برآورده می‌کنند، اما بازده انرژی یا ثابت نیروی آنها به J/g ۱۱۰۰ محدود می‌شود. به علاوه، جلو بردن پرتابه های پیشرفته با سرعت دهانه بالا، به توسعه و پیشرفت پیشرانه هایی با ثابت نیروی بالا نیازمند است. از این نقطه نظر، تحقیقات گسترده ای درسراسر جهان بر روی ثابت نیروی پیشرانه با استفاده از اجزاء جدید پرانرژی در حال انجام است. در یک تحقیق، تلاش شد ثابت نیروی پیشرانه‌های متداول سه پایه (NQ) با اضافه کردن افزودنی‌های غیر آلی افزایش داده شود. که از آن جمله میتوان به(آمونیوم پرکلرات) AP و پودر آلومینیوم (Al) اشاره کرد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که پودر آلومینیوم به طور موفقیت آمیزی برای افزایش عملکرد پیشرانه‌های راکتی کامپوزیتی و پیشرانه‌های دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی (CMDB) استفاده می‌شود. اما در مورد استفاده از آلومینیوم در پیشرانه های تفنگی اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. پوخول[1] و همکارانش تلاش کردند مکانیسم سوزش آلومینیوم را در پیشرانه سه پایه (NQ) و مخلوط های با پایه آمونیوم پرکلرات(AP) یا پتاسیم پرکلرات(KP) که ترکیبات اکسیدان می باشند را مورد بررسی قرار دهند. آنها پی بردند که ذرات فلزدر پیشرانه‌های تفنگی متحمل کلوخه شدن[2] شده و موجب متلاشی شدن فرآورده های نیترو سلولزی و گداخته شدن در سطح داخلی کارتریج می شود. به علاوه نتایج تحقیقات محققین نشان می دهد که در مورد ترکیبات بر پایه AP/KP ، واکنش گرما زا بر سطح فلز اتفاق می افتد که موجب افزایش سایش تفنگ می‌شود. اخیراً، گزارش شده است که افزایش آلومینیوم به پیشرانه‌های متداول تفنگی، موجب افزایش انرژی می‌شود.

در جدول (۵) نتایج تست بالستیک پیشرانه سه پایه متداول با پیشرانه تفنگی حاوی AP وAl مقایسه شده است. مطالعات نشان می‌دهد که افزایش انرژی پیشرانه متداول سه پایه (NQ) با افزودن پودرAl ، به گازهای احتراق با وزن مولکلی پایین نسبت داده می‌شود. به علاوه با افزودن مقادیر زیادAP، با تشکیل گازهای احتراق با وزن مولکلی نسبتا بالا، تعداد مول ها کاهش می یابد، این موضوع به علت تبدیلCO (MW= ۲۸ g/mol) به CO_2 (MW=۴۴ g/mol) و H_2 (MW=۲ g/mol) به H_2O (MW=۱۸ g/mol) می‌باشد، که سبب افزایش واقعی ثابت نیرو در حدود J/g ۴ و افزایش قابل توجهی در دمای شعله (۴۰-۳۰ کلوین) می‌شود. بنابراین مقدار اپتیمم از AP در حد چهار قسمت[3]، ثابت می ماند، زیرا فراتر از این محدوده وزن میانگین گازهای احتراق به اندازه ای افزایش می یابد که مزیت افزایش ثابت نیرو را خنثی می‌کند[۲۰].

به علاوه، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش آلومینیوم به میزان پنج قسمت در ترکیب پیشرانه استاندارد سه پایه (NQ) خصوصیات سرعت سوزش مانند(β) از ۰/۱۲cm/s/Mpa به cm/s/Mpa ۰/۱۳و (α)

1 -Pokhol
2- Agglomeration

3- Part

Archive of SID

www.SID.ir

در مقدار ۷۳ /۰ بدون تغییر می‌ماند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قسمت از آلومینیوم ،حساسیت پیشرانه استاندارد(NQ) به طور قابل توجهی تغییر نمی کند. بنابراین، فرمولاسیون های پیشرانه با پایه (NQ) حاوی افزودنی‌های آلومینیوم و آمونیوم پرکلرات نسبت به پیشرانه های سه پایه (NQ) استاندارد، انرژی را افزایش می دهد. با این وجود، برای نیازمندی های بالستیکی مناسب مهمات تانک، مقدار بهینه Al و AP به ترتیب پنج وچهار قسمت می‌باشند. به علاوه پیشرانه‌های حاوی مقادیر مناسب از افزودنی‌های غیر آلی، پایداری حرارتی و خصوصیات مکانیکی خوبی را از خود نشان می‌دهند.

۴- نتیجه گیری

پیشرانه‌های تفنگی به طور مرسوم از مواد بر پایه نیتروسلولز ساخته می‌شوند، این پیشرانه‌ها به صورت گرین هایی با ابعاد و اشکال هندسی مختلف می‌باشند. گرین‌ها در پیشرانه‌های تفنگی سطح سوزش ثابتی را بدون خطر انفجار ایجاد می‌کنند. به علاوه، اندازه گرین در پیشرانه‌های تفنگی به اندازه سلاح (تفنگ) وابسته است به طوری که سلاح‌های بزرگتر به گرین‌های بزرگتر برای زمان سوزش بیشتر نیازمند می‌باشند. به دلیل برخی از معایب پیشرانه‌های تفنگی متداول(تک پایه، دو پایه و سه پایه)، در سال‌های اخیر به منظور تامین نیازمندی‌های بالستیکی و همچنین کاهش آسیب پذیری پیشرانه‌های تفنگی، تلاش‌های زیادی توسط موسسات تحقیقات دفاعی کشورهای مختلف صورت گرفته است،حاصل چنین تلاش‌هایی به تولید پیشرانه‌های تفنگی نیترآمینی، پیشرانه‌های با آسیب پذیری پایین(LOVA)، پیشرانه با ضریب دمایی پایین(LTC)، پیشرانه‌های تفنگی با پایه ترکیبات غنی از نیتروژن(NRC)، پیشرانه‌های با پایه CL-20 و پیشرانه‌های تفنگی با پایه AP وAL منجر شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که بسته به نیازمندی‌های بالستیکی و آسیب پذیری امکان استفاده از هر یک از این پیشرانه‌های جدید وجود دارد، با این وجود، امروزه پیشرانه‌های تفنگی LOVA وLTC به دلیل مزایای قابل توجه در مقایسه با پیشرانه‌های متداول بسیار مورد توجه واقع شده اند.

مراجع

[1]. Akhavan, J. ب The Chemistry of Explosives.پ; 2nd Edition, Royal Society of Chemistry, (Great Britain), 2004.

[2]. Steele, L ب Ballistics.پ; Science for Lawyers, 2008.

[3]. Stiefel, L ب Gun Propellants .پ; Armament Research and Development Command , 1978.

[4]. Jenkins, T. F.; Pennington, J. c.; Ampleman, G. ب Characterization and Fate of Gun and Rocket Propellant Residues on Testing and Training Ranges: Interim Report 1.پ; Cold Regions Research and Engineering Laboratory, ERDC TR-07-1, 2007. Rarch.

[5]. Oberle, W. ب Dynamic Vivacity and Its Application to Conventional and Electrothermal-Chemichal (ETC) Closed Chamber Results.پ ;ARL-TR-2631, Army Research Laboratory, 2001.

[6]. Meuken, D.; Scholtes, G. ;Van Driel,C. پQuantification of Thermal and Mechanichal Damage In PBX' S.پ;TNO Defence Security and Safety , 2006.

[7]. Mueller,D. بNew Gun Propellant With Cl-20.پ;journal of Propellants ,Explosive ,Pyrotechnics,1999, PP 176-181.

[8]. Driel, C. A.; Hordijk, A.; Schooldrman, C.; Bakker, M.; Zevenbergen, J. ب Gun Propellant Development Ativities in the Netherlands.پ 23RDInternational Symposium on Ballistics ,2007, PP 531-539

[9]. ب Ordnance Technology.پWWW. in.navy.mil.

[10]. Badgujar,D . M.; Talavar, M. B.; asthana, S.N . ب Advanced in Science and Technology of Modern of Energetic Material:An overview.پ; Journal of Hazardous Materials, 2008, pp 289-305.

[11]. Pillai, A. G. S.; Joshi,M.M. ب Celluose Acetat Binder-Based LOVA Gun Propellant for Tank Guns.پ Defence Science Journal, 1999, Vol.49,NO 2,PP 141-149.

[12]. Sanghavi, R. R.; Kamale, P. J.; Shelar, S. D. ب HMX Based Enhanced Energy LOVA Gun Propellant.پ Journal of Hazardous Materials, ,2007.

Archive of SID

www.SID.ir

[13]. Spitzer , D.; Wanders, B.; Schafer, M. R ـب Molecular Structures of Seven Methylenedinitramines with Plasticising Abilities.پ Journal of Molecular Structure, 2003, 644, 37 ت48.

[14]. Mueller ,D. بLow Temperature Coefficient (LTC) Gun Propellants.پProceed of The 29Th International Pyrotechnics Seminar (ISP) , USA , 2002.

[15]. Bohn ,M. ; Mueller,D.بIn sensivity Aspects of NC Bonded and DNDA Plasticizer Containing Gun Propellants.پFraunhofer-Institut F ی Chemische Technologie (ICT), Germany, 2006.

[16]. Mueller, D.; Langlotz,W. بLTC Gun Propellants for Use in Machine Gun Ammunition.پProcced of The 36thInternational Conference of ICT &32 nd international pyrotechnics seminar, karlsuhe,Germany,2005.

[17]. Zimmermann, G.; Klingenberg, G. بRegenerative Liquid Propellant Gun of Caliber 40mm.پ Journal of Propellants, Explosives, Pyrotechnics1998, 23, 167-171.

[18]. Darnse, R. S.; Singh.بAdvanced Concepts of the Propulsion System for the Futuristic Gun Ammunition.پ High Energy Materials Research Laboratory, Defence Science Journal, 2003, 53(4) 341-350.

[19]. Damse, R.S.; Sikder, A. K. بStability on Nitrogen Componds for gun propellant formulation.پJournal of Hazardous Materials , 2009,166, 967-971.

[20]. Damse ,R. S.; Sikder, A. K. ب Role Inorganic Addetives on The Ballistic Performance of Gun Propellant Formulation .پ Journal of Hazardous Materials, 2008, 888-892.

Archive of SID

www.SID.ir