تحقیق و توسعه مواد پرانرژی
سال سوم- شماره ۲- شماره پیاپی ۵- پاییز و زمستان ۱۳۸۶

پیشرانه‌های مایع به عنوان نسل جدید پیشرانه‌های تفنگی

امین حسینی کمشوری* و سعید نوذری

سازمان صنایع دفاع

* E-mail: Amir_sepehr84@yahoo.com

چکیده

باتوجه به اینکه پیشرانه‌های جامد، از نظر انرژی به حد نهایی پیشرفت و توسعه خود رسیده اند و گرفتن سرعت دهانه بالاتر از ۲۰۰۰ m/s از یک سیستم جامد امکان پذیر نمی باشد، لذا پیشرانه‌های مایع تفنگی بعنوان نسل جدید پیشرانه‌ها، جهت استفاده در این سیستمها مطرح شده‌اند و از سال ۱۹۷۰ به بعد در دنیا و به ویژه کشورهای اروپایی و ایالات متحده تحقیقات گسترده‌ای جهت تهیه این پیشرانه‌های نوین صورت گرفته است. پیشرانه‌های مایع در مقایسه با پیشرانه‌های جامد متداول، مزایایی مانند خواص حرارتی بهتر، کارایی مناسبتر، سرعت دهانه بیشتر، کاهش سایش داخل لوله سلاح، کاهش شعله دهانه، آسیب‌پذیری کمتر نسبت به افروزش تصادفی، انرژی در واحد حجم و .... دارند در این مقاله انواع پیشرانه‌های مایع به کار گرفته شده در سیستم های تفنگی و اصول طراحی سیستم های تفنگی پیشرانه مایع، مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تفنگهای پیشرانه مایع، پیشرانه‌های مایع تفنگی، هیدروکسیل آمونیوم نیترات، تری اتانول آمونیوم نیترات

۱. مقدمه

پیشرانه‌ها، مواد محترقه‌ای هستند که تمام اکسیژن مورد نیاز جهت سوختن را در درون خود دارند. این ترکیبات در فضای آزاد منفجر نمی‌شوند بلکه فقط می‌سوزند و بطور کلی پیشرانه‌ای خوب است که بتواند خواص زیر را تأمین کند:

- سرعت سوختن آن درمحدوده وسیعی از فشار قرار گیرد؛
- دمای شعله کمتری تولید کند؛
- نسبت حجم یا وزن به انرژی بالا داشته باشد؛
- تحت شرایط محیطی معمول، طول عمر زیاد داشته باشد؛
- حداقل دود و شعله را در سلاح تولید کند؛

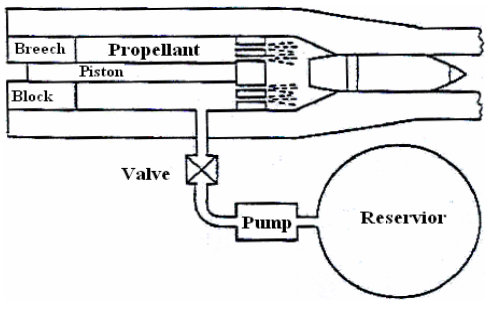
- حداقل گازهای سمی را در سلاح تولید کند؛
- قابلیت آغازش مناسب داشته باشد؛
- احتراقی سریع و قابل پیش‌بینی را طی کند؛
- هزینه تولید پائین داشته باشد؛
- پایداری بالا و حساسیت کمتری داشته باشد.

بطور کلی، پیشرانه‌های جامد متداول، که در سیستمهای تفنگی استفاده می‌شوند، معایبی مانند تولید فشار زیاد، اشتعال‌پذیری بالا، قابلیت انفجار، ایجاد خوردگی در سلاح، سرعت دهانه پائین دارند. لذا در سالهای اخیر، در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته، بالاخص ایالات متحده و آلمان تحقیقات گسترده‌ای جهت تهیه جایگزینی برای این پیشرانه‌ها صورت گرفته است. نتیجه این تحقیقات، منجر به تهیه نسل جدیدی از پیشرانه‌ها موسوم به "پیشرانه‌های مایع تفنگی "LGP (liquid gun propellant) شده است. این پیشرانه‌ها بگونه‌ای طراحی شده‌اند که تا حد امکان، خواص فوق را تأمین نمایند. بطور کلی، یک پیشران مایع، ترکیبی است که در یک محفظه احتراق در حالت مایع محترق می‌شود و این شامل همه مایعات یا جامدات قابل انحلالی است که در ترکیب پیشرانه بعنوان سوخت، اکسیدکننده، پایدار کننده، کاتالیست استفاده می‌شوند. فرایند تهیه این نوع پیشرانه‌ها بوسیلهٔ مخلوط کردن فیزیکی اجزاء آنها صورت می‌گیرد و عمده‌ترین محصولات حاصل از احتراق آنها به شکل گازهای N_2، CO_2 وH_2O می‌باشد.

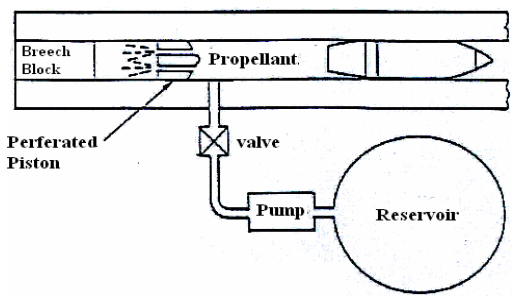
۲. مقایسه پیشرانه‌های جامد و مایع برای تفنگ

استفاده از پیشرانه‌های مایع در سیستمهای تفنگی، مزایایی از لحاظ کارایی و لجستیک نسبت به پیشرانه‌های جامد متداول فراهم می‌کند که از جمله آنها می‌توان به دانسیته مناسب، خواص حرارتی بهتر، کارایی مناسبتر، آلودگی زیست محیطی کمتر، هزینه تولید پائین‌تر، حساسیت فشاری کمتر، ایمنی بالاتر در تولید و نگهداری، عدم انفجار در حالت محبوس، سرعت دهانه بیشتر که باعث عدم دید دشمن می‌شود، تجدید آماد آسانتر، انرژی در واحد حجم بیشتر، تولید دود کمتر، تولید جرقه کمتر در سر لوله سلاح، کاهش سایش داخل لوله، سهولت تولید، ذخیره‌سازی و حمل و نقل آسان، شعله دهانه کمتر، کثیف نکردن سلاح، عمر بالا سلاح به دلیل نداشتن خواص فرسایشی، حساسیت کمتر نسبت به احتراق ناشی از آتش دشمن (آسیب‌پذیری کمتر نسبت به آغازش تصادفی)، استفاده آسانتر در وسایل نقلیه زرهی، کاهش بار لجستیکی و زمان واکنش طولانی‌تر اشاره کرد.

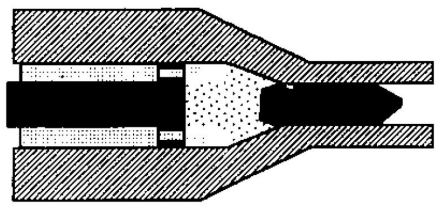
مزیت بزرگ این پیشرانه‌ها از لحاظ لجستیکی این است که نگهداری آنها بسیار قابل انعطاف است، چون شارژ کردن این پیشرانه‌ها، جهت احتیاجی به پوکه نداشته و فقط توسط پمپ کردن و کنترل میزان تزریق با یک مصرف‌سنج از مخزن ذخیره پیشرانه به محفظه احتراق سلاح منتقل می‌شوند. بنابراین پیشرانه‌های فوق را در هر مقدار و هر شکلی می‌توان ذخیره و استفاده نمود. به عبارت دیگر، استفاده از پیشرانه‌های مایع ظرفیتهای منطقه‌ای مفیدی را بوسیلهٔ پمپ کردن مقادیر متغیر آنها به درون محفظه احتراق فراهم می‌کند. لذا جهت استفاده از این پیشرانه‌ها فقط به یک مخزن، یک خط خوراک‌دهی قابل کنترل و یک سیستم تزریق نیاز است. بر این اساس، طراحی سیستمهای تفنگی استفاده کننده از پیشرانه‌های مایع که به" تفنگهای پیشرانه مایع" موسومند، با سیستمهای تفنگی متداول استفاده کننده از پیشرانه‌های جامد متفاوت است. در شکلهای ۱ الی ۴، اصول اولیه طراحی تفنگهای پیشرانه مایع شکل۵، سیستم واقعی طراحی شده برای توپ پیشرانه مایع ۱۵۵ میلی متری آورده شده است.



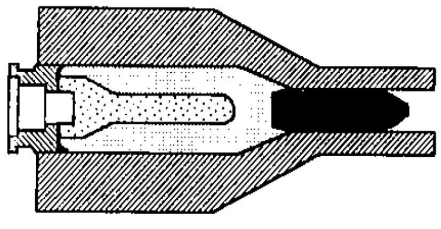
شکل ۱- تفنگ پیشران مایع پیوسته (RLPG) [۱]



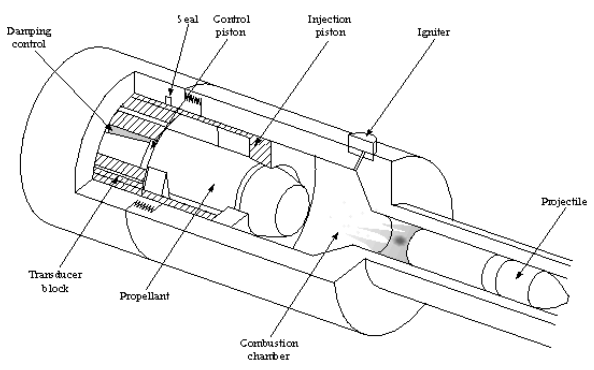
شکل ۲- تفنگ پیشران مایع مرحله ای [۱]



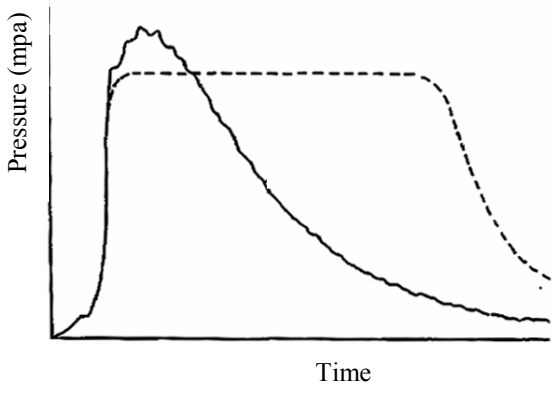
شکل ۳- تفنگ با سیستم تزریق پیوسته پیشران مایع
(با قابلیت کنترل مکانیکی اما دارای مشکل مکانیکی)[۲]



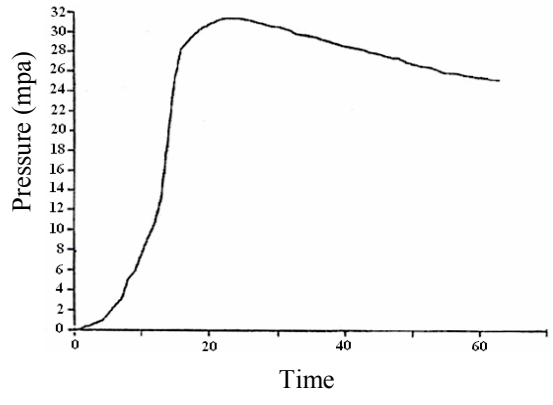
شکل ۴- تفنگ با سیستم بارگیری توده ای پیشران مایع (BLPG)
(ساده اما کنترل کردن آن مشکل است) [۲]



شکل ۵- نمایی از توپ پیشرانه مایع با شارژ پیوسته ۱۵۵ میلی متری طراحی
شده در آمریکا که با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است[۳]



شکل۶- منحنی(۱)- منحنی فشار- زمان در یک پیشران جامد استاندارد
و منحنی (۲)- منحنی فشار- زمان پیشرانه‌های مایع (از لحاظ تئوری) [۵]



شکل ۷- منحنی فشار- زمان پیشران مایع LPXM46 [۶]

همانگونه که در شکلهای ۲ و ۴ مشخص شده است، در سلاح پیشران مایع شارژ شونده مرحله ای، پیشرانه مایع قبل از شلیک به درون محفظه سلاح، شارژ می شود و در حین شلیک، توسط شرایط ناپایدار هیدرودینامیکی، محترق می شود. در این سلاح، با توجه به اینکه کنترل بالستیک درونی به دلیل اینکه سرعت تولید گاز، بستگی به مکانیزم های هیدرودینامیکی فیزیکی و شیمیایی پیچیده دارد، مشکل است. اما در سیستم تزریق پیوسته، پیشرانه مایع به صورت پیوسته به درون محفظه احتراق سلاح تزریق شده و سپس احتراق، انجام می شود. گازهای حاصل از افروزش پیشرانه، پیستون متحرک را حرکت می دهند و به صورت هیدرولیکی فشار مخزن را افزایش داده و منجر به پرتاب گلوله می شوند. در استفاده از این پیشرانه‌ها، با کم کردن دما و فشار، سرعت خروج از دهانه، افزایش می یابد؛ یعنی با کنترل دما و فشار می‌توان مشکل سرعت دهانه پایین را که در استفاده از پیشرانه‌های جامد، وجود دارد، مرتفع نمود.

به طور کلی، سرعت دهانه ای که با استفاده از پیشرانهای مایع بدست می آید بر حسب نوع کالیبر سلاح از ۳۱۰۰-۲۲۰۰ متر بر ثانیه متغیر است[۴]. در شکلهای ۶ و ۷ منحنی فشارـ زمان حاصل از استفاده پیشرانه‌های جامد و مایع با هم مقایسه شده‌اند.

همانطورکه در شکل ۶ مشخص است منحنی فشارـ زمانی که از پیشرانه‌های جامد بدست می‌آید (منحنی۱)، معمولاً یک پیک بزرگ و تند دارد که تنش زیادی در سیستم تفنگ ایجاد می‌کند که عامل ایجاد خوردگی و سایش در سلاح است.

بعلاوه شکل پیک ایجاد شده در پیشرانه‌های جامد که عامل تولید تنش است، سیستم هدایت گلوله و سرعت پرتاب آنرا تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ چون از لحاظ عملی، سرعت پرتاب گلوله بوسیلهٔ مساحت زیر منحنی فشار ـ زمان تعریف می‌شود. بنابراین جهت پرتاب گلوله های بزرگتر با یک سلاح، بایستی منحنی فشارـ زمان را به گونه‌ای متعادل نمود تا سرعت مناسبی برای پرتابه بدست آید. به عبارت دیگر، بایستی پیک فشار را افزایش و یا اینکه سرعت دهانه را به مقدار زیادی کاهش داد. این امر نیاز به استفاده از یک پیشرانه جامد متفاوت، نسبت به پیشرانه مورد استفاده جهت پرتاب گلوله های کوچکتر دارد. اما در استفاده از پیشرانه‌های مایع، منحنی ۲ بدست می‌آید که در آن، کاهش در پیک فشار مشاهده می‌شود. اما از آنجایی که سطح زیر منحنی فشار ـ زمان در این حالت بیشتر است، لذا سرعت دهانه بیشتر و سرعت پرتابه بزرگتری بدست می‌آید و چون منحنی مسطح است زمان وارد شدن فشار به پرتابه، بیشتر می‌شود؛ در نتیجه شتاب گلوله کاهش می‌یابد و سرعت دهانه بزرگتری که ناشی از فشار باقیمانده بیشتر است بدست می‌آید. از این رو با استفاده از پیشرانه‌های مایع، می‌توان مرمیهای سنگین‌تر را بدون تغییر نوع پیشرانه یا کاهش قابل ملاحظه در سرعت دهانه یا افزایش پیک فشار، پرتاب نمود[۵].

در جدول۱، خواص برخی پیشرانه‌های مایع از جمله LPXM46 که ترکیبی از هیدروکسیل آمونیوم نیترات، تری اتانول آمونیوم نیترات و آب است و NM/m70/30 که ترکیبی از نیترومتان و متانول است با پیشرانه‌های جامد مقایسه شده است.

۳. کاربردهای پیشرانه‌های مایع

پیشرانه‌های مایع از سالها پیش، کاربردهای گسترده ای جهت پیش‌راندن فضاپیماها، ماهواره‌ها و موشکها داشته‌اند و طی سالهای اخیر نسل جدید آنها علاوه بر کاربردهای مذکور جهت استفاده در سیستمهای تفنگی، سیستمهای زیر آبی، پیشرانه‌های هیبریدی، پیشرانه‌های کامپوزیت، پیشرانه‌های سرعت بالا، پیشرانه‌های ژلی، تهیه پیشرانه‌های مایع شامل ذرات نانو، کیسه‌های هوای اتومبیل (Air bag)، ژنراتورهای گازی، استخراج هیدروکربنهای زیرسطحی، سیستمهای مهمات مزدوج (Binary munition)، فشنگهای پیشران مایع (liquid propellant cartridge) و . . . توسعه یافته‌اند. همچنین پیش‌بینی می‌شود که این پیشرانه‌ها با مهمات بدون پوکه (Casless munitions) به کار گرفته شوند[۱۱-۲۳].

جدول ۱- مقایسه خواص پیشرانه‌های مایع مشهور LPXM46 و NM/m70/30 با پیشرانه‌های جامد [۷-۱۰]

نام پیشرانه / مشخصه	NM/m70/30 آلمانی	LPXM46 آمریکایی	LOVA	باروت سه پایه با کد NQ
اکسیژن بالانس (درصد)	-۷۲/۵	-	-۵۵	-
دانسیته در ^0C ۲۰ (gr/cm^3)	۱/۰۴۰	۱/۴۳۵	۱/۶۵۳	۱/۶۷۵
انرژی ویژه (j/gr)	۸۱۸	۹۳۵/۹	۱۱۰۰	۱۰۳۴
انرژی ویژه حجمی (j/cm^3)	۸۵۰	۱۳۳۰	-	-
دمای شعله (^0k)	۱۵۹۸	۲۴۶۹	۲۸۷۴	۲۷۸۰
وزن مولکولی محصولات (gr/mol)	۱۷/۹۵۲	-	۲۰/۷۸	-
مولهای محصولات (mol/kg)	۵۴/۵۰۸	۵۵-۴۵	۴۶/۰۴	۴۴/۷۳
نسبت حرارتی ویژه	۱/۳۹۵۶	-	۱/۲۶۲۴	۱/۲۵۱۳
کو والیوم حجمی (cm^3/gr)	۱/۱۸۳	-	۰/۹۹۶۱	۰/۹۵۷۱
حرارت انفجار (j/gr)	۲۱۲۸/۲	-	۳۳۴۳	-
دمای افروزش (^0C)	-	-	۲۲۰	۱۷۵
حساسیت به اصطکاک (kg)	-	-	۳۲/۴	۱۹/۲
حساسیت به ضربه (cm)	-	-	۸۸	۲۹
پایداری حرارتی (سال)	-	نامحدود در دمای ^0C ۶۵	-	-
ایمپالس ویژه (ثانیه)	-	>۲۶۰	-	-
نقطه انجماد (^0F)	-	-۱۵۲	-	-

۴. انواع پیشرانه‌های مایع ساخته شده جهت استفاده در سیستمهای تفنگی

۴-۱- پیشرانه‌های مایع دو جزئی

در این نوع پیشرانه‌ها دو ماده شیمیایی مایع، اجزاء اصلی پیشرانه را تشکیل می‌دهند که بطور مجزا از هم به داخل محفظهٔ احتراق تفنگهای طراحی شده متناسب با این نوع سیستم پیشرانه‌ای، تزریق می‌شوند. این اجزاء شیمیایی بایستی به گونه‌ای انتخاب شوند که قابلیت اختلاط کامل با هم داشته باشند. از جمله این پیشرانه‌ها می‌توان سیستم پیشرانه‌ای شامل اسید نیتریک دودزای قرمز رنگ یا محلولهای آبی غلیظ آن با اکتان نرمال را نام برد که اجزاء اصلی پیشرانه را تشکیل می‌دهند. این اجزاء بطور جداگانه به داخل محفظه احتراق تفنگ تزریق می‌شوند؛ سپس بوسیلهٔ یک چاشنی مناسب مانند چاشنیهای الکتریکی محترق می‌شوند در نهایت گازهای حاصل از احتراق آنها باعث پرتاب شدن گلوله از تفنگ می‌شود. بطور کلی این سیستم پیشرانه مشابه سیستم طراحی شده در موتور اتومبیلها می‌باشد، با این تفاوت که دو جزء تزریق شده به محفظه احتراق تفنگ، مایع می‌باشند درحالیکه در اتومبیل از یک طرف گازوییل و از طرف دیگر هوا به محفظه سیلندر تزریق می‌شود. با توجه به کارایی نامناسب سیستم مذکور این دسته از پیشرانه‌های مایع توسعه داده نشده‌اند[۲۴].

۴-۲- پیشرانه‌های مایع برپایهٔ استرهای نیترات

این پیشرانه‌ها، دسته دیگری از پیشرانه‌های مایع هستند که جهت استفاده در سیستمهای تفنگی و به ویژه تسلیحات دریایی تهیه شده‌اند و بطور کلی این پیشرانه‌ها به موارد زیر تقسیم می‌شوند:

۴-۲-۱- پیشرانه‌های مایع شامل استرهای نیترات ـ رقیق کننده خنثی الکلی

این پیشرانه‌ها ترکیبی از یک استر نیترات و یک ترکیب آلی خنثی الکلی، به عنوان رقیق‌کننده هستند. مشهورترین پیشرانه مایع ساخته شده از این نوع، پیشرانه مایع تفنگی NM/m70/30 است که ترکیبی از نیترو متان و متانول به نسبت ۷۰ به ۳۰ می باشد که در آلمان تولید شده است.

۴-۲-۲- پیشرانه‌های مایع شامل استرهای نیترات ـ بدون رقیق کننده خنثی

این پیشرانه‌ها مخلوطی از دو یا چند استر نیترات به اضافه افزودنیهای مناسب دیگری مانند پایدار کننده‌ها، تعدیل کننده‌های احتراق و . . . می‌باشند که نسبت به دسته اول، عملکرد احتراقی بالاتر و نقطهٔ انجماد و سمیت پائین‌تری دارند. از مهمترین ترکیبات مورد استفاده در این پیشرانه‌ها می‌توان متریول تری‌نیترات(MTN) و تری اتیلن‌گلیکول دی‌نیترات (TEGDN) را نام برد. خواص مناسب این پیشرانه‌ها، آنها را جهت استفاده در تسلیحات زیر آبی مانند اژدرها مناسب کرده است. در جدول ۲، سه نمونه از مهمترین پیشرانه‌های ساخته شده از این نوع آورده شده است.

۴-۲-۳- پیشرانه‌های مایع شامل استر نیترات ـ دی‌استر

این پیشرانه‌ها از یک نیترات استر مایع آلی و مقدار مؤثری از یک دی‌استر اسید دوپایه با فرمول عمومی $ROOC(CH_2)_nCOOR$ و یک پایدارکننده تشکیل شده‌اند که دی‌استر مذکور بعنوان رقیق‌کننده و کاهنده حساسیت استر نیترات استفاده می‌شود.

از مهمترین ترکیبات مورد استفاده در این پیشرانه‌ها می‌توان نیترومتان، نیتروگلیسرین، نیتروپروپان (PGDN)، دی‌نرمال بوتیل‌سباکات(DBS)، دی‌ایزو بوتیل‌آزلات(DBA)، ایزوبوتیل استر و . . . را نام برد. این گروه از پیشرانه‌ها، نیز در اژدرها، سلاحهای ضدتانک و سیستمهای پیشرانش زمین به هوا و هوا به هوا به کار گرفته شده‌اند. مهمترین پیشرانه‌های ساخته شده از این نوع در جدول ۳ آورده شده است.

جدول۲- سه نمونه از پیشرانه‌های مایع شامل استرهای نیترات- بدون رقیق کننده خنثی[۲۵].

نمونه	اجزائ تشکیل دهنده (درصد وزنی)		
	TEGDN	MTN	اتیل سانترالیت
۱	۹۴/۹	۵	۰/۱
۲	۸۹/۹	۱۰	۰/۱
۳	۸۴/۹	۱۵	۰/۱

جدول۳- دو نوع پیشرانه مایع شامل استر نیترات ـ دی استر[۲۶]

نام پیشرانه	اجزائ تشکیل دهنده (درصد وزنی)			
	PGDN	DBA	DBS	NDPA
سوخت Otto fuel(Π)	۷۶	-	۲۲/۵	۱/۵
---	۷۶	۲۲/۵	-	۱/۵

۴-۳- پیشرانه‌های مایع برپایه هیدرازین و مشتقات آن

این پیشرانه‌ها طبقهٔ دیگری از پیشرانه‌های مایع تفنگی را تشکیل می‌دهند که از نمکهای غنی از اکسیژن و حلالهای غنی از هیدروژن به اضافه آب تشکیل شده‌اند. مهمترین پیشرانه مایع تهیه شده از این نوع، پیشرانه مایع SMS (Solution Mono propellant) می‌باشد که ترکیبی از نیترات آمونیوم بعنوان نمک غنی از اکسیژن، هیدرات هیدرازین بعنوان حلال غنی از هیدروژن و آب به نسبت مولی (۱:۱: ۰/۰۵ تا ۰/۳۰) می‌باشد[۲۷].

۴-۴-پیشرانه‌های مایع برپایهٔ هیدروکسیل آمونیوم نیترات:

پیشرانه‌های مایع برپایه هیدروکسیل آمونیوم نیترات (HAN)، جدیدترین نوع پیشرانه‌های مایع هستند که با توجه به خواص و کارایی مناسبی که دارند طی سالهای اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی آنها در کشورهای اروپایی، آسیایی و به ویژه ایالات‌متحده، جهت به کارگیری آنها در سیستمهای تفنگی، موشکی، فضایی و تجاری صورت گرفته است. بطور کلی این پیشرانه‌ها مجموعه‌ای از پیشرانه‌های متنوع را تشکیل می‌دهند که در آنها هیدروکسیل آمونیوم نیترات بعنوان اکسیدکننده عمل می‌کند. همچنین جهت دستیابی به انرژی آزاد شده بالاتر به این مخلوطها ترکیبات غنی از سوخت اضافه می‌شود. آب اضافه شده به این مخلوطها نیز نقش حلال و رقیق‌کننده دارد و جهت غیر حساس کردن اکسیدکننده هیدروکسیل آمونیوم نیترات و تأمین سرمای لازم جهت کنترل دمای شعله در واکنش احتراق بکار می‌رود. پیشرانه‌های مایع برپایهٔ هیدروکسیل آمونیوم نیترات به دلیل داشتن خواص فیزیکی، انتقالی و ترمودینامیکی مناسب علاوه بر استفاده درسیستمهای تفنگی و تجاری جایگزین بالقوه خوبی برای پیشرانه‌های مایع بر پایه هیدرازین در سیستمهای فضایی و موشکی نیز می‌باشند. این محلولهای یونی خیلی غلیظ، مایعات همگنی هستند که می‌توانند در دماهای پائین در حد ^{o}C ۵۵-، سریعاً پمپ شوند و درصورت خالص بودن در دمای ^{0}C ۶۵ ، در یک دوره نامحدود زمانی به لحاظ حرارتی پایدارند [۷]. پیشرانه‌های مذکور به علت سمیت پائینی که دارند به پیشرانه‌های سبز (green propellants) موسومند. مهمترین پیشرانه‌های مایع ساخته شده از این نوع، شامل موارد زیر می‌باشند:

۴-۴-۱- پیشرانه‌های مایع شامل محلولهای آبی هیدروکسیل آمونیوم نیترات و کیوبیل آمونیوم نیتراتها

در این نوع پیشرانه‌ها، هیدروکسیل آمونیوم نیترات نقش اکسیدکننده پیشرانه را داشته و کیوبیل آمونیوم نیتراتها، سوخت پیشرانه را تشکیل می‌دهند. سوختهای کیوبیل آمونیوم نیترات مصرفی در این نوع پیشرانه‌ها از بین گروههایی مانند N,N- دی‌اتانول آمونیوم متیل کیوبان نیتراتها و۱و۴- بیس (N,N- دی‌اتانول آمونیوم‌متیل) کیوبیل دی‌نیتراتها انتخاب می‌شوند و برحسب نوع سوخت مصرفی در این پیشرانه‌ها، ترکیب درصد اجزاء تشکیل دهنده شامل: ۴۰تا۸۰ درصد وزنی هیدروکسیل آمونیوم نیترات، ۱۰ تا ۲۵ درصد وزنی کیوبیل آمونیوم نیترات و۱۰ تا ۲۵ درصد وزنی آب می‌باشد. مهمترین پیشرانه‌های ساخته شده از این نوع، در جدول ۴ آورده شده است.

جدول۴- پیشرانه‌های مایع شامل محلولهای آبی هیدروکسیل آمونیوم نیترات و کیوبیل آمونیوم نیتراتها[۲۸]

اجزاء مخلوط	درصد وزنی			انرژی ویژه
	HAN	سوخت	آب	(J/g) ✱
$HAN/CAN/H_2O$	۶۶/۱	۱۳/۹	۲۰	۹۸۶/۰
$HAN/CDAN/H_2O$	۵۹/۸	۲۰/۲	۲۰	۱۰۱۳/۰
$HAN/CUN1/H_2O$	۶۵/۰۳	۱۴/۹۷	۲۰	۹۴۸/۵
$HAN/CUN2/H_2O$	۶۷/۱۸	۱۲/۸۲	۲۰	۹۶۲/۳

CAN- کیوبیل آمونیوم نیترات

CDAN- کیوبیل بیس- ۱و۴ دی آمونیوم نیترات

CUN1- کیوبیل بیس- ۱و۴- دی اتانول آمونیوم متیل نیترات

CUN2- کیوبیل دی اتانول آمونیوم متیل نیترات

✱ دانسیته بارگیری (g/cc) ۰/۲

جدول ۵– پیشرانه‌های مایع شامل محلولهای آبی هیدروکسیل آمونیوم نیترات یامشتقات آن و سوختهای قابل حل یا قابل تفرق در آب[۸ , ۲۹]

کاربرد	نیترات آمونیوم	آب	متانول	گلیسین	۱و۴دی اکسان	ایزو پروپیل نیترات	HAN	اجزاء ترکیبی / ترکیب
	درصد وزنی							
تسلیحات سطحی و زیر آبی	–	۲۵	–	–	–	۱۸/۰۹	۶۵/۹۱	HAN-S
تسلیحات سطحی و زیر آبی	–	۳۰	–	–	۱۰/۸۵	–	۱۵/۵۹	HAN-D
سیستم های فضایی و موشکی	–	۲۶	–	۱۴	–	–	۶۰/۰	HANGLY26
سیستم های فضایی و موشکی	۰/۶	۱۴/۹۱	۱۴/۷۹	–	–	–	۶۹/۷	HAN269MEO15

۴-۴-۲- پیشرانه‌های مایع شامل محلولهای آبی هیدروکسیل آمونیوم نیترات یا مشتقات آن و سوختهای قابل حل یا قابل پخش در آب

در این پیشرانه‌ها اکسیدکننده از بین گروههایی مانند هیدروکسیل آمونیوم نیترات و مشتقات N- متیل، N- اتیل، O- متیل، O- اتیل وابسته به آن و سوخت مصرفی، از بین سوختهای قابل حل در آب، مانند اتیل آمونیوم نیترات، ساکارز، متانول، اتانول، گلیسین یا سوختهای قابل پخش در آب، مانند سوخت JP_4، سورفاکتانتها و ... انتخاب می‌شود.

این دسته از پیشرانه‌های مایع، برپایهٔ هیدروکسیل آمونیوم نیترات به ویژه برای استفاده در مهمات سطحی و زیر آبی که میزان خوردگی و خراشیدگی در آنها بایستی حداقل باشد، مناسب هستند. همچنین برای استفاده در سیستمهای موشکی و فضایی، توسعه داده شده‌اند. مهمترین پیشرانه‌های مایع ساخته شده از این گروه، در جدول ۵ آورده شده است.

۴-۴-۳- پیشرانه‌های مایع شامل محلولهای آبی هیدروکسیل آمونیوم نیترات وآمین های آلیفاتیکی ساده

این نوع پیشرانه‌ها، جدیدترین و پیشرفته‌ترین نوع پیشرانه‌های مایع ساخته شده جهت استفاده در سیستمهای تفنگی می‌باشند که مخلوطی از هیدروکسیل آمونیوم‌نیترات و یک آمین‌آلیفاتیکی ساده (Aliphatic amine nitrate) مانند تری اتانول آمونیوم نیترات (TEAN) به اضافه آب می‌باشند. این مخلوطهای پیشرانه از لحاظ ماکروسکوپی همگن بوده و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، انتقالی و ترمودینامیکی مناسبی دارند که آنها را جهت استفاده در سیستمهای تفنگی، جالب و مناسب ساخته است و بطور کلی این مخلوطهای پیشرانه، اسیدهای متوسطی هستندکه فشار بخاری جزیی داشته (مربوط به فشار بخار آب) و تا دمای ^0C ۶۰- بصورت مایع باقی می‌مانند بطوریکه می‌توان آنها را به آسانی و سریع پمپ نمود. همچنین این مخلوطها دمای انتقال شیشه‌ای پائینی دارند و در حدود دمای ^0C ۸۰- به صورت کریستالهای متبلور در می‌آیند. میزان اختلاط اجزاء این پیشرانه‌ها به گونه‌ای است که استوکیومتری H_2O,CO_2,N_2 را در تعادل به صورتی که در معادله زیر نشان داده شده است به وجود آورد.

(۱)

$$7HAN+AAN(TEAN) \longrightarrow 6CO_2+8N_2+22H_2O$$

نمکهای آمینی آلیفاتیکی ساده متداول استفاده شده در این پیشرانه‌ها تری‌اتانول آمونیوم‌نیترات (TEAN) و دی‌اتیل هیدروکسیل آمونیوم نیترات (DEHAN) می‌باشند. این پیشرانه‌ها در تفنگهای پیشران مایع کالیبر متوسط تا بزرگ (۳۰ تا ۱۵۵ میلی‌متری) به کار گرفته شده‌اند.

در جدول۶، مهمترین پیشرانه‌های تهیه شده از این نوع، آورده شده است که در بین آنها پیشرانه مایع LGP1846 که اخیراً به پیشران مایع LPXM46 مشهور شده است، بطور گسترده در سیستمهای توپخانه‌ای نوع پیشرفته و کاربردهای تجاری به کار گرفته شده است

و تحقیقات گسترده‌ای جهت بهینه‌سازی استفاده از آن در ایالات متحده صورت گرفته است.

۵. مقایسه پیشرانه‌های مایع برپایهٔ هیدرازین با پیشرانه‌های مایع برپایه هیدروکسیل آمونیوم نیترات

با توجه به اینکه هیدرازین، یک تک پیشران مایع با دانسیته مناسب است، لذا استفاده از آن در سیستمهای دارای محدودیت حجمی، مانند فضاپیماها، موشکها و ... ارجحیت دارد ولی از طرف دیگر، این پیشرانه تک پایه مایع یک مادهٔ سمی است که برای بارگیری و تخلیه آن، بایستی دقت زیادی بکار برد، اما پیشرانه‌های مایع برپایهٔ هیدروکسیل آمونیوم نیترات برخلاف هیدرازین، سمیت بسیار کمتری دارند و به آسانی منهدم می‌شوند. همچنین این پیشرانه‌ها عملکرد حرارتی، خواص ایمنی، تجزیه‌پذیری (Degradable) بهتر و کارایی قابل مقایسه‌ای نسبت به پیشرانه‌های تک پایه برپایهٔ هیدرازین دارند و از آنجایی که چگالی آنها از هیدرازین بیشتر است و نقطهٔ انجمادی پائین‌تر از صفر درجهٔ سانتیگراد دارند لذا بخارت خطرناکی ندارند و نیاز به نگهداری ویژه، جابجا کردن یا روش انهدامی ندارند. بنابراین، خواص مذکور آنها را به عنوان گروه بسیار مطلوب، انتخابی برای پیشرانه‌های مایع، جهت استفاده در سیستمهای دارای محدودیت حجمی، معرفی می کند. برهمین اساس، پیشرانه‌های مایع برپایهٔ HAN، HANGLY26 و HAN269MEO15 به عنوان پیشرانه‌های مایع جایگزین هیدرازین، جهت استفاده در سیستمهای فضایی و موشکی توسط سازمان ناسا توسعه یافته‌اند. این پیشرانه‌های مایع که شامل هیدروکسیل آمونیوم نیترات و سوختهای متانول و گلیسین هستند، پتانسیل مناسبی را برای کاربرد در سیستمهای موشکی و فضایی دارا می‌باشند. در جدول۷ خواص پیشرانه مایع LPXM46 با هیدرازین و دی متیل هیدرازین نامتقارن مقایسه شده است.

۶. مقایسه هیدروکسیل آمونیوم نیترات با اکسیدایزرهای آمونیومی مرسوم

خواص فیزیکی هیدروکسیل آمونیوم نیترات در مقایسه با اکسیدکننده های آمونیومی مرسوم در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۶- پیشرانه‌های مایع شامل محلولهای آبی هیدروکسیل آمونیوم نیترات و آمین های آلیفاتیکی ساده[۳۰]

نام فرمول LGP	ترکیب شیمیایی (درصد وزنی) HAN	TEAN	DEHAN	آب	انرژی ویژه (J/g)
۱۸۴۶	۶۰/۸۱	۱۹/۱۹	۰	۲۰/۰	۹۳۵/۹
۱۸۴۵	۶۳/۲۳	۱۹/۹۶	۰	۱۶/۸۱	۹۰۰/۰
۱۸۹۸	۶۰/۸	۰	۱۹/۲	۲۰/۰	-
۴۶۴۰	۶۰/۸	۱۱/۵	۷/۷	۲۰/۰	۹۲۳/۷
۴۴۴۰	۶۳/۸	۱۲/۱	۸/۱	۱۶/۰	۹۶۸/۷

جدول۷- مقایسهٔ هیدرازین و دی متیل هیدرازین نامتقارن با پیشرانه مایع LPXM46 [۳۱]

کمیت	LPXM46	N2H4	UDMH
دانسیته در (^{0}F)۶۸ lb_m/ft^3	۸۹/۶	۶۲/۹	۴۸/۸
نقطه انجماد (^{0}F)	-۱۵۲	۳۴/۵	-۷۲/۴
نقطه جوش در فشار ۱۴/۷psi (^{0}F)	۲۵۵ (تخمینی)	۲۳۵	۱۴۶
فشار بخار در (^{0}F)۷۷	۰/۲۲	/۲۸	۳/۰۳در ۲۰ ^{0}C
خطرات ایمنی	در فشار بالا آتش می گیرد	تحت فشار آتش می گیرد	تحت فشار آتش می گیرد
سمیت (LD_{50},mg/kg body weight)	۸۱۵	حدود۶۰	-
ایمپالس ویژه (ثانیه)	>۲۶۰	۲۳۰	-

جدول ۸- مقایسه هیدروکسیل آمونیوم نیترات با اکسیدکننده های آمونیومی مرسوم[۳۲]

کمیت	واحد	هیدروکسیل آمونیوم نیترات	پر کلرات آمونیوم	نیترات آمونیوم
فرمول مولکولی	-	$NH_3(OH)NO_3$	NH_4ClO_4	NH_4NO_3
دانسیته	$kg/m^3 \times 10^3$	۱/۸۳	۱/۹۵	۱/۷۳
حرارت تشکیل	kj/kg	-۴۳۵۸	-۲۴۱۴	-۴۴۲۴
وزن مولکولی	kg/k mol	۹۶	۱۱۷/۵	۸۰
اکسیژن بالانس	درصد	۳۳/۳۳	۳۴/۰۴	۱۹/۹۹

۷. نتیجه‌گیری

در سالهای اخیر، سیستمهای پیشرانه‌ای مایع به دلیل مزایای فراوانی که از لحاظ کارایی و لجستیک نسبت به سیستمهای پیشرانه‌ای جامد متداول دارند، بطور وسیعی از نظر نظامی ، فضایی و تجاری مورد توجه قرار گرفته‌اند. به همین دلیل تحقیقات، وسیعی به منظور به کارگیری مایعات مختلف در این سیستمها در دهه های اخیر صورت گرفته است که نتیجه این تحقیقات تهیه پیشرانه‌های مشهور NM/m70/30 و LPXM46 جهت استفاده در سیستمهای تفنگی و کاربردهای تجاری و پیشرانه‌های HAN269MEO15، HANGLY26 و OTTO FUEL II جهت استفاده در سیستمهای فضایی و موشکی بوده است. با توجه به مزایای این نوع پیشرانه‌ها، پیش بینی شده است که پیشرانه‌های مایع به عنوان نسل جدید پیشرانه های کارآمد، جهت استفاده در سیستم های تفنگی در قرن بیست و یکم جایگزین پیشرانه های جامدگردند. بنابراین جهت استفاده از این پیشرانه‌ها در حوزه سلاح، در کشورهای مختلفی مانند ایالات متحده، انگلستان، آلمان تا کنون سیستم های تفنگی کالیبر متوسط تا بزرگ (۳۰میلی متری تا ۱۵۵ میلی متری) مناسبی طراحی و با موفقیت مورد تست عملیاتی قرار گرفته اند. البته این سیستم ها هنوز در حال توسعه و تکامل هستند. لذا در آینده ای نزدیک، فن آوری های بکارگیری پیشرانه‌های مایع جدید، در سیستم های تفنگی، سبب ایجاد تحول در صنایع دفاعی خواهد شد.

۸. اختصارات

LGP: Liquid gun propellant

LPG: Liquid propellant gun

RLPG: Regenerative liquid propellant gun

BLPG: Bulk-loaded liquid propellant gun

HAN: Hydroxylammonium nitrate

TEAN: Triethanolammonium nitrate

DEHAN: diethylhydroxylammonium nitrate (HAN derivative)

MTN: metriol trinitrate

PGDN: propylene glycol dinitrate

DBS: di-n-butyl sebacate

DBA: di-iso-butyl azelate

۹. مراجع

[1].A.Bailey and R.S.G MURRY, “Explosive, propellants and pyrotechnics”, Royal Military college of science shrivenham-uk,pp.96-98(1989).

[2].H.J.Mage “gun propulsion concepts part I and II :Fundamentals and solid and liquid propellant”, propellant, explosive,pyrotechnics 21,1-7,(1996).

[3].[2].Kirk-Othmer, “Encyclopedia of explosives and related items”vol.10 section propellant PP(12), Fourth Edition copyright (1991-1998).

[4].Asher H.Sharoni and Lawrence D. Bacon “The future combat system(FCS) ”, September-October (1997), http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/docs/5fcs97.pdf

[5]. Stanley E.Wood, “Hybrid gun propellant”us patent 4,402,775, Sep.6,(1983).

[6]. Nathan klein “Thermal reaction initiation of liquid propellant” -19th international annual conference of ICT combustion and detonation phenomena ,(1988).

[7]. Warren.L.et.al “Liquid propellant XM46 Hand Book” prepare By jet propulsion laboratory California Institute of technology Pasadena,California ,(1994).

[8]. Y-P change “Combustion characteristics of HAN-Based liquid propellants” the Pennsylvania state university, (2002).

[9].G.zimmermann ,Egutlin ,and G. Klingenberg “Regenerative liquid propellant gun of caliber 40mm” Propellant, Explosive, Pyrotechnices23, 167-171(1998).

[10]. Charles,s,leveritt and Nathan klein “Physical properties and molecular structure of the HAN-Based liquid gun propellants” -22nd international annual conference of ICT(1991)combustion and reaction kinetics.

[1]. Fawls et al “Propellant composition comprising nano-sized boron particaes”, us patent 665,268,2 B1 NOV, 25,(2003).
[12]. Hampsten, “HAN /TEAN(XM46)mixing gas generator….”us patent 6,047,541,(2000).
[13]. Gazonas, “Liquid gun propellant stimulation”us patent 6,098,516(2000).
[14]. Vass et al, “liquid propellant cartridge”us patent 3,690,255,(1972).
[15]. Walker et al, “binary munition system”us patent 5,014,623(1991).
[16]. Giovanetti, “liquid propellant inflator for vehicle occupant restraint apparatus”us paten 5,060,973,(1991).
[17]. Fawls et al, “propellant composition comprising nano -sized boron particles”us patent 6,652,682B1,(2003).
[18]. Richardson et al, “liquid-fueled inflator with a porous containment device”us patent 5,607,181,(1997).
[19]. Haridwar singh “High Energy Material research and Development in india” (gournal of propulsion and power Vol. 11 No 4, july - August (1995).
[20]. Roberts jankovsky “HAN-Based monopropellant assessment for spacecraft” AIAA (1996).
[21]. Gnter klingenberg et al. “liquid propellant gun technology”, ”AIAA (1998).
[22]. Donald mittendorf et al. “experimental development of monopropellant for space propulsion system”,AIAA (1997).
[23]. Dr.R.A.Pesce-Rodriguez et al.“gun technology for the 21st century” Weapons and Materials Research Directorate US Army Research Laboratory ,March(1997).
[24]. Stanley a wood , “propellant for liquid propellant gun” us patent 4,004,415jun 25(1977).
[25]. Albert et al, “liquid nitrate ester monopropellant composition”us patent 3,634,158(1972).
[26]. Mastroianni et al, “liquid propellant”us patent 4,292,098(1981).
[27]. Liedtke et al,”liquid monopropellant for a gun”us patent 4,946,522,(1990).
[28]. Willer et al, “diethanolammonium methyl cuban nitrate hydroxylammonium nitrate (HAN) solutions as aqueous liquid gun propellant ingredients”us patent 5,232,526(1993).
[29]. Mueller et al, “Monopropellant aqueous hydroxylammonium nitrate/fuel”us patent 5,223,057,(1993).
[30]. Leverit et al, “stabilizers for hydroxylammonium nitrate….”us patent 6,179,937B1,(2001).
[31]. Donald mittendorf et al. “experimental development of amono propellant for space propulsion system”,(1997).
[32]. Takuo kuwahara et al, “thermal decomposition characteristics of HAN composite propellant”,nissan motor co,ltd,saitama, japan and hosoya kakou co,ltd,tokyo, (1997).