فصلنامه فناوری در مهندسی هوافضا
دوره: ۷ / شماره: ۲ / تابستان۱۴۰۲/ صفحه ۵۸-۴۹
DOI: 10.30699/jtae.2023.7.2.6
علمی- ترویجی/ تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸/ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸

استفاده از فناوری رمجت سوخت جامد در نسل جدید گلوله‌های توپ‌خانه‌ای

سبحان حرفت[۱]، مصطفی محمودی[۲*]

۱- کارشناسی‌ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران

۲*- دانشیار، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران

*** نویسنده مخاطب: mostafamahmoodi@mut.ac.ir**

امروزه افزایش برد گلوله‌های متداول از اهمیت زیادی برخوردار شده است. فناوری‌های قبلی، برد گلوله‌ها را به مقدار مشخصی افزایش می‌داد. این فناوری‌های پیشین در گلوله‌های توپخانه‌ای شامل فناوری ایجاد دمش در پایه گلوله و استفاده از فناوری گلوله راکتی می‌باشد. امروزه شرکت‌های بزرگ تحقیقاتی از فناوری جدیدی در افزایش گلوله توپ استفاده می‌کنند. بر اساس ادعای این شرکت‌ها فناوری‌های جدید می‌تواند برد گلوله ۱۵۵ میلی‌متری را تا ۱۵۵ کیلومتر افزایش دهد. فناوری جدید همان استفاده از فناوری رمجت سوخت جامد است که اکنون بسیار موردتوجه قرارگرفته است. موتورهای رمجت، هیچ قطعه‌ی متحرکی ندارند و در نگاه اول، مانند یک لوله توخالی به نظر می‌رسند که بیشتر در سرعت‌های مافوق صوت به کار می‌روند. در این‌گونه موتورها، برای روشن شدن موتور ابتدا باید سرعت هوا به مقدار لازم برسد در صورت رخداد چنین حالتی، موتور رم جت به‌طور خودکار روشن می‌شود. در این پژوهش فناوری گلوله رم جت و پیشرفت‌های حاصله در آن بررسی‌شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، یکی از فناوری‌های مهم آینده در گلوله‌های توپخانه‌ای، استفاده از فناوری رمجت است.

واژه‌های کلیدی: رمجت، فشرده‌سازی، سرعت، تراست

Use of Solid Fuel Ramjet Technology in the New Generation of Artillery Shells

S. Herfat[1], M. Mahmoodi[2*]

1 M.Sc. Department of Aerospace Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

2* Associated Professor (Corresponding Author), Department of Aerospace Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

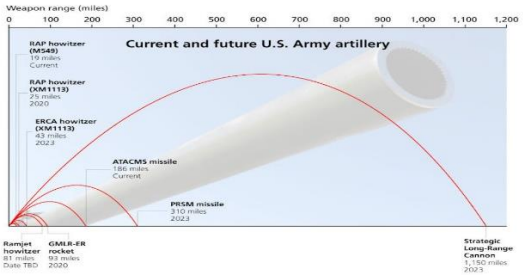
***Corresponding Author: mostafamahmoodi@mut.ac.ir**

Increasing the range of conventional bullets has become very important today. Previous technologies increased the range of bullets by a certain amount. These former technologies in artillery shells include the technology of creating a bullet at the base of the bullet and the use of rocket bullet technology. Today, large research companies are using new technology to increase cannonballs. According to these companies, new technologies can increase the range of 155 mm bullets to 155 km. The new technology is the use of solid fuel ramjet technology, which is now very popular. Ramjet motors have no moving parts and at first glance look like a hollow tube, which is mostly used at supersonic speeds. In such engines, in order for the engine to start, the air speed must first reach the required value. In such a case, the ramjet engine will start automatically. In this research, the technology of ram jet bullets and the progress made in it have been investigated. According to the investigations, one of the most important future technologies in artillery shells is the use of ramjet technology.

Keywords: Ramjet, Compression, Speed, Trust.

۱ مقدمه

افزایش برد برای سازندگان جدید مهمات یک نیاز مهم است. بر اساس اهداف تعیین شده در نقشه راه طراحی و ساخت گلوله های توپخانه ای، ارتش آمریکا قصد دارد تا سال ۲۰۲۳ به برد ۱۸۵۰ کیلومتر دست پیدا کند (شکل ۱). هنگامی‌که یک مهمات جدید تولید یا یک مهمات موجود اصلاح می‌شود، افزایش برد و دقت جزو هدف‌های ثابت آن است. با توجه به اهمیت افزایش برد توپخانه به بیش از ۱۵ کیلومتر و افزایش توان رزمی نیروی زمینی، بسیاری از شرکت‌های پیشگام در طراحی مهمات و سلاح اقدام به تحقیق و توسعه جهت افزایش برد توپ‌های ۱۵۵ میلی‌متری نموده‌اند. تاکنون تکنولوژی‌های مختلفی در افزایش برد گلوله‌های توپ ۱۵۵ میلی‌متری ارائه‌شده است.

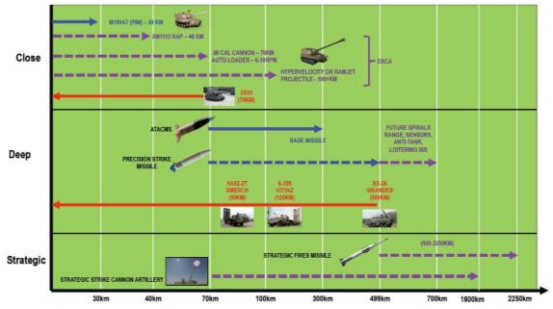


شکل ۱– برنامه افزایش برد توپخانه‌ای در ایالات‌متحده آمریکا [۱]

۲ کلیات

افزایش برد گلوله‌ها می‌تواند سلاح‌های متداول را به سلاح‌های استراتژیک تبدیل کند. مطابق با شکل ۲، پرتابه توپخانه ای فراتر از برد ۷۰ کیلومتر و موشک با برد بیش از ۵۰۰ کیلومتر، سلاح استراتژیک محسوب می شود. برای افزایش برد گلوله روش‌های متعددی وجود دارد که هر یک از این روش‌ها در شرایط خاص گلوله و توپ می‌توانند به کار گرفته و مفید واقع شود. در برخی موارد این تجهیزات شامل بالک‌های پایدارساز و یا کاهش نیروهای مقاوم اعمال‌شده به گلوله مانند روش دمش در پایه و تجهیز گلوله‌ها به موتور راکت است. جدیدترین فناوری افزایش برد گلوله توپخانه نیز استفاده از فناوری موتور رمجت است که در بسیاری از شرکت‌ها درحال‌توسعه می‌باشد (شکل ۳).

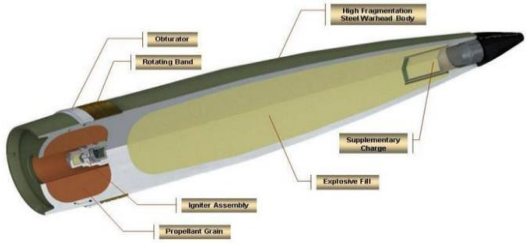
از عوامل مهم ایجاد پسا در گلوله، فشار پایین ایجادشده در پشت گلوله است که ناشی از تشکیل گردابه در قسمت انتهایی آن می‌باشد رفع این پسا بسیار سخت است، چرا که گلوله به یک دماغه‌سنگین جهت ایجاد خاصیت بالستیک نیاز دارد و برای رفع این پسا نمی‌توان صرفاً به‌سوی یک طراحی آیرودینامیکی رفت. فناوری دمش در پایه یکی از راهکارهای کاهش این پسا، بدون ازدیاد محل قرارگیری سوخت در انتها گلوله می‌باشد (شکل ۴). اجرای این طرح باعث می‌شود که قسمت انتهایی گلوله به‌اندازه کمی افزایش پیدا کند. در قسمت عقبی گلوله یک مولد گاز کوچک قرار می‌گیرد. این مولد گاز مقدار کمی نیروی جلوبرندگی برای گلوله ایجاد می‌کند ولیکن تأثیر مهم‌تر آن افزایش فشار قسمت عقبی گلوله است و بدین واسطه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پسای ناشی از فشار پشت را کاهش می‌دهد. این ایده دارای مشکلاتی نیز می‌باشد که از آن جمله می‌توان به دو مورداشاره کرد. در این تکنولوژی دقت نشانه‌گیری گلوله در اثر جریان هوای توربولانس کمی کاهش پیدا می‌کند. به‌واسطه اضافه شدن یک موتور به گلوله، مقدار مواد انفجاری قابل‌حمل توسط گلوله کاهش پیداکرده و در مورد گلوله‌های کوچک اصلاً مناسب نمی‌باشد [۲].



شکل ۲– تقسیم‌بندی اهمیت سلاح با توجه به برد آن [۳]

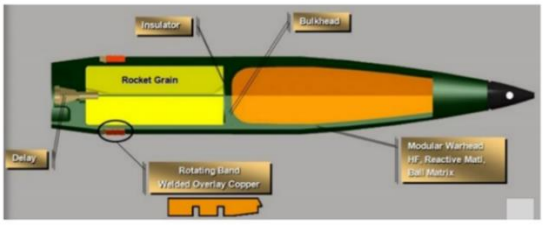
افزایش برد گلوله‌ها می‌تواند سلاح‌های متداول را به سلاح-های استراتژیک تبدیل کند (شکل ۲). برای افزایش برد گلوله روشهای متعددی وجود دارد که هر یک از این روش‌ها در شرایط خاص گلوله و توپ می‌توانند به کار گرفته و مفید واقع شود. یکی از راهکارهای دیگر در راستای افزایش برد یک گلوله ارتقا و تجهیز آن با سیستم‌های راکتی است. در برخی موارد این تجهیزات عبارتند از یک سامانه پیشرانش مانند افزودن موتور راکت و یا رمجت به گلوله و در برخی موارد بالک پایدارساز و یا کاهش نیروهای مقاوم اعمال شده به گلوله مانند روش دمش در پایه (Base Bleed).

شکل ۳– گلوله رمجت سوخت جامد و توپ‌های کالیبر ۱۵۵ میلی‌متر ساخت شرکت نامو [۴]



شکل ۴- فناوری دمش در پایه گلوله[۵]

در فناوری تجهیز گلوله‌ها به موتور راکت، سرعت گلوله از طریق یک موتور راکت کوچک که در قسمت انتهایی گلوله قرارگرفته است (شکل ۵)، افزایش پیدا می‌کند. گلوله تقویت‌شده شامل یک موتور راکت، یک نازل خروجی و محصولات احتراقی خارج شونده از نازل می‌باشد. یک گلوله معمولی مجهز به موتور راکت درواقع گلوله‌ای است که یک موتور راکت کوچک به آن افزوده‌شده است، افزودن این موتور موجب می‌شود بخشی از فضایی که متعلق به مواد منفجره بوده است، اشغال شود. بنابراین در اثر افزوده شدن موتور راکت به گلوله و درنتیجه کاهش مواد انفجاری قدرت تخریبی آن کاهش می‌یابد. به کمک این روش در حد قابل‌توجهی به برد گلوله افزوده‌شده است.کاهش قدرت تخریبی اتفاقی است که در تمام انواع این گلوله‌ها رخ می‌دهد [۶].



شکل ۵- گلوله توپ مجهز به موتور راکت [۶]

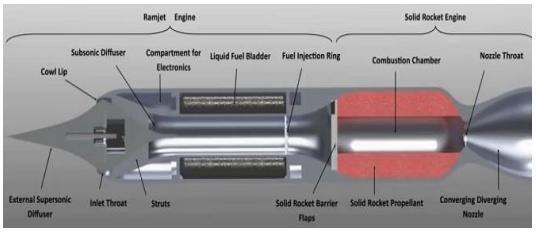
۳ فناوری تجهیز گلوله‌ها به موتور رمجت

موتور رمجت، یک موتور هوا تنفسی با محدوده پروازی فراصوت بین ۲ الی ۶ است که در مقایسه با موتورهای توربوجت و توربوفن، فاقد تجهیزات دوار از جمله توربین و کمپرسور است. این موتور ساختاری ساده دارد ولی دینامیک گاز آن پیچیده می‌باشد.این موتور با ایجاد موج‌های مایل و عمودی، مؤلفه سرعت هوای ورودی را به فشار تبدیل کرده و آن را به‌صورت پایدار با ماخ تقریباً ۰/۳ به سمت محفظه احتراق می‌فرستد تا با سوخت مخلوط شده و مشتعل گردد. بعد از اشتعال گازهای داغ با سرعت بسیار بالا از نازل خارج می‌شوند [۷].

۳. ۱ انواع موتور رمجت

نخستین دسته‌بندی که در مورد موتورهای رمجت وجود دارد، دسته‌بندی آن‌ها بر اساس سوخت مصرفی است. موتورهای رمجت بر اساس نوع سوخت مصرفی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند، موتور رمجت سوخت مایع و موتور رمجت سوخت جامد [۹].

موتورهای رمجت سوخت مایع کاربرد وسیع‌تری نسبت به موتورهای رمجت سوخت جامد دارند زیرا در شرایط پروازی مشابه بازده بالاتری دارند و می‌توانند میزان نیروی پیشران را به‌راحتی تغییر دهند (شکل ۶). در برخی از موارد، برای افزایش کارایی این نوع موتورها و رسیدن به‌سرعت و شتاب اولیه موردنیاز برای شروع به کار موتور رمجت، آن را با بوستر سوخت جامد ترکیب می‌کنند [۹].



شکل۶- شماتیک موتور رمجت سوخت مایع [۸]

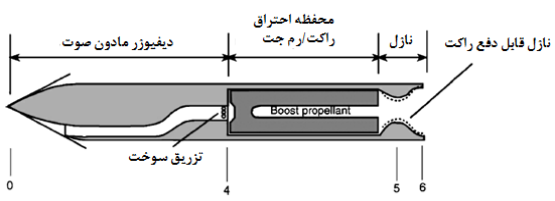
در رمجت‌های با سوخت مایع، سوخت هیدروکربنی در جلوی شعله نگهدارها به درون محفظه احتراق پاشیده می‌شود که با هوای فشرده‌شده خروجی از دهانه ورودی ترکیب می‌شود و در ادامه همانند رمجت سوخت جامد در محفظه احتراق مشتعل شده، سپس با سرعت از نازل خارج می‌شود و نیروی تراست ایجاد می‌کند.

موشک روسی یاخونت (شکل ۷)، از جمله موشک‌های کروزی است که از پیشران رمجت سوخت مایع استفاده می‌کند و قابلیت شلیک از هوا، دریا، زیردریایی و پرتابگر زمینی (سامانه باستیون) را دارد. سرعت یاخونت در ارتفاع کروز، معادل ۲٫۶ ماخ و در نزدیکی سطح زمین ۲ ماخ است. قدرت پیشران این موشک از یک موتور رمجت با وزن ۲۰۰ کیلوگرم تأمین می‌شود که قادر به تأمین ۴ تن نیروی تراست برای این موشک ۳ تنی است. این موشک ابتدا توسط یک بوستر سوخت جامد که در محفظه احتراق موتور رمجت قرار دارد به‌سرعت اولیه می‌رسد و پس از اتمام سوخت در آسمان رها می‌شود [۹].

شکل ۷- موشک یاخونت [۹]

موتور رمجت سوخت جامد نوع دیگری از موتورهای رمجت است که از پیشرانه جامد در آن استفاده می‌شود. شکل ۸ ساختار یک موتور رمجت سوخت جامد را نشان می‌دهد. موتور رمجت سوخت جامد حاصل ایده‌ای جالب برای افزایش برد موتورهای

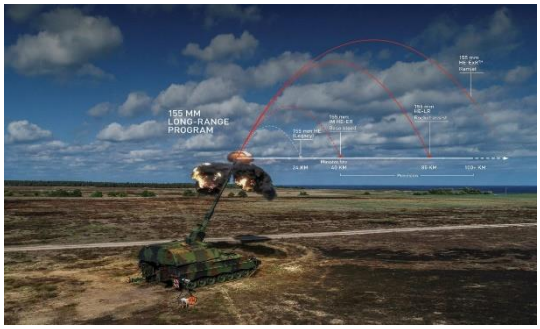
موشکی به همراه حفظ سادگی است. ایده اولیه این موتورها به اواخر ده پنجاه میلادی بازمی‌گردد ولی شروع کارهای مطالعاتی جدی بر روی آن از اوایل دهه هشتاد میلادی آغازشده و نمونه‌های عملیاتی این موتور نیز توسعه زیادی یافته‌اند. این موتورها شباهت عملکردی زیادی به موتورهای هیبرید داشته و تفاوت اصلی آن در بخش اکسیدکننده‌است. در موتورهای هیبرید، اکسیدکننده، مخزنی جداگانه به همراه سیستم پاشش دارد اما رمجت سوخت جامد از اکسیژن هوای محیط اطراف به‌طور مستقیم به‌عنوان اکسیدکننده استفاده می‌کند. با توجه به این موضوع، این موتورها دیگر نیازی به مخازن نگه‌دارنده، سیستم تغذیه و پاشش و قطعات چرخنده نداشته و لذا بسیار ساده و قابل‌اعتمادند.ضربه مخصوص این موتورها در مرتبه رمجت‌های سوخت مایع بوده و حدود سه تا چهار برابر موتورهای راکت با پیشران جامد است. از سوی دیگر با توجه به عملکرد این موتور در فشارهای پایین (زیر ۱۰ بار)، جرم سازه محفظه در مقایسه با راکت‌های با پیشران جامد بسیار سبک‌تر است. رمجت‌ها برای عملکرد بهتر نیاز به‌سرعت روبه‌جلوی قابل‌توجه دارند و در سرعت‌های ماخ ۲ تا ۵ بیشترین بازده را ارائه می‌دهند. رمجت‌ها به‌طور خاص، برای کاربردهایی که نیاز به موتور کوچک و ساده توأم با سرعت‌بالا است، مناسب می‌باشند. سوخت این موتور برخلاف موتورهای راکت با پیشران جامد، معمولاً دارای مقدار کمی اکسیدکننده بوده و اکسیژن موجود در هوای ورودی نقش اکسیدکننده را ایفا می‌نماید. جریان مافوق صوت در دهانه ورودی موشک توسط امواج تراکمی به جریان مادون صوت با عدد ماخ کم تبدیل‌شده و در این فرایند، فشار و دمای آن افزایش‌یافته و برای احتراق مناسب در محفظه، آماده می‌گردد. با توجه به عدم تمرکز در آزاد شدن انرژی، ناپایداری احتراق در این موتورها به‌ندرت مشاهده‌شده است و لذا قابلیت اطمینان آن‌ها از سویی دیگر مورد تائید است. نرخ پسروی سوخت جامد در این موتورها به دما و فشار محفظه و نیز دبی جرمی هوای عبوری از آن مرتبط است. با تغییر ارتفاع موشک و کاهش دما و فشار و دبی جرمی هوای ورودی، مقدار نرخ پسروی نیز کاهش‌یافته و لذا فرایند واکنش در این موتور به‌نوعی خودکنترل بوده و نیاز به سیستم تنظیم سوخت و اکسیدکننده ندارد [۹].



شکل ۸– شماتیک راکت–رمجت سوخت جامد [۱۰]

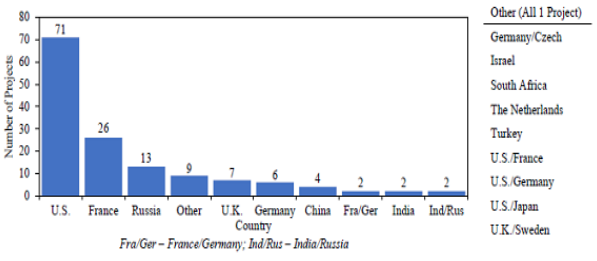
۳. ۲ فناوری گلوله توپخانه‌ای مجهز به موتور رمجت

با پیشرفت‌های صورت گرفته در فناوری موتور رمجت سوخت جامد و به دلیل عدم وجود سیستم تغذیه سوخت و پیچیدگی‌های مرتبط، رمجت سوخت جامد در چند دهه اخیر موردتوجه قرارگرفته است. نیاز به گلوله‌های توپخانه‌ای با برد بیشتر، شرکت‌ها و سازمان‌های تولیدکننده سلاح، ایده استفاده از موتور رمجت را در گلوله‌های توپخانه‌ای نسل آینده معرفی کردند. با برآوردهای انجام‌شده در فاز طراحی این گلوله‌ها، مشخص شد که استفاده از این فناوری می‌تواند برد گلوله را تا دو برابر و یا بیشتر افزایش دهد (شکل۹). تلاش‌ها برای پیشرفت فناوری موتور رمجت سوخت جامد ازجمله در ایالات‌متحده آمریکا، اسرائیل، سوئد، آفریقای جنوبی، کره جنوبی، آلمان و هلند صورت گرفته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، توپخانه‌های فعلی بدون تغییر در شکل و تجهیزات آن‌ها می‌توانند گلوله‌های جدید را استفاده نمایند. نتایج حاصله و رقابت روزافزون کشورها باعث شده است تا تعریف پروژه‌ها با استفاده از فناوری موتور رمجت روز به روز افزایش یابد (شکل۱۰) [۱۲].



شکل ۹– برنامه افزایش برد گلوله [۱۱]

در (شکل ۹) محصول HE گلوله متداول ۱۵۵ میلی‌متری و محصول IM HE-ER یک گلوله ۱۵۵ میلی‌متری می‌باشد که تا برد ۴۰ کیلومتر را شامل می‌شود این گلوله بر اساس تکنولوژی دمش از پایه ساخته شده است.محصول HE-LR یک گلوله ۱۵۵ میلی‌متری هدایت شونده مجهز به موتور راکت می‌باشد که می تواند به ۷۰–۸۵ کیلومتر برسد. محصول HE-EXR یک گلوله رمجت سوخت جامد ۱۵۵ میلی‌متری می‌باشد که از برد ۸۰ کیلومتر تا ۱۵۰ کیلومتر پوشش می‌دهد.



شکل ۱۰– پروژه‌های رمجت در هر کشور [۱۲]

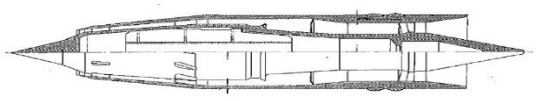
شکل ۱۰ تعداد کل برنامه‌های شناسایی رمجت در هر کشور تاکنون را نشان می‌دهد . ایالات‌متحده با ۷۱ برنامه بیشترین رمجت را دارد .فرانسه و روسیه به ترتیب با ۲۶ و ۱۳ به دنبال آن هستند. به‌طور طبیعی، تعداد برنامه‌ها تحت تأثیر رویدادهای مهم قرن بیستم، به‌ویژه جنگ جهانی دوم و جنگ سرد قرار گرفت. ایالات‌متحده و روسیه شاهد شروع سرمایه‌گذاری قابل توجهی در طول جنگ جهانی دوم و پیشرفت از طریق جنگ سرد بودند. فرانسه و آلمان در توسعه موتورهای رمجت قبل و در طول جنگ جهانی دوم فعال بودند و فرانسه پس از جنگ جهانی دوم همچنان فعال است. از زمان پایان جنگ سرد، تمرکز برنامه‌های رمجت به سیستم‌های سیکل ترکیبی برای استفاده در دسترسی به فضا تغییریافته است . بسیاری از کشورهایی که اخیراً تحقیق در مورد موتورهای رمجت را آغاز کرده‌اند. تفاوت در تعداد کل برنامه‌ها لزومی ندارد که یک کشور ازنظر تکنولوژی رمجت نسبت به کشور دیگر برتر باشد، بلکه می‌تواند نشان‌دهنده تفاوت فلسفه در کاربرد سیستم و رویکرد تحقیق و توسعه باشد. همان‌طور که گفته شد، ایالات‌متحده، فرانسه و روسیه در بیشترین تعداد برنامه‌ها سرمایه‌گذاری کردند.

۴ شرکت‌ها و کشورهای سرمایه‌گذار در حوزه رمجت

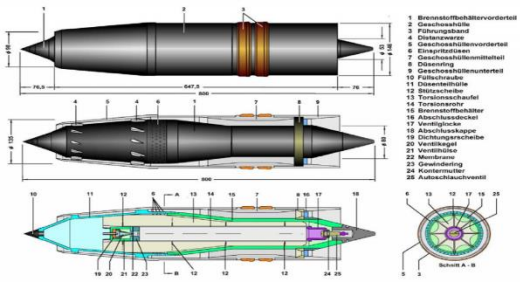
در حال حاضر تعدادی از این شرکت‌ها در مرحله انجام تست‌های عملیاتی هستند و محصولات طراحی‌شده آن‌ها در آینده نزدیک صحنه نبرد توپخانه‌ای را تغییر خواهد داد. در این قسمت به بررسی طرح‌های مختلفی از گلوله‌های توپ پرداخته‌شده است که از سیستم رمجت به‌منظور افزایش برد استفاده کرده‌اند[۱۲].

۴. ۱ آلمان

در آلمان گلوله‌های ۱۵۰ میلی‌متری توسط ترومسدورف طراحی و ساخته‌شده و به‌صورت آزمایشی شلیک‌شده‌اند از نتایج به‌دست‌آمده و توسعه‌های انجام‌شده بر روی آن اطلاعات کاملی در دسترس نیست. نقشه‌های موجود فناوری پیشرفته‌ای را در این گلوله نشان می‌دهد که از فناوری رمجت در آن استفاده‌شده است(شکل ۱۱و ۱۲). همچنین تست‌های میدانی نیز برای آن انجام‌شده است(شکل ۱۳) [۱۳].



شکل ۱۱– شماتیک گلوله طراحی‌شده با استفاده از تکنولوژی رمجت توسط ترومسدورف[۱۳]

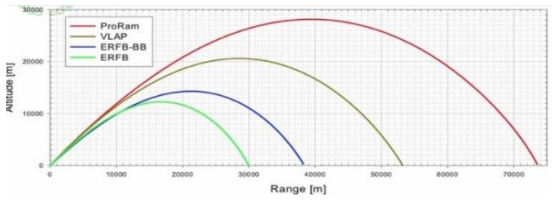


شکل ۱۲– شماتیک کامپیوتری گلوله طراحی‌شده با استفاده از تکنولوژی رمجت توسط ترومسدورف [۱۳]

شکل۱۳– بقایای گلوله تست‌شده با استفاده از تکنولوژی رمجت توسط ترومسدورف [۱۳]

۴. ۲ شرکت نامو نروژ

اخیراً شرکت نامو نروژ از یک مفهوم بالقوه انقلابی برای موشک مجهز به موتور رمجت استفاده کرده است که با استفاده از آن هر توپ استاندارد ۱۵۵ میلی‌متری می‌تواند به اهداف بیش از ۶۰ مایلی شلیک کند (شکل ۱۴). ارتش آمریکا قبلاً علاقه خود را به چنین گلوله‌ای ابراز کرده است که می‌تواند در انتها در خدمت سپاه تفنگداران آمریکایی باشد و سرانجام ممکن است راهی برای نیروی دریایی آمریکا جهت استفاده از توپ‌های جدید در ناوشکن‌های پنهان‌کار باشد [۱۴].



شکل ۱۴– برد گلوله رمجت شرکت نامو [۱۵]

در شکل ۱۴ فناوری با پرتابه ERFB، افزایش برد حدود ۳۰ درصد در مقایسه با گلوله های توپ معمولی امکان پذیر است.

ERFB- BB: پرتابه مجهز به فناوری دمش از پایه می‌باشد.

V- LAP: پرتابه توپخانه دوربرد با افزایش سرعت که پرتابه شامل فناوری ERFB- BB با نیروی رانش راکت می‌باشد.

Proram: برنامه فناوری رمجت سوخت جامد که برد را تا حدود ۸۰ کیلومتر برساند.

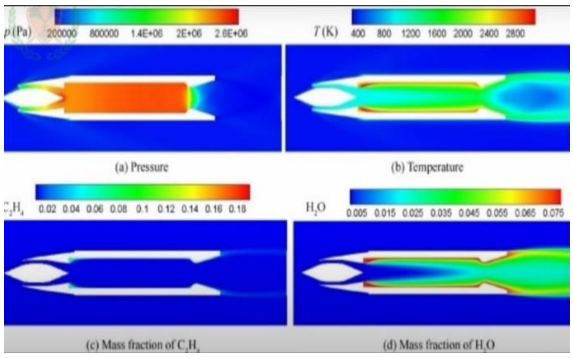
شرکت سازنده، آن را به‌صورت ماکت در نمایشگاه دوسالانه اسلحه در فرانسه، در سال۲۰۱۸، با عنوان رمجت سوخت جامد ۱۵۵ میلی‌متری معرفی کرد (شکل‌های ۱۵ و ۱۶).

شکل ۱۵– گلوله رمجت ۱۵۵ میلی‌متری شرکت نامو (طرح ۱) [۱۵]

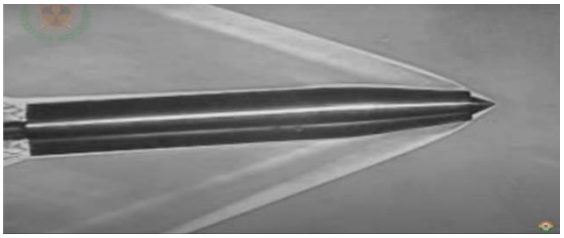
شکل۱۶–گلوله رمجت ۱۵۵ میلی‌متری شرکت نامو (طرح ۲) [۱۵]

همچنین شرکت سازنده برنامه‌ریزی کرده است تا سال ۲۰۲۳ آزمایش‌های گلوله را با موفقیت انجام دهد و مهمات جدید را به‌صورت عملیاتی در بین سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۴ به نیروهای نظامی تحویل دهد. در واقع استفاده از رمجت در توپ ۱۵۵ میلی‌متری، تکنولوژی پرتاب موشک از توپ است. به‌استثنای تعداد کمی از گلوله‌های هدایت‌شونده با برد۵۰–۶۰ کیلومتر (تقریباً ۳۰ تا ۴۰ مایل)، اکثر سیستم‌های توپخانه هنوز در همان فواصل ۷–۲۰ کیلومتر از هدف، مورداستفاده قرار می‌گیرند. از ۵۰ سال پیش با گسترش طول لوله هویتزر، ارتش امیدوار است که این دامنه‌ها را تقریباً دو برابر کند. اما هنوز به برد ۶۰ مایل نرسیده است. گلوله رمجت قادر خواهد بود که به بردی بیش از ۶۰ مایل دست یابد.

طبق گفته شرکت سازنده، فرایند آماده سازی برای خدمه توپخانه، یکسان باقی می‌ماند. سرعت اولیه با استفاده از نیروی پرتاب تأمین می‌شود. یک منبع سوخت جامد باعث حرکت گلوله با حداکثر سرعت ۳ ماخ شده و آن را تقریباً ۵۰ ثانیه حفظ می‌کند. شرکت نامو در این خصوص تست‌ها و شبیه‌سازی‌های گوناگونی انجام داده است (شکل‌های ۱۷ و ۱۸).



شکل ۱۷– شبیه‌سازی‌های عددی صورت گرفته برای گلوله رمجت [۱۶]

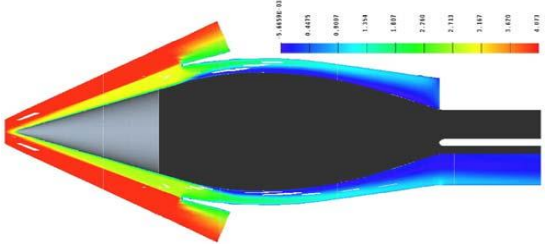


شکل ۱۸– تست تونل باد صورت گرفته برای گلوله رمجت [۱۷]

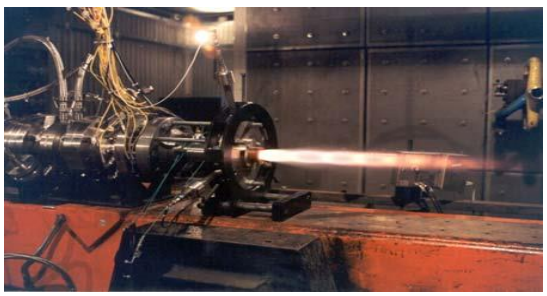
۳.۴ آژانس تحقیقات دفاع سوئد (FOA سابق)

سیستم پیشرانه رمجت سوخت جامد ترکیبی از عملکرد پیشران بالا و درجه پیچیدگی مکانیکی بسیار پایین است. به همین ترتیب، این یک سیستم پیشرانش بسیار مورد توجه برای گلوله‌های توپخانه‌ای است. نیروی جلوبرنده تولیدشده توسط سیستم پیشران می‌تواند برای کاهش زمان کل و یا افزایش انرژی جنبشی روی هدف یا افزایش برد استفاده شود. کارکرد یک گلوله رمجت سوخت جامد توسط پدیده‌های فیزیکی پیچیده با اثرات متقابل قوی تعیین می‌شود. یک طرح موفق از چنین گلوله‌ای نیازمند دانش دقیق از عملکرد در سطح زیرسیستم‌ها و همچنین در سطح سیستمی گلوله دارد.

یک برنامه مطالعه بر روی رمجت سوخت جامد توسط آژانس تحقیقات دفاع سوئد (FOA سابق) و TNO صورت گرفت. کار توسعه فناوری در زمینه آئرودینامیک (شکل ۱۹)، محفظه و عملکرد نازل (شکل ۲۰)، پیش‌بینی عملکرد گلوله، طراحی مکانیکی(شکل ۲۱) و سیستم سلاح امکان طراحی یک گلوله رمجت سوخت جامد با بالک‌های ثابت را فراهم می‌کند. آزمایش‌های پرواز انجام‌شده نشان داد که این برنامه قادر به ایجاد یک پیشران برابر با پسای آئرودینامیکی خود است و درنتیجه یک سرعت ثابت پرواز دارد [۱۸].



شکل ۱۹– شبیه‌سازی آئرودینامیکی گلوله رمجت [۱۸]

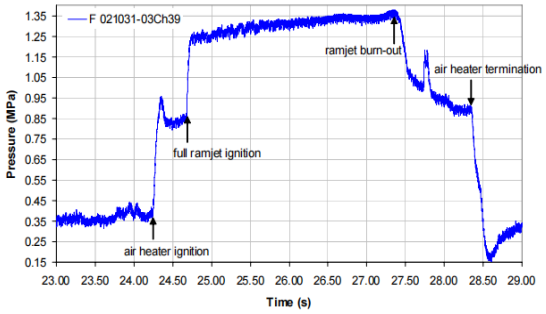


شکل ۲۰– توسعه فناوری محفظه احتراق و نازل گلوله رمجت [۱۸]

شکل ۲۱–طراحی پیکربندی گلوله رمجت [۱۸]

همچنین برنامه تحقیقاتی توسط TNO با همکاری با یک شرکت سوئیسی در مورد استفاده از فن‌آوری پیشران رمجت سوخت جامد در گلوله‌های پدافند هوایی در کالیبر متوسط انجام گردید. عناصر این برنامه منجر به اولین نمایش موفقیت‌آمیز پرواز با ماخ بیشتر از ۴، برای فناوری رمجت سوخت جامد در جهان شد (شکل‌های ۲۲و ۲۳).

شکل ۲۲– نمونه‌های تست‌شده گلوله رمجت [۱۸]

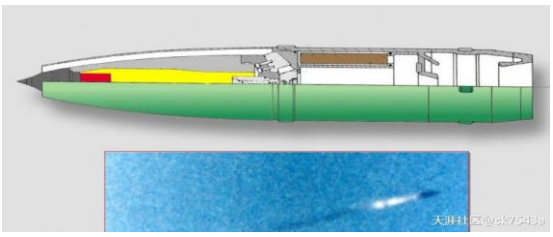


شکل ۲۳– نمودار فشار زمان گلوله رمجت تست‌شده [۱۸]

در نمودار فشار بر حسب زمان (شکل ۲۳) از زمان شروع تست تا ثانیه ۲۴/۳۰ هوای گرم وارد می‌شود و فشار به۰/۴۵MPa می‌رسد و سپس در همین ثانیه پدیده جرقه زنی رخ می‌دهد و فشار به۰/۹۵MPa رسیده و تا ثانیه ۲۴/۷۵ پدیده جرقه زنی کامل شده و فشار به ۰/۸۵MPa می‌رسد سپس پدیده احتراق تا ثانیه ۲۷/۴۹ تکمیل شده و فشار به ماکسیمم مقدار خود یعنی۱/۳۵MPa می‌رسد و در ادامه پس از احتراق، خروج گازهای داغ تا ثانیه ۲۸/۴۹ صورت می‌گیرد و فشار به۰/۹MPa می‌رسد بعد از آن تا انتهای تست فشار با افزایش زمان کاهشی می‌شود.

۴. ۴ دانشگاه نانجینگ چین

در میان بسیاری از روش‌های مختلف برای افزایش برد مهمات، استفاده از رمجت سوخت جامد نیز توسط دانشگاه علم و صنعت نانجینگ توسعه‌یافته است. بر اساس اطلاعات منتشرشده، گلوله طراحی‌شده بردی بیش از ۱۵۰ کیلومتر خواهد داشت (شکل‌های ۲۴ و ۲۵) [۱۹].



شکل ۲۴– شماتیک گلوله رمجت چینی به همراه تصویر تست [۱۹]

شکل ۲۵–گلوله ۱۵۵ میلی‌متری با سیستم پیشرانش رمجت ساخت کشور چین [۱۹]

۴. ۵ آمریکا

آمریکا اخیراً بخشی از یک تلاش گسترده‌تر را برای افزایش برد واحدهای توپخانه‌ای خود در ارتش ایالات‌متحده آغاز کرده است. آن‌ها قصد دارند تا یک توپ هویتزر جدید (شکل ۲۶) را برای افزایش برد تا میزان دو برابر، برای هر دو نوع خود کششی و غیر خود کششی، توسعه دهند. قبضه‌ای ۱۵۵ میلی‌متری که می‌تواند به‌طور مؤثر از گلوله‌های جدید مجهز به رمجت سوخت جامد و همچنین از گلوله‌های موشکی بهبودیافته، استفاده کند. هر دو نوع مهمات برای شکست دادن یک حریف نزدیک مانند روسیه در هر درگیری بالقوه‌ای بسیار مؤثر خواهد بود. برای این منظور ارتش ایالات‌متحده قراردادی را با شرکت نامو نروژ برای خرید گلوله‌های رمجت منعقد کرده است. همچنین شرکت ریتون قراردادهایی را برای طراحی و ساخت این سامانه‌های اسکرم‌جت جاری کرده است (شکل ۲۷) [۲۰].

شکل۲۶- توپ هویتزر جدید [۲۰]

شکل۲۷- گلوله اسکرم‌جت ساخت شرکت ریتون [۲۱]

۴. ۶ آفریقای جنوبی

آفریقای جنوبی تلاش برای توسعه فناوری در یک گلوله رمجت ۱۵۵ میلی‌متری را توسط شرکت RDM (SDD سابق) در آفریقای جنوبی با هدف رسیدن به برد حداقل ۷۰ کیلومتر انجام داده است. به‌عنوان بخشی از این تلاش، آزمایش تونل باد بر روی ورودی هوا و همچنین طرح‌های اولیه یکپارچه برای یک گلوله رمجت توپخانه‌ای انجام گردید(شکل ۲۸) [۲۲].

شکل ۲۸- گلوله رمجت سوخت جامد ساخت آفریقای جنوبی [۲۳]

۴. ۷ کره جنوبی

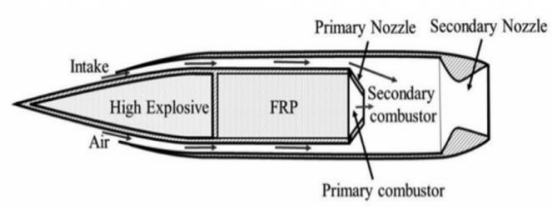
کشور کره جنوبی نیز با توجه به قرارگیری در منطقه حساس شرق آسیا و درگیری‌های منطقه‌ای در آن نقطه، طراحی گلوله رمجت سوخت جامد را در اولویت طرح‌های خود قرار داده و شرکت پونگ سان مسئولیت طراحی و ساخت آن را برعهده‌گرفته (شکل ۲۹) [۲۳].

شکل ۲۹- گلوله رمجت سوخت جامد ساخت کره جنوبی [۲۳]

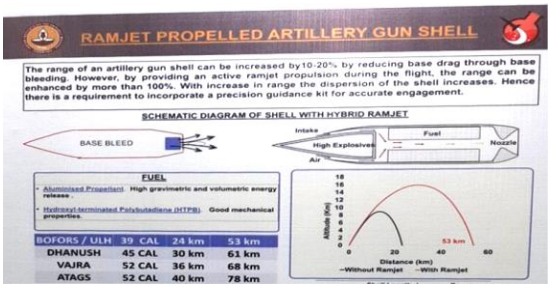
۴. ۸ هند

توسعه توپخانه مجهز به رمجت توسط موسسه فناوری هند- مادرس (IIT-M) در جریان نمایشگاه اکسپو ۲۰۲۰ پیشنهاد شد(شکل‌های ۳۰ و ۳۱). یک توپخانه مجهز به گلوله با فناوری دمش در پایه می‌تواند برد گلوله را ۱۰-۲۰٪ افزایش دهد. در عوض یک توپخانه مجهز به فناوری گلوله رمجت سوخت جامد می‌تواند برد را بیش از ۱۰۰٪ افزایش دهد.

واحدهای توپخانه ارتش هند به‌طور منظم در داخل پاکستان با اهدافی درگیر می‌شوند. دو برابر شدن برد به واحدهای توپخانه این امکان را می‌دهد تا با هزینه نسبتاً کمتری اهداف بسیار عمیق‌تری را در داخل پاکستان هدف قرار دهند [۲۴].



شکل ۳۰- شماتیک گلوله رمجت سوخت جامد ساخت هند [۲۴]

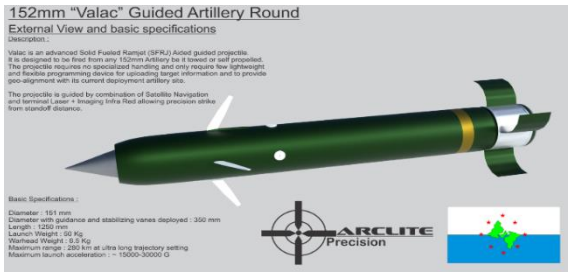


شکل ۳۱- شماتیک مشخصات گلوله رمجت سوخت جامد ساخت هند ارائه‌شده در اکسپو۲۰۲۰ [۲۴]

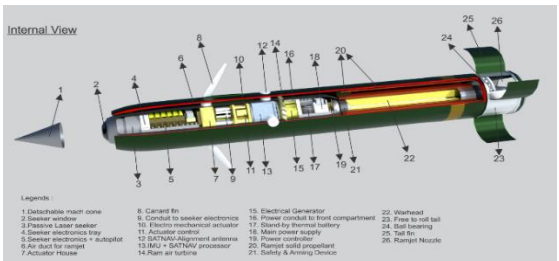
۴. ۹ گلوله رمجت ساخت شرکت آرکلایت پرسیژن با نام Valac

والاک نام یک گلوله توپ ۱۵۲ میلی‌متری است (شکل ۳۲). گلوله طوری طراحی‌شده است که پوسته هدایت‌شونده آن بتواند برد طولانی داشته باشد و توپ‌های قدیمی ۱۵۲ میلی‌متری را ارتقاء دهد. والاک نتیجه این توسعه بود. پوسته دارای بالک‌هایی از نوع "wraparound" است که در آن تمام پره‌ها و سطوح کنترل پس از پرتاب باز می‌شوند. از ویژگی‌های آن می‌توان به چرخش آزاد بخش انتهایی در هنگام پرواز اشاره کرد (Free Roll).

با توجه به شکل ۳۳ همان‌طور که در تصویر دیده می‌شود، والاک دارای ویژگی‌های SATNAV (ناوبری ماهواره‌ای) است که باعث افزایش دقت به میزان ۲–۳ متر می‌شود و می‌تواند اهداف در حال حرکت را مورد اصابت قرار دهد. جستجوگر آن از نوع ترکیبی از نوع مادون‌قرمز و لیزر است. جرم سر جنگی ۶/۵کیلوگرم است. منحصربه‌فردترین ویژگی والاک، سیستم پیشرانش آن است. با توجه به شکل هوا تنفسی موتور رمجت جرم سوخت برای یک برد مشخص کاهش‌یافته و بنابراین بردی طولانی (تا ۲۸۰ کیلومتر)، خواهد داشت. والاک از یک باتری حرارتی ماندگار استفاده می‌کند. سرعت گلوله حداقل ۲/۳۶ماخ (۸۰۰ متر بر ثانیه) خواهد بود [۲۵].



شکل۳۲– نمای بیرونی گلوله رمجت سوخت جامد والاک [۲۵]



شکل۳۳– نمای داخلی گلوله رمجت سوخت جامد والاک [۲۵]

۵ نتیجه‌گیری

اکسیژن یک عامل محیطی ضروری برای اکثریت موجودات زنده روی زمین است. رویداد بزرگ اکسیداسیون در حدود ۲٫۳ تا ۲٫۴ میلیارد سال پیش موجب تکامل بیوسفر سیاره زمین شد و به طرز چشمگیری مسیر حرکت تکاملی موجودات را تحت تاثیر قرار داد [۲۶]. این رویداد کاملا مطابق با تکامل فرآیند فتوسنتز اکسیژنی توسط سیانوباکتری‌ها بود و زمین را به یک سیاره با سطحی غنی از O2 تبدیل نمود که قادر به پشتیبانی از حیات گیاهان و جانوران است [۲۷].

توسعه فناوری‌های فضایی و نانوماهواره‌های ناسا، بیش از گذشته شرایط قرارگیری ارگانیسم‌ها و مولکول‌ها را در محیط فضا ممکن ساخته‌است؛ هدف از این آزمایشات، رمزگشایی از منشا، تکامل و گسترش حیات بر روی زمین و در جهان است. مهمترین اثر ناشی از خلا فضا، خشک‌شدگی است. سیانوباکتری از جنس Chroococcidiopsis در جوامع صخره‌ای و صحراها با شرایط سخت (نظیر دره‌های خشک قطب جنوب، صحرای آتاکاما در شیلی یا صحرای موهاوی[1] در کالیفرنیا که آنالوگ‌های زمینی مریخ محسوب می‌شوند) زیست می‌کند. تحمل خارق العاده این سیانوباکتری در برابر تنش خشکی، یونیزاسیون و پرتو یوی وی موجب شده‌است به عنوان گونه آزمایشگاهی مناسب برای سفرهای فضایی، توسعه سیستم پشتیبان حیات، و استفاده از منابع در محل برای استقرار انسان بر روی ماه انتخاب شود. بنابراین به نظر می‌رسد Chroococcidiopsis ارگانیسمی است که توانایی رشد در مریخ را دارد. به هر حال، هنوز مشخص نیست که کدام یک از سویه‌های آن دارای بهترین ویژگی‌ها برای مقاومت در برابر شرایط متفاوت و سخت مریخ هستند. بنابراین به نظر می‌رسد یک تحقیق دقیق برای یافتن سویه مناسب که بتواند از عهده همه شرایط نامناسب مریخ نظیر مقاومت به خشکی به دنبال احیا سریع، محافظت در برابر حجم زیاد نمک، اسید، پرتو یو وی، فشار بالا، غلظت‌های بالای دی اکسیدکربن، شدت نور کم، مقادیر آب کم (مرزی) و منبع دی نیتروژن گازی و غیره برآید برای به حداکثر رساندن پتانسیل رشد سیانوباکتری‌ها در مریخ ضروری باشد.

۶ منابع

[1] S. J. F. JR. (2018). *Strategic Long Range Cannon*. Available: https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/slrc.htm
[2] K. K. K. a. J. N. Fleming, *Base Bleed*. Taylor & Francis, 1991.
[3] J. Trevithick. Available: https://www.thedrive.com/the-war-zone/21531/yes-this-is-a-ramjet-powered-artillery-shell-and-it-could-be-a-game-changer
[4] H. Warriors. (2020). Available: https://twitter.com/homelandmag/status/1225033570084769800?lang=en-GB
[5] D. Nguyen, "XM1128 Insensitive Munition High Explosive Base Burn Projectile," in *NDIA Guns & Missiles Conference* New Jersey, 2011.

1. Mojave

[6] A. Calloway. (2016). *Army developing safer, extended range rocket-assistedartillery round*. Available: https://www.army.mil/article/174013/army_developing_safer_extended_range_rocket_assisted_artillery_round
[7] J. D. Mattingly, K. M. Boyer, and H. von Ohain, *Elements of propulsion: gas turbines and rockets*. American Institute of Aeronautics and Astronautics Reston, VA, 2006.
[8] J. Gilles. (2016). *Integrated_Rocket_Ramjet*. Available: http://mindworks.shoutwiki.com/wiki/Integrated_Rocket_Ramjet
[9] M. VERMYLEN. (2017). *P-800 Oniks*. Available: https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/todays-missile-threat/russia/16962-2/
[10] R. S. Fry, "A century of ramjet propulsion technology evolution," *Journal of propulsion and power*, vol. 20, no. 1, pp. 27-58, 2004.
[11] "THE RAMJET REVOLUTION," ed, 2019, p. 10.
[12] J. P. Jones, L. Kuffel, E. Sorto-Ramos, K. Seyed Alavi, T. Mccall, and B. Chudoba, "Investigating the legacy of air-breathing and rocket propulsion systems," in *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum*, 2020, p. 3916.
[13] V.Trommsdorff. (2019). *Active rockets*. Available: https://en.topwar.ru/165108-aktivno-reaktivnye-snarjady-v-trommsdorffa-germanija.html
[14] *NAMMO AMMUNITION HANDBOOK*. 2018.
[15] B. Plaza, R. Bardera, and S. Visiedo, "Comparison of BEM and CFD results for MEXICO rotor aerodynamics," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 145, pp. 115-122, 2015.
[16] Z. Changfei, C. Haotian, Y. Wenjin, and W. Xiaoming, "Self-ignition characteristics of the high-speed ramjet kinetic energy projectile in the launch process," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 32, no. 4, pp. 851-860, 2019.
[17] F. Dionisio and A. Stockenström, "Aerodynamic wind-tunnel test of a ramjet projectile," in *Proceedings of the 19th International Symposium on Ballistics*, 2001.
[18] R. G. Veraar, Meerten, E. van, and Giusti, G., "Flight and Terminal Ballistic Performance Demonstration of a Gun-Launched Medium Calibre Ramjet Propelled Air Defence Projectile," presented at the 41st Gun and Missile Systems Conference,, Sacramento, CA, 27-30 March, 2006.
[19] R. Joe. (2019). Available: https://twitter.com/rickjoe_pla/status/1175757485313056768
[20] J. Trevithick. (2018). Available: https://www.thedrive.com/the-war-zone/21598/the-army-wants-longer-barreled-howitzers-to-fire-ramjet-powered-and-other-special-shells
[21] (2021). *hypersonic missile takes flight*. Available: https://www.raytheonmissilesanddefense.com/news
[22] defenceWeb. (2020). *Denel offers Pakistan missile deal*. Available: https://www.flightglobal.com/denel-offers-pakistan-missile-deal/25185.article
[23] A. Samad, G. B. Tagawa, F. Morency, and C. Volat, "Predicting rotor heat transfer using the viscous blade element momentum theory and unsteady vortex lattice method," *Aerospace*, vol. 7, no. 7, p. 90, 2020.
[24] G. Sarkar. (2020). *Development of an Indian Ramjet Powered ArtilleryRound: The Story so far*. Available: https://www.strategicfront.org/research-work-in-ramjet-powered-artillery-shell-the-story-so-far/
[25] (2020). *Valac-152*. Available: https://www.deviantart.com/stealthflanker/art/Valac-152-834694488
[26] H. Decker and K. E. Van Holde, *Oxygen and the Evolution of Life*. Springer Science & Business Media, 2010.
[27] T. W. Lyons, C. T. Reinhard, and N. J. Planavsky, "The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere," *Nature*, vol. 506, no. 7488, pp. 307-315, 2014.