



✓ سرچنگی سه مخروطی موشک سجیل و ماده فناشونده مشکی در نوک آن



✓ تصویری از یک تحلیل خارجی روی بخش موتور موشک خرمشهر



✓ مقایسه شکل ظاهری موشک خرمشهر و موشک عماد



✓ لحظه شلیک موشک خرمشهر ۴

«خرمشهر ۴» نسل جدید

بالستیک‌های دور برد ایرانی

گزارش

محمدحسین الهی

هفته پیش و در چهارم خرداد۱۴۰۲ نسل چهارم موشک بالستیک سطح‌به‌سطح خرمشهر با حضور وزیر دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح رونمایی شد.این موشک در ادامه نسل موشک‌های خرمشهر که متفاوت از نسل موشک‌های شهاب ۳ هستند، به دست متخصصان وزارت دفاع یافته و توسعه قابلیت‌های گونه‌های قبلی خرمشهر در قدرت سرچنگی و دقت نقطه‌زنی و کسب ویژگی‌های جدید به میدان آمده است.

تاریخچه موشک خرمشهر

اولین گونه موشک خرمشهر در ۳۱ شهریور ۱۳۹۶ رونمایی شد که از نظر نسلی آخرین محصول معرفی شده کشور در رده بالستیک‌های برد بلند است. رونمایی این موشک بازتاب‌های بسیاری در بین تحلیلگران حوزه موشکی در دنیا داشت. موشک جدید ایران، قطر بیشتر و طول کمتری نسبت به سایر موشک‌های ایرانی با برد مشابه داشت و بدون بالک‌های پایدار ساز بر بدنه طراحی شده بود. این کار لزوم طراحی مجدد، شبیه‌سازی و آزمایش تمام اجزای سازه و بدنه موشک را در بر دارد که با توجه به تجربیات صنایع موشکی وزارت دفاع در طراحی و ساخت موشک‌های نسل شهاب ۳ و گونه‌های مشتق شده از آن در یک فرایند مهندسی صورت پذیرفته است. به علاوه در موشک خرمشهر طول کلی نسبت به سایر نمونه‌های نامبرده فوق، به میزان محسوسی کاهش داشته است؛ زیرا موشک‌های شهاب ۳ و قدر طول حدود ۱۵/۵ متر و بالاتر دارند. به گفته فرمانده نیروی هوافضای سپاه این کاهش طول سبب بهبود قابلیت‌های تاکتیکی برای خرمشهر شده است. در بهمن ۱۳۹۷ و در نمایشگاه دستاوردهای ۴۰ساله انقلاب اسلامی در عرصه دفاعی در مصلای تهران اطلاعاتی از موشک خرمشهر ۲ منتشر شد. در بنر نصب‌شده در کنار موشک خرمشهر، گونه‌ای از آن مجهر به سرچنگی دارای بالک کنترلی با قابلیت هدایت‌انتهایی مسیر دیده می‌شد که نام خرمشهر ۲ روی آن نقش بسته بود. در ادامه در رژه نیروهای مسلح در شهریور ۱۳۹۸ موشک خرمشهر با یک سرچنگی دارای طراحی متفاوت حاضر شد.

جدید به نمایش در آمد. این سرچنگی بر خلاف نمونه اولیه که مخروطی ساده است، دارای تغییر در سطح مقطع و زاویه سطوح بوده اما بر خلاف نمونه مشاهده شده در خرمشهر ۲ فاقد بالک کنترلی است. از طرفی به دلیل حجم کمتر این سرچنگی، احتمال اینکه این نمونه مربوط به کلاهک‌های چندگانه باشد، بسیار ضعیف است. در هر صورت مشاهده این سرچنگی جدید نشان از توسعه مستمر قابلیت‌های موشک خرمشهر داشت. برای این منظور متخصصان کشورمان با بهره‌گیری از طرح‌های موجود و اجرای محاسباتی که دارای پیچیدگی‌های علمی و فنی بالایی بوده و اجرای آنها با استفاده از ابزارآنه‌های زمان زیادی در حد چند هفته به طول می‌انجامد، اقدام به بهسازی طرح کلاهک موشک‌های کشورمان کرده‌اند.

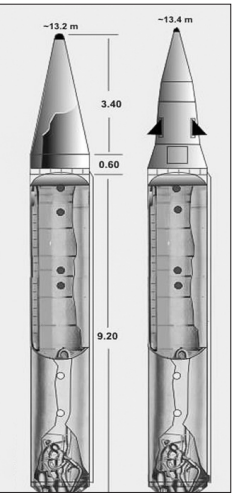
علاوه بر محاسبات ایرودینامیکی و دینامیک پروازی، تولید موادی که درجه حرارت بسیار بالای ایجادشده در چنین سرعت‌هایی را تحمل کرده و امکان اتمام مأموریت را به سرچنگی بدهد نیز از مسائل بسیار پیچیده در رسیدن به این موفقیت است. یکی از راه‌حل‌های موجود در دنیا برای حل مشکل حرارت تولیدی در سرعت‌های بالا استفاده از موادی با نقش «از بین رونده» یا «فناشونده» است که با سوختن این ماده مطابق الگوی مشخص، بخش‌های زیر این پوشش سالم باقی مانده و موشک به پرواز ایمن خود ادامه می‌دهد. محاسبه نحوه سوختن این مواد که گرافیت یکی از انواع آنهاست و طراحی و ساخت پوششی از جنس آنها که مطابق الگوی مدنظر بسوزد، از فعالیت‌های علمی سنگین و پیچیده محسوب می‌شود.

در تصویر سرچنگی موشک سجیل، بخش سیاه رنگ جلویی، همان بخش فناشونده است. با توجه به شباهت سرچنگی مشاهده‌شده با موشک خرمشهر در رژه شهریور، ۱۳۹۸ با نمونه‌های دو مخروطی و سه مخروطی موشک‌های شهاب ۳ و قدر، می‌توان گمانه‌زنی کرد که احتمالاً این سرچنگی جدید برای رسیدن به پایداری بیشتر برای افزایش دقت در سرچنگی تا لحظه آخر و همچنین رسیدن به بالاترین سرعت در فاز نهایی پرواز، بهینه شده است. به این ترتیب احتمال مورد اصابت قرار گرفتن آن توسط سامانه‌های پدافند موشوشکی دشمن کمتر می‌شود.

سنگین‌ترین سرچنگی بالستیک‌های ایرانی

میزان وزن سرچنگی گونه اول موشک خرمشهر برابر هزارو ۵۰۰ ترازو و ۸۰۰ کیلوگرم بیان شد. مقایسه با تمام موشک‌های بالستیک ایران از جمله قدر-اف و اج و نیز سجیل نشان می‌دهد خرمشهر بیش از دو تا سه برابر میزان اعلام‌شده برای انواع موشک‌های بالستیک برد بلند قبلی قابلیت حمل محموله جنگی دارد. شکل بیرونی سرچنگی این موشک خصوصاً در ناحیه دماغه که از مواد فناشونده در آن استفاده شده نشان‌دهنده سرعت بسیار بالای آن در مرحله ورود به جو است، امکان به کارگیری سرچنگی مجتمع (تعدادی سرچنگی کوچک چندصده کیلوگرمی) را برای موشک خرمشهر فراهم می‌کند.

قطر بیشتر بدنه در موشک خرمشهر، به حمل سرچنگی از نوع مجتمع نیز کمک می‌کند، زیرا فضای بیشتری برای جابه‌جی این نوع سرچنگی در اختیار طراحان قرار داد. همانطور که اشاره شد وجود موشک خرمشهر ۲ که سرچنگی آن قابلیت هدایت تا لحظه برخورد را نیز دارد در نمایشگاه اقتدار ۴ برای اولین بار اعلام شد. در نگاه اول، این سرچنگی شباهت بسیاری به نمونه مورد استفاده در موشک عماد دار. عماد اولین موشک بالستیک برد بالای متوسط ساخت ایران بود که به سرچنگی هدایت‌شونده انتهایی مسیر مجهر و در اوایل پاییز ۱۳۹۴ رونمایی شده بود. این موشک در آزمایش‌های خود، دقت بسیار زیادی را در برد حدود هزارو ۶۵۰ کیلومتر نشان داد. کمی بعد و در بهار ۱۳۹۵، خبر آزمایش موفق موشک با سرچنگی هدایت‌شونده و خطای چند متر در برد ۲هزار کیلومتر اعلام شد. سخنان فرمانده ستاد کل نیروهای مسلح در اواخر سال ۱۳۹۷ مبنی بر اصابت سرچنگی موشک خرمشهر با خطای ۶۰سانتیمتر به هدف در برد هزارو ۳۰۰۰ کیلومتر در آزمایش‌های نهایی خود، نشان داد این موشک بسیار زیادی برای گذشتن دارد و با این میزان خطا، عملاً سطح قابلیت نقطه‌زنی موشک‌های بالستیک ایران، بسیار بهبود یافته است. در رژه ۱۶شهریور ۱۳۹۸ موشک خرمشهر با یک سرچنگی



✓ مقایسه موشک خرمشهر ۱ و ۲ توسط یک تحلیلگر خارجی



✓ موشک خرمشهر در رژه شهر یور ۱۳۹۶



✓ سرچنگی مخروطی ساده موشک خرمشهر



✓ خرمشهر ۴



✓ رونمایی از موشک خرمشهر ۴



✓ موشک خرمشهر ۲



✓ اصابت بسیار دقیق سرچنگی خرمشهر ۲ به هدف



✓ موشک خرمشهر (سمت راست)

و یک موشک خارجی با مو تور دارای ساختار مشابه



✓ نمایش عمومی گونه اول موشک خرمشهر در نماشگاه اقتدار ۴۰ در بهمن ۱۳۹۷

خرمشهر ۴

رونمایی از خرمشهر ۴ و اطلاعات داده‌شده پیرامون ویژگی‌های آن نشان داد که روند توسعه موشک‌های بالستیک در ایران همچنان ادامه دارد. در واقع با وجود پیشرفت در موشک‌های کروز و پهپادها، ایران هرگز ابزار واکنش سریع خود را که موشک‌های بالستیک سطح‌به‌سطح هستند، رها نخواهد کرد. خرمشهر ۴ در شکل ظاهری تفاوت‌مهمی با نسل‌های قبلی ندارد و شکل بیرونی سرچنگی آن هم مشابه نسل اول خود است. زائده‌های کوچکی در انتهای بدنه این موشک اضافه شده که نمی‌توان نقش پایدار سازی خاصی برای آن متصور بود. بر د این موشک ۳هزار کیلومتر و وزن سرچنگی آن هم هزار و ۵۰۰ کیلومتر اعلام شده که بیش از یک تن آن مواد انفجاری است. همچنین خرمشهر ۴ قابلیت تجهیز به انواع سرچنگی‌های مختلف ساخت داخل را دارد که به طور معمول شامل انفجاری شدید وبارانی (حمل مهمات کوچک) و نفوذگر در سطوح سخت است.

اما چند ویژگی متفاوت در خرمشهر ۴ نسبت به نسل‌های قبلی بیان شده است. اولاً در خرمشهر ۴ مشکل مدت‌زمان کم انبارداری موشک‌های بالستیک سوخت مایع در قیاس با نمونه‌های سوخت جامد حل شده است و این موشک قابلیت انبارشدن در حالت سوختگیری‌شده به میزان چند سال را دارد که در ادامه به آن می‌پردازیم. ثانیاً در خرمشهر ۴ از روش دیگری برای تأمین قابلیت نقطه‌زنی در مقایسه با خرمشهر ۳ استفاده شده است. در موشک جدید به جای استفاده از بالک‌های نصب‌شده روی سطح بیرونی سرچنگی از موتورهای مختلفی در پشت سرچنگی استفاده شده است که با دقت

بسیار بالایی زوایای حرکتی موشک را تنظیم می‌کنند. در واقع به گفته مسئولان وزارت دفاع در خرمشهر ۴ دقت نقطه‌زنی به جای فاز نهایی شیرجه سرچنگی روی هدف، در فاز میانی پرواز و در خارج از جو فراهم می‌شود. وجود قابلیت کنترل سرچنگی در فضای خارج از جو البته به گریز از سامانه‌های دفاع موشکی دشمن هم کمک شایانی می‌کند. به گفته جانشین وزارت دفاع، چند نوع موتور کنترلی در سرچنگی تقریباً چهار متری خرمشهر ۴ نصب شده است که کار اصلاح مسیر برای رسیدن به هدف کنتر دقت را برعهده دارند. یکی از وظایف این موتور‌ها، جبران خطاهای ایجادشده در فرایند جدایش سرچنگی از بدنه است. گام بعدی تنظیم دقیق مسیر حرکت سرچنگی به سمت هدف تعیین شده است و در نهایت هم پیش از ورود به جو غلیظ، موتورهای کنترلی، سرچنگی را به چرخش حول محور طولی خود مانند یک مته وادار می‌کنند تا پس از ورود به جو کمترین تأثیرپذیری از اغتشاشات لایه‌های مختلف جو حاصل و موشک با سرعت بالا روی مسیر از پیش تعیین شده به سمت هدف سرازیر شود. طبق اطلاعات منتشرشده، خرمشهر ۴ نسبت به گونه‌های قبلی خود سرعت بالاتری دارد و در فاز میانی سرعت ۶ ماخ و پس از ورود به جو سرعت هشت‌ماد دارد که هر دو رقم قابل توجهی برای یک موشک بالستیک هدایت‌شونده در حد نقطه‌زنی هستند. حذف بالک‌های روی سرچنگی را می‌توان از جمله دلایل رسیدن به سرعت بالاتر در فاز نهایی نسبت به خرمشهر ۳ برشمرد. به علاوه عدم‌نیاز به هدایت در فاز نهایی نزدیک شدن به هدف هم سبب می‌شود تا اثرپذیری احتمالی از جنگ الکترونیک دشمن به کمترین میزان خود و در حد صفر برسد، زیرا عملاً کار هدایت پیش از ورود به جو نهایی شده است.

راز ماندگاری طولانی خرمشهر ۴

موتورهای راکتی دسته مهمی از پیشرفته‌های هوافضایی هستند که سوخت و اکسیدکننده را در داخل بدنه موشک حمل می‌کنند. در موتورهای راکتی، سوخت مایع و سوخت جامد دو دسته اصلی و اختصاص‌دهنده تقریباً نزدیک ۱۰۰ درصد کاربردهای عملیاتی به خود هستند. پیشران‌های سوخت مایع دارای اجزای متعددی شامل مخزن سوخت، مخزن اکسیدکننده (به جای اکسیژنی که باید از هوا برای اشتعال تأمین می‌شد)، پمپ‌ها، شیرها و لوله‌هایی برای انتقال این مواد به محفظه احتراق و یک نازل که با شکل خاص خود باعث بیشتر شدن نیروی رانش تولیدی می‌شود، تشکیل شده‌اند. پیشران‌های سوخت جامد بسیار ساده‌تر هستند و سوخت و اکسیده‌کننده به صورت یک ماده خمیری در زمان تولید باهم مخلوط و پس از گرمادهی در زمان کافی که به آن فرایند پخت نیز گفته می‌شود در موشک کارگذاری شده و پس از آن آماده عملیات تا مدت‌زمان طولانی هستند. در این موشک‌ها فرایند احتراق در فضای خالی درون همان محفظه‌ای که سوخت قرار دارد، به انجام رسیده و گازهای حاصله با عبور از نازل باعث حرکت موشک می‌شوند، بنابراین در اینجا از اجزا و قطعات مختلف موجود در پیشران‌های سوخت مایع خبری نخواهد بود.

از جهت سهولت نگهداری موتور راکتی سوخت جامد طول مدت انبارداری بسیار بیشتری دارد، حمل‌ونقل آن ساده‌تر از موتورهای سوخت مایع است و اطمینان‌پذیری بیشتری را به وجود می‌آورد. این موشک‌ها بدون نیاز به بازبینی‌های مفصل از بابت پیشران می‌توانند تا سال‌ها در انبار یا سکوی پرتاب مستقر و آماده‌به‌کار باشند و در صورت تصمیم به شلیک هم در مدت بسیار کوتاهی در حد چند دقیقه آماده شلیک می‌شوند، اما در موشک سوخت مایع، سوخت و اکسیدکننده پیش از پرتاب باید به داخل مخازن تزریق شوند که فرایندی بسیار زمانبر است. نکته مهم این است که به دلیل خوردندگی بالای این سوخت‌ها، مدت‌زمان باقی ماندن سوخت در مخازن در بهترین حالت نهایتاً تا چند روز با هفته خواهد بود، بنابراین نمی‌توان یک موشک سوخت مایع را سال‌ها آماده شلیک نگه داشت. پس از آن باید سوخت و اکسیدکننده تخلیه و در صورت لزوم مخازن شسته شوند. همچنین موشک سوخت مایعی که سوخت داخل آن تزریق شده، امکان حمل‌ونقل و جابه‌جایی دشواری نیز دارد.

سردار سیدمهدی فرجی، جانشین وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح در شهریور ماه ۱۴۰۰ از دستیابی

در جریان رونمایی از خرمشهر ۴ اعلام شد که این موشک از موتوری متفاوت از نسل شهاب ۳ و با نام اروند بهره می‌برد. قبلاً هم از تصاویر منتشرشده در نمایشگاه اقتدار ۴۰ مشخص شده بود که موشک خرمشهر از پیشران سوخت مایعی متفاوت با نمونه‌های به کار گرفته‌شده در موشک‌های نسل شهاب بر خوردار است. تفاوت مشهود در بخش خروجی موشک خرمشهر با آنها شامل تفاوت قطر نازل (خروجی پیشران) و نیز برخورداری پیشران موشک خرمشهر از دو نازل کوچک جانبی در کنار خود است. تفاوت دیگری که با نمایش عمومی موشک خرمشهر دیده شد، عدم استفاده از بالک‌ها یا فین‌های کنترلی نصب‌شده در انتهای پیشران است. در موشک‌های نسل شهاب و نیز سجیل و قیام کار کنترل موشک با بردار رانش با استفاده از این بالک‌ها صورت می‌پذیرفت، اما در موشک خرمشهر این نوع سامانه بردار رانش مشاهده نمی‌شود، این در حالی است که نسل اول خرمشهر نیز قابلیت هدایت و کنترل تا زمان روشن بودن موتور را دارد، بنابراین باید هم نازل اصلی موتور و هم دو نازل جانبی با دست کم فقط دو نازل جانبی قابلیت حرکت به صورت چرخش صفحه‌ای را داشته باشند. این شیوه در واقع نوع پیشرفته‌تری از سامانه‌های کنترل بردار رانش در موشک‌های نظامی ایران بود که تا آن زمان دیده نشده بود. بعدها موتور سوخت جامد سلمان ساخت سپاه هم به عنوان اولین موتور سوخت جامد با نازل متحرک و بدون نیاز به بالک‌های کنترلی در دهانه خروجی ارائه شد. وجود بالک‌های کنترلی در خروجی نازل، سبب کاهش ناخواسته مقداری از نیروی پیشران می‌شود، ضمن اینکه این بالک‌ها باید با استفاده از مواد بسیار مقاومی ساخته می‌شدند. عملگرهای کنترلی جداگانه هر یک از این بالک‌ها نیز به وزن موشک می‌افزاید. البته قابلیت اطمینان از عملکرد این بالک‌ها بسیار بالا و محاسبات مربوط به کنترل آنها نیز نسبتاً ساده است. در مقابل، استفاده از نازل متحرک برای کنترل موشک، ضمن حفظ تمام نیروی پیشران تولیدی، وزن کمتری نیز دارد. یکی از ویژگی‌های اعلام‌شده پیرامون موتور اروند، قابلیت قرارگیری آن در داخل مخزن سوخت موشک است. به واسطه این قابلیت، از طول کلی موشک به میزان قابل توجهی کاسته شده است و مزیت‌های گفته شده در مورد کاهش طول موشک حاصل می‌شود، اما رسیدن به این ویژگی نیازمند طراحی موتور برای این شرایط و نیز آلیاژهای متفاوت برای مقاومت در برابر واکنش شیمیایی با ترکیبات سوخت مایع است.