مروری بر موتورهای رم جت و اسکرم جت

حجت طلوعی[۱]، فتح اله امی[۲]

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی هوافضا، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس، hojjattolouei@yahoo.com

۲- استاد، گروه مهندسی هوافضا، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، fommi@modares.ac.ir

*فتح اله امی

چکیده

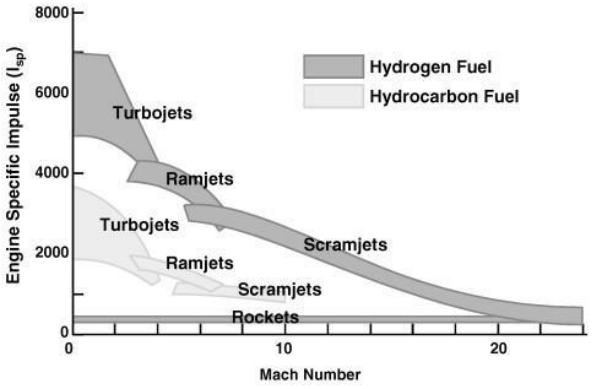
موتور رم جت و اسکرم جت از جمله موتورهای هوا تنفسی می باشندکه در آینده حمل و نقل هوایی، بخصوص در پروازهای زیر مداری، نقش عمده ای دارند این موتورها دارای کمترین مقدار قطعات دوار بوده و محدوده عملکرده برای موتور های رمجت بین ماخ ۳ تا ۵ و برای موتورهای اسکرم جت در عددهای ماخ بالاتر از ۵ می باشد عمل احتراق در موتورهای رم جت با تراکم هوای فراصوت در دهانه ورودی و در موتورهای اسکرم در جریان هوای فراصوت انجام می گیرد . این موتورها دارای ضربه ویژه پایین تر نسبت به دیگر موتورهای هواتنفسی بوده و دارای عملکرد بهتری در سرعت های فراصوت می باشند. این موتورها از لحاظ مصرف به سه دسته تقسیم شده اند که هرکدام کارکردهای مختلفی دارند. این موتورهای همواره با چالش های مختلفی در زمینه ناپایداری احتراق، مکش هوای ورودی، ساختار مواد سازنده و عدم کارکرد در سرعت صفر مواجه هستند. هدف عمده این پژوهش برررسی و ارایه آخرین یافته های تحقیقاتی در این حوزه با تمرکز بر روی موتورهای رم جت و اسکرم جت می باشد.

واژه های کلیدی: *رم جت – اسکرم جت – ماخ- عملکرد- فراصوت*

۱- مقدمه

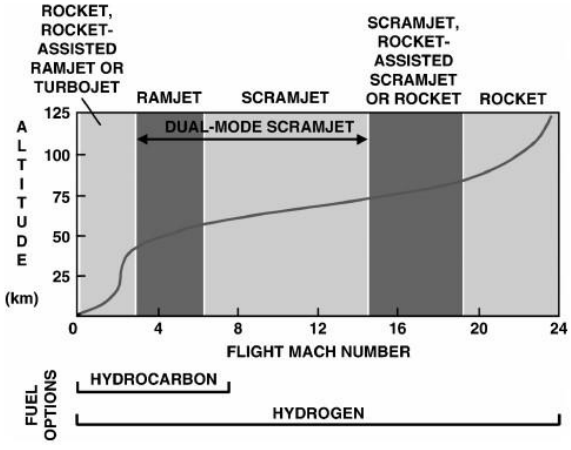
هر متحرکی برای جابجای و حرکت در سطح زمین , سطح آب , درون آب ,در هوا یا فضا نیاز به محرک دارد تا با ایجاد نیروی پیشرانش یا جلوبرنده بر نیروی مقاوم خارجی مانند جاذبه ,اصطکاک و نیرو های آیرو دینامیکی ناشی از سیال یا گاز حاکم بر محیط اطراف غلبه کرده و متحرک را پیش براند.

عملکرد یک موتور هواتنفسی که با متغییر ضربه ویژه محاسبه می شود به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از راکت است. این در حالی است که با استفاده از موتورهای رم جت و اسکرم جت این مزیت تا رژیم های جریان با عدد های ماخ بالاتر نیز پیش می رود مطابق شکل (۱) سوختهای مورد استفاده در این موتورها به خصوص در موتور اسکرمجت به دو صورت هیدروژنی و هیدروکربنی می باشد. موتورهای رم جت نمیتوانند زیر ماخ ۲ یا ۳ کار کنند زیرا به سرعت بالاتر برای متراکم کردن هوا در جلوی موتور نیاز دارند. سرعت بالاتر از ماخ ۶ نیز برای آنها دست نیافتنی است، زیرا باعث داغ شدن گازهای احتراق تا حد تجزیه محصولات احتراق میشود. چاره کار در موتورهای اسکرم جت است.



شکل ۱ - مشخصات عملکرد موتورهای هواتنفسی

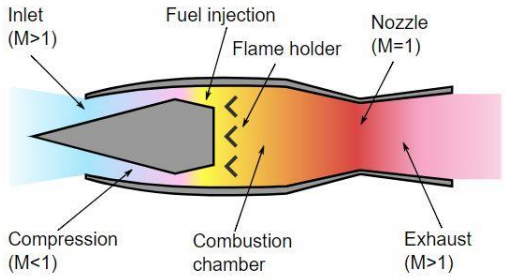
انتخاب نوع موتور برای هواپیما و موشک های با سرعت بالا به نوع مأموریت انتخابی و بازه سرعتی مورد نظر بستگی دارد . در شکل (۲) نمونه ای از روند انتخاب موتورهای مختلف به صور تابعی از عدد ماخ و ارتفاع پروازی نشان داده شده است به دلیل استفاده گسترده از انواع موتورهای هواتنفسی در جهان، طراحی موتورهای کارآمد تر و همچنین دستیابی به سرعت های بالاتر از اهمیت ویژه ای برخودار است[۱].



شکل ۲- مشخصات عملکرد موتورهای هواتنفسی

۲- موتور رم جت

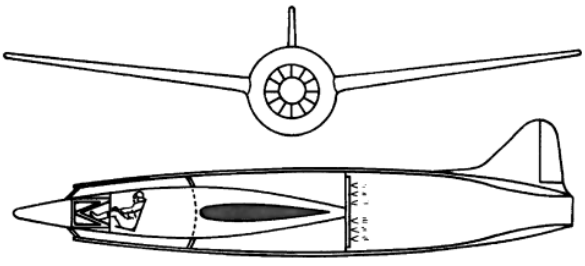
موتور رمجت یک موتور هواتنفسی و فاقد تجهیزات دوار از جمله توربین و کمپرسور بوده و محدوده پروازی فراصوت آن بین عدد ماخ ۲ الی ۵ می باشد شکل(۳). پدیدهای که در موتور رمجت رخ میدهد، پدیده ی رم افکت نام دارد. رم افکت به معنای فشرده شدن و تراکم خودبه خودی هوا در اثر حرکت وسیله متحرک با سرعت بسیار بالا است. پدیدهٔ رم افکت از سرعت های نزدیک به ۵۰۰ کیلومتر بر ساعت شروع شده و خود را نمایان میکند. موتور رم جت فقط شامل پخش کننده، اتاق احتراق و شیپوره خروجی است. برای راه اندازی باید به یک سرعت مشخص برسد و از آن به بعد موتور عمل می کند. نقش ورودی هوا در موتورهای رم جت بسیار مهم است و عمل تراکم هوا توسط آنها صورت می گیرد.بهترین محدوده سرعت عملکردی موتورهای رم جت در سرعت های مافوق صوت و در بازه عدد ماخ بین ۱/۲ تا ۵ است. موتورهای رم جت در سرعت های مافوق صوت به دلیل سادگی و وزن کم، برای هواپیماها وموشک ها که سرعت بالا دارند مناسب است. این موتورها در حالت سکون روشن نمی شوند و احتیاج به ورود هوا به داخل موتور دارند



شکل ۳- نمایی از موتور رم جت

موتور های رمجت در سرعت صفر تولید تراست نمی کنند بنابراین یک سیستم شتاب دهنده برای افزایش سرعت به منظور شروع کار موتورهای رمجت نیاز است.

در سال ۱۹۳۰ اولین هواپیمای رمجت در فرانسه ایده سازی شد و تست های مختلف بر روی آن انجام شد. اولین پروازکه هواپیمای رمجت Leduce-010 که در شکل (۴) نشان داده شده است در آوریل سال ۱۹۴۹ از طریق هواپیمایی پرتابگر انجام شد. سالها بعد نمونه های اصلاح شده ای تحت عنوان Griffin 2 ایجاد شد[۱, ۲].

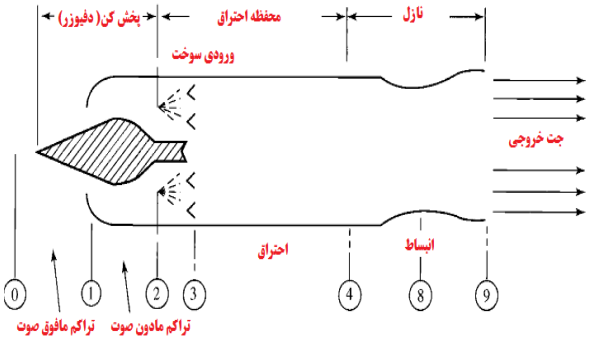


شکل ۴- اولین هواپیمای رمجت تست شده

در اواخر دهه ۱۹۳۰ یورگن سانگر، یکی از ایده پردازان عالی رتبه آلمانی در زمینه دینامیک ماورای صوت و رمجت، شروع به توسعه یک بمب راکتی زیر مداری به نام سانگر کرد که قابلیت حمله به اهداف در بردهای بالا و بین قاره ای را دارا بود. کمی بعد از جنگ جهانی دوم، ارتش آمریکا توسعه و تست موتورهای رمجت مادون صوت را برای کاربردهای آزمایشگاهی شروع کرد. موشک کروز مافوق صوت ناواهو دردهه ی ۱۹۵۰ به منظور کاربردهای بین قارهای توسعه داده شد. این موشک با قطر ۴۸ اینچ، طول ۹۰ فوت و با وزن ۱۲۰کیلو پوند بزرگترین موشک رم جت توسعه یافته در ایالات متحده بود. برای این موشک از دو موتور رمجت کنار هم و با سوخت مایع JP-4 و JP-5 استفاده شده بود. هم زمان با توسعه موشک ناواهو، روسیه موشک رمجت بوریا را توسعه داد. این موشک برای کاربردهای بین قاره ای ایجاد شده بود.در این موشک از موتور رمجت سوخت مایع با دو بوستر که سوخت آن کروسین بود استفاده شده بود و تست پروازی موفقی از این موشک گزارش شد. کمی بعد از توقف تولید موشک ناواهوا توسعه موشک بوریا نیز در سال ۱۹۵۸ متوقف شد. در دهه ۱۹۵۰ میلادی، موشک های بومارک و تالوس به طور کامل توسعه یافتند و به ترتیب در نیروهای هوایی ونیروی دریایی ایالا متحده آمریکا عملیاتی شدند. موتوراین موشک ها از نوع رم جت سوخت مایع با سوخت هیدروکربن به همراه بوستر بود. این موشک ها معمولاً با سرعت بین ماخ ۲ تا ۳ و در ارتفاع ۴۰,۰۰۰ تا ۷۰,۰۰۰ از سطح دریا پرواز می کردند. در اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی،موشک دوربرد بلودهون توسط نیروی دریایی انگلستان ساخته شده و توسعه یافت. موتور آن از نوع رمجت سوخت مایع به همراه دو بوستر سوخت جامد بود. از زمان عملیاتی شدن این موشک در سال ۱۹۶۴ تا توقف تولید آن در سال۱۹۹۱میلادی، تعداد ۸۰۰ موشک تولید شد. موشکهای زمین به هوای رمجت در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی شروع به ساخت و توسعه در کشور روسیه شدند. از نمونه های این موشک ها می توان به SA-4- و SA-6 نام برد توسعه و ساخت موشک SA-6 از اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی شروع و در سال ۱۹۷۰ میلادی عملیاتی شد. موتور این موشک از نوع مولد گازDR است. از سال ۱۹۹۴ میلادی تا به امروز، تمرکز بر روی ساخت و توسعه موشک های مولد گاز بیشتر شد ، موشکAS-17 ساخت کشور روسیه موشک متئور ساخت کشور انگلستان و موشکSSST ساخت کشور ایالات متحده آمریکا نمونه هایی از این نوع موشک ها هستند[۳]

۲-۱ اصول عملکرد موتورهای رم جت

در موتور رم جت هوا با فشارزیاد وارد موتور شده و پس از عبور موج ضربه ای و قایم سرعت آن به مادون صوت تبدیل شده و یک رم جت از این فشار زیاد استفاده می کند تا هوا را با فشار وارد دیفیوزرنموده و بخشی از آن را از طریق مخلوط کردن با سوخت محترق کرده و حرارت میدهد. سپس هوا وارد نازل خروجی شده و تا سرعتهای مافوق صوت شتاب داده می شود و این شتاب ایجاد نیروی پیشرانش می کندشکل(۶)



شکل ۵- نمایی از اجزای مختلف یک موتور رم جت

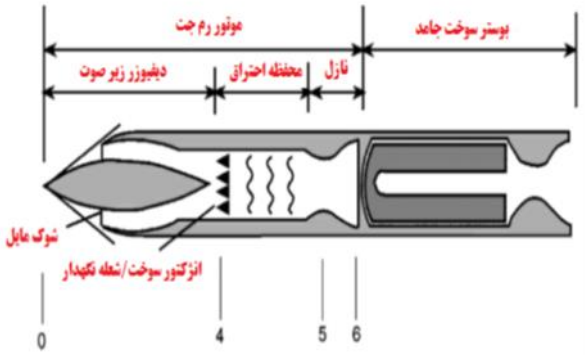
۲-۲ انواع رم جت بر اساس نوع سوخت مصرفی

اولین دسته بندی یا طبقه بندی که در مورد موتورهای رمجت وجود دارد دسته بندی این موتورهابر اساس نوع سوخت مورد استفاده میباشد. موتورهای رمجت بر اساس نوع سوخت مورد استفاده به سه دسته موتورهای رمجت با سوخت مایع، موتورهای رمجت با سوخت جامد و موتورهای رمجت با مولد گاز تقسیم بندی میشوند. موتورهای رمجت سوخت مایع به دلیل بازده و کارایی بالا و موتورهای رمجت سوخت جامد به دلیل سادگی عملکردو همچنین هزینه کمتر نسبت به موتورهای رمجت سوخت مایع کاربردخاص خود را دارند. موتورهای مولد گاز نیز نوع جدیدی از موتورهای رمجت هستند که هم بعضی از قابلیتهای موتورهای سوخت جامد ماندقابلیت نگهداری و انبارداری مناسب و هم بعضی از قابلیت های موتورهای سوخت مایع نظیر کنترل میزان تراست را دارا می باشند[۴].

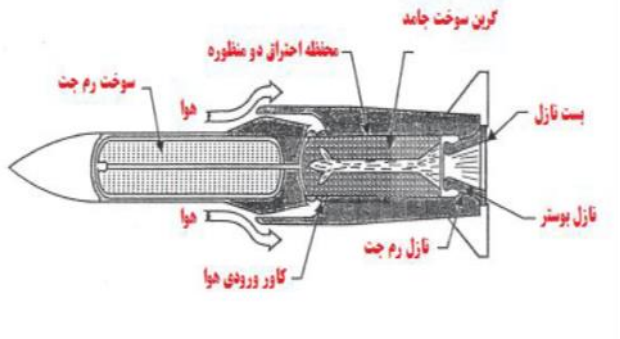
۲-۲-۱ رمجت با سوخت مایع

موتورهای رمجت سوخت مایع می توانند به عنوان سوخت از کروسین یا مواد با چگالی بالا استفاده کنند. موتورهای رمجت سوخت مایع کاربرد وسیع تری نسبت به موتورهای رمجت سوخت جامد دارند که این به دلیل بازده بالاتر و همچنین توانایی تغییر در میزان تراست می باشد. در بعضی ازمواقع برای افزایش کارایی موتورهای رمجت، سوخت مایع را با بوستر سوخت جامد شکل(۶) برای شتاب گیری وسیله و رسیدن به سرعت های مناسب برای کار موتور رمجت ترکیب می کنند. در این حالت محفظه سوخت بوستر سوخت جامد و محفظه احتراق موتور رمجت یکی می گردند. اکثر موشک های رمجت موجود در دنیا سوخت مایع هستند دو مدل از موتور رمجت سوخت مایع وجود دارد. در بعضی از مواقع موتورهای رمجت سوخت مایع بامحفظه مشترک با بوستر سوخت جامد را در دسته دیگری از موتورها به نام رم راکت دسته بندی می کنند. شکل(۷)در این موتور در ابتدا بوستر سوخت جامد شروع به کار میکند و وسیله را به سرعت های بالا می رساند. در این حالت با اتمام سوخت و خالی شدن موتور، دریچه های ورودی هوا باز می شود و موتور راکت تبدیل به یک موتور رمجت می شود.

بزرگترین عیب این نوع موتورها، تغییرات ناگهانی و شدید در نیروی پیشرانه آنها در هنگام اتمام سوخت جامد است. زیرا در این لحظه سوخت تمام شده و موتور راکت دیگر نیروی پیشرانش تولید نمی کند و رم جت نیز در همان لحظه آغاز کار، به اندازه موتور راکت قبلی نیروی پیشرانش تولید نمیکند.



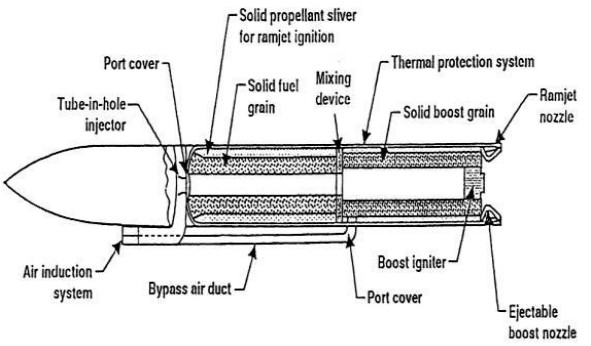
شکل ۶- موتور رمجت سوخت مایع



شکل ۷- موتور رم راکت سوخت مایع

۲-۲-۲ موتورهای رم جت با سوخت جامد

استفاده از سوخت جامد درموتورهای رمجت از اوایل دهه ۳۰ برای موتورهای رمجت مطرح بود.استفاده از سوخت جامد در موتورهای رمجت این قابلیت را به موتورهای رمجت میداد که شرایط نگهداری مشابه با موشکهای کلاسیک سوخت جامد داشته باشند. در این موتورها شکل(۸) سوخت جامد فاقد اکسید کننده بوده و دیواره محفظه موتور را می پوشاند. با برخورد هوای داغ به این سوخت، سوخت به گاز تبدیل می شد و در محفظه احتراق می سوزد. این نوع موتورها برای شرایط محیطی با شتاب بالا مناسب هستند.



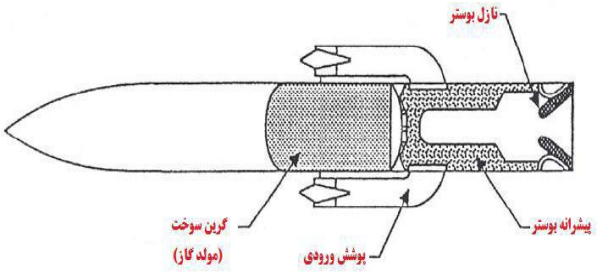
شکل ۸- نمای شماتیک موتور رم جت سوخت جامد

۳-۲-۲ موتورهای رم جت با مولد گاز

در این نوع از موتور های رمجت، پیشرانه حاوی مقدار کمی ماده اکسید کننده می باشد. (پیشرانه غنی از سوخت ژنراتور گاز) مقدار کم اکسید کننده تنها برای تولید گاز مورد استفاده قرار می گیرد این گاز تولید شده سپس در محفظه احتراق با هوا ترکیب شده و می سوزد. راکت های مجرا دار از نظر شرایط نگهداری مشابه با موتورهای رمجت کلاسیک هستند و هم قابلیت گاز خور بودن (تنظیم تراست) مشابه با موتورهای رمجت سوخت مایع دارند، با این تفاوت که شتاب ورنج بیشتری نسبت به موتورهای رمجت سوخت مایع مشابه دارند. این موتورها در یک تقسیم بندی کلی به دو دسته مولد گاز مجزا و مولد گاز پیوسته تقسیم می شوند.

۱-۳-۲-۲ موتور رمجت با مولد گاز مجزا

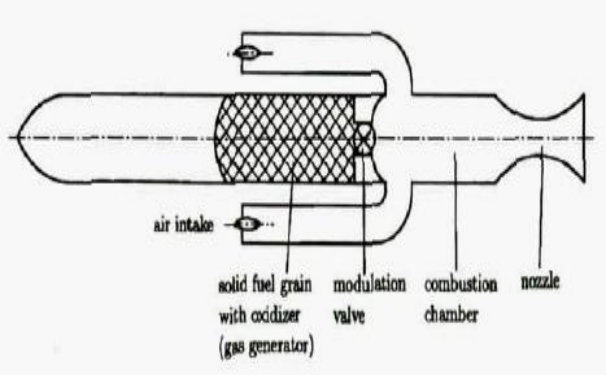
در این نوع از موتور رمجت، سوخت در یک محفظه جدا نگهداری می شود و همانند یک راکت کار میکند. شکل (۹) گازهای تولیدی توسط این مولد گاز دارای دمای پایینی هستند و از طریق یک شیر کنترلی به داخل محفظه احتراق تزریق می شوند. با توجه به این که نرخ سوزش سوخت جامد به فشار وابسته است، میتوان میزان دبی گاز ورودی به محفظه و میزان تراست را تنظیم کرد.



شکل ۹- راکت مجرا دار با مولد گاز

۲-۳-۲-۲ راکتهای مجرا دار با مولد گاز پیوسته

در این نوع از موتور رمجت، پیشرانه غنی از سوخت در تماس مستقیم با دیواره های محفظه احتراق قرار دارد شکل (۱۰) در این حالت میزان ناپایداری موتور به دلیل خود تنظیمی آن زیاد است.



شکل ۱۰- راکت مجرا دار با مولد گاز پیوسته

۳-۲ مزایا و معایب موتورهای رم جت

در ادامه جهت مقایسه موتور های رم جت ویژگی ها، معایب و مزایا به اجمال ارایه می گردد.

مزایا این دسته موتورها عبارتند از:

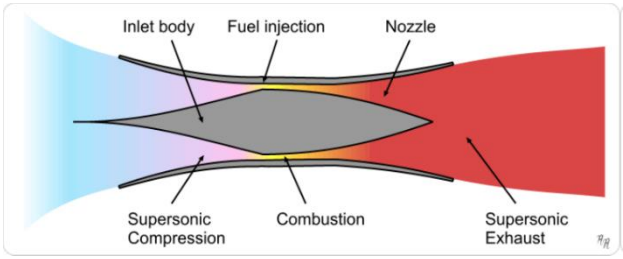
۱- زیاد بودت نسبت قدرت به وزرن در سرعت های بالا(در رم جت ۳۰ و در موتورهای توربینی ۷ تا ۸ است).
۲- سادگی، سبک بودن، ارزان بودن و عدم نیاز به تعمیرات
۳- قابلت استفاده از سوخت های مختلف.
۴- میزان مصرف سوخت مناسب و ضربه مخصوص بیشتر در سرعت های و ارتفاعات بالا نسبت به موتورهای توربینی (کاهش مصرف سوخت).
۵- حداکثر دمای مجاز بالاتر نسبت به موتورهای توربینی (حدود ۲۰۰۰ درجه در مقایسه با ۱۲۰۰۰ درجه سلسیوس)

معایب این موتورها نیز عبارت است از:

۱- عدم کارایی در سرعت صفر و نیاز به یک سیستم دیگر برای راه اندازی .
۲- عدم تولید نیروی پیشران کافی و مصرف سوخت زیاد در سرعت های پایین .
۳- یک دیفیوزر با قدرت تحمل بالا(به دلیل بالا بودن سرعت برخورد هوا به آن) نیاز دارد که طراحی آن مشکل است.
۴- بالا رفتن بیش از حد دمای پوسته موتور به دلیل حرکت در سرعت های بالا که نیاز به طراحی و مواد خاصی برای ساخت دارد.
۵- تجزیه محصولات احتراق در دمای بالا
۶- به دلیل بالا بودن صدای انجام تست روی آن به دشواری صورت می گیرد.
۷- به علت نداشتن توربین نمی توان از آن به کمک شفت برای وسایل دیگر نیرو گرفت.[۵]

۳ – موتور اسکرم جت

موتورهای رمجت نمی توانند زیر عدد ماخ ۲ یا ۳ کار کنند، زیرا به سرعت بالا برای متراکم کردن هوا در جلوی موتور نیازدارند. سرعت بالاتر از ماخ ۵ نیز برای آنها دست نیافتنی است،زیرا باعث داغ شدن گازهای احتراق تا حد تجزیه محصولااحتراق و آسیب زدن به بدنه موتور می شود. برای حل این مشکل از موتورهای اسکرمجت استفاده می شود. موتور رمجتی که عمل احتراق در آن در سرعت فراصوت انجام می پذیرد،رمجت فراصوت یا اسکرم جت نامیده می شود. انجام احتراق درسرعت بیش از سرعت صوت ، باعث می شود که اسکرم جت بتواند به سرعت هایی بالاتر از رمجت های متداول برسد. ساختارموتور اسکرمجت همانند موتور رمجت می باشد که در آن هواابتدا متراکم شده و سپس با سوخت ترکیب و در نهایت احتراق روی می دهد. گازهای حاصل از احتراق با سرعتی بالاتر ازسرعت هوای ورودی از موتور خارج می شوند، که این مساله رانش مورد نیاز برای حرکت رو به جلوی موتور را تولید می کند. شکل(۱۱) نمایی از موتور اسکرم جت نشان داده شده است.



شکل ۱۱- نمایی از موتور اسکرم جت

در موتور اسکرمجت هوای ورودی با سرعت بالای صوت وارد محفظه احتراق می شود. چون هوا چندان فشرده نمی شود وبا آزادی نسبی وارد اتاقک احتراق می شود، دمای آن افزایش چندانی نمی یابد. طراحی آیرودینامیکی ورودی هوای موتوراسکرم جت به گونه ای است که هوا را تنها تا حد احتراق در چندهزارم ثانیه متراکم کند و در عین حال از سرعت هوای ورودی چندان نکاهد، این امر بسیار پیچیدهای است. بدنه موتور و سایرقسمت های جسم پرنده نیز باید بسیار مستحکم باشد تا در برابرنیروهای آیرودینامیکی در سرعت های بالا مقاومت کند. کاهش شتاب در محفظه احتراق موتورهای رمجت موجب از دست دادن مقداری از آنتالپی کل شده که این مساله کارایی موتوررمجت را پایین می آورد. در موتورهای اسکرم جت با برقراری جریان مافوق صوت به جای مادون صوت در محفظه احتراق،مقدار کمتری از آنتالپی کل در محفظه احتراق از دست می رود ودر نتیجه کارایی موتور اسکرم جت در مقابل رمجت افزایش می یابد.با وجود اینکه از لحاظ ادراکی اسکرم جت سیستم ساده ای است، اما به کارگیری عملی آن توسط چالش های تکنیکی جدی محدود شده است. پرواز با سرعت مافوق صوت در اتمسفر به شدت تولید نیروی درگ می کند و در نتیجه دمای داخل موتور بیشتر از دمای هوای اطراف خواهد شد. از طرفی احتراق با سرعت مافوق صوت چالش های جدیدی به دنبال دارد، چرا که سوخت باید پس از پاشش با هوا مخلوط شود وعمل احتراق در کسری از ثانیه رخ دهد. در یک اسکرم جت،انرژی جنبشی جریان آزاد هوای ورودی به موتور در مقایسه باانرژی آزاد شده واکنش سوخت و اکسیدکننده بزرگتر بوده به طوری که حرارت آزاد شده از احتراق در عدد ماخ ۲۵ در حدود ۱۰درصد آنتالپی کل سیال عامل است. با توجه به نوع سوخت، در عدد ماخ ۸ تقریباً نیروی جنبشی هوا و انرژی حرارتی آزاد شده از احتراق با هم برابر خواهند بود.

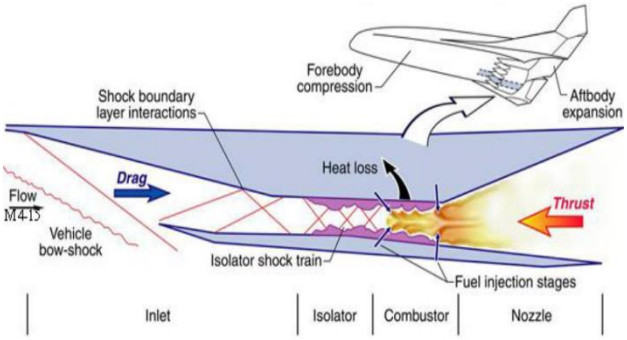
بالاترین سرعتی که تاکنون با موتور اسکرم جت حاصل شده توسط هواپیمای بدون سرنشین X-43A است(شکل ۱۲)که در ۱۶ نوامبر سال ۲۰۰۴ توسط ناسا با استفاده از یک بمب افکن B-52 به عنوان هواپیمای مادر به پرواز درآمده و به عدد ماخ ۹/۶۸ معادل ۱۱،۸۵۸کیلومتر بر ساعت دست یافته است[۶].

شکل ۱۲- نمایی از هواپیمای اسکرم جت X-43A

تکنولوژی اسکرمجت از سال ۱۹۵۰ میلادی در حال پیشرفت و توسعه بوده و نمونه های مختلفی از آن در آمریکا و انگلستان ساخته و آزمایش شد. در بین سالهای ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۷ آزمایش های مختلفی در خصوص موتورهای اسکرم جت در استرالیا انجام شد. در سال ۱۹۹۳ میلادی بودکه یک نمونه کامل از موتور اسکرم جت توسط آلن پاول وهمکاران وی به پرواز درآمد. در بین سالهای ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳ تلاش های جدی و مستدلی برای ساخت یک فضاپیمابا قابلیت استفاده مجدد با استفاده از موتور اسکرم جت صورت گرفت این هواپیما با نام X-30 توسط ناسا و وزارت دفاع آمریکا پشتیبانی مالی گردید ولی در سال ۱۹۹۳ به دلیل کمبود اعتبارا مالی متوقف شد. در ساله ای اخیروزارت دفاع آمریکا و ناسا، با کمک شرکت های صنعتی،پیشرفت های چشمگیری در زمینه سامانه های پیشرانشی هواتنفسی با سرعت بالا داشته اند. می سال ۲۰۱۰ هواپیمای شرکت بویینگ با نامX-51A برای ۳ دقیقه با ماخ ۵ پرواز کرد. این پرنده از موتور SJY 61 با سوخت اسکرمجت JP-7بهره می برد که توسط شرکت پراتت اند ویتنی ساخته شده بود. در آخرین آزمایش موفق این پرنده پروازی با عدد ماخ۵/۱ به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. در می سال ۲۰۱۳ نیز هواپیمای X-51A با سرعت ۴۸۲۸ کیلوتر در ساعت به مدت ۳ دقیقه پرواز کرد.

۳-۱ قسمتهای مختلف اسکرم جت

اسکرم جت نیز مانند رم جت از سه قسمت اصلی تشکیل شده است شکل (۱۲) .بخش اول ورودی همگرا می باشد، که هوا در آن ابتدا متراکم شده و شتابش کاهش می یابد. بخش دوم محفظه احتراق است که در آن هوا با ماده سوختنی ترکیب شده و در نهایت احتراق روی می دهد.نازل واگرای خروجی بخش سوم می باشد که گازهای حاصل از احتراق را با سرعتی بالاتر از سرعت هوای ورودی، از موتور خارج می کند و در نتیجه رانش مورد نیاز برای حرکت رو به جلوی هواپیما راتولید می کند.



شکل ۱۲- اجزای مختلف موتور اسکرم جت

۳-۲ چالش های فنی موتور اسکرم جت

چهار بخش اصلی این موتور می تواند با چالش های مکش هوا،ناپایداری احتراق، انبساط گازها وساختار مواد سازنده مواجه شود. موتورها اسکرمجت برای متراکم کردن هوای ورودی به انرژی جنبشی بالای آن نیاز دارد تا هوا را تا رسیدن به وضعیت عملکردی متراکم نماید و این کاراغلب به کمک سیستم پیشرانش دیگری اتفاق می افتد همچنین پرواز با سرعت مافوق صوت در اتمسفر به شدت تولید نیروی درگ می کند و دمای داخل موتور به شدت بیشتر از دمای هوای اطراف خواهد بود. از دیگر چالش های این موتورها می توان عدم اشتعال سوخت، اشتعال سوخت در خارج از محفظه احتراق و ساختار موادی که توانایی تحمل درجه حرارت های بسیار بالا در طول پرواز مافوق صوت را دارا باشند اشاره کرد.

۳-۳ سوختهای مورد استفاده در اسکرم جت

سوخت هایی که در سیستم های پیشران هوایی از آنها استفاده می شود، اغلب از هیدروکربن هایی نظیر پارافین ها، سیکلوپارافین ها(نفتالین)، الفین ها و آرماتیک ها و ترکیبات دیگری که برای مصارف خاصی به سوخت اضافه می شوند، تشکیل شده اند. در این بین پارافین ها و سیکلوپارافین ها از اجزای اصلی به شمار می روند.یکی از سوخت هایی که در موتورهای اسکرم جت مورد استفاده قرار می گیرد هیدروژن مایع بوده و دلیل آن دارا بودن ارزش حرارتی و ضربه ویژه بالا و قابلیت خنک کاری بسیار خوب هیدروژن مایع است.

۴ – نتیجه گیری

واضح است که دستیابی به تکنولوژی رم جت و اسکرم جت، موتور هواتنفسی با قابلیت پرواز ماورای صوت آینده دنیای هوافضا را متحول خواهد کرد. موتورهایی با قابلیت پرواز و گشت زنی با سرعت های بسیار بالا و از آن مهمتر با قابلیت استفاده مکرر که گامی عظیم در دسترسی آسان و کم هزینه به فضا و حمل و نقل در سراسر دنیا را به ارمغان خواهند آورد. با توجه به اهمیت موتورهای رم جت و اسکرم جت در مقاله سعی شده تمامی مقالات و پژوهش های انجام شده در طول سالیان گذشته مورد بررسی و و چالش های پیشروی این موتور ها ارایه گردد. این موتور دارای شکل ظاهری ساده ولی عملکردی بسیار پیچیده است. از این رو سرمایه گذاری های کلانی در بخش های مختلف مرتبط با این موتورها از لحاظ مطالعه مواد با قابلیت تحمل دمای بالا، فناوری چرخه های ترکیبی و سایر بخش ها درحال انجام است. درآیندهای نه چندان دور این فناوری به عنوان عامل مهم تصمیم گیری برای آینده رقابت جهانی، ازنظر برتری فضایی تاثیرگذار خواهد بود.

مراجع

[۱] R. S. Fry, "A century of ramjet propulsion technology evolution," *Journal of propulsion and power*, vol. 20, no. 1, pp. 27-58, 2004.

[۲] A. Lockheed, "Lockheed SR-71 Blackbird-Lockheed SR-71 Blackbird."

[۳] G. P. Sutton and O. Biblarz, *Rocket propulsion elements*. John Wiley & Sons, 2016.

[٤] W. H. Heiser, D. T. Pratt, and D. H. Daley, *Hypersonic airbreathing propulsion*. Aiaa, 1994.

[٥] I. Procinsky and C. A. McHale, "Nozzleless boosters for integral-rocket-ramjet missile systems," *Journal of Spacecraft and Rockets*, vol. 18, no. 3, pp. 193-199, 1981.

[٦] پیرکندی, جاماسب, and م. جهرمی, "موتورهای رم‌جت، توربو رم‌جت و نقش آنها در بهبود فناوری سیستم‌های پیشران," مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران, vol. 23, no. 6, pp. 33-50, 2015.