# اوج

فصلنامه
علمی-پژوهشی و تحلیلی دانشجویی
دانشکده هوافضا
دانشکده صنعتی شریف
قیمت ۱۰۰۰ تومان

۳

زمستان ۸۶

- تکنولوژی پنهانکاری
- موشک شهاب ۳
- ارزیابی اف۲۲
- گزارش ایکائو

پذیرش آگهی
۰۹۱۲۵۷۶۰۱۶۴

فصلنامه
علمی، پژوهشی و تحلیلی
دانشکده هوافضا
دانشگاه صنعتی شریف

فصلنامه علمی، پژوهشی و تحلیلی اوج
زمستان ۱۳۸۶، سال اول سری جدید، شماره ۳

یا من الهوا و الفضا

تحت حمایت و پشتیبانی
دبیرخانه نشریات مدیریت امور فرهنگی و فوق برنامه
با حمایت مالی شهرداری محترم تهران

| | |
|---|---|
| سرمقاله | ۲ |
| گزارشی از سمینار | ۳ |
| DEW | ۷ |
| شهاب ۳ | ۱۰ |
| تکنولوژی پنهانکاری | ۱۵ |
| ارزیابی اف ۲۲ | ۲۴ |
| نیروی هوایی تعیین کننده سرنوشت جنگها | ۳۵ |
| گزارش ایکائو | ۴۶ |
| زباله‌های فضایی | ۵۰ |
| سیستم‌های ارتباطی آویونیکی | ۵۶ |
| مراحل پرتاب ماهواره | ۶۰ |
| مواد جدید برای کشتی‌های فضایی | ۶۹ |
| آخرین اخبار پرتاب ماهواره کاوشگر ۱ | ۷۵ |

**عکس روی جلد: یک فروند هواپیمای اف ۱۱۷ای متعلق به اولین نسل از هواپیماهای پنهانکار در حال سوخت‌گیری هوایی. در جریان جنگ ۱۹۹۱ خلیج فارس، نیروی هوایی آمریکا با استفاده از همین هواپیماها، علی‌رغم تعداد کمشان توانست بزرگترین ضربات را بر پیکره‌ی ماشین جنگی نیروهای بعث عراق وارد آورد. این نبرد علاوه بر آن‌که بزرگترین نمایشگاه ارزش و کارایی این هواپیما بود، بزرگترین عرصه نمایش ضعف‌ها و نقص‌های این هواپیما هم بود. در جریان این نبرد یکی از رزم‌ناوهای انگلیسی که از راداری قدیمی با طول موج بلند( تکنولوژی دهه‌ی ۶۰ میلادی) استفاده می‌کرد متوجه حضور این هواپیما در مجاورت خود شد. هم‌زمان روس‌ها که شبانه‌روز و از نزدیک به رصد وقایع جنگ می‌پرداختند، بارها متوجه این ضعف بزرگ نایت‌هاوک‌ها شدند. بدین ترتیب اولین ایده‌های مقابله با این جنگنده‌ها بر روی میز فرماندهان چیده شد. برای آشنایی بیشتر با ویژگی پنهانکاری توجه شما را به مقاله‌ای که در همین زمینه در این شماره به رشته تحریر در آمده جلب می‌کنیم.**

صاحب امتیاز: **گروه دانشجویی پرنده**
زیر نظر شورای عالی
مدیر مسئول: **محمدعلی نوریان**
سردبیر: **غلامرضا علیزاده**
مدیر اجرایی: **یوسف دهقان**
دبیر تحریریه: **اصغر فرهادی**
وب سایت: **محسن بهرامی**
روابط عمومی: **محمد حسین احمدی پژوه**
مدیر هنری: **محمد حسین فضل‌خانی**
مشاور فنی و ناظر چاپ: **محمد حسین فضل‌خانی**
ویراستاران: **مسعود عیدی عطارزاده، محمدعلی نوریان**
گزارش و مصاحبه: **آرین پورباقری**
همکاران این شماره: **مسعود طوسی، هادی نوذری، آریا قاسمیان، اصغر فرهادی، حمید ملکی، محمد باقر زاده، غلامرضا علیزاده، حسین عبداللهی گل، ابوالفضل ایران نژاد، محمد علی نوریان، محمد حسین خوشینی، سجاد صادقیان، امیرحسین صادقیان، سعید عرب، افشار کسائی، سلیمان تنهادخت، محمد حسین فضل‌خانی**
صفحه‌آرا: **فاطمه حسنی**

# سرمقاله

بر مبنای تصمیم هیئت تحریریه‌ی مجله‌ی اوج، این مجله از دو بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول پژوهش که در آن مجموعه‌ای از تحقیقات و کارهای صورت گرفته توسط دانشجویان دانشکده‌های هوافضای کشور می‌گنجد. هدف از این بخش معرفی دستاوردهای دانشجویان دانشکده‌های هوافضای دانشگاه‌های ایران است. اهمیت این بخش در این است که به علت نو و تازه بودن این رشته هنوز بسیاری از مسئولین کشور نمی‌دانند که این رشته مرهم کدام‌یک از دردهای صنعت این کشور است.اما در این شماره مقالات این قسمت را به علت تقارن زمانی چاپ شماره سوم و کنفرانس بین‌المللی هوافضای ۲۰۰۸ به شماره‌های آتی واگذار کردیم تا به تمایل دوستان برای نو بودن مطالبشان در کنفرانس بین‌المللی آیرو ۲۰۰۸ احترام گذاشته باشیم.

با توجه به اهمیت روزافزون مطالعات راهبردی و استراتژیک و نگرش پیش‌دستانه به آینده‌ی پیش رو و افق‌های دوردست و نیز جایگاه برتر نگاه راهبردی و کلان به مجموعه صنایع مختلف از جمله صنعت هوافضا، و نیز توجه کشور به جایگاه برتر هوافضا در ایران ۱۴۰۴ بخش دوم مجله را اختصاص دادیم به مطالعات راهبردی. پس بر آن شدیم تا با گردآوری جمعی از دانشجویان بهترین دانشگاه کشور و یکی از بهترین دانشگاه‌های خاورمیانه، یکی از مهمترین نیازهای صنعت هوافضای کشور را پاسخگو باشیم. تجربه ثابت کرده است که نیاز به تمرکز در این بخش از صنعت اگر بیشتر از دیگر بخش‌های مهم و حیاتی نباشد، کمتر نیست. بدون شک یکی از مهمترین مقوله‌های مرتبط با حیات و رشد و توسعه یک صنعت، بررسی نحوه تعامل آن با دیگر اجزای صنعت و دانشگاه‌ها است. علاوه بر این چگونگی ارتباط آن با دیگر زمینه‌های تخصصی و دیگر زمینه‌ها از جمله سیاست، اقتصاد، جامعه و ... دارای اهمیتی درخور توجه است که نتیجه صریح نگاه دقیق و درست به این مقوله‌ها رشد و گسترش هر چه سریع‌تر و بهتر صنعت هوافضاست.

نکته مهم دیگر آن است که مدت‌هاست در کشور ما به علت فقدان نیروی متخصص در زمینه هوافضا، بر اثر الزام صنعت و شدت نیازمندی‌ها و این اصل که باید به نیاز پاسخ داد؛ از افرادی با دیگر زمینه‌های تخصصی برای هدایت و راهبری این صنعت استفاده شده است. به اعتقاد ما سهل‌الوصول‌ترین راه برای جبران این نقیصه استفاده از مجموعه‌ای از دانشجویان دانشگاه برتر کشور به عنوان مشاوران و خط دهندگان به جریان فکری مسئولین ذیربط است. و ما این مهم را از طریق مجله‌ای که با همت و تلاش دوستان شما به ثمر می‌نشیند، انجام خواهیم داد. ضمن آن که معتقدیم استفاده از استعدادهای دیگر دانشگاه‌های برتر کشور نیز ما را در رسیدن به این هدف یاری خواهد کرد. پس دست همکاری به سوی تمامی‌دوستانمان در دیگر دانشگاه‌های کشور و هر آنکس که توان خط دهی به افکار مسئولین صنعت هوافضا را در خود می‌بیند دراز کرده و آرزوی روزی را می‌کنیم که صنعت هوافضای ما هم، هم‌تراز با برترین‌های جهان باشد.

**سردبیر مجله اوج**

# معرفی کشتی هوایی stratxx در سمینار

# Near Space Platform Technologo

آرین پورباقری

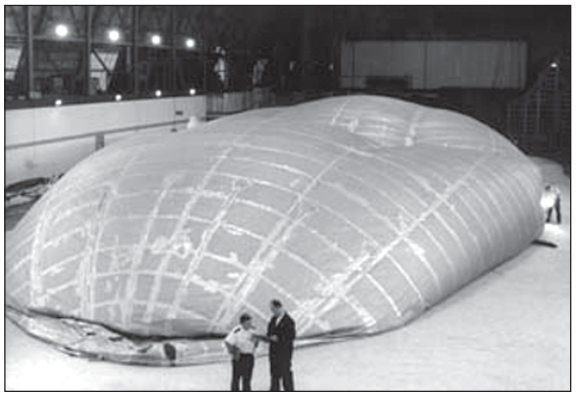
**معرفی ساختاری نحوه پیشبرد پروژه stratxx:**

این سامانه قابلیت spotting technology را خواهد داشت به طوری که از ارتفاع ۲۱ کیلومتری بین چند شهر ارتباط مستقیم مخابراتی و تلویزیونی، wimax digital broadcast، و... برقرار کرده و حتی این مجموعه را به ایستگاه های دورتر متصل می نماید. شعاع پوشش آن در صورت نبودن مانع حدود ۱۰۰۰ کیلومتر است و توانایی ارتباط با ماهواره و ایستگاه های زمینی را دارد لذا می تواند Backhalling کرده، و hotspotها را به هم متصل کند.

پروژه xstation درارتفاع ۲۱ کیلومتری (استراتوسفر) با مداومت ماموریت حداقل ۳ ماه بدون دسترسی یا سوخت رسانی مجدد بوده و لذا تنها منبع انرژی آن سلول های خورشیدی می باشند و کل مجموعه قابل استفاده مجدد می باشد.

سیستم به صورت یک بالن به پرواز در آمده و بعد در ارتفاع ۲۱ کیلومتری به شکل خربزه‌ای خود می‌رسد. این ایده تا به حال در هیچ جای دیگری عملی نشده اگر چه به عنوان مثال در این زمینه در آمریکا تحقیقات بسیاری انجام شده یا ژاپن در طی ۷ سال گذشته ۲۰۰ میلیون دلار سرمایه گذاری کرده است که پروژه خود را دو سال پیش ناتمام خاتمه دادند.علت این عدم موفقیت اشکالات فیزیکی و مهندسی موجود بر سر راه عملی کردن این ایده می باشد. به صورت بالن به پرواز در می‌آید و ۹۰ درصد فضای بالن آزاد است تا بتواند اجازه‌ی گسترش را به گاز درون بالن بدهد. در ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ کیلومتری که با استفاده از jetstream پرواز می‌کند اشکالی از لحاظ ساختمانی (structure) بوجود نمی‌آید و می توانیم آن را به استراتوسفر برسانیم.

برای ارتباط با این سیستم‌ها و استفاده از تمام خدمات آن دستگاهی طراحی شده است که نمونه ی شخصی Homeaway و نمونه‌ی اداری Officeaway نام دارد و ترکیبی از cell p BlackberryhonePDA و ... می‌باشد. با این تفاوت که این دستگاه cpu، و سیستم عاملی به گونه متعارف آن ندارد و واسط آن شامل صفحه نمایش و



صفحه کلید و ماوس می‌باشد و کاربر انتخاب می‌نماید که کدام دستگاه با قابلیت پردازش خود را از طریق این دستگاه به سیستم متصل نماید. در واقع پردازش روی کامپیوتر مقصد انجام می‌شود و نه روی Homeaway و لذا مصرف انرژی آن بسیار پایین است.

فاز اول این پروژه برای قاره آفریقا برنامه‌ریزی شده است. قرار بر این است که هر دانش‌آموز و دانش‌جو حداقل یکی از این دستگاه‌های Homeaway در اختیار داشته باشد. بدین ترتیب که در مدرسه به سرور مدرسه متصل بوده و در منزل به دلیل عدم دسترسی به امکاناتی از قبیل کامپیوتر و اینترنت از طریق xstation باز هم به سرور مدرسه متصل گردند.

هدف از اجرای این پروژه رفع شکاف تکنولوژی و اختلاف سطح اطلاعاتی چنین کشورهایی با غرب است!!!

در اجرای این پروژه تنها بیش از ۲۰ استاد دانشگاه از ۷ آزمایشگاه تخصصی دانشگاه پلی تکنیک لوزان (EPFL) همکاری کرده‌اند. لازم به ذکر است در مجموع ۷۵ استاد از دانشگاه‌های لوزان و زوریخ و نوشاتل و دو دانشگاه دیگر در سوییس با این پروژه همکاری نموده‌اند.

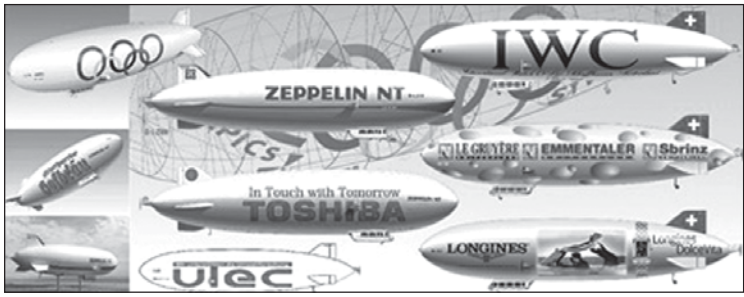
شایان توجه است مدت ۲ سال تنها صرف computer و طراحی‌های اولیه شد. پس از آن بود که تیم پروژه شروع به ساخت prototype اولیه نمود.

**چند قسمت عمده پروژه به شرح زیر است.:**

۱. طراحی سازه: که مسئولیت آن به عهده Laboratory of applied mechanics and reliability بود. این کشتی هوایی اولین نمونه از نوع دولا یه آن در دنیا می‌باشد. لا یه ۲۵ سانتی متری جهت خنک کردن و کنترل حرارت هلیوم می‌باشد. مقاومت ماده به کار رفته در بدنه این کشتی هوایی که به تعبیر خود طراحان آن «سوپر متریال» نام دارد مقاومتی حدود ۱.۵ GPa (چیزی حدود ۳ برابر مقاومت آلومینیوم ۲۰۲۴) و وزنی بسیار سبک دارد.

۲.انتقال حرارت و انتقال جرم: که به طور عمده بررسی مسائل مربوط به solar و day & night را به عهده دارد.این در شرایطی است که بروز هر گونه اختلال در Temperature باعث سقوط کشتی هوایی می‌شود. تیم این زیرگروه فقط یک سال و نیم صرف مدل‌سازی کامپیوتری پدیده‌های انتقال در فرایند پرواز کشتی هوایی کرده و بر اساس محاسبات انجام شده فاصله دولا یه را تعیین نموده و طراحی فن‌های کشتی هوایی را که باید به خوبی در ارتفاعات بالا با هوای خیلی رقیق کارکنند را به انجام رسانید.

۳. مدیریت توان: در این زیرگروه که به عهده دانشگاه EPFL بود دستگاه‌های موجود دانشگاه را راضی نکرده و




لذا خودشان درصدد طراحی دستگاهی برآمدند که به اذعان خودشان بازدهی برابر با تقریبا ۹۹ درصد داشت. هدف این است که درحد توان در روز انرژی ذخیره کرد. از آن جایی که موقعیت کشتی هوایی نسبت به خورشید مشخص نیست EPFL یک مدل ریاضی پیچیده برای آن ارائه کرد که با استفاده از ابرکامپیوترهای دانشگاه هر بار محاسبات آن برای تعیین مقدار مساحت سلول خورشیدی موردنیاز برای موقعیت‌های مختلف با یک شرایط آب وهوایی خاص برای تولید مقدار برق لازم برای شارژ باتری‌های کشتی هوایی یک روز طول می‌کشید.این در حالی است که در تابستان و زمستان و شرایط آب و هوایی مختلف و موقعیت‌های مختلف کشتی هوایی نسبت به خورشید میزان انرژی دریافتی تفاوت می‌کند. علاوه بر این دانشگاه نوشاتل هم در تعیین نوع سلول خورشیدی مورد استفاده تحقیقات بسیاری انجام دادند.

۴. محموله: سعی بر این بود که در این پروژه فقط مسئله هوافضای آن حل نشود بلکه به وزن سیستم‌های جانبی سوار شده بر روی کشتی هوایی هم توجه شود.

۵.مهندسی سیستم‌ها: این بخش نیز به عهده Stage دانشگاه بود.

۶. سیستم فرستنده wimax استفاده شده بر روی این کشتی هوایی با فرکانس ۵ MHz توانایی ارسال صدا و تصویر دوطرفه با سرعت ۱۲/MBs را دارد. آزمایش‌های آن نیز از روی قله‌ای به ارتفاع ۲۴۰۰ متر در سوییس انجام شده است.

در این پروژه از ۶ آنتن ۶ الی ۷ سانتی متری ساخته شده بر اساس تکنولوژی mems استفاده شده است.

در ضمن قابل توجه است که ۴ دانشجوی PHd در EPFL تنها روی اینکه remote در این پروژه برای چه کاربردهایی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد به مدت یک سال ونیم تحقیق کرده‌اند. کاربردهای رایجی که می‌توان برای کشتی هوایی متصور بود عبارتند از مراقبت از جنگل‌ها در برابر آتش‌سوزی، تهیه نقشه سه‌بعدی شهرها food security precision farming traffic، جلوگیری از مهاجرت غیرقانونی، مراقبت از مرزها و ...

لازم به ذکر است از جمله برتری‌های این پروژه بر ماهواره توان بسیار پایین‌تر لازم برای قرار دادن آن در مدار شناوری خود است. این مسئله با توجه به مقایسه فاصله مدارهای چند نمونه ماهواره با مدار شناوری این پرنده به وضوح قابل تشخیص است:

GEO: ۳۶۰۰۰km

LEO: ۵۰۰-۷۰۰

این کشتی هوایی: حدود ۲۱

این در حالی است که کشتی هوایی پس از قرارگرفتن در مدار شناوری خود قابلیت تغییر مکان دارد اما ماهواره نه!

به علاوه آنتن‌های زمینی که درحال حاضر برای ارتباطات مورد استفاده قرار می‌گیرند هر کدام در حدود ۵۰۰۰۰۰ دلار هزینه در بر دارد. درکشور کوچکی مثل سوییس حدود ۱۰۰۰۰آنتن در حال سرویس دهی است.

این یعنی هزینه ای معادل ۵ میلیارد دلار! در کنار همه این ها از نظر تأثیرات زیست محیطی آنتن‌های زمینی باعث القای یون‌های با بار مثبت می‌شوند. در شهری آلوده مثل تهران با ۵ تا ۱۰ آنتن زمینی در هر ناحیه چنین پدیده‌ای سبب تجمع گرد و خاک در هوا و افزایش نمایی آلودگی هوا می‌گردد. الان این تعداد محدود تنها توان سرویس دهی آن هم در حد متوسط به ارتباطات تلفنی را دارند. حال فرض کنید اگر بخواهیم گستره این خدمات را به سطح خدمات Broadband صوتی و تصویری ارتقا دهیم. بی‌تردید مسئله آلودگی هوا بیش از پیش تشدید خواهد شد.

**چرا تا به حال هیچ کشور دیگری نتوانسته است این کار را انجام بدهد؟**

هدف دیگر کشورها مثل آمریکا، ژاپن و ... از آغاز این بوده که کشتی هوایی از همان ابتدای پرواز شکل نهایی خود را دارد . درحالی که کشتی هوایی هنگام پرتاب نمی‌تواند بیشتر از ۱۰ درصد با هلیوم پر شود. از طرفی دیگر وزن طراحی آن‌ها حدود ۵۳ تن بوده است . این در حالی است که برای هر کیلوگرم نیروی بالا برنده نیاز به یک متر مکعب هلیوم می‌باشد. در کنار همه این‌ها، همه این کشورها برای محموله حداقل ۱۰۰۰ کیلوگرم برنامه‌ریزی کرده بودند.

تا به حال هیچ کشوری نتوانسته هیچ جسمی را در ارتفاع استراتوسفر برای مدت زیاد معلق کند. تنها تجربیات مشابه روی بالون‌های با ارتفاع زیاد بوده که پروژه‌ای تحت نظر ناسا و طولانی ترین آن ۹۰ روز و آن هم روی قطب شمال بوده است.در عین حال هیچ کدام از پروژه‌های پیشین راه‌حلی جدی برای مسئله تعادل دمایی ارائه نکرده بودند.

در مورد جنس بدنه این کشتی هوایی هم جالب است بدانید که بهترین لایه ساخت ناسا در سرمای۶۰ تا ۸۰ زیر صفر مقاومتی برابر با۸kN/m دارد. در حالی که ماده به کار رفته دربدنه Xstation در سرما مقاومتی برابر با ۲۵۰kN/m دارد. به علاوه ناسا دراتصال سطوح از چسب استفاده می‌کند حال آن که در ارتفاع با لا و فشار پایین پایداری کافی را ندارد ولی xstation یک‌تکه ساخته می‌شود. در واقع آن‌ها این مسئله را به صورت یک مخزن فشار در نظر گرفتند وآن را به صورت یک تانکر یکپارچه می‌سازند.

در این شماره نگاهی اجمالی خواهیم داشت به برنامه لیزر هوابرد و به خواست خدا در شماره‌ی بعد به تفصیل به بررسی جزئیات این طرح و مراحل پیش‌روی آن و ارتباط آن با توازن قوا در منطقه خواهیم پرداخت.

# توپ لیزر هوابرد

## سلاحهای با انرژی جهت‌یافته Directed Energy Weapons

مترجم: هادی نوذری

سلاحهای انرژی مستقیم (DEW) از سال ۱۸۹۸ که ولز (M.G.wells) کتاب جنگ جهان‌ها را چاپ کرد، یک صفحه تکراری و دائمی در داستانهای علمی تخیلی و در سینماها بوده است. ایده‌ی «پرتوی مرگ» که اشعه‌ای است که می‌تواند در یک لحظه هدفی را ویران کند یا بسوزاند بسیار جذاب و شیفته کننده است. بیش از یک قرن پس از اینکه و لز به اثر «پرتوی گرمایی» پرداخت، تکنولوژی به قدری رشد کرد که آنرا ایده‌ای قابل گسترش کرد.

سلاح‌های پرانرژی لیزیری از دهه ۱۹۶۰ رشد کرده است و این در حقیقت راهی بود که در نتیجه پیشرفت‌های سریع علمی و مهندسی هموار شده بود. برای اینکه صحنه‌ی خوبی را از لیزر پرانرژی (High Energy Laser) تصور کنیم کافیست لیزر بزرگی را در بخار به طرف هدفی نشانه بگیریم و این در حقیقت تشابهی مهم است که با سلاح‌های HEL واقعی دارد. تلاشها و چالشهای عملیاتی و تکنولوژیکی بسیار زیادی به عمل آمده است تا سلاح‌های مؤثر و کاربردی تهیه شود. سلاحهای سینتیکی یا پرتابه‌ای مانند تفنگ، موشک و بمب‌ها اهداف خود را به وسیله اثرات سینتیکی منهدم می‌کنند یعنی به صورت پرفشار، پرتابه‌ای، انفجاری، ترکش‌دار و آتش‌زا هستند. نتیجه استفاده از این سلاح‌ها آسیب‌های ساختاری و آتش‌گیری است که معمولاً آسیب‌های کشنده‌ای را به هدف وارد می‌کنند. بنابراین سلاح‌های سنیتیکی انرژی شیمیایی ذخیره شده در پیشران‌ها و سرهای جنگی را بوسیله پرتابه‌هایی به سوی هدف می‌فرستند.

به بیانی ساده‌تر سلاح‌های انرژی مستقیم برای اثرگذاری و تخریب سازه‌ای، مقدار زیادی انرژی ذخیره شده را به سوی هدف می‌فرستند. تفاوت پایه‌ای این سلاح با سلاح‌های پرتابه‌ای اینست که DEWها اثراتشان را با سرعت نور به سمت هدف می‌فرستند، در حالیکه سلاح‌های پرتابه‌ای سرعت پرتابشان مادون صوت یا مافوق صوت است.

دو تا از اساسی‌ترین مشکلات سلاح‌های پرتابه‌ای که یکی پرتاب پرتابه به فاصله موردنظر و به هدف موردنظر و دیگری اثرگذاری

مؤثر آن روی هدف است، در سلاحهای انرژی مستقیم رفع شده است.

ادبیات معاصر مجموعه‌ی وسیعی از تکنولوژی اسلحه‌ها را در گروه سلاح‌های انرژی مستقیم قرار می‌دهد که عبارتند از: اسلحه‌های لیزری پرانرژی HEL، اسلحه‌های مایکروویو پرانرژی HPM، اسلحه‌های پرتوی ذرات و اسلح‌های LIPC. دو نوع اول مستقیماً از نوع DEWها هستند ولی نوع سوم یعنی سلاحهای پرتوی ذرات به عنوان نوعی سلاح پرتابه‌ای شناخته می‌شوند که در این سلاح‌ها، ذرات اتمی و زیراتمی به عنوان پرتابه می‌باشند. LIPC نیز یک هیبرید است که از لیزری برای یونیزه کردن مسیری از مولکولها به سوی هدف استفاده می‌کند که از این طریق می‌توان بار الکتریکی را به منظور آسیب رساندن به هدف به سمت آن هدایت کرد.

در بین این چهار گروه سلاحی که معرفی شد، HELها بیشترین پتانسیل را در تولید اثرات قابل توجه دارند. تکنولوژی HPM نیز پتانسیل مشابهی را دارد ولی در مورد آنها به‌اندازه‌ای HELها سرمایه‌گذاری نشده است و عملاً در درجه‌ی پایینتری نسبت به HELها قرار می‌گیرند. سلاح‌های پرتو ذره‌ای نیز در حال حاضر بهتر است در دامنه‌ی علمی تخیلی قرار گیرند چون وزن و هزینه‌ی آنها با اهداف نظامیشان همخوانی ندارد.

**لیزر برای صلح برنامه‌ی آزمایشگاه لیزر هوابرد (Airborne Laser Lab)**

اولین لیزر در سال ۱۹۵۸ وارد عرصه شد. با این حال آمریکا در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ دستیابی به سلاح لیزری هوابرد با استفاده از تکنولوژی موجود لیزر در آن زمان را امری بدیهی می‌دانست که این ایده در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ توسط دکتر ادوارد تلر (Teller Edvard) (فیزیکدانی که در اختراع بمب هیدروژنی همکاری داشت) گسترش و ترقی یافته بود. این مسأله منجر شد که در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ آزمایشهایی برای تعیین استواری این نظریه و همچنین تعیین مشکلات آن انجام پذیرد.

اولین آزمایشها در این زمینه در سال ۱۹۷۳ توسط USAF انجام شد که در این آزمایش از GDL دی اکسید کربن استفاده شده بود. سپس در مارس ۱۹۷۸، نیروی دریایی ایالات متحده توانست به وسیله‌ی لیزر شیمیایی که توسط DARPA و نیروی دریایی توسعه داده شده بود یک موشک TOW ارتش را در حال پرواز منهدم کند.

نیروی هوایی ایالات متحده در سال ۱۹۷۶ برنامه‌ی آزمایشگاه لیزر هوابرد (ALL) را با شعار «لیزر برای صلح» راه‌اندازی کرد. این سیستم در فشار ۵۵ اتمسفر، دمای ۱۹۰۰ کلوین می‌تواند سرعت ۶ ماخ را تأمین کند. زمانیکه ALL توجه بسیاری را به سمت خود جلب کرد، چون به عنوان اولین سلاح هوابرد لیزری محسوب می‌شد، ارزش آن بسیار بالا بود. با این حال تعدادی مشکل کلیدی نیز وجود داشت:

اولین مشکل، مسأله‌ی اتلاف انرژی در سیستم ردیابی و نوری بود. نه تنها این انرژی تلف شده پتانسیل تخریب کردن داخل سیستم را داشت بلکه در اثر شدت پرتو مادون قرمز، قسمتی از ذرات داخل سیستم که با سرعت‌های بالا تحریک می‌شدند تبخیر

می‌شدند و به سطوح نوری آسیب می‌رساندند.

همچنین رفته رفته محرز شد که سیستم هدف‌یاب با دقت‌های بالا موردنیاز است و کل سیستم ردیابی هدف، هنگام نشانه‌گیری پرتوی هدف می‌بایست خطای بسیار کمی داشته باشد. خطا در نشانه‌گیری پرتوی، اثر تخریب را کاهش می‌داد و این نقطه ضعف در مسافت‌های دورتر از هدف تشدید می‌شد. انتشار پرتو در جو مشکلاتی از قبل پیش‌بینی شده و همچنین پیش‌بینی نشده را به همراه داشت. مولکولهای بخار آب، قطرات آب و مولکولهای دی اکسید کربن پرتو را در خود غوطه‌ور می‌کردند و بنابراین در طول مسیر پرتو، حرارت موضعی ایجاد کرده که این باعث پراکنده شدن پرتو می‌شد. این اثر «شکوفایی حرارتی» نام گرفت و در توانهای بالاتر پرتو بیشتر ظاهر می‌شد. یک محدودیت کلی برای سلاحهای HEL ناتوانی آنها در نفوذ کردن داخل ابر، گرد و غبار و مه است که در نفوذ به آنها انرژی پرتو به سرعت گرفته می‌شود.

مسأله‌ی دیگری که مطرح بود اثرات مخرب روی هدف بود. نه تنها پرتوی لیزر HEL باید در طول موج مناسبی عمل کند تا کمترین اتلاف انرژی را توسط مولکولهای جو داشته باشد بلکه باید قابلیت جذب سریع توسط مواد سازنده‌ی پوسته‌ی هدف را نیز داشته باشد. به عنوان مثال آلومینیوم برای لیزر دی اکسید کربن ۱۰/۶ میکرونی ۹۶ درصد بازتاب دارد.

مشکلات دیگر نیز بوجود آمدند که در نتیجه‌ی جرقه‌ی حاصل از آشفتگی در جو بود که در اصل در اثر تفاوتهای جزئی دما بین توده‌های هوا ایجاد می‌شود.

تفاوت‌های جزئی دمای هوا یعنی تفاوت‌های جزئی در چگالی هوا و این عاملی است که باعث خم شدن جریان پرتو هنگام عبور از این توده‌های هوایی می‌شود. با هزاران خللی که در مسیر پرتو وجود دارد، این مسأله سه دشواری را برای رسیدن به برد مناسب ایجاد می‌کند، خصوصاً در ارتفاع‌های کم عملیاتی که پرتو شدیداً منحرف می‌شود.

برای همین ALL NKC-۱۳۵A در سال ۱۹۸۴ بازنشسته شده و در سال ۱۹۹۵ به موزه‌ی نیروی هوایی Wright-fattern فرستاده شد.

**لیزر هوابرد AL-۱A (ABL)**

حل شدن مشکل تضعیف پرتو راه را برای یک سلاح HEL عملیات هموار کرد. در پایان جنگ سرد برنامه‌ی SDI کاملاً از بین رفته بود ولی برخی پیشنهادات کلیدی به جای ماند. لیزر هوابرد (ABL) نیز به عنوان ادامه‌دهنده‌ی برنامه‌ی ALL با جنبه‌های کاربردی یکی از این پیشنهادات بود. در سال ۱۹۹۶ نیروی هوایی آمریکا یک قرارداد ۱۰۱ بیلیون دلاری برای ساخت یک نمونه اولیه سیستم ABL حمل‌شونده توسط بوئینگ ۴۰۰-۷۴۷ با شرکت‌های بوئینگ، TRW و لاکهیدمارتین منعقد کرد.

قرار بود این سیستم ABL از یک سلاح COIL HEL کلاس MegaWatt و همچنین از یک سیستم برای جبران انحرافات جوی استفاده کند. بنابراین یک سیستم ABL به تنهایی قادر بود در شعاع صدها کیلومتر دفاع کند و به موشک‌های بالستیک پرتاب شده‌ی در فاز اوج‌گیری آنها حمله کرده و آنها را منهدم نماید. طبیعتاً موشکهای بالستیک در این فاز بیشتر قابل کشف هستند و آهسته‌تر حرکت می‌کنند و نسبت به تنش‌های سازه‌ای و بار سنگین سوخت حساس‌ترند. موشکهای بالستیک جداره‌ی نازکی دارند که در فاز بالا رفتن (boost phase) شدیداً در معرض تنش قرار میگیرد. به همین جهت بهترین گزینه برای مقابله با موشک‌های بالستیک استفاده از لیزر در لحظات ابتدایی شلیک آنهاست.

در شماره‌ی بعد به طور مفصل به بررسی این فناوری و چشم‌انداز پیش روی آن می‌پردازیم.

# آنچه غربی‌ها در مورد موشک شهاب ۳ می‌دانند

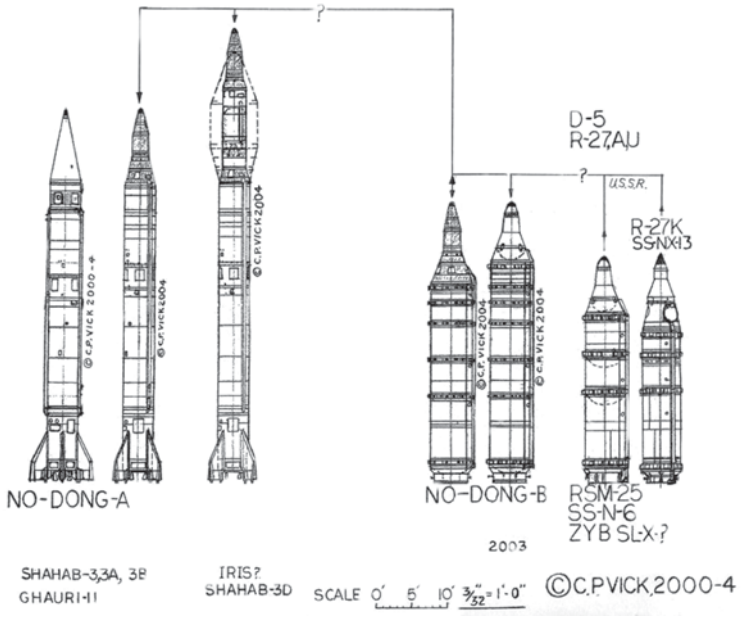
اصغر فرهادی Farhadiasghar@yahoo.com

اینکه غربی‌ها درباره‌ی توان هوافضای کشورمان چه می‌دانند، موضوعی است که برای همگان جذاب و قابل توجه است. اما این مسئله برای دست‌اندرکاران سازمان هوافضا و نیز نیروهای مسلح اهمیتی دیگر دارد. مطلب زیر را از کتاب مرجع Defense Jane's آورده‌ایم تا هم آنچه دیگران در باره‌ی ما می‌دانند را بیان کنیم و هم تلنگری باشد برای دوستان عزیزمان در صنایع دفاعی و دیگر تصمیم گیرندگان. می‌خواهیم بدانند که آنها چه می‌دانند. قضاوت درباره‌ی میزان دقت این اطلاعات را هم به مسئولین امر واگذار می‌کنیم. اگر این اطلاعات درست نباشند، دعا می‌کنیم برد و دقت موشک‌هایمان بیش از آنی که در اینجا ذکر شده است، باشد و اگر درست باشند باید از خودمان بپرسیم که چرا آنها با این جزییات در جریان کارهای ما هستند.

نظر شخص نگارنده بر دقیق نبودن اطلاعات ذکر شده در این مرجع است، چرا که آنگونه که از سبک وسیاق بیان بر می‌آید و نیز با توجه به سابقه‌ای که از جینز دیفنس وجود دارد، این اطلاعات بر مبنای محاسبات و حدسیات گروهی متخصص در آن مرکز است که تخصص‌شان استخراج اطلاعات از روی عکس‌های موشک‌های مختلف است. مهمترین دلیل این مدعا اختلاف فاحش دقت تخمینی موشک از سوی منابع مختلف غربی است. اما نمی‌توان این موضوع را ساده گرفت. تجربه ثابت کرده است که در اغلب موارد درست از همان جایی که تصورش را نمی‌کنیم دچار آسیب می‌شویم. نکته‌ی قابل توجه دیگر مشاهده‌ی گزارشاتی است که اشتباه بودن آن با گذشت زمان بر همگان آشکار شده است که از جمله‌ی آنها ادعای جینز دیفنس بر پی‌گیری طرح کلاهک هسته‌ای قابل حمل توسط موشک در همین گزارش است که با انتشار گزارش ۱۶ نهاد امنیتی آمریکا مبنی بر عدم صحت آن، بیشترشبیه به نوعی غرض‌ورزی است، تا گزارش.

در ادامه ضمن عرض تشکر و سپاس‌گزاری خدمت تمام عزیزانمان در صنعت هوافضای کشور، دست مریزادی ویژه داریم خدمت همه‌ی آنانی که به نوعی در موفقیت این طرح عظیم شرکت داشته‌اند و با این کار خویش قدمی‌بزرگ در جهت حفظ خط امام و شهدا برداشته‌اند، چرا که معتقدیم نبرد ما پایان نیافته است. آنچه تغییر کرده آوردگاهی است که این بار نه تشنه‌ی خون، که تشنه عرق‌های پاک و خالصانه‌ی کسانی است که جز به تحقق آرمان‌های امام بزرگ نمی‌اندیشند.

تذکر: به علت فقدان عکس‌های مناسب در متن مرجع جینز دیفنس عکس‌ها از منابع مختلف جمع‌آوری شده‌اند.




موشک شهاب ۳، ۳ ای و ۳ بی

منبع عکس: Global Security.com

**توسعه**

توسعه موشکهای بالستیک توسط ایران از ۱۹۸۶ و تحت عناوین زلزال ۳ و شهاب ۳ آغاز شد. در ۱۹۹۳ ظاهراً ایران و کره شمالی بررسی گسترش موشک بالستیک (نود ونگ۱ و نود ونگ۲) با هم به توافق رسیدند و احتمالاً پاکستان هم به این جمع پیوست تا موشک غوری خود را تکمیل کند (غوری نام یکی از وزرای دفاع پاکستان است). مبنای موشک نودونگ، موشک روسی اسکاد بی است. ایران هر دو مدل اسکاد بی و اسکاد سی را تحت عناوین شهاب ۱ و شهاب ۲ تکمیل و راه‌اندازی کرد. نودونگ و شهاب ۳ هر دو به نظر می‌رسد نمونه تغییر طول یافته موشک اسکاد سی باشند. ضمناً گزارشهایی موجود است مبنی بر خرید و تولید حدود ۱۵۰ فروند موشک نودونگ توسط ایران و نیز آزمایش‌های این موشک که به علت محدودیتهای اعمالی از سوی ژاپن امکان انجام آن در کره شمالی نبوده است.

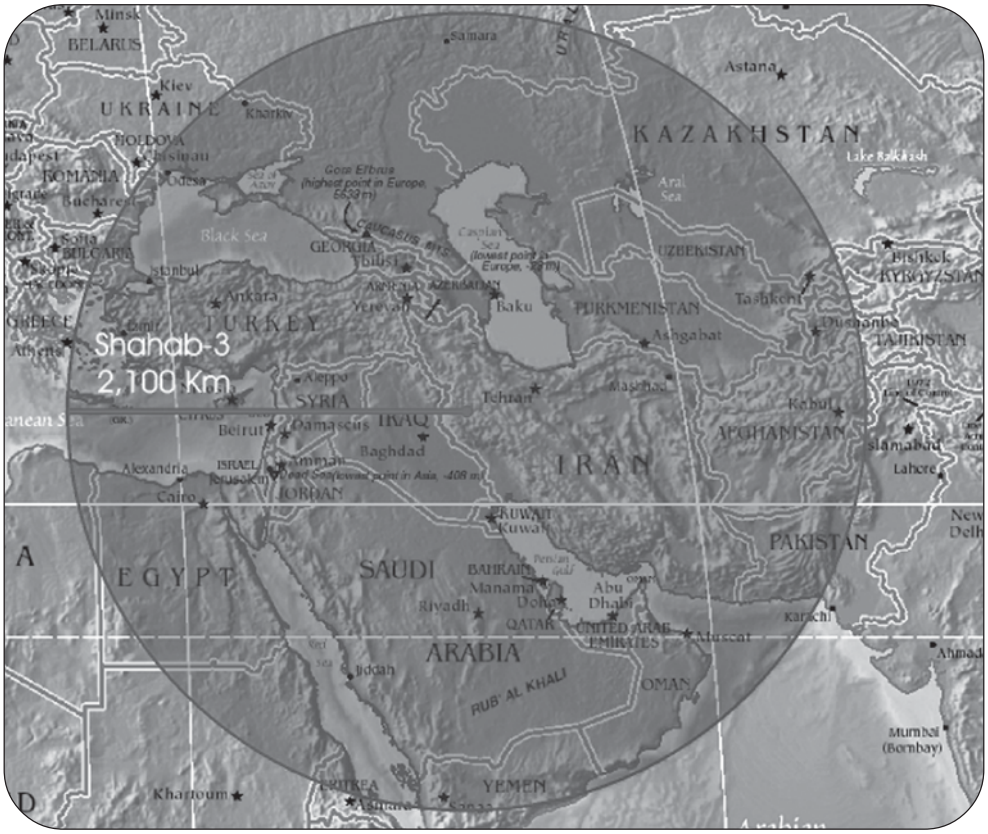
در ۱۹۹۷ گزارشها حاکی از انجام ۷ آزمایش موتور توسط ایران بود. ۵ تا ۱۲ مجموعه موشک هم توسط کره شمالی از ۱۹۹۴ به ایران تحویل داده شده است که شامل ۴ عدد TEL هم می‌باشد. روند تحویل پس از توقفی کوتاه در ۱۹۹۷ دوباره از سرگرفته شد. در مجموع ۲۰ عدد دیگر هم تا سال ۲۰۰۲ به ایران تحویل داده شد. توسعه موشک شهاب ۳ توسط سازمان صنایع هوافضای ایران هدایت و رهبری می‌شود و ساخت و مونتاژ نهایی آن توسط صنایع شهید همت تهران صورت می‌گیرد. موتور و تانک سوخت موشک هم در تاسیسات عظیم زیرزمینی واقع در خوجان صورت می‌گیرد. یک آزمایش پرواز موشک میان برد بالستیک هاتف ۵ در سال ۱۹۹۷ توسط پاکستانیها صورت گرفت که خود دلیلی بر همکاری این کشور با ایران و کره شمالی است. این موشک بسیار شبیه به نودونگ و شهاب ۳ است.

شلیک هم‌زمان بیش از ده فروند موشک شهاب۱ و ۲ و ۳ که در برخی منابع به اشتباه به همه‌ی آنها نام شهاب۳ اطلاق شد. به نظر شما شعله‌هایی که برای مدت بسیار کوتاهی از انتهای سرجنگی موشک بیرون می‌زد چه بودند؟

گفته می‌شود مهندسان کره شمالی موشک نودونگ را برای استفاده در محیطهای جغرافیایی خاص ایران و پاکستان مورد اصلاحات قرار داده‌اند. گزارشی تایید نشده در ۲۰۰۳ منتشر شد مبنی بر آزمایش یک موتور با طرح روسی در جولای و آگوست ۲۰۰۲ توسط موشک شهاب۳ انجام شد. اولین تست پرواز شهاب ۳ در جولای ۱۹۹۸ صورت گرفت. یک گزارش توسط اسرائیلیها وجود دارد که حاکی از توسعه یک کلاهک هسته‌ای توسط ایرانیهاست. اعتقاد براین است که پاکستان طرح یک کلاهک هسته‌ای با وزن ۵۰۰kg و قطر ۰/۹ m را برای ایران تکمیل کرده است.

در سال ۲۰۰۵ گزارشی حاکی از توسعه یک سرجنگی EMPبرای شهاب ۳ منتشر شد. در سپتامبر ۲۰۰۰ یک شهاب ۳ دی که ایرانیها ادعا می‌کردند برای پرتاب ماهواره مورد آزمایش قرار گرفته، پرتاب شد. این موشک از موتور سوخت مایع –جامد استفاده می‌کرد. در ژوئن ۲۰۰۲ گزارش شد که ایران نمونه با برد بلندتر شهاب ۳ ای را با بردی بین ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ km آزمایش کرده است. یک موتور سوخت جامد در می۲۰۰۵ آزمایش شد اما معلوم نیست این موتور به عنوان یکی از دو مرحله موشک بوده یا یک بوستر پرتاب .

کار توسعه بر روی موشکهای با برد بلندتر تحت عنوان شهاب ۴ از ۱۹۹۷ به اطلاع منابع مختلف رسید. اطلاعات اولیه منشره از سوی اسرائیل بیانگر استفاده ایرانیها از تکنولوژی موشک اس اس ۴ (R-۱۲) بود که البته هم روسها و هم ایرانیها آنرا انکار کردند. بنابر اظهار منابع آمریکایی اطلاعات و تکنولوژی مربوط به این موشک از رده خارج شده به طور وسیع و گسترده در اختیار دانشجویان و محققان است. گزارش‌های بعدی بیانگر برد ۲۰۰۰ کیلومتری با یک سرجنگی ۱۴۰۰ kg توسط موشک است. در نوامبر ۲۰۰۳ ایران اعلام کرد پروژه شهاب ۴ را لغو کرده است و آنرا با پروژه توسعه SLVجایگزین کرده است. ایران به دنبال پرتاب ماهواره‌های مختلفی با وزن ابتدائاً ۲۰ کیلوگرم و سرانجام تا ۳۵۰ kg است.




برد در دسترس برای موشک شهاب۳بی با برد ۲۱۰۰ کیلومتر. محل پرتاب فرضی پایگاه سوم شکاری شهید نوژه‌ی همدان

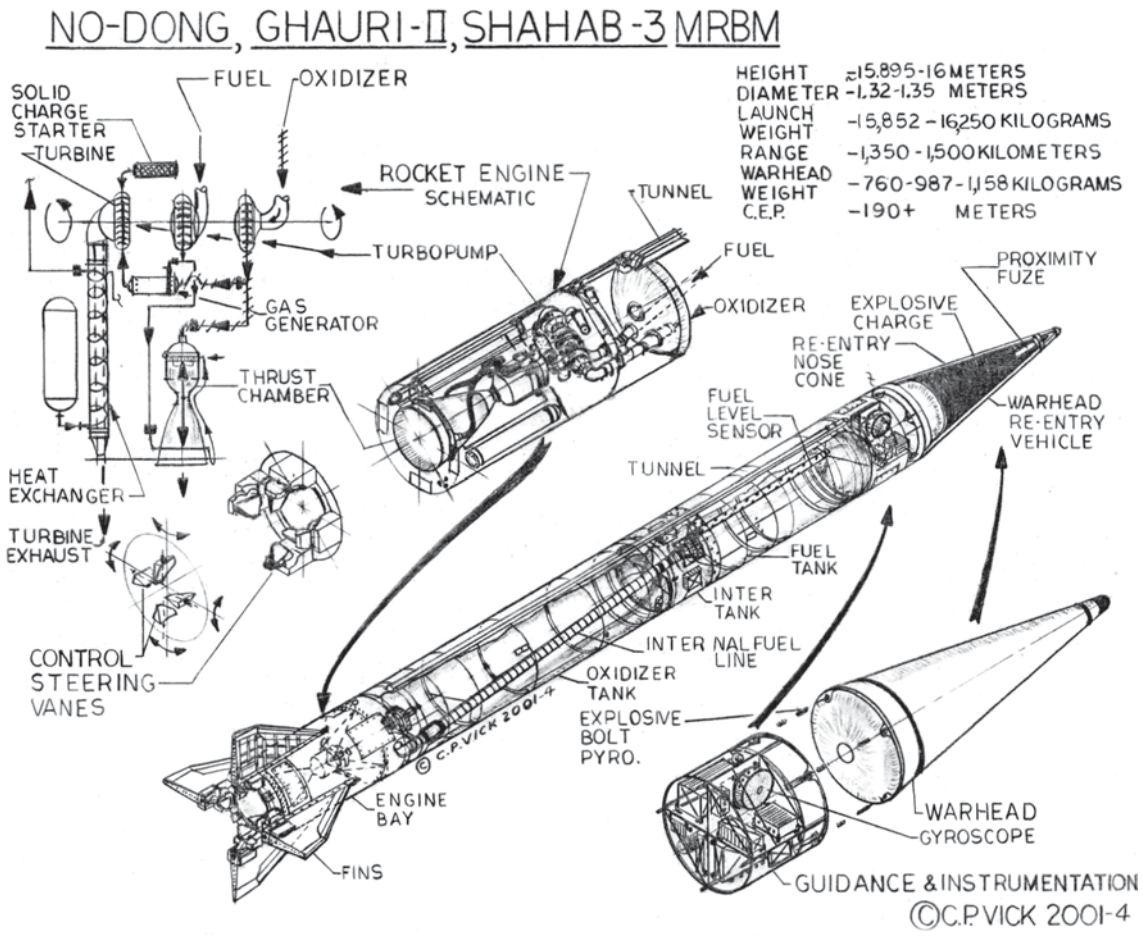
گزارشهایی موجود است مبنی بر کارهای تحقیقاتی ایران برای یک موشک با برد ۴۰۰۰ km که برای پرتاب ماهواره هم مناسب است. احتمالاً نام این موشک شهاب ۵ یا شهاب ۶ است. احتمالاً این موشک براساس تکنولوژی موشک تایپه دونگ ۱ ساخته می‌شود. این موشک شامل یک راکت سوخت براساس طرح شهاب ۳ برای مرحله اول و یک راکت سوخت مایع براساس طرح اسکاد سی برای مرحله دوم است.

**توضیحات:**

براساس گزارشات موجود موشک شهاب۳ بسیار شبیه به موشک نودونگ ۱ و غوری است. جزئیاتی که توسط ایران در مورد شهاب ۳ منتشر می‌شود بسیار متفاوت از داده‌های موشک غوری است و این ممکن است به خاطر این باشد که این دو موشک دو طرح مختلف از موشک نودونگ اند. طول این موشک ۱۶/۵ m و قطر بدنه آن ۱/۳۸ m و وزن پرتاب آن ۱۷۴۱۰ kg است. محموله آن ۱۲۰۰ kg شامل یک محفظه جداشونده که دربرگیرنده سرجنگی است می‌باشد. سرجنگی ممکن است انفجاری شدید HE، مهمات پخش شونده و یا شیمیایی با وزن ۸۰۰ kg باشد و احتمالاً یک سرجنگی هسته‌ای هم در حال تکمیل می‌باشد. موتور موشک از نوع تک مرحله‌ای سوخت مایع است که از مواد کروزن و ایرفنا با حدود ۱۲۸۰۰ کیلوگرم وزن به عنوان سوخت استفاده می‌کند. این مواد به مدت ۱۰۰ ثانیه نیروی محرکه لازم برای موشک را فراهم می‌کنند. موتور موشک توسط نوربوپمپها تغذیه شده و به وسیله فین‌های گرافیتی در نازل، موشک را در ۱۰۰ ثانیه اول کنترل می‌کند. به نظر می‌رسد دقت موشک چندان جالب نیست. به احتمال بسیار زیاد این موشک ۲۵۰۰ m خطا دارد. بعضی گزارشها هم این مقدار را ۴۰۰۰ m بیان کرده‌اند. حداقل برد موشک ۵۰۰ km و حداکثر آن ۱۳۵۰ km است. ایران از کشنده‌های مختلفی به عنوان TEL موشک استفاده می‌کند. ماز ۴۵۳ و مرسدس بنز و تراکتور نیسان ژاپنی از

آن جمله‌اند. گزارشهایی در ۱۹۹۸ حاکی از تبدیل کشنده ایویکو ۴۵ -۳۲۰WTM و یا مرسدس بنز ۳۸۵۰AS به عنوان TEL شهاب ۳، هستند.

گزارشی در ژوئن ۲۰۰۲ بیانگر کار ایران بر روی مدل شهاب ۳ ای با برد ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلومتر بود. محموله موشک احتمالاً ۸۰۰ کیلوگرم وزن داشت که ۵۰۰ kg آنرا سرجنگی تشکیل می‌داد. طول این موشک ۱۷/۵۸ m و وزن پرتاب آن ۱۸۳۰۰ کیلوگرم است. در سال ۲۰۰۴ یک RV جدید برای موشک توسط ایران به نمایش گذاشته شد که بسیار شبیه به موشک SS-۹ بود. این RV دارای چهار عدد موتور برای کنترل موشک و افزایش دقت آن بود. CEP (شعاع خطای) این موشک حدود ۱۰۰۰ m تخمین زده می‌شود. توسعه موشک شهاب ۳ بی هم در سال ۲۰۰۴ گزارش شد. برد این موشک بین ۲۰۰۰-۲۵۰۰ کیلومتر است. وزن پرتاب این موشک kg ۱۸۵۰۰ است و احتمالاً از یک راکت سوخت جامد برای مرحله دوم مسیر بهره می‌برد.




شهاب ۴ احتمالاً از تکنولوژی موشک قدیمی SS-۴ بهره می‌گیرد. اگر این مطلب درست باشد، در این صورت طول این موشک ۲۲/۸ m بوده و قطر آن ۱/۶۵ m و وزن پرتاب آن ۴۲۰۰۰ kg است. وزن محموله آن ۱۶۰۰ kg به همراه یک محموله جداشونده (RV) حامل سرجنگی است. موتور موشک تک مرحله ای و از نوع سوخت مایع می‌باشد و احتمالاً از ایرفنا و کروزن به مدت ۱۴۰ ثانیه استفاده می‌کند. موشک دارای سیستم هدایت اینرسیایی و برد حداکثر ۲۰۰۰ km است. دقت آن ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر CEP است. احتمال ضعیفتر آن است که موشک شهاب ۴ مدل بلندتر و با سوخت بیشتر شهاب ۳ است. نظر دیگر این است که شهاب ۴ از موتورهای مشابه ۲۱۶ -RD متعلق به موشک اس اس ۵ بهره می‌برد.

**وضعیت عملیاتی**

توسعه شهاب ۳ از ۱۹۹۳ در ایران آغاز شد. ۷ آزمایش موتور در ۱۹۹۷ گزارش شد. اولین آزمایش پرتاب موشک در جولای ۱۹۹۸ صورت گرفت که آمریکاییها اعلام کردند موشک موفق عمل نکرده و منابع دیگر اعلام کردند، موشک قبل از ناکامی ۱۰۰۰km از

مسیر را طی کرده است. طبق گزارشها چینی‌ها مجموعه‌های دورسنجی این آزمایش را تهیه کرده بودند. آزمایش دوم در جولای ۲۰۰۰ با برد ۸۵۰ km صورت گرفت (طبق گزارش آمریکاییها) آزمایش سوم در سپتامبر ۲۰۰۰ صورت گرفت. این آزمایش با یک شهاب ۳ دی بود که به گفته آمریکاییها ناموفق بود.

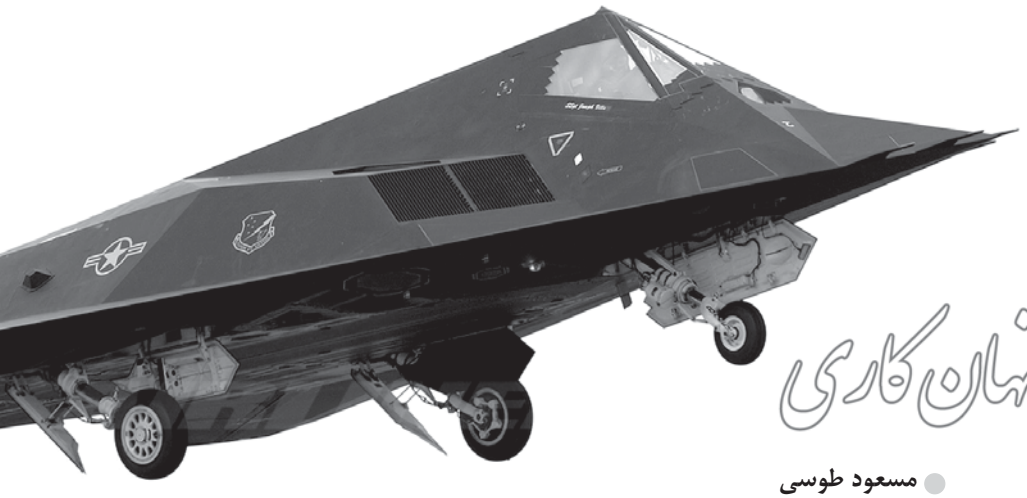
آزمایش پرتاب چهارم در ژانویه ۲۰۰۲ صورت گرفت که موشک بر روی زمین حین سوخت گیری آتش گرفت. آزمایش پنجم در می۲۰۰۲ بود که با موفقیت به برد ۱۰۵۰ km دست یافت. آزمایش ششم و هفتم در جولای و آگوست ۲۰۰۲ صورت گرفت که هر دو از سوی آمریکا ناموفق اعلام شد. آزمایش هشتم در جولای ۲۰۰۳ صورت گرفت که به گفته آمریکاییها موفق بوده و در آن موشک به برد ۱۳۰۰ km دست یافت. گزارشهای تایید نشده‌ای اعلام کرده که سه آزمایش آخر مربوط به شهاب ۴ بوده‌اند که احتمالاً این گزارش اشتباه است. ۹ آزمایش دیگر هم در آگوست ۲۰۰۴ و با استفاده از شهاب ۳ ای صورت گرفت و با آزمایش شهاب ۳ بی در سپتامبر ادامه پیدا کرده. آزمایش دومی از شهاب ۳ بی در اکتبر ۲۰۰۴ گزارش شد که با موفقیت به برد ۲۰۰۰ کیلومتر دست یافت. اکثر این آزمایشها از پایگاهی در خرم آباد صورت گرفت. یک گزارش در ۱۹۹۷ بیانگر تلاش ایران برای فروش موشک و تکنولوژی شهاب ۳ به لیبی بود که البته هیچگاه صورت نگرفت.

تولید اولیه ۱۵ تا ۱۲ موشک در سال ۱۹۹۸ آغاز شد و از ۱۹۹۹ وارد خدمت نیروی هوایی سپاه پاسداران شد. گفته می‌شود این موشکها در ۵ انبار زیرزمینی سپاه پاسداران (IRGC) نگهداری می‌شود که هر سایت شامل تاسیسات پشتیبانی است. یک تست موتور شهاب ۳ از روی TEL جاده‌ای هم در فوریه ۲۰۰۰ در مشهد صورت گرفت که نمایانگر کارایی کامل موشک در حرکت در جاده‌ها بود. ۶ موشک شهاب ۳ هم در سپتامبر ۲۰۰۳ رژه رفتند و حدود ۲۰ موشک هم در سال ۲۰۰۴ عملیاتی بودند.

توسعه شهاب ۴ در ۱۹۹۶ آغاز شد. ایران به وسیله مراجع مختلف به دنبال پرتاب ماهواره است که گفته می‌شود از طرح شهاب ۳ و ۴ برای تکمیل شهاب ۵ اس ال وی بهره گرفته است. احتمالاً از تایپه دونگ ۱ هم بدین منظور استفاده شده است. ایران در سال ۲۰۰۳ اعلام کرد که طرح شهاب ۴ لغو شده و به جای آن بدنبال برنامه SLV است.

عکس زیر را استثنائاً از سایت مرجع ACIG.org آورده‌ایم.

توضیح عکس: به اعتقاد غربی‌ها موشک شهاب۳بی مجهز به چهار عدد استیرینگ نازل در انتهای RV خود است و بنابراین دارای دقتی بسیار بالا تر از انواع پیشین شهاب می‌باشد. خطای احتمالی موسک از دیدگاه جینز دیفنس زیر ۱۰۰۰ متر و بر مبنای گزارش اسراییلی‌ها زیر ۲۵۰ متر است حال آنکه سایت مرجع ACIG.org معتقد است این مقدار نمی‌تواند از ۳۰ تا ۵۰ متر بیشتر باشد.
منبع عکس: سایت مرجع ACIG.org



# فناوری پنهان‌کاری

مسعود طوسی
masoud.toossi@gmail.com

فناوری پنهان‌کاری یکی از مولفه‌های جنگ الکترونیک و یا به بیانی درست‌تر اقدامات متقابل الکرونیک است. این فناوری فنونی را که برای تجهیز الکترونیکی هواپیماها، موشک‌ها وکشتی‌ها بکار رفته و موجب می‌گردد این موارد حتی‌الامکان از دید رادار و سایر وسایل شناسایی، پنهان بمانند را پوشش می‌دهد.

راهکار استفاده از فناوری پنهان‌کاری راهکار جدیدی نیست؛ چرا که همواره در دست داشتن توانایی ابتکار در جنگ و مدیریت آن بدون اطلاع دشمن، یکی از اهداف ارتش‌هاست. با این حال رشد موجود در سیستم‌های شناسایی و پدافندی هم‌چون صنایع راداری، IRST و سیستم‌های موشکی زمین به هوا موجب گشته تا گستردگی فراوانی را در طراحی و ساخت ابزار آلات جنگی شاهد باشیم. یک وسیله پنهان‌کار به طور کلی به گونه‌ای طراحی می‌شود که تا حد امکان از تاثیرات محیطی آن کاسته شده و این تاثیرات کنترل شده باشد. در رتبه‌بندی پنهان‌کاران مولفه‌هایی در نظر گرفته می‌شود. از جمله مولفه‌های موثر در رتبه‌بندی پنهان‌کاران که در طراحی و ساخت آن‌ها باید مورد توجه قرار بگیرد مسئله پیش‌بینی توانایی دشمن در پنهان‌کار و توازن این موضوع با سایر ویژگی های آن از جمله هزینه واحد خام تولیدی برای آن سیستم پنهان کار است.

یک سیستم پنهان‌کار ممکن است در اثنای عملیاتی که در آن به کار گرفته شده همانند زمانی که اهداف مدنظر منهدم شده‌اند به راحتی شناسایی شود. با این حال به‌کارگیری صحیح این سیستم‌ها می‌بایست حداقل احتمال شناسایی را در پی داشته باشد. حمله‌ای که غافل‌گیری هدف را به دنبال دارد به مهاجم این امکان را داده که قبل از فعال شدن سیستم‌های پدافندی و پاتکی دشمن زمان بیش‌تری را برای اجرای عملیات در اختیار داشته‌باشد و حتی آن را به پایان برساند.

**۱-اصول پنهان‌کاری**

پنهان‌کاری یک فناوری مستقل نیست. این فناوری حاصل ترکیب چندین فناوری است به طوریکه که منجر به کاهش فاصله‌ای می‌شود که بتوان در آن وسیله را شناسایی کرد. این کاهش فاصله به طور خاص با کاهش سطح مقطع راداری (RCS) و به طور عام با کاهش دیگر تاثیرات هم‌چون تاثیرات صوتی وگرمایی، حاصل می‌شود.

۱.۱-کاهش سطح مقطع راداری (RCS Reduction)

با اختراع رادار، فنون گوناگونی برای کاهش احتمال شناسایی ابداع شد. توسعه سریع رادارها در جنگ جهانی دوم، ابداع روش‌های مختلف ضد راداری هم‌چون استفاده از پارازیت را در پی داشت. در فهرست وسایل پنهان‌کار یکی از نخستین مواردی که می‌توان بدان اشاره نمود، بمب‌افکن Mosquito de Havilland(۱۹۳۸) است.

لغت پنهان‌کاری (Stealth) که به کاهش اثر راداری اشاره می‌کند از پایان دهه ۸۰، زمانی که ایالات متحده F-۱۱۷ را به عموم معرفی نمود، رواج پیدا کرد. نخستین استفاده رسمی از F-۱۱۷ مربوط به جنگ خلیج، در سال ۱۹۹۱ است. البته پیش از این آمریکا، F-۱۱۷A را در عملیات Just Cause و نیز در جنگ پاناما، بکار گرفته بود. از آن پس به دلیل توسعه سیستم‌های راداری، ابداع الگوریتم‌های نو و معرفی روش‌های جدیدی مانند فیلتر ذره بایزن (Bayesian) موجب کاهش تاثیرگذاری این هواپیما گردید. با درک اهمیت وجود ادوات پنهان‌کار و فناوری همراه آن‌ها، رشد و توسعه فنون شناسایی آن‌ها سرعت گرفت. معرفی پرتوهای راداری غیرفعال (ar arrays-passive rad) و رادارهای فرکانس پایین (radars low-frequency) به جهان فناوری مثال‌هایی بر این مدعا است. بسیاری از کشورها با این حال روند تولید و توسعه ادوات پنهان‌کار را ادامه دادند، چرا که این قبیل ادوات هم چنان، با

توسعه دام‌هایی که منجر به کاهش توانایی‌هایی رادار می-شود، برتری‌هایی را به همراه می‌آورد.

**۱.۱.۱-شکل ظاهری وسایل**

این مسئله که طراحی هواپیما بر کاهش سطح مقطع راداری آن تاثیرگذار است هم‌زمان با بکارگیری نخستین سیستم راداری یعنی در اواخر دهه ۳۰ میلادی تشخیص داده شد. البته دانستن این مسئله که شکل ظاهری هواپیما بر توانایی رادار برای شناسایی و ردیابی آن بسیار تاثیر گذار است به اواخر دهه ۶۰ برمی‌گردد. بمب‌افکن انگلیسی Avro Vulcan، مربوط به دهه ۶۰، با وجود جثه بسیار بزرگش سطح مقطع راداری کمی داشت و حتی گاهی اوقات به طور کامل از صفحه رادار محو می‌شد. امروزه می‌دانیم که این بمب‌افکن به‌طور اتفاقی از ظاهر و شکلی پنهان‌کارانه بهره می‌برده است. در عوض بمب‌افکن دور برد روسی T-۹۵ به راحتی توسط رادار قابل شناسایی و ردیابی بود. اکنون می‌دانیم که ملخ‌ها و تیغه‌های توربین موتور جت کار رادار را برای ردیابی هواپیما آسان می‌کنند. بمب‌افکن روسی ۹۵-T دارای ۴ جفت ملخ( contra-rotating propellers) با قطر ۵/۶ متر بوده است.

از دیگر مولفه‌های مهم، ساختار داخلی سازه است. در پس پوسته رویی برخی هواپیماها، ساختارهایی به نام مثلث‌های پنهان بکار رفته است. آن دسته از امواج راداری که با پوسته هواپیما برخورد می‌کند، به درون آن نفوذ می‌کنند، در داخل این ساختارها به دام می‌افتند و به سبب برخورد با دیواره‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند. این نگرش نخستین بار در SR-۷۱ بکار گرفته شد.

موثرترین وضعیت برای انعکاس امواج ساطع شده از رادار به رادار ساطع کننده آن‌ها، وضعیت صفحات آهنی متعامد است. این صفحات که می‌توانند دوگانه(دو صفحه عمود برهم) یا سه‌گانه(سه صفحه عمود برهم) باشند یک کنج منعکس کننده را بوجود می‌آورند. این وضعیت در دم هواپیماهای مرسوم پدیدار می‌شود، جایی که مولفه‌های عمودی و افقی دم، باهم زاویه ۹۰ درجه بوجود می‌آورند. برای جلوگیری از این فرایند، دم F-۱۱۷

F-۱۱۷

به گونه‌ای طراحی شده که گوشه‌های منعکس کننده بوجود نیایند. در ضمن بنیادی‌ترین نگرش برای حذف کامل اثر دم در B-۲ مشاهده می‌گردد.

B-۲

علاوه بر تغییرات ذکر شده بر روی دم، در طراحی‌های پنهان‌کارانه می‌بایست موتورها را درون بال یا بدنه در نظر گرفت و یا در مواقعی که بخواهیم هواپیماهای عادی موجود را پنهان‌کار کنیم، باید بافل‌هایی را در قسمت ورودی هوای موتور (intake air) نصب کنیم تا تیغه‌های توربین موتور، از دید رادار در امان بمانند. یک طرح پنهان‌کارانه می‌بایست عاری از هرگونه تورفتگی و بیرون آمدگی تند باشد؛ به این معنی که بمب‌ها و موشک‌های هواپیما نباید در قسمت‌های بیرونی آن نصب شوند. تمام وسایل پنهان‌کار، به هنگام بازشدن درها و دریچه‌ها، خاصیت پنهان‌کارانه خود را از دست می‌دهند.

در طراحی‌های پنهان‌کارانه، هم‌ترازی صفحات سازه از مولفه‌های اصلی است. هم‌تراز کردن صفحات، کمی تعداد صفحات با جهت‌های مختلف، را می‌تلبد. به عنوان مثال در طراحی F-۲۲A، لبه‌های هدایت‌کننده بال‌ها و صفحات دم، زوایای یکسانی دارند. مشاهدات دقیق‌تر نشان می‌دهد که بسیاری از قطعات کوچک‌تر هم‌چون درهای جانبی ورودی هوا و دریچه سوخت‌گیری هوایی نیز هم‌زاویه‌اند. نتیجه این هم‌ترازی‌ها، انعکاس سیگنال رسیده از طرف رادار در جهتی مشخص و دور از ساطع کننده رادار( radar emitter) است.

قاب‌های پنهان‌کارانه بعضا دارای گوشه‌های مشخص و تیزی در لبه‌های باز خود هم‌چون شیار موتور، می‌باشند. YF-۲۳ در شیار اگزوز خود دارای چنین لبه‌هایی است. این مثال دیگری از کاربرد مثلث‌های پنهان و هم‌ترازی صفحات البته این‌بار در سطوح خارجی سازه است.

البته مطلوبات این طراحی به نحوی است که بر آیرودینامیک سازه تاثیر منفی می‌گذارد. F-۱۱۷ از حیث آیرودینامیکی سازه‌ای ضعیف است؛ این هواپیما به طور ذاتی ناپایدار است و بدون کمک رایانه قادر به پرواز نیست. برخی از رادارهای پیشرفته توانایی

F-۲۲A Raptor

ردیابی جریان هوای آشفته بوجود آمده در پس این هواپیما را دارایند، درست شبیه جریان‌های آشفته طبیعی موجود در هوا که توسط همان رادارها پیشرفته ردیابی می‌شوند.

این قالب‌بندی در عین حال در مقابل رادارهای فرکانس پایین، مزیتی به هواپیما نمی‌بخشد، چنانچه طول موج رادار تقریبا دو برابر سایز هدف باشد، نتیجه تشدید نیم‌موج هم‌چنان بازگشت متناسبی خواهد بود. با این حال، رادارهای فرکانس پایین به سبب کمبود فرکانس‌های قابل دست‌رسی که به شدت توسط سیستم‌های گوناگون اشغال شده‌اند، دست‌رسی به طول موج مناسب و نیز به سبب سایز بزرگشان که موجب دشواری حمل آن‌ها می‌شود، با محدودیت مواجه هستند. یک رادار طول موج بلند قادر است هدف را ردگیری کرده و تقریبا مکان‌یابی کند، اما توانایی شناسایی آن را ندارد. یادآوری می‌کنیم مکان یابی هدف به تنهایی اطلاعات کافی را برای هدف‌گیری دقیق تسلیحات تامین نمی‌کند. پارازیت‌ها نیز می‌توانند برای این رادارها مشکل‌ساز شوند، هرچند استفاده از فناوری مدرن رایانه ، این مشکل را برطرف کرده است؛ رادار چینی ناستین(Nantsin) و بسیاری از رادارهای کهنه ساخت شوروی بدین طریق اصلاح شده‌اند. چنین گفته می‌شود که امروزه فرکانس‌های زیر GHz ۲ دیگر قابل دست‌رسی نمی‌باشند.

**۱.۱.۱.۱-شکل‌دهی زیرسیستم پیشرانه**

تحقیقات اخیر حکایت از آن دارد که نازل‌های سیال(nozzle fluidic) که به منظور هدایت نیروی پیشران موتورهای جت در هواپیماها و کشتی‌ها به همراه موتور است، از سطح مقطع راداری کم‌تری برخوردارند؛ چرا که پیچیدگی کم‌تری دارند، از نظر مکانیکی ساده‌ترند، از اجزا و سطوح بدون حرکت تشکیل شده‌اند و تا ۵۰ درصد سبک‌تر از سایر نازل‌ها می‌باشند. این نازل‌ها احتمالا در بسیاری از هواپیماهای بدون سرنشین و نیز جنگنده‌های نسل ششم بکار خواهند رفت. نازل‌های سیال‌مانند نیروی پیشران را با استفاده از اثرات سیال منتقل(divert) می‌کنند. آزمایش‌ها نشان می‌دهند، هوایی که با فشار به درون جریان اگزوز موتورهای جت وارد می‌شود می‌تواند نیروی پیشران را تا ۱۵ درجه منحرف کند.

**۱.۱.۲-رادارهای پنهان‌کار**

طراحی رادار به نحوی که توانایی بازگردانی و جذب پرتوافشانی‌های ردیابی، از روی یک سطح مقطع کاهش داده شده توسط فنون پنهان‌کاری را داشته باشد، بعلاوه طراحی رادار به نحوی که به سختی قابل ردیابی باشد، که مانع از هدف قرار گرفتن رادار توسط موشک‌های سریع ضدرادار(HARM) شود را طراحی پنهان‌کارانه رادار گویند.

۱- طراحی رادار به نحوی که توانایی بازگردانی و جذب پرتوافشانی‌های ردیابی، از روی یک سطح مقطع کاهش داده شده توسط فنون پنهان‌کاری را داشته باشد: نخستین کلید درک این مسئله، مباحث هندسه۲ دوره دبیرستان است. اساس کار فناوری GPS، مکان‌یابی یک نقطه از زمین توسط ۴ ماهواره در حال حرکت به نام پسودورنج است. با تقاطع امواج کروی ساطع شده از پسودورنج‌ها(۴ ماهواره با فاصله زیاد از هم) در یک نقطه، آن نقطه به طرز یکتا مکان‌یابی می‌شود. چهار کره که به‌اندازه کافی از هم دور می‌باشند هم‌دیگر را در یک نقطه قطع می‌کنند

عملکرد رادارهای غیرفعال نیز به همین نحو است، با این تفاوت که آن‌ها به جای کره‌های تو خالی، بیضی‌گون‌های امواج را ردیابی می‌کنند.

۲- طراحی رادار به نحوی که به سختی قابل ردیابی باشد:

**۱.۱.۳-بدنه غیرآهنی:**

کامپوزیت‌های دی‌الکتریک، به نسبت برای رادارها ناپیدا و غیرقابل شناسایی اند. این در حالیست که رساناهای الکتریکی هم‌چون آهن و فیبرهای کربنی، انرژی الکترومغناطیسی برخورد کننده با سطح ماده را بازتاب می‌دهند. در کاوپوزیت‌هایی که از

آنان استفاده می‌شود، به جهت بهینه کردن خواص الکترومغناطیسی برای این کاربرد خاص، هیروکسیدها به کار می‌روند.

**۱.۱.۴-مواد جذب کننده امواج رادار:**

این مواد که به اختصار Material)RAM Radar Absorbing) نام‌گذاری شده‌اند، معمولا مانند رنگ‌ها(Paints)، به طور خاص در لبه سطوح آهنی به کار می‌روند. در چنین پوشش‌هایی که گاها پوشش توپی آهن نیز خوانده می‌شوند، کره‌هایی بسیار کوچک که توسط کربونیل آهن هیروکسید پوشانده شده‌اند، نقش اصلی را ایفا می‌کنند. امواج راداری به سبب تشکیل میدان‌های مغناطیسی متغیر در این مواد، به سمت تبدیل انرژی خود به انرژی گرمایی هدایت می‌شوند. در مدل‌های جدیدتر F-۱۱۷، در لابلای ماتریس‌های پلیمری، الیافی نئوپرین(neoprene) مانند به همراه بافت‌های هیدرواکسیدی جاسازی شده که، به طورکامل در زمره مواد RAM قرار می گیرد. این رنگ آمیزی به سبب وجود حلال‌های سمی و خورندگی زیاد سطوح به طور کامل توسط ربات‌ها انجام می‌پذیرد.

به طورمشابه، پوشاندن درون کابین با لایه‌ای نازک و شفاف از رساناها(هم‌چون بخارات تجزیه شده طلا و یا قلع اکسید ایدیم) به کاهش خواص راداری سازه کمک می‌کند؛ چرا که امواج به طور طبیعی می‌بایست به کابین وارد شده، به طرز تصادفی با چیزی برخورد کرده(درون کابین را مجموعه‌ای پیچیده از اشیا تشکیل می‌دهد) و احتمالا به رادار بازگردد. اما این پوشش رسانا، ساختاری کنترل شده به کابین می‌بخشد، به نحوی که بتوان امواج صادر شده از رادار را به گونه‌ای منحرف کرد که به رادار باز نگردد. این پوشش به‌اندازه کافی نازک است تا تاثیر منفی بر دید خلبان نداشته باشد.

**۱.۲- آواشناسی**

هواپیماهای مادون صوت می‌توانند از برخورد با دیوار صوتی پرهیز کنند. برخی از هواپیماهای پنهان‌کار هم چون B-۲ از ملخ‌هایی برخوردارند که با استفاده از چرخش آن‌ها می‌توانند در آسمان دشمن پرواز کنند، بدون آن‌که سربازان دشمن متوجه حضور آن‌ها شوند. Boeing Bird of Prey نیز از این ویژگی(پنهان‌کاری آوایی) برخوردار است.

ظهور هواپیماهای فراصوت پنهان‌کار هم‌چون SR-۷۱ Blackbird این مسئله را مشخص نمود که تاثیرات صوتی، همواره نقش تاثیرگذاری را در طراحی‌های پنهان‌کارانه ایفا نمی‌کنند، هرچند که هواپیمای SR-۷۱ Blackbird بر سرعت زیاد و توانایی‌های خود استوار است و از منظر استانداردهای جدید پنهان‌کاری، در رتبه پایینی قرار می‌گیرد.

پنهان‌کاری آوایی یکی از اساسی‌ترین نقش‌ها را در زیردریایی‌ها و وسایل حمل‌ونقل زمینی داراست. در زیردریایی‌ها به منظور ایزوله کردن و جلوگیری از آواهای مکانیکی از پوشاننده‌های لاستیکی به میزان قابل توجهی استفاده می‌شود. این آواها ردیاب‌های غیرفعال زیر آب را قادر می‌سازند تا زیردریایی را به راحتی مکان‌یابی کنند.

**۱.۳-رویت‌پذیری**

بسیاری از هواپیماهای پنهان‌کار دارای سطوحی مات و رنگ‌هایی تیره‌اند و معمولا در شب از آن‌ها استفاده می‌شود. اما جذابیت استفاده از پنهان‌کاران در نور روز که به ویژه از طرف USAF پیگیری می‌شود، امکان استفاده از رنگ خاکستری را تقویت می‌کند. هم‌چنین تصور می‌شود که با استفاده از نورهای یهودی (« wiki/Yehudi_lights / Yehudi lights «http://en.wikipedia.org) در آینده بتوان سایه سازه هواپیما را پوشانده و یا آن را به طور کامل مستتر کرد.

**۱.۴-مادون قرمز**

دود اگزوز دارای اثر مادون قرمز است. یکی از راهکارهای ساده برای کاهش اثر مادون قرمز، طراحی مقطعی غیر دایروی برای لوله اگزوز است. در این مقاطع از یک سو سطح مقطع اگزوز کاهش می‌یابد و از سوی دیگر مخلوط شدن دود و هوای محیط به میزان بیش‌تری انجام می‌پذیرد. گاها برای کاهش اثر مادون قرمز هوای معتدل را عمدا به اگزوز تزریق می‌کنند. در برخی موارد به منظور حفظ دود از دید ناظر پایینی، دود را بالای بال تخلیه می‌کنند. مواردی مانند B-۲ و A۱۰ Thunderbolt II(غیر پنهان-کار) مثال‌هایی بر این مدعایند. برای پنهان‌کاری مادون قرمز، دود اگزوز را به میزانی خنک می‌کنند که طول موج‌های تابناک ساطع شده از آن توسط کربن‌دی‌اکسید و بخار آب موجود در اتمسفر جذب شده و رویت‌پذیری مادون قرمز، به طرز چشم‌گیری کاهش می‌یابد. یکی دیگر از روش‌های کاهش دمای دود، به جریان انداختن سیالات خنک کننده هم‌چون سوخت موجود در مخزن سوخت، در لوله اگزوز است. در این روش مخازن سوخت به منزله یک انباره حرارتی عمل می‌کنند که توسط هوای محیط، خنک می‌شوند.

**۱.۵-کاهش تشعشعات فرکانس‌های رادیویی**

تشعشعات قابل شناسایی ساطع شده از هواپیماها و کشتی‌ها تنها محدود به تشعشعات مادون قرمز و صداها نمی‌شوند. یک پنهان‌کار موفق نباید انرژی از خود ساطع کند که برای دشمن قابل شناسایی و ردیابی باشد، مانند تشعشعاتی که از رادارهای هواپیما و سیستم‌های ارتباطی آن ساطع می‌شوند و یا فرکانس‌های رادیویی که از دیواره الکترونیکی به بیرون نفوذ می‌کنند. F-۱۱۷ برای هدف‌گیری از مادون قرمز غیرفعال و نیز از صفحات نمایشی با نور کم استفاده می‌کند و F-۲۲ از رادارهای

پیشرفته LPI برخوردار است که می‌تواند به کمک آن دشمن را هدف قرار داده بدون آن‌که کم‌ترین اثری از خود بر جای گذارد.

**۲-اندازه‌گیری پنهان‌کاری**

اندازه تصویر هدف بر صفحه رادار را با مقیاسی به نام سطح مقطع راداری (RCS) می‌سنجند که معمولا با s نمایش داده می‌شود و بعد آن مترمربع است. این مقدار لزوما با سطح مقطع هندسی هدف برابر نیست. یک کره تماما رسانا با سطح مقطع (قطر ۱/۱۳متر)، سطح مقطعی راداری به مقدار خواهد داشت. لازم به ذکر است برای رادارهایی با طول موج‌های خیلی کم‌تر از قطر کره، سطح مقطع راداری به فرکانس بستگی دارد. برعکس، RCS یک صفحه تخت به مساحت، در فرکانس ۱۰GHz، چنان‌چه رادار بر سطح صفحه عمود باشد برابر خواهد بود. چنان‌چه این صفحه بچرخد، از آن‌جا که مقدار انرژی بازتابی از صفحه به سمت رادار کاهش می‌یابد، سطح مقطع راداری این صفحه نیز کاهش خواهد یافت. گفتنی است، سطح مقطع راداری هواپیماهای پنهان کار پیشرفته به‌اندازه سطح مقطع راداری یک پرنده کوچک و یا یک حشره بزرگ است، البته واضح است که این مسئله به رادار بکار رفته و هواپیما بستگی دارد.

اگر RCS یک وسیله تنها به سطح مقطع هندسی آن وابسته بود، برای کاهش RCS چاره‌ای جز کاهش اندازه آن وسیله نداشتیم. حال آن‌که با منحرف ساختن امواج راداری و جذب آن‌ها، وسیله از RCS کم‌تری برخوردار می‌شود.

**۳-فنون پنهان‌کاری**

هواپیماهای مهاجم پنهان‌کار هم‌چون F-۱۱۷، معمولا بر ضد اهدافی مهم هم‌چون مراکز فرماندهی و کنترل و یا آتش‌بارهای موشک‌های زمین به هوا (SAM) که به شدت تحت مراقبت می‌باشند، بکار برده می‌شوند. این پایگاه‌ها به قدری ارزشمند است که دشمن با رادارهای خود، به طور کامل و با پوششی لب‌به‌لب از آن‌ها مراقبت می‌کند، به نحوی که تقریبا ورود هواپیمایی ردگیری نشده به آن فضا غیر ممکن است. هواپیماهای پنهان‌کار نیز توسط رادار ردیابی می‌شوند لذا در پنهان ماندن پنهان‌کاران به طور ذاتی گاف‌هایی وجود دارد، اما تنها در فاصله‌های نزدیک به رادار. بنابراین یک پنهان‌کار چنان‌چه در مسیری خاص حرکت کند می‌تواند از دید رادارها در امان بماند. بسیاری از رادارهای زمینی از فیلتر **دوپلر** (Doppler) برای تقویت حساسیت و تشخیص مواردی که نسبت به رادار دارای مولفه سرعت شعاعی هستند استفاده می‌کنند. طراحی کنندگان عملیات با توجه به اطلاعات موجود در مورد رادارهای دشمن و نیز اگوی RCS هواپیما، مسیری را برای هواپیما طراحی می‌کنند که علاوه بر حداقل بودن مقدار RCS، مولفه سرعت شعاعی هواپیما نسبت به رادارهای دشمن نیز کمینه شود. برای انجام عملیات‌های مطمئن و البته امن، وجود اطلاعات کافی در مورد وضعیت رادارهای دشمن ضروری است. امروزه حضور رادارهای متحرک هم‌چون AWACS، کار طراحان عملیات را مشکل‌تر ساخته است.

**۴-هواپیماهای پنهان‌کار**

جنگنده‌های مجهز به فناوری خفیه‌کاری قابلیت فرار از رادار و خنثی کردن اثر آن را دارا می‌شوند. طبیعتا این جنگنده‌ها نسبت به جنگنده‌های عادی، کم‌تر در معرض خطر ردیابی قرار دارند. جنگنده های پنهان‌کار به طور برجسته در جنگ خلیج به کار گرفته شدند.

**مزایای به کار گیری فناوری پنهان‌کاری در جنگنده‌ها**

تعداد کم‌تری از جنگنده‌های مجهز به فناوری پنهان‌کاری این قابلیت را دارا هستند که همان بهره نظامی‌را که یک ناوگان از جنگنده‌های عادی به نیروی هوایی می‌دهد و بلکه بیش‌تر از آن را ارضا کنند. واضح است که در بعد کلان این گونه سرمایه‌گذاری موجب صرفه‌جویی اقتصادی در امور نظامی می‌گردد.

قدرت ضربه‌زنی این جنگنده‌ها به گونه‌ای است که همواره دشمن را در معرض خطر حمله قرار داده و او را از انجام هرگونه عملیاتی باز می‌دارد؛ چرا که این‌گونه جنگنده‌ها قابل ردیابی نبوده و اگر عملیات هوایی به طور مخفیانه انجام شود بسیار خطرناک خواهند بود. البته از این قابلیت می‌توان به عنوان یک ابزار در مسائل سیاسی نیز بهره جست.

جنگنده‌های مجهز به فناوری پنهان‌کاری این قابلیت را به ناوگان هوایی می‌دهد که در عین منکر شدن واقعیت به گونه‌ای قابل قبول اهداف مهم و حساسی را مورد هدف قرار دهد. از آن‌جایی که کسی توانایی شناسایی این مهاجمان را ندارد، به نظر می‌رسد که حضور این گونه جنگنده‌ها موجب کاهش قدرت تحلیل دشمن و در نتیجه مانع از بروز جنگ شود.

البته زمینه‌سازی تولید در فناوری پنهان‌کاری موجب می‌شود تا توجه دشمن نیز به این مسئله معطوف گردیده و هدف مشابه‌ای را دنبال کند که احتمالا منجر به تضعیف قابل توجه توان اقتصادی دشمن می‌شود. ابتکار نظامی‌آمریکا در دهه۸۰ جنگ ستارگان هدفی این‌چنینی را علیه اتحاد جماهیر شوروی دنبال می‌کرد.

از آن‌جایی که برنامه‌های پنهان‌کاری همواره با اسرار نظامی‌و امنیتی در ارتباط است، تعامل هایی که در حوزه انتقال فناوری پنهان‌کاری صورت می‌گیرد نشان از نزدیکی بیش از حد طرفین (دو کشور) و اعتماد متقابل نظامی‌و امنیتی بین ایشان است. تاسیس پایگاه‌های تولید فناوری پنهان‌کاری در یک کشور دوست در واقع به منزله یک ژست سیاسی است. تاسیس اسکادران F-۱۱۷ توسط ایالات متحده در انگلستان مثال خوبی بر این مدعا است.

**معایب جنگنده‌های مجهز به فناوری پنهان‌کاری**

در طراحی جنگنده‌های مجهز به این فناوری، بیش از آن‌که به مولفه‌های آیرودینامیکی توجه شود، به ضد رادار بودن سازه بها داده می‌شود. ضد رادارترین جنگنده‌ها هم‌چون B-۲ و F-۱۱۷ در هر سه محور دچار ناپایداری آیرودینامیک می‌باشند و لذا برای هوابرد ماندن نیازمند هدایت دائمی توسط سیستم‌های الکترونیکی می‌باشند( fly-by-wire). این در حالی است که غالب جنگنده‌های مدرن فاقد فناوری پنهان‌کاری هم‌چون F-۱۶ در یک و یا حداکثر دو محور ناپایداردند. جنگنده‌های پنهان‌کار، برای کنترل نیازمند وجود سیستم های کنترلی الکترونیکی فراوان( fly-by-wire) می‌باشند که این مسئله موجب تحمیل هزینه‌های سنگین و نیز افزایش وزن سازه می‌گردد. در این شرایط پالس‌های الکترومغناطیسی قوی(مثلا ناشی از انفجارهای اتمی درون اتمسفر) موجب اختلال در رایانه‌های کنترلی جنگنده شده و احتمالا

نخستین هواپیمای عملیاتی پنهان‌کار: F-۱۱۷

منجر به سقوط آن می‌شود. البته ادعای نیروی هوایی آمریکا این است که با تکمیل پروژه سخت‌گردانی الکترونیکی این جنگنده‌ها این مسئله نیز حل شده است.

از دیگر نقاط ضعف این جنگنده‌ها آسیب‌پذیر بودن آن‌ها در نبردهای هوایی است. نمونه‌های ضد رادار موجود هم‌چون F-۱۱۷ و B-۲ فاقد پس‌سوزند و این مسئله موجب افزایش حرارت آن ها و در نتیجه آسان شدن ردیابی و هدف قراردادن می‌شود. هم‌چنین این جنگنده‌ها توانایی شکست دیوار صوتی را ندارند. این مسئله آن‌ها را در مقابل جنگنده‌هایی که دارای فناوری پس‌سوزند و در نتیجه قادرند با سرعت‌های ۲ ماخ و بیش تر حرکت کنند، بسیار آسیب پذیر می سازد. سازه عجیب این جنگنده‌ها از چالاکی آن ها می‌کاهد. لذا در حالی که تعابیر به کار رفته در سازه مانع از ردیابی آن‌ها توسط رادار و قفل شدن موشک می‌شود، چالاک نبودن آن‌ها موجب می‌شود بتوان آن‌ها را با شلیک توپ یک جنگنده سنتی منهدم کرد. جنگنده F-۱۱۷ تنها قادر است دو موشک هوابه‌هوا با خود حمل کند که البته کافی نیست و کاهش مانورپذیری را نیز منجر می شود. این در حالی است که B-۲ توانایی حمل هیچ سلاح هوابه‌هوایی را ندارد.

تعداد بیشمار رایانه موجود در این جنگنده‌ها و وجود مدارها و ابزارهای فراوان الکترونیکی، آن‌ها را در برابر پدافندهای غیرعامل و تجهیزات دفاع الکترونیکی، آسیب‌پذیر می‌سازد. سیستم متحرک رادیویی تامارا، تولید کشور چک که قادر است ضعیف‌ترین امواج‌های نشر شده از پوشیده‌ترین جنگنده‌ها را دریافت کند، از جمله این تجهیزات است. حس‌گرهای تامارا قادرند اطلاعاتی گسترده و با فاصله زیاد را برای رادارها فراهم کنند. این رادارها در نهایت با قفل شدن بر روی هدف با روش کاوش‌های متمرکز شده(highly focused scanning) آن را ردیابی می‌کنند.

نگهداری این قبیل جنگنده ها، نگهداری سطح بالا است(high-maintenance). شرایط پوسته‌ی سطحی هواپیما به‌گونه‌ای است که چه از طریق بازتاب امواج ارسال شده از رادار به دلیل هندسه خاص و چه از طریق جذب این امواج به سبب وجود کره‌های گرافیتی موجود در پوسته، سازه را از دید رادار پنهان می کند. پنجره کابین توسط تراشه‌های ظریف طلا و ایندیم پوشیده میشود . حا ل چنان‌چه به این پوسته آسیبی وارد شود، توانایی رادار برای ردیابی سازه به شدت بالا می‌رود. این جنگنده‌ها بهتر است از آشیانه اصلی مدیریت شده و به کار گرفته شوند. جایی که به دلیل حفاظت خاص جوی، شرایط بهینه‌ای را برای تعمیر و نگهداری دارا می‌باشد. اگرچه در اواخر دهه ۹۰، قابلیت‌ها و توانایی‌های سازه این قبیل جنگنده‌ها به طور محسوسی ارتقا یافت، هنوز هم هزینه های سنگین ناشی از تامین قطعات هواپیما، هزینه های ضروری برای نگهداری و تعمیر و نیز هزینه‌های لازم برای تامین شرایط محیطی حفاظت از آن‌ها، فشار اقتصادی سنگینی را بر مدیریت این پروژه وارد می‌کند.

البته جنگنده‌های پنهان کار هنوز هم به هنگام استفاده از

تسلیحات خود قابل ردیابی و شناسایی‌اند. از آن‌جایی که هنوز توانایی پنهان کردن سازه از دید رادار به طور کامل وجود ندارد، لذا ضروری است که برای جلوگیری از افزایش احتمال شناسایی، تسلیحات به طور کامل در درون سازه قرار بگیرند. زمانی که درهای محفظه تسلیحات گشوده می‌شوند، رادارپذیری (RCS) سازه افزایش یافته و حتی توسط رادارهای معمولی قابل ردیابی است. به همین دلیل است که خلبان‌های این قبیل هواپیماها برای کاهش زمان تخلیه تسلیحات به ۱۵ الی ۲۵ ثانیه، تحت آموزش قرار می گیرند. البته در طراحی نسل‌های ۴و ۵ جنگنده‌بمب‌افکن‌ها، تسلیحات در محیط خارجی سازه نیز قرار گرفته می‌شود و افزایش احتمال شناسایی آن‌ها پذیرفته شده است. در این موارد تسلیحاتی که در درون سازه نگهداری می‌شود برای دفاع از هواپیما در مقابل موشک های ضد هواپیما تعبیه شده است.

از آن‌جایی که هواپیماهای کاملا ضد رادار مجبورند تسلیحات خود را در درون خود حمل کنند، مسئله حمل تسلیحات با محدودیت روبه‌رو می‌شود. F-۱۱۷ تنها دو بمب لیزری هدایت شونده را با خود حمل می‌کند که البته برای هدف قرار دادن اهداف به طور دقیق طراحی شده است. خارج از حیطه جنگ‌های سنتی، برای هدف قرار دادن اهداف مهم و با ارزش می‌توان با واردکردن گردان های ویژه در خاک دشمن و شناسایی اهداف توسط آن‌ها و سپس هدف قرار دادن نقاط مشخص شده با جنگنده‌ها و بمب‌افکن‌های پنهان‌کار به دشمن ضربه وارد نمود.

بمب‌افکن B-۲ توانایی حمل محموله سنگین بمب را دارا است، اما در عوض از سرعت بالا یی برخوردار نیست. لذا ماموریت‌های برون مرزی B-۲ معمولا ۱۸ الی ۲۴ ساعت به طول می‌انجامد. بنابراین مسئله طراحی عملیات و حفاظت اطلاعات آن برای یک حمله موفق بیش از پیش موضوعیت پیدا می‌کند. در مورد اهداف متحرک نیز برای اطمینان از موفقیت آمیز بودن عملیات، نیازمند هدایت ماهواره‌ای و یا اطلاعاتی هستیم که از ناظر در منطقه به دست می‌رسد.

**پنهان‌کاران چگونه شناسایی می‌شوند؟**

تاکنون تئوری‌های گوناگونی برای شناسایی پنهان کاران توسط شرکت‌های مختلف مطرح شده است. البته هیچ‌کدام از آن‌ها در عمل اثبات نشده است چرا که شرکت‌های تاکنون فرصت اثبات تئوری‌های خود را در فضای حقیقی عملیاتی پیدا نکرده اند.

در این بین استرالیا و روسیه ادعا دارند که توانسته‌اند تکنیک‌ها و فنونی را ابداع کنند که به وسیله آن ها اغتشاشات بوجود آمده توسط هواپیما را در فضای وسیع و تحت نظر شناسایی کنند (این فنون احتمالا بدلی برای فنون پنهان‌کاری است).

رادارهای مالتی‌استاتیک (چندگانه) و بی‌استاتیک (دوگانه) بیش از رادارهای عادی (منواستاتیک یا یک‌گانه) توانایی شناسایی و ردیابی پنهان‌کاران را دارا هستند. از آن‌جایی که فناوری پنهان‌کاری به گونه‌ای عمل می‌کند که پرتوهای منتشر شده توسط فرستنده رادار را در مسیری غیر از مسیر مستقیم بازتاب می‌دهد، لذا توانایی شناسایی هواپیما برای رادار در مسیرهای تابشی دیگر افزایش پیدا می‌کند. چنین سیستم‌هایی توانایی کار با امواج فرکانس‌پایینی هم‌چون امواج تلویزیونی و امواج FM و نیز امواج تلفن‌های موبایل که موجب آسیب دیدن خواص پنهان‌کاری بدنه پنهان‌کار می‌شود را دارا هستند.

پژوهش‌گران دانشگاه ایلی‌نویز با پشتیبانی دارپا (DARPA) توانسته‌اند نشان بدهند که می‌توان با استفاده از دیاگفرام مصنوعی رادارهای چندگانه (aperture radar synthetic) تصویری ساختگی از یک پنهان‌کار، تهیه کنند. دقت این تصویر برای شناسایی هواپیما با روش ATR (شناسایی اتوماتیک هدف) کافی است. هم‌چنین پژوهش‌های یک پژوهش گر انگلیسی حاکی از آن است که می توان بر اساس ساختاری تجربی و با استفاده از سیگنال‌های تلفن‌های موبایل هواپیمای پنهان‌کار را ردیابی کرد.

پنهان‌کاران را می‌توان با استفاده از امواج الکترومغناطیسی منتشر شده از آن‌ها (هم‌چون امواج پرواز سینه‌مال از روی عوارض زمین، امواج ارتباطات رادیویی، امواج کنترل موشک و ...) نیز شناسایی نمود. البته مسئله تشعشات در این هواپیماها نوعا تحت تاثیر روش‌های دقیق، ارتباطات ماهواره‌ای و ... کنترل می‌شود.

مجددا یادآور می‌شویم که سیستم تامارا، تولید چک قادر است حتی ضعیف‌ترین تشعشعات صادر شده از این هواپیماها را ردیابی کند.

در پایان این قسمت متذکر می‌شویم که هم‌چنان ردیابی این پنهان‌کاران توسط رادار امری مشکل و روشی نامناسب و نامطمئن است، حال آن‌که رویت این پنهان‌کاران حتی با چشم غیر مسلح ممکن است.

**به‌کارگیری هواپیماهای پنهان‌کار**

استفاده از پنهان‌کاران تا به امروز به نبردهای سبک و نیمه‌سنگین محدود شده است. عملیات‌هایی هم‌چون طوفان صحرا و نیروهای متفقین و جنگ عراق در سال ۲۰۰۳ از این جمله‌اند. در تمام این نبردها، اهدافی مدنظر بوده که یا از ارزش و اهمیت بسیار زیادی برخوردار و از تیررس هواپیماهای عادی خارج بوده‌اند و یا دسترسی هواپیماهای معمولی به آن‌ها به دلیل شرایط حفاظتی غیرممکن بوده است. به‌علاوه از آن‌جایی که پنهان‌کاران برای فرار از موشک‌های زمین به هوا و یا توپ خانه پدافند هوایی طراحی نشده‌اند، توانایی عبور از روی هدف با دقت زیاد و هدف قرار دادن آن به طور دقیق و بدون تخریب‌های جانبی را دارا می‌باشند. در بسیاری از موارد این هواپیماها برای حمله به اهدافی با ارزش در ابتدای جنگ و یا حتی پیش از شروع جنگ به کار می‌روند، زمانی که هنوز هواپیماهای دشمن آسمان را برای

حضور هواپیماهای عادی ناامن نکرده‌اند.

هرچند این هواپیماها در نبردهای سبک و نیمه‌سنگین در آینده نیز همان نقشی را ایفا می‌کنند که تا به امروز انجام داده‌اند، با توجه به حضور سیستم سپر نوین موشکی زمین به هوای روسیه در بازارهای نظامی، نقش این هواپیماها در نبردهای سنگین آینده به ویژه برای ایالات متحده که قرار است با چنین سیستمی دست و پنجه نرم کند؛ به منظور تسلط بر آسمان پررنگ‌تر خواهد بود. دفاع از فضای کشور بوسیله سیستم‌های موشکی معمولی زمین به هوا به نحوی که هواپیماهای عادی توان دسترسی به اهداف محافظت شده را نداشته باشند امری ممکن است.

به‌عنوان مثال، چین با نصب سیستم دفاعی SAM توانسته از مراکز استراتژیک خود به خوبی محافظت کند. با این حال چنان‌چه بخواهیم با استفاده از تسلیحات ضد رادیویی رادارهای این سیستم را از کار بیندازیم و یا با شلیک تسلیحات پرتابی به این سیستم آسیبی وارد کنیم، آتش‌بارهای این سپر دفاع موشکی زمین به هوا، توانایی منهدم نمودن تسلیحاتی را که بر ضد آن به‌کار رفته را دارا هستند. در این شرایط اهمیت حمله‌های پنهانی و رخنه در ساختار دفاعی موشکی دشمن و پیروزی بر آن و ایجاد فضا و مسیری امن برای نفوظ جنگنده‌ها و بمب‌افکن‌های عادی به آسمان دشمن مسئله‌ای حائز اهمیت و ارزشمند است.

## فهرست جنگنده‌ای پنهان‌کار

موارد کاملا پنهان:
وارد ناوگان شده:

F-22 Raptor - Lockheed-Martin / Boeing
B-2 bomber - Northrop Grumman
Lockheed Have Blue - *developed into*—> F-117 Nighthawk - (*set to be retired in 2008*)

به زودی معرفی خواهند شد:

F-35 Lightning II - Lockheed Martin
MikoyanI-2000 (Russia's equivalent to F-22. To be introduced by 2015)
Shenyang J-XX - China
Medium Combat Aircraft - Hindustan Aeronautics Limited

نمونه‌های آزمایشی:

Brird of Prey - Boeing
Boeing X-32 - lost out to Lockheed for JSF
Tacit Blue - Northrop technology demonstrator reconnaissance plane
Have Blue - technology demonstrator
YF-23 Black Widow II - Northrop / MDD - prototype built but lost competition to YF-22

از رده خارج شده:

A-12 Avenger II - McDonnell-Douglas / General Dynamics
Messerschmidt Lampyridae - West German stealth fighter prototype

موارد نیمه پنهان:
وارد ناوگان شده:

B-1 Lancer
F-16 C/D and E/F - from Block 30 has got reduced RCS to about 1 m2