

رویکردهای نوین توسعه فناوری حامل‌های فضایی ایالات متحده بر اساس برنامه ساستین

هدف اصلی از ارائه این مقاله، بررسی راهبرد و اهداف بلند مدت توسعه فناوری حامل‌های فضایی ایالات متحده آمریکا می‌باشد. اخیراً، ایالات متحده برای توسعه حامل‌های فضایی خود رویکردهای نوینی را مد نظر قرار داده است. منشا اصلی این رویکردها را می‌توان در ایده برنامه ساستین که توسط نیروی دریایی ایالات متحده شکل گرفته است، جستجو کرد. هدف اصلی برنامه ساستین ارسال تجهیزات و امکانات مورد نیاز به نقاط مختلف زمین در کمترین زمان و هزینه می‌باشد. لذا، اهمیت این برنامه سبب شده است که این کشور، رویکردهای توسعه فناوری حامل‌های فضایی آینده خود را به نحوی در راستای تکمیل برنامه ساستین، برنامه‌ریزی نماید. بنابراین در این مقاله، ضمن بررسی نیازهای برنامه ساستین، رویکردهای نوین توسعه فناوری حامل‌های فضایی برای دستیابی به این مهم ارائه خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: رویکردهای نوین، توسعه فناوری، حامل‌های فضایی، برنامه ساستین، ایالات متحده آمریکا.

حسن ناصح*، استادیار، پژوهشگاه هوافضا،
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

*نویسنده مخاطب، آدرس: تهران، کدپستی:
۱۴۶۵۷۷۴۱۱۱

hnaseh@ari.ac.ir

New Approaches in U.S. Space Launch System's Technology Development based on SUSTAIN Programm

The major purpose of this paper is to consider the strategy and long term approaches in the American U.S. Space Launch Systems (SLSs)'s technology development. Recently, new approaches have been interested by U.S.. The major roots of these approaches can be searched in the Small Unit Space Transportation and Insertion (SUSTAIN) program that is suggested by U.S. marine corps. The main objective of SUSTAIN is to convey facilities and equipment to the any point of the earth in the minimum time and cost. Hence, the importance of this program led to develop the future SLSs's technology in SUSTAIN orientation. Then, in this paper, the SUSTAIN's needs is considered and also presented the new approaches in technology development of SLSs to meet the program's requirements.

Keywords: New Approaches, Technology Development, Space Launch Systems, SUSTAIN Programm, American U.S.

H. Naseh*, Assistant professor,
Department of Aerospace research
Institute, Ministry of Science,
Research and Technology

*Corresponding Author, Postal
Code: 1465774111, Tehran, IRAN

hnaseh@ari.ac.ir

مقدمه

شوروی سابق نام برد. این رویکرد طراحی در نسل دوم حامل‌های فضایی نیز رویکرد طراحی نو محسوب می‌شد.

نسل سوم: با توجه به عدم موفقیت‌های توسعه نسل دوم حامل‌های فضایی (حامل‌های فضایی چندبار مصرف)، نسل سوم حامل‌های فضایی توسعه یافتند. این رویکرد جدید در توسعه حامل‌های فضایی، رویکرد ماژولار^۸ می‌باشد. فلسفه به‌کارگیری این رویکرد در طراحی حامل‌های فضایی استفاده از فناوری‌ها و المان‌های موجود و توسعه‌یافته در حامل‌های فضایی نسل‌های قبلی بود [۴]. این رویکرد به شدت سبب کاهش هزینه‌های پرتاب به دلیل حذف هزینه‌های تحقیق و توسعه در حامل‌های فضایی و همچنین افزایش قابلیت اطمینان به دلیل مرتفع شدن مدهای خرابی در حامل‌های قبلی می‌شود [۵].

اخیراً، رویکردهای نوین در توسعه حامل‌های فضایی مد نظر قرار گرفته است که از برنامه ساستین^۹ نشأت گرفته است. اولین بار ایده اجرای برنامه ساستین توسط نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا^{۱۱} برای ارسال تجهیزات و امکانات به هر نقطه از کره زمین با استفاده از پروازهای فضایی زیرمدای پیشنهاد شده است. این برنامه (ساستین) به طور وسیع مأموریت‌های ملی ایالات متحده در همه ابعاد تحقیقاتی، تجاری و صنعتی تحت‌الشعاع قرار می‌دهد و بدین منظور براساس نیازهای این برنامه، توسعه فناوری ناوگان حمل و نقل فضایی به گونه‌ای تغییر می‌یابد که به تمامی نیازهای برنامه پاسخ دهد [۶].

اگرچه در نگاه اول برنامه ساستین این طور به نظر می‌رسد که برای پر نمودن خلأ و نیاز خاص می‌باشد، ولی نیاز آن به گونه‌ای تمامی حوزه‌های هوافضایی و ناوگان حمل و نقل فضایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو، از ایده‌های قبلی حوزه فضایی برای تولد برنامه فضایی جدید آمریکا و تکمیل برنامه ساستین بهره برده شده است. بدین منظور، کلیه فعالیت‌ها و پروژه‌های فضایی در حال انجام در صنایع فضایی آمریکا به نحوی در راستای برآورده ساختن نیازهای برنامه ساستین مورد ارزیابی واقع شده است. به عبارت دیگر، اولویت برنامه‌های فضایی براساس میزان سهم این برنامه‌ها در تکمیل برنامه ساستین تدوین شده است. همچنین، رویکرد تجاری‌سازی برنامه ساستین سبب کاهش هزینه در تمام فعالیت‌های فضایی شده است [۶].

اهداف برنامه ساستین

هدف اصلی برنامه ساستین، برداشتن گام بزرگ رو به جلو با ایجاد قابلیت در فناوری‌های موجود، زیرساخت‌ها، وسایل، تجهیزات و طرح‌های پشتیبانی می‌باشد. این هدف به منظور رفع

بعد از جنگ جهانی دوم (دوران جنگ سرد)، رقابت بر سر تسخیر فضا در دو بلوک شرق و غرب به ترتیب به رهبری دو ابرقدرت آن زمان یعنی شوروی سابق و ایالات‌متحده آمریکا شروع شد. بطوریکه توسعه حامل‌های فضایی در قالب فعالیت‌های فضایی (نه بالستیک) از سال ۱۹۵۷ با پرتاب نخستین ماهواره شوروی سابق (ماهواره اسپوتنیک^۱)، به‌طورجدی شروع شد. ولی از آن پس با توجه به شناخت هرچه بیشتر بشر از فضا، اهمیت پرداختن و سرمایه‌گذاری در بخش فضا در دوره‌های مختلف، با اهداف متنوعی صورت پذیرفته است.

در دهه ۶۰ میلادی برنامه‌های اعزام موجود زنده با پیشنهاد رئیس‌جمهور وقت آمریکا (جان اف کندی^۲) بسیار پررنگ شد ولی در حال حاضر مأموریت‌های رباتیک برای سفر به کره‌ها و سیاره‌های دیگر در برنامه‌های فضایی کشورهای مختلف وجود دارد. بدین منظور طراحی و ساخت حامل‌های فضایی ساترن^۳ با وزن ۳۲۰۰ تن سنگین‌ترین حامل فضایی عملیاتی تاریخ تاکنون و حامل فضایی این وان^۴ تنها حامل فضایی پنج مرحله‌ای تاریخ به ترتیب در ایالات‌متحده آمریکا و در اتحادیه جماهیر شوروی سابق کلید خورد. بنابراین، با نگاهی به تاریخ توسعه حامل‌های فضایی تا به امروز، برای توسعه حامل‌های فضایی جهان می‌توان سه نسل (سه رویکرد توسعه) را متصور شد که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد [۱]. در ادامه به معرفی نسل‌های مختلف حامل‌های فضایی پرداخته شده است [۲].

نسل اول: این نسل از حامل‌های فضایی، حامل‌هایی هستند که برای اولین بار توسعه یافتند، که به این نوع حامل‌های فضایی، حامل‌های فضایی منحصر بفرد می‌گویند. این حامل‌ها، حامل‌های فضایی یک‌بار مصرفی بودند که برای شروع مأموریت‌های فضایی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. برای نمونه می‌توان از حامل‌های فضایی ایالات‌متحده آمریکا نظیر ردستون^۵، اطلس^۶ و غیره نام برد. این رویکرد در طراحی، رویکرد طراحی نو (جدید) می‌نامند.

نسل دوم: حامل‌های فضایی چندبار مصرف با هدف کاهش هزینه‌های پرتاب و افزایش قابلیت اطمینان (دستیابی به اهداف موفقیت‌آمیز نبود) در ناوگان حمل و نقل فضایی مورد استفاده قرار گرفتند [۳]. برای نمونه می‌توان از حامل‌های فضایی نظیر شاتل فضایی^۷ و بوران^۸ به ترتیب از ایالات‌متحده آمریکا و

1. Sputnik Satellite
2. John F. Kenedy
3. Saturn V
4. N-1
5. Redeston
6. Atlas
7. Space Shuttle

8. Buran Energia
9. Modular Approach
10. Small Unit Space Transportation and Insertion (SUSTAIN)
11. United States Marine Corps (USMC)

و برنامه مرتبط با ساستین و یا اثبات فناوری آن به نوعی پاسخ به نیازهای برنامه ساستین محسوب می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته است. هر یک از این پروژه‌ها و برنامه‌ها فناوری خاصی را دنبال کرده و به یک مرکز خاص مرتبط می‌شود که در زیر به آنها پرداخته خواهد شد [۸]:

توسعه روش‌های هواپرتاب (استفاده از هواپیما و پلتفرم-های ارتفاع بالا) که توسط نیروی امنیتی در نیروی هوایی در حال پیگیری است (مطابق شکل ۲) به منظور دستیابی به قابلیت‌های ذیل در حال پیگیری است:

✓ برنامه هدف نهایی دارپا^{۱۲}، دستیابی به ۳۰ پرتاب در روز

۹

✓ دستیابی به هزینه ۱۰,۰۰۰ دلار به ازای هر پوند یعنی

پرتاب ماهواره کوچک ۱۰۰ پوندی با هزینه کمتر از ۱

میلیون دلار قابل اجرا باشد (در حال حاضر هزینه پرتاب

هر پوند جرم ماهواره کوچک برابر ۳۰,۰۰۰ دلار می‌باشد).

برنامه فرمان فضایی^{۱۳} با هدف توسعه حامل فضایی

یکبار مصرف تا سال ۲۰۲۵ و همچنین توسعه بوسترهای

چندبار مصرف (محافظهای حرارتی) و بوستر بال‌دار در

آزمایشگاه تحقیقات نیروی هوایی در حال انجام می‌باشد (مطابق

شکل ۳) [۷]. در این برنامه بوستر چندبار مصرف و بلوک‌های

انتقال مداری یکبار مصرف بره منظور دستیابی به اهداف ذیل

صورت پذیرفته است:

✓ ۵۰٪ کاهش هزینه،

✓ امکان حضور ۴۸ ساعت چرخش بوستر در فضا و

✓ انعطاف‌پذیری بوسترها.

توسعه پرنده‌های هوشمند برای اهداف مراقبت به صورت

دور برد بدون سرنشین که به برنامه رپیدای^{۱۴} موسوم است

توسط دارپا دنبال می‌شود. این پرنده‌ها می‌توانند با راکت به هر

نقطه جهان حمل شوند. همچنین، می‌توانند تا ۷ ساعت مداومت

پروازی را تأمین نمایند. برنامه گلوو یا دستکش^{۱۵} که یک وسیله

پرنده بدون سرنشین^{۱۶} با بال تاشو به وزن ۲۰۰ پوند می‌باشد که

پس از ورود به جو بال آن باز می‌شود و از مکمل‌های برنامه

رپیدای است که توسط دارپا در حال پیگیری است (مطابق

شماتیک پروازی شکل ۴). این برنامه قابلیت دستیابی به

تحویل تمامی نقاط جهان با استفاده از مدار پایین زمین و

پوشش جدید برای بال‌های تاشو در طول بازگشت به جو و

کاهش شتاب دارا می‌باشد [۹].

نیازهای عملیاتی خاص (که در ادامه به آن پرداخته شده است) منجر به یک خانواده از راه‌حل‌های مستقل فضایی شده است. علت لزوم انجام عملیات به صورت فضایی این است که فضا (عدم وجود اتمسفر) سبب دستیابی به سرعت عمل بالاتر، دسترسی جهانی، پروازهای بدون محدودیت را ممکن می‌سازد [۷].

نیازها و الزامات برنامه ساستین

برای بررسی و تعریف نیازها و الزامات برنامه ساستین در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ بیش از چهار کنفرانس و همایش در ایالات متحده برگزار شده است. در آخرین کنفرانس ساستین، مهمترین نیازهای برنامه ساستین چنانچه پروفایل پروازی در شکل ۱ نشان داده شده است، چنین بیان شده است:

✓ برد حمل و نقل نقطه به نقطه برای انتقال بار حداقل برابر ۱۰۰۰ مایل،

✓ ارتفاع در فضا دست کم ۵۰۰ مایل (برای ارتفاع کمیته ۵۰ مایل)،

✓ کل زمان دو ساعت از فرمان پرتاب تا فرود و

✓ ظرفیت حمل بارمحموله ۶۸۰۰ کیلوگرم برای انتقال

تجهیزات و حداکثر حمل بارمحموله برابر ۱۳۶۰۰ کیلوگرم

برای انتقال سرنشین [۷].

همچنین، در این کنفرانس الزامات برنامه ساستین در حمل و

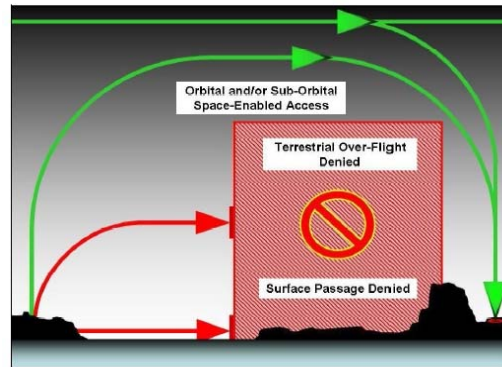
نقل سریع مداری و زیر مداری برای دسترسی جهانی عبارتند از:

✓ ایمنی سفر و قابلیت اطمینان بالا برای انتقال سرنشین به

هر نقطه از کره زمین.

✓ قابلیت مانور و انعطاف در تغییر مسیر برای دستیابی به

نقاط مختلف زمین.



شکل ۱- مسیر قابل پیش‌بینی برای انجام ماموریت ساستین [۶].

فناوری حامل‌های فضایی و برنامه ساستین

برای پاسخ‌دهی به نیازها و الزامات مذکور برای برنامه ساستین، توسعه، اثبات و دستیابی به فناوری‌هایی همچون عمود پرواز و عمود نشست، استفاده از سازه‌های سبک و پیشران‌هایی با ضربه ویژه بسیار لازم و ضروری می‌باشند. برای این منظور ۱۳ پروژه

12. DARPA
13. Space and Missile Command (SMC)
14. Rapid Eye
15. Glove
16. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

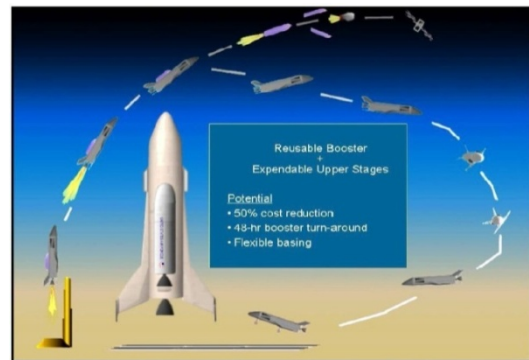
اصلاحات، بهبود و تطبیق سیستم برای عملیاتی ساختن نیازهای نظامی خواهد شد [۱۰].

پروژه دلتا کلیپر- آزمایشی^{۱۹} یک پروژه تکمرحله‌ای به مدار زمین^{۲۰} در مقیاس یک به سه (۱/۳) است که به صورت عمود برخاست و عمود نشست^{۲۱} قابلیت به‌کارگیری مجدد وجود دارد (شکل ۵). توسعه این حامل فضایی با هدف کاهش هزینه‌های پرتاب بوده است. حامی درجه اول این پروژه ناسا می‌باشد که هدف تأمین محفظه تست برای فناوری قابلیت به‌کارگیری مجدد عمود برخاست و عمود نشست برای ناسا بود. تا جولای ۱۹۹۵، حامل دی‌سی-۱ کس هشت پرواز را در دو سری تا ارتفاع ۲۵۰۰ تکمیل نموده است [۱۰].

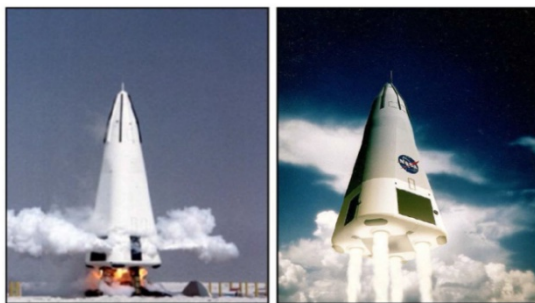
برنامه ایکس‌کور^{۲۲} دارای مشتری‌هایی همانند ناسا، نیروی هوایی، اسپیس‌اکس، ای‌تی‌ک، سیستم‌های پروازی اُرورا^{۲۳}، این‌آرا^{۲۴} و دارپا می‌باشد. چنانچه پروفایل پروازی این هوافضاپیما در شکل ۶ نشان داده شده است، ویژگی‌های این سیستم وزن پایین، قابلیت اطمینان بالا، قابلیت استفاده مجدد و پیشران مناسب زیست محیطی از ویژگی‌های آن است. همچنین، ایکس‌کور تک-مرحله‌ای دارای مزیت‌های عملیاتی زیادی می‌باشد که شامل ۹۵۰۰۰ دلار به ازای هر پرواز، قابلیت پرواز چهار سرویس در روز، قابلیت مداومت پروازی برای چهار ساعت، قابلیت چند مأموریتی بودن به صورت مسافری، علمی، شناسایی و پرتاب محموله می‌شود [۱۱].



شکل ۲- توسعه فناوری هواپرتاب [۸].



شکل ۳- توسعه فناوری حامل‌های یکبار مصرف و بوسترهای چندبار مصرف [۷].



شکل ۵- توسعه پروژه دلتا کلیپر [۱۰].



شکل ۴- برنامه رسیدن [۹].



شکل ۶- توسعه فناوری‌های مورد نیاز برنامه XCOR [۱۱].

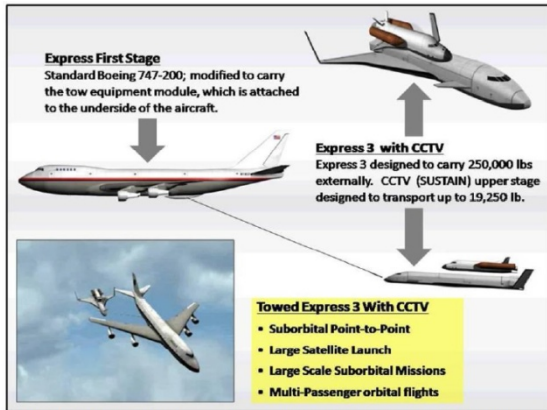
ایجاد اشتراک نظر بین صنعت و دولت در زمینه سیستم‌های پاسخ‌گو به بازار و مأموریت‌های مداری و همچنین مأموریت‌های نقطه به نقطه^{۱۷} توسط دفتر فضایی امنیت ملی^{۱۸} در حال پیگیری است. در این مرجع، دست‌یابی به سطح آمادگی فناوری ۷ به‌وسیله صنعت برای بازار تجاری برای بهره‌برداری‌های نظامی را نمی‌توان یکسان تعبیر نمود و این سطح آمادگی فناوری در دو مفهوم تجاری و نظامی کاملاً متفاوت است [۱۰]. همچنین، در این مرجع تصریح شده است که الزامات و مشخصات نظامی در صورتی که از همان شروع تحقیق و توسعه براساس سیستم‌های تجاری و همچنین برای رسیدن به خط تولید ساخته نشده باشند، سبب افزایش هزینه‌ها در هر دو بخش زمان و منابع انسانی برای

19. DC-XA
20. SSTO
21. Vertical Take-off and Vertical Landing (VTOVL)
22. XCOR
23. Aurora
24. NRO

17. Point to Point (P2P)
18. National Security Space Office (NSSO)

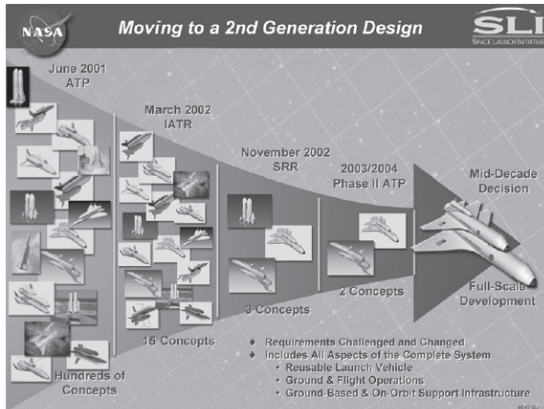


شکل ۷- توسعه فناوری‌های پایه‌ای [۱۱].



شکل ۸- توسعه فناوری طرح Express [۷].

اهداف نهایی که بایستی حامل‌های فضایی نسل بعد از شاتل فضایی به انجام رسانند عبارتند از: پرواز مأموریت‌های پشتیبانی به ایستگاه فضایی بین‌المللی، پرواز مأموریت‌های علمی فضایی و پرواز مأموریت‌های زیرمداری به مقصد ۱۰,۰۰۰ مایل و بیشتر در ۲ تا ۳ ساعت به صورت سرنشین‌دار و یا باری با نگاه به مأموریت‌های ساستین، که توسط شرکت تقاضاهای مهندسی پیشرفته یا ای‌ای ۲۹ مورد بررسی قرار گرفته‌است (شکل ۹) [۱۲].



شکل ۹- توسعه فناوری نسل دوم شاتل فضایی [۹].

مطالعه نقشه راه فناوری حامل فضایی با قابلیت استفاده مجدد به وسیله ناسا و همچنین نیروی هوایی حمایت شده است. این مطالعه بر شناسایی فناوری‌ها و ارزیابی بهره‌های نسبی برای قابلیت‌های آینده دسترسی به فضا با هدف اولیه توسعه سریع

وسیله تقویت و پرتاب یا پروژه ام‌تی‌ای^{۲۵} سیستم پرتاب مادر با قابلیت برخاست افقی برای ارضای الزامات برنامه ساستین در کنار ارضا همه یا بخشی از الزامات هدف بلند مدت، بسته به پکیج الزامات مأموریتی می‌باشد (شماتیک شکل ۷). در این پروژه، فناوری‌های پرتاب جسم و تست سطح آمادگی فناوری برابر ۵۰ از طریق پروازهای مدل مقیاس، شامل فرود و برخاست از آب، به همراه شبیه‌سازی‌های لازم صورت پذیرفته‌است. سازه بدنه در بازه وسیعی از زوایای حمله در سرعت‌های ماخ، زیر ماخ و ماخ بالا پایدار است و نسبت به سازه بدنه‌های مرسوم به سطوح کنترل کمتری نیاز دارد. این سیستم برای فعالیت‌های نظامی، دولتی (غیرنظامی)، صنعتی، علمی و توریست تجاری فوق‌العاده مناسب است. قلب سیستم دارای سازه بدنه با دو رویکرد می‌باشد: رویکرد فضایی و زیرمداری. قابلیت‌های سیستم ۲ ساعت زمان تا هدف و برد ۷۰۰۰ ناتیکال مایل (تقریباً ۱۰,۰۰۰ کیلومتر) با بارمحموله ۱۰,۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد [۱۱].

با توجه به رویکرد حمل و نقل نقطه به نقطه زیرمداری تمرکز بر بخش‌های دفاعی، هوافضایی و انرژی‌های تجدیدپذیر توسط شرکت فضایی - فناوری کلی^{۲۶} پیگیری می‌شود. در این راستا، این شرکت برای نخستین بار در جهان طرح اکسپرس^{۲۷} را که پرتاب یدکش^{۲۸} به فضاست با اهداف زیر از یک پلنفرم مداری را ایجاد می‌نمایند (شکل ۸) [۷]:

- ۱- هزینه پایین و سرعت بسیار بالای پرتاب به فضا،
- ۲- طرح اکسپرس-۱ قابلیت پرواز زیرمداری توریسم فضایی، میکرو جاذبه و تحقیقات دیگر (بلوک انتقال مداری برای ماهواره‌های کوچک)،
- ۳- طرح اکسپرس-۲ مأموریت‌های نقطه به نقطه زیرمداری با خدمه، مسافران و تجهیزات، سرویس مسافری سرعت بالا، پرتاب‌های ماهواره و مأموریت‌های مداری سرنشین‌دار دو نفره با یک بلوک انتقال مداری،
- ۴- طرح اکسپرس-۳ مأموریت‌های نقطه به نقطه زیرمداری با افزایش بارمحموله، تجهیزات و تعداد خدمه و مسافران، پرتاب ماهواره های بزرگ، بلوک انتقال مداری پروازهای مداری سرنشین‌دار چند نفره با وسایل حمل و نقل خدمه و حتی مأموریت‌های ماه‌نشین.

مجموعه هوشمند با نفی سریع سلاح کشتار جمعی در محل هدف در شرایط بحرانی (از لحاظ زمانی) حاضر می‌شود که این برنامه توسط فانتوم بوئینگ دنبال خواهد شد. مقایسه این مدل آزمایشی در سال ۲۰۱۰ بدون ساستین و همان شرایط در سال ۲۰۲۵ با ساستین در حالی که شرایط دیگر نظامی یکسان در نظر گرفته شود، مدل آزمایشی بدین صورت است که به کشور دوست توسط کشور دشمن حمله شده باشد [۱۲].

25. Major Technology Area (MTA)
26. Kelly Space & Technology, Inc.
27. Express
28. Tow Launch

29. Advanced Engineering Applications (AEA)

- پرتاب و تزریق محموله به مدار با استفاده از فناوری هواپرتاب،
- توسعه فناوری حامل‌های فضایی یکبار مصرف با بوسترهای چندبار مصرف،
- دستیابی به فضای با استفاده از فناوری حامل‌های تک‌مرحله‌ای (پروژه دلتا کلیپر - آزمایشی) و
- توسعه فناوری‌های پایه شامل فرود و برخاست از آب، به همراه شبیه‌سازی‌ها و پایداری سازه بدنه در بازه وسیعی از زوایای حمله در سرعت‌های ماخ، زیر ماخ و فرا ماخ.

مراجع

[1] NASA's Exploration System Architecture Study, Nov. 2005.

[2] Sage, A. P., *Methodology for Large-Scale Systems*, 1st Ed., McGraw-Hill, 1977.

[3] Heppenheimer, T. A., *History of the Space Shuttle*, Vol. 1 & 2, Smithsonian Institution Press, 2002.

[4] Williamson, R., "Developing the space shuttle", NASA SP-4407, May 2001.

[5] Kobolov, V.N., Milovanov, A.G., *Space Vehicle Transportation Systems*, Moscow, 3rd Ed., Restart Publication, 2009 (In Russia).

[6] Dampousse, P. E., *Space Transportation Technology Roadmap*, A Collaboration by Government and Industry To Address U.S. Government and Commercial Space Transportation Needs, 21 October 2010.

[7] Adams, Joseph D., Hampsten, Kenneth R., Hickman, Robert A., "ARES: Affordable REsponsive Spacelift The U. S. Air Force's Next Generation Launch System," 30 August -1 September 2005, Long Beach, California, AIAA 2005-6682, Space 2005.

[8] *U.S. Commercial Space Transportation Developments and Concepts*, 2007.

[9] Jurist, John M. Hook, David C., Livingston, David, "Small Unit Space Transport And Insertion (SUSTAIN): How to Do It and Use It as a Driver for Low-Cost Responsive Orbital Launch", *The Responsive Space Conference*, Los Angeles, CA, April 27-30, 2009.

[10] Dumbacher, Dan, "NASA'S Second Generation Reusable Launch Vehicle Program Introduction, Status, and Future Plans", *38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit* 7-10 July 2002, Indianapolis, Indiana.

[11] Hueter, Uwe, "Access-To-Space: States Launch Potential Future United Vehicle Transportation Systems", *Acta Astronautica*, Vol. 35, No. 9, pp. 753-761, 1995.

[12] *Florida Spaceport System Plan*, Proven, Responsive, Ready and Safe - April 2013.

[13] *Launch Services Program (Vision, Mission, and Goals)*, 2013 Path to the Future, LSP-PLN-210.01.

(شتاب داده شده) حامل‌های فضایی چندبار مصرف که بسیار بر کاهش هزینه، بهبود قابلیت اطمینان، دسترسی، زمان بازگشت پرتاب و مقاوم بودن ماه‌موریت نسبت به طرح‌های کنونی می‌باشد [۱۲]. برنامه توسعه راکت‌های کاوش چندبار مصرف به صورت میخیل-بی^{۳۰} می‌باشد که توسط آزمایشگاه تحقیقات نیروی دریایی و شرکت تی‌وی‌جی^{۳۱} پیگیری می‌شود. این طرح عمود برخاست و عمود نشست می‌باشد (شکل ۱۰) [۹]. کشتی لیبرتی^{۳۲} به صورت راکت سنگین با استفاده از سوخت هسته‌ای (از فناوری سوخت فوق بحرانی هیدروژن بدست آمده) توسط ناسا در حال انجام و پیگیری است (شکل ۱۱) [۹].



شکل ۱۰- توسعه فناوری MICHELLE-B [۹].



شکل ۱۱- توسعه فناوری‌های مورد نیاز کشتی لیبرتی [۹].

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله چنانچه بیان شد، الزامات و نیازمندی‌های برنامه ساستین برای توسعه حامل‌های فضایی تا سال ۲۰۲۵ میلادی ارائه شد. همچنین، کلیه برنامه‌های حامل‌های فضایی در حال توسعه که به نحوی در راستای بهبود نیازهای برنامه ساستین می‌باشد به اختصار مرور شد. در نهایت چنانچه بررسی شد، نسل آینده حامل‌های فضایی ایالات متحده به سمت حامل‌هایی با فناوری‌ها و اهداف زیر می‌باشد:

- توسعه فناوری عمود برخاست و عمود نشست (نظیر حامل میخیل-بی و کشتی لیبرتی)،
- نسل آینده شاتل‌های فضایی برای حمل و نقل سرشنین و تجهیزات به ایستگاه فضایی،
- حامل‌های فضایی با قابلیت استفاده مجدد برای کاهش هزینه‌های پرتاب،

30. MICHELLE-B
31. TGV
32. Liberty Ship