چگونگی تأثیر شرکت‌های نوپای فضایی بر روی زنجیره تأمین آمریکا

نوشته فیلیپ اسمیت، تراویس دوم، آنتون دولگوپولوف و کاریسا برایس کریستنسن (شرکت فضا و فناوری برایس)

شصت‌وهشتمین کنفرانس بین‌المللی فضایی (IAC)، آدلاید، استرالیا

ترجمه: محمدامین امانی فرانی (مرکز ملی فضایی ایران)

چکیده

در سال ۲۰۱۶، ناسا[۱] بودجه‌ای را برای مطالعه نحوه تأثیر شرکت‌های فضایی نوپا یا استارت‌آپ (Start-up) بر روی زنجیره تأمین صنعت فضایی به شرکت «فضا و فناوری برایس[۲]» اختصاص داد. به طور خاص به این فرضیه پرداخته شد که شرکت‌های نوپای جدید به تولید سریع‌تر قطعات ارزان‌تر و بهتر برای سیستم‌های فضایی کمک می‌کنند. به علاوه، وجود و نحوه تغییر جغرافیای صنعت فضایی توسط این شرکت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله، نتایج بررسی فوق تشریح خواهد شد.

مقدمه

شرکت‌های نوپا شروع به تغییر چرخه تأمین صنعت فضایی در آمریکا کرده‌اند. هرچند تأثیر آنها تاکنون محدود بوده است.

زنجیره تأمین ایالات متحده آمریکا بلافاصله پس از جنگ جهانی دوم به وجود آمد. در آن زمان، ارتش این کشور به دنبال ساخت موشک‌های بالستیک بر مبنای همان زنجیره تأمین هوایی شکل گرفته در زمان جنگ جهانی اول بود. کم‌کم این زنجیره تأمین با معرفی ماهواره‌ها و فضاپیماها گسترده‌تر شد تا نهایتا زیربنای یک صنعت چند میلیارد دلاری را در دهه‌های بعد تشکیل داد.

در اواسط دهه ۲۰۰۰، نسل جدیدی از شرکت‌های فضایی شروع به رشد کردند. شرکت‌های نوپای فضایی با سرمایه‌گذاری شخصی[۳] یا سرمایه‌گذاری خطرپذیر[۴] ایجاد شدند. بیشتر این شرکت‌ها با دیدگاه جدیدی وارد بازار فضایی شدند و از تجربیات این صنعت درس گرفتند. کارآفرینان، که بعضی از آن‌ها موفقیت‌های بسیاری را به نام خود ثبت کرده بودند، برنامه‌های کسب و کار خود را توسعه داده و به دنبال جذب سرمایه خطرپذیر از شرکت‌های سرمایه‌گذاری و سرمایه‌گذاران شخصی رفتند.

این شرکت‌های نوپا از شرکت‌های سازنده و اپراتور منظومه‌های بزرگ ماهواره‌های بسیار کوچک گرفته تا تأمین‌کنندگان پرتابگرها که بازارهای تجاری، نظامی و غیرنظامی را با راکت‌های چندبار مصرف هدف گرفته‌اند و تأمین‌کنندگان جدید برای تأمین زیرسیستم‌های حیاتی، قطعات عملیاتی و اجزاء را در بر می‌گیرند. این تحقیق به شناسایی ۷ روند کنونی در زنجیره تأمین فضایی می‌پردازد که (حداقل تا حدی) ناشی از پیدایش شرکت‌های نوپا هستند.

---

1 National Aeronautics and Space Administration (NASA)
2 Bryce Space and Technology
3 Angel Investment
4 Venture Capital

۱٫۱ محدوده و روش‌ها

این تحقیق بر روی هر ۵ لایه تولیدی (که در ادامه توضیح داده شده) در صنعت فضایی آمریکا متمرکز شده است.

این مطالعه علاوه بر بررسی تغییرات در قیمت، کیفیت، دسترسی و جغرافیای صنعت، قصد دارد زوایای مشترک و منحصربفرد شرکت‌های نوپا و صنایع قدیمی و پیمانکاران دولتی را تعریف نماید. این مطالعه شامل تحقیق، بررسی متون و نظرسنجی از شرکت‌های سازنده ماهواره و پرتابگر در همه لایه‌های تولید و همچنین مصاحبه با متخصصین پیشروی صنایع و کارشناسان مرتبط می‌باشد. این اطلاعات در یک پایگاه داده ساختارمند جمع‌آوری شده و با گزارشات صنعتی، مقالات کنفرانس و دیگر اطلاعات در دسترس ترکیب شده است.

۱٫۲ شرکت نوپای فضایی چیست؟

شرکت‌های نوپای فضایی شرکت‌هایی هستند که با حمایت سرمایه‌گذاران شخصی و یا سرمایه‌گذاران خطرپذیر تشکیل می‌شوند. با اینکه بعضی از این شرکت‌ها با تولید درآمد به پایداری رسیده‌اند، ولی شرکت‌های بسیار دیگر هنوز به این مرحله از بلوغ نرسیده‌اند.

شرکت‌های نوپای فضایی از سال ۲۰۰۰ تاکنون بیش از ۱۶٫۶ میلیارد دلار سرمایه جذب کرده‌اند که ۵٫۱ میلیارد دلار از این مبلغ وام می‌باشد. از سال ۲۰۰۰، بیش از ۱۴۰ شرکت فضایی تأسیس شده و مورد حمایت سرمایه‌گذاران شخصی و یا سرمایه‌گذاران خطرپذیر قرار گرفته‌اند. در سال ۲۰۱۶ نیز شاهد ادامه سرمایه‌گذاری‌های کلان در شرکت‌های فضایی بودیم. سال ۲۰۱۶ از نظر جذب سرمایه و وام، با یک درصد افزایش نسبت به سال ۲۰۱۵، رکورددار بیشترین سرمایه‌گذاری روی شرکت‌های نوپای فضایی شد.

شرکت‌های نوپای فضایی با شرکت‌های قدیمی که نوعا دارای مراکز تجاری، توانمندی‌ها، خط تولید و درآمد باثبات هستند متفاوت هستند. در آمریکا معمولا دولت فدرال مشتری اصلی شرکت‌های باسابقه است و این شرکت‌ها خدمات و محصولات خود را از طریق قراردادهای دقیق دولتی ارائه می‌کنند. این پیمانکاران دولت، سامانه‌هایی را برای رعایت استانداردهای دولتی در زمینه‌های حسابداری، گزارشات، مدیریت مالی و همچنین استانداردهای الزامی کالا و خدمات از نظر کارایی و تضمین کیفیت در اختیار دارند.

شرکت‌های نوپای فضایی أشکال مختلفی دارند. مثلا شرکت‌های سازنده-کاربر که هم ماهواره می‌سازند و هم به ارائه خدمات ماهواره‌ای می‌پردازند، یا تولیدکنندگان پرتابگرهای ماهواره‌ای که از طرح‌های قبلی نشأت نگرفته‌اند، و یا شرکت‌هایی که با سرعت بالا در حال ساخت تاسواره‌ها[5] و ماهواره‌های کوچک دیگر هستند تا با کمترین هزینه، فناوری محموله‌های جدید، قابلیت‌های نو و خدمات مدرن را اثبات نمایند.

۱٫۳ فهم زنجیره تأمین

زنجیره تأمین صنعت فضایی شبکه‌ای از شرکت‌ها و تأمین‌کنندگان هستند که محصولات خود را تولید و برای مشتریان توزیع می‌کنند. فعالیت‌های زنجیره تأمین شامل تبدیل مواد و سخت‌افزار[6]، قطعات[7]، اجزاء[8] و زیرسیستم‌ها[9] به یک سامانه کامل و نهایی مانند ماهواره یا پرتابگر می‌باشد. وزارت بازرگانی ایالات متحده آمریکا[10] راهکاری برای بررسی ظرفیت صنعتی بخش‌های دارای فناوری بالا تعریف کرده است. این راهکار شامل نظرسنجی‌های منتشر شده برای کشف آسیب‌پذیری در رقابت‌پذیری و امنیت ملی ایالات متحده می‌باشد. این آسیب‌پذیری‌ها ممکن است به یک تأمین‌کننده خاص مرتبط بوده و یا به دلیل اتکا بر برنامه‌های عظیم دولتی، عدم وجود نیروی کار کافی یا... ایجاد شده باشند.

---

[5] Cubesat
[6] Hardware and materials
[7] Components and parts
[8] Assemblies
[9] Subsystems
[10] The U.S. Department of Commerce (DoC)

این وزارتخانه در سال ۲۰۱۳ نتایج بررسی عمیق صنعت فضایی ایالات متحده را که با همکاری نیروی هوایی این کشور[۱۱]، ناسا و دفتر شناسایی ملی[۱۲] به دست آمده بود منتشر کرد. مقاله حاضر که از نظر محدوده و هدف با نتایج فوق متفاوت است، دیدگاه جدیدی را برای انعکاس تغییرات قابل توجه در صنعت فضایی با تمرکز بر شرکت‌های جدید فراهم می‌نماید.

ساختار لایه‌ای مورد استفاده در این مقاله که برای اولین بار در سال ۲۰۱۲ توسط برایس توسعه داده شد، به جای تولیدکنندگان، پیچیدگی نسبی محصولات را تعریف می‌نماید. با اینکه معمولا شرکت‌ها به عنوان عضو یک لایه خاص شناخته می‌شوند، ولی در موارد متعدد، شرکت‌ها به طور هم‌زمان در لایه‌های مختلفی از زنجیره تأمین فعالیت می‌نمایند.

لایه اول: سیستم

در بالاترین سطح، یک سیستم لایه ۱، یک محصول کامل مانند ماهواره یا پرتابگر است. سیستم‌ها معمولا توسط پیمانکار اولیه (که گاهی تولیدکننده تجهیزات اصلی[۱۳] نامیده می‌شود) یکپارچه‌سازی شده و ارائه می‌گردند. به عنوان مثال، شرکت‌های United Launch Alliance (ULA) و SpaceX پیمانکاران اولیه تولیدکننده پرتابگر، و شرکت Space Systems Loral پیمانکار اولیه تولیدکننده ماهواره می‌باشد.

لایه دوم: زیرسیستم‌ها[۱۴]

زیرسیستم‌ها، عناصر اصلی سیستم هستند. زیرسیستم‌های ماهواره شامل کنترل و تعیین وضعیت، فرمان و پردازش داده‌ها، توان، پیشرانش، سازه، حرارتی، تله‌متری، ردیابی و هدایت و ناوبری می‌باشند. زیرسیستم‌های مورد استفاده در پرتابگر نیز شامل پیشرانش، سازه، هدایت، ناوبری و کنترل، توان، آداپتور محموله و پوشش خارجی محموله هستند. به عنوان یک نمونه صنعتی، شرکت Aerojet Rocketdyne، زیرسیستم پیشرانش RS-68A را برای پرتابگر Delta IV (ساخت ULA) می‌سازد.

لایه سوم: اجزاء[۱۵]

هر جزء، یک دستگاه کامل است که از قطعات مختلف ساخته شده و خود، بخشی از یک مجموعه بزرگتر (زیرسیستم) می‌باشد. به عنوان مثال باتری و صفحات خورشیدی، اجزاء زیرسیستم توان هستند.

لایه چهارم: قطعات[۱۶]

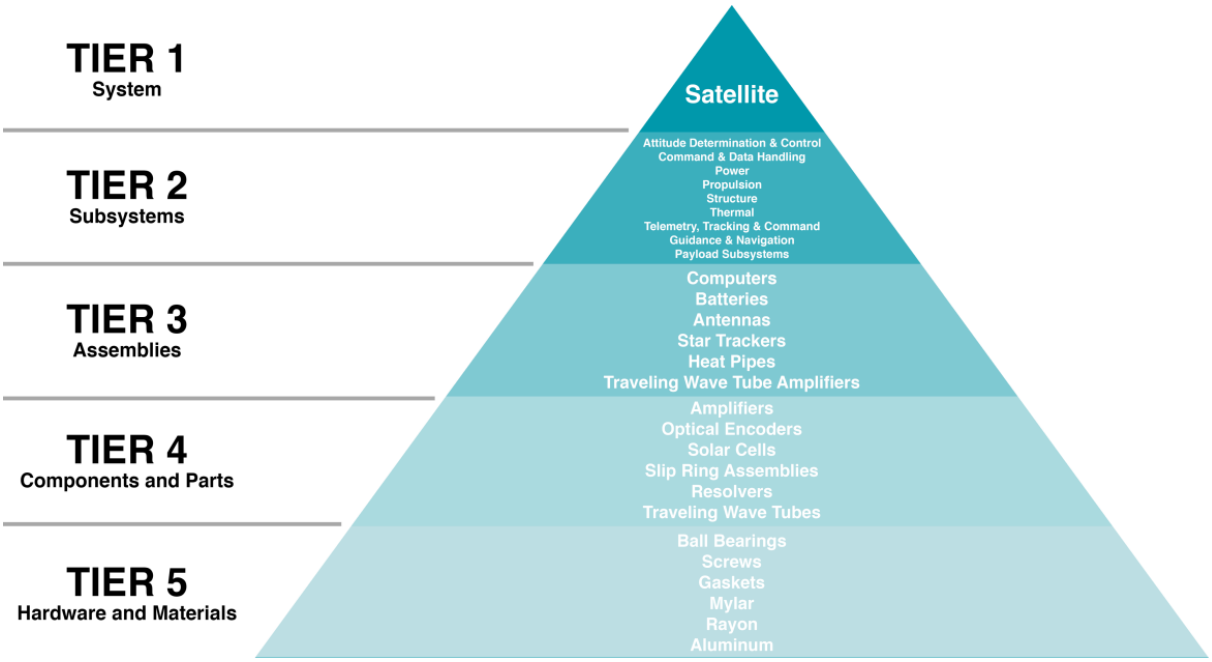
قطعات، مولفه‌های تشکیل دهنده اجزاء هستند. صدها یا هزاران قطعه در ساخت ماهواره‌ها و پرتابگرها استفاده می‌شوند. به عنوان مثال شرکت Moog قطعات مختلفی را برای صنعت هوافضا تولید می‌نماید. مانند اکچویتورهای (محرک‌ها) مورد استفاده در جزء پیشرانش.

لایه پنجم: مواد اولیه و سخت‌افزار[۱۷]

مواد اولیه و سخت‌افزار خوراک تولید قطعات را تشکیل می‌دهند. ده‌ها هزار مثال برای مواد اولیه و سخت‌افزار مورد استفاده در ساخت قطعات فضایی وجود دارد. شرکت Timken سازنده بولبرینگ مورد استفاده در چرخ‌های مریخ‌نورد کنجکاوی[18] ناسا یک نمونه از شرکت‌های لایه پنجم است.

---

[11] U.S. Air Force (USAF)
[12] National Reconnaissance Office (NRO)
[13] Original Equipment Manufacturer (OEM)
[14] Subsystems
[15] Assemblies
[16] Components and parts
[17] Hardware and materials
[18] Curiosity Rover



شکل ۱ – لایه‌های زنجیره تأمین برای ماهواره‌ها

در این شکل، لایه دوم شامل فهرست همه زیرسیستم‌ها ولی لایه‌های دیگر شامل محصولات نمونه می‌باشند.

۲. مشخصات زنجیره تأمین نوپای فضایی

شرکت‌های نوپای فضایی ضمن تأثیرگذاری روی زنجیره تأمین آمریکا، خود نیز از زنجیره تأمین فعلی تأثیر می‌پذیرند.

۲٫۱ تاریخچه زنجیره تأمین در ایالات متحده

ریشه زنجیره تأمین فضایی در ایالات متحده به شکل‌گیری صنعت هوایی در حین جنگ جهانی اول باز می‌گردد. پیمانکاران اصلی مانند بوئینگ، لاکهید، داگلاس و دیگران ابتدا برای ساخت هواپیما برای ارتش و کاربردهای غیرنظامی تأسیس شدند. این شرکت‌ها دارای ادغام عمودی[۱۹] بودند، یعنی تمام زنجیره تأمین مورد نیاز برای طراحی و ساخت هواپیماهای خود را مدیریت می‌کردند. تا این‌که دو موج بزرگ ادغام و تملک از راه رسیدند. اولین موج، بلافاصله بعد از جنگ جهانی دوم با کم شدن قراردادهای دولتی، و موج دوم در دهه ۶۰ در زمانی که شرکت‌ها برای امکان رقابت در بازار ناچار به کاهش هزینه‌ها شدند به راه افتاد.

از حدود سال ۱۹۸۰، شرکت‌های بزرگ هوافضایی به طور گسترده شروع به برون‌سپاری تولید محصولات لایه‌های پایین‌تر کردند. موج سوم ادغام و تملک شرکت‌ها، در دهه ۹۰، به دلیل پایان جنگ سرد و افزایش رقابت در سطح جهانی اتفاق افتاد. بزرگترین این ادغام‌ها، شرکت Lockheed Corporation و Martin Marietta در سال ۱۹۹۵، Boeing و McDonnell Douglas در سال ۱۹۹۶ و Raytheon و شرکت هواپیمایی Hughes در سال ۱۹۹۷ بودند.

دهه ۱۹۹۰، دوره سرمایه‌گذاری‌های چشمگیر در صنعت فضایی بود. چندین شرکت با هدف ارائه خدمات مخابرات فضایی با استفاده از منظومه‌های بزرگ ماهواره‌ای تأسیس شدند. صدها ماهواره‌ای که قرار بود با شروع قرن جدید فعال شوند، باعث ایجاد رقابت در صنعت پرتاب و پیدایش شرکت‌های علاقمند به ساخت پرتابگرهای چندبارمصرف شدند. نیروی هوایی ایالات متحده با پیش‌بینی کاهش قیمت پرتاب، به دلیل افزایش تقاضا از سوی بخش

[19] Vertically Integrated

خصوصی، برای استفاده از این موقعیت با شرکت‌های Boeing و Lockheed Martin جهت توسعه پرتابگر ویژه‌ای به نام Evolved Expendable Launch Vehicle (EELV) مشارکت نمود.

تصویب قانون سنجش از دور زمین در سال ۱۹۹۲، طلیعه عصر جدیدی در سنجش از دور ماهواره‌ای بود و شرکت‌هایی برای پاسخگویی به تقاضای پیش‌بینی شده برای محصولات سنجشی به وجود آمدند. متاسفانه بیشتر این شرکت‌ها یا ورشکست شدند و یا با تلفیق با شرکت‌های دیگر به بقا ادامه دادند. هنگامی که ULA (شرکت مشترک بین Boeing و Lockheed Martin) پرتابگرهای ATLAS V و DELTA IV را تحت برنامه EELV تولید می‌کرد صنعت پرتاب با تغییرات عمده‌ای از جمله پیدایش تأمین‌کنندگان قدرتمند روسی روبرو شد. شرکت ArianeSpace که در اوایل دهه ۸۰ تأسیس شده بود، همچنان به عنوان یک بازیگر کلیدی به ایفای نقش می‌پرداخت. در این دوره تمام تلاش‌ها برای ساخت پرتابگر چند بار مصرف با شکست مواجه شدند.

صنعت فضایی که بلافاصله پس از جنگ جهانی دوم، همزمان با تلاش ارتش برای توسعه موشک‌های بالستیک ایجاد شده بود، بر اساس زنجیره تأمین موجود هوایی بنا نهاده شد. این زنجیره تأمین با معرفی ماهواره‌ها و فضاپیماها گسترش یافت. در اواخر دهه ۵۰ عبارت هوافضا برای تعریف این صنعت پدید آمد و این صنعت نوپا با پیدایش ناسا در سال ۱۹۵۸ جاودانه شد.

۲٫۲ پیدایش شرکت‌های نوپا

در اواسط دهه ۲۰۰۰، نسل جدیدی از شرکت‌های فضایی شروع به رشد کردند. بیشتر این شرکت‌ها با دیدگاه جدیدی وارد بازار فضایی شدند و از تجربیات این صنعت درس آموختند. کارآفرینان، که بعضی از آن‌ها موفقیت‌های بسیاری را به نام خود ثبت کرده بودند، برنامه‌های کسب و کار خود را توسعه داده و به تلاش برای جذب سرمایه خطرپذیر از شرکت‌های سرمایه‌گذاری و سرمایه‌گذاران شخصی اقدام کردند. بحث پرتابگرهای چند بار مصرف (موضوعی که برای اولین بار توسط رابرت گودارد پیگیری شده بود) دوباره با جدیت توسط برخی شرکت‌های نوپا دنبال شد تا هزینه تمام شده هر پرتاب را به نصف کاهش دهند. صنعت هوافضا ورود سرمایه و افراد مستعد در تجارت را از صنایع موفقی مانند کامپیوتر، نرم‌افزار و تحلیل داده تجربه نمود. این امر ناشی از کارآفرینانی بود که برنامه‌های دقیقی را برای منظومه‌های ماهواره‌های کوچک جهت دریافت داده‌های سنجش از دور و فروش محصولات داده‌ای به جای تصاویر خام ارائه می‌کردند. شرکت‌های مخابراتی با برنامه‌ی ایجاد منظومه‌های مداری، (که بعضی از این منظومه‌ها از چندهزار ماهواره تشکیل شده‌اند) در این دوره تأسیس شدند. نهایتا با پیش‌بینی حضور هزاران ماهواره در مدار در دهه‌های آینده، شرکت‌های نوپایی برای ساخت پرتابگرهای کوچک ایجاد شدند. هدف این شرکت‌ها تمرکز بر روی کاربران ماهواره‌های کوچک به عنوان مشتری اصلی خود می‌باشد. بعضی از شرکت‌های نوپا حتی به غبارروبی ایده‌های شکل گرفته در چند دهه گذشته، مانند معدنکاری در فضا و سفر تجاری انسان به فضا پرداختند. این شرکت‌ها کم کم برخی جنبه‌های زنجیره تأمین را تغییر دادند.

شرکت‌های نوپای فضایی در دوره‌ای تأسیس می‌شوند که فناوری اطلاعات در حال گسترش سریع در سطح جهانی است. طی دو دهه گذشته، کاربران بسیاری به اینترنت دسترسی پیدا کردند و اینترنت با پیشرفت‌های بسیار باعث ایجاد شبکه‌های جهانی و صنایع جدیدی گردید. انقلاب اینترنت و گوشی‌های ارزان‌قیمت قابل حمل در نتیجه افزایش تقاضا برای خدمات داده‌ای شکل گرفت که توسط شبکه‌های ارتباطی و اطلاعات سنجش از دور پشتیبانی می‌شدند. توانمندی‌های حاصل از این انقلاب شامل خدمات مبتنی بر موقعیت[۲۰] که بر سیگنال‌های سامانه‌های ناوبری ماهواره‌ای[۲۱] تکیه کرده‌اند، و جریان داده‌ها می‌باشد که نیازمند ارتباطات باند پهن بدون وقفه، قوی و قابل اطمینان هستند. با ایجاد علاقه در دولت‌ها و شرکت‌ها برای اطلاع از موقعیت دقیق و شرایط کارایی ماشین‌آلات گران‌قیمت خود، ارتباطات بین ماشین‌ها یکی از زمینه‌های ورود خدمات مبتنی بر موقعیت خواهد بود.

---

[20] Location Based Services (LBS)
[21] Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

بعضی شرکت‌های نوپا که از مراکز فناوری اطلاعات و تحلیل داده (مانند منطقه سیاتل و سان‌فرانسیسکو) برخاسته‌اند، با استفاده از داده‌های جهانی کسب شده، شروع به ارائه خدمات داده‌ای همزمان[22] نمودند. تنها راه انجام این کار به شکل مقرون به صرفه، به‌کارگیری منظومه‌های بزرگ از ماهواره‌های کوچک و ارزان‌قیمت ولی تواناست. به طور خاص، تاسواره‌ها[23] به عنوان مبنایی برای اثبات فناوری و نهایتا کاربرد، مناسب شرکت‌هایی مانند Planet و Spire Global هستند.

شرکت‌های نوپا با تعیین توانمندی‌های مختلف، روی بخش‌هایی از زنجیره تأمین بالغ و قدیمی هوافضا تأثیر گذاشتند. این شرکت‌ها همچنین به دنبال تولیدکنندگان غیرهوافضایی هستند تا به قیمت پایین‌تر، پاسخگویی بهتر و یا قطعات دارای تولید عمده دست پیدا کنند. شرکت‌های نوپای فضایی همچنین با ایفای نقش تولیدکننده، زنجیره تأمین را گسترش می‌دهند. در بعضی موارد این تحرکات تأثیر مخربی را بر روی صنعت فضایی به نمایش گذاشته است. ما به طور خاص، ۷ روند کلی و کلیدی را در زنجیره تأمین پیدا کردیم که در طی ۱۰ سال اخیر به وسیله شرکت‌های نوپای فضایی ایجاد شده‌اند: استفاده از ادغام عمودی، پیدایش شرکت‌های سازنده-کاربر ماهواره، انتشار محلی نوآوری، استفاده از محصولات تجاری موجود در بازار، انبارداری، استفاده مجدد و (شاید مهم‌تر از همه) چاپ سه بعدی.

۲,۲,۱ روند: ادغام عمودی

معروف‌ترین شرکت‌های نوپای فضایی دارای ادغام عمودی هستند. شرکتی که دارای ادغام عمودی باشد، بخش قابل توجهی از زنجیره تأمین مورد نیاز برای تولید محصولات خود را به صورت داخلی در اختیار دارد. به بیان دیگر، فعالیت‌های شرکتی با ویژگی ادغام عمودی، در طول لایه‌های مختلف صنعتی گسترده شده و یا فناوری‌های مختلف یک لایه را در اختیار دارد. با این که این موضوع در صنعت هوایی تازگی ندارد ولی در صنعت فضایی یک ویژگی جدید است. در بسیاری از موارد، شرکت‌های نوپا حداقل به دو دلیل به دنبال ادغام عمودی بوده‌اند. یکی از این دلایل، کاهش هزینه‌هاست. به عنوان مثال شرکت اسپیس ایکس دارای ویژگی ادغام عمودی است تا ضمن تضمین کنترل زنجیره تأمین خود، هزینه‌ها را پایین نگاه داشته و مدیریت موثری بر توسعه پرتابگرها و فضاپیماهای خود داشته باشد. دلیل دوم، گریز از قراردادها و روش‌های خرید سنتی است. به عنوان مثال، پیشنهادهای ارائه شده توسط پیمانکاران اولیه قدیمی، مورد رضایت چندین شرکت نوپای کاربر ماهواره قرار نگرفت. چرا که به گفته این شرکت‌ها، پیچیدگی‌های ناخوشایند و غیرضروری باعث ایجاد هزینه‌های مضاعف می‌شد. در نتیجه خیلی از آن‌ها تصمیم گرفتند کار تولید را خود بر عهده بگیرند و برای پایین نگاه داشتن هزینه‌ها، به استفاده از تاسواره‌ها گرایش پیدا کردند. تاسواره‌ها، یک پلتفرم مکعبی ۱۰ سانتی‌متری هستند که برای تحقیقات و آموزش در سطح دانشگاهی توسعه داده شده‌اند.

البته ادغام عمودی را نمی‌توان تفاوت روشن میان شرکت‌های نوپا و شرکت‌های قدیمی نامید. شرکت‌های قدیمی که همچنان به دنبال ادغام و تملک (شرکت‌های دیگر) جهت رشد بیشتر هستند، توانمندی‌های استراتژیک و ارزشمندی را از شرکت‌هایی که زمانی تولیدکننده سامانه‌های لایه ۱ آن‌ها بودند کسب می‌نمایند. یک مثال معروف در این زمینه، ادغام شرکت‌های Orbital Sciences Corporation و Alliant Techsystems در سال ۲۰۱۵ با نام Orbital ATK است که از ادغام عمودی بهره می‌برد. به عنوان نمونه بخش قطعات فضایی این شرکت دارای ۷۰۰ کارمند بوده و یکی از تأمین‌کنندگان اصلی سیستم‌های حرارتی، سازه، موتورهای جامد و مخازن پیشران در صنایع فضایی می‌باشد. در مجموع، این ادغام شرکت Orbital ATK را قادر به تولید بخش بیشتری از قطعات مورد استفاده در سیستم نهایی خود کرد.

۲,۲,۲ روند: شرکت‌های سازنده-کاربر

شرکت‌های نوپای تحلیلگر داده قصد دارند با دریافت داده‌های سنجش از دور زمین، خدماتی را به صورت کارآمد برای طیف گسترده‌ای از مشتریانی که به دنبال طراحی و ساخت ماهواره‌های خود هستند ارائه نمایند. همان‌گونه که در بخش قبلی اشاره شد، این رویکرد به دلیل محدودیت‌های زنجیره تأمین موجود و تمایل به کاهش هزینه‌ها انتخاب شد. این رویکرد همچنین تلاشی است جهت جذب سرمایه پس از اثبات فناوری توسط ماهواره‌های آزمایشی. تاسواره‌های 3U ثابت کرده‌اند که برای رسیدن به این هدف ایده‌ال هستند. هر ماهواره 3U را می‌توان با هزینه ۳۰۰هزار دلار توسط کیت‌های

---

[22] Real-time
[23] Cubesats

آماده ساخت. تاسواره‌های اثبات فناوری می‌توانند به تایید اعتبار رویکردهای فنی طرح تجاری و در نتیجه جذب سرمایه کمک نمایند. پس از آنکه سرمایه کافی جذب شد، این بودجه برای ساخت منظومه‌ای از ماهواره‌های کاربردی استفاده می‌شود و ماهواره‌ها به صورت گروهی به مدارپرتاب می‌گردند. با دریافت داده از ماهواره، کسب درآمد اتفاق می افتد که بخشی از آن صرف جایگزینی ماهواره‌ها می‌گردد. شرکت Planet که یک سازنده-کاربر ماهواره است و به ارائه خدمات تحلیل داده به مشتریان خصوصی و دولتی می‌پردازد، در سال ۲۰۱۳، چهار ماهواره اثبات فناوری به فضا فرستاد. این مأموریت‌های موفق، کمک زیادی به جذب سرمایه جهت ساخت و استفاده از بیش از ۲۰۰ ماهواره عملیاتی (به نام Dove) نمود. این ماهواره‌ها از سال ۲۰۱۴ توسط پرتابگرهای مختلفی به فضا فرستاده شدند.

به طور تاریخی، همیشه ساخت پرتابگر توسط پیمانکاران اولیه آمریکایی و پرتاب آن‌ها توسط دولت انجام می‌گرفته است. از دهه ۱۹۹۰، شرکت‌های مختلف به ساخت و پرتاب ماهواره‌برها پرداختند. به عنوان مثال، ULA پرتابگرهای Atlas V و Delta IV را ساخته و پرتاب می‌نماید و شرکت SpaceX که در سال ۲۰۰۲ تأسیس شد، موشک Falcon 9 را ساخته و پرتاب می‌کند. این روند ادامه پیدا کرده و همه شرکت‌های نوپایی که به دنبال ساخت پرتابگر هستند، تلاش دارند پرتاب محصولات خود را نیز انجام دهند. مثال‌های دیگر در این زمینه شامل Rocket Lab و Virgin Orbit می‌باشد.

۲,۲,۳ روند: نوآوری در تیم‌های کوچک

در طی ۱۰ سال گذشته، توزیع نوآوری در زمینه توسعه ماهواره و پرتابگر، به طور گسترده‌تری انجام گرفته است. کلید این اتفاق، در دسترس بودن نرم‌افزارهای طراحی مهندسی ارزان قیمت در کنار وجود کیت‌های ماهواره و شرکت‌های کوچکیست که توانایی ساخت سریع ماهواره‌های مطمئن را دارا می‌باشند. شاید مشخص‌ترین مثال این روند، طراحی و ساخت تاسواره‌ها باشد.

به دلیل دسترسی آسان به کیت‌های ارزان قیمت تاسواره‌ها و سخت‌افزارهای مربوطه از طریق اینترنت، نوآوری ماهواره‌ای برای تیم‌های کوچک و اشخاص حقیقی امکان‌پذیر شده است. امروزه نوآوری از مراکز سنتی توسعه ماهواره‌ها (مانند منطقه لوس‌آنجلس و دِنوِر) فراتر رفته. به علاوه، بیش از ۲۲۵ دانشگاه و مؤسسه در حال توسعه تاسواره‌ها هستند و در نتیجه فرصت‌ها برای نوآوری فناورانه افزایش یافته است. گستره وسیع دانشگاه‌های دارای برنامه تاسواره هم دلیل دیگری برای شیوع نوآوری می‌باشد. علاوه بر دانشگاه‌ها، دولت‌ها نیز نسبت به توسعه تاسواره‌ها ابراز تمایل کرده‌اند و کشورهایی که مشتاق به ورود به باشگاه فضایی هستند، برای شروع کار از تاسواره‌ها استفاده می‌نمایند. گستردگی توزیع توسعه‌دهندگان، سازندگان و کاربران تاسواره‌ها، توزیع جغرافیایی و تنوع رویکردهای مأموریت را افزایش داده و این شرایط به سود کل صنعت فضایی است.

تاسواره‌ها در سال ۱۹۹۹ توسط Jordi Puig-Suari از دانشگاه فنی ایالت کالیفرنیا و Bob Twiggs از دانشگاه استنفورد اختراع شدند. شکل، اندازه و قیمت پایین پلتفرم تاسواره برای آموزش طراحی فضاپیما به دانشجویان این رشته در طی ۴ سال مورد توجه قرار گرفت. با این‌که طراحی و ساخت ماهواره‌ها انجام می‌گرفت، ولی برنامه‌ریزی و هزینه‌های پرتاب به عنوان چالشی باقی مانده و معمولا شبیه‌سازی می‌شد. علیرغم این مشکلات، تاسواره‌های بعضی از دانشگاه‌ها از سال ۲۰۰۳ به بعد به فضا پرتاب شدند. شرکت‌های نوپا مانند Planet (با نام قبلی Cosmogia)، Spire Global (با نام قبلی Nanosatisfi) و دیگران، پلتفرم تاسواره را به عنوان یک گزینه ارزان قیمت برای اثبات توانایی مورد نیاز برای توسعه منظومه‌های ماهواره‌ای انتخاب کردند. شرکت Planet از سال ۲۰۱۴ شروع به پرتاب ماهواره‌های منظومه تاسواره‌ای خود کرد. از آن زمان تعداد ماهواره‌هایی که به فضا پرتاب شده‌اند افزایش قابل توجهی داشته و اکنون برنامه‌ریزی پرتاب صدها ماهواره در سال در طی یک دهه آینده انجام گرفته است. نوآوری در زمینه پرتابگر نیز به صورت منطقه‌ای گسترش یافته. گروه‌های مختلفی در موهاوه، کالیفرنیا، سیاتل و واشنگتن مشغول توسعه پرتابگرهای جدید هستند و امکانات آزمایشگاهی خود را در اطراف تگزاس و فلوریدا ساخته‌اند. در آمریکا تقریبا ۲۵ پرتابگر جدید در حال توسعه است که بیشتر این تعداد توسط شرکت‌های نوپا انجام می‌گیرد. اکثر این پرتابگرها کوچک بوده و توانایی پرتاب ماهواره‌های سبک‌تر از ۵۰۰ کیلوگرم را به مدار LEO دارا

می‌باشند. نوآوری‌ها در پرتابگر شامل ساده‌سازی طراحی، استفاده از تکنیک‌های پرینت سه بعدی برای بخش‌های پیشرانش و سازه، و استفاده از قطعات تجاری موجود در بازار[۲۴] برای اجزای مختلف مانند اویونیک می‌باشد.

۲,۲,۴ روند: استفاده از قطعات تجاری موجود در بازار

قطعات تجاری موجود در بازار گزینه محبوب شرکت‌های نوپای فضایی هستند. جذابیت این قطعات از آن جهت است که ارزان قیمت بوده و قابلیت اطمینان خود را در صنایع دیگر به اثبات رسانیده‌اند (به ویژه قطعات الکترونیکی که در دستگاه‌های موبایل استفاده می‌شوند). در بعضی موارد، تعداد زیاد ماهواره‌های پرتابی امکان پذیرش یک نرخ مشخص خطا را بدون به خطر انداختن کل خدمات فراهم می‌آورد. استفاده از قطعات تجاری موجود در بازار، مکمل استراتژی ادغام عمودی (که پیش از این توضیح داده شد) می‌باشد. برای شرکت‌های نوپای فضایی، قطعات تجاری موجود در بازار بخشی از زنجیره تأمین هستند که نیازی به درونی سازی آن نیست، چرا که لبه فناوری در این حوزه، در بازارهای دیگر در حال پیشروی است. البته شرکت‌های قدیمی و سنتی هم امکان استفاده از قطعات تجاری موجود در بازار را با بهره‌گیری از تجربه گسترده خود در بحث کنترل کیفیت دارا می‌باشند. در این مورد چالش پیش روی شرکت‌های نوپا و شرکت‌های قدیمی مشابه است: تایید کارایی قطعات تجاری موجود در بازار برای یک مأموریت خاص با در نظر گرفتن میزان ریسک‌پذیری مشتری و مأموریت خود.

قطعات تجاری موجود در بازار در ساخت تاسواره‌ها و ماهواره‌های کوچک (زیر ۶۰۰ کیلوگرم) به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند. شرکت Planet در اوایل فعالیت، تأمین قطعات مورد نیاز خود را از طریق تأمین‌کنندگان هوافضایی مورد بررسی قرار داد، ولی در نهایت به دلیل موضوع قیمت و کارایی از این کار منصرف شده، به قطعات تجاری موجود در بازار روی آورد و حتی به ساخت مدارات تجمعی مورد نیاز خود پرداخت. بعضی شرکت‌ها و دانشگاه‌ها در ساخت تاسواره‌های خود از قطعات تجاری موجود در بازار استفاده کرده‌اند. به عنوان مثال، شرکت Spire Global تاسواره Ardusat خود را با استفاده از بوردهای Arduino توسعه داده و شرکت‌های دیگر از بوردهای Raspberry Pi استفاده کرده‌اند. قابلیت اطمینان بالایی که تراشه‌های الکترونیکی در طی ده سال گذشته در گوشی‌های موبایل از خود به نمایش گذاشته‌اند، آن‌ها را به نامزد مطمئنی برای استفاده در ماهواره‌ها تبدیل نموده است. بعضی شرکت‌ها این تراشه‌ها را در معرض تشعشعات مختلف مورد آزمایش قرار داده و یا آن‌ها را با عملیات خاصی در برابر تابش‌ها مقاوم نموده‌اند.

علاوه بر این، با استفاده موفقیت‌آمیز از تراشه‌های میکروالکترونیک در یک تاسواره پرتاب شده به فضا، این قطعات به دلیل نمایش عملکرد خود در یک محیط واقعی به صورت موثر برای استفاده در فضا گواهی می‌شوند. این یکی دیگر از مزایای استفاده از تاسواره‌ها برای مأموریت‌های اثبات فناوری است. در حالی که استفاده از قطعات میکروالکترونیک تجاری موجود در بازار تنها محدود به تاسواره‌ها نیست، ولی این مأموریت‌ها قابلیت خطرپذیری بالاتری برای استفاده از این قطعات دارند. به عنوان مثال در مدارهای ارتفاع پایین زمین در معرض تابش‌های کمتری هستند، عمر طراحی شده کوتاه‌تری دارند و یا هزینه خرابی فضاپیما پایین‌تر است.

ناسا نیز در حال تلاش برای استفاده بیشتر از قطعات تجاری موجود در بازار، به ویژه قطعات میکروالکترونیک است. به عنوان نمونه برنامه قطعات الکترونیک و بسته‌بندی ناسا[۲۵] در حال ارزیابی کارایی و قابلیت اطمینان قطعات الکترونیک خودروها می‌باشد. این برنامه شامل آزمایش خازن‌های تراشه‌ای[۲۶]، نیمه هادی‌های گسسته[۲۷] و میکرو مدارها می‌باشد. قطعات تجاری موجود در بازار فقط شامل سخت‌افزار نمی‌شود، بلکه نرم‌افزارها و ابزارهای مهندسی مورد نیاز برای توسعه سامانه‌های فضایی را نیز در بر می‌گیرد. به گفته شرکت Planet که سازنده و کاربر ماهواره است، ابزارهای تحلیلی انتقال حرارت که برای موتورهای تحت توسعه شرکت فورد بهینه شده‌اند می‌توانند برای حل مسائل طراحی ماهواره‌های سنجش از دور نیز مورد استفاده قرار گیرند.

---

[24] Commercial off-the-shelf (COTS)

[25] NASA’s Electronic Parts and Packaging Program

[26] Chip Capacitors

[27] Discrete Semiconductors

۲,۲,۵ روند: انبارداری

انبارداری یک استراتژی نوظهور مورد استفاده بعضی از شرکت‌های نوپای تولید ماهواره و پرتابگر می‌باشد. همواره صنعت فضایی بیشتر به عنوان یک صنعت آرتیزانی شناخته می‌شود تا یک صنعت دارای تولیدات عمده مثل خودروسازی. معمولا ماهواره‌ها و فضاپیماها بر اساس سفارش ساخته شده و در زمان نسبتا کوتاهی پس از ساخته شدن مورد استفاده قرار می‌گیرند. نگهداری از یک ماهواره آماده، به دلیل عدم بازگشت سرمایه و هزینه‌های بالای نگهداری، منجر به زیان مالی خواهد شد. البته در مورد پرتابگر، در صورتی که موشک‌های بالستیک به پرتابگرهای ماهواره‌ای تغییر کاربری دهند، این موضوع می‌تواند به عنوان استثنایی برای قانون فوق در نظر گرفته شود. چرا که این موشک‌ها در شکل اولیه خود به عنوان مهمات ذخیره شده و نگهداری می‌شدند. ولی نگهداری چندین پرتابگر کاملا غیرعملی است. انبار کردن اجزای زیرسامانه‌های پرتابگرهای بزرگ ساده‌تر است. از طرفی پرتابگرهای بسیار کوچک (مانند پرتابگرهای در حال ساخت شرکت‌های Rocket Lab، Vector Space Systems و Virgin Orbital) را می‌توان به تعداد زیاد نگهداری کرد. اگر تقاضا برای این پرتابگرها به آن مقداری که شرکت‌های ارائه دهنده خدمات پرتاب پیش‌بینی می‌کنند بالا باشد، در آینده انبار کردن تعداد زیادی از این پرتابگرها لازم خواهد بود.

وزارت دفاع ایالات متحده نیز در حال بررسی امکان ذخیره دارایی‌های فضایی است. دفتر پاسخگویی عملیات فضایی[28] در این وزارت‌خانه، وظیفه پیگیری تلاش برای ذخیره‌سازی ماهواره‌ها و پرتابگرهایی را که امکان استفاده سریع در شرایط ویژه امنیتی داشته باشند بر عهده دارد. ۴ مأموریت این دفتر از سال ۲۰۰۸ انجام شده و مأموریت پنجم برای سال ۲۰۱۷ برنامه‌ریزی شده است.

۲,۲,۶ روند: امکان استفاده مجدد

از اولین روزهای صنعت موشکی، استفاده از پرتابگرهای چندبار مصرف مورد توجه بوده است. هدف نهایی، دستیابی به وسیله‌ای بود که مانند یک هواپیمای معمولی عمل کرده و با یک مرحله به مدار برسد[29]. با اینکه چنین سیستمی به نظر غیرمعقول می‌رسد، ولی ناسا، نیروی هوایی آمریکا و شرکت‌های بسیار دیگری در زمینه سیستم‌های پرتابگرِ قابل بازیابی و فناوری‌های مربوطه به تحقیق و توسعه پرداختند. سیستم حمل‌ونقل فضایی ناسا (STS) که به شاتل فضایی معروف است شناخته‌شده‌ترین مورد از این فضاپیماها می‌باشد؛ این مدارگرد که برای انجام ۱۰۰ مأموریت طراحی شده بود، واقعا یک فضاپیمای قابل بازیابی نبود، بلکه بین هر دو مأموریت، فضاپیما بازسازی می‌شد و بررسی‌ها و آماده‌سازی‌های سنگینی روی آن انجام می‌پذیرفت. در این سامانه، هریک از بوسترهای جامد موشک تا ده مرتبه بازسازی می‌شدند.

در سال‌های اخیر شرکت‌های فضایی نوپا مانند Virgin Galactic، Blue Origin، SpaceX و شرکت‌های دیگر در حال کار روی بازیابی پرتابگرها بوده‌اند. تلاش‌های دیگر، مانند تلاش‌هایی که توسط شرکت‌های نوپا مثل Moon Express، Masten Space Systems و Astrobotic Technology دنبال می‌شوند، روی فرود دقیق متمرکز شده‌اند که بخشی حیاتی در مأموریت‌های انتقال زیرمداری نقطه به نقطه و مأموریت‌های بازگشتی می‌باشد. همه این شرکت‌ها تاکنون (در درجات مختلف) موفق به اثبات فناوری پرتابگرهای قابل بازیابی خود شده‌اند.

فضاپیمای SpaceShipTwo محصول شرکت Virgin Galactic تست‌های پروازی خود را به انجام رسانده. هرچند هنوز موفق به دستیابی به خط کارمن (مرز قراردادی فضا در ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری) نشده است. شرکت Virgin Galactic در توسعه این فضاپیما از تجربیات فضاپیمای SpaceShipOne (که توسط Scaled Composites برای برنده شدن جایزه Ansari در سال ۲۰۰۴ ساخته شده بود) استفاده نمود.

شرکت Blue Origin تست‌های پروازی فضاپیمای زیرمداری خود با نام Shepard #2 را با موفقیت به انجام رسانده. این فضاپیما یک سامانه عمودپرتاب است که تاکنون ۵ مرتبه به فضا سفر کرده و بازگشته است.

در ماه مارس سال ۲۰۱۷، شرکت SpaceX با موفقیت ماهواره SES-10 را توسط یک پرتابگر فالکون-۹ که مرحله اول آن در مأموریت قبل بازیابی شده بود به فضا فرستاد. این شرکت امیدوار است که با استفاده از پرتابگرهای قابل بازیابی، ۳۰ تا ۴۰ درصد در هزینه‌های پرتاب صرفه‌جویی نماید.

---

[28] The Operationally Responsive Space (ORS) Office
[29] Single-Stage-To-Orbit (SSTO)

شرکت SpaceX از ابتدا پرتابگر قابل بازیابی فالکون-۹ را با هدف کاهش هزینه‌های تولید و قیمت خدمات پرتاب طراحی نمود. این شرکت ضمن ساده‌سازی طراحی پرتابگر (به ویژه در بخش زیرسامانه‌های پیشرانشی)، اثبات‌کننده فناوری Grasshopper را برای بررسی نحوه بازیابی سالم مرحله اول موشک فالکون-۹ توسعه داد. شرکت SpaceX پس از پروازهای موفق Grasshopper، قابلیت بازیابی مرحله اول را به پروازهای عملیاتی فالکون-۹ اضافه کرد. از سال ۲۰۱۴ (تا زمان نگارش این مقاله) این شرکت ۱۳ مرتبه مراحل اول موشک فالکون-۹ را بازیابی نموده که از این تعداد، ۸ مرتبه روی کشتی در میان اقیانوس و ۵ مرتبه در پایگاه کیپ کاناورال نیروی هوایی[۳۰] بوده است.

با افزایش استفاده عملیاتی، در ده سال آینده شاهد ادامه توسعه پرتابگرهای قابل بازیابی توسط شرکت‌ها و آژانس‌های دولتی خواهیم بود. تنها بعد از گذشت چند سال از این فعالیت‌ها می‌توان به صورت قطعی درباره میزان صرفه‌جویی ناشی از استفاده از این پرتابگرها اظهار نظر کرد.

۲,۲,۷ روند: چاپ سه‌بعدی

به عقیده بسیاری از متخصصین صنعت فضایی، چاپ سه بعدی که گاهی ساخت مضاعف[۳۱] یا مدل‌سازی سریع نیز نامیده می‌شود، قواعد بازی را تغییر داده است. با این که این روش از سال‌های گذشته وجود داشته، ولی استفاده از آن در ساخت دقیق قطعات هوافضایی به تازگی آغاز شده است. به طور تاریخی، چاپ سه‌بعدی همیشه برای ساخت قطعات مدل به کار گرفته می‌شده و استفاده از آن برای ساخت قطعاتی که توانایی تحمل دما و فشارهای متداول در صنعت هوافضا را داشته باشند، اخیرا مورد توجه قرار گرفته است.

تاکنون هم شرکت‌های نوپا و هم شرکت‌های قدیمی از چاپ سه‌بعدی برای توسعه موتور موشک‌ها استفاده کرده‌اند. بر اساس قراردادی که در سال ۲۰۱۵ بین نیروی هوایی ایالات متحده و شرکت نوپای SpaceX منعقد شد، این شرکت به توسعه موتور Raptor ادامه داد. این موتور یک زیرسامانه پیشرانشی است که از اکسیژن مایع (LOX) و گاز طبیعی مایع (LNG) به عنوان سوخت بهره می‌گیرد. قطعات زیادی از این موتور (حدودا معادل ۴۰٪ از وزن آن) توسط چاپ سه‌بعدی ساخته شده‌اند. موتور سوخت مایع Rutherford نیز که توسط شرکت نوپای Rocket Lab برای پرتابگر Electron این شرکت توسعه داده می‌شود، تقریبا به طور کامل توسط چاپ سه‌بعدی ایجاد شده است. این پرتابگر برای اولین بار در ماه می سال ۲۰۱۷ به فضا پرتاب شد.

چاپ سه‌بعدی همچنین روش مناسبی برای ساخت سازه‌های مورد استفاده در ماهواره‌هاست. چندین تاسواره از سازه‌های ساخته شده توسط این روش ایجاد شده‌اند. شرکت Tethers Unlimited روشی را برای ساخت بخش‌های خرپایی در ابعاد تاسواره‌ها در فضا توسعه داده و امیدوار است در آینده نزدیک آن را به نمایش بگذارد. کارخانجات شرکت‌های قدیمی نیز با چاپ سه‌بعدی بیگانه نیستند. شرکت Aerojet Rocketdyne که سابقه فعالیتش به سال ۱۹۴۲ باز می‌گردد، از سال ۲۰۰۷ به توسعه موتور J-2X برای استفاده در مرحله بالای سامانه پرتاب فضایی ناسا[۳۲] پرداخته است. آزمایش گرم این موتور در سال ۲۰۱۳ با قطعه‌ای که توسط روش ذوب انتخابی لیزر[۳۳] (یکی از روش‌های چاپ سه‌بعدی) ساخته شده بود، انجام گرفت. شرکت Space Systems Loral آنتنی را شامل بخش‌های ساخته شده به روش چاپ سه‌بعدی برای استفاده در ماهواره‌های بزرگ ارتباطی معرفی کرد. شرکت Boeing Satellite Systems نیز به تازگی بخش‌ها و اتصالات ساخته شده توسط چاپ سه‌بعدی را به ماهواره‌های خود اضافه کرده است.

به گفته شرکت Lockheed Martin فضاپیمای جونو[۳۴] نیز که برای ناسا ساخته شده و در سال ۲۰۱۶ به سیاره مشتری رسید، شامل قطعات ساخته شده به روش چاپ سه‌بعدی بوده است. به تخمین این شرکت، فناوری چاپ سه‌بعدی در نهایت ضمن ساده کردن تولید ماهواره‌ها، زمان چرخه ساخت آن‌ها را به میزان ۴۳٪ و هزینه‌های تولید را به میزان ۴۸٪ کاهش خواهد داد. این فناوری، رویکرد اساسی جدیدی را در طراحی برای ساخت عرضه نموده و امکان کاهش چشمگیر وزن قطعات فضاپیما را فراهم می‌نماید. با این که چاپ سه‌بعدی به صورت بالقوه یک پیشرفت فناورانه برای صنعت

---

[30] Cape Canaveral Air Force Station (CCAFS)
[31] Additive Manufacturing
[32] Space Launch System (SLS)
[33] Selective Laser Melting (SLM)
[34] Juno

محسوب می‌شود، ولی کنترل کیفیت و کارایی قطعات، همچنان مورد تردید هستند. به طور خاص، ناسا نگرانی‌هایی را در مورد نحوه بازرسی قطعات ساخته شده به روش چاپ سه‌بعدی مطرح نموده است: بازرسی قطعاتی که در مقیاس مولکولی ساخته شده‌اند چگونه انجام می‌گیرد؟ آیا نواقص قطعاتی که به روش چاپ سه‌بعدی ساخته شده‌اند قابل تشخیص و توصیف هستند؟ در گذشته دولت نقش مهمی در توسعه استانداردها و تعیین صلاحیت‌های پایه‌ای صنعت داشته است. در تحقیقی که اخیرا توسط مؤسسه ملی استاندارد و فناوری[۳۵] منتشر شده، با استفاده از این روش، صرفه‌جویی سالانه تقریبا ۴٫۱ میلیارد دلار در سال (معادل ۱۸٪ بخش تولیدی آمریکا) تخمین زده شده است.

۳. نحوه تأثیر شرکت‌های فضایی نوپا بر زنجیره تأمین صنعت فضایی ایالات متحده

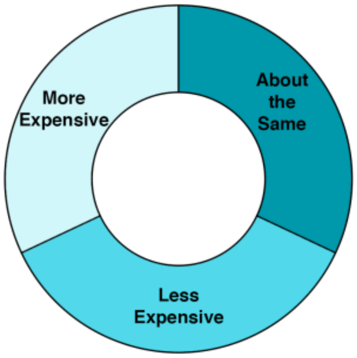
در این مطالعه برای درک کامل تأثیر شرکت‌های فضایی نوپا بر زنجیره تأمین، پرسشنامه‌هایی تهیه شد و در اختیار متخصصین بخش دولتی و خصوصی در هر ۵ لایه زنجیره تأمین بخش‌های ساخت ماهواره و پرتابگر قرار گرفت. اطلاعات جمع‌آوری شده از مجموع ۳۰۰ پرسشنامه و حدود ۵۰ مصاحبه با متخصصین صنعت در مورد روندهای زنجیره تأمین، فناوری‌های ویژه هر لایه از زنجیره تأمین و قابلیت های نوظهور در تولید بود.

۳٫۱ پاسخ به پرسشنامه‌ها

تمرکز پرسش‌ها بر روی هزینه، کیفیت، آماده‌سازی، جغرافیا و فناوری‌های تولید بود و پاسخ‌دهندگان امکان بیان نظرات خود را در مورد هر سوال داشتند. در مجموع، این مطالعه نشان داد که پاسخ‌دهندگان تغییرات متفاوتی را در زنجیره تأمین مشاهده نموده‌اند.

۳٫۱٫۱ تغییر هزینه‌ها

بیش از یک سوم از پاسخ‌دهندگان شاهد کاهش هزینه‌ها بودند. ایشان به دو تغییر اصلی اشاره کردند: تغییر اول، کاهش ملایم هزینه‌ها با بلوغ فناوری‌ها و قطعات فضایی و تغییر دوم ناشی از فشار شرکت‌های نوپا جهت کاهش قیمت‌ها بود که به دلیل تمایل این شرکت‌ها به خطرپذیری بالاتر در مقابل کاهش هزینه قطعات گران‌قیمت فضایی رخ داد. یکی از پاسخ‌دهندگان نیز از کاهش هزینه‌ها به دلیل استفاده از برنامه‌های نرم‌افزاری روی سرورهای تجاری برای تجهیزات پشتیبانی زمینی یاد کرد. حدود یک سوم از پاسخ‌دهندگان به افزایش هزینه‌ها در بعضی بخش‌ها، شامل مواد خاص مانند فلزات کمیاب، پلاستیک و رزین‌ها (در نتیجه افزایش تقاضا توسط صنایع دیگر) و همچنین هزینه‌های حمل و نقل و نیروی کار اشاره کردند. به عقیده بعضی پاسخ‌دهندگان، قوانین دولتی بر تأمین‌کنندگان خارجی نیز باعث افزایش هزینه‌ها شده‌اند. یک سوم پاسخ‌دهندگان هم به ثابت ماندن هزینه‌ها اعتقاد داشتند با این توضیح که قیمت قطعات بسیار کوچک و قطعات دیگر دارای گواهی استفاده در صنعت فضایی تقریبا بدون تغییر بوده و کاهش هزینه‌ها عمدتا مربوط به سامانه‌های لایه اول می‌باشد. (شکل ۲)

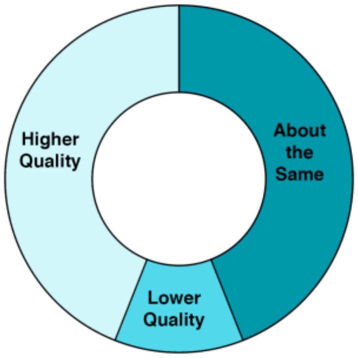


شکل ۲ – آیا قیمت قطعات طی ده سال گذشته افزایش داشته، کاهش داشته یا ثابت باقی مانده است؟

---
[35] National Institute of Standards and Technology (NIST)

۳٫۱٫۲ کیفیت

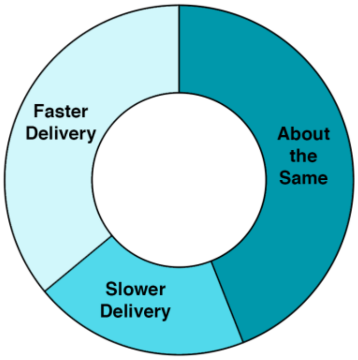
تقریبا نیمی از پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه، به افزایش تدریجی کیفیت در گستره زنجیره تأمین اذعان داشتند. ایشان دلیل این بهبود کیفیت را افزایش پلکانی کارایی و تلرانس‌های کوچک‌تر، انتقال بهتر نیازمندی‌ها، تشویق به استانداردسازی و استفاده از سیستم‌های دارای اهداف عمومی و افزایش توجهات به امکان استفاده مجدد می‌دانستند. از طرف دیگر، پاسخ تعداد کمی از افراد نشانگر کاهش کیفیت بود که ناشی از کاهش دسترسی به دلیل ادغام‌های عمودی و حجم کم درخواست‌های دولت می‌باشد. تعداد بسیار بیشتری از پاسخ‌دهندگان به افزایش یا ثبات کیفیت معتقد بودند. (شکل ۳)



شکل ۳ - آیا کیفیت قطعات طی ده سال گذشته افزایش داشته، کاهش داشته یا ثابت باقی مانده است؟

۳٫۱٫۳ سرعت تحویل

یکی دیگر از تغییرات مشاهده شده، سرعت بیشتر در تحویل بود که توسط بیش از یک سوم از پاسخ‌دهندگان (که بیشترشان شرکت‌های نوپا بودند) مورد توجه قرار گرفته بود (شکل ۴). این تغییر بر مبنای استفاده از ابزارهای نرم‌افزاری و استراتژی‌های به‌موقع[۳۶] در مدیریت انبار اتفاق افتاد. به گفته دیگر پاسخ‌دهندگان، زمان تحویل برای قطعات تخصصی که باید قابلیت اطمینان بالایی داشته باشند، و همچنین در مواردی که حجم کم باعث کاهش رقابت می‌شود، همچنان بالاست. یکی از پاسخ‌دهندگان اشاره کرد: سرعت تحویلِ پایین‌تر از حد انتظار، عامل اصلی پیگیری ادغام عمودی بیشتر بوده است. تعداد پاسخ‌دهندگانی که (شامل مجموعه‌ای از شرکت‌های نوپا و قدیمی) سرعت تحویل را بدون تغییر می‌دانستند با کسانی که به افزایش سرعت اعتقاد داشتند برابر بود. در حالی که متمرکز شدن تولید می‌تواند با کاهش تعداد دفعات انتقال فناوری، سرعت ساخت را افزایش دهد، عوامل دیگری مانند محل یکپارچه‌سازی و تأخیرهای پیش‌بینی نشده پیمانکاران، این افزایش سرعت را خنثی می‌کند.

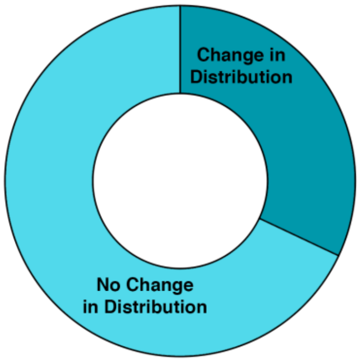


شکل ۴ - آیا سرعت تحویل طی ده سال گذشته افزایش داشته، کاهش داشته یا ثابت باقی مانده است؟

[36] Just In Time (JIT)

۳,۱,۴ جغرافیا

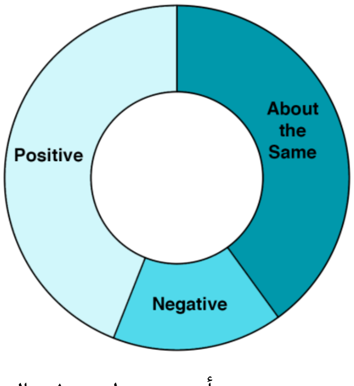
علیرغم رشد شرکت‌های نوپای فضایی در مناطقی مانند سیاتل و خلیج سان‌فرانسیسکو، بیشتر پاسخ‌دهندگان هنوز تغییر قابل ملاحظه‌ای در جغرافیای زنجیره تأمین فضایی مشاهده نکرده بودند. از نظر پاسخ‌دهندگان، پایگاه‌های تأمین در نزدیکی مشتریان اولیه قرار گرفته‌اند. یک تغییر قابل تشخیص، استفاده بعضی فروشندگان خارجی قطعات بحرانی فضایی از توزیع‌کنندگان آمریکایی است. (شکل ۵)



شکل ۵ - آیا شما شاهد تغییری در توزیع جغرافیایی زنجیره تأمین خود بوده‌اید؟

۳,۱,۵ تولید

پاسخ‌دهندگان دولتی و خصوصی چند تغییر مهم را در فناوری تولید شناسایی کردند: فناوری‌های جدید تولید نیمه‌هادی‌ها، لیتوگرافی استریو و چاپ ۳بعدی منجر به پیشرفت‌هایی شده بودند. پاسخ‌دهندگان همچنین شاهد پیشرفت در فرآیندها بودند که باعث افزایش کیفیت شده و استفاده از آموخته‌های جدید را تسریع می‌نمود. از جمله استانداردهای تبادل اطلاعات تولید و نرم‌افزارهای پیشرفته برای مدیریت تغییرات طراحی و مواد. بسیاری از پاسخ‌دهندگان، تغییرات زنجیره تأمین فضایی را مثبت ارزیابی می‌کردند. ایشان همچنین اشاره کردند که تمایل برای تست و واجد شرایط شدن مواد و اجزای جدید برای سفر به فضا وجود دارد. از نظر برخی دیگر، تغییرات ناشی از شرکت‌های نوپا در زنجیره تأمین هنوز مشخص نیست و یا چشمگیر نخواهد بود (شکل ۶). با اینکه از نظر بعضی از پاسخ‌دهندگان، تعداد تأمین‌کنندگان مختلف پوشش دهنده نیازهای گسترده افزایش یافته، ولی یک پاسخ‌دهنده با این موضوع مخالف بود. به عقیده او، ادغام عمودی و کوچک شدن پایه صنعت تأثیر منفی چشمگیری روی زنجیره تأمین داشته است. برای درک بهتر این زوایای مختلف در بخش بعدی به لایه‌های مختلف زنجیره تأمین فضایی نگاهی می‌اندازیم.



شکل ۶ – به نظر شما تغییرات در زنجیره تأمین در طی ۱۰ سال گذشته مثبت بوده یا منفی؟

۴. نکات قابل توجه در لایه‌های مختلف

پس از مرور زنجیره تأمین شرکت‌های نوپای فضایی، نکات برجسته لایه‌های مختلف را مرور می‌نماییم. جزئیات ارائه شده در این بخش (مگر در مواردی که مشخص شده) توسط پاسخ‌دهندگان و مصاحبه شوندگان فراهم شده است.

۴,۱ لایه ۱: سیستم

پیمانکاران اولیه مسئول ساخت سیستم‌های کامل (محصولات لایه ۱) مانند ماهواره‌ها، فضاپیماها و پرتابگرها هستند. این شرکت‌ها از اندازه‌های مختلفی برخوردار هستند. بعضی از آنها (مانند Boeing و SpaceX) توانمندی توسعه سیستم‌های بسیار بزرگ و پیچیده را دارند. از طرفی، بعضی از این پیمانکاران (مانند شرکت Planet و York Space Systems) توانایی تولید سیستم‌های نسبتا کوچک را دارند. روندهای کلیدی مشاهده شده در این لایه عبارتند از:

- پیمانکاران اولیه برای پایین نگاه داشتن قیمت‌ها تحت فشار هستند.
- پیمانکاران اولیه استاندارد بالایی را در کیفیت حفظ می‌کنند.
- نشانه‌هایی از تحویل سریعتر قطعات به پیمانکاران اصلی وجود دارد.
- پیمانکاران اولیه در صورت امکان ترجیح می‌دهند با تأمین‌کنندگان محلی یا نزدیک به خود همکاری نمایند.
- قابلیت بازیابی سیستم و نگهداری آن، تقاضا را برای بعضی قطعات مصرفی افزایش خواهد داد.
- پیمانکاران اولیه برای رقابت‌پذیری بیشتر، فناوری‌ها و رویکردهای جدید تولید را معرفی می‌کنند.

۴,۲ لایه ۲: زیرسیستم‌ها

سازندگان زیرسیستم‌های ماهواره‌ای، مسئول تولید زیرسیستم‌هایی مثل توان، پیشرانش، سازه و... هستند. زیرسیستم‌های پرتابگر نیز شامل توان، ناوبری و کنترل، اتصال و پوشش محموله و... می‌باشد. با اینکه پیمانکاران اولیه هم توانایی طراحی و ساخت زیرسیستم‌ها را دارند، ولی بعضی شرکت‌ها مثل Aerojet، Rocketdyne و Raytheon به طور خاص روی این زمینه متمرکز شده‌اند. بعضی روندها و نکات قابل تامل عبارتند از:

- ULA شرکت‌های نوپای Blue Origin و XCOR Aerospace را برای ساخت زیرسیستم پیشرانش خود انتخاب کرده است.
- فشار پیمانکاران اولیه برای کاهش قیمت به سازندگان زیرسیستم‌ها هم منتقل می‌شود.
- به گفته سازندگان زیرسیستم‌ها، کیفیت قطعات تأمین‌کنندگان به دلیل صنایع دیگر بهتر شده است.

۴,۳ لایه ۳: اجزاء

اجزاء معمولا توسط سازندگان لایه ۳ تولید می‌شوند ولی گاهی توسط پیمانکاران اولیه و تأمین‌کنندگان زیرسیستم‌ها هم ساخته می‌شوند. اجزاء لایه ۳، بسیار گوناگون هستند، از باتری و سلول خورشیدی گرفته تا شتاب‌سنج و ژیروسکوپ. به عنوان مثال، شرکت EnerSys باتری ماهواره‌ها را تولید می‌کند و Barber-Nichols تولیدکننده پمپ‌های توربینی موتور موشک‌های سوخت جامد می‌باشد. در این لایه، روندهای زیر شناسایی شدند:

- تعداد تأمین‌کنندگان لایه ۳، خصوصا برای پشتیبانی از تولید ماهواره‌های کوچک به شدت افزایش داشته است.
- پیمانکاران اولیه نوپا در استراتژی ادغام عمودی، از تولیدکنندگان اجزاء، پروانه (لیسانس) دریافت می‌کنند.
- مدل‌سازی سریع به کاهش هزینه‌های طراحی کمک کرده است.

۴.۴. لایه ۴و۵: قطعات، مواد اولیه و سخت‌افزار

قطعات معمولا توسط شرکت‌های تأمین‌کننده زیادی که اختصاصا در لایه ۴ فعال هستند تولید می‌شوند. در این لایه از زنجیره تأمین، تأمین‌کنندگان با تمرکز بر تولید محصولات دارای فناوری بالا، قطعات خود را برای صنایع مختلف تولید می‌کنند. در بیشتر موارد، صنعت فضایی فقط یکی از چندین مشتری این تولیدکننده‌هاست. تعداد قطعات لایه ۴ مورد استفاده در صنعت فضایی بسیار زیاد است. این موارد به طور مثال شامل مخلوط‌های پیچیده سوخت (مانند پری‌کلورات آمونیوم برای موتورهای سوخت جامد)، قطعات هیدرولیک، رمزنگارهای اپتیکی و لامپ‌های مایکروویو می‌شوند. شرکت Moog نمونه یک شرکت تأمین‌کننده لایه ۴ است که قطعات زیادی را برای اجزای پیشران و کنترل پرواز تولید می‌نماید.

تأمین‌کنندگان مواد اولیه و سخت‌افزار، نماینده بستر و اساس زنجیره تأمین صنعت فضایی آمریکا هستند. سخت‌افزارهای مختلف از پیچ‌ها و بست‌ها گرفته تا بولبرینگ و کوپلر توسط شرکت‌های زیادی در آمریکا ساخته می‌شوند. به علاوه، مواد خام مانند گازها، مایعات، فلزات، پلاستیک و رزین‌ها نیز توسط تعداد فراوانی از شرکت‌ها تولید می‌گردند.

در این لایه از زنجیره تأمین، صنعت فضایی تنها نماینده بخش کوچکی از مشتریان این‌گونه شرکت‌هاست. برخی روندهای مشاهده شده در این بخش عبارتند از:

- قطعات الکترونیک باکیفیت از صنایع دیگر، زنجیره تأمین صنعت فضایی را تغذیه می‌کنند.
- قیمت‌های بالاتر فلزات، مواد کامپوزیت و رزین‌ها.

۵. زنجیره‌های تأمین فضایی غیرآمریکایی

چندین زنجیره تأمین فضایی در خارج از ایالات متحده آمریکا وجود دارد که همه آن‌ها به نحوی به زنجیره تأمین آمریکا متصل می‌شوند. چشمگیرترین مورد آن‌ها زنجیره تأمین اروپاست که شامل شرکت‌های بزرگی همچون Airbus، ArianeGroup، Thales Alenia Space، Finmeccanica، OHB System GmbH، سازمان‌های دولتی مانند European Space Agency (ESA)، Eumetsat و آژانس‌های فضایی کشورهای مختلف می‌باشد. به نسبت تعداد جمعیت، بودجه فضایی ناسا ۴ برابر بیشتر از مجموع بودجه همه آژانس‌های فضایی اروپاست. بخش فضایی اروپا تمرکز زیادی روی تحقیقات دارد و ۱۰٪ سرمایه این حوزه به تحقیقات اختصاص یافته. در بخش ماهواره و ایستگاه‌های زمینی، این میزان به ۴۰٪ هم می‌رسد. در حالی که آمریکا تقریبا ۵٪ از بودجه فضایی خود را به تحقیق و توسعه اختصاص داده است. زنجیره تأمین صنعت فضایی اروپا مانند هرمی با سه لایه است. سازندگان اصلی (مثل Airbus) در بالای این هرم قرار داشته، شرکت‌های لایه اول (پیمانکاران اولیه) در وسط و شرکت‌های لایه دوم (تأمین‌کنندگان) در پایین قرار می‌گیرند. به دلیل وجود موانع ورود، شرکت‌های فضایی اروپایی تمایل زیادی به ادغام عمودی داشته و بسیار متمرکز هستند. به عنوان مثال، چهار شرکت Airbus، ArianeGroup، Thales و Finmeccanica بیش از ۷۰٪ از اشتغال در صنعت فضایی اروپا را باعث می‌شوند. در طول یک دهه گذشته، پایه صنعت فضایی اروپا از تقسیم‌بندی ملی به سمت یک سیستم یکپارچه در گستره این قاره حرکت کرده است. یک مثال خوب در این مورد، اتحاد شرکت‌های مختلف سازنده قطعات پرتابگر می‌باشد. در سال ۲۰۱۵، شرکت‌های Airbus و Safran Group با نام ArianeGroup با یکدیگر ادغام شدند تا توسعه و ساخت پرتابگر و موشک تسهیل شود. شرکت ArianeGroup، پیمانکار اولیه توسعه و ساخت پرتابگرهای Ariane 5 و Ariane 6 می‌باشد.

صنعت فضایی روسیه نیز شاهد تغییرات بزرگی بوده است. انگیزه این تغییرات عمدتا کم شدن کنترل کیفیت و در نتیجه، رخ دادن زنجیره‌ای از شکست‌ها در پرتاب و محموله‌ها بوده است. رکود اقتصادی ناشی از کاهش قیمت نفت نیز رهبری روسیه را به یافتن راه‌هایی برای کاهش بودجه تشویق نموده که این سیاست‌ها ضربه سنگینی به صنعت فضایی وارد کرده است. در سال ۲۰۱۳، شرکت United Rocket and Space Corporation به عنوان یک نهاد دولتی-تجاری برای هماهنگی عملیات و کاهش هزینه‌ها تشکیل شد. ROSCOSMOS که پیش از این آژانس فضایی غیرنظامی روسیه بود، اکنون یک شرکت دولتی است که رهبری بخش فضایی صنعت روسیه را (شامل دفاتر طراحی که قبلا به صورت مستقل فعالیت می‌کردند) بر عهده دارد.

به عنوان مثال، همه شرکت‌های سازنده موتور موشک مانند NPO Energomash در قالب یک سازمان تحت مدیریت ROSCOSMOS ادغام شدند.

صنعت فضایی چین هم از نظر دارا بودن اکوسیستم گسترده‌ای از تأمین‌کنندگان، چندان با صنعت اروپا و آمریکا متفاوت نیست ولی مشابه صنعت فضایی روسیه، (البته در حد کمتری) تقریبا به طور کامل توسط دولت مدیریت می‌شود. سازمان‌های مشخص، محصولات و خدمات خاص خود را ارائه می‌کنند. به عنوان مثال، آکادمی فناوری پرتابگرهای چین[۳۷] کار طراحی و ساخت پرتابگرهای مداری را بر عهده دارد و آکادمی فناوری فضایی شانگهای[۳۸] بر روی ساخت ماهواره‌ها تمرکز دارد. این دو سازمان و سازمان‌های دیگر زیرمجموعه شرکت علم و فناوری هوافضای چین[۳۹] هستند. این شرکت توسط هیئتی که تحت نظارت شورای دولت (بالاترین قدرت اداری در چین) قرار دارد مدیریت می‌شود. ممکن است دیدگاه لایه‌های زنجیره تأمین که در این مقاله معرفی شدند در مورد کشور چین هم صادق باشند.

صنعت فضایی آمریکا از طرق مختلف به صنعت فضایی اروپا متصل است. تولیدکنندگان اروپایی مشارکت زیادی در پایه صنعتی آمریکا دارند. از ساخت زیرسیستم‌های لایه دوم گرفته (مانند پوشش محموله شرکت RUAG) تا اجزاء و قطعات کوچکتر. اروپا در برنامه‌های بزرگ آمریکا نیز مشارکت دارد. شرکت Airbus در حال ساخت ماژول خدمات برای فضاپیمای NASA Orion بوده و شرکت Thales ماژول باری تحت فشار فضاپیمای Cygnus (متعلق به شرکت Orbital ATK) را تأمین خواهد نمود. نقش روسیه و چین در صنعت فضایی آمریکا کمرنگ است ولی به عنوان نمونه، روسیه مشارکت زیادی در طراحی و ساخت ایستگاه بین‌المللی فضایی داشته است.

منابع و مآخذ

[1] See “Start-Up Space: Update on Investment in Commercial Space Ventures,” report by Bryce Space and Technology (then Tauri Space and Technology), August 2017 (https://brycetech.com/downloads/Bryce_Start_Up_Space_2017.pdf).
[2] Ibid, Page i.
[3] Ibid.
[4] Botwin, Brad and Christopher Nelson, “U.S. Space Industry ‘Deep Dive,’ A Collaboration Between the DoC and the USAF, NASA, and NRO, Final Dataset Findings,” May 2013 (https://www.bis.doc.gov/index.php/formsdocuments/technology-evaluation/769-final-datasetoverview/file).
[5] Specifically, “The Lower Tiers of the Space Transportation Industrial Base,” OTA-BP-ISS-161(August 1995).
[6] Bromberg, Joan Lisa (1999). *NASA and the Space Industry*. The Johns Hopkins University Press. See also J.D. Hunley’s *Preludes to U.S. Space-Launch Vehicle Technology: Goddard Rockets toMinuteman III* (2008) and *U.S. Space LaunchVehicle Technology: Viking to Space Shuttle* (2008).
[7] Stanzione, Kaydon Al (1989). “Engineering”. *Encyclopædia Britannica*. 18 (15 ed.). Chicago. pp. 563–563.
[8] Boshuizen, Christopher, J. Mason, P. Klupar, and S.Spanhake (2014). “Results from the Planet Labs Flock Constellation,” 28th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. pp. 2. CubeSats also feature microelectromechnical systems (MEMS) because of their high reliability and low power consumption.
[9] Orbital ATK’s Combined Heritage: Pioneering New Spacecraft Technologies (https://www.orbitalatk.com/newsroom/insideOA/Ultraflex/default.aspx).
[10] Based on interviews conducted with CubeSat manufacturers in 2014, a 1U CubeSat costs about $100,000 to build. The bulk of the cost is related to payload design and manufacture, but may also include customized buses.
[11] Bryce Space and Technology proprietary Spaceflight Database.
[12] Helvajian, Henry and Janson, Siegfried W. eds. (2008). *Small Satellites: Past, Present, and Future*. Aerospace Press.
[13] Cole, Sally. “Small satellites increasingly tapping COTS components.” *Military Embedded Systems*. June 8, 2015. 600 kilograms is based on payload mass class categorization provided by the Federal Aviation Administration’s (FAA) Office of Commercial Space Transportation: Femto 0.01 – 0.1 kg (0.02 – 0.2 lb), Pico 0.09 – 1 kg (0.19 – 2 lb), Nano 1.1 – 10 kg (3 – 22 lb), Micro 11 – 200 kg (23 – 441 lb), and Mini 201 – 600 kg (442 – 1,323 lb).
[14] Boshuizen, C. et al (2014). “Results from the Planet Labs Flock Constellation.” pp. 4.
[15] Plait, Phil. “Kickstart your way to an experiment on a satellite!” *Discover*. June 15, 2012.

---

[37] China Academy of Launch Vehicle Technology (CALT)
[38] Shanghai Academy of Spaceflight Technology (SAST)
[39] China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC)

[16] https://www.raspberrypi.org/blog/computemodule-cubesats/ (accessed June 25, 2017).
[17] Debes, Joshua, R. Harrington, R. Cobb, and J. Black. "Small satellites increasingly tapping COTS components." 25th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites.
[18] LaBel, Kenneth and Michael Sampson. "The NASA Electronic Parts and Packaging (NEPP) Program: Overview and Update FY15 and Beyond." Presentation to Space Parts Working Group (SPWG), April 28-29, 2015.
[19] Christopher R. Boshuizen et al (2014). "Results from the Planet Labs Flock Constellation." 28th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites.
[20] History of the ORS Office (http://www.kirtland.af.mil/Portals/52/documents/AFD-150701-026.pdf?ver=2016-06-28-112742-690).
[21] Seedhouse, Erik (2014). *Suborbital: Industry at the Edge of Space*. Springer. pp. 59.
[22] As of June 27, 2017.
[23] Winick, Erin. "Additive Manufacturing in the Aerospace Industry." *Engineering.com*. January 31, 2017. (http://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14218/Additive-Manufacturing-in-theAerospace-Industry.aspx).
[24] "Rocket Lab Reveals First Battery-Powered Rocket for Commercial Launches to Space." Rocket LabNews. May 31, 2015. (https://www.rocketlabusa.com/latest/rocket-labreveals-first-battery-powered-rocket-forcommercial-launches-to-space/).
[25] "The Future of Exploration Starts With 3-D Printing." NASA Press Release. March 19, 2013. (https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/j2x/3d_print.html).
[26] "A 50 percent reduction in mass and schedule accomplished by SSL's additive manufacturing." *Satnews Daily*. March 9, 2017. (http://www.satnews.com/story.php?number=152398837).
[27] Werner, Debra. "3D printing saving satellite builders time and money." *Space News*. March 8,2017.
[28] "Additive Manufacturing and a New Revolution in Design Engineering." Lockheed Martin Feature Article. May 27, 2014. (http://www.lockheedmartin.com/us/news/features/2014/additive-manufacturing.html).
[29] "Closing Tech Gaps Can Fortify Advanced Manufacturing and Save $100 Billion Annually,NIST Studies Say." *NIST News*. November 17, 2016.
[30] Larsen, Wiley and James Wertz eds. (1999). *Space Mission Analysis and Design (3 ed.)*. Microcosm Press. pp. 353-518.
[31] Botwin, B. et al, "U.S. Space Industry 'Deep Dive,' A Collaboration Between the DoC and the USAF, NASA, and NRO, Final Dataset Findings," May 2013. pp. 26. (https://www.bis.doc.gov/index.php/formsdocuments/technology-evaluation/769-final-datasetoverview/file).
[32] CubeSat Launch Initiative (https://www.nasa.gov/directorates/heo/home/CubeSats_initiative).
[33] "EU Space Industrial Policy: Releasing the Potential for Economic Growth in the Space Sector," Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (2013).
[34] Hayward, Keith, "The Structure and Dynamics of the European Space Industry Base," *ESPI Perspectives*, No. 55 (2011).
[35] Dickerson, Kelly, "Putin just signed a decree to replace Russia's space agency, NASA's only means of ferrying astronauts to space," *Business Insider*, December 28, 2015.