فصلنامه علمی علوم حیاتی و عرصه های نوپدید، سال اول، شماره اول، تابستان ۱۴۰۲

فرصت‌ها و تهدیدات منظومه‌های نوین ماهواره‌ای

حسین شهرابی،[۱]محمد رسول ایلالی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۶/۲۲

چکیده:

فناوری‌های نوظهور در عرصه تکنولوژی (به‌ویژه الکترونیک، مخابرات، مکانیک) با شتابی روزافزون در حال طی مراحل رشد و توسعه بوده و در هرلحظه قله جدیدی را فتح می‌کنند. این فناوری‌ها بر تمامی عرصه‌های زندگی فردی و جمعی در یک حاکمیت جغرافیایی و جوامع فعال در تمامی حوزه‌ها، در حوزه‌های اقتصادی، سیاسی، امنیتی و فرهنگی در سطح خرد و کلان تأثیرات شگرفی خواهند داشت. هرچند ظهور هر فناوری جدید موجب برطرف شدن بسیاری از چالش‌ها و مشکلات خواهد شد و فرصت‌های جدیدی را در حوزه‌های مختلف پیش روی جوامع قرار می‌دهد ولی تهدیدات نوظهوری را پدید می‌آورد که بایستی شناسایی و موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گیرند. با توجه به اینکه دیدگاه‌های متعددی در تحلیل فرصت و تهدید یک فناوری در حوزه‌های چهارگانه اصلی یک حاکمیت وجود دارد اما نمی‌توان رابطه هر حوزه نسبت به هم در رویکرد تحلیلی خود را نادیده بگیریم به این‌گونه که فرصت در یک حوزه به‌تنهایی نمی‌تواند در سایر حوزه‌ها نیز از میزان سطح تهدیدات کاهش دهد اما با در نظر گرفتن حوزه اقتصادی از دو طرف ایجادکننده فناوری و مصرف‌کننده کالا آن در دو صورت محصول و خدمت و رفع تهدیدات آن، در صورت رفع تهدیدات در سایر حوزه‌ها می‌توانیم به پایداری رهایی از تهدیدی خاص اطمینان خاطر بیشتری داشته باشیم زیرا برای نوآوران این حوزه، سودآوری اقتصادی به‌عنوان یک اصل برای پایداری این خدمت‌رسانی تعیین‌شده است. با کاهش قابل‌توجه هزینه‌های پرتاب و کوچک‌سازی ماهواره‌ها، منظومه‌های ماهواره‌ای برای ارائه سرویس پهن باند موردتوجه قرار گرفت. چنین منظومه‌هایی با تعداد زیاد ماهواره را در سال‌های اخیر مگا منظومه‌های ماهواره‌ای می‌نامند. منظومه ماهواره‌ای «Satellite Constellation» به گروهی از ماهواره‌ها گفته می‌شود که با یکدیگر در ارتباط هستند و سطح عمده‌ای از زمین را پوشش می‌دهند. دلیل نیاز بـه ارتبـاط مـؤثر بـین ماهواره‌ها این است که چون ارتفاع ماهواره‌هایی که در مدار «LEO» هستند، نسبت به

۱. CEO in SpaceOmid Company, email: h.shahrabi@spaceomid.com

۲. (Network/Electronic) Speciallist, email: mohammadrasoulilali@gmail.com, Bachelor of Electronic Engineering

بقیه مدارها کمتر است، پوشش سراسری بـرای کل سطح زمین فراهم نمی‌شود. پس باید در تعامل با یکدیگر این ارتباط کامل شود. این فناوری نیز مانند سایر فناوری‌های پیشین خود با توجه به‌سوی فکری پدیدآورنده آن می‌تواند برای حاکمیتی تهدید و یا فرصت برداشت شود که کنترل این بینش با فراهم کردن شرایطی برای کسب و جذب درآمد از سمت تصمیم‌گیران آن، قابلیت انعطاف بالایی را به یک حاکمیت می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: تهدید، فرصت، اقتصاد، حاکمیت،

مقدمه و بیان مسئله:

از دهه گذشته مفهوم منظومه ماهواره‌ای به رویکردی نوین بـرای دسـت‌یـابی بـه کاربردهـای متنـوع ارتباطی اختصاص یافت. ابتدا از این پوشش به‌منظور موقعیـت‌یـابی بـر روی زمـین و بـه‌تـدریج بـه نقطه‌ای برای ایجاد ارتباطات در سیستم‌های تلفن و موبایل نیز تبدیل شد. ایـن منظومـه‌هـا بـه دلیـل داشتن قابلیت‌هایی مانند انجام مأموریت‌های سنجش‌ازدور و انعطاف‌پذیری در مأموریت‌های طـولانی توجه زیادی را به خود جلب کردنـد. در سـال‌هـای اخیـر بیشـترین ارتباطـات سـنجش‌ازدور شـامل منظومه‌های ماهواره‌ای، مدارهای کم ارتفـاع و ارتفـاع متوسـط اسـت. امـروزه وجـود منظومـه‌هـا در لایه‌های مداری پایینی زمین که با تعداد زیادی از ماهواره‌ها به دلیل پوشش دهی همراه اسـت سـبب نادیده گرفتن قواعد بین‌المللی در حوزه جغرافیای سیاسـی کشـورها شـده اسـت. بـه ایـن‌گونـه کـه ارائه‌دهندگان خدمات منظومه‌های ماهواره‌ای دیگر نیاز به دریافت مجوز از تمامی کشـورها ندارنـد و تنها لازم است الزامات درون ساختار کشور خود را در خدمت‌رسانی در نظر بگیرند کـه ایـن رخـداد مسئله ناتوانی تأثیر کشورها در تمامی روند استفاده کاربران تحت سلطه آن‌ها از خدمات منظومه‌ها را به وجود آورده است. اگرچه در حال حاضر مـی‌تـوان بـه‌نـوعی ایـن نقـض حـاکمیتی را در مجـامع بین‌المللی به چالش رساند اما در اثبات و یا قبول مسئولیت نمی‌توان قصوری را منتسب کرد درنتیجـه می‌توان گفت که در زمانه ما به‌زودی اصطلاحی برای تبیین معنای قاچاق دسترسی به اطلاعات بـروز پیدا کند. ازاین‌رو می‌بایست این واقعه را به‌عنوان یک رویداد حتمی در زندگی خود جای دهیم و بـا فرصت‌هایی که برای ما و همچنین از سمت پدیدآورندگان و توسعه‌دهنـدگان ایـن فنـاوری در نظـر گرفته‌شده است مطبق شویم تا تأثیر تهدیدات آن را به حداقل برسانیم.

۱. مبانی نظری

در این تحقیق لازمه حکمرانی برای تبادل اطلاعات درون حاکمیتی به‌عنوان یک اصل بی‌بدیل تلقی شده است و با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر دست‌آوردهای مادی آن‌ها برای راه‌های پیشبرد این هدف در راستای همگام‌سازی اهداف توسعه‌دهندگان فناوری منظومه‌های ماهواره برای ایجاد یک درگاه واسط میانی درگذر داده‌ها باید زمین‌بازی کنترل‌شده‌ای در اختیار آن‌ها گذاشت.

در اینجا هیچ متغیری فرصت یا تهدید محض تلقی نمی‌شود بلکه دیدگاه ما نسبت به آن پارامتر و ظرفیت و قابلیت استفاده ما پس از درک هر یک از ویژگی‌های این فناوری است که می‌تواند در فرصت بودن یا تهدید بودن آن ویژگی به فکر ما سمت و جهت بدهد.

ماهواره[۱] سخت‌افزاری که در کاربری‌های متنوع علمی، ارتباطی و نظامی به فضا فرستاده‌شده و در مدارهایی به گرد زمین یا سیارات دیگر می‌چرخند.

منظومه‌های ماهواره‌ای[۲] یک گروه از ماهواره‌های مصنوعی است که به‌صورت هماهنگ برای پوشش دهی زمین در لایه‌های پایینی مدار زمین در کنار هم قرار می‌گیرند. چنین گروهی از ماهواره‌ها می‌تواند تعدادی ماهواره با پوشش هماهنگ زمینی باشد یا تحت یک کنترل مشترک، هماهنگ با یکدیگر به کار گرفته شود، به‌گونه‌ای که بتوانند به‌خوبی منطقه‌ای را که در حال گذر از آن هستند پهلوبه‌پهلو پوشش دهند.

اقتصاد منظومه‌های ماهواره‌ای[۳] بازار صورت فلکی ماهواره‌های LEO بر اساس نوع و دسته‌بندی محصول به انواع و کاربردهای مختلف تقسیم می‌شوند. ازنظر ارزش و حجم، رشد بازار با ارائه نرخ رشد ترکیبی سالیانه برای دوره سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ پیش‌بینی و محاسبه می‌شود.

مدار لایه پایینی زمین (LEO)[۴]: مداری به مرکز زمین است که معمولاً دوره گردشی آن به دور زمین کمتر از ۱۲۸ دقیقه به طول می‌انجامد. بیشترین ارتفاع ماهواره‌های مدار پایینی زمین بین ۱۶۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتر (۱۰۰–۱۲۴۰ مایل) از سطح زمین است. مسیر حرکت این ماهواره‌ها از غرب به شرق و هم‌جهت با دَوَران زمین به دور خودش است. زمان یک دور چرخش به دور زمین در این مدارها، حدود ۹۰ دقیقه است.

---

[۱] Satellite
[۲] satellite constellation
[۳] satellite constellation market
[۴] Low Earth Orbit

مدار زمین مرکزی (GEO)[1]: مدار زمین آهنگ (*مدار هم‌گردش زمین* یا *مدار زمین هم‌زمان*) نیز نامیده می‌شود و به مدارهایی در دور کره زمین گفته می‌شود که سرعت زاویه‌ایِ چرخش ماهواره‌ها بر روی این مدارها با سرعت چرخش زمین برابر است. به‌عبارتی‌دیگر؛ مدارهایی هستند که برای پیمودن مسیر کامل آن‌ها به یک روز نجومی، (در حدود ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه) نیاز است.

ارتباط میان ماهواره‌ای (ISL)[2]: ارتباط مخابراتی میان ماهواره در یک منظومه برای تبادل داده هم‌زمان در پوشش دهی زمینی می‌گویند. دراین‌ارتباط هر ماهواره از رخداد دیگر ماهواره‌ها آگاه است و متناسب با یک سری از متغیرها بهترین مسیر برای تبادل داده و ایجاد یک پیوند ارتباطی میان دونقطه به‌صورت بهینه و صرف زمانی کمتر شکل می‌گیرد.

۱,۲ آشنایی با بخشی از منظومه‌های حال حاضر

به‌منظور داشتن تحلیل درستی از اهداف پدیدآورندگان و توسعه‌دهندگان این تکنولوژی لازم است ما با روند شکل‌گیری، تلاش‌ها و تأثیرات گرفته‌شده از فضای بازاریابی هر کسب‌وکار فعال در حوزه منظومه ماهواره‌ای آگاهی نسبی داشته باشیم. ازاین‌رو در ادامه به معرفی تعداد اندکی از این منظومه‌ها می‌پردازیم.

پیش از شکل‌گیری

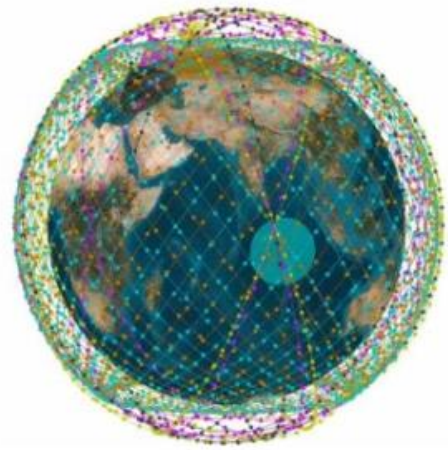
ماهواره‌های ارتباطی سنتی و مدارهای GEO از دهه ۱۹۶۰ ارزش خود را باوجود هزینه بالای راه‌اندازی به دلیل توانایی بالا و عمر طولانی ثابت کرده‌اند. ارتفاع بالای آن‌ها – بیش از ۳۵۰۰۰ کیلومتر از زمین – میدان دید وسیعی را برای آن‌ها فراهم و به اپراتورها اجازه می‌دهد تا بیشتر سطح سیاره را تنها با سه ماهواره که در فواصل زمانی مناسب قرار دارند، پوشش دهند. پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر، ازجمله طراحی‌های جدید با توان عملیاتی بالا و قابلیت تنظیم مجدد، کار آیی و عملکرد را بهبود بخشیده است. مفاهیم جدید ماهواره LEO که در فاصله ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتری زمین می‌چرخند، ارتباطات سریع‌تر (تأخیر کمتری دارند) و اغلب پهنای باند بالاتری– حتی بیشتر از کابل (به‌غیراز فیبر)، مس و بی‌سیم ثابت قبل از ظهور تکنولوژی G۵ – را برای هر کاربر نسبت به ماهواره‌های GEO ارائه می‌دهند. ارتباط از طریق مجموعه‌ای از ماهواره‌های LEO انجام می‌شود به این صورت که پوشش سراسری جهان به تعداد زیادی فضاپیما نیاز دارد. این مفاهیم مستلزم تغییرات

[1] Geocentric orbit
[2] Inter Satellite Link

عمده در عملیات ارسال و استقرار ماهواره‌ای، ازجمله ساخت و زنجیره تأمین است زیرا این چرخه نیازمند به بیشتر از یک ماهواره نیازمند است که به همین دلیل طول عمر متوسط این منظومه را کوتاه می‌کند (برای مثال تخمین زده می‌شود که عمر منظومه SpaceX برای خدمات Starlink حدود پنج سال باشد). در ادامه با بخشی از منظومه‌های حال حاضر دنیا آشنا می‌شویم. تفاوت این دوران با دهه ۱۹۹۰ در نشان دادن جذابیت استقرار منظومه در لایه‌های پایینی (به‌ویژه LEO) از همگرایی عواملی همچون پیشرفت‌های تکنولوژیکی، ظهور مدل‌های تجاری جدید، بودجه بهتر، و تقاضای بالاتر برای پهنای باند کم تأخیر سرچشمه می‌گیرد که مجموع همه این‌ها سبب افزایش احتمالات نسبت به توسعه و موفقیت بازار سیستم‌های ارتباطی بزرگ (منظومه‌ها) LEO را در حال حاضر بیشتر از گذشته می‌شود. دراین‌بین ابر منظومه‌های ماهواره‌ای سیستم‌هایی هستند که از صدها تا ده‌ها هزار ماهواره در مدار پایین زمین (LEO) برای ارائه خدمات داده با پهنای باند نسبتاً خوب و تأخیر کم (به نسبت منظومه‌های لایه بالاتر) در هر نقطه از کره زمین، تشکیل‌شده‌اند. ابر منظومه‌های ماهواره‌ای (عموماً در لایه LEO) مدارهایی بین ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلومتر را اشغال می‌کنند و برای اینکه ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشند، معمولاً تا آنجا که می‌توانند کوچک و کم‌هزینه هستند، درحالی‌که هنوز هم می‌توانند خدمات خود را ارائه دهند. این خدمات در حوزه‌های کاربردی گسترده‌ای از خدمات بانکی با تأخیر کم تا ارائه دسترسی به اینترنت در مناطق دورافتاده و همچنین خدمات به هواپیما، کشتی‌ها و کاربران نظامی بالقوه را شامل می‌شود. نیاز به ساخت ده‌ها هزار ماهواره باقیمت مناسب منجر به ایجاد یک خط تولید ثابت می‌شود که می‌توان به‌واسطه واردکردن مفاهیم خودکارسازی به فرآیند ساخت و یک رویکرد آماری برای کنترل کیفیت، صنعت تولید ماهواره می‌تواند بیشتر شبیه به صنعت خودروسازی شود. درنتیجه این تولید انبوه می‌توان در هنگام ساخت و تولید به نحوه ساخت و چگونگی افزایش بهره‌وری زمان ساخت، کیفیت و هزینه است. تا پیش‌ازاین، اکثر ماهواره‌های ارتباطی اساساً به‌صورت فردی و به‌طور دست‌ساز ساخته و کیفیت آن‌ها از طریق فرآیندها و متخصصانی تعیین می‌شد که نمی‌توانستند به‌آسانی به ساخت سریع، حجم بالا و هزینه کم برسند. برای یک ابر منظومه‌های ماهواره‌ای، خریدهایی با حجم بالا می‌تواند هزینه‌های غیرتکراری را کاهش دهند. طراحی ماژولار برای هزینه کم و سهولت در مونتاژ به اپراتورهای انسانی اجازه می‌دهد تا با ربات‌ها و سیستم‌های خودکار برای تولید ماهواره‌ها در عرض چند ساعت، همکاری کنند. در کنار این فناوری‌های جدید ماهواره‌ای و روش‌های ساخت، انقلابی موازی در فناوری پرتابگرها رخ‌داده است. ازآنجایی‌که ماهواره‌ها ازنظر اندازه و وزن کاهش‌یافته‌اند، سیستم‌های

پرتاب به‌گونه‌ای تکامل یافته‌اند که می‌توانند هم‌زمان تعداد زیادی ماهواره را پرتاب کنند و به مدیریت کل هزینه‌های سیستم کمک کنند. قابلیت استفاده مجدد از سیستم‌های پرتاب به کاهش هزینه پرتاب کمک کرده است. سرعت بالاتر پرتاب‌ها همچنین می‌تواند به حل مشکلات و مسائل کمک کند و به‌سرعت پرتاب‌کننده‌ها را تکامل و بهبود بخشد. باوجود هزاران منظومه ماهواره‌ای در فضا، سیاره ما در سال‌های آینده شاهد پرتاب‌های بیشتری خواهد بود. صورت فلکی ماهواره‌ای موجود و جدید به حوزه‌های زیادی ازجمله اینترنت اشیا، مخابرات، ناوبری، نظارت بر آب‌وهوا، رصد زمین و فضا خدمت‌رسانی می‌کنند. منظومه‌های ماهواره‌ای که معمولاً در مدار پایین به دور زمین می‌چرخند استقرارشان در مدار زمین در مقایسه با ماهواره‌های بزرگ منفرد، به دلیل کوچک‌تر و وزن کم (تا وزن ۵۰۰ کیلوگرم)، بسیار ارزان‌تر و سریع‌تر است. به‌طور سنتی، در صنعت فضایی، مانند بسیاری از صنایع، بین کیفیت، زمان ساخت و هزینه، یک نسبت متعادلی وجود دارد. ابَر منظومه‌ها با خود رویکردی را همراه دارند که به سبب آن تحول در رویکرد این تناسب به ما امکان بهبود بخشیدن به هر سه جنبه بالا را برای متحول سازی سیستم‌های فضایی می‌دهد. ارزیابی عملکرد منظومه‌ها روشی مؤثر برای قضاوت میزان توانایی آن‌ها در برآورده کردن استانداردهای موردنظر در مرحله طراحی است. با توسعه سریع فناوری نانو ماهواره‌ها، صورت‌های فلکی ماهواره‌ای در مدار پایین به یک اولویت تحقیقاتی کلیدی برای کشورهای اصلی و پیشتاز در زمینه فضاپیمایی تبدیل شد که به همین سبب ارزیابی عملکرد منظومه‌های ماهواره‌ای در مدار پایین اهمیت بیشتری پیدا کرده است. برخلاف ویژگی‌های منظومه‌ای مدار متوسط (عموماً GEO) و بالا (عموماً MEO)، صورت فلکی ماهواره LEO دارای تعداد بیشتر ماهواره، ساختار پیچیده‌تر و چرخه استقرار نسبتاً طولانی‌تر است، بنابراین روش‌ها و معیارهای ارزیابی متفاوت است. مطالعه ارزیابی عملکرد منظومه‌های LEO برای بهبود ایجاد و بهینه‌سازی طراحی آن‌ها بسیار مهم است. تجزیه، تحلیل، پیکربندی و ساختار منظومه‌های ماهواره‌ای به‌واسطه دو نوع شاخص و دیدگاه اصلی بررسی می‌شود این دو دیدگاه شامل بررسی گستره پوشش دهی ارائه خدمات و هزینه ایجاد و شکل‌گیری منظومه‌ای که بتواند خواسته‌های مورد اول را پاسخ دهد.

۱,۲,۱ استارلینک (starlink):



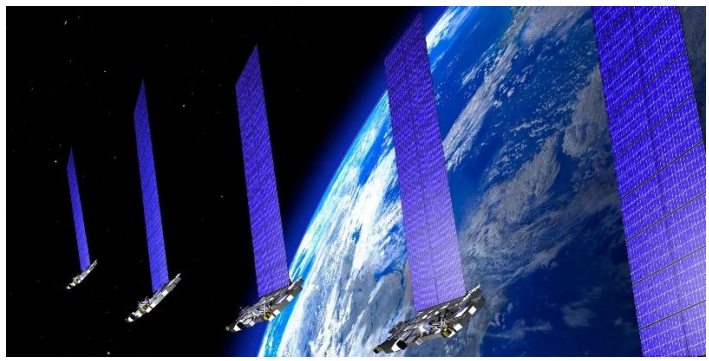
شکل ۱. منظومه استارلینک به‌صورت شماتیک پیرامون محیطی زمین

پروژه استارلینک در شرکت SpaceX طراحی و تولیدشده و تاکنون ماهواره‌های مختلفی را در مدار LEO زمین، پرتاب کرده است. نقطه عطف این پروژه صرف اقتصادی داشتن پرتاب ماهواره و به‌تبع آن پایین آمدن هزینه اینترنت است. ماهواره‌های اسپیس ایکس با موشک‌هایی به نام فالکون به فضا پرتاب می‌شوند که باعث کاهش هزینه‌های پرتاب تا حدود بسیار خوبی است و حتی گفته می‌شود به میزان ۲۵۰ هزار دلار به ازای هر ماهواره برسد. این تحول در ساختارهای اقتصادی حاصله استفاده مجدد از بسیاری از قسمت‌های گران‌قیمت ماهواره و دیگر فناوری‌های پیشرو است.

۱,۲,۱,۱ روند توسعه

اسپیس ایکس منظومه استارلینک را در فازهای مختلف به فضا پرتاب می‌کند؛ برای مثال طبق برنامه‌ریزی‌ها، در فاز اول ۱۵۸۴ ماهواره در ۲۴ مدار (هر مدار ۶۶ ماهواره) قرار گرفت. به گفته مدیرعامل اسپیس ایکس، هر ۶۰ ماهواره در حدود ۱ ترا هرتز پهنای باند تأمین می‌کنند که می‌توانند برای حدود ۴۰۰۰۰ کاربر، کیفیت سرویس خوبی ارائه دهند (به نظر این پهنای باند برای فاز اول است) قبل از پرتاب ماهواره‌های پروژه استارلینک، شرکت اسپیس ایکس در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۷ جهت تست‌های مختلف، تعدادی ماهواره، به نام‌های Microsat-2a و Microsat-2b به مدارهای LEO به مدت ۲۰ ماه پرتاب کرد. در این

ماهواره‌ها دو حالت به‌صورت، یک حالت برای تست ارتباطاتی که از بستر فناوری آنتن‌های پهن باند استفاده می‌کرد و یک حالت جهت استفاده از نور خورشید برای شارژ و مسائل مربوط به توان پیش‌بینی‌شده بود. پس‌ازاین تجربه، پروژه استارلینک در سال ۲۰۱۹ شروع به کار کرد. ماهواره‌های این شرکت چیزی در حدود ۲۶۰ کیلوگرم وزن و شامل صفحات ۳ متری آنتن‌های مخابراتی و صفحات ۹ متری پنل‌های خورشیدی است. حتی گفته می‌شود با گسترش تکنولوژی ماهواره‌های نانو سایز، وزن ماهواره‌های اسپیس ایکس بسیار کمتر خواهد شد و به پایین‌ترین در کلاس خود خواهد رسید.



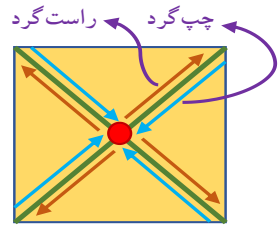
شکل ۲. نمای گرافیکی از قرارگیری ماهواره‌های استارلینک در کنار یکدیگر خارج از جو

هرچند پهنای باند و سرعت‌های فعلی تست‌شده استارلینک به‌عنوان یک پیشرفت شگرف مطرح نمی‌شود؛ اما اسپیس ایکس مدعی شده که می‌تواند پهنای باندی بیشتر از ۱ گیگ بر ثانیه فراهم سازد. هرچند در مقایسه با OneWeb که پهنای باند ۲,۵ گیگی را مطرح کرده و یا سیستم‌های نسل ۵ و ۶ زمینی، این ادعای اسپیس ایکس همچنان انقلابی در سرعت نیست، اما در مقوله هزینه و کاربرد سراسری هیچ رقیبی تاکنون ندارد.

۱,۲,۱,۲ گیرنده زمینی

گیرنده زمینی استارلینک یک دیش ماهواره‌ای کوچک است که طبق گفته سایت اسپیس ایکس، کافی است به برق زده شده تا ارتباط برقرار گردد. این نکته و عدم نیاز به تعیین وضعیت آنتن زمینی از آنجایی نشأت می‌گیرد که در استارلینک از آنتن‌های آرایه فازی استفاده و باعث می‌شود تا کنترل الگوی انتشار را داشته باشد و نیازی به چرخش و تعیین وضعیت نباشد. آنتن‌ها آرایه‌ای فازی در ابتدا در صنایع نظامی برای اسکن سریع آسمان برای یافتن اجسام متحرک استفاده شد و به دلیل توانایی هدایت الگو، در زمینه‌های مختلف رادار، لیدار، هواشناسی و.. نیز پرکاربرد

شد. به‌طور خلاصه آنتن آرایه‌ای فاز می‌تواند در جهت خاص به انتشار موج و در جهتی دیگر، به دریافت موج بپردازد. این آنتن‌ها هم در گیرنده وجود دارد و هم در ماهواره‌ها لیکن در سمت ماهواره‌ها پیچیدگی بیشتری دارند و باید چند پرتو مختلف را برای ردیابی ترمینال زمینی، تولید کند (اگر ماهواره در مدارات بسیار پایین مثلاً ۳۵۰ کیلومتری باشد، حداکثر زمان در دید بودن، ۱۳۴ ثانیه و اگر در مدارات بالاتر باشد مثلاً ۱۲۰۰ کیلومتر، حداکثر زمان در دید بودن ماهواره برای ترمینال زمینی، ۳۲۲ ثانیه است). همچنین ماهواره‌ها نیاز به یک سری آنتن‌های آرایه‌ای دیگر برای ارتباط با درگاه‌های زمینی (Gateway) نیز هستند و اگر این درگاه‌ها در دسترس نبود (مثلاً عبور ماهواره از روی اقیانوس‌ها)، باید با ماهواره‌های کناری تبادل اطلاعات داشته باشند. مباحث مربوط به زاویه آنتن‌ها، توان و دیگر مسائل توجه شده در این زمینه است. به دلیل استفاده از فناوری‌های آنتن آرایه‌ای شرایط استفاده مجدد از فرکانس (مشابه سیستم‌های سلولی) محیا می‌شود. هر ماهواره در ارتباط با گیت‌وی‌ها، می‌تواند دو پرتو با فرکانس یکسان به‌صورت راست‌گرد و چپ‌گرد، مخابره کند و با فرض ارتباط چهار ماهواره با یک گیت‌وی، هشت پرتو بین هر ماهواره و گیت وی ردوبدل می‌گردد.



شکل ۳. شیوه ارتباط یک ایستگاه زمینی با ۴ ماهواره به‌صورت هم‌زمان.

درگاه‌های زمینی معمولاً در مکان‌هایی وجود دارند که بارش باران‌های سنگین، به ندرت اتفاق می‌افتد زیرا بر کارایی سیستم تأثیر می‌گذارد همچنین یک دسته از دیش‌ها، به‌منظور ردیابی چندین ماهواره و چندین دیش اضافی دیگر در این درگاه‌ها وجود دارد تا در صورت نیاز و یا تعمیرات دیگر دیش‌ها، کارایی کاهش نیابد. یکی از وظایف گیت‌وی ها، تولید پرتوهای هدایت‌شده با گین بسیار بالا، جهت ارتباط با چندین ماهواره و تأمین لینک‌های اینترنتی موردنیاز اسپیس ایکس از شبکه جهانی نت است. همچنین درباره ترمینال‌های کاربری در استارلینک باید به این نکته توجه کرد که حداقل زاویه موردنیاز جهت ارتباط ترمینال کاربر با ماهواره، ۴۰ درجه است (درباره

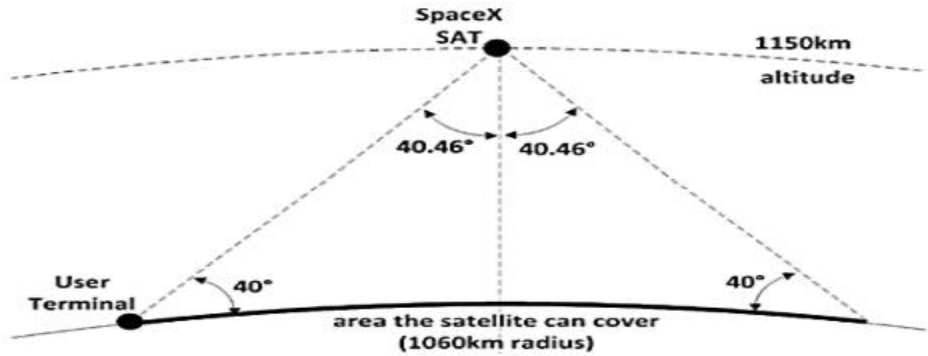
گیت‌وی‌ها هم صدق می‌کند).

۱,۲,۱,۳ موقعیت/وضعیت هر ماهواره/ایستگاه زمینی

در وب‌سایت این منظومه که وضعیتی آنلاین از ماهواره‌های استارلینک را نشان می‌دهد و سایت‌های مشابه می‌توان وضعیت ماهواره‌ها را به‌طور آنلاین مشاهده کرد. برای مثال طبق همین سایت‌ها، ماهواره‌هایی که در وضعیت ۵۳ درجه هستند، از آسمان ایران عبور می‌کنند. هرچند چون منظومه ناقص است، نمی‌توان درباره ماهواره‌های عبوری از آسمان ایران اظهارنظری کرد و چنانچه علاقه‌مند باشیم، باید کل منظومه را ازلحاظ مختلف مطالعه کنیم. همچنین در گوگل مپ قسمتی با عنوان گیت‌وی‌های استارلینک وجود دارد و نشان می‌دهد که در آمریکا، کانادا و استرالیا، این مکان‌ها وجود دارند. «**برای تعداد ۴۴۲۵ ماهواره اسپیس ایکس، ۱۲۳ درگاه زمینی با حدود ۳۵۰۰ آنتن برای دستیابی به بیشترین توان یعنی چیزی در حدود ۲۳,۷ ترا بیت بر ثانیه، محاسبه شده است**».

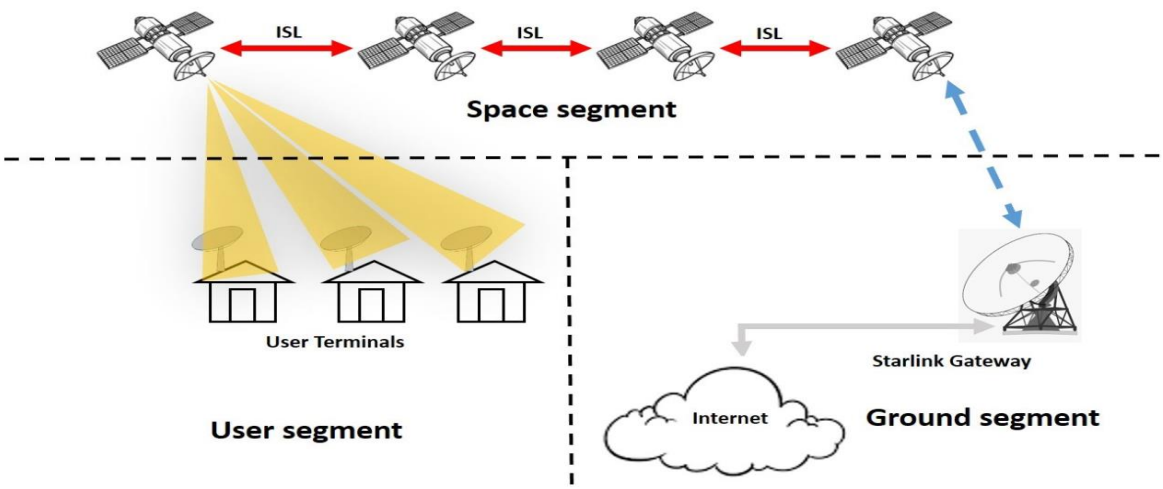
۱,۲,۱,۴ بررسی جنبه‌های مختلف استارلینک

پروژه استارلینک در طبقه‌بندی رادار پسیو، به‌حساب آورده می‌شود و به محاسبات برخی پارامترها به روش محاسبه پارامترهای ماهواره‌های GPS که به‌عنوان GNSS شناخته می‌شود، صورت می‌گیرد. استارلینک شبکه‌های سلولی در فضا مانند مخابرات سلولی زمینی، به وجود می‌آورد و هر آنتن یک ماهواره، به‌عنوان یک سلول در نظر گرفته می‌شود. اگر ماهواره در مدار ۱۱۵۰ کیلومتری باشد، توانایی پوشش شعاعی برابر ۱۰۶۰ کیلومتر روی زمین را دارد. البته این مقدار به ارتفاع، مدار کاری و غیره نیز وابسته است. در سیستم‌های GNSS نیز، تئوری ماهواره‌های زیاد در LEO مطرح است که در مقالات مختلفی در حال بررسی است. سیستم‌های GNSS در مدارات LEO نیاز به محاسبه شیفت داپلر دارند. برای رفع این مشکل از فیلتر کالمن گسترش‌یافته استفاده‌شده است. همچنین طبق محاسبات، توان مؤثر تابش ایزوتروپیک (EIRP) آنتن‌های استارلینک، حدود ۵۰ و چگالی قدرت شار مغناطیسی (PFD) در نزدیکی زمین برابر ۱۸۲,۲- خواهد بود. هرچند بسیاری از وضعیت‌های کلیدی مانند نحوه ارتباطات بین ماهواره‌ها در منظومه و چگونگی تغییرات مدارهای کاری شرح داده نشده و شرکت توضیحی ارائه نداده است. مسئله شیفت داپلر در ماهواره‌های مدار، LEO حائز اهمیت است زیرا این ماهواره‌ها بسته به ارتفاعشان نسبت به زمین، سرعت حرکت نسبی نسبت به زمین دارند.



شکل ۴. رابطه پارامترهای ماهواره‌های استارلینک در ارتباط با کاربر زمینی

برای مثال برای ماهواره‌های مدار ۵۰۰ کیلومتری، این سرعت برابر ۷٫۶ کیلومتر بر ثانیه است. اما تنها نباید سرعت نسبت به زمین را در نظر داشت، چراکه سرعت ماهواره‌ها در مدارهای گوناگون نیز مختلف است. این دو سرعت متفاوت باعث ایجاد دو مشکل می‌شود؛ یکی پویا بودن منظومه که احتمال برخورد بین ماهواره‌ای را افزایش می‌دهد و دومی شیفت داپلر است که مقدارش بیشتر از نمونه‌های زمینی خواهد بود که برای سیگنال‌های، RF استفاده از فیلتر جهانی چند حامل (UFMC)، مالتی پلکسینگ فرکانس تعمیم‌یافته (GFDM) و بانک فیلتر چند حامل (FBMC) جهت تقویت شکل موج نسبت به شیفت داپلر، پیشنهاد شده است.



شکل ۵ ارتباط میان ماهواره‌ای منظومه استارلینک و چگونگی استفاده از این برتری برای تبادل داده‌های کاربر.

۱,۲,۲ وان وب (OneWeb)؛

شکل ۶ منظومه وان وب به‌صورت شماتیک پیرامون محیطی زمین

۱,۲,۲,۱ ظهور مجدد

پس از موفقیت اولیه، مشکلات مالی گریبان گیر شرکت وان‌وب شد. این شرکت در ماه مارس ۲۰۲۰ به دلیل مشکلات مالی که به گفته شرکت درنتیجه همه‌گیری کووید-۱۹ پدید آمده بود، در دادگاهی در نیویورک اعلام ورشکستگی کرد. ورشکستگی وان‌وب فرصتی بود تا دولت انگلستان بتواند علاوه بر نجات یکی از شرکت‌های آینده دار کشورش، کنترل یکی از فعالان آینده ارتباطات ماهواره‌ای را به دست بگیرد.

۱,۲,۲,۲ منظومه وان وب

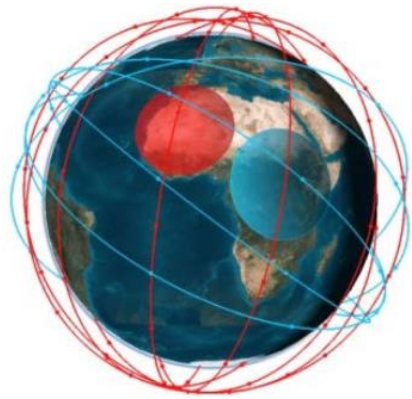
منظومه OneWeb شامل ۱۸ مدار دور زمین در ارتفاع ۱۲۰۰ کیلومتری است که ماهواره‌های خاص آن طوری تنظیم می‌شود که هیچ نقطه زمین بدون پوشش نباشد. محدوده فرکانسی ۱۰,۷-۱۲,۷ و ۱۴,۵-۱۲,۷۵ گیگ برای حالت ارسال به زمین و ۱۷,۸-۲۰,۲ گیگ برای ارسال از زمین است. وان‌وب هنوز در حال ساخت منظومه ماهواره‌ای خود برای ارائه اینترنت ماهواره‌ای است و امکان دسترسی به اینترنت این شرکت وجود ندارد. این شرکت در حال ساخت منظومه‌ای متشکل از ۶۵۰ ماهواره اینترنتی در مدار پایینی زمین است که تا به امروز چیزی در حدود ۶۰۰ ماهواره را در ۱۶

پرتاب به مدار زمین فرستاده است. به نظر می‌رسد طراحی منظومه به این نحو است که برای دریافت نیاز به دیش‌های ماهواره با قطری بین ۳۰ تا ۷۵ سانت است. انواع فناوری‌های مختلف هدایت امواج مانند آنتن‌های آرایه‌ای فاز نیز در OneWeb وجود دارد.

۱,۲,۲,۳ خدمات وان وب

وان‌وب خدمات خود را در اختیار مشتریان خرد قرار نمی‌دهد و با رویکرد تجاری (B2B) مشتریان شرکتی ازجمله ارائه‌دهندگان اینترنت را هدف گرفته است. بااین‌وجود در آینده شرکت‌های ارائه‌دهنده اینترنت می‌توانند با خرید پهنای باند از وان‌وب، آن را در اختیار مصرف‌کنندگان بگذارند.

۱,۲,۳ تِلِ سَت (TeleSAT)؛

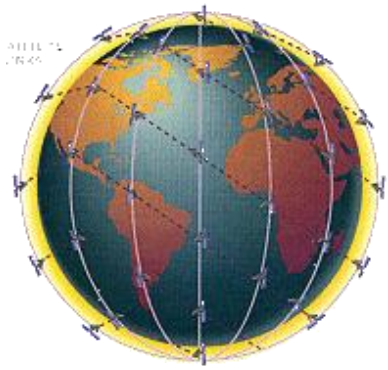


شکل ۷. منظومه تِلِ سَت به‌صورت شماتیک پیرامون محیطی زمین

Telesat در نظر دارد در دو فاز کاری، پرتاب و سرویس‌دهی کند؛ فاز اول ماهواره‌هایی که به دور مدارهای قطبی زمین می‌گردند و به‌منظور پوشش سراسری پرتاب می‌شوند، در کنار فاز دوم که حاوی ماهواره‌های مدارهایی خاص هستند که برای سرویس‌دهی در مناطق پرجمعیت‌تر زمین، پرتاب خواهند شد. ارتباطات بین ماهواره‌ای از طریق لینک‌های نوری بین ماهواره برقرار می‌شود و هر ماهواره به‌عنوان یک گره از IP شبکه شناخته می‌شود. سه ایستگاه مختلف نیز به‌منظور نظارت، کنترل و هدایت شبکه، تعبیه‌شده است (برای مثال یکی از ایستگاه‌های زمینی در اوتاوا کانادا مستقر شده است). پهنای باند انتقال از ماهواره به زمین برابر ۱,۸ گیگاهرتز (۲۰,۲-۱۷,۸ گیگاهرتز) و در حالت زمین به ماهواره برابر ۲,۱ گیگ

(۳۰-۲۷,۵ گیگاهرتز) است. دلیل بیشتر بودن پهنای باند حالت زمین به ماهواره در منظومه‌ها، احتمالاً به دلیل ارسال سیگنال‌های کنترلی از زمین است.

۱,۲,۴ ایریدیوم (Iridium)؛

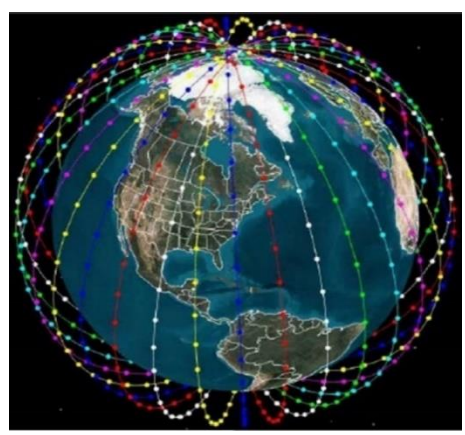


شکل ۸ .منظومه ایریدیوم به‌صورت شماتیک پیرامون محیطی زمین

شرکت آمریکایی مخابراتی ایریدیوم (Iridium) یا همان Iridium SSC، در اول نوامبر ۱۹۹۸ با حمایت مادی و تکنولوژیکی شرکت موتورولا در McLean ایالت ویرجینیا راه‌اندازی شد. این شرکت در ناوگان ماهواره‌ای خود از ۶۶ ماهواره فعال برای ارائه خدمات صوتی و ارتباطات دیتا بهره می‌برد به همین سبب پوششی منحصربه‌فرد و استثنایی برای مشترکین خدمات خود روی کره زمین فراهم می‌کند. البته تعداد ماهواره‌هایی که پیشتر مورد استفاده بودند ۷۷ عدد بوده، یعنی همان عدد اتمی عنصر ایریدیوم در جدول تناوبی و در حقیقت اسم شرکت نیز از همین عنصر برداشت‌شده است. در حال حاضر ماهواره‌های Iridium عنصری اساسی برای برقراری ارتباط باکمپ‌های علمی دور از دسترس، خصوصاً Amundsen Scott South Pole Station (ایستگاه تحقیقاتی Amundsen Scott در قطب جنوب) محسوب می‌شوند. در دسامبر ۲۰۰۶، آرایه‌ای متشکل از دوازده مودم Iridium آنلاین شدند و برای اولین بار خدمات دائمی دیتا را برای این ایستگاه فراهم نمودند. کل پهنای باند این خدمات ۲۸,۸ ثانیه/کیلوبیت است. سیستم Iridium برای تکمیل منظومه ماهواره‌ای خود به ۶۶ ماهواره فعال و چند ماهواره یدکی برای مواقع اضطراری نیاز دارد. ماهواره‌ها بر روی شش سطح Low Earth Orbital(LEO) قطبی و در ارتفاعی حدود ۴۸۵ مایلی زمین (۷۸۰ کیلومتری) قرارگرفته‌اند. این ماهواره برای رله کردن ارتباطات به/از ایستگاه‌های زمینی، از طریق لینک‌های بین‌ماهواره‌ای با ماهواره‌های هم‌جوار ارتباط دارند. اغلب این ماهواره‌ها در

اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی و قبل از ورشکستگی این شرکت به فضا پرتاب شده بودند. از زمان ورشکستگی این شرکت به این‌طرف، فقط ۷ ماهواره اضافی در مدار قرارگرفته اما منظومه‌ای ارتقاءیافته متشکل از ۶۶ ماهواره در حال حاضر مراحل توسعه خود را طی کرده است. پروژه به‌روزرسانی منظومه ایریدیوم به منظومه ایریدیوم نکست (Iridium NEXT) با صرف هزینه ۳ میلیارد دلار، بزرگ‌ترین پروژه به‌روزرسانی فناوری انجام‌شده در فضا محسوب می‌گردد. این منظومه در حال حاضر تنها شبکه ماهواره‌ای پهن باند با پوشش جهانی است. طی همکاری بلندمدت دو شرکت، شرکت مشاوره کمبریج، تیمی شامل بیش از ۱۰۰ مهندس را به توسعه فناوری خدمات پهن باند L ایریدیوم ملقب به سرتوس (Certus) اختصاص داد. فناوری توسعه‌یافته در همکاری دو شرکت منجر به توسعه ترمینال‌های دریافت داده کوچک‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌ای گشته که کاربردهای زیادی در اینترنت اشیا خواهد داشت. لازم به ذکر است که با ۷۵ اُمین ماهواره، منظومه ایریدیوم نکست در سال ۲۰۲۰ میلادی تکمیل شد اما دو شرکت همچنان قصد ادامه همکاری دارند.

۱,۲,۵ کوییپر (Kuiper)؛



شکل ۹. منظومه کوییپر به‌صورت شماتیک پیرامون محیطی زمین

کمسیون ارتباطات فدرال آمریکا (FCC) با آمازون برای پرتاب منظومه‌ی ماهواره‌ای‌اش موافقت کرد. این پروژه که کوییپر نام دارد، همانند استارلینک و شبکه وان‌وب قصد دارد خدمات اینترنت پرسرعت را در اختیار مشتریان سرتاسر جهان ازجمله نواحی دوردست و جدا افتاده از دنیای دیجیتال قرار دهد. آمازون برای این منظور با شرکت آمریکایی ای‌بی‌ال اسپیس (ABL Space Systems) توافقی را به انجام رسانده است تا دو ماهواره اول خود را به‌وسیله ماهواره‌بر RS1 این شرکت روانه مدار زمین کند. البته آمازون برای پرتاب‌های بعدی خود با شرکت آمریکایی ULA

(اختصار Alliance United Launch) قرارداد بسته است؛ توافقی که بر اساس آن ۹ پرتاب اول ماهواره‌های منظومه اینترنت ماهواره‌ای آمازون توسط ماهواره‌بر اطلس ۵ (Atlas V) به فضا ارسال می‌شوند. پروژه کوپیر (Kuiper) مدعی است که با مستقر کردن ۳۲۳۶ ماهواره در مدار پایینی به ارتفاع ۵۹۰ تا ۶۳۰ کیلومتری از سطح زمین به دور کره خاکی می‌چرخند، می‌توانند اینترنتی تا سرعت ۴۰۰ مگابیت بر ثانیه را در اختیار کاربران قرار دهد. این میزان بیش از تعداد تقریبی ۲,۶۰۰ ماهواره‌ٔ فعال کنونی در مدار زمین است. هرچند ماهواره‌های آمازون هنوز فاصله‌ای طولانی تا قرارگیری روی سکوی پرتاب دارند اما هنوز اطلاعاتی از قیمت احتمالی این خدمات در دست نیست. آمازون در ادامه توسعه منظومه کوپیر از ماهواره‌برهای سایر شرکت‌ها هم استفاده می‌کند؛ چراکه ماهواره‌های مذکور طوری طراحی‌شده‌اند که می‌توانند توسط طیف مختلفی از ماهواره‌برها به فضا پرتاب شوند .کمیسیون ارتباطات فدرال (Federal Communications Commission) ایالات‌متحده از آمازون خواسته است تا حداقل نصف ماهواره‌های منظومه کوپیر شامل ۱۶۱۸ ماهواره را تا ژوئیه ۲۰۲۶ در مدار قرار دهد. این شرکت سال گذشته میلادی از سرمایه‌گذاری ۱۰ میلیارد دلاری خود در پروژه کوپیر خبر داده بود.

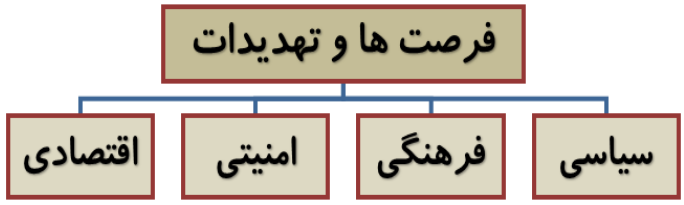
۲. روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق از نوع کاربردی و به روش زمینه‌ای- موردی و به‌صورت آمیخته (کمی و کیفی) انجام شده است. در رویکرد کمی از روش‌های زمینه‌یابی (پیمایش) و توصیفی استفاده شده است. نتایج پژوهش کاربردی و تصمیم‌گرا است و می‌تواند مورداستفاده تصمیم‌گیرندگان لشکری و کشوری قرار گیرد. فلمرو تحقیق ازنظر زمانی در بهار سال ۱۴۰۲ و پس از فرونشست رخداد کرونا، تغییر موازنه قدرت و دست برتر روسیه در جنگ اوکراین (فرونشست حمایت‌های تسلیحاتی و رسانه‌ای جبهه غربی به نسبت ماه‌های آغازین) و هم‌زمان با ناآرامی‌های داخلی کشور فرانسه که در چند بعد اختلاف طبقاتی، سیاست‌های مهاجرتی و تبعیض نژادی بررسی می‌شوند و چگونگی واکنش این کشور به نیازمندی در اعمال سیاست‌های کلان حکمرانی خود در گردش اطلاعات و شباهت آن با کشور خودمان است. ازنظر مکانی، با توجه به مفهوم منظومه‌ای و گستره پوشش دهی در جامعیت کل جغرافیای کره زمین را در برمی‌گیرد اما به لحاظ سخت‌افزاری این پوشش دهی اکنون در همه‌جا یکسان نیست. ازنظر موضوعی به بررسی فرصت‌ها و تهدیدات فناوری جدید استفاده از منظومه‌های ماهواره‌ای است اما چون منظومه‌های ماهواره‌ای کاربردهای متنوعی را در برمی‌گیرد و از تمامی آن‌ها اخبار و اسناد کاملی منتشر نمی‌شود در

این پژوهش منظومه استارلینک به دلیل ارائه خدمت پهن باند اینترنت و کامل بودن نسبی داده‌های آن به نسبت سایر منظومه، برای مقایسه و داشتن تحلیلی جامع در چهار بخش فرصت‌ها و تهدیدات، شامل اقتصادی، فرهنگی، سیاسی و امنیتی در کنار فعالیت خودجوش در چهار بعد موردنظر ما بهترین گزینه است. به دلیل گستردگی کاربری منظومه‌های ماهواره‌ای که عموماً در لایه LEO قرار می‌گیرند، تحلیل خود را بر روی منظومه‌های ارائه‌دهنده سرویس اینترنت پیش می‌گیریم، زیرا خدمات اینترنت رشد یافته‌ترین نوع خدمات است و تمامی خدمات ماهواره‌ای را در خود جای می‌دهد. جامعه آماری این تحقیق از مقالات داخلی و خارجی در داده‌های زیرساخت است اما برای شرایط و ویژگی‌های خدمت‌رسانی به اطلاعات بارگذاری شده بر روی وبگاه‌ها استناد می‌شود. همچنین از اطلاعات حوزه مختلف بازاریابی منظومه‌ها و مقایسه آن‌ها با سایر بازارهای داخلی را از مجموعه فضایی خصوصی کشور به‌عنوان رهنمودهای تحقیق استفاده‌شده است.

۳. تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

به‌طورکلی می‌توان یک پدیده تکنولوژیکی را مانند هر دستاورد دیگری هم‌زمان به‌عنوان تهدید و فرصت تلقی کرد. تلقی ما از فرصت و تهدید یک دستاورد بسته به نوع کاربری و برخورد ما در شرایط مختلف تعریف می‌شود. ازاین‌رو بخش‌های فرصت و تهدید را یکسان در نظر می‌گیریم و برای بررسی هریک از جنبه‌های آن‌ها به‌صورت جداگانه اقدام می‌کنیم. در ادامه فرصت‌ها و تهدیدات منظومه‌ها را به‌طورکلی در ۴ دسته به‌عنوان سرشاخه شامل؛ اقتصادی، فرهنگی، سیاسی و امنیتی بررسی می‌کنیم.



شکل ۱۰. اقسام مختلف عرصه‌های فرصت و تهدید

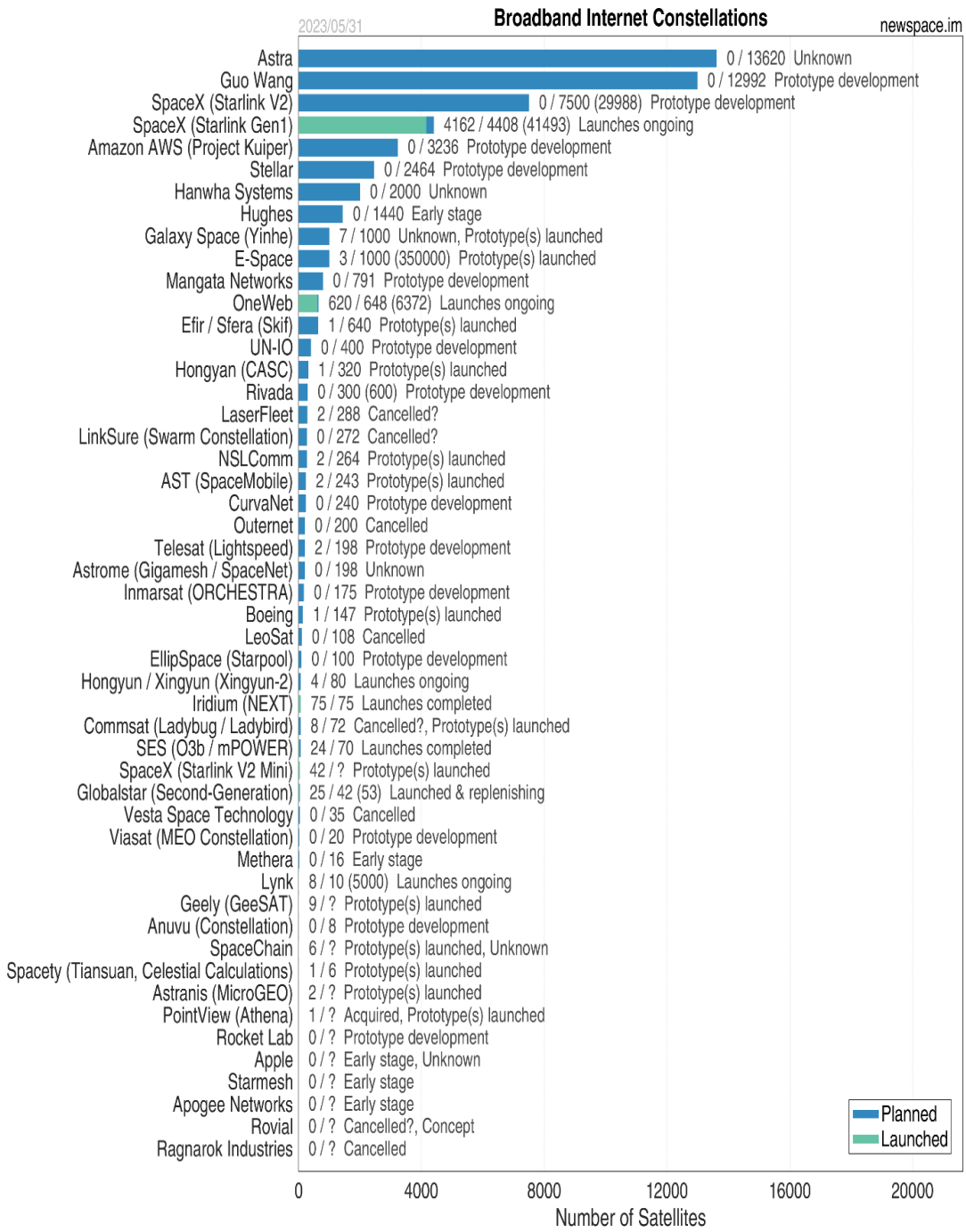
۳,۱. فرصت و تهدید اقتصادی منظومه‌های نوین (اینترنتی)

بازار صورت فلکی ماهواره‌های LEO بر اساس نوع و دسته‌بندی محصول به انواع و کاربردهای مختلف تقسیم می‌شوند. ازنظر ارزش و حجم، رشد بازار با ارائه نرخ رشد ترکیبی سالیانه برای دوره سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ پیش‌بینی و محاسبه می‌شود. در گزارش وب‌گاه marketwatch.com

روند توسعه صنعت صورت فلکی ماهواره LEO تجزیه‌وتحلیل می‌شود. در ادامه تجزیه‌وتحلیل بازار صورت فلکی ماهواره LEO برای بازارهای بین‌المللی ارائه‌شده است، همچنین روند توسعه، تجزیه‌وتحلیل چشم‌انداز رقابتی، وضعیت توسعه منطقه کلیدی، سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه و همچنین فرآیندهای تولید و ساختار هزینه موردبحث قرار می‌گیرد. مصرف واردات/صادرات، عرضه و تقاضا، قیمت، درآمد و حاشیه ناخالص نیز در این گزارش گنجانده‌شده است. این پژوهش بر روی بازیگران مهم این صنعت متمرکز است.

۳,۲. بازار منظومه‌ها

یکی از مهم‌ترین مزایای اینترنت ماهواره‌ای برای کسب‌وکارها، توانایی انتقال اتصال به هر نقطه از جهان با سرعت بسیار زیاد مگابیت در ثانیه بر روی مکان‌های دورافتاده مانند اقیانوس‌ها و کوه‌ها است. از سوی دیگر، یک لینک امن و خصوصی می‌تواند مکان‌های دورافتاده متعددی را که با فواصل قابل‌توجهی از هم جداشده‌اند، به هم متصل کند. به دلیل عدم وجود سایر جایگزین‌های اینترنت پهن باند، تقاضا برای بازار اینترنت ماهواره‌ای در مناطق روستایی در حال رشد است. علاوه بر این، اینترنت ماهواره‌ای می‌تواند دسترسی به اینترنت را در مناطق دورافتاده مانند بیابان‌ها و مناطق کوهستانی که دسترسی به پهنای باند دشوار است، فراهم کند که باعث افزایش تقاضا برای اینترنت ماهواره‌ای در این مناطق می‌شود. همچنین فناوری اینترنت ماهواره‌ای سرعت باورنکردنی را در اختیار مشتریان قرار می‌دهد، درنتیجه، اقتصادهای نوظهور مانند هند، ویتنام و مالزی به‌سرعت از این خدمات استفاده می‌کنند که به‌نوبه خود رشد بازار را تقویت می‌کند. گزارش بازار منظومه‌های ماهواره‌های LEO تجزیه‌وتحلیل دقیقی از اندازه بازار جهانی، اندازه بازار منطقه‌ای و کشوری، تقسیم‌بندی رشد بازار، سهم، چشم‌انداز رقابتی، تجزیه‌وتحلیل فروش، تأثیر بازیگران بازار داخلی و جهانی، بهینه‌سازی زنجیره ارزش، مقررات تجاری را در خود جای‌داده است. در کنار این‌ها به بررسی تحولات اخیر، تجزیه‌وتحلیل فرصت‌ها، تجزیه‌وتحلیل رشد استراتژیک بازار، راه‌اندازی محصول، گسترش بازار منطقه، و نوآوری‌های تکنولوژیکی در طول دوره پیش‌بینی (۲۰۲۳–۲۰۳۰) می‌پردازد.



شکل ۱۱: نمودار شرکت‌های فعال و در حال شروع برای خدمات‌دهی در عرصه اینترنت منظومه‌ای.

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید در نمودار بالا میزان کسب‌وکارهایی که جذب این بازار برای خدمات‌دهی شده‌اند باوجود محدود بودنشان در توسعه فناوری کم نیستند و رقابت را برای به دست آوردن جایگاه مطلوب خود به‌عنوان یک گزینه دور از دسترس نمی‌دانند. همان‌طور که گفتیم در بررسی فرصت و تهدید اقتصادی منظومه‌ها ما منظومه استارلینک را به دلیل اطلاعات منتشرشده به‌عنوان مرجع قرار داده‌ایم و باید دوباره یادآور شویم که منظومه‌های ماهواره‌ای تنها به ارائه خدمات اینترنتی خلاصه نمی‌شوند، تصاویر ماهواره‌ای یکی دیگر از این خدمات است که توسط شرکت‌های مختص به آن حوزه به‌منظور کاربری‌های متنوع ارائه می‌شوند.

۳,۳. طرح‌های استارلینک

استارلینک به‌عنوان مدل اقتصادی مرجع ما، درمجموع هفت طرح اینترنتی ارائه می‌کند، اما درواقع تنها پنج مورد آن برای اکثر کاربران کارایی دارد: Starlink Residential، Starlink Business، Starlink RV (اکنون Starlink Roam)، Starlink Mobility، و Starlink Maritime (که اکنون بخشی از Starlink Mobility در نظر گرفته می‌شود). سرعت دانلود برای این طرح‌ها از ۵ تا ۲۲۰ مگابیت در ثانیه با سطوح مختلف اولویت‌بندی داده‌ها بسته به برنامه و منطقه تحت پوشش شما متغیر است. سرویس خانه مسکونی Starlink یکی از مواردی است که اکثر کاربران دنبال آن هستند.

جدول ۱: مقایسه هزینه سرویس‌های استارلینک با سرویس‌های G۴ و G۵ برای اینترنت خانگی

ارائه‌دهنده	هزینه (هر ماه- دلار)	سرعت (مگابیت- ثانیه)	ظرفیت داده	تجهیزات و راه‌اندازی
استارلینک	۹۰-۲۵۰	۵۰-۲۲۰	نامحدود	۵۹۹-۲۵۰۰ یک‌بار هزینه راه‌اندازی خود راه‌انداز
T-Mobile(4G)	۵۰	۳۳-۱۸۲	نامحدود	۲۵۰۰
Verizon(5G)	۲۵-۷۰	۲۵-۱۰۰۰	نامحدود	۵۹۹-۲۵۰۰

اگر در جست‌وجوی یک اتصال خانگی باشید، احتمالاً تمام چیزی است که به آن نیاز دارید. قیمت این طرح Starlink به منطقه تحت پوشش شما بستگی دارد. اگر در منطقه‌ای زندگی می‌کنید که ظرفیت شبکه کم است (تعداد زیادی از مردم به‌طور هم‌زمان از آن استفاده نمی‌کنند)، ۹۰ دلار در ماه می‌پردازید که اگر در منطقه پرظرفیت Starlink هستید (که بیشتر مناطق پوشش دهی آن را تشکیل می‌دهد)، ۱۲۰ دلار پرداخت خواهید کرد. شما فقط هنگام ثبت‌نام متوجه خواهید شد که کدام‌یک را ثبت می‌کنید – یا زمانی که Starlink به شما می‌گوید که منطقه شما از یکی به دیگری تغییر کرده است. به‌طورکلی، سرویس خانه مسکونی Starlink یک طرح اینترنتی عالی است اما به یاد داشته باشید که در همه‌جا در دسترس نیست و شبکه Starlink می‌تواند کمی غیرقابل‌اعتماد باشد. اگر منطقه شبکه شما در حال حاضر بیش‌ازحد مالیات داشته باشد، یا اگر مشتریان Starlink Business یا Starlink Mobility در نزدیکی شما هستند، این بخش دو برابر می‌شود زیرا داده‌های آن‌ها نسبت به داده‌های استاندارد مسکونی Starlink شما اولویت دارد.

جدول ۲: طرح‌های اینترنت استارلینک.

طرح	هزینه (هر ماه– دلار)	سرعت (مگابیت– ثانیه)	تأخیر (میلی‌ثانیه)	هزینه تجهیزات (دلار)
خانگی (Residental)	۹۰-۱۲۰	۲۵-۲۲۰	۲۵-۵۰	۵۹۹
تجاری (Business)	۲۵۰-۱۵۰۰	بیشتر از ۲۲۰	۲۵-۵۰	۲۵۰۰
Roam	۱۵۰-۲۰۰	۵-۵۰	۲۵-۵۰	۵۹۹-۲۵۰۰
جابجایی (Mobility)	۲۵۰-۵۰۰۰	۲۲۰	۲۵-۵۰	۲۵۰۰
ناوبری (Maritime)	۲۵۰-۵۰۰۰	۲۲۰	بیشتر از ۱۰۰	۲۵۰۰

۳,۴. مقایسه هزینه سرویس‌های استارلینک با سرویس‌های G۴ و G۵ برای اینترنت خانگی

دو اپراتور ارائه‌دهنده اینترنت که از سرویس‌های G۴ و G۵ که به مشترکان خانگی خدمات ارائه می‌دهند (در اینجا منظورVerizon و T-Mobile است) در صورت دسترسی به خدمات ثابت گزینه‌های مناسب‌تری ازلحاظ ارزان بودن و کیفیت خدمات هستند اما درصورتی‌که قابل‌دسترس باشند و تنها نقطه‌ضعف ارائه‌دهندگان اینترنت خانگی Verizon و T-Mobile این است که آن‌ها مانند منظومه Starlink در همه‌جا در دسترس نیستند.

۳,۵. تفاوت سرمایه‌ای منظومه‌ها در لایه‌های مختلف در مقایسه با زمین

در گزارش ارائه‌شده توسط **Fact.MR**، بازار اینترنت ماهواره‌ای دارای پتانسیل عظیمی است زیرا ۷۳ درصد از صنعت فضایی جهان را در اختیار دارد و بر اساس داده‌های جدیدFact.MR ، بازار اینترنت ماهواره‌ای از ارزش بازار ۶ میلیارد دلار فراتر خواهد رفت و در دوره پیش‌بینی ۲۰۲۱-۲۰۳۱ با نرخ رشد ترکیبی سالیانه بیش از ۸ درصد گسترش خواهد یافت. طبق داده‌های سال ۲۰۲۰، حداقل ۴۰۰ کابل زیردریایی در سطح جهان، در حال خدمت‌دهی بوده و دراین‌بین کابل‌های فیبر نوری تقریباً ۹۹ درصد از کل فناوری ارتباطی لازم برای ترافیک داده بین‌المللی اینترنت را تشکیل می‌دادند، در ادامه بازار جهانی اینترنت ماهواره‌ای در سال ۲۰۲۲ به ارزش ۸۲۳۱,۴۷ میلیون دلار آمریکا برآورد شد و انتظار می‌رود که از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ شاهد نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR) ۱۳,۶ درصدی باشد.

۳,۶. قیمت‌گذاری و هزینه استفاده

قیمت‌گذاری به‌عنوان بخش مهمی برای ارائه خدمات اینترنتی به کاربران در نظر گرفته می‌شود. این قیمت‌گذاری بر اساس ترانزیت اینترنت بین‌المللی متفاوت است، که می‌تواند ۱ تا ۳ دلار در هر مگابیت در ثانیه (Mbps) در ماه برای مسیرهای برجسته بین‌المللی خدمات مبتنی بر زیردریایی باشد، درحالی‌که قیمت اینترنت ماهواره‌ای اختصاصی می‌تواند ۲۰۰ تا ۴۰۰ مگابیت بر ثانیه در هرماه باشد بنابراین، در حال حاضر، اینترنت ماهواره‌ای فقط برای مناطقی که دورافتاده، دارای جمعیت پراکنده و مکان‌هایی که استقرار فیبر نوری چالش‌برانگیز است مقرون‌به‌صرفه است. بااین‌حال، انتظار می‌رود ماهواره‌های آینده خدماتی را با هزینه کمتر ارائه دهند. به‌عنوان‌مثال، در مورد Starlink، هزینه اشتراک پیش سفارش ماهیانه ۹۹ دلار است که در کنار این می‌بایست یک سری سخت‌افزار

هم برای ایجاد زیرساخت اولیه خریداری کرد که هزینه را به ۴۹۹ دلار قیمت می‌رساند.

۳,۷. تأخیر، پارامتر اصلی در کیفیت سرویس

تأخیر برای مدارهای مختلف است به این صورت که برای لایه GEO به میزان ۴۴۷ میلی‌ثانیه، لایه MEO به میزان ۲۷-۴۴۷ میلی‌ثانیه، لایه LEO به میزان ۲-۲۷ است. در نسخه‌های جدیدتر ماهواره‌های GEO توان عملیاتی بالاتری (HTS) ارائه می‌شود، اما تأخیر همچنان به‌صورت قبل باقی‌مانده است این در حالی است که منظومه‌های ماهواره‌ای LEO به دلیل حضور در مدارهای پایینی به تعداد زیادی ماهواره برای پوشش دهی به‌منظور ارائه خدمات نیاز دارند به همین دلیل هر یک از آن‌ها منطقه کمتری را پوشش می‌دهند و در ۸۸-۱۲۷ دقیقه یک دور به دوره کره زمین می‌چرخند. این نزدیکی آن‌ها به زمین آن‌ها را قادر می‌سازد تا از مزیت تأخیر کم برخوردار شوند.

۳,۸. تفاوت ظرفیت‌های پهنای باند هر مدار

ظرفیت پهنای باندی که منظومه‌های ماهواره‌ای LEO قادر به ارائه آن خواهند بود، کمتر از ماهواره‌های موجود در مدار زمین‌ایستا با توان عملیاتی بالا است. در مدار GEO سنتی ظرفیت پهنای باند ۱-۱۰ گیگابیت در ثانیه (Gbps) است، توان عملیاتی بالا نسل اول محدوده‌ای در حدود ۵۰-۱۰ گیگابیت در ثانیه ارائه می‌دهد، درحالی‌که توان عملیاتی بالا نسل سوم حداکثر ۱۵۰-۳۵۰ گیگابیت بر ثانیه را ارائه می‌دهد. درحالی‌که منظومه‌های ماهواره‌ای نسل جدید ظرفیت ۱۰ گیگابیت بر ثانیه برای یک ماهواره را دارند که درمجموع تقریباً از یک‌رقمی به ۱۰ ثانیه ترابیت بر ثانیه می‌رسد. پیش‌بینی می‌شود تا پایان دهه سرعت اینترنت ماهواره‌ای به ۶۰ ترابیت بر ثانیه برسد.

۳,۹. شرایط فیبر و ماهواره

به‌طور مشابه، اینترنت فیبری حدود ۱-۱۰ گیگابیت بر ثانیه سرعت اینترنت را فراهم می‌کند. خدمات اینترنت ماهواره‌ای عمدتاً از خدمات پهنای باند Ku و Ka استفاده می‌کنند. فرکانس در هر یک از این باندها باهم متفاوت است که به همین علت سرعت‌های متفاوتی را فراهم می‌کند. درجایی که باند Ku از فرکانس ۱۲ تا ۱۸ گیگاهرتز استفاده می‌کند، باند Ka از فرکانسی در محدوده ۲۶,۶ تا ۴۰ گیگاهرتز استفاده می‌کند. درنتیجه با فرکانس بالاتر، پهنای باند بالاتری به وجود می‌آید که منجر به انتقال داده و عملکرد بالاتر می‌شود.

۳,۱۰. نیازمندی دولت به خدمات اینترنت ماهواره‌ای

افزایش برنامه‌های دولتی برای استفاده از خدمات اینترنت ماهواره‌ای پیشرفته برای توسعه اقتصاد

دیجیتالی و افزایش ایمنی و امنیت عمومی باعث رشد بازار می‌شود. بر این اساس، چندین دولت به‌طور قابل‌توجهی به شرکت‌ها برای ارائه خدمات پهنای باند به جمعیت روستایی در سراسر کشورهای نوظهور کمک مالی می‌کنند که این نیز عامل مهمی در تقویت رشد بازار محسوب می‌شود. به‌عنوان‌مثال، در ژانویه ۲۰۲۰، کمیسیون ارتباطات فدرال ایالات‌متحده (FCC) صندوق فرصت‌های دیجیتال روستایی را راه‌اندازی کرد تا ۲۰,۴ میلیارد دلار برای توسعه شبکه‌های باند پهن در مناطق دورافتاده ارائه دهد. کمیسیون ارتباطات فدرال ایالات‌متحده(FCC) ، ۸۸۶ میلیون دلار را در مرحله اول استقرار بهSpaceX ، یک شرکت ماهواره‌ای اعطا کرد. علاوه بر این، استفاده از پهنای باند ماهواره‌ای در شهرهای هوشمند برای ایجاد فرصت‌های سودآور بازار در آینده نزدیک پیش‌بینی می‌شود. بااین‌حال، هزینه‌های بالای پیاده‌سازی و نگهداری اینترنت ماهواره‌ای رشد این بازار را دچار اختلال می‌کند.

۳,۱۱. تجزیه‌وتحلیل تأثیر COVID-19

با پیدایش همه‌گیری COVID-19 به دلیل افزایش استفاده از اینترنت ماهواره‌ای در بین سازمان‌های دولتی و سازمان‌های بهداشتی برای ارتباطات در طول این اضطرار بهداشتی و نیاز روزافزون به انواع ارتباطات صوتی، داده‌ای و رسانه‌ای در سطح ملی و بین‌المللی، تأثیر مثبتی بر بازار گذاشت. در طول COVID-19، تقاضا برای خدمات شبکه‌های بی‌سیم افزایش یافت، به‌طوری‌که برخی از شرکت‌ها افزایش ۶۰ درصدی استفاده از اینترنت را نسبت به قبل از بحران نشان دادند. وزارت امنیت داخلی ایالات‌متحده (DHS) عملیات اینترنت ماهواره‌ای را به‌عنوان یکی از اجزای حیاتی زیرساخت‌های حیاتی موردنیاز برای سلامت عمومی، ایمنی و رفاه جامعه در طول پاسخ به بحران COVID-19 در نظر داشت. علاوه بر این، آژانس‌های فضایی بین‌المللی مانند ناسا از اینترنت ماهواره‌ای برای نمایش تغییرات جهانی ناشی از COVID-19 استفاده می‌کردند. پذیرش فناوری اینترنت ماهواره‌ای در چندین صنعت در طول همه‌گیری افزایش‌یافته است. به‌عنوان‌مثال، AT&T در طول همه‌گیری، ابتکارات مختلفی را برای ارائه محتوای اضافی به مشترکین ویدیوی خود بدون هزینه راه‌اندازی کرد. همچنین، خدمات بهداشت از راه دور مبتنی بر ماهواره به‌طور گسترده در طول همه‌گیری مورداستفاده قرار گرفت. به‌عنوان‌مثال، SES S.A، یک ارائه‌دهنده مخابرات ماهواره‌ای، از شبکه گسترده ماهواره‌های خود برای اتصال بیمارستان‌ها در بنگلادش، سیرالئون، مکزیک و ایتالیا استفاده کرد. همچنین، در طول همه‌گیری، Viasat انواع فن‌آوری‌های بهینه‌سازی و شتاب‌دهنده وب را برای

به حداقل رساندن ترافیک پهنای باند با اولویت دادن بـه دسترسـی بـه برنامـه‌هـای کـاربردی حیـاتی سلامت بر ازدحام شبکه غیرضروری توسعه داد.

۳,۱۲. افزایش تقاضا برای خدمات مبتنی بر LEO.

در کشورهای صنعتی، تقاضای فزاینده‌ای برای پهنای باند کم‌هزینه و پرسرعت با ظرفیت بالاتر برای داده‌های سازمانی (خرده‌فروشی، بانکداری)، بخش انرژی (نفت، گاز، معدن) و دولت‌ها وجـود دارد. درنتیجه، تقاضا برای پهنـای بانـد مقـرون‌بـه‌صـرفه در میـان مصـرف‌کننـدگان فـردی در کشـورهای درحال‌توسعه و مکان‌های دورافتاده‌ای که ممکن است اتصال اینترنتـی نداشـته باشـند، افـزایش‌یافتـه است. سرمایه‌گذاری در صورت فلکی LEO توسط این انتظارات بازار انجام می‌شود. علاوه بر ایـن، کشورهای صنعتی تمایل زیادی به اینترنت کم‌هزینه و پرسرعت دارند و اگر تمام‌صورت‌هـای فلکـی LEOپیشنهادی موفقیت‌آمیز باشند، ممکن است عرضه بیشتر از تقاضای پیش‌بینی‌شده وجود داشـته باشد که قیمت هر مگابیت را کاهش می‌دهد.

۳,۱۳. سیاست‌های دولت

توسعه اکوسیستم و بازار ماهواره LEO به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر سیاست‌هـای دولتـی در سطح ملی و بین‌المللی است. در ایالات‌متحده، قوانینی وجود دارد کـه بـر پرتـاب و ورود مجـدد ماهواره‌ها در طیف و همچنین سنجش از راه دور حاکم اسـت. اپراتورهـا علاقـه خـود را بـه ایجـاد مقرراتی نشان داده‌اند که امنیت سـرمایه‌گـذاران را تـأمین کنـد، امـا نگرانـی‌هـایی در مـورد الزامـات طاقت‌فرسا وجود دارد که کسب‌وکارها را مجبور می‌کند از یک حوزه قضایی به حوزه قضـایی دیگـر نقل‌مکان کنند. ازآنجایی‌که زمان‌بندی نقش‌های اپراتور و سیاست‌گذار غالباً منطبق نیست و ازآنجاکـه ایجاد توافق‌های جامعه بین‌المللی مستلزم کار زیادی است، ایجـاد قـوانین و مقـررات بـرای صـنعت فضایی تجاری به‌سرعت در حال ظهور برای آینده قابل پیش‌بینی مشـکل خواهـد بـود. شـرکت‌هـای کلیدی و اصلی فعال در بازار اینترنت ماهواره‌ای عبـارت‌انـد از Freedomsat، Singtel Group، Eutelsat ،Thuraya Telecommunications Company ،EchoStar Corporation ،Communications SA ،OneWeb.net ،SpaceX ،Viasat ،Inc. ،Axess، و DSL Telecomو... هستند. این کسب‌وکارها برای گسترش عرضه محصولات خـود، چنـدین اسـتراتژی توسعه مانند مشارکت، ادغام منظم و اکتساب را اتخاذ می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، در اکتبر ۲۰۲۲، Axess همکاری با Viasat را اعلام کرد، عملیات دریایی Viasat به دلیل ارتباط استراتژیک با AXESS

Maritime که راه‌حل‌ها و خدمات متنوعی را ارائه می‌دهد، می‌تواند بـه مخاطبـان جهـانی بیشـتری دست یابد. AXESS Maritime شبکه‌های منطقه‌ای و بین‌المللی را ارائه می‌دهد و چرخه‌ای کامل را از زیرساخت شبکه، استقرار، پیاده‌سازی، نظارت بر کشتی و پشتیبانی شبانه‌روزی جهانی NOCبه کاربران ارائه می‌دهد.

۳,۱۴. گزارش بازار اینترنت ماهواره‌ای

جدول زیر خلاصه‌ای از گزارشی بالا مبنی بر گردش مالی بازار اینترنـت مـاهواره‌ای بـر مبنـای سـال ۲۰۲۲ است.

جدول ۳: خلاصه‌ای از گزارشی بالا مبنی بر گردش مالی بازار اینترنت ماهواره‌ای.

گزارش ویژگی	جزئیات
اندازه ارزش بازار در سال ۲۰۲۳	۹,۲ بیلیون دلار آمریکا
پیش‌بینی درآمد در سال ۲۰۳۰	۲۲،۵۷۱,۵۸ میلیون دلار آمریکا
نرخ رشد	نرخ رشد سالانه مرکب ۱۳,۶٪ از ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰
سال پایه برای برآورد	۲۰۲۲
داده تاریخی (گذشته)	۲۰۱۷–۲۰۲۱
دوره پیش‌بینی	۲۰۲۳–۲۰۳۰
واحدهای کمی	درآمد به میلیون دلار و نرخ رشد سالانه مرکب از ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰
محتوای بررسی‌شده در گزارش	پیش‌بینی درآمد، رتبه‌بندی شرکت‌ها، چشم‌انداز رقابتی، عوامل رشد و روندها
بخش‌های محتوای بررسی‌شده	باند فرکانس، صنعت، منطقه
محدوده منطقه‌ای	آمریکای شمالی؛ اروپا؛ آسیا و اقیانوسیه؛ آمریکای لاتین؛ خاورمیانه و آفریقا
محدوده کشورها	ایالات‌متحده؛ کانادا؛ انگلستان.؛ آلمان؛ فرانسه؛ ایتالیا؛ چین؛ هند؛ ژاپن؛ کره جنوبی؛ برزیل؛ مکزیک
شرکت‌های کلیدی معرفی‌شده	Singtel Group; Freedomsat; EchoStar Corporation; Thuraya Telecommunications Company; Eutelsat Communications SA; OneWeb.net; SpaceX; Viasat, Inc.; Axess; DSL Telecom

۱۵ اقدام برای کاهش هزینه ارائه خدمات

بسیاری از کارشناسان معتقدند که هزینه‌های پرتاب باید هدف اصلی کاهش هزینه در منظومه‌های ماهواره‌ای مدار LEO باشد و مالکان مطمئناً مایل به کاهش آن هستند. ارائه‌دهندگان راه‌اندازی باید هر اهرم کاهش هزینه موجود را بکشند. علاوه بر کاهش هزینه مواد و ساخت، آن‌ها باید هزینه‌های عملیاتی خود را کاهش دهند و این نیاز به حداکثر رساندن صرفه‌جویی در استفاده مجدد از تجهیزات در هر پرتاب دارد.

۳,۱۵,۱. هزینه راه‌اندازی تجهیزات زمینی برای هر یک از مدارهای LEO و GEO.

همان‌طور که در بخش فناوری گفته شد، منظومه‌های ماهواره‌ای مدار LEO حتی با ارتباطات بین ماهواره‌ای با ظرفیت بالا همچنان به ایستگاه‌های زمینی زیادی نیاز دارند. طبق یک برآورد، نسخه ۴۴۰۰ عددی ماهواره‌های Starlink به ۱۲۳ مکان ایستگاه زمینی و حدود ۳۵۰۰ آنتن دروازه برای دستیابی به حداکثر توان عملیاتی نیاز دارد. دروازه‌های فعلی برای ارتباطات ماهواره‌ای GEO بسیار گران هستند (معمولاً هرکدام از ۱ میلیون دلار تا ۲ میلیون دلار). اعداد نشان می‌دهند که هزینه‌های دروازه باید بسیار کمتر از هزینه‌های دروازه‌هایLEO باشد. برای قابل مدیریت کردن هزینه‌های بخش زمینی طراحی آنتن‌های مدولار می‌تواند کمک کند، زیرا این آنتن‌ها کاهش هزینه‌ها را به همان اندازه در آنتن‌های تجهیزات کاربر ممکن می‌سازند، اما صاحبان منظومه‌های ماهواره‌ای مدار LEO به دنبال کارایی‌های دیگری نیز هستند.

۳,۱۵,۲. کاهش هزینه خدمات نگهداری و دفع

یک منظومه ماهواره‌ای مدار LEO هم در ابتدا و هم در حین نگهداری به ۳ تا ۴۰ پرتاب در سال نیاز دارد (بسته به‌اندازه صورت فلکی و نوع موشک). برای اپراتورهای منظومه ماهواره‌ای –حتی آن‌هایی که موشک‌های خود را می‌سازند– این هزینه‌های پرتاب قابل‌توجه خواهد بود. برای اطمینان از یک کسب‌وکار بادوام، ارائه‌دهندگان پرتاب احتمالاً باید هزینه چرخش مداری را به کمتر از ۲۰۰۰ دلار در هر کیلوگرم کاهش دهند. همچنین این شرکت‌ها باید برنامه‌های پایان عمر برای صورت‌های فلکی خود را داشته باشند. بااین‌حال، بسیاری از آن‌ها فاقد استراتژی برای رسیدگی به خرابی‌های پیش‌بینی‌شده یا غیرمنتظره در مدار هستند. نگرانی در مورد چنین مسائلی می‌تواند تقاضا برای یک بازار کاملاً جدید برای یافتن ماهواره‌ها و خارج کردن آن‌ها از مدار ایجاد کند.

۳,۱۶ مخابرات زمینی و ماهواره‌ای: تعادل همکاری در برابر رقابت

به دلیل هزینه بسیار بالا استقرار زیرساخت‌های شبکه بک هال سنتی در مناطق روستایی و دورافتاده برای اپراتورهای زمینی، تا همین اواخر از خدمات ارتباط ماهواره‌ای بیشتر به‌عنوان مکمل مخابرات زمینی استفاده می‌شد. اپراتورهای مخابرات ماهواره‌ای می‌توانستند برای جوامع حاضر در دورافتاده‌ترین نقاط و مناطقی که فاقد زیرساخت مخابراتی هستند، پوشش ارتباطی ارائه دهند. ارائه خدمات مخابرات زمینی برای کاربران روستایی که اغلب درآمد متوسط ماهانه پایین دارند؛ بازگشت سرمایه در مدت‌زمان معقول پنج‌ساله، با توجه به هزینه اولیه راه‌اندازی و خدمت‌رسانی مستمر سازمان‌های ارائه‌دهنده خدمات در ساخت یک شبکه روستایی را نمی‌توانست تضمین کند بنابراین کم‌هزینه‌ترین راه گذر از این چالش‌ها، مشارکت اپراتورهای ارتباط زمینی با ماهواره‌ای به‌عنوان پشتیبان بود. این تعادل به‌طور بالقوه با افزایش انتظارات برای اینترنت پهن باند و بهبود پوشش دهی ارتباطات صوتی در مناطق توسعه‌یافته و یا درحال‌توسعه روستایی و حومه شهر می‌تواند تغییر کند. این رویداد توانایی کمک به حضور نگرش اتصال به ماهواره به‌عنوان یک راه‌کار ارتباطاتی، در چندین بازار را دارد. طبق گزارش اندازه‌گیری عددی توسعه دیجیتال ITU استفاده از پهنای باند بین‌المللی در سال ۲۰۲۱ با ۳۰ درصد رشد، شتاب گرفت و به عدد ۹۳۲ ترابیت در ثانیه رسیده بود. هم‌زمان با این افزایش تقاضا، نوآوری‌هایی مانند ساخت ماهواره با توان بسیار بالا (UHTS) و سیم‌کارت‌های الکترونیکی (ESIM) در صنعت ارتباطات ماهواره‌ای در حال رخ دادن است. این نوآوری‌ها نشان‌دهنده افزایش چشمگیر، محبوبیت استقرار شبکه‌های غیرزمینیِ (NTN) ماهواره‌های لایه (LEO) را نشان می‌دهند که توسط مجمع جهانی اقتصاد به‌عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی در پر کردن شکاف دیجیتالی در نظر گرفته می‌شوند. در انتهای این مسیر، همیاری روزافزون صنعت ارتباطات ماهواره‌ای برای گسترش ارتباطات پهن باند در دهه آینده انتظار می‌رود.

۳,۱۷. نقش در حال تکامل ارتباطات ماهواره‌ای

امروزه، سیستم‌های ارتباطی مدار زمینی (GEO) نقش ارزشمندی در ارائه اتصال و ارتباطات ESIM به بخش‌های هوانوردی، دریایی و زمینی در کنار خدمات تکمیلی مانند: پخش تلویزیونی، ردیابی از راه دور و دسترسی به پاسخ حیاتی، ایفا کرده‌اند. خدمات ارتباطات ماهواره‌ای با ارائه بک هال با ظرفیت پهنای باند بالا برای پشتیبانی از شبکه ارتباطات زمینی، در حال حرکت به سمت تکامل و توسعه است. ازاین‌رو به دلیل استقرار اغلب کارگاه‌های صنایع گوناگون در نقاط دوردست

و دسترسی دشوار به پهنای باند زمینی، خدمات ماهواره‌ای با نقطه قوت و منحصربه‌فرد پوشش همه‌جانبه و قابل‌اعتماد خود در بهترین موقعیت برای ارائه سرویس قرار می‌گیرد. با افزایش تعداد ماهواره‌ها با ساختار عملیاتی توان بالا (HTS) که جایگزین ماهواره‌های ارتباطات ماهواره‌ای قدیمی می‌شوند، اپراتورهای خدمات ماهواره‌ای توانایی‌های خود را به‌صورت ویژه‌تر نشان می‌دهند در این صورت انتظار رشد صعودی به میزان ۸۹۰۰۰۰ پیوند بک‌هال تا سال ۲۰۲۷ می‌رود که نشان‌دهنده معیار نرخ رشد سالانه این سرمایه‌گذاری به میزان ۲۱,۵ درصد است. در حال حاضر برای خدمات ارتباطات ماهواره‌ای یک فرصت طلایی در بازار وجود دارد که علیرغم افزایش تقاضا برای اتصال به پهنای باند بهتر، تنها کمی بیش از نیمی از ساختمان‌های جهان در اواسط سال ۲۰۲۱ به خدمات پهن باند ثابت، بی‌سیمی یا ماهواره‌ای متصل بودند که از این حیث، شکافی در بازار خدمات ارتباطات و سرویس‌های پهنای باند بالا برای اماکن و اجتماعات به وجود آمده است. به تخمین تحقیقات صورت گرفته توسط ABI تا سال ۲۰۲۶، ۵۸۰ میلیون نفر توسط تلفن همراه، ۱۴۰ میلیون محل با دسترسی بی‌سیم ثابت (FWA) و ۹۶۶ میلیون محل توسط فیبر نوری بدون پوشش باقی خواهند ماند. این شکاف بازار، در کنار بازار رو به رشد دفاتر اداری و خانگی کوچک و بازار خانه‌های مشتریان، هدف کمّیِ بسیار زیادی برای اپراتورهای ارائه‌دهنده خدمات ماهواره‌ای فعلی لایه GEO مانند یوتلست، خدمات شبکه Hughes و Viasat، در میان سایر اپراتورهای ماهواره‌ای این لایه، همراه با ارائه‌دهندگان خدمات از مدار LEO، مانند Starlink و OneWeb است. در ادامه بررسی‌های تخمینی ABI، با توجه به رشد جمعیت جهان و ساخت‌وساز ساختمان‌ها، توسعه‌یافته و درحال‌توسعه، این برداشت می‌شود که بازار آدرس پذیر برای خدمات ماهواره‌ای که به‌عنوان یک‌خانه یا دفتر کوچک تعریف می‌شوند، اگر درآمدی داشته باشند تا بتواند حق اشتراک خدمات ارائه‌شده توسط اپراتورهای ماهواره‌ای را بپردازند درصورتی‌که مشترک فیبر نباشد، ثابت است. همچنین برداشت می‌شود که ارائه خدمات مبتنی بر بی‌سیم یا DSL تا سال ۲۰۲۶ به ۳۳۰ میلیون محل، معادل ۱,۳ میلیارد عضو خانواده افزایش می‌یابد. علاوه بر رشد جمعیت و ساخت‌وساز ساختمان‌ها در مناطق روستایی و شهرهای کوچک دورافتاده، پذیرش خدمات ماهواره‌ای نیز با افزایش تقاضای داده، اپراتور و تمرکز تنظیم‌کنندگان قوانین رادیویی برای گسترش دسترسی به شبکه و هزینه کمتر اینترنت ماهواره‌ای مواجه شده است. اگرچه اپراتورهای ارائه‌دهنده خدمات ماهواره‌ای لایه LEO شتاب زیادی از تبلیغات به دست آورده‌اند اما هنوز چیزهای زیادی برای اثبات دارند. شرکت‌هایی مانند استارلینک با حدود ۳۰۰۰ ماهواره در مدار LEO و بیش از ۲۵۰۰۰۰ کاربر

خدماتی، شروع به دستیابی به سهم خود از بازار کرده است. با پیگیری پرونده‌های ITU شرکتِ SpaceX، پی می‌بریم که این شرکت بیش از ۴۲۰۰۰ ماهواره را به‌عنوان هدف برای سرویس‌دهی در نظر دارد. استارلینک در سال ۲۰۲۱ سرعت دانلود متوسط ۱۰۵ مگابیت بر ثانیه درحالی‌که اپراتورهای سات کام GEO مانند Hughes Network Systems و Viasat توان عملیاتی تبادل داده خودشان را در محدوده ۲۰ تا ۲۵ مگابیت در ثانیه گزارش کردند. بسیاری از ارائه‌دهندگان خدماتی ماهواره‌ای لایه GEO در رقابت به حضور Starlink با پرتاب ماهواره‌ها با سرعت و ظرفیت بالاتر در حال حرکت به‌سوی بهبود وضعیت سرویس‌دهی خود هستند. این ارقام برای استارلینک نامناسب نیست، بااین‌حال، هزینه خدمات در محدوده ۱۱۰ تا ۲۰۰ دلار در ماه است و سرعت شبکه به‌هیچ‌وجه به‌اندازه سرعت و قیمت آنچه در بازار پهنای باند زمینی ارائه می‌شود، نیست. برای مثال، فیبر و دسترسی بی‌سیم ثابت، سرعت دانلود متوسطی را از ۱۴۰ مگابیت بر ثانیه تا ۱۸۴ مگابیت در ثانیه ارائه می‌کنند. از این نظر، حداقل تا به امروز، پاسخ به هرگونه گمانه‌زنی در مورد نفوذ Starlink به بازار اصلی پهنای باند باید «نه» باشد. اپراتورهای ارائه‌دهنده خدمات ماهواره‌ای قرار است نقش برجسته‌تری درروند گسترش اتصال به پهنای باند بالا جهان ایفا کنند. آن‌ها می‌توانند شکاف دیجیتالی ایجادشده و رشد اقتصادی را برای جوامع گوناگون در بازارهای توسعه‌یافته و نوظهور پر کنند. بهبود اتصال شبکه به این جوامع ابزاری برای دسترسی به اطلاعات و خدمات بهداشتی، آموزشی، بانکی، مالی و غیره می‌دهد. طبق گزارش بانک جهانی و تحقیقات موسسه ABI با عنوان اهداف بازارهای نوظهور: الزامات طیف؛ افزایش ۱۰ درصدی در دسترسی به خدمات پهنای باند می‌تواند اقتصاد و تولید ناخالص داخلی یک کشور را ۱٫۳۸ درصد در بازارهای نوظهور و ۱٫۲۱ درصد در بازارهای توسعه‌یافته تقویت کند. درحالی‌که بعید به نظر می‌رسد خدمات ماهواره‌ای هرگز بتواند مستقیماً با فیبر و دسترسی بی‌سیم ثابت رقابت کند امّا همچنان به دلیل چالش‌های زیرساختی و غیرعملی بودن رفع تمامی نیازهای مالی استقرار خطوط ثابت در تمامی نقاط، تنها ابزار عملی برای ارائه اتصال دیجیتال در مناطق دورافتاده و روستایی و همچنین شرکت‌های عمودی حتی به‌عنوان بک هال اتصالات بی‌سیم ثابت، باقی خواهد ماند. علاوه بر این شرکت‌های خدمات ماهواره‌ای با اهداف عظیمی همچون ارائه خدمات اتصال به یک شبکه گسترده منطبق بر هم برای کاربردهای متنوع ازجمله پوشش دهی G۵، در نسل سوم پروژه مشارکتی (GPP۳) ادغام‌شده‌اند. به همین دلیل اپراتورها می‌توانند با بهره‌گیری از این زرادخانه که مملو از

راهکارهای متنوع برای سرویس‌دهی بر بستر زیرساخت بی‌سیم (G۵ زمینی و پوشش ماهواره‌ای) است، کیفیت و کمیت ارائه خدمات پهنای باند فراگیر به جمعیت شهری، محروم و بدون خدمات را بهتر کنند. فناوری‌های نوین نقش بارزی در دگرگونی تمدن انسان و تکوین یک جهان‌بینی جدید بر عهده داشته و تحول را از دوران باستان به عصر صنعت و سپس الکترونیک می‌کشانند. فناوری‌های نوظهور با رشد سریع خود ماهیت تعاملات میان دولت‌ها و کنشگران نظام بین‌الملل را تغییر داده‌اند.

۳,۱۸ فرصت و تهدید سیاسی (حاکمیتی) منظومه‌های نوین (اینترنتی)

در تحلیل فرصت‌ها و تحلیل‌های حوزه‌های حاکمیتی نمی‌توان تحلیلی مستقل از شرایط حاکم بر اقتصاد آن‌ها ارائه کرد زیرا در صورت نداشتن شرایط پایدار اقتصادی در یک حوزه نمی‌توان فرصت پایداری را برای حاکمیت در نظر گرفت. این ناپایداری ازآنجا نشات می‌گیرد که اگر مصرف‌کنندگان یک فناوری در سایه نظارت حاکمیت خود نباشند، تهدید و فرصت بودن این پدیده در دست مدیران خدمات دهنده آن فناوری است. به‌این‌ترتیب که اگر واقعه‌ای در کشوری که حاکمیت آن ازنظر عقیدتی نزدیک به مدیران آن فناوری باشد، از تمامی تهدیداتی که مختص به آن فناوری است در اشاعه سطح خطر آن واقعه جلوگیری می‌شود و اگر این واقعه در کشوری با اهداف و عقاید مخالف آن‌ها باشد به‌یک‌باره تمامی تهدیدات آن فناوری در یک‌لحظه به ضرر آن حاکمیت استفاده می‌شود. از مثال‌های این اتفاق می‌توان به ناآرامی‌های اواخر تابستان و اواسط پاییز در ایران اشاره کرد که سرویس ماهواره‌ای منظومه استارلینک به‌منظور خدمت‌رسانی به عوامل داخلی و فراهم کردن بستر انتقال محرک‌های گوناگون ازجمله اخبار خاص، مجوز رفع تحریم این خدمات-در اوج شرایط تحریم فناوری- را از کنگره دریافت و شرایط خدمت‌رسانی منظومه خود را برای پوشش ایران فراهم کرد. هرچند اعلام رسمی مبنی بر استفاده و خدمت‌دهی به ایستگاه‌های زمینی داخل ایران از مدیران اصلی مجموعه اسپیس ایکس منتشرنشده است اما هیچ دلیلی هم مبنی بر رد این اتفاق وجود ندارد. از اتفاقات دیگر این حوزه-تاثیر هم‌سو بودن اهداف تصمیم‌گیریان حاکمیت‌ها و سیاسیون کشورها- می‌توان به اتفاقات اخیر در کشور فرانسه اشاره کرد. این روزها که اخبار درگیری پلیس با شهروندان به گوش می‌رسد دولت برای کنترل آشوب در نظر دارد امکان برقراری ارتباط میان آن‌ها را سلب کند اما این محدودیت که جغرافیایی اعمال می‌شود در تمامی سرویس‌های زمینی (کابل مسی و فیبر نوری) و هوایی (نسل چهار، پنج و پوشش ماهواره‌ای) اعمال می‌شود. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که در صورت پدید آمدن تکنولوژی و استفاده از آن‌ها باید عقاید و افکار پدیدآورندگان آن‌ها را به‌عنوان یک پارامتر اساسی در نظر گرفت.

۳,۱۹ فرصت و تهدید امنیتی منظومه‌های نوین (اینترنتی)

امنیت به مفهوم عام به معنای حفاظت از هرگونه موجودیت دارای ارزش و نبود هرگونه تهدید است و چنانچه این موجودیت‌های باارزش و عدم تهدید در حوزه جغرافیای و در داخل مرزهای یک کشور پدیدار گردد مفهوم امنیت ملی را شکل می‌دهد. استفاده از فضا به بخشی مهم در امنیت ملی و ثبات بین‌المللی تبدیل‌شده است. علاوه بر این، امنیت و ثبات فضا با تهدیدهای بی‌شماری روبرو است که ممکن است به دست انسان یا طبیعت و به دلایل مختلف روی دهد. با گسترده شدن فناوری فضایی، نگرانی‌های امنیتی در مورد کاربرد دوگانه استفاده از آن افزایش‌یافته است. این نگرانی‌ها به اعتبار برنامه‌های فضایی ملی، به تقویت جایگاه کشورها در پویایی امنیت منطقه‌ای کمک کرده و بر محاسبات امنیتی بین‌المللی تأثیر بگذارد. کاوانا در مقاله «فناوری جدید، تهدیدها و چالش‌های جدید حاکمیت: فرصتی برای ارائه پاسخ‌های دقیق‌تر» تهدیداتی را به شرح ذیل در حوزه فناوری فضایی مطرح نموده است

۱. دولت‌ها به‌طور فزاینده‌ای اقتصاد فضایی را به‌عنوان منبع جدیدی از قدرت می‌بینند و این امر رقابت استراتژیک را در زمان افزایش تنش‌های ژئوپلیتیک پیش می‌برد. این واقعیت‌نگرانی را در مورد شکاف‌های مربوط به فناوری و سؤالات دسترسی عادلانه به مزایای فعالیت اقتصادی در فضا، تشدید می‌کند.
۲. این واقعیت که نظامیان مدرن تا حد زیادی به سیستم‌های ماهواره‌ای اعتماد می‌کنند به این معنی است که این دارایی‌های فضایی به اهداف بالقوه تبدیل‌شده‌اند. این نکته به‌ویژه برای سیستم‌های ناوبری مدرن و احتمال فزاینده‌ای که ممکن است GPS یا سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی در معرض اختلال یا تخریب قرار گیرد، یک نکته مهم است.
۳. فراتر از نگرانی‌های امنیتی فوق، آسیب‌پذیری در سیستم‌های رایانه‌ای ماهواره و فضاپیما می‌تواند اهداف بالقوه‌ای برای حملات سایبری توسط دولت‌ها، گروه‌های نیابتی آن‌ها یا گروه‌های تروریستی باشد و این نگرانی فزاینده وجود دارد که بازیگران دولتی می‌توانند از قابلیت‌ها یا عملیات تهاجمی سایبری به‌عنوان بخشی از ابزارهای ضد ماهواره خود استفاده کنند.

در تحلیل فرصت‌ها و تحلیل‌های حوزه‌های حاکمیتی همچون حوزه‌های قبلی (اقتصادی و سیاسی) نمی‌توان تحلیلی مستقل از شرایط حاکم بر اقتصاد و هم‌سو یا در تضاد بودن بینش حاکمان منطقه

مصرف‌کننده با پدیدآورندگان این تکنولوژی و محل استقرار کسب‌وکار آن‌ها ارائه کرد. توانایی اقتصادی بزرگ‌ترین پارامتر در تمامی این حوزه‌ها است. این اهمیت به این دلیل است که زمانی یک فناوری می‌تواند به پیشرفت و گستردگی و توسعه میل پیدا می‌کند که در نگهداری و نوآوری پویا بماند و پویایی نیز تنها با برآورده کردن نیازهای اقتصادی صورت می‌گیرد. نیازهای اقتصادی به‌قدری اهمیت دارند که می‌توان در صورت یک پیشامد ناگهانی در روابط میان مدیران فناوری و حاکمان مصرف‌کننده، امتیازات و قراردادهای بسته‌شده را همچنان استوار نگه‌دارند. در جنگ اوکراین زمانی که روسیه تمامی زیرساخت‌های ارتباطی دولت اکراین را مورد هدف قرار داد منظومه استارلینک همچون سایر بخش‌های دیگر موجود در جبهه غربی برای خدمت‌رسانی به دولت و مردم اوکراین به ارائه گسترده و رایگان خدمات اینترنتی روی آورد اما اخیراً که یکی از اشخاص دیپلماتیک کشور اوکراین به مدیرعامل مجموعه استارلینک (ایلان‌ماسک) توهین کرد، ایلان ماسک هزینه‌های ارائه این سرویس را به‌قدری بالا می‌داند که برای تأمین آن از وزارت دفاع آمریکا طلب بودجه جداگانه کرده است. این اتفاق ا دو جهت حائز اهمیت است، اول اینکه ارائه خدمات اینترنت ماهواره‌ای در اوکراین فقط به‌منظور ایجاد بستر ارتباطی برای مردم نبوده است و از آن برای ارتباطات نظامی هم در برخی نقاط استفاده می‌شد که پس‌ازآن در عرصه جهانی برای ایجاد اختلال بر روی این فناوری نظراتی مطرح شد. دوم اینکه پوشش حمایتی غرب از اوکراین این اولین بار است که یک کسب‌وکار حائز اهمیت از حمایت کنار می‌کشد. اگر دولت اوکراین وجود این فناوری را برای خود بااهمیت می‌دانست و در صورت توانایی پرداخت هزینه‌هایش دیگر کسب‌وکار اسپیس ایکس و منظومه استارلینک نمی‌توانستن از زیر بار قرار داد خود به این دلایل پیش‌آمده کنار بکشند.

۳,۲۰ فرصت و تهدید فرهنگی منظومه‌های نوین (اینترنتی)

این حوزه هم همچون حوزه‌های دیگر فرصت و تهدیدش درگرو اعمال‌نفوذ حاکمان جغرافیایی مصرف‌کننده است. اما فرصت‌های آن در صورت استفاده اثرگذاری شگرفی در تمامی ابعاد توسعه‌ای یک کشور دارد. همان‌طور که می‌توان جریان تبادل داده را با کمترین هزینه به دست‌نیافتنی‌ترین نقاط کره زمین برساند و آن نقاط را در همه زمینه‌های ارتباطی در حد یک نقطه توسعه‌یافته بالا بکشاند، بدین ترتیب است که استارلینک با تبلیغ اتصال مدارس دورافتاده به منظومه اینترنتی خود از آن به‌عنوان یک کار خیرانه یاد می‌کند. توسعه دسترسی به اطلاعات بدون هزینه کرد آنی برای دسترسی زمینی و کابلی، زمینه را برای طراحی باثبات‌تر و منظم‌تر زیرساخت زمینی فراهم می‌کند همچنین مجموعه افراد بیشتری را برای تبادلات بازاریابی و اقتصادی کشور وارد بازی کرد. اما در صورت

بروز اتفاقات و رخدادهای تنش‌زا که در بالا بررسی شد می‌توان از این پدیده به‌عنوان تغییر فرهنگی با استفاده از تغذیه افکار عمومی بدون دسترسی و نظارت حاکمیت مرجع استفاده کرد.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و دسته‌بندی حوزه‌ها به چهار بخش تنیده در هم (اقتصاد، حاکمیت، امنیت، فرهنگ) می‌توانیم هماهنگی و ارتباط هر بخش با بخش دیگر را به‌خوبی درک کنیم. اگرچه تضاد فکری در همکاری‌ها یک رکن اصلی در دسترسی به خدمات شناخته می‌شود اما با رفع تحریم این فناوری برای ایران و ساختار فیزیکی و نیازمندی سخت‌افزاری راه‌اندازی توپولوژی این مجموعه و وابستگی آن به استقرار ایستگاه زمینی برای کیفیت سرویس بهتر می‌توان با اجازه احداث این ساختار از طریق حاکمیت، می‌توان علاوه بر بهره‌مندی از فرصت‌های این فناوری با سازمان‌دهی بازار عظیم‌تر برای پدیدآورندگان، آن‌ها را مجاب به کسب سود بیشتر از یک بازار کل تا به نسبت یک بازار جزء بکنیم. وابستگی اقتصادی آن‌ها و گذر آن از سازوکار حاکمیت علاوه بر نظارت بر تبادلات داده‌ها و دسترسی به قطع و وصل آن در شرایط بحرانی می‌تواند از خروجی ارز به خارج از کشور جلوگیری کند زیرا در صورت شکل‌گیری مسیر دسترسی خارج از نظارت حاکمیتی به این فناوری که با توجه به پیشرفت تکنولوژی سخت‌افزارهای تا سالیان اخیر این اتفاق رخ می‌دهد، افزون بر کنترل و نظارت، می‌توان از نابود شدن اپراتورهای داخلی جلوگیری کرد.

فهرست منابع و مآخذ

- احمدی، علی و زرگر، افشین و آدمی، علی،۱۴۰۱، نقش فناوری‌های نوظهور در امنیت و قدرت ملی کشورها؛ فرصت‌ها و تهدیدها، https://civilica.com/doc/1548558.
- زردشتی، رضا و امامی، شیوا، ۱۳۹۷، مرور مدل‌های طراحی منظومه‌های ماهواره‌ای با رویکرد بررسی مطالعات صورت گرفته، اولین همایش ملی مکانیک محاسباتی تجربی، تهران، https://civilica.com/doc/863784.
- قربانی، علی و خدادادی، حمیدرضا،۱۴۰۰، مقایسه منظومه‌های ماهواره‌ای مخابراتی با رویکرد بررسی مزیت‌های فنی و رقابتی، نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن هوافضای ایران، تهران، https://civilica.com/doc/1362265.

- https://eos.com/blog/satelliteconstellation/#:~:text=A%20satellite%20constellation%20(or%20swarm,designed%20to%20complement%20each%20other.
- https://www.iau.org/public/themes/satellite-constellations/
- https://www.newspace.im/
- https://www.satelliteinternet.com/providers/starlink/
- https://www.broadcastprome.com/news/satellite/satellite-internet-market-to-surpass-6bn-by-2031-fact-mr/
- https://www.broadcastprome.com/news/satellite/facebooka%c2%92s-satellite-internet-team-joins-amazon/
- https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/satellite-internet-market-report
- https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time
  (**Chris Daehnick** is an associate partner in McKinsey's Denver office; **Ben Maritz** is a partner in the Seattle office, where **Bill Wiseman** is a senior partner; and **Isabelle Klinghoffer** is a consultant in the New York office.)

  https://interactive.satellitetoday.com/via/october-2022/industry-prepares-for-pivotal-cybersecurity-event/