«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال دوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۵۷ الی ۶۵

علمی– تخصصی

بررسی منظومه‌های ماهواره‌ای مخابراتی و امکان‌پذیری ساخت بومی

حمید خدادادی[۱]، علی قربانی[۲*]

۱- کارشناسی ارشد دانشگاه امیرالمومنین(ع)، نزسا

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲)

چکیده

دنیای قرن بیست و یکم تحت سلطه و نفوذ حداکثری تبادل اطلاعات و داده‌های مختلف از بسترهای مخابراتی گوناگونی است. دراین‌بین، اینترنت و شبکه جهانی وب یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین ابزارهای انتقال و دریافت اطلاعات است. همچنان چند میلیارد نفر از جمعیت جهان، دسترسی به اینترنت ندارند و یا از داشتن یک اینترنت با سرعت قابل‌قبول و بدون قطعی، محروم هستند. ازجمله دلایل این اتفاق را، می‌توان به هزینه‌بر بودن، پیاده‌سازی سخت و عدم توجیه اقتصادی استفاده از زیرساخت‌های مبتنی بر سیم مانند فیبر نوری در بسیاری از مکان‌ها دانست. از زمان‌های گذشته جهت دسترسی همه‌جانبه به اینترنت در اقصی‌نقاط دنیا، استفاده از ماهواره و اینترنت ماهواره‌ای مرسوم بوده و پیشنهادهایی جهت استفاده از ماهواره در مدارهای مختلف زمین، داده شده است. در این مقاله ابتدا به بررسی روند شکل‌گیری منظومه‌های مخابراتی ماهواره‌ای اشاره خواهد شد. سپس به بیان اهمیت و ضرورت گسترش این منظومه‌ها اشاره می‌گردد. در ادامه با معرفی منظومه‌های مهم موجود در جهان به مقایسه آنها پرداخته می‌شود. در انتها با تشریح منظومه بزرگ استارلینک مربوط به شرکت اسپیس ایکس، به مشخصات فنی مربوط به طراحی منظومه و سیستم‌های اصلی اشاره خواهد شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که منظومه استارلینک دارای مزیت‌های رقابتی حائز اهمیتی نسبت به دیگر منظومه‌ها است و به طور محتمل موفق‌ترین پروژه در راستای تحقق بزرگ‌ترین منظومه ماهواره‌ای جهان با بیشترین تعداد کاربر و نرخ دیتای مطلوب خواهد بود. ازاین‌رو سهم قابل‌توجهی از درآمدهای مبتنی بر فضا را به خود اختصاص خواهد داد. از طرفی به مقایسه ماهواره‌های مکعبی با استارلینک می‌پردازیم. همچنین امکان‌پذیری و محدودیت‌های ساخت یک منظومه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت، نکات و پیشنهادهای قابل‌توجهی در خصوص بومی‌سازی منظومه‌های مخابراتی ارائه می‌گردد.

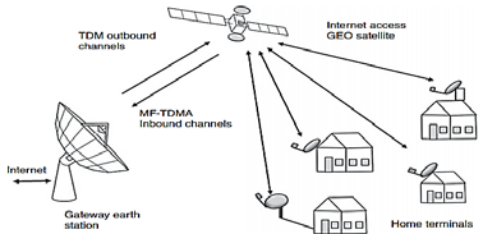
کلیدواژه‌ها: منظومه ماهواره‌ای، مدار پایین، استارلینک، ماهواره مکعبی

۱- مقدمه[۱]

دنیای قرن بیست و یکم تحت سلطه و نفوذ حداکثری تبادل اطلاعات و داده‌های مختلف از بسترهای مخابراتی گوناگونی می‌باشد. دراین‌بین، اینترنت و شبکه جهانی وب یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین ابزارهای انتقال و دریافت اطلاعات است. اما توجه به این نکته نیز مهم است که بااین‌همه پیشرفت در حوزه مخابرات و رایانه، همچنان چند میلیارد نفر از جمعیت جهان دسترسی به اینترنت ندارند و یا از داشتن یک اینترنت با سرعت قابل‌قبول و بدون قطعی، محروم هستند. ازجمله دلایل این اتفاق، می‌توان به هزینه‌بر بودن، پیاده‌سازی سخت و عدم توجیه اقتصادی استفاده از زیرساخت‌های مبتنی بر سیم مانند فیبر نوری در بسیاری از مکان‌ها دانست. از زمان‌های گذشته جهت دسترسی همه‌جانبه به اینترنت در اقصی‌نقاط دنیا، استفاده از ماهواره و اینترنت ماهواره‌ای پیشنهادشده است و پیشنهادهایی جهت استفاده از ماهواره در مدارهای مختلف زمین، داده شده است. در ابتدا و به طور سنتی استفاده از ماهواره در مدار GEO زمین جهت مخابره اطلاعات پیشنهاد شد. در این پیشنهادها ماهواره در فاصله بیش از ۳۶۰۰۰ کیلومتری زمین قرار می‌گیرند و تنها با استفاده از سه ماهواره، می‌توان کل نقاط دنیا را تحت پوشش قرار داد [۱]. همچنین استفاده از این مدار باعث می‌شود که پوشش همه‌جانبه‌ای روی زمین وجود داشته باشد و گیرنده (ایستگاه) زمینی نیاز به دنبال‌کردن دقیق ماهواره نداشته باشد [۱]. شرکت‌های مختلفی در این زمینه ماهواره‌هایی را نیز به فضا ارسال کردند؛ ازجمله SPACEWAY و ViaSat لیکن مهم‌ترین مشکل این نوع ارتباط، تأخیر زیاد حتی تا حدود ۶۰۰ میلی‌ثانیه و پهنای باند محدود برای کاربران می‌باشد[۱]. نمای کلی از این نوع ارتباط در شکل (۱) نمایش‌داده‌شده است. هم‌اکنون از این نوع ارتباطات در کاربردهایی مانند استفاده در کشتی، تلفن‌های ماهواره‌ای، تلفن‌های دولتی، خدمات هوایی و... استفاده می‌گردد ولی جایگاهی در استفاده عموم به‌خصوص برای اینترنت ندارد.

* رایانامه نویسنده مسئول: seven.mybox@gmail.com

دلایل دیگر عدم استفاده به مبحث هزینه‌ها و گیرنده مربوط است که البته در ادامه درباره این دو موضوع بیشتر صحبت می‌شود. البته در سالیان مختلف اینترنت ماهواره‌ای از شرکت‌های مختلفی در GEO یا LEO قرار گرفته‌اند که مشکلاتی از قبیل عدم پوشش سرتاسری دنیا، تأخیر زیاد، پهنای باند کم و عدم توجیه اقتصادی، باعث شده تا در سطح پهن باند و سرتاسری برای عموم مردم دنیا استفاده نشود [۱]. جزئیات ماهواره‌های GEO در صفحات ۵۹۲- ۶۰۴ مرجع [۲] آورده شده است.



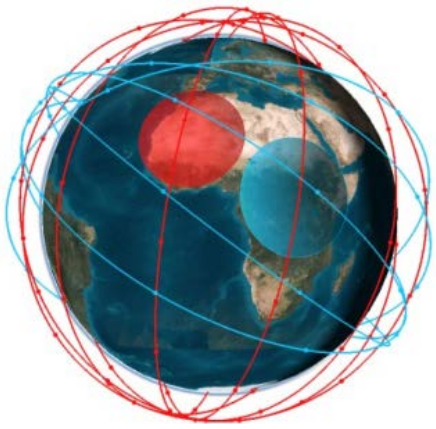
شکل (۱). ماهواره‌های GEO **[۲]**

۲- معرفی منظومه‌های مخابراتی

اعلام استفاده از ماهواره‌های سبک و ارزان در مدارهای نزدیک‌تر به زمین موجب ظهور نقطه عطفی در زمینه مخابرات ماهواره‌ای می‌باشد که باعث می‌شود مشکلات تأخیر، توجیه اقتصادی و پوشش سراسری، رفع گردد. هرچند طبق [۳] مقوله تأخیر فقط به ارتفاع وابسته نیست و به سیستم و مسیریابی نیز وابسته است، اما در حالت کلی تأخیر تا حدود بسیاری کمتر می‌شود. در این طرح، ماهواره‌های کوچک، منظومه‌های تشکیل می‌دهند و با ارتباط بین ماهواره‌ای، پوششی گسترده و خدماتی پرسرعت را ارائه می‌دهند. منظور از منظومه، گرداوری ماهواره‌های با چینش گسسته است که در تعامل با یکدیگر کار می‌کنند[۴، ۵]. معروف‌ترین منظومه‌های پیشنهادی در این دسته عبارت است از استارلینک (Starlink)، وان وب (One Web)، پروژه کوپر (Kuiper)، تلست (Telsat) و لئوست (LeoSat) در این منظومه‌ها از ویژگی انتشار سرعت نور در خلأ برای ارتباطات بین ماهواره‌ای استفاده می‌شود؛ چراکه سرعت نور در فضای آزاد بیشتر از سرعت نور در فیبر نوری است و باعث می‌شود تا اینترنت پرسرعت برای کاربران زمینی فراهم شود [۱]. دلیل نیاز به ارتباط مؤثر بین ماهواره‌ها این است که چون ارتفاع ماهواره‌هایی که در مدار LEO هستند، نسبت به بقیه مدارها کمتر است، پوشش سراسری برای کل سطح زمین فراهم نمی‌شود. پس باید در تعامل با یکدیگر این ارتباط کامل شود. در سال‌های گذشته و در پروژه‌هایی، به‌منظور حل این مشکل از ماهواره‌هایی در دیگر مدارها به‌عنوان پشتیبان شبکه استفاده می‌شده که مطمئناً در این صورت تأخیر زیادی برای کل سیستم وجود دارد [۴]. برای حل این مشکل استفاده از منظومه‌های بزرگی که ماهواره‌ها در آن‌ها توانایی ارتباط مستقیم با یکدیگر را دارند، پیشنهاد شده است [۴]. اطلاعات کلی از منظومه‌های بزرگ مخابراتی (به‌اختصار منظومه‌ها) ذکر شده فوق در جدول ۱، گرداوری شده است. سه منظومه معروف‌تر را علاوه بر جدول فوق بر اساس [۷] مقایسه می‌کنیم. Telesat در دو فاز کاری، پرتاب‌شده و سرویس‌دهی می‌کند؛ فاز اول ماهواره‌هایی که به دور مدارهای قطبی زمین می‌گردند و به‌منظور پوشش سراسری پرتاب می‌شوند و فاز دوم که حاوی ماهواره‌های بر مدارهایی خاص هستند که برای سرویس‌دهی در مناطق پرجمعیت‌تر زمین، پرتاب خواهند شد. ارتباطات بین ماهواره‌ای از طریق لینک‌های نوری بین ماهواره است و هر ماهواره به‌عنوان یک گره از IP شبکه شناخته می‌شود. سه ایستگاه مختلف نیز به‌منظور نظارت ، کنترل و هدایت شبکه، تعبیه‌شده است (یک ایستگاه در اوتاوا کانادا است).

جدول (۱). مقایسه منظومه‌های پیشنهادی در مدارهای نزدیک به زمین [۱][۶]

نام	باند فرکانسی (GHz)	تعداد ارسال شده تا اواخر ۲۰۲۰	مدارهای کاری (km) فعلی	تعداد کل ماهواره‌ها	مدارهای کاری کلی (km)
Starlink	Ka (26.5-40) Ku (12-18) V (40-75)	بیش از ۸۰۰	۵۵۰	۱۲۰۰۰ – برنامه‌ریزی برای ۴۲۰۰۰	۵۵۰-۱۱۱۰-۱۱۳۰-۱۲۷۵ ۳۳۵.۹-۳۴۰.۸-۳۴۵.۶-۱۳۲۵
OneWeb	Ka	بیشتر از ۷۰	۱۲۰	۴۵۴۰	۱۲۰۰-۸۵۰۰
TeleSat	V	شروع از ۲۰۲۲	۱۰۰۰	۱۱۷	۱۰۰۰-۱۲۴۸
Kuiper	Ka	–	۵۹۰	۳۲۳۶	۵۹۰-۶۱۰-۶۳۰
LeoSat	Ka	–	۱۴۰۰	۱۰۸	۱۴۰۰
Iridium	L (1-2 GHz)	۶۶- آخرین ارسال در ۲۰۱۹	۷۸۰	۹۵	۷۸۰



شکل (۲). منظومه تلست [۷]

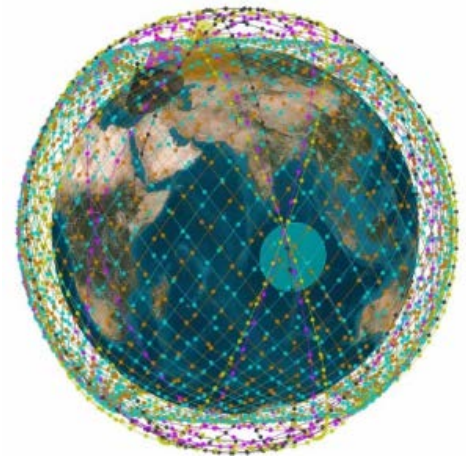
پهنای باند انتقال از ماهواره به زمین برابر ۱,۸ گیگاهرتز (۱۷,۸-۲۰,۲ گیگاهرتز) و در حالت زمین به ماهواره برابر ۲/۱ گیگ (۲۷/۵- ۳۰ گیگاهرتز) می‌باشد. دلیل بیشتر بودن پهنای باند حالت زمین به ماهواره در منظومه‌ها، احتمالاً به دلیل ارسال سیگنال‌های کنترلی از زمین است. Telesat شبیه شکل (۲) می‌باشد.

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. این منظومه به شکل (۳) آورده شده است.

شکل (۳). منظومه وان وب [۷]

محدوده فرکانسی ۱۰,۷-۱۲,۷ و ۱۲,۷۵-۱۴,۵ گیگ برای حالت ارسال به زمین و ۱۷,۸-۲۰,۲ برای ارسال از زمین می‌باشد. به نظر می‌رسد طراحی منظومه به این نحو است که برای دریافت نیاز به دیش‌های ماهواره با قطری بین ۳۰ تا ۷۵ سانت نیاز است. انواع فناوری‌های مختلف هدایت امواج مانند آنتن‌های آرایه‌ای فاز نیز در OneWeb وجود دارد.

منظومه استارلینک در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴). منظومه استارلینک[۷]

در جدول (۱) ملاحظه می‌شود که مدارهای کاری و باندهای فرکانسی هر منظومه متفاوت است. سازمان‌هایی که مسئول تنظیم مقررات در این زمینه هستند، کمیسیون مخابرات فدرال (FCC) [۸] و اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU) ذکرشده [9]؛ که اکثر فعالیت FCC در تخصیص طیف و به اشتراک‌گذاری طیف و فرکانس است درحالی‌که فعالیت ITU جهت تسهیل در همکاری‌های بین‌المللی درباره مدارهای گردشی و استانداردهای مربوطه است. البته در امریکا هرگونه استفاده از فضا منوط به اجازه گرفتن از FCC است [۱۰] و چون اسپیس ایکس یک شرکت آمریکایی است باید مطابق قوانین FCC عمل کند. مطابق [۱۱] تخصیص طیف توسط فرآیندهای پیچیده‌ای که جنبه‌های مختلف تاریخی، فنی و اقتصادی را در نظر می‌گیرند، توسط ITU انجام می‌شود. ITU یک کمیته بین‌المللی زیرمجموعه سازمان ملل است که علاوه بر کشورهای مختلف، انجمن‌های علمی زیادی نیز عضو (به نام مشاور نیز شناخته می‌شوند) آن هستند و هر چهار سال یک‌بار در کنفرانسی به نام (WRC) تشکیل جلسه می‌دهند. برخی از مشاوران عبارت‌اند از: کنفرانس اروپایی مخابرات و پست (CEPT) کمیسیون مخابرات امریکا (CITEL)، اتحادیه مخابرات افریقا (ATU) و غیره.

حال که از جنبه‌های مختلف نکاتی کلی از اینترنت ماهواره‌ای گفته شد، با پروژه استارلینک بیشتر آشنا می‌شویم. دلیل اینکه به این پروژه پرداخته می‌شود، این است که این پروژه سروصدای زیادی در محافل مختلف داشته و توانسته به شرکتی پیشرو در این زمینه تبدیل شود. این پروژه در شرکت SpaceX پیشنهاد شده 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 می‌باشد [۱۲]. ماهواره‌های اسپیس ایکس با موشک‌هایی به نام فالکون به فضا پرتاب می‌شوند که باعث شده هزینه‌های پرتاب تا حدود بسیار خوبی، کاهش‌یافته [۱۳] و حتی گفته می‌شود تا حدود ۲۵۰ هزار دلار به ازای هر ماهواره برسد [۱۴]. این تحول در ساختارهای اقتصادی شامل استفاده مجدد از بسیاری از قسمت‌های گران‌قیمت ماهواره و دیگر فناوری‌های پیشرو می‌باشد [۱۵].

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 خواهند گرفت [۱۶]. 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) [۱۶]. قبل از پرتاب ماهواره‌های پروژه استارلینک، شرکت اسپیس ایکس در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۷ جهت تست‌های مختلف، تعدادی ماهواره‌های به‌نام‌های Microsat-2a و Microsat-2b به مدارهای LEO برای ۲۰ ماه پرتاب کرد. در این ماهواره‌ها دو حالت پیش‌بینی‌شده بود، یک حالت برای تست ارتباطاتی که از فناوری آنتن‌های پهن باند استفاده می‌کرد و یک حالت جهت استفاده از نور خورشید برای شارژ و مسائل مربوط به توان، اطلاعات مربوط به پروژه ازجمله فرکانس‌های کاری، مدولاسیون‌ها، توان ارسالی، مکان ایستگاه زمینی و غیره در [۱۷] موجود است. پس‌ازاین تجربه، پروژه استارلینک در سال ۲۰۱۹ شروع به کار کرد.

ماهواره‌های این شرکت چیزی در حدود ۲۶۰ کیلوگرم وزن داشته و شامل صفحات ۳ متری آنتن‌های مخابراتی و صفحات ۹ متری پنل‌های خورشیدی [۶] می‌باشد. 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 [۸]. نکات مربوط به ماهواره‌ها ازلحاظ نوع پرتاب، هزینه‌ها و ... به‌طور کامل در [۸] بحث شده است.

هرچند پهنای باند و سرعت‌های فعلی تست شده استارلینک به‌عنوان یک پیشرفت شگرف مطرح نمی‌شود؛ لیکن اسپیس ایکس مدعی شده که می‌تواند پهنای باندی بیشتر از ۱ گیگ بر ثانیه فراهم سازد [۱، ۱۴]. 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.

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 نشاءت می‌گیرد که در استارلینک از آنتن‌های آرایه‌ای فازی استفاده می‌شود که باعث می‌شود تا کنترل الگوی انتشار را داشته باشد و نیازی به چرخش و تعیین وضعیت نباشد[۱۸]. 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 [۱۹]. به‌طور خلاصه آنتن آرایه‌ای فاز می‌تواند در جهت خاص به انتشار موج بپردازد و در جهتی دیگر، به دریافت موج. اطلاعات تکمیلی و فرمول‌بندی در منابع مختلفی آمده است مثل منبع [۱۹]. این آنتن‌ها هم در گیرنده وجود دارد و هم در ماهواره‌ها لیکن در سمت ماهواره‌ها پیچیدگی بیشتری دارند [۲] 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 [۲]). 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 در [۲] آورده شده است. بر طبق [۲۰] استفاده از فناوری‌های آنتن آرایه‌ای منجر به استفاده مجدد از فرکانس (مشابه سیستم‌های سلولی) می‌شود. در همین باره توضیح داده‌شده که هر ماهواره در ارتباط با گیت وی‌ها، می‌تواند دو پرتو با فرکانس یکسان به‌صورت راست‌گرد و چپ‌گرد، مخابره کند و با فرض ارتباط چهار ماهواره با یک گیت وی، هشت پرتو بین هر ماهواره و گیت وی ردوبدل می‌گردد.

درگاه‌های زمینی معمولاً در مکان‌هایی وجود دارند که بارش باران‌های سنگین، به‌ندرت اتفاق می‌افتد، بارش باران‌های سنگین بر کارایی تأثیر می‌گذارد [۲]. در درگاه‌های زمینی یک دسته از دیش‌ها، به‌منظور ردیابی چندین ماهواره، وجود دارد. معمولاً چندین دیش اضافی در این درگاه‌ها وجود دارد تا در صورت نیاز و یا تعمیرات دیگر دیش‌ها، کارایی کاهش نیابد. بر طبق [۲۰] یکی از وظایف گیت وی ها، تولید پرتوهای هدایت شده با گین بسیار بالا، جهت ارتباط با چندین ماهواره می‌باشد. دیگر وظیفه آن‌ها، تأمین لینک‌های اینترنتی مورد نیاز اسپیس ایکس از شبکه

جهانی نت می‌باشد. هم‌چنین درباره ترمینال‌های کاربری نیز توضیح داده که در استارلینک حداقل زاویه مورد نیاز جهت ارتباط ترمینال کاربر با ماهواره، ۴۰ درجه می‌باشد (درباره گیت وی‌ها هم صدق می‌کند). بر طبق گزارش سایت این منظومه که وضعیتی آنلاین از ماهواره‌های استارلینک را نشان می‌دهد، مکان ایستگاه‌های زمینی حال حاضر، در ایالت‌های مختلفی از امریکا مانند تگزاس، کالیفرنیا و غیره است. در این سایت و سایت‌های مشابه می‌توان وضعیت ماهواره‌ها را به‌طور آنلاین مشاهده کرد. برای مثال طبق همین سایت‌ها، ماهواره‌هایی که در وضعیت ۵۳ درجه هستند، از اسمان ایران عبور می‌کنند. هرچند چون منظومه ناقص است، نمی‌توان درباره‌ی ماهواره‌های عبوری از آسمان ایران اظهارنظری کرد و چنانچه علاقه‌مند باشیم، باید کل منظومه را ازلحاظ مختلف مطالعه نمود. همچنین در گوگل مپ قسمتی با عنوان گیت وی‌های استارلینک وجود دارد و نشان می‌دهد که در امریکا، کانادا و استرالیا، این مکان‌ها وجود دارند.

پس به‌طورکلی مشخص شد که منظومه‌ها متشکل از ماهواره‌هایی در فضا، درگاه‌ها و ایستگاه‌های زمینی و ترمینال‌های کاربری هستند. برای استارلینک مشخصات فرکانسی قسمت‌های مختلف منظومه عبارت است از [۲۰]:

دانلود از ماهواره به زمین: ۱۰,۷-۱۲/۷ گیگاهرتز (۲گیگاهرتز پهنای باند) --- آپلود: ۱۴-۱۴/۵ گیگاهرتز(۰,۵ گیگ پهنای باند)

دانلود ماهواره به گیت وی: ۱۷,۸-۱۸/۶ (۰,۹ گیگاهرتز) و ۱۸/۸-۱۹/۳گیگاهرتز (۰,۵ گیگاهرتز پهنای باند)

----آپلود: ۲۷/۵ – ۲۹/۱ گیگاهرتز (۱,۶ گیگاهرتز) و ۲۷/۵-۳۰ گیگاهرتز (۲,۵ گیگاهرتز پهنای باند)

کنترل، ردیابی و دورسنجی: دانلود ۱۲/۱۵-۱۲/۲۵ (۰,۲۵ گیگاهرتز پهنای باند) و ۱۸/۵۵-۱۸/۶۰ گیگاهرتز (۰,۰۵ گیگاهرتز پهنای باند)

---آپلود :۱۳/۸۵-۱۴ گیگاهرتز (۰,۱۵ گیگاهرتز پهنای باند)

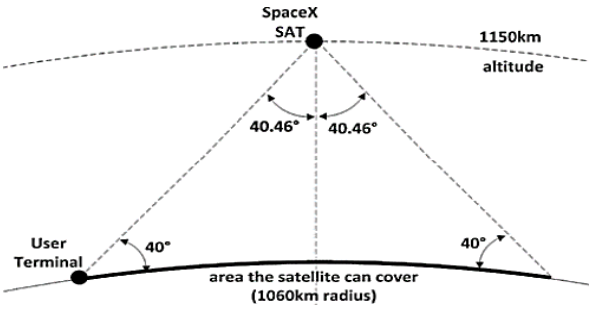
علاوه بر مقایسه ماهواره‌ها از دیدگاه‌های مختلف، می‌توان مقایسه‌ای بین تعداد درگاه‌های زمینی، مکان درگاه‌ها، تعداد آنتن‌ها در درگاه‌ها و... داشت. اما سؤال اینجاست که درگاه‌های زمینی کجا مستقر می‌شوند. در این زمینه در [۲۱] با استفاده از عواملی مانند جمعیت و مدارهای کاری، تعداد درگاه‌های زمینی برای سه منظومه استارلینک، وان وب و تلست را محاسبه کرده است. 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، محاسبه‌شده است. در مورد ایستگاه‌های زمینی، شرکت آمازون یک سرویسی تحت عنوان AWS راه‌اندازی کرده که طی آن، عملیات محاسبه و استفاده از انواع ماهواره‌ها را در زمینه‌های مختلف هواشناسی، مخابراتی و مسیریابی انجام می‌دهد. درواقع این سرویس، یک زیرساخت زمینی کمک‌کننده به شرکت‌های آرایه دهنده‌ی خدمات فضایی است که عملیات‌های مختلف موردنیاز آن‌ها را (بدون ساختن ایستگاه زمینی جدید) انجام می‌دهد. فعلاً برنامه‌ریزی برای شش عدد مکان جهت سرویس‌دهی AWS انجام شده و برحسب نیاز مشتری، ایستگاه‌های دیگر نیز ساخته می‌شود [۲۲].

۲-۱- بررسی جنبه‌های مختلف استارلینک

طبق [۲۳]، پروژه استارلینک در طبقه‌بندی رادار پسیو، به‌حساب آورده شده و به محاسبات برخی پارامترها به روش محاسبه پارامترهای ماهواره‌های GPS که به‌عنوان GNSS شناخته می‌شود)، پرداخته می‌شود. از دید این مقاله، استارلینک شبکه‌های سلولی در فضا مانند مخابرات سلولی زمینی، به وجود می‌آورد و هر آنتن یک ماهواره، به‌عنوان یک سلول در نظر گرفته می‌شود. بر اساس تئوری مقاله، اگر ماهواره در مدار ۱۱۵۰ کیلومتری باشد، توانایی پوشش شعاعی برابر ۱۰۶۰ کیلومتر روی زمین را دارد (شکل ۱). البته این مقدار به ارتفاع، مدار کاری و غیره نیز وابسته است. برای مثال در [۲۴] شعاع ۵۰۰ کیلومتری زمین تحت پوشش قرار گرفته است. بر اساس همین مفروضات و ماهواره‌های GNSS، محاسباتی (بیشتر در حوزه توان) انجام شده که در جدول ۳، آورده شده است. در سیستم‌های GNSS نیز، تئوری ماهواره‌های زیاد در LEO مطرح است که در مقالات مختلفی در حال بررسی می‌باشد. برای مثال در [۲۵] چالش‌های این موضوع ازجمله عدم استانداردسازی و توضیح کامل این موضوع و عدم تطابق GNSS فعلی با GNSS پیشنهادی در مدارات LEO بررسی شده و یک راه‌حل جهت حل مشکل داپلر در گیرنده‌ها ، بنام اندازه‌گیری فاز حامل سیگنال، پیشنهاد شده است. در مقاله‌ای دیگر ذکر شده که سیستم‌های GNSS در مدارات LEO نیاز به محاسبه شیفت داپلر دارند. برای رفع این مشکل در این مقاله از فیلتر کالمن گسترش یافته استفاده شده است [۲۶].

همچنین طبق محاسبات [۲۳]، توان مؤثر تابش ایزوتروپیک (EIRP) آنتن‌های استارلینک، حدود ۵۰- و چگالی قدرت شار مغناطیسی (PFD) در نزدیکی زمین برابر ۱۸۲,۲- خواهد بود. مطالب کلی درباره پروژه استارلینک، ماهواره‌ها، فالکون و.... در [۲۷] آمده است ، هر چند 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 ارتفاعی که نسبت به زمین دارند، سرعت حرکت نسبی نسبت به زمین دارند.



شکل (۵). پوشش دهی یک ماهواره در مدار خاص از منظومه استارلینک [۲۳]

جدول (۳). محاسبه یک مقاله درباره جنبه‌های مختلف استارلینک

پارامتر	مقدار در اسپیس ایکس
فرکانس مرکزی[۱]	11.575 GHz
پهنای باند	250 MHz
ارتفاع آنتن رادار	1.5 m
سطح مؤثر آنتن	۱ مترمربع
عرض پرتو آنتن	۱٫۳ درجه
بهره آنتن	42.7 dB
دمای نویز	۳۰۰
نویز محیط	-118.4 dB
عدد نویز گیرنده	1.4 dB
اتلاف سیستم	6 dB
محدوده رزولوشن	0.6 m

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، چرا که سرعت ماهواره‌ها در مدارهای گوناگون نیز مختلف است. این دو سرعت متفاوت باعث ایجاد دو مشکل می‌شود؛ یکی پویا بودن منظومه که باعث احتمال ایجاد برخورد بین ماهواره‌ای می‌شود و دومی شیفت داپلر که مقداری بیشتر از نمونه‌های زمینی خواهد داشت [۲۸].در همین مقاله درباره‌ی سیگنال‌های RF ، استفاده از فیلتر جهانی چند حامل (UFMC)، مالتی پلکسینگ فرکانس تعمیم یافته (GFDM) و بانک فیلتر چندحامل (FBMC) جهت تقویت شکل موج نسبت به شیفت داپلر، پیشنهاد شده است.

[۱] تفاوت هایی که بعضاً در قسمت‌های مختلف است، به این دلیل است که مقالات مختلف بر اساس فرضیات در نظر گرفته شده مانند مدارهای کاری متفاوت، اطلاعات ارائه داده‌اند.

برای اینکه تا حدودی با پروتکل های ارتباطی بین ماهواره‌ها و یا ماهواره با زمین آشنایی پیدا شود، پروژه CubeSat یا ماهواره‌های مکعبی توضیح داده می شود. مشابهت های کمی بین CubeSat و استارلینک وجود دارد (مثلا در انتن ها استفاده شده). این پروژه در سال ۱۹۹۹ در دانشگاه استنفورد اغاز شد و پیشنهاد شده که ماهواره‌های کوچکی با وزن سبک در مدارهای LEO، به منظور مقاصد مختلفی (به خصوص وزن سبک ماهواره و ارزان بودن و کم مصرف بودن) برای کاربردهای مختلف ساخته شود. در مقاله [۲۹] یک تاریخچه کامل از این پروژه آورده شده است؛ لیکن قسمت مهم برای ما پروتکل های ارتباطی ماهواره به زمین (که با علامت C2G نشان داده شده) و پروتکل ارتباطی بین ماهواره‌ها (C2C) است. برای CubeSat، راه های ارتباطی، مخابره نور مرئی (VLC) لیزر و امواج رادیویی (RF) پیشنهاد شده است. در حالت C2G، ارتباطات لیزر توانسته با سرعت ۱۰۰ مگابیت و نرخ خطا (10^{-6}) مخابره شود لیکن ارتباطات لیزری در C2G با مشکلاتی هم چون جذب، پراکندگی، تلاطم های جو، نویز پشت زمینه و... مواجه است. RF نیز در این حالت مشکلاتی از قبیل محوشدگی، نبود LOS و ... دارد. جنبه مثبت RF این است که می توان فناوری های مختلفی از قبیل CDMA، MIMO را جهت افزایش بهره‌وری استفاده کرد. مخابرات VLC نیز در C2G، در فاز تحقیقات قرار دارد. در مقاله ای دیگر، لینک ارتباطی CubeSat با ایستگاه زمینی تجربه و تحلیل شده است [۳۰] که شامل پارامترهای توان، امپدانس و ... می باشد.

در حالت C2C، مهم ترین نکته استفاده از RF این است که نیاز به هم جهتی دقیق بین ماهواره‌ها نیست و می‌توان از فناوری های مختلف استفاده کرد و البته باید دانست که RF نیاز به توان نسبتا بالایی دارد و این نکته منفی در CubeSat به شمار می آید. استفاده از لیزر در C2C میتواند مفید باشد؛ البته نکات منفی نیز دارد که بیشتر به خاطر تفاوت در سرعت نسبی ماهواره‌ها و ایجاد فرکانس داپلر و نویز پشت زمینه (خورشید) است. فناوری VLC و استفاده از LED نیز محدود بررسی شده است. حسن این فناوری، توان مصرفی بسیار پایین LED می باشد ولی فعلا سرعت پایینی را پشتیبانی می کند [۲۹].

۳- امکان‌پذیری ساخت بومی

منظومه ماهواره LEO از این امتیاز ویژه برخوردار است که اولاً نسبت به ماهواره‌های مخابراتی GEO هزینه کمتری داشته و ثانیاً با توجه به شرایط کشور در پرتاب موفقیت‌آمیز ماهواره‌های چند سال اخیر نظیر امید، نور۱ و غیره و پیچیدگی‌های ساخت ماهواره‌های مخابراتی GEO، امکان‌پذیری ساخت منظومه ماهواره

LEO و همچنین ماهواره‌بر ساده‌تر است و ساخت آن امکان‌پذیر می‌باشد ولیکن موارد زیر باید مدنظر قرار گیرد.

الف- با توجه به شرایط مدارLEO ماهواره‌ها غیر هماهنگ با زمین حرکت کرده و مدت‌زمان کوتاهی ماهواره بالای فضای کشور قرار دارد لذا اگر در نظر است ماهواره فقط برای کاربردهای داخلی استفاده شود باید پذیرفت که درصد زمان زیادی از زمان عملکرد ماهواره بدون استفاده است که این امر هزینه‌های ارتباط را به‌شدت افزایش می‌دهد. درصورتی‌که کاربری ماهواره به‌صورت جهانی مدنظر باشد به اخذ مجوز از دیگر کشورها نیاز است که این موضوع نیز با توجه شرایط امروز جهان پیچیدگی‌های خاص خود را دارد.

ب- با توجه به نزدیکی ماهواره با زمین میزان طول عمر مفید ماهواره حدود پنج سال برآورد می‌شود لذا به‌طور متوسط ۲۰ درصد از تعداد ماهواره‌ها باید هرسال تعویض گردد لذا هزینه‌های عملکردی منظومه بالاست و درصورتی‌که تعداد کاربران محدود باشد این مقوله می‌تواند هزینه‌های سیستم را به‌طور چشمگیری افزایش دهد.

پ- حداقل تعداد ماهواره موردنیاز برحسب فاصله ماهواره از زمین و با فرض آنکه بتواند در کل مدت شبانه‌روز جغرافیایی موردنظر تحت پوشش باشد طراحی می‌شود، قاعدتاً همان‌گونه که گفته شد این حداقل است از طرفی به‌واسطه نزدیکی مدار ماهواره با زمین، میزان خرابی ماهواره زیاد بوده و طراح باید به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم و همچنین با در نظر گرفتن میزان متقاضیان این سرویس و محدودیت پهنای باند هر ماهواره اقدام به محاسبه تعداد ماهواره کند به‌عبارت‌دیگر ظرفیت سیستم تعیین‌کننده تعداد ماهواره می‌شود که به‌مراتب این تعداد بیشتر از تعداد ماهواره‌ای است که در محدودیت پوشش مدنظر است، لذا پیاده‌سازی یک منظومه با تعداد ماهواره کم نمی‌تواند از کارآمدی موردنیاز و قابل‌رقابت با منظومه‌های موجود برخوردار باشد.

ت- شرط داشتن ارتباط پایدار با حداقل تأخیر داشتن لینک‌های بین ماهواره‌ای و همچنین سکوهای زمینی هدایت، ناوبری و دروازه‌های تبادل اطلاعات در سطح کشورهای دنیا است لذا تعامل با دیگر کشورها در این خصوص بسیار حائض اهمیت است.

ث- طراحی و ساخت بومی گیرنده آرایه فازی باکیفیت و اقتصادی قابل‌رقابت با گیرنده اسپیس ایکس و همچنین لینک‌های لیزری و رادیویی پایدار بین ماهواره‌ای از الزامات منظومه ماهواره‌ای است که تاکنون تجربه‌ای در کشور در این حوزه وجود ندارد.

ج- لازمه موفقیت در منظومه ماهواره و امنیت اطلاعات کاربران نسبت به سیستم‌های ماهواره‌ای موجود، داشتن شبکه ملی اطلاعات بومی و قابل‌اتکا است.

ح- در کل دنیا ارتباطات ماهواره‌ای پرهزینه و برای کاربردهای خاص و یا نقاط غیرقابل‌دسترس فیبر نوری است لذا درصورتی‌که شبکه ملی اطلاعات تقویت شود و یا شبکه فیبر داخل کشور و همچنین سرعت تبادل اطلاعات بهبود یابد عمده مشترکین ترجیح می‌دهند از این سرویس به‌جای منظومه ماهواره‌ای داخلی و یا خارجی استفاده کنند.

خ- به نظر نمی‌رسد پیاده‌سازی منظومه بومی به‌تنهایی بتواند مانع استفاده از منظومه‌های موجود باشد و پاسخگوی تهدیدات امنیتی متصور در این زمینه باشد.

د- امکان‌پذیری پرتاب چند ماهواره با یک ماهواره‌بر چند بار مصرف می‌تواند هزینه‌های این سیستم را کاهش دهد در غیر این صورت هزینه‌های متصور می‌تواند توجیه اقتصادی طرح را به چالش بکشد.

ذ- کاربرد ماهواره‌های مکعبی در حال افزایش است. آن‌ها از لحاظ انرژی، وزن، حجم، قیمت و کارایی، بهینه هستند. امکان اجاره تعدادی از این نوع ماهواره یا اجاره یونیت[1]های آن وجود دارد. از طرفی هزینه‌های ساخت و پرتاب این ماهواره‌ها بسیار کمتر از انواع دیگر بوده و ساخت آن‌ها نیز در افق زمانی کوتاه‌تری در کشور قابل‌تصور است. یک ماهواره مکعبی از نوع ۴ یا ۶ یونیت دارای مزیت نسبی نسبت به دیگر انواع آن پیش‌بینی می‌شود. در یک کیوبست ۶ یونیت، حداقل ۲ یونیت برای قرارگرفتن سلول‌های خورشیدی در نظر گرفته خواهد شد.

۴- نتایج و پیشنهادها

در این مقاله اقدام به بررسی و مقایسه منظومه‌های مخابراتی مهمی ازجمله وان وب، تلست، کوپر، لئوست، ایریدیوم و استارلینک شد. باتوجه‌به اینکه دیتا و صوت همچون گذشته به‌صورت مجزا تلقی نمی‌شوند و سیستم-های مبتنی بر دیتا قادر به تبادل صوت نیز هستند. از

[1] Unit

طرفی مشترکین، نرخ ارسال دیتا قابل قبولی برای ارتباطات صوت، تصویر و انواع دیتا نیاز داشته و خواستار هستند؛ لذا منظومه‌هایی که دارای نرخ ارسال پایین و پوشش جغرافیایی کمتری باشند دارای اقبال کمتری نیز خواهند بود. از این میان شرکت اسپیس ایکس با موشک‌های ارزان‌قیمت فالکون و تدابیر مختلفی که در راستای مقرون‌به‌صرفه نمودن پروژه منظومه ماهواره‌ای استارلینک انجام داده است باعث شده تا هزینه‌های تمام شده برای خدمات این شرکت و مشترکین دیتای ماهواره‌ای به‌شدت کاهش یابد و در آینده نیز در راستای این امر پیش‌خواهد رفت. از طرفی پروژه استارلینک باعث کمک شایانی به مقرون‌به‌صرفه شدن و تکمیل پروژه‌های دیگر نیز خواهد نمود؛ لذا پروژه استارلینک با گام‌هایی جلوتر از دیگر پروژه‌ها و شرکت‌های ارائه‌کننده خدمات اینترنت ماهواره‌ای در راستای کسب بیشترین منفعت اقتصادی از سودآوری پیش‌بینی‌شده خدمات داده مبتنی بر فضا خواهد بود.

همچنین امکان ساخت بومی منظومه در داخل کشور، امتیازها و محدودیت‌های این طرح از ابعاد مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. معرفی ضمنی ماهواره‌های مکعبی انجام شد و این ماهواره‌ها به‌عنوان یک راهبرد برای دستیابی به هدف این مقاله مطرح گردید.

پیشنهاد می‌شود به‌منظور بررسی دقیق‌تر موضوع منظومه‌های ماهواره‌ای به‌صورت دائمی پایش و مورد بررسی دقیق محققان این حوزه قرار گیرد زیرا تغییرات در طراحی این منظومه و ساختارها و سیستم‌های آن، تأثیرات قابل‌توجهی بر فناوری و توجیه اقتصادی برای ساخت آن‌ها خواهد داشت.

۵- مراجع

[1] J. D. Scanlan, J. M. Styles, D. Lyneham, and M. H. Lützhöft, “New internet satellite constellations to increase cyber risk in ill-prepared industries,” Proc. Int. Astronaut. Congr. IAC, vol. 2019-Octob, no. October, pp. 21–25, 2019.

[2] T. C. Tozer and D. J. Withers, Satellite communications, no. 3. 2020.

[3] https://www.mehrnews.com/news/4950265/ .

[4] J. A. R. De Azua, A. Calveras, and A. Camps, “Internet of Satellites (IoSat): Analysis of Network Models and Routing Protocol Requirements,” IEEE Access, vol. 6, pp. 20390–20411, 2018.

[5] N. U. L. Hassan, C. Huang, C. Yuen, A. Ahmad, and Y. Zhang, “Dense Small Satellite Networks for Modern Terrestrial Communication Systems: Benefits, Infrastructure, and Technologies,” IEEE Wirel. Commun., vol. 27, no. 5, pp. 96–103, 2020.

[6] J. C. McDowell, “The Low Earth Orbit Satellite Population and Impacts of the SpaceX Starlink Constellation,” Astrophys. J., vol. 892, no. 2, p. L36, 2020.

[7] I. del Portillo, B. G. Cameron, and E. F. Crawley, “A Technical Comparison of Three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband,” Dep. Aeronaut. Astronaut. Massachusetts Inst. Technol., pp. 123–135, 2019.

[8] C. Niederstrasser and S. Madry, “New Launchers for Small Satellite Systems,” Handb. Small Satell., pp. 423–436, 2020.

[9] J. N. Pelton, S. Madry, and S. Camacho-Lara, “Handbook of satellite applications,” Handb. Satell. Appl., vol. 1–2, pp. 1–1228, 2013.

[10] M. Harris, “Tech giants race to build orbital internet [News] ,” IEEE Spectr., vol. 55, no. 6, pp. 10–11, 2018.

[11] V. Tornatore, H. Hase, B. Winkel, and P. Bolli, “VGOS Wideband Reception and Emerging Competitor Occupations of the VLBI Spectrum,” Ivscc.Bkg.Bund.De, pp. 32–36, 2013.

[12] by Jean-Marie BOCKEL, “ECONOMIC AND SECURITY COMMITTEE (ESC) THE FUTURE OF THE SPACE INDUSTRY General Report,” NATO, no. November, 2018.

[13] M. Graydon and L. Parks, “‘Connecting the unconnected’: a critical assessment of US satellite Internet services,” Media, Cult. Soc., vol. 42, no. 2, pp. 260–276, 2020.

[14] https://www.zoomit.ir/internet-network/362424-everything-about-starlink-satellite-internet/.

[15] D. E. S. C. E. T. Sous-commissions and L. Liste, “ANNUAL SESSION HALIFAX (CANADA),” no. October, 2018.

[16] S. Up, “Support TESMANIAN on Patreon MODEL S MODEL 3 MODEL X MODEL Y HOME DECOR LIFESTYLE GIFT CARD SpaceX Starlink Internet Satellite Mission and Tech Details,” 2019.

[17] A. C, “microsat,” Вестник Росздравнадзора, vol. 6, no. 0356, pp. 5–9, 2017.

[18] A. Sayin, M. Cherniakov, and M. Antoniou, “Passive radar using Starlink transmissions: A theoretical

[19] R. Adlakha, M. Moghaddaszadeh, M. A. Attarzadeh, A. Aref, and M. Nouh, “Frequency selective wave beaming in nonreciprocal acoustic phased arrays,” Sci. Rep., vol. 10, no. 1, 2020.

[20] M. Albulet, “SpaceX Non-Geostationary Satellite System - Attachment A,” 2016.

[21] “Low Earth orbit,” pp. 1–16, 2016.

[22] AWS, “AWS Ground Station,” 2020, [Online]. Available: https://aws.amazon.com/ground-station/.

[23] A. Sayin, M. Cherniakov, and M. Antoniou, “Passive radar using Starlink transmissions: A theoretical study,” Proc. Int. Radar Symp., vol. 2019-June, 2019.

[24] https://www.zoomit.ir/fundamental-science/342227-spacx-starlink-satellite-internet/.

[25] J. Khalife, M. Neinavaie, and Z. M. Kassas, “Navigation with Differential Carrier Phase Measurements from Megaconstellation LEO Satellites,” 2020 IEEE/ION Position, Locat. Navig. Symp. PLANS 2020, pp. 1393–1404, 2020.

[26] P. Date, “New-Age Satellite-Based Navigation STAN,” Insid. GNSS Mag., vol. 14, no. 4, 2019.

[27] “SpaceX,” 2020. www.spacex.com.

[28] B. Soret et al., “LEO small-satellite constellations for 5G and beyond-5G communications,” arXiv, pp. 184955–184964, 2019.

[29] [31] N. Saeed, A. Elzanaty, H. Almorad, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri, and M. S. Alouini, “CubeSat Communications: Recent Advances and Future Challenges,” IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 22, no. 3, pp. 1839–1862, 2020.

[30] A. G. Cappiello, D. C. Popescu, J. S. Harris, and O. Popescu, “Radio link design for cubesat-to-ground station communications using an experimental license,” ISSCS 2019 - Int. Symp. Signals, Circuits Syst., pp. 1–4, 2019.

Investigation of Telecommunication Satellite Constellations and the Possibility of Native Construction

H. Khodadadi, A. Ghorbani *

Amir Almomenin University

Abstract

The 21st century is dominated by the maximum influence of information exchange from telecommunication platforms. The Internet and the World Wide Web are one of the most important and widely used tools for transmitting and receiving information. Billions of people around the world still do not have access to the Internet or are deprived of having an Internet with acceptable speed and without interruption. Among the reasons for this can be considered costly, difficult implementation and lack of economic justification for using wire-based infrastructure such as fiber optics in many places. In order to access the Internet in all parts of the world, the use of satellites and satellite Internet is common, and suggestions have been made for the use of satellites in different orbits of the earth. In this article, first, the formation process of satellite telecommunication systems will be mentioned. Then the importance and necessity of expanding these systems is pointed out. In the following, the most important systems in the world will be compared and introduced. The results of this study show that the Starlink system has significant competitive advantages over other systems and will probably be the most successful project to achieve the largest satellite system in the world with the highest number of users and the desired data rate. On the other hand, we compare cubic satellites with Starlink. The feasibility and limitations of building a system are also examined. Finally, considerable tips and suggestions are provided regarding the localization of telecommunication systems.

Keywords: Satellite Constellation Low Orbit, Starlink, Cubesat.

Corresponding author E-mail: seven.mybox@gmail.com