Tabriz Journal of Electrical Engineering (TJEE), vol. 55, no. 3, 2025 Serial no. 113
DOI: 10.22034/tjee.2025.65579.4958

# Providing of the Proposed Structure of the Starlink Satellite System to Provide Direct to Cell Connection Service for Iran

Pedram Hajipour[1*],Roghieh Karimzadeh Baee[1] ,Leila Mohammadi[1], Hossein Samimi[2] and Marzieh Ahmadi[1]
[1]Assistant Professor, Satellite Communication Group, Faculty of Communications Technology, ICT Research Institute, Tehran, Iran
[2]Associate Professor, Radio Communication Group, Faculty of Communications Technology, ICT Research Institute, Tehran, Iran

Emails: hajipour@itrc.ac.ir; rkbaee@itrc.ac.ir; mohamady@itrc.ac.ir; hossein-samimi@itrc.ac.ir; mar.ahmadi@itrc.ac.ir

**Abstract**
Today, most companies and satellite service providers are looking to increase the number of satellites in the form of a satellite constellation in order to expand the coverage area and ultimately increase the capacity in providing direct satellite-to-device communication services for terrestrial users. Meanwhile, the Starlink constellation with a larger number of launched and planned satellites capable of providing this service is more operational. For this purpose, in this research, the method of using the Starlink satellite constellation with 220 satellites in 22 orbital planes (10 satellites in each plane) to provide this type of service in Iran has been studied. To examine the performance of Starlink, parameters such as the number of accesses, service duration, coverage, achievable capacity, and accessibility have been examined for the country of Iran, and specifically the city of Tehran. Finally, considering the use of the same frequency bands of the two types of Starlink and AST 2000 MHz satellites, the possible interferences of these two satellites have been investigated in terms of the cumulative distribution function in the short-term and long-term scenarios, as well as the amount of temperature changes in the receiver compared to the initial temperature.

**Keywords**
Mobile phone, satellite constellation,capacity, link availability, geographical coverage, interference.

## Introduction

Today, one of the most challenging aspects of future network generations will be the creation of high-data-rate for direct-to-cell connectivity. DtC is new technology for some companies such as Iridium, Globalstar, Inmarsat and so on. The satellite communications industry is looking to accelerate direct satellite-to-device connectivity solutions to integrate terrestrial and non-terrestrial networks. In the field of space communications and technological advancements, direct satellite-to-device connectivity is expected to revolutionize the satellite communications industry and emerge as a billion-dollar market by 2027.

## Proposed Work and Methodology

As a result, the innovation of this research paper will be in the following steps: - In the first step, with the help of STK software, the coverage of the satellite operators such as Starlink and AST 2000 MHz will be examined in terms of the minimum number of access rates, minimum and maximum service duration, and average percentage of coverage. Finally, the number of access times during the simulation period will be presented for the country of Iran and specifically the city of Tehran as an accessible point. It should be noted that at this stage and in order to compare performance, one satellite has been applied to each of the above-mentioned satellite operators in the simulations.
In the second step, by increasing the number of satellites in the Starlink satellite constellation, the effects of increasing the number of satellites for the access rate, average/maximum percentage of coverage, and the number of access times will be simulated. The reason for choosing Starlink is due to more operational satellites to DtC (227 satellites). At this stage, the Starlink parameters have been evaluated to define a Custom model system in the STK software by applying an integer multiple of the operational satellites of the DtC service in different orbital planes.
In the third step, according to reference [24], with the help of MATLAB software, the percentage of the probability achievable capacity of the mobile phone according to a certain threshold (at the rate of 1 Mbps) in the downlink has been investigated. In the fourth step, the percentage of the availability link has been investigated according to the number of satellites in [24]. In the fifth step, a sample interference scenario between two AST 2000 MHz and Starlink satellites in the DL was examined, and the amount of interference in two short-term and long-term scenarios, as well as the amount of temperature changes, were compared and evaluated according to [25]. The parameters required for simulation are presented in table 1.

## Conclusion

In this research, the possibility of providing narrowband DtC service based on various satellite operators Starlink as a suitable satellite system for providing service to Iran was investigated based on parameters such as the probability of increasing the capacity of the satellite system based on a certain threshold level in terms of increasing the number of satellites, the number of accesses, the minimum and maximum service duration, and the average coverage for providing narrowband service. In simulating the probability of capacity increase, the link availability rate with increasing the number of satellites (220 satellites) was simulated as an optimal structure, which was obtained as 83.86 percent and 79.66 percent for Iran, respectively. In addition, the average coverage percentage for 220 satellites for Iran is more than 92 percent. This will provide DtC service with appropriate quality and continuity in Iran. Finally, a sample interference scenario between two AST 2000 MHz satellites and Starlink in the DL path was investigated.

# ارایه ساختار پیشنهادی از منظومه ماهواره‌ای Starlink به منظور ارایه سرویس اتصال مستقیم به گوشی برای ایران

**پدرام حاجی پور**
استادیار پژوهشی، گروه ارتباطات ماهواره‌ای، پژوهشکده فناوری ارتباطات، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

**رقیه کریم زاده بایی**
استادیار پژوهشی، گروه ارتباطات ماهواره‌ای، پژوهشکده فناوری ارتباطات، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

**لیلا محمدی**
استادیار پژوهشی، گروه ارتباطات ماهواره‌ای، پژوهشکده فناوری ارتباطات، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

**حسین صمیمی**
دانشیار پژوهشی، گروه ارتباطات رادیویی، پژوهشکده فناوری ارتباطات، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

**مرضیه احمدی**
استادیار پژوهشی، گروه ارتباطات ماهواره‌ای، پژوهشکده فناوری ارتباطات، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

**چکیده**
امروزه، اکثر شرکت‌ها و ارایه‌دهندگان خدمات ماهواره‌ای بدنبال افزایش تعداد ماهواره‌ها در قالب منظومه ماهواره‌ای به منظور گسترش سطح پوشش‌دهی و نهایتا افزایش ظرفیت در ارایه سرویس اتصال مستقیم ماهواره به گوشی برای کاربران زمینی می‌باشند. در این میان، منظومه Starlink با تعداد بیشتر ماهواره پرتابی و برنامه‌ریزی شده با قابلیت ارایه این سرویس، عملیاتی‌تر می‌باشد. به همین منظور، در این پژوهش، به بررسی نحوه بکارگیری منظومه ماهواره‌ای Starlink با ۲۲۰ ماهواره در ۲۲ صفحه مداری (۱۰ ماهواره در هر صفحه) برای ارایه این نوع سرویس در کشور ایران پرداخته شده است. برای بررسی عملکرد Starlink پارامترهایی مانند تعداد دفعات دسترسی، مدت زمان سرویس‌دهی، میزان پوشش‌دهی، ظرفیت قابل حصول و میزان دسترس‌پذیری برای کشور ایران و به طور خاص شهر تهران پرداخته شده است. نهایتا، با توجه به بکارگیری باندهای فرکانسی یکسان ماهواره Starlink و AST 2000 MHz، تداخلات احتمالی این دو ماهواره بر حسب تابع توزیع تجمعی در سناریوی کوتاه مدت و بلند مدت و همچنین میزان تغییرات دمایی در گیرنده نسبت به دمای اولیه، بررسی شده است.

**کلمات کلیدی**
گوشی، منظومه ماهواره‌ای، ظرفیت، دسترس‌پذیری لینک، پوشش جغرافیایی، تداخل.

نام نویسنده مسئول: دکتر پدرام حاجی پور
ایمیل نویسنده مسئول: hajipour@itrc.ac.ir

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۰۳
تاریخ(های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر، فناوری ارتباطات دستگاه-به-دستگاه[1] (D2D) پیشرفت قابل ملاحظه ای داشته و چالش‌های این حوزه در شبکه‌های سلولی مورد بررسی قرار گرفته است [۲-۱]. در ادامه، فناوری اتصال مستقیم ماهواره به گوشی[2] (DtC) به عنوان گامی پیشرفته در ارتباطات D2D مطرح شده است.

امروزه، اتصال DtC با نرخ داده بالا یکی از چالش برانگیزترین جنبه‌های نسل‌های آینده شبکه‌های ارتباطی مبتنی بر ماهواره، است. این قابلیت، دسترسی جامع و یکپارچه به شبکه را در مکان‌های مختلف و از راه دور تضمین نموده و فراتر از محدودیت‌های زیرساخت شبکه ارتباطی فعلی است [۳]. اتصال DtC و دستگاه‌های اینترنت اشیا[3] (IoT) برای شرکت‌هایی مانند Iridium، Globalstar، Inmarsat که در ۲۵ سال اخیر در بازار ارتباطی فعال بوده‌اند، جدید نیست. البته صنعت ارتباطات ماهواره‌ای به دنبال تسریع راه‌حل‌های اتصال DtC با ادغام شبکه‌های زمینی و غیرزمینی[4] (NTN) می‌باشد. در حوزه ارتباطات و پیشرفت-های فناوری، انتظار می‌رود اتصال DtC، صنعت ارتباطات ماهواره‌ای را متحول کند و تا سال ۲۰۲۷ میلادی به‌عنوان یک بازار میلیارد دلاری ظهور نماید. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده در گزارش Analysys Mason، DtC می‌تواند ۱۳۷

[1] Device to device
[2] Direct to Cell
[3] Internet of thing
[4] Non terresterial network

میلیارد دلار درآمد انباشته را بین سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۲ ایجاد کند [۴]. در آخرین نسخه از گزارش Euroconsult با عنوان "چشم‌انداز بازارهای اتصال مستقیم به گوشی[1] و اینترنت اشیا IoT"، به پتانسیل در حال توسعه ارتباط مستقیم ماهواره به عنوان یک موضوع جذاب با بازار مالی رو به رشد در این حوزه ارتباطی اشاره می‌کند [۵]. امروزه، گوشی‌های هوشمند و تجهیزات IoT که در بازار به صورت انبوه عرضه می‌شوند، می‌توانند به طور یکپارچه با شبکه‌های سیار زمینی و یا شبکه‌های ماهواره‌ای در زمانی که خارج از محدوده اتصال زمینی باشند، ارتباط برقرار نمایند. این موضوع تضمین می‌کند که ایجاد ارتباطات برای هر کسی در هر نقطه از جهان قابل دسترس خواهد بود [۶]. به دلیل جذابیت‌های این سرویس و همچنین بازار رو به رشد آن، شرکت‌های مختلفی به این حوزه وارد شده‌اند. به عنوان مثال، شرکت اپل به طور قابل توجهی در تقویت زیرساخت‌های ماهواره‌ای شامل ۲۴ ماهواره در مدار پایین زمین[2](LEO) و چندین ایستگاه زمینی، سرمایه گذاری کرده است. این شبکه ارتباطی بهبود یافته برای پشتیبانی از ویژگی ارسال پیغام اضطراری[3] موجود در گوشی آیفون مدل ۱۴ و فراتر از آن بسیار مهم بوده و قابلیت‌های ارتباطی حیاتی را در مواقع اضطراری از طریق ماهواره‌ها به کاربران ارایه می‌دهد [۳] و [۷]. مطابق با گزارش ارایه شده توسط CCS Insight، سرویس ماهواره‌ای مبتنی بر DtC در چهار مرحله تکامل خواهد یافت. در مرحله اول، تکیه بر گوشی‌های خاص برای ارتباطات ماهواره‌ای خواهد بود. مرحله دوم شامل اتصال مستقیم ماهواره به گوشی با اجزای اصلاح شده مورد نظر خواهد بود. این مرحله شامل ارایه سرویس پیامک و ارسال پیغام در شرایط اضطراری خواهد بود. در مرحله سوم، با رشد منظومه‌های ماهواره‌ای[4]، سرویس صدا با نرخ داده بالا ارایه خواهد شد. در مرحله چهارم، با استفاده از تجهیزات زمینی، هر گوشی که در یک شبکه ارتباطی تحت پوشش (بین یک سرویس ماهواره‌ای و یک اپراتور) ثبت شده باشد، می‌تواند سرویس ماهواره‌ای را از این طریق دریافت نماید. این راه حل، جذابیت زیادی دارد. اولا، سخت افزار خاصی مورد نیاز نبوده و ثانیا می‌تواند سرویسی فراتر از ارسال پیامک و یا ارسال پیغام در شرایط اضطراری ارایه دهد [۸]. در سال ۲۰۲۲ میلادی، اسپیس ایکس استفاده از ماهواره Starlink V2 را برای ارایه سرویس DtC پیشنهاد نمود. در سال۲۰۲۳میلادی نیز، AST با استفاده از ماهواره بلو واکر۳ [5](BW3)، نرخ اتصال مستقیم به گوشی زمینی را آزمایش نمود. گوشی‌های هوشمند Huawei Mate60 Pro و China Telecom Tianyi Platinum که در سال ۲۰۲۳ میلادی معرفی شدند، با استفاده از آنتن‌های ماهواره‌ای منسجم یکپارچه، سرویس صوتی با سرعت پایین برای اتصال مستقیم به گوشی ارایه نمودند.

این پیشرفت‌ها زمینه توسعه نسل دوم فناوری DtC را سرعت بخشید [۹]. از سوی دیگر، یکی از مهمترین موارد در پیاده‌سازی و ارایه هر نوع سرویس ارتباطی داشتن قوانینی و استانداردهای مصوب و تدوین شده برای آن حوزه ارتباطی می‌باشد. امروزه، فرآیند استاندارد کردن ارایه سرویس توسط ماهواره در پروژه مشارکت نسل سوم[6] (3GPP) برای NTN شروع شده است. در این نوع استاندارد، سیستم ماهواره به‌عنوان بخش کلیدی برای سیستم‌های نسل پنجم[7] (5G) بوده که در نسخه ۱۷ 3GPP و پس از آن معرفی شده است. فرآیند استاندارد شدن ارایه سرویس توسط شبکه‌های ارتباطی مبتنی بر ماهواره باعث شده که ارایه گسترده سرویس پهن‌باند به صورت ارتباطات مستقیم ماهواره با گوشی پشتیبانی گردد. در همین راستا، Echostar، Intelsat، Omnispace، Viasat و سایر ارایه‌دهندگان سرویس ماهواره‌ای در حال برنامه‌ریزی برای ارایه سرویس پهن‌باند به گوشی با تکیه بر استانداردهای NTN ارایه شده هستند[۶]. با توجه به اهمیت توسعه این نوع سرویس در NTN که قادر است در دورترین نقاط که از هرگونه بستر ارتباطی محروم بوده خدمات ارایه نماید، برخی از مهمترین چالش‌های مختلف در ارایه این نوع سرویس بررسی گردیده و مزایا و معایب در بخش دوم پژوهش، آورده شده است. در بخش‌های بعدی نیز، شبیه‌سازی منظومه‌های ارایه‌دهنده سرویس DtC برای کشور ایران (خاص شهر تهران) انجام شده است. به همین منظور در بخش سوم، به بررسی نوآوری پژوهشی و گام‌های تعیین شده در انجام فرآیند شبیه‌سازی پرداخته شده است. در بخش چهارم، میزان دسترس‌پذیری، تعداد دفعات دسترسی و درصد پوشش‌دهی ماهواره‌های ارایه دهنده سرویس DtC شبیه‌سازی و مقایسه شده است. در بخش پنجم، میزان دسترس پذیری، تعداد دفعات دسترسی و درصد پوشش‌دهی منظومه ماهواره‌ای Starlink بر حسب افزایش تعداد ماهواره‌ها شبیه‌سازی و تحلیل شده است. در بخش ششم، میزان درصد احتمال افزایش ظرفیت منظومه ماهواره‌ای Starlink بر حسب تعداد ماهواره شبیه‌سازی گردیده است. در بخش هفتم، میزان درصد احتمال دسترس‌پذیری لینک منظومه ماهواره‌ای استارلینک بر حسب تعداد ماهواره شبیه‌سازی شده است. در بخش هشتم، سناریوی تداخل ماهواره‌های AST 2000 MHz و Starlink بواسطه داشتن بازه‌های فرکانسی هم‌پوشان شبیه‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت، به بحث و نتیجه‌گیری نتایج کلی بدست آمده در این شبیه‌سازی‌ها و ارایه راهکارهای پیشنهادی برای ارایه این نوع سرویس در کشور ایران ( خاص شهر تهران) با ملاحظه تداخل فرکانسی ارایه شده است.

## ۲- بررسی چالش‌های مختلف پیش‌رو در ارایه سرویس DtC

در این بخش به بررسی چالش‌های اقتصادی، فنی/ غیر فنی و رگولاتوری و چالش‌های پیاده‌سازی، به منظور توسعه سرویس DtC پرداخته می‌شود:

### ۲-۱- چالش‌های اقتصادی

اگرچه این نوع سرویس امیدوارکننده است، اما هنوز نوپا بوده و ابهامات زیادی در مورد دوام و زمان‌بندی ارایه منظومه‌های ماهواره‌ای و گران قیمت بودن آن وجود دارد [۸]. علیرغم وعده بازار بزرگ و رو به رشد برای سرویس DtC، خطرات و عدم قطعیت‌هایی وجود دارد که می‌تواند باعث شود شرکت‌های وارد شده در بازارDtC ، به طور بالقوه نتوانند انتظارات و اهداف درآمدی را حداقل در کوتاه مدت برآورده کنند. برخی از ریسک‌های بازار و تجاری در زیر مورد بحث قرار می‌گیرند[۱۰]:

- درآمدهای اثبات نشده و ارزش آتی بازار سرویس DtC

درآمدDtC هنوز اثبات نشده و پیش‌بینی درآمد و ارزش‌گذاری بازار را دشوار می‌کند. سرویسDtC می‌تواند به یک کالای ارزشمند غیر درآمدزا تبدیل شود. به عبارت دیگر، سرویسDtC می‌تواند مزایای رقابتی را برای ارایه‌دهندگان سرویس زمینی که ترجیح می‌دهند این ارتباط را به مشترکین خود عرضه کنند، فراهم کند. با ارایه روز افزون سرویسDtC با طرح‌های قیمت‌گذاری و پاسخ‌دهی مناسب به مصرف‌کنندگان و رگولاتوری، پیش‌بینی‌های درآمدی شفاف‌تر

[1] Handheld
[2] Low earth orbit
[3] Emergency SOS
[4] Satellite constellation
[5] BlueWalker3
[6] 3rd Generation Partnership
[7] Fifth generation

خواهند شد.

- بازارهای بین‌المللی غیر قابل پیش بینی در ارایه سرویس DtC

بازار بین‌المللی برای داده‌های سرویس DtCنیز غیرقابل پیش‌بینی است. کشش قیمت به طور قابل توجهی برای کشورهای مختلف متفاوت است. در برخی کشورها مانند هند، داده‌های گوشی همراه دارای کشش تقاضای بسیار بالایی هستند. به عنوان مثال، ۱ گیگابایت داده گوشی همراه در هند تقریباً ۰.۲۶ دلار هزینه دارد که در مقایسه با میانگین جهانی ۸.۵۳ دلار برای ۱ گیگابایت داده گوشی همراه، هزینه کمی است.

### ۲-۲- چالش‌های فنی/ غیر فنی

- هماهنگی در استفاده از باندهای فرکانسی برای ارایه سرویس DtC

علیرغم وجود مقررات هماهنگ جهانی موجود برای NTN توسط اتحادیه بین-المللی مخابرات[1] (ITU) بخش ارتباطات رادیویی، کشورهای مختلف در سراسر جهان استقرار NTN را از طریق صدور مجوزهای طیف فرکانس ملی با هماهنگی بخش‌های مختلف امکان‌پذیر کرده‌اند [۱۱]. یکی از چالش‌های اصلی که در مورد NTN می‌بایست مورد توجه قرار گیرد، مسئله تداخل فرکانسی بواسطه محدود بودن باند فرکانسی است که در صورت استفاده از طیف فرکانسی یکسان، ممکن است برای سیستم‌های زمینی و ماهواره‌ای ایجاد شود. البته در بسیاری از مناطق، الزامات قانونی وجود دارد که می‌تواند از استفاده طیف فرکانسی ارایه‌دهنده سرویس مخابراتی زمینی برای عملیات ماهواره‌ای جلوگیری نماید. برای غلبه بر چالش تداخل بالقوه، موضع اریکسون این است که برای سرویس‌های مبتنی بر ماهواره از طیف ماهواره‌ای خاص استفاده شود [۱۲]. امروزه، باندهای سرویس سیار ماهواره‌ای (MSS)[2] مزایای عملکرد جهانی و بدون تداخل را دارند، اما باندهایMSS محدود بوده و پهنای باند زیادی در دسترس ندارند. همچنین استفاده از طیف MSS نیاز به اصلاح گوشی‌ها دارد، زیرا فرکانس‌هایی متفاوت از فرکانس‌های استاندارد شده گوشی همراه خواهد بود. این نوع فرآیند در بکارگیری طیف فرکانسی برای اپل که سرویس را طراحی کردند، قابل اجرا بود، اما برای سایر اپراتورهای ماهواره‌ای که گوشی نمی‌سازند، سخت خواهد بود. گزینه متفاوتی که توسط اسپیس ایکس پیشنهاد شده، استفاده از طیف اختصاص داده شده برای استفاده از گوشی همراه است. طیف سرویس سیار[3] (MS) دو مزیت دارد، اولا پهنای باند بسیار بیشتر از طیف MSSدارد و ثانیا گوشی‌ها نیز می‌توانند از قبل با این نوع باندهای فرکانسی تنظیم شوند. اما استفاده از طیف MS با چالش‌های بزرگی مواجه گردید، این نوع طیف در حال حاضر توسط اپراتورهای گوشی همراه استفاده می‌شود که مخالف تداخل ارسال‌های ماهواره‌ای هستند و محیط رگولاتوری بین‌المللی[4] در حال حاضر امکان انتقال ماهواره‌ای در این باندهای فرکانسی را نمی‌دهد. بنابراین، برای جلوگیری از تداخل فرکانسی باید برای سرویس‌دهی زمینی و ماهواره فاصله فرکانسی مناسبی وجود داشته باشد [۱۳][13]. از آنجایی که بلوک‌های بزرگی از طیف ماهواره‌ای اختصاصی فقط بالای ۵ گیگاهرتز در دسترس هستند، رویکرد پیشنهادی برای ارایه سرویس پهن‌باند به گوشی‌های همراه/گوشی‌های سلولی عمدتاً از طریق طیفی است که در حال حاضر برای استفاده زمینی اختصاص داده شده است و با مشارکت اپراتور شبکه سیار (MNO)[5] کار می‌کند. این نوع سیستم‌های ارتباطی آزمایشی، بحث‌های خاصی را در مورد تداخل مضر بالقوه RF در سایر کشورها و همچنین وضعیت نظارتی استفاده از طیف زمینی برای سرویس‌های ماهواره‌ای ایجاد کرده‌اند. این موضوعات در WRC-23 مورد بحث قرار گرفته است اما تصمیمات در این مورد به WRC-27 موکول شده است.. ادغام بالقوه NTNها در شبکه‌های 5G پیشرفته و در نهایت نسل ششم[6] (6G)، به دلیل توانایی آن در پاسخگویی به بخش وسیعی از موارد استفاده در آینده، توجه خوبی را در جوامع تحقیقاتی و صنعتی به خود جلب کرده است [۱۱].

- نیازمندی‌های پهنای باند در ارایه سرویس DtC

با توجه به محدودیت توان انتقال کم و حساسیت پایین در گوشی، ارتباط بین گوشی و ماهواره نیاز به تکامل از پشتیبانی سرویس‌های صوت با سرعت پایین و پیام کوتاه، تا پشتیبانی از سرویس‌های اینترنت موبایل پهن‌باند نزدیک به سرویس‌های نسل چهارم[7] (4G) و یا نسل پنجم[8] (5G) دارد. این انتقال نیاز به ارتقای اساسی در قابلیت‌های ارسال و دریافت در پیلودهای ماهواره‌ای است، که برحسب توان موثر همسانگرد[9] (EIRP) و نسبت عدد شایستگی[10] (G/T)کمّی سازی می‌شود[۹].

- مشخصات دینامیک بالا برای ماهواره‌های ارایه‌دهنده DtC در LEO

حرکت مداری سریع ماهواره‌های LEO اثر قابل توجهی روی تداوم ارتباط، پایداری تاخیر و پایداری فرکانس کاری لینک مخابراتی ماهواره-زمین دارد. قابل ذکر است که سرعت ماهواره در مدار پایین زمین به 7.6km/s می‌رسد، که به افست فرکانس داپلر 48kHz ± و نرخ تغییر افست فرکانسی برای کار در باند فرکانسی ۲ گیگاهرتزی به 544Hz/s می‌رسد. این تغییرات افست فرکانسی بسیار بالا، فراتر از محدوده تطبیق برای سیستم‌های انتقال زمینی 5G است. در واقع، پیامدهای مشخصه‌های دینامیک بالای ماهواره در LEO چندوجهی‌هستند. اولا، زمان خیلی کوتاه مشاهده‌ی ماهواره به سوئیچ بین چندین ماهواره در طی دوره انتقال داده و یا صوت منجر می‌شود، که این مساله روی حفظ کیفیت ارتباط، موثر خواهد بود. ثانیا، افست بزرگ فرکانسی روی تعامد بین زیرحامل‌های OFDM[11] رابط هوایی، تاثیر می‌گذارد که به تداخل متقابل بین زیرحامل‌ها و کاهش عملکرد انتقال لینک ماهواره-زمین منجر می‌شود. ثالثا، افست فرکانسی بزرگ، به همگام‌سازی کند و حتی سخت بین ماهواره و گوشی منجر می‌شود [۹].

### ۲-۳- چالش‌های رگولاتوری

به منظور رشد و تکامل سرویس DtC بسیار مهم است که رگولاتوری جنبه‌های کلیدی زیر را که برای اطمینان از توسعه یک بازار رقابتی در ارایه این نوع سرویس ضروری هستند را در نظر بگیرد. امروزه، چارچوب‌های نظارتی برای ارایه سرویسDtC در نظر گرفته نمی‌شود و لازم است تا یک چارچوب نظارتی جدید تعریف شود که به شرح موارد زیر خواهد بود **Error! Reference source not found.**[۶]:

[1] International telecommunication union
[2] Mobile satellite service
[3] Mobile service
[4] International regulatory environment
[5] Mibile network operator
[6] Sixth geberation
[7] Fourth generation
[8] Fifth generation
[9] Effective isotropically radiated power
[10] The G/T ratio is calculated by dividing the gain of the antenna (in dB) by its equivalent noise temperature (in Kelvin).
[11] Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- طیف هماهنگ جهانی[1]

صرف نظر از چارچوب قانونی که تحت آن سرویسDtC ارایه می‌شود، دسترسی به طیف هماهنگ، یک نیاز اساسی است. برای پاسخگویی به تقاضاهای رو به رشد مورد انتظار برای این سرویس، طیف کافی باید محافظت شود و در دسترس قرار گیرد تا تعداد زیادی از دستگاه‌های مورد انتظار کاربران نهایی را در خود جای دهد[۶].

- تقویت استانداردهای جهانی و باز[2]

این کار قابلیت همکاری ارایه‌دهندگان سرویس ارتباطی را ممکن می‌کند و بازار جهانی را توسعه می‌دهد. بخشی از نسخه ۱۷ استاندارد 3GPP مرتبط با ارایه الزامات لازم برای NTN حاوی سیستم ماهواره در باندهای فرکانسی S و L مرتبط با استانداردهای 5G است. این کار در نسخه‌های ۱۸، ۱۹ و بعد از آن با معرفی باندهای فرکانسی اضافی (مانند باندهای Ka و Ku)، ادامه دارد. این تلاش‌ها توسط دولت‌ها، سهامداران و صنعتگران ارتباطات (هم زمینی و هم غیر زمینی) در سراسر جهان پشتیبانی می‌شوند و در صورت لزوم در جریان‌های کاری اتحادیه بین المللی مخابرات ادغام می‌شوند[۶].

- قطعیت طیف[3]

برای برآورده کردن تقاضاهای مورد انتظار برای DtC و همچنین با توجه به افزایش تقاضا برای سرویس از جمله نیاز به گذردهی بالاتر، تخصیص فرکانسی بین‌المللی و داخلی فعلی (از جمله سرویس سیار ماهواره‌ای) کافی نیست. رگولاتوری باید از طیف ماهواره‌ای موجود محافظت کرده و اولویت تخصیص طیف هماهنگ اضافی را در سطح جهانی برای سرویس‌های ماهواره‌ای ثابت و موبایل (سرویس‌های سیار و ثابت ماهواره‌ای) در کنفرانس جهانی ارتباطات رادیویی آینده در اولویت قرار دهد تا از اتصال برای همه اطمینان حاصل شود[۶].

- رژیم صدور مجوز شفاف و منطقی[4]

اگرچه دسترسی به طیف مهم است، اما دولت‌ها همچنین باید اطمینان حاصل کنند که قوانین موجود صدور مجوز ماهواره برای DtC، شفاف و کارآمد است. به عنوان نمونه، استفاده از حراج‌های کلاسیک[5]، با توجه به ماهیت جهانی شبکه‌های ماهواره‌ای، از مقرون به صرفه بودن سرویس ماهواره‌ای جلوگیری می‌کند و یا هزینه‌های زیرساخت شبکه فضایی را افزایش می‌دهد[۶].

### ۴-۲- بررسی چالش‌های پیاده‌سازی در ارایه سرویس DtC

برای دستیابی به ارتباطات قابل حمل مستقیم بین ماهواره‌های LEO و تجهیزات کاربری، چالش‌های قابل توجه وجود دارد. در ادامه به بررسی برخی از این نوع چالش‌ها پرداخته شده است.

- همگام‌سازی (همزمانی)[6]

در عمل، امواج الکترومغناطیسی[7] (EM) تابشی باید برخی مشخصه‌های همزمانی را برای تحقق تداخل سازنده بین پرتوهای ماهواره دارا باشند. اولین مشخصه، همزمانی فرکانسی است که نیاز به پایداری و دقت خیلی بالا برای ماژول‌های فرکانس رادیویی در ماهواره دارد. برای اسیلاتورهای کریستالی و ادوات فرانت-اند[8] در ماهواره‌های مختلف، باید اطمینان از ارسال امواج الکترو-مغناطیس در فرکانس مشابه وجود داشته باشد، که فرض اولیه برای برهم نهی امواج الکترومغناطیس مختلف برای تشکیل موج ایستا است. مساله دوم همزمانی فاز است. امواج EM تابشی باید در گیرنده، فاز یکسان داشته باشد که در اثر برهم نهی شدت میدان بیشینه شود. در واقع در صورت عدم وجود این همزمانی، سیگنال برهم نهی شده ممکن است بدتر از یک تک سیگنال باشد. بنابراین، فاز اولیه فرستنده بایستی بعد از در نظر گرفتن فاکتورهای زیادی، به دقت تنظیم شود. مورد سوم همگام‌سازی زمانی است. ماهواره‌ها همواره در حال حرکت هستند، و به طور مداوم نیز مکان آنها تغییر می‌کند، بنابراین، فاصله بین هر ماهواره و تجهیزات کاربری متفاوت خواهد بود. اگر ماهواره‌ها سیگنال را به طور همزمان به تجهیز کاربری ارسال کنند، گیرنده این سیگنال‌ها را در زمان‌های مختلف دریافت خواهد کرد، و حتی ممکن است سیگنال برای دریافت موفقیت‌آمیز نیز خیلی ضعیف شود. بنابراین، سیگنال‌های ارسالی باید با تاخیرهایی تنظیم شوند که این اطمینان حاصل شود که همزمان به گیرنده می‌رسند [۱۴].

- برقراری لینک‌های بین ماهواره‌ای

در شبکه‌های منظومه‌ای LEO، لینک‌های بین ماهواره‌ای فناوری حیاتی هستند که جابجایی داده و سیگنال‌های کنترلی بین ماهواره‌ها در منظومه را ممکن می‌سازند. بایستی اشاره داشت که مکانیزم‌های برقراری ارتباط، سوگیری و ردگیری بین ماهواره‌ها بسیار پیچیده بوده و لینک‌های لیزری نیز به شدت تحت تاثیر روشنایی فضا و فاکتورهای دیگر هستند. در ابر منظومه‌ها، به دلیل تغییر مداوم مکان نسبی ماهواره‌های LEO نسبت به یکدیگر، مسیریابی لینک-های بین ماهواره‌ای مساله بسیار پیچیده‌ای است. علاوه بر این، پردازش سیگنال در ماهواره نیز به طور چشم‌گیری پیچیدگی و دشواری توسعه این فناوری را افزایش داده و در نتیجه سازگاری ماهواره‌ها با ارتقا و به روزرسانی‌های فناوری را کاهش می‌دهد. در واقع این مساله بزرگترین مشکلی است که مانع توسعه لینک‌های لیزری می‌شود[۱۴].

- وجود اثر داپلر[9] در مدار LEO

از آنجایی که ماهواره‌های LEO باید با سرعت بالایی حرکت کنند، این حرکت، فرکانس سیگنال ارسالی را در گیرنده تغییر می‌دهد. این مساله به عنوان اثر داپلر شناخته شده است. در واقع، هنگامی که فرستنده و گیرنده به یکدیگر نزدیک می‌شوند، فرکانس افزایش می‌یابد؛ و وقتی از هم دور شوند، فرکانس کاهش پیدا می‌کند. این شیفت فرکانسی داپلر قابل توجه دمدولاسیون را در گیرنده سخت کرده و عملکرد ارتباطات را کاهش می‌دهد [۱۴].

- طراحی منظومه و سوئیچ بین پرتوها در ماهواره

طراحی منظومه‌های ماهواره‌ای به طور مستمر با تغییر نیازمندی‌ها تغییر می‌کند، به همین دلیل این طراحی‌ها اغلب برای محققان دارای ابهام است. هر شرکت پارامترهای منظومه خود را کم و بیش از نظر تعداد ماهواره‌ها و ارتفاع-های مداری تغییر می‌دهد. ضمن اینکه، شرکت‌های مختلف منظومه‌های متفاوتی دارند. به عنوان مثال، هر چند منظومه‌های اسپیس ایکس، وان وب، و تلست همگی مدارهای مایل در ترکیب با مدارهای قطبی دارند، اما این منظومه-ها مشخصات مداری کاملا متفاوت از نظر ارتفاع، انحراف مداری، تعداد مدارها و مشخصات دیگر دارند. در نهایت برای دستیابی به شکل‌دهی پرتو توزیع شده

[1] Globally harmonized spectrum
[2] Foster Global and Open Standards
[3] Spectrum Certainty
[4] Transparent and rational licensing regime
[5] Classic auctions
[6] Synchronization
[7] Electromagnetic
[8] Front-end
[9] Doppler effect

برای DtC، طراحی مناسب منظومه ماهواره‌ای و یا تخصیص مناسب بر اساس هوش مصنوعی ضروری است[۱۴].

- ایجاد تداخلات فرکانسی

با افزایش درخواست در استفاده از منابع محدود فرکانسی، به اشتراک‌گذاری طیف بین سیستم‌های مخابراتی مختلف متداول خواهد بود. به عنوان نمونه، در باندهای فرکانسی پایین، شبکه ماهواره‌ای LEO نیاز به اشتراک‌گذاری طیف با شبکه سلولی زمینی دارد، در حالی که در باندهای فرکانسی بالا، ممکن است نیاز به اشتراک‌گذاری طیف با ماهواره‌هایی در مدارهای MEO[1] و GEO باشد. اشتراک‌گذاری طیف می‌تواند باعث تداخل فرکانسی بیشتر بین سیستم‌های مخابراتی مختلف شود. بنابراین، مدیریت تداخل بین چندین سیستم و به کاربردن شیوه‌های تخصیص منابع لازم خواهد بود. چارچوب کلی به اشتراک-گذاری طیف در شبکه‌های ماهواره‌ای و زمینی، در هر دو حالت فروسو[2] (DL) و فراسو[3] (UL) در مرجع[ ۱۵] ارایه شده است.

در ادامه با شناسایی اپراتورهای ارایه‌دهنده سرویس DtC و انجام شبیه-سازی به بررسی فنی ارایه این نوع سرویس ارتباطی در کشور ایران و به طور خاص شهر تهران پرداخته خواهد شد.

## ۳- نوآوری پژوهشی و گام‌های تعیین شده در انجام شبیه‌سازی

در ابتدا، تمامی ماهواره‌هایی که ادعای راه‌اندازی آزمایشی سرویس DtC داشته-اند، شناسایی گردید. در مقایسه با مطالعات و پژوهش‌های قبلی، در این مقاله لیست کاملتری از ماهواره‌های ارایه‌دهنده این سرویس مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹-۱۶]. پارامترهای موردنیاز برای شبیه‌سازی انواع ماهواره‌های ارایه-دهنده سرویس DtC در جدول ۱ ارایه شده است. در جدول ۱، برای محاسبه میزان تاخیر هرکدام از ماهواره‌های ارایه‌دهنده سرویسDtC، حداکثر فاصله ماهواره بر سرعت نور برحسب کیلومتر بر ثانیه تقسیم شده است. سپس با توجه به وجود یک مسیر دو طرفه در DL و UL، مقدار بدست آمده به میزان دو برابر برای تمامی ماهواره‌های ارایه دهنده سرویس DtC به منظور مقایسه و ارزیابی کیفیت ارتباطات ماهواره‌ای ارایه شده است [۲۰]. در این بخش، منظومه ماهواره‌ای Starlink بواسطه داشتن ۲۲۷ ماهواره عملیاتی DtC [۲۱] به عنوان کاندید اصلی ارایه این سرویس انتخاب شده است. سپس امکانسنجی ارایه سرویس DtC در کشور ایران (خاص شهر تهران) از نظر ابعاد فنی بر حسب تعداد ماهواره مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. البته باید توجه داشت که در انجام فرآیند شبیه‌سازی و انتخاب ماهواره Starlnik، سایر پارامترهای مهم در ارایه سرویس مانند مدت زمان دسترسی، درصد پوشش‌دهی و تعداد دفعات دسترسی در مقایسه با سایر ماهواره‌های ارایه دهنده سرویس DtC مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. علاوه براین، ماهواره AST2000 MHz نیز با توجه به داشتن بازه فرکانسی مشابه با ماهواره Starlink برای بررسی ملاحظات تداخل در صورت پوشش‌دهی هم‌زمان در کشور ایران و به طور خاص شهر تهران در نظر گرفته شده است. امروزه، ماهواره AST2000 MHz شامل ۲ ماهواره پرتابی (BlueWalker) و ۲۴۳ ماهواره برنامه‌ریزی شده (BlueBird) می‌باشد [۱۷-۱۶]. معرفی این دو منظومه ماهواره‌ای در مراجع [۱۶] و [۲۳-۲۱] آمده است. امروزه، دو نوع سرویس باند باریک[4] (NB) و پهن باند[5] (WB) بر حسب میزان پهنای باند و نرخ داده مورد نیاز در ارایه سرویس DtC پیش بینی شده است. در این پژوهش ارایه سرویس NB، باتوجه به میزان بودجه لینک توانی مناسب‌تر در اکثر ماهواره‌های ارایه دهنده سرویس DtC، به عنوان سرویس پیشنهادی برای انجام شبیه سازی و تحلیل‌های سیستم مدل پیشنهادی در قالب منظومه ماهواره‌ای در کشور ایران (خاص شهر تهران) در نظر گرفته شده است[۱۶]. در ادامه این پژوهش، گام‌های مختلف شبیه‌سازی و ارزیابی مطابق با رویه زیر در نظر گرفته شده است:

- درگام اول، ابتدا با تعیین پارامترها و مشخصات فنی برای انواع ماهواره و گوشی در ارایه سرویس DtC مطابق با جدول ۱، شبیه‌سازی با کمک نرم‌افزار STK انجام شده که در آن به بررسی مدت زمان دسترسی، تعداد دسترسی‌ها و درصد پوشش‌دهی برای تمام ماهواره‌های موجود در ارایه سرویس DtC در حالت تک ماهواره پرداخته می‌شود (جدول شماره ۲).
- در گام دوم، با انتخاب ماهواره Starlnik به عنوان یک منظومه پیشنهادی در ارایه این نوع سرویس در کشور ایران و به طور خاص شهر تهران، به بررسی دقیق‌تر پارامترهای اشاره شده در گام اول (مدت زمان دسترسی، تعداد دسترسی‌ها و درصد پوشش دهی) بر حسب تعداد ماهواره در قالب یک منظومه ماهواره‌ای پرداخته خواهد شد. در این مرحله، پارامترهای ذکر شده در نرم‌افزار STK به صورت یک منظومه ماهواره‌ای از نوع واکر (Walker)، با اعمال مضرب صحیحی از ماهواره‌های عملیاتی سرویس DtC در صفحات مداری مختلف که شامل ۲۲۰ ماهواره در ۲۲ صفحه مداری با ۱۰ ماهواره در هر صفحه موجود است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه داشت که در این گام با توجه به محدودیت‌های موجود در زمان‌بر بودن اجرای شبیه‌سازی در نرم‌افزار STK برای ساختارهای بزرگتر از منظر تعداد ماهواره در قالب منظومه‌های ماهواره‌ای حجیم، لازم است از کامپیوترهایی که دارای پردازنده‌های قوی و حافظه بیشتر می‌باشد، استفاده شود. باید توجه داشت که برای انجام شبیه سازی شرایط محیط فضا شامل افت فضای آزاد و افت‌های پلاریزاسیون، اتمسفر، Shadowing و نشانه روی آنتن در کانال فضایی مابین ماهواره و گوشی پیش بینی و در نظر گرفته شده است.
- درگام سوم، با کمک نرم‌افزار MATLAB به بررسی درصد احتمال افزایش ظرفیت قابل حصول گوشی بر حسب یک آستانه مشخص نسبت به تعداد ماهواره‌ها پرداخته شده است. درصد احتمال افزایش ظرفیت قابل حصول گوشی در این بخش بر اساس پارامترهای موجود در جدول ۱ و همچنین میزان آستانه ۱ مگا بیت بر ثانیه [۲۴]، شبیه سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است.
- درگام چهارم، درصد دسترس‌پذیری لینک[6] بر حسب تعداد ماهواره‌ها در منظومه ماهواره‌ای Starlink شبیه سازی و تحلیل شده است[۲۴].

و نهایتا، در گام پنجم، به بررسی یک نمونه سناریوی تداخل مابین دو ماهواره AST 2000 MHz و Starlink در DL پرداخته شده و میزان تداخل در دو سناریوی کوتاه مدت و بلند مدت و همچنین میزان تغییرات دمایی در ایستگاه گیرنده مطابق با مرجع[۲۵]، مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفته است. باید توجه داشت که بررسی تداخل مابین ماهواره‌ای Starlink و AST 2000 MHz ، بواسطه داشتن بازه‌های فرکانسی هم‌پوشان انجام شده است.

## ۴- میزان دسترس‌پذیری، تعداد دفعات دسترسی و درصد پوشش-دهی ماهواره‌های ارایه‌دهنده سرویس DtC

برای انجام شبیه‌سازی به منظور تعیین مدت زمان دسترس‌پذیری، تعداد

[1] Medium earth orbit
[2] Down link
[3] Uplink
[4] Narrow band
[5] Wide band
[6] Link Availability

دفعات دسترس پذیری و میانگین و حداکثر درصد پوشش‌دهی از نرم‌افزار STK استفاده شده است. به این منظور، لازم است تا نقطه‌ای در کشور ایران به عنوان یک نقطه فرضی در تماس ماهواره ارایه‌دهنده سرویس DtC در نظر گرفته شود. در این پژوهش، شهر تهران برای این نوع دسترسی انتخاب شده است. برای انجام دقیق تحلیل پوشش جغرافیایی، تحلیلگر Coverage definition در نرم-افزار STK بکار گرفته شده است. برای آنکه محدوده پوشش جغرافیایی با دقت بیشتری توسط نرم‌افزار STK مورد شبیه‌سازی قرار گیرد، مقدار Point Granularity که نسبت عرض به طول جغرافیایی می‌باشد، به میزان ۰.۶ واحد در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی برای یک بازه زمانی دو روزه در نرم‌افزار STK، برای تمام ماهواره‌های ارایه‌دهنده سرویس DtC اشاره شده در جدول ۱ در سناریوی تک ماهواره انجام شده و نتایج در جدول ۲ آمده است. در تحلیل نتایج شبیه سازی، پارامترهایی مانند دسترس پذیری، تعداد دفعات دسترسی و میانگین درصد پوشش‌دهی و در این جدول ارایه و مقایسه شده است. همانگونه که از نتایج جدول ۲ مشخص است، دو ماهواره AST 2000 MHz و Starlink دارای تعداد دفعات دسترسی برابر به میزان ۱۶ بار می‌باشند. این میزان بیشترین تعداد دفعات دسترسی به شهر تهران در نرم‌افزار STK در طول بازه شبیه‌سازی نشان می‌دهد. حداکثر زمان دسترسی به شهر تهران برای دو ماهواره در GEO به نام‌های EchoStar XXI و Inmarsat-6 F2 به میزان ۱۷۲۸۰۰ ثانیه بوده که نسبت به سایر ماهواره‌های دیگر از این حیث برتری دارند. البته علت اصلی این امر قرارگیری این ماهواره‌ها در مدار بالاتری نسبت به سایر ماهواره‌های LEO در جدول ۱ می‌باشد. باید توجه داشت که این دو ماهواره بر حسب یکی از معیارهای مهم در بخش کیفیت ارتباطات یعنی تاخیر، دارای میزان تاخیر بیشتری نیز نسبت به سایر ماهواره‌ها در جدول ۱، به میزان ۲۳۸.۵۷ میلی ثانیه می‌باشند. به جز دو ماهواره AST 2000 MHz و Lynk که به ترتیب دارای ۸۲.۶۷ و ۹۹.۱۱ درصد پوشش‌دهی برای شهر تهران می‌باشند، سایر ماهواره‌های جدول ۱ دارای درصد پوشش‌دهی ۱۰۰ درصد در طول فرآیند شبیه‌سازی برای شهر تهران خواهند بود.

## ۵- میزان دسترس‌پذیری، تعداد دفعات دسترسی و درصد پوشش-دهی منظومه ماهواره‌ایStarlink بر حسب تعداد ماهواره

همانگونه که در بخش ۳ بدان اشاره شد در این پژوهش، منظومه ماهواره‌ای Starlink به دلیل تعداد ماهواره‌های عملیاتی بیشتر نسبت به سایر ماهواره‌های جدول ۱، برای بررسی فنی و امکان‌سنجی ارایه سرویس DtC در کشور ایران و به طور خاص شهر تهران در نظر گرفته شده است. البته با توجه به شبیه‌سازهای انجام شده در بخش ۴، ماهواره Starlink با توجه به معیارهای تعداد دفعات دسترسی بیشتر و همچنین حداکثر میانگین درصد پوشش‌دهی محدوده جغرافیایی شهر تهران، به عنوان منظومه ماهواره‌ای پیشنهادی برای بررسی بیشتر انتخاب شد. بنابراین، در ادامه این پژوهش به بررسی عملکرد منظور ماهواره‌ای Stralink برای ارایه سرویس DtC در کشور ایران و به طور خاص شهر تهران به عنوان نقطه دسترسی پرداخته خواهد شد. چیدمان منظومه ماهواره‌ای Starlink شامل ۲۲ صفحه مداری بوده که در هرکدام از صفحات شامل۷۲ ماهواره می‌باشد. به عبارتی تعداد ۱۵۴۸ ماهواره پیش‌بینی شده است [۲۶]. تا به امروز، تعداد ۲۲۷ ماهواره از منظومه ماهواره‌ای Starlink که در فضا استقرار یافته، برای ارایه سرویس DtC در نظر گرفته شده است [۲۱]. در نتیجه برای انجام شبیه‌سازی و تحلیل پوشش‌دهی کشور ایران ( خاص شهر تهران) در مدل منظومه Walker که مدل پیشنهادی برای تحلیل شبیه‌سازی منظومه ماهواره‌ای Starlink در نرم‌افزار STK در نظر گرفته شده، می‌بایست حداکثر تعداد ۲۲۷ ماهواره را در شبیه سازی در نظر گرفت. اما برای آنکه بتوان مضرب صحیحی از تعداد صفحات مداری و تعداد ماهواره در هر صفحه مداری در نظر گرفت، در این پژوهش برای انجام شبیه‌سازی حداکثر ۲۲۰ ماهواره که در ۲۲ صفحه مداری که هرکدام دارای ۱۰ ماهواره می‌باشد، پیشنهاد شده است. برای انجام تحلیل و استقرار ماهواره‌ها از مدل Custom در نرم‌افزار STK استفاده شده که با توجه به تعداد صفحات و تعداد ماهواره، میزان دو پارامتر مداری برای استقرار ماهواره‌های در منظومه یعنی TA به میزان ۳۶۰ درجه تقسیم بر تعداد صفحات مداری و میزان RAAN به میزان ۳۶۰ درجه تقسیم بر تعداد ماهواره‌ها در هر صفحه مداری اعمال شده است. استقرار ماهواره‌های منظومه Starlink حول کشور ایران برای حالت حداکثر ۲۲۰ ماهواره در محیط نرم‌افزار حول کشور ایران در شکل ۱ نمایش داده شده است.

جدول۳، حداقل و حداکثر میزان دسترس‌پذیری ماهواره‌های منظومه Starlink بر حسب تعداد ماهواره‌های Starlink را برای شهر تهران نشان می‌دهد. همانگونه که از جدول ۳ مشخص است و در مرجع [۲۶] نیز بدان اشاره شده، با افزایش تعداد ماهواره‌ها حداکثر میزان دسترس‌پذیری بر حسب ثانیه افزایش می‌یابد. لذا با افزایش تعداد ماهواره‌ها، تعداد دفعات دسترسی شهر تهران به ماهواره‌های منظومه Starlink نیز افزایش می‌یابد.

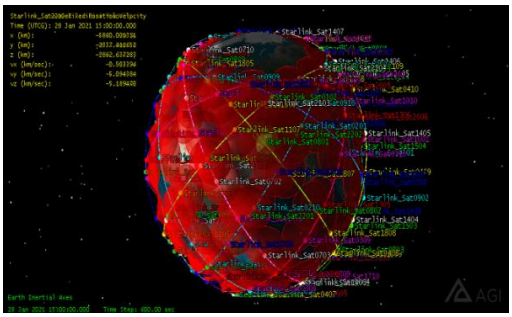
اما بعد از تعداد ۵۰ ماهواره، افزایش تعداد ماهواره لزوما منجر به افزایش تعداد دفعات دسترسی نخواهد شد. از طرفی دیگر، با افزایش تعداد ماهواره‌ها از ۵۰ ماهواره، میزان حداقل مدت زمان دسترسی نیز افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در تعداد ۲۲۰ ماهواره، حداقل و حداکثر مدت زمان دسترسی یکی شده و از دید کاربر دسترسی کامل و تقریبا بدون وقفه‌ای به میزان ۱۷۲۸۰۰ ثانیه معادل ۴۸ ساعت ( فرض بازه زمانی شبیه‌سازی) برای شهر تهران وجود دارد.

**جدول۱- ارایه پارامترهای فنی ماهواره‌ها ارایه‌دهنده سرویسDtC و گوشی[۱۹-۱۶]**

| مشخصات فنی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نام ماهواره | حداکثر ارتفاع ماهواره (Km) | بازه ی فرکانس (MHz) | $EIRP_{sat}$ (dBw) | $\left(\frac{G}{T}\right)_{sat}$ (dB/K) | پهنای باند (kHz) | میزان تاخیر (ms) |
| AST 2000 MHz [۱۷-۱۶] (۲ ماهواره پرتابی (BlueWalker) ۲۴۳ - ماهواره برنامه‌ریزی شده ((BlueBird)) | ۷۴۰ | (DL)۲۳۶۰-۱۸۰۵ (UL)۲۳۲۰-۱۷۱۰ | Max pfd [dBW/m2/kHz] = -۱۰۷/۷/ -۱۰۶/۲ / -۱۰۴/۸ / -۱۰۳/۶ / -۱۰۲/۵ / -۹۶/۶ (۰°-۵° / ۵°-۱۰°/ ۱۰°-۱۵° / ۱۵°-۲۰° / ۲۰°-۲۵° / ۲۵°-۹۰°) (>۱GHz) | ۲۰ | ۳۶۰ | ۴.۹۳ |
| GLOBALSTAR-2 [۱۶] (۲۴ ماهواره پرتابی از ۴۸ ماهواره برنامه‌ریزی شده) | ۱۴۱۴ | (DL) ۲۴۸۳/۲۵۰۰-۵ (UL) ۱۶۱۸-۱۶۱۰/۷۲۵ | Max pfd [dBW/m2/MHz] = -۱۲۶ / -۱۲۲/۷ / -۱۱۹/۵ / -۱۱۶/۲ / -۱۱۳ / -۱۱۳ (۰°-۵° / ۵°-۱۰° / ۱۰°-۱۵° / ۱۵°-۲۰° / ۲۰°-۲۵° / ۲۵°-۹۰°) | -۶.۸۹ | ۳۶۰ | ۹.۴۲ |
| AST 900 [۱۷-۱۶] (۲ ماهواره پرتابی (BlueWalker) ۲۴۳ - ماهواره برنامه‌ریزی شده ((BlueBird)) | ۷۴۰ | (DL)۹۶۰-۶۱۷ (UL) ۹۱۵-۶۶۳ | Max pfd [dBW/m2/kHz] = -۱۱۱/۱/ -۱۰۹/۶ / -۱۰۸/۳ / -۱۰۷ / -۱۰۵/۹ / -۱۰۰ (۰°-۵° / ۵°-۱۰°/ ۱۰°-۱۵° / ۱۵°-۲۰° / ۲۰°-۲۵° / ۲۵°-۹۰°) (<۱GHz) | ۱۴ | ۳۶۰ | ۴.۹۳ |
| Lynk [۱۶] (۶ ماهواره پرتابی از ۱۰ ماهواره در فاز تست - ۵۰۰۰ ماهواره برنامه‌ریزی شده) | ۵۵۰ | (DL) ۹۰-۶۱۷ (UL) ۹۱۵-۶۶۳ | Max pfd [dBW/m2/MHz] = -۱۱۵/۸/ -۱۱۲/۸ / -۱۱۰/۵ / -۱۰۸/۴ / -۱۰۶/۶ / -۹۷/۴۳ (۰°-۵° / ۵°-۱۰° / ۱۰°-۱۵° / ۱۵°-۲۰° / ۲۰°-۲۵° / ۲۵°-۹۰°) | -۵.۴۹ | ۳۶۰ | ۳.۶۶ |
| Iridium NEXT [۱۶] | ۷۸۰ | ۱۶۲۶-۱۶۱۶/۵ (DL و UL) | ۵۳ | -۳.۱ | ۳۶۰ | ۵.۲ |
| EchoStar XXI [۱۶] | ۳۵۷۸۶ | (DL) ۲۲۰۰-۲۱۸۰ (UL) ۲۰۲۰-۲۰۰۰ | ۵۳ | ۱۹ | ۳۶۰ | ۲۳۸.۵۷ |
| Inmarsat-6 F2 [۱۶] | ۳۵۷۸۶ | (DL) ۱۵۵۹-۱۵۲۵ (UL)۱۶۲۶/۱۶۶۰-۵/۵ | ۵۳ (تخمین زده برای یک کانال ۵ مگا هرتزی) | ۱۰ | ۳۶۰ | ۲۳۸.۵۷ |
| Starlink [۱۹-۱۷] | ۵۵۰ | (DL)۱۹۹۵-۱۹۹۰ (UL)۱۹۱۵-۱۹۱۰ | ۳۹.۴۴ | ۸.۷ | ۳۶۰ | ۳.۶۶ |

| سایر مشخصات فنی برای انجام شبیه سازی | | | |
|---|---|---|---|
| بهره آنتن فرستنده/ گیرنده گوشی ( $G_{UE}$ ) [۱۶] | 0 (dBi) | افت Shadowing ( $L_{Sh}$ ) [۱۶] | 2 (dB) |
| عدد نویز گوشی( $NF_{UE}$ ) [۱۶] | 7 (dB) | افت نشانه‌روی آنتن ( $L_P$ ) [۱۶] | 1 (dB) |
| توان فرستنده گوشی [۱۶] | -7 (dB) | نوع ساختار منظومه ماهواره‌ای | Walker |
| تعداد کاربران | ۱۰ | تعداد ماهواره در منظومه Starlink | ۲۲۰ |
| مختصات جغرافیایی (کشور ایران) | ۶۳-۴۴( deg) | تعداد صفحات مداری منظومه Starlink | ۲۲ |
| محدوده زاویه فراز[1] | ۹۰-۲۵( deg) | تعداد ماهواره در هر صفحه منظومه Starlink | ۱۰ |
| دمای آنتن گوشی ( $T_a$ ) [۱۶] | 290 (K) | نسبت عرض به طول جغرافیایی(Point Granularity) | ۰.۶ |
| افت ناشی از پلاریزاسیون ( $L_{Pol}$ ) [۱۶] | 3(dB) | آنومالی حقیقی[2] (TA) | ۱۶.۳۶(deg) |
| افت ناشی از اتمسفر ( $L_{Atm}$ ) [۱۶] | 0.5 (dB) | صعود راست گره صعودی[3] (RAAN) | ۳۶(deg) |

[1] Elevation angle
[2] True anomaly
[3] Right Ascension of Ascending Node



**شکل۱- نحوه استقرار منظومه ماهواره‌ای Starlink با ساختار پیشنهادی شامل تعداد ۲۲۰ ماهواره متمرکز بر کشور ایران**

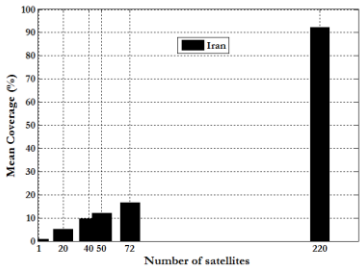
**جدول۲- بررسی معیارهای دسترس‌پذیری برای دو نوع اپراتور ماهواره‌ای در کشور ایران (حالت تک ماهواره)**

| نام ماهواره | حداقل مدت زمان دسترسی (ثانیه) | حداکثر مدت زمان دسترسی (ثانیه) | میانگین درصد پوشش‌دهی در طول زمان شبیه‌سازی (برای یک ماهواره) | حداکثردرصد پوشش‌دهی در طول زمان شبیه‌سازی (برای یک ماهواره) | تعداد دفعات دسترسی ماهواره با گوشی |
|---|---|---|---|---|---|
| Starlink | ۱۷۶.۲۸۶ | ۷۶۵.۰۳۲ | ۰.۸۷ | ۱۰۰ | ۱۶ |
| AST2000MHz | ۲۱۲.۶۸۵ | ۹۱۳.۰۰۹ | ۰.۳۵ | ۸۲.۶۷ | ۱۶ |
| GLOBALSTAR | ۸۵۸.۸۲۷ | ۱۴۰۱.۴۵۳ | ۱.۹۵ | ۱۰۰ | ۱۴ |
| AST900MHz | ۱۶۹.۱۱۶ | ۶۶۷.۱۱۴ | ۱.۰۴ | ۱۰۰ | ۱۰ |
| LYNK | ۱۴۱.۳۵۰ | ۷۰۷.۸۵۵ | ۰.۵۵ | ۹۹.۱۱ | ۱۰ |
| Iridium NEXT | ۱۶۰.۷۰۴ | ۷۸۳.۳۱۰ | ۱.۵۲ | ۱۰۰ | ۹ |
| EchoStar XXI | ۱۷۲۸۰۰ | ۱۷۲۸۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱ |
| Inmarsat-6 F2 | ۱۷۲۸۰۰ | ۱۷۲۸۰۰ | ۷۶.۴۶ | ۱۰۰ | ۱ |

**جدول۳- میزان حداقل/ حداکثر زمان دسترسی بر حسب افزایش تعداد ماهواره‌های منظومه Starlink**

| تعداد ماهواره | حداقل مدت زمان دسترسی (ثانیه) | حداکثر مدت زمان دسترسی (ثانیه) | تعداد دسترسی بر حسب زمان حداقل/ حداکثر دسترسی |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۷۲٫۲۸۶ | ۷۶۵٫۰۳۲ | ۱۶ |
| ۲ | ۱۷۲٫۲۸۶ | ۱۹۶۶٫۲۳۲ | ۲۴ |
| ۴۰ | ۱۷۲٫۲۸۶ | ۲۳۵۹٫۰۲۸ | ۳۲ |
| ۵۰ | ۱۷۲٫۲۸۶ | ۲۳۶۱٫۰۱۸ | ۳۶ |
| ۷۲ | ۵۰۱٫۵۸۴ | ۲۳۶۷٫۱۰۱ | ۳۱ |

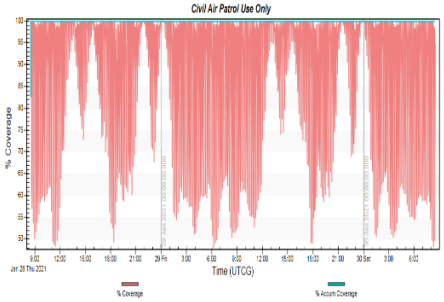
به عبارتی دیگر ایجاد پیوستگی ممتد دسترسی شهر تهران با منظومه ماهواره‌ای Starlink با حداکثر میزان دسترسی در حالت منظومه ماهواره‌ای با ۲۲۰ ماهواره در شبیه‌سازی را خواهیم داشت که می‌توان این شرایط را برای ارایه بدون وقفه سرویس باند باریک DtC برای کشور ایران مناسب دانست. در شکل ۲، میزان میانگین درصد پوشش‌دهی برای کشور ایران برحسب افزایش تعداد ماهواره‌های منظومه Starlnik ارایه شده است. همانگونه که در شکل ۲ دیده می‌شود با افزایش تعداد ماهواره، میانگین درصد پوشش‌دهی روند صعودی خواهد داشت. به گونه‌ای که از حدود ۱ درصد برای حالت تک ماهواره به حدود ۹۲.۲۰ درصد برای حالت ۲۲۰ ماهواره افزایش خواهد یافت.




**شکل۲- میزان درصد میانگین پوشش‌دهی بر حسب افزایش تعداد ماهواره‌های منظومه Starlink**

شکل ۳ نشان‌دهنده میزان پوشش‌دهی منظومه ۲۲۰ ماهواره‌ای Starlink برای کشور ایران است. مطابق با شکل۳، میزان درصد پوشش‌دهی (محور عمودی) در منظومه ماهواره‌ای Starlink با تعداد ۲۲۰ ماهواره که با نوارهای قرمز رنگ

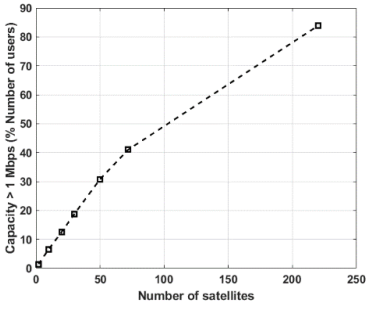
مشخص شده، در اکثر زمان‌های شبیه‌سازی (محور افقی) ۱۰۰ درصد می‌باشد. در طول زمان شبیه‌سازی، درصد پوشش‌دهی در اکثر نقاط ۱۰۰ درصد بوده و نقاط کمی وجود دارند که درصد پوشش‌دهی آنها کم و حداقل ۵۰ درصد می‌باشد. به عبارتی دیگر، با ساختار پیشنهادی ارایه شده برای منظومه ماهواره‌ای Starlink، نقطه‌ای در طول زمان شبیه‌سازی وجود ندارد که پوشش‌دهی صفر درصدی داشته باشد. علت این امر، چیدمان ترکیبی ماهواره‌ها در صفحات مداری مختلف بوده که باعث شده منظومه ماهواره‌ای در اغلب بازه زمانی شبیه‌سازی پوشش نسبتا کاملی برای کشور ایران را داشته باشد [۲۷].




**شکل۳-پوشش‌دهی منظومه ۲۲۰ ماهواره‌ای Starlink برای کشور ایران**

## ۶- میزان درصد احتمال افزایش ظرفیت منظومه ماهواره‌ای Starlink بر حسب تعداد ماهواره

یکی از معیارهای مهم دیگر در بررسی و مقایسه منظومه‌های ماهواره‌ای Starlnik، بررسی درصد احتمال افزایش ظرفیت گوشی کاربران زمینی نسبت به یک میزان ظرفیت آستانه در طول فرآیند سرویس‌دهی بر حسب افزایش تعداد ماهواره‌های موجود در منظومه Starlink می‌باشد [۲۴]. در همین راستا تاثیر افزایش تعداد ماهواره‌های Starlink بر روی افزایش ظرفیت سیستم در کشور ایران (محدوده شهر تهران) نیز شبیه‌سازی گردید و نتایج آن در شکل ۴ آمده است. در شکل ۴، میزان درصد کاربرانی با ظرفیت بیشتر از آستانه در محدوده شهر تهران نسبت به ظرفیت آستانه یک مگابیت بر ثانیه مطرح شده در مرجع [۲۴]، بر حسب تعداد ماهواره‌ها در مسیر DL ارایه شده است. مطابق با [۱۶]، برای انجام شبیه‌سازی و به منظور تعیین فرکانس کاری مطابق با جدول ۱، به ابتدای بازه فرکانسی به میزان نصف پهنای باند مورد نیاز اضافه می‌گردد.

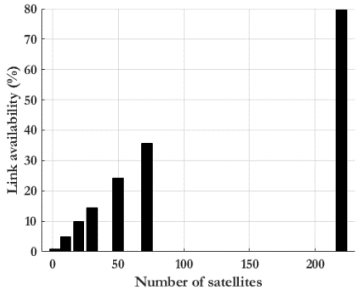



**شکل۴- احتمال درصد افزایش ظرفیت سیستم بر حسب افزایش تعداد ماهواره Starlnik**

همانگونه که از شکل ۴ مشخص است، با افزایش تعداد ماهواره‌ها درصد احتمال افزایش ظرفیت سیستم در ۲۲۰ ماهواره برای کشور ایران، به مقدار ۸۳.۸۶ درصد می‌رسد. بنابراین، می‌توان این تعداد ماهواره را به عنوان یک ساختار پیشنهادی برای ایران پیش‌بینی نمود.

## ۷- میزان درصد احتمال دسترس‌پذیری لینک منظومه ماهواره‌ای Starlink بر حسب تعداد ماهواره

در ادامه‌ی شبیه‌سازی‌های منظومه ماهواره‌ای Starlink، مطابق با مرجع [۲۴]، تاثیر افزایش تعداد ماهواره بر میزان دسترس‌پذیری لینک ماهواره مورد بررسی قرار گرفت. میزان دسترس‌پذیری لینک ماهواره‌ای برابر با نسبت مدت زمانی است که در حاشیه لینک غیر منفی[1] ( سیگنال دریافت شده در بخش گیرنده عملکرد مناسبی دارد)، نسبت به کل مدت زمان شبیه‌سازی وجود دارد. همانگونه که در شکل ۵ مشخص است، این میزان احتمال با افزایش تعداد ماهواره‌ها بیشتر شده، به گونه‌ای که در تعداد ۲۲۰ ماهواره به مقدار ۷۹.۶۶ درصد می‌رسد.



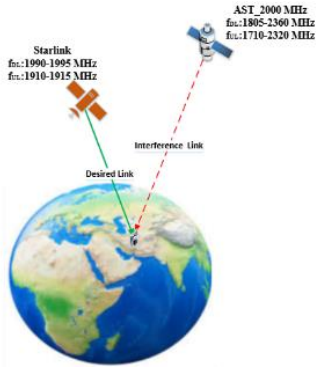

**شکل۵- میزان درصد دسترس‌پذیری لینک ماهواره Starlink برای کشور ایران**

در ادامه با توجه به هم فرکانس بودن دو ماهواره AST2000 MHz و Starlink به بررسی احتمال تداخل برای این دو ماهواره ارایه‌دهنده سرویس DtC در سناریوی تک ماهواره به عنوان معیاری برای بررسی تداخل آنها در صورتی که به صورت همزمان شهر تهران در ناحیه سرویس دهی هر دو ماهواره قرار داشته باشد، پرداخته شده است.

## ۸- سناریوی تداخل ماهواره AST 2000 MHz بر روی ماهواره Starlink

در این بخش سناریوی تداخل محتمل که در شکل ۶ نشان داده شده، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در حالتی که دو ماهواره AST 2000 MHz و Starlink در نقش فرستنده در مسیر DL، به گوشی کاربر زمینی در نقش گیرنده، به صورت همزمان داده ارسال نمایند تداخل فرکانسی بواسطه همپوشانی فرکانسی رخ خواهد داد. در این شرایط، ماهواره Starlink در بازه فرکانسی ۱۹۹۰-۱۹۹۵ MHz (در نقش فرستنده- مسیر سبز رنگ) و AST 2000 MHz در بازه فرکانسی ۱۸۰۵-۲۳۶۰ MHz (در نقش فرستنده- مسیر نقطه چین قرمز رنگ) همزمان با گوشی کاربر زمینی ارتباط دارند. بنابراین، می‌بایست اثرات تداخل و همپوشانی فرکانسی در این شرایط مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر این، میزان تداخل حاصل شده در طول فرآیند شبیه‌سازی یک فرآیند تصادفی بوده که مقدار آن در تمامی بازه زمانی شبیه‌سازی یکسان نیست. به طور کلی، کاهش عملکرد سیستم‌های ماهواره‌ای مورد تداخل به دلیل تداخل بر اساس دو معیار ارزیابی می‌گردد [۲۵]:

[1] Non-negative link margin

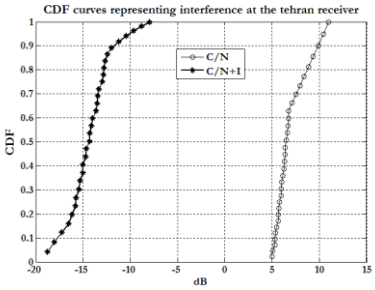



**شکل۶- نحوه تداخل ماهواره AST 2000 MHz در مسیر DL بر روی لینک ایجاد شده مابین گوشی کاربر زمینی و ماهواره Starlink**

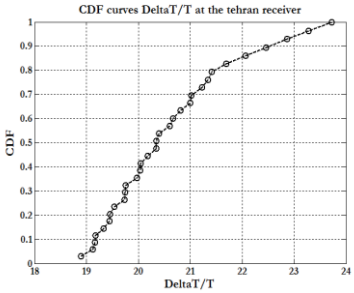
-اولین معیار بر کاهش کریر بر حسب نویز[1] (C/N) بواسطه تداخل متمرکز می‌باشد که نسبت کریر بر حسب مجموع نویز و تداخل[2] C/(N + I) نامیده می‌شود. در یک لینک عملیاتی، کاهش قابل تحمل C/N برابر با ۱ دسی‌بل بوده که مربوط به کاهش ۱۰ درصدی بازده طیفی است. مقدار قابل تحمل C/N در توصیه‌نامه ITU-R S.2131 ذکر شده است. اگرچه این معیار در ابتدا در چارچوب استاندارد DVB-S2 تعریف شده اما می‌توان آن را برای سیستم‌های دیگر نیز اعمال کرد.

- دومین معیار حفاظت مبتنی بر افزایش دمای نویز در گیرنده قربانی[3] است که به صورت DeltaT/T نشان داده می‌شود. در سیستم‌های ماهواره‌ای، سطح آستانه مورد استفاده برای DeltaT/T به میزان شش درصد پیش‌بینی شده است. مقدار پیش بینی شده ( شش درصد) بر حسب دسی بل به میزان ۱۲.۲- دسی بل خواهد بود. با توجه به فرآیند تصادفی سیگنال تداخل، نتایج شبیه-سازی تداخل در قالب تابع توزیع تجمعی[4](CDF) ارایه شده است [۲۵].

درنرم‌افزار STK، مقادیر C/N و C/N+I به صورت یک تابع چگالی احتمال[5] (pdf) از داده‌های بدست آمده در طول مدت زمان شبیه‌سازی خواهد بود. در نتیجه می‌توان با انتگرال‌گیری روی این نوع داده‌ها، میزان CDF پارامترهای مربوطه را بدست آورد. در این حالت و بر حسب نمودار CDF، میزان اختلاف دو نمودار C/N و C/N+I در لحظه شروع مقادیر غیر صفر بر روی محور افقی به عنوان سناریوی تداخل کوتاه مدت[6] و در لحظه رسیدن مقادیر به میزان یک در محور عمودی به عنوان سناریوی تداخل بلند مدت[7] در نظر گرفته می‌شود. با تکیه بر معیارهای ارایه شده در این بخش، میزان تداخل ایجاد شده در مسیر DL در نرم‌افزار STK مورد بررسی قرار گرفته است. باید توجه داشت که ماهواره AST 2000 MHz در DL بر روی لینک سرویس DtC مابین ماهواره Starlink و گوشی کاربر زمینی می‌تواند تداخل ایجاد نماید. برای انجام شبیه‌سازی تداخل و به منظور ایجاد لینک مطلوب سرویس DtC در نرم‌افزار STK از تحلیلگر Chain و برای ایجاد لینک تداخل از تحلیلگر Com_Sys استفاده خواهد شد. در طول زمان شبیه‌سازی ۳۲ بار فرآیند تداخل در STK رخ داده که طبیعتا باعث شده میزان C/N سیستم بواسطه تداخل در نقاط ایجاد تداخل یعنی C/(N + I) کاهش یابد. لازم به ذکر است که با توجه به مدت زمان شبیه‌سازی، در تمام بازه‌های شبیه‌سازی احتمال تداخل دو لینک (مطلوب و تداخل مخرب) وجود ندارد. مطابق با شکل ۷، با توجه به معیارهای تعیین شده در مرجع [۲۵]، میزان اختلاف در سناریوی کوتاه مدت در حدود ۲۵ دسی‌بل و در بلند مدت در حدود ۱۸ دسی‌بل می‌باشد. در نتیجه، میزان تداخل تاثیر گذار بوده و می‌بایست برای حذف یا کاهش تداخل در این حالت، راهکار مناسبی ارایه نمود. علاوه براین، با توجه به مرجع [۲۵]، سطح آستانه قابل تحمل برای DeltaT/T در قالب یک تابع CDF برابر با ۱۲- دسی‌بل می‌باشد. این میزان در نتایج شبیه‌سازی شده در مسیر DL در نرم‌افزار STK در شکل ۸ به میزان حدود ۱۹ دسی‌بل بوده که بیانگر تجاوز حدود ۳۵ دسی‌بل از مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد. در نتیجه در این نوع معیار نیز اثرگذاری تداخل در مسیر DL نشان داده شده است.




**شکل۷- میزان CDF توابع C/N و C/N+I در سناریوی تداخل DL**




**شکل۸- میزان تابع DeltaT/T در سناریوی تداخل UL**

## ۹- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، امکان ارایه سرویس DtC بلند باریک براساس اپراتورهای ماهواره‌ای مختلف بررسی و شبیه‌سازی گردید و Starlink به عنوان یک منظومه ماهواره‌ای مناسب برای ارایه سرویس به کشور ایران انتخاب گردید . این منظومه براساس پارامترهایی مانند احتمال افزایش ظرفیت سیستم ماهواره بر اساس یک سطح آستانه مشخص بر حسب افزایش تعداد ماهواره‌ها، تعداد دسترسی، حداقل و حداکثر مدت زمان سرویس‌دهی و میانگین پوشش‌دهی برای ارایه سرویس بلند باریک مورد بررسی قرار گرفت. در شبیه‌سازی احتمال وقوع افزایش ظرفیت، میزان دسترس‌پذیری لینک با افزایش تعداد ماهواره‌ها ( ۲۲۰ ماهواره) به عنوان یک ساختار پیشنهادی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت که مقدار حداکثر این دو پارامتر، به ترتیب به میزان ۸۳.۸۶ درصد و ۷۹.۶۶ درصد برای کشور ایران بدست آمده است. علاوه براین، میزان میانگین درصد پوشش دهی برای ۲۲۰ ماهواره برای کشور ایران، به میزان بیش از ۹۲ درصد می‌باشد. این امر باعث ارایه سرویس DtC با کیفیت و پیوستگی مناسب در کشور ایران خواهد شد. در نهایت، یک نمونه سناریوی تداخل مابین دو ماهواره AST 2000 MHz و Starlink در مسیر DL مورد

[1] Carrier per noise
[2] Carrier-to-Interference-plus-Noise Ratio
[3] Victim
[4] Cumulative distribution function
[5] Probability distribution function
[6] Short term interference
[7] Long term interference

بررســـی قرار گرفت. در این مطالعه، میزان تداخل در دو نوع ســـناریوی کوتاه مدت و بلند مدت و همچنین میزان نسبت تغییرات دمایی در ایستگاه گیرنده به دمای اولیه ارایه شد. نتایج بدست آمده بیانگراثرگذاری تداخل در این حالت می‌باشـد. بنابراین، می‌بایسـت برای مدیریت تداخل به منظور حذف یا کاهش آن راهکارهایی توسـط قوانین و مقررات رگولاتوری داخلی/ بین المللی در نظر گرفته شـــود. راهکارهای مدیریت تداخلات احتمالی در لینک‌های ارتباطی مابین ماهواره‌ها و گوشی که می‌توان بدان اشاره نمود، عبارتند از:

- هماهنگی در استفاده از بازه‌های فرکانسی همپوشان با ایجاد یک ایزولاسیون زمانی و فرکانسی در بخش زمینی یا در بخش فضایی
- اعمال محدودیت در توان ارسالی ماهواره‌ها یا ایستگاه‌های زمینی عامل ایجاد تداخل در لینک مطلوب
- رعایت مقررات بکارگیری طیف فرکانسی در هر ناحیه/ بخش در هر کشور توسط ماهواره‌ها یا گوشی که تحت مالکیت آن کشور نیستند.

## مراجع


[1] V. Hakami, S. A. Mostafavi, Z. Arefinezhad,"RL-based Resource Allocation for Improving Throughput in Cellular D2D Communications",Tabriz journal od electerical engineering,vol.50,no.3, pp. 1165-1177,2020.

[2] M. Deypir, F. Gouya,"Exploiting Multi-Node Device-to-Device Communications for Wireless Video Delivery over Cellular Networks",vol.50,no.4, pp. 1581-1591,2021.

[3] OB.Yahia, Z.Garroussi, B.Sansò, JF.Frigon, S.Martel, "Lesage-Landry A, Kurt GK. A scalable architecture for future regenerative satellite payloads", arXiv preprint arXiv:2407.06075, pp.1-5, 2024.

[4] Satellite direct-to-device technology needs to evolve through four phases before reaching its full potential.[Online]. Available at: https://www.analysysmason.com/research/content/articles/satellite-d2d-phases-nsi039/

[5] Direct to-phone Satellite Connectivity Expected to Revolutionize the Satellite Communications Industry, Emerging as a Billion-dollar Market by 2027. Available online at: https://www.satellitemarkets.com/direct-to-handheld-market-euroconsult-2023.

[6] Satellite Direct-to-Device Connectivity Bringing Connectivity to Everyone, Everywhere, Anytime, Global satellite operator association.[Online].Available at: https://gsoasatellite.com/wp-content/uploads/GSOA-D2D-Paper.pdf

[7] D.Tuzi, EF.Aguilar, T.Delamotte, G.Karabulut-Kurt, A.Knopp," Distributed Approach to Satellite Direct-to-Cell Connectivity in 6G Non-Terrestrial Networks", IEEE Wireless Communications,vol.30,no.6,pp.28-34, 2023.

[8] Spot light: Direct Satellite-to-Device Mobile Services. Available online at: https://www.ccsinsight.com/wp-content/uploads/2023/06/Satellite-Spotlight-Summary.pdf

[9] Y.He, Y.Xiao, S.Zhang, M.Jia, Z.Li, "Direct-to-Smartphone for 6G NTN: Technical Routes, Challenges, and Key Technologies", IEEE Network,pp.128-135,2024.

[10] K.L. Jones and A. L. Allison, "The Great Convergence and the Future of Satellite-Enabled Direct-to-Device,".[Online]. Available at: https://csps.aerospace.org/sites/default/files/2023-09/Jones Allison_GreatConvergence_20230919.pdf

[11] Future Capability Paper Non-Terrestrial Networks. Available online at: https://uktin.net/whats-happening/resources/future-capability-paper-non-terrestrial-networks.

[12] S.Euler and et.al.," Using 3GPP technology for satellite communication", Ericsson Technology Review,vol.2023,no.6,pp.1-11,2023.

[13] Is satellite direct to device workable?.[Online]. Available at: https://www.linkedin.com/pulse/satellite-direct-device-workable-william-webb-sonke

[14] Z. Xu, Y. Gao, G. Chen, R. Fernandez, V. Basavarajappa and R. Tafazolli, "Enhancement of Satellite-To-Phone Link Budget: An Approach Using Distributed Beamforming," IEEE Vehicular Technology Magazine, vol.18, no. 4, pp. 85-93, 2023.

[15] M. Toka and et al., "RIS-Empowered LEO Satellite Networks for 6G: Promising Usage Scenarios and Future Directions," IEEE Communications Magazine, vol.62, no.11,pp.128-135,2024.

[16] S. Boumard, I. Moilanen, M. Lasanen, T. Suihko and M. Hoyhtya, "A Technical Comparison of Six Satellite Systems: Suitability for Direct-to-Device Satellite Access," 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT),pp.1-6, 2023.

[17] Before the Federal Communications Commission Washington, D.C. 20554.Available online at: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-24-222A1_Rcd.pdf

[18] A.Aguilar, P.Butler, J.Collins, M.Guerster, B.Kristinsson, P.McKeen, K.Cahoy, EF.Crawley, "Tradespace exploration of the next generation communication satellites", AIAA Scitech Forum 2019,pp.1-31,2019.

[19] N.Pachler, I.del Portillo, EF.Crawley, BG.Cameron. An updated comparison of four low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. IEEE international conference on communications workshops (ICC workshops), pp. 1-7,2021.

[20] M.Luglio, C.Roseti, F.Zampognaro," QoS mechanisms for satellite communications", IEEE First AESS European Conference on Satellite Telecommunications (ESTEL), pp. 1-5, 2012.

[21] SpaceX Starlink Has 227 Direct to Cellphone Capable Satellites. Available online at: https://www.nextbigfuture.com/2024/10/spacex-starlink-has-227-direct-to-cellphone-capable-satellites.html

[22] The satellite to phone market. Available online at: https://www.satellitemarkets.com/satellite-phone-market.

[23] SpaceX Launch Completes the First Shell of Starlink Direct to Cell Satellites.[Online].Available at: https://www.satellitetoday.com/connectivity/2024/12/06/spacex-launch-completes-the-first-shell-of-starlink-direct-to-cell-satellites/

[24] Analyze NTN Coverage and Capacity for LEO Mega-Constellation. Available online at: https://www.mathworks.com/help/satcom/ug/analyze-ntn-coverage-and-capacity-for-leo-mega-constellation.html

[25] A. Pastukh, V. Tikhvinskiy, S. Dymkova, and O. Varlamov, "Challenges of Using the L-Band and S-Band for Direct-to-Cellular Satellite 5G-6G NTN Systems,"Technologies, vol. 11, no. 4, pp.1-18, 2023.

[26] I.Del Portillo, BG.Cameron, EF.Crawley. A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. Acta astronautica,vol.159,pp.123-35,2019.

[27] R.Sah, R.Srivastava, K.Das. “Constellation design of remote sensing small satellite for infrastructure monitoring in india”, arXiv preprint arXiv ,pp.1-10, 2021.