

Determining Allowed Positions of Aeronautical-Earth Station in Motion (A-ESIM) Prevent its Frequency Interference on the Fixed Ground Station

Roghayeh Doost^{1*}, Saber Shahidzadeh², Roghieh Karimzadeh Bae³ and Pedram Hajipour⁴

1, 3. Assistant Professor, Satellite Communication Group, Faculty of Communications Technology, ICT Research Institute, Tehran, Iran

2. M.Sc., Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

4. Instructor, Satellite Communication Group, Faculty of Communications Technology, ICT Research Institute, Tehran, Iran

*Corresponding Author's E-mail: doost@itrc.ac.ir

Abstract

Due to the frequency sharing of Aeronautical-ESIM (A-ESIM) satellite broadband service with previous ones, there is a possibility of its frequency interference on them. The A-ESIM frequency interference must be prevented by observing the power flux density (PFD) mask. However, the approval of the PFD condition fulfillment method has been postponed to the next meetings. Hence, some countries have simulated and determined the minimum allowable height of A-ESIM from the ground. In many cases, only limited situations of not allowed altitudes cause the PFD to exceed the mask. Therefore, in this paper, with a new solution, the unauthorized positions of A-ESIM are determined at any height less than the minimum allowable height and in take-off and landing positions, relative to a fixed ground station.

Keywords: Aeronautical-Earth station in motion (A-ESIM), Power flux density (PFD) mask, Frequency interference, fixed ground station

1. Introduction

The broadband satellite service of Aeronautical-Earth Station in Motion (A-ESIM) is one of the services that requires to reuse of previous frequency bands, due to the limitation of the frequency band. This type of service is able to provide high-speed internet for plane passengers [1].

In [2], technical and operational regulations such as PFD range and A-ESIM flight height limit are presented for the protection of Fixed and Mobile Stations (FS and MS). Meanwhile, the necessity of the minimum flight height for A-ESIM has not yet been agreed upon. On the other hand, a specific method for PFD mask compliance has not yet been defined, and it is not clear how PFD mask considerations should be implemented for A-ESIM [3]. Currently, researches and simulations in this field are being carried out by different countries. In [4], according to the PFD mask presented in WRC2019, they have expressed an algorithm for determining the minimum permissible height of A-ESIM. In [4], by applying the mentioned algorithm,

minimum height allowed for different coordinates of Japan has been obtained.

In many cases, only limited situations of not allowed altitudes cause the PFD to exceed the mask. Therefore, in this paper, with a new solution, the allowed and not allowed positions of A-ESIM are determined at any height less than the minimum allowable height, relative to a fixed ground station. In addition, the not allowed positions of the A-ESIM in both take-off and landing positions are simulated and determined depending on the slope of the A-ESIM.

2. Determining the Minimum Permitted Height of A-ESIM in Iranian Cities

The minimum allowed height of A-ESIM in different cities of Iran is extracted by simulation.

3. Extraction of Authorized A-ESIM Locations at Heights Lower Than the Minimum Permitted Height

The scenario assumes that the plane is moving from one side with an angle of $\gamma = 5^\circ$ and with a constant height,



COPYRIGHTS

© 2023 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of [the Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

How to cite this article:

R. Doost, S. Shahidzadeh, R. Karimzadeh Bae and P. Hajipour, "Determining Allowed Positions of Aeronautical-Earth Station in Motion (A-ESIM) Prevent its Frequency Interference in the Fixed Ground Station," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 1-14, 2023 (in Persian), <https://doi.org/10.30699/jsst.2023.1410>.

and passes over the FS, and then leaves the sight of the FS at an angle of $\gamma = 175^\circ$ (Figure 2).

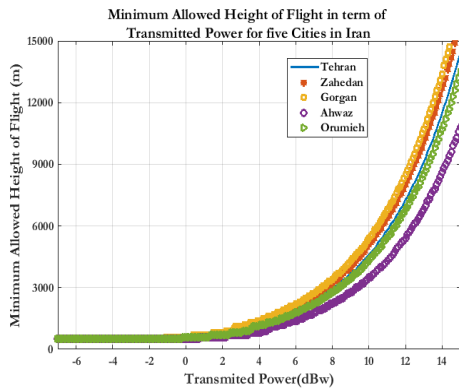


Figure 1. The allowed minimum height of A-ESIM for the cities of Tehran, Zahedan, Gorgan, Ahwaz, Oromia for different input powers assuming communication with the satellite at 26 degrees east

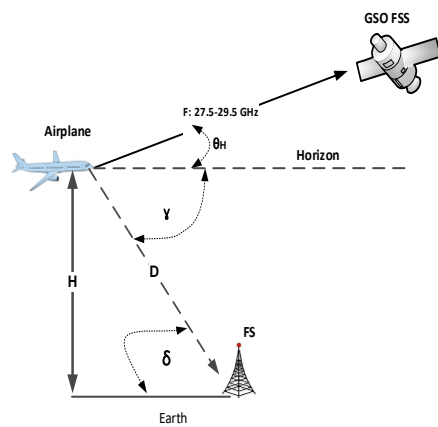


Figure 2. A-ESIM geometry from a fixed ground station

In Figure 3, the range of γ that led to PFD passing through its mask is shown. The intersection point of the PFD mask curve with the PFD curve of each city indicates the minimum γ allowed in the corresponding A-ESIM power and height.

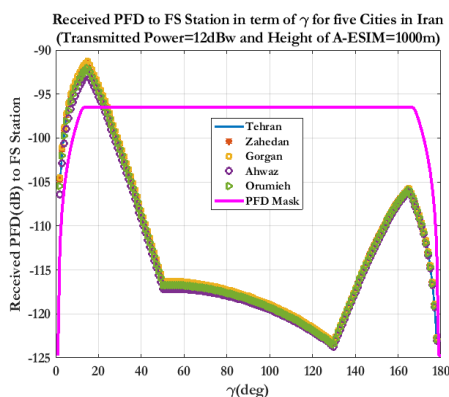


Figure 3. Extracting the minimum allowable of γ using the intersection point

4. Extraction of Authorized A-ESIM Locations in the Landing and Takeoff Mode

In this section, the take-off and landing scenario of the plane is examined. The intersection point of the PFD mask curve with the PFD curve of landing and takeoff mode indicates

the γ allowed in the corresponding A-ESIM power (figures 4 and 5).

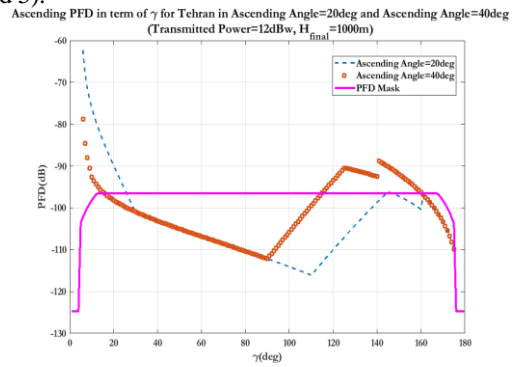


Figure 4. Extracting the minimum allowable of γ using the intersection point in the ascending (take off) mode

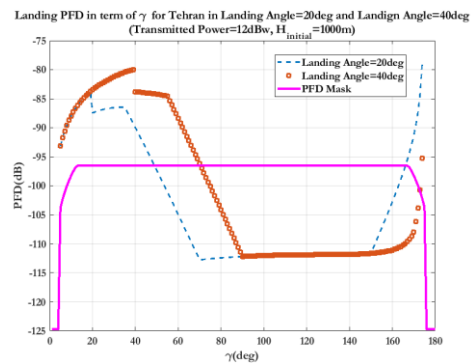


Figure 5. Extracting the minimum allowable of γ using the intersection point in the landing mode

5. Conclusions

In this manuscript, with a new approach, unauthorized A-ESIM flight situations are extracted. Until now, this position was defined only by the minimum permissible height. But in the presented method, by using the PFD mask curve and also the curve of A-ESIM PFD on the fixed ground station and checking their intersection, unauthorized places for providing broadband satellite service are extracted. These simulations and extractions were performed for the flight modes of fixed altitude, landing and takeoff of A-ESIM and also for different technical specifications.

6. References

- [1] S. Panthi and P. Amodio, "Study of Aeronautical Broadband Service Protecting Co-Frequency Terrestrial Services in Ka-band," *Wireless Telecommunications Symposium (WTS), IEEE*, pp.1-9, 2021.
- [2] Republic of Korea, "Japan and Singapore, Proposals for the work of the conference, agenda item 1.5," *World Radio Communication Conference (WRC-19) Sharm el-Sheikh, Egypt*, Document 65-E, 2019.
- [3] WRC-19 agenda item 1.5 Resolution 158 (WRC-15), (Republic of Japan and Korea), Sharing and compatibility between earth stations in motion operating with geostationary FSS networks and current and planned stations of the MS in the frequency band 27.5-29.5 GHz, Annex 14 to Document 4A/826, 11 June 2019.
- [4] Resolution 169 (WRC-19), (Japan), Proposal of the methodology to examine the characteristics of aeronautical ESIM in conformity with PFD limits, Document 4A/103-E, 19 October 2020.

تعیین موقعیت‌های مجاز ایستگاه زمینی متحرک پهن‌باند ماهواره‌ای - هوایی (A-ESIM) به منظور پیشگیری از تداخل فرکانسی آن بر روی ایستگاه ثابت زمینی

رقیه دوست^{۱*}؛ صابر شهیدزاده^۲، رقیه کریم‌زاده بائی^۳ و پدرام حاجی‌پور^۴

۱، ۳، ۴- پژوهشکده فناوری ارتباطات، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

۲- مجتمع دانشگاهی برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مخاطب: doost@itrc.ac.ir

چکیده

ایستگاه زمینی متحرک- هوایی (Aeronautical-ESIM) که به اختصار A-ESIM نامیده می‌شود، سرویس پهن‌باند ماهواره‌ای را برای سرنشینان هواپیماها فراهم می‌کند. با توجه به اشتراک فرکانسی این سرویس با سرویس‌های زمینی غیرماهواره‌ای قبلی، امکان تداخل فرکانسی آن بر روی سرویس‌های پیشین وجود دارد. بنابر مصوبه نشست جهانی ITU در سال ۲۰۱۹، با رعایت ماسک چگالی شار توان (PFD) رسیده به زمین، باید از تداخل فرکانسی A-ESIM بر روی ایستگاه‌های زمینی هم‌فرکانس پیشگیری شود. البته تصویب روش تحقق شرط PFD به نشست جهانی ۲۰۲۳ موکول شده است. در این راستا برخی کشورها به شبیه‌سازی و تعیین حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM از زمین پرداخته‌اند، به طوری که PFD رسیده به زمین از ماسک تعیین شده فراتر نرود. در بسیاری از موارد تنها موقعیت‌های محدودی از ارتفاع‌های غیرمجاز، منجر به تجاوز از PFD از ماسک می‌شوند. از این رو در این مقاله با راهکاری جدید موقعیت‌های مجاز و غیرمجاز A-ESIM در هر ارتفاعی کمتر از حداقل ارتفاع مجاز، نسبت به یک ایستگاه ثابت زمینی تعیین می‌شود. این موقعیت با زاویه زیر افق ایستگاه ثابت زمینی مورد تداخل از دید A-ESIM مشخص می‌شود. علاوه بر آن موقعیت‌های غیرمجاز A-ESIM در دو حالت برخاست و فرود آن، بسته به شیب حرکت A-ESIM شبیه‌سازی و تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه زمینی متحرک پهن‌باند ماهواره‌ای، هوایی (A-ESIM)، تداخل فرکانسی، ایستگاه ثابت زمینی، چگالی شار توان

مقدمه

تقاضای روز افزون خدمات پهن‌باند ماهواره‌ای در ادوات متحرک مانند هواپیما، کشتی و قطار موجب طرح و بررسی این موضوع در نشست‌های بین‌المللی اتحادیه بین‌المللی مخابرات^۵ ITU در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۹ و نیز ادامه آن در سال ۲۰۲۳ میلادی شد. به این منظور در کنفرانس

علائم و اختصارات

R_e	شعاع زمین
H	ارتفاع هواپیما از سطح زمین
(L_{atm})	اتمسفیر
(L_{fuse})	تلفات بدنه‌ی هواپیما
(L_{pol})	تلفات حاصل از اختلاف پلاریزاسیون گیرنده و فرستنده

۴. مری

5. International Telecommunication Union

۱. استادیار

۲. کارشناسی ارشد

۳. استادیار



COPYRIGHTS

© 2023 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of [the Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مورد توافق قرار نگرفته است. از طرف دیگر، هنوز شیوه مشخصی برای انطباق با ماسک PFD تعریف نشده است و روشن نیست که چگونه باید ملاحظات مربوط به ماسک PFD برای A-ESIM محقق شود [۱۴]. در حال حاضر تحقیقات و شبیه‌سازی‌ها در این زمینه توسط کشورهای مختلف در حال انجام است تا نتایج حاصل از آن‌ها در WRC2023 بیان و بررسی شود. در [۱۵-۱۸] با توجه به ماسک PFD مطرح شده در WRC2019 به بیان الگوریتم تعیین حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM پرداخته‌اند. در [۱۵] با به‌کارگیری الگوریتم یاد شده، حداقل ارتفاع مجاز برای مختصات‌های مختلف کشور ژاپن به دست آمده است. در [۱] حد مجاز قابل افزایش ESD^{۲۰} و یا اندازه لازم کاهش ESD، به‌منظور برآورده سازی ماسک PFD رسیده به سطح زمین را بررسی می‌کند.

در همین راستا در این مقاله، ابتدا همچون روش‌های انجام شده در [۱۵]، حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM در شهرهای مختلف ایران، توسط شبیه‌سازی استخراج می‌شود. علاوه بر آن با روشی نوین موقعیت‌های غیرمجاز A-ESIM نسبت به یک ایستگاه ثابت زمینی برای یک ارتفاع مشخص و کمتر از حداقل ارتفاع مجاز به کمک شبیه‌سازی تعیین می‌شود. در روش پیشنهادی، پرواز هواپیما از روی یک ایستگاه ثابت هم‌فرکانس (FS) با ارتفاع ثابت و کمتر از حداقل ارتفاع مجاز شبیه‌سازی می‌شود. با تعیین دقیق موقعیت‌هایی از A-ESIM در آن ارتفاع، که منجر به PFD غیرمجاز بر روی FS می‌شود، امکان پرواز و فعالیت A-ESIM در ارتفاع غیرمجاز فراهم می‌شود. با این تفاوت که در موقعیت‌های محدودی از آن ارتفاع، باید سرویس مورد نظر قطع یا از توانی کاسته شود. یعنی به جای ارتفاع غیرمجاز، موقعیت‌های غیرمجاز معرفی می‌شود که بسیار محدودتر و دقیق‌تر خواهند بود. علاوه بر آن، استخراج موقعیت‌های غیرمجاز در دو حالت برخاست و فرود A-ESIM، شبیه‌سازی و ارایه خواهد شد، تا به این ترتیب مشخص شود که در چه موقعیت‌هایی از برخاست و فرود، A-ESIM می‌تواند به ارایه سرویس بپردازد.

در بخش دوم این مقاله، نحوه محاسبه حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM با لحاظ چگالی شار توان، ماسک آن و روابط مربوط شرح داده خواهد شد. در بخش سوم، در ابتدا حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM با رعایت ماسک چگالی شار توان برای چند شهر کرانه‌ای ایران و نیز شهر تهران به‌دست می‌آید. شهرهای کرانه‌ای به نحوی انتخاب شدند که گستره طول و عرض جغرافیایی کشور تا حدودی پوشش داده شود. در بخش چهارم، سناریوی پرواز A-ESIM از روی ایستگاه ثابت زمینی با ارتفاع ثابت و

جهانی ارتباطات رادیویی^۶ (WRC) که در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ میلادی برگزار شد، باند فرکانسی 17.5GHz تا 20.2GHz برای ارتباطات رو به پایین^۷ و همچنین باند فرکانسی 27.5GHz تا 30GHz به مسیر رو به بالا^۸ اختصاص داده شد. البته قبل از آن، این باندها یا بخشی از آن‌ها برای ارایه خدمات و سرویس‌هایی مانند ثابت غیر ماهواره‌ای^۹، ثابت ماهواره‌ای زمین آهنگ و غیر زمین آهنگ^{۱۰}، سرویس سیار^{۱۱}، لینک‌های تغذیه ارایه سرویس چند پخش ماهواره‌ای^{۱۲}، لینک‌های تغذیه سرویس سیار ماهواره‌ای غیر زمین آهنگ^{۱۳}، سرویس ماهواره‌ای اکتشافات زمینی^{۱۴} و سرویس ماهواره‌ای هواشناسی^{۱۵} در نظر گرفته شده بودند [۱]. بررسی و تحلیل تداخل فرکانسی این سرویس جدید و استخراج و اعلام الزامات لازم به‌منظور جلوگیری از تداخلات مخرب آن بر روی سرویس‌های پیشین، از مصوبات مهم نشست‌های ITU بوده است.

به‌طور کلی، ایستگاه‌های متحرک دارای مشخصات فنی و عملکردی خاصی می‌باشند که ایستگاه‌های ثابت ملزم به آن‌ها نیستند، از جمله ابعاد و اندازه کوچک لازم برای آنتن خودروها، قطارها، هواپیماها و ناوهای دریایی و داشتن یک سیستم رهگیری مناسب برای این نوع ایستگاه‌ها به‌منظور نشان‌دهی درست به ماهواره هدف. علاوه بر آن، ارایه روش‌ها و الزامات مدیریت تداخل فرکانسی با سایر ایستگاه‌های ثابت یا سیار، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر خواهد بود [۲-۷]. نهاد‌های ملی و بین‌المللی می‌بایست روش‌های مختلفی را به‌منظور کاهش یا حذف تداخلات احتمالی به‌واسطه حضور ایستگاه‌های متحرک در باندهای فرکانسی همپوشان، ارایه دهند. در این راستا، مصوباتی به‌منظور مدیریت تداخل در نشست بین‌المللی WRC-19 ارائه شده است [۸-۹]. یکی از سرویس‌هایی که با توجه به محدودیت باند فرکانسی، نیاز به استفاده از باندهای فرکانسی مشترک دارد، سرویس پهن‌بند مرتبط با ایستگاه زمینی متحرک- هوایی^{۱۶} (A-ESIM) می‌باشد. این نوع سرویس قادر است تا اینترنت پرسرعت را برای مسافری داخل هواپیما تامین نماید [۱۰]. در [۱۱]، معیارهای فنی برای حفظ سازگاری فرکانسی بین ESIM و سایر سرویس‌ها در باندهای فرکانسی همپوشان پیشنهاد شده است. در مورد A-ESIM، سازگاری فرکانسی با رعایت سطح معینی از چگالی شار توان^{۱۷} (PFD) بر روی زمین قابل تحقق است. در [۱۲-۱۳]، مقررات فنی و عملیاتی مانند محدوده PFD و محدودیت ارتفاع پرواز A-ESIM برای محافظت ایستگاه‌های ثابت^{۱۸} (FS) و سیار^{۱۹} (MS) ارائه شده است. این در حالی است که هنوز ضرورت حداقل ارتفاع پرواز برای A-ESIM

14. Earth exploration-satellite service

15. Meteorological-satellite service

16. Aeronautical Earth station in motion (A-ESIM)

17. Power Flux Density

18. Fixed Station

19. Mobile Station

20. EIRP Spectral Density

6. World Radio Communication Conferences

7. Downlink

8. Uplink

9. Fixed Service

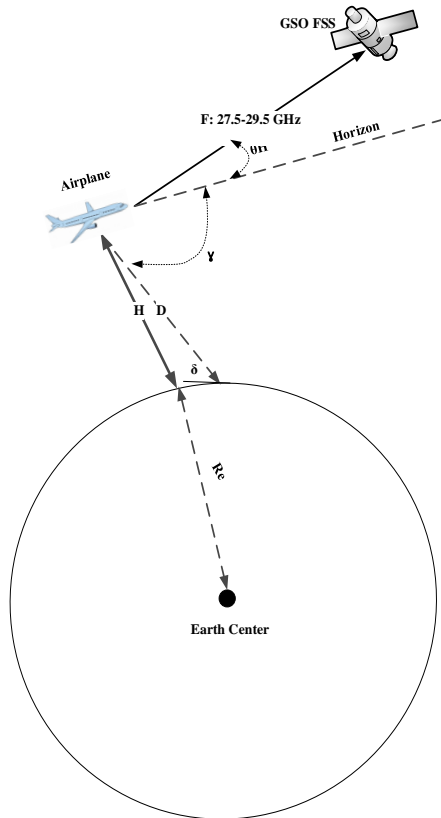
10. Fixed-Satellite Service (GSO and non-GSO)

11. Mobile Service

12. Feeder links for the broadcasting-satellite service

13. Non-GSO feeder links of the mobile satellite service

آستانه مجاز باشد، ارتفاع مورد نظر به عنوان ارتفاع مطلوب در نظر گرفته می‌شود و در غیر این صورت، ارتفاعی غیرمجاز برای A-ESIM خواهد بود. در [۱۵] این روش برای تعیین حداقل ارتفاع مجاز به منظور پیشگیری از تداخل به کار رفته است. در شکل ۲، هندسه سناریوی تعیین حداقل ارتفاع مجاز پرواز A-ESIM و موقعیت ایستگاه متحرک هوایی نسبت به نقطه‌ی مورد نظر بر روی سطح زمین و نیز نسبت به ماهواره مشخص است. در جدول ۲ تمام پارامترهای موجود در مقاله، شامل پارامترهای شکل ۲ معرفی شده است.



شکل ۲- هندسه سناریوی تعیین حداقل ارتفاع مجاز پرواز هواپیما

محاسبه چگالی شار توان

در این قسمت، با توجه به هندسه نشان داده شده در شکل ۲، روابط مربوط به محاسبه چگالی شار توان آورده شده است. حداکثر و حداقل توان منتشر شده از ایستگاه متحرک به سمت نقطه‌ی مورد نظر با در نظر گرفتن انحراف از محور اصلی آنتن، به صورت رابطه (۱) به دست می‌آید [۱۴]:

$$\begin{aligned} \text{EIRP}(\gamma)_{\min} &= P_{t_{\min}} + G((\gamma + \theta_H)) \\ \text{EIRP}(\gamma)_{\max} &= P_{t_{\max}} + G((\gamma + \theta_H)) \end{aligned} \quad (1)$$

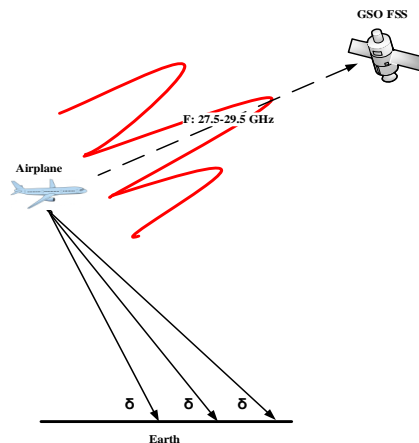
تعیین موقعیت‌های مجاز ایستگاه زمینی متحرک پهن‌باند ماهواره‌ای - هوایی (A-ESIM) به منظور...

کمتر از حداقل ارتفاع مجاز، شبیه‌سازی و موقعیت‌های غیرمجاز تعیین می‌شوند. شرایط واقعی و عملی دیگری که در بخش پنجم این مقاله بررسی خواهند شد، بررسی حالت برخاست و فرود هواپیما و اثر تداخلی آن بر روی FS است. در ادامه، موقعیت‌های غیرمجاز و وابستگی آن به زاویه فرود و برخاست هواپیما، استخراج و تعیین می‌شود. بخش ششم به ارائه نتایج و جمع‌بندی مقاله می‌پردازد.

محدودیت چگالی شار توان A-ESIM در سطح

زمین به‌منظور پیشگیری از تداخل فرکانسی

یک روش به‌منظور جلوگیری از تداخل A-ESIM بر روی ایستگاه‌های زمینی، محاسبه PFD آن بر روی سطح زمین در تمام زوایای ورود و مقایسه آن با حد آستانه مجاز است. اگر در یک ارتفاع پرواز و به ازای یک زاویه‌ی ورود، مقدار PFD از آستانه آن بیشتر باشد، ارتفاع مربوط به عنوان ارتفاع غیرمجاز و نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. در [۱۸]، حداکثر مقادیر مجاز PFD به ازای زوایای ورود مختلف بر روی سطح زمین به منظور جلوگیری از هر گونه تداخل مخرب بر روی ایستگاه‌های زمینی به صورت جدول ۱ برای ارتفاع A-ESIM بیشتر از ۳ کیلومتر و کمتر از ۳ کیلومتر بیان شده است. در جدول ۱، δ زاویه ورود به سطح زمین برحسب درجه است. این زوایا در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱- نقاط در معرض تداخل روی زمین با زاویه ورود (δ)های مختلف

تعیین حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM به‌منظور جلوگیری از تداخل

به‌ازای ارتفاع‌های مختلف A-ESIM، PFD در هر نقطه تا افق دید آن بر روی زمین به ازای زوایای ورود مختلف به دست می‌آید (شکل ۲). اگر برای تمام زوایا، مقدار به دست آمده کمتر از مقدار

جدول ۱- حداکثر مقادیر مجاز چگالی شار توان به ازای زوایای ورود مختلف [۱۹]

(الف) ارتفاع بیشتر از ۳ کیلومتر

$PFD(\delta) = -124.7$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	for	$0^\circ \leq \delta \leq 0.01^\circ$
$PFD(\delta) = -120.9 + 1.9 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	for	$0.01^\circ \leq \delta \leq 0.3^\circ$
$PFD(\delta) = -116.2 + 11 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	for	$0.3^\circ < \delta \leq 1^\circ$
$PFD(\delta) = -116.2 + 18 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	for	$1^\circ < \delta \leq 2^\circ$
$PFD(\delta) = -117.9 + 23.7 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	for	$2^\circ < \delta \leq 8^\circ$
$PFD(\delta) = -96.5$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	for	$8^\circ < \delta \leq 90.0^\circ$

(ب) ارتفاع کمتر از ۳ کیلومتر

$PFD(\delta) = -136.2$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	for	$0^\circ \leq \delta \leq 0.01^\circ$
$PFD(\delta) = -132.4 + 1.9 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	for	$0.01^\circ \leq \delta \leq 0.3^\circ$
$PFD(\delta) = -127.7 + 11 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	for	$0.3^\circ < \delta \leq 1^\circ$
$PFD(\delta) = -127.7 + 18 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	for	$1^\circ < \delta \leq 12.4^\circ$
$PFD(\delta) = -108$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	for	$12.4^\circ < \delta \leq 90.0^\circ$

$$P_{t_min} = -30\text{dBW}/40\text{kHz} \quad (2)$$

$$P_{t_max} = -10\text{dBW}/40\text{kHz}$$

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در روابط و شکل‌ها

در این مقاله، پهنای باند فرستنده 14MHz فرض شده است [۱۵] و با توجه به رابطه (۲) حداقل و حداکثر توان آنتن فرستنده A-ESIM به ترتیب برابر با -5dBW و 15dBW است. G، بهره‌ی آنتن برای به‌دست آوردن مقدار توان ارسالی در راستای زاویه φ از محور اصلی آنتن به‌صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود [۲۰].

$$G(\phi) = 29 - 25 \log \varphi \quad (3)$$

زاویه‌ی رسیدن سیگنال به سطح زمین δ ، با در نظر گرفتن انحنای زمین به‌صورت رابطه (۴) است [۱۵]:

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{(R_e + H) \times \cos(\gamma)}{R_e} \right), \quad (4)$$

در رابطه‌ی فوق مقدار R_e شعاع زمین و مساوی با ۶۳۷۸ کیلومتر، H ارتفاع هواپیما از سطح زمین و γ زاویه‌ی زیر افق نقطه مورد نظر روی زمین از دید ایستگاه A-ESIM می‌باشد. با دانستن مختصات جغرافیایی A-ESIM و ماهواره‌ی مورد نظر می‌توان زاویه‌ی ارتفاع آنتن ایستگاه متحرک را مطابق با رابطه (۵) به‌دست آورد [۲۱]:

$$\theta_H = \tan^{-1} \left(\frac{\cos(lat_{ESIM}) \times \cos(long_{ESIM} - long_{sat}) - \frac{R_e}{R_e + H}}{\sqrt{1 - (\cos(lat_{ESIM}) \times \cos(long_{ESIM} - long_{sat}))^2}} \right), \quad (5)$$

برای یافتن فاصله‌ی A-ESIM از نقطه‌ی مورد نظر روی زمین، از رابطه‌ی (۶) استفاده می‌شود [۱۵] و [۱۸]:

$$D = \sqrt{R_e^2 + (R_e + H)^2 - 2 \times R_e \times (R_e + H) \times \cos(\gamma - \delta)}, \quad (6)$$

با در نظر گرفتن مقادیر فیزیکی به‌دست آمده و همچنین یافتن مقادیر تلفات اتمسفر (L_{atm})، تلفات بدنه‌ی هواپیما (L_{fuse}) و تلفات

پارامتر	توضیحات
φ	زاویه‌ی انحراف از محور اصلی آنتن فرستنده
H	ارتفاع هواپیما از سطح زمین
γ	زاویه‌ی زیر افق نقطه مورد نظر از دید ایستگاه A-ESIM
δ	زاویه‌ی ورود سیگنال به سطح زمین
θ_H	زاویه‌ی جهت‌گیری آنتن روی هواپیما به سمت ماهواره نسبت به افق (زاویه ارتفاع)
D	فاصله‌ی نقطه‌ی مورد نظر بر روی زمین از A-ESIM
R_e	شعاع زمین
P_{t_min}	حداقل توان مجاز آنتن فرستنده A-ESIM
P_{t_max}	حداکثر توان مجاز آنتن فرستنده A-ESIM
$EIRP(\gamma)_{min}$	حداقل توان تابشی معادل همسانگرد از ایستگاه متحرک به سمت نقطه‌ی مورد نظر
$EIRP(\gamma)_{max}$	حداکثر توان تابشی معادل همسانگرد از ایستگاه متحرک به سمت نقطه‌ی مورد نظر
G	بهره‌ی آنتن A-ESIM
$long_{sat}$	طول جغرافیایی ماهواره
$Long_{ESIM}$	طول جغرافیایی ایستگاه متحرک
Lat_{ESIM}	عرض جغرافیایی ایستگاه متحرک
L_{atm}	تلفات اتمسفر
L_{fuse}	تلفات بدنه هواپیما
L_{pot}	تلفات حاصل از اختلاف پلاریزاسیون گیرنده و فرستنده
PFD	چگالی شار توان

P_{t_min} و P_{t_max} ، حداقل و حداکثر توان آنتن A-ESIM طبق رابطه (۲) می‌باشد [۱۴]:

جدول ۳- مختصات جغرافیایی شهرهای مورد بررسی

شهر	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
ارومیه	۳۷	۴۵
اهواز	۳۱	۴۸
گرگان	۳۶	۵۴
زاهدان	۲۹	۶۰
تهران	۳۵	۵۱

با فرض ارتباط با ماهواره پوشش دهنده تمام نواحی کشور واقع در ۲۶ درجه شرقی، زاویه ارتفاع ایستگاه A-ESIM بر فراز هر یک از این شهرها، محاسبه و در جدول ۴ درج شده است.

جدول ۴- زاویه ارتفاع ایستگاه A-ESIM هوایی بر روی شهرهای مختلف با ارتفاع ۱۰۰۰ متر

شهر	زاویه ارتفاع نسبت به ماهواره GSO واقع در ۲۶ درجه شرقی
ارومیه	۴۲٫۶۵۷۳
اهواز	۴۶٫۶۸۲۸
گرگان	۳۸٫۸۲۸۶
زاهدان	۳۹٫۸۱۲۵
تهران	۴۱٫۴۳۳۰

این زوایا برای ارتفاع هوایما برابر با ۱۰۰۰ متر به‌دست آمده‌اند. با تغییرات ارتفاع هوایما تا حدود ۱۰ کیلومتر این زوایا تغییرات محسوسی ندارند این ادعا با توجه به رابطه ۵ مشخص است. چراکه اثر ارتفاع هوایما (H) به‌صورت $\frac{R_e}{R_e+H}$ در رابطه دیده می‌شود که افزایش H (کمتر از ده کیلومتر) پس از جمع با شعاع زمین که کمیتی بسیار بزرگتر از آن است، تغییر چشمگیری در اندازه زاویه ارتفاع ایجاد نخواهد کرد. برای نمونه زاویه ارتفاع به ازای ارتفاع هوایما برابر با ۱۰۰۰ متر در شهر تهران ۴۱٫۴۳۳۰ درجه و برای ارتفاع ۱۰ کیلومتر این زاویه برابر با ۴۱٫۴۳۳۳ درجه است.

مطابق با مستندات مربوط در ITU [۱۵]، حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM با استفاده از شبیه‌سازی روابط تحلیلی و نیز الگوریتم یاد شده به‌دست می‌آید. در این مقاله شبیه‌سازی‌ها توسط برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB صورت گرفته است. به این ترتیب، حداقل ارتفاع مجاز برای ایستگاه A-ESIM در چهار شهر کرانه‌ای ایران و نیز شهر تهران به‌دست آمد. گام‌های افزایش ارتفاع به‌منظور استخراج و تعیین حداقل ارتفاع مجاز 100m در نظر گرفته شد. این کمیات، به ازای توان‌های مختلف آنتن ایستگاه فرستنده و با فرکانس حامل 29.5GHz از طریق شبیه‌سازی به‌دست آمد و در شکل ۴ نشان داده شده است.

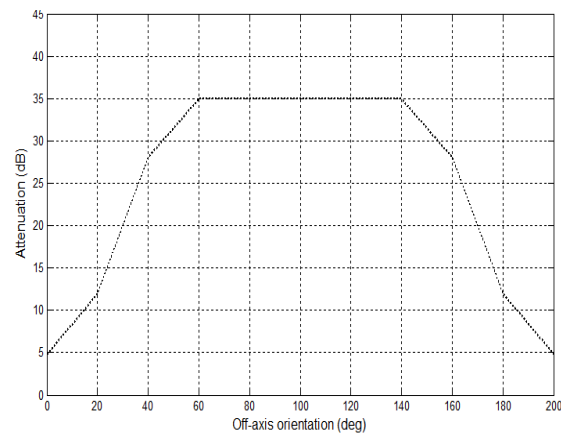
هم‌چنین ارتفاع مجاز برای زاویه ارتفاع‌های مختلف به ازای تغییرات توان‌های ورودی در شکل ۵ مشاهده می‌شود. جدول ۴ و شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که به ازای زوایای ارتفاع بیشتر، حداقل

حاصل از اختلاف پلاریزاسیون گیرنده و فرستنده (L_{pol}) ، چگالی شار توان در نقطه‌ی مورد نظر به‌صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۱۴]، [۱۷] و [۲۲].

$$PFD(\delta) = EIRP(\gamma) - 10 \log_{10}(4 \times \pi \times D^2) - 60 - L_{atm}(D, H, f) - L_{pol} - L_{fuse}(\gamma) \quad (7)$$

در این مقاله، تلفات پلاریزاسیون صفر در نظر گرفته می‌شود و تلفات اتمسفر مطابق با [۹]، [۱۵] و [۲۳] محاسبه می‌گردد. این تلفات وابسته به فرکانس حامل، ارتفاع A-ESIM و فاصله آن از نقطه مورد نظر روی زمین است. به‌منظور استخراج تلفات بدنه‌ی هوایما، از منحنی شکل ۳ استفاده شده است [۹]، [۱۵] و [۲۴]. این تلفات به ازای زاویه‌ی انحراف از راستای اصلی بدنه هوایما بیان می‌شود.

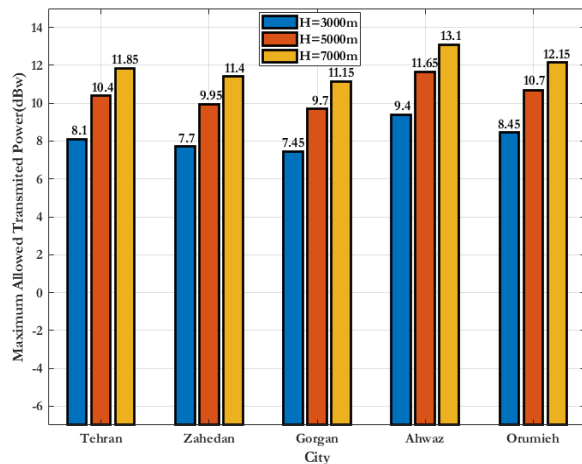
با توجه به شکل ۲، مقادیر D مربوط به $90 \leq \gamma \leq 180$ با مقادیر D مربوط به $0 \leq \gamma \leq 90$ متقارن می‌باشند. هم‌چنین با توجه به افزایش زاویه انحراف از محور اصلی آنتن به ازای $90 \leq \gamma \leq 180$ ، توان منتشر شده در راستای مورد نظر کمتر از مقادیر متناظر در $0 \leq \gamma \leq 90$ خواهد بود. به این ترتیب و نیز با توجه به رابطه (۷) و تقارن در منحنی تلفات بدنه هوایما، محاسبه PFD به ازای $0 \leq \gamma \leq 90$ برای استنتاج حداقل ارتفاع مجاز کافی می‌باشد.



شکل ۳- منحنی تلفات بدنه‌ی هوایما به ازای زاویه انحراف سیگنال از راستای اصلی بدنه هوایما [۹]، [۱۵] و [۲۴]

تعیین حداقل ارتفاع مجاز هوایما در شهرهای ایران

کشور ایران یکی از کشورهای وسیع جهان است که در محدوده ۲۵ درجه و سه دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. مختصات چند شهر مهم در چهار گوشه کشور و نیز شهر تهران مطابق جدول ۳ می‌باشد [۲۵] و [۲۶].



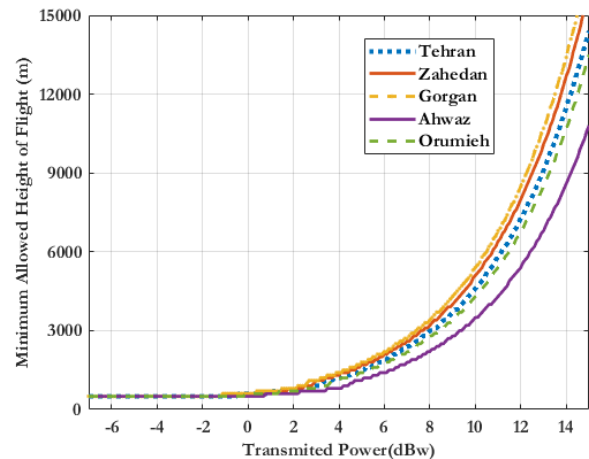
شکل ۶- حداکثر توان مجاز برای سه ارتفاع ۳، ۵ و ۷ کیلومتر A-ESIM در پنج شهر مختلف

از نمودارهای شکل ۶ مشخص است که هر شهری که دارای زاویه ارتفاع کمتری باشد دارای حداکثر توان مجاز کمتری در ارتفاع مشخص خواهد بود و برعکس. دلیل این امر هم همانطور که از روابط ۱ و ۷ مشخص است، بیشتر شدن توان منتشر شده به سمت زمین با کاهش زاویه ارتفاع است. به این ترتیب به جای محدود کردن ارتفاع مجاز پرواز می توان حداکثر توان مجاز ارسالی را در ارتفاع مورد نظر و در هر ناحیه، مشخص و محدود نمود. البته این توان ارسالی باید رابطه ۲ را نیز محقق نماید. به منظور صحت سنجی شبیه سازی صورت گرفته جهت تعیین حداقل ارتفاع مجاز، با تنظیم شرایط یکسان شبیه سازی در مقاله با [۱۵] و با قرار دادن چند مختصات جغرافیایی منطقه پرواز A-ESIM و نیز مکان قرارگیری ماهواره مندرج در [۱۵] به عنوان ورودی شبیه سازی این مقاله، حداقل ارتفاع مجاز تعیین می شود. همچون [۱۵]، گام های تغییر ارتفاع در شبیه سازی ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است. مقادیر حاصل از شبیه سازی و مقادیر درج شده در [۱۵] در جدول ۵ مشاهده می شوند. اختلاف نسبتاً جزئی در نتایج مشاهده می شود که می تواند در اثر اختلاف در نحوه شبیه سازی این مقاله و [۱۵] باشد [۲۷].

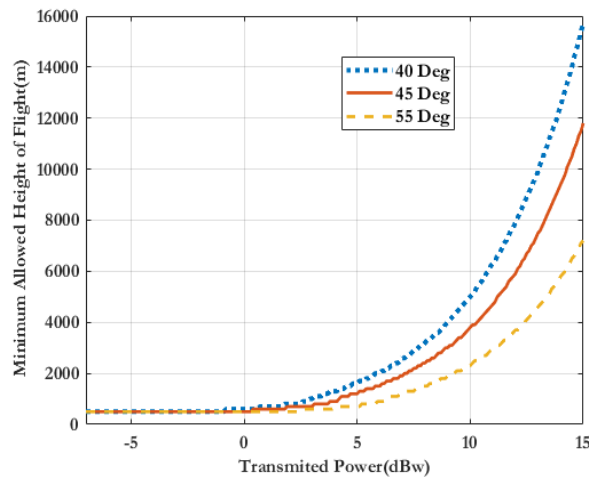
استخراج مکان های مجاز A-ESIM در ارتفاع های کمتر از حداقل ارتفاع مجاز

به طور معمول، به منظور بررسی تحقق الزامات فنی پیشگیری از تداخل فرکانسی، سناریوهای واقعی یا سناریوهای بدترین حالت طرح می شوند [۴]، [۵] و [۱۴]. سپس به وسیله شبیه سازی این سناریوها، چگونگی و یا شرایط لازم جهت تحقق الزامات بررسی می شود. در این مقاله نیز سناریوهای طرح شده عبور هواپیما بر فراز ایستگاه ثابت به عنوان یک سناریوی بدترین حالت، بیان و شبیه سازی می شود. روابط تحلیلی مورد استفاده در شبیه سازی این سناریوها همچون روابط استفاده شده در استخراج حداقل ارتفاع مجاز

ارتفاع مجاز A-ESIM کاهش می یابد و ایستگاه زمینی متحرک می تواند به زمین نزدیک تر شود. با توجه به روابط ۱ و ۷ مشاهده می شود که علت این امر کمتر شدن توان منتشر شده به سمت نقاط مختلف زمین با توجه به افزایش زاویه انحراف ($\gamma + \theta_H$) از محور اصلی آنتن است. با کاهش توان منتشر شده به سمت زمین، A-ESIM می تواند به زمین نزدیک تر شود.



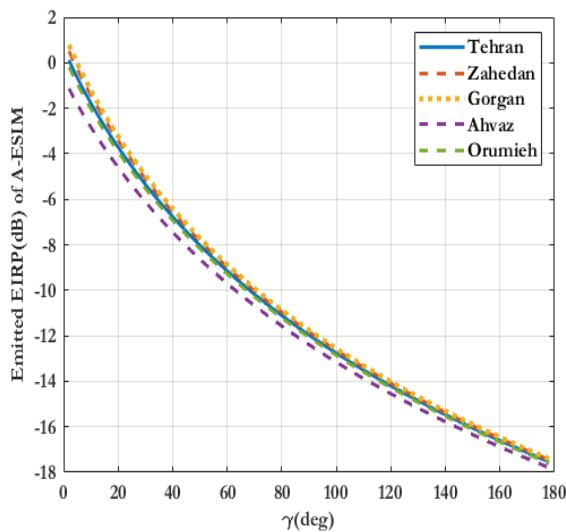
شکل ۴- حداقل ارتفاع مجاز ایستگاه هوایی برای شهرهای کرانه ای و تهران به ازای توان های ورودی مختلف با فرض ارتباط با ماهواره در ۲۶ درجه شرقی



شکل ۵- ارتفاع مجاز پرواز برای A-ESIM به ازای زوایای ارتفاع مختلف آنتن ایستگاه هوایی برحسب تغییرات توان آنتن با فرض ارتباط با ماهواره در ۲۶ درجه شرقی

از طرف دیگر می توان مشابه با الگوریتم یاد شده برای تعیین حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM، برای هر شهر با مختصات جغرافیایی مشخص و برای هر ارتفاع پرواز مورد نظر، حداکثر توان مجاز آنتن را تعیین کرد، به طوری که PFD رسیده به سطح زمین در هیچ نقطه ای (δ) از حد آستانه مجاز مربوط تجاوز نکند. این توان مجاز برای سه ارتفاع ۳، ۵ و ۷ کیلومتر در پنج شهر مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است.

می‌باشد. در این سناریو فرض می‌شود که هواپیما از یک سمت با زاویه $\gamma = 5^\circ$ و با ارتفاع ثابت در حال حرکت بوده و از روی ایستگاه ثابت FS عبور و سپس با زاویه $\gamma = 175^\circ$ از دید FS خارج می‌شود. به این ترتیب، به ازای ارتفاع مورد نظر و محل قرارگیری هواپیما نسبت به ایستگاه ثابت (توسط زاویه γ) و به ازای توان‌های آنتن فرستنده A-ESIM، PFD وارده بر ایستگاه ثابت محاسبه و بررسی می‌شود. این سناریو می‌تواند موقعیت‌هایی (γ) را که در آن‌ها، این ارتفاع، غیر مجاز تلقی می‌شود را مشخص کند. همان‌طور که پیش‌تر شرح داده شد، این غیرمجاز بودن ارتفاع، با تجاوز PFD از حد آستانه آن در یک زاویه ورود به زمین رخ می‌دهد. البته مشخص است که هر زاویه ورود متناظر با یک زاویه γ می‌باشد. هم‌چنین در این سناریو، شرایط سخت‌گیرانه و بدترین حالت فرض می‌شود. به این ترتیب که جهت آنتن ایستگاه ثابت زمینی تحت تداخل، در راستای جهت‌گیری آنتن A-ESIM به سمت ماهواره قرار دارد. هندسه این سناریو در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

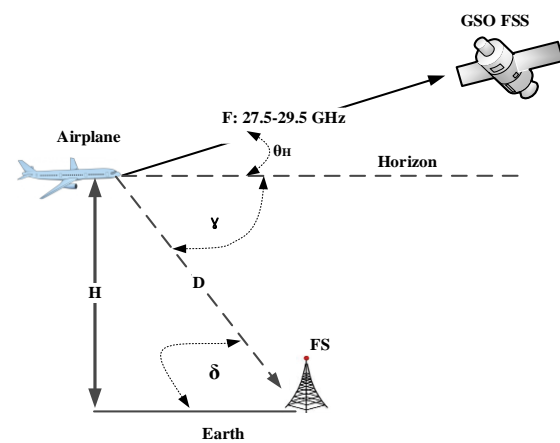


شکل ۸- EIRP های ساطع شده به ازای γ های مختلف و توان آنتن برابر با 12dBw در پنج شهر مختلف ایران

همان‌طور که از منحنی‌های شکل ۸ مشخص است، EIRP به ازای γ های کوچک، بیشتر است و برای موقعیت‌های جغرافیایی مختلف (با زاویه ارتفاع متفاوت) متمایزتر است. علت این پدیده هم با توجه به رابطه ۱ و افزایش زاویه انحراف $(\gamma + \theta_H)$ با افزایش γ ، قابل پیش‌بینی است. θ_H نیز وابسته به مکان (شهر) مورد نظر است و در مقادیر کمتر γ ، اثر مشهودتری از خود نشان می‌دهد.

فاصله A-ESIM از FS به‌ازای γ های مختلف در ارتفاع 1km، 3Km و 5Km در شکل ۹ مشاهده می‌شود. این فاصله تنها به موقعیت نسبی هواپیما و FS بستگی دارد و تابع مختصات شهر و یا متغیر دیگری نیست. هم‌چنین این فاصله به ازای γ های متقارن حول 90° درجه یکسان است. علاوه بر آن هر چه ارتفاع بیشتر باشد، حصول زاویه γ کمتر از 10° درجه یا بیشتر از 170° درجه به‌ازای فواصل بسیار دورتری از FS عملی می‌شود. در حالی که به ازای ارتفاع‌های کمتر، γ های خیلی کوچک نیز در فواصل نزدیکتر رخ می‌دهند. این موارد با توجه به هندسه سناریوی شکل ۷ آشکار و مبرهن است.

می‌باشد. در این سناریو فرض می‌شود که هواپیما از یک سمت با زاویه $\gamma = 5^\circ$ و با ارتفاع ثابت در حال حرکت بوده و از روی ایستگاه ثابت FS عبور و سپس با زاویه $\gamma = 175^\circ$ از دید FS خارج می‌شود. به این ترتیب، به ازای ارتفاع مورد نظر و محل قرارگیری هواپیما نسبت به ایستگاه ثابت (توسط زاویه γ) و به ازای توان‌های آنتن فرستنده A-ESIM، PFD وارده بر ایستگاه ثابت محاسبه و بررسی می‌شود. این سناریو می‌تواند موقعیت‌هایی (γ) را که در آن‌ها، این ارتفاع، غیر مجاز تلقی می‌شود را مشخص کند. همان‌طور که پیش‌تر شرح داده شد، این غیرمجاز بودن ارتفاع، با تجاوز PFD از حد آستانه آن در یک زاویه ورود به زمین رخ می‌دهد. البته مشخص است که هر زاویه ورود متناظر با یک زاویه γ می‌باشد. هم‌چنین در این سناریو، شرایط سخت‌گیرانه و بدترین حالت فرض می‌شود. به این ترتیب که جهت آنتن ایستگاه ثابت زمینی تحت تداخل، در راستای جهت‌گیری آنتن A-ESIM به سمت ماهواره قرار دارد. هندسه این سناریو در شکل ۷ مشاهده می‌شود.



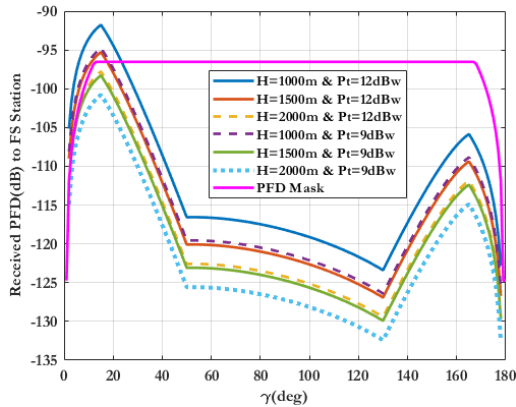
شکل ۷- هندسه سناریوی حرکت A-ESIM تداخل کننده از روی ایستگاه ثابت زمینی

جدول ۵- حداقل ارتفاع مجاز با فرکانس حامل 28GHz و مکان ماهواره 80E

طول جغرافیایی نقطه	عرض جغرافیایی نقطه	حداقل ارتفاع مجاز با حداقل توان ارسالی- 5dBW [۱۵]	حداقل ارتفاع مجاز با حداکثر توان ارسالی 15dBW (نتیجه شبیه‌سازی این مقاله)	حداقل ارتفاع مجاز با حداکثر توان ارسالی [۱۵]	حداقل ارتفاع مجاز با حداکثر توان ارسالی (نتیجه شبیه‌سازی این مقاله)
۱۲۲ شرقی	۴۲ شمالی	۴۰۰	۴۰۰	۳۶۰۰	۳۵۰۰
۱۲۲ شرقی	۲۲ شمالی	۳۰۰	۳۰۰	۳۱۰۰	۳۰۰۰
۱۴۲ شرقی	۴۲ شمالی	۵۰۰	۴۰۰	۵۱۰۰	۵۲۰۰
۱۴۲ شرقی	۲۲ شمالی	۴۰۰	۳۰۰	۴۵۰۰	۴۵۰۰

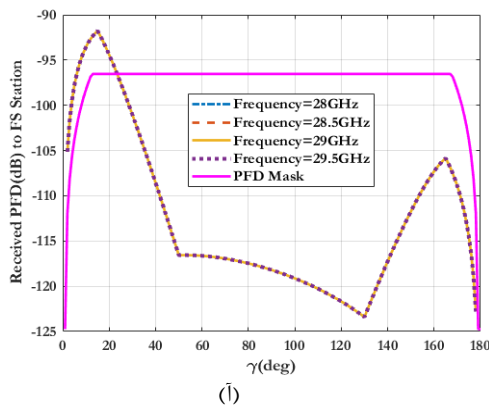
PFD با منحنی PFD هر یک از شهرها، نشان دهنده حداقل γ مجاز در توان و ارتفاع مربوط A-ESIM می باشد.

منحنی های PFD مربوط به ارتفاع پرواز ۱۰۰۰ متر، ۱۵۰۰ متر و ۲۰۰۰ متر و توان های فرستنده برابر با ۹dB و ۱۲dB در شهر تهران، در شکل ۱۱ مشاهده می شوند. در هر مورد، حداقل γ که A-ESIM با توان و ارتفاع مربوط می تواند ارسال سیگنال داشته باشد، از محل برخورد منحنی PFD آن با منحنی ماسک PFD حاصل می شود.

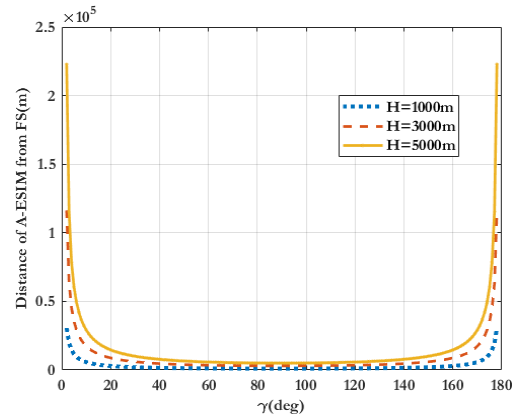


شکل ۱۱- PFD رسیده به FS به ازای ارتفاع پرواز و توان های ارسال (Pt) مختلف در تهران

همچنین PFD رسیده به FS، به ازای γ های مختلف، در ارتفاع A-ESIM برابر با ۱۰۰۰ متر و توان ۱۲dB در شهر تهران، به ازای فرکانس های حامل مختلف در باند Ka، در شکل ۱۲-آ به تصویر کشیده شده است. به منظور مشاهده و تحلیل دقیق تر، همین منحنی ها به صورت متمرکز در یک نقطه، در شکل ۱۲-ب نمایش داده شده است. نتایج حاصل از این منحنی ها نشان می دهد که تغییرات فرکانس در محدوده باند Ka، اثرات بسیار ناچیز در تغییرات PFD و در نهایت تغییرات موقعیت مجاز پرواز A-ESIM دارد.

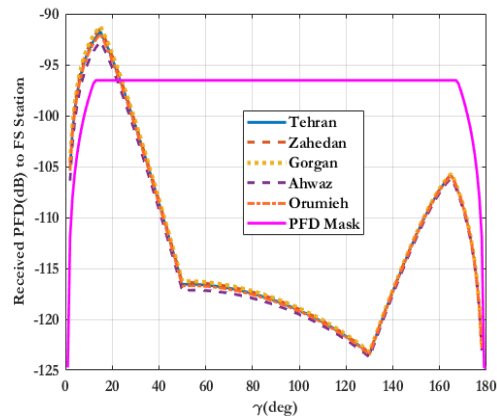


شکل ۱۲-آ: PFD رسیده به FS، به ازای γ های مختلف، در ارتفاع A-ESIM برابر با ۱۰۰۰ متر و توان ۱۲dB در شهر تهران، به ازای فرکانس های حامل مختلف در باند Ka. ب: متمرکز شده منحنی های شکل (آ) در یک نقطه



شکل ۹- فاصله A-ESIM از FS به ازای γ های مختلف در ارتفاع های (H) برابر با ۱km، ۳km و ۵km

PFD رسیده به FS، به ازای γ های مختلف، در ارتفاع A-ESIM برابر با ۱۰۰۰ متر و توان ۱۲dB در پنج شهر کشور شبیه سازی و نتایج در شکل ۱۰ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۰- PFD رسیده به FS به ازای ارتفاع A-ESIM برابر با ۱۰۰۰m و توان ۱۲dB در شهرهای مختلف ایران

همان طور که پیش تر بیان شد به ازای γ های کوچکتر، تمایز EIRP ها با تغییر شهر، بیشتر است (شکل ۸). به همین ترتیب با توجه به رابطه γ ، در مورد PFD نیز این پدیده رخ می دهد (شکل ۱۰). همچنین به ازای $\gamma < 15$ و نیز $\gamma > 165$ ، اثر سطح مقطع کره (متناسب با مربع فاصله (D) و تلفات اتمسفر (رابطه ۷)) به دلیل شیب تند تغییرات D نسبت به γ (شکل ۹)، بر اثر تلفات بدنه (متغیر با γ) فایق می آید. اما به ازای مقادیر γ در خارج از این بازه، رفتار تلفات بدنه هواپیما نسبت به γ (شکل ۳) تعیین کننده می باشد. تغییر رفتار نسبی منحنی PFD در دو نقطه γ برابر با ۵۰ و ۱۳۰ درجه نیز مربوط به تغییر رفتار منحنی تلفات بدنه هواپیما در این دو نقطه می باشد.

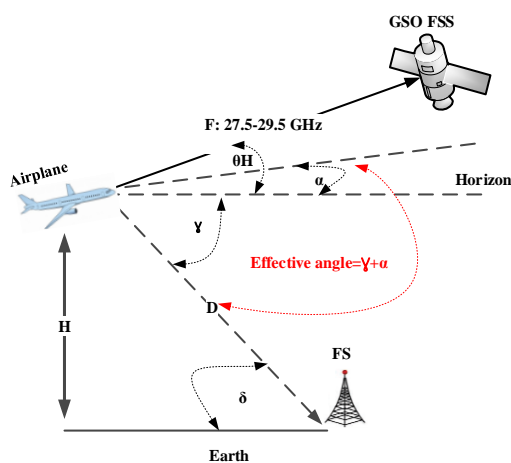
با توجه به شکل ۱۰ محدوده ای از γ که منجر به تجاوز PFD از ماسک آن شده است مشخص می باشد. محل برخورد منحنی ماسک

بیان شد حداقل γ مجاز، از محل برخورد منحنی ماسک PFD با منحنی‌های PFD رسیده به زمین، مربوط به شهرها به‌دست می‌آید. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود تغییرات ارتفاع و توان ارسالی A-ESIM، اثر قابل توجهی در تغییر موقعیت (γ) مجاز پرواز آن خواهد داشت. با توجه به شکل ۱۳ نیز می‌توان دریافت که تغییرات فرکانس در محدوده باند Ka موجب تغییرات ناچیزی در موقعیت مجاز پرواز A-ESIM خواهند شد.

استخراج مکان‌های مجاز A-ESIM هنگام برخاست و فرود هواپیما و عبور از روی FS

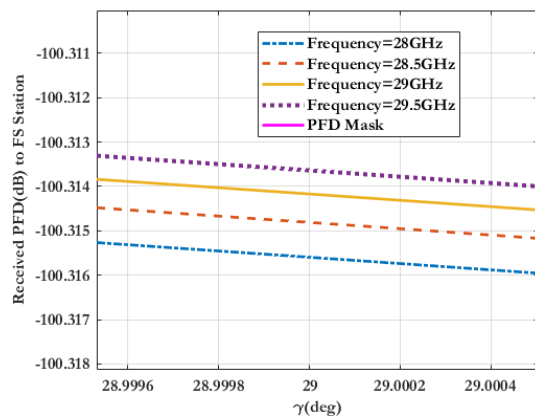
حالت برخاست:

در این بخش سناریوی حالت برخاست هواپیما بررسی می‌شود. طوری که از γ برابر با ۵ درجه و شیب نوک هواپیما برابر با α درجه رو به بالا، شروع به پرواز می‌کند، از روی FS می‌گذرد و در نهایت در زاویه γ برابر با ۱۷۵ درجه به ارتفاع H_{final} می‌رسد. هندسه این سناریو در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۴ - هندسه سناریوی برخاستن هواپیما و عبور از روی ایستگاه ثابت

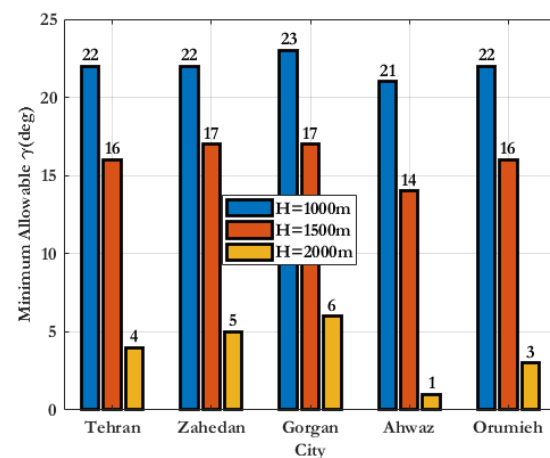
پارامتری که در این سناریو نسبت به سناریوی پرواز در ارتفاع ثابت متفاوت است، زاویه انحراف سیگنال از راستای اصلی بدنه هواپیما می‌باشد، که برابر است با $\alpha + \gamma$. به این ترتیب به منظور محاسبه PFD رسیده به FS حین حرکت A-ESIM با سناریوی گفته شده، کافی است رابطه (γ) تنها با جایگزینی $L_{fuse}(\gamma + \alpha)$ به جای $L_{fuse}(\gamma)$ مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۱۵، PFD برای H_{final} برابر با ۱۰۰۰ متر با زاویه روبه بالا 20° (α) درجه و 40° درجه در شهر تهران، نشان داده شده است.



ادامه شکل ۱۲ - (ب)

به‌همین شیوه حداقل γ مجاز پرواز برای پنج شهر ایران و توان ارسالی 12dBw و ارتفاع‌های ۱۰۰۰ متر، ۱۵۰۰ متر و ۲۰۰۰ متر به‌دست آمد و در نمودار شکل ۱۴ نمایش داده شد.

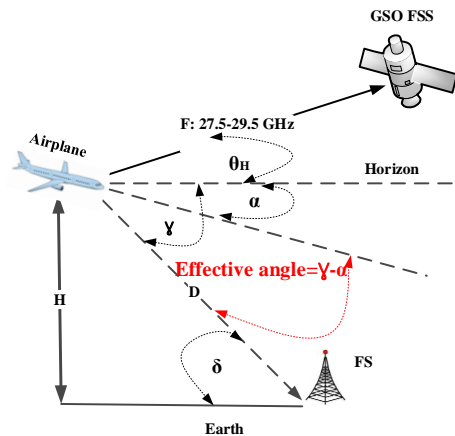
به این ترتیب و با به‌کارگیری این روش و استخراج محدوده غیر مجاز γ در هر ارتفاع و توان در شهر مورد نظر، A-ESIM می‌تواند به‌صورت کنترل شده ارتباطات پهن‌بند خود را بدون بروز تداخل مخرب بر روی FS، حفظ نماید.



شکل ۱۳ - حداقل γ مجاز ارسال سیگنال A-ESIM به‌ازای ارتفاع‌های 1km، 1.5Km و 2Km و توان ارسالی 12dBw

تحلیل حساسیت پارامترهای اثرگذار در تعیین موقعیت مجاز پرواز A-ESIM

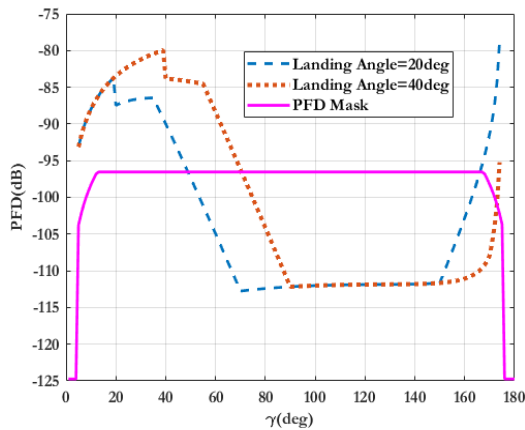
تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای اثرگذار، توسط منحنی‌های به‌دست آمده در شبیه‌سازی قابل انجام است. با توجه به شکل ۴ و شکل ۱۰ مشخص است که تغییر موقعیت (مختصات جغرافیایی) شهرها در محدوده کشور، اثر کمی در حداقل ارتفاع مجاز پرواز و نیز حداقل γ مجاز خواهد گذاشت. همان‌طور که



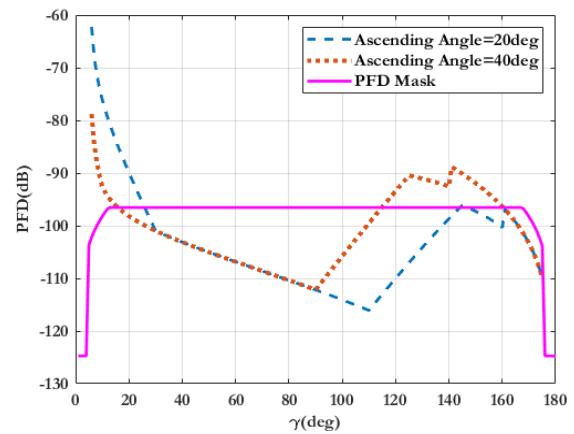
شکل ۱۶- هندسه سناریوی نشستن هواپیما با عبور از روی ایستگاه ثابت

پارامتری که در این سناریو نیز نسبت به سناریوی پرواز در ارتفاع ثابت متفاوت است، زاویه انحراف سیگنال از راستای اصلی بدنه هواپیما می‌باشد، که برابر است با $\gamma - \alpha$. به این ترتیب به منظور محاسبه PFD رسیده به FS حین حرکت A-ESIM با سناریوی گفته شده، کافی است که رابطه (γ) تنها با جایگزینی $L_{fuse}(\gamma - \alpha)$ به جای $L_{fuse}(\gamma)$ مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۱۷، PFD برای $H_{initial}$ برابر با ۱۰۰۰ متر با زاویه رو به پایین ۲۰ درجه و ۴۰ درجه در شهر تهران نشان داده شده است.

در این سناریو نیز نقاط تغییر رفتار مربوط به منحنی تلفات بدنه هواپیما به اندازه α درجه جابجا می‌شوند. در مورد α برابر با ۲۰ درجه، اثر یاد شده به جای γ برابر با ۵۰ و ۱۳۰ درجه به ترتیب در γ برابر با ۷۰ و ۱۵۰ درجه رخ می‌دهد. همین کمیات در مورد α برابر با ۴۰ درجه به ترتیب برابر با ۹۰ و ۱۷۰ درجه است. در این سناریو نیز مانند سناریوی قبل محدوده γ مجاز قابل تعیین است. در $\alpha=20$ این محدوده مجاز، γ های بزرگتر از ۵۰ درجه و کوچکتر از ۱۶۵ درجه می‌باشد.



شکل ۱۷- PFD برای $H_{initial}$ برابر با ۱۰۰۰ متر با زاویه رو به پایین α برابر با ۲۰ (ا) و ۴۰ درجه در تهران



شکل ۱۵- PFD برای H_{final} برابر با ۱۰۰۰ متر با زاویه رو به بالا α برابر با ۲۰ (ا) و ۴۰ درجه در تهران

همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، با توجه به جایگزینی $L_{fuse}(\gamma + \alpha)$ به جای $L_{fuse}(\gamma)$ در رابطه γ ، نقاط تغییر رفتار مربوط به منحنی تلفات بدنه هواپیما به اندازه α درجه جابجا می‌شوند. در مورد α برابر با ۲۰ درجه، اثر یاد شده به جای γ برابر با ۵۰ و ۱۳۰ درجه به ترتیب در γ برابر با ۳۰ و ۱۱۰ درجه رخ می‌دهند. همین کمیات در مورد α برابر با ۴۰ درجه به ترتیب برابر با ۱۰ و ۹۰ درجه است. با توجه به تغییر زاویه انحراف سیگنال از راستای اصلی بدنه هواپیما $(\alpha + \gamma)$ به این نکته باید توجه داشت که در مورد PFD برخاست، حداقل γ مجاز تغییر می‌کند و کمتر از مقدار متناظرش در حالت پرواز در ارتفاع ثابت می‌شود (شکل ۱۵). این مقدار در مورد α برابر با ۲۰ و ۴۰ درجه به ترتیب برابر با ۲۰ درجه و ۱۰ درجه خواهد بود. علاوه بر آن، باز به دلیل تغییر زاویه انحراف سیگنال از راستای اصلی بدنه هواپیما لازم است، به‌طور کلی محدوده مجاز γ تعیین شود. در حالت پرواز رو به بالا از بالای FS، با زاویه $\alpha=40$ ، محدوده مجاز γ بین ۱۵ تا ۱۱۵ درجه و نیز γ بزرگتر از ۱۶۰ درجه است. همچنین نکته خاص مربوط به حالت برخاست این است که، زمانی که زاویه انحراف سیگنال از راستای اصلی بدنه از ۱۸۰ درجه بیشتر شود، در واقع مسیر عبور سیگنال تداخلی A-ESIM دیگر از بدنه عبور نمی‌کند. پس به ازای γ های بزرگتر از $180-\alpha$ ، تلفات بدنه وجود ندارد و PFD رسیده به ایستگاه ثابت، به صورت جهش یافته بیشتر خواهد شد. به همین دلیل منحنی PFD، در نقاط γ برابر با ۱۶۰ درجه برای $\alpha=20$ و γ برابر با ۱۴۰ درجه به ازای $\alpha=40$ جهش ناگهانی دارد.

حالت فرود:

در این بخش سناریوی حالت فرود هواپیما بررسی می‌شود. طوری که γ برابر با ۵ درجه و ارتفاع $H_{initial}$ و شیب نوک هواپیما برابر با α درجه رو به پایین شروع به پرواز می‌کند، از روی ایستگاه ثابت می‌گذرد و در نهایت در زاویه γ برابر با ۱۷۵ درجه به سطح زمین می‌رسد. هندسه این سناریو در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

- [1] WRC-15 ITU Final Acts, World Radio communication Conference, Geneva, 2015.
- [2] M. Nasiriyani, R. Saleh, and R. Shoja, "Simulating the process of tracking and communication with satellite," *Res. Qlty. Space Sci. Technol.*, Vol.2, No.5, pp.51-56, 2018.
- [3] R. Karimzadebai, and P. Hajipour, "Investigation of ESIM interference with co-frequency services," *ICT Res. Inst. (ITRC)*, Project code: 4200990190, pp. 1-53, May 2021.
- [4] P. Hajipour, and R. Doost, "Investigating the interference of ESIM with fixed services," *ICT Res. Inst. (ITRC)*, Project code: 4200990190, pp. 1-140, April 2021.
- [5] P. Hajipour, and R. Doost, "Examining the interaction of ESIM with mobile services," *ICT Res. Inst. (ITRC)*, Project code: 4200990190, pp. 1-120, May 2021.
- [6] R. Doost, and P. Hajipour, "Technology monitoring report of technical solutions to deal with frequency interference of mobile satellite broadband services with other services in the country," *ICT Res. Inst. (ITRC)*, Project code: 4200990190, pp. 1-24, April 2021.
- [7] R. Doost, P. Hajipour, S. Shahidzadeh and R. Karimzadeh Bae, "FDR Adjustment for Achieving Desired Minimum Distance of Marine ESIM from the Shore", *Int. J. Info. Commun. Technol. Res.*, Vol.14, No.3, pp.1-9, September 2022.
- [8] Report of the CPM on technical, operational and regulatory/procedural matters to be considered by the World Radiocommunication, Radiocommunication Bureau (ITU publication), *2nd Session of the Conf. Preparatory Meeting in Sharm El-Sheikh, Egypt*, 28 Oct-22 Nov, 2019.
- [9] R. Doost, P. Hajipour and P. Shahidzadeh, "Review and analysis of the role of the influencing parameters in determining the minimum distance allowed for the mobile broadband satellite station from the coast," *19th Int. Conf. the Iranian Air and Space Assoc., AERO2021-04730319*, pp. 1-5, May 2021.
- [10] S. Panthi and P. Amodio, "Study of Aeronautical Broadband Service Protecting Co-Frequency Terrestrial Services in Ka-band," *Wirel. Telecommun. Symp. (WTS)*, pp.1-9, 2021.
- [11] ECC Report 279, "The Use of Earth Stations In-Motion (ESIM) operating to NGSO Satellite Systems in the 10.7-12.75 GHz and 14-14.5 GHz Band," 2018.
- [12] Republic of Korea, "Japan and Singapore, Proposals for the work of the conference, agenda item 1.5,"

هم‌چنین این محدوده برای $\alpha=40$ بین ۷۰ تا ۱۷۳ درجه می‌باشد. نکته خاص مربوط به حالت فرود این است که، زمانی که زاویه γ از α درجه کمتر باشد، سیگنال تداخلی A-ESIM از بدنه هواپیما عبور نمی‌کند. پس به ازای γ های کوچکتر از α ، تلفات بدنه وجود ندارد و PFD رسیده به ایستگاه ثابت بیشتر خواهد شد. به همین دلیل منحنی PFD، در γ برابر با ۲۰ درجه به ازای $\alpha=20$ و γ برابر با ۴۰ درجه به ازای $\alpha=40$ جهش ناگهانی دارد.

نتیجه‌گیری

مطابق با مصوبات اخیر ITU، باید با رعایت ماسک PFD رسیده به زمین از تداخل فرکانسی A-ESIM بر روی ایستگاه‌های زمینی پیشگیری نمود. در این مقاله ابتدا حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM به ازای توان‌های ارسالی مختلف در شهرهای تهران، گرگان، اهواز، زاهدان و ارومیه به دست آمد، به طوری که ماسک PFD رسیده به زمین رعایت گردد. گرچه تعیین حداقل ارتفاع مجاز A-ESIM شرط کافی به منظور رعایت ماسک PFD است، ولی روشی مصوب، دقیق و کامل به این منظور نمی‌باشد. چرا که در بسیاری از ارتفاع‌های غیرمجاز A-ESIM موقعیت‌های فراوانی وجود دارد که PFD رسیده به زمین از ماسک مربوط فراتر نمی‌رود. در این مقاله، این مورد با شبیه‌سازی نشان داده شده است. سپس توسط روش ارایه شده، موقعیت‌های مجاز و غیرمجاز A-ESIM در ارتفاعی کمتر از حداقل ارتفاع مجاز، مشخص و از یکدیگر تفکیک شدند. این موقعیت‌های غیرمجاز به ازای ارتفاع‌های پرواز برابر با ۱، ۱.۵ و ۲ کیلومتر و توان فرستنده 12dBw نسبت به یک ایستگاه ثابت زمینی و برای پنج شهر یاد شده استخراج گردید. این موقعیت با زاویه زیر افق ایستگاه ثابت زمینی مورد تداخل از دید A-ESIM، مشخص می‌شود و به گونه‌ای تعیین می‌شود که PFD وارد بر ایستگاه زمینی مورد تداخل در هیچیک از لحظات پرواز A-ESIM، از ماسک تعیین شده فراتر نرود. علاوه بر آن برای حالت برخاست هواپیما با زاویه ۲۰ درجه و توان فرستنده 12dBw، موقعیت مجاز A-ESIM معادل با زوایای زیر افق بیشتر از ۲۰ درجه به دست آمد. همچنین موقعیت‌های مجاز به ازای زاویه برخاست ۴۰ درجه، معادل با زوایای زیر افق بین ۱۵ تا ۱۱۵ درجه و نیز بزرگتر از ۱۶۰ درجه به دست آمد. همچنین برای حالت فرود هواپیما با زاویه ۲۰ درجه، موقعیت مجاز معادل با زوایای زیر افق بین ۵۰ و ۱۶۵ درجه حاصل شد. این مقادیر برای زاویه فرود ۴۰ درجه بین ۷۰ و ۱۷۳ درجه به دست آمد.

- Radio communication Conference (Sharm el-Sheikh, 2019), available at: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0C/0A/R0C0A00000F0056PDFE.pdf
- [20] Q. Itu-r, T. Itu, and R. Assembly, "Recommendation ITU-R S . 580-6 Radiation diagrams for use as design objectives for antennas of earth stations operating with geostationary satellites," pp. 20–22, 2003.
- [21] H. K. Son and Y.-J. Chong, "Analysis of the interference effects from maritime earth station in motion to 5G mobile service," in *2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, IEEE, pp. 1225-1228, 2017.
- [22] Sh. Marzban, K. Mohamedpour, and S. Pirzadi, "Improving the probability of bit error in the telemetry radio link of LEO satellites using MIMO technique," *Space Sci. Technol. Res. Qly.*, Vol.5, No.3, pp. 21-31, 2013.
- [23] Recommendation ITU-R P.676-9, Attenuation by atmospheric gases, P Series Radio wave propagation, 2016.
- [24] Report ITU-R M.2221, Feasibility of MSS operations in certain frequency bands," M Series Mobile, radio determination, amateur and related satellite services, 2011.
- [25] Available, [on Line]: <https://www.bahesab.ir/map/geographic>.
- [26] Available, [on Line]: <http://www.noojum.com/other/astronomy-tools/187-online-tools/6266-longitude-latitude.html>.
- [27] R. Doost, P. Hajipour, R. Karimzadeh Bae, and A. Fasoniehchi, "Investigation of methods and technical requirements for control of frequency interference in satellite broadband earth station in motion", *Arshadan Public.*, ISBN: 879-644-49-5643-6, pp.1-263, 21 March 2022.
- World Radio commun. Conf. (WRC-19) Sharm el-Sheikh, Egypt*, Document 65-E, 2019.
- [13] Radio Regulations Appendices Edition of 2020, Available at: <http://www.oh3ac.fi/RR-2020-00013-Vol.II-EA5.pdf>.
- [14] WRC-19 agenda item 1.5 Resolution 158 (WRC-15), (Republic of Japan and Korea), Sharing and compatibility between earth stations in motion operating with geostationary FSS networks and current and planned stations of the MS in the frequency band 27.5-29.5 GHz, Annex 14 to Document 4A/826, 11 June 2019.
- [15] Resolution 169 (WRC-19), (Japan), Proposal of the methodology to examine the characteristics of aeronautical ESIM in conformity with PFD limits, Document 4A/103-E, 19 October 2020.
- [16] WRC-19 agenda item 1.5 Resolution 169, (Republic of Korea), Proposal to establish a correspondence group for study on the examination characteristics of aeronautical ESIM complying with the power flux density limits on the Earth's surface specified in Part II of Annex 3 to the Resolution 169 (WRC-19), Document 4A/XX-E, 21 May 2020.
- [17] WRC-19 agenda item 1.5, (United States of America), Methodology for examining conformity of Aeronautical earth stations in motion (ESIM) with respect to PFD limits in the 27.5-29.5 GHz band, Document 4A/114-E, 21 October 2020.
- [18] Aeronautical ESIM PFD methodology, (Canada), Methodology to examine conformity of Aeronautical ESIM communicating with GSO FSS with PFD limits, Document 4A/-E, 21 May 2020.
- [19] Resolution 169 (WRC-19), Use of the frequency bands 17.7-19.7 GHz and 27.5-29.5 GHz by earth stations in motion communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service, The World