

بررسی و تحلیل پارامترهای مداری ماهواره LEO به منظور افزایش حجم ارتباطات با دستیابی به مدار بهینه

پژمان رضائی^{۱*}، محمد حکاک^۲

۱- استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

۲- استاد، گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

*سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۹۶-۴۵۳۹۹

p_rezaei@itrc.ac.ir

(دریافت مقاله: شهریور ۸۷، پذیرش مقاله: مرداد ۸۸)

چکیده- در این مقاله پارامترهای مؤثر بر زمان رؤیت ماهواره در مدارهای کم ارتفاع مرور شده و میزان تأثیر هریک از آنها بررسی شده است. سپس بیشترین میزان دسترسی به ماهواره‌ای کم ارتفاع در ارتفاعهای مختلف توسط کاربران زمینی در عرضهای جغرافیایی مختلف برای زاویه دید ثابت، محاسبه شده است. برای این منظور، پارامتر زاویه شیب مداری ماهواره مورد توجه قرار گرفته است. این دسترسی با تفکیک به دو دیدگاه تعداد دفعات رؤیت و مجموع زمانهای رؤیت ماهواره بررسی شده و برای آنها زاویه شیب بهینه به طور جداگانه به دست آمده است. همچنین تأثیر پارامترهای ارتفاع و شیب مداری ماهواره و نیز عرض جغرافیایی ایستگاه زمینی بر زمان و دفعات دسترسی محاسبه شده است. تغییرات زمان دسترسی ماهواره به خورشید، به عنوان منبع انرژی، با ارتفاع و زاویه شیب مدار ماهواره نیز بررسی شده است. در نهایت زاویه شیب مداری متناظر با بیشترین زمان و دفعات دسترسی به ماهواره LEO با ارتفاعهای مختلف برای کاربرانی در عرضهای جغرافیایی مختلف همراه با زاویه شیب مداری برای بیشترین دسترسی به خورشید به دست آمده است. شبیه سازی های مدار ماهواره برای تخمین زمانهای رؤیت ماهواره با بهره گیری از نرم افزار STK انجام شده است.

کلیدواژگان: ماهواره LEO، زمان دسترسی، زاویه شیب مداری خورشیدگرفتگی.

۱- مقدمه

در ماهواره های شبکه ای نظیر گلوبال استار، هر کاربر همواره چندین ماهواره را در دید خود دارد که برای برقراری ارتباطی با کیفیت بالا، همواره بر روی قوی ترین سیگنال دریافتی قفل کرده و کیفیت ارتباط را با انجام

سوئیچهای متوالی حفظ می کند. در سیستم GPS نیز موقعیت کاربر با ارتباط همزمان با چندین ماهواره تعیین می شود [۱-۴]. اما ماهواره های منفرد در کاربرد آماتوری برای برقراری ارتباط با کاربرانی در محدوده ای با موقعیت طول و عرض جغرافیایی خاص طراحی شده است. در

است [۱۰]. به کارگیری این روش، نیازمند برخورداری از قابلیت تغییر نرخ بیت در طی زمان برقراری ارتباط است. استفاده از سیستم ردگیری^۲ و آنتن‌های جهتدار در ایستگاه زمینی نیز، امکان برقراری ارتباط در زوایای ارتفاع^۳ پایین و افزایش زمان دسترسی را فراهم می‌کند.

روش دیگری که می‌توان از آن به طور مکمل با سایر روشها بهره گرفت، افزایش زمان دسترسی به ماهواره با قرار دادن آن در مداری مناسب است. این تحقیق بر ارزیابی توانمندی این روش متمرکز است.

۲- پارامترهای مؤثر در دسترسی به ماهواره

مشخصات مداری ماهواره و مشخصات کاربر زمینی بر زمان رؤیت و دسترسی به ماهواره مؤثر است. موقعیت ماهواره در مدار آن در فضا توسط شش پارامتر مشخص می‌شود که اجزای اصلی پارامترهای دوطبقی^۴ است [۱۱]. با در اختیار داشتن این پارامترها و انجام محاسباتی می‌توان موقعیت دقیق ماهواره را در هر لحظه تعیین کرد. در این میان ارتفاع و زاویه شیب^۵ مداری ماهواره همراه با عرض جغرافیایی ایستگاه زمینی، اهمیت بیشتری دارند.

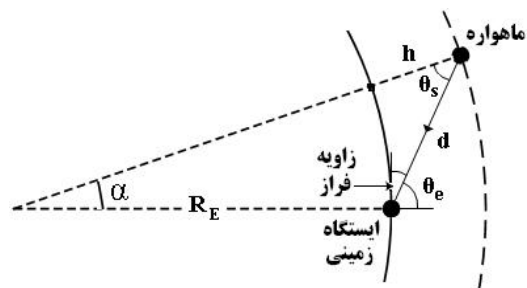
در انتخاب مدار حرکت ماهواره، نقش نیازمندیهای زیرسیستم تغذیه اساسی است، زیرا وظیفه تأمین توان بخشهای مختلف ماهواره را در مدت مأموریت بر عهده دارد [۱۲]. البته تأمین توان، تابع نوع و ساختار ماهواره و مأموریت آن، وضعیت مداری و فازهای مختلفی است که ماهواره در آن قرار می‌گیرد.

در این تحقیق زاویه شیب مداری با دو هدف بهینه‌سازی شده است. این اهداف به ترتیب حداکثر کردن

این کاربری، هدف، برخورداری از بیشترین زمان دسترسی به ماهواره و در نتیجه حداکثر میزان حجم ارتباطات بر مبنای حداقل زاویه دید تعریف شده برای ایستگاه زمینی در این محدوده است.

ماهواره کم ارتفاع، فقط در زمان محدود قرار گرفتن در دید ایستگاه زمینی قادر به ارائه سرویس است. برای توجیه اقتصادی ماهواره، این زمان را باید به بیشترین مقدار ممکن افزایش داد. بدین منظور تاکنون روشهای متعددی ارائه شده که انتخاب روش، به سطح فناوری ماهواره بستگی دارد.

یکی از روشها، به کارگیری آنتنی برای ایجاد پوشش یکنواخت در طی زمان دسترسی است. با توجه به تغییرات فاصله و در نتیجه تغییرات تلفات سیگنال مسیر (شکل ۱) از بهره متغیر در زوایای مختلف استفاده می‌شود. بدین منظور با توجه به ارتفاع ماهواره و حداقل زاویه دسترسی در ایستگاه زمینی، از پرتو زینی^۱ شکل مناسبی برای این پوشش استفاده می‌شود [۵-۷].



شکل ۱ موقعیت هندسی ماهواره LEO و کاربر زمینی

روشهای بهینه‌سازی نظیر الگوریتم ژنتیک برای تحقق چنین پرتوی در طراحی آنتن قابل استفاده است [۸-۹]. به کارگیری نرخ بیت متغیر یا به طور معادل توان متغیر در زمان ارتباط، روش دیگری برای افزایش حجم ارتباط

2. Tracking
3. Elevation Angle
4. Two Line Element
5. Inclination Angle

1. Saddle Pattern

زمان ارتباط ماهواره با ایستگاه زمینی و تأمین بیشترین انرژی توسط سلولهای خورشیدی است.

زاویه شیب بهینه را می‌توان با انجام مصالحه‌ای بین اهداف بیان شده و با توجه به اولویت یا وزن‌دهی مناسب تعیین کرد. به بیان دیگر در این زاویه شیب، زمان دسترسی ماهواره به کاربران زمینی و خورشید به‌طور همزمان افزایش می‌یابند. البته زاویه بهینه نخست تابع مختصات جغرافیایی کاربران ماهواره ولی زاویه بهینه دوم همواره ثابت است.

در گام نخست در این تحقیق، نحوه پوشش کاربران شبکه زمینی ماهواره‌ای کم‌ارتفاع در محدوده جغرافیایی ایران محاسبه شده است. بدین منظور زمان مشاهده ماهواره‌ای در ارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتر با زاویه شیب ۸۳ درجه نسبت به مدار استوا، با استفاده از ویرایش پنجم نرم‌افزار STK^1 محاسبه شده است [۱۳].

حداقل زاویه دید، پارامتر مؤثر دیگر بر زمان پوشش کاربر است که با افزایش آن، زمان پوشش ماهواره به‌شدت کاهش می‌یابد. بدین دلیل، رتور سیستم ردگیری در ماهواره LEO، در راستای نزدیک سمت‌الراس^۲ ماهواره را با سرعت بیشتری ردگیری می‌کند. نتایج شبیه‌سازی‌ها بیانگر آن است که زمان دسترسی برای کاربری در مختصات تهران برای حداقل زوایای ۵، ۲۰ و ۳۵ درجه به‌ترتیب به اندازه ۲۸/۹، ۷۳/۸ و ۸۹/۴ درصد نسبت به دسترسی در راستای افق کاهش می‌یابد. حداقل زاویه دید در تمامی محاسبات برابر ۲۰ درجه در نظر گرفته شده است.

با افزایش عرض جغرافیایی کاربر زمینی، زمان رؤیت ماهواره افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی‌ها

بیانگر آن است که به‌ازای حداکثر اختلاف ۱۴/۶ درجه بین منتهی‌الیه شمالی- جنوبی کشور، تفاوتی در حدود ۱۹ درصد در زمان رؤیت ماهواره وجود دارد. این تغییر مختص عرض جغرافیایی است و تغییر طول جغرافیایی تأثیری بر این زمان ندارد. علت آن است که با کاهش زاویه شیب ماهواره، پوشش نواحی قطبی کاهش یافته و در مناطق با عرض جغرافیایی کمتر نظیر ایران، پوشش بهتری به‌دست می‌آید. بیشترین دفعات و زمان رؤیت به‌ترتیب برای مدارهایی با شیب ۶۱ و ۵۱ درجه محقق شده که برای مدار ۵۱ درجه نسبت به مدار ۸۳ درجه، زمان مشاهده در حدود ۵۸ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع ماهواره، ناحیه پوشش و در نتیجه زمان دسترسی به آن افزایش می‌یابد.

۳- موقعیت جغرافیایی کاربر

در ماهواره‌های GEO نواحی استوایی به‌علت برقراری ارتباط با زاویه دید بالا نسبت به افق، دارای بهترین پوشش با حداقل افت فضای آزاد است. در ماهواره‌های کم‌ارتفاع با مدارهای شبه‌قطبی با افزایش عرض جغرافیایی کاربر، زمان پوشش ماهواره نیز افزایش می‌یابد.

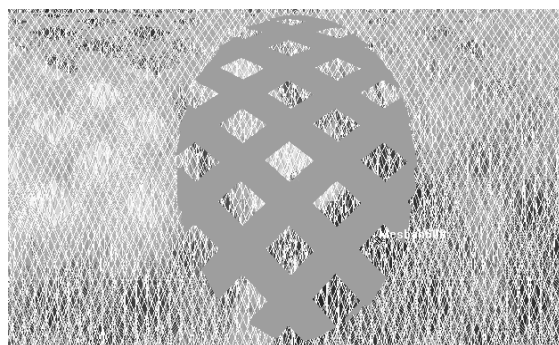
در شکل ۲ ردپای^۳ ماهواره بر روی زمین ترسیم شده است. به‌علت شکل کروی زمین، بیشترین تراکم پوشش ماهواره در نواحی قطبی قرار دارد. به‌تدریج و با نزدیک شدن به خط استوا این تراکم کاهش یافته است. با کاهش زاویه شیب مدار ماهواره، نواحی قطبی از محدوده پوشش خارج می‌شود. در نتیجه سهم زمانی کاهش یافته، در سایر نواحی توزیع می‌شود.

1. Satellite Tool Kit

2. Zenith

3. Foot-print

گرفتن ردپاهای ماهواره در این دوره زمانی، تراکم یکنواخت شده و نقاط هم طول از نظر دسترسی به ماهواره هم احتمال می شوند.



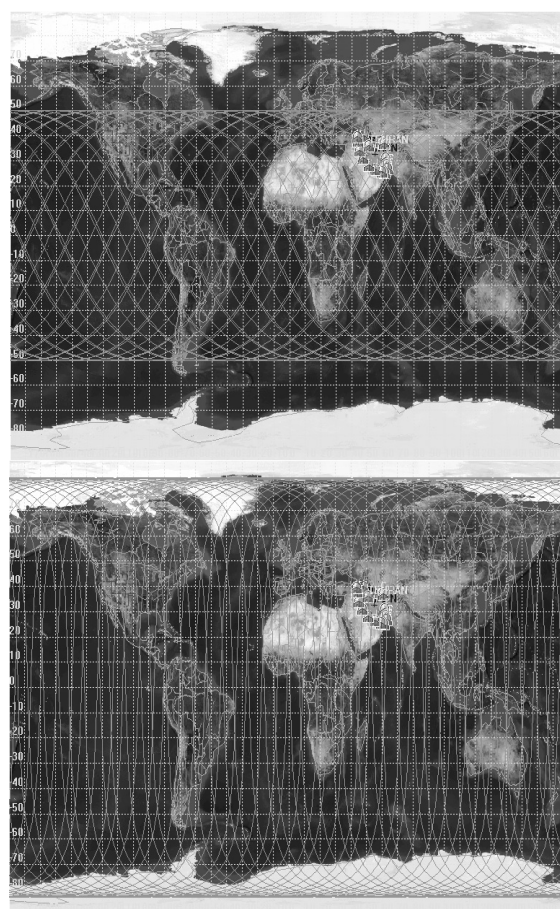
شکل ۳ نحوه پوشش ماهواره بر روی کاربر زمینی در دوره زمانی محدود

به منظور دستیابی به نتایج دقیق، از دوره های زمانی طولانی استفاده شده است. به بیان دیگر با افزایش طول دوره، اعتبار نتایج افزایش می یابد؛ اما با افزایش زمان، حجم محاسبات نیز افزایش می یابد. در عمل با افزایش بازه زمانی به تدریج نتایج همگرا می شوند. بدین ترتیب در محاسبات از دوره زمانی مناسبی با کمترین مقدار محاسبات استفاده می شود.

همچنین با افزایش ارتفاع کاربر، زمان مشاهده ماهواره کاهش می یابد. این کاهش برای تغییر ارتفاع ۳۰۰۰ متری در تهران کمتر از ۷ دقیقه در ماه (کمتر از ۰/۴ درصد) است که در مقایسه با سایر عوامل ناچیز است. به بیان دیگر عرض جغرافیایی کاربر در مقایسه با طول جغرافیایی و ارتفاع آن، اهمیت بیشتری دارد.

۴- مشخصات مدار ماهواره

در این تحقیق زاویه شیب مداری به عنوان عاملی مؤثر بر تعیین زمان رؤیت ماهواره مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۲ ردپای ماهواره بر روی زمین برای زوایای شیب مداری ۵۰ و ۸۳ درجه

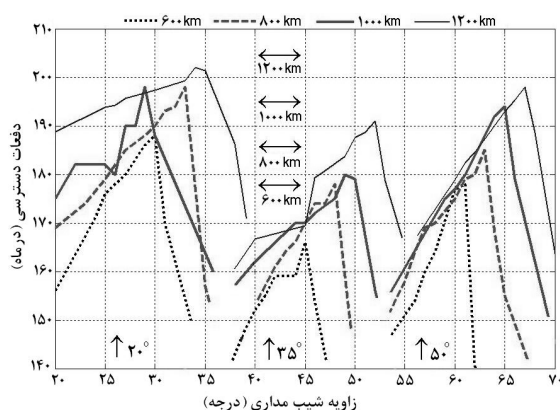
در شکل ۲ حذف پوشش عرضهای جغرافیایی بالاتر و در پی آن افزایش تراکم ردپای ماهواره در نواحی مرکزی (استوایی)، بر اثر کاهش زاویه شیب مدار حرکت ماهواره نشان داده شده است. این تغییرات مربوط به کاهش زاویه شیب از زاویه مدار ۸۳ درجه به ۵۰ درجه است. در ادامه جزئیات تأثیر تغییر زاویه شیب مدار ماهواره بر میزان دسترسی کاربر به ماهواره به طور دقیق بررسی می شود.

مطابق شکل ۳ طول جغرافیایی کاربر بر زمان مشاهده کوتاه مدت ماهواره مؤثر است اما این اثر در بازه زمانی یک ماهه حذف می شود. بدین ترتیب با کنار هم قرار

جغرافیایی بر میزان افزایش زاویه شیب (نسبت به ارتفاع ماهواره) بیشتر است، به طوری که میزان این دو افزایش تقریباً با یکدیگر برابر است؛ اما با دو برابر شدن ارتفاع مدار، افزایشی ۷ درجه‌ای در زاویه شیب ایجاد می‌شود. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ زاویه شیب بهینه مدار ماهواره برای دستیابی به بیشترین دفعات مشاهده ماهواره

عرض جغرافیایی		۲۰		۳۵		۵۰	
ارتفاع مدار		زاویه	دفعات	زاویه	دفعات	زاویه	دفعات
۶۰۰		۳۰	۱۸۸	۴۵	۱۶۶	۶۱	۱۷۸
۸۰۰		۳۳	۱۹۸	۴۸	۱۷۸	۶۳	۱۸۵
۱۰۰۰		۳۲	۲۰۱	۴۹	۱۸۰	۶۵	۱۹۴
۱۲۰۰		۳۷	۱۹۹	۵۲	۱۸۳	۶۷	۱۹۶



شکل ۴ تغییر دفعات دسترسی ماهیانه به ماهواره با عرض جغرافیایی کاربر و ارتفاع ماهواره

به خلاف تغییرات زاویه شیب بهینه، تغییر تعداد دفعات دسترسی به ماهواره با تغییر عرض جغرافیایی معنادار نیست؛ اما با افزایش ارتفاع، دفعات دسترسی

زاویه شیب مدار، زاویه بین صفحه مدار حرکت ماهواره با صفحه استوا است. اثر این زاویه بر زمان رؤیت ماهواره‌ای در ارتفاع‌های مختلف توسط ایستگاه زمینی در عرضهای جغرافیایی مختلف بررسی شده است. سپس زاویه شیب مداری بهینه برای ترکیب وضعیتهای مختلف بین ایستگاه زمینی و ماهواره محاسبه شده است.

زاویه شیب مداری بهینه برای ماهواره‌هایی فرضی در ارتفاع ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ کیلومتر برای ارتباط با ایستگاه‌هایی در عرضهای جغرافیایی ۲۰، ۳۵ و ۵۰ درجه (حول عرض جغرافیایی تهران) انجام شده است. برای تأمین اطلاعات آماری برای افزایش اعتبار مقایسه و نتیجه‌گیری‌ها، برای ارتفاع ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ کیلومتری زمانهای گذر ماهواره در دوره یک‌ماهه اول ژانویه تا اول فوریه ۲۰۰۶ و برای ارتفاع ۱۲۰۰ کیلومتر، کل سال ۲۰۰۶ ملاک ارزیابی قرار گرفته است.

برای نواحی با عرض جغرافیایی متوسط نظیر ایران، با کاهش زاویه شیب مداری به تدریج نواحی قطبی از پوشش خارج می‌شوند. در نتیجه میزان تراکم خطوط ردپای ماهواره و در نتیجه پوشش آن افزایش می‌یابد. با کاهش بیشتر این زاویه شیب، پوشش زمانی مناطقی که در عرضهای جغرافیایی پایین‌تری قرار دارند، به تدریج افزایش یافته و به حداکثر مقدار خود می‌رسد. پس از آن با کاهش بیشتر زاویه شیب، ناحیه مورد نظر نیز به تدریج از ناحیه پوششی ماهواره خارج می‌شود. هدف ما یافتن زاویه شیب متناسب با حداکثر پوشش زمانی ماهواره در منطقه مورد نظر است.

۴-۱- شیب بهینه برای بیشترین دفعات دسترسی

با افزایش ارتفاع ماهواره و عرض جغرافیایی کاربر، زاویه شیب بهینه افزایش می‌یابد. البته تأثیر تغییر عرض

افزایش می‌یابد. برای مشاهده بهتر تغییرات به وجود آمده در زاویه شیب بهینه، نتایج جدول ۱ در منحنی‌های شکل ۴ ارائه شده است.

۴-۲- شیب بهینه برای بیشترین زمان دسترسی

مطابق نتایج شبیه‌سازی جدول ۲، نتایج مربوط به زوایای شیب مداری متناظر با حداکثر دفعات دسترسی (برای عرض جغرافیایی کاربر و ارتفاع ماهواره معین)، برای زوایای شیب متناظر با حداکثر زمان دسترسی نیز صادق است.

جدول ۲ زاویه شیب بهینه مدار ماهواره برای دستیابی به بیشترین زمان مشاهده ماهواره

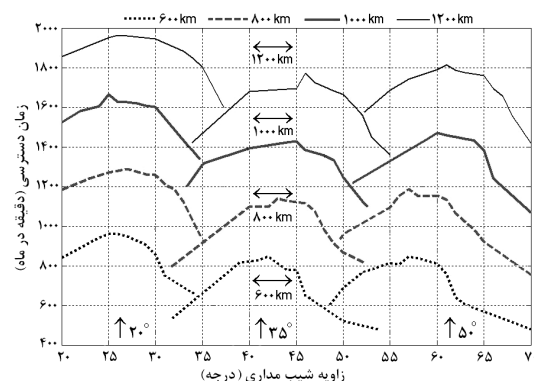
عرض جغرافیایی	۲۰	۳۵	۵۰
ارتفاع مدار	زاویه (Sec) زمان	زاویه (Sec) زمان	زاویه (Sec) زمان
۶۰۰	۲۵	۴۲	۵۷
۸۰۰	۲۷	۴۳	۵۷
۱۰۰۰	۲۵	۴۵	۶۰
۱۲۰۰	۲۶	۴۶	۶۱

مشابه بخش قبل، برای درک بهتر تغییرات به وجود آمده در زاویه شیب بهینه، نتایج ارائه شده در جدول ۲ در منحنی‌های شکل ۵ نیز ترسیم شده است.

در ادامه برای داشتن درکی جامع از تخمین زاویه شیب بهینه برای دستیابی به حداکثر دسترسی (از دو دیدگاه دفعات و زمان) به ماهواره از روی پارامترهای ارتفاع ماهواره و عرض جغرافیایی ایستگاه زمینی، نتایج به دست آمده از دو بخش فوق در جدول ۳ با یکدیگر ادغام شده است. نکته قابل توجه در جدول آن است که همواره زمان دسترسی بیشینه برای زاویه شیب کوچکتری در مقایسه با دفعات دسترسی بیشینه محقق می‌شود. همچنین با کاهش ارتفاع مدار دامنه نوسانهای منحنی زمان پوشش افزایش یافته و به بیان دیگر حساسیت بیشتری را به تغییرات زاویه شیب مدار از خود نشان می‌دهد.

جدول ۳ زاویه شیب بهینه مدار ماهواره برای دستیابی به بیشترین دفعات و مجمع زمان مشاهده ماهواره

عرض جغرافیایی	۲۰	۳۵	۵۰
ارتفاع مدار	زاویه (Sec) زمان	زاویه (Sec) زمان	زاویه (Sec) زمان
۶۰۰	۳۰	۴۵	۶۱
۸۰۰	۳۳	۴۸	۶۳
۱۰۰۰	۳۲	۴۹	۶۵
۱۲۰۰	۳۷	۵۲	۶۷



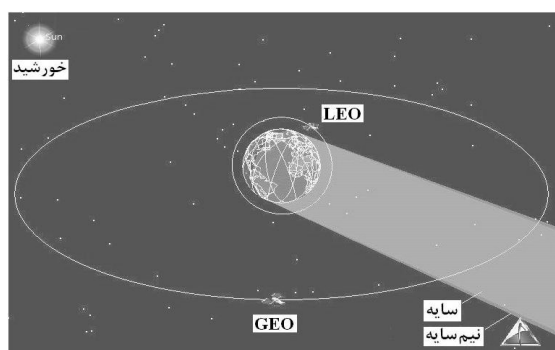
شکل ۵ تغییر زمان دسترسی ماهواره به ماهواره با عرض جغرافیایی کاربر و ارتفاع ماهواره

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده شد، طول جغرافیایی کاربر بر زمان مشاهده کوتاه مدت ماهواره مؤثر بوده و نقاط هم‌طول امکان دسترسی یکسانی به ماهواره ندارند. برای حذف اثر کوتاه‌مدت طول جغرافیایی و نیز افزایش اعتبار نتایج، از دوره‌های زمانی طولانی استفاده شده است.

به دست می‌آید. بدین منظور در شبیه‌سازی‌های این ارتفاع، از نتایج دوره یک‌ساله استفاده شده است.

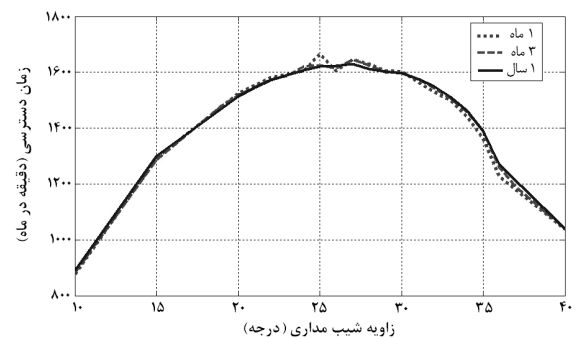
۵- دسترسی ماهواره به خورشید

جذب بیشترین انرژی توسط سلول‌های خورشیدی ماهواره و نیز حداقل کردن زمان در سایه قرار گرفتن ماهواره، پارامتری مهم در تعیین موقعیت مداری آن است. بدین ترتیب با کاهش میزان استفاده از شارژ باتریها، طول عمر ماهواره افزایش می‌یابد. بدین منظور ماهواره‌های LEO به‌طور معمول در مدارهای قطبی و نزدیک به آن مستقر می‌شوند. البته در بحث انرژی، علاوه بر درصد زمان خورشیدگرفتگی، عوامل مداری شامل دوره تناوب چرخش، زاویه تابش خورشید به پانل‌های خورشیدی و شارهای حرارتی دریافتی از خورشید نیز مؤثر است. این مسأله در ماهواره‌های GEO به‌طور کامل بررسی شده است [۴]. در مراجع، زمان دسترسی این نوع ماهواره‌ها به خورشید در دو وضعیت اعتدال و غیراعتدال محاسبه شده است. قطر ناحیه سایه برای ماهواره‌های مدار GEO در زمان اعتدال به بیشترین مقدار خود افزایش می‌یابد.

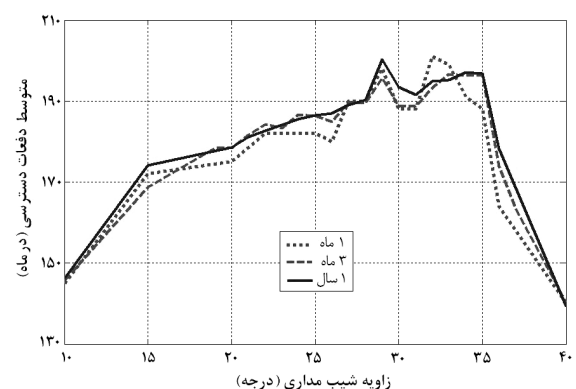


شکل ۸ نحوه ایجاد خورشیدگرفتگی ماهواره شامل نواحی سایه، نیم‌سایه در ماهواره مدار LEO و GEO

برای درک این موضوع، ارتباط بین ماهواره‌ای در ارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتر با ایستگاه زمینی در عرض جغرافیایی ۲۰ درجه، در سه دوره زمانی یک‌ماهه، سه‌ماهه و یک‌ساله تکرار شده است. نتایج به دست آمده در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.



شکل ۶ زمان دسترسی ماهیانه به ماهواره در بازه‌های زمانی مختلف



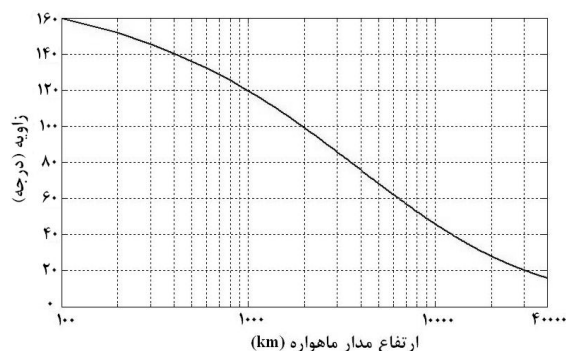
شکل ۷ متوسط دفعات دسترسی ماهیانه به ماهواره در بازه‌های زمانی مختلف

مقایسه منحنی‌ها بیانگر آن است که نوسانهای منحنی مربوط به انتخاب دوره زمانی است و با افزایش بازه زمانی، میزان آن کاهش می‌یابد. برای ماهواره‌ای در مدار ۱۲۰۰ کیلومتری این همگرایی برای دوره زمانی بیشتری

فوریه تا ۱۲ آوریل و نیز ۳۱ آگوست تا ۱۶ اکتبر است. مطابق شکل ۹ این زمان برای زمان اعتدال به حداکثر مقدار خود یعنی به حدود ۷۱/۵ دقیقه در روز می‌رسد [۴]. در این زمان ماهواره انرژی مورد نیاز خود را از باتری تأمین می‌کند.

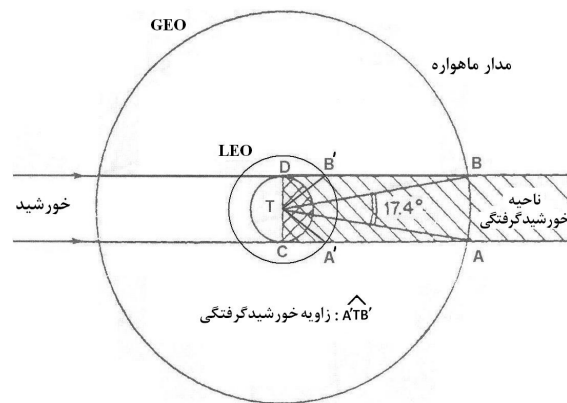
با کاهش ارتفاع مدار استقرار ماهواره، زاویه در سایه قرار گرفتن ماهواره نیز افزایش می‌یابد. زاویه در سایه قرار گرفتن ماهواره برای مدارهای مختلف از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\text{declination angle} \cong 2 \arctan \frac{R_e}{R_e + \text{Altitude}} \quad (1)$$



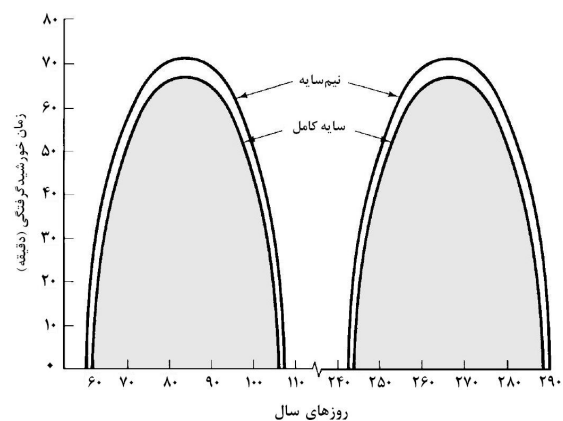
شکل ۱۱ تغییر زاویه خورشیدگرفتگی با تغییر ارتفاع مدار

مطابق شکل ۱۱ این زاویه برای مدارهای ۳۰۰ و ۳۰۰۰ کیلومتری به ترتیب برابر ۱۴۰ و ۲۰ درجه است. زمان دسترسی ماهواره LEO به خورشید به عنوان منبع تأمین انرژی سلول‌های خورشیدی ماهواره برای زوایای شیب مختلف مداری بررسی شده است. بدین منظور امکان ارتباط ماهواره با خورشید در طی یک سال برای ارتفاع‌های مختلف مداری شامل ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ کیلومتری بررسی شده است.



شکل ۹ هندسه خورشیدگرفتگی ماهواره در مدارهای LEO و GEO

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، زاویه خورشیدگرفتگی ماهواره زمین سنکرون ۱۷/۴ درجه است. زمان قرار گرفتن ماهواره GEO در سایه زمین در شکل ۱۰ برای دو حالت سایه کامل و نیم‌سایه به‌طور مجزا برای روزهای یک سال ترسیم شده است.

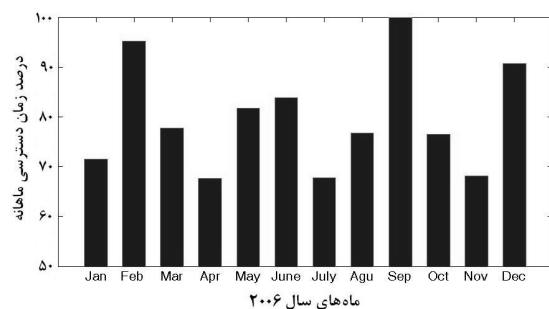


شکل ۱۰ زمان خورشیدگرفتگی ماهواره GEO در روزهای سال (برحسب دقیقه)

زمان در سایه قرارگرفتن ماهواره در بازه زمانی ۲۲ روز قبل و بعد از اعتدال بهاری و پاییزی یعنی ۲۶

زمان دسترسی ماهواره به خورشید در ماههای مختلف سال نیز متفاوت است. بدین منظور زمان دسترسی ماهواره به خورشید در ماههای سال به طور جداگانه برای ماهواره‌ای در مدار ۱۰۰۰ کیلومتری با زاویه شیب مداری ۸۳ درجه، محاسبه شده است.

به طور متوسط این ماهواره در ۸۰٪ از زمان به خورشید دسترسی دارد. بیشترین دسترسی مداوم در سال ۲۰۰۶ برای ماه سپتامبر به دست آمده که به طور دقیقتر، ماهواره از ۲۸ آگوست تا ۲ اکتبر خارج از ناحیه سایه است. درصد زمانهای دسترسی ماهیانه در شکل ۱۴ مقایسه شده است.

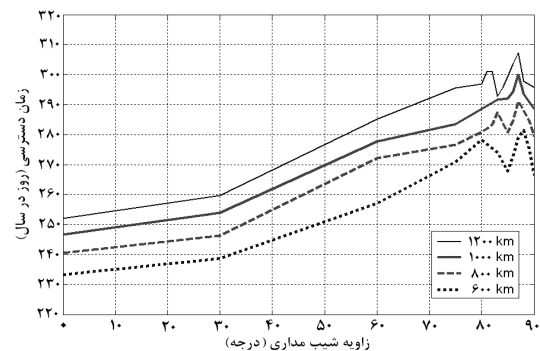


شکل ۱۴ درصد زمان دسترسی ماهواره LEO به خورشید در طول سال

علاوه بر خورشیدگرفتگی ناشی از زمین، ماه نیز می‌تواند مانع تأمین انرژی خورشیدی توسط ماهواره باشد. البته اثر آن در مقایسه با خورشیدگرفتگی ناشی از زمین قابل صرف نظر و از نظر آماری نیز نامنظم است [۱۴].

۶- بحث و نتیجه گیری

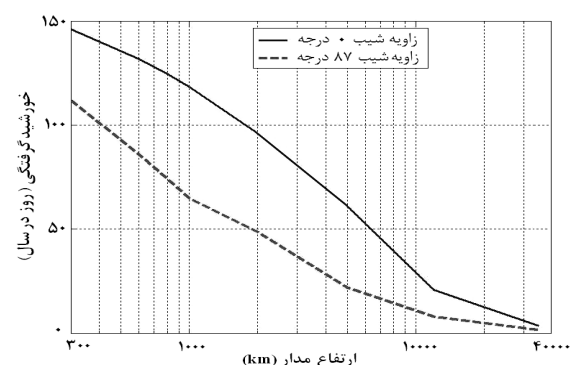
در این مقاله امکان دستیابی به مشخصات مداری بهینه برای ماهواره LEO، به منظور ایجاد بهترین پوشش برای کاربر زمینی در عرض جغرافیایی معین بررسی



شکل ۱۲ زمان دسترسی سالیانه ماهواره LEO به خورشید در زوایای شیب مداری مختلف (برحسب روز)

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع مدار ماهواره، زمان دسترسی به آن نیز افزایش یافته است. با تغییر ارتفاع از ۶۰۰ به ۱۲۰۰ کیلومتر، زمان دسترسی ۱۰٪ افزایش می‌یابد. بیشترین دسترسی نیز برای زوایایی شیبی در حدود ۸۷ و ۸۸ درجه به دست آمده است.

زمان خورشیدگرفتگی برای ارتفاع‌های مختلف محاسبه شده است. نتایج این محاسبات بیانگر آن است که با کاهش ارتفاع مدار ماهواره، زمان در سایه قرار گرفتن آن افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی برای دو وضعیت حداقل و حداکثر خورشیدگرفتگی برای دو زاویه شیب مداری صفر و ۸۷ درجه در شکل ۱۳ ارائه شده است.



شکل ۱۳ منحنی زمان خورشیدگرفتگی سالیانه برای تغییر ارتفاع مدار ماهواره

نرم‌افزاری و نیز نقد و اصلاحات ارزشمند داوران مجله ابراز می‌دارند.

۸- منابع

- [1] B.Pattan, Satellite-Based Cellular Communications, McGraw-Hill, 1998.
- [2] W. Lloyd, Internetworking with satellite constellation, PhD Thesis, Surrey University, U.K., 2001.
- [3] W.L.Pritchard, H.G.Snyderhoud, and R.A. Nelson, Satellite Communications Systems Engineering, 2nd Ed., Prentice-Hall, INC., 1993.
- [4] G.Maral, and M.Bousquet, Satellite Communications Systems, 2nd Ed., John Wiely and sons, INC., 1993.
- [5] پژمان رضائی و محمد حکاک، طراحی و ساخت آنتن مارپیچی چهارشاخه برای ماهواره چندمنظوره SMMS، یازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه شیراز، اردیبهشت ۱۳۸۲، صص ۱۹۴-۲۰۱.
- [6] P.Rezaei, M.Hakkak, "Design of quadrifilar helical antenna for use on small satellites," IEEE AP-S International Symposium on Antennas and Propagation, Vol. 3, 2004, pp. 2895-2898.
- [7] M.Hosseini, M.Hakkak, P.Rezaei, "Design of a dual-band quadrifilar helix antenna," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 4, 2005, pp. 39-42.

شده است. بدین منظور برای برقراری ارتباط بین کاربری در عرض جغرافیایی معین و ماهواره‌ای با ارتفاع معین، زاویه شیب بهینه‌ای برای مدار ماهواره ارائه شده است. بدین ترتیب از دیدگاه مخابراتی دو زاویه شیب مداری بهینه برای ماهواره‌های کم‌ارتفاع برای دستیابی به بیشترین دفعات رؤیت و بیشترین زمان رؤیت ماهواره ارائه شده است. این زاویه شیب بهینه در ناحیه پوششی ایران از نظر بیشترین دفعات و زمان دسترسی به ترتیب در حدود ۴۹ و ۴۵ درجه برای ماهواره‌ای در ارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتری است. سپس زاویه شیب بهینه‌ای برای بیشترین دسترسی به خورشید به عنوان منبع تأمین انرژی به دست آمده است. این زاویه مستقل از ماهواره و کاربر زمینی، در حدود ۸۷ تا ۸۸ درجه به دست آمده است.

تصمیم‌گیری در انتخاب زاویه شیب مدار، تابعی از کاربرد ماهواره، نظیر بررسی تغییرات یک ناحیه یا جمع‌آوری بیشترین اطلاعات است. از نظر تئوری، زاویه شیب طرح نهایی در حد فاصل نسبتاً وسیع بین زاویه‌های شیب بهینه به دست آمده برای زیرسیستم‌های مخابرات و تغذیه ماهواره است.

برای رعایت صرفه اقتصادی، در عمل برای ماهواره‌های کوچک از پرتابگر مشترکی استفاده می‌شود. بدین ترتیب مشخصات پرتابگر ماهواره، عامل مؤثری در تعیین زاویه شیب مدار ماهواره است. با وجود این نتایج این بررسی برای انتخاب مناسب پرتابگر ماهواره، به‌ویژه برای پرتاب ماهواره‌ای مستقل قابل استفاده است.

۷- سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله نهایت تشکر و قدردانی را از همکاری خانم مهندس ابوترابیان در شبیه‌سازی‌های

- [11] P.Rezaei, N.Abotorabian, M.Hakkak, "Optimum designing of amateur satellite for maximum availability," 8th International Conference on Advanced Communication Technology, Vol. 2, 2006, pp. 1188-1191.
- [12] P.Rezaei, N.Abotorabian, M.Hakkak, S.Amiri, "Desired orbit of LEO satellite for local services," 9th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, 2006, pp. 653-656.
- [13] STKTM, Satellite Toolkit, Analytical Graphics, Inc., 2003, available from Internet at "http://www.stk.com".
- [14] C.A. Siocos, "Broadcasting satellite power blockouts from solar eclipses due to the moon," IEEE Transactions on Broadcasting, No. 2, 1981, pp. 25-28.
- [8] P.Rezaei, H.Aliakbarian, N.Hojjat, M.Hakkak, "Optimum beam forming of LEO satellite antenna with genetic algorithm," ANTEM 2004/URSI: 10th International Symposium on Antenna Technology & Applied Electromagnetics & URSI Canada Conference, 2004, pp. 141-144.
- [9] P.Rezaei, H.Aliakbarian, E.S.Moghaddam, N.Abotorabian, S.Amiri, M.Hakkak, N.Hojjat, "Beam shaping of turnstile antenna for LEO satellite with genetic algorithm," 10th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, 2004, pp. 470-472.
- [10] M.Hosseini, M.Hakkak, P.Rezaei, "An investigation on the effect of satellite antenna pattern on the efficiency of adaptive bit rate scheme used in a LEO satellite link," Loughborough Antennas and Propagation Conference, 2006, pp. 453-456.