

این مقاله در دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می رسد.

کشف درخشش یونسفری در ایران با استفاده از مشاهدات سیستم تعیین موقعیت جهانی

سحر صبح خیز میانده‌ی^{*}، محمدمهری علیزاده‌ی‌الیزئی^{**}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱

چکیده

ناحیه بالایی جو زمین که یونسفر نامیده می شود، محیطی است به شدت متغیر با زمان و مکان و دارای ویژگی های فیزیکی بسیار پیچیده که در آن چگالی الکترون های آزاد زیاد است و از این رو تأثیر بسزایی بر انتشار امواج رادیویی در این محیط خواهد داشت. هنگامی که سیگنال های ماهواره های سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) از یونسفر عبور می کنند، ممکن است دچار نوسانات سریع دامنه و تغییرات غیرمنتظره ای در فاز سیگنال شوند که این پدیده را تحت عنوان درخشش یونسفری می شناسیم. درخشش یونسفری که خود ناشی از بی نظمی های کوچک مقایس در چگالی الکترونی یونسفر (تحت تأثیر فعالیت های خورشیدی) است، بسته به مکان و زمان وقوع آن، می تواند بهشدت بر دقت و صحت مشاهدات GPS اثرگذار باشد. هدف مقاله‌ی حاضر مطالعه موردی رخداد این پدیده در ناحیه ایران و تغییرات آن است. به این منظور در این مقاله به بررسی مشاهدات GPS و کشف وقوع درخشش های یونسفری در آن ها پرداخته شده است. نتایج حاصل از این بررسی ها نشان دهنده‌ی وقوع پدیده‌ی درخشش یونسفری و تأثیر آن بر مشاهدات GPS در این منطقه است.

کلیدواژه ها: سیستم تعیین موقعیت جهانی، یونسفر، درخشش یونسفری.

*نویسنده مکاتبه کننده: گروه ژئودزی دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

تلفن: ۸۸۷۸۶۴۱۲۰۲۱

Email : alizadeh@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

در خشش یونسفری باعث افزایش سطح نویز مشاهدات و درنتیجه کاهش دقت تعیین موقعیت می‌شود و در حالتی که در خشش یونسفری شدید رخ بدهد، قدرت سیگنال به حدی کاهش پیدا می‌کند که از سطح مور دنیاز گیرنده برای دریافت یک سیگنال پایین تر خواهد بود و این امر موجب از دست رفتن قفل به ماهواره و ردیابی آن خواهد شد. بر این اساس در خشش‌های یونسفری به دودسته در خشش یونسفری دامنه و فاز تقسیم می‌شوند. در خشش یونسفری دامنه باعث از دست رفتن داده و رخداد جهش فاز^۳ می‌شود در حالی که در خشش یونسفری فاز باعث ایجاد یک شیفت فرکانسی در سیگنال GPS و درنتیجه قطع قفل ردیابی فاز^۴ می‌شود [۴].

مطالعاتی که روی پدیده در خشش یونسفری انجام شده‌اند، نشان می‌دهد که شدت آثار این پدیده وابسته به فرکانس نمونه‌برداری سیگنال، موقعیت جغرافیایی، زمان محلی، فصل، فعالیت‌های مغناطیسی، دوره یازده‌ساله خورشیدی و... است [۵]. شدت رخداد این پدیده در عرضهای جغرافیایی پایین تر بیشتر است و همچنین هرچه فعالیت خورشیدی شدیدتر باشد، شاهد رخداد در خشش‌های یونسفری بیشتری خواهیم بود.

طی چند دهه‌ی گذشته محققان بسیاری، پدیده‌ی در خشش یونسفری را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در مقاله‌ی لیو^۵ و یه^۶ مروری بر پدیده در خشش یونسفری سیگنال‌های رادیویی انجام شده است [۶]. باسو^۷ و همکارانش نشان دادند که تغییرات چگالی الکترونی یونسفر موجب رخداد در خشش یونسفری می‌شود [۷]. باسو و همکارانش مورفولوژی در خشش یونسفری را در هنگام غروب خورشید

به طور کلی ناحیه بالایی جو زمین که از ارتفاع حدود ۶۰ کیلومتر تا ۲۰۰۰ کیلومتر بالای سطح زمین گستره است را تحت عنوان یونسفر می‌شناسیم [۱]. یونسفر محیطی است که از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی بسیار پیچیده است و با تغییر زمان و مکان، ساختار و چگالی الکترونی آن تغییر می‌کند. در این محیط یونهای آزاد توسط تابش خورشید تولید شده، توسط تعاملات شیمیایی کنترل و به وسیله پدیده پخش^۸ و باد خنثی منتقل می‌شود [۲]. با عبور سیگنال از محیط یونسفر ویژگی‌های آن از جمله دامنه، فاز، زاویه دریافت و... دستخوش تغییراتی می‌شود که ناشی از وجود یونهای آزاد در این محیط است. بعد از حذف خطای عمده از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)^۹ عبور سیگنال از یونسفر و تاثیر چگالی الکترونی این محیط بر سیگنال، یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد خطای این سیستم به شمار می‌رود و می‌تواند به دو شکل تأخیر یونسفری و در خشش یونسفری بروز کند. در خشش یونسفری عبارت است از نوسانات شدید در دامنه و فاز سیگنال ناشی از بی‌نظمی‌های کوچک‌مقیاس در چگالی الکترونی محیطی که سیگنال از آن عبور می‌کند و عمدتاً هم در لایه F یونسفر رخ می‌دهند [۳]. تأخیر یونسفری تا حد قابل قبولی توسط تکنیک‌های دوفر کانسه تقلیل می‌باید و این در حالی است که اثر در خشش‌های یونسفری به علت کوچک مقیاس و نامنظم بودن، حتی پس از اعمال تکنیک‌های دوفر کانسه به طور کامل از بین نمی‌روند. لذا در حال حاضر در خشش یونسفری یکی از مهم‌ترین تهدیدها برای سیستم GPS به شمار می‌رود و بررسی رخداد و مقدار اثرگذاری آن بر سیگنال‌های GPS امری ضروری و حائز اهمیت است.

3 Cycle slip

4 Phase loss of lock

5 Liu

6 Yeh

7 Basu

1 Diffusion

2 Global Positioning System

ماهواره ثابت باشند، تغییرات TEC به دست آمده را می‌توان به گرادیان فضایی TEC تبدیل کرد.^[۹]

برای محاسبه ROT به صورت زیر عمل می‌شود^[۱۰]:

$$ROTI(i) = \frac{L_{GF}(i) - L_{GF}(i-1)}{\Delta t \times 10^{16} \times 40.3 \times (\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2})} \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق L_{GF} ترکیب عاری از هندسه در لحظه i بوده که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{GF}(i) = L1(i) \times \lambda_1 - L2(i) \times \lambda_2 \quad (2)$$

که در آن $L1$ و $L2$ مشاهدات فاز هستند، λ_1, λ_2

طول موج f_1 و f_2 نشان‌دهنده فرکانس سیگنال است.

Δt نیز اختلاف زمانی بین اپک‌ها بر حسب دقیقه است.

محاسبات مختلف نشان داده است که ROT عموماً

حول مقادیر کوچکی نوسان می‌کند. برای تشخیص و

بیان بی‌نظمی‌های کوچک‌مقیاس تر شاخصی برای

ROT تعریف می‌شود به عنوان ROTI که بر

انحراف معیار ROT مبتنی است یعنی:

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle - \langle ROT \rangle^2} \quad (3)$$

که در آن علامت <> نشان دهنده‌ی امید ریاضی

است. درنهایت ROTI برای N اپک به شکل زیر

محاسبه می‌شود:

$$(4)$$

$$ROTI(i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=i-N}^i (ROT(j) - \overline{ROT})^2}$$

$$\overline{ROT} = \frac{1}{N} \sum_{j=i-1}^i ROT(j) \quad (5)$$

در این مقاله ROTI برای هر ۵ دقیقه (معادل ۱۰ اپک از مشاهدات با نرخ ۳۰ ثانیه) محاسبه شده است تا رزولوشن زمانی بالاتری به دست دهد.

عمولاً مقدار ROTI بیش از ۰/۵ نشانگر وجود بی‌نظمی‌هایی با مقیاس کوچک در محیط یونسفر است^[۱۱]. با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط ماریوما و ما^۷ در سال ۲۰۰۶ زمانی که میزان این اندیس بیش از بیش از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده‌ی وجود حباب‌های پلاسمای و در نتیجه افزایش امکان رخداد

بررسی کرده و نشان دادند که این پدیده در عرض‌های جغرافیایی بالا و در نواحی استوایی شدید و در نواحی با عرض جغرافیایی متوسط ضعیف است^[۸]. پای^۱ و همکارانش برای اولین بار به بررسی درخشش یونسفری با استفاده از نرخ تغییرات محتوای کل الکترونی (TEC) یونسفر پرداخته و اندیس نرخ تغییرات TEC (ROTI) را برای مطالعه‌ی رخداد این پدیده معرفی کردند^[۹]. سیونگ^۲ و همکارانش ضمن بررسی درخشش یونسفری در ایالت هانیان چین نشان دادند همبستگی بسیار بالایی بین نوسانات ROTI، اندیس TEC و نسبت سیگنال به نویز وجود دارد^[۴].

در بخش اول این مقاله به روش مطالعه و کشف درخشش یونسفری از مشاهدات GPS پرداخته در بخش بعدی داده‌ها و منطقه‌ی مطالعاتی معرفی شده و در بخش آخر نتایج کشف رخداد این پدیده در ایران ارائه خواهد شد.

۲- روش‌ها

در ادامه روش‌های مورد استفاده در این مطالعه برای کشف درخشش یونسفری و همچنین استخراج مقادیر از مشاهدات کد ارائه شده است.

۲-۱- روش کشف درخشش یونسفری

یکی از روش‌هایی که توسط محققان بسیاری برای نمایش نرخ تغییرات زمانی نوسانات فاز سیگنال GPS به کاررفته است، استفاده از نرخ تغییرات TEC است که ROT^۳ نامیده می‌شود و با واحد TECU/min^۴ محاسبه و بیان می‌شود. با فرض اینکه بی‌نظمی‌ها در یک مدت زمان کوتاه‌تر حین عبور از خط دید گیرنده به

1 Pi

2 Total Electron Content

3 Rate Of TEC Index

4 Xiong

5 Rate Of TEC

6 Total Electron Content Unit per minute

⁷ Ma & Maruyama

$$P4 = \xi_4 I + c(\Delta b^S - \Delta b_R) \quad (10)$$

که در آن Δb^S و Δb_R به ترتیب مرتبطاند با خطای سخت‌افزاری ماهواره S و گیرنده R که آن را تحت عنوان اریب تفاضلی کد^۱ می‌شناسیم و داریم:

$$\text{رابطه (۱۱)} \quad \xi_4 = 1 - f_{L1}^2 / f_{L2}^2 \approx -0.647$$

اریب تفاضلی کد برای ماهواره‌ها مشخص بوده و به جهت محاسبه مقدار اریب تفاضلی کد برای هر گیرنده از تغییرات هندسی بین ماهواره و گیرنده که الگوریتم آن توسط چانگ کی هونگ^۲ و همکارانش ارائه داده شده، استفاده شده است [۱۴].

از طرفی I هم به شکل زیر با STEC در ارتباط است:

$$I = \xi_E STEC(\beta, s) \quad (12)$$

که در آن β عرض ژئومغناطیسی و s طول در سیستم متصل به خورشید است. که در آن عرض ژئومغناطیسی به شکل:

$$\text{رابطه (۱۳)}$$

$$\beta = \sin^{-1}(\sin \varphi_g \sin \varphi_0 + \cos \varphi_g \cos \varphi_0 \cos(\lambda_g - \lambda_0))$$

و طول خورشید آهنگ s به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$s = \lambda_g + UT - \pi \quad (14)$$

که λ_g و φ_g در آنها همان طول و عرض جغرافیایی محل و λ_0 و φ_0 طول و عرض قطب شمال مغناطیسی هستند. و نهایتاً داریم:

$$\text{رابطه (۱۵)} \quad \xi_E = \frac{C_x}{2} f_1^{-2} \approx 0.162 \text{ m/TECU}$$

در این مقاله با استفاده از معادله (۱۰)، STEC از مشاهدات کد استخراج شده است.

۳- داده و منطقه مطالعاتی

در شکل زیر توزیع ایستگاه‌های شبکه دائم GPS ایران (IPGN^۳) نمایش داده شده است. این ایستگاه‌ها

در خشش یونسferی است. [۱۲] مزیت اصلی این اندیس برای محاسبه در خشش یونسferی مبتنی بودن آن بر مشاهدات گیرنده‌های GPS دوفرکانسه معمولی است چراکه این داده‌ها به صورت جهانی در دسترس هستند. مزیت دوم نحوه محاسبه آن است که تا حدودی ساده است. ضمناً چون از ترکیب عاری از هندسه در محاسبه آن‌ها استفاده می‌شود، خطاهای موجود معمولاً حذف می‌شوند. برای مواردی که مؤلفه‌های مربوط به نسبت سیگنال به نویز در فایل‌های مشاهداتی GPS موجود نیستند، می‌توانیم از این اندیس‌ها برای کشف و تشخیص در خشش‌های یونسferی بهره ببریم [۹].

۲-۲- استخراج STEC از مشاهدات کد

اگر شبیه‌فاصله‌ای که از ارسال کد C/A یا P از ماهواره k به گیرنده i به دست می‌آید را به عنوان تابعی از فاصله هندسی در نظر بگیریم، روی فرکانس‌های L1 و L2 به شکل زیر فرموله می‌شود [۱۳]:

$$\text{رابطه (۶-الف)} \quad P1 = \rho + I + c(b_1^k - b_{i,1})$$

$$\text{رابطه (۶-ب)} \quad P2 = \rho + \xi I + c(b_2^k - b_{i,2})$$

که در آن i , b_i^k به ترتیب تاخیرات ناشی از سخت‌افزار گیرنده و ماهواره هستند. I و ξ به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$\text{رابطه (۷)} \quad I = \frac{40.3 \times 10^{16}}{f_{L1}^2} STEC$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad \xi = f_{L1}^2 / f_{L2}^2$$

حال برای استخراج یک ترکیب عاری از هندسه از مشاهدات GPS نیاز به یک ترکیب خطی است. با تشکیل چنین ترکیبی نه تنها ترم هندسه بلکه تمام آثار مستقل از فرکانس مانند خطای ساعت و تأخیر تروپسferی حذف می‌شوند. ترکیب خطی عاری از هندسه برای مشاهده کد به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\text{رابطه (۹)} \quad P4 = P1 - P2$$

با اعمال این ترکیب روی معادلات (۶) خواهیم داشت:

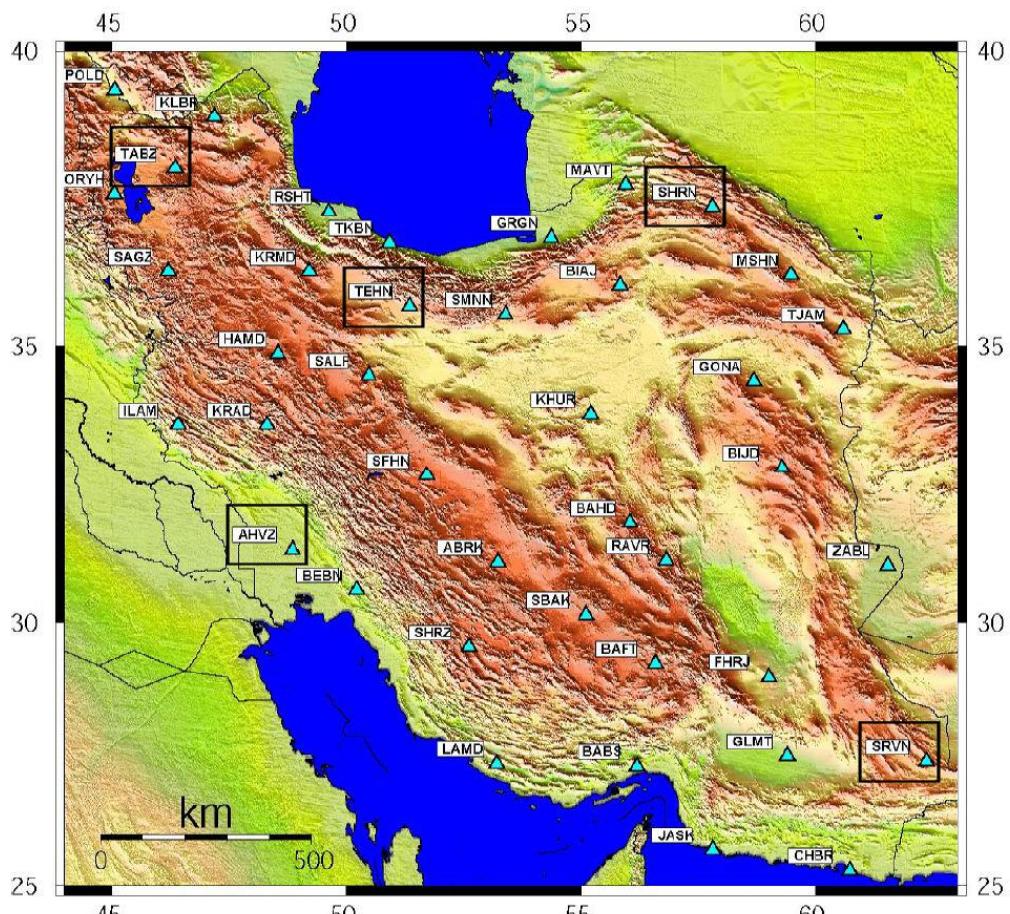
¹ Differential Code Bias

² Chang-Ki Hong

³ Iranian Permanent GPS Network

مجهز به گیرنده‌های دو فرکانسی با نرخ نمونه‌برداری

۳۰ ثانیه هستند.



شکل ۱: ایستگاه‌های شبکه دائم GPS ایران (سایت سازمان نقشه‌برداری کشور)

۴- نتایج

برای هر چهار ایستگاه مذکور از تمامی اپک‌های مشاهداتی سال ۲۰۱۵ مقادیر ROTI استخراج شده‌اند که در ادامه به عنوان نمونه چند مورد از این مشاهدات ارائه شده‌اند. ضمناً جاهای خالی موجود در نمودارهای مربوط به مقادیر ROTI نشان دهنده عدم وجود داده برای آن ماهواره و اپک‌های خاص است.

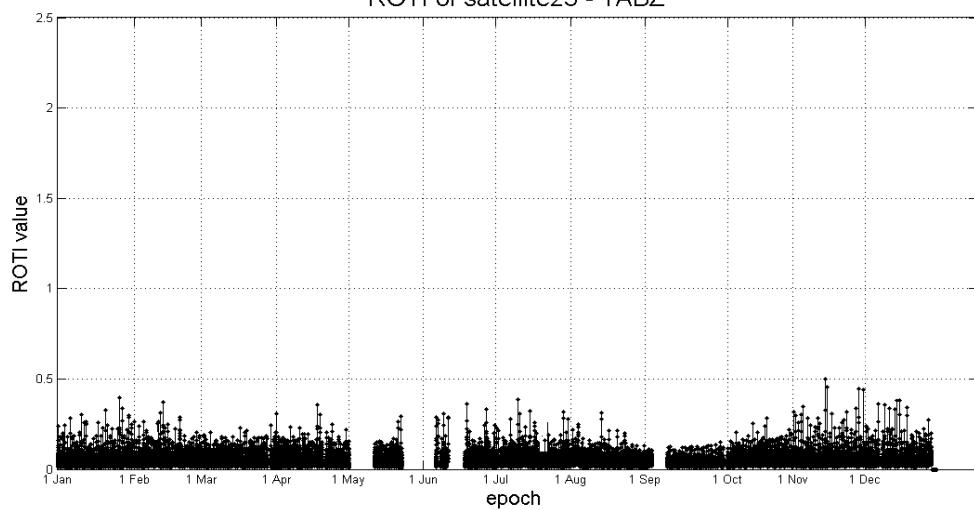
منطقه‌ی مطالعاتی این مقاله مشاهدات مرتبط با پنج ایستگاه GPS ایران در عرضهای جغرافیا‌ای مختلف بوده و مشاهدات چهار ایستگاه از شبکه‌ی مذکور در سال ۲۰۱۵ به عنوان نمونه مورد بررسی و پردازش قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که سال ۲۰۱۵ در سیکل پریودیک فعالیت‌های خورشیدی دهه‌ی، اخیر دارای حداکثر فعالیت خورشیدی^۱ است. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) زیر عنوان شده است.

^۱ Solar maximum

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

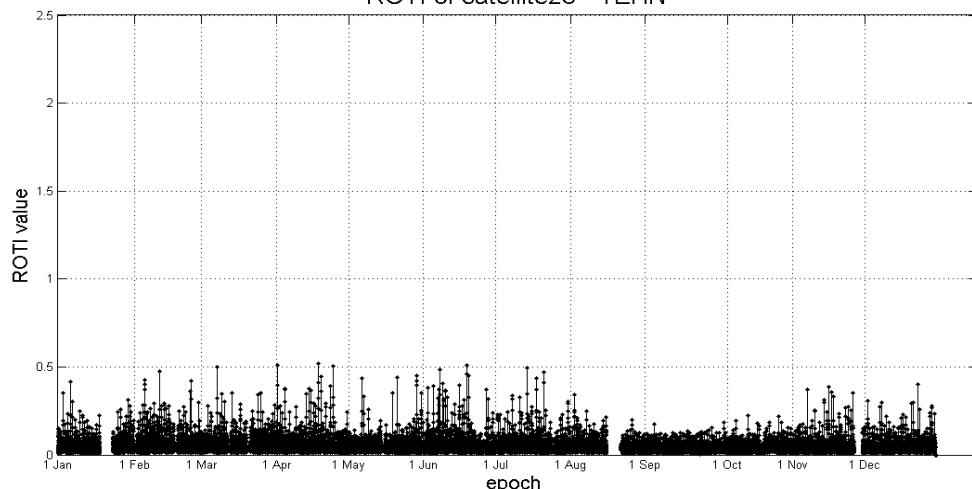
شهر	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
تبریز	TABZ	36° 32' 18".961 N	46° 20' 35".740 E
شیروان	SHRN	36° 18' 42".501 N	57° 49' 21".629 E
تهران	TEHN	35° 41' 50".210 N	51° 20' 2".730 E
اهواز	AHVZ	34° 20' 47".645 N	48° 44' 39".634 E
سراوان	SRVN	33° 18' 47".264 N	62° 19' 5".930 E

ROTI of satellite23 - TABZ

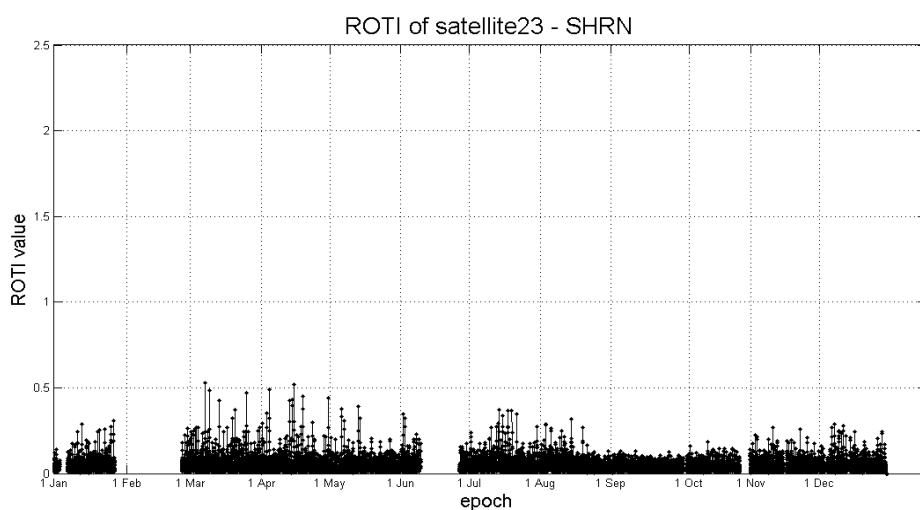


شکل ۲: استخراج شده برای ایستگاه تبریز در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳

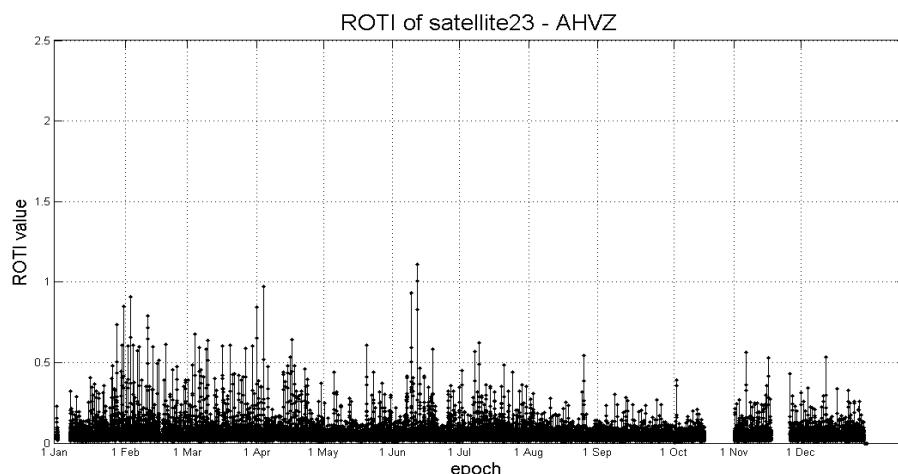
ROTI of satellite23 - TEHN



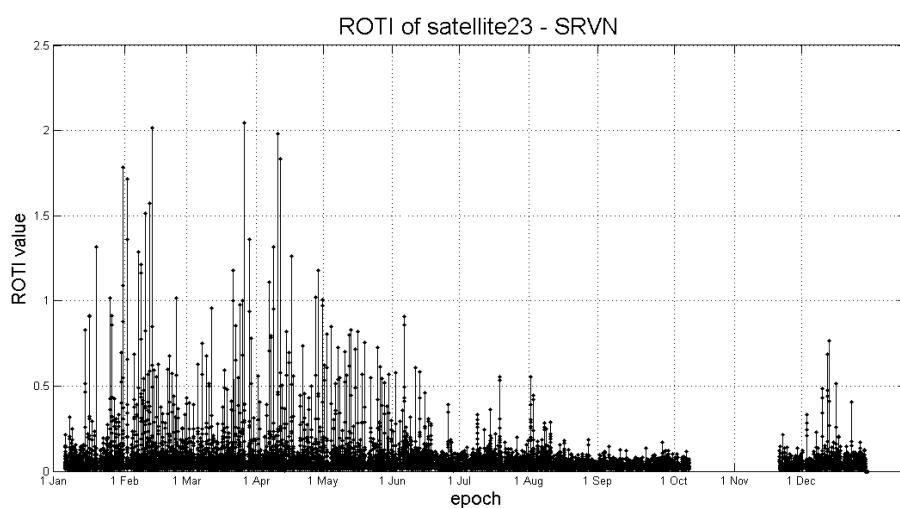
شکل ۳: استخراج شده برای ایستگاه تهران در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



شکل ۴: استخراج شده برای ایستگاه شیروان در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



شکل ۵: استخراج شده برای ایستگاه اهواز در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳

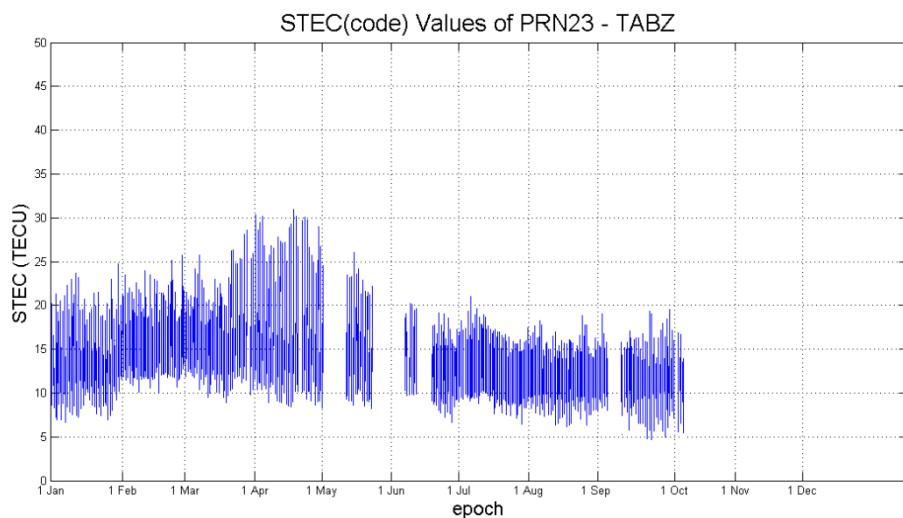


شکل ۶: استخراج شده برای ایستگاه سروان در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳

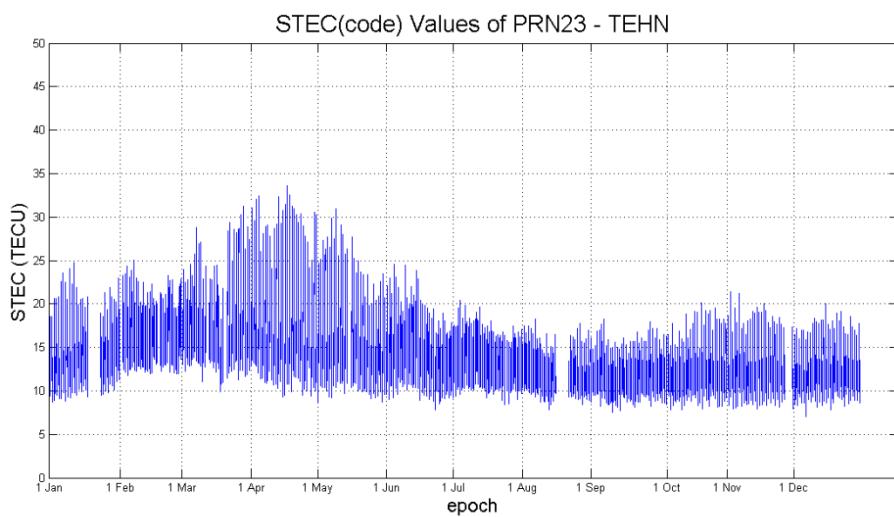
همان طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، قدرت رخداد درخشش یونسفری در ایستگاه سراوان در برخی موارد شدت سیگنال GPS را کاهش می‌دهد و این مقدار در مواردی که خیلی بیشتر از ۲ باشد، می‌تواند موجب قطع قفل ریدیابی به ماهواره و جهش فاز شود.

همچنین در ادامه نمودار STEC های استخراج شده متضایر با هر یک از پنج نمودار فوق نمایش داده شده‌اند. بدیهی است فضاهای خالی در این نمودارها نیز ناشی از عدم وجود داده برای آن ماهواره و اپکهای خاص ترسیم شده می‌باشد.

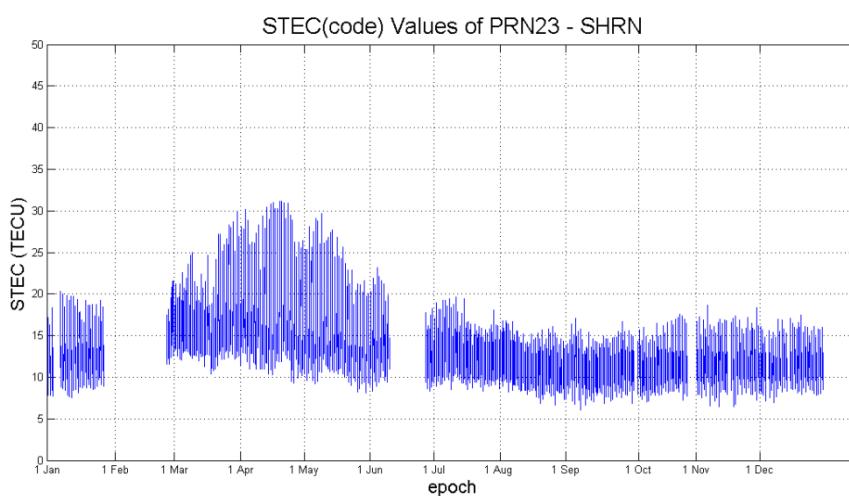
شکل‌های (۲، ۳ و ۴) به ترتیب مرتبط با مقادیر ROTI برای ایستگاه‌های تبریز، تهران و شیروان هستند که نسبت به شکل‌های (۵ و ۶) یعنی ROTI های استخراج شده از ایستگاه‌های اهواز و سراوان، در عرض جغرافیایی بالاتری قرار دارند و تغییرات ROTI در ایستگاه‌های قرار گرفته در عرض بالاتر در حد نوسانات معمول چگالی الکترونی است اما همین مقادیر برای ایستگاه‌های اهواز و سراوان با توجه به سطح تعیف شده برای ROTI در بخش ۱-۲ دارای تغییرات بیشتر و معناداری است.



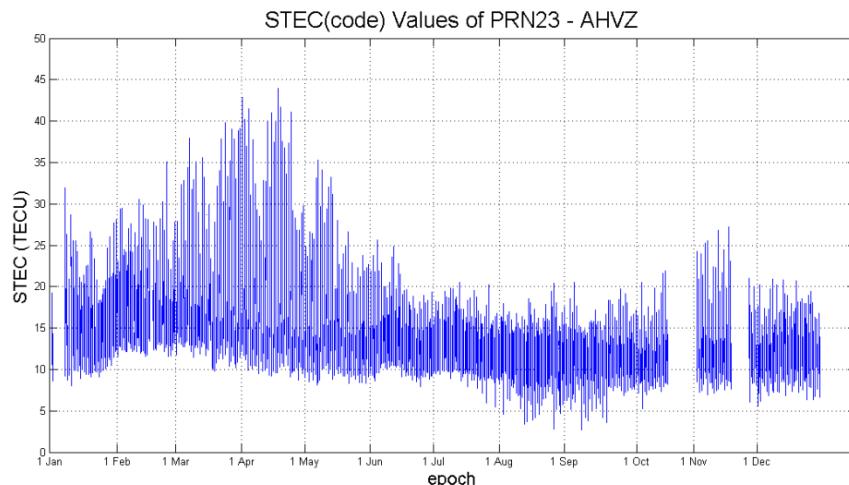
شکل ۷ : استخراج شده برای ایستگاه تبریز در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



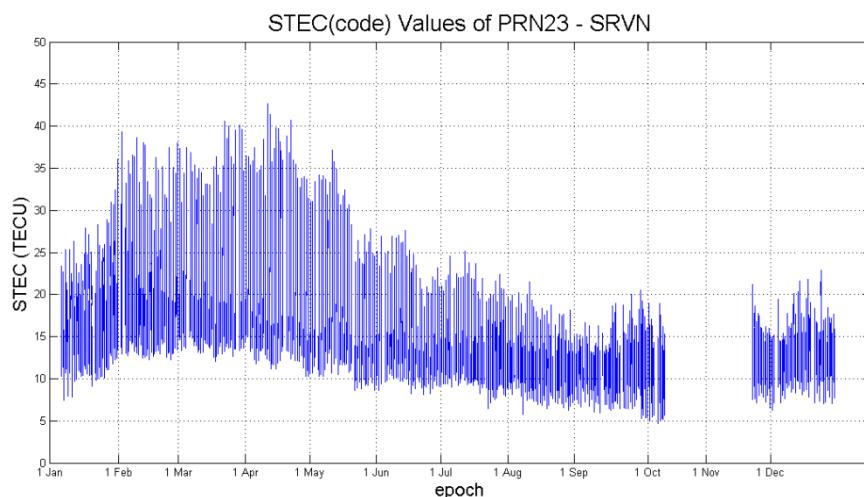
شکل ۸ : استخراج شده برای ایستگاه تهران در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



شکل ۹: استخراج شده برای ایستگاه شیروان در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



شکل ۱۰: استخراج شده برای ایستگاه اهواز در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



شکل ۱۱: استخراج شده برای ایستگاه سراوان در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳

به طور کلی علی رغم قرارگیری ایران در ناحیه عرض جغرافیایی متوسط، با کاهش عرض جغرافیایی شاهد تغییرات زیادی در نوسانات ROTI هستیم. و به طور کلی نتایج بررسی مشاهدات GPS نشان می‌دهد در ایستگاه‌هایی که دارای عرض جغرافیایی پایین‌تری هستند مانند اهواز و سراوان پدیده‌ی درخشش یونسفری رخ می‌دهد و اثر این پدیده بر مشاهدات GPS مشهود است و این در حالی است که در مشاهدات ایستگاهی مانند شیروان مربوط به سال ۲۰۱۵ شدت رخداد درخشش‌های یونسفری هیچ‌گاه به حدی نرسیده است که بتواند بر سیگنال GPS اثرگذار باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهند، وجود این پدیده در روزهای آخر پاییز و ابتدای زمستان همچنین در ساعت‌آغازین شب دارای بیشترین مقدار است.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از سازمان نقشه‌برداری کشور به خاطر در اختیار گذاشتن داده‌های شبکه IPGN به جهت انجام این پژوهش تقدیر و تشکر نمایند.

نمودارهای ۷ تا ۱۱ به ترتیب سری زمانی STEC استخراج شده از ایستگاه‌های تبریز، تهران، شیروان، اهواز و سراوان به ماهواره ۲۳ برای تمام روزهای سال ۲۰۱۵ را نشان می‌دهند و تغییرات این نمودارهای مovid روند تغییرات ROTI متناظر آن که در شکل‌های (۴، ۳، ۲، ۵ و ۶) نمایش داده شده‌اند، هستند.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

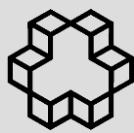
در طول سال ۲۰۱۵ که از لحاظ تعداد لکه‌های خورشیدی و درنتیجه فعالیتهای خورشیدی یک سال با ماقرزیم فعالیت خورشیدی محسوب می‌شود، همانطور که در نتایج فوق مشهود است می‌توان گفت برای ایستگاه‌های تهران، تبریز و شیروان، که در عرضهای نسبتاً بالاتری از دو ایستگاه دیگر قرار گرفته‌اند، عموماً شاهد رخداد پدیده‌ی درخشش یونسفری نیستیم و یا قدرت رخداد درخشش یونسفری به حدی نیست که بتواند بر سیگنال‌های GPS تاثیر چندانی ایجاد کند. اما در ایستگاه‌های اهواز و به ویژه ایستگاه سراوان که پایین‌ترین عرض جغرافیایی را در بین این پنج ایستگاه داراست، در اوخر پاییز و همین‌طور در فصل زمستان شاهد بیشترین رخداد درخشش یونسفری در کل سال هستیم.

مراجع

- [1] Seeber, G., Satellite geodesy: foundations, methods, and applications. 2003: Walter de Gruyter.
- [2] Alizadeh Elizei, M.M., Multi-Dimensional modeling of the ionospheric parameters, using space geodetic techniques. 2013: na.
- [3] Knight, M.F., Ionospheric scintillation effects on global positioning system receivers. 2000, The University of Adelaide.
- [4] XIONG, B., et al., A Comparison and Analysis of the S4 Index, C/N and Roti over Sanya. Chinese Journal of Geophysics, 2007. 50(6): p. 1414-1424.
- [5] M. Najmafshar, S.S.a.F.G., GNSS Data
- [6] Yeh, K.C. and C.-H. Liu, Radio wave scintillations in the ionosphere. Proceedings of the IEEE, 1982. 70(4): p. 324-360.
- [7] Basu, S., et al., Remote sensing of auroral E region plasma structures by radio, radar, and UV techniques at solar minimum. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 1993. 98(A2): p. 1589-1602.
- [8] Basu, S., E. MacKenzie, and S. Basa, Ionospheric constraints on VHF/UHF communications links during solar maximum and minimum periods. 1988,

DTIC Document.

- [9] Pi, X., et al., Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network. *Geophysical Research Letters*, 1997. 24(18): p. 2283-2286.
- [10] Jacobsen, K.S. and M. Dähnn, Statistics of ionospheric disturbances and their correlation with GNSS positioning errors at high latitudes. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 2014. 4: p. A27.
- [11] Alfonsi, L., et al., GPS scintillation and TEC gradients at equatorial latitudes in April 2006. *Advances in Space Research*, 2011. 47(10): p. 1750-1757.
- [12] Ma, G. and T. Maruyama, A super bubble detected by dense GPS network at east Asian longitudes. *Geophysical research letters*, 2006. 33(21).
- [13] Todorova, S., Combination of space geodetic techniques for global mapping of the ionosphere. 2008: na.
- [14] Hong, C.-K., D.A. Grejner-Brzezinska, and J.H. Kwon, Efficient GPS receiver DCB estimation for ionosphere modeling using satellite-receiver geometry changes. *Earth, Planets and Space*, 2008. 60(11): p. e25-e28.



Ionospheric scintillation detection over Iran, based on GPS observations

Sahar Sobkhizmiandehi ¹, Mohammad Mehdi Alizadeh Elizei ^{*2}

1- Ms.c student of geodesy in Department of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology
2- Assistant professor in Department of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology

Abstract

Earth's upper atmosphere, called the ionosphere, is a highly variable region with complex physical characteristics in which the density of free electrons are large enough to have considerable effects on signals' propagation travelling through this dispersive medium. As GPS signals travel through the ionosphere, they may experience rapid amplitude fluctuations or unexpected phase changes. This is referred to as ionospheric scintillation. Ionospheric scintillation which caused by small scale irregularities in the electron density, is one of the dominant propagation disturbances in radio frequency signals. These irregularities severely affect the accuracy and reliability of GPS measurements. Therefore, it is necessary to investigate ionospheric scintillation and its effects on GPS observations. Hence, the focus of this paper is to detect ionospheric scintillations over Iran's region and to investigate these effects on GPS observations in more details. The results will show the occurrence of this phenomenon and its effects on GPS observations.

Key words: global positioning system, ionosphere, ionospheric scintillation

Correspondence Address. K.N.Toosi University of technology, Faculty of Geodesy and Geomatics – Geodesy group
Tel: 02188786212
Email: alizadeh@kntu.ac.ir