نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷

Vol.6, No.3, Autumn 2018

۱۷۷-۱۸۷

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

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

سحر صبح خیز میاندهی [۱]، محمدمهدی علیزاده الیزئی [۲] *

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

۲- استادیار دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

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

چکیده

ناحیه بالایی جو زمین که یونسفر نامیده می‌شود، محیطی است به شدت متغیر با زمان و مکان و دارای ویژگی‌های فیزیکی بسیار پیچیده که در آن چگالی الکترون‌های آزاد زیاد است و ازاین‌رو تأثیر بسزایی بر انتشار امواج رادیویی در این محیط خواهد داشت. هنگامی‌که سیگنال‌های ماهواره‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی ((Global Positioning System (GPS) از یونسفر عبور می‌کنند، ممکن است دچار نوسانات سریع دامنه و تغییرات غیرمنتظره‌ای در فاز سیگنال شوند که این پدیده را تحت عنوان درخشش یونسفری می‌شناسیم. درخشش یونسفری که خود ناشی از بی‌نظمی‌های کوچک‌مقیاس در چگالی الکترونی یونسفر (تحت تأثیر فعالیت‌های 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 درخشش‌های یونسفری در آن‌ها پرداخته شده است. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان‌دهنده‌ی وقوع پدیده‌ی درخشش یونسفری و تأثیر آن بر مشاهدات GPS در این منطقه است.

کلیدواژه‌ها: سیستم تعیین موقعیت جهانی، یونسفر، درخشش یونسفری.

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

تلفن: ۸۸۷۸۶۲۱۲۰۲۱

Email : alizadeh@kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

۱- مقدمه

به‌طورکلی ناحیه بالایی جو زمین که از ارتفاع حدود ۶۰ کیلومتر تا ۲۰۰۰ کیلومتری بالای سطح زمین گسترده است را تحت عنوان یونسفر می‌شناسیم[۱]. یونسفر محیطی است که ازلحاظ ویژگی‌های فیزیکی بسیار پیچیده است و با تغییر زمان و مکان، ساختار و چگالی الکترونی آن تغییر می کند. در این محیط یونهای آزاد توسط تابش خورشید تولیدشده، توسط تعاملات شیمیایی کنترل و به‌وسیله پدیده پخش[1] و باد خنثی منتقل می‌شود[۲]. با عبور سیگنال از محیط یونسفر ویژگی‌های آن ازجمله دامنه، فاز، زاویه دریافت و... دستخوش تغییراتی می‌شود که ناشی از وجود یونهای آزاد در این محیط است. بعد از حذف خطای عمدی از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS[2]) عبور سیگنال از یونسفر و تاثیر چگالی الکترونی این محیط بر سیگنال، یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد خطای این سیستم به‌شمار می‌رود و می‌تواند به دو شکل تأخیر یونسفری و درخشش یونسفری بروز کند. درخشش 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 دوفرکانسه تقلیل می‌یابد و این در حالی است که اثر درخشش‌های یونسفری به علت کوچک مقیاس و نامنظم بودن، حتی پس از اعمال تکنیکهای دوفرکانسه به‌طور کامل از بین نمی روند. لذا در حال حاضر درخشش 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.

درخشش یونسفری باعث افزایش سطح نویز مشاهدات و درنتیجه کاهش دقت تعیین موقعیت می‌شود و در حالاتی که درخشش یونسفری شدید رخ بدهد، قدرت سیگنال به حدی کاهش پیدا می‌کند که از سطح مور دنیاز گیرنده برای دریافت یک سیگنال پایین‌تر خواهد بود و این امر موجب از دست رفتن قفل به ماهواره و ردیابی آن خواهد شد. بر این اساس درخشش‌های یونسفری به دودسته درخشش یونسفری دامنه و فاز تقسیم می‌شوند. درخشش یونسفری دامنه باعث از دست رفتن داده و رخداد جهش فاز[3] می‌شود درحالی‌که درخشش یونسفری فاز باعث ایجاد یک شیفت فرکانسی در سیگنال GPS و درنتیجه قطع قفل ردیابی فاز[4] می‌شود[۴].

مطالعاتی که روی پدیده درخشش یونسفری انجام‌شده‌اند، 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 پایین‌تر بیشتر است و همچنین هرچه فعالیت خورشیدی شدیدتر باشد، شاهد رخداد درخششهای یونسفری بیشتری خواهیم بود.

طی چند دهه‌ی گذشته محققان بسیاری، پدیده‌ی درخشش یونسفری را موردمطالعه قرار داده‌اند. در مقاله‌ی لیو[5] و یه[6] مروری بر پدیده درخشش یونسفری سیگنال‌های رادیویی انجام‌شده است[۶]. باسو[7] و همکارانش نشان دادند که تغییرات چگالی الکترونی یونسفر موجب رخداد درخشش یونسفری می‌شود[۷]. باسو و همکارانش مورفولوژی درخشش یونسفری را در هنگام غروب خورشید

1 Diffusion
2 Global Positioning System

3 Cycle slip
4 Phase loss of lock
5 Liu
6 Yeh
7 Basu

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

بررسی کرده و نشان دادند که این پدیده در عرض‌های جغرافیای بالا و در نواحی استوایی شدید و در نواحی با عرض جغرافیایی متوسط ضعیف است[۸]. پای[1] و همکارانش برای اولین بار به بررسی درخشش یونسفری با استفاده از نرخ تغییرات محتوای کل الکترونی (TEC[2]) یونسفر پرداخته و اندیس نرخ تغییرات TEC (ROTI[3]) را برای مطالعه‌ی رخداد این پدیده معرفی کردند[۹]. سیونگ[4] و همکارانش ضمن بررسی درخشش یونسفری در ایالت هانیان چین نشان دادند همبستگی بسیار بالایی بین نوسانات TEC، اندیس ROTI و نسبت سیگنال به‌نویز 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 خواهند شد.

۲- روش‌ها

در ادامه روش‌های مورد استفاده در این مطالعه برای کشف درخشش یونسفری و همچنین استخراج مقادیر STEC 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 به‌کاررفته است، استفاده از نرخ تغییرات TEC است که ROT[5] نامیده می‌شود و با واحد TECU/min[6] محاسبه و بیان می‌شود. با فرض اینکه بی‌نظمی‌ها در یک مدت‌زمان کوتاه حین عبور از خط دید گیرنده به ماهواره ثابت باشند، تغییرات TEC به‌دست‌آمده را می‌توان به گرادیان فضایی TEC تبدیل کرد[۹].

برای محاسبه ROT به‌صورت زیر عمل می‌شود [۱۰]:

$$ROTI(i) = \frac{L_{GF}(i) - L_{GF}(i-1)}{\Delta t \times 10^{16} \times 40.3 \times (\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2})}$$ رابطه (۱)

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

$$L_{GF}(i) = L1(i) \times \lambda_1 - L2(i) \times \lambda_2$$ رابطه (۲)

که در آن $L1$ و $L2$ مشاهدات فاز هستند، λ_1, λ_2 طول‌موج و f_1, f_2 نشان‌دهنده فرکانس سیگنال است. Δt نیز اختلاف‌زمانی بین اپک‌ها برحسب 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 به‌عنوان ROTI که بر انحراف معیار ROT مبتنی است یعنی :

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle - \langle ROT \rangle^2}$$ رابطه (۳)

که در آن علامت <> نشان دهنده ی امید ریاضی است. درنهایت ROTI برای N اپک به شکل زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۴)

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

$$\overline{ROT} = \frac{1}{N}\sum_{j=i-1}^{i} ROT(j)$$ رابطه (۵)

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

معمولا 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[7] در سال ۲۰۰۶ زمانی که میزان این اندیس بیش از ۰٫۵ باشد، نشان‌دهنده‌ی وجود حبابهای پلاسما و در نتیجه افزایش امکان رخداد

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 & Maruyma

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

درخشش یونسفری است. [۱۲] مزیت اصلی این اندیس برای محاسبه درخشش یونسفری مبتنی بودن آن بر مشاهدات گیرنده‌های GPS دوفرکانسه معمولی است چراکه این داده‌ها به‌صورت جهانی در دسترس هستند. مزیت دوم نحوه‌ی محاسبه آن است که تا حدودی ساده است. ضمناً چون از ترکیب عاری از هندسه در محاسبه‌ی 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 درخشش‌های یونسفری بهره ببریم[۹].

۲-۲- استخراج STEC از مشاهدات کد

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

رابطه (۶-الف) $$P1 = \rho + I + c(\mathrm{b}_1^{\,k} - b_{i,1})$$

رابطه (۶-ب) $$P2 = \rho + \xi I + c(\mathrm{b}_2^{\,k} - b_{i,2})$$

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

رابطه (۷) $$I = \frac{40.3\times10^{16}}{f_{L1}^{\,2}} STEC$$

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

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

رابطه (۹) $$P4 = P1 - P2$$

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

رابطه (۱۰) $$P4 = \xi_4 I + c(\Delta \mathrm{b}^S - \Delta b_R)$$

که در آن $\Delta \mathrm{b}^S$ و Δb_R به ترتیب مرتبطاند با خطای سخت‌افزاری ماهواره S و گیرنده R که آن را تحت عنوان اریب تفاضلی کد[1] می شناسیم و داریم :

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

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[2] و همکارانش ارائه داده شده، استفاده شده است [۱۴].

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

رابطه (۱۲) $$I = \xi_E \, STEC\,(\beta, \mathrm{s})$$

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

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:

رابطه (۱۴) $$s = \lambda_g + UT - \pi$$

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 نهایتا داریم :

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

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

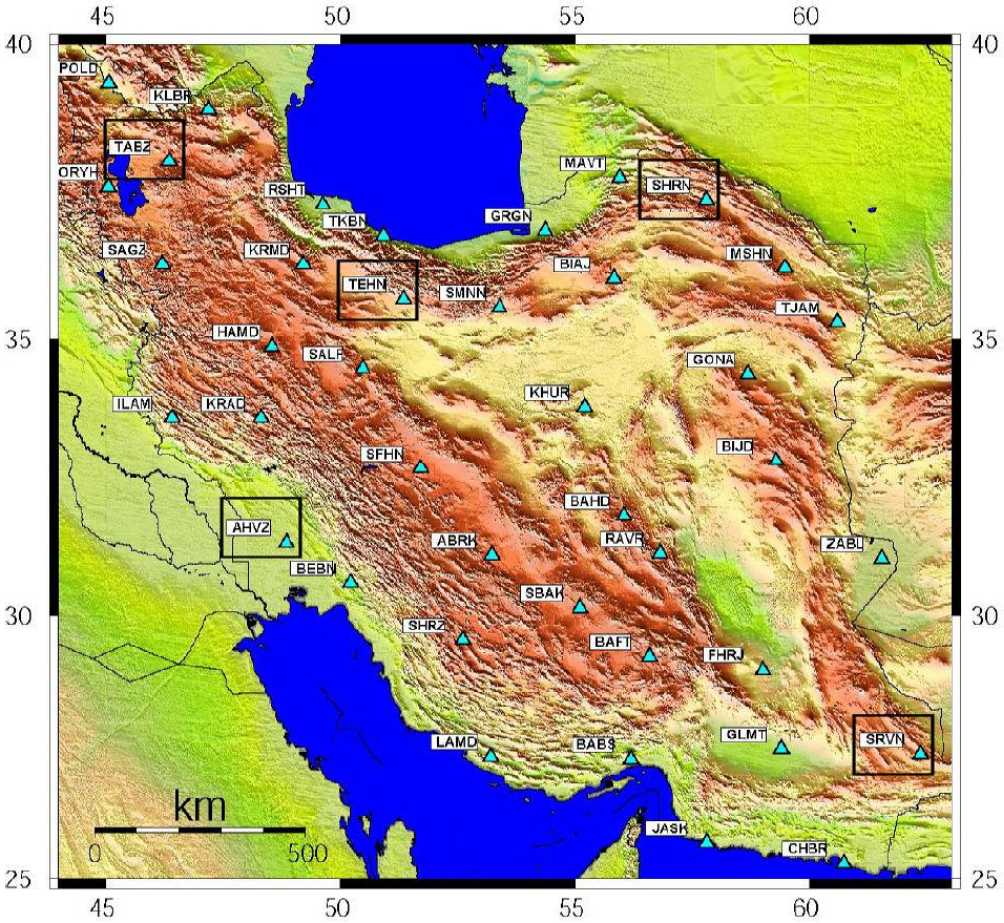
۳- داده و منطقه مطالعاتی

در شکل زیر توزیع ایستگاه های شبکه دائم GPS ایران (IPGN[3]) نمایش داده شده است. این ایستگاه‌ها

[1] Differential Code Bias
[2] Chang-Ki Hong
[3] Iranian Permanent GPS Network

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

مجهز به گیرنده‌های دو فرکانسه‌ای با نرخ نمونه‌برداری ۳۰ ثانیه هستند.



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

منطقه‌ی مطالعاتی این مقاله مشاهدات مرتبط با پنج ایستگاه GPS ایران در عرض‌های جغرافیایی مختلف بوده و مشاهدات GPS چهار ایستگاه از شبکه‌ی مذکور در سال ۲۰۱۵ به‌عنوان نمونه مورد بررسی و پردازش قرارگرفته اند. لازم به ذکر است که سال ۲۰۱۵ در سیکل پریودیک فعالیت‌های خورشیدی دهه‌ی اخیر دارای حداکثر فعالیت خورشیدی[1] است. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) زیر عنوان‌شده است.

۴- نتایج

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

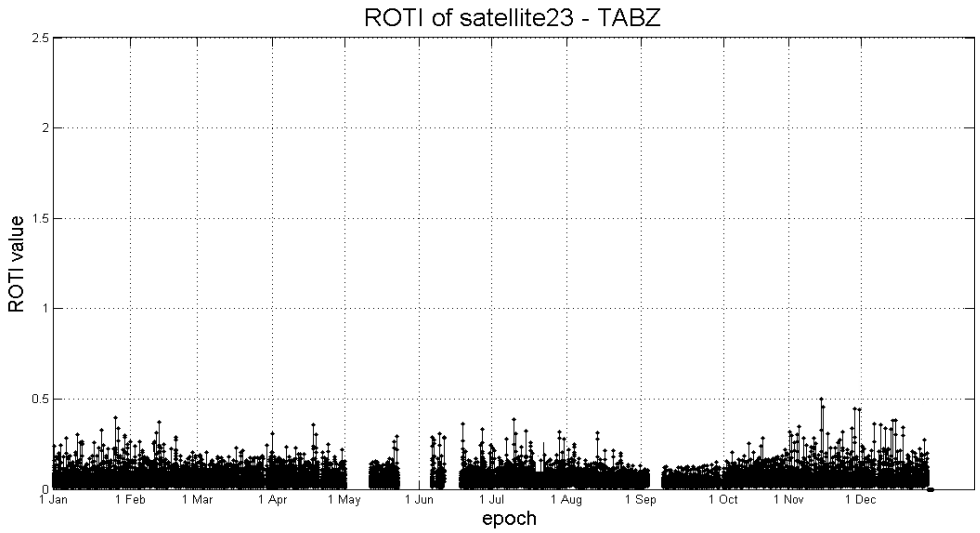
[1] Solar maximum

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

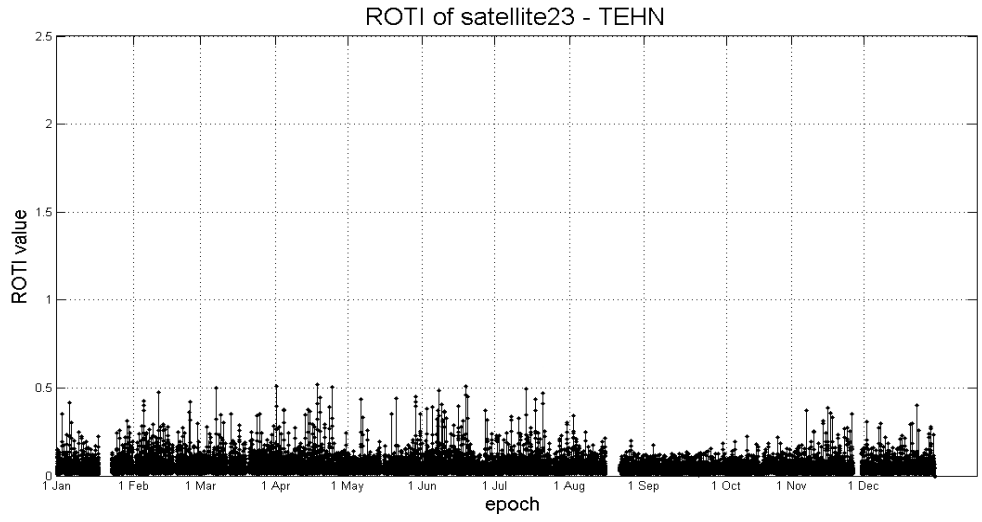
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

جدول ۱ : موقعیت ایستگاه‌های موردمطالعه

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



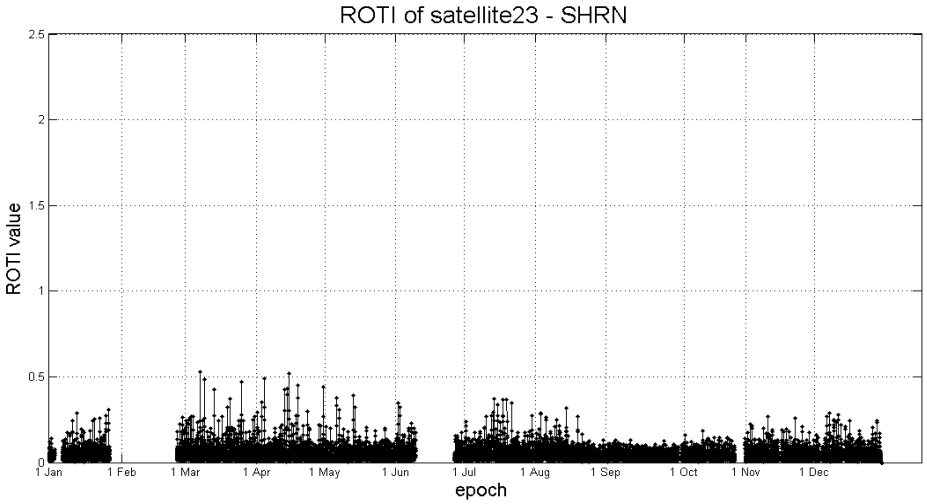
شکل ۲ : **ROTI** استخراج شده برای ایستگاه تبریز در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



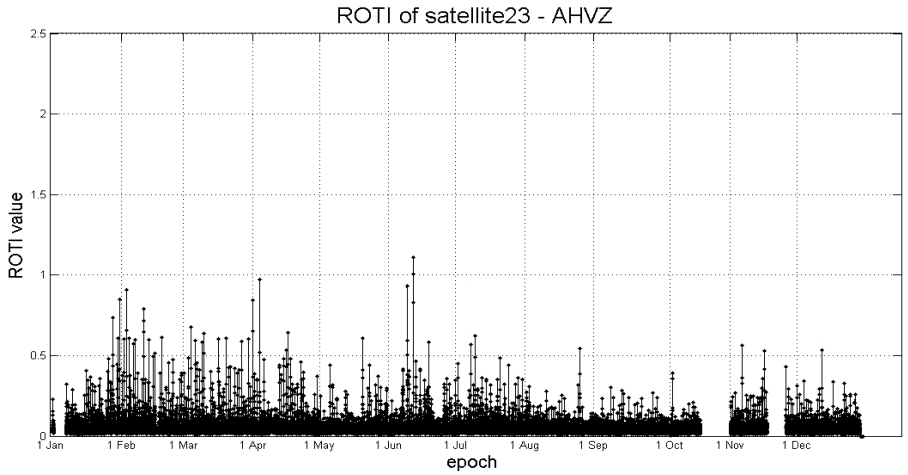
شکل ۳ : **ROTI** استخراج شده برای ایستگاه تهران در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

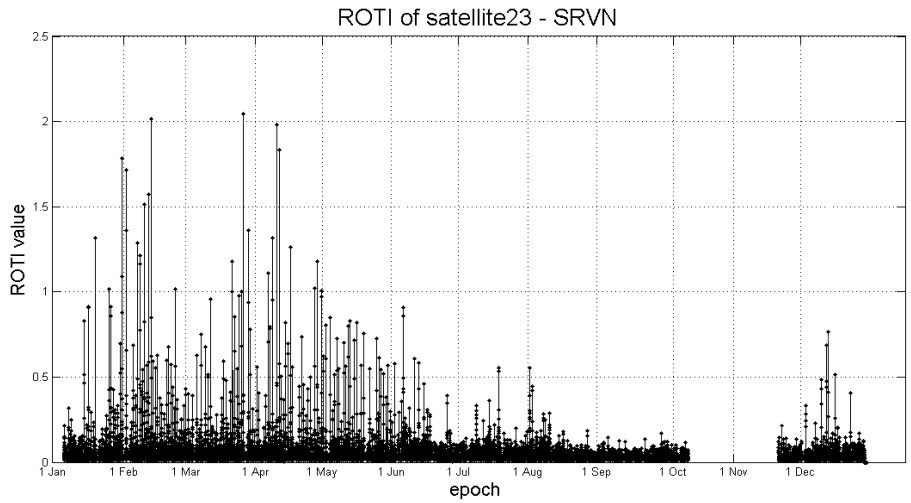
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]



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



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



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

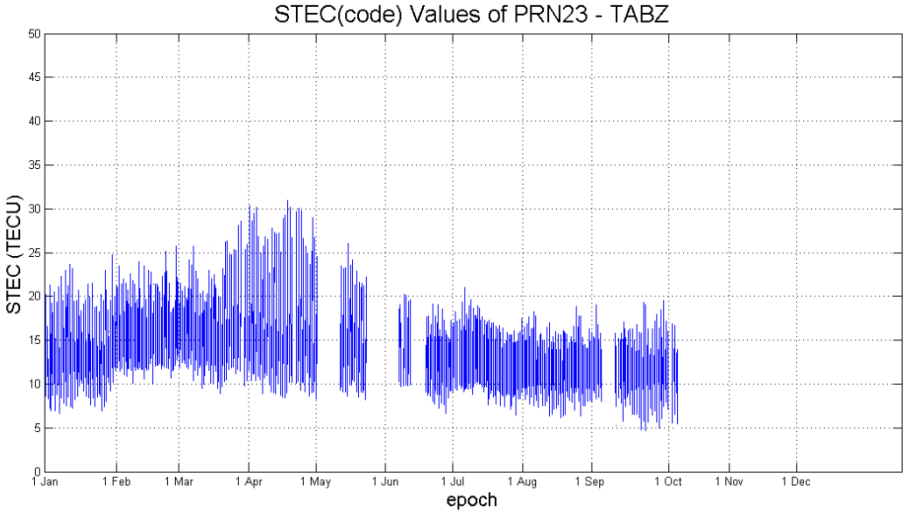
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

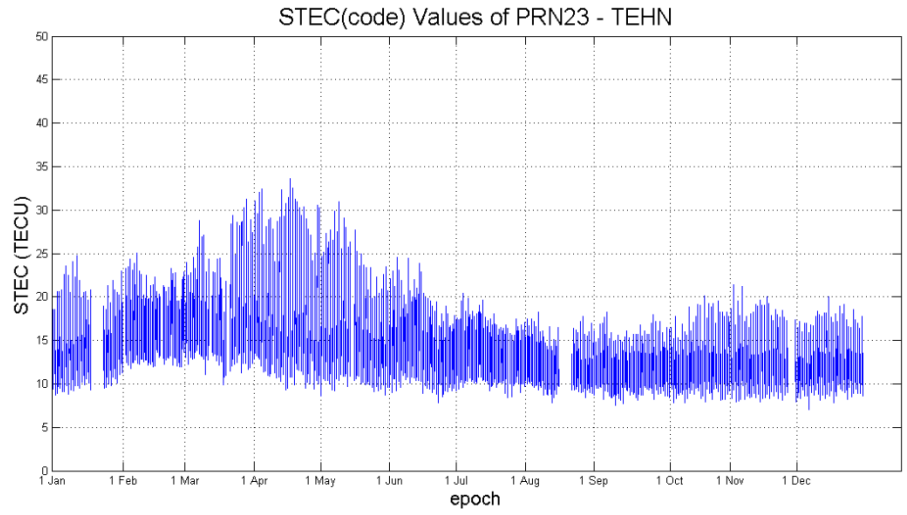
شکل‌های (۲، ۳ و ۴) به ترتیب مرتبط با مقادیر ROTI برای ایستگاه‌های تبریز، تهران و شیروان هستند که نسبت به شکل‌های (۵ و ۶) یعنی ROTI های استخراج شده از ایستگاه های اهواز و سراوان، در عرض جغرافیایی بالاتری قرار دارند و تغییرات ROTI در ایستگاه‌های قرار گرفته در عرض بالاتر در حد نوسانات معمول چگالی الکترونی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

همان‌طور 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 ردیابی به ماهواره و جهش فاز شود.

همچنین در ادامه نمودار STEC های استخراج شده متناظر 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 می باشد.



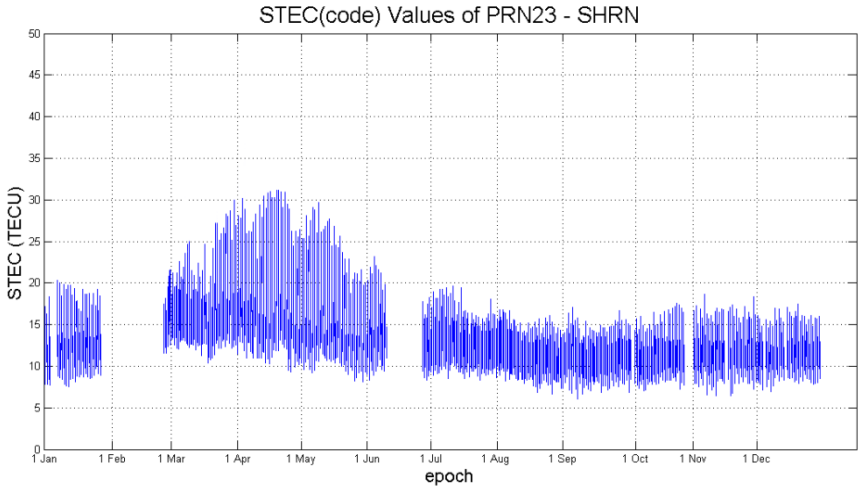
شکل ۷ : STEC استخراج شده برای ایستگاه تبریز در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳



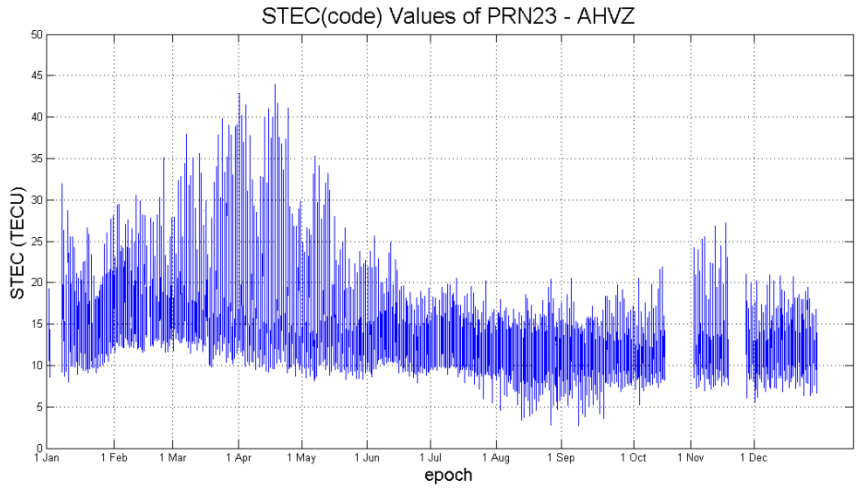
شکل ۸ : STEC استخراج شده برای ایستگاه تهران در سال ۲۰۱۵ و ماهواره شماره ۲۳

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

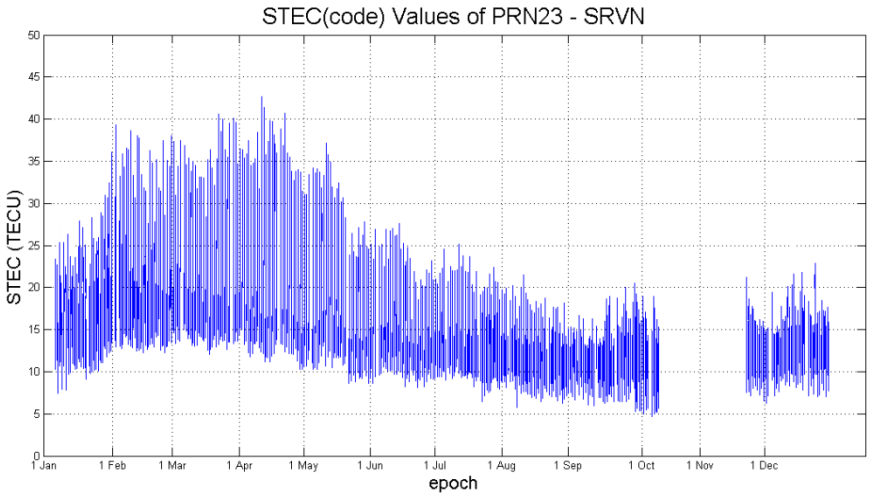
[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]



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



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



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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

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

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در طول سال ۲۰۱۵ که از لحاظ تعداد لکه های خورشیدی و درنتیجه فعالیتهای خورشیدی یک سال با ماکزیمم فعالیت خورشیدی محسوب می‌شود، همانطور که در نتایج فوق مشهود است می‌توان گفت برای ایستگاه‌های تهران، تبریز و شیروان، که در عرضهای نسبتا بالاتری از دو ایستگاه دیگر قرار گرفته‌اند، عموما 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 ایستگاه های اهواز و به ویژه ایستگاه سراوان که پایین ترین عرض جغرافیایی را در بین این پنج ایستگاه داراست، در اواخر پاییز و همین‌طور در فصل زمستان شاهد بیشترین رخداد درخشش یونسفری در کل سال هستیم.

به‌طور کلی علی رغم قرارگیری ایران در ناحیه عرض جغرافیایی متوسط، با کاهش عرض جغرافیایی شاهد تغییرات زیادی در نوسانات ROTI هستیم. و به‌طورکلی نتایج بررسی مشاهدات GPS نشان می‌دهد در ایستگاه‌هایی که دارای عرض جغرافیایی پایین‌تری هستند مانند اهواز و سراوان پدیده‌ی درخشش یونسفری رخ می دهد 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 به‌حدی نرسیده است که بتواند بر سیگنال GPS اثرگذار باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهند، وقوع این پدیده در روزهای آخر پاییز و ابتدای زمستان همچنین در ساعات آغازین 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.

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 Processing Investigations for Characterizing Ionospheric Scintillation. ION GNSS+, 2014.

[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,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.3, Autumn 2018

Ionospheric scintillation detection over Iran, based on GPS observations

Sahar Sobhkhizmiandehi [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- Assisstant 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 occurrance 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.6.3.187]