بسمه تعالی

مقاله در نوبت انتشار

موضوع مقاله :

بررسی صحت و دقت عملکرد سامانه مکان یابی آنی شبکه ای شمیم در استان البرز

نشریه علمی پژوهشی

Accuracy and Performance Assessment of the Shamim Network Real-Time Kinematic (NRTK) System in Alborz Province

« اطلاعات جغرافیایی(سپهر)»

چکیده

در این مقاله، عملکرد سامانه تعیین موقعیت آنی کینماتیک شبکه‌ای (NRTK) مبتنی بر شبکه تصحیحات شمیم در استان البرز ارزیابی شده است. به این منظور، مختصات حاصل از مشاهدات NRTK با استفاده از نقاط اتصال (Mount Point) مختلف، در نقاط آزمون و در فواصل متفاوت از ایستگاه مرجع، با یکدیگر مقایسه شدند. به‌منظور ارزیابی صحت نتایج، مختصات مرجع حاصل از پردازش مستقل مشاهدات استاتیک به‌عنوان مبنای مقایسه در نظر گرفته شد. این مجموعه مرجع شامل یک ایستگاه دائمی با مختصات معلوم در چارچوب ITRF2014 و سه نقطه کنترل مستقل بود که مختصات آن‌ها از طریق پردازش مستقل مشاهدات استاتیک تعیین شد. نقاط آزمون در شش حلقه شعاعی، با فواصل تقریبی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلومتر و در جهات مختلف نسبت به ایستگاه مرجع سامانه شمیم در شهر کرج، انتخاب و با استفاده از یک گیرنده چندفرکانسه برداشت شدند. برای هر نقطه، بهترین حل NRTK بر اساس کمینه‌بودن مقادیر شاخص‌های HRMS و VRMS انتخاب شد. نتایج نشان داد که ارزیابی مقایسه‌ای نسبت به مختصات مرجع مستقل در سه نقطه کنترل استاتیک انجام شد .در این سه نقطه، اختلاف افقی دوبعدی بین ۰/۰۲۳۶ تا ۰/۰۲۸۸ متر و اختلاف سه‌بعدی بین ۰/۰۳۸۱ تا ۰/۰۸۳۴ متر به دست آمد .در ۳۰ نقطه آزمون، انتخاب Mount Point براساس شاخص‌های HRMS و VRMSگزارش‌شده توسط گیرنده انجام شد نتایج شمارش بهترین حل‌های انتخاب‌شده در ۳۰ نقطه نشان داد که نقطه اتصال نوع VRSGG در ۱۳ نقطه، معادل ۴۳/۳۳ درصد، به‌عنوان گزینه منتخب ثبت شده است. این گزینه در چهار حلقه از شش حلقه آزمون دست‌کم یک‌بار در میان بهترین حل‌های آن حلقه حضور داشت. این فراوانی، توصیفی از داده‌های همین مطالعه است و به‌تنهایی نشان‌دهنده برتری عمومی یا پایداری بیشتر VRSGG در همه فواصل و شرایط محیطی نیست.

« اطلاعات جغرافیایی(سپهر)»

واژه‌های کلیدی (فارسی):سامانه شمیم، GNSS، NRTK، دقت مکانی، HRMS، VRMS، VRSGG

Extended Abstract

Accuracy and Performance Assessment of the Shamim Network Real-Time Kinematic (NRTK) System in Alborz Province

Introduction

Network Real-Time Kinematic (NRTK) positioning is widely used in surveying because it can provide centimetre-level positions without a separate local base station at every site. NRTK networks combine observations from multiple permanent GNSS stations to model spatially correlated errors and generate corrections. Performance can vary with satellite geometry, atmospheric delays, network configuration, multipath, receiver characteristics, and local conditions. Different Mount Points may therefore produce different results.

This study evaluates the Shamim NRTK network in Alborz Province, Iran, at different distances from its reference station in Karaj. It compares receiver-reported indicators for different Mount Points and examines coordinate discrepancies against independent static coordinates.

Materials and Methods

Thirty test points were distributed across six approximate radial rings at distances of 5, 10, 15, 20, 25, and 30 km from the Shamim reference station in Karaj. Points represented different directions and local settings. At each point, observations were collected using nine Mount Point options: VRS, PRS, NEAREST, i-MAXGG, VRSGG, NearestGG, Nearest4, VRS4, and i-MAX4. The receiver sampling interval was one second, the satellite elevation mask was set to 10 degrees, and the average PDOP during the observations was 1.8. Each planned session lasted 150 seconds. Of the 270 planned point–Mount Point sessions, 160 produced fixed (FIX) solutions and were retained; 110 solutions that did not achieve FIX status were excluded.

For each test point, the selected solution was determined using the receiver-reported horizontal and vertical root mean square indicators (HRMS and VRMS), which were treated as internal quality estimates rather than coordinate errors. VRMS was used as a secondary criterion in cases of a tie. The selected options were counted across the points and rings.

Independent reference coordinates were determined for three static control points in the 30 km ring using approximately four-hour GNSS sessions. The IGS permanent station TEHN00IRN in Tehran was used as the processing reference. Coordinates were expressed in ITRF2014 and projected to UTM Zone 39N. NRTK and static coordinates were compared in the local east, north, and height components. Their differences were defined as follows:

$$\Delta E = E_{NRTK} - E_{ref}, \Delta N = N_{NRTK} - N_{ref}, and\ \Delta H = H_{NRTK} - H_{ref}$$

$$d_2D = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$$

and the three-dimensional discrepancy as

$$d_3D = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2 + \Delta H^2}$$

Results and Discussion

At the three static control points, horizontal two-dimensional discrepancies ranged from 0.0236 to 0.0288 m, while three-dimensional discrepancies ranged from 0.0382 to 0.0834 m. These values describe agreement at the three control locations under the observation conditions of this study, not accuracy throughout the entire area.

Among the 30 test points, M20_1, located in the 20 km ring, provided the lowest reported values for the selected solution using VRSGG: HRMS of 0.006 m and VRMS of 0.010 m. These favourable receiver-reported indicators do not prove that the coordinate discrepancy from an independent reference was the smallest.

The frequency analysis showed that VRSGG was selected at 13 points (43.33%), VRS4 at 8 (26.67%), and i-MAX4 at 5 (16.67%). VRS was selected twice, while PRS and i-MAXGG were each selected once. VRSGG appeared among the selected solutions in several distance rings. The selected Mount Point varied with location: PRS and i-MAX4 were also selected at 5 and 10 km, while VRSGG appeared more often in several rings from 15 to 30 km. These counts are descriptive and do not prove general superiority or temporal stability under other conditions.

These assessment approaches must be distinguished: HRMS and VRMS are receiver-reported indicators, whereas the two- and three-dimensional discrepancies quantify coordinate differences at the three independent controls. A small receiver-reported RMS value does not necessarily mean a similarly small discrepancy from the reference.

Conclusion

The Shamim network provided centimetre-level solutions at the surveyed sites under the observed conditions. Mount Point selection varied among points and distance rings and should not be based on distance alone. Although VRSGG was selected most often, its 13 selections (43.33%) do not establish general superiority. HRMS and VRMS are receiver-reported indicators; discrepancies against independent static controls provide a separate assessment of positional agreement. Because only three controls and a limited observation period were used, the findings apply to the surveyed area and conditions. Further work should use more independent controls, repeated sessions, and different atmospheric conditions.

Shamim NRTK System; GNSS; Positioning Accuracy; Mount Point Optimization; HRMS; VRMS; Alborz Province

۱- مقدمه

سامانه‌های جهانی ناوبری ماهواره‌ای GNSS[1] طی چند دهه اخیر به یکی از مؤلفه‌های اساسی زیرساخت‌های اطلاعات مکانی در پروژه‌های مهندسی، نقشه‌برداری و پایش تغییرشکل سازه‌های بزرگ تبدیل شده‌اند. در بسیاری از کاربردهای مهندسی، عمرانی ومدیریت شهری، دستیابی به موقعیت‌یابی با دقت سانتی‌متری و به‌صورت آنی، از الزامات اساسی اجرای پروژه‌ها به شمار می‌رود. بااین‌حال، مشاهدات خام GNSS تحت تأثیر منابع مختلف خطا، از جمله خطاهای مدار و ساعت ماهواره، تأخیرهای ناشی از انتشار سیگنال در لایه‌های تروپوسفر و یونوسفر، خطاهای سخت‌افزاری و اثرات چندمسیری قرار دارند و به‌تنهایی قادر به تأمین چنین سطحی از دقت نیستند.یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش اثر این خطاها و دستیابی به تعیین موقعیت با دقت بالا، استفاده از روش‌های تعیین موقعیت آنی کینماتیک (RTK) و، به‌ویژه، تعیین موقعیت آنی کینماتیک شبکه‌ای (NRTK[2]) است.

(Hofmann-Wellenhof et al., 2008; Teunissen & Montenbruck, 2017; Hsu et al., 2017; Yu et al., 2020)

در روش NRTK، با بهره‌گیری هم‌زمان از داده‌های چند ایستگاه دائمی GNSS و مدل‌سازی فضایی خطاهای وابسته به موقعیت، تصحیحات لازم برای کاربر تولید و ارسال می‌شود. بدین ترتیب، امکان تعیین موقعیت آنی با دقت در حد سانتی‌متر، در محدوده پوشش شبکه، فراهم می‌شود. (Berber & Arslan, 2013; Grejner-Brzezinska et al., 2009)

در سامانه‌های NRTK، تصحیحات مورد نیاز کاربر می‌تواند از طریق روش‌ها و[3] نقاط اتصال متفاوتی نظیر (VRS)[4] ، [5] (MAC)، i-MAX ، Nearest و PRS تولید و ارسال شود. هر یک از این روش‌ها از مدل‌سازی و فرضیات متفاوتی برای توصیف میدان خطاها استفاده می‌کنند و در نتیجه، عملکرد آن‌ها از نظر دقت افقی، دقت ارتفاعی و پایداری در شبکه‌ها و شرایط محیطی مختلف یکسان نیست مسئله اصلی این است که کاربران عملی شبکه‌های NRTK (از جمله شبکه شمیم در ایران) معمولاً با چند Mount Point مختلف روبه‌رو هستند،اما راهنمای بومی و مستندی درباره این‌که «در فواصل مختلف از ایستگاه مرجع، کدام Mount Point دقت قابل‌اتکاتری دارد» در اختیار ندارند. این ابهام به‌ویژه در پروژه‌های حساس مهندسی که دقت سانتی‌متری در پلان و ارتفاع ضروری است، می‌تواند منجر به انتخاب نادرست Mount Point و در نتیجه بروز اختلاف‌های ناخواسته در مختصات شود. (Pehlivan et al., 2019; Takac & Zelzer, 2008)

1- ***G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem*
2- ***N**etwork **R**eal-**T**ime **K**inematic*
3- *Mount Point*
4- ***V**irtual **R**eference **S**tation*
5- Master-Auxiliary Concept

. استان البرز و شهر کرج به‌دلیل رشد سریع شهرنشینی، توسعه شبکه‌های حمل‌ونقل، اجرای طرح‌های عمرانی بزرگ‌مقیاس و وجود زیرساخت‌های حساس، از جمله مناطق کشور است که کاربران حرفه‌ای GNSS در آن به خدمات NRTK تکیه می‌کنند. در چنین شرایطی، نبود یک ارزیابی میدانی نظام‌مند از عملکردMount Point های مختلف شبکه شمیم در این محدوده می‌تواند دقت و قابلیت اعتماد داده‌های مکانی را تحت تأثیر قرار دهد و در تصمیم‌گیری‌های مهندسی ایجاد تردید کند.

از سوی دیگر، نتایج پژوهش‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که کارایی هر روش تولید تصحیحات NRTK به ساختار شبکه، فاصله کاربر از ایستگاه‌های مرجع، هندسه ماهواره‌ها و شرایط محیطی و اتمسفری منطقه وابسته است . Arslan و Berber) ((2008) Zelzer و Takac و همکاران (2019) Pehlivan (2013) بنابراین، اتکای صرف به نتایج به‌دست‌آمده در شبکه‌ها و کشورهای دیگر برای قضاوت درباره عملکردMount Point های شبکه شمیم در استان البرز کافی نیست و نیاز به ارزیابی‌های میدانی بومی وجود دارد. این ارزیابی‌ها می‌توانند به‌عنوان یک مرجع کاربردی برای مهندسان، نقشه‌برداران و سازمان‌های بهره‌بردار شبکه شمیم در انتخاب مناسب‌ترین Mount Point در فواصل مختلف، و نیز در بازنگری و بهبود پیکربندی شبکه مورد استفاده قرار گیرند. از این رو، انجام یک مطالعه کاربردی و دقیق در مقیاس محلی، با سنجه‌های کمی شفاف (نظیر HRMS، VRMS و فاصله سه‌بعدی نسبت به مختصات مرجع)، برای افزایش اعتماد به نتایج NRTK و ارتقای کیفیت خدمات [1]مکان‌محور در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. بنابر این با توجه به طرح مسئله و ضرورت‌های مطرح‌شده، اهداف اصلی این پژوهش به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

هدف نخست این پژوهش، ارزیابی میدانی شاخص‌های افقی و ارتفاعی حل‌های NRTK حاصل ازMount Point های مختلف شبکه شمیم در فاصله ۵ تا ۳۰ کیلومتری ایستگاه مرجع کرج است. هدف دوم، مقایسه مختصات حاصل از NRTK با مختصات سه نقطه کنترل تعیین‌شده از طریق پردازش مستقل استاتیک و گزارش اختلاف‌های افقی، ارتفاعی و سه‌بعدی آن‌هاست. مطالعات بین‌المللی متعدد به بررسی عملکرد روش‌های مختلف تولید تصحیحات در شبکه‌های NRTK پرداخته‌اند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که هرچند روش‌هایVRS ، MAC، i-MAX و Nearest می‌توانند دقت‌های سانتی‌متری در تعیین موقعیت آنی ارائه کنند، اما تفاوت‌هایی در پایداری، حساسیت به شرایط اتمسفری و رفتار در شبکه‌های کم‌تراکم یا گسترده وجود دارد (و همکاران (2016) Öcalan و همکاران (2018) Nadarajah و همکاران (2021) Dardanelli و همکاران (2020) Alkan)

- 1-point position

برای نمونه، Uznański (2023) نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشی RTK و NRTK را در پنج شبکه CORS لهستان و با استفاده از جریان‌های تصحیح VRS ، FKP، MACو POJ مقایسه کرد و تفاوت‌های دقت و صحت و امکان بروز خطاهای سیستماتیک میان شبکه‌ها را بررسی نمود. نتایج چنین مطالعاتی بر اهمیت ارزیابی تجربی جریان‌های تصحیح در بستر شبکه مورد استفاده تأکید دارند؛ بااین‌حال، برای نتیجه‌گیری درباره برتری عمومی یک روش در شرایط اتمسفری متفاوت، شواهد اختصاصی لازم است در مقابل، برخی مطالعات دیگر گزارش کرده‌اند که روش‌هایی مانند MAC به دلیل بهره‌گیری هم‌زمان از چند ایستگاه مرجع، در شبکه‌های بزرگ‌مقیاس قادرند بخشی از خطاهای سیستماتیک را بهتر مدل‌سازی کنند

مطالعات پیشین درباره عملکرد خدمات NRTK نشان می‌دهند که کیفیت موقعیت‌یابی می‌تواند تحت تأثیر ساختار شبکه، فاصله کاربر از ایستگاه‌های مرجع و شرایط محیطی و اتمسفری قرار گیرد(Berber & Arslan, 2013; Nadarajah et al., 2018; Odolinski & Teunissen, *2019*; Teunissen & Montenbruck, 2017; Uznański, 2023)ازاین‌رو، انتخاب روش مناسب تولید تصحیحات باید با توجه به ویژگی‌های شبکه و شرایط محلی ارزیابی شود. Uznański (۲۰۲۳) همچنین ارزیابی جامعی در خصوص بررسی صحت و دقت سامانه شمیم در استان البرز انجام گردید اما اعتبار سنجی آن بر پایه شبکه مستقل از شمیم انجام نشده است (Nazari Sarshekeh, 2026)

در سطح ملی، اگرچه طی سال‌های اخیر شبکه‌های دائمی GNSS و خدمات NRTK (نظیر شبکه شمیم) توسعه یافته‌اند، تعداد پژوهش‌هایی که به‌طور خاص به ارزیابی تجربی Mount Point های مختلف این شبکه‌ها بپردازند محدود است. در برخی پژوهش‌های داخلی نیز عملکرد روش تعیین موقعیت دقیق نقطه‌ای (PPP) به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های موقعیت‌یابی نسبی مورد بررسی قرار گرفته است (Abdi et al.,۲۰۱۸). این دسته از مطالعات، زمینه‌ای برای مقایسه روش‌های مختلف تعیین موقعیت دقیق فراهم می‌کنند؛ در زمینه توسعه زیرساخت‌های موقعیت‌یابی شبکه‌ای در ایران، پژوهشی نیز به انتخاب مکان ایستگاه‌های شبکه NRTK با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در مناطق ساحلی جنوبی پرداخته است (Moradi et al.,۲۰۲۱). با وجود ارتباط این پژوهش با طراحی شبکه‌های موقعیت‌یابی، موضوع آن با ارزیابی میدانی عملکرد نقاط اتصال مختلف سامانه NRTK در فواصل متفاوت از ایستگاه مرجع تفاوت دارد.بااین‌حال، مستقیماً به مقایسه عملکرد نقاط اتصال مختلف سامانه NRTK نمی‌پردازند. بخش قابل توجهی از مطالعات داخلی، به مقایسه کلی دقت NRTK و روش‌های پس‌پردازش، یا به بررسی دقت سامانه‌ها در چند نقطه محدود و بدون تفکیک Mount Pointها اکتفا کرده‌اند . در نتیجه، هنوز شکاف مشخصی در زمینه ارزیابی بومی و سیستماتیک عملکرد Mount Pointهای مختلف شبکه شمیم، به‌ویژه در سطح استانی و در فواصل مختلف از ایستگاه مرجع، وجود دارد . بر همین اساس این پژوهش می‌تواند به‌عنوان الگویی برای طراحی مطالعات مشابه ارزیابی شبکه‌های NRTK مورد استفاده قرار گیرد. بااین‌حال، تعمیم نتایج عددی این مطالعه به سایر شبکه‌ها، مناطق جغرافیایی یا شرایط محیطی، مستلزم انجام بررسی‌های

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

مستقل در آن شبکه‌هاست. اجزای اصلی این چارچوب عبارت‌اند از: انتخاب یک یا چند ایستگاه مرجع مستقل، طراحی نقاط آزمایشی در فواصل مختلف از ایستگاه مرجع، برداشت هم‌زمان یا هم‌شرایط با چند Mount Point، محاسبه شاخص‌های HRMS و VRMS، و ارزیابی نتایج نسبت به مرجع مستقل. بنابراین، مطالعه حاضر علاوه بر ارائه نتایج محلی برای استان البرز، یک الگوی اجرایی برای ارزیابی عملکرد سایر شبکه‌های NRTK برای شرایط جغرافیای مشابه را نیز فراهم می‌کند همچنین در این پژوهش، جهت انجام مشاهدات میدانی و جمع‌آوری داده‌هایNRTK ، از گیرنده چندفرکانسه **Trimble R10**مجهز به آنتن **Zephyr 3 Geodetic Trimble** استفاده شد.

تنظیمات گیرنده بر روی نرخ نمونه‌برداری **۱ ثانیه** و زاویه قطع **۱۰ درجه** قرار داده شد. جهت اطمینان از کیفیت هندسی مشاهدات، شاخص **PDOP**به طور پیوسته کنترل گردید که میانگین آن در طول بازه برداشت **۱.۸** ثبت شد. همچنین، به منظور پاسخ به الزامات دقت، تنها مشاهداتی که وضعیت حل ابهام فاز آن‌ها به صورت **Fixed** بود مورد استخراج و تحلیل قرار گرفتند و از ورود داده‌های با وضعیت Float به دلیل خطای غیرمجاز جلوگیری به عمل آمد مراحل کلی پژوهش به‌صورت زیر قابل خلاصه است

۲- مواد و روش ها:

۲-۱- محدوده تحقیق:

محدوده مکانی تحقیق، استان البرز با تمرکز بر شهر کرج و مناطق پیرامونی آن است. نقاط آزمایشی بر روی شش حلقه شعاعی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلومتری حول ایستگاه دائمی شبکه شمیم در کرج انتخاب شده‌اند تا امکان بررسی تغییرات دقت Mount Point ها در فواصل مختلف از ایستگاه مرجع فراهم شود. انتخاب نقاط به‌گونه‌ای صورت گرفته است که تا حد امکان شرایط واقعی کاربران شبکه شمیم در محیط‌های شهری و مناطق کوهستانی ، دره و پست و دشت و ... را بازنمایی کند. از نظر زمانی، مشاهدات میدانی این پژوهش در بازه زمانی نیمه اول سال ۱۴۰۳ انجام شد. نتایج حاصل، عملکرد سامانه NRTK شبکه شمیم را در محدوده جغرافیایی و شرایط مشاهده‌شده در این بازه توصیف می‌کند. به‌دلیل محدود بودن بازه زمانی مشاهدات، تعمیم نتایج به فصل‌ها یا شرایط جوی متفاوت نیازمند برداشت‌های تکمیلی است. چنانچه شاخص‌های فعالیت یونوسفری، از جمله Kp و TEC، برای زمان برداشت در دسترس نباشند، اثر کمی این شاخص‌ها در پژوهش حاضر ارزیابی نشده و باید به‌عنوان یکی از محدودیت‌های مطالعه در نظر گرفته شود. از نظر مفهومی، پژوهش حاضر بر ارزیابی دقت موقعیت نسبی و مطلق در سامانه NRTK شبکه شمیم در محدوده مورد مطالعه تمرکز دارد و تعمیم نتایج به سایر استان‌ها یا شبکه‌های GNSS، نیازمند انجام مطالعات مشابه در آن مناطق خواهد بود.

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

۲-۲- روش تحقیق و مراحل آن

۲-۲-۱- طراحی شبکه نقاط آزمایشی:

انتخاب ۳۰ نقطه در شش حلقه شعاعی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلومتری حول ایستگاه دائمی شمیم در کرج، با توزیع مکانی مناسب و امکان دسترسی میدانی.

۲-۲-۲- تعیین مختصات مرجع مستقل:

مشاهدات استاتیک حدود ٤ ساعته بر روی نقاط کنترل منتخب(۳ نقطه کنترل) با استفاده از گیرنده‌های مولتی فرکانسه GNSS، پردازش داده‌ها در سامانه‌های مستقل محاسبه مختصات مرجع با دقت بالا. (Dawidowicz et al., 2014)

۲-۲-۳- اندازه‌گیری NRTK با Mount Point های مختلف:

در هر یک از ۳۰ نقطه آزمون، قرائت‌های NRTK با ۹ گزینه نقاط اتصال شامل VRS ، PRS، NEAREST، i-MAXGG، VRSGG، NearestGG، Nearest4، VRS4و i-MAX4 انجام شد. در ارزیابی حاضر فقط حل‌های معتبر و دارای وضعیت FIX در مقایسه وارد شدند. برای هر نقطه، گزینه منتخب بر اساس کمینه‌بودن هم‌زمان مقادیر گزارش‌شده HRMS و VRMS تعیین شد. در هر یک از ۳۰ نقطه آزمون، ۹ گزینه Mount Point بررسی شد. با فرض انجام یک برداشت برای هر گزینه در هر نقطه، مجموع برداشت‌های برنامه‌ریزی‌شده برابر ۲۷۰ جلسه بود و مدت هر جلسه ۱۵۰ ثانیه تعیین شد. از مجموع جلسات انجام‌شده، تعداد ۱٦۰ حل دارای وضعیت FIX بود و تعداد ۱۱۰ حل به دلیل نداشتن وضعیت FIX از تحلیل کنار گذاشته شد. تحلیل نهایی بر اساس ۱٦۰حل معتبر انجام شد . در مواردی که فرایند انتخاب حل برتر بر اساس معیار اصلی تعریف‌شده در این پژوهش با وضعیت برابر میان دو یا چند گزینه مواجه شود، به‌منظور رفع ابهام در انتخاب، مقدار VRMS به‌عنوان معیار ثانویه مورد استفاده قرار می‌گیرد و گزینه دارای مقدار کمتر VRMS انتخاب می‌شود. برای مثال، چنانچه دو گزینه از نظر معیار اصلی انتخاب در وضعیت برابر قرار گیرند، گزینه‌ای که مقدار VRMS کمتری دارد، به‌عنوان حل منتخب در نظر گرفته خواهد شد. این قاعده صرفاً برای تعیین تکلیف موارد برابر اعمال می‌شود و تغییری در معیار اصلی و روال معمول انتخاب حل برتر ایجاد نمی‌کند. در این پژوهش، مقادیر HRMS و VRMS مستقیماً از خروجی گیرنده GNSS استخراج شدند و به‌عنوان شاخص‌های گزارش‌شده توسط گیرنده ثبت گردیدند. این شاخص‌ها از اختلاف مختصات حاصل از مشاهدات NRTK با مختصات مرجع مستقل تفکیک شدند و به‌تنهایی معادل خطای واقعی موقعیت نیستند. ارزیابی اختلاف مختصات نسبت به مرجع مستقل، بر اساس مؤلفه‌های شرقی، شمالی و ارتفاعی و شاخص‌های خطای افقی دوبعدی و سه‌بعدی انجام شد.

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

۲-۲-٤- استخراج و پالایش داده‌ها:

انتقال خروجی‌های گیرنده و سامانه شمیم به محیط‌های محاسباتی، فیلتر کردن مشاهدات نامناسب، و سازمان‌دهی داده‌ها بر اساس نقطه، فاصله از ایستگاه مرجع و نوع.Mount Point

۲-۲-۵- محاسبه شاخص‌های دقت:

در این پژوهش، شاخص‌های HRMS و VRMS مستقیماً از خروجی گیرنده GNSS استخراج شده و به‌عنوان شاخص‌های داخلی گزارش‌شده توسط گیرنده مورد استفاده قرار گرفتند. این شاخص‌ها بیانگر برآورد داخلی گیرنده از کیفیت حل موقعیت هستند و نباید معادل خطای واقعی مختصات نسبت به مرجع مستقل تلقی شوند. ارزیابی صحت مختصات بر اساس اختلاف مؤلفه‌های شرقی، شمالی و ارتفاعی(dE ، dN و dH) و همچنین شاخص‌های خطای افقی دوبعدی (2D) و سه‌بعدی(3D) ، با استفاده از مختصات مرجع مستقل انجام شد.

.

در پژوهش حاضر، میانگین کلی PDOP برابر با ۱/۸ گزارش شد؛ بااین‌حال، به دلیل گزارش نشدن توزیع PDOP و تعداد ماهواره‌های استفاده‌شده در تک‌تک نقاط، رابطه این شاخص‌ها با اختلاف‌های مختصاتی به‌صورت کمی تحلیل نشد. همچنین مشاهدات در نیمه اول سال ۱٤۰۳ انجام شدند و اثر شرایط زمانی و فعالیت یونوسفری بر نتایج به‌طور مستقل ارزیابی نشد. اعتبارسنجی مختصات نسبت به مرجع مستقل نیز به سه نقطه کنترل محدود بود. بنابراین، مقایسه Mount Pointها و فراوانی انتخاب آن‌ها در این مطالعه ماهیت توصیفی دارد و برای اثبات برتری آماری یا پایداری زمانی یک گزینه کافی نیست. در پژوهش‌های آینده، برداشت‌های تکراری در زمان‌های متفاوت، ثبت تعداد ماهواره‌ها و شاخص‌های DOP در هر نقطه و استفاده از نقاط کنترل مستقل بیشتر می‌تواند به ارزیابی جامع‌تر عملکرد سامانه کمک کند. از آنجا که داده‌های تکراری کامل برای برآورد پراکندگی هر Mount Point در دسترس نیست، نتایج مربوط به HRMS و VRMS و فراوانی انتخاب گزینه‌ها در این پژوهش ماهیت توصیفی دارند و برای اثبات برتری آماری یک گزینه کافی نیستند

۲-۲-٦-تحلیل و مقایسه نتایج:

مقایسه عملکردMount Point ها در فواصل مختلف، شناساییMount Point های غالب از نظر دقت افقی و ارتفاعی، و تحلیل روند تغییر دقت با فاصله از ایستگاه مرجع.

۲-۲-۷- ارائه جمع‌بندی و توصیه‌های کاربردی:

استخراج نتایج کلیدی و ارائه پیشنهادهایی برای انتخاب Mount Point مناسب در پروژه‌های مهندسی در استان البرز.

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

۲-۳- .معرفی متغیرها و شاخص‌ها

در این پژوهش، متغیرها و شاخص‌های اصلی مورد استفاده به شرح زیر است:

۲-۳-۱-مختصات مرجع مستقل:

- مختصات سه‌بعدی 3 نقطه کنترل(X,Y,Z) که از پردازش مشاهدات استاتیک حدود 4 ساعته ایستگاه دائمی TEHN00IRN)یکی از ایستگاه‌های شبکه IGS واقع در سازمان نقشه برداری در ایران(به‌دست آمده و به‌عنوان مرجع «حقیقی» برای سنجش خطاهای NRTK در نظر گرفته شده است.
- **۲-۳-۲-مختصات:NRTK**

مختصات سه‌بعدی همان نقاط که با استفاده از سرویس NRTK شبکه شمیم و Mount Point های مختلف(VRS ، i-MAX، PRS، Nearest، VRSGGو)... در سشن‌های کوتاه‌مدت ثبت شده‌اند.

- **۲-۳-۳- مؤلفه‌های اختلاف مختصات و شاخص‌های ارزیابی**

اختلاف مختصات هر نقطه بین حل NRTK و مختصات مرجع مستقل در دستگاه محلی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۱)

$$\Delta E_i = E_{NRTK,i} - E_{ref,i}$$
$$\Delta N_i = N_{NRTK,i} - N_{ref,i}$$
$$\Delta H_i = H_{NRTK,i} - H_{ref,i}$$

مقادیر HRMS و VRMS مستقیماً از خروجی گیرنده GNSS استخراج شدند و به‌عنوان شاخص‌های گزارش‌شده توسط گیرنده ثبت شدند. این شاخص‌ها از اختلاف مختصات محاسبه‌شده نسبت به مرجع مستقل متمایز هستند و به‌تنهایی بیانگر خطای واقعی مختصات نسبت به مرجع نیستند. برای هر نقطه، خطای افقی دوبعدی و خطای سه‌بعدی به‌ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

رابطه (۲)

$$d_2D,_{\mathrm{i}} = \sqrt{\Delta E_{\mathrm{i}}^2 + \Delta N_{\mathrm{i}}^2}$$

$$d_3D,_{\mathrm{i}} = \sqrt{\Delta E_{\mathrm{i}}^2 + \Delta N_{\mathrm{i}}^2 + \Delta H_{\mathrm{i}}^2}$$

برای محاسبه RMSE مجموعه‌ای از n نقطه مرجع مستقل، از روابط زیر استفاده می‌شود:

رابطه (۳)

$$RMSE_{2D} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2)}$$

رابطه (٤)

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی(سپهر)»

$$RMSE_H = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta H_i^2}$$

رابطه(۵)

$$RMSE_3D = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{n}\right)\Sigma(\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2 + \Delta H_i^2)\right]}$$

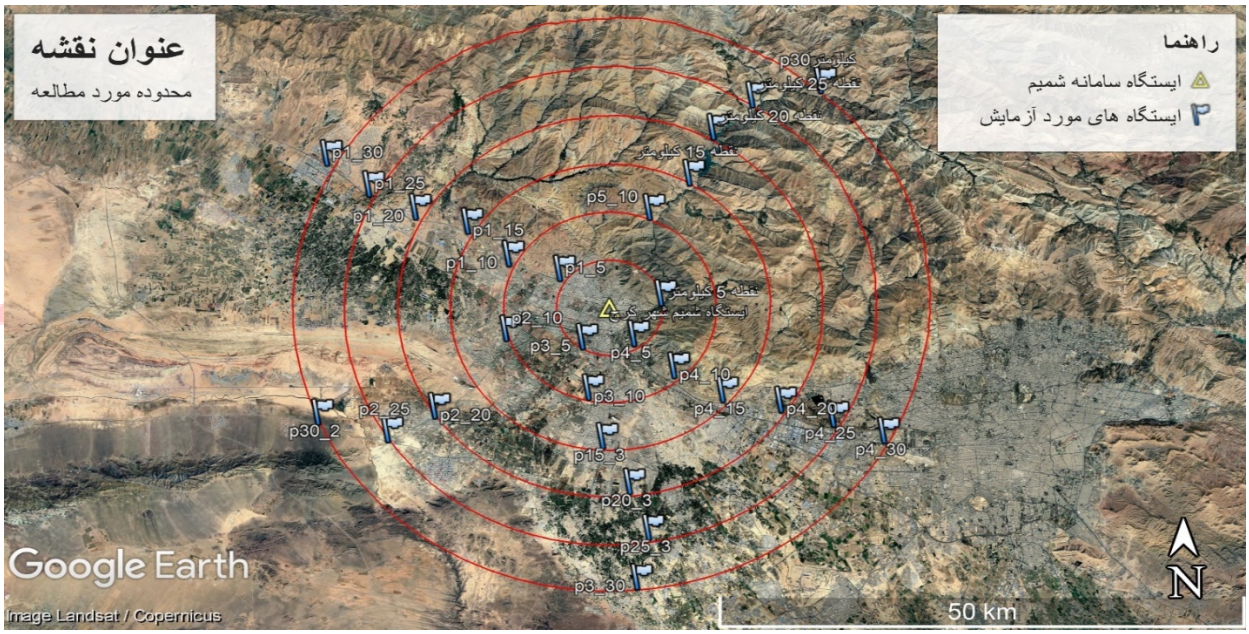
در این روابط، n تعداد نقاط دارای مختصات مرجع مستقل است. در پژوهش حاضر، اعتبارسنجی مستقل به سه نقطه کنترل محدود بود؛ بنابراین، نتایج مربوط به این نقاط باید در قالب توصیفی گزارش شوند و برای تعمیم آماری گسترده کافی نیستند.

۲-۳-٤-Mount Point یا روش تولید تصحیحات:

نوع سرویس NRTK مورد استفادهVRS(، i-MAX، PRS، Nearest، VRSGGو)... که به‌عنوان متغیر دسته‌ای در تحلیل مقایسه‌ای لحاظ می‌شود.

۲-۳-۵- فاصله از ایستگاه مرجع:

فاصله تقریبی هر نقطه از ایستگاه دائمی کرج، به‌صورت دسته‌بندی‌شده در حلقه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰



نگاره ۱ : موقعیت مکانی ۳۰ نقطه آزمایشی در استان کرج(جانمایی روی نقشه گوگل)

۲-٤- داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش در دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: اول مختصات ایستگاه دائمی IGS و نقاط کنترل استاتیک و دوم مختصات نقاط برداشت‌شده با سامانه RTK شبکه‌ای شمیم .(NRTK) این داده‌ها در محدوده‌ای پیرامون ایستگاه مرجع در شهر کرج جمع‌آوری شده‌اند تا رفتار دقت سامانه با تغییر فاصله و موقعیت جغرافیایی بررسی شود.در گروه نخست، مختصات ۱ ایستگاه دائمی IGS و ۳ نقطه کنترل استاتیک با استفاده از مشاهدات استاتیک نقاط کنترل در چند نوبت و با دوره‌های رصد چندساعته ماهواره‌ای و کاهش اثر نویز تصادفی، دقت مختصات مرجع افزایش یابد GNSS استاتیک با طول زمان کافی و کیفیت بالاتعیین شده است. نقاط استاتیک شامل مختصات سه نقطه‌ی استاتیک با نام های $M\ 30_5 Static$ و $M\ 30_3 Static$ و $M\ 30_{1Static}$ در حلقه‌ی شعاعی ۳۰ کیلومتر، به‌همراه یک ایستگاه دائمی IGS به نام *TEHN00IRN* است. این نقطه در سیستم مختصات ژئودتیک 2010.0 epoch مرجع مختصات در چارچوب ITRF2014 مورد استفاده در شبکه (X,Y,Z) ثبت شده‌اند و در جدول شماره (۱) به‌عنوان چارچوب مرجع هندسی شبکه و مبنای ارزیابی دقت نتایج NRTK معرفی می‌شوند

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی

جدول۱: مختصات دکارتی زمین‌مرکز (ECEF) ایستگاه دائمی و نقاط کنترل استاتیک

Point ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	نوع داده / مرجع
TEHN00IRN	3240499.1656	4049740.3759	3701663.1468	IGS / ITRF2014
$M\ 30_{1\ Static}$	3273643.056	4000515.413	۳۷۲٦۰۳۷.۰٤٦	GNSS Static (Alborz)
$M\ 30_{3\ Static}$	۳۲٦۷۳۸۹.۷۷۲	4038900.166	3689758.584	GNSS Static (Alborz)
$M\ 30_{5\ Static}$	3235145.163	4 026 874.820	3732169.223	GNSS Static (Alborz)

« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

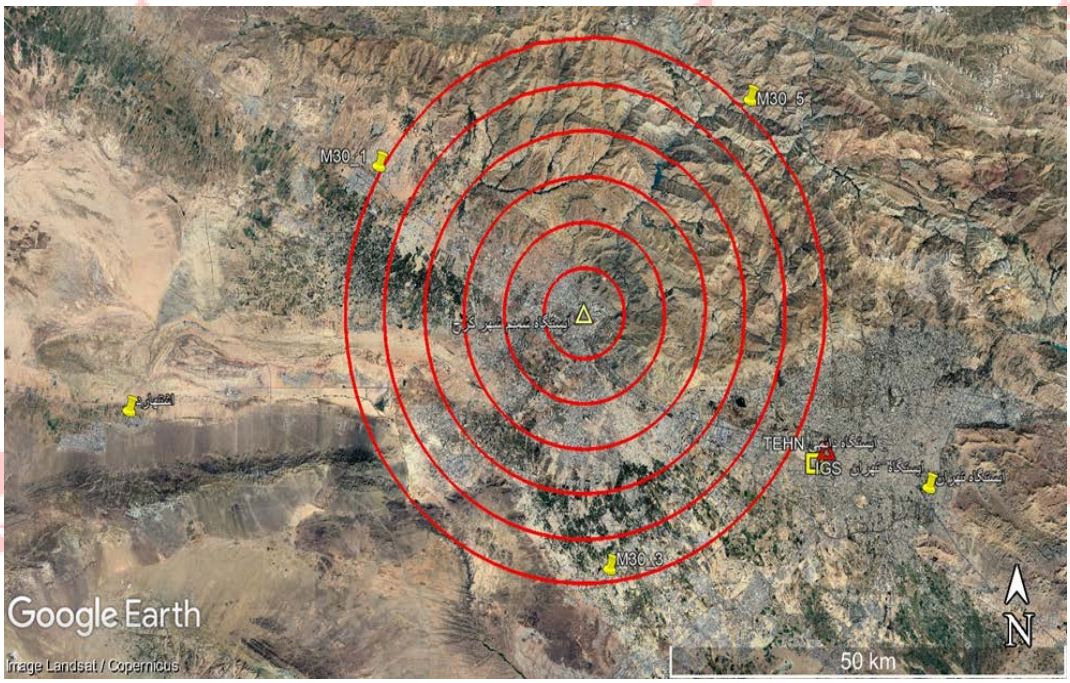
۲-٤-۱- ایستگاه دائمی GNSS شبکه IGS با شناسه IRN۰۰TEHN (تهران، ایران)

ایستگاه TEHN یکی از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های شبکه IGS در منطقه خاورمیانه است که ایستگاه مرجع دائمی GNSS مورد استفاده در پژوهش، ایستگاه IRN۰۰TEHN از شبکه جهانی IGS، واقع در تهران و تحت بهره‌برداری مرکز ملی نقشه‌برداری ایران (NCC) است. این ایستگاه با شماره DOMES برابر ۰۰۲M۲۰۴۰۴ در شبکه IGS ثبت شده است. چارچوب مرجع، Epoch مختصات مورد استفاده و نحوه اعمال تصحیحات زمانی در ادامه بر اساس اطلاعات راه‌حل مختصات ایستگاه و تنظیمات پردازش GNSS تعیین می‌شوند.

جدول ۲ : مختصات نقاط کنترل در سیستم تصویر UTM و ECEF

Point ID	UTM Zone 39N (coordinates projected from ITRF2014)				ECEF(ITRF2014)			Coordinate Epoch
	Easting(m)	Northing)m)	Ellip_ Height (m)	Zone	X(m)	Y(m)	Z(m)	
$M\ 30_{1\ Static}$	473523.4560	3980352.4690	1342.719	39N	3273643.056	4000515.413	3726037.046	2024.385
$M\ 30_{3\ Static}$	502522.0240	3935806.6700	1095.452	39N	3267389.772	4038900.166	3689758.584	2024.388
$M\ 30_{5\ Static}$	520000.5599	3987508.5970	1895.846	39N	3235145.163	4026874.820	3732169.223	2024.391
TEHN00IRN	530225.832	3950424.971	1194.5702	39N	3240499.1656	4049740.3759	3701663.1468	2010.0

لازم به ذکر است که مختصات کارتزین ایستگاه مرجع IRN۰۰TEHN در چارچوب ITRF۲۰۱٤ و در Epoch مرجع ۲۰۱۰.۰ ارائه شده‌اند؛ درحالی‌که مختصات سه نقطه کنترل استاتیک، متناسب با زمان انجام مشاهدات و در Epochهای متناظر با تاریخ برداشت تعیین شده‌اند. به‌منظور حفظ سازگاری زمانی مختصات، سرعت‌های ایستگاه مرجع در انتقال مختصات از Epoch اولیه به Epoch هر جلسه استاتیک مورد استفاده قرار گرفتند. مختصات مسطح نقاط نیز از تبدیل مختصات ژئودتیک متناظر به سیستم N۳۹UTM Zone استخراج شدند.



نگاره۲: موقعیت ایستگاه IGS و ۳ نقطه استاتیک(جانمایی نقاط کنترل روی نقشه گوگل)

مقاله در نوبت انتشار

مختصات ایستگاه مرجع از فایل ذخیره شده[1] در ایستگاه مرجع دریافت و در نرم‌افزار وارد شد. سپس با استفاده از تنظیمات چارچوب مرجع و مدل تغییرات زمانی فعال در پروژه، مختصات به Epoch زمان مشاهده تبدیل شد. مختصات حاصل به‌عنوان مبنای پردازش مشاهدات استاتیک مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور سازگاری زمانی مختصات ایستگاه مرجع TEHN00IRN با زمان انجام مشاهدات، مختصات و سرعت‌های این ایستگاه از محصول GNSS چارچوب مرجع بین‌المللی ITRF2014 استخراج شد. مختصات ایستگاه در epoch مرجع ۲۰۱۰.۰ به‌ترتیب برابر با X=3240499.1656 ، Y=4049740.3759 و Z=3701663.1468 متر و مؤلفه‌های سرعت آن در راستاهای کارتزین برابر با X=−۲۷.۵۲، Y=+۸.۶۰ و Z=+۱۶.۷۱ میلی‌متر بر سال است. برای انتقال مختصات ایستگاه از epoch مرجع ۲۰۱۰.۰ به epoch زمان مشاهدات، از مدل خطی تغییرات مختصات بر پایه سرعت ایستگاه استفاده شد

رابطه(6)

$$X(t) = X_0 + V_X(t - t_0)$$
$$Y(t) = Y_0 + V_Y(t - t_0)$$
$$Z(t) = Z_0 + V_Z(t - t_0)$$

که در آن:

- (X_0, Y_0, Z_0): مختصات اولیه ایستگاه در *epoch* مرجع ۲۰۱۰.۰
- (V_X, V_Y, V_Z): سرعت ایستگاه در سه مؤلفه کارتزین، معمولاً برحسب میلی‌متر بر سال
- *epoch* (t_0=2010.0): مرجع
- *epoch* (t): موردنظر برای محاسبه مختصات

1-ITRF2014 IGS GNSS station positions and velocities solution (ITRF2014-IGS-TRF.SNX), station TEHN, DOMES 20404M002, reference epoch 2010.0.

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

بر این اساس، مختصات ایستگاه مرجع برایepoch های متناظر با تاریخ برداشت مشاهدات استاتیک، شامل ۲۰۲٤.۳۸۵، ۲۰۲٤.۳۸۸ و ۲۰۲٤.۳۹۱، محاسبه و در پردازش و سرشکنی شبکه مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب، اثر حرکت زمانی ایستگاه مرجع در انتقال مختصات از epoch مرجع به epoch مشاهدات در نظر گرفته شد.

جدول 3 : مختصات و سرعت ایستگاه مرجع TEHN در چارچوبITRF2014

مؤلفه	مختصات در(m) epoch 2010.0	سرعت(mm/year)
X	3240499.1656	-27.52
Y	4049740.3759	+8.60
Z	3701663.1468	+16.71

مشاهدات استاتیک نقاط کنترل M30_1 ، M30_3و M30_5 در روزهای ۱، ۲ و ۳ خرداد ۱٤۰۳ انجام شد. فاصله زمانی ثبت مشاهدات (Sampling Interval) برابر با یک ثانیه بود. مدت زمان برداشت در نقاط مذکور به‌ترتیب ٤ ساعت و ١٤ دقیقه، ٤ ساعت و ١١ دقیقه و ٤ ساعت و ٥ دقیقه محاسبه شد. با فرض ثبت پیوسته مشاهدات در بازه‌های زمانی انجام شده و احتساب اپک ابتدا و انتهای هر بازه، تعداد اپک‌ها به‌ترتیب ۱۵،۲٤۱، ۱۵،۰٦۱ و ۱٤،۷۰۱ اپک است. جزئیات زمانی مشاهدات و تعداد اپک‌های محاسبه‌شده در جدول ارائه شده است. همچنین Epoch مختصات اولیه ایستگاه Epoch۲۰۱۰.۰زمان مرجع مختصات منتشرشده ایستگاه می باشد. انتقال زمانی مختصات ایستگاه مرجع به Epoch مشاهده، با استفاده از سرعت سالانه ایستگاه (Velocity correction) در نرم‌افزار TBC اعمال شده است.»

جدول 4: جدول مشخصات زمانی مشاهدات استاتیک نقاط کنترل

شناسه نقطه	تاریخ برداشت	ساعت شروع	ساعت پایان	مدت برداشت	فاصله ثبت اپک	تعداد اپک
M۳۰_۱	۱٤۰۳/۳/۱	۰۹:۱٦:۰۰	۱۳:۳۰:۰۰	۰٤:۱٤:۰۰	ثانیه ۱	۱۵’۲٤۱
M۳۰_۳	۱٤۰۳/۳/۲	۰۸:۳۲:۰۰	۱۲:٤۳:۰۰	۰٤:۱۱:۰۰	ثانیه ۱	۱۵’۰٦۱
M۳۰_٥	۱٤۰۳/۳/۳	۱۰:۰۰:۰۰	۱٤:۰٥:۰۰	۰٤:۰٥:۰۰	ثانیه ۱	۱٤’۷۰۱
مجموع	—	—	—	۱۲:۳۰:۰۰	—	٤٥’۰۰۳

- تبدیل مختصات ECEF به N۳۹UTM Zone

مقاله در حال انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

برای تبدیل مختصات زمین‌مرکزی ECEF(X,Y,Z) در چارچوب ITRF2014به مختصات مسطح N۳۹UTM Zone، ابتدا مختصات دکارتی به مختصات ژئودتیک (φ, λ, h) تبدیل می‌شوند و سپس با استفاده از تصویر Transverse Mercator، مختصات Easting و Northing محاسبه می‌گردند.(به دلیل بالا رفتن حجم مطالب از قید کردن روابط ریاضی این تبدیلات صرف نظر میکنیم. (International Association of Oil & Gas Producers [IOGP], 2019)

پردازش مشاهدات استاتیک و تعیین مختصات مرجع مستقل

به‌منظور تعیین مختصات مرجع مستقل برای ارزیابی صحت عملکرد سامانه تعیین موقعیت آنی شبکه‌ای شمیم (NRTK)، مشاهدات استاتیک GNSS در سه نقطه کنترل واقع در محدوده مطالعه برداشت شد. داده‌های خام حاصل از مشاهدات، پس از بررسی کیفیت اولیه و کنترل اطلاعات مربوط به گیرنده، آنتن و زمان برداشت، در قالب RINEX و با استفاده از نسخه ۵.۵۰ نرم‌افزار Trimble Business Center (TBC) پردازش شدند. در فرایند پردازش، از ایستگاه دائمی TEHN به‌عنوان ایستگاه مرجع استفاده شد

. همچنین، محصولات دقیق مدار و ساعت ماهواره از سرویس IGS، شامل مدار دقیق در قالب ۳SP و محصولات ساعت ماهواره، در نظر گرفته شدند. نوع اپمریس انتخاب‌شده در محیط پردازش نرم‌افزار نیز Precise بود. زاویه قطع ارتفاعی ماهواره‌ها برابر با ۱۰ درجه و فاصله نمونه‌برداری برابر با ۱ ثانیه در نظر گرفته شد. منظومه‌های ماهواره‌ای مورد استفاده شامل GPS، GLONASS، Galileo و BeiDou بودند. سیگنال‌ها و فرکانس‌های مورد استفاده بر اساس فایل‌های مشاهداتی و گزارش پردازش تعیین شدند. در GPS، فرکانس‌های ۱L و ۲L به کار گرفته شدند. (Li et al., 2022; Luo et al., 2021; Ma et al., 2020; Odolinski & Teunissen, 2017) برای تصحیح اثرات مرکز فاز آنتن‌ها، حالت Automatic با استفاده از مدل‌های کالیبراسیون آنتن در TBC انتخاب شد و مدل IGS Absolute مورد استفاده قرار گرفت. برای تروپسفر، مدل Neill در نظر گرفته شد. در مورد یونوسفر، از مشاهدات چندفرکانسه برای کاهش اثر تأخیر یونوسفری استفاده شد و نام مدل Klobuchar بود. روش رفع ابهام فاز به‌گونه‌ای بود که وضعیت جواب هر خط مبنای پذیرفته‌شده، Fixed باشد (Bae & Kim, 2018; Hadas et al., 2017). پس از پردازش و کنترل کیفیت خطوط مبنا، مختصات سه نقطه کنترل با استفاده از نسخه ۸.٤ نرم‌افزار Leica Geo Office (LGO) محاسبه شدند. سرشکنی شبکه به روش کمترین مربعات و با تثبیت مختصات ایستگاه مرجع TEHN00IRN انجام شد.

۲-٤-۲-نقاط آزمایشی

در گروه دوم، نقاط میدانی با استفاده از سامانه RTK شبکه‌ای شمیم برداشت شده‌اند. برای این منظور، در هر یک از حلقه‌های شعاعی با فواصل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلومتر نسبت به ایستگاه مرجع سامانه شمیم واقع در کرج، چند نقطه در جهات مختلف (شمال، جنوب، شرق و غرب) (نقاط طوری انتخاب شده اند که اولا قابل ایستگاه گذاری باشند و ثانیا تمامی حالت های توپوگرافی شامل مناطق شهری ، کوهستانی ،دشت و ..را در بربگیرند)انتخاب و با گیرنده GNSS مولتی فرکانسه و اتصال به سامانه شمیم نقطه، سامانه شامل PRS،VRS4، i-MAX4،VRSGG و .. . مشاهدات NRTK نیز (۱۵۰ ثانیه) و در شرایط مناسب هندسه ماهواره‌ها) مقادیر مطلوب DOP و زاویه ارتفاع(تنظیمات گیرنده بر روی نرخ نمونه‌برداری **۱ ثانیه** و زاویه قطع **۱۰ درجه** قرار داده شد. و همچنین، شاخص **PDOP** درطول بازه برداشت **۱.۸** ثبت شد. همچنین، تنها مشاهداتی که وضعیت حل ابهام فاز آن‌ها به صورت **Fixed**بود مورد استخراج و تحلیل قرار گرفتند و از ورود داده‌های با وضعیت Float به دلیل خطای غیرمجاز جلوگیری به عمل آمد برداشت شده است، به‌گونه‌ای که داده‌ها نماینده‌ی شرایط عملیاتی متعارف سامانه شمیم باشند.برای پردازش مشاهدات استاتیک و تعیین مختصات مرجع ایستگاه‌ها و نقاط کنترل، از نرم‌افزار (Leica Geo Office) به منظور عملیات سرشکنی مختصات و نرم افزار (Trimble Business Center) به منظور پردازش داده های خام GNSS استفاده شده است در این پردازش‌ها، مدل‌های استاندارد تصحیح مدار و ساعت ماهواره، مدل تأخیر تروپسفری مناسب منطقه، و مدل‌سازی تأخیر یونسفری بر اساس مشاهدات چندفرکانسه به کار گرفته شده‌اند. سامانه شمیم به‌عنوان زیرساخت RTK شبکه‌ای، تصحیحات آنی مورد نیاز برای محاسبه‌ی مختصات NRTKرا فراهم کرده است و محاسبات موقعیت آنی در گیرنده یا نرم‌افزار کنترلر میدانی انجام شده است. برای تحلیل عددی و ترسیم نمودارها، داده‌های خروجی از سامانه و نرم‌افزار پردازش در محیط نرم‌افزارهایی نظیرMATLAB وارد شده و مقادیر اختلاف مختصات نسبت به مرجع استاتیک، همچنین شاخص‌های دقت HRMS و VRMS، برای هر نقطه (خروجی گیرنده) مقایسه شده است

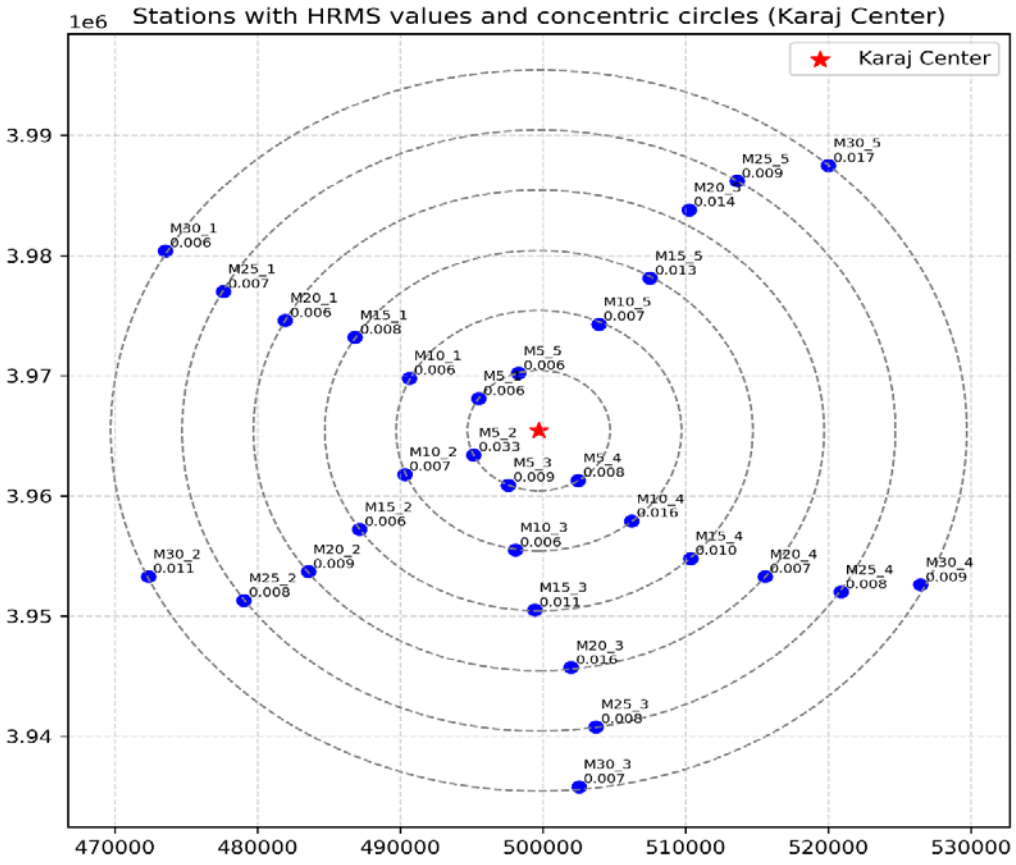
مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی(سپهر)»

ردیف	name	Circle_km	Easting(m)	Northing(m)	Ellip _Height)m)	HRMS(m)	VRMS(m)	Mount point
1	M5_1	5	495471.833	3968105.508	1375.197	0.006	0.018	i-MAXGG

2	M5_2	5	495137.668	3963372.811	1290.859	0.033	0.095	i-MAX4
3	M5_3	5	497568.29	3960917.311	1305.621	0.009	0.021	VRSGG
4	M5_4	5	502455.213	3961260.099	1436.781	0.008	0.015	VRS
5	M5_5	5	498279.994	3970216.928	1535.032	0.006	0.011	PRS
6	M10_1	10	490615.169	3969790.204	1325.294	0.006	0.011	i-MAX4
7	M10_2	10	490312.298	3961796.526	1242.6	0.007	0.015	VRS4
8	M10_3	10	498042.515	3955503.952	1250.188	0.006	0.011	VRS
9	M10_4	10	506210.098	3957860.278	1372.251	0.016	0.033	i-MAX4
10	M10_5	10	503918.573	3974329.24	1544.613	0.007	0.016	i-MAX4
11	M15_1	15	486815.166	3973165.975	1363.376	0.008	0.013	VRSGG
12	M15_2	15	487140.621	3957170.694	1257.909	0.006	0.011	VRSGG
13	M15_3	15	499421.634	3950460.076	1202.921	0.011	0.02	VRS4
14	M15_4	15	510329.797	3954832.2	1209.699	0.01	0.017	VRSGG
15	M15_5	15	507496.566	3978102.526	1785.529	0.013	0.027	VRS4
16	M20_1	20	481931.823	3974581.837	1373.213	0.006	0.01	VRSGG
17	M20_2	20	483541.315	3953710.503	1167.125	0.009	۰.۰۱۴	VRSGG
18	M20_3	20	501964.491	3945651.386	1153.201	0.016	0.026	VRS4
19	M20_4	20	515550.954	3953269.894	1221.581	0.007	0.013	VRSGG
20	M20_5	20	510228.034	3983799.449	1799.399	0.014	0.026	VRS4
21	M25_1	25	477583.536	3977015.476	1363.376	0.007	0.013	VRSGG
22	M25_2	25	479033.814	3951264.291	1144.452	0.008	0.012	VRS4
23	M25_3	25	503705.764	3940785.258	1116.601	0.008	0.012	VRS4
24	M25_4	25	520859.349	3952003.549	1234.806	0.008	0.013	VRSGG
25	M25_5	25	513576.977	3986219.678	1808.855	0.009	0.016	VRSGG
26	M30_1	30	473523.47	3980352.488	1342.639	0.007	0.01	VRSGG
27	M30_2	30	472343.102	3953250.197	1153.997	0.011	0.022	VRS4
28	M30_3	30	502522	3935806.686	1095.427	0.007	0.013	VRSGG
29	M30_4	30	526455.427	3952586.632	1245.699	0.009	0.014	VRSGG
30	M30_5	30	520000.544	3987508.574	1895.906	0.017	0.04	i-MAX4

جدول 5: بهترین حل‌ها، همراه با مقادیر HRMS، VRMS، نوع نقطه اتصال در هر نقطه آزمایشی

« اطلاعات جغرافیایی(سپهر)»



نگاره ۳ : محل قرارگیری ۳۰ نقطه آزمایشی به همراه دقت آن(خروجی نرم افزار(MATLAB)

« اطلاعات جغرافیایی(سپهر)»

۳- نتایج و بحث

۳-۱-تحلیل کمّی NRTK : در میان حل‌های منتخب، نقطه M20_1 در حلقه ۲۰ کیلومتری، با استفاده از Mount Point نوعVRSGG ، مقادیر HRMS برابر ۰،۰۰۶ متر و VRMS برابر ۰،۰۱۰ متر را نشان داد. این مقادیر، شاخص‌های گزارش‌شده توسط گیرنده هستند و باید از اختلاف مختصات محاسبه‌شده نسبت به مرجع مستقل تفکیک شوند. بنابراین، این نتیجه بیانگر عملکرد مناسب این حل از نظر شاخص‌های گزارش‌شده گیرنده است و به‌تنهایی اثبات‌کننده کمترین خطای واقعی مختصات نیست.

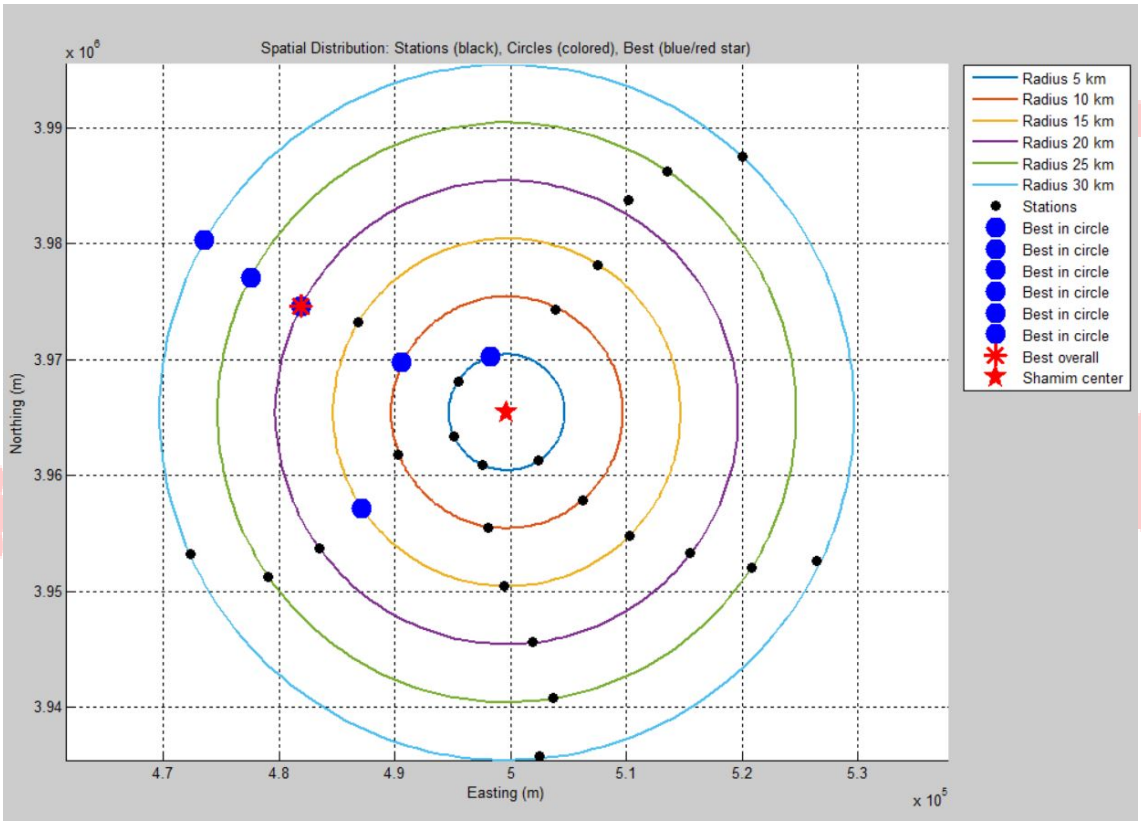
- بهترین نقطه: M 20_1
- حلقه فاصله: ۲۰ km
- Mount Point : VRSGG
- مختصات

E,N, h =481931.823 , 3974581.837 , 1373.213

- شاخص‌های دقت:

$HRMS = 0.006$ m o
$VRMS = 0.010$ m o

تفسیر: مقادیر HRMS برابر با ۰٫۰۰۶ متر و VRMS برابر با ۰٫۰۱۰ متر در نقطه M20_1 نشان می‌دهد که حل منتخب در این نقطه از نظر شاخص‌های داخلی گزارش‌شده توسط گیرنده، دارای مقادیر نسبتاً کوچکی بوده است. بااین‌حال، این شاخص‌ها به‌تنهایی بیانگر خطای واقعی مختصات نیستند و ارزیابی صحت موقعیت مستلزم مقایسه مختصات حاصل از NRTKبا مختصات مرجع مستقل است.



نگاره ٤ : دقیق ترین نقطه در هر حلقه آزمایش(خروجی برنامه MATLAB)

مقاله در نوبت انتشار

۳-۲- روند تغییر بهترین عملکرد در حلقه‌های فاصله (تحلیل جدولی/الگویی)

طبق تحلیل های انجام شده بهترین نتایج به تفکیک حلقه فاصله به صورت جدول شماره ٦ است:

جدول 6: نقاط و حل‌های منتخب گزارش‌شده برای حلقه‌های شعاعی بر اساس شاخص‌های HRMS و VRMS

Row	Name	Circle(km)	Easting (m)	Northing (m)	Ellip_Height (m)	HRMS (m)	VRMS(m)	Mount Point
1	$M\ 5_5$	5	498279.994	3970216.928	1535.032	0.006	0.011	PRS
2	$M\ 10_1$	10	490615.169	3969790.204	1325.294	0.006	0.011	i_MAX4
3	$M\ 15_2$	15	487140.621	3957170.694	1257.909	0.006	0.011	VRSGG
4	$M\ 20_1$	20	481931.823	3974581.837	1373.213	0.006	0.01	VRSGG
5	$M\ 25_1$	25	477583.536	3977015.476	1363.376	0.007	0.013	VRSGG
6	$M\ 30_1$	30	473523.47	3980352.488	1342.639	0.007	0.01	VRSGG

۳-۳-یافته کلیدی (الگوی کیفی-کمی):

- در مجموعه ۳۰ نقطه آزمایشی، VRSGGبا ۱۳ انتخاب (٤٣،٣٣ درصد) بیشترین فراوانی انتخاب را داشت. همچنین، در هر یک از حلقه‌های ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلومتر، VRSGGدر سه مورد از پنج نقطه به‌عنوان گزینه منتخب ثبت شد. این نتیجه بیانگر فراوانی بیشتر انتخاب VRSGG در داده‌های همین مطالعه است؛ بااین‌حال، به‌دلیل محدود بودن اعتبارسنجی مستقل به سه نقطه کنترل و نبود ارزیابی در شرایط زمانی و جوی متفاوت، نمی‌توان از آن برتری عمومی یا پایداری زمانی این گزینه را نتیجه گرفت.
- در فاصله‌های کوتاه‌تر (۵ و ۱۰ کیلومتر) بهترین Mount Point یکنواخت نیست و بین PRS و i_MAX4- تغییر می‌کند

جدول 7: درصد فراوانی بهترین Mount Point

Mount point	*Count*	*Percentage(%)*
VRSGG	*13*	*43.33*
VRS4	*8*	*26.67*
i-MAX4	*5*	*16.67*
VRS	*2*	*6.67*
PRS	*1*	*3.33*
i-MAXGG	*1*	*3.33*

« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

فراوانی‌های جدول 7 تعداد دفعات انتخاب هر نقطه اتصال را در مجموعه ۳۰ نقطه نشان می‌دهند. این فراوانی‌ها توصیفی‌اند و به‌تنهایی آزمون آماری برتری یک گزینه یا تعمیم نتیجه به شبکه‌ها و شرایط دیگر محسوب نمی‌شوند

۳-٤- اعتبارسنجی نقطه‌به‌نقطه در برابر استاتیک مستقل(۳ نقطه کنترل)

برای هر یک از سه نقطه کنترل استاتیک، مختصات NRTK برداشت‌شده در همان محل با مختصات مرجع حاصل از پردازش مستقل استاتیک مقایسه شد. اختلاف مؤلفه‌های شرقی، شمالی و ارتفاعی به‌ترتیب به‌صورت زیر محاسبه شد. سپس، خطای افقی دوبعدی و خطای سه‌بعدی هر نقطه بر اساس این مؤلفه‌ها به دست آمد.

مقاله در نوبت انتشار

رابطه ((7

$$\Delta E = E_{NRTK} - E_{STATIC}, \ \Delta N = N_{NRTK} - N_{STATIC}, \Delta h = h_{NRTK} - h_{STATIC}$$

$$d = \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2 + (\Delta h)^2}$$

نشریه علمی پژوهشی

۳-٤-۱- تحلیل نتایج سه نقطه استاتیک

نتایج مقایسه سه نقطه کنترل مستقل نشان داد که اختلاف افقی دوبعدی مختصات حاصل از سامانه NRTK با مختصات مرجع بین ۰٫۰۲۳٦ تا ۰٫۰۲۸۸ متر و اختلاف سه‌بعدی بین ۰٫۰۳۸۱ تا ۰٫۰۸۳٤ متر بوده است. این مقادیر میزان انطباق مختصات در همین سه نقطه و تحت شرایط زمانی و محیطی برداشت این پژوهش را نشان می‌دهند. با توجه به محدود بودن تعداد نقاط کنترل مستقل، نمی‌توان بر اساس این نتایج، دقت عملکرد سامانه را در کل محدوده پروژه یا در تمام شرایط برداشت تأیید کرد. برای تعمیم‌پذیری بیشتر نتایج، استفاده از تعداد بیشتری نقطه کنترل مستقل و انجام برداشت‌های تکراری در زمان‌ها و شرایط محیطی متفاوت ضروری است.(جدول شماره (8

« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

جدول شماره 8 –مقایسه موقعیت یابی نقاط مرجع استاتیک مستقل با سامانه مقایسه NRTK

نقطه	نقطه اتصال	وضعیت فاز	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$	$\Delta H(m)$	$d_2D(m)$	$d_3D(m)$
$M\ 30_{1\ Static}$	VRSGG	Fix	+0.0140	+0.0190	-0.0800	0.0236	۰.۰۸۳۴
$M\ 30_{3\ Static}$	VRSGG	Fix	-0.0240	+0.0160	-0.0250	0.0288	۰.۰۳۸۲
$M\ 30_{5\ Static}$	i-MAX4	Fix	-0.0159	-0.0230	0.0601	0.0280	۰.۰۶۶۲

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

٤–نتیجه گیری:

در ایـن پـژوهش عملکـرد سـامانه‌های تصـحیحات آنـی GNSS در تعیـین موقعیـت بـه روش NRTK در اسـتان البـرز مـورد ارزیـابی قـرار گرفـت. بـرای ایـن منظـور مختصـات نقـاط به‌دسـت‌آمده از مشـاهدات NRTK در ۳ نقطـه بـا مختصـات مرجـع حاصـل از پـردازش اسـتاتیک مسـتقل مقایسـه شـد. بررسـی‌ها بـر روی نقـاط مختلـف در فواصـل متفـاوت از ایسـتگاه‌های دائـم و همچنـین بـا اسـتفاده از Mount Point هـای مختلـف در ۳۰ نقطـه انجـام گرفـت. نتـایج مقایسـه نشـان داد کـه اخـتلاف مختصـات افقـی بـین نتـایج NRTK و مختصـات اسـتاتیک عمومـاً در حد چند سانتی‌متر(۲ تـا ۳) قـرار دارد و در بسـیاری از مـوارد بـه مقـادیر نزدیـک بـه سـانتی‌متر محـدود می‌شـود. بـر اسـاس مؤلفـه‌های اخـتلاف مختصـات گزارش‌شـده در جـدول ۸، میـانگین اخـتلاف شـرقی ۰.۰۰۸٦– متـر، شـمالی ۰.۰۰٤۰+ متـر و ارتفـاعی ۰.۰۱۵۰– متـر اسـت ، انحـراف معیـار نمونـه‌ای مؤلفه‌شـرقی ۰.۰۲۰۰متـر مؤلفـه شـمالی ۰.۰۲۳٤ متـر و مولفـه ارتفـاعی ۰.۰۷۰٦ متـر محاسـبه شـد. همچنـین، RMSE افقـی و سـه‌بعدی بـرای سـه نقطـه کنترل به‌ترتیب برابر با ۰.۰۲٦۹ و ۰.۰٦۵۳ متر اسـت. بـا توجـه بـه محـدود بـودن تعـداد نقـاط کنتـرل مسـتقل بـه سـه نقطه، این شاخص‌ها صرفاً توصـیفی هسـتند و بـرای تعمـیم آمـاری نتـایج بـه سـایر نقـاط یـا شـرایط برداشـت کـافی نیستند.

بررسـی نتـایج نقـاط نمونـه در حلقـه ۳۰ کیلـومتری نشـان داد کـه مقـدار اخـتلاف دوبعـدی حـدود ۰/۰۳ متـر به‌دسـت آمـد. ایـن نتـایج بیـانگر آن اسـت کـه سـامانه NRTK قـادر اسـت در فواصـل نسـبتاً قابـل توجـه از ایسـتگاه‌های مرجـع، دقتـی در حـد چنـد سـانتی‌متر فـراهم کند.بـه طـور کلـی نتـایج ایـن تحقیـق نشـان می‌دهـد کـه اسـتفاده از سـامانه‌های تصـحیح شـبکه‌ای GNSS می‌توانـد بـرای بسـیاری از کاربردهـای نقشـه‌برداری، مهندسـی و

پایش که نیازمند دقت سانتی‌متری هستند مناسب باشد. با این حال کیفیت نتایج به عواملی نظیر فاصله تا ایستگاه‌های مرجع، نوع نقاط اتصال انتخابی، شرایط محیطی و کیفیت دریافت سیگنال‌های ماهواره‌ای وابسته است. از این رو انتخاب مناسب روش پردازش و رعایت شرایط مناسب برداشت می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به بهترین دقت ممکن در روش NRTK داشته باشد. نتایج فراوانی بهترینMount Point ها نشان می‌دهد که VRSGG در ۱۳ نقطه (۴۳،۳۳ درصد) بیشترین فراوانی انتخاب را در میان گزینه‌های بررسی‌شده داشت. پس از آن، VRS4با ۲۶،۶۷ درصد و i-MAX4 با ۱۶،۶۷ درصد قرار گرفتند. این درصدها صرفاً فراوانی انتخاب گزینه‌ها بر اساس شاخص‌های گزارش‌شده توسط گیرنده را نشان می‌دهند و به‌تنهایی معادل برتری از نظر خطای مختصات نسبت به مرجع مستقل نیستند. بنابراین، انتخاب Mount Point مناسب باید با توجه به شرایط محلی برداشت، وضعیتFIX ، شاخص‌های گیرنده و در صورت امکان اعتبارسنجی مستقل در همان محل انجام شود.

با وجود اینکه نقطه اتصال **VRSGG** در چهار حلقه از شش حلقه حضور داشت. بااین‌حال، تعداد نقاط منتخب در حلقه‌های مختلف یکسان نبود و این الگو برای اثبات برتری عمومی این نقطه اتصال کافی نیست. انتخاب گزینه مناسب باید در محدوده همین شبکه و با توجه به نتیجه هر نقطه، وضعیت حل، هندسه شبکه و شرایط برداشت تفسیر شود.

٤-١- پیشنهادها و راهکارهابا توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی عملکرد سامانه NRTومقایسه آن با مختصات استاتیک مستقل،نتایج حاضر توصیه قطعی برای انتخاب یک Mount Point بر مبنای فاصله به‌تنهایی ارائه نمی‌کند. در کاربرد عملی، انتخاب Mount Point باید با کنترل وضعیتFIX ، شاخص‌های گزارش‌شده گیرنده و شرایط محلی هر برداشت انجام شود ولی می‌توان پیشنهادها و راهکارهای زیر را برای بهبود دقت و کارایی در پروژه‌های نقشه‌برداری مبتنی بر GNSS ارائه کرد:

٤-١-١- استراتژی انتخاب Mount Point مکان‌محور: یافته‌های این پژوهش نشان داد که برتری عملکرد Mount Pointها در تمام نقاط یکسان نیست. پیشنهاد می‌شود کاربران به‌جای استفاده از یک تنظیمات ثابت، از یک «**رویکرد تطبیقی**» استفاده کنند. از منظرکاربردی ، نتایج این پژوهش پیشنهاد میکند که کاربران به‌جای استفاده از یک Mount Point ثابت، از استراتژی انتخاب Mount Point مکان‌محور استفاده کنند؛ به‌گونه‌ای که در فواصل کوتاه، گزینه‌هایی مانند PRS یا i-MAX٤ می‌توانند رقابتی باشند، در حالی که در فواصل متوسط تا بلند (حدود ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر)، Mount Point نوعVRSGG در

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

مجموعه ۳۰ نقطه آزمایشی، Mount Pointنوع VRSGG با ۱۳ انتخاب، معادل ۴۳،۳۳ درصد، بیشترین فراوانی را در میان حل‌های منتخب به خود اختصاص داد. بااین‌حال، این فراوانی صرفاً بیانگر الگوی مشاهده‌شده در داده‌های این پژوهش است و به‌تنهایی برتری عمومی، صحت بیشتر یا پایداری زمانی این گزینه را اثبات نمی‌کند. ازاین‌رو، انتخاب Mount Pointمناسب باید با توجه به شرایط محلی برداشت، وضعیت حل ابهام، شاخص‌های گزارش‌شده توسط گیرنده و نتایج مقایسه با مختصات مرجع مستقل انجام شود. بررسی برتری آماری گزینه‌ها به داده‌های تکراری و ارزیابی‌های تکمیلی نیاز دارد. همچنین پایش شاخص‌های هندسی (DOP)، شرایط محیطی و کیفیت سیگنال (مثلاً SNR) برای حفظ دقت مطلوب ضروری است. اجرای همین چارچوب در استان‌های دیگر و در بازه‌های زمانی و شرایط جوی متفاوت، می‌تواند منجر به تدوین یک راهنمای عملی ملی برای بهره‌برداری بهینه از سامانه NRTK و انتخاب Mount Point مناسب در ایران شود

٤-۲- مدیریت اثر موانع محیطی و تحلیل چند مسیرگی :

موانع فیزیکی محیطی نظیر ابنیه بلند و پوشش‌های گیاهی متراکم می‌توانند از طریق انسداد دید ماهواره‌ها و ایجاد پدیده چندمسیرگی، کیفیت هندسه ماهواره‌ای و دقت مشاهدات NRTK را کاهش دهند. در تحقیق حاضر، خطای چندمسیرگی به‌صورت مجزا اندازه‌گیری، تفکیک یا مدل‌سازی کمی نشده است؛ بنابراین انتساب قطعی افت دقت مشاهده‌شده به پدیده چندمسیرگی امکان‌پذیر نبوده و این عامل صرفاً به‌عنوان یک متغیر محیطی اثرگذار مطرح است. پایش دقیق شاخص‌های کنترل کیفیت گیرنده از قبیل DOP و نسبت سیگنال به نویز (SNR) در کنار برنامه‌ریزی متناسب زمانی، برای حفظ پایداری نتایج در چنین شرایطی ضروری خواهد بود (Hsu et al., 2017; Pehlivan et al., 2019; Pırtı & Kurtulgu, *2023*)

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
« اطلاعات جغرافیایی (سپهر) »

منابع

[1] Abdi, N., Azmoudeh Ardalan, A., & Karimi, R. (2018). Performance assessment of PPP as an alternative for relative techniques. Journal of Geographical Data (Sepehr), 26(104), 19–34. https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.30515. (In Persian).

[2] Alkan, R. M., Erol, S., İlçi, V., & Ozulu, İ. M. (2020). Comparative analysis of real-time kinematic and PPP techniques in dynamic environment. Measurement, 163, Article 107995. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107995.

[3] Bae, T.-S., & Kim, M. (2018). Performance analysis of network-RTK techniques for drone navigation considering ionospheric conditions. Journal of Sensors, 2018, Article 5154697. https://doi.org/10.1155/2018/5154697.

[4] Berber, M., & Arslan, N. (2013). Network RTK: A case study in Florida. Measurement, 46(8), 2798–2806. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.04.078.

[5] Dardanelli, G., Maltese, A., Pipitone, C., Pisciotta, A., & Lo Brutto, M. (2021). NRTK, PPP or static, that is the question: Testing different positioning solutions for GNSS survey. Remote Sensing, 13(7), Article 1406. https://doi.org/10.3390/rs13071406.

[6] Dawidowicz, K., Krzan, G., & Świątek, K. (2014). Urban area GPS positioning accuracy using ASG-EUPOS POZGEO service as a function of session duration. Artificial Satellites, 49(1), 33–42. https://doi.org/10.2478/arsa-2014-0003.

[7] Grejner-Brzezinska, D. A., Arslan, N., Wielgosz, P., & Hong, C.-K. (2009). Network calibration for unfavorable reference-rover geometry in network-based RTK: Ohio CORS case study. Journal of Surveying Engineering, 135(3), 90–100. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2009)135:3(90).

[8] Hadas, T., Teferle, F. N., Kazmierski, K., Hordyniec, P., & Bosy, J. (2017). Optimum stochastic modeling for GNSS tropospheric delay estimation in real-time. GPS Solutions, 21(3), 1069–1081. https://doi.org/10.1007/s10291-016-0595-0.

[9] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). GNSS: Global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more (1st ed., XXIX + 518 p.). Springer Vienna, Vienna, Austria. https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1.

[10] Hsu, L.-T., Tokura, H., Kubo, N., Gu, Y., & Kamijo, S. (2017). Multiple faulty GNSS measurement exclusion based on consistency check in urban canyons. IEEE Sensors Journal, 17(6), 1909–1917. https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2654359.

[11] International Association of Oil & Gas Producers. (2019). Geomatics guidance note number 7, part 2: Coordinate conversions and transformations including formulas (Rev. September 2019; IOGP Publication 373-7-2). https://www.iogp.org/wp-content/uploads/2019/09/373-07-02.pdf.

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پژوهشی
«اطلاعات جغرافیایی (سپهر)»

[12] Li, X., Wang, B., Li, X., Huang, J., Lyu, H., & Han, X. (2022). Principle and performance of multi-frequency and multi-GNSS PPP-RTK. Satellite Navigation, 3, Article 7. https://doi.org/10.1186/s43020-022-00068-0.

[13] Luo, X., Schaufler, S., Branzanti, M., & Chen, J. (2021). Assessing the benefits of Galileo to high-precision GNSS positioning—RTK, PPP and post-processing. Advances in Space Research, 68(12), 4916–4931. https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.08.022.

[14] Ma, H., Zhao, Q., Verhagen, S., Psychas, D., & Liu, X. (2020). Assessing the performance of multi-GNSS PPP-RTK in the local area. Remote Sensing, 12(20), Article 3343. https://doi.org/10.3390/rs12203343.

[15] Moradi, F., Azmoudeh Ardalan, A., & Pahlavani, P. (2021). Site selection of network real-time kinematic stations using fuzzy analytic hierarchy process in the southern coastal areas. Journal of Geographical Data (Sepehr), No. 117, 19–32. https://www.magiran.com/paper/2286070. (In Persian).

[16] Nadarajah, N., Khodabandeh, A., Wang, K., Choudhury, M., & Teunissen, P. J. G. (2018). Multi-GNSS PPP-RTK: From large- to small-scale networks. Sensors, 18(4), Article 1078. https://doi.org/10.3390/s18041078.

[17] Nazari Sarshekeh, M. (2026). Barresi-ye deqqat va sehat-e samaneh-ye SHAMIM dar ostan-e Alborz [Assessment of the accuracy and precision of the SHAMIM system in Alborz Province]. (M.Sc. thesis in Civil Engineering—Surveying (Geodesy); Supervisor: Seyed Rouhollah Emadi). Islamic Azad University, South Tehran Branch, Faculty of Technical and Engineering, Tehran, Iran. (In Persian).

[18] Öcalan, T., Erdoğan, B., Tunalıoğlu, N., & Durdağ, U. M. (2016). Accuracy investigation of PPP method versus relative positioning using different satellite ephemerides products near/under forest environment. Earth Sciences Research Journal, 20(4), D1–D9. https://doi.org/10.15446/esrj.v20n4.59496.

[19] Odolinski, R., & Teunissen, P. J. G. (2017). Low-cost, high-precision, single-frequency GPS–BDS RTK positioning. GPS Solutions, 21(3), 1315–1330. https://doi.org/10.1007/s10291-017-0613-x.

[20] Odolinski, R., & Teunissen, P. J. G. (2019). An assessment of smartphone and low-cost multi-GNSS single-frequency RTK positioning for low, medium and high ionospheric disturbance periods. Journal of Geodesy, 93, 701–722. https://doi.org/10.1007/s00190-018-1192-5.

[21] Pehlivan, H., Bezcioğlu, M., & Yılmaz, M. (2019). Performance of network RTK correction techniques (FKP, MAC and VRS) under limited sky view condition. International Journal of Engineering and Geosciences, 4(3), 106–114. https://doi.org/10.26833/ijeg.492496.

[22] Pırtı, A., & Kurtulgu, Z. (2023). Network real time kinematic (CORS-FKP method) accuracy in/under forest area. Agriculture and Forestry, 69(2), 191–202. https://doi.org/10.17707/AgricultForest.69.2.15.

[23] Takac, F., & Zelzer, O. (2008, September 16–19). The relationship between network RTK solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX. In Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2008) (pp. 348–355). Savannah, GA, USA: Institute of Navigation. https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=7964.

مقاله در نوبت انتشار
نشریه علمی پدافند
«اطلاعات جغرافیایی (سپهر)»

[24] Teunissen, P. J. G., & Montenbruck, O. (Eds.). (2017). Springer handbook of global navigation satellite systems (1st ed., XXIV + 1268 p.). Springer, Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1.

[25] Uznański, A. (2023). Analysis of differences in accuracy of positioning tied to various CORS networks in Poland: Case study. Reports on Geodesy and Geoinformatics, 116, 47–60. https://doi.org/10.2478/rgg-2023-0010.

[26] Yu, J., Meng, X., Yan, B., Xu, B., Fan, Q., & Xie, Y. (2020). Global Navigation Satellite System-based positioning technology for structural health monitoring: A review. Structural Control and Health Monitoring, 27(1), Article e2467. https://doi.org/10.1002/stc.2467.

مقاله در نوبت انتشار

نشریه علمی پژوهشی

« اطلاعات جغرافیایی (سپهر)»