نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دوره ششم، شماره ۱، اسفند ماه ۱۳۹۳

ارزیابی و بهبود دقت یک شبکه تعیین موقعیت آنی DGPS با استفاده از مدل ترکیبی خطی (مطالعه‌ی موردی: شمال غرب ایران)

داریوش بابلان مقدم*[۱]، سید روح الله عمادی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی- دانشگاه آزاد اسلامی- واحد اهر
babolanisurvey@yahoo.com

[۲] استادیار گروه مهندسی نقشه برداری- دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب
rsemadi@yahoo.com

(تاریخ دریافت تیر۱۳۹۳، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۳)

چکیده

در این گزارش با توجه به اینکه سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS به دلیل خطا های مختلف، ازلحاظ دقت در تعیین موقعیت مطلق آنی جوابگوی بسیاری از کاربردها نخواهد بود لذا باید یکسری تصحیحات به مشاهدات تعیین موقعیت آنی[۱] اعمال شود. به همین دلیل به بیان تأثیر خطا های مختلف و نحوه برخورد با این خطا ها بیان گردیده است، سپس اصول عملکرد سیستم DGPS[۲] بیان شده است. هدف از ایجاد سیستم DGPS بدست آوردن تصحیحات لازم برای حذف یا کاهش خطا های مؤثر بر دقت می باشد، تا با استفاده از این تصحیحات بتوان به دقت های مطلوب رسید و از این سیستم در هدایت امور ناوبری و سایر امور مربوط به تعیین موقعیت آنی استفاده کرد. اصول کار اولیه این سیستم‌ها براساس تعیین موقعیت آنی بین حداقل دو گیرنده GNSS می‌باشد. از محدودیت‌های قابل تأمل سیستم‌های تک مرجعی محدودیت در سیستم ارتباطی، کاهش دقت و اعتبار تصحیحات ارسالی با افزایش فاصله می‌باشد به همین منظور سیستم های چند مرجعی مطرح می شود. بنابراین با استفاده از ۴ ایستگاه دائم ترکمنچای، خواجه، اهر، اسکو روش تعیین موقعیت نسبی[۳] برآورد شده است. نتایج حاصل نشان می دهد با افزایش فاصله و اختلاف ارتفاع بین ایستگاه‌ها مقدار تصحیحات افزایش یافته و دقت روش کاهش می-یابد. بنابراین می توان اینگونه نتیجه گرفت که برای کاهش تأثیر نامطلوب ایستگاه های مرجعی، که موقعیت آنها با موقعیت ایستگاه مجهول دارای اختلاف بیشتری است حذف شوند که در این حالت مدل ترکیبی خطی[۴] مطرح می شود که قادر به بررسی و حذف ایستگاه هایی که دقت سیستم DGPS را پایین می آورد می باشد.

واژگان کلیدی: GPS، تعیین موقعیت، DGPS

---

* نویسنده رابط

۱ real-time positioning
۲ Differential Global Positioning System
۳ Relative Positioning
٤ linear combinations model

۱- مقدمه

یکی از کاملترین و کاربردی ترین سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای، سیستم GPS می باشد که از جمله کاربرد های این سیستم، تعیین موقعیت آنی می باشد. منظور از تعیین موقعیت آنی بدست آوردن مختصات یا موقعیت نقطه مورد نظر با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از GPS در همان لحظه مشاهده بدون پردازش های بعدی[۱] می باشد. تعیین موقعیت آنی با استفاده از مشاهدات شبه فاصله ، کد (بدون ابهام فاز) قابل اندازه گیری است ، که در این روش فاصله ماهواره تا گیرنده با اندازه گیری زمان ارسال موج از ماهواره تا لحظه دریافت صورت می پذیرد . لیکن دقت تعیین موقعیت آنی بدلیل خطاهای وابسته به فاصله (خطا های مداری، یونسفر، تروپسفر) و خطا های وابسته به زمان (خطا های ساعت ماهواره و گیرنده) و همچنین خطا های غیر وابسته مانند نویز گیرنده و چند مسیری و غیره ... و همچنین سرعت بالا برای بدست آوردن موقعیت ، دارای دقت خوب برای برخی کاربرد ها نخواهد بود. برای بالا بردن دقت تعیین موقعیت آنی بایستی تصحیحات دریافت شده از GPS را به مشاهدات اضافه نمود تا دقت تعیین موقعیت آنی بهتری داشته باشیم. این تصحیحات توسط ایستگاه هایی که دارای موقعیت دقیق می باشند، با استفاده از دریافت اطلاعات از سیستم GPS، ممکن می شود و یکسری تصحیحات و چندین هشدار برای کاربران تحت پوشش ایستگاههای خود می فرستند و کاربران هم با دریافت این تصحیحات می توانند در جهت بهبود دقت و صحت سیستم GPS عمل می کنند و یکسری خطا های موجود در اطلاعات تعیین موقعیت آنی GPS را حذف کنند.

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل داده ها می توان به این نتیجه رسید که لازم است موقعیت ایستگاه کاربر (متحرک) نیز نسبت به ایستگاه مرجع در نظر گرفته شود. به همین جهت مدل های گوناگون برای ارائه تصحیحات در ایستگاه کاربر به کار گرفته می شود که انتظار می رود یکی از بهترین روش ها مدل ترکیبی خطی باشد که در این مدل با در نظر گرفتن موقعیت ایستگاه کاربر هم از لحاظ موقعیت جغرافیایی(x,y) و ارتفاع(h) تصحیحات در اختیار کاربران قرار می گیرد و باعث افزایش دقت می شود.

۲- خلاصه‌ای از منابع خطاهای موجود در سیستم تعیین موقعیت آنی

از زمانی که سیستم GPS راه اندازی شد تعدادی خطای سیستماتیک وجود دارد که خروجی اطلاعات این سیستم را تحت تأثیرقرار می‌دهد. این منابع خطا می‌تواند ده‌ها متر یا بیشتر بر عدم قطعیت جواب موقعیتی اضافه نمایند. از خطا های قابل اشاره خطای مداری می باشد، این خطا از عدم قطعیت در مورد موقعیت ماهواره در فضا بر اثر انحراف ماهواره از مسیر مداری خود دراثر نیرو های مزاحم می‌باشد. تأثیر این خطا بر روی زمین حدود ۲/۵ ± متر می‌باشد که با استفاده از داده های دقیق نجومی (اطلاعات ناوبری) می توان اثر این خطا را کاهش داد. خطای دیگر، خطای یونسفر است که اولین لایه از جو زمین است که سیگنال GPS در مسیر حرکت خود به سمت زمین را تحت تأثیر قرار می دهد و باعث پراکندگی، جذب یا شکست سیگنال GPS می شود و باعث خطایی در حدود ۵ ± متر می گردد و با استفاده از گیرنده های دوفرکانسه یا مدل های یونسفری میزان این خطا را کاهش داد[۶]. از خطا های مهم دیگر خطای تروپسفر می باشد که دومین بخش از جو زمین می باشد و معمولا تا ارتفاع ۷۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد و تأثیر آن با توجه به مقدار بخار آب در بخش های خشک و مرطوب تقسیم بندی می شود اندازهٔ این خطا در سمت الرأس حداکثر تا ۲/۳ ± متر و در حالتی که ماهواره به افق نزدیک می شود حداکثر تا ۲۵ ± متر خواهد رسید و با استفاده از مدل های تروپسفری می‌توان میزان خطا را کاهش داد. خطای چند مسیری هم از خطا هایی است که منبع این خطا بر روی زمین می باشد و باعث می شود تا سیگنال دریافتی از مسیری غیر از مسیر مستقیم بین ماهواره و گیرنده دریافت گردد و برای برخورد با این خطا بهتر است در محیط های شهری یا محیط هایی که سطح انعکاس بالا دارند دوری کنیم یا از گیرنده های مخصوص استفاده نماییم. خطا های دیگر هم مانند خطای ساعت ماهواره که از عدم همزمانی ساعت ماهواره GPS با زمان خود GPS بوجود می آید و با توجه به سرعت انتشار موج GPS که برابر با سرعت نور است، خطای ساعت ماهواره هم

---

[۱] Post-processing

در صورت وجود مقدار زیادی خواهد بود و می‌تواند خطایی در حدود ۳± متر در موقعیت گیرنده ایجاد نماید و به همین منظور ایستگاه های کنترل زمینی وجود دارند که این تصحیحات را حساب کرده و در قالب ضرایب یک چند جمله ای از درجه ۲ از طریق پیام ناوبری به کاربران سیستم مخابره می کنند. خطای دیگر خطای ساعت گیرنده می باشد که بستگی به سخت افزار پردازش کننده دارد و از اختلاف بین ساعت گیرنده و زمان GPS بوجود می آید و می توان با استفاده از روش های تفاضلی یعنی استفاده از دو ماهواره بصورت همزمان بطور کامل حذف نمود. نویز نیز از خطایی است که دارای مقادیر خطای متفاوت برای شبه فاصله کد(۳± متر) و فاز موج حامل (در حد چند میلیمتر) می باشد. خطا های دیگری هم مانند تغییر مرکز فاز آنتن، و خطا هایی که تابع قوانین مکانیک نیوتنی است بر روی سیگنال های GPS تأثیر دارند و این خطا ها در برخی از موارد بسیار کوچک بوده و در موارد بسیار دقیق مورد بررسی قرار می گیرند.

خطاها در سیستم GPS بر حسب معیارهای مختلف دسته بندی می‌شوند[۶] :

۱)خطاهای وابسته به فاصله (یونسفری، تروپسفری، مداری)

۲)خطاهای وابسته به زمان (خطاهای مربوط به ساعت گیرنده، ماهواره)

۳)خطاهای غیر وابسته (چند مسیری، نویز، تغییر مرکز فاز آنتن و...)

۳- تعیین موقعیت تفاضلی

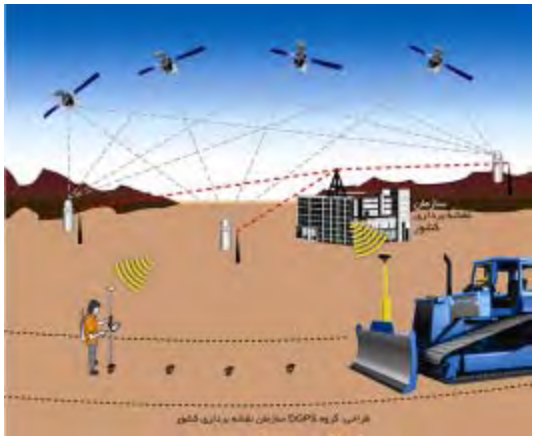
تعیین موقعیت تفاضلی DGPS & RTK اصطلاحی است که برای روش تعیین موقعیت آنی بین حداقل دو گیرنده GNSS می‌باشد. گیرنده‌هایی که به صورت متناوب اطلاعات مخابره شده از بخش ماهواره GNSS را جمع آوری ومحاسبه می‌کنند. حداقل یکی از این گیرنده‌ها دریک ایستگاه باموقعیت معلوم قرارمی‌گیرد (مرجع) در حالی که دیگر گیرنده‌ها در میدان موقعیتی نامشخص قرار گرفته‌اند (متحرک). تصحیحاتی به گیرنده‌های متحرک ابلاغ می‌گردد که این تصحیحات توسط ایستگاه مرجع جمع آوری شده و در غالب فرمتی خاص (RTCM) و از طریق ارتباط رادیویی در اختیار ایستگاه متحرک قرار می‌گیرد و ایستگاه‌های متحرک با استفاده از این تصحیحات می‌توانند با دقتی در حد سانتیمتر تعیین موقعیت انجام دهند.

در این صورت مشاهدات کد و فاز وقتی در حالت تفاضلی بکار می‌روند، می‌توانند در حالت (Real Time) برای تعیین موقعیت سکوهای متحرک، قایق ها، کشتی‌ها و همه وسایل نقلیه در حال حرکت به کار رود. روش دیگر اصلاح اطلاعات از طریق DGPS فرایندی است به نام «پردازش بعدی». این روش برای ثبت دقیق نقاطی که شخص حاضر بوده و مشاهده کرده خوب است اما برای ناوبری جواب نمی‌دهد. در این روش، با استفاده از گیرنده‌هایی که قابلیت ذخیره سازی اطلاعات لازم را داشته باشد اطلاعات ذخیره شده را با استفاده از نرم افزار مناسب تصحیحات لازم را انجام می‌دهیم. استفاده مناسب از تصحیحات DGPS که توسط پردازش بدست آمده در تهیه نقشه قابل استفاده است. رایانه کلیه اطلاعات ذخیره شده مربوط به هر نقطه را بازیابی می‌کند و سپس اطلاعات درست را برای زمان دقیق، موقعیت و ماهواره بدست می‌آورد.

بطورکلی چنانچه درتعیین موقعیت آنی ازمشاهدات شبه فاصله (کد) استفاده گردد، این سیستم را DGPS می نامند و چنانچه از مشاهدات فاز موج حامل استفاده گردد در این صورت DGPS دقیق یا RTK می‌نامند (شکل ۱).

از مزایای روش اندازه گیری DGPS به روش RTK می‌توان به این مورد اشاره کرد:

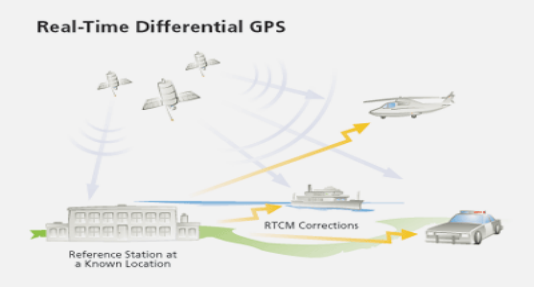
- از آنجایی که طول موجها بسیار بزرگتر می-باشند نیاز به حل ابهام فاز ندارد.
- از معایب روش اندازه گیری DGPS به روش RTK می توان به این مورد اشاره کرد:
- طول موج بلندتر باعث کاهش در دقت خواهد شد.
- طول موج بلند تر باعث افزایش پدیده چند مسیری می شود.



شکل۱- تعیین موقعیت تفاضلی[۱]

۴- تعیین موقعیت آنی DGPS

تعیین موقعیت آنی DGPS نیز یکی از روش‌های تفاضلی تعیین موقعیت می‌باشد که در این روش بیشتر از مشاهدات کد C/A استفاده می‌شود. بنابرین نیاز به رفع ابهام فاز ندارد و چون از مشاهدات کد استفاده می‌نماید دارای دقتی پائین نسبت به روش RTK خواهد بود و یکسری تصحیحات را باید به مشاهدات اضافه نمائیم. دلیل اولیه غیر نظامیان برای استفاده از DGPS این است که بر اثرات منفی خطای عمدی (SA) غلبه نمایند و دقت بیشتری فراهم سازند. چنانچه اطلاعات جمع آوری شده در ایستگاه مرجع و مجهول، آنی پردازش شود و مختصات گیرنده مجهول به صورت آنی بدست آید، بحث تعیین موقعیت آنی تفاضلی پیش می‌آید که آن را بصورت اختصار RT-DGPS می‌نامند که خلاصه (Real Time Differential GPS) می‌باشد[۳].



شکل ۲-تعیین موقعیت آنی DGPS [۲]

فرض اساسی در روش RT-DGPS استفاده از ماهواره-های یکسان تحت شرایط جوی یکسان است و این موضوع میسر نخواهد بود، مگر در صورت نزدیک بودن گیرنده مجهول به گیرنده معلوم. در واقع فرض بر این است که در هر اپک، خطاهای موجود در مشاهدات GPS برای هر ۲ گیرنده یکسان باشد. بنابراین اگر بتوان تصحیحات موقعیت گیرنده معلوم را تحت یک فرمت قابل قبول بدون درنگ برای گیرنده مجهول ارسال نمود، گیرنده متحرک نیز با دقت خوبی تعیین موقعیت خواهد شد.

از این رو عوامل مؤثر بر دقت یک سیستم DGPS به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- نزدیک بودن گیرنده مستقر در ایستگاه مجهول به گیرنده مستقر در ایستگاه معلوم شرط لازم برای استفاده موفق از یک سیستم DGPS است، زیرا افزایش بیش از حد فاصله بین ایستگاه مرجع و گیرنده متحرک از کارایی تصحیحات می‌کاهد[۷].

۲- در سیستم DGPS لزوم مخابره هر چه سریعتر اطلاعات از ایستگاه مرجع به ایستگاه متحرک از عوامل مؤثر بر دقت محسوب می‌گردد.

۳- از سوی دیگر توانایی گیرنده‌های مورد استفاده می‌تواند از عوامل محدود کننده دقت به حساب می‌آید.

بخش های مختلف سیستم DGPS را می توان به ۴ بخش تقسیم کرد:

۱) بخش تولید اطلاعات ۲) بخش ارسال اطلاعات ۳) بخش کنترل و نظارت بر عملکرد سیستم ۴) بخش کاربر

از نکات مهم می‌توان به این توجه داشت که برای ارسال تصحیحات تولید شده از تجهیزات گوناگون استفاده می‌شود که عبارتند از[۵]:

۱) لینک های رادیویی زمینی: در این روش، تصحیحات از طریق ایستگاه‌های مخابراتی زمینی مخابره می‌شوند. مخابره تصحیحات در۳ باند فرکانس پائین، متوسط و بلند امکان پذیر می‌باشد. البته سیستم‌های مخابراتی که با فرکانس بالا کار می‌کنند ارزانتر و در عین حال دارای برد مسافت کوتاه تری نسبت به سیستم‌های مخابراتی که با برد بلندتر و فرکانس پائین‌تر کار می‌کنند.

۲) سلولارفون: این ابزار از سرویس‌های ارتباطی موبایل برای ارسال اطلاعات استفاده می‌کنند. استفاده از این ابزار با هزینه بالا و برای کاربران محدود امکان پذیر است. هر چند این ۲ مورد از مشکلات این سیستم به حساب می-آیند. اما این ابزار دارای پتانسیل بالا و پوشش خوبی از مسافت است و قابلیت ایجاد ارتباط دو طرفه را دارد.

۳) ارتباط ماهواره‌ای: در این روش انتشار تصحیحات از طریق ماهواره صورت می‌گیرد. از مزایای این روش می‌توان به توان ارسال بالا و قابلیت پوشش بسیار وسیع در حد وسعت جهانی اشاره کرد.

۴) اینترنت: ارسال تصحیحات به کاربر می‌تواند از طریق اینترنت صورت پذیرد.

۵- ارزیابی دقت و روش های بهبود دقت DGPS

از جمله روش‌های بهبود دقت یک شبکه تعیین موقعیت آنی DGPS عبارت اند از[۲]:

۱)روش‌های تولید بردار تصحیح

۲)روش‌های تولید تصحیح اسکالر

مؤلفه‌های بردار تصحیح شامل تصحیحاتی برای تأثیر منابع مختلف خطاست در صورتی که مقدار اسکالر تصحیح برای رفع تأثیر منابع مختلف خطا بدون تفکیک آن‌ها و در فضای مشاهدات اعمال می‌شود. روش اول، روش فضای وضعیت و روش دوم، روش فضای مشاهدات نامیده می‌شوند.

به طور کلی روش‌های ایجاد تصحیحات در ۳ فضا صورت می‌گیرد:

۱- تولید تصحیحات در فضای موقعیت: در این روش از مقایسه مختصات معلوم، ایستگاه مرجع با مختصات بدست آمده در همان ایستگاه توسط گیرنده مستقر در آن یکسری تصحیحات به صورت تصحیح مختصاتی بدست می‌آید و به ایستگاه متحرک اعمال می‌شوند و همچنین از این طریق مختصات نهایی گیرنده متحرک محاسبه می‌شود. در اصل در این روش محاسبه و ارسال تصحیحات به صورت مختصات x,y,z که سپس به کاربر GPS اعمال می‌شوند تا محاسبه دقیق تر موقعیت انجام شود.

۲- تولید تصحیحات در فضای مشاهدات: از طریق مقایسه مشاهدات شبه فاصله کد و فاز با مقادیر محاسباتی مربوطه تعیین می‌گردند. این تصحیحات و نوع آن‌ها جهت اعمال به مشاهدات شبه فاصله و کد و فاز در ایستگاه متحرک، به این ایستگاه مخابره و موقعیت ایستگاه متحرک تعیین می‌گردد. در این روش البته قبل از اینکه موقعیت GPS توسط گیرنده محاسبه شود، محاسبه مسافت هم اعمال می‌گردند. در نتیجه این کار به انجام امور ناوبری بسیار دقیق منجر می‌گردد.

۳- تولید تصحیحات در فضای وضعیت: دراین روش سهم منابع مختلف خطا مؤثر بردقت تعیین موقعیت آنی درایستگاه متحرک مستقل محاسبه و در قالب بردار تصحیحات به ایستگاه متحرک مخابره می‌شود.

در روش اول که در آن فقط تصحیحات در مورد مختصات x,y,z منتشر می‌شوند، نسبت به روش دوم اطلاعات کمتری در پیام تصحیح شده نیاز دارد. اما اعتبار این تصحیحات با زیاد شدن فاصله کاربر از ایستگاه مرجع، به سرعت کاهش می‌یابد. به شرطی که هم ایستگاه مرجع و هم ایستگاه متحرک باید از ماهواره های یکسانی در حال استفاده باشند تا تصحیحات معتبری بدست آید. ولی در روش دوم، چون گیرنده‌ای که در ایستگاه مرجع قرار دارد سیگنال را از کلیه ماهواره‌ها بصورت دقیق دریافت می‌کند و هم موقعیت دقیق خود را می‌داند. فاصله واقعی تا هر ماهواره را می‌تواند محاسبه کند و با مقایسه فاصله محاسبه شده، نسبت به فاصله تخمینی، برای هر یک از اندازه گیری‌های تخمین زده شده، تصحیح لازم می‌تواند انجام شود. پس این روش بهترین محاسبات را برای امور ناوبری فراهم می‌سازد[۳].

۶- ایستگاه های تک مرجعی و چند مرجعی

چنانچه ایستگاه‌هایی که تصحیحات را برای کاربران ارسال می‌کنند مستقل از هم عمل کنند، در این صورت یک سیستم تعیین موقعیت آنی تک مرجعی را تشکیل می‌دهند اما اگر این ایستگاه‌های مرجع، دارای ارتباط داخلی با هم نیز باشند، جهت تولید تصحیحات شان چه در حالت برداری وچه در حالت اسکالر و مشاهدات آن‌ها با هم تلفیق شوند در این صورت یک سیستم تعیین موقعیت چند مرجعی DGPS را تشکیل می‌دهند.

۶-۱- سیستم تعیین موقعیت آنی تک مرجعی

در حالتی که برای تصحیحات تعیین موقعیت آنی تنها از یک ایستگاه مرجع استفاده کنیم در این صورت به سیستم تعیین موقعیت آنی تک مرجعی گویند. البته اگر تعداد ایستگاه‌ها زیاد باشند ولی این ایستگاه‌ها مستقل از هم عمل کنند، در این صورت هم سیستم تک مرجعی است. به عبارت دیگر کلمه تک مرجعی در بردارنده مفهوم وجود تنها یک ایستگاه نیست بلکه منظور این است که برای تولید اطلاعات سیستم، داده‌های ایستگاه‌ها جدا از هم در نظر گرفته شده و بکار می‌روند.

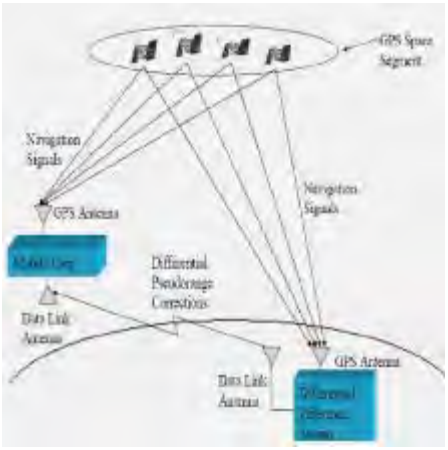
سیستم تک مرجعی با توجه به معیار دقت به سه دسته تقسیم می گردد:

۱)DGPS متداول

۲)DGPS با کد نرم شده با فاز

۳)DGPS دقیق

در این بخش ضمن ارائه توضیحاتی در ارتباط با سیستم DGPS تک مرجعی، مشکلات و محدودیت‌های آن نیز بیان می‌شوند (شکل ۳).



شکل ۳- سیستم تعیین موقعیت آنی تک مرجعی

۶-۲- سیستم تعیین موقعیت DGPS چندمرجعی

بعضی از خطاهایی که وابسته به فاصله است با افزایش فاصله از ایستگاه مرجع بیشتر می‌شوند. علت این امر هم تغییر شرایط با افزایش فاصله بین دو ایستگاه مرجع وکاربر می‌باشد. اگر برای پوشش مناطق وسیع بخواهیم از این سیستم استفاده کنیم، باید ایستگاه‌های مرجع منفرد زیادی را پیاده و راه اندازی کنیم. بنابراین سیستم DGPS برای مقاصد نقشه برداری دقیق نیازمند چندین ایستگاه مرجع می‌باشد که به سیستم تعیین موقعیت چند مرجعی معروف است. در این روش اطلاعات مربوط به هر ایستگاه به یک مرکز محاسبه و پردازش ارسال می‌گردد. این اطلاعات جمع آوری شده در این مرکز همراه با هم برای تولید اطلاعات سرویس سیستم برای کل منطقه تحت پوشش بکار می‌رود. این شیوه منجر به دستیابی به دقت بالاتر با پراکندگی کمتر ایستگاه‌های مرجع و پوشش بیشتر می‌شود. از سیستم‌های چند مرجعی می توان به شبکه ایجاد شده در امریکا به نام WAAS اشاره نمود [۴].

تعداد N ایستگاه مرجع را در نظر می‌گیریم. نماد n برای ایستگاه مرجع اصلی انتخاب شده است. نماد i نیز برای ایستگاه دلخواه از ایستگاه‌های مرجع بکار برده می‌شود. مشاهدات تفاضلی مرتبه اول بین گیرنده را، میان هر یک از ایستگاه‌های مرجع و ایستگاه اصلی مرجع، در اپک t_0 برای مشاهدات کد و یک ماهواره دلخواه تشکیل می‌دهیم[۲]:

برای شبکه ای با n ایستگاه مرجع مدل خطی به شکل زیر توصیف می‌شود:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{1n} \\ V_{2n} \\ \vdots \\ V_{n-1n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{1n} & \Delta Y_{1n} \\ \Delta X_{2n} & \Delta Y_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_{n-1n} & \Delta Y_{n-1n} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

ΔX , ΔY اختلاف مختصات‌های افقی بین ایستگاه مرجع و ایستگاه مرجع اصلی n می باشد (مختصات افقی، عرض و طول جغرافیایی نیز می‌توانند باشند). از این مدل تحت عنوان، انترپولاسیون در حوزه طول و عرض جغرافیایی (LIMxy) یاد می‌شود.

ضرایبa,b مدل‌های خطی هستند که برآورد می‌شوند و به عنوان ضرایب تصحیح شبکه، برای مشاهدات ایستگاه کاربر ارسال می‌شوند. به دلیل بالا بودن سطح نویز در مشاهدات، کد تنها به تشکیل مشاهدات تفاضلی مرتبه اول بسنده می شود[۲].

۷- روش مدل ترکیبی خطی

همان طور که در بخش های قبل اشاره شد از عوامل کاهش دقت و اعتبار تصحیحات بدست آمده، افزایش فاصله و همچنین اختلاف ارتفاع میان ایستگاه مجهول و ایستگاه مرجع است. در بیشتر مدل ها بیشتر به فاصله دو ایستگاه مرجع و مجهول توجه می شود اما لازم است اختلاف ارتفاع بین دو ایستگاه به دلیل تأثیر زیاد خطای تروپسفر نیز مورد توجه قرار گیرد. بنابراین اگر چنانچه دو ایستگاه مرجع و مجهول با هم دارای اختلاف ارفاع زیادی باشند باعث می شود که تأثیر خطای تروپسفر زیاد شود و همین امر سبب گردد که موقعیت ایستگاه متحرک (مجهول) دارای دقت قابل قبول نباشد البته از عوامل قابل تأمل دیگر تأخیر در ارسال تصحیحات است که این تأخیر هم به فاصله دو ایستگاه مرجع و مجهول وابسته است همچنین اگر فاصله بیشتر شود چون شرایط جوی بین ایستگاه ها متفاوت خواهد شد همین امر نیز سبب می شود که دقت تصحیحاتی که در اختیار ایستگاه مجهول قرار می گیرد کاهش یابد به همین منظور لازم است که از مدل ترکیبی خطی که در آن موقعیت ایستگاه مجهول و مرجع هم از لحاظ اختلاف مختصات مسطحاتی و اختلاف ارتفاع مورد توجه است برای پردازش استفاده شود. به همین منظور برای کنترل اثرات نامطلوب اختلاف ارتفاع،

علاوه بر مؤلفه های افقی، مؤلفه های ارتفاع ژئودتیکی نیز به مدل اضافه شد (LCMxyh) .

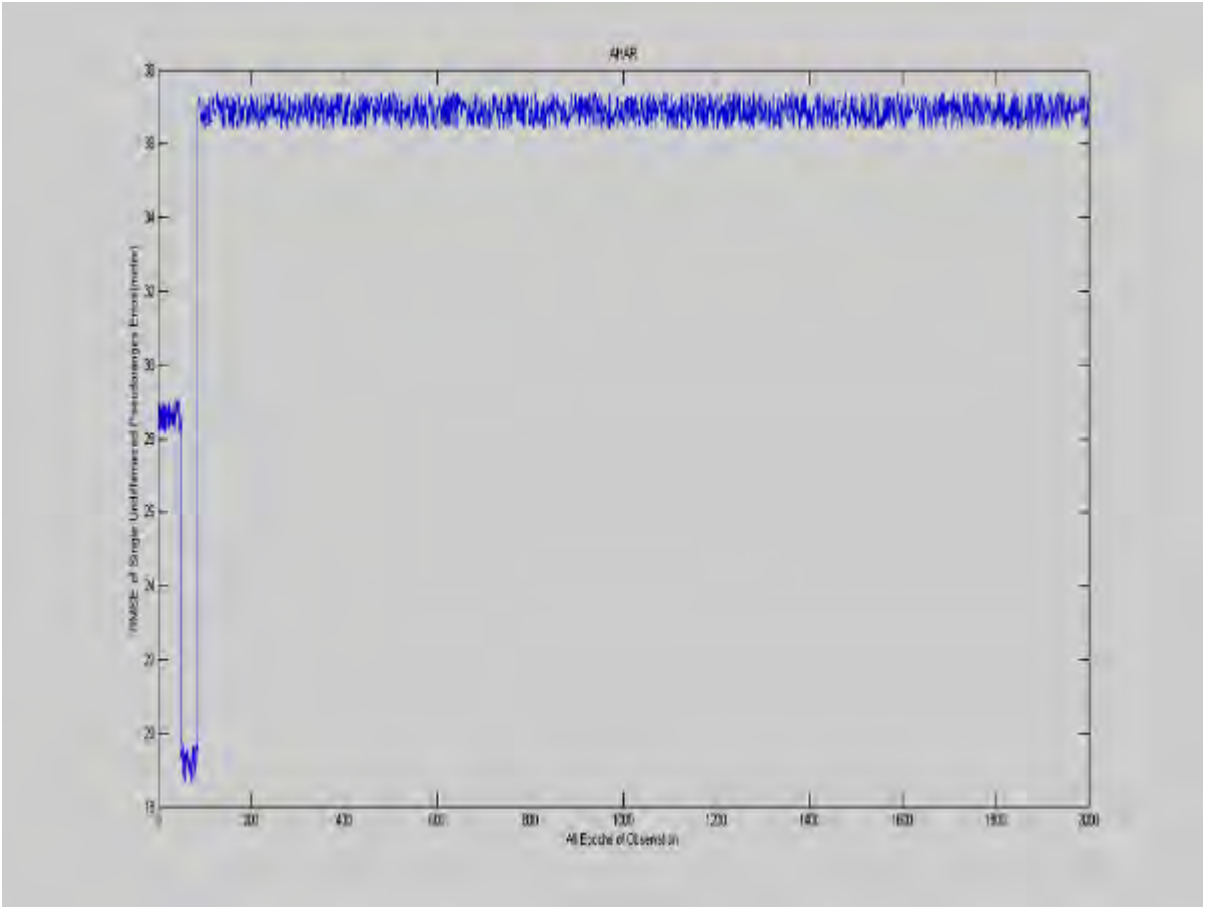
فرم ماتریسی این مدل بعد از محاسبه تصحیحات به این صورت است :

$$\begin{bmatrix}\alpha_1\\ \alpha_2\\ \vdots\\ \alpha_n\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1 & 1 & \cdots & 1 & 1\\ \Delta X_{1n} & \Delta X_{2n} & \cdots & \Delta X_{n-1n} & 0\\ \Delta Y_{1n} & \Delta Y_{2n} & \cdots & \Delta Y_{n-1n} & 0\\ \Delta h_{1n} & \Delta h_{2n} & \cdots & \Delta h_{n-1n} & 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1\\ \Delta X_{un}\\ \Delta Y_{un}\\ \Delta h_{un}\end{bmatrix} \quad (۲)$$

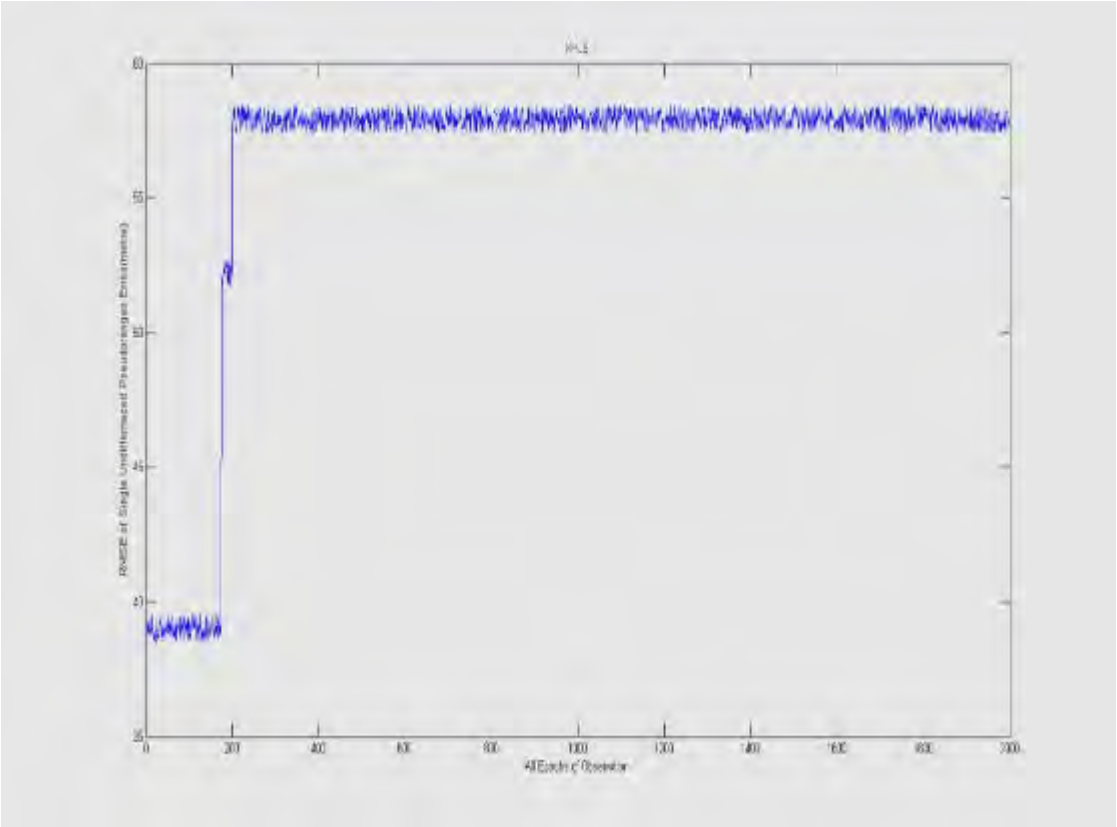
به منظور بررسی تأثیر ایستگاه های نزدیک و دور بر روی ایستگاه مجهول از داده های ۴ ایستگاه واقع در شمالغرب کشور به نام های اهر، اسکو، خواجه و ترکمنچای استفاده کردیم و برای پردازش چون ایستگاه خواجه تقریبا در وسط قرار داشت به عنوان مجهول در نظر گرفتیم و تأثیر سایر ایستگاه ها را روی این ایستگاه درحالت تک مرجعی و چند مرجعی و همچنین با استفاده از مدل ترکیب خطی بررسی کردیم که نتایج بدست آمده از پردازش در شکل های پایین نشان می دهد که ایستگاه های مرجعی که در نزدیکی ایستگاه مجهول قرار دارند دارای دقت بهتری نسبت به سایر موارد هستند.

۸-نتایج

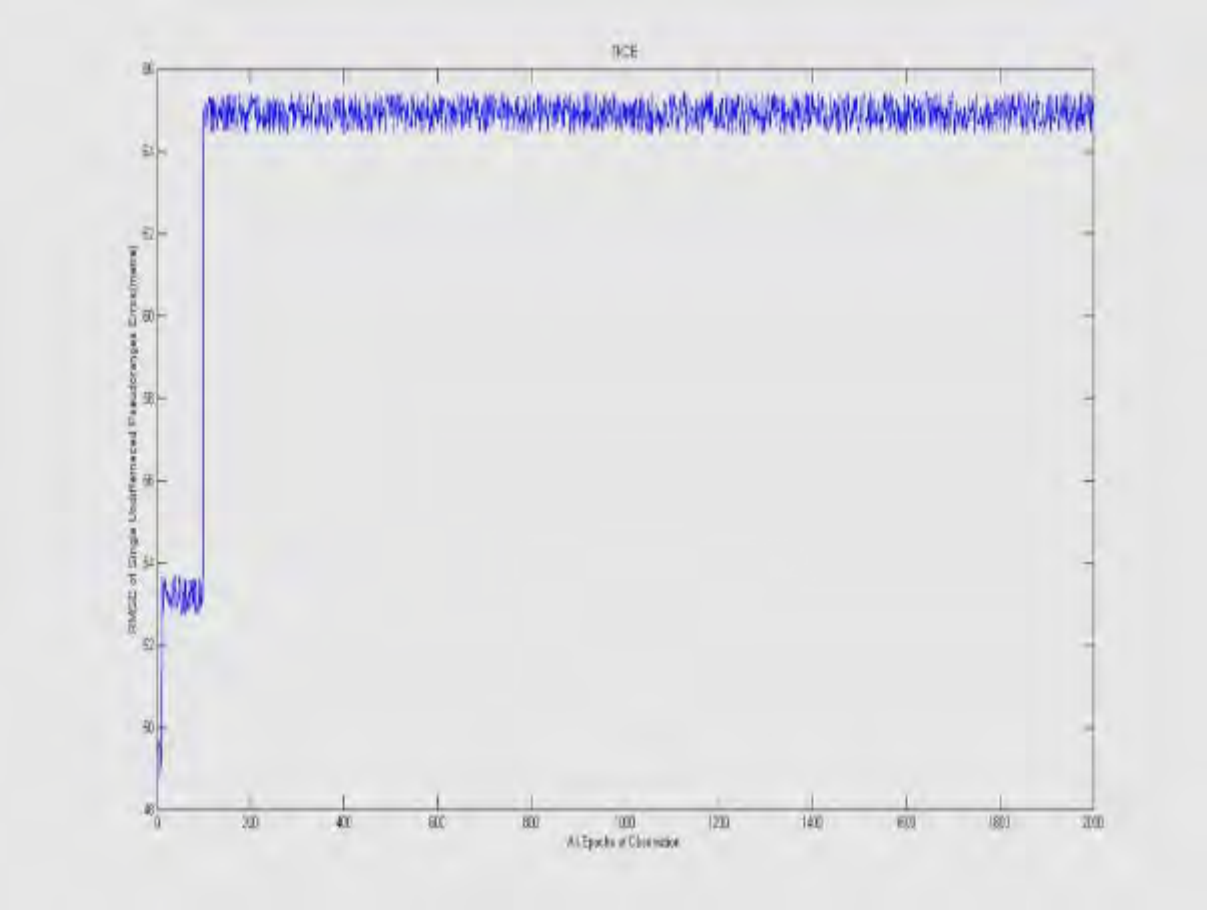
با استفاده از ۴ ایستگاه دائم ترکمنچای، خواجه، اهر، اسکو روش تعیین موقعیت نسبی برآورد شده است. در پردازش از نرم افزار علمی و دقیق BERNESE و پارمترهای دوارنی زمین IGS استفاده شده است. نتایج حاصل از روش تک مرجعی با ۲۰۰۰ اپک در شکل‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده است.



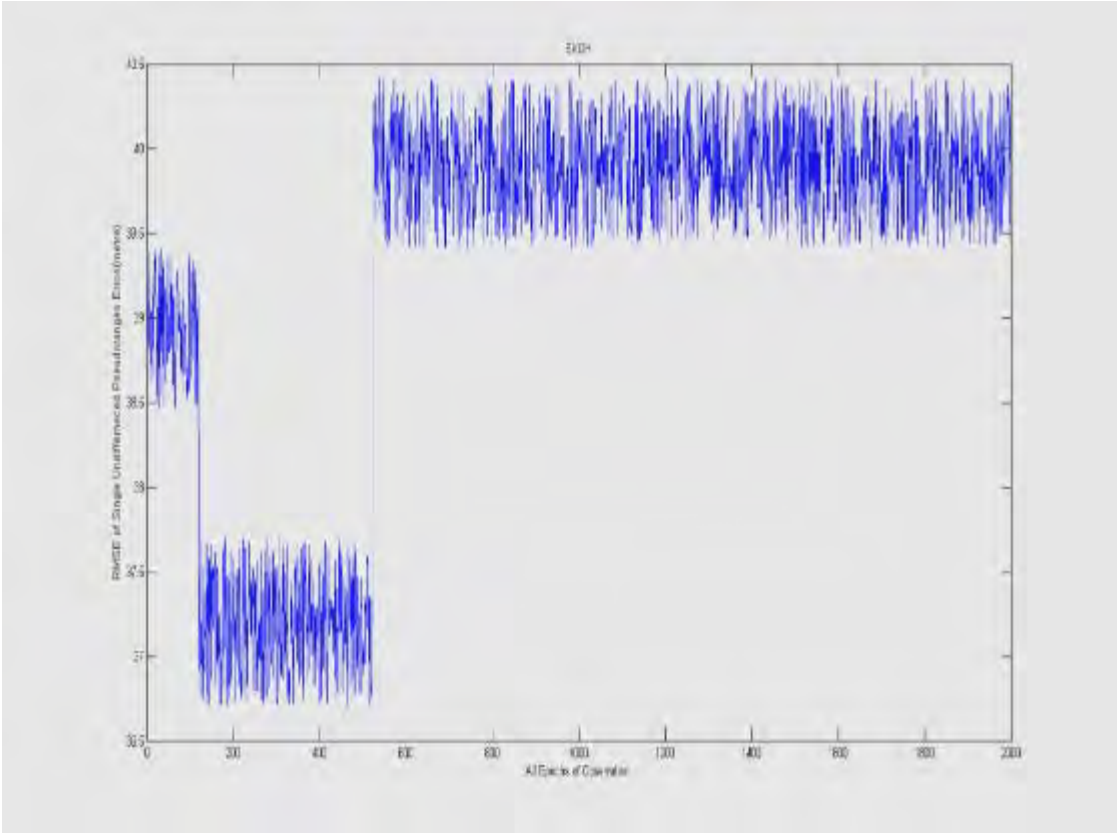
شکل ۵- روش تک مرجعی برای ایستگاه اهر



شکل ۶- روش تک مرجعی برای ایستگاه خواجه

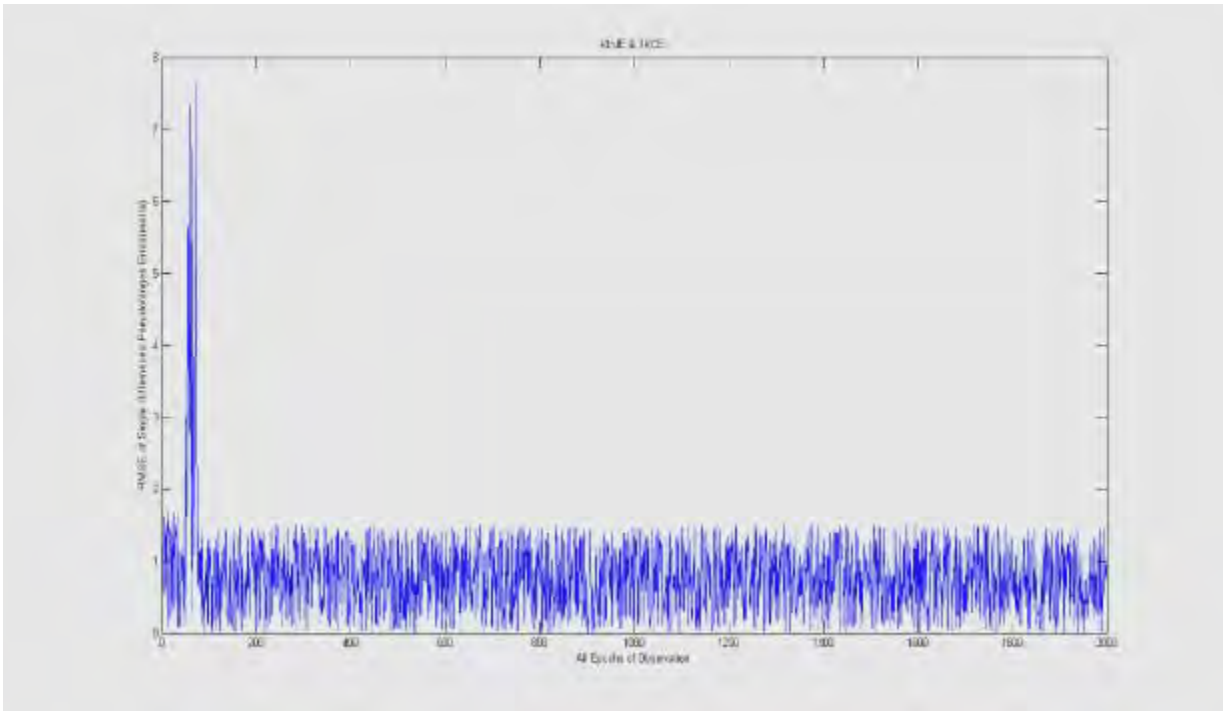


شکل ۷- روش تک مرجعی برای ایستگاه ترکمنچای

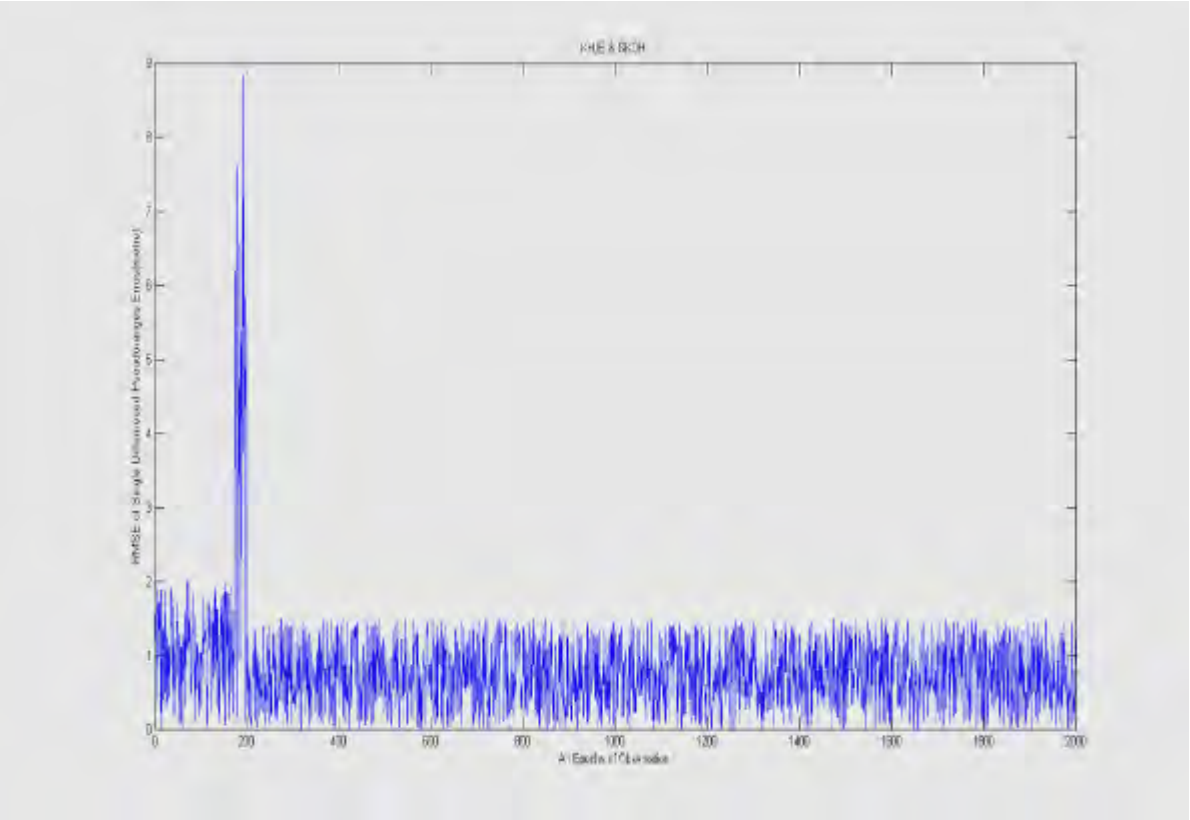


شکل ۸- روش تک مرجعی برای ایستگاه اسکو

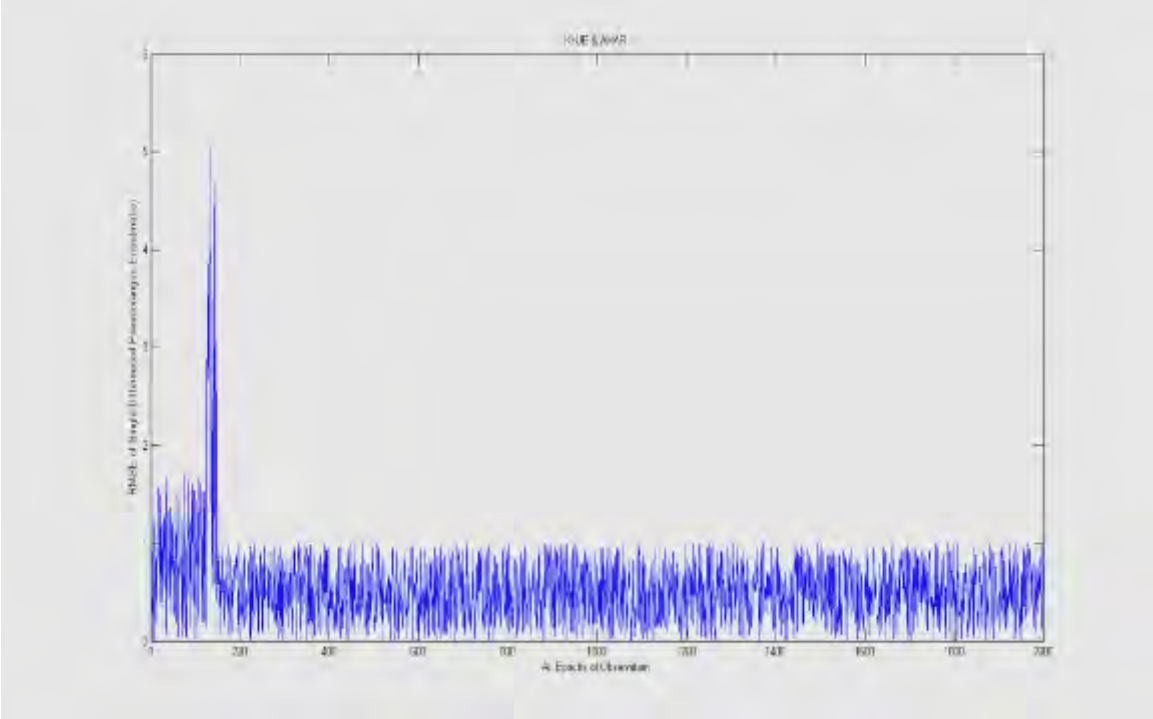
نتایج حاصل از روش چند مرجعی برای ۲۰۰۰ اپک در شکل‌های ۹ تا ۱۲ آورده شده است. در این روش کاهش محسوس خطا را مشاهده می‌کنیم که با کاهش فاصله دقت ما نیز افزایش می‌یابد. برای درک بهتر تأثیر ایستگاه های دور و نزدیک پردازش را در چند حالت بررسی نمودیم که در شکل های پایین نمایش داده شده است.



شکل ۹- روش چند مرجعی برای ایستگاه خواجه و ترکمنچای



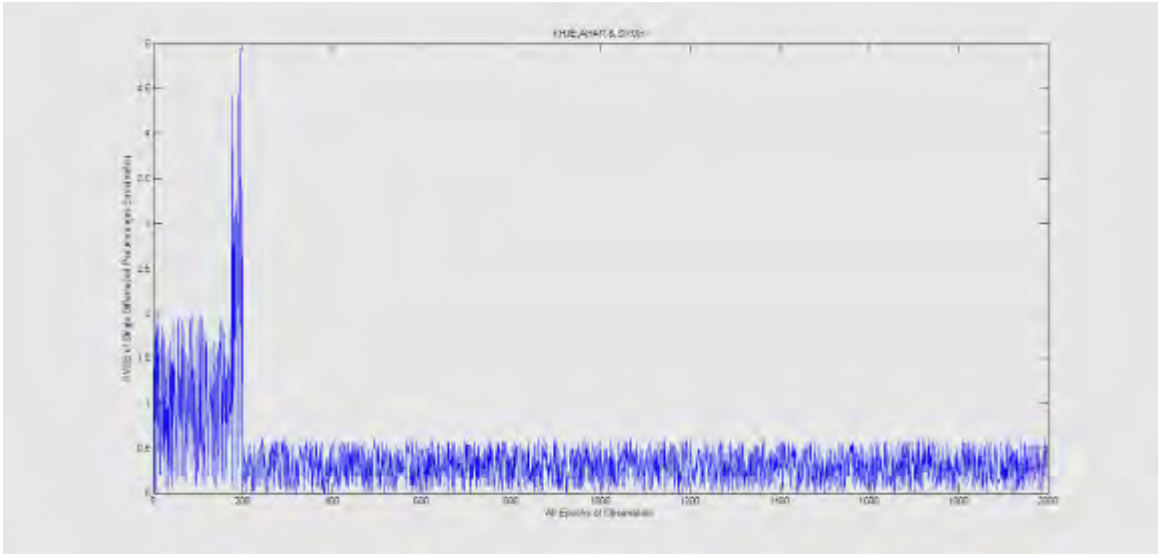
شکل ۱۰- روش چند مرجعی برای ایستگاه خواجه و اسکو



شکل ۱۱- روش چند مرجعی برای ایستگاه خواجه و اهر

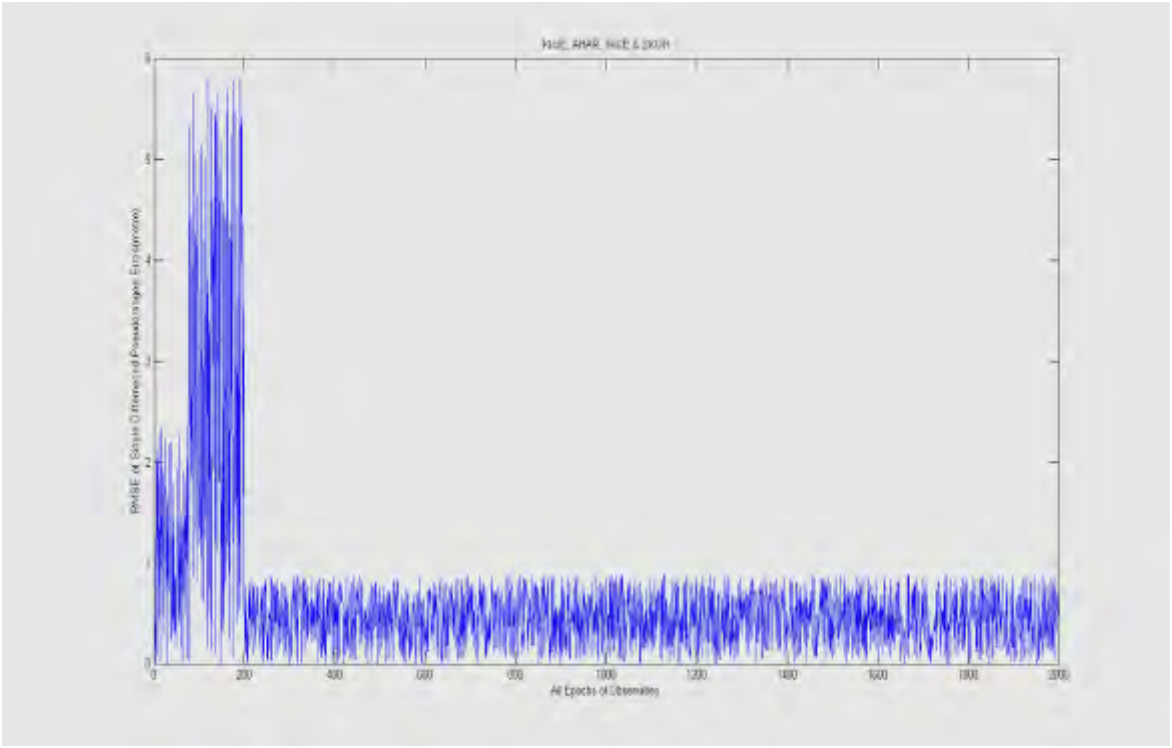
از پردازش ایستگاه ها در حالت های مختلف چند مرجعی که در بالا نمایش داده شده است با توجه به بهبود زیاد دقت نتیجه می گیریم که کمترین دقت برای حالتی است که داده های ایستگاه ترکمنچای در آن استفاده شده است دارا می باشد و آن هم به دلیل اختلاف مختصات زیاد این ایستگاه هم در جهت مسطحاتی(x,y) و هم در جهت ارتفاعی (z) با ایستگاه مجهول است و در مقابل بهترین نتیجه زمانی حاصل می شود که دو ایستگاه مجهول و مرجع به هم

نزدیک باشند. به همین منظور چون در حالت مدل ترکیبی خطی هدف اصلی حذف ایستگاه هایی است که دقت ما را پایین می آورد است به همین جهت ایستگاه ترکمنچای را که دارای اختلاف مختصات زیاد است در مدل ترکیبی خطی حذف کرده و از داده های این ایستگاه استفاده نکردیم که نتیجه این حالت نیز در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲-روش مدل ترکیبی خطی برای ایستگاه خواجه، اهر و اسکو

در روش چند مرجعی استفاده شده برای ایستگاه‌های خواجه، اهر و اسکو که از مدل ترکیبی خطی استفاده نمودیم به دقت‌های بهتر از ۵۰ سانتی متر می‌رسیم و این بهترین دقت در بین تمام حالت های قبلی است. بنابراین در سیستم DGPS باید توجه داشت که با وجود اینکه تعداد ایستگاه های مرجع هم زیاد باشد از ایستگاه هایی استفاده شود که دقت تعیین موقعیت را پایین نیاورد. برای درک بهتر این موضوع یک بار هم پردازش را با وجود تمام ایستگاه ها پردازش کردیم که در شکل ۱۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱۳- روش چند مرجعی برای ایستگاه خواجه، اهر، اسکو و ترکمنچای

با نگاه به شکل حاصل از پردازش تمام ایستگاه های اهر، خواجه، اسکو و ترکمنچای با وجود این که تعداد ایستگاه های ما از حالت مدل ترکیبی خطی بیشتر است ولی به دلیل اختلاف زیاد مختصات ایستگاه ها دقت ما پایین می آید. پس می توان نتیجه گرفت که برای بالا بردن دقت لازم است که تا حد امکان ایستگاه ها به هم دیگر نزدیک باشند و ایستگاه هایی که در فاصله زیادی از ایستگاه مجهول قرار دارند در پردازش هایی که نیاز به دقت زیادی دارند حذف شوند، که این همان استفاده از مدل ترکیبی خطی است.

مختصات نهایی ایستگاه‌ها با استفاده از روش چند مرجعی با استفاده از مدل ترکیبی خطی به صورت جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مختصات ایستگاه‌های پردازش شده

ایستگاه/ مختصات	X	Y	Z
خواجه	۳۴۵۱۶۸۰,۳۴۵۹	۳۶۴۹۴۹۳,۳۲۳۰	۳۹۱۹۶۳۵,۶۵۴۷
اهر	۳۴۰۷۷۳۰,۶۹۷۱	۳۶۶۰۶۹۸,۹۲۰۱	۳۹۴۷۱۰۹,۴۳۳۰
اسکو	۳۴۹۲۱۱۰,۰۶۲۶	۳۶۳۱۷۴۶,۱۰۹۱	۳۹۰۰۶۱۸,۲۳۰۹
ترکمنچای	۳۴۲۷۰۳۹,۲۸۴۶	۳۷۲۵۹۳۵,۶۰۳۵	۳۸۶۹۵۴۶,۵۹۴۰

۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این گزارش با توجه به این موضوع که تعیین موقعیت مطلق آنی دارای خطای بیشتری است و این روش نمی‌تواند برای برخی کاربردها، به خصوص نقشه-برداری و ژئودزی مورد استفاده قرار گیرد، به همین دلیل روش‌های تفاضلی که بدلیل حذف برخی از خطاها و دریافت یکسری تصحیحات از ایستگاه‌های ثابت (مرجع) که در فرمتی خاص (RTCM) به ایستگاه‌های متحرک ارسال می‌شوند و دارای دقت‌های خوبی می‌باشند مطرح می شوند. در تعیین موقعیت آنی تفاضلی اگر از ایستگاه-های تک مرجعی استفاده شود، به دلیل برخی از مشکلات از قبیل پائین بودن سطح نویز و چند مسیری در مشاهدات و یا برخی از خطاها که وابسته به زمان هستند و تأخیر در ارسال تصحیحات با افزایش فاصله از ایستگاه-های مرجع یا خطاهایی که وابسته به فاصله هستند، باعث کاهش دقت می‌شوند. بنابراین برای غلبه براین مشکلات سیستم‌های چند مرجعی مطرح می‌شوند تا تصحیحات با دقت زیاد و سریع تر در اختیار کاربران قرار گیرد. به همین منظور در این پژوهش حالت های تک مرجعی و چند مرجعی مورد پردازش قرار گرفت و مشاهده کردیم که در حالت های تک مرجعی دقت ما بسیار پایین و برای حالت های چند مرجعی دقت بهتر از دو متر است و حتی در حالتی که بیشترین تعداد ایستگاه ها مورد پردازش قرار گرفت دقت ما بهتر از یک متر نیز می شود اما بهترین دقت برای مدل ترکیبی خطی است که دقت ما بهتر از ۰,۵ متر است و دلیل این بهبود دقت در مدل ترکیبی حذف ایستگاهی است که دارای اختلاف مختصات زیاد است می باشد پس لازم است در منطقه ای که از سیستم DGPS استفاده می شود بهتر است از مدل ترکیبی خطی که در آن موقعیت ایستگاه های مرجع هم از لحاظ(x,y) و هم از لحاظ اختلاف ارتفاع(z) در نظر گرفته می شود مورد استفاده قرار بگیرد. تا با استفاده از حذف اطلاعات ایستگاه هایی که در فاصله بیشتری قرار دارند دقت ما نیز افزایش یابد و تعیین موقعیتی دقیق تر برای سیستم DGPS داشته باشیم و با استفاده از این دقت خوب در برخی از کارهای نقشه برداری که نیاز به دقت در حد سانتیمر است استفاده نمود تا هم با استفاده از این سیستم هم هزینه های زیاد نقشه برداری زمینی و هم زمان جمع آوری داده ها کاهش یابد و همچنین با استفاده از این سیستم هدایت کشتی‌ها، هواپیماها و یا هر چیز متحرک که نیاز به تعیین موقعیت دارد مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

[۱] سایت سازمان نقشه برداری کشور، www.ncc.org.ir.

[۲] نجات، د.، وثوقی، ب. روش‌های تولید تصحیح و بهبود دقت در سیستم تعیین موقعیت آنی،نشریه‌ی فنی دانشگاه تبریز، زمستان ۱۳۸۷.

[۳] جمور، ی. ارزیابی یک سیستم تعیین موقعیت آنی DGPS براساس مشاهده کد C/A، گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه تهران، ایران، ۱۳۷۸.

[۴] مشهدی، ح. ژئودزی ماهواره ای، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، ۱۳۸۷.

[5] Fırat Ergun and Trevor Schwartz. NCC GNSS RTK Network Accuracy Analysis, November 2010.

[6] Seeber G, Satellite geodesy: foundations, methods and applications, Walter de Gruyter.Berlin.New york_2003.

[7] D .Kim , UNB RTK System ,University of New Brunswick ,10/8/2003.