دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدّین طوسی
دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی ژئودزی

تحقیقی بر دقت های قابل حصول در تعیین موقعیت DGPS بر اساس روش ایستگاه های مرجع مجازی

استاد راهنما

دکتر بهزاد وثوقی

استاد مشاور

دکتر مسعود مشهدی حسینعلی

نگارش

حامد برهانی ایرائی

شهریور ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

پشتیبانان همیشگی زندگی من

تقدیر و تشکر

خدای منان را شاکرم که مرا در پیمودن مسیر کسب علم و دانش بار دیگر یاری نمود و امید و مهربانیش را همچون همیشه بر من ارزانی داشت.

همچنین مراتب تشکر و سپاس خود را از اساتید گرانقدرم جناب آقای دکتر بهزاد وثوقی و جناب آقای دکتر مسعود مشهدی حسینعلی ابراز نموده و از خدای متعال موفقیت‌های پی در پی آنها را در صحنه های مختلف زندگی خواستارم.

در آخر برخود لازم می‌دانم که از زحمات تمامی‌دوستان عزیزم که مرا در رسیدن به این مهم، یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

یکی از رایج ترین روش‌ها جهت امور ناوبری دقیق و اهداف نقشه‌برداری کینماتیک استفاده از تکنیک تعیین موقعیت آنی می‌باشد. با بکارگیری این روش می‌توان در فواصل کمتر از ۱۰ کیلومتر به دقتی در حدود سانتی‌متر دست یافت. اما از آنجایی که مقدار خطاهای وابسته به فاصله، بسته به موقعیت گیرنده متحرک تغییر می‌کنند، لذا هرچه فاصله میان ایستگاه مرجع و گیرنده متحرک بیشتر باشد اختلاف خطای سیستماتیک آنها نیز بیشتر خواهد شد و به همان میزان تصحیحات ارسال شده برای گیرنده متحرک اعتبار خود را از دست می‌دهند تا جایی که اگر فاصله بین ایستگاه مرجع و گیرنده متحرک بیش از ۱۰ کیلومتر شود دقت آن به حد دسی متر کاهش می‌یابد، لذا نمی‌توان از این تکنیک در مناطق با وسعت زیاد استفاده نمود. در حال حاضر برای تعیین موقعیت در مناطق با وسعت زیاد از شبکه هایی با عنوان شبکه ایستگاه های چند مرجعی استفاده می‌شود که دقت آنها از دسی متر تجاوز نمی‌کند. برای افزایش دقت می‌بایست ایستگاه های مرجع بیشتری ایجاد شود که البته این امر مستلزم صرف هزینه و زمان بسیاری می‌باشد. برای رفع این نقیصه می‌توان با استفاده روش ایستگاه مرجع مجازی، در نزدیکی گیرنده متحرک ایستگاه مرجعی به صورت محاسباتی ایجاد نمود و دقت تعیین موقعیت را تا حد سانتی متر بهبود بخشید. این تحقیق به بررسی دقت حاصل از روش ایستگاه مرجع مجازی در فواصل مختلف پرداخته است. نتیجه کلی بدست آمده از این تحقیق بیان می‌کند که با استفاده از روش ایستگاه مرجع مجازی در شبکه هایی با میانگین ابعاد ۱۰۰ کیلومتر در سطح اطمینان ٪۹۵ با دقت ۱۵میلیمتر، ۱۹ میلیمتر و ۱۹ میلیمتر به ترتیب در جهت محورهای X، Y و Z تعیین موقعیت نمود.

کلمات کلیدی: تعیین موقعیت آنی، ایستگاه مرجع مجازی، VRS، RTK، DGPS، WADGPS

فهرست مطالب

چکیده ----------أ
فهرست مطالب ---------- ب
فهرست جداول ----------ج
فهرست اشکال ----------ح

فصل اول: مقدمه ---------- ۱
۱-۱- تعریف مساله ---------- ۱
۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده ---------- ۴
۱-۳- مروری بر رئوس مطالب ---------- ۷

فصل دوم: سیستم تعیین موقعیت تک مرجعیDGPS ---------- ۱۰
۲-۱- خطاهای موجود در سیستم GPS---------- ۱۲
۲-۲- تصحیحات ارسالی در سیستم DGPS ---------- ۱۳
۲-۲-۱- تصحیحات در فضای موقعیت---------- ۱۴
۲-۲-۲- تصحیحات در فضای مشاهدات ---------- ۱۴
۲-۲-۳- تصحیحات در فضای وضعیت ---------- ۱۵
۲-۳- دستهبندی سیستم DGPS بر اساس معیار دقت---------- ۱۵
۲-۳-۱- سیستم DGPS متداول: ---------- ۱۵
۲-۳-۲- سیستم DGPS با کدهای نرم شده با فاز: ---------- ۱۸
۲-۳-۳- سیستم تعیین موقعیت آنی RTK (PDGPS): ---------- ۲۰
۲-۴- فرمت اطلاعات DGPS و روشهای ارسال آنها ---------- ۲۵
۲-۴-۱- فرمت NMEA ---------- ۲۵
۲-۴-۲- فرمت ۱۰۴ RTCM SC ---------- ۲۵
۲-۴-۳- فرمت اطلاعاتی RTCA ---------- ۲۷
۲-۵- لینکهای ارتباطی در سیستم DGPS ---------- ۲۸
۲-۵-۱- لینکهای رادیویی زمینی ---------- ۲۸

۲-۵-۲- سلولارفون ---------- ۲۹
۲-۵-۳- ارتباط ماهوارهای ---------- ۳۰
۲-۵-۴- اینترنت ---------- ۳۰

فصل سوم: سیستم تعیین موقعیت چند مرجعی WADGPS ---------- ۳۲
۳-۱- الگوریتم های فضای وضعیت ---------- ۳۴
۳-۲- الگوریتمهای فضای مشاهدات ---------- ۳۶
۳-۳- اجزای اصلی WADGPS ---------- ۳۷
۳-۴- هدف از برقراری سیستم WADGPS ---------- ۳۸
۳-۵- ایجاد مدل تصحیحات منطقه (ACP) ---------- ۳۸
۳-۶- نمونههایی از سیستم WADGPS در دنیا ---------- ۴۰

فصل چهارم: سیستم ایستگاه مرجع مجازی (VRS) ---------- ۴۳
۴-۱- ساختار سیستم ایستگاه مرجع مجازی ---------- ۴۵
۴-۲- وظایف ایستگاه کنترل مرکزی ---------- ۴۹
۴-۲-۱- نرم افزار کنترل مرکزی GPS-Network ---------- ۵۰
۴-۲-۲- سطوح مختلف نرم افزار GPS-Network ---------- ۵۱
۴-۲-۳- Web Server ---------- ۵۲
۴-۳- الگوریتم ایجاد مشاهدات ایستگاه مرجع مجازی ---------- ۵۲
۴-۳-۱- الگوریتم تولید تصحیحات تفاضلی دو گانه برای ایستگاه های مرجع اصلی ---------- ۵۳
۴-۳-۲- الگوریتم ایجاد مشاهدات ایستگاه مرجع مجازی ---------- ۵۷
۴-۴- مقایسه روش RTK با VRS ---------- ۵۹
۴-۵- وسعت کاربرد روش VRS ---------- ۶۲
۴-۵-۱- استفاده از VRS در هیدروگرافی ---------- ۶۳
۴-۵-۲- استفاده از VRS در فتوگرامتری ---------- ۶۴
۴-۵-۳- کاربرد VRS در حمل و نقل ---------- ۶۶
۴-۶- دقت حاصل از تعیین موقعیت روش VRS و فاکتورهای موثر بر آن ---------- ۶۷
۴-۶-۱- طول خط پایه ---------- ۶۸
۴-۶-۲- موقعیت ایستگاه متحرک ---------- ۶۹
۴-۶-۳- تعداد ماهوارهها و DOP ---------- ۷۰
۴-۶-۴- تاثیر تعداد اپوک بر روی دقت حاصل در روش VRS ---------- ۷۲

۴-۶-۵- تاثیر تجهیزات مختلف گیرنده بر روی دقت روش VRS---------- ۷۲
۴-۶-۶- تاثیر موانع اطراف گیرنده بر روی دقت روش VRS ---------- ۷۳
۴-۷- نمونه هایی از سیستم ایستگاه مرجع مجازی در سطح دنیا ---------- ۷۴

فصل پنجم: پیاده سازی و ارزیابی نتایج عددی---------- ۷۸
۵-۱- شبکه دائم GPS و ژئودینامیک سراسری ایران ---------- ۷۸
۵-۲- شبکه مورد مطالعه جهت انجام محاسبات عددی روش ایستگاه مرجع مجازی---------- ۷۹
۵-۳- کارآمدی مشاهدات ایستگاه مرجع مجازی به جای ایستگاه اصلی---------- ۸۱
۵-۳-۱- تست تطابق مشاهدات VRS در شبکهای با ابعاد ۷۶km ---------- ۸۲
۵-۳-۲- تست تطابق مشاهدات VRS در شبکهای با ابعاد ۱۰۲km---------- ۸۷
۵-۳-۳- تست تطابق مشاهدات VRS در شبکهای با ابعاد ۱۲۶km ---------- ۹۰
۶-۳-۳- تست تطابق مشاهدات VRS در شبکهای با ابعاد ۱۴۴km ---------- ۹۳
۵-۴- ارزیابی دقت روش ایستگاه مرجع مجازی---------- ۹۶
۵-۴-۱- دقت روش VRS در شبکهای با ابعاد ۷۶km---------- ۹۶
۵-۴-۲- دقت روش VRS در شبکهای با ابعاد ۱۰۲km ----------۱۰۸
۵-۴-۳- دقت روش VRS در شبکهای با ابعاد ۱۲۶km ----------۱۱۹

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات----------۱۲۸

منابع و مراجع ----------۱۳۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱: ساختار فرمت RTCM..... ۲۶
جدول ۲-۲: زیر پیام های فرمت RTCM ۳.۰..... ۲۷
جدول ۳-۱: میزان تاثیر نسبی خطاهای GPS ۳۴
جدول ۳-۲: مدل های برآورد خطا در سرویس DGPS آلمان (SAPOS)..... ۳۵
جدول ۴-۱: تعدای از شبکه ایستگاه مرجع مجازی ۴۵
جدول ۴-۲: تاثیر تعداد اپوک ها ی استفاده شده برای مشاهدات بر روی دقت روش VRS ۷۲
جدول ۴-۳: دقت و زمان توجیه ابهام فاز برای تجهیزات مختلف در روش VRS..... ۷۳
جدول ۵-۱: اسامی و نام اختصاری ایستگاه های استفاده شده برای محاسبات عددی ۸۰
جدول ۵-۲: نتایج حاصل از مشاهدات ۱۰ روز متوالی (۸۹/۸/۲۵ الی ۸۹/۹/۴) شبکه مطالعاتی اول شامل ایستگاه‌های ثابت TEHN، SHOR و CHSM و ایستگاه چک VRMN ۱۰۶
جدول ۵-۳: متوسط دقت بر اساس داده های ۱۰ روزه شبکه ایستگاه های CHSM، SHOR، TEHN و VRMN..... ۱۰۶
جدول ۵-۴: نتایج حاصل از مشاهدات ۱۰ روز متوالی (۸۹/۸/۲۵ الی ۸۹/۹/۴) شبکه مطالعاتی اول شامل ایستگاه‌های ثابت BLDH، HSGD و VRMN و ایستگاه چک TEHN..... ۱۱۷
جدول ۵-۵: متوسط دقت بر اساس داده های ۱۰ روزه شبکه ایستگاه های BLDH، HSGD، VRMN و TEHN..... ۱۱۷
جدول ۵-۶: نتایج حاصل از مشاهدات ۱۰ روز متوالی (۸۹/۸/۲۵ الی ۸۹/۹/۴) شبکه مطالعاتی اول شامل ایستگاه‌های ثابت MABD، TEHN و TKBN و ایستگاه چک POOL ۱۲۵
جدول ۵-۷: متوسط دقت بر اساس داده های ۱۰ روزه شبکه ایستگاه های MABD، TEHN، TKBN و POOL ۱۲۵

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: اجزای سیستم DGPS ---------- ۱۲
شکل ۲-۲: پتانسیل دقت حاصل از روشهای مختلف DGPS [۱]---------- ۲۱
شکل ۳-۱: بخش های مختلف سیستم GPS منطقه پهناور[۱]---------- ۳۲
شکل ۳-۲: برازش صفحه تصحیحات بر روی مقادیر باقیمانده در شبکه ایستگاه های مرجع ---------- ۳۹
شکل ۳-۳: مناطق تحت پوشش سرویس های WADGPS به همراه سرویس GAGAN هند---------- ۴۱
شکل ۴-۱: نحوه دریافت پیوسته مشاهدات ایستگاه های مرجع توسط کنترل مر کزی[۴] ----------۴۶
شکل ۴-۲: ارسال مختصات تقریبی گیرنده متحرک به ایستگاه کنترل مرکزی [۴] ---------- ۴۷
شکل ۴-۳: کنترل مرکزی تصحیحات RTCM مربوط به ایستگاه VRS را ارسال می‌کند. [۴]---------- ۴۸
شکل ۴-۴: چگونگی کارکرد سیستم VRS [۱۸] ---------- ۵۱
شکل ۴-۵: ایستگاه مرجع مجازی داخل یک شبکه ایستگاه های مرجع متشکل از سه ایستگاه ثابت[۱۹] ----------۵۶
شکل ۴-۶: شبکه آزمایشی برای تست کردن سیستم VRS [۳] ----------۶۰
شکل ۴-۷: مقایسه تعداد فیکس ابهام فاز موج حامل گیرنده ها برحسب زمان توجیه اولیه گیرنده در دو حالت RTK (با رنگ قرمز) و روش VRS (با رنگ آبی)[۳]----------۶۱
شکل ۴-۸: شکل سمت چپ و راست به ترتیب میزان خطای موقعیت در جهت X و Y را برحسب تعداد تعیین موقعیت در روش VRS نشان می‌دهند[۳] ----------۶۱
شکل ۴-۹: شکل سمت چپ و راست به ترتیب مقدار زمان لازم برای توجیه اولیه گیرنده و میزان خطای موقعیت در جهت Z برحسب تعداد تعیین موقعیت در حالت VRS را نشان می‌دهند[۳] ----------۶۱
شکل ۴-۱۰: وسعت کاربرد های سیستم ایستگاه های مرجع مجازی [۱۸]----------۶۲
شکل ۴-۱۱: استفاده از VRS برای اهداف هیدروگرافی[۱۱] ----------۶۴
شکل ۴-۱۲: محدودیت های موجود برای تعیین موقعیت دقیق در فتوگرامتری[۲۱]----------۶۵
شکل ۴-۱۳: شکل سمت چپ روبات AT۳P- مجهز به به VRS و شکل سمت راست، تصویر ترک خیابان به همراه مختصات آن با دقت سانتی متر می‌باشد.[۱۲] ----------۶۷
شکل ۴-۱۴: دقت تعیین موقعیت روش VRS بر حسب تعداد مشاهدات صورت گرفته [۳] ----------۶۸
شکل ۴-۱۵: گراف سمت چپ دقت مسطحاتی روشVRS را به صورت پلانی و گراف سمت راست دقت ارتفاعی روش VRS بر حسب درصد تعداد مشاهدات انجام شده بیان می‌کند. [۳] ----------۶۸
شکل ۴-۱۶: شکل بالا سمت چپ وابستگی بین فاصله از نزدیک ترین ایستگاه مرجع با دقت مسطحاتی، دقت ارتفاعی (شکل پایین سمت چپ) و همچنین زمان توجیه ابهام فاز (شکل سمت راست) [۳] ---------- ۶۹
شکل ۴-۱۷: وابستگی دقت و زمان توجیه ابهام فاز با فاصله از نزدیکترین ایستگاه مرجع وقتی مشاهدات در داخل و یا خارج از شبکه VRS انجام پذیرد.[۳] ---------- ۷۰

شکل ۴-۱۸: تاثیر مشاهده ماهواره ها بر روی دقت و زمان توجیه ابهام فاز[۳] ---------- ۷۱
شکل ۴-۱۹: تاثیر DOP بر روی دقت و زمان توجیه ابهام فاز[۳] ---------- ۷۱
شکل ۴-۲۰: مقادیر RMS برای مختصات مسطحاتی با رنگ سفید و برای مختصات ارتفاعی با رنگ خاکستری و برای زمان توجیه ابهام فاز با رنگ مشکی مشخص شده است.[۳] ---------- ۷۴
شکل ۴-۲۱: سیستم ایستگاه مرجع مجازی دانمارک [۴] ---------- ۷۴
شکل ۴-۲۲: سیستم ایستگاه مرجع مجازی واقع در کشور سوئیس [۴] ---------- ۷۵
شکل ۴-۲۳: شبکه ASCOS واقع در کشور آلمان [۴]----------۷۶
شکل ۴-۲۴: شبکه VRS موجود در کشور ژاپن [۴] ----------۷۶
شکل ۵-۱: پراکندگی ایستگاه های دائم در در شبکه اصلی شامل ۴۰ ایستگاه فعال ---------- ۷۹
شکل ۵-۲: پراکندگی و نام ایستگاه های دائم شبکه تهران شامل ۲۸ ایستگاه فعال ---------- ۸۰
شکل ۵-۳: چهار شبکه مطالعه شده داخل شبکه ایستگاه های دائمی تهران ---------- ۸۱
شکل ۵-۴: شبکه مطالعاتی اول شامل ایستگاه های CHSM، SHOR، TEHN و VRMN ---------- ۸۲
شکل ۵-۵: به ترتیب از سمت راست به چپ در بالا و پایین میدان دید ماهواره G۴، G۵، G۱۰، G۱۷ و G۲۷ از دید ایستگاه‌های CHSM، VRS-VRMN، TEHN و SHOR می‌باشد. ---------- ۸۴
شکل ۵-۶: اختلاف بین مشاهده شبه فاصله کد C/A محاسبه شده برای ایستگاه مرجع مجازی VRS-VRMN و مشاهده شبه فاصله کد C/A دریافت شده توسط گیرنده مستقر در ایستگاه ثابت VRMN (ماهواره G۲۷) ---------- ۸۵
شکل ۵-۷: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف بین مشاهده شبه فاصله کد P۱ و P۲ محاسبه شده برای ایستگاه مرجع مجازی VRS-VRMN و مشاهده شبه فاصله کدهای نظیر دریافت شده توسط گیرنده مستقر در ایستگاه ثابت VRMN (ماهواره G۲۷) ----------۸۶
شکل ۵-۸: شبکه مطالعاتی دوم شامل ایستگاه های BLDH، HGSD، VRMN و TEHN ---------- ۸۷
شکل ۵-۹: اختلاف بین مشاهده شبه فاصله کد C/A محاسبه شده برای ایستگاه مرجع مجازی VRS-TEHN و مشاهده شبه فاصله کد C/A دریافت شده توسط گیرنده مستقر در ایستگاه ثابت TEHN (ماهواره G۳۱) ---------- ۸۸
شکل ۵-۱۰: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف بین مشاهده شبه فاصله کد P۱ و P۲ محاسبه شده برای ایستگاه مرجع مجازی VRS-TEHN و مشاهده شبه فاصله کدهای نظیر دریافت شده توسط گیرنده مستقر در ایستگاه ثابت TEHN (ماهواره G۳۱) ---------- ۸۹
شکل ۵-۱۱: شبکه مطالعاتی سوم شامل ایستگاه های MABD، TEHN، TKBN و POOL ---------- ۹۰
شکل ۵-۱۲: اختلاف بین مشاهده شبه فاصله کد C/A محاسبه شده برای ایستگاه مرجع مجازی VRS-POOL و مشاهده شبه فاصله کد C/A دریافت شده توسط گیرنده مستقر در ایستگاه ثابت POOL (ماهواره G۳۱) ---------- ۹۰
شکل ۵-۱۳: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف بین مشاهده شبه فاصله کد P۱ و P۲ محاسبه شده برای ایستگاه مرجع مجازی VRS-POOLو مشاهده شبه فاصله کدهای نظیر دریافت شده توسط گیرنده مستقر در ایستگاه ثابت POOL (ماهواره G۳۱) ---------- ۹۲

شکل ۵-۱۴: شبکه مطالعاتی چهارم شامل ایستگاه های ARNG، BLDH، HSGD، MABD ، TEHN، TEST و SHOR ---------- ۹۳
شکل ۵-۱۵: به ترتیب از سمت بالا به پایین، میدان دید ماهواره‌های GPS از دیدگاه ایستگاه‌های ثابت MABD ، SHOR و TEHN می‌باشد.---------- ۹۴
شکل ۵-۱۶: به ترتیب از سمت راست به چپ در بالا و پایین، میدان دید ماهواره های GPS از دیدگاه ایستگاه های مرجع مجازی VRS-BLDH، VRS-ARNG، VRS-TEST و VRS-TEHN می‌باشد. ---------- ۹۵
شکل ۵-۱۷: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۵۳۴ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۵) بیان می‌کند. ---------- ۹۷
شکل ۵-۱۸: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۵۳۴ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۵ بیان می‌کند---------- ۹۷
شکل ۵-۱۹: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۲۳۲ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۶) بیان می‌کند ---------- ۹۸
شکل ۵-۲۰: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۲۳۲ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۶ بیان می‌کند---------- ۹۸
شکل ۵-۲۱: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۳۲۷ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۷) بیان می‌کند. ---------- ۹۹
شکل ۵-۲۲: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۳۲۷ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۷ بیان می‌کند---------- ۹۹
شکل ۵-۲۳: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۴۸۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۸) بیان می‌کند ---------- ۱۰۰
شکل ۵-۲۴: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۴۸۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۸ بیان می‌کند---------- ۱۰۰
شکل ۵-۲۵: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۲۱۳ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۹) بیان می‌کند. ---------- ۱۰۱
شکل ۵-۲۶: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۲۱۳ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۹ بیان می‌کند---------- ۱۰۱
شکل ۵-۲۷: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۰۴۲ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۳۰) بیان می‌کند ---------- ۱۰۲
شکل ۵-۲۸: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۰۴۲ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۳۰ بیان می‌کند.---------- ۱۰۲

شکل ۵-۲۹: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۹۶۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۱) بیان می‌کند. ---------- ۱۰۳
شکل ۵-۳۰: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۹۶۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۱ بیان می‌کند ---------- ۱۰۳
شکل ۵-۳۱: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۸۷۳ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۲) بیان می‌کند ---------- ۱۰۴
شکل ۵-۳۲: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۸۷۳ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۲ بیان می‌کند ---------- ۱۰۴
شکل ۵-۳۳: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۶۰۵ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۳) بیان می‌کند ---------- ۱۰۵
شکل ۵-۳۴: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۶۰۵ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۳ بیان می‌کند ---------- ۱۰۵
شکل ۵-۳۵: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۱۹ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۴) بیان می‌کند ---------- ۱۰۶
شکل ۵-۳۶: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۱۹ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۴ بیان می‌کند ---------- ۱۰۶
شکل ۵-۳۷: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۲۰۱ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۵) بیان می‌کند. ---------- ۱۰۸
شکل ۵-۳۸: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۲۰۱ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۵ بیان می‌کند. ---------- ۱۰۹
شکل ۵-۳۹: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۶۰۶ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۶) بیان می‌کند ---------- ۱۰۹
شکل ۵-۴۰: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۶۰۶ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۶ بیان می‌کند ---------- ۱۱۰
شکل ۵-۴۱: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۵۶۵ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۷) بیان می‌کند. ---------- ۱۱۰
شکل ۵-۴۲: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۵۶۵ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۷ بیان می‌کند ---------- ۱۱۱
شکل ۵-۴۳: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۵۴۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۸) بیان می‌کند ---------- ۱۱۱

شکل ۵-۴۴: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۵۴۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۸ بیان می‌کند---------- ۱۱۲
شکل ۵-۴۵: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۰۵۳ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۹) بیان می‌کند ---------- ۱۱۲
شکل ۵-۴۶: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۰۵۳ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۹ بیان می‌کند---------- ۱۱۳
شکل ۵-۴۷: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۴۸۲ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۳۰) بیان می‌کند ---------- ۱۱۳
شکل ۵-۴۸: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۴۸۲ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۳۰ بیان می‌کند---------- ۱۱۴
شکل ۵-۴۹: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۲۰۸۸ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۱) بیان می‌کند ---------- ۱۱۴
شکل ۵-۵۰: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۲۰۸۸ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۱ بیان می‌کند ---------- ۱۱۵
شکل ۵-۵۱: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۹۸۱ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۲) بیان می‌کند ---------- ۱۱۵
شکل ۵-۵۲: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۹۸۱ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۲ بیان می‌کند ---------- ۱۱۶
شکل ۵-۵۳: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۸۷۶ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۳) بیان می‌کند. ---------- ۱۱۶
شکل ۵-۵۴: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۸۷۶ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۳ بیان می‌کند ---------- ۱۱۷
شکل ۵-۵۵: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۸۰۸ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۴) بیان می‌کند ---------- ۱۱۷
شکل ۵-۵۶: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۸۰۸ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۴ بیان می‌کند ---------- ۱۱۸
شکل ۵-۵۷: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۰۲۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۵) بیان می‌کند ---------- ۱۲۰
شکل ۵-۵۸: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۰۲۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۵ بیان می‌کند---------- ۱۲۰

شکل ۵-۵۹: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۹۱۷ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۶) بیان می‌کند ---------- ۱۲۱
شکل ۵-۶۰: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۹۱۷ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۶ بیان می‌کند---------- ۱۲۱
شکل ۵-۶۱: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۹۸۷ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۷) بیان می‌کند ---------- ۱۲۲
شکل ۵-۶۲: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۹۸۷ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۲۷ بیان می‌کند---------- ۱۲۲
شکل ۵-۶۳: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۱۷۶۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۳۰) بیان می‌کند ---------- ۱۲۳
شکل ۵-۶۴: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۱۷۶۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۸/۳۰ بیان می‌کند---------- ۱۲۳
شکل ۵-۶۵: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۸۷۹ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۱) بیان می‌کند---------- ۱۲۴
شکل ۵-۶۶: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۸۷۹ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۱ بیان می‌کند ---------- ۱۲۴
شکل ۵-۶۷: به ترتیب از بالا به پایین اختلاف مختصات بدست آمده از روش ایستگاه مرجع مجازی را با مختصات بدست آمده از روش استاتیک در جهت محورهای X، Y و Z (۲۸۸۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۴) بیان می‌کند ---------- ۱۲۵
شکل ۵-۶۸: به ترتیب از چپ به راست دقت مسطحاتی و ارتفاعی روش ایستگاه مرجع مجازی را برای ۲۸۸۰ اپوک مشاهده در تاریخ ۸۹/۹/۴ بیان می‌کند ---------- ۱۲۵

فصل اول

مقدمه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- تعریف مساله

در سال ۱۹۷۳ وزارت دفاع امریکا یک سیستم ناوبری رادیویی ماهواره ای را تحت عنوان NAVSTAR GPS[۱] ایجاد کرد که امکان تعیین موقعیت سه بعدی را در سیستم مختصات CTS[۲] و همچنین ناوبری را فراهم آورده بود. این سیستم از سال ۱۹۸۳ برای حل مسائل ژئودزی نیز به کار گرفته شد. اما به علت نواقص موجود، این سیستم شرایط یک سیستم ناوبری مناسب را نداشته و امکان استفاده از آن برای برخی کاربرها از جمله هدایت زمینی، ژئودزی دریایی و هیدروگرافی نبود. لذا سیستم DGPS[۳] که حالت بهبود یافته سیستم NAVSTAR GPS است، برای تامین نیازمندی های یک سیستم ناوبری مناسب و افزایش انعطاف کاربری سیستم بویژه برای ناوبری و امور نقشه برداری و ژئودزی ایجاد گردید.[۱]،[۲]

سیستم DGPS متشکل از ایستگاهی ثابت با موقعیت دقیق می‌باشد که با استفاده از مشاهدات کد C/A تصحیحات لازم را برای سیستم محاسبه کرده و این تصحیحات را همراه با پیام های هشداری برای کاربران[۴] سیستم در منطقه تحت پوشش سیستم ارسال می‌نماید. با افزایش تعداد ایستگاه های مرجع و ایجاد سیستمی

---

۱ NAVigation System with Time And Ranging-Global Positioning System
۲ Conventional Terrestrial System
۳ Differential GPS
۴ User or Rover or Remote

موسوم به WADGPS[۱] می‌توان از روش DGPS در مناطق با وسعت زیاد مانند کشور، قاره و یا حتی در سطح جهانی استفاده نمود[۱]،[۲].

ایجاد یک سرویس تعیین موقعیت تفاضلی در سطح وسیع WADGPS نیاز به چندین ایستگاه مرجع دارد، به نحوی که ایستگاه ها به طور مستقل عمل نکنند و نیز هر یک از آنها قسمتی از این محدوده وسیع را با مشاهدات پیوسته پوشش دهند. تا مشاهدات صورت گرفته در ایستگاه کنترل پیش پردازش شود و از آنها مدلی جهت حذف بایاسهای وابسته به فاصله برای موقعیت تقریبی گیرنده متحرک به دست آید[۳].

با استفاده از سیستم DGPS می‌توان به دقت های در حد متر و در برخی مواقع که گیرنده متحرک به ایستگاه مرجع نزدیک است، به دقت دسی متر دست یافت. برای افزایش دقت سیستم DGPS روش جدیدی به نام کینماتیک آنی یا RTK[۲] ابداع گردید. روش RTK با استفاده از مشاهدات دو فرکانسه توانسته، دقت روش DGPS را در حد سانتی متر بهبود بخشد. البته به دلیل وجود خطاهای یونسفر و تروپسفر این روش تنها در فواصل کمتر از ۱۰km قادر به تعیین موقعیت در حد دسی متر و سانتی متر می‌باشد.

در سالهای اخیر استفاده از روش تعیین موقعیت آنی به علت دقت بالای این روش برای ناوبری و اهداف نقشه برداری در حالت کینماتیک معمول گردیده است. اما تاثیرات تاخیر یونسفر و تروپسفر، خطاهای سیستماتیکی را بر روی داده های خام تحمیل می‌کند، به نحوی که هر چه میزان فاصله بین ایستگاه مرجع و گیرنده متحرک

[۱] Wide Area DGPS
[۲] Real Time Kinematic

بیشتر باشد بر میزان خطای حاصل از تاثیرات یونسفر و تروپسفر نیز افزوده می‌شود. چنانچه فاصله بین ایستگاه مرجع و گیرنده متحرک از ۱۰km بیشتر شود، دقت آن هم به حد متر و بیشتر از آن کاهش می‌یابد و عملا این روش مزیت خود را نسبت به روش DGPS از دست می‌دهد[۳].

حال اگر بخواهیم در مناطق با وسعت زیاد با دقت سانتی متر تعیین موقعیت نماییم، ناگزیریم تعداد ایستگاه های مرجع را افزایش دهیم. به طوری که فواصل بین ایستگاه مرجع و گیرنده متحرک کمتر از ۱۰km باشد و نیز کل منطقه مورد نظر توسط ایستگاه های مرجع پوشش داده شود. لذا می‌بایست شبکه ایجاد شده از نظر تعداد ایستگاه مرجع چگال باشد، که بسته به وسعت منطقه تعداد ایستگاه‌های مرجع متغیر است. از طرفی ایجاد هر ایستگاه مرجع مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی است و یا حتی در برخی شرایط (مانند ایجاد ایستگاه مرجع جدید در داخل دریا جهت اهداف هیدروگرافی) امکان ایجاد ایستگاه مرجع جدید وجود ندارد.

برای رفع مشکل محدودیت فاصله در روش RTK، امروزه از روش جدیدی به نام ایستگاه مرجع مجازی (VRS[۱]) استفاده می‌شود که با وجود آن، برای تعیین موقعیت با دقت سانتی‌متر در محدوده‌های با وسعت زیاد، از شبکه‌ای با ایستگاه های مرجع ثابت استفاده می‌شود، با این تفاوت که فاصله بین ایستگاه های مرجع می‌تواند تا ۱۰۰km افزایش یابد. با استفاده از روش ایستگاه مرجع مجازی می‌توان در داخل شبکه ایستگاه مرجع با ابعاد ۱۰۰km بسته به موقعیت گیرنده متحرک، در نزدیکی آن ایستگاه مرجعی به صورت مجازی (محاسباتی)، ایجاد کرده و تصحیحات مربوط به چنین ایستگاهی را برای گیرنده متحرک ارسال نمود[۳].

---

[۱] Virtual Reference Station

استفاده از روش ایستگاه های مرجع مجازی به جای یک ایستگاه مرجع اصلی این فرصت را به ما می‌دهد که با نزدیک کردن فاصله بین ایستگاه مرجع به گیرنده متحرک (به طور مجازی) خطاهای سیستماتیک وابسته به فاصله را کاهش داده و یا حتی آنها راحذف نماییم.

اصلی‌ترین خطاهای سیستماتیک تاثیرگذار بر روش های تعیین موقعیت آنی عبارتند از: تاخیرهای یونسفری و تروپسفری و خطاهای مداری ماهواره، که توسط روش ایستگاه مرجع مجازی مدله شده و به گیرنده متحرک ارسال می‌گردند. به علت نزدیک بودن ایستگاه مرجع مجازی به گیرنده متحرک، خطاهای سیستماتیک مدله شده برآورد مناسبی از مقدار واقعی این خطاها در گیرنده متحرک است که می‌توان با استفاده از روش‌های تفاضلی دوگانه آنها را حذف کرد و دقت تعیین موقعیت گیرنده متحرک را تا حد سانتی‌متر بهبود بخشید. این کار باعث می شودکه نه تنها بتوان فاصله ایستگاه مرجع را از گیرنده متحرک افزایش داد، بلکه اعتمادپذیری موقعیت محاسبه شده را نیز افزایش و زمان توجیه شدن گیرنده را نیز کاهش داد[۳].

۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

به علت کاربرد وسیع روش ایستگاه مرجع مجازی برای اهداف ناوبری و نقشه برداری، امروزه این روش در بسیاری از کشورهای جهان از جمله: آلمان، آمریکا، ژاپن، فنلاند، سوئیس، اتریش، سوئد، استرالیا، نیوزلند، دانمارک، چین، دبی و... مورد استفاده قرار می‌گیرد و تحقیقات زیادی نیز توسط دانشمندان مختلف در این رابطه صورت گرفته است[۴].