



دانشگاه تهران

دانشکده فنی

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران - نقشه برداری

گرایش: ژئودزی

موضوع

بررسی اثر خطای تروپوسفر بر روی تعیین موقعیت نسبی

سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GPS

توسط:

سهیل بیرودیان

۵۲۴۶

استاد راهنما: دکتر حسین نهاوندچی

سال ۱۳۷۸

۲۷۹۲۴

موضوع

**بررسی اثر خطای تروپوسفر بر روی تعیین موقعیت نسبی
سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GPS**

توسط :

سهیل بیرودیان

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران - نقشه برداری

گرایش : ژئودزی

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۷۸/۶/۲۷ در مقابل هیئت
داوران دفاع بعمل آمده و مورد تصویب قرار گرفت



مدیر گروه آموزشی : مهندس صمدزادگان

استاد راهنما : دکتر نهاوندچی

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه : دکتر دلاور

اعضاء هیئت داوران : دکتر نجفی علمداری

مهندس شریفی

مهندس ملک

۷۸۷۲۴

۲۷۹۲۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار درخشان. درود و سلام و تحیات و صلوات ایزدی بر ذات معظم و روح مقدس مصطفی (ص) و اهل بیت و اصحاب و اتباع و یاران و اشیاع او باد درودی که امداد آن بر امتداد روزگار متصل باشد و نسیم آن گرد از کلبه عطار بر آرد.

"کليلة و دمنه ابوالمعالي"

چکیده

خطایی که دانشمندان و محققین علوم ژئودتیک از آن بعنوان یکی از بزرگترین منابع خطا در مشاهدات GPS(Global Positioning System) و همچنین VLBI(Very Long Baseline Interferometry) یاد می کنند، اثر بخشی از اتمسفر است که آن را اتمسفر خنثی می نامیم. این بخش از اتمسفر شامل لایه تروپوسفر و استراتوسفر می باشد که از سطح زمین تا ارتفاع حدوداً ۶۰ کیلومتری را شامل می شود. اکثراً از این خطا بعنوان خطای تروپوسفر نام می برند. اثر این لایه بر روی امواجی که فرکانس آنها زیر ۱۵ GHz می باشد یکسان است. یعنی در استفاده از GPS تاثیر این لایه بستگی به فرکانس امواج مورد استفاده ندارد. لذا روش هایی که برای حذف خطای یونوسفر مورد استفاده قرار می گیرد را نمی توان برای از بین بردن خطای تروپوسفر بکار برد. تروپوسفر دارای بیشترین اثر بر روی مولفه ارتفاعی می باشد. لازم به ذکر است که اگر طول باز کوتاه ولی اختلاف ارتفاع بین دو ایستگاه زیاد باشد، اثر تروپوسفر در روش تفاضلی از بین نمی رود.

در این پایان نامه اثر این خطا را در طول بازهای بلند بررسی می کنیم. این طول بازها مربوط به پروژه آسیا و اقیانوسیه است که مشاهدات آن در اکتبر سال ۱۹۹۷ بر روی ۶ ایستگاه انجام شد. این مشاهدات بصورت شبانه روزی و بمدت ده روز توسط سازمان نقشه برداری کشور انجام گرفت.

در بررسی اثر تروپوسفر آن را به دو بخش تقسیم می کنند: تروپوسفر تر و تروپوسفر خشک. بخش خشک ۹۰٪ تروپوسفر را تشکیل می دهد. در این پروژه برای مدل کردن این بخش، از مدل های تروپوسفر استاندارد، بهبود یافته Hopfield و Saastamoinen استفاده شده است. مقایسه این روش با

حالتی که از هیچ مدل استفاده نشود، بطور متوسط نشان دهنده اختلافی باندازه $1/30$ و $0/94$ متر در مولفه ارتفاعی دو ایستگاه گیرنده GPS، Maryam و Roze می باشد. اگرچه تروپوسفر تر تنها 10% کل اثر را شامل می شود اما مهمترین بخش را تشکیل می دهد زیرا نمی توان اثر آنرا با مدل های موجود از بین برد. در این پایان نامه اثر تروپوسفر تر با استفاده از اضافه کردن یک پارامتر ثابت در مدل تفاضلی مرتبه دو کاهش داده شده است. این متد باعث کاهش RMS وزن دار نسبت به حالت های قبل می شود. این کاهش در مولفه ارتفاعی ایستگاه های Maryam و Roze بترتیب $76/97\%$ و $52/49\%$ برآورد شد. این مقدار ثابت با استفاده از پارامتر های پردازش تصادفی مانند تابع ساختار بدست آمده است. بدین ترتیب که تابع ساختار برای کلیه ایستگاه ها در مدت 5 روز محاسبه شد و سپس وریانس های نویز پردازش تاخیر تروپوسفر تر از تابع ساختار محاسبه گردید و با قرار دادن آن در مدل Random Walk تاخیر تروپوسفر تر برای فواصل زمانی نیم ساعته بدست آمد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از جناب آقای دکتر نهاوندچی استاد راهنمای بزرگوار که در کلیه مراحل انجام این پایان نامه با راهنمایی های ارزشمند خود اینجانب را هدایت و ارشاد نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین لازم می دانم از بذل عنایت ایشان در فرستادن مقالات متعدد در زمانی که در کشور سوئد بودند تشکر نمایم.

از مسئولین محترم گروه نقشه برداری دانشکده فنی دانشگاه تهران خصوصا جناب آقای دکتر دلاور مسئول تحصیلات تکمیلی گروه جهت همکاری نزدیک با دانشجویان صمیمانه قدردانی می نمایم.

از جناب آقای دکتر T.R.Emardson محقق مرکز مشاهدات فضایی Onsala در سوئد که با ارسال پایان نامه دوره دکتری خود در زمینه تروپوسفر اینجانب را در تجزیه و تحلیل این موضوع یاری نمودند سپاسگذاری می نمایم.

لازم می دانم از مسئولین طرح کاداستر کشور مخصوصا مدیریت محترم نقشه برداری و ژئودزی ماهواره ای آقای مهندس برنجکار بخاطر در اختیار قرار دادن امکانات و ایجاد شرایط مناسب جهت انجام این پایان نامه تشکر نمایم.

مراتب امتنان خود را از مسئولین بخش زمینی سازمان نقشه برداری کشور، آقای مهندس توکلی و آقای مهندس نانکلی جهت در اختیار قرار دادن مشاهدات GPS پروژه آسیا-اقیانوسیه سال ۱۹۹۷ که در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفت اعلام می نمایم.

از همکاران محترم و دوستان ارجمندم در بخش آموزش و تحقیقات طرح کاداستر کشور خصوصا جناب آقای مهندس جمال عسگری که در برنامه نویسی با نرم افزار Matlab اینجانب را یاری نمودند و آقای مهندس شامانی و آقای مهندس علیمردانی برای در اختیار قرار دادن مطالبی در مورد GPS تشکر و قدردانی می نمایم.

پیشرفت در زندگی خود را مدیون محبتها و راهنمایی های پدر و مادرم می دانم، از آنها و برادران و خواهرم تشکر می نمایم.

فهرست

۱	فصل یک : مقدمه
۴	فصل دو : سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS
۴	۲-۱) مقدمه
۶	۲-۲) مشاهدات و ساختار سیگنال
۱۰	۲-۳) محدودیت هایی برای دقت
۱۰	۴-۲) گیرنده های GPS
۱۱	۴-۲-۱) گیرنده های وابسته به کد
۱۲	۲-۴-۲) گیرنده های مستقل از کد
۱۳	۲-۵) ترکیبات خطی و مشاهدات حاصله
۱۴	۲-۵-۱) تفاضل مرتبه اول در مشاهدات فاز حامل و کد
۱۷	۲-۵-۲) تفاضل مرتبه دوم
۱۸	فصل سه : خطاها و تصحیحات GPS
۱۸	۳-۱) مقدمه
۱۹	۳-۲) خطای مدار ماهواره
۲۱	۳-۳) خطای چند مسیره شدن (Multi Path)
۲۲	۳-۴) خطای مرکز فاز آنتن
۲۳	۳-۵) تصحیح دوران زمین
۲۴	فصل چهار: اثرات اتمسفر بر روی مشاهدات GPS
۲۴	۴-۱) مقدمه
۲۶	۴-۲) انکسار یونوسفریک
۳۰	۴-۲-۱) حذف اثر TEC
۳۳	۴-۳) انکسار تروپوسفریک
۳۶	۴-۳-۱) تغییرات تاخیر تروپوسفریک در مولفه مکانی (گرادیان افقی)
۳۷	۴-۳-۲) روش های مستقل بدست آوردن تاخیر زینتی تر
۳۷	۴-۳-۲-۱) رادیومتری با استفاده از امواج میکروویو
۳۸	۴-۳-۲-۲) رادیو سوند ها
۴۰	فصل پنج: مدل های هواشناسی

.....	مقدمه (۵-۱)	۴۰
.....	توابع تصویر (۵-۲)	۴۲
.....	توابع تصویر از نوع کسر های پیوسته Marrini (۵-۲-۱)	۴۲
.....	مدل Hopfield (۵-۳)	۴۴
.....	مدل های بهبود یافته Hopfield (۵-۴)	۴۷
.....	مدل Saastamoinen (۵-۵)	۴۹
.....	خطاهای مدل Saastamoinen (۵-۵-۱)	۵۱
.....	مدل تاخیر زینتی تر Chao (۵-۶)	۵۲
.....	مدل (1970) Berman برای تاخیر زینتی تر (۵-۷)	۵۳
.....	مدل های اتمسفر استاندارد (۵-۸)	۵۴
.....	فصل شش: برآورد تاخیر تروپوسفر از روش پردازش تصادفی (۵-۵)	۵۵
.....	مقدمه (۶-۱)	۵۵
.....	تئوری پردازش های تصادفی (۶-۲)	۵۶
.....	توصیف پردازش تصادفی (۶-۲-۱)	۵۷
.....	بدست آوردن تاخیر زینتی با استفاده از مدل گوس-مارکوف (۶-۳)	۵۸
.....	مدل پردازش تصادفی Random walk (۶-۴)	۶۱
.....	تابع ساختار یا Structure Function (۶-۵)	۶۱
.....	روش کمترین مربعات (۶-۶)	۶۲
.....	برآورد پارامتر ثابت (۶-۷)	۶۳
.....	برآورد تاخیر تروپوسفریک از روش Deterministic (۶-۸)	۶۴
.....	برآورد پارامترهای گرادیان از GPS (۶-۹)	۶۶
.....	فصل هفت: بررسی اثر تروپوسفر در پروژه آسیا-اقیانوسیه ۱۹۹۷ (۶-۷)	۶۷
.....	مقدمه (۷-۱)	۶۷
.....	مراحل کار پروژه (۷-۲)	۶۸
.....	نتایج (۷-۳)	۶۹
.....	فصل هشت: نتیجه گیری و پیشنهادات (۱۰-۵)	۱۰۵
.....	نتیجه گیری (۸-۱)	۱۰۵
.....	پیشنهادات (۸-۲)	۱۰۷
.....	مراجع (۱۰-۹)	۱۰۹

فهرست شکل ها

- شکل (۲-۱): تفاضل بین گیرنده ها و ماهواره ها ۱۵
- شکل (۴-۱): هندسه تاخیر مسیر یونوسفر ۲۹
- شکل (۴-۲): هندسه انتشار سیگنال GPS در اتمسفر ۳۳
- شکل (۴-۳): نمونه پروفیل ارتفاعی از ضریب انکسار N_d , N_w ۳۵
- شکل (۴-۴): گرادیان در ضریب شکست تروپوسفر تر ۳۶
- شکل (۵-۱): هندسه تاخیر مسیر تروپوسفر ۴۷
- شکل (۶-۱): برآورد پارامترها از طریق Deterministic ۶۴
- شکل (۷-۱): شبکه آسیا-اقیانوسیه در ایران ۷۲
- شکل (۷-۲): تغییرات تروپوسفر و اثر آن بر سه مولفه شمال (a)، شرق (c) و ارتفاع (e) برای ایستگاه Ladan در روز اول اکتبر ۱۹۹۷. در زیر هر کدام تابع PSD برای این مشاهدات آورده شده است ۷۳
- شکل (۷-۳): تغییرات تروپوسفر و اثر آن بر سه مولفه شمال (a)، شرق (c) و ارتفاع (e) برای ایستگاه Ladan در روز دوم اکتبر ۱۹۹۷. در زیر هر کدام تابع PSD برای این مشاهدات آورده شده است ۷۴
- شکل (۷-۴): تغییرات تروپوسفر و اثر آن بر سه مولفه شمال (a)، شرق (c) و ارتفاع (e) برای ایستگاه Ladan در روز سوم اکتبر ۱۹۹۷. در زیر هر کدام تابع PSD برای این مشاهدات آورده شده است ۷۵
- شکل (۷-۵): تغییرات تروپوسفر و اثر آن بر سه مولفه شمال (a)، شرق (c) و ارتفاع (e) برای ایستگاه Ladan در روز چهارم اکتبر ۱۹۹۷. در زیر هر کدام تابع PSD برای این مشاهدات آورده شده است ۷۶
- شکل (۷-۶): تغییرات تروپوسفر و اثر آن بر سه مولفه شمال (a)، شرق (c) و ارتفاع (e) برای ایستگاه Ladan در روز پنجم اکتبر ۱۹۹۷. در زیر هر کدام تابع PSD برای این مشاهدات آورده شده است ۷۷
- شکل (۷-۷): اثر تروپوسفر خشک بر روی مولفه شمال (Northing) در روابط تفاضلی مرتبه دو در طول ۲۴ ساعت در ایستگاه Roze ۷۸

- شکل (۷-۸) اثر تروپوسفر خشک بر روی مولفه شرق (Easting) در روابط
تفاضلی مرتبه دو در طول ۲۴ ساعت در ایستگاه Roze ۷۸
- شکل (۷-۹) اثر تروپوسفر خشک بر روی مولفه ارتفاع (Height) در روابط
تفاضلی مرتبه دو در طول ۲۴ ساعت در ایستگاه Roze ۷۹
- شکل (۷-۱۰) اثر تروپوسفر خشک بر روی مولفه شمال (Northing) در روابط
تفاضلی مرتبه دو در طول ۱۲ ساعت در ایستگاه Maryam ۸۰
- شکل (۷-۱۱) اثر تروپوسفر خشک بر روی مولفه شرق (Easting) در روابط
تفاضلی مرتبه دو در طول ۱۲ ساعت برای ایستگاه Maryam ۸۰
- شکل (۷-۱۲) اثر تروپوسفر خشک بر روی مولفه ارتفاع (Height) در روابط
تفاضلی مرتبه دو در طول ۱۲ ساعت برای ایستگاه Maryam ۸۱
- شکل (۷-۱۳) اختلاف از میانگین در مولفه Northing ایستگاه Roze ۸۴
- شکل (۷-۱۴) اختلاف از میانگین در مولفه Easting ایستگاه Roze ۸۴
- شکل (۷-۱۵) اختلاف از میانگین در مولفه Height ایستگاه Roze ۸۵
- شکل (۷-۱۶) اختلاف از میانگین در مولفه Northing ایستگاه Maryam ۸۵
- شکل (۷-۱۷) اختلاف از میانگین در مولفه Easting ایستگاه Maryam ۸۶
- شکل (۷-۱۸) اختلاف از میانگین در مولفه Height ایستگاه Maryam ۸۶
- شکل (۷-۱۹) (a) مقایسه RMS وزن دار در مولفه شمالی (b) مولفه شرقی (c)
مولفه ارتفاعی. ستون (۱) بدون استفاده از مدل و ستون (۲) با استفاده از مدل
بهبود یافته Hopfeild است. این اشکال مربوط به ایستگاه Roze می باشد ۹۱
- شکل (۷-۲۰) مقایسه RMS وزن دار در (a) مولفه شمالی (b) مولفه شرقی (c)
مولفه ارتفاعی. ستون (۱) بدون استفاده از مدل و ستون (۲) با استفاده از مدل
Saastamoinen است. این اشکال مربوط به ایستگاه Maryam می باشد ۹۲
- شکل (۷-۲۱) منحنی تابع ساختار برای ایستگاه Ladan در پنج روز مشاهده GPS ۹۵
- شکل (۷-۲۲) منحنی تابع ساختار برای ایستگاه Maryam در پنج روز مشاهده GPS ۹۶
- شکل (۷-۲۳) منحنی تابع ساختار برای ایستگاه Reihan در پنج روز مشاهده GPS ۹۷
- شکل (۷-۲۴) منحنی تابع ساختار برای ایستگاه Roze در پنج روز مشاهده GPS ۹۸
- شکل (۷-۲۵) منحنی تابع ساختار برای ایستگاه Yas در پنج روز مشاهده GPS ۹۹
- شکل (۷-۲۶) مقایسه RMS وزن دار بین دو روش استفاده از (مدل)
و (مدل + پارامتر ثابت) که به ترتیب با ستون های (۱) و (۲) مشخص
شده است. شکل (a)، (b) و (c) بترتیب مربوط به مولفه های شمال،
شرق و ارتفاع در ایستگاه Roze می باشد ۱۰۲

شکل (۷-۲۷) مقایسه RMS وزن دار بین دو روش استفاده از (مدل) و (مدل + پارامتر ثابت) که به ترتیب با ستون های (۱) و (۲) مشخص شده است. شکل (a)، (b) و (c) بترتیب مربوط به مولفه های شمال،

شرق و ارتفاع در ایستگاه Maryam می باشد ۱۰۳

فهرست جدول ها

- جدول (۱-۲) مشخصات فرکانس های موج حامل و کد ۹
- جدول (۱-۳): میانگین توزیع خطاهای GPS بر روی کد ۱۹
- جدول (۲-۳) : خطای مداری قابل قبول برای دقت 1cm ۲۰
- جدول (۳-۳): ارتباط دقت نسبی و خطای مدار ۲۱
- جدول (۱-۴) مقادیر ضرابی که در معادله (۶۴-۴) مورد استفاده قرار می گیرد ۳۹
- جدول (۱-۵) مقادیر استاندارد برای ترم تصحیحی B ۵۰
- جدول (۱-۷) مختصات ایستگاه های پروژه آسیا-اقیانوسیه به همراه دقت های مربوطه در سیستم WGS84 ۶۸
- جدول (۲-۷) اثر استفاده از مدل بهبود یافته Hopfield و عدم استفاده از آن، در پردازش طول باز نیلوفر-رز بر روی مختصات ایستگاه Roze در روز اول اکتبر ۱۹۹۷ ۸۲
- جدول (۳-۷) اثر استفاده از مدل Saastamoinen و عدم استفاده از آن، در پردازش طول باز Nilofar-Maryam بر روی مختصات ایستگاه Maryam در روز اول اکتبر ۱۹۹۷ ۸۳
- جدول (۴-۷) اختلاف از میانگین برای سه مولفه شمال، شرق و ارتفاع ایستگاه Roze در روز اول اکتبر ۱۹۹۷. این اعداد مربوط به حالتی است که از مدل بهبود یافته Hopfield در پردازش استفاده شده است ۸۷
- جدول (۵-۷) اختلاف از میانگین برای سه مولفه شمال، شرق و ارتفاع ایستگاه Roze در روز اول اکتبر ۱۹۹۷. این اعداد مربوط به حالتی است که از هیچ مدلی در پردازش استفاده نشده است ۸۸
- جدول (۶-۷) اختلاف از میانگین برای سه مولفه شمال، شرق و ارتفاع ایستگاه Maaryam در روز اول اکتبر ۱۹۹۷. این اعداد مربوط به حالتی است که از هیچ مدلی استفاده نشود ۸۹
- جدول (۷-۷) اختلاف از میانگین برای سه مولفه شمال، شرق و ارتفاع ایستگاه Maryam در روز اول اکتبر ۱۹۹۷، این اعداد مربوط به حالتی است که از مدل Saastamoinen در پردازش استفاده شده است ۹۰

- جدول (۷-۸) مقدار α به در صد برای ۴۸ فاصله های زمانی نیم ساعته
مربوط به طول باز Nilofar-Roze در روز اول اکتبر ۱۹۹۷ ۱۰۰
- جدول (۷-۹) مقدار α به در صد برای ۲۴ فاصله های زمانی نیم ساعته
مربوط به طول باز Nilofar-Maryam در روز اول اکتبر ۱۹۹۷ ۱۰۱
- جدول (۷-۱۰) مشخصات RMS وزن دار مربوط به ایستگاه Maryam ۱۰۴
- جدول (۷-۱۱) مشخصات RMS وزن دار مربوط به ایستگاه Roze ۱۰۴

فصل یک

مقدمه

GPS یکی از تکنیک های دقیق تعیین موقعیت مطلق و نسبی در طول بازهای کوتاه محسوب می شود. در طول بازهای کوتاه می توان اثر خطای یونوسفر و تروپوسفر را بر روی نتایج حاصله ناچیز فرض کرد. زیرا امواج ارسالی ماهواره از محیط تقریباً یکسانی عبور می کند و این اثرات در روش های تفاضلی از بین می روند. اما در صورتی که اختلاف ارتفاع بین دو ایستگاه زیاد باشد، اثر تروپوسفر در روش تفاضلی از بین نمی رود. یکی از موارد دیگر که خطای تروپوسفر در آن نقش مهمی دارد اندازه گیری طول باز های بلند میباشد. امروزه در بسیاری از مطالعات ژئودتیکی و ژئودینامیکی ما نند تعریف بیضوی مرجع، جابجایی صفحات تشکیل دهنده پوسته زمین و... نیازمند به اندازه گیری طول باز های بلند حتی تا مرز چندین هزار کیلومتر هستیم. جهت اندازه گیری این طول باز ها نیز بیشتر از سیستم های تعیین موقعیت فضایی (Satellite Laser Ranging (SLR), Very Long Baseline Interferometry (VLBI) و Global Positioning System (GPS) استفاده می شود. برای برآورد دقت این اندازه گیری ها شناخت عوامل موثر در ایجاد خطا و همچنین تاثیر هر کدام از این خطا ها بر روی اندازه گیری ها لازم می باشد. روش های کاهش اثرات این خطا ها بر روی نتایج نیز بسیار با اهمیت هستند. بعنوان مثال برای از بین بردن خطای یونوسفر با توجه به اینکه این لایه اتمسفری اثرات متفاوتی بر روی امواج با فرکانس مختلف ایجاد می کند، استفاده از ترکیب فرکانس ها و انتخاب فرکانس عاری از خطای یونوسفر لازم به نظر می رسد.

اثر خطای تروپوسفر بر روی مشاهدات GPS، VLBI و SLR یکی از گسترده ترین مباحث ژئودزی فضایی محسوب می شود که عناوین بسیاری از مقالات و پایان نامه ها را در دانشگاه های معتبر به خود اختصاص داده است و تحقیقات وسیعی در این زمینه همچنان انجام می گیرد. در این پایان نامه نیز سعی شده با توجه به اینکه این موضوع به این شکل، برای اولین بار در کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد به اصول اولیه و پایه آن بیشتر پرداخته شود.

در بررسی اثر تروپوسفر در پروژه های بزرگ معمولاً از دستگاه های گران قیمت و پیشرفته (WVR) Water Vapor Radiometry که یک نوع رادیومتر می باشد استفاده می شود. با استفاده از WVR می توان مقدار تاخیر تروپوسفریک تر را در راستاهای مختلف بدست آورد. البته امروزه ثابت شده است که با استفاده از خود مشاهدات GPS نیز می توان پارامتر های لازم جهت مدل کردن تاخیر زینتی تروپوسفریک تر را بدست آورد. همچنین استفاده از نرم افزارهای حرفه ای که بتوان با آن روش های مختلف مدل کردن خطای تروپوسفر را انجام داد ضروری است. در این پایان نامه از نرم افزار GeoGenius برای پردازش مشاهدات و همچنین اعمال ثابت تروپوسفر در مدل تفاضلی استفاده شد. البته در مواردی مانند بدست آوردن پارامتر های مدل Random Walk و برآورد تاخیر تروپوسفریک زینتی تر با استفاده از این مدل یا در موارد دیگری مانند محاسبه تابع ساختار و نویز پردازش، از برنامه نویسی در محیط MatLab سود برده شد.

مباحثی که در این پایان نامه به بررسی آن پرداختیم شامل موارد زیر می باشد:

فصل دوم اختصاص به GPS دارد و در آن درباره مشاهدات و ساختار سیگنال و همچنین محدودیت های که در سیستم GPS برای رسیدن به دقت های مناسب وجود دارد مطالبی بیان شده است. در انتها نیز درباره انواع گیرنده ها بحث می شود.

در فصل سوم به خطاهای مهم سیستم GPS اشاره می شود. از جمله این خطاها خطای چند مسیری (Multi Path)، خطاهای سیستم گیرنده و خطای مداری است.