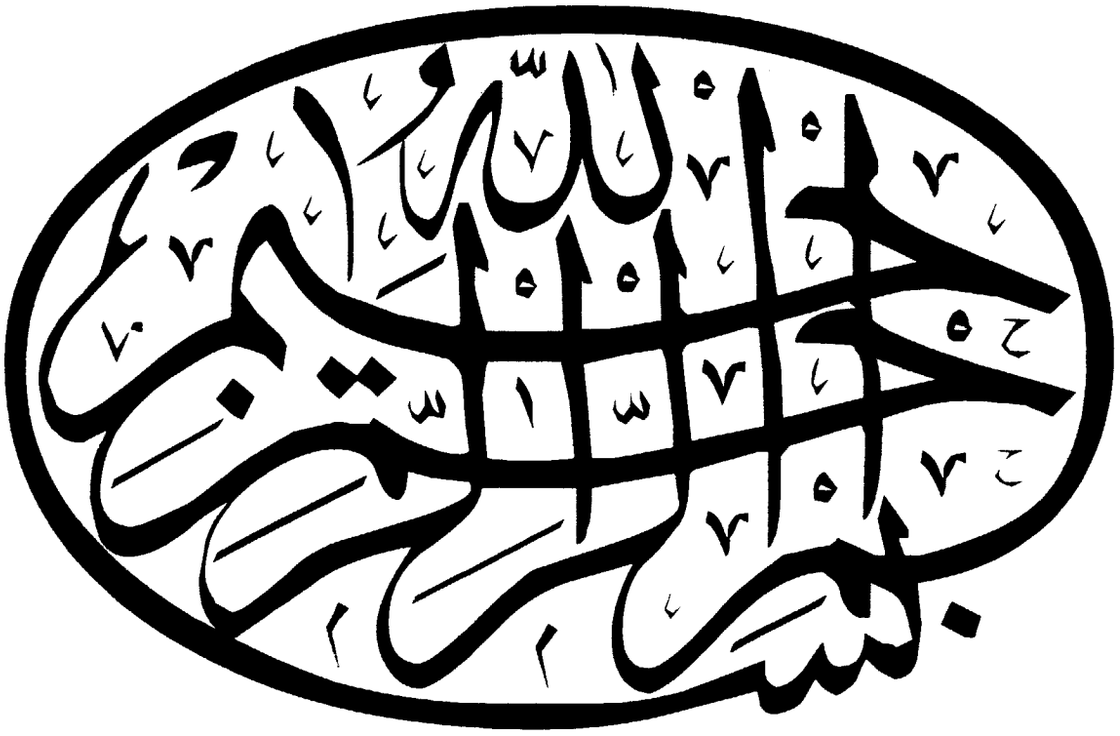

٣٩٠٤٩

دانشگاه تهران ـ دانشکده فنی
گروه نقشه‌برداری و ژئوماتیک
پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نقشه‌برداری ـ ژئودزی

۱۳۸۰ /۱۰/ ۲۴

بهبود مدار ارسالی ماهواره‌های GPS

با حل عددی معادلات دنیامیک حرکت ماهواره

015788

ارائه دهنده: فرشاد سمیه‌ئی

استاد راهنما: دکترحسین نهاوندچی

تابستان ۱۳۸۰

۳۹۰۶۹

«لاَ الشَّمْسُ يَنْبَغی لَها اَنْ تُدْرِکَ الْقَمَرَ ولاَ اللَّيْلُ سابِقُ النَّهارِ وَ کُـلٌ فی فَلَکٍ يَسبَحُونَ» (يأسين آيـه ٤٠)

«نه(در گردش منظم عالم) خورشيد را شايد که به ماه فرا رسد و نه شب بـر روز سبقت گيرد و هريک بر مدار معيّنی(در اين درياى بی‌پايان) شناورند»

"The sun must not catch up the moon, nor does the night outstrip the day . Each one is travelling in an orbit with its own motion"

(Al Qur'an 36:40)

«الشمس و القمر بحسبان» (الرحمن آيـه ٥)

«و ماه خورشيد با حساب معين(بحکم نافذ و جاذبه شوق او) بگردش‌اند»

"The sun and the moon (are subjected) to calculations"

(Al Qur'an 55:5)

موضـــوع

بهبود مدار ارسالی ماهواره های GPS ، باحل عددی معادلات دینامیک حرکت ماهواره

توســـط

فرشاد سمیه ئی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته نقشه برداری - ژئودزی

از این پایان نامه در تاریخ ۸۰/۶/۴ درمقابل

هیئت داوران دفاع بعمل آمده و مورد تصویب قرار گرفت .

محل امضاء

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده :	**دکتر محمدعلی بنی هاشمی**
مدیرگروه آموزشی :	**دکتر علیرضاآزموده اردلان**
نماینده تحصیلات تکمیلی گروه :	**دکتر محمدرضا سراجیان**
استاد راهنما :	**دکترحسین نهاوندچی**
عضو هیئت داوران :	**دکترعلیرضاآزموده اردلان**
عضو هیئت داوران :	**دکتربهروز وثوقی**

دانشکده فنی دانشگاه تهران
تحصیلات تکمیلی

ضمن قدردانی از تمامی زحمات پدر و مادر عزیزم و با کسب اجازه از محضر این عزیزان پایان‌نامه خود را به دائی عزیزم جناب آقای محمد هاشم باقری تقدیم میدارم. باشد تا گوشه‌ای ناچیز از زحمات این عزیز بزرگوار را جبران نموده باشم.

چکیده

با توجه به اهمیت مقوله دقت در ژئودزی و به طبع آنGPS و توجه به این نکته که در سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای، مدار ماهواره(با دقت مشخص) معلوم فرض میگردد،جهت رسیدن به دقت‌های بالا برای مختصات مجهول نقاط زمینی ، دقت بالای موقعیت ماهواره مورد نیاز میباشد. در این راستا، با عنایت به اینکه مدار ارسالی ماهواره‌هایGPS از دقت بالایی برخوردار نمیباشد،هدف از این پایان‌نامه بهبود مدار ارسالی ماهواره‌های GPS با استفاده از حل عددی معادلات دینامیک حرکت ماهواره و شبه مشاهدات موقعیت و سرعت(محاسبه شده بوسیله پیغامهای ارسالی ماهواره‌های GPS)میباشد.

بدین منظور جهت آزمایش الگوریتمهای ارائه شده در این پایان‌نامه ماهواره PRN14 انتخاب گردیده و موقعیت دقیق این ماهواره به مدت شش ساعت، از ساعت یک الی هفت روز 14 فوریه سال 2000 محاسبه و بررسی گردید.نتایج حاصل از این محاسبات بیانگر این مطلب است که موقعیت دقیق محاسبه شده با استفاده از روش فوق‌الذکر بسیار دقیقتر از موقعیت اولیه حاصل از پیغامهای ارسالی ماهواره PRN14 بوده، لیکن نسبت به موقعیت دقیق محاسبه شده توسط IGS و NGS ازدقت کمتری برخوردار میباشد،که مهمترین دلیل آن ناشی از عدم شناخت کافی از نیروهای اغتشاشی مؤثر بر مدار ماهواره‌های GPS علی‌الخصوص فشار تشعشات خورشید می‌باشد.لذا پیشنهاد می‌گردد با توجه به آشنایی بیشتر با مشاهدات و مدلهای مورد استفاده در متد هندسی و همچنین کوتاهی اپک محاسبات(حداکثر دو ساعت)جهت رسیدن به نتایج دقیقتر از روش هندسی(با استفاده از و مشاهدات فاز موج حامل تفاضلی مرتبه دو)و یا تلفیق روشهای هندسی و دینامیک استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

در این بخش لازم میدانم تا از استاد گرامیم جناب آقای دکترحسین نهاوندچی که مرا در طی مراحل مختلف انجام و ارائه این پایان‌نامه یاری نمودند، آقایان پروفسورRothacher از دانشگاه مونیخ و دکتر Hougentobler ازIGS که دانش‌نامه دکترای خود را در اختیار اینجانب گذاردند ، جناب آقای پروفسور Beutler از دانشگاه برن (AIUB) که مقالات و جزوات خود را در اختیار من گذاشته و پاسخگوی سئوالات من بودند و آقایان دکتر سراجیان (ریاست محترم جلسه دفاع) ،دکتر اردلان و دکتر وثوقی که بعنوان ممتحن مرا در ارائه این پایان‌نامه یاری نمودند نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۳
فهرست مطالب	۵
فهرست اشکال	۸
فهرست جداول	۱۰
مقدمه	۱۱
۱ سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS	۱۳
۲ مدل نمودن مدار ماهواره‌های GPS	۱۷
۲-۱ مدل نیرو	۱۷
۲-۱-۱ قوانین کپلر	۱۷
۲-۱-۲ معادله حرکت در سیستم مختصات قائم الزاویه	۲۰
۲-۱-۲-۱ قوانین حرکت نیوتن	۲۰
۲-۱-۲-۲ قانون جاذبه عمومی نیوتن	۲۱
۲-۲ تعمیم معادلات حرکت	۲۲
۲-۳ نیروهای اغتشاشی موثر بر مدار ماهواره‌های GPS	۲۷
۲-۳-۱ بخش نامتقارن (غیر کروی) پتانسیل جاذبه زمین	۲۸
۲-۳-۲ تاثیر جاذبی ماه و خورشید	۳۰
۲-۳-۳ تاثیر جزر و مد زمین جامد	۳۱
۲-۳-٤ فشار تشعشات خورشید	۳۱
۲-۳-٤-۱ مدلهای ROCK	۳۲

۲-۳-٤-۲ تشعشعات مستقیم خورشید ۳٦

۲-۳-٤-۲-۱ مدل استاندارد فشار تشعشعات مستقیم خورشید ۳٦

۲-۳-٤-۲-۲ مدل ECOM ٤۱

۲-۳-٤-۳ فشار تشتشعات Albedo ٤۳

۲-۳-۵ ترمهای رزونانس ٤۹

۲-۳-٦ تاثیرات جاذبی ناشی از جذر و مد اقیانوسها ۵۰

۲-۳-۷ تاثیرات جاذبی سیارات ۵۱

۲-۳-۸ تصحیحات نسبیت ۵۱

۲-۳-۹ بازتاب حرارتی ۵۱

۲-۳-۱۰ مقاومت هوا ۵۲

۳ برآورد مدارات ماهواره‌های GPS ۵۳

۳-۱ بیان مسئله ۵۳

۳-۲ مشاهدات ۵۵

۳-۳ اصول تعیین مدار ۵٦

۳-٤ انتخاب پارامترها ۵۹

۳-۵ انتگرالگیری عددی ٦۰

۳-۵-۱ متد اولر ٦۱

۳-۵-۲ متدهای چند مرحله‌ای ٦۲

۳-٦ حل معادلات نوسانی ٦٤

۳-۷ پالسهای شبه تصادفی ٦۷

۳-۸ ترکیب N طول قوس کوتاه متوالی جهت تشکیل طول قوس بلند ٦۹

٤ برآورد صحت مدار ۷۲

٤-١ خطاهای ظاهری مدارات ماهواره ٧٢

٤-١-١ خطاهای ظاهری پارامترهای مداری ٧٣

٤-١-٢ خطاهای ظاهری موقعیت ماهواره ٧٣

٤-١-٣ خطاهای ظاهری موقعیت های نسبی و فواصل بین ماهواره‌ها ٧٥

٤-٢ مقایسه مدارات ماهواره‌ها ٧٦

٥ محاسبات عددی ٧٨

٦ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ١٠١

فهرست منابع و ماخذ ١٠٥

ضمیمه A ١٠٧

ضمیمه B ١٠٨

ضمیمه C ١١٠

چکیده انگلیسی ١١٢

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ : ترتیب استقرار ماهواره‌های GPS در صفحات مداری A-F ۱٤

شکل ۱-۲ : نسلهای مختلف ماهواره‌های GPS : I و II و IIR ۱۵

شکل ۲-۱ : المانهای کپلری ۱۹

شکل ۲-۲ : وضعیت ماهواره و مرکز جرم زمین در سیستم اینرشیال اختیاری ۲٤

شکل ۲-۳ : سطوح و ویژگیهای ماهواره‌های GPS بلوک II (μ ضریب انعکاسی - ۷ ضریب طیفی) ۳۳

شکل ۲-٤ : مدل ساده استوانه ای جهت محاسبه سایه زمین ۳۷

شکل ۲-۵ : سیستم مختصات Satellite – fixed ۳۹

شکل ۲-٦ : مدل فشار تشعشعات Albedo ٤٤

شکل ۲-۷ : مولفه‌های X، Y و Z مدل ARP ،الف – نمایش پرسپکتیو،ب– همان وضعیت از منظر امتداد زمین به خورشید ٤۷

شکل ۳-۱ : تقسیم بندی بازهٔ زمانی (t_0 و t_1)=I ٦۱

شکل ۵-۱ : دیاگرام مراحل محاسبات، در طی پروسه بهبهود مدار با استفاده از حل عددی متد دینامیک و به کمک شبه مشاهدات موقعیت و سرعت ناشی از پیغامهای ارسالی ماهواره‌های GPS ۷۹

شکل ۵-۲- الف : شتاب ناشی از ترم مرکزی میدان جاذبه زمین ۸۳

شکل ۵-۲- ب : شتاب ناشی از بخش غیر کروی مدل ژئوپتانسیل زمین ۸۳

شکل ۵-۲- ج : شتاب ناشی از تاثیر جاذبی ماه و خورشید ۸٤

شکل ۵-۲- د : شتاب ناشی از تاثیر جزر و مد زمین جامد ۸٤

شکل ۵-۲- ه : شتاب ناشی از مدل ROCK ۸۵
شکل ۵-۲- و : شتاب ناشی از فشار تشعشعات مستقیم خورشید ۸۵
شکل ۵-۲- ز : شتاب ناشی از Y-bias ۸۶
شکل ۵-۳- الف: مقایسه مولفه‌های x حاصل از این پایان نامه (Precise) با مولفه‌هایx حاصل از Broadcast، NGS و IGS ۹۲
شکل ۵-۳- ب : مقایسه مولفه‌های y حاصل از این پایان نامه (Precise) با مولفه‌هایy حاصل از Broadcast، NGS و IGS ۹۳
شکل ۵-۳- ج : مقایسه مولفه‌های z حاصل از این پایان ناه (Precise) با مولفه‌های z حاصل از Broadcast، NGS و IGS ۹۳
شکل ۵-٤ – الف: مقایسه باقیمانده مولفه‌های x، NGS ، Precise و Broadcast نسبت به IGS ۹٤
شکل ۵-٤ – ب : مقایسه باقیمانده مولفه‌های y، NGS ، Precise و Broadcast نسبت به IGS ۹۵
شکل ۵-٤ – ج : مقایسه باقیمانده مولفه‌های z، NGS ، Precise و Broadcast نسبت به IGS ۹۵
شکل ۵-۵ : شتاب تشعشعات مستقیم خورشید ، Y-bias و Z-bias ۹۸

فهرست جداول

جدول ۱-۱ : تاریخچه و هندسه ماهواره‌های GPS تا سپتامبر ۱۹۹۸..... ۱۶

جدول ۲-۱ : تاثیرات نیروهای اغتشاشی بر روی مدار ماهواره‌های GPS ۲۳

جدول ۲-۲ : ابعاد مختلف ماهواره‌های GPS و GLONASS ۳۳

جدول ۵-۱ : اپک‌های محاسبات ۸۰

جدول ۵-۲ : نیروهای اغتشاشی مؤثر بر مدار ماهواره PRN14 ..... ۸۲

جدول ۵-۳- الف : مقادیر المانهای نوسانی اولیه،برآورد شده و انحراف معیار مجهولات برآورد شده اپک اوّل ۸۸

جدول ۵-۳- ب : مقادیر المانهای نوسانی اولیه،برآورد شده و انحراف معیار مجهولات برآورد شده اپک دوّم ۸۹

جدول ۵-۳- ج : مقادیر المانهای نوسانی اولیه،برآورد شده و انحراف معیار مجهولات برآورد شده اپک سوّم ۹۰

جدول ۵-٤ : مقادیر اولیه و برآورد شده پارامترهای مدلECOM و فاکتور مقیاس مدل ROCK ۹۱

جدول ۵-۵ : مقایسه میانگین و انحراف معیار اختلاف مولفه های x ، y و z ، precise و Broadcast نسبت به IGS ۹٦

جدول ۵-٦ : مقایسه انحراف معیار و RMS موقعیت ماهواره در سه راستای شعاعی، در مسیر حرکت و خارج از صفحه مداری ۹۹

جدول ٦-۱ : مقایسه مشاهدات،مدل مشاهدات و متد سرشکنی مورد استفاده در چند نرم‌افزار معتبر ۱۰۳

مقدمه

همواره در ژئودزی دقت مشاهدات و صحت انجام محاسبات از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده و تمامی تلاش متخصصین مربوطه در جهت رسیدن به نتایج دقیقتر می باشد. درهمین راستا سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS نیز از این امر مستثنی نبوده و دقت نتایج حاصله علی‌الخصوص برای پروژه‌های میکروژئودزی و ژئودینامیک از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد.

امروزه دقت قابل دسترس مدار ارسالی ماهواره‌های GPS در حدود سه تا ده متر (با استفاده از ترمهای تصحیح سینوس و کسینوسی) می باشد. حال با توجه به اینکه درطولهای باز بلندتر از 100-50 کیلومتر کیفیت مدار(البته به همراه تروپسفر) عامل اصلی محدود کننده دقت برآورد مختصات ایستگاه‌های زمینی می‌باشد. نتایج با دقت بالا بصورت منطقه‌ای و جهانی تنها از طریق تکنیک بهبود مدار[1] حاصل می‌گردند.

در یک تقسیم بندی کلی متدهای محاسباتی مورد استفاده در این تکنیک به دو بخش کلی متد هندسی و دینامیک تقسیم می‌گردند. در متد هندسی روش حل بر مبناء اجسمنت Over Constraint مشاهدات همزمان، در حداقل چهار سایت ثابت با استفاده از مشاهدات فاز موج حامل تفاضلی مرتبه دو می باشد، لیکن در متد دینامیک مدل اصلی مورد استفاده معادلات دینامیک حرکت ماهواره بوده و محاسبات بر مبناء حل این معادلات برای کلیه مجهولات شامل موقعیت ماهواره، پارامترهای مربوط به نیروهای مؤثر بر مدار ماهواره(پارامترهای دینامیک) و پارامترهای مربوط به پالسهای شبه تصادفی(بیانگر میزان تاثیر تغییرات سرعت در یک لحظه و یک امتداد تصادفی بر روی المانهای کپلری همان لحظه و اپکهای پس از آن) می باشد.

---

[1] Orbit Improvement

در عمل جهت حل متد دینـامیک دو روش آنـالیتیک و عـددی وجـود دارد. در روش آنالیتیک ابتداء مـدار کپلـری مـاهواره محاسـبه شـده و سـپس تـاثیر هـر یـک از نیروهـای اغتشاشی بـر روی موقعیـت مـاهواره بصـورت مجـزا محاسـبه و بـه مـدار کپلـری اعمـال مـی‌گـردد[1]، لیکـن در روش عـددی مـدل نـیرو بصـورت همزمـان و یکپـارچـه بـرای کلیـه پارامترهای مجهول حل می گردد.

حال با عنایت به اینکه متد هندسی مختص به ماهواره‌هایی است که در آنـها فاصلـه بیـن مـاهواره تـا ایسـتگاه ثـابت زمینـی قـابل انـدازه‌گـیری میباشـد(نظـیر SLR,GPS و یاGLONASS)و در نظر گرفتن این واقعیت که بعلّت عدم دسترسی بـه سـایتهای ثـابت بـه تعداد کافی ، در حال حاضر عملاً استفاده از متد هندسی در داخل ایران امکان پذیر نمیباشد و با توجه به این نکته اساسی که متد دینامیک تنها مختص به ماهواره‌هایGPS نبوده، بلکـه برای تمامی اجرام سماوی صادق می‌باشد و همچنین توجه به این مطلب کـه متـد دینـامیک علاوه بر موقعیت دقیق جرم سـماوی اطلاعـات ارزشـمندی در رابطـه بـا دینـامیک مـدار و نیروهای اغتشاشی مؤثر بر آن در اختیار می‌گذارد، در این پایان‌نامه سعی گردیده است تا با استفاده از پیغامهای ارسـالی ماهواره‌های GPS[2] بعنوان مدار اولیه[3] و به کمک روش حـل عددی متد دینامیک مدار دقیق ماهواره‌های GPS[4] محاسـبه و بررسی گردد[5].

---

[1] جهت اطلاع بیشتر از چگونگی روش حل آنالیتیک متد دینامیک به سمینار کارشناسی‌ارشد اینجانب تحـت عنوان بررسی تاثیر بخش نامتقارن مدل ژئوپتانسیل زمین، فشار تشعشعات مستقیم و Y-bias خورشید بـر روی مدار ماهواره‌های GPS رجوع نمائید.

[2] Broadcast ephemerid

[3] Initial orbit

[4] Precise ephemerid

[5] لازم به تذکر است که در عمل با در نظر گرفتن یک مدار اوّلیه تقریبی برای هر جرم سماوی میتـوان مـدار دقیق آنرا با استفاده از روش حل عددی متد دینامیک محاسبه نمود.بعبـارت دیگـر بـا اسـتفاده از ایـن متـد می‌توان مسئله محاسبه (در حالت خاص طراحی) مدار برای هر جرم سماوی(در حـالت خـاص مـاهواره)را مطرح نمود.