دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی نقشه‌برداری

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی نقشه‌برداری گرایش ژئودزی

کشف آفست‌های سری زمانی مختصات ایستگاه‌های دائم GPS با استفاده از آنالیز چندمتغیره

استاد راهنما :

دکتر علیرضا امیری سیمکویی

استاد مشاور:

دکتر جمال عسگری

پژوهشگر:

مهین حسینی اصل

دی ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه نقشه‌برداری

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی نقشه‌برداری گرایش ژئودزی خانم مهین حسینی اصل تحت عنوان

کشف آفست‌های سری زمانی مختصات ایستگاه‌های دائم GPS با استفاده از آنالیز چند-متغیره

در تاریخ۲۵/ ۱۰ /۹۱ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر علیرضا امیری سیمکویی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر جمال عسگری با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر وهاب نفیسی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر یحیی جمور با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

سپاسگزاری

ضروری است که مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به همه عزیزان و بزرگوارانی که در تکمیل این پایان نامه مرا یاری داده اند ابراز نمایم. بدین وسیله از زحمات اساتید محترم راهنما، جناب آقای **دکتر علیرضا امیری سیمکویی** و راهنمایی‌های ارزشمند استاد محترم مشاور، جناب آقای **دکتر جمال عسگری** تشکر و قدردانی می نمایم. این عزیزان نه تنها مرا در مسیر پایان نامه راهنمایی و هدایت نمودند، بلکه بعنوان الگویی برای اینجانب در تفکر علمی و رفتار حرفه‌ای قرار گرفتند.

و سپاس بیکران بر همدلی و همراهی پدر بزرگوار و مادر دلسوز و مهربانم!

چکیده

با توجه به کاربردهای متفاوت سری‌های زمانی در مباحث ژئودتیکی و ژئوفیزیکی مانند بررسی حرکات تکتونیک، حرکات ایزوستاتیک یخبندان، تغییرشکل پوسته زمین، دینامیک زلزله و غیره نیاز است که سری‌های زمانی با دقت بالا تقریب گردند. سری‌های زمانی شامل یک ترند خطی، حرکات پریودیک با فرکانس‌های سالیانه و نیم سالیانه (سیگنال-ها)، آفست‌های احتمالی و یکسری رفتارهای دیگر تحت عنوان نویز می‌باشند. کشف صحیح آفست، نیازمند برآورد صحیحی از نویز و ماتریس واریانس-کواریانس مشاهدات می‌باشد. بدین منظور از روش برآورد مولفه‌های واریانس، مبتنی بر روش کمترین‌مربعات استفاده شده است. صرفنظر کردن از نویز رنگی موجود در سری‌های زمانی، تاثیر ناصحیح بر کشف آفست‌ها می‌گذارد. ابتدا از آنالیز تک‌متغیره‌ی سری زمانی استفاده کرده و سپس جهت افزایش قدرت تشخیص، آنالیز چندمتغیره معرفی شده است. در آنالیز تک‌متغیره تنها از یکی از مولفه‌های مختصاتی ایستگاه دائم و در آنالیز چند-متغیره از هر سه مولفه‌ی مختصاتی در یک ایستگاه استفاده شده است که ساختار نویز و آفست آنها یکسان می‌باشد. نتایج بدست آمده از آنالیز چندمتغیره بسیار بهتر از آنالیز تک‌متغیره می‌باشد و تعداد آفست‌های بیشتری کشف شده است. در این تحقیق، علاوه بر بررسی سری‌های زمانی ایستگاه‌های دائم GPS، از سری‌های زمانی شبیه سازی شده در اپک-های روزانه، دارای سه مولفه‌ی مختصاتی در هر ایستگاه استفاده شده است که روش پیشنهادی نتایج قابل اطمینانی را ارائه می‌دهد. برای داده‌های شبیه‌سازی شده، کشف آفست‌ها به بزرگی ۲ برابر انحراف معیار نویز، نتیجه‌ی صد در صد به همراه داشته و همچنین ۸۰ درصد از آفست‌ها به بزرگی ۱ برابر انحراف معیار نویز نیز کشف شده‌اند. در کنار آفست‌ها، اشتباهات نیز با استفاده از آنالیز چندمتغیره کشف شده‌اند که نتایج برای اشتباهات به بزرگی ۲ برابر انحراف معیار نویز، ۳۸ درصد و برای اشتباهات به بزرگی ۴ برابر انحراف معیار نویز، ۹۹ درصد بوده است.

واژگان کلیدی: سری‌های زمانی، برآورد مؤلفه‌های واریانس، آفست، آنالیز چندمتغیره.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- مروری بر پیشینه‌ی موضوع ۲

۱-۲- اهداف پایان نامه ۵

۱-۳- معرفی فصول پایان نامه ۶

فصل دوم: مروری بر مبانی نظری سرشکنی و آزمون‌های آماری **۸**

۲-۱- توابع توزیع احتمال ۸

۲-۲- مبانی سرشکنی ۸

۲-۲-۱- سرشکنی به روش کمترین مربعات ۱۰

۲-۲-۲- کمترین مربعات وزن‌دار ۱۱

۲-۲-۳- کمترین مربعات BLUE ۱۲

۲-۲-۴- برآوردگر بیشترین درست‌نمایی ۱۳

۲-۳- مفاهیم پایه در آزمون‌های آماری ۱۴

۲-۳-۱- آزمون نسبت درست‌نمایی ساده ۱۶

۲-۳-۲- آزمون نسبت درست‌نمایی عمومی ۱۷

۲-۳-۳- آزمون‌های فرض در مدل‌های خطی ۱۸

۲-۳-۴- تشخیص مشاهده‌ی اشتباه ۲۱

۲-۳-۵- آنالیز هارمونیک سری‌های زمانی ۲۲

۲-۳-۶- آنالیز پایداری بر مبنای روش سرشکنی همزمان ۲۴

۲-۳-۷- کشف آفست در سری‌های زمانی ۲۵

فصل سوم: کشف آفست در سری‌های زمانی **۲۸**

۳-۱- آنالیز تک‌متغیره‌ی سری‌های زمانی ۲۹

۳-۱-۱- برآورد مولفه‌های نویز ۲۹

۳-۱-۲- ماتریس واریانس-کواریانس مشاهدات، مدل تصادفی ۳۰

۳-۱-۳- برآورد مولفه‌های واریانس به روش کمترین مربعات ۳۱

۳-۱-۴- کشف آفست در سری‌های زمانی ۳۳

۳-۱-۵- تست آفست‌های کشف شده در سری‌های زمانی ۳۴

۳-۲- آنالیز چندمتغیره‌ی سری‌های زمانی ۳۵

عنوان **صفحه**

۳-۲-۱- برآورد مولفه‌های نویز ۳۶
۳-۲-۲- کشف آفست در سری‌های زمانی ۳۹
۳-۲-۳- تست آفست‌های کشف شده ۴۱

فصل چهارم کشف آفست در سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده **۴۲**
۴-۱- مدل اول شبیه‌سازی شده، سری زمانی شامل یک آفست ۴۳
۴-۱-۱- آنالیز تک‌متغیره‌ی سری‌های زمانی ۴۹
۴-۱-۲- آنالیز چندمتغیره‌ی سری‌های زمانی ۵۵
۴-۲- مدل دوم شبیه سازی شده، سری زمانی شامل چندین آفست ۵۷
۴-۲-۱- آنالیز تک‌متغیره‌ی سری‌های زمانی ۵۹
۴-۲-۲- آنالیز چندمتغیره‌ی سری‌های زمانی ۶۴
۴-۳- مدل سوم شبیه سازی شده، سری زمانی شامل آفست و اشتباه ۶۷
۴-۳-۱- آنالیز تک‌متغیره‌ی سری‌های زمانی ۶۸
۴-۳-۲- آنالیز چندمتغیره‌ی سری‌های زمانی ۷۲

فصل پنجم کشف آفست در سری‌های زمانی ایستگاه‌های دائم GPS **۷۶**
۵-۱- آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره‌ی سری‌های زمانی ۷۶
۵-۲- تاثیر آفست و اشتباه بر مولفه‌های نویز حاصله ۱۰۶

فصل ششم کشف آفست در سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده توسط مرکز اقیانوس گرافی لیورپول **۱۱۱**

فصل هفتم بحث و نتیجه‌گیری **۱۳۰**

پی‌وست ۱ مروری بر برخی از توابع توزیع احتمال **۱۳۵**

منابع و مآخذ **۱۳۷**

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ ترند خطی فیت شده به سری زمانی جهت کشف آفست در روش Easterling-Peterson.. ۳
شکل ۲-۱ (a) استفاده از یک برآوردگر دلخواه، (b) استفاده از برآوردگر کمترین مربعات ۱۱
شکل ۲-۲ موقعیت مسطحاتی GPS یک نقطه در ۱۰۰۰ اپک با $W = I_{12}$ (a) و $W = Q_y^{-1}$ (b) .. ۱۳
شکل ۲-۳ خطای نوع اول و دوم در آزمون‌های آماری ۱۶
شکل ۳-۱ مشاهده آفست در سال ۱۹۹۹ ..... ۲۹
شکل ۴-۱ سری زمانی شبیه‌سازی شده دارای ترند خطی ۴۲
شکل ۴-۲ سری زمانی شبیه‌سازی شده شامل ترند خطی و نویز سفید و رنگی ۴۲
شکل ۴-۳ آفست و سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده در اپک ۴۲۵ با بزرگی‌های متفاوت ۴۴
شکل ۴-۴ آفست و سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده در اپک ۸۵۰ با بزرگی‌های متفاوت ۴۵
شکل ۴-۵ آفست و سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده در اپک ۱۲۷۵ با بزرگی‌های متفاوت..... ۴۶
شکل ۴-۶ آفست و سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده در اپک ۱۷۰۰ با بزرگی‌های متفاوت ۴۷
شکل ۴-۷ آفست و سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده در اپک ۲۱۲۵ با بزرگی‌های متفاوت ۴۸
شکل ۴-۸ آفست ایجاد شده با بزرگی ۳ برابر σ در اپک ۱۲۷۵ ..... ۵۱
شکل ۴-۹ آفست‌های کشف شده در مثال ۱ ..... ۵۱
شکل ۴-۱۰ آفست‌های کشف شده در مثال ۲ ..... ۵۲
شکل ۴-۱۱ آفست‌های کشف شده در مثال ۳ ..... ۵۳
شکل ۴-۱۲ درصد کشف آفست‌های مدل اول شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۵۳
شکل ۴-۱۳ درصد کشف آفست‌های مدل اول شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی، روش برآورد: هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۵۴
شکل ۴-۱۴ درصد کشف آفست‌های مدل اول شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۵۴
شکل ۴-۱۵ سه مولفه‌ی مختصاتی مربوط به یک ایستگاه در بازه‌ی زمانی مشترک، اپک آفست‌دار ۱۲۷۵ و بزرگی آفست ۶ برابر انحراف معیار نویز ۵۵
شکل ۴-۱۶ درصد کشف آفست‌های مدل اول شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز چندمتغیره ۵۶

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱۷ درصد کشف آفست‌های مدل اول شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی، روش برآورد: وجود هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز چندمتغیره ۵۶
شکل ۴-۱۸ درصد کشف آفست‌های مدل اول شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی، روش برآورد: فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز چندمتغیره ۵۷
شکل ۴-۱۹ مدل شبیه‌سازی شده‌ی دوم، آفست‌ها با بزرگی‌های ۱ برابر، ۲ برابر و ۳ برابر انحراف معیار نویز ۵۸
شکل ۴-۲۰ آفست‌های کشف شده در مثال ۶۰
شکل ۴-۲۱ آفست‌های کشف شده در مثال ۲ ..... ۶۱
شکل۴-۲۲ آفست‌های کشف شده در مثال ۳ ..... ۶۲
شکل ۴-۲۳ درصد کشف آفست‌های مدل دوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۶۳
شکل ۴-۲۴ درصد کشف آفست‌های مدل دوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض وجود هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۶۳
شکل ۴-۲۵ درصد کشف آفست‌های مدل دوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی، روش برآورد: فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۶۴
شکل ۴-۲۶ درصد کشف آفست‌های مدل دوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز چندمتغیره ۶۵
شکل ۴-۲۷ درصد کشف آفست‌های مدل دوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض وجود هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز چندمتغیره ۶۶
شکل ۴-۲۸ درصد کشف آفست‌های مدل دوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی، روش برآورد: فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز چندمتغیره ۶۶
شکل ۴-۲۹ آفست و اشتباه کشف شده در یکی از سری‌های زمانی (مدل سوم شبیه‌سازی شده) ۶۸
شکل ۴-۳۰ درصد کشف آفست‌های مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۶۹
شکل ۴-۳۱ درصد کشف اشتباهات مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۶۹
شکل ۴-۳۲ درصد کشف آفست‌های مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض وجود هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۰

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۳۳ درصد کشف اشتباهات مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض وجود هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۰
شکل ۴-۳۴ درصد کشف آفست‌های مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۱
شکل ۴-۳۵ درصد کشف اشتباهات مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۱
شکل ۴-۳۶ درصد کشف آفست‌های مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۲
شکل ۴-۳۷ درصد کشف اشتباهات مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل تنها نویز سفید، روش برآورد: مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۲
شکل ۴-۳۸ درصد کشف آفست‌های مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض وجود هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۳
شکل ۴-۳۹ درصد کشف اشتباهات مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض وجود هر دو نویز سفید و رنگی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۳
شکل ۴-۴۰ درصد کشف آفست‌های مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۴
شکل ۴-۴۱ درصد کشف اشتباهات مدل سوم شبیه‌سازی شده در صد سری زمانی، شامل هر دو نویز سفید و رنگی. روش برآورد: فرض سفید بودن نویز سری‌های زمانی و استفاده از آنالیز تک‌متغیره ۷۴
شکل ۵-۱ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه ALGO ۷۹
شکل ۵-۲ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه FORT ۸۲
شکل ۵-۳ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه GOLD ۸۵
شکل ۵-۴ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه GRAZ ۸۸
شکل ۵-۵ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه KOSG1 ..... ۹۱
شکل ۵-۶ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه ONSA ۹۴

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۷ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه TSKB ۹۷
شکل ۵-۸ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه USUD ۱۰۰
شکل ۵-۹ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه VNDP ۱۰۳
شکل ۵-۱۰ آنالیز تک و چندمتغیره‌ی آفست‌ها (خط‌چین) و اشتباهات (نقاط توپر) مولفه‌های مختصاتی ایستگاه VNDP ۱۰۶
شکل ۶-۱ آفست‌های کشف شده در سه مولفه‌ی مختصاتی، با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، ایستگاه gamp ۱۱۳
شکل ۶-۲ آفست‌های کشف شده در سه مولفه‌ی مختصاتی، با استفاده از آنالیز چندمتغیره، ایستگاه gamp ۱۱۴
شکل ۶-۳ مقدار باقیمانده‌ها در سه مولفه‌ی مختصاتی، پس از کشف آفست و اشتباهات در آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره، ایستگاه abxq ۱۱۷
شکل ۶-۴ مقدار باقیمانده‌ها در سه مولفه‌ی مختصاتی، پس از کشف آفست و اشتباهات در آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره، ایستگاه gamp ۱۲۰
شکل ۶-۵ مقدار باقیمانده‌ها در سه مولفه‌ی مختصاتی، پس از کشف آفست و اشتباهات در آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره، ایستگاه gpre ۱۲۳
شکل ۶-۶ مقدار باقیمانده‌ها در سه مولفه‌ی مختصاتی، پس از کشف آفست و اشتباهات در آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره، ایستگاه lpod ۱۲۶
شکل ۶-۷ مقدار باقیمانده‌ها در سه مولفه‌ی مختصاتی، پس از کشف آفست و اشتباهات در آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره، ایستگاه tutx ۱۲۹
شکل ۱ تابع PDF برای توزیع نرمال با میانگین $\overline{y}$ و انحراف معیار σ_y ۱۳۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱ انواع حالت‌های مورد بررسی در مدل اول شبیه‌سازی ۵۲
جدول ۴-۲ آفست‌های کشف شده در مثال ۱ ..... ۵۳
جدول ۴-۳ آفست‌های کشف شده در مثال ۲ ..... ۵۴
جدول ۴-۴ آفست‌های کشف شده در مثال ۳ ..... ۵۴
جدول ۴-۵ انواع حالت‌های مورد بررسی در مدل دوم شبیه‌سازی ۶۸
جدول ۴-۶ آفست‌های کشف شده در مثال ۱ ..... ۶۹
جدول ۴-۷ آفست‌های کشف شده در مثال ۲ ..... ۷۰
جدول ۴-۸ آفست‌های کشف شده در مثال ۳ ..... ۷۱
جدول ۴-۹ آفست و اشتباه کشف شده در یکی از سری‌های زمانی در مدل سوم شبیه‌سازی ۷۷
جدول ۵-۱ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانیALGO ۹۱
جدول ۵-۲ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانیALGO ۹۲
جدول ۵-۳ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی FORT ۹۴
جدول ۵-۴ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی FORT ۹۵
جدول ۵-۵ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی GOLD ۹۷
جدول ۵-۶ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی GOLD ۹۸
جدول ۵-۷ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانیGRAZ ۱۰۰
جدول ۵-۸ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی GRAZ ۱۰۱
جدول ۵-۹ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی KOSG1 ..... ۱۰۳
جدول ۵-۱۰ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی KOSG1 ..... ۱۰۴
جدول ۵-۱۱ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی ONSA ۱۰۶
جدول ۵-۱۲ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی ONSA ۱۰۷
جدول ۵-۱۳ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی TSKB ۱۰۹
جدول ۵-۱۴ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی TSKB ۱۱۰
جدول ۵-۱۵ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانیUSUD ۱۱۲
جدول ۵-۱۶ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی USUD ۱۱۳
جدول ۵-۱۷ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانیVNDP ۱۱۵
جدول ۵-۱۸ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی VNDP ۱۱۶
جدول ۵-۱۹ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی YELL ۱۱۸
جدول ۵-۲۰ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی YELL ۱۱۹

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۲۱ برآورد مولفه‌های نویز در مدل های مختلف، قبل از کشف آفست و بعد از کشف آفست ایستگاه ALGO ۱۲۱
جدول ۵-۲۲ برآورد مولفه‌های نویز در مدل های مختلف، قبل از کشف آفست و بعد از کشف آفست ایستگاه FORT ۱۲۲
جدول ۵-۲۳ برآورد مولفه‌های نویز در مدل های مختلف، قبل از کشف آفست و بعد از کشف آفست ایستگاه GOLD ۱۲۲
جدول ۵-۲۴ برآورد مولفه‌های نویز در مدل های مختلف، قبل از کشف آفست و بعد از کشف آفست ایستگاه GRAZ ۱۲۳
جدول ۵-۲۵ برآورد مولفه‌های نویز در مدل های مختلف، قبل از کشف آفست و بعد از کشف آفست ایستگاه KOSG1 ..... ۱۲۳
جدول ۵-۲۶ برآورد مولفه‌های نویز در مدل های مختلف، قبل از کشف آفست و بعد از کشف آفست ایستگاه ONSA ۱۲۳
جدول ۵-۲۷ برآورد مولفه‌های نویز در مدل های مختلف، قبل از کشف آفست و بعد از کشف آفست ایستگاه USUD ۱۲۴
جدول ۶-۱ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی abxq ۱۳۰
جدول ۶-۲ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی abxq ۱۳۱
جدول ۶-۳ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی gamp ۱۳۳
جدول ۶-۴ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی gamp ۱۳۴
جدول ۶-۵ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی gpre ۱۳۶
جدول ۶-۶ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی gpre ۱۳۷
جدول ۶-۷ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی lpod ۱۳۹
جدول ۶-۸ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی lpod ۱۴۰
جدول ۶-۹ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز تک‌متغیره، سری زمانی tutx ۱۴۲
جدول ۶-۱۰ کشف آفست و اشتباهات با استفاده از آنالیز چندمتغیره، سری زمانی tutx ۱۴۳

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
انحراف معیار	σ
بردار مشاهدات	$\underline{y}$
بردار مجهولات برآوردشده	$\underline{\hat{x}}$
بردار باقیمانده‌ی مشاهدات	$\underline{e}$
تعداد مشاهدات	m
تعداد مجهولات	n
توزیع نرمال	N
توزیع خی دو	χ^2
توزیع فیشر	F
ماتریس ضرائب	A
ماتریس واریانس-کواریانس مشاهدات	Q_y
ماتریس واریانس-کواریانس مجهولات	$Q_{\hat{x}}$
ماتریس وزن مشاهدات	W

فصل اول

مقدمه

سری زمانی، یک دنباله عددی است با طول مشخص و محدود از یک تابع که مقدار این تابع در زمان‌های مختلف $t_1 , t_2 , \dots , t_m$ مشخص بوده و این مقادیر می‌تواند از اندازه‌گیری‌ها در این زمان‌ها بدست آید. سری-های زمانی در ژئودزی می‌توانند شامل مختصات یک ایستگاه در اپک‌های مختلف، مشاهدات محتوای کلی الکترون (TEC) در یک ایستگاه و یا مشاهدات جزرومدی روزانه در یک نقطه و غیره باشند که در این تحقیق از مختصات روزانه ایستگاه‌های دائم GPS در طی چندین سال متوالی استفاده خواهد شد. با توجه به کاربردهای متفاوت سری‌های زمانی در مباحث ژئودتیکی و ژئوفیزیکی مانند بررسی حرکات تکتونیک، حرکات ایزوستاتیک یخبندان، تغییرشکل پوسته زمین، دینامیک زلزله و غیره نیاز است که سری‌های زمانی مربوطه با دقت بالا تقریب گردند.

علاوه بر وجود یکسری رفتارهای پریودیک در این سری‌ها که به عنوان سیگنال توسط مدل‌های تابعی[۱] کشف می‌گردند، رفتارهای دیگری نیز باقی می‌ماند که تحت عنوان نویز توسط مدل‌های تصادفی[۲] قابل ارائه است. جهت بررسی نویز سری‌های زمانی از روش برآورد مؤلفه‌های واریانس مبتنی بر قاعده کمترین مربعات (LS-VCE)[۳] استفاده می‌شود(Amiri-Simkooei 2007)، (Amiri-Simkooei et al. 2007) و همچنین (Teunissen et al. 2008). اما در کنار این رفتارها، وجود آفست‌ها در مقادیر تابع موردنظر در زمان‌های

---

[1] Functional model
[2] Stochastic model
[3] Least squares variance component estimation

مشخص و یا نامشخص، انکارنشدنی است که وجود آنها را بایستی در مدل تابعی دید. این آفست‌ها می‌توانند در اثر عواملی چون زلزله، تعویض آنتن گیرنده‌ی GPS، خطاهای انسانی و محیطی باشند که کشف آنها نیازمند روش‌های عددی می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق کشف صحیح این آفست‌هاست. بنابراین سری‌های زمانی ایستگاه‌های دائم شامل ترند خطی، حرکات پریودیک با فرکانس‌های سالیانه و نیم سالیانه، یکسری رفتارهای دیگر شامل نویز و آفست‌های احتمالی می‌باشند.

تأثیر آفست‌ها (چه شناخته شده و چه ناشناخته)، باعث کاهش دقت نتایج حاصل از سری‌های زمانی می‌گردد. شیفت‌های شناخته شده، زمان و علت وقوع آنها معلوم بوده و در نتیجه قابل حذف می‌باشند، مانند شیفت ایجاد شده هنگام تعویض تجهیزاتی چون گیرنده و آنتن. اما در رابطه با شیفت‌های ناشناخته، نیاز به روشی برای کشف آن‌ها می‌باشد. روش‌های مختلفی تابحال ارائه شده است که به آن‌ها اشاره خواهد شد. همچنین با ارائه‌ی روش خود، تفاوت‌ها و مزیت‌های این روش با روش‌های پیشین نیز ملاحظه خواهد شد.

معمولا تنها از یک سری زمانی، جهت برآورد نویز و کشف آفست‌ها استفاده می‌شود، بعبارتی تنها از مشاهدات مربوط به یکی از مولفه‌های ایستگاه، استفاده می‌گردد. اما گاهی اوقات ممکن است تعداد نویز و آفست‌ها زیاد و یا بزرگی آفست‌ها به قدری کوچک باشد که تنها با استفاده از یک سری زمانی، نتوان آنها را بخوبی کشف نمود؛ بلکه با ترکیب چند سری زمانی که آفست مربوطه در اپک‌های یکسان در آنها اتفاق افتاده است، می‌توان قدرت کشف را افزایش داد. بطور مثال می‌توان از سه مولفه‌ی مختصاتی در یک ایستگاه و یا از مولفه‌های مختصاتی چندین ایستگاه با ساختار مشترک از لحاظ وجود نویز و آفست استفاده نمود. این تلاش در مورد برآورد مولفه‌های نویز با استفاده از آنالیز چندمتغیره [۴]، ارائه گردیده است(Amiri-Simkooei 2009). بنابراین هدف اصلی این تحقیق، کشف آفست با استفاده از آنالیز چندمتغیره خواهد بود که روابط مربوطه جهت کشف آفست ارائه خواهد شد.

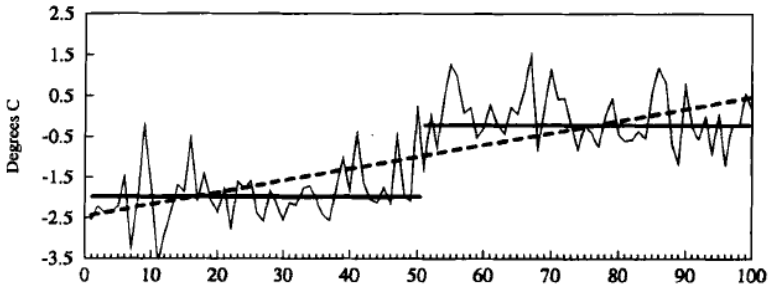
همچنین از نکات قابل توجه اینست که برآورد صحیح مولفه‌های نویز بر کشف صحیح آفست تاثیرگذار بوده و از طرفی کشف صحیح آفست بر روی مولفه‌های نویز تاثیر خواهد گذاشت. این مساله نیز در این تحقیق، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج عددی آن ارائه شده است.

۱-۱ مروری بر پیشینه‌ی موضوع

در مورد کشف آفست‌های ناشناخته، در سال ۱۹۹۰ مدلی ارائه شد که شیفت‌های اتفاقی[۵] نامیده می‌شود. اما این مدل تنها قادر به کشف آفست‌های غیرمنتظره با سایز بزرگ بود و بنابراین در مورد آفست‌های کوچک کارآمد نبود (Chen et al. 1990).

[4] Multivariate Least-Squares Harmonic Estimation
[5] RLS: Random Level Shifts

در سال ۱۹۹۵، برای کشف شیفت‌های موجود در سری‌های زمانی آب و هواشناسی متدی براساس آنالیز رگراسیون خطی ارائه شد، (Easterling et al. 1995). در این روش ابتدا یک ترند خطی ساده به کل سری زمانی فیت شده و مجموع مربعات باقیمانده‌ها (RSS_1)[۶] محاسبه می‌شود. سپس در هر اپک نیز سری زمانی به دو سری قبل و بعد از اپک تقسیم شده و به هر یک از این دو سری نیز یک ترند خطی فیت شده و RSS هر سری نیز محاسبه می‌گردد. مجموع RSS ها در هر اپک محاسبه شده و اپکی که دارای کمترین مقدار این مجموع است، به عنوان اپک دارای آفست در نظر گرفته می‌شود. خواننده‌ی محترم می‌تواند برای مطالعه‌ی بیشتر به مقاله‌ی ذکرشده مراجعه نماید.



شکل۱-۱ ترند خطی فیت شده به سری زمانی جهت کشف آفست در روش Easterling-Peterson

اما این روش مشاهدات را تنها با یک ترند خطی تقریب زده است، درصورتیکه سری زمانی شامل رفتارهای دیگری مانند فرکانس‌ها و نویز نیز می‌باشد و حضور این رفتارها نیز می‌تواند در باقیمانده‌های بدست آمده و کشف آفست تاثیرگذار باشد.

همچنین کوششی برای کشف شیفت‌های موجود در داده‌های آب و هوایی اخذ شده از مرکز NCDC[۷] انجام گرفته است (Zurbenko et al. 1996). از یک فیلتر پایین گذر میانگین متحرک، به نام KZA[۸] که یک رفتار طیفی دارد، برای کشف آفست‌ها استفاده شده است. اما تنها قادر به کشف آفست‌های بزرگ بوده است که اکثر آنها نیز در گزارش مربوط به ایستگاه موجود بوده و تاریخ و علت وقوع آنها از قبل مشخص بوده است.

در سال ۲۰۰۰ نیز در ژاپن، برای مدل‌سازی سری‌های زمانی GPS از روشی به نام ARMA[۹] استفاده شده است(Li et al. 2000). دیتاهای خام از سایت GSI[۱۰] ژاپن بدست آمده، مدل‌سازی شده و از آن‌ها در تغییر شکل پوسته ای در ژاپن مرکزی استفاده شده است. جهت کشف و حذف آفست‌ها نیز از یک نوع فیلتر کالمن (Ljung 1987) استفاده شده است، اما نویزی که در سری‌ها در نظر گرفته شده است، نویز سفید بوده و از نویزهای رنگی صرفنظر شده است.

---

[6] Residual Sum of Squares
[7] National Climatic Data Center
[8] Adaptive Kolmogorov-Zurbenko filter
[9] Autoregressive Moving Average
[10] Geographical Survey Institute

در سال ۲۰۰۲، عده‌ای از پژوهشگران تصمیم گرفتند بعد از هر تغییر در تجهیزات، میزان آفست بوجود آمده را محاسبه و به مشاهدات اعمال نمایند (Johansson et al. 2002). در حقیقت علت و زمان وقوع این آفست‌ها شناخته شده می‌باشد.

در سال ۲۰۰۳، الگوریتمی توسط ویلیامز[11] ارائه شده به نام الگوریتم کشف تغییرات[12] که علاوه بر کشف آفست‌های کوچک، زمان و بزرگی آنها را نیز تخمین می‌زند (Williams 2003). اما این روش مبتنی بر فرض سفید بودن نویز سری زمانی است، در حالیکه نویز رنگی نیز در سری‌های زمانی وجود دارد. این مورد نیز در کشف صحیح آفست‌ها تأثیرگذار خواهد بود. در این روش آفستی که در اپک مرکزی سری زمانی قرار گرفته، با قدرت بیشتری کشف شده است. همچنین در مثالی شامل یک سری زمانی با طول ۲۵٦ اپک، هر بار یک آفست با بزرگی‌های متفاوت ۰،۵، ۱، ۲، ٤ و ۸ برابر اندازه‌ی انحراف معیار نویز، در اپک مرکزی یعنی اپک ۱۲۸ قرار داده شده است. در این مثال آفست دارای بزرگی ۸ برابر اندازه‌ی انحراف معیار نویز، بصورت دقیق تشخیص داده شده است و دقیقا اپک ۱۲۸ کشف شده است. اما در مورد آفست‌ها با بزرگی کوچکتر، اپک کشف شده از اپک‌های نزدیک به ۱۲۸می‌باشد.

در سال ۲۰۰٤، تلاشی برای اصلاح مولفه‌های مختصاتی ایستگاه‌های دائم اروپایی[13] صورت گرفت و آفست-هایی که زمان و علت وقوع آنها معلوم بوده، مانند تعویض تجهیزاتی چون گیرنده و آنتن، شناسایی و به مشاهدات اعمال شده است (Kenyeres et al. 2004).

همچنین در سال ۲۰۰٦، پرفتی[14] به کشف آفست‌های موجود در ایستگاه‌های دائم ایتالیا[15] پرداخته است. وی از مدل فانکشنال استفاده نموده و روش وی قادر به کشف ۷۰ درصد از آفست‌های شناخته شده در مولفه‌های مختصاتی ایستگاه‌ها بوده است. اما در بعضی ایستگاه‌ها قادر به کشف آفست‌ها نبوده است که خود دلیل آن را وجود نویز رنگی در سری‌های زمانی معرفی کرده است(Perfetti 2006).

sigseg[16] نیز برنامه‌ی جدیدی است برای کشف آفست‌ها در سری‌های زمانی، که یک مدل ریاضی است و از توابع صاف کننده‌ی تکه‌ای[17]، مورداستفاده در پردازش تصویر، استفاده کرده است (Vitti 2012). این برنامه به زبان C نوشته شده، قابل نصب و اجرا می‌باشد. نیاز به دو فایل متنی ورودی می‌باشد، یکی شامل یک ستون از مشاهدات (سری زمانی) و دیگری شامل یکسری پارامتر ورودی موردنیاز در مدل. اما نکات قابل توجه این است که اولا داده های ورودی بایستی هم فاصله و بدون گپ باشند، چراکه در فایل ورودی تنها داده‌ها (مثلا یکی از

---

[11] Williams
[12] Change Detection Algorithm
[13] EPN (EUREF Permanent Network) is a European Network of more than 200 continuously operating GNSS reference stations
[14] Nicola Perfetti
[15] Italian GPS Fiducial Network
[16] signal segmentation
[17] piecewise smooth approximation

مولفه‌های مختصاتی ایستگاه در اپک‌های هم‌فاصله) وارد می‌شوند و زمان مربوط به اپک‌ها استفاده نمی‌شود. ثانیا پارامترهای ورودی در فایل دوم، بایستی بنا به تجربه انتخاب گردد و نیاز به مطالعه‌ی دقیق هر کاربر در مدل ارائه شده، درک کافی از مدل و انتخاب صحیح این مقادیر می‌باشد. درنتیجه با انتخاب مقادیر مختلف برای پارامترهای ورودی، جواب‌ها متفاوت خواهد بود. بنابراین ارائه برنامه‌ای که ورودی آن تنها سری زمانی (مشاهدات) باشد و نیازی به مطالعه‌ی کاربر و کسب اطلاعات دقیق راجع به مدل مورداستفاده نداشته باشد، منطقی تر به نظر می‌رسد. همچنین نیاز به سیتم عامل GNU/Linux برای نصب و اجرای برنامه می‌باشد.

اما مدلی که در اینجا ارائه خواهد شد، همراه با برآورد صحیحی از مولفه‌های نویز (سفید و رنگی) خواهد بود. البته این موضوع که برآورد صحیح یا ناصحیح از مولفه‌های نویز، تا چه میزان بر روی نتایج کشف آفست، تاثیرگذار خواهد بود نیز با دیتاهای شبیه سازی شده نشان داده خواهد شد. از طرفی ملاحظه خواهد شد که مدل ارائه شده قادر به کشف آفست‌های کوچک می‌باشد. همچنین مدل ابتدا در قالب آنالیز تک‌متغیره (یعنی با استفاده از تنها یک سری زمانی) ارائه شده و سپس جهت افزایش قدرت تشخیص، آنالیز چندمتغیره ارائه خواهد شد. همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، از روابط برآورد مولفه‌های نویز توسط آنالیز چندمتغیره (Amiri-Simkooei 2009)، استفاده خواهد شد. در مرجع فوق، آنالیز چندمتغیره برای یک ایستگاه مشاهداتی با سه سری زمانی (سه مولفه‌ی مختصاتی در یک ایستگاه) و همچنین آنالیز چندمتغیره برای دو سری زمانی مربوط به دو ایستگاه مشاهداتی و آنالیز چندمتغیره برای پنج سری زمانی مربوط به پنج ایستگاه مشاهداتی ارائه شده است. همچنین از آنالیز چند متغیره در مقاله‌ای دیگر جهت کشف سیگنال‌های موجود در سری‌های زمانی TEC استفاده شده است (Amiri-Simkooei et al. 2011). در اینجا نیز از این مراجع استفاده شده و روابط جهت کشف آفست در آنالیز چندمتغیره گسترش خواهد یافت.

۱-۲ اهداف پایان نامه

آلوده شدن سری‌های زمانی GPS توسط آفست‌ها و outlierها تقریبا اجتناب ناپذیر است. به منظور افزایش دقت نتایج برآورد شده از سری‌های زمانی، در کاربردهای مختلف، تقریب و آنالیز صحیح سری‌ها، امری واجب می‌باشد. بنابراین در کنار کشف نویز و سیگنال‌ها، آفست‌های رخ داده نیز بایستی با دقت بالا کشف و اصلاح گردند. هدف اصلی این تحقیق کشف آفست‌های سری زمانی مختصات ایستگاه‌های دائم GPS با استفاده از آنالیز چندمتغیره می‌باشد. اما اهداف و مراحل فرعی زیر نیز حاصل خواهد شد:

- کشف آفست‌های سری زمانی مختصات ایستگاه‌های دائم GPS با استفاده از آنالیز تک‌متغیره.
- کشف آفست‌های سری زمانی مختصات ایستگاه‌های دائم GPS با استفاده از آنالیز سه‌متغیره، (سه مؤلفه مختصاتی در یک ایستگاه).