

مطالعه تغییر شکل پوسته زمین

با پردازش اطلاعات GPS سال ۷۱ در فنلاند

نویسنده: Ruizhi Chen
برگردان: مهندس عباسعلی صالح آبادی

خلاصه مقاله

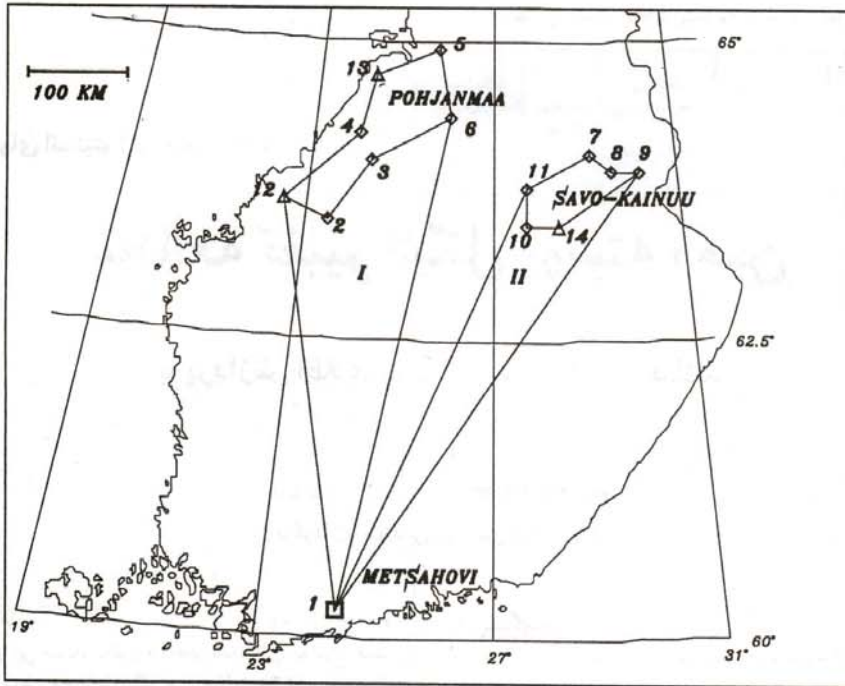
در این مطالعه تحقیق داده‌های مشاهداتی، دو نوع عملیات GPS در مناطق Savo-Kainuu و Pohjanmaa کشور فنلاند که در جولای سال ۱۹۹۱ میلادی انجام گرفته، مورد بررسی واقع شده است. در این آزمون به جهت پردازش داده‌ها، سیستم نرم‌افزار Bernese مورد استفاده واقع شد. هرچند که بعضی از داده‌های GPS فوق‌الذکر تحت تأثیر تغییرات سریع انکسار یونسفری بوده‌اند، ولیکن هنگامی که دقت خاصی در مورد پردازش داده‌ها مطرح باشد، حلهای همزمانی جلسه‌های مشاهدات GPS مجزا^۱ به نظر می‌رسد که هنوز هم مفید باشد. از طرفی مسیر مداری هر ماهواره به دو مدار تقسیم شده است، یکی مدار چهارروزه و دیگری مدار سه روزه. تمامی مسیرهای مداری ماهواره‌ای در حل ریاضی نهایی به وسیله برآورد کلیه پارامترهای ممکن، تصحیح و بهبود یافته‌اند. میزان تغییرات در فواصل خاص جهت طولهای باز اشغال شده به وسیله گیرنده‌های GPS تمامی محاسبه شده‌اند، و این تغییرات به وسیله مقایسه طولهای حاصل شده از روش GPS با طولهای باز ناشی شده از شبکه‌های مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک قابل دستیابی هستند.

نتایج حاصل شده از منطقه Savo-Kainuu به خوبی با نتایج حاصل شده از شبکه‌های ترکیبی مثلث‌بندی / سه ضلع‌بندی و حتی با شبکه مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک مطابقت و سازگاری دارد. در نهایت نتایج به دست آمده از منطقه Pohjanmaa نیز بسیار ضعیف بوده و به خوبی با نتایج حاصل از مشاهدات ژئودتیک (کلاسیک) قراردادی مطابقت و سازگاری ندارند.

(۱) پیشگفتار

تغییر شکلهای افقی پوسته زمین در کشور فنلاند، با کاربرد اطلاعات و داده‌های ذیل مورد مطالعه و بررسی واقع شده‌اند. (۱) شبکه مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک^۲ فنلاند مشاهده شده در سالهای ۱۹۲۰ الی ۱۹۶۰ میلادی؛ (۲) شبکه‌های ترکیبی مثلث‌بندی / سه ضلع‌بندی^۳ مشاهده شده در سالهای ۱۹۶۲ الی ۱۹۸۵ (Chen, ۱۹۹۱, Kakkuri و Chen, ۱۹۹۲)

لذا براساس نتایج حاصل شده از شبکه مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک و شبکه‌های ترکیبی مثلث‌بندی / سه ضلع‌بندی فنلاند، طرح و عملیات نقشه‌برداری GPS در مناطق Pohjanmaa و Savo-Kainuu به اجرا درآمد. (نگاره ۱ ملاحظه شود). این دو عملیات به ترتیب مرکب از ۷ و ۶ ایستگاه GPS هستند که در جولای ۱۹۹۱ در فاصله روزهای سوم الی نوزدهم در مرکز کشور فنلاند انجام گرفت. از پنج گیرنده اشک در این عملیات استفاده شد. چهار گیرنده در منطقه عملیاتی قرار داشت و گیرنده پنجم روی یک ایستگاه ثابت به نام Metsähovi که یکی از ایستگاههای شبکه GPS بین‌المللی^۴ بود، قرار گرفت. طول زمان مشاهدات GPS در هر جلسه در هنگام اجرای عملیات در حدود ۵ ساعت، یعنی از ساعت ۱۸ الی ۲۳ مطابق با زمان محلی بود. اندازه‌گیریهای شرایط جوی (فشار - رطوبت نسبی - درجه حرارت) در هر یک از ایستگاهها در فاصله زمانی حدود ۲ ساعت مشاهده و ثبت شد. اولین عملیات نقشه‌برداری GPS در منطقه Pohjanmaa در روزهای سوم الی نهم ماه جولای ۱۹۹۱ میلادی به اجرا درآمد. در این عملیات گیرنده‌های GPS بر روی هفت ایستگاه مستقر



نگاره (۱) - موقعیت عملیات نقشه برداری GPS اندازه گیری شده در کشور فنلاند سال ۱۹۹۱. شماره‌ها مطابق ایستگاههای ذیل می باشد. ۱. Metsähovi, ۲. Jauhikallio, ۳. Huhmarmäki, ۴. Nisula, ۵. Pitkäselkä, ۶. Kestilä, ۷. Laiska, ۸. Pihjala, ۹. Kivivaara, ۱۰. Kiikkumäki, ۱۱. Kulvemäki, ۱۲. Eldsbacka, ۱۳. Hummastenvaara = ۱۴. Köyrytimäki. ایستگاههای ۱ الی ۱۱ متعلق به شبکه مثلث بندی درجه یک (کلاسیک) تعیین شده توسط انستیتو ژئودتیکی فنلاند می باشد و ایستگاههای ۱۲ الی ۱۴ متعلق به شبکه های ترکیبی مثلث بندی و سه ضلع بندی های اندازه گیری شده توسط جمعیت ملی نقشه برداری (NBS) می باشد.

داده های جمع آوری شده از ایستگاههای موجود در مناطق عملیات GPS پردازش می شوند. ساختار و ترکیب هندسی دو طرح عملیات نقشه برداری GPS در کل، تشکیل دو Strip یا دو نوار را می دهند، که یکی در جهت شمال غربی به جنوب شرقی و هم جهت با اولین عملیات نقشه برداری GPS در منطقه Pohjanmaa و نوار دیگر در جهت شمال شرقی به جنوب غربی در منطقه Savo-Kainuu می باشند. طول بازهای موجود در این دو عملیات بین ۲۴ الی ۵۳۰ کیلومتر است.

۲ پردازش داده های GPS

داده های GPS به وسیله نرم افزار Bernese پردازش شده اند. به علت عدم دسترسی به اندازه گیریهای P کد و داشتن مقدار زیادی داده در محاسبات، تنها مشاهدات فاز امواج حامل در این بررسیها پردازش شدند. تنها جهت همزمان نمودن ساعت گیرنده ها با زمان مرجع GPS، تا دقت حدود

شدند، در طول هفته بعد، یعنی یازدهم الی هفدهم جولای گیرنده های فوق را به منطقه Savo-Kainuu جایی که شش ایستگاه GPS ایجاد شده بود، انتقال داده شد.

در ادامه این بحث، ما به عملیات GPS در منطقه مذکور که به نام دومین عملیات نقشه برداری GPS خوانده شد، اشاره خواهیم کرد. به واسطه وجود موانع طبیعی همانند درختان جنگلی، مستقیماً امکان استقرار آنتن GPS بر روی ایستگاههای مثلث بندی درجه یک وجود نداشت. لذا در این چنین حالتی، ما مجبور شدیم که آنتن را روی یک ایستگاه در نزدیکی ایستگاه مزبور قرار دهیم، و خارج از ایستگاه آن را اندازه گیری نماییم. ایستگاه ثابت Metsähovi در جنوب فنلاند و در نزدیکی شهر هلسینکی قرار دارد، در حالی که ایستگاههای احداث شده جهت عملیات GPS در مناطق ذکر شده در مرکز فنلاند و در فاصله ۴۵۰ کیلومتری از ایستگاه Metsähovi قرار دارند. داده های ضبط شده در ایستگاه مذکور به تنهایی با

چند ده نانو ثانیه از مشاهدات C/A کد استفاده شده است.

به طور اساسی، کل روند پردازش از مراحل ذیل تشکیل شده است.

- ۱) انتقال فرمت داده‌های گیرنده اشتک به فرمت نرم افزار Bernese؛
- ۲) تشکیل مدارهای استاندارد؛
- ۳) مدله نمودن خطای یونسفر؛
- ۴) پردازش اولیه داده‌ها؛
- ۵) حل ابهامات فاز امواج حامل ϕ و برآورد پارامترها.

۲-۱) تعریف مدارهای استاندارد

مدار استاندارد که در واقع جواب حل معادله حرکت ماهواره بود، در سیستم نرم‌افزار Bernese به عنوان یک مدار اولیه و مقدماتی به کار برده شد، که این مدار استاندارد، توسط بسیاری از نرم افزارهای موجود در سیستم GPS به کار برده می‌شود. در ابتدای پردازش نهایی داده‌های GPS، ما ناچار بودیم که این مدار را محاسبه و از آن استفاده نماییم. اجرای هر دو نوع عملیات نقشه‌برداری GPS هفت روز به طول انجامید. بنابراین ما قادر نبودیم یک مدار معینی برای کل عملیات GPS معرفی نماییم، زیرا که چنین مداری یک مدل ساده‌ای را جهت برآورد تأثیر فشار تشعشعات خورشیدی^۶ معرفی می‌نمود. (Beutler, et al., ۱۹۸۶) در چنین حالتی دو مدار جهت هر یک از ماهواره‌ها همانند ذیل معرفی شدند.

- ۱) یکی مدار چهارروزه و دیگری مدار سه‌روزه، اولین مدار، چهار روز اول عملیات GPS را پوشش می‌داد، در حالی که پوشش مدار سه‌روزه در واقع، سه روز آخر عملیات GPS بود.
- ۲) هشت پارامتر مداری، شامل شش المان کیلبری و دو پارامتر اضافی دیگر جهت نشان دادن تأثیر فشار تشعشعات خورشیدی بروی مدار هر ماهواره بود.

۳) آنها سه نوع از نیروهای مزاحم، و مؤثر در آشفته‌گی مدار ماهواره‌ها را شامل می‌شدند.

- پتانسیل آشفته‌گی میدان‌جاذبه زمین^۷؛

- تأثیر جاذبه نقل خورشید و ماه؛

- تأثیر فشار و تشعشعات خورشیدی که شامل دو مؤلفه عمده است، یکی فشار تشعشعی مستقیم و دیگری فشار تشعشعی در جهت λ .

مدارهای استاندارد دونوع عملیات نقشه‌برداری GPS، تعریف مشابه‌ای رابه ما ارائه می‌دهند. طول مدارهای انتخاب شده مناسب به‌منظر می‌رسند. زیرا آنها چندان بلند نیستند که نیازی به مدله نمودن آنها باشد و از طرفی چندان هم کوتاه نمی‌باشند که ما مجبور باشیم پارامترهای زیادی رادرحل نهایی مسئله، برآورد و تصحیح نماییم. پارامترهای مداری منتشره^۸ در ۱۴ روز مشاهدات GPS، به استثناء ۲ روز اول عملیات بسیار خوب و با دقت هستند.

۲-۲) مدله نمودن خطای یونسفر

مدله نمودن خطای یونسفر برای مقاصد زیر کاربرد دارد.

- ۱) کشف سایکل اسلیپ^۹ (ظلمی در پیوستگی ارسال علائم از

ماهواره‌ها به گیرنده) و حذف اشتباهها و خطاهای فاحش در مرحله پردازشهای اولیه؛

۲) حل ابهامات فاز امواج حامل در مورد امواج حامل L_1 ، L_2 و (Wide lane) L_5 .

هر دو مورد فوق جهت تعیین موقعیت دقیق، بسیار مناسب و با اهمیت هستند. برای به دست آوردن بهترین نتایج از داده‌های جمع‌آوری شده، مدله نمودن خطای یونسفر به طور قطع ضروری می‌باشد.

مشاهدات به کار برده شده جهت مدله نمودن خطای یونسفر در حقیقت ترکیب خطی و غیرهندسی $L_2 = L_1 - L_5$ است، در این رابطه واحد و دیمانسیونهای L_2 ، L_1 به متر می‌باشند. در واقع طول موج L_1 ، L_2 در ترکیب خطی فوق دخالت دارند. این نوع مشاهده به طور کامل مستقل از وضعیت هندسی ماهواره نسبت به گیرنده و همچنین مستقل از خطای ساعت ماهواره‌ها و گیرنده است. معادله مشاهده برای یک مدل اتمسفر، یک لایه به صورت ذیل بیان شده است. (نقل از Wild, et al., ۱۹۸۹)

$$v_i = - \frac{41.0 \cdot E}{\cos^2} \left[\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right] + C - (\lambda_1 \Phi_1 - \lambda_2 \Phi_2)$$

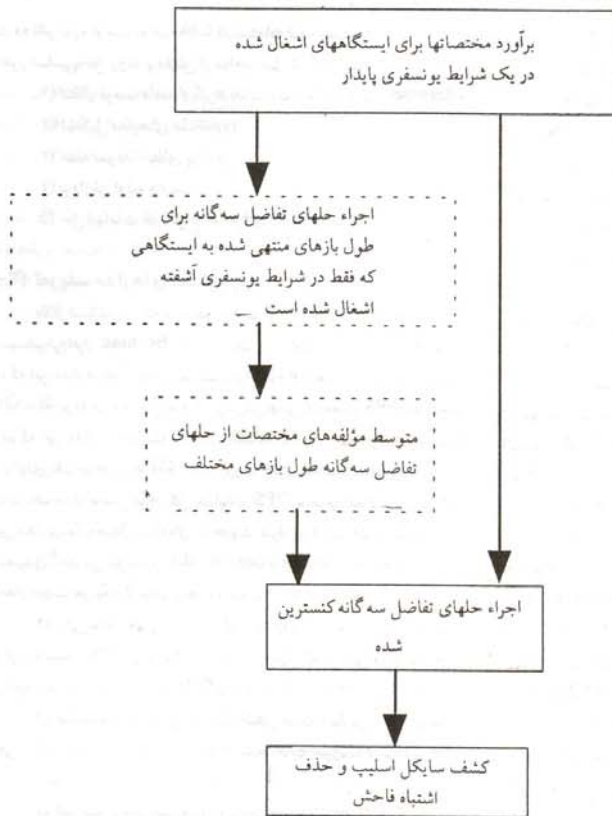
به همراه؛

$E(s, \phi) = E_{00} + E_{10}(S - S_0) + E_{01}(\phi - \phi_0) + E_{11}(S - S_0)(\phi - \phi_0) + \dots$
در این رابطه، E حجم کل الکترونهاى آزاد موجود در اتمسفر است و Z^۲ فاصله سمت الرأسی در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین می‌باشد؛ $\lambda_1, \Phi_1, \lambda_2, \Phi_2$ (i=1,2) به ترتیب فرکانسها، اندازه‌گیریهای فاز، طول موج امواج حامل L_2 ، L_1 و C یک مقدار ثابت؛ ϕ عرض ژئودتیکی مکان گیرنده؛ S زاویه ساعتی خورشید؛ $E_{00}, E_{10}, E_{01}, \dots$ به ترتیب ضرایبی هستند که از طریق سرشکنی کمترین مربعات برآورد می‌شوند؛ ϕ_0 مفادیر اولیه زاویه ساعتی و عرضی ژئودتیک در بسط سری روابط ریاضی فوق هستند.

دو مدل یونسفر جهت هر جلسه^{۱۰} مشاهدات GPS برآورد شده است. اولین مدل شامل داده‌های ثبت شده در نقطه ثابت Metsähovi است، در حالی که دومین مدل شامل این داده‌ها نمی‌باشد. از طرفی اولین مدل جهت کشف و تصحیح سایکل اسلیپها استفاده شده است، و دومین مدل جهت حل ابهامات فاز امواج حامل طولهای باز در منطقه عملیاتی نقشه‌برداری GPS مزبور به کار برده شده‌اند. البته ابهامات فاز امواج حامل مربوط به طول بازهای متصل شده به ایستگاه ثابت Metsähovi حل نشده‌اند، زیرا که طول بازهای مزبور چندان بزرگ نیستند. هرکدام از مدلها توسط یک بسط مرتبه دوم سری تیلور تقریب و مدله شده‌اند. و از طرفی هر کدام از آنها شامل پنج پارامتر می‌باشند.

۲-۳) پردازش داده‌ها

هدف از پردازش اولیه در واقع تصحیح سایکل اسلیپهای موجود در داده‌ها است. در نرم افزار Bernese سایکل اسلیپها براساس یک مجموعه از مختصاتها با کیفیت عالی تصحیح می‌گردند. این مجموعه از مختصاتها، معمولاً از حل تفاضلهای سه گانه^{۱۱} حاصل می‌شوند. معمولاً در حل



نگاره (۲)

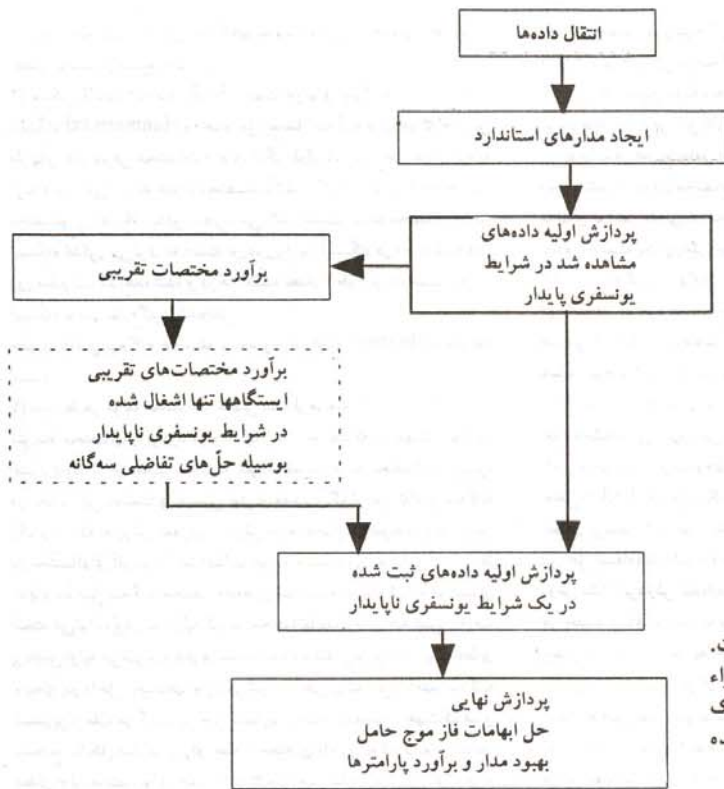
روش پردازش اولیه داده‌های ثبت شده در یک شرایط یونسفری آشفته را نشان می‌دهد (مراحل مشخص شده توسط خطوط خط چین). چنانچه تمامی ایستگاهها در یک شرایط یونسفری پایدار اندازه‌گیری شده باشند. لزومی به اجراء آنها نیست.

۱-۳-۲- پردازش اولیه داده‌های ثبت شده در یک شرایط یونسفری پایدار

روش معمول پردازش اولیه، جهت محاسبه داده‌های ثبت شده در یک وضعیت یونسفری پایدار، در اینجا مورد استفاده واقع شده است. ابتدا تمامی داده‌ها توسط یک Polynomial (منحنی چندجمله‌ای از درجه بالا) به طور دقیق و به سرعت مورد ارزیابی و بررسی قرار می‌گیرند، تا داده‌هایی که دارای خطاهای فاحش^{۱۳} هستند کشف و از فرآیند پردازش خارج شوند. سپس یک حل تفاضلی سه گانه براساس مشاهدات با کیفیت خوب به دست می‌آید. و نهایتاً خطاهای سایکل اسلیبها براساس ترکیب خطی باقیمانده‌های مشاهدات L_1 و L_2 در حد دقت محاسبات تفاضل سه گانه حاصل می‌شود. یک چنین باقیمانده‌هایی توسط مختصاناتی به دست آمده از حل تفاضلهای سه گانه محاسبه و برآورد می‌گردند. در این حالت حلهای تفاضل سه گانه کاملاً قابل اطمینان به نظر می‌رسند. دقت مختصاناتی نسبی برآورد شده در حدود ۸ الی ۱۵ سانتیمتر می‌باشند. این موضوع نشاندهنده یک تقریب خوب قبل از انجام حل نهایی است. از طرفی هیچگونه پیش فرضی^{۱۴} در مختصاناتی تقریبی در حین پردازش اولیه،

تفاضلهای سه گانه جهت کشف سایکل اسلیبها مشکلی وجود ندارد. اما چنانچه داده‌های مورد نظر در یک عرض جغرافیایی بالا در لحظه‌ای که فعالیت‌های خورشیدی ماکزیمم هستند ثبت و جمع‌آوری شوند، در آن صورت داده‌های مزبور تحت تأثیر تغییرات سریع انکسار لایه یونسفر زمین قرار می‌گیرند. که این موضوع کشف سایکل اسلیبها را مشکل می‌سازد.

از میان تمامی چهارده روز مشاهده GPS انجام شده، فقط داده‌های ثبت شده در روزهای هشتم، نهم و سیزدهم جولای به طور عمده تحت تأثیر آشفتگیهای کوتاه مدت لایه یونسفر زمین بوده‌اند. این موضوع بعضی از مشکلات موجود در امر کشف و تصحیح سایکل اسلیبها را بیان می‌نماید. در این مطالعه، داده‌ها به طور دقیق به وسیله یک روش خاص، پردازش اولیه شدند که متفاوت از روشهای معمول در این زمینه است. قابلیت تکرار روش حل جلسه‌های مشاهداتی مجزا^{۱۴}، موفقیت پردازشهای اولیه را به خوبی آشکار می‌سازد. این موضوع در بخش ۲-۴-۲ نشان داده شده است.



نگاره (۳)

روش پردازش برای هر عملیات. مراحل هاشور خورده نیازی به اجراء نمی‌باشد اگر تمامی ایستگاهها در یک شرایط یونسفری پایدار اشغال شده باشند.

مختصاتهای تقریبی قرار دهیم، البته اگر چنانچه کیفیت مختصاتهای تقریبی بسیار خوب باشند، در هر حالت ما به یک سری مختصات با کیفیت خوب نیازمند هستیم.

دومین روشی که در این مطالعه و بررسی به کار برده شده است، برای ایستگاههایی است که در یک شرایط یونسفری پایدار، اشغال شده‌اند. اختلافهای مختصات می‌تواند به کمک مشاهدات با کیفیت خوب تا دقت کمتر از ۱۰ سانتیمتر برآورد شوند. چنین مختصاتهایی برای تصحیح سایکل اسلیپها می‌تواند به کار برده شوند. اما این امر مشکل خواهد بود که مختصاتهای تقریبی خوبی جهت ایستگاههایی که فقط در یک شرایط یونسفری ناپایدار و آشفته اشغال شده‌اند، به دست آوریم. دزمورد اولین عملیات نقشه‌برداری با GPS تنها یک ایستگاهی به نام Huhmarmäki وجود داشت که با چنین مسئله‌ای که ذکر نمودیم در آن مورد مواجه بودیم. این ایستگاه در دو روز اشغال شده بود، هشتم و نهم جولای زمانی که یونسفر دارای وضعیت ناپایداری بود. مختصاتهای تقریبی این ایستگاه از طریق مراحل ذیل به دست آمد.

(۱) پردازش اولیه داده‌های ثبت شده در یک شرایط یونسفری پایدار؛

داده‌های فوق معرفی نشده است. (Beutler et al. ۱۹۸۹) و Rohthacher et al. (۱۹۹۱) توضیحات کاملتری در جهت استراتژی کشف خطاهای سایکل اسلیپ ارائه داده‌اند. مدلهای یونسفری که شامل ایستگاه ثابت Metsähovi می‌باشند در پردازشهای اولیه مورد کاربرد قرار گرفته‌اند.

۲-۳-۲- پردازش اولیه داده‌های ثبت شده در یک شرایط یونسفری آشفته

البته این امر غیرممکن است که ما داده‌های جمع‌آوری شده در یک شرایط یونسفری آشفته را پردازش نمائیم. زیرا که حلهای تفاضلی سه‌گانه این گونه داده‌ها غیرقابل اعتماد هستند. دقت مختصاتهای نسبی برآورد شده در این حالت می‌توان بزرگتر از $0.8 \pm$ متر باشد. البته این امر نادرستی است، چنانچه این حلهای تفاضلی سه‌گانه را جهت کشف و تصحیح سایکل اسلیپها به کار ببرند. کلیدی که این قضیه را حل می‌نماید آن است که، یا حلهای تفاضلی سه‌گانه را با یک سری از مختصاتهای تقریبی با کیفیت خوب جایگزین نماییم، یا این که یک کنسرتینت و پیش فرض اولیه‌ای روی

۲) برآورد مختصات این ایستگاهها به وسیله ترکیب خطی و عاری از خطای یونسفری مشاهدات L_3 ؛
 ۳) تشکیل فایلهای تفاضل بگانه ۱۵ جهت طولهای باز ۱۶ منتهی شده به ایستگاه Huhmarmäki و اجراء حل تفاضل سه گانه برای هر کدام از این طولهای باز. معرفی مختصات انتهای دیگر طول باز همان طور که از مرحله ۲ به دست می آید، به عنوان مختصات تثبیت شده، زمانی که محاسبه مختصاتهای ایستگاه مذکور مطرح می باشد. هشت نمونه مختصات برای ایستگاه مذکور می توان به دست آورد، زیرا این ایستگاه در دو جلسه (دو روز متفاوت) مشاهده شده و در هر جلسه تعداد ۴ طول باز که منتهی به این ایستگاه بوده، اندازه گیری شده اند.
 حل های تفاضل سه گانه به وسیله برنامه پردازش اولیه Bernese انجام گرفته است؛

۴) متوسط هر مؤلفه مختصات حاصل شده از مرحله ۳.

متوسط مختصاتهای برآورد شده طولهای باز مختلف که در جهات متفاوتی امتداد دارند تا حد معینی، دقت و میزان اطمینان ما به مختصات را بهبود می بخشد. این مختصات بایستی بهتر از مقادیری که از حل تفاضل سه گانه یک بردار، که به روش معمولی پردازش اولیه حاصل می شوند، باشند. اولین بار مختصاتهای تقریبی، از مشاهدات خوب به دست می آید یا این که متوسط حل های تفاضل سه گانه مختلف داده های ثبت شده در یک شرایط یونسفری آشفته می تواند پردازش اولیه شوند. مختصات، در زمانی که این داده ها پردازش اولیه می شوند پایدار و تثبیت شده نیستند. زیرا ترجیحاً یک خطای اولیه ای در داخل مختصات وارد می شود. به طوری که حل تفاضل سه گانه کنسرتین و مقید می گردد. این حل کنسرتین و مقید شده سپس جهت کشف و تصحیح سایکل اسلپها و برای حذف خطاهای فاحش به کار برده می شوند. خطای اولیه مختصات در حدود ± 0.7 متر معین شده است. نگاره (۲) طرح روش پردازش اولیه ذکر شده در فوق را نشان می دهد. مدله نمودن خطای یونسفر همچنین در محاسبات به کار برده شده است.

۲-۴-۲- حل ابهامات فاز امواج حاصل و برآورد پارامترها

وقتی که سایکل اسلپها از روی داده ها تصحیح شوند و خطاهای فاحش آنها حذف گردد، در آن صورت داده ها به جهت تثبیت و روند نمودن تعداد سیکلهای مبهم فاز موج حامل و برآورد پارامترها به کار برده می شوند. پارامترها شامل مختصاتهای ایستگاه، المانهای مداری و تصحیحات لایه تروپوسفر زمین هستند.

۲-۴-۱- حل ابهامات فاز امواج حامل

تمامی ابهامات فاز حامل، تنها برای طولهای باز موجود در منطقه عملیات نقشه برداری، حل می شوند. بنابراین طولهای باز منتهی شده به ایستگاه Metsähovi در محاسبات خارج می شوند، زیرا طولهای بسیار بلندی هستند. روش حل ابهامات فاز موج حامل به طور مختصر بشرح ذیل است.

۱) اجراء یک حل L_3 (ترکیب خطی امواج حامل L_1 , L_2 عاری از

خطای یونسفر) به وسیله کاربرد تمامی مشاهدات عملیات نقشه برداری GPS مزبور؛ در این مرحله ابهامات فاز موج حامل حل نمی شوند. به طور کلی این حل بسیار نزدیک به حل نهایی است. مختصاتهای به دست آمده در این مرحله در مراحل ذیل کاربرد دارد؛

۲) ابهامات فاز امواج حامل در L_5 (Wide lane) می باشند. بنابراین آنها به وسیله تثبیت نمودن مختصاتهای به دست آمده در مرحله ۱ حل می شوند. مدلهای یونسفر محلی در محاسبات به کار برده شده اند، یک مدل یونسفری ساده به وسیله یک پارامتر (E_{00}) برای هر جلسه مشاهده برآورد می شوند؛
 ۳) به وسیله کاربرد ابهامات فاز موج حامل حل شده در L_5 (Wide lane) ابهامات فاز موجود در امواج حامل L_1 , L_2 از طریق ترکیب خطی غیر هندسی L_3 حل شده اند. مختصاتهای به دست آمده در مرحله ۱ نیز همانند مرحله ۲ تثبیت شده اند. مدلهای یونسفر محلی جهت این حل به کار برده شده اند و یک مدل یونسفر ساده همراه با یک پارامتر (E_{00}) برای هر جلسه مشاهداتی برآورد می شوند؛

۴) برای تثبیت و روند نمودن خورده های ارقام اعشار ابهامات فاز امواج حامل L_1 , L_2 یک حل شبکه ای آزادی ۱۸ به وسیله ترکیب خطی عاری از خطای یونسفر L_3 اجراء شده است. ابهامات فاز حل شده در مرحله ۳ در این حل استفاده شده اند. داده های هر دو عملیات نقشه برداری GPS به یک روش مشابه پردازش شده اند. تعداد ابهامات فاز امواج حامل حل شده برای هر جلسه مشاهده بسته به وضعیت یونسفر متغیر می باشد. اگر یونسفر پایدار باشد و بتوان آنرا به خوبی به وسیله یک بسط مرتبه دوم سری تیلور مدله و تقریب نمود. در آن صورت تنها تعداد کمی از ابهامات فاز امواج حامل به طور یقین نمی توانند حل شوند. اما برای جلسه مشاهداتی که در یک شرایط یونسفری آشفته و ناپایدار اندازه گیری شده است، فقط حدود ۶۰ درصد ابهامات فاز امواج حامل می توانند حل شوند. این امر به علت تأثیر مدله نشدن خطای انکسار یونسفری است. به طور کلی بیش از ۸۰ درصد ابهامات فاز امواج حامل برای تمامی عملیات نقشه برداری GPS مزبور براساس زوایای ارتفاعی ماهواره ۱۹ بالای ۲۰ درجه از افق حل شده اند.

۲-۴-۲- حل نهایی

سه نوع پارامتر به طور همزمان در حل نهایی برآورد شده اند. مختصاتهای ایستگاه، پارامترهای مدار و پارامترهای انکسار یونسفری.

چون فقط یک نقطه ثابت در کل جلسات عملیات نقشه برداری GPS مزبور موجود می باشد، خطای مدار ماهواره ها به کمک نقاط ثابت نمی تواند بهبود یابد. در این حالت، خطای مدار تنها می تواند در حل نهایی همزمان با برآورد دیگر پارامترها، بهبود یابد. زیرا کیفیت اطلاعات مداری منتشر شده ۲۰ تعدادی از ماهواره ها در اولین دو روز اولین عملیات نقشه برداری GPS بسیار ضعیف هستند.

هفت پارامتر مداری (شش المان کپلری و یک پارامتر تأثیر مستقیم فشار تشعشعات خورشیدی) در حل نهایی اولین عملیات نقشه برداری GPS مزبور بهبود و تصحیح می یابند.

در این حالت به طور کلی ۱۸۲ پارامتر مداری در حل موجود می باشد. زیرا ۱۳



(SLR) با دقت بهتر از 1 متر تعیین شده است. از نقطه مذکور به عنوان ایستگاه ثابت در پردازش داده‌ها استفاده شده است. بنابراین هیچ گونه خطای مقیاس قابل اهمیتی ناشی از انحراف ارتفاع ایستگاه ثابت در نتایج نهایی ایجاد نخواهد شد. جدول ۱ لیست مشخصات حل نهایی اولین جلسه عملیات نقشه‌برداری، و جدول ۲ در مورد لیست دومین جلسه عملیات نقشه‌برداری GPS می‌باشد.

جدول (۱) خصوصیات حل نهایی اولین عملیات نقشه‌برداری GPS

تعداد گیرنده‌ها	۵
تعداد ایستگاهها	۸
ایستگاه ثابت	Metsähovi
تعداد جلسات مشاهداتی	۷
زاویه ارتفاعی ماهواره‌ها از افق محل	۲۰ درجه
تعداد کل مشاهدات تفاضل دوگانه	۴۳۵۹۱
تعداد کل پارامترهای برآورد شده	۳۲۷
تعداد مختصاتهای ایستگاهی	۲۱
تعداد المانهای مداری	۱۸۲
تعداد پارامترهای تروپوسفری	۲۶
تعداد ابهامات فاز امواج حامل	۹۸*
خطای RMS مشاهدات تفاضل یگانه	±۱/۸۹ cm
مقدار ماکزیمم برای تصحیح سمت‌الرأس تروپوسفر	-۲/۲ cm

* این تعداد شامل ابهامات فاز امواج حامل حل نشده در منطقه عملیاتی (۲۲ تا ۲۰۶ کل) و ابهامات فاز امواج حامل طولهای باز منتهی شده به ایستگاه Metsähovi.

جدول (۲) خصوصیات حل نهایی دومین عملیات نقشه‌برداری GPS

تعداد گیرنده‌ها	۵
تعداد ایستگاهها	۷
ایستگاه ثابت	Metsähovi
تعداد جلسات مشاهداتی	۷
زاویه ارتفاعی ماهواره‌ها از افق محل	۲۰ درجه
تعداد کل مشاهدات تفاضل دوگانه	۴۷۶۰۷
تعداد کل پارامترهای برآورد شده	۱۹۷
تعداد مختصاتهای ایستگاهی	۱۸
تعداد المانهای مداری	۵۲
تعداد پارامترهای تروپوسفری	۲۸
تعداد ابهامات فاز امواج حامل	۹۹*
خطای RMS مشاهدات تفاضل یگانه	±۱/۶۲ cm
مقدار ماکزیمم برای تصحیح سمت‌الرأس تروپوسفر	۳/۴ cm

* این تعداد شامل ابهامات فاز امواج حامل حل نشده در منطقه عملیاتی (۲۴ تا ۲۰۲ کل) و ابهامات فاز امواج حامل طولهای باز منتهی شده به ایستگاه Metsähovi.

ماهواره قابل رؤیت، در افق محل ایستگاه مشاهده شده‌اند و هر ماهواره نیز در دو نوبت در دو مسیر مداری مشاهده و اندازه‌گیری گردیده است. برای دومین عملیات نقشه‌برداری GPS در زمان شروع و به هنگام حل نهایی فقط دو پارامتر مداری، یکی نصف قطر طول بیضی مسیر ماهواره‌ها و دیگری آرگومان عرض جغرافیایی برآورد شده‌اند. در حل نهایی این حالت، ۵۲ پارامتر مداری برای دومین عملیات نقشه‌برداری GPS موجود می‌باشد. داده‌های اندازه‌گیری شرایط جوی در فاصله زمانی حدود ۲ ساعت بر روی ایستگاهها در طول تجمع داده‌های ماهواره‌ای جمع‌آوری و ثبت شده‌اند. برای ایستگاه Metsähovi داده‌های شرایط جوی مستقیماً بر روی ایستگاه به دست نمی‌آیند. بلکه از مشاهدات انجام گرفته در فرودگاه Vantaa که حدود ۳۰ کیلومتری ایستگاه Metsähovi است، دریافت می‌گردند. تصحیحات مربوط به انکسارات لایه تروپوسفر توسط مدل Saastamoinen محاسبه می‌گردند. برای حذف خطاهای تروپوسفریک نسبی، چهار تصحیح سمت‌الرأس تروپوسفر (چون پنج گیرنده همزمان در حال اجرا می‌باشد) موجود می‌باشد که در داخل حل نهایی جهت هر جلسه مشاهده (البته به استثناء اولین جلسه مشاهداتی اولین عملیات نقشه‌برداری GPS معرفی شده‌اند).

برای این جلسه مشاهداتی خاص، تنها دو تصحیح تروپوسفر در داخل حل نهایی معرفی شده‌اند. زیرا داده‌های ثبت شده در ایستگاه Metsähovi مورد قبول نبودند و داده‌های ثبت شده در ایستگاه Pitkäselkä مسئله‌دار هستند به طوری که نمی‌توان تمامی آنها را به علت وجود مشکل درگیرنده مستقر در ایستگاه مزبور، پردازش نمود. بنابراین به طور کلی ۲۶ پارامتر تروپوسفر در حل نهایی اولین عملیات نقشه‌برداری GPS و حدود ۲۸ پارامتر دیگر در حل دومین عملیات نقشه‌برداری GPS موجود می‌باشند. ماکزیمم تصحیحات سمت‌الرأس تروپوسفریک ایستگاه و جلسه مشاهداتی ۲۱ ظاهر شده در ایستگاه Metsähovi، حدود ۱۸۵ پارامتر مداری برای اولین عملیات نقشه‌برداری GPS است. و حدود ۱۹۲ پارامتر مداری نیز برای دومین عملیات نقشه‌برداری GPS در ایستگاه Metsähovi معرفی می‌نماید. فهم این مطلب بسیار آسان است، زیرا که داده‌های شرایط جوی ۲۲ برای این ایستگاه خاص مستقیماً در محل اندازه‌گیری، جمع‌آوری و ثبت نشده‌اند، بلکه از داده‌های ثبت شده در فرودگاه Vantaa دریافت شده‌اند، که در حدود ۳۰ کیلومتری از ایستگاه مشاهداتی Metsähovi قرار گرفته است.

انحراف در ارتفاع ایستگاه ثابت^{۲۳} می‌تواند باعث خطا در مقیاس نتایج نهایی شود. ارتفاع بیضوی مشتق شده از حل تعیین موقعیت مطلق با آنچه که از طریق مشاهدات فاصله‌یابی ماهواره‌ای توسط لیزر^{۲۴} حاصل می‌شود، به طور متوسط حدود ۸ متر تفاوت دارد. در نتایج نهایی این امر یک خطای حدود ۰/۰۰۱ ppm/rpm را در مقیاس وارد خواهد ساخت. البته چنانچه مختصات ایستگاه ثابت از طریق تعیین موقعیت مطلق ماهواره‌ای^{۲۵} به دست آید. (به Beutler et al., ۱۹۸۹، مراجعه شود). خوشبختانه، مختصات ژئوستروئیک نقطه ثابت Metsähovi با دقت بسیار بالایی معلوم شده است. یعنی در واقع، مختصات آن از طریق مشاهدات فاصله‌یابی لیزری



Station	X	Y	Z
Metsähovi	2892580.8060	1311796.7570	5512614.0270
Nisula	2532116.1584 ± 0.0054	1150936.8774 ± 0.0079	5720574.1761 ± 0.0065
Pitkäseltä	2437505.4829 ± 0.0056	1185217.2672 ± 0.0080	5754363.6287 ± 0.0069
Hummastenvaara	2482229.1430 ± 0.0058	1143041.0081 ± 0.0081	5743802.8256 ± 0.0079
Jauhikallio	2609973.1692 ± 0.0053	1157657.4994 ± 0.0078	5684431.4019 ± 0.0063
Eldsbäck	2611513.8522 ± 0.0056	1112416.7122 ± 0.0080	5692576.7179 ± 0.0071
Kestilä	2482954.6957 ± 0.0054	1221749.2371 ± 0.0080	5727444.8189 ± 0.0066
Huhmarmäki	2546273.0868 ± 0.0056	1170728.4070 ± 0.0080	5710387.5308 ± 0.0076

Station	Latitude	Longitude	Height
Metsähovi	60 13 2.861953	24 23 40.123070	72.1151
Nisula	64 13 17.126880 ± 0.000122	24 26 36.548865 ± 0.000605	90.3025 ± 0.0073
Pitkäseltä	64 55 37.097061 ± 0.000137	25 55 51.463050 ± 0.000624	109.8435 ± 0.0077
Hummastenvaara	64 42 17.968870 ± 0.000136	24 43 32.104415 ± 0.000626	77.2500 ± 0.0086
Jauhikallio	63 29 3.993176 ± 0.000117	23 55 11.106068 ± 0.000595	158.8135 ± 0.0070
Eldsbäck	63 39 1.847339 ± 0.000127	23 4 20.520885 ± 0.000605	52.3760 ± 0.0078
Kestilä	64 21 45.166791 ± 0.000131	26 11 58.933985 ± 0.000614	141.3230 ± 0.0073
Huhmarmäki	64 0 40.388763 ± 0.000135	24 41 31.490938 ± 0.000611	138.4444 ± 0.0082

جدول (۳)
مختصاتهای برآورد شده
اولین (WGS - 84)
عملیات در منطقه
Pohjanmaa

Station	X	Y	Z
Metsähovi	2892580.8060	1311796.7570	5512614.0270
Laiska	2451148.4682 ± 0.0030	1349359.9435 ± 0.0044	5712709.5386 ± 0.0035
Kulvemäki	2504265.6408 ± 0.0031	1311526.8129 ± 0.0044	5698549.1397 ± 0.0037
Kiikkumäki	2532006.4222 ± 0.0032	1325561.6747 ± 0.0045	5683124.3757 ± 0.0041
Kivivaara	2442427.4565 ± 0.0031	1396159.7419 ± 0.0045	5705295.1757 ± 0.0040
Pihjala	2452631.4459 ± 0.0032	1374184.2078 ± 0.0045	5706208.0173 ± 0.0044
Köyrytymäki	2517300.6133 ± 0.0032	1352836.2656 ± 0.0045	5683283.8546 ± 0.0043

Station	Latitude	Longitude	Height
Metsähovi	60 13 2.861953	24 23 40.123070	72.1151
Laiska	64 3 23.908316 ± 0.000049	28 49 58.196232 ± 0.000352	255.1416 ± 0.0039
Kulvemäki	63 46 4.706200 ± 0.000048	27 38 30.556213 ± 0.000353	245.0534 ± 0.0041
Kiikkumäki	63 27 24.020246 ± 0.000053	27 37 59.007412 ± 0.000354	243.3747 ± 0.0045
Kivivaara	63 54 15.092051 ± 0.000056	29 45 12.568070 ± 0.000355	300.8817 ± 0.0044
Pihjala	63 55 24.416835 ± 0.000058	29 15 41.263153 ± 0.000358	266.2052 ± 0.0048
Köyrytymäki	63 27 32.396990 ± 0.000055	28 15 15.377033 ± 0.000353	292.0790 ± 0.0047

جدول (۴)
مختصاتهای برآورد شده
از دومین (WGS - 84)
عملیات در منطقه
Savo-Kainuu

Station	Pitkäseltä	Hummastenvaara	Jauhikallio	Eldsbäck	Kestilä	Huhmarmäki	Metsähovi
Nisula	S 106151.0817 RMS 0.0136	55593.4278 0.0125	86099.8316 0.0108	92583.2305 0.0135	86478.0055 0.0120	26379.7462 0.0067	446159.2615 0.0037
Pitkäseltä	S RMS	62374.4592 0.0140	188136.0145 0.0120	198485.4044 0.0135	64224.9024 0.0075	118212.5878 0.0132	530621.1330 0.0041
Hummastenvaara	S RMS		141623.2467 0.0108	142395.5675 0.0132	80393.3836 0.0078	77361.4938 0.0104	500315.1514 0.0042
Jauhikallio	S RMS			45994.0072 0.0080	148632.4241 0.0132	70016.2106 0.0135	364893.4056 0.0037
Eldsbäck	S RMS				172327.7174 0.0131	89296.3397 0.0136	388764.2021 0.0043
Kestilä	S RMS					83086.0689 0.0138	471226.4585 0.0040
Huhmarmäki	S RMS						423017.3455 0.0042

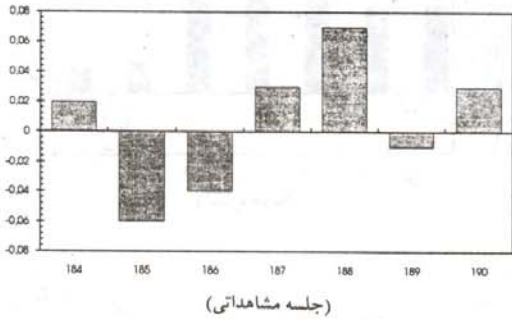
جدول (۵) فواصل خاص برآورد شده در عملیات Pohjanmaa به متر.

Station	Kulvemäki	Kiikkumäki	Kivivaara	Pihjala	Köyrytymäki	Metsähovi
Laiska	S 66733.0256 RMS 0.0068	89328.8766 0.0070	48179.3519 0.0050	25704.3401 0.0042	72484.9088 0.0065	486119.0344 0.0023
Kulvemäki	S RMS	34705.2106 0.0052	105034.2931 0.0065	81551.8095 0.0069	45928.3173 0.0038	430535.2558 0.0021
Kiikkumäki	S RMS		116189.5975 0.0070	95903.0349 0.0075	30986.9256 0.0063	399095.3999 0.0023
Kivivaara	S RMS			24246.2116 0.0062	89260.3578 0.0073	496871.3882 0.0027
Pihjala	S RMS				71856.4756 0.0072	484691.9295 0.0027
Köyrytymäki	S RMS					414303.8188 0.0025

جدول (۶)
فواصل خاص
برآورد شده
در عملیات
Savo-Kainuu

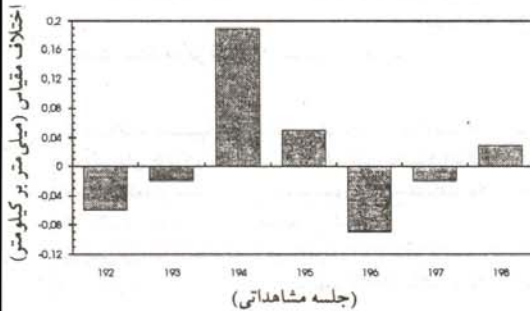
به متر.

جداول ۳ و ۴ مختصانهای برآورد شده در سیستم WGS-84 و خطاهای برآورد شده مترادف آنان برای هر دو جلسه عملیات نقشه برداری GPS را نشان می دهند. مختصانهای برآورد شده نسبت به ایستگاه ثابت Metsähovi می باشند. جداول ۵ و ۶ طولهای باز و مترادف با آنان و خطای برآورد شده از حلهای نهایی را نشان می دهد.



نگاره (۴) اختلاف مقیاس بین حلهای جلسه مشاهدات مجزا و حل نهایی Pohjanmaa

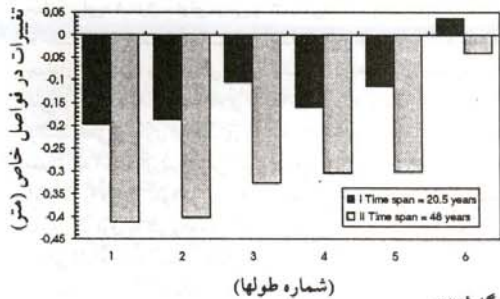
به علت وجود خطاهای سیستماتیک مدله نشده، خطاهای برآورد شده در جداول ۳ و ۴ و ۵ و ۶ دقتهای واقعی را نشان نمی دهند. برای آنکه یک ایده کلی از دقت عملیات نقشه برداری GPS بتوانیم به دست بیاوریم، به وسیله ترکیب خطی و عاری از خطای یونسفر L3 حلهای جلسه مشاهدات مجزا^{۲۶} به اجرا درآوریم. تمامی ابهامات فاز حل شده در اسواج حامل L1، L2، L3 را فیکس نموده و مدارهای تصحیح شده، در حلهای جلسه مشاهدات فوق به کار برده شده است. از طرفی هیچ پارامتر تروپوسفری نیز معرفی نشده است. سپس حلهای جلسه مشاهدات به وسیله حل نهایی مقایسه شده اند، اختلافهای به دست آمده تا حد معینی، دقت کل عملیات نقشه برداری را نشان می دهند. یک مدل ترانسفورمسیون Helmert با ۷ پارامتر بین هر حل جلسه مشاهدات و حل نهایی اندازه گیریها انجام گرفته است. نگاره ۴ اختلافهای مقیاس اولین جلسه عملیات GPS را نشان می دهد، و نگاره ۵ این اختلافها را جهت دومین جلسه عملیات نشان می دهد. هیچ اختلاف مقیاس مهمی بین حلهای جلسه مشاهدات و حل نهایی اندازه گیریها وجود ندارد. ماکزیمم اختلاف مقیاس حدود ۰/۱۹ ppm در جلسه مشاهدات ۱۹۴ پارامتر مداری از دومین عملیات نقشه برداری GPS نشان داده شده است. این امر احتمالاً به واسطه وجود آشفتگی یونسفر و در طول اندازه گیری این جلسه مشاهداتی می باشد. همان طور که ما در نگاره های ۴ و ۵ ملاحظه می کنیم، ما را از وجود دقتی حدود ۰/۳ ppm ± برای هر دو عملیات نقشه برداری GPS مطمئن می سازد.



نگاره (۵) اختلاف مقیاس بین حلهای جلسه مشاهدات مجزا و حل نهایی عملیات نقشه برداری GPS در Savo Kainuu

۳) تجزیه و تحلیل تغییر شکلهای

نمودار استرین در منطقه فنلاند به کمک مشاهدات مثلث بندی درجه یک کلاسیک و از طریق شبکه های مثلث بندی / سه ضلع بندی مطالعه و بررسی شده اند. اگرچه دقت پارامترهای استرین به دست آمده از این داده ها در همان حد و مرتبه خود پارامترها می باشد. این امر می تواند، حداقل خصوصیات کیفی جابه جاییهای افقی را در این منطقه نشان دهد. اگرچه داده های دقیقتری همانند مشاهدات GPS نیز مورد قبول باشند. در آن صورت فهم و درک ما از جابه جاییهای افقی بهبود خواهد یافت. تغییرات در فواصل خاص به وسیله مقایسه نتایج GPS با نتایج مثلث بندیهای درجه یک (کلاسیک) حاصل می شود. بدین منظور نتایج معمول سرشکنی ۱۹۷۱ مثلث بندی درجه یک کلاسیک زمینی در اینجا مورد استفاده واقع شده اند. ارتفاعات ژئوئید و ارتفاعات ارتومتریک برای محاسبه فواصل خاصی از مختصانهای بیضوی مورد نیاز می باشند. مقادیر استفاده شده در سرشکنی مثلث بندی (زاویه خوانی) نیز جهت هدف فوق در اینجا مورد کاربرد قرار گرفته اند. زیرا فواصل اوروجینال حاصل شده به وسیله این مقادیر به فواصل روی بیضوی تصحیح داده شده اند، که در عین حال این امر تنها یک فرآیند معکوس می باشد.



نگاره (۷)

تغییرات در فواصل خاص در منطقه Savo-Kainuu, I, II همانند نگاره ۶ می باشند. طولهای باز به شرح زیر هستند.

- 1= Kiikumäki-Pihjala,
- 2= Kikumäki-Kivivaara,
- 3= Kiikumäki-Laiska,
- 4= Kulvemäki-Pihjala,
- 5= Kulvemäki-Laiska,
- 6= Laiska-Kivivaara,

موقعیت ایستگاهها در نگاره (۱) نشان داده شده است.

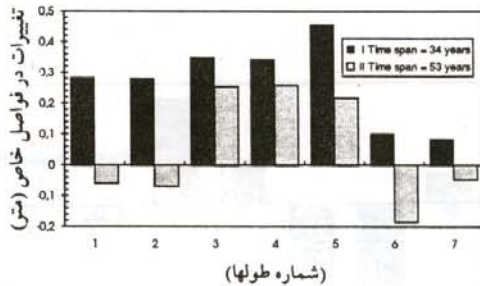
شده، به دست بیایند. انترپولاسیون به وسیله رابطه ذیل می تواند اجرا شود.

$$\Delta s = \int_s ds = \sum_{i=1}^m (e_i^x \cos^2\theta + e_i^y \sin^2\theta + e_i^z \sin^2\theta) ds$$
 در این رابطه s فاصله خاص تقسیم شده به m قسمت مشابه المان طولی θ, ds جهت طول باز، و e_i^x, e_i^y, e_i^z میزان تغییرات مؤلفه های تنسور استرنین i امین المان هستند. این مقادیر می توانند به وسیله انترپولاسیون از نقاط کرانه ای به وسیله رابطه ذیل محاسبه شوند.

$$e_{vw} = \sum_{i=1}^n (e_{vw}^i \cdot s_i^{-2}) / \sum_{i=1}^n s_i^{-2}, v, w \in x, y$$

در این رابطه e_{vw} مقدار انترپوله شده از n ایستگاه می باشد، به طوری که میزان تغییرات مؤلفه های مترادف تنسور استرنین $(i=1, \dots, m)$ معلوم می باشند.

نگاره های ۶ و ۷ به ترتیب تغییرات در فواصل خاص جهت اولین و دومین عملیات نقشه برداری GPS را نشان می دهند. نگاره های ۸ و ۹ مترادفاً میزان تغییرات به دست آمده از تغییرات در فواصل خاص داده شده در نگاره های ۶ و ۷ را نشان می دهند. آن امری غیرممکن است که یک دقت حقیقی برای تغییرات منجر شده توسط آنان داده شود، زیرا که خطاهای سیستماتیک مدله



نگاره (۶)

تغییرات در فواصل خاص در منطقه Pohjanmaa (I) به نتایج به دست آمده از مثلث بندیهای درجه یک و شبکه های سه ضلع بندی و مثلث بندی اشاره می کند. (II) به نتایج به دست آمده از مثلث بندیهای درجه یک و اندازه گیریهای GPS اشاره می کند. برای طولهای باز که به وسیله شبکه های سه ضلع بندی و مثلث بندی تعیین نشده اند، تغییرات در فواصل خاص از طریق پارامترهای استرنین داده شده توسط Chen (۱۹۹۱) محاسبه می شوند. طولهای باز تعریف شده به شرح ذیل هستند.

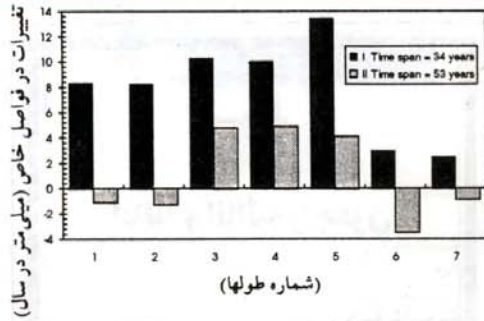
- 1= Jauhokallio-Nisula, 2= Jauhokallio-Huhmarmäki,
- 3= Nisula-Pitkäselkä, 4= Kestilä-Pitkäselkä,
- 5= Huhmarmäki-Pitkäselkä, 6= Huhmarmäki-Kestilä,
- 7= Nisula-Kestilä.

موقعیت ایستگاهها در نگاره (۱) نشان داده شده است.

ما علاقمند هستیم، بدانیم که میزان تغییرات به دست آمده بین اندازه گیریهای GPS و مثلث بندیهای درجه یک (کلاسیک) با آنچه که از مقایسه شبکه های مثلث بندی / سه ضلع بندی با نتایج مثلث بندیهای درجه یک کلاسیک به دست می آید، چگونه می باشند.
 این چنین بررسیها و مطالعات به طور کامل در ذیل توضیح داده شده است. میزان تغییرات به دست آمده از اندازه گیریهای GPS و مثلث بندیهای درجه یک (کلاسیک) می تواند به طور ساده از رابطه ذیل محاسبه شوند.

$$\Delta s = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_G \cdot s_T}{\Delta t} \quad (1)$$

در این رابطه s_G فاصله خاص به دست آمده از اندازه گیریهای GPS می باشد، s_T مقدار مترادف حاصل شده از مختصاتهای ژئودتیک مثلث بندیهای درجه یک است و Δt زمان صرف شده بین دو نوبت اندازه گیری مژبور می باشد. میزان تغییرات شبکه های سه ضلع بندی و مثلث بندی و همچنین مثلث بندیهای درجه یک کلاسیک نیز می تواند با از رابطه (۱) برای طولهای باز اندازه گیری شده در دو نوبت زمانی متفاوت حاصل شود یا این که به وسیله انترپولاسیون از طریق پارامترهای استرنین ارائه شده توسط Chen (۱۹۹۱)، برای طولهای باز که توسط شبکه های سه ضلع بندی و مثلث بندی تعیین



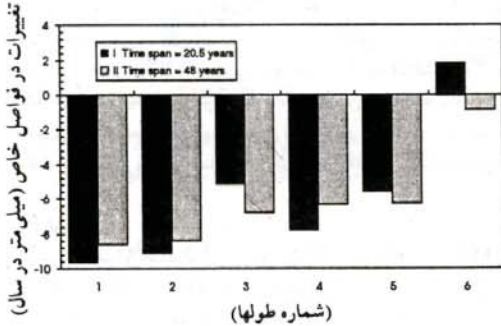
نگاره (۸) میزان تغییرات طولهای باز انتخاب شده از مناطق II, I. Pohjanmaa همانند نگاره (۶) هستند. تعداد طول باز همانند آنهایی هستند که در نگاره (۶) معرفی شده‌اند.

نشده‌ای هم در داده‌های GPS و هم در مشاهدات ژئودتیکی (کلاسیک) موجود هستند. اگر ما فرض نمایم که دقت یک فاصله خاص در حدود $\pm 0.3 \text{ ppm}$ اندازه‌گیریهای GPS، $\pm 3 \text{ ppm}$ دقت شبکه‌های مثلث‌بندی/سه‌ضلع‌بندی و $\pm 2 \text{ ppm}$ دقت مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک باشند. سپس دقت مترادف تغییرات استرین تولید شده از اندازه‌گیریهای GPS و همچنین منتج شده از مشاهدات مثلث‌بندی درجه یک کلاسیک در حدود ± 0.04 میکرواسترین در سال ($\mu\text{Strain/Year}$) برای یک مدت زمان صرف شده حدود ۵۰ سال است. هنگامی که مقدار آن از دقت شبکه‌های مثلث‌بندی/سه‌ضلع‌بندی و مثلث‌بندی درجه یک کلاسیک در حدود 0.12 میکرواسترین در سال باشد برای یک مدت زمان ۳۰ سال است.

دقت میزان تغییرات در فواصل خاص می‌تواند به طور ساده به وسیله رابطه $m_p = m_s \cdot S$ محاسبه شوند؛ به طوری که m_s میزان تغییرات در فاصله خاص است، S میزان استرین و S متقابلاً فاصله می‌باشد، البته در اینجا فقط برآوردهای خیلی تقریبی مطرح می‌باشد.

۱-۳- بحث و بررسی

همان‌گونه که در نگاره (۹) نشان داده شده بود برای منطقه Savo-Kainuu، میزان تغییرات فواصل خاص به دست آمده از اندازه‌گیریهای GPS و مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک (نتایج II) به طور کیفی و به خوبی با تغییرات حاصل شده از شبکه‌های سه‌ضلع‌بندی و مثلث‌بندی و همچنین مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک (نتایج I) موافقت دارند. به طور کلی اختلافها در میزان تغییرات در فواصل خاص کمتر از $2/7$ میلی متر در سال است. البته این مقدار برای طولهای باز انتخاب شده و امتداد یافته در جهات مختلف و با مقادیر و اندازه‌های متفاوت تغییر شکل ۲۷



نگاره (۹) میزان تغییرات طولهای باز انتخاب شده از منطقه II, I. Savo-Kainuu همانند نگاره (۶) می‌باشند. و تعداد طولهای باز همانند آنهایی هستند که در نگاره (۷) معرفی شده‌اند.

است.

این اختلافها به طور کلی کوچکتر از دقت تغییرات طولهای باز انتخاب شده است، هر دو نتایج به دست آمده، مؤید این مطلب هستند، که ماکزیم تراکم تغییر شکلهای افقی پوسته زمین در این منطقه خاص در جهت شمالشرقی به جنوبغربی می‌باشد. البته وضعیت در منطقه Pohjanmaa متفاوت می‌باشد. تجزیه و تحلیل مشاهدات شبکه‌های سه‌ضلع‌بندی و مثلث‌بندی و همچنین مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک موجب گستگی و دو نیم گشتن پراکندگی وسیعی در این منطقه شده است (Chen, ۱۹۹۱). نتیجه به دست آمده از یک شبکه مکرر مشاهده شده واقع در ناحیه Lappajärvi که در حدود ۷۰ کیلومتری جنوب منطقه اولین عملیات نقشه‌برداری GPS واقع می‌باشد، با ابعاد 15×15 کیلومتر مربع یک پراکندگی وسیعی را نیز در این منطقه مشخص می‌نماید، (Veriö, ۱۹۹۲). اما نتایج به دست آمده از داده‌های GPS و مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک کاملاً متفاوت می‌باشند. در قسمت جنوبی منطقه فوق هیچ‌گونه تغییر شکلی مشاهده نشده است. تقریباً این قسمت در جهت شمالشرقی به جنوبغربی نمی‌باشد، لذا این موضوع با نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل شبکه‌های ترکیبی مثلث‌بندی/سه‌ضلع‌بندی و همچنین مثلث‌بندیهای درجه یک کلاسیک مطابقت ندارد. در قسمت شمال منطقه فوق (منطقه Pohjanmaa) یک پراکندگی وسیعی در جهت شمالشرقی به جنوبغربی مشاهده می‌شود. این مورد مشاهده شده کاملاً به طور کیفی با نتایج به دست آمده از شبکه‌های ترکیبی مثلث‌بندی/سه‌ضلع‌بندی و همچنین شبکه‌های مثلث‌بندی درجه یک کلاسیک مطابقت دارد. اما اندازه آن در حدود نصف مقداری می‌باشد که از مشاهدات ژئودتیکی کلاسیک ناشی می‌شود. بنابراین سازگاری و تطبیق در این منطقه کاملاً ضعیف می‌باشد. طبیعت طرح پراکندگیهای تغییر شکل در این منطقه هنوز نامطمئن و نامعقول می‌باشد. از

بسمه تعالی

انالله و انا اليه راجعون

در ضمن چاپ چهاردهمین شماره
نشریه سپهر، با کمال تأسف و تألم،
دانشمند محترم و استاد
گرانقدر جناب آقای

مهندس منوچهر کوشا

دارفانی را وداع گفته و به
سرای باقی شتافتند.
ضایعه درگذشت استاد کوشا که
از پیشکسوتان نقشه برداری
کشور و عضو هیئت تحریریه
نشریه علمی و فنی سپهر و از
پیشقراولان نقشه برداری مدرن
و آموزش نقشه برداری بوده اند،
را به خانواده محترم کوشا و
نقشه برداران کشور تسلیت
عرض می نمایم.

مدیر مسئول

و هیئت تحریریه سپهر

طرفی به علاوه خطاهای مؤثر در شبکه های ترکیبی سه ضلع بندی و مثلث بندی خطاهای سیستماتیک غیرقابل انتظاری در مشاهدات امتداد و آزمایشهای افقی در شبکه های مثلث بندی درجه یک کلاسیک نیز می توانند به طور مستقیم بر روی نتایج تأثیر بگذارند. زیرا شبکه های مثلث بندی درجه یک کلاسیک موجود در منطقه مزبور از لحاظ هندسی ضعیف هستند. این امر نشان می دهد که به مشکل بتوانیم نتایج دقیقی در این منطقه به دست آوریم. بنابراین برای به دست آوردن نتایج قابل اطمینان در منطقه مورد نظر فوق، مشاهدات مستمر و دقیقی همانند اندازه گیریهای GPS مورد نیاز خواهد بود.

۴) تشکر

نویسنده مایل است تا از آقایان MATTI OLLIKAINEN و MARKKU POUTANEN برای فراهم نمودن داده های خام و اطلاعات تهیه شده در مورد داده ها تشکر نماید. هزینه این کار توسط انستیتو ژئودینیک فنلاند تأمین شده است. □
پاورقی ها :

- 1) Single - Session
- 2) Primary triangulation
- 3) Triangulation /Trilateration networks
- 4) CIGNET
- 5) Ambiguity
- 6) Solar radiation Pressure
- 7) Perturbation Potential
- 8) Broadcast
- 9) Cycle slip
- 10) Session
- 11) Triple difference Solutions
- 12) Single session solution
- 13) Outliers
- 14) Constraint
- 15) Single difference
- 16) Baselines
- 17) Geometry-free linear combination
- 18) Free network solution
- 19) Cut-off angle
- 20) Broadcast orbits
- 21) Site/Session
- 22) Meterological
- 23) Fix
- 24) Satellite Laser Range (SLR)
- 25) Single Point Positioning
- 26) Single session solutions
- 27) Diformation