



جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور
سازمان نقشه برداری کشور

دستورالعمل محاسبات ثقل سنجی

دستورالعمل شماره:

STD02-O01CY0001D

خرداد ۱۴۰۲

<http://www.ncc.gov.ir>

سازمان نقشه برداری کشور

گروه استانداردسازی

اداره کل نظارت، کنترل فنی و استاندارد

پیشگفتار

با توجه به نیاز به گسترش داده‌های شتاب‌ثقل با تراکم بالا در سطح کشور به منظور مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین و تعیین سطح مبنایی ارتفاعی کشور. در سال ۱۳۸۲ شبکه ثقل‌سنجی درجه یک کشور به تعداد ۶۷۰ ایستگاه به فواصل حدود ۵۵ کیلومتر، در سال ۱۳۸۵ شبکه ثقل‌سنجی درجه دو کشور به تعداد ۱۹۰۹ به فواصل حدود ۲۵ کیلومتر و از سال ۱۳۸۸ جمع‌آوری داده‌ها با تراکم حدود ۹ کیلومتر با طراحی اولیه حدود ۲۰ هزار ایستگاه در قالب شبکه ثقل‌سنجی درجه سه در سطح کشور، آغاز گردید. جمع‌آوری داده‌های ثقل‌سنجی در این شبکه‌ها مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی، با استفاده از دستگاه‌های ثقل‌سنج نسبی سینترکس مدل‌های CG-3M و CG-5 انجام می‌گیرد.

با توجه به تعداد بالای فایل‌ها، داده‌ها و سایت‌لوگ‌های اندازه‌گیری و نیاز به حفظ همه داده‌های خام، آرشیو صحیح داده‌ها و دسترسی سریع به آن‌ها و همچنین استفاده از روش واحد برای انجام کلیه مراحل محاسبات ثقل‌سنجی، دستورالعمل محاسبات ثقل‌سنجی تدوین گردید تا به‌عنوان مستندی جهت انجام مراحل کار محاسبات و آرشیو داده‌های شبکه‌های ثقل‌سنجی درجه یک، دو و سه مورد استفاده قرار گیرد. حیطه عملکرد این دستورالعمل در سطح داخلی سازمان می‌باشد.

خرداد ۱۴۰۲

تهیه و کنترل « دستورالعمل محاسبات ثقل سنجی »

اعضای گروه تهیه کننده (به ترتیب حروف الفبا):

حمیده چراغی (مسئول گروه)	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد ژئودزی
زینب سادات ساداتی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی نقشه برداری
فیروزه کاظمی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد سنجش از دور

اعضای گروه نظارت:

عبدالرضا سعادت	سازمان نقشه برداری کشور	دکترای ژئودزی
----------------	-------------------------	---------------

اعضای گروه تأییدکننده:

با توجه به اینکه این دستورالعمل بنا به پیشنهاد گروه کاری و تأیید کمیته استاندارد در دسته بندی شیوه نامه ها جای گرفته و براساس مصوبه کمیته استاندارد مبنی بر کفایت تأیید مدیریت ذیربط برای نهایی شدن شیوه نامه ها، با تأیید مدیر کل نقشه برداری زمینی منتشر گردیده است.

ویراستار:

حسن نظری	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی نقشه برداری
----------	-------------------------	----------------------

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	أ
فصل اول	۱
۱ - دستورالعمل آرشیو داده‌ها و محاسبات شبکه ثقل‌سنجی درجه یک.....	۲
۱-۱- آماده‌سازی داده‌ها.....	۳
۱-۲- محاسبات شتاب ثقل نسبی.....	۸
۱-۳- بایگانی داده‌ها.....	۱۲
۱-۴- وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار دیتابیس.....	۱۳
۱-۵- سرشکنی اولیه.....	۱۴
۱-۶- محاسبه ضریب کالیبراسیون.....	۱۵
۱-۷- اعمال تصحیح کالیبراسیون.....	۱۸
۱-۸- محاسبه خطای بست اندازه‌گیری‌ها.....	۱۹
۱-۹- سرشکنی نهایی.....	۲۱
۱-۱۰- محاسبه خطای بست نهایی بعد از حذف مشاهدات اشتباه.....	۲۴
فصل دوم	۲۷
۲ - دستورالعمل آرشیو داده‌ها و محاسبات شبکه ثقل‌سنجی درجه دو.....	۲۸
۲-۱- آماده‌سازی داده‌ها.....	۲۹
۲-۲- محاسبات شتاب ثقل نسبی.....	۳۰
۲-۳- بایگانی داده‌ها.....	۳۰
۲-۴- وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار دیتابیس.....	۳۱
۲-۵- سرشکنی اولیه.....	۳۱
۲-۶- محاسبه ضریب کالیبراسیون.....	۳۲

۳۲.....۲-۷ اعمال تصحیح کالیبراسیون.....

۳۲.....۲-۸ محاسبه خطای بست اندازه‌گیری‌ها.....

۳۳.....۲-۹ سرشکنی نهایی.....

۳۴.....۲-۱۰ محاسبه خطای بست نهایی بعد از حذف مشاهدات اشتباه.....

۳۷..... فصل سوم.....

۳۸..... ۳ - دستورالعمل آرشیو داده‌ها و محاسبات شبکه ثقل‌سنجی درجه سه.....

۳۹..... ۳-۱ آماده‌سازی داده‌ها.....

۳۹..... ۳-۲ محاسبات شتاب ثقل نسبی.....

۳۹..... ۳-۳ بایگانی داده‌ها.....

۴۰..... ۳-۴ وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار دیتابیس.....

۴۰..... ۳-۵ سرشکنی اولیه.....

۴۱..... ۳-۶ محاسبه ضریب کالیبراسیون.....

۴۱..... ۳-۷ اعمال تصحیح کالیبراسیون.....

۴۱..... ۳-۸ محاسبه خطای بست اندازه‌گیری‌ها.....

۴۲..... ۳-۹ سرشکنی نهایی.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نحوه اندازه‌گیری شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه یک..... ۲
- شکل ۲-۱- نمونه‌ای از خروجی ثقل‌سنج CG3-M برای ایستگاه GLGAM2212..... ۵
- شکل ۳-۱- نمونه‌ای از خروجی ثقل‌سنج CG-5 برای ایستگاه GLGAM2408..... ۶
- شکل ۴-۱- برنامه محاسبات اختلاف شتاب‌ثقل و تصحیح دریافت روزانه GravityDataProcessor..... ۸
- شکل ۵-۱- گراف تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده بر حسب زمان (قبل از حذف مشاهدات اشتباه)..... ۱۰
- شکل ۶-۱- گراف تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده بر حسب زمان (بعد از حذف مشاهدات اشتباه)..... ۱۱
- شکل ۷-۱- نمونه‌ای از فایل خروجی محاسبات برنامه GravityDataProcessor..... ۱۲
- شکل ۸-۱- تنظیمات برنامه محاسبات سرشکنی WeightedAdjustment قبل از اعمال ضریب کالیبراسیون..... ۱۴
- شکل ۹-۱- برنامه محاسبات کالیبراسیون CalibrationCalculation..... ۱۷
- شکل ۱۰-۱- فلش‌های قرمز لوپ مثلثی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه یک..... ۲۰
- شکل ۱۱-۱- تنظیمات برنامه محاسبات سرشکنی WeightedAdjustment بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون..... ۲۲
- شکل ۱۲-۱- فلش‌های سبز لوپ‌های چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه یک..... ۲۵
- شکل ۱-۲- اندازه‌گیری شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه دو در لوپ‌های کرم رنگ (نقاط مربع) نسبت به ایستگاه‌های شبکه‌های ثقل‌سنجی درجه یک (نقاط مثلثی)..... ۲۹
- شکل ۲-۲- فلش‌های قرمز لوپ چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه دو..... ۳۳
- شکل ۳-۲- فلش‌های سبز لوپ‌های چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه دو..... ۳۴
- شکل ۱-۳- اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نقاط نشانه شبکه ثقل‌سنجی درجه سه در لوپ‌های آبی رنگ (نقاط دایره‌ای) نسبت به ایستگاه‌های شبکه‌های ثقل‌سنجی درجه یک و دو (نقاط مثلثی)..... ۳۸
- شکل ۲-۳- فلش‌های قرمز لوپ چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه سه..... ۴۲

فهرست جداول

جدول ۱-۱- نحوه نام‌گذاری ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر..... ۷

جدول ۱-۲- نحوه استفاده از شماره سریال دستگاه در نام‌گذاری..... ۳۰

به منظور مطالعه میدان ثقل زمین، یکی از مهم ترین کمیت های قابل اندازه گیری، مقدار شتاب ثقل بوده که در علوم فنی و مهندسی مختلف مرتبط با زمین نظیر ژئودزی، ژئوفیزیک و زمین شناسی از اهمیت بسیاری برخوردار است. به منظور یکسان سازی عملیات ثقل سنجی لازم است شبکه هایی یکپارچه و با تراکم همگن در سرتاسر کشور ایجاد گردد تا با در اختیار داشتن این شبکه ها، تمامی فعالیت های ثقل سنجی در سطح کشور تحت یک سیستم واحد درآید. از اطلاعات شتاب ثقل با تراکم مناسب و دقت بالا می توان برای مدل سازی محلی میدان ثقل زمین، محاسبه ژئوئید دقیق به عنوان سطح مبنای ارتفاعی کشور، تعیین تصحیحات مربوط به اثر میدان ثقل زمین بر روی ارتفاع های خام تراز یابی دقیق، محاسبه دانسیته توده های داخل زمین و دیگر موارد استفاده نمود. وجود شبکه های ثقل از گسترش خطاهای سیستماتیک در داده های شتاب ثقل جلوگیری کرده و کنترل خطاها را ممکن می سازد. شبکه های ثقل سنجی، درواقع چارچوبی برای یکپارچه کردن کلیه اطلاعات شتاب ثقل جمع آوری شده در سطح کشور بوده و در صورت تکرار اندازه گیری ها، از آنها می توان برای تعیین تغییرات زمانی شتاب ثقل در منطقه استفاده کرد.

در سال ۱۳۷۶ شبکه ثقل سنجی درجه صفر کشور مشتمل بر ۲۱ ایستگاه طراحی شد که تا امروز تعداد ایستگاه های این شبکه به ۳۹ رسیده است. در سال ۱۳۸۲ شبکه ثقل سنجی درجه یک کشور (شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک) به تعداد ۶۷۰ ایستگاه به فواصل حدود ۵۵ کیلومتر با عنوان شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک طراحی گردید. از سال ۱۳۸۵ ایجاد شبکه ثقل سنجی درجه دو کشور (شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو) به فواصل حدود ۲۵ کیلومتر به تعداد ۱۹۰۹ ایستگاه در دستور کار اداره فیزیکی ژئودزی قرار گرفت. در راستای تکمیل داده های شتاب ثقل با تراکم بالاتر به منظور مدل سازی محلی دقیق تر میدان ثقل، از سال ۱۳۸۸ جمع آوری داده ها با تراکم حدود ۹ کیلومتر با طراحی اولیه حدود ۲۰ هزار ایستگاه در قالب شبکه ثقل سنجی درجه سه در سطح کشور، آغاز گردید.

دستگاه های ثقل سنجی به دو صورت مطلق و نسبی شتاب ثقل زمین را اندازه گیری می کنند. از مشاهدات شتاب ثقل مطلق برای ایجاد ایستگاه های مطلق در شبکه های ثقل سنجی ملی به منظور تعیین چارچوب و دیتوم های دقیق شتاب ثقل در کشور و کالیبره کردن دستگاه های ثقل سنجی نسبی استفاده می شود. با توجه به اینکه عملیات ثقل سنجی مطلق بسیار زمان بر و پرهزینه است معمولاً از دستگاه های ثقل سنجی نسبی برای تکثیر ایستگاه های شتاب ثقل در یک کشور استفاده می گردد. در ایران نیز با توجه به تجهیز سازمان نقشه برداری کشور به شش دستگاه ثقل سنج نسبی از انواع CG-3M و CG-5، برای جمع آوری داده های ثقل سنجی از روش نسبی و با اتصال به ایستگاه های شبکه ثقل سنجی درجه صفر کشور استفاده می گردد.

فصل ۱

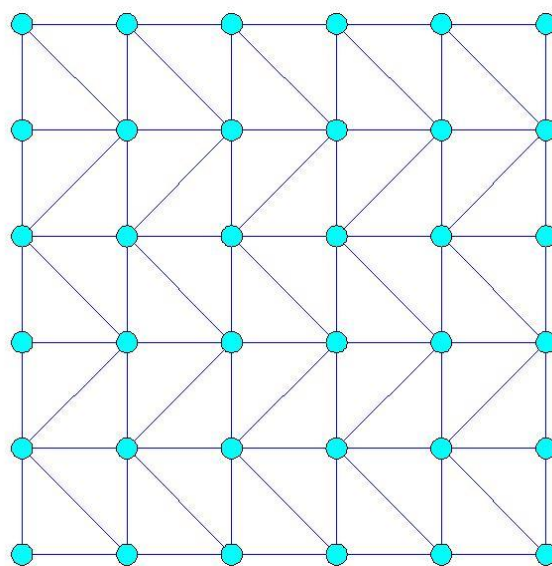
دستورالعمل آرشیو داده‌ها و

محاسبات شبکه ثقل سنجی درجه یک

۱ - دستورالعمل آرشیو داده‌ها و محاسبات شبکه ثقل سنجی درجه یک

شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک ایران GLGAM: Gravity, Leveling, GPS, Astronomy, Magnetic در سال ۱۳۸۲ توسط متخصصین و کارشناسان اداره کل نقشه‌برداری زمینی طراحی گردید. این شبکه دارای تراکم ۵۵ کیلومتر و برای ایران شامل ۶۱۷ ایستگاه می‌باشد که به‌طور منظم در سطح کشور پراکنده شده‌اند. هدف اصلی در این شبکه، گسترش یکنواخت مشاهدات شتاب‌ثقل در کل کشور است که شامل داده‌های جانبی از قبیل مشاهدات ترازیبی دقیق، تعیین موقعیت GPS و اندازه‌گیری‌های نجومی و مغناطیس‌سنجی نیز خواهد بود. به‌منظور ماندگاری بیشتر و افزایش دقت مشاهدات، ایستگاه‌های شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل سنجی، به‌طور عمده بر روی سنگ‌های ریشه‌دار موجود در داخل طبیعت احداث شدند.

استراتژی اندازه‌گیری شبکه ثقل سنجی درجه یک، به‌صورت مشاهدات رفت و برگشتی و به شکل زیگزاگی است. از هر ایستگاه چند منظوره به ایستگاه‌های مجاور در چهار جهت شمال، جنوب، شرق و غرب ایستگاه اندازه‌گیری انجام گرفته است (مطابق شکل (۱-۱)). با توجه به طراحی اولیه، ایستگاه‌های واقع در شمال غرب و جنوب غرب یا شمال شرق و جنوب شرق ایستگاه نیز اندازه‌گیری شده‌اند؛ بنابراین طبق طرح اولیه از هر ایستگاه به استثناء ایستگاه‌های مرزی تعداد شش اندازه‌گیری به ایستگاه‌های مجاور انجام گرفته است. در ایستگاه‌های مرزی اندازه‌گیری‌ها با توجه به ایجاد حداکثر پوشش و اتصالات انجام گرفته است. همچنین در صورتی که اطراف ایستگاه‌های شبکه چند منظوره ژئودزی، ایستگاه مربوط به شبکه ثقل سنجی درجه صفر موجود باشد، اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نسبی از ایستگاه چندمنظوره به این ایستگاه نیز انجام شده است. این روش اندازه‌گیری، امکان کنترل و سرشکنی شبکه را با درجه آزادی بالا برای کشف مشاهدات اشتباه فراهم می‌آورد.



شکل ۱-۱- نحوه اندازه‌گیری شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل سنجی درجه یک

به‌منظور عدم وابستگی اندازه‌گیری‌ها، خطوط مشاهداتی ثقل‌سنجی بین ایستگاه‌های متوالی در شبکه درجه یک هر کدام در یک روز کاری اندازه‌گیری می‌شود. برای تعیین و حذف دریافت کوتاه مدت روزانه هر خط مشاهداتی به‌صورت رفت و برگشت اندازه‌گیری می‌گردد. با توجه به تعداد بالای فایل‌ها، داده‌ها و سایت‌لوگ‌های اندازه‌گیری به‌منظور حفظ همه اطلاعات و دسترسی سریع به آن‌ها لازم است داده‌ها مطابق دستورالعمل تهیه شده آرشیو شده و محاسبات لازم نیز مطابق با مراحل زیر انجام بگیرد.

۱-۱- آماده‌سازی داده‌ها

ابتدا فایل‌های خام مربوط به همراه از گروه‌های مأموریتی دریافت می‌شود. در مسیر زیر پوشه‌ای به نام هر سرگروه ایجاد می‌شود و در داخل پوشه مربوط به هر گروه نیز به تاریخ دریافت داده‌ها پوشه‌ای ساخته می‌شود. به‌منظور حفظ فایل‌های خام اولیه، پوشه raw در ادامه ایجاد می‌گردد و داده‌های تحویل گرفته شده از هر گروه در پوشه مربوطه کپی می‌شود.

Physical Geodesy Department \Gravity Observations\data\GLGAM Primary Data \Group Name \ Date
\raw

در صورتی که از دستگاه CG3-M استفاده شده باشد فرمت فایل‌های خروجی هر برداشت از نوع DMP می‌باشد. هنگام تخلیه دستگاه CG-5 فایل‌های خروجی اندازه‌گیری برای هر سری برداشت در یک پوشه ریخته می‌شود که به‌صورت پیش‌فرض با تاریخ تخلیه دستگاه هم‌نام می‌باشد. از بین خروجی‌های دستگاه فایل خروجی با فرمت txt فایل مدنظر اندازه‌گیری گراویمتر CG-5 می‌باشد.

در این مرحله فایل‌های خروجی اندازه‌گیری DMP، یا txt، را در مسیر زیر به خارج از پوشه raw منتقل می‌کنیم.

Physical Geodesy Department \Gravity Observations\data\GLGAM Primary Data \Group Name \ Date
در ابتدا باید نام فایل‌های مشاهداتی مطابق استاندارد اصلاح گردد. نام فایل‌های اندازه‌گیری مربوط به مشاهدات خطوط شبکه ثقل‌سنجی درجه یک، عددی ۸ رقمی، شامل ۴ رقم مربوط به نام ایستگاه اول و ۴ رقم مربوط به نام ایستگاه دوم بدون فاصله می‌باشد. مثلاً نام فایل مشاهداتی اندازه‌گیری بین دو ایستگاه GLGAM2412 و GLGAM2413 به‌صورت 24122413 ثبت می‌شود. برای درج نام فایل مشاهداتی ایستگاه‌هایی که دارای اسامی متفاوتی می‌باشند نظیر GLGAM2415-1، شماره ایستگاه به‌صورت کامل (به‌صورت 2415-1) اصلاح شود.

هر فایل مشاهداتی خروجی دستگاه‌های ثقل‌سنج نسبی شامل نام ایستگاه اندازه‌گیری شده، نام دستگاه، تاریخ اندازه‌گیری، مقادیر اندازه‌گیری شده، انحراف معیار هر اندازه‌گیری، زمان هر اندازه‌گیری (بر اساس ساعت، دقیقه و ثانیه)، تیلت دستگاه در هر اندازه‌گیری، مقدار تصحیح جزرومد (این تصحیح به‌صورت خودکار به مقادیر اندازه‌گیری شده اعمال

می‌شود) و اطلاعات دیگری از شرایط اندازه‌گیری می‌باشد. در شکل (۲-۱) نمونه‌ای از خروجی ثقل سنج CG3-M برای ایستگاه GLGAM2212 و شکل (۳-۱) نمونه‌ای از خروجی ثقل سنج CG-5 برای ایستگاه GLGAM2408 نشان داده شده است.

در مرحله بعد، سایت‌لوگ‌ها و فایل‌های اندازه‌گیری با یکدیگر مطابقت داده می‌شود. نام ایستگاه، شماره سریال دستگاه، زمان دریافت ثابت، تاریخ، زمان شروع و خاتمه اندازه‌گیری و ... تطابق داده می‌شود و در صورت نیاز ویرایش و اصلاح می‌گردد.

دستگاه‌های ثقل سنج نسبی CG3-M به دلیل محدودیت، قابلیت ثبت حروف در محل نام ایستگاه را ندارند. مطابق دستورالعمل ثقل سنجی، در زمان اندازه‌گیری‌های شبکه ثقل سنجی درجه یک در دستگاه‌های CG3-M در محل نام ایستگاه شماره ۴ رقمی ایستگاه درجه یک ثبت می‌گردد. در ثقل سنج‌های CG-5 که قابلیت ثبت حروف را نیز به‌عنوان نام ایستگاه دارند شماره ایستگاه با پیشوند GLGAM درج می‌شود.

SCINTREX V5.2		AUTOGRAV / Field Mode		R5.31		Ser No: 4505.	
Line:	1.N	Grid:	1.	Job:	1.	Date: 05/08/13	Operator: 4.
GREF.:		0. mGals		Tilt x sensit.:		261.4	
GCAL.1:		6027.588		Tilt y sensit.:		269.5	
GCAL.2:		0.		Deg.Latitude:		34.73	
TEMPCO.:		-0.1411 mGal/mK		Deg.Longitude:		-49.74	
Drift const.:		0.215		GMT Difference:		-4.5hr	
Drift Correction Start		Time: 14:55:18		Cal.after x samples:		12	
		Date: 05/08/03		On-Line Tilt Corrected =		**	

Station	Grav.	SD.	Tilt x	Tilt y	Temp.	E.T.C.	Dur # Rej Time
GLGAM2212.E	3035.767*	0.009	0.	1.	-0.16	0.040	60 0 10:40:15
GLGAM2212.E	3035.768*	0.008	-1.	1.	-0.16	0.039	60 0 10:41:27
GLGAM2212.E	3035.768*	0.008	-1.	1.	-0.15	0.039	60 0 10:42:39
GLGAM2212.E	3035.767*	0.009	-1.	1.	-0.16	0.038	60 0 10:43:51
GLGAM2212.E	3035.767*	0.008	-1.	1.	-0.16	0.038	60 0 10:45:03
GLGAM2212.E	3035.766*	0.007	-2.	2.	-0.15	0.037	60 0 10:46:15
GLGAM2212.E	3035.767*	0.009	-2.	2.	-0.15	0.037	60 0 10:47:27
GLGAM2212.E	3035.768*	0.009	-2.	2.	-0.15	0.036	60 0 10:48:39
GLGAM2212.E	3035.767*	0.009	-2.	2.	-0.15	0.036	60 0 10:49:51
GLGAM2212.E	3035.767*	0.007	-2.	2.	-0.15	0.036	60 0 10:51:03
GLGAM2212.E	3035.767*	0.008	-2.	2.	-0.15	0.035	60 0 10:52:15
GLGAM2212.E	3035.768*	0.009	-2.	2.	-0.15	0.035	60 0 10:53:27
GLGAM2212.E	3035.765*	0.008	-2.	1.	-0.15	0.034	60 0 10:54:39
GLGAM2212.E	3035.767*	0.009	-3.	1.	-0.15	0.034	60 0 10:55:51
GLGAM2212.E	3035.768*	0.011	-3.	1.	-0.15	0.033	60 1 10:57:03
GLGAM2212.E	3035.766*	0.007	-3.	1.	-0.16	0.033	60 0 10:58:17
GLGAM2212.E	3035.766*	0.009	-3.	1.	-0.16	0.032	60 0 10:59:29
GLGAM2212.E	3035.766*	0.008	-3.	1.	-0.16	0.032	60 0 11:00:41
GLGAM2212.E	3035.766*	0.009	-3.	1.	-0.16	0.032	60 0 11:01:53
GLGAM2212.E	3035.767*	0.008	-2.	0.	-0.16	0.031	60 0 11:03:05

شکل ۱-۲- نمونه‌ای از خروجی ثقل‌سنج CG3-M برای ایستگاه GLGAM2212

CG-5 SURVEY													
Survey name:		GLGAM2408											
Instrument S/N:		84											
Client:		ncc2											
Operator:		bahram											
Date:		2005/ 6/ 9											
Time:		10:17:17											
LONG:		47.760 E											
LAT:		35.800 N											
ZONE:		0											
GMT DIFF.:		-4.5											
CG-5 SETUP PARAMETERS													
Gref:		0.000											
Gcall:		8860.260											
TiltxS:		585.317											
TiltyS:		573.277											
Tiltx0:		75.752											
Tilty0:		56.675											
Tempco:		-0.139											
Drift:		0.530											
DriftTime Start:		23:54:16											
DriftDate Start:		2005/6 /8											
CG-5 OPTIONS													
Tide Correction:		YES											
Cont. Tilt:		YES											
Auto Rejection:		YES											
Terrain Corr.:		NO											
Seismic Filter:		YES											
Raw Data:		YES											
LINE	STATION	ALT.	GRAV.	SD.	TILTX	TILTY	TEMP	TIDE	DUR	REJ	TIME	DEC. TIME+DATE	TERRAIN
1.000N	1.000E	2050.00	2916.311	0.011	0.7	1.3	-0.72	0.001	60	19	10:19:24	1943.42945	0.000
1.000N	2.000E	2050.00	2916.311	0.005	0.9	0.9	-0.74	0.001	60	0	10:20:37	1943.43029	0.000
1.000N	3.000E	2050.00	2916.311	0.005	0.6	0.5	-0.75	0.002	60	0	10:21:40	1943.43102	0.000
1.000N	4.000E	2050.00	2916.311	0.006	0.3	0.3	-0.76	0.003	60	0	10:22:43	1943.43175	0.000
1.000N	5.000E	2050.00	2916.311	0.005	0.3	0.1	-0.77	0.004	60	0	10:23:46	1943.43248	0.000
1.000N	6.000E	2050.00	2916.312	0.004	0.3	-0.4	-0.78	0.004	60	0	10:24:49	1943.43321	0.000
1.000N	7.000E	2050.00	2916.310	0.005	0.1	-0.7	-0.79	0.005	60	0	10:25:52	1943.43393	0.000
1.000N	8.000E	2050.00	2916.310	0.005	0.0	-1.0	-0.80	0.006	60	0	10:26:55	1943.43466	0.000
1.000N	9.000E	2050.00	2916.311	0.005	-0.3	-1.3	-0.81	0.007	60	0	10:27:58	1943.43539	0.000
1.000N	10.000E	2050.00	2916.312	0.006	-0.3	-1.5	-0.82	0.007	60	0	10:29:01	1943.43612	0.000
1.000N	11.000E	2050.00	2916.310	0.006	-0.4	-1.6	-0.83	0.008	60	0	10:30:04	1943.43685	0.000
1.000N	12.000E	2050.00	2916.312	0.003	-0.7	-1.7	-0.83	0.009	60	0	10:31:07	1943.43757	0.000
1.000N	13.000E	2050.00	2916.312	0.005	-0.6	-1.9	-0.84	0.010	60	0	10:32:10	1943.43830	0.000
1.000N	14.000E	2050.00	2916.311	0.003	-0.5	-2.0	-0.84	0.011	60	0	10:33:13	1943.43903	0.000

شکل ۱-۳- نمونه‌ای از خروجی ثقل‌سنج CG-5 برای ایستگاه GLGAM2408

در زمان تطابق سایت لوگ و فایل‌ها اسامی ایستگاه‌ها در فایل‌های DMP. باید اصلاح شوند و پیشوند GLGAM به نام ایستگاه‌ها اضافه شود. نام ایستگاه‌ها در فایل‌های txt. کنترل شود. برای ثبت اسامی ایستگاه‌هایی که دارای اسامی متفاوتی می‌باشند نظیر GLGAM2415-1، نام ایستگاه به‌طور کامل به‌صورت GLGAM2415-1 (همراه با خط فاصله) درج گردد. برای نام‌گذاری ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر از کدهای متناظر در جدول (۱-۱) استفاده شود. نام ایستگاه برگشتی باید مطابق با نام ایستگاه اول باشد، اگر از پیشوند ۲ یا b استفاده شده باشد، باید حذف گردد.

No	Station	Station Name	Code
1	TochalSummit	NGCLI01	ABS1001
2	Tochal 7	NGCLI02	ABS1002
3	Tochal 5	NGCLI03	ABS1003
4	Tochal 2	NGCLI04	ABS1004
5	Tochal 1	NGCLI05	ABS1005
6	Kandovan	NGCLI07	ABS1007
7	Chalous	NGCLI08	ABS1008
8	Lahijan	NGCLI09	ABS1009
9	Astara	NGCLI10	ABS1010
10	Astara2	NGCLI10-2	ABS1010-2
11	Lowshan	NGCLI11	ABS1011
12	Ganje	NGCLI12	ABS1012
13	Bavanat	NGCLI13	ABS1013
14	Kashan	NGCLI14	ABS1016
15	Amin	NGCLI15	ABS1015
16	Masal	NGCLI17	ABS1017
17	Yazd	G0YAZD01	ABS9001
18	Tehran	G0THRN02	ABS9002
19	Tabriz	G0TBRZ03	ABS9003
20	Kermanshah	G0KRSH04	ABS9004
21	Esfahan	G0SFHN05	ABS9005
22	Ahvaz	G0AHVZ06	ABS9006
23	Shiraz	G0SHRZ07	ABS9007
24	Laar	G0LAAR08	ABS9008
25	Kerman	G0KRMN10	ABS9010
26	Birjand	G0BJND12	ABS9012
27	Mashhad	G0MSHD13	ABS9013
28	Kalaleh	G0KLLE14	ABS9014
29	Tabas	G0TBAS15	ABS9015
30	BandarAbbas	G0ABAS18	ABS9018
31	Chabahar	G0CHBR19	ABS9019
32	Qeshm1	G0QSHM20	ABS9020
33	Zahedan	G0ZAHD21	ABS9021
34	Boshehr	G0BSHR22	ABS9022
35	Abali	Abali	Abali
36	Cheshmeshour	Cheshmeshour	Cheshmeshour
37	Moaleman	G0MOLN23	ABS9023
38	Khour	G0KHUR24	ABS9024
39	Ravar	G0RAVR25	ABS9025

جدول ۱-۱- نحوه نام‌گذاری ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر

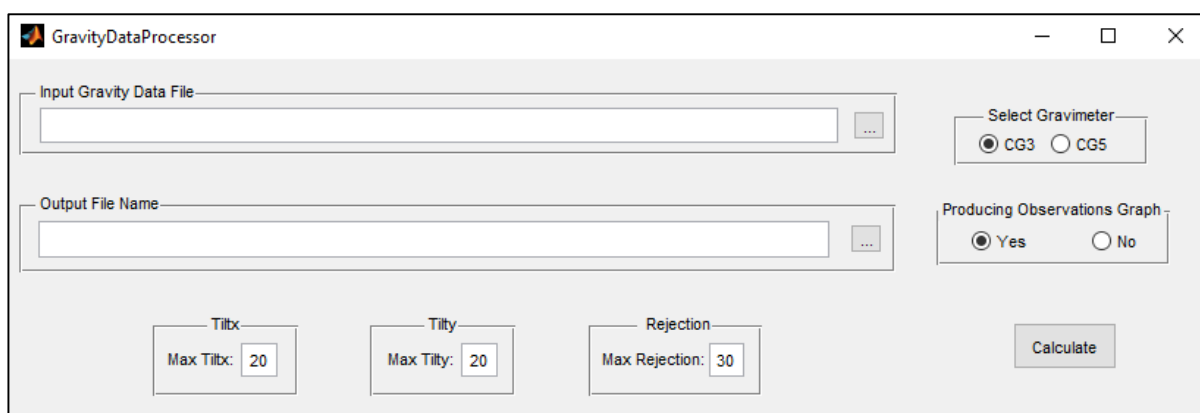
اگر اطلاعات مربوط به دو خط اندازه‌گیری شده در یک فایل آمده باشد لازم است که این فایل به دو فایل مجزا تفکیک شود. در صورت اندازه‌گیری شتاب‌ثقل با استفاده از دستگاه‌های CG3-M، اگر اندازه‌گیری‌های مربوط به یک خط مشاهداتی در طول یک شبانه‌روز نباشد، به دلیل محدودیت دستگاه لازم است به زمان مشاهداتی که در روز بعد انجام شده، ۲۴ ساعت اضافه گردد.

برای اطمینان از صحیح بودن ساعت دستگاه در زمان برداشت داده‌ها، به‌صورت رندوم، مقدار جذروم چند فایل را با استفاده از برنامه NCCGrav منوی calculate Drift محاسبه می‌کنیم.

۲-۱- محاسبات شتاب‌ثقل نسبی

پس از کنترل و اصلاح فایل‌های مشاهداتی، محاسبات مربوط به تعیین مقادیر اختلاف شتاب‌ثقل با استفاده از برنامه GravityDataProcessor که در محیط برنامه‌نویسی matlab تهیه شده و در مسیر زیر قرار دارد، انجام می‌گیرد.
Physical Geodesy Department \ Gravity Observations \ Calculation on GLGAM \ Program \ GravityDataProcessor \ Final6mat8

محیط اجرایی برنامه در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- برنامه محاسبات اختلاف شتاب‌ثقل و تصحیح دریافت روزانه GravityDataProcessor

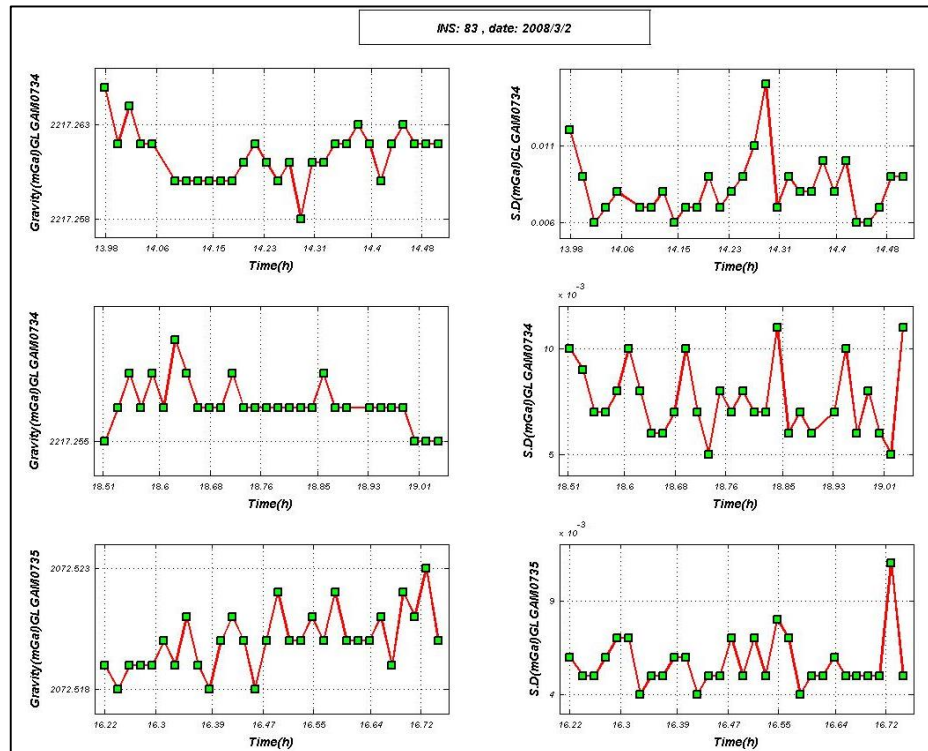
این برنامه از مشاهدات موجود در فایل خام اندازه‌گیری دستگاه، شامل مقادیر اندازه‌گیری شده، انحراف معیار و زمان مشاهدات برای محاسبات و پردازش استفاده می‌کند. در برنامه ابتدا نوع گراویمتر را انتخاب می‌کنیم. تیک مربوط به producing Graph که به‌صورت پیش‌فرض در حالت Yes است را تغییر نمی‌دهیم. فایل‌های ورودی که در مسیر زیر قرار دارند را از input file انتخاب می‌کنیم.

Physical Geodesy Department \ Gravity Observations \ data \ GLGAM Primary Data \ Group Name \ Date

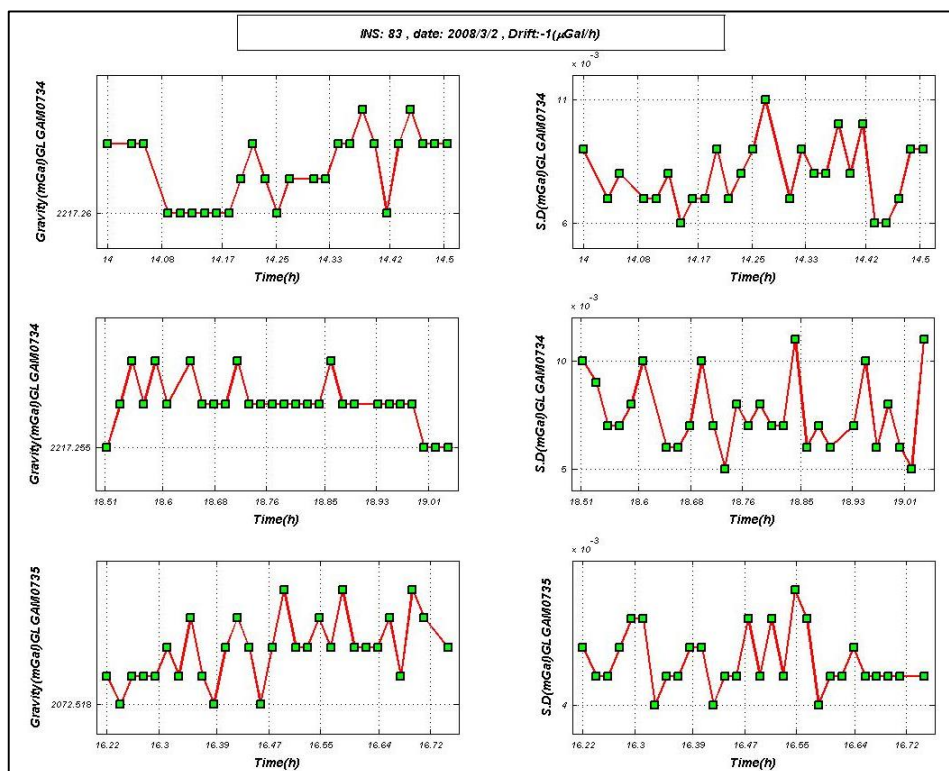
در بخش output file اسم فایل خروجی به صورت پیش فرض بر اساس نوع گراویمتر به صورت dmp_output و یا txt_output تعیین می شود و مسیر فایل خروجی نیز در همان پوشه فایل های ورودی انتخاب می شود. تعداد مشاهدات رد شده در هنگام اندازه گیری با دستگاه ثقل سنج در فایل خروجی با عنوان Rejection آمده است. در خروجی برنامه اگر تعداد مشاهدات رد شده هر اندازه گیری بیشتر از تعداد درج شده در باکس Rejection باشد تعداد آن ها گزارش می دهد. مقادیر tiltx و tilty در اندازه گیری میزان انحراف دستگاه را از حالت تراز نشان می دهد. در خروجی برنامه تعریف شده است که اگر تعداد مشاهدات با tiltx و tilty هر اندازه گیری بیشتر از تعداد درج شده در باکس آن ها باشد تعداد آن را گزارش می دهد.

برنامه محاسبات GravityDataProcessor مشاهدات اندازه گیری های مربوط به هر استقرار دستگاه را قبل از معرفی آن ها به مدل (قبل از سرشکنی) مورد بررسی و آزمون قرار می دهد. هر یک از مشاهدات به طور جداگانه در نظر گرفته شده تا موافقت یا عدم موافقت هر کدام با بقیه مشاهدات سری، مورد آزمون قرار گیرد. عدم موافقت یک مشاهده با بقیه به علت وجود خطای فاحش یا اشتباه در اندازه گیری آن، خطای عامل اندازه گیری و یا تزلزل لحظه ای دستگاه اندازه گیری می باشد. در این برنامه از تست باقیمانده استاندارد برآورد شده با سطح اطمینان معرفی شده در برنامه برای کشف و حذف اندازه گیری اشتباه استفاده می شود.

پردازش داده ها در این برنامه شامل تهیه گراف تغییرات مقادیر اندازه گیری شده بر حسب زمان، ارزیابی مقادیر اندازه گیری شده در هر استقرار و حذف مشاهدات اشتباه و محاسبه اختلاف شتاب ثقل دو ایستگاه و دریافت روزانه است. دو فایل با فرمت jpg که شامل شش گراف از سری زمانی اندازه گیری های انجام شده و انحراف معیار آن ها در استقرار دستگاه روی ایستگاه ها است مربوط به قبل و بعد از حذف مشاهدات اشتباه می باشد. مدل گراویمتر و تاریخ اندازه گیری مشاهدات نیز با استخراج از فایل خام اولیه، در این گراف ها آمده است. در فایل jpg دوم که مربوط به بعد از حذف مشاهدات اشتباه می باشد، مقدار دریافت روزانه محاسبه شده بر حسب میکروگال به ساعت نیز در آن درج شده است. در اشکال ۱-۵ و ۱-۶ نمونه ای از یک گراف سری زمانی مشاهدات قبل و بعد از حذف مشاهدات اشتباه آمده است.



شکل ۱-۵- گراف تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده بر حسب زمان (قبل از حذف مشاهدات اشتباه)



شکل ۱-۶- گراف تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده بر حسب زمان (بعد از حذف مشاهدات اشتباه)

خروجی دیگر برنامه که نتایج پردازش اندازه‌گیری‌های انجام شده را شامل می‌گردد فایلی با فرمت اکسل است که شامل نام ایستگاه اول، نام ایستگاه دوم، اختلاف شتاب‌ثقل دو ایستگاه $\Delta R_{1,2}$ ، انحراف معیار $sd_{\Delta R_{1,2}}$ ، سریال دستگاه گراویمتر، تاریخ مشاهدات، میزان دریافت روزانه دستگاه $(\bar{R}_1^b - \bar{R}_1) \mu Gal$ می‌باشد. همچنین اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار اندازه‌گیری انجام شده در هر ایستگاه (نوسان مشاهدات در هر اپک اندازه‌گیری) و انحراف معیار مشاهدات مربوط به آن ایستگاه در خروجی فایل آمده است. نمونه‌ای از فایل خروجی محاسبات برنامه GravityDataProcessor در شکل (۷-۱) آمده است.

Station1	Station2	DeltaR (mGal)	SD DR (mGal)	Instrument Serial No.	Date	Drift (μGal/h)	dR.St1 (μGa)	dR.St2 (μGa)	dR.St1b (μGa)	SD. St1	SD. St2	SD. St1b
GLGAM2212	GLGAM2213	196.635	0.003	4505	2005/08/11	-0.3	2	3	4	0.010	0.008	0.009
GLGAM2212	GLGAM2312	57.478	0.002	4505	2005/08/13	0.3	2	3	4	0.009	0.008	0.009
GLGAM2213	GLGAM2312	-139.157	0.002	4505	2005/08/12	1.1	3	6	2	0.008	0.009	0.008
GLGAM2307	GLGAM2306	43.904	0.003	4505	2005/10/16	0.0	5	4	4	0.008	0.009	0.008
GLGAM2310	GLGAM2311	-34.888	0.003	84	2005/05/16	-1.8	5	8	9	0.014	0.006	0.012
GLGAM2410	GLGAM2310	13.813	0.002	84	2005/05/19	1.8	7	5	3	0.006	0.006	0.006
GLGAM2411	GLGAM2310	-48.208	0.001	84	2005/05/20	-0.6	4	5	6	0.005	0.004	0.006
GLGAM2411	GLGAM2311	-83.096	0.001	84	2005/05/17	-0.7	4	4	3	0.006	0.005	0.005
GLGAM2411	GLGAM2410	-62.024	0.002	84	2005/05/18	-0.4	2	5	6	0.005	0.010	0.005
GLGAM2410	GLGAM2411	62.030	0.002	84	2005/07/04	-1.2	5	5	6	0.008	0.007	0.010
GLGAM2104	GLGAM2205	-157.638	0.003	202517	2005/07/12	-0.1	16	15	20	0.011	0.008	0.012
GLGAM2105	GLGAM2104	210.010	0.004	202517	2005/07/07	-1.0	6	12	13	0.013	0.011	0.013
GLGAM2105	GLGAM2205	52.373	0.004	202517	2005/07/11	-1.4	9	3	6	0.014	0.009	0.015
GLGAM2106	GLGAM2105	39.492	0.005	202517	2005/07/05	-1.8	6	6	12	0.018	0.015	0.021
GLGAM2106	GLGAM2107	29.112	0.004	202517	2005/07/05	-0.6	4	7	6	0.014	0.015	0.017
GLGAM2106	GLGAM2206	-9.640	0.004	202517	2005/07/04	-0.7	6	5	7	0.014	0.008	0.013
GLGAM1915	GLGAM1914	-75.777	0.002	83	2006/03/09	1.2	3	3	1	0.005	0.006	0.005
ABS9005	GLGAM1816	0.891	0.003	83	2006/03/07	0.4	3	1	4	0.012	0.005	0.009
ABS9005	GLGAM1816	0.892	0.003	83	2006/03/04	5.3	3	7	4	0.012	0.013	0.011
GLGAM1513	GLGAM1512	283.997	0.003	601337	2006/09/14	-1.1	5	7	8	0.011	0.014	0.011
GLGAM1513	GLGAM1613	110.621	0.003	601337	2006/09/13	-0.7	4	6	10	0.010	0.011	0.011
GLGAM1611	GLGAM1511	-0.818	0.003	601337	2006/09/08	2.7	4	6	8	0.011	0.013	0.011
GLGAM1611	GLGAM1711	-64.110	0.003	601337	2006/09/06	0.7	6	7	8	0.012	0.011	0.012
GLGAM1612	GLGAM1511	174.827	0.004	601337	2006/09/14	1.2	8	5	7	0.012	0.013	0.013

شکل ۱-۷- نمونه‌ای از فایل خروجی محاسبات برنامه GravityDataProcessor

بعد از اجرای برنامه و تهیه خروجی‌ها لازم است گراف‌ها بررسی گردد و در صورت نیاز فایل‌ها اصلاح گردد و مجدداً برنامه اجرا شود. بررسی اندازه‌گیری‌های انجام شده به این صورت است که اگر یک یا تعدادی از اندازه‌گیری‌ها نسبت به سایر اندازه‌گیری‌ها تفاوت فاحش داشته باشد، علت را بررسی کرده (وزش باد، عبور وسیله نقلیه و...) و در نهایت اندازه‌گیری مذکور را حذف می‌کنیم. در صورتی که اندازه‌گیری یک خط مشاهداتی دارای خطای غیرقابل اصلاح باشد (دریافت بالا، مشاهدات اشتباه و...) این اندازه‌گیری به‌صورت کامل باید حذف شود و خروجی آن‌ها از فایل اکسل نتایج حذف می‌کنیم. پس از نهایی شدن محاسبات، نام فایل خروجی اکسل باید به‌صورت "سال_ماه_نام سرگروه" تغییر کند.

۱-۳- بایگانی داده‌ها

پس از اتمام محاسبات و اصلاحات، گراف‌ها و فایل اکسل نهایی هر گروه در مسیر زیر قرار می‌گیرد:

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\GLGAM Graph

به‌منظور نگهداری تمام فایل‌های نهایی در یک پوشه، فایل‌های اصلاح شده خروجی دستگاه‌ها (از لحاظ ویرایش اسامی

ایستگاه و...) یعنی dmp و txt. در مسیر زیر کپی می‌شود:

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\Relative Gravity on GLGAM

فایل‌های مربوط به خطوطی که خطاهای رفع نشدنی دارند و باید از لیست مشاهدات حذف شوند با ذکر نوع خطا در داخل پوشه Error در مسیر فوق کپی می‌شود. همچنین در سایت‌لوگ مربوطه کلمه "حذف مشاهدات" و دلیل آن نوشته شود. به‌منظور تفکیک داده‌ها، به فایل‌های مشاهداتی که دو بار مشاهده شده‌اند، شماره تکرار اضافه می‌کنیم، مانند 18191820(2). همچنین در این حالت به فایل اولیه نیز شماره تکرار یک (مانند 18191820(1)) را اضافه می‌کنیم.

اطلاعات مربوط به نتایج هر سری خروجی اکسل اندازه‌گیری شبکه ثقل‌سنجی درجه یک باید به انتهای فایل اکسل کلی مربوط به آن شبکه (Observation Equation_GLGAM) که در مسیر زیر قرار دارد افزوده شود.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on GLGAM\Observations Equations

در فایل Observation Equation_GLGAM برای تمایز مشاهدات از یکدیگر به هر خط، در ستون code یک کد منحصر به فرد باید اختصاص داده شود. همچنین باید توجه نمود مشاهدات تکراری همان کد قبلی خود را بگیرند. اطلاعات مربوط به گروه و تاریخ اندازه‌گیری نیز باید در ستون‌های مربوطه تکمیل شود. نام ستون S.D2 که نشان دهنده وضعیت مشاهدات نسبت به یکدیگر می‌باشد را به SD2 تبدیل می‌کنیم.

در ادامه اطلاعات سایت‌لوگ مشاهدات شامل نام ایستگاه‌ها، شماره سریال دستگاه، تاریخ اندازه‌گیری، نام گروه و سایر توضیحات در فایل اکسل GLGAM Observation که در مسیر زیر قرار دارد وارد می‌شود. به هر از یک از اندازه‌گیری‌ها یک شماره ردیف اختصاص داده می‌شود و روی برگ سایت‌لوگ نیز نوشته می‌شود.

Physical Geodesy Department\Forms\GLGAM Form\Information

در انتهای این مرحله سایت‌لوگ مشاهدات جهت بایگانی مدارک در زونکن نگهداری می‌شود. شماره زونکن مربوطه در فایل اکسل نیز وارد می‌شود.

۱-۴-۱- وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار دیتابیس

در مرحله بعدی به‌منظور تکمیل نقشه خطوط و ایستگاه‌های کار شده، باید خطوط اندازه‌گیری شده بین ایستگاه‌ها در محیط نرم‌افزاری ترسیم شود. برای تجزیه و تحلیل بهتر می‌توان از یک نرم‌افزار دیتابیس نظیر ArcGIS استفاده نمود. پس از اختصاص کدهای مجزا به خطوط در مرحله قبل لازم است که این مشاهدات به همراه کد آن‌ها در نرم‌افزار ترسیم گردد. به این منظور پروژه تعریف شده Map2-line در مسیر زیر را در محیط ArcGIS باز نموده و خطوط جدید را ترسیم می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Map1-line

فایل Measured_Relative_Gravity_Lines به‌منظور ترسیم خطوط در مسیر زیر ایجاد شده است.

Physical Geodesy Department\Physical Geodesy\Shape Files\GLGAM

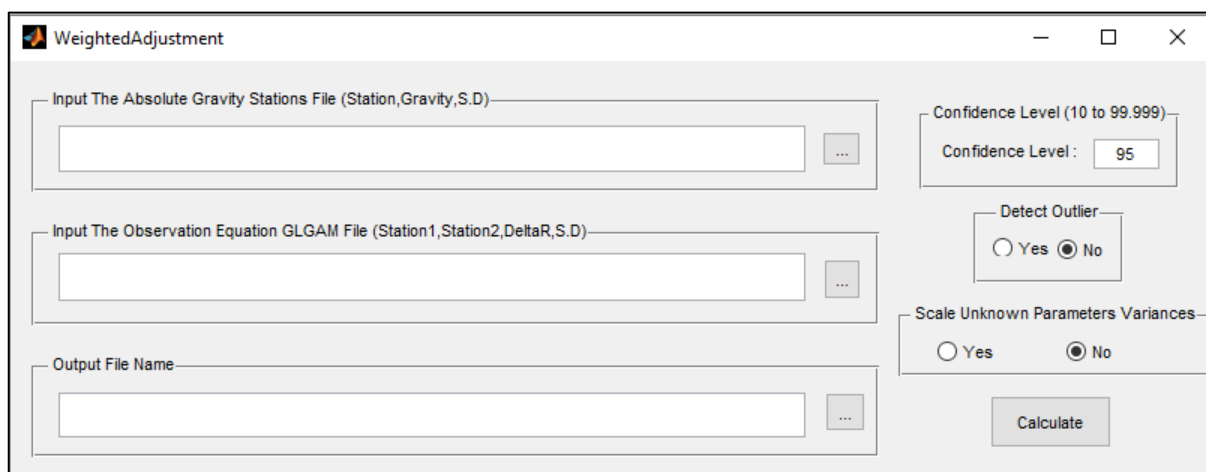
بعد از هر سری اندازه‌گیری، خطوط جدید در این فایل ترسیم می‌شوند و کدهای متناظر خطوط ترسیم شده که در مرحله قبل تعیین کردیم را در اینجا وارد می‌کنیم.

۵-۱- سرشکنی اولیه

مرحله بعدی سرشکنی اولیه نتایج به‌منظور محاسبه مقادیر اولیه شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه قبل از انجام کالیبراسیون می‌باشد. به‌منظور سرشکنی مشاهدات، از روش سرشکنی خطاهای اتفاقی مشاهدات با پارامترهای وزن‌دار به کمک مدل پارامتریک استفاده شده است. در شبکه ثقل‌سنجی مشاهدات همان اختلاف شتاب ثقل بین ایستگاه‌ها هستند و برآورد شتاب ثقل ایستگاه‌های مجهول بعد از سرشکنی مد نظر است. ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر که مقدار اولیه آن‌ها (شتاب ثقل‌های آن‌ها) با دقت بالا معلوم است، به‌عنوان قیود وزن‌دار در نظر گرفته شده‌اند. برای انجام محاسبات سرشکنی، برنامه‌ای تحت عنوان WeightedAdjustment در محیط برنامه‌نویسی matlab تهیه شده است (شکل ۸-۱).

این برنامه از طریق مسیر زیر قابل دسترسی می‌باشد:

Physical Geodesy Department \ Gravity Observations \ Calculation on GLGAM \ Adjustment \
Program\Weighted Adjustment\ \Final3Mat8



شکل ۸-۱- تنظیمات برنامه محاسبات سرشکنی WeightedAdjustment قبل از اعمال ضریب کالیبراسیون

این برنامه از نتایج اندازه‌گیری‌های شتاب ثقل نسبی استفاده می‌کند. در ادامه در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ پردازش ایجاد می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on GLGAM\ Adjustment\ Befor
Calibration

فایل Observation Equation_GLGAM را از پوشه زیر داخل پوشه ساخته شده کپی می‌کنیم. فایل مقادیر شتاب‌ثقل مطلق ایستگاه‌های شبکه درجه صفر absolute gravity stations شامل نام ایستگاه‌ها، مقادیر شتاب‌ثقل مطلق و دقت آن‌ها می‌باشد. این فایل جهت انجام سرشکنی مورد نیاز می‌باشد و در مسیر پوشه زیر قرار گرفته است. آن را در پوشه ساخته شده فوق کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on GLGAM\Observations Equations

بعد از اجرای برنامه سرشکنی از مسیر معرفی شده، تنظیمات پیش‌فرض را مطابق شکل فوق تعریف می‌کنیم. فایل مقادیر شتاب‌ثقل مطلق را به‌عنوان ورودی absolute gravity stations file و فایل نتایج شتاب‌ثقل نسبی را به‌عنوان observation equation file معرفی می‌کنیم.

به همین منظور نام ستون‌هایی که برای اجرای برنامه لازم است در داخل پرانتز جلوی هر قسمت ورودی فایل نوشته شده است. با توجه به اینکه برنامه برای انجام محاسبات، نام ستون مدنظر را در فایل اکسل ورودی جستجو می‌کند، باید نام ستون‌ها دقیقاً مطابق ورودی خواسته شده باشد. برای فایل اکسل absolute gravity stations سه ستون با نام‌های Station, Gravity, S.D مورد نیاز می‌باشد. همچنین فایل اکسل observation equation ستون‌هایی با اسامی Station1, Station2, DeltaR, S.D باید داشته باشد.

مسیر فایل‌های خروجی به صورت پیش‌فرض در پوشه فایل‌های ورودی تعریف می‌شود. خروجی این برنامه شامل چند فایل می‌باشد که در بخش سرشکنی نهایی توضیح داده می‌شود. یکی از فایل‌های اکسل شامل نتایج خروجی سرشکنی می‌باشد. نام ایستگاه‌ها و مقادیر شتاب‌ثقل محاسبه شده ایستگاه‌های شبکه درجه یک، جهت استفاده در مرحله بعد باید در یک فایل اکسل ذخیره شود. با توجه به اینکه در مرحله کالیبراسیون، یک فایل واحد، مربوط به نام همه ایستگاه‌ها و مقادیر شتاب‌ثقل آن‌ها را نیاز داریم، فایل اکسل جدیدی که شامل فایل مقادیر شتاب‌ثقل مطلق ایستگاه‌های شبکه درجه صفر و فایل خروجی سرشکنی یعنی مقادیر شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه یک می‌باشد، ایجاد می‌کنیم. این فایل اکسل که شامل نام ایستگاه‌های شبکه درجه صفر و یک، مقدار شتاب‌ثقل و دقت آن‌ها می‌باشد را با نام Gravity01 ذخیره می‌کنیم.

۱-۶- محاسبه ضریب کالیبراسیون

مرحله بعدی محاسبه ضریب کالیبراسیون می‌باشد. یکی از تصحیحات مهم در اندازه‌گیری‌های شتاب‌ثقل، تصحیح کالیبراسیون می‌باشد. برای تبدیل مقادیر اختلاف شتاب‌ثقل اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های ثقل‌سنج نسبی به واحد میلی‌گال، لازم است دستگاه‌های اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نسبی بر روی خط ملی کالیبراسیون ثقل‌سنجی کالیبره شوند و سپس ضرایب کالیبراسیون هر دستگاه محاسبه شوند. خط کالیبراسیون ثقل‌سنجی به نحوی ایجاد می‌گردد که عمده

تغییرات شتاب ثقل در سطح کشور را پوشش دهد. خط کالیبراسیون ثقل سنجی ایران هم‌اکنون تغییرات شتاب ثقل تا 1430 میلی‌گال را مورد پوشش قرار می‌دهد. حداکثر تغییرات شتاب ثقل سطحی در کشور ایران به 2000 میلی‌گال می‌رسد.

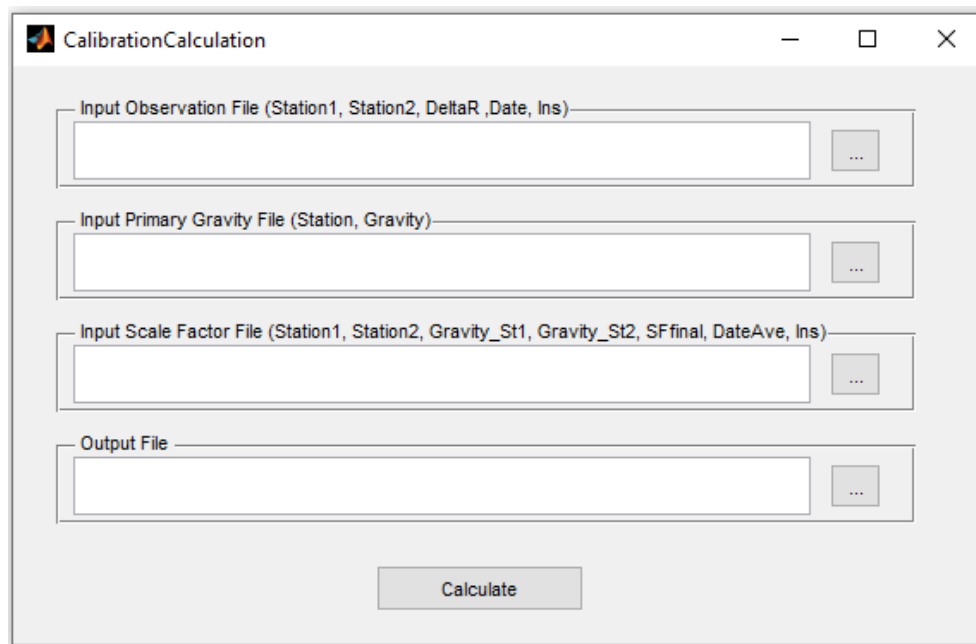
هدف از محاسبه ضریب کالیبراسیون، اعمال آن‌ها به مشاهدات اختلاف شتاب ثقل‌های نسبی اندازه‌گیری شده بین هر دو ایستگاه می‌باشد. با مقایسه اختلاف شتاب ثقل اندازه‌گیری شده توسط ثقل سنج‌های نسبی با اختلاف شتاب ثقل مطلق ایستگاه‌ها ضرایب کالیبراسیون برای دستگاه‌های مختلف و در بازه‌های زمانی متفاوت محاسبه می‌شود. برای اعمال ضریب کالیبراسیون به هر یک از مشاهدات اختلاف شتاب ثقل نسبی اندازه‌گیری شده بین دو ایستگاه به صورت زیر عمل می‌شود:

برای محاسبه ضریب کالیبراسیون هر یک از مشاهدات اختلاف شتاب ثقل با فرض اینکه مشاهده بین دو ایستگاه A و B صورت گرفته باشد، ابتدا با توجه به مقدار شتاب ثقل اولیه هر دو ایستگاه بازه مناسب خط کالیبراسیون تعیین می‌شود. اگر هر دو ایستگاه از نظر مقدار شتاب ثقل در یک بازه از خط کالیبراسیون قرار گیرد در این حالت با توجه به شماره سریال دستگاه و تاریخ اندازه‌گیری خط AB، ضریب کالیبراسیون مربوط به آن دستگاه و آن بازه که کمترین فاصله زمانی را به تاریخ اندازه‌گیری خط AB دارد، به عنوان ضریب کالیبراسیون در نظر گرفته می‌شود.

در صورتی که دو ایستگاه از نظر مقدار شتاب ثقل اولیه در دو بازه مختلف از خط کالیبراسیون قرار گرفته باشند در این حالت، با توجه به نوع دستگاه و تاریخ اندازه‌گیری خط AB، ابتدا بازه‌هایی از خط کالیبراسیون که خط مورد نظر را شامل می‌شود، تعیین می‌گردد و اختلاف شتاب ثقل دو ایستگاه با توجه به مقادیر اولیه شتاب ثقل محاسبه می‌شود. سپس با توجه به نسبت اختلاف شتاب ثقل دو ایستگاه به اختلاف شتاب ثقل بازه‌هایی از خط کالیبراسیون که خط AB را شامل می‌شود، از طریق میانگین وزن دار، مقدار تصحیح کالیبراسیون برای خط AB محاسبه می‌شود.

برای انجام محاسبات و تعیین ضریب کالیبراسیون بر روی مشاهدات اختلاف شتاب ثقل، برنامه‌ای در محیط برنامه‌نویسی matlab تحت عنوان CalibrationCalculation (شکل (۱-۹)) تهیه شده است. این برنامه از طریق مسیر زیر قابل دسترسی می‌باشد.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calibration Data\Calibration program



شکل ۱-۹- برنامه محاسبات کالیبراسیون CalibrationCalculation

برنامه محاسبات کالیبراسیون از نتایج اندازه‌گیری‌های شتاب‌ثقل نسبی، نتایج اولیه سرشکنی (مقادیر شتاب‌ثقل) و نتایج کالیبراسیون دستگاه‌ها استفاده می‌کند. در این مرحله در مسیر فوق پوشه‌ای به تاریخ پردازش ایجاد می‌کنیم و فایل Observation Equation_GLGAM و فایل خروجی مقادیر شتاب‌ثقل Gravity01 (شامل همه ایستگاه‌های شبکه درجه صفر و شبکه درجه یک) را داخل پوشه مربوطه کپی می‌کنیم.

یکی دیگر از فایل‌های مورد نیاز در اجرای برنامه کالیبراسیون فایل مربوط به ضرایب کالیبراسیون می‌باشد که با نام Calculate SF2 gravity modified در مسیر برنامه موجود می‌باشد. این فایل اکسل شامل نام و مقادیر شتاب‌ثقل بازه‌های ایستگاه‌های کالیبراسیون، تاریخ، شماره سریال گراویمتر، ضریب کالیبراسیون محاسبه شده SF final و ضریب کالیبراسیون میانگین Average_SF می‌باشد.

بعد از اجرای برنامه کالیبراسیون فایل نتایج شتاب‌ثقل نسبی را به‌عنوان observation file، فایل مقادیر اولیه شتاب‌ثقل را به‌عنوان ورودی primary gravity file و فایل ضرایب کالیبراسیون را به‌عنوان scale factor file معرفی می‌کنیم. نام ستون‌های مورد نظر هر فایل ورودی برای اجرای صحیح برنامه در داخل پرانتز نوشته شده است. فایل اکسل observation ستون‌های Station1, Station2, DeltaR, Date, Ins، فایل اکسل primary gravity ستون‌های Station, Gravity و فایل اکسل scale factor ستون‌های Station1, Station2, Gravity_St1, Gravity_St2, SF final, DateAve, Ins را باید داشته باشند.

در صورتی که بخواهیم از مقادیر ضریب کالیبراسیون میانگین به جای مقادیر واقعی ضریب کالیبراسیون موجود در فایل ضرایب کالیبراسیون Calculate SF2 gravity modified استفاده کنیم، باید این فایل را ویرایش کنیم، به صورتی که ستون SF final را حذف کنیم و نام ستون Average_SF را به SF final تغییر دهیم. برای مقایسه دو ضریب کالیبراسیون محاسبه شده SF final و میانگین Average_SF باید محاسبات با هر دو روش انجام بگیرد.

مسیر فایل خروجی به صورت پیش فرض در پوشه فایل های ورودی تعریف می شود. خروجی این برنامه دو فایل اکسل می باشد. فایل اول مشابه فایل ورودی اولیه Observation Equation_GLGAM می باشد که پسوند sf به نام فایل خروجی آن اضافه شده است (Observation Equation_GLGAM_sf) و ستون های مقدار ضریب کالیبراسیون sf، نام ایستگاه اول و دوم بازه خط کالیبراسیون Station1_sf, Station2_sf و تاریخ کالیبراسیون دستگاه Date_ave_sf به آن افزوده شده است.

خروجی ستون sf باید کنترل شود در صورتی که مقدار آن 8888 باشد یعنی ضریب کالیبراسیون به آن اعمال نشده است و باید علت عدم محاسبه ضریب کالیبراسیون بررسی و مشکل آن رفع شود. محاسبه نشدن ضریب کالیبراسیون ممکن است به دلیل نبودن مقدار شتاب ثقل اولیه ایستگاه، اشکال در فرمت تاریخ انجام مشاهدات و ... باشد. تاریخ کالیبراسیون دستگاه با تاریخ انجام مشاهدات کنترل شود که نزدیک ترین بازه برای کالیبراسیون استفاده شده باشد. فایل دوم خروجی برنامه، مشابه فایل ورودی ضرایب کالیبراسیون است و ستون مربوط به بازه های استفاده شده در کالیبره کردن مشاهدات و تعداد مرتبه استفاده از هر بازه با عنوان Used_sf به آن اضافه شده است.

۷-۱- اعمال تصحیح کالیبراسیون

برای اعمال تصحیح کالیبراسیون به هر یک از مشاهدات، باید مقدار ضریب کالیبراسیون را در اختلاف شتاب ثقل آن ها ضرب کرد. به همین منظور در فایل اکسل Observation Equation_GLGAM_sf ستون های DeltaR و sf را در یکدیگر ضرب می کنیم. با توجه به اینکه در مرحله سرشکنی بعدی از مقادیر ستون تعریف شده DeltaR به عنوان اختلاف شتاب ثقل استفاده می کند باید در این فایل نام ستونی که ضرب مقادیر ستون های DeltaR و sf است را DeltaR*sf بگذاریم و نام ستون DeltaR را به DR تغییر دهیم. بعد از اعمال تغییرات، فایل نهایی را در مسیر زیر کپی می کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on GLGAM\Observations Equations

محاسبات کالیبراسیون باید یک مرتبه دیگر با ضریب کالیبراسیون میانگین Average_SF تکرار شود. در فایل خروجی ضریب کالیبراسیون میانگین باید در انتهای نام فایل sfave نوشته شود (Observation Equation_GLGAM_sfave) تا از فایل خروجی قبلی تفکیک شود. در این فایل نیز ستون های DeltaR و sf را در یکدیگر ضرب می کنیم، نام ستونی که

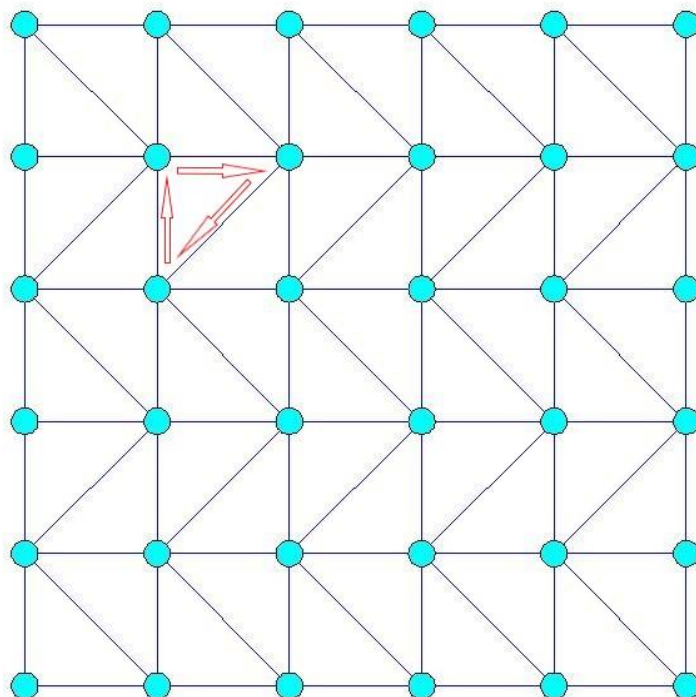
ضرب مقادیر DeltaR و sf است را DeltaR*sfave می‌گذاریم و نام ستون DeltaR را به DR تغییر دهیم. بعد از اعمال تغییرات فایل نهایی را در مسیر فوق کپی می‌کنیم.

بعد از انجام محاسبات با هر دو ضریب کالیبراسیون لازم است خروجی هر دو فایل را در یک فایل یکپارچه کنیم. از فایل اکسل Observation Equation_GLGAM_sf کپی با نام Observation Equation_GLGAM_sf_afave تهیه می‌کنیم و ستون‌های sfave و DeltaR*sfave را هم از فایل اکسل Observation Equation_GLGAM_sfave در اینجا کپی می‌کنیم.

۸-۱- محاسبه خطای بست اندازه‌گیری‌ها

بعد از اعمال تصحیح کالیبراسیون، در مرحله بعد باید خطای بست چندضلعی‌ها تعیین شود. محاسبه خطای بست چندضلعی‌ها (لوپ‌ها) جهت کنترل و بررسی اندازه‌گیری‌ها به منظور کشف خطا می‌باشد. در این مرحله خطای بست به دو صورت، قبل و بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون محاسبه می‌شود و نتایج این دو برای بررسی اثر تصحیح کالیبراسیون مقایسه می‌شود. مقایسه نتایج خطای بست به این صورت میزان تأثیر تصحیح کالیبراسیون در اندازه‌گیری‌ها را نشان می‌دهد که این تأثیر باید در جهت بهبود مقادیر خطای بست باشد، در غیر این صورت باید علت آن بررسی گردد.

مطابق استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی، از هر ایستگاه شبکه درجه یک به ایستگاه‌های مجاور تعداد ۶ اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نسبی انجام گرفته است؛ بنابراین لوپ‌های بسته که عمدتاً مثلثی هستند بین خطوط اندازه‌گیری ایستگاه‌ها ایجاد می‌شود. به منظور بررسی صحت اختلاف شتاب‌ثقل نسبی اندازه‌گیری شده در یک خط نسبت به خطوط مجاور، خطای بست مثلث‌های حاصل باید محاسبه شود. خطای بست n ضلعی‌های حاصل از خطوط اندازه‌گیری شده نباید بیشتر از $3 \times 10 \times \sqrt{n}$ شود، بنابراین با توجه به اینکه لوپ‌ها در اینجا اکثراً سه ضلعی و مثلثی هستند خطای بست آن‌ها نباید بیشتر از $3 \times 10 \times \sqrt{3} \approx 52$ میکروگال باشد. در شکل (۱-۱۰) خطوط اندازه‌گیری شده بین ایستگاه‌ها و لوپ خطای بست نشان داده شده است.



شکل ۱-۱-۱۰- فلش‌های قرمز لوپ مثلثی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه یک

پس از ترسیم خطوط در محیط نرم‌افزار دیتابیس ArcGIS در مراحل قبلی، در این مرحله در ابتدا لازم است لوپ‌های مثلثی در همین محیط دیتابیزی تشکیل شود. به این منظور ابتدا در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ محاسبات ایجاد می‌کنیم. فایل اکسل Observation Equation_GLGAM_sf_sfave را در این پوشه کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on GLGAM\Miscuser

فایل Gravity Loop Misclosure به‌منظور ترسیم لوپ‌ها در مسیر زیر ایجاد شده است.

Physical Geodesy Department\Physical Geodesy\Shape Files\GLGAM

بعد از هر سری اندازه‌گیری، لوپ‌های بین خطوط در این فایل ترسیم می‌شوند و به‌منظور تفکیک لوپ‌ها از یکدیگر کد مجزایی به هر یک اختصاص داده می‌شود. در مرحله بعد باید مقادیر شتاب‌ثقل نسبی هر از یک از خطوط لوپ‌ها به آن‌ها متصل شود تا بتوان مقدار خطای بست را محاسبه نمود. از محیط نرم‌افزاری که برای تحلیل و نظارت بر داده‌ها استفاده می‌شود نظیر اکسل می‌توان برای ادامه محاسبات بکار گرفت. با استخراج ایستگاه‌ها رأس پلیگون‌های خطای بست و ارتباط آن با ایستگاه‌های خطوط اندازه‌گیری شده می‌توان مقادیر اختلاف شتاب‌ثقل هر خط را به پلیگون مربوطه متصل کرد. مجموع مقادیر شتاب‌ثقل خطوط هر پلیگون مقدار خطای بست آن را می‌دهد. دقت شود جمع کردن اختلاف شتاب‌ثقل خطوط در هر لوپ به صورت چپ‌گرد یا راست‌گرد باشد.

در فایل اکسل Observation Equation_GLGAM_sf_afave ستون‌های DR، DeltaR*sf و DeltaR*sfave به ترتیب اختلاف شتاب‌ثقل خطوط اندازه‌گیری شده را قبل کالیبراسیون و بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون واقعی SF final و ضریب کالیبراسیون میانگین Average_SF نشان می‌دهد. خطای بست لوپ‌ها باید با اختلاف شتاب‌ثقل خطوط اندازه‌گیری شده اولیه و بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون محاسبه شود و نتایج آن با یکدیگر مقایسه شود. از خطای بست مثلثی برای کشف خطاهای بیش از حد استاندارد در اندازه‌گیری‌ها استفاده می‌شود. در صورت مشاهده خطای فاحش در لوپ‌ها، لازم است که خطوط مشاهداتی اشتباه در آن لوپ کشف و حذف گردد و در دستور کار اندازه‌گیری مجدد قرار گیرد.

۹-۱- سرشکنی نهایی

مرحله بعدی سرشکنی نهایی می‌باشد که بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون اندازه‌گیری‌های شتاب‌ثقل نسبی انجام می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد به‌منظور سرشکنی مشاهدات شتاب‌ثقل نسبی شبکه چند منظوره ژئودزی درجه یک، از روش سرشکنی خطاهای اتفاقی مشاهدات با پارامترهای وزن‌دار به کمک مدل پارامتریک استفاده شده است. در اینجا مشاهدات همان اختلاف شتاب‌ثقل بین ایستگاه‌ها هستند که تصحیح مربوط به ضریب کالیبراسیون به آن‌ها اعمال شده است. در نقشه‌برداری به علت وجود خطا در مشاهدات برای رسیدن به برآورد نزدیک به‌واقع و امکان تعیین دقت کمیت‌های مورد نظر تعداد اندازه‌گیری‌ها باید بیشتر از تعداد مجهولات باشد. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد مطابق دستورالعمل، اندازه‌گیری‌های شتاب‌ثقل نسبی بین ایستگاه‌های شبکه درجه یک، از هر ایستگاه به ایستگاه‌های مجاور به تعداد بیش از مجهولات انجام گرفته است.

برآورد مقدار شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه یک با استفاده از مقادیر معلوم شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر (با دقت بالا) محاسبه می‌شود. برای انجام محاسبات سرشکنی، مانند سرشکنی اولیه، برنامه WeightedAdjustment که از طریق مسیر زیر قابل دسترسی می‌باشد استفاده می‌شود.

F: \ Physical Geodesy Department \ Gravity Observations \ Calculation on GLGAM \ Adjustment \ Program\Weighted Adjustment\ \Final3Mat8

شکل (۱۱-۱) تنظیم مقادیر ورودی و پارامترهای برنامه محاسبات سرشکنی بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون را نشان

می‌دهد.

شکل ۱-۱- تنظیمات برنامه محاسبات سرشکنی WeightedAdjustment بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون

ارزیابی میزان اختلاف فاکتور واریانس ثانویه از مقدار پیش فرض اولیه آن در برنامه به عنوان آزمون بعد از سرشکنی انجام می گیرد. در صورت انتخاب گزینه Detect Outlier در برنامه WeightedAdjustment وجود یا عدم وجود مشاهدات اشتباه در اندازه گیری ها مورد بررسی و آزمون قرار می گیرد. هدف از آزمون یافتن مشاهدات اشتباه، اطمینان از عدم حضور اندازه گیری های اشتباه در محاسبات است. در این برنامه از آماره باقیمانده استاندارد شده با سطح اطمینان معرفی شده که در قسمت confidence level تعیین می شود، برای کشف و حذف مشاهدات اشتباه استفاده می شود.

رسیدن به برآوردی واقع بینانه از ماتریس وریانس-کواریانس کمیت های حاصل از سرشکنی، مستلزم اطمینان از کامل بودن مدل ریاضی و یا آلوده نبودن مشاهدات به خطای سیستماتیک و عدم حضور مشاهده اشتباه در اندازه گیری ها است. اختلاف برآورد واریانس فاکتور ثانویه از مقدار اولیه آن را می توان به نامناسب بودن مقیاس ماتریس کوواریانس مشاهدات به عنوان یکی از عوامل موثر نسبت داد. با ضرب ماتریس کوواریانس کمیت های حاصل از سرشکنی در واریانس فاکتور ثانویه، می توان به ماتریس وریانس-کوواریانسی با مقیاس واقع بینانه رسید. گزینه scale unknown parameters variances در برنامه سرشکنی به همین منظور می باشد.

برنامه سرشکنی از نتایج اندازه گیری های شتاب ثقل نسبی بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون استفاده می کند. در ادامه در مسیر زیر پوشه ای به تاریخ پردازش ایجاد می کنیم و فایل های کالیبراسیون Observation Equation_GLGAM-sf و Observation Equation_GLGAM_sfave را داخل پوشه مربوطه کپی می کنیم. همچنین فایل مقادیر شتاب ثقل مطلق (absolute gravity stations) که شامل نام ایستگاه های شبکه درجه صفر، مقادیر شتاب ثقل مطلق و دقت آن ها می باشد را در این پوشه کپی می کنیم.

Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on GLGAM\ Adjustment\ After Calibration

بعد از اجرای برنامه سرشکنی از مسیر معرفی شده، پارامترهای پیش‌فرض را مطابق شکل (۱-۶) تعریف می‌کنیم. فایل مقادیر شتاب‌ثقل مطلق را به‌عنوان ورودی absolute gravity stations file و فایل نتایج شتاب‌ثقل نسبی بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون را به‌عنوان observation equation file معرفی می‌کنیم. نام ستون‌های مورد نظر هر فایل ورودی برای اجرای صحیح برنامه در داخل پرانتز نوشته شده است. فایل اکسل absolute gravity stations file سه ستون با نام‌های Station1, Station2, DeltaR, observation equation file ستون‌هایی با اسامی Station, Gravity, S.D و فایل اکسل S.D باید داشته باشد.

مسیر فایل‌های خروجی به‌صورت پیش‌فرض در پوشه فایل‌های ورودی با پیشوند اسم فایل تعریف شده در قسمت observation equation تعریف می‌شود. خروجی برنامه فایل‌های اکسل شامل نتایج خروجی سرشکنی و همچنین یک فایل متنی txt می‌باشد. فایل متنی با نام Observation Equation_GLGAM_sf_Info اطلاعات زیر را از سرشکنی در اختیار می‌گذارد:

No. of Absolute Gravity Stations: تعداد ایستگاه‌های شتاب‌ثقل مطلق

No. of All Delta Gravity Observations: تعداد مشاهدات شتاب‌ثقل نسبی

No. of Out Observations: تعداد مشاهدات حذف شده

No. of Used Gravity Observations: تعداد مشاهدات استفاده شده

No. of Unknown Gravity Stations: تعداد ایستگاه‌های مجهول

Degree of Freedom: درجه آزادی

Detecting Outlier: گزینه کشف مشاهدات اشتباه فعال است یا خیر

Scaling Unknown Parameters Variance: گزینه اعمال فاکتور واریانس ثانویه به‌دقت نتایج فعال است یا خیر

Residuals critical value: مقدار حد آستانه باقیمانده‌ها

Estimated Variance Factor: مقدار فاکتور واریانس ثانویه

Confidence Level: مقدار سطح اطمینان

Chi-Square Test on the Variance Factor: نتیجه تست فاکتور واریانس ثانویه

بعد از سرشکنی مقدار پارامتر فاکتور واریانس ثانویه و نتیجه تست باید کنترل شود و در صورتی که مقدار آن با مقدار استاندارد اختلاف زیادی داشت باید علت آن بررسی گردد.

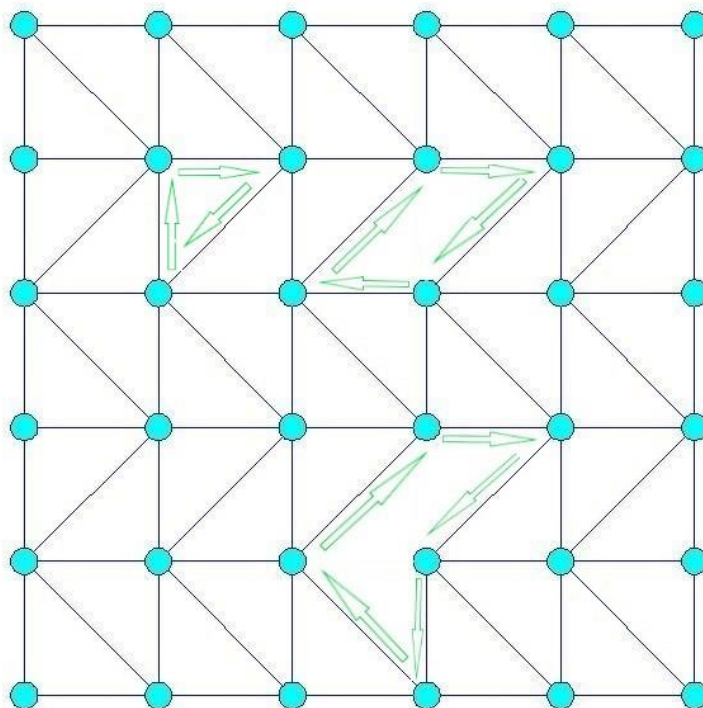
در تست باقیمانده استاندارد برآورد شده در مرحله اول با روش تکرار در کشف مشاهدات اشتباه، مشاهدات مربوط به بزرگ‌ترین باقیمانده استاندارد شده رد شده در تست، از لیست مشاهدات حذف می‌گردند. در مرحله دوم با انجام تکرار در محاسبات، مشاهدات حذف شده به صورت تک تک وارد لیست مشاهدات باقیمانده می‌شوند. در صورتی که ورود این مشاهده باعث رد هیچ باقیمانده استاندارد شده‌ای در تست نگردد این مشاهده صحیح بوده و در لیست مشاهدات باقی می‌ماند. در غیر این صورت اشتباه و outlier بوده و قطعاً می‌بایست کنار گذاشته شود.

خروجی فایل‌های اکسل برنامه مطابق با دو مرحله فوق است. دو فایل با پسوند Outlier1, Outlier2 خروجی برنامه سرشکنی هستند که در این فایل‌ها کد خطوط مشاهداتی حذف شده در مرحله اول و دوم (نهایی) آمده است. نتایج سرشکنی در دو مرحله اول و دوم با پسوند Output1, Output2 می‌باشد. اطلاعات مربوط به مشاهدات نهایی، باقی‌مانده‌ها، نام ایستگاه‌ها، مقدار شتاب ثقل محاسبه شده و دقت آن‌ها و ... در این فایل‌های خروجی آمده است. از فایل خروجی دوم نام ایستگاه‌های شبکه درجه یک، مقدار شتاب ثقل و دقت آن‌ها را جدا کرده و در یک فایل جداگانه اکسل با نام Gravity1 ذخیره می‌کنیم.

برای بررسی دو ضریب کالیبراسیون محاسبه شده SF final و میانگین Average_SF باید سرشکنی با استفاده از هر دو نتیجه کالیبراسیون انجام و نتایج با یکدیگر مقایسه شوند. از نتیجه تست فاکتور واریانس ثانویه و تعداد مشاهدات حذف شده می‌توان به عنوان روشی برای مقایسه خروجی‌ها استفاده نمود.

۱-۱۰- محاسبه خطای بست نهایی بعد از حذف مشاهدات اشتباه

تعیین خطای بست چندضلعی‌ها بعد از سرشکنی به منظور بررسی و کنترل نتایج سرشکنی انجام می‌شود. همان‌طور که اشاره شد در مرحله سرشکنی تعدادی از مشاهدات با خطای بیشتر از استاندارد کشف و حذف می‌شوند. در این مرحله باید خطای بست چندضلعی‌ها متشکل از مشاهدات باقی‌مانده محاسبه شود. در اینجا نیز خطای بست مشاهدات باقی‌مانده قبل و بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون محاسبه می‌شود و نتایج این دو برای بررسی سرشکنی و اثر تصحیح کالیبراسیون مقایسه می‌شود. نتیجه سرشکنی و تصحیح کالیبراسیون در اندازه‌گیری‌ها باید به بهبود مقادیر خطای بست چندضلعی‌ها برسد در غیر این صورت باید علت آن مورد بررسی قرار بگیرد. با توجه به حذف تعدادی از مشاهدات در مرحله سرشکنی، در این مرحله لوپ‌های بسته بین خطوط باقی‌مانده، لزوماً مثلی نیستند. خطای بست n ضلعی‌های حاصل از خطوط اندازه‌گیری شده نباید بیشتر از $3 \times 10 \times \sqrt{n}$ شود. شکل (۱-۱۲) نمونه‌ای از لوپ‌های چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل سنجی درجه یک را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۲- فلش‌های سبز لوپ‌های چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه یک

در این مرحله نیز برای ترسیم لوپ‌های چندضلعی از محیط نرم‌افزار دیتابیس ArcGIS استفاده می‌شود. پوشه Adjustment Result را در مسیر زیر و در پوشه مربوط به تاریخ محاسبات خطای بست اولیه ایجاد می‌کنیم. فایل اکسل Observation Equation_GLGAM_sf_afave را در این پوشه کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on GLGAM\Miscluser

از فایل خروجی سرشکنی، کد مشاهدات اشتباه را استخراج می‌کنیم و از فایل اکسل فوق حذف می‌کنیم. با کمک نرم‌افزار دیتابیس ArcGIS چندضلعی‌های بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در یک فایل ترسیم می‌شود و مقادیر شتاب‌ثقل نسبی هر از یک از خطوط لوپ‌ها به آن‌ها متصل شود تا بتوان مقدار خطای بست را محاسبه نمود. از محیط نرم‌افزاری که برای تحلیل و نظارت بر داده‌ها استفاده می‌شود نظیر اکسل می‌توان برای ادامه محاسبات بکار گرفت. با استخراج ایستگاه‌های رأس پلیگون‌های خطای بست و ارتباط آن با ایستگاه‌های خطوط اندازه‌گیری شده می‌توان مقادیر اختلاف شتاب‌ثقل هر خط را به پلیگون مربوطه متصل کرد. مجموع مقادیر شتاب‌ثقل خطوط هر پلیگون مقدار خطای بست آن را می‌دهد. دقت شود جمع کردن اختلاف شتاب‌ثقل خطوط در هر لوپ به صورت چپ‌گرد یا راست‌گرد باشد.

در فایل اکسل Observation Equation_GLGAM_sf_afave ستون‌های DR، $\Delta R * sf$ و $\Delta R * sfave$ به ترتیب اختلاف شتاب‌ثقل خطوط اندازه‌گیری شده را قبل کالیبراسیون و بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون واقعی SF final و

ضریب کالیبراسیون میانگین Average_SF نشان می‌دهد. خطای بست لوپ‌ها باید با اختلاف شتاب ثقل خطوط اندازه‌گیری شده اولیه و بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون محاسبه شود و نتایج آن با یکدیگر مقایسه شود. در فایل مقایسه نتایج خطای بست باید بازه‌های مربوط به خطای بست لوپ‌ها و تعداد لوپ‌هایی که خطای بست در هر بازه دارند در یک فایل اکسل نمایش داده شود.

فصل ۲

دستورالعمل آرشیو داده‌ها و

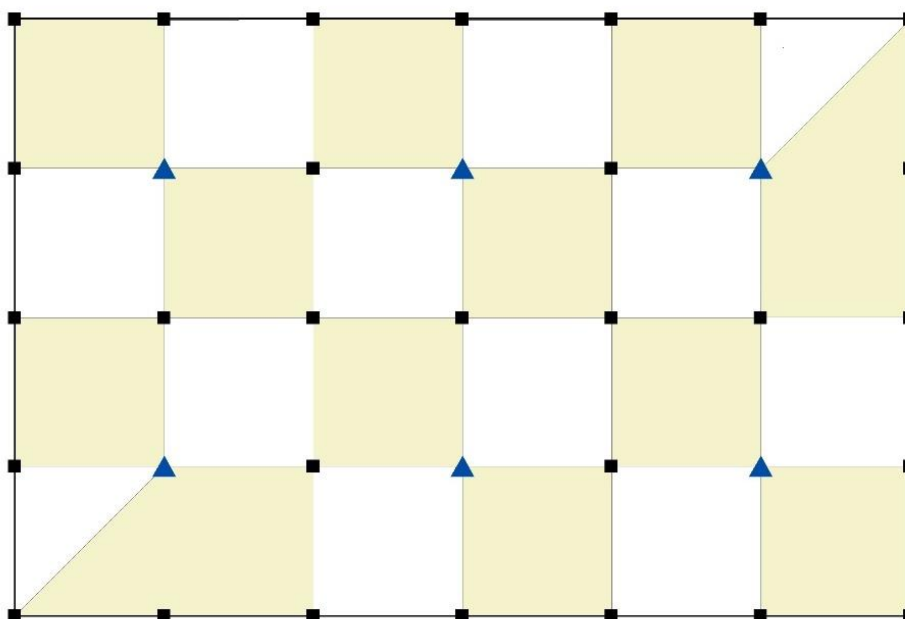
محاسبات شبکه ثقل سنجی درجه دو

۲ - دستورالعمل آرشیو داده‌ها و محاسبات شبکه ثقل‌سنجی درجه دو

شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو ایران GLGAM: Gravity, Leveling, GPS, Astronomy, Magnetic در سال ۱۳۸۵ توسط متخصصین و کارشناسان اداره کل نقشه‌برداری زمینی طراحی گردید. این شبکه دارای تراکم ۱۵ دقیقه کمائی (۲۵-۲۰ کیلومتر) و برای ایران شامل ۱۹۰۹ ایستگاه طراحی شده می‌باشد که به‌طور منظم در سطح ایران پراکنده شده‌اند؛ مانند شبکه درجه یک هدف اصلی در این شبکه، گسترش یکنواخت مشاهدات شتاب‌ثقل در کل کشور است که شامل داده‌های جانبی از قبیل مشاهدات ترازیبی دقیق، تعیین موقعیت GPS و اندازه‌گیری‌های نجومی و مغناطیس‌سنجی نیز خواهد بود. به‌منظور ماندگاری بیشتر و افزایش دقت مشاهدات، ایستگاه‌های شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو نیز مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی، به‌طور عمده بر روی سنگ‌های ریشه‌دار موجود در داخل طبیعت احداث شدند.

استراتژی اندازه‌گیری در شبکه ثقل‌سنجی درجه دو، به‌صورت اندازه‌گیری‌های جداگانه در هر بلوک ۱:۲۵۰۰۰۰ است. مشاهدات به‌صورت شطرنجی در لوپ‌های چهارضلعی که شامل سه ایستگاه شبکه ثقل‌سنجی درجه دو و یک ایستگاه شبکه ثقل‌سنجی درجه یک طراحی شده است، می‌باشد. روش کار به این صورت است که هر ایستگاه در دو لوپ مختلف مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. با توجه به این ساختار اندازه‌گیری، دو ایستگاه از مرز بلوک‌ها پوشش داده نمی‌شود، برای رفع این مسئله دو لوپ گوشه‌ای به‌صورت پنج‌ضلعی قرائت می‌شوند. در مناطق مرزی باید کلیه خطوط مرزی مورد اندازه‌گیری جداگانه قرار گیرند. ایستگاه‌های مشترک بین دو بلوک مجاور در اندازه‌گیری‌های مربوط به هر بلوک مجدداً مورد اندازه‌گیری قرار گیرند. در صورتی که در هر بلوک ایستگاه شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر موجود باشد، باید در نزدیک‌ترین لوپ‌های مجاور اندازه‌گیری شود.

شکل (۱-۲) روش اندازه‌گیری شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه دو را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱- اندازه‌گیری شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه دو در لوپ‌های کرم رنگ (نقاط مربع) نسبت به ایستگاه‌های شبکه‌های ثقل‌سنجی درجه یک (نقاط مثلثی)

با توجه به تعداد بالای فایل‌ها، داده‌ها و سایت‌لوگ‌های اندازه‌گیری به‌منظور حفظ همه اطلاعات و دسترسی سریع به آن‌ها لازم است داده‌ها مطابق دستورالعمل تهیه شده آرشیو شده و محاسبات لازم نیز مطابق با مراحل زیر انجام بگیرد.

۲-۱- آماده‌سازی داده‌ها

دریافت فایل‌ها، کنترل و آرشیو آن‌ها مشابه با مراحل دستورالعمل آماده‌سازی در شبکه درجه یک انجام می‌شود. پوشه محل ذخیره‌سازی داده‌ها در مسیر زیر می‌باشد.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\Grid 5m 15m Primary Data\ \Group Name \ Date \raw

نام فایل‌های اندازه‌گیری باید مطابق استاندارد اصلاح گردد. نام فایل مشاهداتی لوپ‌های اندازه‌گیری شبکه ثقل‌سنجی درجه دو به‌صورت هشت رقمی باید باشد. دو رقم اول مربوط به شماره سریال دستگاه ثقل‌سنج است که مطابق با جدول (۲-۱) می‌باشد. شش رقم بعدی مربوط به تاریخ اندازه‌گیری به سال میلادی می‌باشد، مثلاً ۸۳۰۸۰۷۱۵ که ۸۳ بیانگر نام دستگاه و ۸۰۷۱۵ تاریخ اندازه‌گیری دستگاه به سال میلادی است. اگر در یک روز بیش از یک اندازه‌گیری مربوط به شبکه ثقل‌سنجی انجام شود، به انتهای فایل مشاهدات، شماره تعداد دفعات اندازه‌گیری اضافه گردد. به‌عنوان مثال برای اندازه‌گیری دوم که در تاریخ ۲۰۱۰۰۷۱۵ با دستگاه ۶۰۱۳۳۷ انجام شده است نام فایل به‌صورت ۶۰۱۰۰۷۱۵۲ می‌باشد.

نام دستگاه در فایل مشاهداتی	مدل دستگاه	شماره سریال دستگاه ثقل سنج
83	دستگاه ثقل سنج CG-5 با قابلیت ثبت حروف	40900083
84	دستگاه ثقل سنج CG-5 با قابلیت ثبت حروف	40900084
87	دستگاه ثقل سنج CG-5 با قابلیت ثبت حروف	40900087
45	دستگاه ثقل سنج CG-3M بدون قابلیت ثبت حروف	4505
20	دستگاه ثقل سنج CG-3M بدون قابلیت ثبت حروف	202517
60	دستگاه ثقل سنج CG-3M بدون قابلیت ثبت حروف	601337

جدول ۱-۲- نحوه استفاده از شماره سریال دستگاه در نام گذاری

دقت شود در زمان تطابق سایت لوگ و فایل ها، به منظور یکپارچه سازی، اسامی ایستگاه های شبکه درجه یک باید پیشوند GLGAM داشته باشند. برای نام گذاری ایستگاه های شبکه ثقل سنجی درجه صفر از کدهای متناظر ذکر شده در جدول (۱-۱) استفاده شود.

۲-۲- محاسبات شتاب ثقل نسبی

این مرحله مشابه با محاسبات شبکه درجه یک انجام می گیرد. فقط باید مسیر فایل های ورودی از اطلاعاتی که در مرحله قبل ذخیره سازی گردید انتخاب شود.

۳-۲- بایگانی داده ها

پس از انجام محاسبات و اصلاحات، گراف ها و فایل اکسل نهایی هر گروه در مسیر زیر قرار می گیرد:

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\Grid 5m 15m Graph\Grid 15m

فایل های اصلاح شده خروجی دستگاه ها (از لحاظ ویرایش اسامی ایستگاه و ...) یعنی dmp و یا txt، در مسیر زیر کپی می شود:

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\Relative Gravity on Grid 5m 15m\Grid 15m

فایل های مربوط به لوپ هایی که از لیست مشاهدات حذف شدند با ذکر نوع خطا در داخل پوشه Error در مسیر فوق کپی می شود.

اطلاعات مربوط به نتایج اکسل اندازه گیری های شبکه ثقل سنجی درجه دو باید به انتهای فایل اکسل کلی مربوط به آن شبکه (Observations Equations on Grid 15m) که در مسیر زیر قرار دارد افزوده شود.

Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on Grid 5m 15m\ Observations Equations

در فایل Observations Equations on Grid 15m برای تمایز لوپ‌ها از یکدیگر به هر یک، در ستون code یک کد منحصر به فرد باید اختصاص داده شود. اطلاعات مربوط به گروه و تاریخ اندازه‌گیری نیز باید در ستون‌های مربوطه تکمیل شود. نام ستون S.D2 که نشان دهنده وضعیت مشاهدات نسبت به یکدیگر می‌باشد را به SD2 تبدیل می‌کنیم.

با توجه به اینکه نام ایستگاه‌های شبکه درجه دو عموماً از شش رقم عدد تشکیل شده است به‌منظور انجام مراحل بعدی محاسبات باید در فایل اکسل خروجی نوع فرمت نام ایستگاه‌ها را به text تبدیل کنیم. به همین منظور پس از انتخاب نوع فرمت text برای ستون‌های مربوطه، اطلاعات آن ستون را کپی و در نرم‌افزار ویرایشگری نظیر Notepad++ پیست کرده و دوباره از ادیتور در همان فایل اصلی اکسل paste می‌شود.

مانند مرحله بایگانی سایت لوگ‌ها و اطلاعات در شبکه درجه یک، در اینجا نیز آرشیو انجام می‌گیرد. نام فایل اکسل ذخیره‌سازی اطلاعات GLGAM Observation for 15M می‌باشد که در مسیر بایگانی قبلی می‌باشد.

۲-۴- وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار دیتابیس

به‌منظور تکمیل نقشه لوپ‌ها و ایستگاه‌های کار شده، چندضلعی‌های اندازه‌گیری شده بین ایستگاه‌ها به همراه کد اختصاصی آن‌ها در محیط نرم‌افزاری ترسیم می‌شود. در اینجا نیز از نرم‌افزار دیتابیس نظیر ArcGIS استفاده می‌کنیم. پروژه تعریف شده Map2-line در مسیر قبلی را در محیط ArcGIS باز نموده و لوپ‌های جدید را ترسیم می‌کنیم. فایل measured_relative_gravity_loop به‌منظور ترسیم لوپ‌ها در مسیر زیر ایجاد شده است.

Physical Geodesy Department\Physical Geodesy\Shape Files\Grid_5m-15m

۲-۵- سرشکنی اولیه

این مرحله مشابه با محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌گیرد. در مسیر زیر پوشه‌ای را به تاریخ انجام پردازش ایجاد می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on Grid 5m 15m\Adjustment\
Befor Calibration

فایل Observations Equations on Grid 15m را در پوشه ساخته شده کپی می‌کنیم. فایل شتاب‌ثقل مطلق ایستگاه‌های شبکه درجه صفر absolute gravity stations و شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه یک Gravity1 که شامل نام ایستگاه‌ها، مقادیر شتاب‌ثقل و دقت آن‌ها می‌باشد را از مسیرهایی که قبلاً اعلام شد کپی می‌کنیم و در یک فایل به نام Gravity01 یکپارچه می‌کنیم و در پوشه مربوطه کپی می‌کنیم.

برنامه را مطابق با روش ارائه شده در محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌دهیم. در انتها فایل اکسل جدیدی که شامل فایل مقادیر شتاب ثقل مطلق ایستگاه‌های شبکه درجه صفر و یک Gravity01 و فایل خروجی سرشکنی یعنی مقادیر شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه دو می‌باشد، ایجاد می‌کنیم و با نام Gravity012 ذخیره می‌کنیم. به منظور انجام مراحل بعدی محاسبات، باید در فایل اکسل Gravity012 نوع فرمت نام ایستگاه‌ها را با روشی که پیش‌تر توضیح داده شده به text تبدیل کنیم.

۲-۶- محاسبه ضریب کالیبراسیون

در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ پردازش ایجاد می‌کنیم و فایل Observations Equations on Grid 15m و فایل خروجی مقادیر شتاب ثقل Gravity012 (شامل همه ایستگاه‌های شبکه درجه صفر، یک و دو) را داخل پوشه مربوطه کپی می‌کنیم.
Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calibration Data\Calibration program
محاسبه برنامه کالیبراسیون مشابه با شبکه درجه یک انجام می‌گیرد.

۲-۷- اعمال تصحیح کالیبراسیون

بعد از انجام محاسبات با هر دو ضریب کالیبراسیون محاسبه شده SF final و میانگین Average_SF مشابه روش بکار گرفته شده در شبکه درجه یک فایل‌های خروجی اکسل Observations Equations on Grid 15m_sf و Observations Equations on Grid 15m_sf_sfave و Equations on Grid 15m_sfave را اصلاح می‌کنیم و در مسیر زیر کپی می‌کنیم.

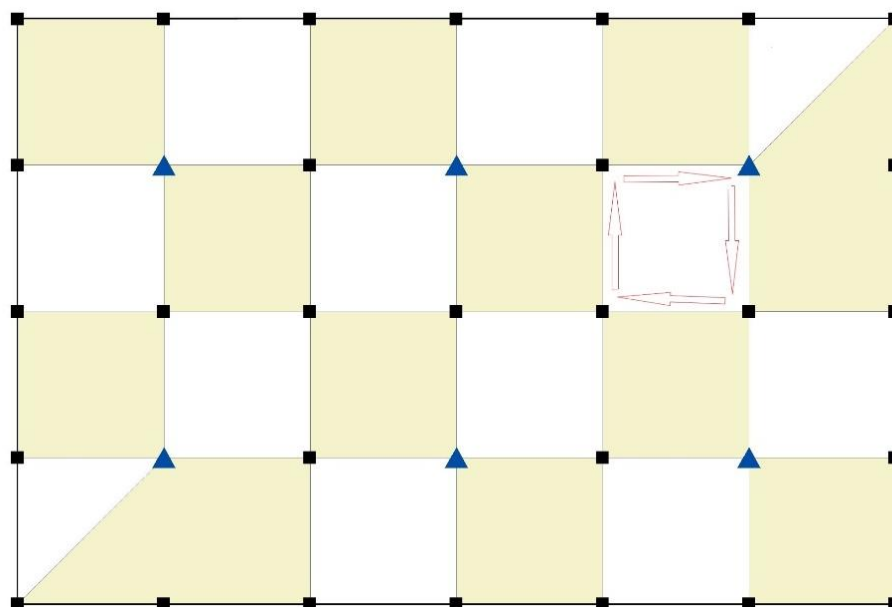
Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on Grid 5m 15m\ Observations Equations

به منظور انجام مراحل بعدی محاسبات باید نوع فرمت نام ایستگاه‌ها در فایل‌های اکسل فوق را به text تبدیل کنیم.

۲-۸- محاسبه خطای بست اندازه‌گیری‌ها

در این مرحله باید خطای بست چندضلعی‌ها تعیین شود. مطابق استاندارد و دستورالعمل ثقل سنجی، اندازه‌گیری‌های شتاب ثقل به صورت شطرنجی با لوپ‌های چهارضلعی که شامل سه ایستگاه شبکه ثقل سنجی درجه دو و یک ایستگاه شبکه ثقل سنجی درجه یک است، طراحی شده است؛ بنابراین لوپ‌های بسته که عمدتاً چهارضلعی هستند بین اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌ها ایجاد می‌شود. همان‌طور که گفته شد خطای بست n ضلعی‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها نباید بیشتر از

شکل (۲-۲) نمونه‌ای از لوپ چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه دو را $3 \times 10 \times \sqrt{n}$ نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۲- فلش‌های قرمز لوپ چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه دو

در این مرحله باید لوپ‌های چندضلعی در محیط دیتابیزی تشکیل شود. ابتدا در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ محاسبات ایجاد می‌کنیم. فایل اکسل Observations Equations on Grid 15m_sf_sfave را در این پوشه کپی می‌کنیم.
Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on Grid 5m 15m\Misclosure
فایل Misclosure به‌منظور ترسیم لوپ‌ها در همین مسیر ایجاد شده است. بعد از هر سری اندازه‌گیری، چندضلعی‌های بین لوپ‌های اندازه‌گیری شده در این فایل ترسیم می‌شوند و به‌منظور تفکیک لوپ‌ها از یکدیگر کد مجزایی به هر یک اختصاص داده می‌شود. بقیه مراحل این بخش مانند محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌گیرد.

۲-۹- سرشکنی نهایی

محاسبه مقدار شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه دو با استفاده از مقادیر معلوم شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر و یک انجام می‌شود. در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ پردازش ایجاد می‌کنیم و فایل‌های Observations Equations on Grid 15m_sf و Observations Equations on Grid 15m_sfave را داخل پوشه مربوطه

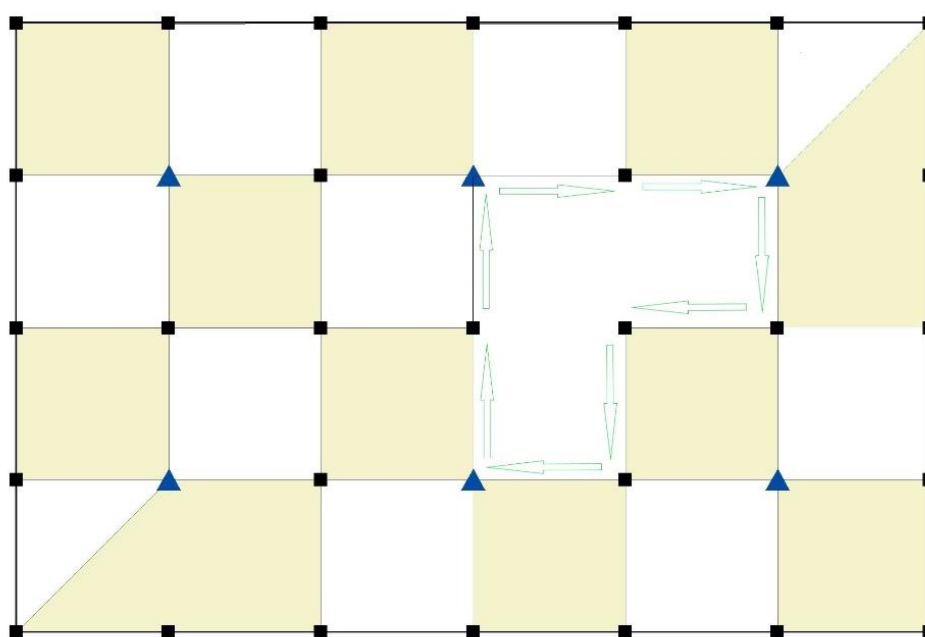
کپی می‌کنیم. همچنین فایل شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه صفر و یک Gravity01 که شامل نام ایستگاه‌ها، مقادیر شتاب‌ثقل و دقت آن‌ها می‌باشد را در این مسیر کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on Grid 5m 15m\ Adjustment\ After Calibration

محاسبات را مانند شبکه درجه یک ادامه می‌دهیم و در نهایت از فایل خروجی دوم برنامه، نام ایستگاه‌های شبکه درجه دو، مقدار شتاب‌ثقل و دقت آن‌ها را در یک فایل جداگانه اکسل با نام Gravity2 ذخیره می‌کنیم. نوع فرمت نام ایستگاه‌ها در فایل اکسل را به text تبدیل کنیم.

۲-۱۰- محاسبه خطای بست نهایی بعد از حذف مشاهدات اشتباه

در این مرحله باید خطای بست چندضلعی‌ها متشکل از مشاهدات باقی‌مانده محاسبه شود. در شکل (۲-۳) لوپ‌های چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه دو نشان داده شده است.



شکل ۲-۳- فلش‌های سبز لوپ‌های چندضلعی جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه دو

پوشه Adjustment Result را در مسیر زیر و در پوشه مربوط به تاریخ محاسبات خطای بست اولیه ایجاد می‌کنیم. فایل اکسل Observations Equations on Grid 15m_sf_sfave را در این پوشه کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on Grid 5m 15m\Misclosure

محاسبات مطابق با مراحل محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌گیرد. خطای بست لوپ‌ها باید با اختلاف شتاب ثقل لوپ‌های اندازه‌گیری شده اولیه و بعد از اعمال ضریب کالیبراسیون محاسبه می‌شود و نتایج آن با یکدیگر مقایسه می‌شود.

فصل ۳

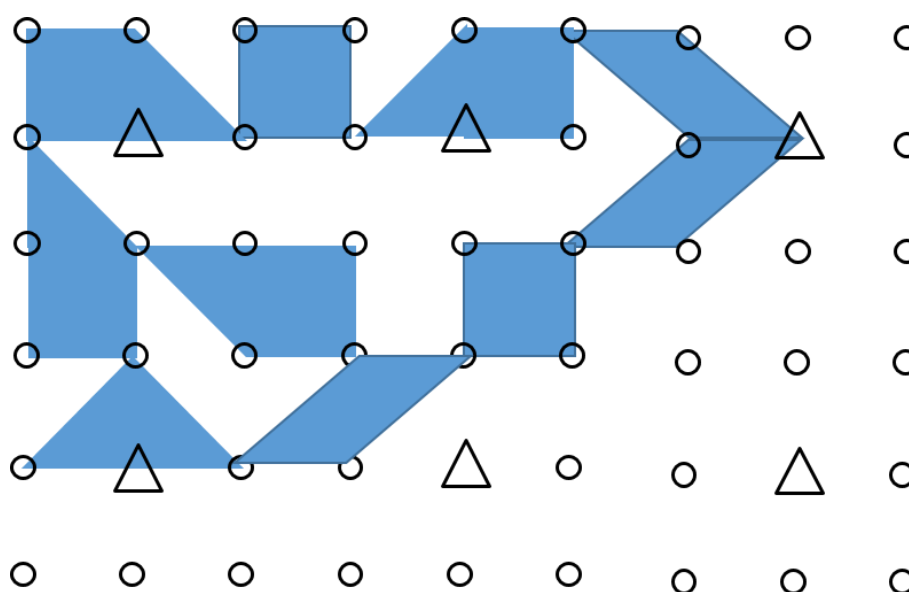
دستورالعمل آرشیو داده‌ها و

محاسبات شبکه ثقل سنجی درجه سه

۳ - دستورالعمل آرشیو داده‌ها و محاسبات شبکه ثقل سنجی درجه سه

شبکه ثقل سنجی درجه سه از سال ۱۳۸۸ با طراحی اولیه حدود ۲۰ هزار نقطه با فواصل اندازه‌گیری حدود ۵ دقیقه‌ای (۷-۹ کیلومتر در سطح زمین) به‌منظور متراکم سازی داده‌های شتاب‌ثقل کشور و دستیابی به مدل ژئوئید با دقت یک دسی‌متر طراحی گردید. در طراحی اولیه شبکه ثقل سنجی درجه سه، نقاط این شبکه بین چهار ایستگاه شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک و دو که به فاصله ۲۵ کیلومتر از هم قرار گرفته‌اند.

استراتژی اندازه‌گیری در شبکه ثقل سنجی درجه سه به‌صورت لوپ‌های چند ضلعی بوده که هر لوپی در صورت امکان از یک ایستگاه شبکه‌های ثقل سنجی درجه صفر، یک یا دو شروع شود و با اندازه‌گیری چند ایستگاه مجاور از شبکه ثقل سنجی درجه سه به ایستگاه مبدأ بازگردد (شکل ۳-۱). به‌منظور کنترل لوپ‌های مشاهداتی اندازه‌گیری تکراری سی تا پنجاه درصد ایستگاه‌های شبکه درجه سه الزامی می‌باشد. ایستگاه‌های مرزی باید به شکلی اندازه‌گیری شوند که اتصال تمام ایستگاه‌های شبکه کاملاً حفظ گردد.



شکل ۳-۱- اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نقاط نشانه شبکه ثقل سنجی درجه سه در لوپ‌های آبی رنگ (نقاط دایره‌ای) نسبت به ایستگاه‌های شبکه‌های ثقل سنجی درجه یک و دو (نقاط مثلثی)

با توجه به تعداد بالای فایل‌ها، داده‌ها و سایت‌لوگ‌های اندازه‌گیری به‌منظور حفظ همه اطلاعات و دسترسی سریع به آن‌ها لازم است داده‌ها مطابق دستورالعمل تهیه شده آرشیو شده و محاسبات لازم نیز مطابق با مراحل زیر انجام بگیرد.

۳-۱- آماده‌سازی داده‌ها

دریافت فایل‌ها، کنترل و آرشیو آن‌ها مشابه با مراحل دستورالعمل آماده‌سازی در شبکه درجه یک انجام می‌شود. پوشه محل ذخیره‌سازی داده‌ها در مسیر زیر می‌باشد.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\Grid 5m 15m Primary Data\ \Group Name \ Date \raw

نام فایل‌های اندازه‌گیری باید مطابق استاندارد اصلاح گردد. نام‌گذاری فایل‌های مشاهداتی لوپ‌های اندازه‌گیری شبکه ثقل‌سنجی درجه سه مطابق با روش توضیح داده شده در شبکه ثقل‌سنجی درجه دو می‌باشد.

۳-۲- محاسبات شتاب ثقل نسبی

این مرحله مشابه با محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌گیرد. فقط باید مسیر فایل‌های ورودی از اطلاعات مرحله قبلی انتخاب شود.

۳-۳- بایگانی داده‌ها

پس از انجام محاسبات و اصلاحات، گراف‌ها و فایل اکسل نهایی هر گروه در مسیر زیر قرار می‌گیرد:

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\Grid 5m 15m Graph\Grid 5m

فایل‌های اصلاح شده خروجی دستگاه‌ها (از لحاظ ویرایش اسامی ایستگاه و ...) یعنی dmp و txt، در مسیر زیر کپی می‌شود:

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Data\Relative Gravity on Grid 5m 15m\Grid 5m

فایل‌های مربوط به لوپ‌هایی که از لیست مشاهدات حذف شدند با ذکر نوع خطا در داخل پوشه Error در مسیر فوق کپی می‌شود.

اطلاعات مربوط به نتایج اکسل اندازه‌گیری‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه دو باید به انتهای فایل اکسل کلی مربوط به آن شبکه (Observations Equations on Grid 5m) که در مسیر زیر قرار دارد افزوده شود.

Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on Grid 5m 15m\ Observations Equations

در فایل اکسل Observations Equations on Grid 5m نام ستون S.D2 که نشان دهنده وضعیت مشاهدات نسبت به یکدیگر می‌باشد را به SD2 تبدیل می‌کنیم. با توجه به اینکه نام ایستگاه‌های شبکه درجه دو و سه عموماً از شش رقم عدد

تشکیل شده است به‌منظور انجام مراحل بعدی محاسبات باید در این فایل اکسل نوع فرمت نام ایستگاه‌ها را به text تبدیل کنیم.

مانند مرحله بایگانی سایت‌لوگ‌ها و اطلاعات آن‌ها در شبکه درجه یک، در اینجا نیز آرشیو انجام می‌گیرید. نام فایل اطلاعات فایل اکسل GLGAM Observation for 5M می‌باشد که در مسیر بایگانی قبلی می‌باشد.

۳-۴- وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار دیتابیس

به‌منظور تکمیل نقشه لوپ‌ها و ایستگاه‌های کار شده، چندضلعی‌های اندازه‌گیری شده بین ایستگاه‌ها در محیط نرم‌افزاری ترسیم می‌شود. پروژه تعریف شده Map2-line در مسیر قبلی در محیط ArcGIS را باز نموده و لوپ‌های جدید را ترسیم می‌کنیم. فایل measured_relative_gravity_loop_5m به‌منظور ترسیم لوپ‌ها در مسیر زیر ایجاد شده است.
Physical Geodesy Department\Physical Geodesy\Shape Files\ Grid_5m-15m

۳-۵- سرشکنی اولیه

این مرحله مشابه با محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌گیرد. در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ پردازش ایجاد می‌کنیم.
Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on Grid 5m 15m\ Adjustment\ Befor Calibration

فایل Observations Equations on Grid 5m را در پوشه ساخته شده کپی می‌کنیم. فایل شتاب‌ثقل مطلق ایستگاه‌های شبکه درجه صفر absolute gravity stations، شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه یک Gravity1 و شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه یک Gravity2 که شامل نام ایستگاه‌ها، مقادیر شتاب‌ثقل و دقت آن‌ها می‌باشد را از مسیرهایی که قبلاً اعلام شد کپی می‌کنیم و در یک فایل به نام Gravity012 یکپارچه می‌کنیم و در پوشه مربوطه کپی می‌کنیم.

برنامه را مطابق با روش ارائه شده در محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌دهیم. در انتها فایل اکسل جدیدی که شامل فایل مقادیر شتاب‌ثقل مطلق ایستگاه‌های شبکه درجه صفر، یک و دو Gravity012 و فایل خروجی سرشکنی یعنی مقادیر شتاب‌ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه سه می‌باشد، ایجاد می‌کنیم و با نام Gravity0123 ذخیره می‌کنیم. به‌منظور انجام مراحل بعدی محاسبات باید در فایل اکسل Gravity0123 نوع فرمت نام ایستگاه‌ها را به text تبدیل کنیم.

۳-۶- محاسبه ضریب کالیبراسیون

در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ پردازش ایجاد می‌کنیم و فایل Observations Equations on Grid 5m و فایل خروجی مقادیر شتاب ثقل Gravity0123 (شامل همه ایستگاه‌های شبکه درجه صفر، یک، دو و سه) را داخل پوشه مربوطه کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calibration Data\Calibration program

محاسبه برنامه کالیبراسیون مشابه با شبکه درجه یک انجام می‌گیرد.

۳-۷- اعمال تصحیح کالیبراسیون

بعد از انجام محاسبات با هر دو ضریب کالیبراسیون محاسبه شده SF final و میانگین Average_SF مطابق با روش به کار گرفته شده در شبکه درجه یک فایل‌های خروجی اکسل Observations Equations on Grid 5m_sf و Observations Equations on Grid 5m_sf_sfave و Observations Equations on Grid 5m_sf را اصلاح می‌کنیم و در مسیر زیر کپی می‌کنیم.

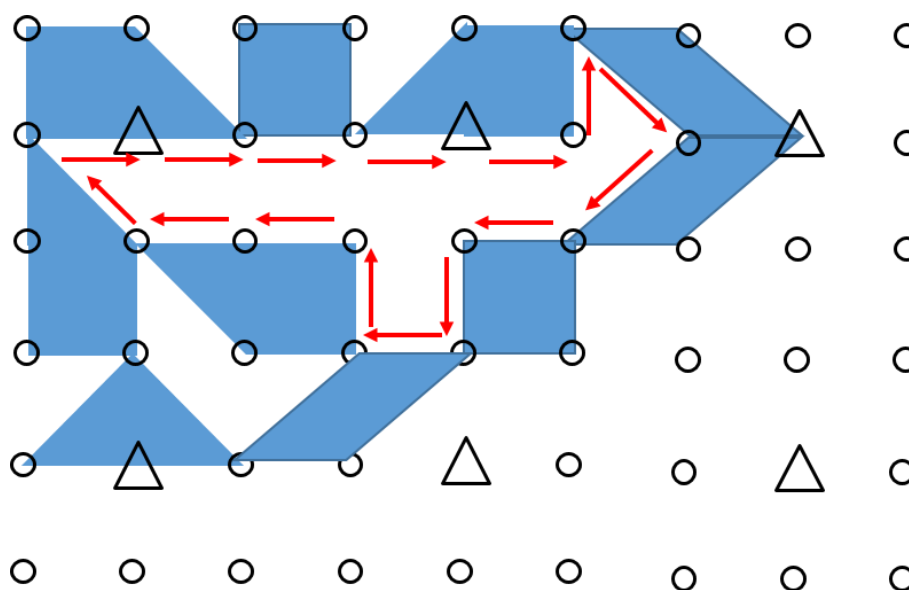
Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on Grid 5m 15m\ Observations

Equations

به‌منظور انجام مراحل بعدی محاسبات باید نوع فرمت نام ایستگاه‌ها در فایل‌های اکسل فوق را به text تبدیل کنیم.

۳-۸- محاسبه خطای بست اندازه‌گیری‌ها

در این مرحله باید خطای بست چندضلعی‌ها تعیین شود. مطابق استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی، اندازه‌گیری‌های شتاب ثقل به‌صورت لوپ‌های چند ضلعی می‌باشد، بنابراین لوپ‌های محاسبه خطای بست چندضلعی بین اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌ها ایجاد می‌شود (شکل (۳-۲)). همان‌طور که گفته شد خطای بست n ضلعی‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها نباید بیشتر از $3 \times 10 \times \sqrt{n}$ شود.



شکل ۳-۲- فلش‌های قرمز لوی چندضلعی، جهت محاسبه خطای بست شبکه ثقل‌سنجی درجه سه

در این مرحله باید لوپ‌های چندضلعی در محیط دیتابسی تشکیل شود. ابتدا در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ محاسبات ایجاد می‌کنیم. فایل اکسل Grid 5m_sf_sfave Observations Equations on را در این پوشه کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\Gravity Observations\Calculation on Grid 5m 15m\Misclosure

فایل Misclosure به‌منظور ترسیم لوپ‌ها در همین مسیر ایجاد شده است. بعد از هر سری اندازه‌گیری، چندضلعی‌های بین لوپ‌های اندازه‌گیری شده در این فایل ترسیم می‌شوند و به‌منظور تفکیک لوپ‌ها از یکدیگر کد مجزایی به هر یک اختصاص داده می‌شود. بقیه مراحل این بخش مانند محاسبات شبکه درجه یک انجام می‌گیرد.

۳-۹- سرشکنی نهایی

محاسبه مقدار شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه سه با استفاده از مقادیر معلوم شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر، یک و دو انجام می‌شود. در مسیر زیر پوشه‌ای به تاریخ پردازش ایجاد می‌کنیم و فایل‌های Observations Equations on Grid 5m_sf و Observations Equations on Grid 5m_sf را داخل پوشه مربوطه کپی می‌کنیم. همچنین فایل شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه صفر، یک و دو Gravity012 که شامل نام ایستگاه‌ها، مقادیر شتاب ثقل و دقت آن‌ها می‌باشد را اینجا مربوطه کپی می‌کنیم.

Physical Geodesy Department\ Gravity Observations\ Calculation on Grid 5m 15m\ Adjustment\ After Calibration

محاسبات را مانند شبکه درجه یک ادامه می‌دهیم. در شبکه ثقل‌سنجی درجه سه به دلیل اینکه تعداد مشاهدات نسبت به دو شبکه دیگر کمتر می‌باشد ممکن است با حذف مشاهدات خطا دار اتصال بین نقاط شبکه برقرار نشود؛ بنابراین گزینه Detect Outlier را در برنامه WeightedAdjustment فعال نمی‌کنیم و از نتایج خطای بست برای کشف مشاهدات اشتباه استفاده می‌کنیم.

از فایل خروجی دوم برنامه، نام ایستگاه‌های شبکه درجه سه، مقدار شتاب ثقل و دقت آن‌ها را در یک فایل جداگانه اکسل با نام Gravity3 ذخیره می‌کنیم. نوع فرمت نام ایستگاه‌ها در فایل اکسل را به text تبدیل کنیم.



**Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization
National Cartographic Center**

Gravity Processing instructions

No: STD02-O01CY0001D

National Cartographic Center

www.ncc.gov.ir

Standard Department

<http://standard.ncc.gov.ir>

2023