

الحمد لله الرحمن الرحيم



سرفصلهای دوره آموزشی

- مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن
- نحوه تعیین شتاب ثقل
- ✓ نحوه اندازه گیری شتاب ثقل
- ✓ محاسبات شتاب ثقل
- تاریخچه شبکه های ثقل سنجی در ایران
- مروری بر شبکه های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل سنجی کشور
- وضعیت داده های شبکه های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل سنجی کشور

سازمان نقشه برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ ژئودزی علمی است که به مطالعه و اندازه‌گیری زمین، شکل و ابعاد و وضعیت آن، تعیین میدان ثقل زمین و تغییرات آنها می‌پردازد. ژئودزی شاخه‌های گوناگونی دارد:

- ✓ ژئودزی هندسی
- ✓ ژئودزی فیزیکی
- ✓ نجوم ژئودزی
- ✓ ژئودزی ماهواره‌ای

سازمان نقشه‌برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

- یکی از ملزومات اصلی برای تهیه نقشه و تعیین موقعیت سه بعدی نقاط در سطح کشور، مشخص بودن چارچوبهای مرجع مختصات و سطوح مبنا است.
- تعریف و ایجاد یک چارچوب مرجع مختصات و سطح مبنا با احداث شبکه ایستگاههای ماندگار در سطح کشور با دقت مورد نیاز و استانداردهای لازم در یک سیستم واحد فراهم می آید.
- چارچوبهای مرجع مسطحاتی ملی با تعیین موقعیت ماهوارهای نقاط در یک مرجع زمانی مشخص ایجاد می شوند.
- برای ایجاد و تعریف یک سطح مبنا (سیستم) ارتفاعی یکسان و یکپارچه در کشور به منظور استفاده در پروژههای عمرانی، نقشهبرداری و تهیه نقشههای ملی در مقیاسهای مختلف، شبکه ایستگاههای ترازیبی دقیق از درجات مختلف در کشور ایجاد می شوند.

سازمان نقشه برداری کشور

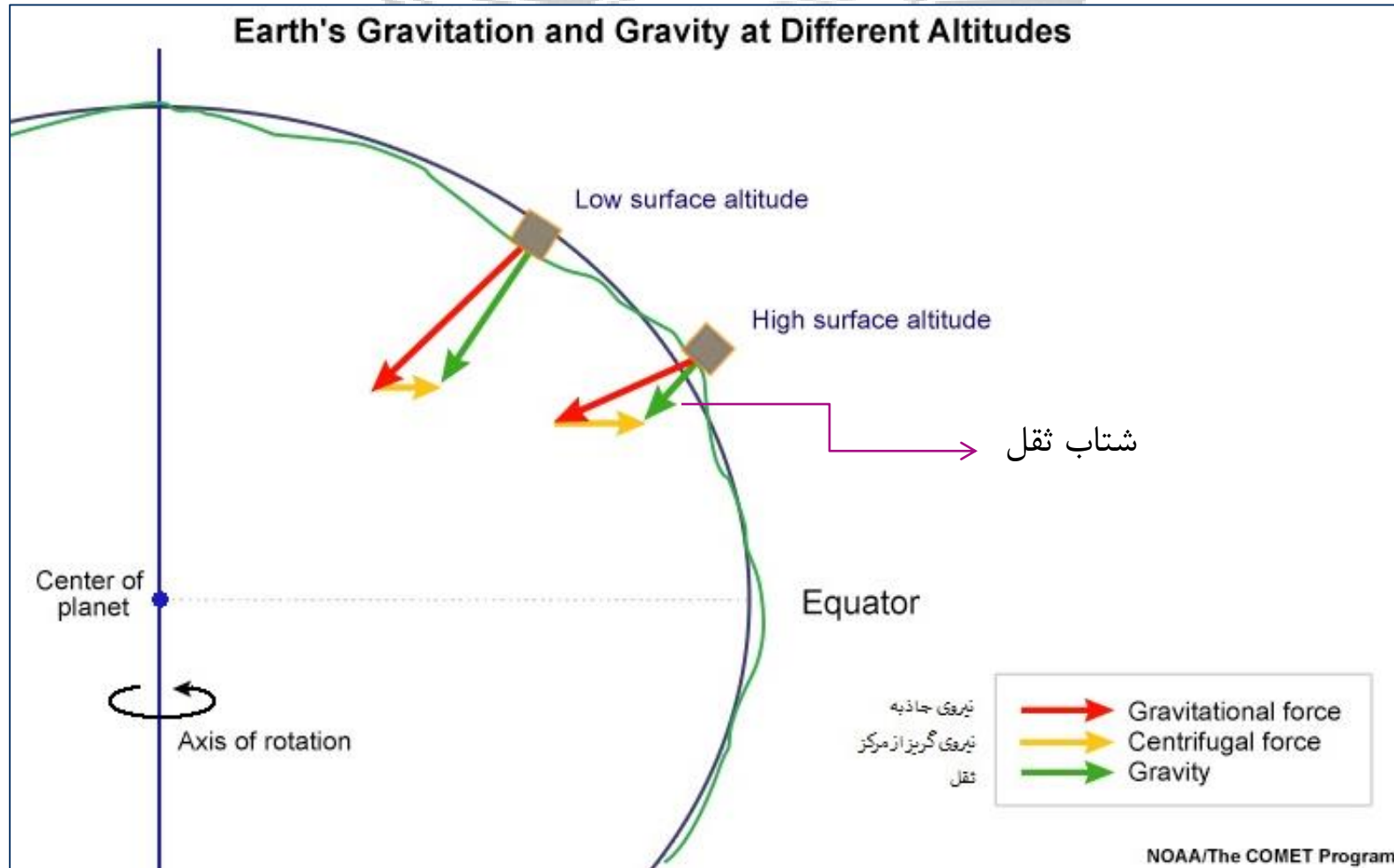
مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

- در علم ژئودزی با دو سطح اصلی مواجه هستیم. یکی سطح فیزیکی زمین که محاسبات بر روی آن مشکل است و مشاهدات در آن سطح انجام می‌گیرد و دیگری بیضوی است که مشاهدات بر روی آن صورت نمی‌گیرد ولی به علت ریاضی بودن (هندسه آسان) امکان محاسبات روی آن وجود ندارد.
- اولین وظیفه ژئودزی فیزیکی شناختن فضای فیزیکی زمین و وظیفه دیگر تقریب پارامترهای ارتباط دهنده این دو فضا است.
- اندازه‌گیری و محاسبه میدان ثقل زمین و پارامترهای آن از اهداف اصلی ژئودزی فیزیکی است.
- مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها در نقشه‌برداری از جنس مشاهدات هندسی می‌باشند که در سطح فیزیکی زمین و تحت تاثیر آن انجام گرفته‌اند. زمین تاثیرات فیزیکی مختلفی روی مشاهدات دارد.
- همواره لازم است تا این مشاهدات با اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی زمین (دما، فشار، جاذبه و ...) مورد تصحیح قرار گیرند. از جمله این تصحیحات، تصحیحات ناشی از میدان ثقل زمین می‌باشد.

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ شتاب ثقل مجموع شتاب جاذبه و شتاب گریز از مرکز است.

Gravity acceleration = gravitational acceleration + centrifugal acceleration



مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

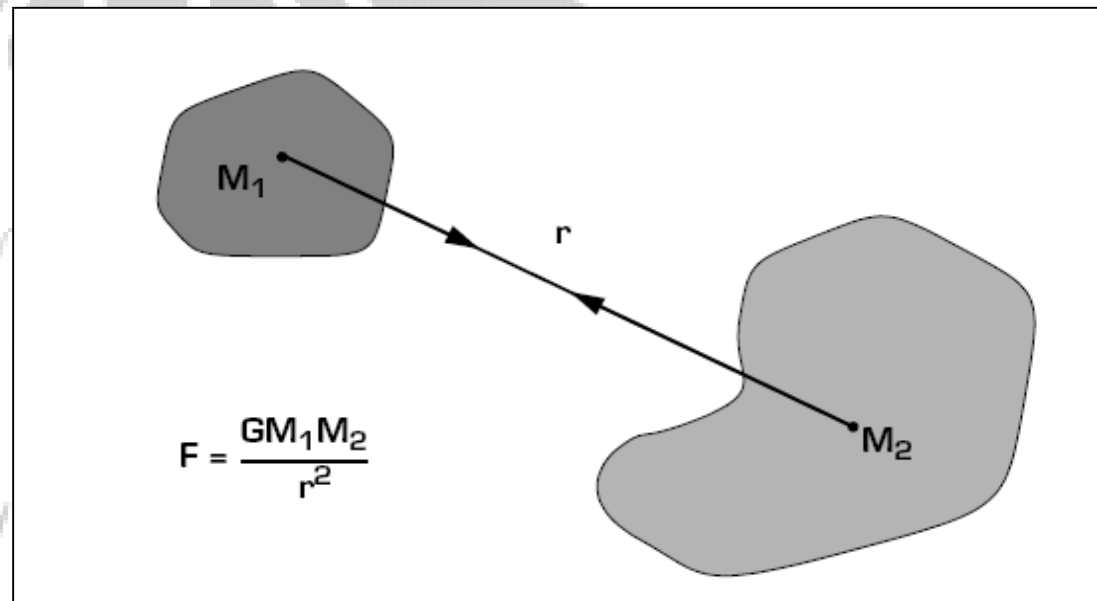
➤ شتاب جاذبه: یکی از نیروهای اصلی طبیعت، جاذبه یا کشش بین اجرام می باشد که تحت عنوان نیروی جاذبه شناخته می شود.

➤ طبق قانون اول نیوتن داریم: $F = GM_1M_2/r^2$ نیروی جاذبه

➤ در رابطه فوق G مقدار ثابت گرانشی است $G = 6.67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

➤ مقدار جرم زمین بر حسب دانسیته و حجم $M_2 = \sigma v$ $\vec{F}(\vec{r}_A) = g(\vec{r}_A)m$

شتاب جاذبه $g = G\sigma v/r^2$



مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ شتاب گریز از مرکز: بعلت دوران زمین حول محور خود، نیروی دیگری بر هر ذره کره زمین به نام نیروی گریز از مرکز وارد می شود.

$$\vec{F}(\vec{r}_A) = g(\vec{r}_A)m$$

$$F = r\omega^2 m$$

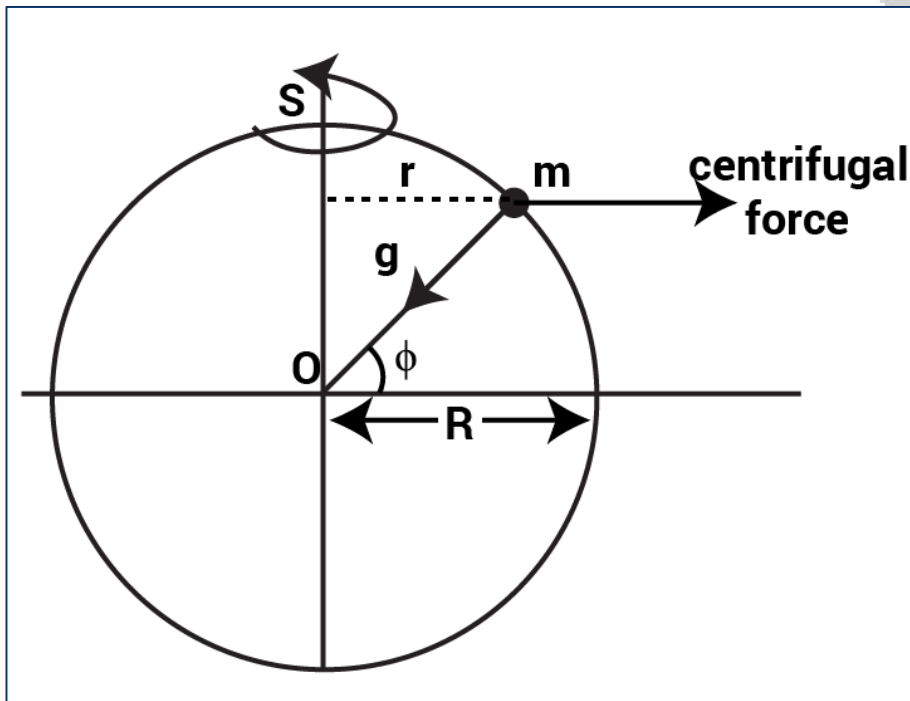
$$g = r\omega^2$$

➤ شتاب گریز از مرکز با رابطه ذیل محاسبه می گردد:

➤ r فاصله عمودی از محور دوران زمین و ω سرعت زاویه ای دوران زمین است

➤ مقدار شتاب گریز از مرکز در قطبین صفر و در استوا ماکزیمم است.

➤ جهت شتاب گریز از مرکز عمود بر محور دوران زمین و به سمت خارج است



سازمان نقشه برداری

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

$$\vec{F}(\vec{r}_A) = g(\vec{r}_A)m$$

➤ شتاب ثقل مجموع شتاب جاذبه و شتاب گریز از مرکز است.

$$\vec{F}(\vec{r}_A) = Gm \iiint_V \frac{\sigma(\vec{r})}{|\vec{r} - \vec{r}_A|^3} (\vec{r} - \vec{r}_A) dV + \rho_A \omega^2 m$$

➤ نیروی ثقل:

$$g(\vec{r}_A) = G \iiint_V \frac{\sigma(\vec{r})}{|\vec{r} - \vec{r}_A|^3} (\vec{r} - \vec{r}_A) dV + \rho_A \omega^2$$

➤ شتاب ثقل:

➤ به دلیل ساختار نامشخص توزیع جرم داخلی زمین (دانسیته)، امکان محاسبه میدان ثقل زمین و شتاب ثقل نقاط

روی سطح زمین به طور دقیق وجود ندارد. لذا تنها راه دستیابی به اطلاعات ثقل زمین از طریق اندازه‌گیری میسر

می‌باشد.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ واحد شتاب ثقل در سیستم SI برابر m/s^2 متر بر مجذور ثانیه است. شتاب جاذبه در سطح زمین تقریباً $9.8 m/s^2$ است

➤ اما از آنجایی که این واحد در اندازه‌گیریهای دقیق شتاب ثقل بزرگ می‌باشد از واحد کوچکتر cm/s^2 یا همان گال استفاده می‌شود.

✓ gal (به افتخار نام فیزیکدان معروف گاليله)

$$1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 0.01 \text{ m/s}^2$$

✓ milligal میلی گال 10^{-3} cm/s^2

✓ microgal میکروگال 10^{-6} cm/s^2

➤ شتاب جاذبه در سطح زمین تقریباً ۹۸۰ گال است و با گراویمترهای دقیق زمینی امروزی تا دهم میکروگال اندازه‌گیری می‌گردد.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ شتاب ثقل مشاهده شده در نقطه در واقع برآیند شتاب‌های جاذبه‌ای تمام فضای اطراف آن نقطه و شتاب گریز از مرکز است.

➤ این شتاب در زمان و مکان متغیر است و علت آن می‌تواند مربوط به عوامل زیر باشد:

- ✓ زمین همگن و کروی نیست
- ✓ زمین به دور خود و به دور خورشید در حرکت است و همچنین ماه به دور زمین می‌چرخد
- ✓ ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی مربوط به قسمت داخلی زمین هستند.

سازمان نقشه‌برداری کشور

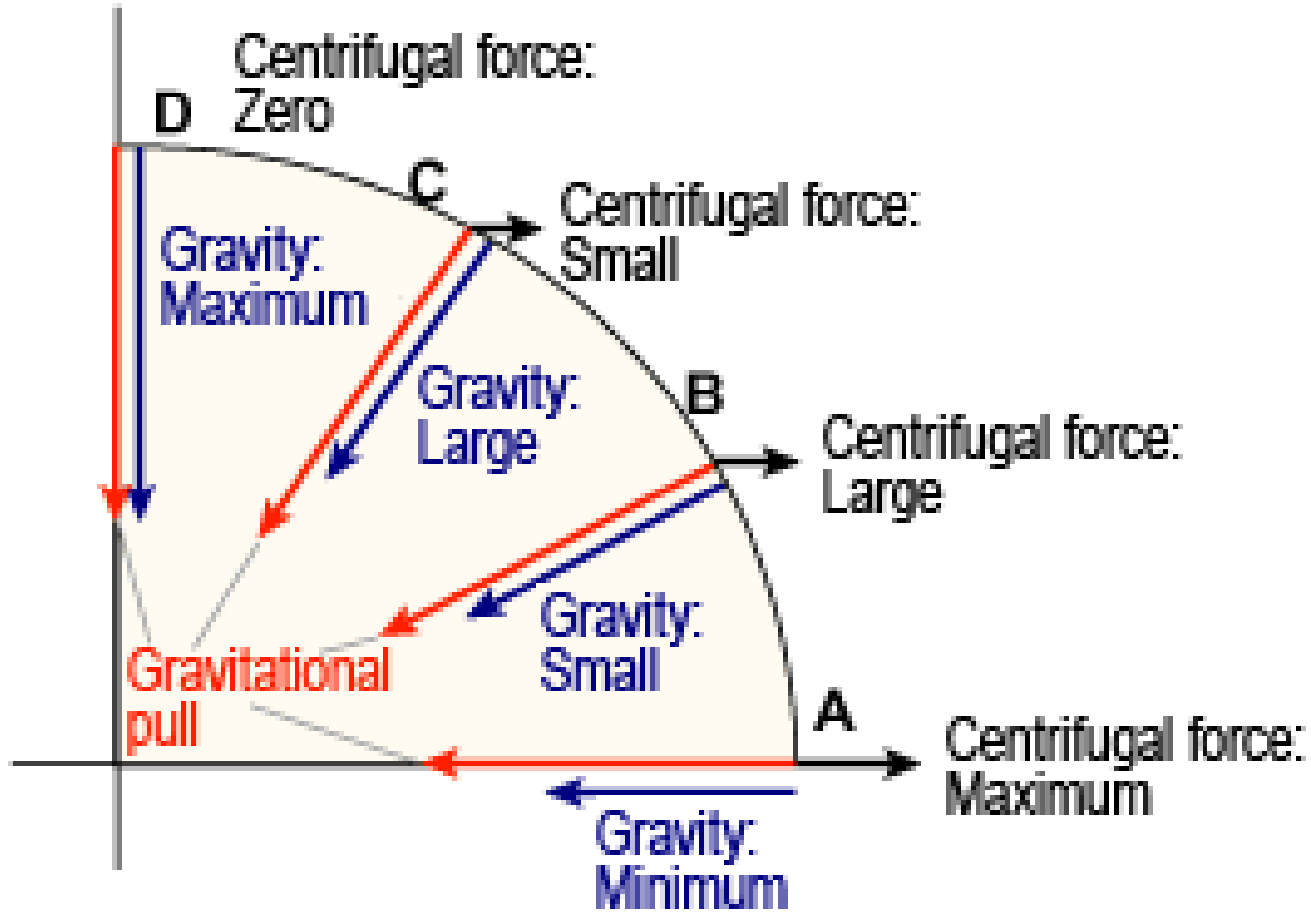
مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ عوامل تغییر شتاب ثقل در سطح زمین از قطب تا استوا عبارتند از:

✓ عرض جغرافیایی

✓ ارتفاع

✓ توزیع نامنظم جرم.

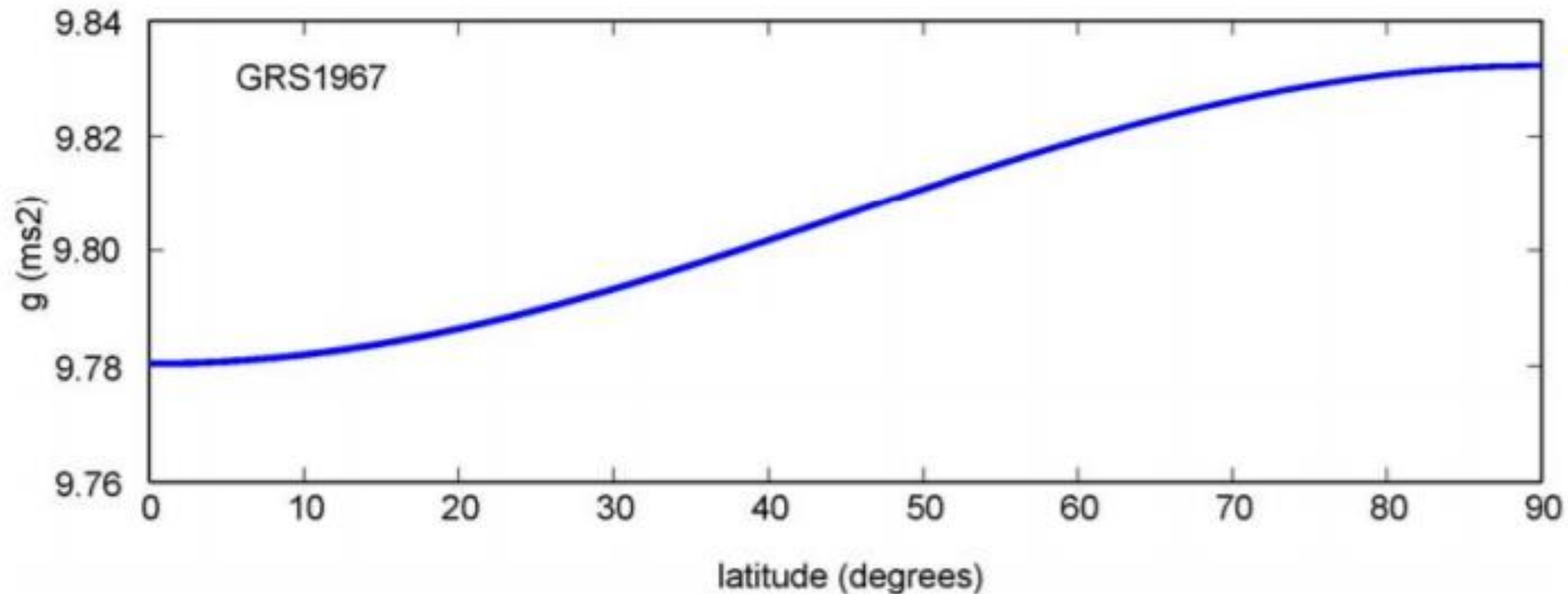


مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ عرض جغرافیایی: با افزایش عرض جغرافیایی ϕ مطابق رابطه ذیل شتاب ثقل افزایش می یابد.

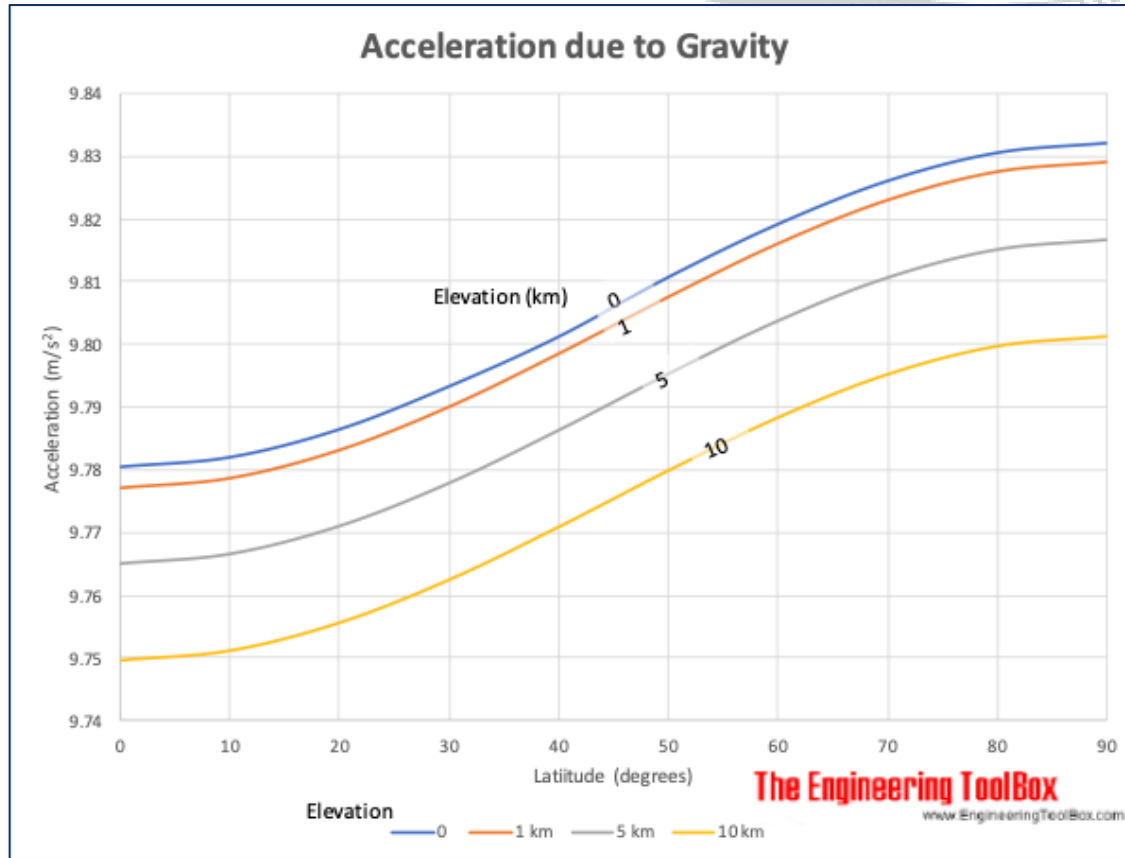
$$g \{ \phi \} = 9.780327 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2 \phi)$$

➤ شتاب ثقل از عرض جغرافیایی استوا تا عرض جغرافیایی قطب به اندازه 5.17 gal تغییر می کند که به تغییر عرض جغرافیایی معروف است



مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

- ارتفاع: تغییر ارتفاع سطح فیزیکی زمین از سطح دریا در نقاط مختلف باعث تغییر شتاب ثقل می شود.
- مطابق با اثر هوای آزاد با یک متر افزایش ارتفاع شتاب ثقل به میزان ۰.۳ میلی گال کاهش می یابد.



$$\vec{g} \approx -\frac{GM}{r^2}$$

$$dr \approx dh \rightarrow \delta g_F \approx -2 \frac{GM}{r^3} dh \approx -0.3086 dh$$

سازمان نقشه

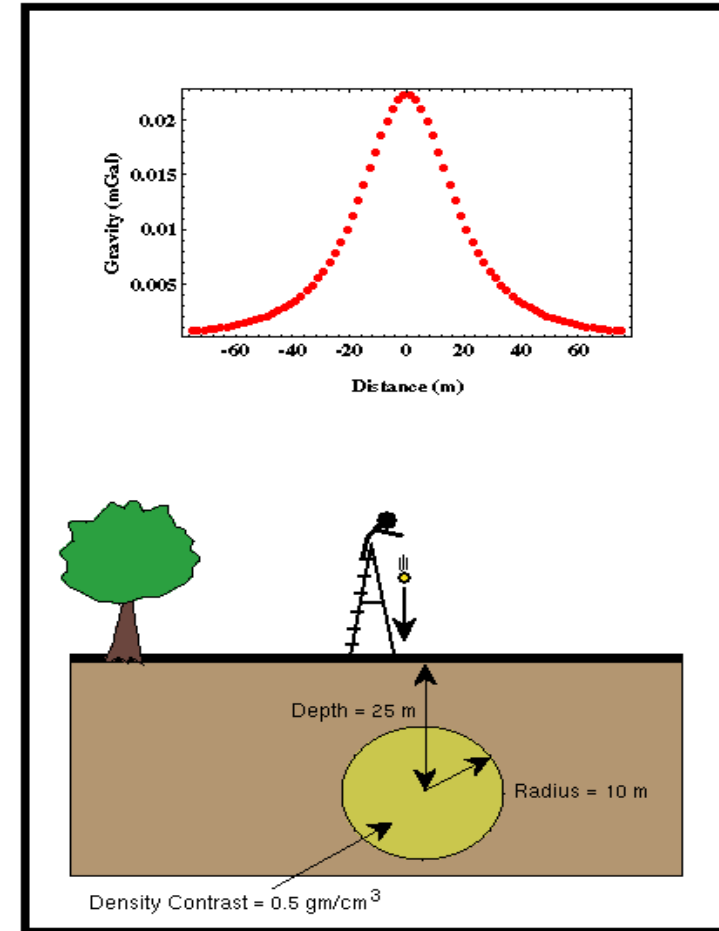
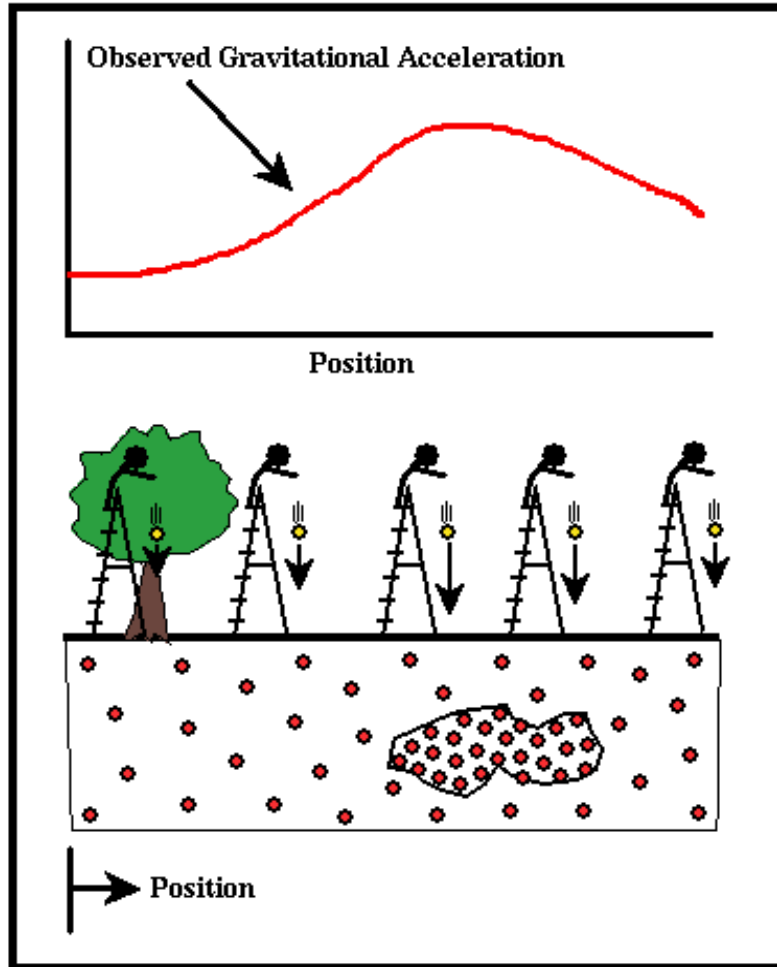
مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

- توزیع نامنظم جرم: توزیع جرم در داخل زمین منظم یا یکنواخت نیست بلکه دانسیته جرمی از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت است.
- از آنجا که عامل بوجود آورنده شتاب جاذبه جرم اجسام است و از طرفی به علت نامنظم بودن توزیع جرم در داخل زمین، توزیع شتاب ثقل روی زمین نیز نامنظم می‌باشد.
- تغییرات شتاب ثقل ناشی از تغییر دانسیته در حدود ۲۰۰-۳۰۰ میلی گال است. مواد با چگالی بالاتر (مانند سنگ‌های معدنی) می‌توانند مقدار شتاب ثقل را افزایش دهند، در حالی که مواد با چگالی کمتر (مانند خاک‌های سبک و رسوبی) می‌توانند آن را کاهش دهند.

سازمان نقشه برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ توزیع نامنظم جرم:



تراکم توده (جرم) === افزایش دانسیته === افزایش شتاب ثقل

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ عوامل تغییر شتاب ثقل در سطح زمین: عرض جغرافیایی، ارتفاع، توزیع نامنظم جرم.

➤ مجموع تغییرات شتاب ثقل در سطح زمین در مقایسه با مقدار متوسط جهانی شتاب ثقل که حدود 981 gal است، یک

مقدار کوچک است و بدین جهت دستگاه‌های اندازه‌گیری شتاب ثقل طوری طراحی شده‌اند که دارای حساسیت لازم

برای اندازه‌گیری تغییرات جزئی باشند.

➤ سایر عوامل تغییر شتاب ثقل در سطح زمین :

✓ اثر توپوگرافی جرم‌های اطراف

✓ اثر جزر و مد ماه و خورشید

✓ اثر فشار اتمسفری

✓ اثر رطوبت خاک

✓ و ...

سازمان نقشه‌برداری کشور

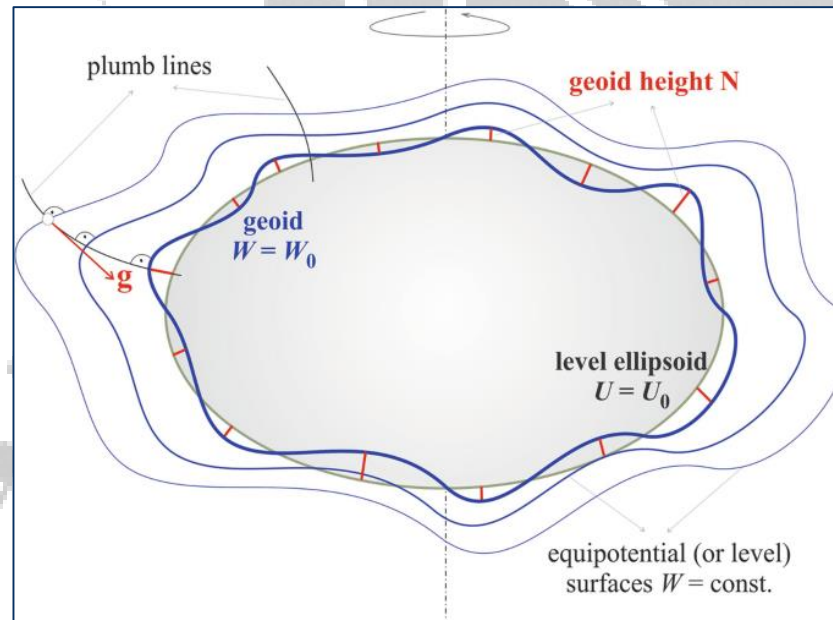
مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

✓ **تعیین ارتفاع ژئوئید:** ژئوئید بعنوان یکی از سطوح همپتانسیل (سطوح تراز) میدان ثقل زمین که به بهترین شکل ممکن سطح متوسط

آبهای آزاد را تقریب می‌زند، به عنوان سطح مبنای ارتفاعی در نظر گرفته می‌شود. سطح همپتانسیل Equipotential Surface سطحی است که در آن پتانسیل جاذبه زمین در تمام نقاط آن برابر است. در چنین سطحی، جابجایی از یک نقطه به نقطه دیگر نیازمند کار اضافی نیست چون پتانسیل جاذبه تغییری نمی‌کند.

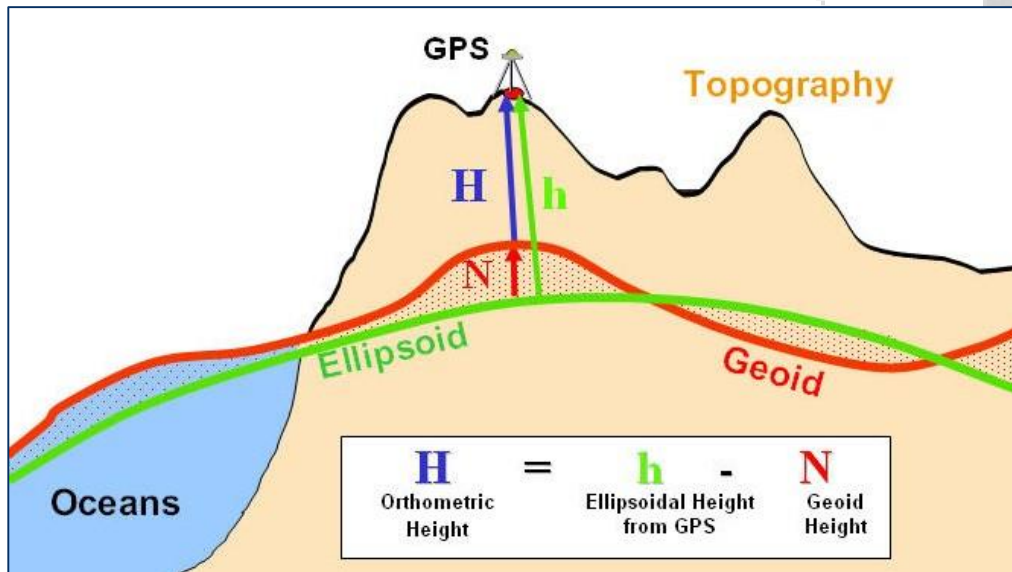
✓ سطح واقعی آبهای آزاد زمین، حتی در صورت عدم تأثیر امواج، باد، جریان‌های دریایی و جزر و مد، یک شکل ریاضی ساده نیست. به دلیل توزیع نامنظم جرم در داخل زمین و آنومالی‌های جاذبه ناشی از آن، ژئوئید یک سطح ریاضی پیچیده است.



مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

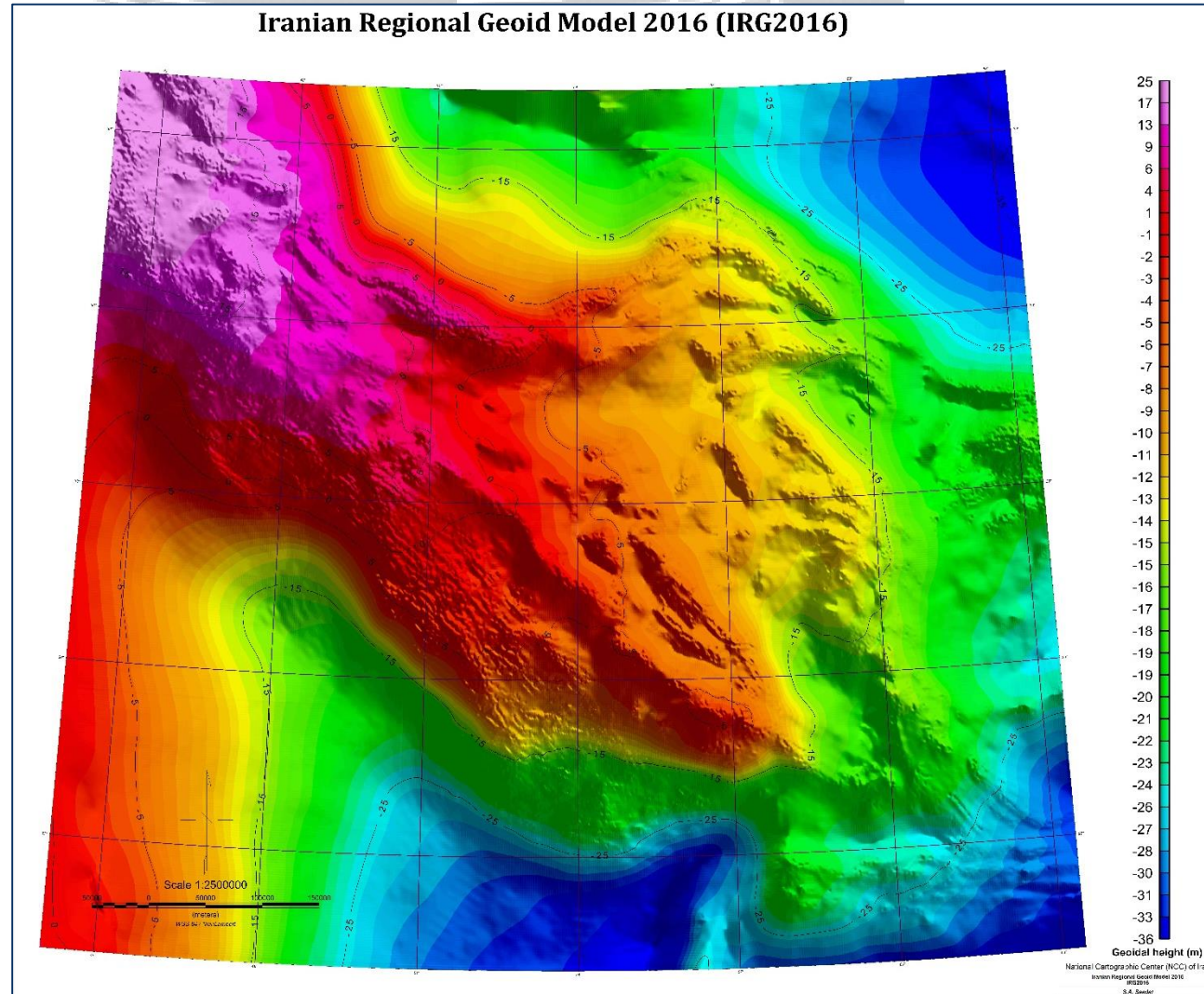
- ✓ **تعیین ارتفاع ژئوئید:** برای تعیین مدل ژئوئید، نیاز به داده‌های شتاب ثقل با توزیع یکنواخت در کل کره زمین می‌باشد. می‌توان با تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمینی، طول موج‌های بلند ارتفاع ژئوئید را که سهم عمده‌ای در محاسبات دارند، با استفاده از مدل‌های ژئوپتانسیلی جهانی تعیین نمود و برای طول موج‌های کوتاه ارتفاع ژئوئید نیاز به داده‌های شتاب ثقل اندازه‌گیری شده زمینی است.
- ✓ برای رسیدن به ژئوئید با دقتی در حد چند سانتیمتر، داده‌های جاذبه و آنامولی جاذبه با دقت ده میکروگال مورد نیاز است.
- ✓ با مشخص بودن ارتفاع ژئوئید N در هر نقطه می‌توان تنها با اندازه‌گیری ارتفاع ژئودتیک h^{GNSS} که امروزه با استفاده از گیرنده‌های GNSS به سهولت و سرعت بالا قابل انجام است، ارتفاع از سطح مبنای ارتفاعی (ژئوئید) H^0 را تعیین نمود:



مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

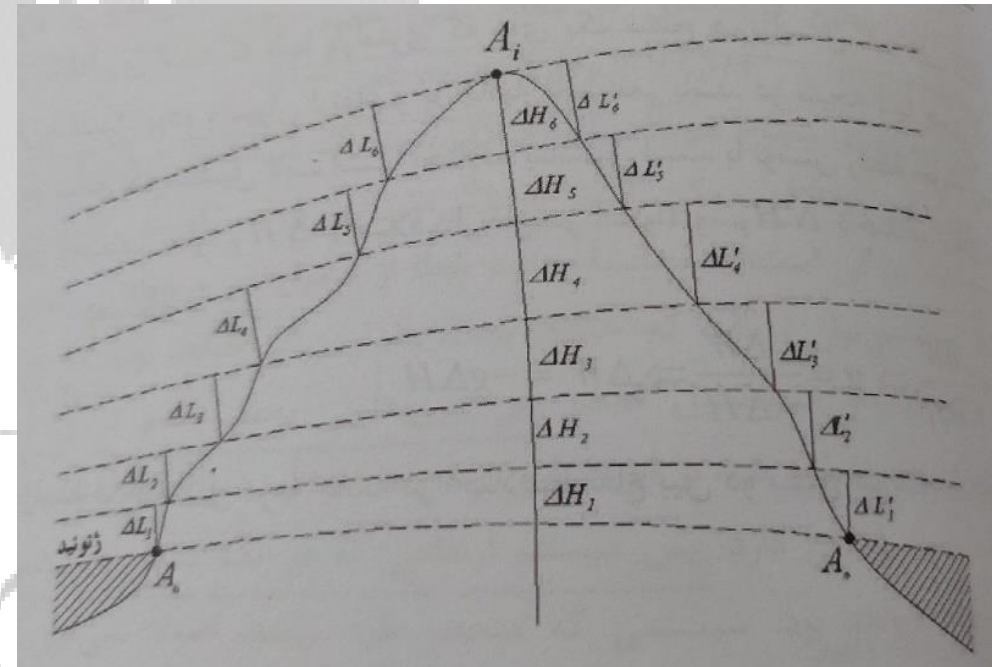
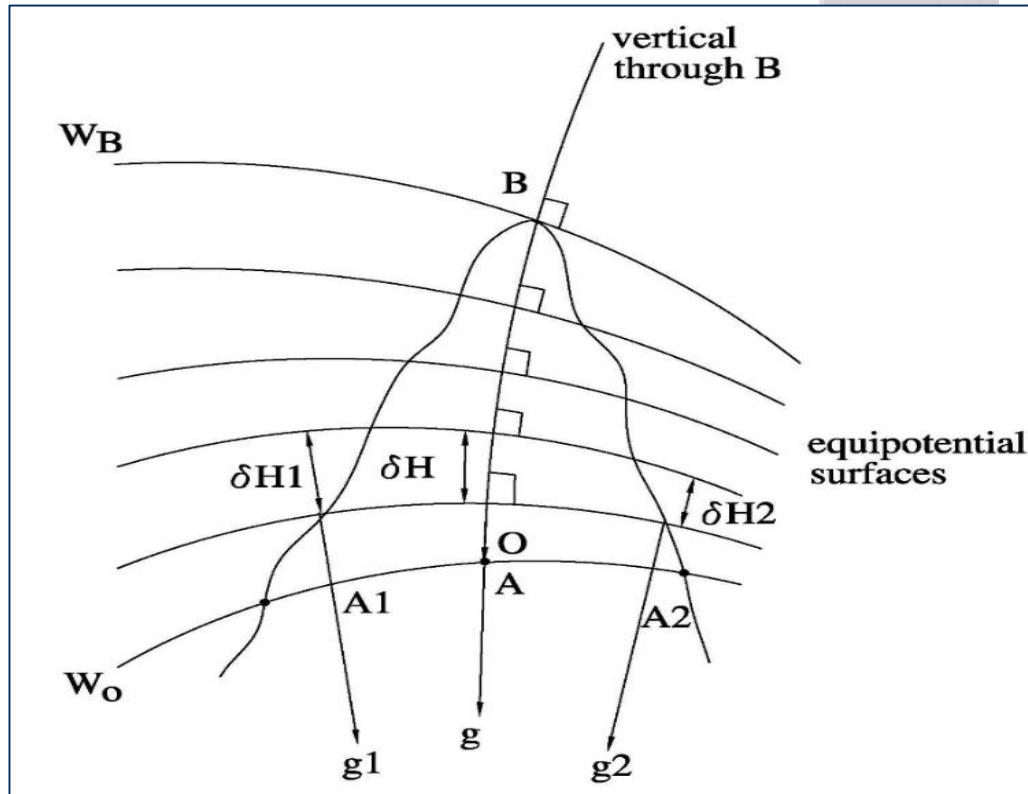
✓ تعیین ارتفاع ژئوئید: دامنه تغییرات ارتفاع ژئوئید در ایران از -34 m تا $+21\text{ m}$ می باشد.



مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

✓ محاسبه تصحیحات اورتومتریک در شبکه‌های ارتفاعی: اختلاف ارتفاعات ترازیبی از طریق عملیات هندسی بدست می‌آید و برای محاسبه ارتفاع صحیح اورتومتریک نقاط کافی نمی‌باشد. ترازیبی هندسی به مسیر ترازیبی وابسته بوده و یکتا نیست. برای تبدیل اختلاف ارتفاعات ترازیبی شده به اختلاف ارتفاعات صحیح اورتومتریک نیاز به اعمال تصحیحات اورتومتریک در لوپ‌های ترازیبی شده می‌باشد.



مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

✓ محاسبه تصحیحات اورتومتریک در شبکه‌های ارتفاعی: تصحیح اورتومتریک برای اختلاف ارتفاع بین دو نقطه روی سطح زمین

$$OC_{AB} = \left(\frac{g - \gamma}{\gamma} \right) \Delta H_{AB} + \frac{(\bar{g}_A - \gamma)}{\gamma} H_A - \frac{(\bar{g}_B - \gamma)}{\gamma} H_B$$

✓ ماکزیمم اختلاف تصحیح اورتومتریک نسبی در فاصله دو کیلومتر در مناطق کوهستانی تا ۱۲ سانتی‌متر می‌رسد. ماکزیمم مقدار تصحیح

اورتومتریک به صورت مطلق در یک نقطه در مناطق کوهستانی تا ۱.۵ متر می‌رسد و به صورت میانگین حدود ۵۰ سانتی‌متر است.

✓ برای برآورد تصحیحات اندازه‌گیری شتاب ثقل در امتداد خطوط ترازیبی و با دقت در حدود چند میلی‌گال مورد نیاز است.

دقت اندازه‌گیری شتاب ثقل بر حسب میلی‌گال با توجه به ارتفاع متوسط ایستگاه‌های ترازیبی در منطقه					
ارتفاع متوسط منطقه دقت محاسبه تصحیح اُرتومتریک	۵۰۰ متر	۱۰۰۰ متر	۱۵۰۰ متر	۲۰۰۰ متر	۳۰۰۰ متر
	۱۳/۲	۶/۸	۴/۵	۳/۴	۲/۳
	۳۹/۵	۲۰/۳	۱۳/۶	۱۰/۳	۶/۹
	۶۵/۸	۳۳/۸	۲۲/۷	۱۷/۱	۱۱/۴

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

- ✓ **کشف محل معادن زیرزمینی:** معادن زیرزمین، محتوی موادی هستند که دانسیته جرمی آنها متفاوت از دانسیته محیط اطرافشان است. از آنجا که شتاب ثقل دلیل قطعی حضور دانسیته می باشد، اختلاف دانسیته جرمی معادن نسبت به محیط اطراف آن موجب تغییرات شتاب ثقل در آن محدوده می شود. بنابراین مشاهده تغییرات غیر عادی شتاب ثقل در یک محل دلیل بر وجود معدن در آنجا می باشد.
- ✓ اگر ماده معدنی هدف تباین چگالی زیادی با ماده دربرگیرنده (سنگ میزبان) داشته باشد، تغییر اثر شتاب ثقل آن به خوبی در اندازه گیری ها آشکار میگردد. از آنجاییکه اهداف اکتشافات معدنی معمولاً از چند صد متر بیشتر نیست، فاصله های ایستگاه های برداشت معمولاً ۱۰ تا ۳۰ متر است.
- ✓ در اینجا دستگاهی با قدرت تفکیک ۱ میکروگال و دقت نسبی ۵ میکروگال و دقت برداشت ارتفاعی چند سانتیمتر برای ایستگاه مورد نیاز است

سازمان نقشه برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

✓ **اکتشاف منابع هیدروکربوری (نفی و گازی):** هدف از پیمایش ثقل سنجی در اکتشاف منابع هیدروکربوری، تهیه نقشه حوضه رسوبی و پدیده‌های تکتونیکی است. فاصله ایستگاه‌ها بر اساس ابعاد ساختارهای هدف تعیین میشود. برای مطالعه تمامی حوضه رسوبی فاصله ۲ تا ۵ کیلومتر برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب است. برای مطالعه یک گنبد نمکی یا ساختار حاصل از گسل، فاصله ایستگاهی ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر مناسب خواهد بود.

✓ **مطالعات تفصیلی اکتشاف هیدروکربوری در مقایسه با مطالعات ناحیه‌ای،** نیاز به گرانیسنجیهای دقیقتری دارد. بنابراین دستگاه گرانیسنج با قدرت تفکیک ۱ میکروگال و دقت ۵ میکروگال برای این منظور مناسب است. برای رسیدن به این هدف برداشت ارتفاعی با دقت سانتیمتر موردنیاز است

✓ **تهیه نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای:** برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای شبکه‌ای با فواصل ایستگاهی ۵ تا ۱۰ کیلومتر مورد نیاز است. گرانیسنج‌های با دقت ۰/۰۱ میلی گال بیش از حد انتظار برای این منظور مناسب هستند. تهیه چنین نقشه‌ای، اطلاعاتی از حدود سازندهای زمینی بر اساس توزیع سنگهای غالب، تکتونیک و حدود ضخامت پوسته زمین ارائه میدهد.

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

- ✓ مطالعات ژئوتکنیکی، باستانشناسی، زمینگرمایی و آبهای زیرزمینی : ثقل سنجی برای مطالعه ژئوتکنیک و باستانشناسی شامل مشخص نمودن محل حفره ها و کارست های زیرزمینی، تونل های قدیمی معدنکاری (اگرچه با آب یا رس پر شده باشد) یا حفره های باستانی، تغییرات روباره در مناطق شهری، پدیده های تکتونیکی (گسلها و زونهای برشی)، بررسی زیرسازی مسیرهای راه آهن و مطالعه آبخوانها و سفره های آبی زیرزمینی است.
- ✓ در چنین مطالعاتی فواصل ایستگاهی ۲۵ تا ۵۰ متر است (در مطالعه تفصیلی فاصله برداشت به ۳ متر هم میرسد). در مطالعات تکتونیکی و زمین گرمائی به منظور ثبت تغییرات، تناوبی از برداشتها در ایستگاه های برداشت دائمی انجام میشود

سازمان نقشه برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ کاربرد ثقل سنجی

- ✓ **مطالعه کمی اثر جزر و مد و پیش‌بینی حرکت پلیتهای تکتونیکی:** به لحاظ حضور ماه و خورشید در مدار زمین، میدان پتانسیل ثقل زمین دستخوش تغییرات زمانی از پریود چند ساعته تا پریود چندین سال می‌باشد. تاثیر ماه به دلیل نزدیکی آن به زمین از تاثیر خورشید بیشتر است. تغییرات مقدار شتاب ثقل ناشی از جزر و مد ماه و خورشید در مجموع در حدود ۲۵۰ میکروگال است.
- ✓ علاوه بر جزر و مد، پدیده حرکت پلیتهای تشکیل دهنده پوسته زمین در جریان است. به واسطه حرکت بین پلیتها که در جهات مختلف و با مقادیر مختلف از دو سانتی‌متر تا چهارده سانتی‌متر در سال برآورد می‌شود، آرایش و توزیع دانسیته‌های مختلف به آرامی با روند دائمی تغییر می‌کند. این تغییر موجب تغییر آرام دائمی و با پریود بسیار بلند میدان پتانسیل ثقل زمین و همینطور میدان شتاب ثقل شود.
- ✓ **مطالعات تغییرات پوسته‌ای:** شبکه‌های ثقل‌سنجی تغییرات در پوسته زمین را به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی، نشست یا بالاآمدگی زمین اندازه‌گیری می‌کنند که برای مخاطرات با اهمیت است.
- ✓ **مطالعات توزیع مجدد جرم:** با پایش تغییرات جاذبه، ژئودزین‌ها می‌توانند حرکت جرم‌هایی مانند آب‌های زیرزمینی، یخچال‌ها و صفحات تکتونیکی را مطالعه کنند.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

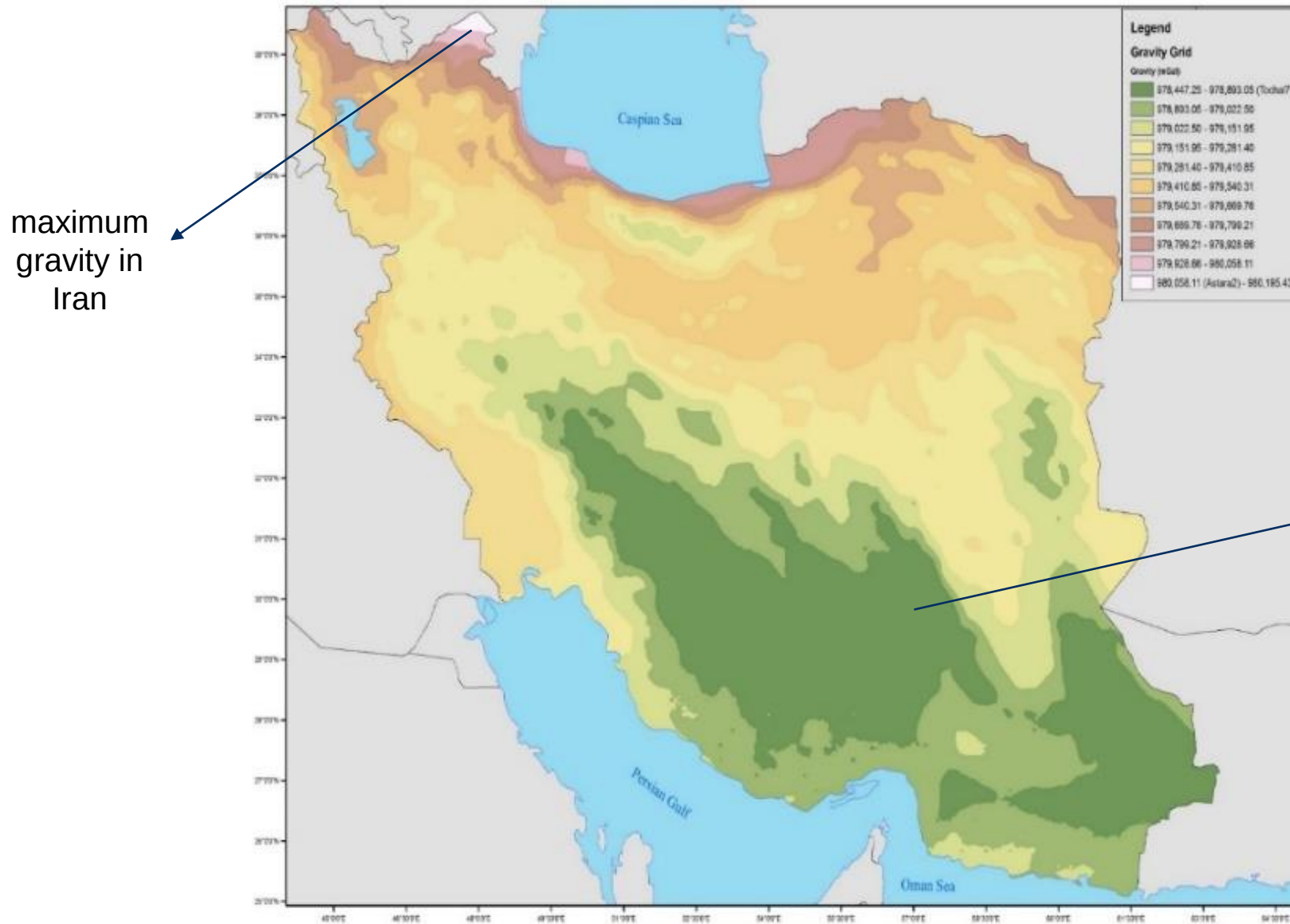
➤ کاربرد ثقل سنجی

- ✓ مطالعات ژئودینامیکی: شبکه‌های ثقل سنجی به اندازه‌گیری تغییرات بلندمدت در میدان جاذبه زمین کمک می‌کنند که به تحلیل حرکات تکتونیکی، تغییرات سطحی زمین و فرآیندهای دینامیکی زمین‌شناسی کمک می‌کند.
- ✓ مطالعات علوم فضایی: شبکه‌های ثقل سنجی به مطالعه تغییرات جاذبه‌ای در سطح زمین و تأثیرات گرانشی اجرام آسمانی بر زمین کمک می‌کنند.
- ✓ هیدرولوژی: شبکه‌های ثقل سنجی می‌توانند تغییرات در سطح آب‌های زیرزمینی و منابع آب سطحی را اندازه‌گیری کنند که برای مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کشاورزی و شهری مهم است.
- ✓ مطالعات زمین‌شناسی: استفاده از شبکه‌های ثقل سنجی به شناسایی ساختارها و ویژگی‌های زیرسطحی زمین کمک می‌کند. این اطلاعات برای اکتشاف منابع طبیعی مانند نفت، گاز و مواد معدنی بسیار مفید است.
- ✓ مطالعات جوی: استفاده از ثقل سنجی برای اندازه‌گیری تغییرات جاذبه‌ای به دلیل تغییرات جرم در جو می‌تواند به فهم بهتر فرآیندهای جوی و پیش‌بینی وضعیت هوا کمک کند.

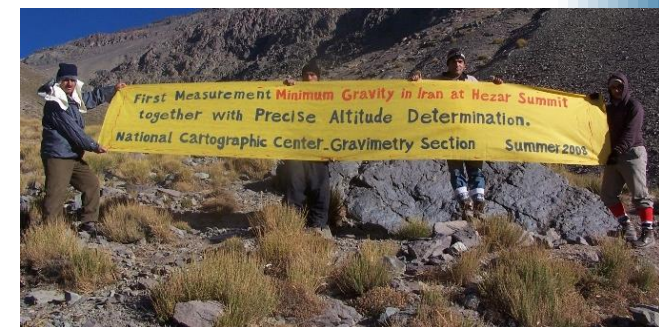
سازمان نقشه‌برداری کشور

مفهوم شتاب ثقل و کاربردهای آن

➤ دامنه تغییرات شتاب ثقل در ایران: ۱۷۰۰ میلی گال



Hezar :
Minimum
gravity in Iran
 $G = 978178.229$
mGal



نحوه تعیین شتاب ثقل



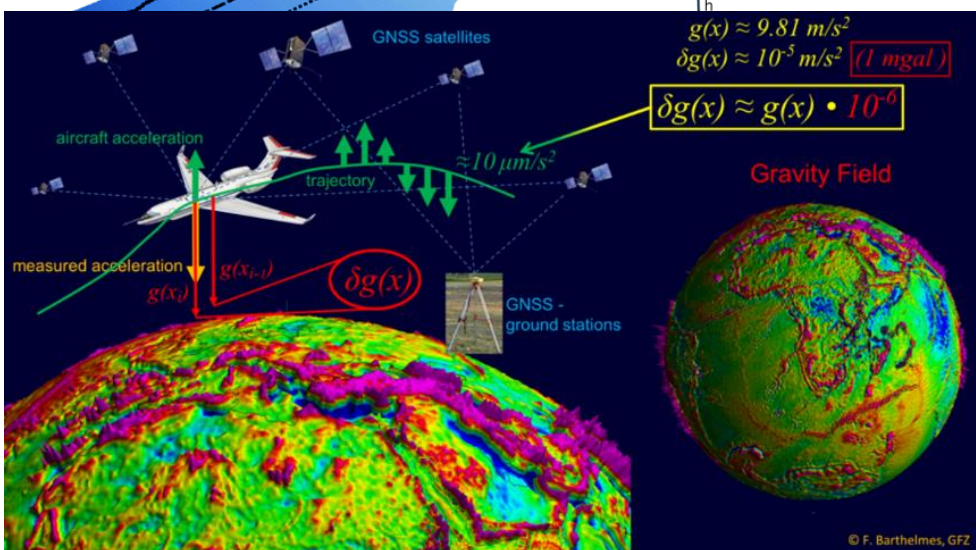
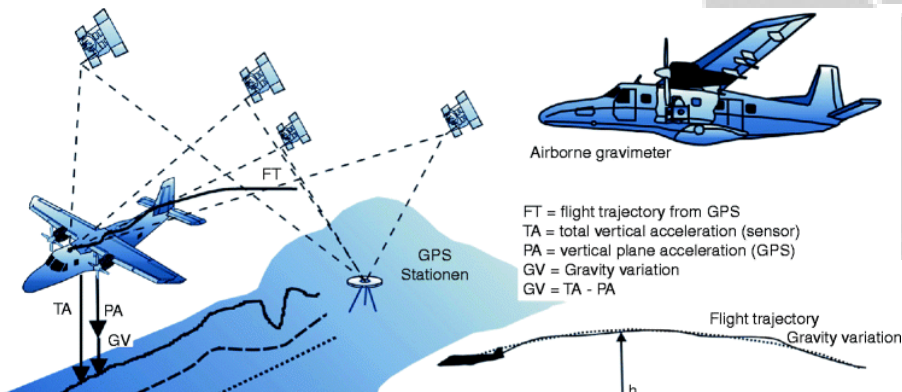
➤ امروزه سه روش برای تعیین شتاب ثقل زمین وجود دارد:

✓ اندازه‌گیری به روش زمینی یا Terrestrial Gravimetry

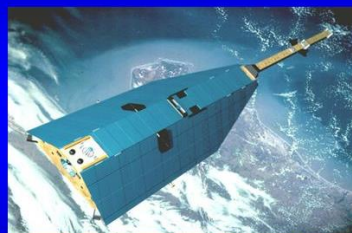
✓ اندازه‌گیری به روش هوایی یا Airborne Gravimetry

✓ اندازه‌گیری به روش ماهواره‌ای یا Satellite Gravimetry

➤ اندازه‌گیری‌های زمینی جزء دقیق‌ترین روشها هستند اما با محدودیتهایی نظیر وقت گیر بودن و سرعت پایین این مشاهدات و ... مواجه می‌باشند.

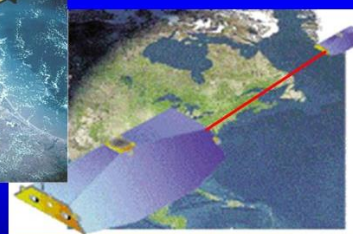


CHAMP (2000)



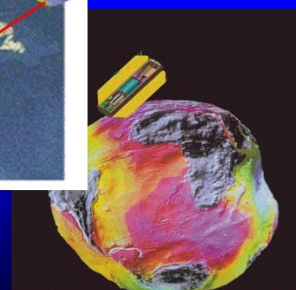
Semmering, 2002-10-17

GRACE (2002)

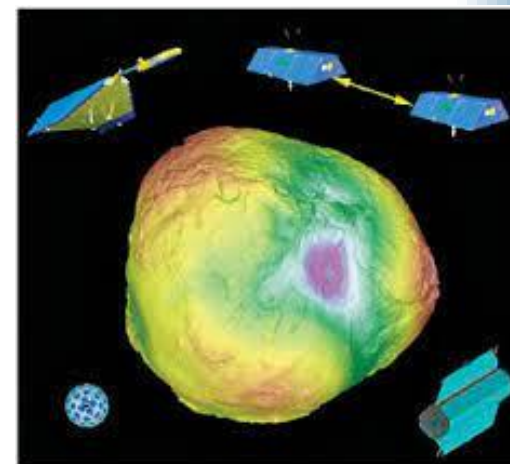


SAG-BGÖ 2002

GOCE (2006)



H. Sunkel



نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق

✓ دستگاه آونگ

✓ دستگاه سقوط آزاد

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی

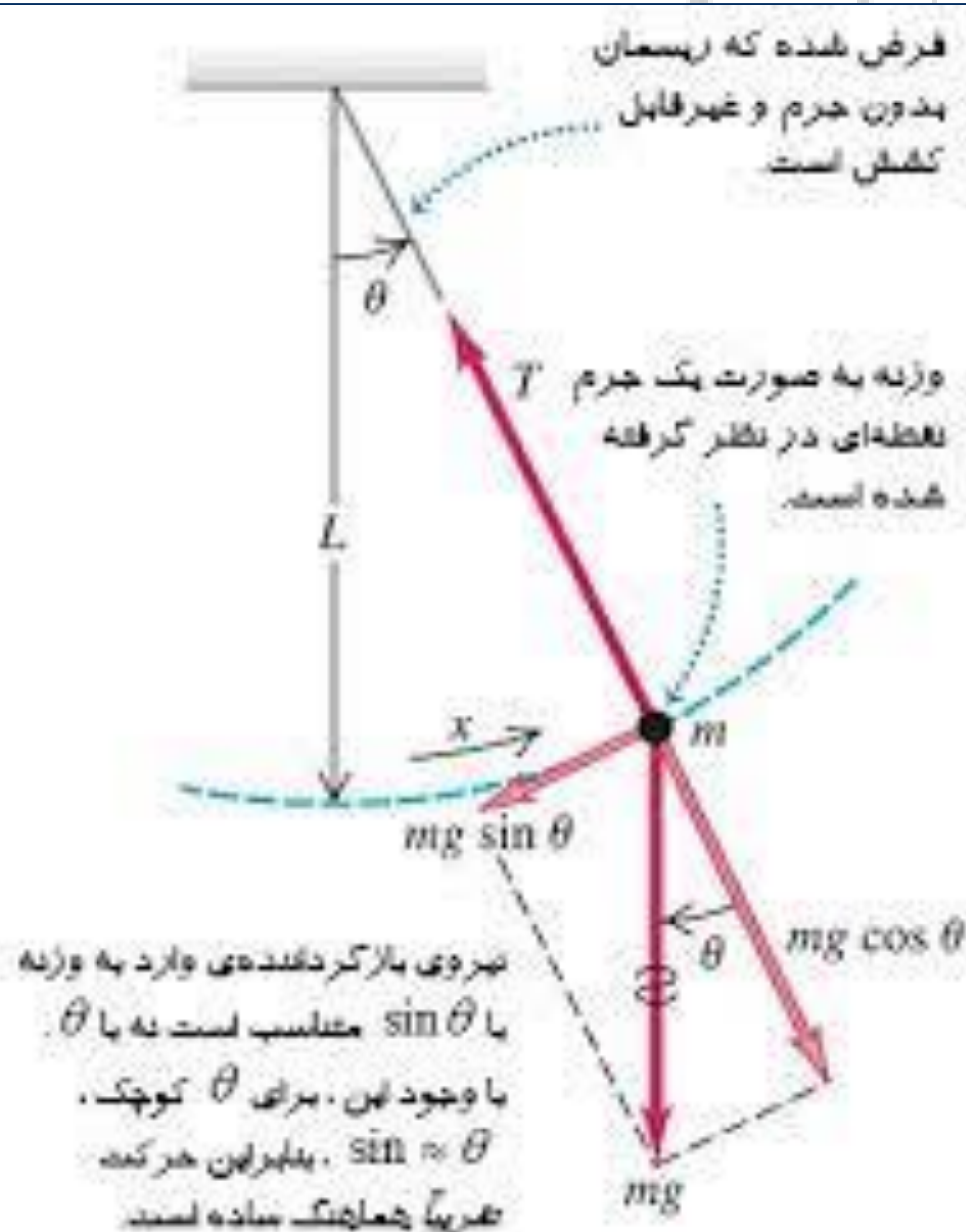
✓ اختلاف شتاب ثقل با استفاده از دستگاه‌های گراویمتر نسبی



نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه آونگ : اولین روش برای اندازه‌گیری مقدار نیروی جاذبه از زمان گالیله و آزمایش آونگ بوده است.

➤ گالیله متوجه شد که اگر آونگ را از حالت ایستا خارج کرده و رها کند، تنها نیرویی که به آن حرکت خواهد داد، نیروی جاذبه زمین خواهد بود. و به شرط عدم وجود اتمسفر و اصطکاک بین آونگ و مولوکول‌های هوا، حرکت آونگ متوقف نخواهد شد.



سازمان نقشه بردار

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه آونگ : جرمی که به انتهای نخ بی وزنی آویخته باشد و بتواند حول محور افقی در یک صفحه قائم نوسان کند
- در حالی که بتوان از ابعاد گلوله در برابر نخ و همچنین از وزن نخ در برابر گلوله صرف نظر کرد می‌توان ثابت کرد که زمان نوسان تابع طول آونگ و شتاب ثقل می‌باشد.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

طول آونگ →

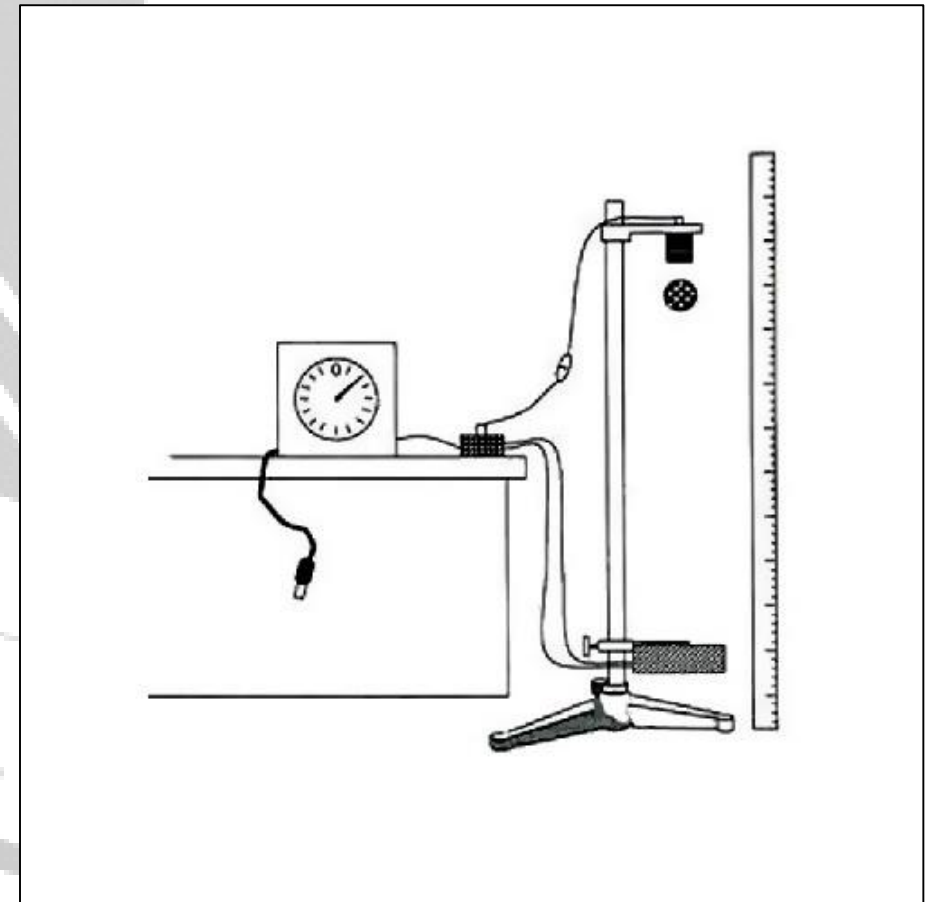
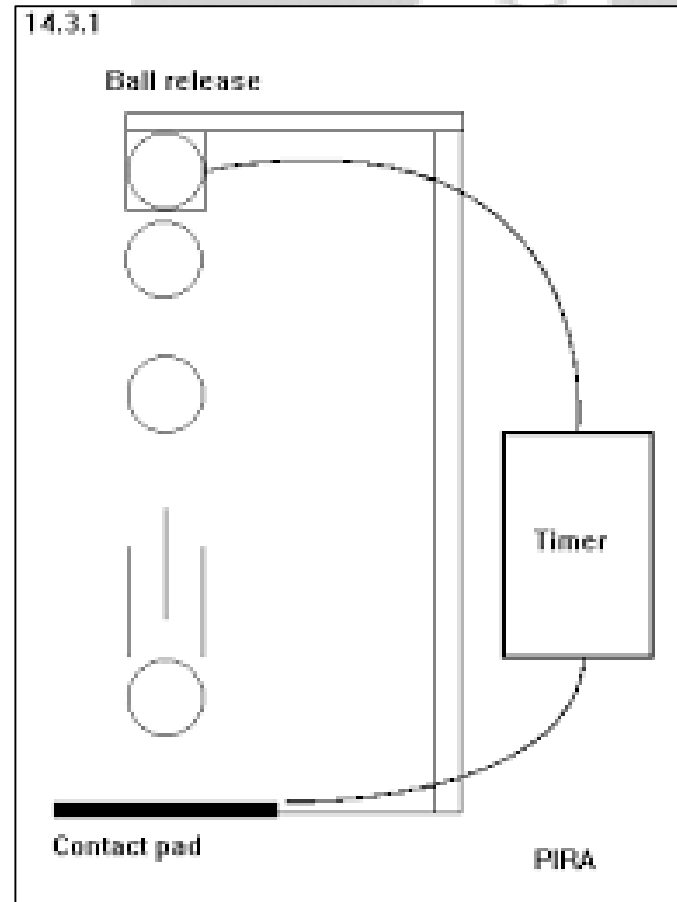
- جایی که جاذبه ضعیف‌تر باشد، نیروی کم‌تری برای کشیدن آونگ به سمت پایین وجود خواهد داشت و زمان بیش‌تری طول خواهد کشید تا آونگ به موقعیت خود در حالت ایستا برسد و برعکس.

سازمان نقشه‌برداری کشور

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه سقوط آزاد: در این روش شیئی در یک محفظه خلاء حرکت سقوط آزاد انجام می‌دهد و با اندازه‌گیری مسافت و زمان هر سقوط با استفاده از روابط مربوطه مقدار شتاب ثقل در هر نقطه قابل محاسبه است.

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow g = \frac{2h}{t^2}$$



نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه سقوط آزاد: برای تعیین شتاب ثقل با دقت $(1\mu\text{gal})$ اندازه‌گیری دقیق زمان با دقت 10^{-10} و فاصله با دقت 10^{-9} مورد نیاز است.
- چالش برانگیزترین مسئله کار اندازه‌گیری زمان و مسافت با دقت لازم بود. با پیشرفت‌هایی که در زمینه الکترونیک، ساعتهای کوارتز، فناوری خلا و لیزر انجام گرفت، امکان دستیابی به سطح دقت مورد نیاز فراهم گردید.
- چالش دیگر، ایجاد یک چارچوب مرجع پایدار به منظور جلوگیری از اثر نویزهای خردلرزه طبیعی و مصنوعی بود.

سازمان نقشه‌برداری کشور

g Determination

- Fringe = $1/2 x_i$
- For each x_i , a measured time t_i
- The following function is fitted to the data x_i, t_i :

$$\left. \begin{aligned} x_i = x_0 + v_0 \tilde{t}_i + \frac{g_0 \tilde{t}_i^2}{2} + \frac{\gamma x_0 \tilde{t}_i^2}{2} + \frac{1}{6} \gamma v_0 \tilde{t}_i^3 + \frac{1}{24} \gamma g_0 \tilde{t}_i^4 \\ \tilde{t} = t_i - \frac{(x_i - x_0)}{c} \end{aligned} \right\} x_i, t_i, i = 1, \dots, 700$$

- γ is the vertical gravity gradient ($\sim 3 \mu\text{Gal/cm}$),
- c the speed of light
- x_0 the initial position
- v_0 the initial velocity
- g_0 the initial acceleration

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه سقوط آزاد



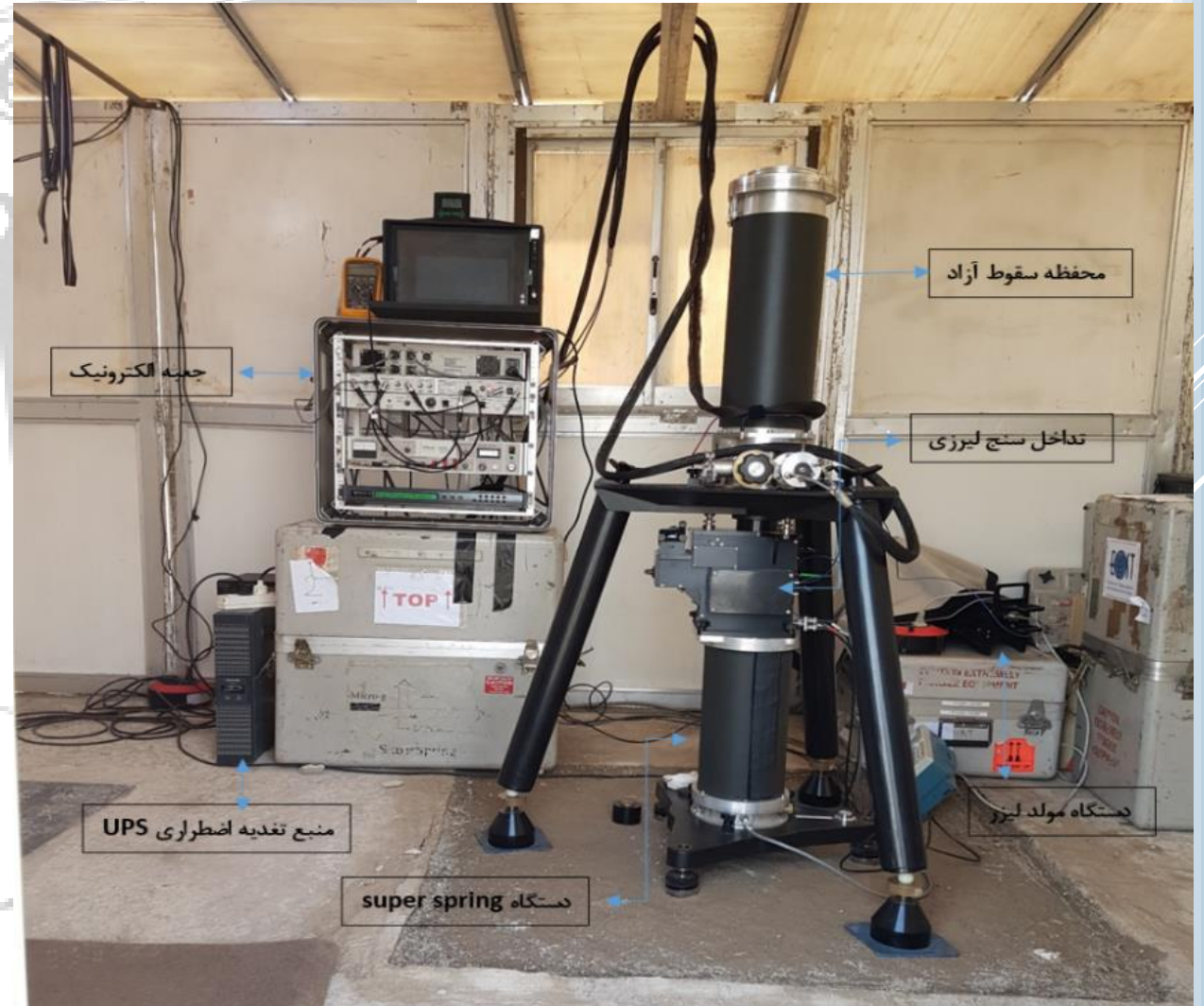
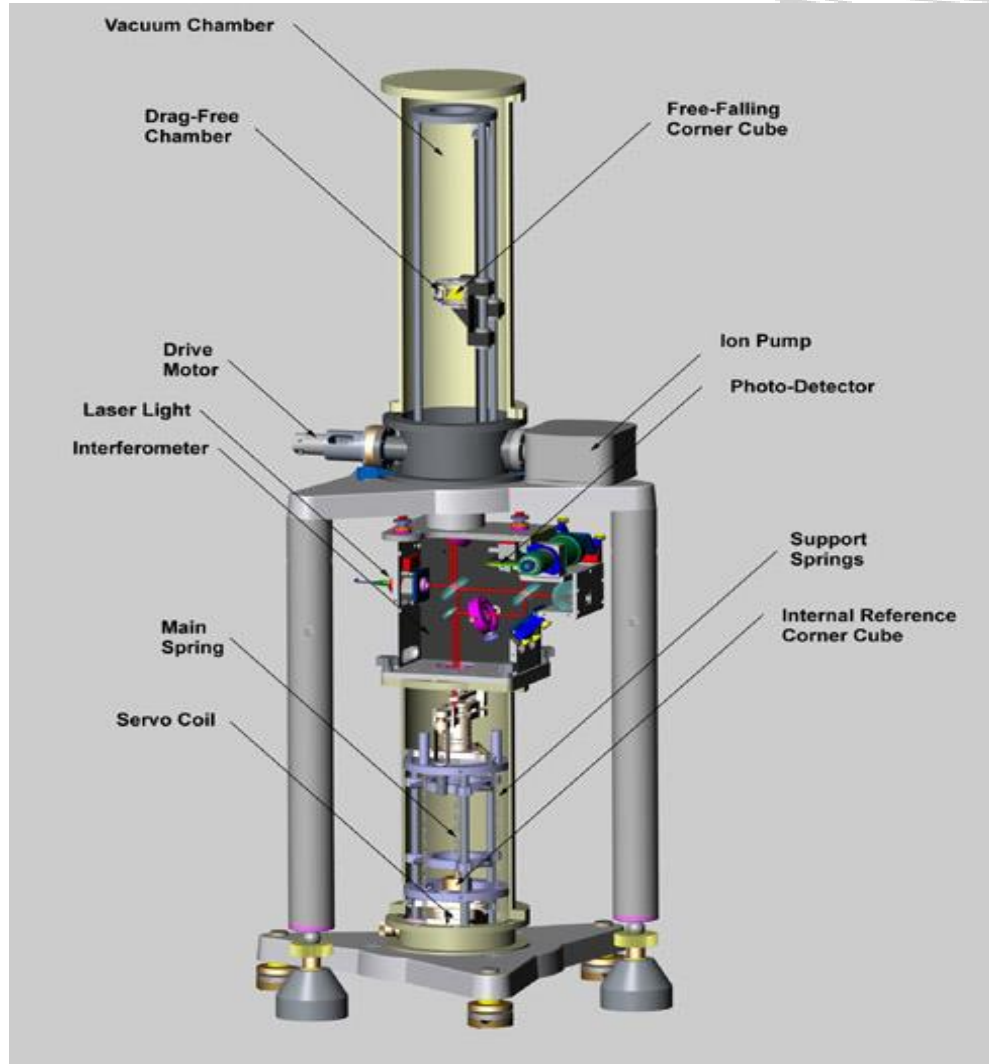
ثقل سنج مطلق کلاسیک (الف) سمت راست FG5X (ب) سمت چپ A10

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه سقوط آزاد: دستگاه ثقل سنج مطلق FG5 از نوع ثقل سنج‌های بالستیک می‌باشد که اندازه‌گیری شتاب ثقل را با دقت ۱ تا ۲ میکروگال در حالت ساکن امکان پذیر می‌نماید.
- نحوه کار دستگاه شبیه سایر گراویمترهای مطلق بالستیک است، بر اساس اندازه‌گیری فاصله جرم نمونه (منشور) در حال سقوط آزاد (از ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) به طور پیوسته و مکرر در محفظه خلاء با استفاده از لیزر دقیق به روش تداخل سنجی به همراه ثبت دقیق زمان می‌باشد
- با اندازه‌گیری مسافت و زمان هر سقوط با استفاده از روابط مربوطه مقدار شتاب ثقل در هر نقطه قابل محاسبه است. در اینجا نیروهای غیرجاذبی مانند کشش هوا، الکتروستاتیک و رطوبت هوا می‌نیمم می‌شوند

نحوه اندازه گیری شتاب ثقل

➤ اندازه گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه سقوط آزاد: دستگاه از ۷ جزء اصلی تشکیل شده است : پمپ تخلیه هوا، محفظه سقوط، دستگاه مولد لیزر، تداخل سنج لیزری، دستگاه Super spring، دستگاه GPS، جعبه الکترونیک



نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق با دستگاه سقوط آزاد: در این دستگاه مقدار شتاب ثقل محاسبه شده با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار مطلق شتاب ثقل در نقطه بالایی دستگاه در محفظه سقوط می‌باشد.
- مقدار شتاب ثقل محاسبه شده در ارتفاع، به روی سطح زمین منتقل می‌گردد و تصحیحات لازم روی مقادیر بدست آمده اعمال می‌شود. نرم افزاری که برای پردازش داده‌های دستگاه FG5 مورد استفاده قرار می‌گیرد، نرم افزار gsoft می‌باشد.

➤ تصحیحات انجام گرفته روی مقادیر شتاب ثقل:

✓ تصحیح جزر و مد زمین و بارهای اقیانوس

✓ تصحیح فشار اتمسفر

✓ تصحیح حرکت قطبی

✓ تصحیح انتقال ارتفاع

سازمان نقشه برداری کشور

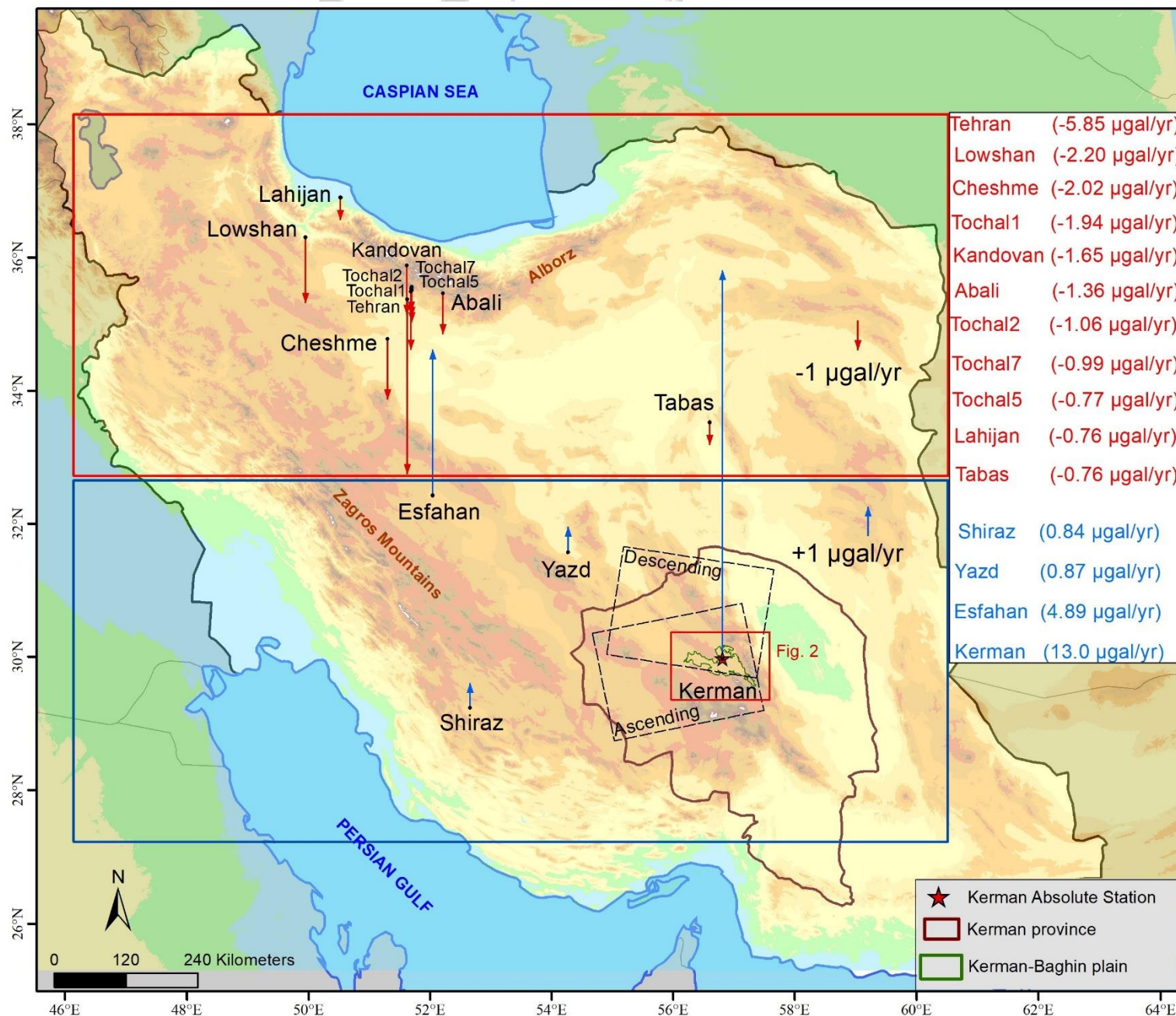
تغییرات زمانی شتاب ثقل

➤ به دلیل اینکه ۹۹٪ مقدار میدان شتاب ثقل زمین در طول زمان ثابت می‌باشد به عنوان یک میدان پایدار در نظر گرفته می‌شود. بررسی یک درصد باقی‌مانده تغییرات شتاب ثقل که ناشی از فرآیندهایی است که در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف رخ می‌دهد، مورد توجه محققین می‌باشد.

➤ از جمله تغییرات زمانی میدان ثقل می‌توان به تغییرات ثابت جهانی جاذبه، تغییرات سرعت دورانی زمین، تغییر آرایش جرم داخلی زمین (توزیع مجدد جرم) بر اثر جزر و مد زمین جامد و دریا، تغییرات در جریان‌ات آب‌های سطحی و سطح آب‌های زیرزمینی، تغییر شکل ناشی از بازگشت پس از دوران یخبندان، تغییرات جریان‌ات اقیانوسی، فعالیت‌های آتشفشانی، تغییرات اتمسفر، وضعیت توپوگرافی محل و تغییرات دانسیته محلی در اثر فشردگی صفحات تکتونیکی در مناطق فعال ژئودینامیکی نام برد. حرکت صفحات تکتونیکی باعث ایجاد زلزله می‌شود. تاثیرات زلزله علاوه بر حرکت صفحات تکتونیکی و تغییر توزیع جرم در درون زمین می‌تواند باعث تغییرات جرمی دیگری در روی سطح زمین شود که تغییرات جرم در اقیانوسها از جمله آن می‌باشد

سازمان نقشه برداری کشور

تغییرات زمانی شتاب ثقل

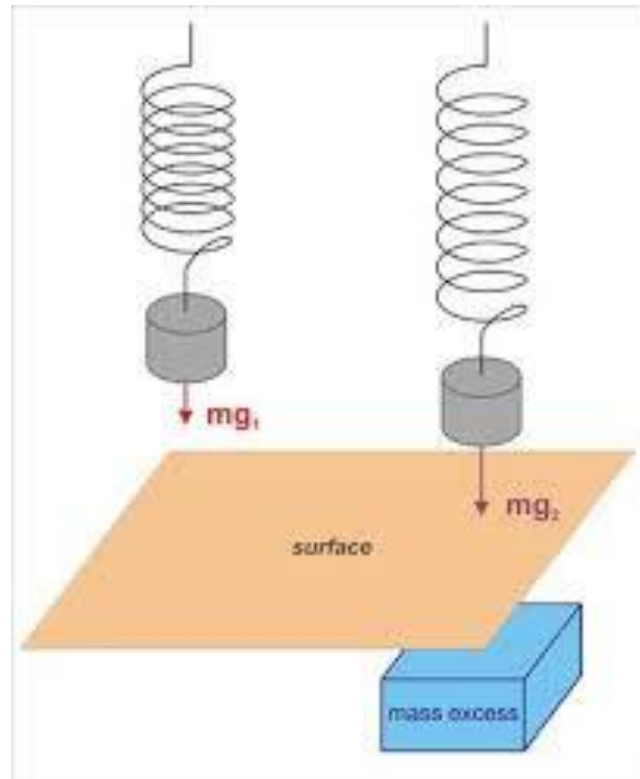


نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی: روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری شتاب گرانی نسبی بین نقاط وجود دارد که معروفترین آنها استفاده از کشش فنر است که عمده گراویمترهای نسبی امروزی برای دستیابی به دقتی در حدود ۵-۱۰ میکروگال از این روش استفاده می‌کنند. اساس کار در این گراویمترهای نسبی بر اساس روش تغییر طول فنر است

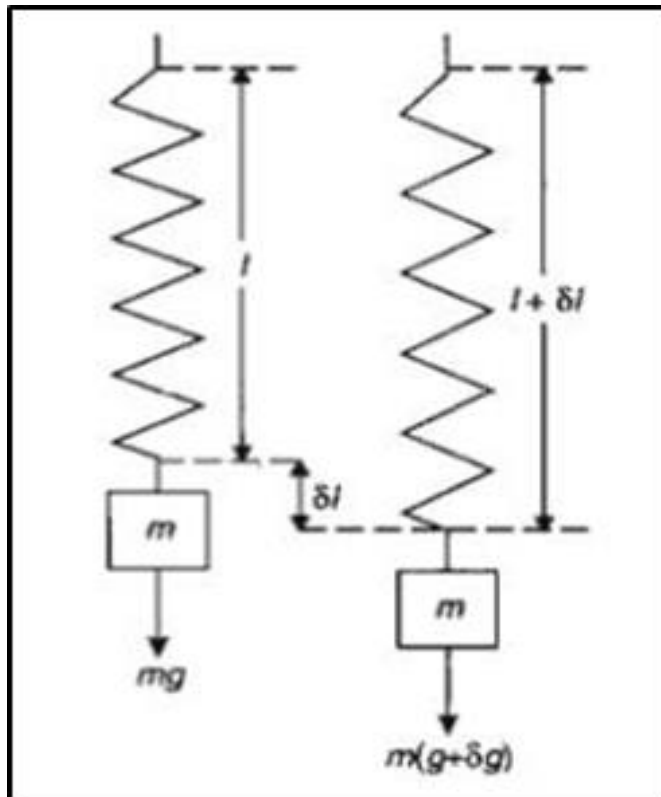
➤ اختلاف شتاب گرانی بین نقاط متناسب با تغییر طول فنر خواهد بود. وقتی شتاب گرانی از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می‌کند، نیروی وارد به جرم نمونه تغییر یافته که این امر منجر به تغییر طول فنر نگه‌دارنده می‌شود.

➤ در صورتی که بتوان چنین تغییراتی را با دقت کافی اندازه‌گیری کرد می‌توان تغییرات میدان جاذبه را به آسانی بدست آورد.



نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی : اساس کار گراویمترهای فنردار به جنس فنر الاستیک آن بستگی دارد و هر چه خاصیت الاستیسیته فنر بیشتر باشد، اعتبار دستگاه گراویمتر نیز بیشتر خواهد بود.
- مطابق قانون هوک در یک فنر ایده‌آل (دارای ضریب الاستیسیته ثابت) نسبت افزایش تنش یا استرس وارده به فنر به افزایش استرین فنر مقداری ثابتی است که آن را ضریب الاستیسیته فنر K می‌نامند.



$$mg = k(l - l_0) \qquad \Delta g_{12} = \frac{k}{m} \Delta l_{12}$$

- در صورتیکه بتوان مقدار تغییر طول فنر را با روش مناسبی اندازه‌گیری نمود اختلاف شتاب گرانی بین دو نقطه است، قابل محاسبه خواهد بود.

سازمان نقشه‌برداری کشور

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی : دقت این روش بستگی به دقت اندازه‌گیری تغییر طول فنر خواهد داشت. برای اندازه‌گیری شتاب جاذبه با دقت ۱ میکروگال باید تغییرات طول فنر با دقت 10^{-8} میلی‌متر اندازه‌گیری شود.
- تا چند دهه پیش، در دستگاه‌های کوچک و سبک امکان اندازه‌گیری تغییر طول با این دقت میسر نبوده است. از سال ۱۹۸۴، کارخانه سینترکس Scintrex تلاش خود را برای ایجاد نسل جدیدی از گراویمترهای زمینی آغاز کرد.
- از معروفترین دستگاه‌های گراویمتر نسبی دقیق این کارخانه می‌توان به مدل‌های CG-3M و CG-5 اشاره کرد.
- در گراویمترهای CG-3M و CG-5، اثراتی مانند رانه بلند Long-term drift، تغییرات درجه حرارت باقیماندهٔ سنسور، جزرومد ماه و خورشید و تلیت سنسور نسبت به حالت قائم، به صورت همزمان با استفاده از نرم‌افزار تصحیح می‌شوند.

$$R = RU + ETC + TIC - TEC + DC$$

Drift Correction

Earth Tide Correction Tilt Correction Temperature Correction

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

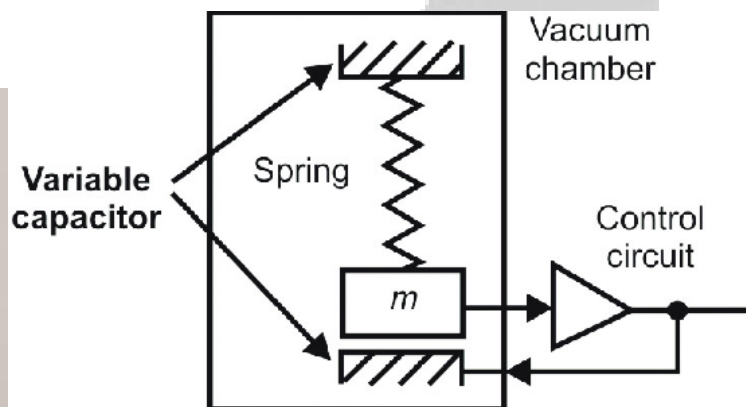
➤ سازمان نقشه‌برداری در حال حاضر شش گراویمتر نسبی، سه گراویمتر CG-3M و سه گراویمتر CG-5، در اختیار دارد.

➤ دقت داده‌های شتاب گرانی حاصل از دستگاه‌های گراویمتر نسبی فنردار، به عواملی متعددی نظیر دقت دستگاه، کیفیت اندازه‌گیری‌های انجام شده، تنظیمات و تصحیحات مختلفی که باید به مشاهدات چه به صورت همزمان و یا غیرهمزمان اعمال شوند، بستگی دارد. دستگاه‌های گراویمتر نسبی نیازمند تنظیم و کالیبره کردن منظم و دوره‌ای هستند. این تنظیمات باید قبل از عملیات گراویمتری بطور مرتب و دقیق انجام شده و پارامترهای مدنظر به دستگاه اعمال گردد.

➤ پارامترهایی که نیازمند بررسی دوره‌ای هستند عبارتند از رانه دستگاهی، ثابت کالیبراسیون (فاکتور مقیاس)، جابه‌جایی تیلت و حساسیت تیلت. دو عامل اصلی و جدی که مشاهدات گراویمترهای نسبی را مختل می‌کنند رانه دستگاهی و ثابت کالیبراسیون هستند که لازم است به این موارد توجه ویژه نمود.

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ دستگاه‌های گراویمتر نسبی سبک و قابل حمل و نقل



CG-5



CG-3M

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ شرایط نگهداری دستگاه گراویمتر نسبی CG-3M و CG-5 :

✓ حفظ تعادل دمای سیستم و نیز استقرار دائمی دستگاه بر روی سه پایه مخصوص بحالت تراز از جمله شرایطی هستند که همواره باید مد نظر قرار گیرند.

✓ قبل از هر گونه اندازه‌گیری ثقل با استفاده از این دستگاهها لازم است که از تنظیم دریافت و تنظیم موقعیت صفر سنسور تیلتهای X و Y و تنظیم حساسیت تیلتهای تراز X و Y دستگاه اطمینان حاصل کرد.

✓ بطور متوسط تنظیم دریافت دستگاه برای دستگاههای کار کرده در حدود یک ماه یکبار و برای دستگاههای نو در حدود هر هفته یکبار میباشد. در مواقعی که شوک به دستگاه وارد می‌شود، اختلاف عرض جغرافیایی یا دمای فاحش در حین عملیات گراویمتری بوجود می‌آید لازم است دریافت دستگاه کنترل و تنظیم گردد.

✓ برای تنظیم دریافت، دستگاه را بر روی سکوی با ثباتی قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت قرائت ثقل انجام می‌شود. سپس مقدار جدید دریافت با استفاده از قرائت اول و آخر و نیز دریافت قبلی دستگاه به دستگاه معرفی می‌شود.

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ شرایط کار با دستگاه گراویمتر نسبی CG-3M و CG-5 :

- ✓ هنگامی که دستگاه درون وسیله نقلیه قرار دارد از سرعت بالا، دست انداز جاده، ترمزهای پی درپی و شتاب‌های ناگهانی وسیله نقلیه جلوگیری کرد.
- ✓ برداشتن و گذاشتن دستگاه بر روی زمین در حین جابجایی بایستی با احتیاط کامل صورت گیرد.
- ✓ در موقع جابجایی بین ایستگاه‌ها، اگر مدت توقف طولانی باشد (بیشتر از ۱۰ دقیقه) لازم است که دستگاه از ماشین خارج شده و در محل مناسبی دور از دسترس دیگران به حالت تراز مستقر شود.
- ✓ در موقع جابجایی حتما وضعیت شارژ باتریها و دمای دستگاه بایستی کنترل شود.

سازمان نقشه‌برداری کشور

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ شرایط کار با دستگاه گراویمتر نسبی CG-3M و CG-5 :

- ✓ قبل از هر اندازه‌گیری بسته به مسافت طی شده بین ایستگاه‌ها بمنظور ایجاد تعادل در دستگاه توقف زمانی ما بین ۵ تا ۲۰ دقیقه الزامی است.
- ✓ از تابش مستقیم نور خورشید به دستگاه در حین قرائت می‌بایست جلوگیری کرد در غیر اینصورت باعث تغییر تراز دستگاه می‌شود.
- ✓ از برخورد هر گونه وزش باد و نسیم به دستگاه تا حد امکان می‌بایست جلوگیری کرد در غیر اینصورت نویز در اندازه‌گیریها بوجود می‌آید.
- ✓ لازم است پیرامون دستگاه محیطی آرام و امن بوجود آورد و از هرگونه تردد غیر ضروری در اطراف دستگاه جلوگیری کرد.

سازمان نقشه‌برداری کشور

تاریخچه شبکه‌های ثقل‌سنجی در ایران

- اندازه‌گیری شتاب‌ثقل در ایران برای اولین بار به سال ۱۲۸۴ بر می‌گردد. این اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه Torsion Balance به منظور عملیات اکتشاف انجام شد. در سال ۱۲۹۳ در حوزه‌های نفتی استان خوزستان شتاب‌ثقل با استفاده از گراویمتر Thyssen اندازه‌گیری گردید.
- گراویمتری با مفهوم علمی و آکادمیک آن از سال ۱۳۳۷ در موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به منظور تهیه نقشه شتاب‌ثقل کشور با هماهنگی و همکاری سازمان گراویمتری جهانی World wide gravity survey بین سالهای ۱۳۳۹ تا ۱۳۴۷ انجام شد. برای این منظور اولین شبکه گراویمتری درجه یک کشور طراحی و اندازه‌گیریهای شتاب‌ثقل بر روی نقاط آن با استفاده از دستگاه گراویمتر Askania Graf انجام گردید.
- بعلاوه کم بودن دقت این دستگاه شبکه جدیدی متشکل از ۲۳ نقطه طراحی و ایجاد شد که ۱۴ نقطه آن در فرودگاهها و بقیه در نقاط راه‌آهن واقع بودند در این شبکه مقدار شتاب‌ثقل نقاط با استفاده از گراویمتر LaCoste & Rhombert متعلق به سرویس نقشه‌برداری ارتش آمریکا اندازه‌گیری گردید.

تاریخچه شبکه‌های ثقل‌سنجی در ایران

- در بانک اطلاعاتی قدیمی داده‌های شتاب‌ثقل کشور، می‌توان به داده‌های جمع‌آوری شده توسط شرکت ملی نفت ایران در حوزه‌های نفتی و داده‌های گرانی موجود در بانک جهانی که توسط BGI جمع‌آوری شده، نیز اشاره نمود.
- داده‌های BGI توسط اداره بین‌المللی گراویمتری Bureau Gravimetric International بین سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ در ایران اندازه‌گیری شده‌اند که بالغ بر ۹۰۰۰ داده شتاب‌ثقل می‌باشد
- به منظور تصحیح اثر میدان گرانی زمین بر روی شبکه‌های ارتفاعی، اندازه‌گیری شتاب‌ثقل بر روی نقاط شبکه ترازیبی درجه یک کشور در سال ۱۳۶۰ آغاز گردید. با خرید سه دستگاه گراویمتر از نوع CG-3M در سال ۱۳۷۸ و سه دستگاه گراویمتر نوع CG-5 در سال ۱۳۸۰، فعالیت‌های گراویمتری بر روی این شبکه با سرعت بیشتری گسترش یافت.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ به منظور یکسان‌سازی عملیات گراویمتری شبکه‌هایی یکپارچه و با تراکم همگن در سرتاسر کشور ایجاد شد تا با در اختیار داشتن این شبکه‌ها، تمامی فعالیت‌های گراویمتری در سطح کشور تحت یک سیستم واحد درآید.

➤ وجود شبکه‌های گراویمتری در واقع چارچوبی برای یکپارچه کردن کلیه اطلاعات شتاب‌ثقل جمع‌آوری شده در سطح کشور است

➤ در صورت تکرار اندازه‌گیری‌ها، از آنها می‌توان برای تعیین تغییرات زمانی شتاب‌ثقل در منطقه استفاده کرد.

➤ از اطلاعات شتاب‌ثقل با تراکم مناسب و دقت بالا می‌توان برای مدلسازی محلی میدان گرانی زمین، محاسبه ژئوئید دقیق بعنوان سطح مبنای ارتفاعی کشور، تعیین تصحیحات مربوط به اثر میدان گرانی زمین بر روی ارتفاع‌های خام ترازیبی دقیق، محاسبه زاویه انحراف‌های قائم و انحنای راستای شاغولی، محاسبه دانسیته توده‌های داخل زمین و دیگر موارد استفاده نمود.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور



Zero order Gravity Net

➤ شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر

1st order GLGAM Net

➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک

2nd order GLGAM Net

➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو

3rd order Gravity Net

➤ شبکه ثقل‌سنجی درجه سه

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شرایط عمومی در مکان‌یابی نقاط شبکه ثقل:

- ✓ در محیطی آرام، دور از مسیر تردد و از دریای آزاد و رودخانه و کانال آب فاصله داشته باشد.
- ✓ دور از کارخانجات صنعتی با نویز زیاد، راه‌آهن و فرودگاه‌ها انتخاب شود.
- ✓ به دور از مناطق حفاری، تونل‌ها، معادن و محل استخراج منابع زیرزمینی آب، نفت، گاز و... انتخاب شود.
- ✓ نباید در نزدیکی چشمه آب، قنات و دریاچه (حداقل ۴۰۰ متر) انتخاب شود.
- ✓ نباید در نزدیکی ریشه درختان انتخاب شود.
- ✓ به دور از خطوط فشار قوی انتقال نیرو و ایستگاه‌های رادیویی (حداقل ۴۰۰ متر) انتخاب شود.
- ✓ نباید در زمین‌های سست، نظیر باتلاق، نیزار، شن‌زار یا یخچال انتخاب شود.
- ✓ نباید در شیب‌های تند یا نزدیک شیب‌های تند توپوگرافی و بریدگی‌های زمینی باشد.
- ✓ نباید در مسیر سیل، داخل مسیل یا در محل‌های گود و آب‌گیر انتخاب شود.

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شرایط عمومی در مکان‌یابی نقاط شبکه ثقل:

- ✓ با توجه به این‌که اندازه‌گیری‌های ثقل و GPS روی این نقاط در زمان‌های شب و روز صورت می‌گیرد، باید در محلی انتخاب گردد که از امنیت لازم برخوردار باشد.
- ✓ نباید در مناطق نظامی، ملک شخصی، زمین کشاورزی یا در محل توسعه راه، روستا و شهر انتخاب شود.
- ✓ نباید در زمین‌های آبرفتی که در معرض فرسایش شدید قرار دارند، انتخاب شود.
- ✓ باید به نحوی انتخاب شود که امکان انجام مشاهده ۲۴ ساعته بدون مزاحمت و در محیطی آرام فراهم گردد.
- ✓ باید به نحوی انتخاب و ایجاد شود که قابلیت ماندگاری داشته باشد.
- ✓ باید قابلیت دسترسی با اتومبیل را جهت حمل مصالح به منظور ساختمان و انجام مشاهدات داشته باشد.
- ✓ تشعشعات مغناطیسی در نزدیکی ایستگاه وجود نداشته باشد.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شرایط عمومی انتخاب نقاط شبکه ثقل:

- ✓ در صورت یافتن سنگ در محل احداث نقطه، سنگ انتخاب شده باید جزو سنگ‌های ریشه‌دار در منطقه باشد که به‌خوبی در زمین دفن شده و بخشی از آن بالای سطح زمین قرار داشته باشد.
- ✓ سنگ انتخاب شده باید به نحوی باشد که امکان ساب، تراش و تراز کردن سطح آن در ابعاد مد نظر فراهم گردد.
- ✓ محدوده نقطه دارای ترک‌های عمیق و شکستگی نباشد.
- ✓ سنگ انتخابی باید پیوسته (یک‌تکه) بوده و هنگام ضربه زدن با چکش صدای پوکی و بم ندهد.
- ✓ سنگ انتخابی باید از نوعی باشد که دچار هوازدگی نشود

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شرایط عمومی انتخاب نقاط شبکه ثقل:

- ✓ در برخی از مناطق امکان احداث نقطه سنگی می‌باشد ولی امکان ساب و تراز کردن سطح سنگ موردنظر به دلیل شکل آن و هوازگی سنگ وجود ندارد، در این حالت با برداشتن سطح هوازده سنگ می‌توان به سنگ بکر و محکم رسید. در این گونه موارد از سرقالب بتنی که بر روی سنگ ایجاد می‌شود
- ✓ در مناطقی که احداث نقطه سنگی امکان پذیر نیست (به دلیل فقدان سنگ ریشه‌دار مناسب)، باید نقطه را از نوع بتنی احداث نمود.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

- شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر ایران در سال ۱۳۷۶ مشتمل بر ۲۱ نقطه با همکاری اساتید دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در سازمان نقشه‌برداری کشور طراحی شد.
- در حال حاضر تعداد نقاط این شبکه به ۳۹ نقطه رسیده است.
- این شبکه زیربنای تمامی شبکه‌های ثقل‌سنجی در کشور محسوب می‌شود.



مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر: سطح نقطه باید افقی و محکم بوده و محوطه‌ای مسطح و تراز به مساحت حداقل ۱۰

مترمربع ۵×۲ در اطراف آن ایجاد شود





il

شماره نامه ایستگاه نقل مطلق

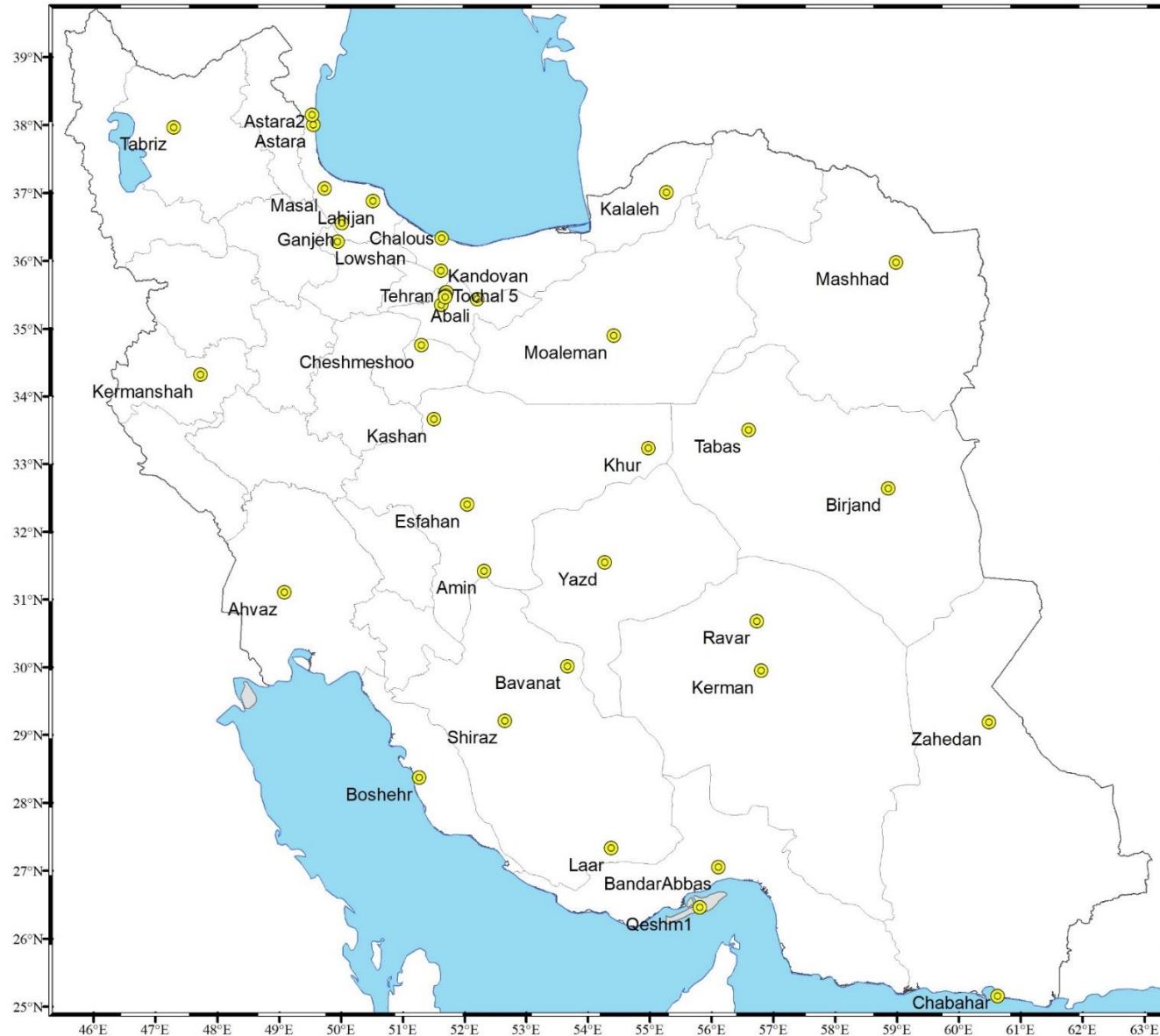
شماره نامه ایستگاه نقل مطلق

تیمارہ ردیفہ
تیمارہ پروندہ باہگانی
پوسندہ

[illegible]

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ نقاط شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر



نحوه اندازه‌گیری شتاب‌ثقل

- اندازه‌گیری شتاب‌ثقل شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر با روش اندازه‌گیری شتاب‌ثقل مطلق تعیین شده است.
- اندازه‌گیری شتاب‌ثقل این شبکه در سری اول از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۸۶ صورت گرفت و همچنین در ادامه در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در چندین نوبت بر روی بسیاری از نقاط این شبکه با دقتی حدود ۲-۱ میکروگال انجام گرفته است.
- اندازه‌گیری شتاب‌ثقل مطلق با شروع همکاری بین‌المللی سازمان نقشه‌برداری کشور با متخصصان و اساتید دانشگاه‌های استراسبورگ، مونت پولیه و موسسه تحقیقاتی CNRS فرانسه، با استفاده از گراویمتر مطلق FG5 متعلق به این دانشگاه‌ها انجام گردید.
- از این شبکه گراویمتری درجه صفر به منظور کالیبره کردن مشاهدات دستگاه‌های گراویمتر نسبی نیز استفاده می‌شود.

سازمان نقشه‌برداری کشور

نحوه اندازه گیری شتاب ثقل

➤ تاریخ اندازه گیری شتاب ثقل مطلق شبکه ثقل سنجی درجه صفر

No	Station	Name	Code	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2009	2013	2017	2018
1	TochalSummit	NGCLI01	1001											
2	Tochal 7	NGCLI02	1002					*						*
3	Tochal 5	NGCLI03	1003					*	*	*				*
4	Tochal 2	NGCLI04	1004					*					*	
5	Tochal 1	NGCLI05	1005					*					*	
6	Kandovan	NGCLI07	1007					*	*	*				*
7	Chalous	NGCLI08	1008					*	*	*				
8	Lahijan	NGCLI09	1009					*	*	*				*
9	Astara	NGCLI10	1010						*		Destroyed			
10	Astara2	NGCLI10-2	1010-2										*	
11	Lowshan	NGCLI11	1011						*				*	
12	Ganje	NGCLI12	1012								*		*	
13	Bavanat	NGCLI13	1013											*
14	Kashan	NGCLI14	1016											*
15	Amin	NGCLI15	1015											*
16	Masal	NGCLI17	1017										*	
17	Yazd	G0YAZD01	9001			*							*	
18	Tehran	G0THR02	9002	*	*	*	*	*	*	*			*	*
19	Tabriz	G0TBRZ03	9003	*										
20	Kermanshah	G0KRSH04	9004							*				
21	Esfahan	G0SFHN05	9005			*							*	
22	Ahvaz	G0AHVZ06	9006				*							
23	Shiraz	G0SHRZ07	9007			*								*
24	Laar	G0LAAR08	9008				*							
25	Kerman	G0KRMN10	9010				*						*	
26	Birjand	G0BJND12	9012				*							
27	Mashhad	G0MSHD13	9013			*								
28	Kalaleh	G0KLE14	9014				*							
29	Tabas	G0TBAS15	9015							*			*	
30	BandarAbbas	G0ABAS18	9018							*				
31	Chabahar	G0CHBR19	9019	*										
32	Qeshm1	G0QSHM20	9020											
33	Zahedan	G0ZAHD21	9021							*				
34	Boshehr	G0BSHR22	9022							*				
35	Abali			*	*	*	*	*	*	*				*
36	Cheshmeshour			*	*	*		*					*	
37	Moaleman	G0MOLN23	9023										*	
38	Khour	G0KHUR24	9024										*	
39	Ravar	G0RAVR25	9025										*	

سازمان نقشه برداری کشور

نحوه اندازه گیری شتاب ثقل

➤ اندازه گیری شتاب ثقل مطلق شبکه ثقل سنجی درجه صفر



مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک ایران در سال ۱۳۸۲ توسط متخصصین و کارشناسان اداره کل نقشه‌برداری زمینی طراحی گردید.

GLGAM (Gravity, Leveling, GPS, Astronomy, Magnetic)

➤ این شبکه با تراکم ۵۵ کیلومتر (۴۵-۶۵ کیلومتر) نقاط برای ایران شامل ۶۷۰ نقطه می‌باشد که بطور منظم در سطح ایران 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.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ انجام مشاهدات مختلف بر روی نقاط این شبکه موجب می‌گردد تا این شبکه از نظر ارتفاعی و مسطحاتی نیز دارای دقت بالایی بوده بطوریکه می‌توان از مختصات این شبکه به عنوان یک چارچوب مرجع مختصات استاتیک، برای انتقال ارتفاع و مختصات مسطحاتی در کشور نیز استفاده نمود.

➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک ایران: از ۶۷۰ نقطه طراحی شده، تاکنون تعداد ۵۴۴ نقطه سنگی و تعداد ۷۳ نقطه بتنی (در مجموع ۶۱۷) نقطه احداث شده است.

➤ نقاط بتنی در مکان‌هایی که امکان احداث نقطه سنگی وجود نداشت، ایجاد گردید.

➤ ساختمان نقاط شبکه درجه یک از دی ماه ۱۳۸۲ تا دی ماه ۱۳۸۶ به طول انجامید.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک ایران: نقاط شبکه مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی، بطور عمده بر روی سنگ‌های ریشه‌دار موجود در داخل طبیعت احداث شدند.



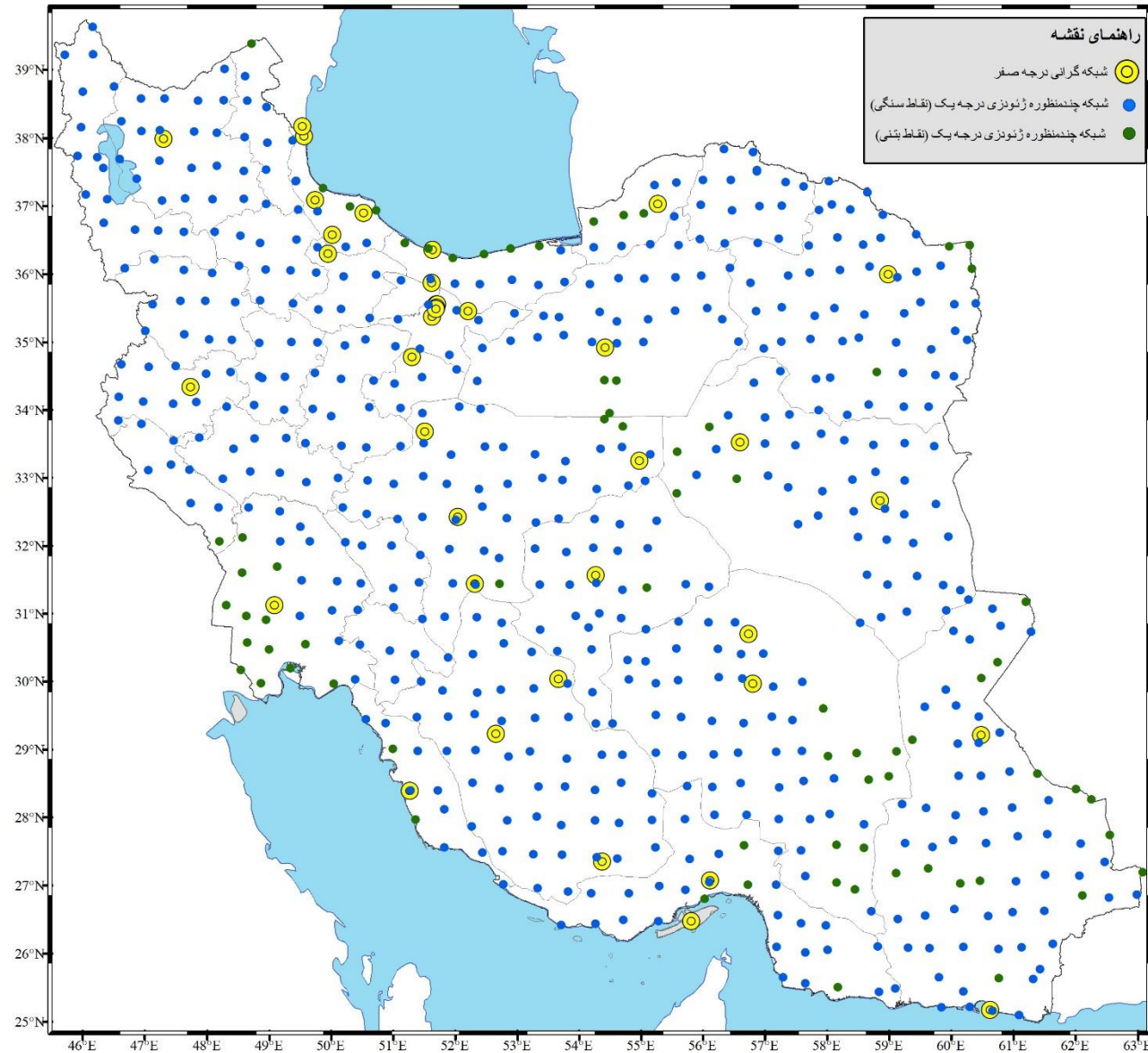
➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک ایران:



FR800/00

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ نقاط شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک ایران



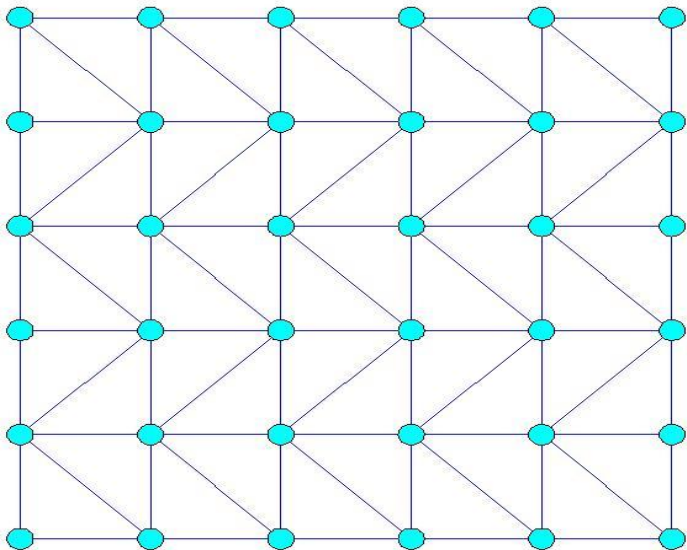
نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک با گراویمتر نسبی از نوع CG-3M و CG-5 انجام شده است.

➤ استراتژی اندازه‌گیری در این شبکه بصورت مشاهدات رفت و برگشتی است. در واقع از هر نقطه چند منظوره به نقاط مجاور واقع در چهار جهت شمال، جنوب، شرق و غرب نقطه اندازه‌گیری انجام گرفته است و نقاط واقع در شمال غرب و جنوب غرب یا شمال شرق و جنوب شرق نقطه نیز قرائت شده‌اند. هر نقطه تعداد ۶ قرائت به نقاط مجاور انجام گرفته است.

➤ در صورتی که اطراف نقاط شبکه چندمنظوره، نقطه مربوط به شبکه ثقل‌سنجی درجه صفر موجود باشد، اندازه‌گیری گرانی نسبی از نقطه چندمنظوره به این نقطه نیز انجام شده است.

➤ این روش اندازه‌گیری، امکان کنترل و سرشکنی شبکه را با درجه آزادی بالا برای کشف مشاهدات اشتباه فراهم می‌آورد



سازمان نقشه‌برداری کشور

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک:
- ✓ اندازه‌گیری‌های نسبی گرانی شبکه مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی انجام گرفت.
- ✓ به منظور عدم وابستگی مشاهدات، خطوط مشاهداتی، هر کدام در یک روز اندازه‌گیری شده است.
- ✓ گراویمتری هر خط مشاهداتی بصورت رفت و برگشت به نقطه اول برای محاسبه دریافت کوتاه مدت روزانه انجام گرفته است.
- ✓ بعد از استقرار و تراز گراویمتر، حداقل ۳۰ دقیقه دستگاه خاموش بوده تا به حالت ثبات برسد. سپس به اندازه ۳۰ دقیقه بصورت ثبت اتوماتیک قرائت‌های ۱ دقیقه‌ای انجام شده است.
- ✓ برای هر خط مشاهداتی فرم سایت لوگ تکمیل شده است که اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، دما و فشار یک بار در اوایل و یک بار در اواخر مدت زمان مشاهدات گراویمتری، اسم نقطه، تاریخ و ساعت، موقعیت نقطه و شماره قرائت داخل گراویمتر در فرم‌های قرائت وارد شده است.
- ✓ میزان دریافت مشاهدات ثقل در شبکه درجه یک باید کمتر از ۲ میکروگال در ساعت باشد

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک:
- ✓ اندازه‌گیری‌های این شبکه از اردیبهشت سال ۱۳۸۴ شروع شده است و مهر سال ۱۳۸۷ نیز به اتمام رسیده است. البته تعداد محدودی اندازه‌گیری نیز در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت.
- ✓ تعداد نقاط شبکه درجه یک که اندازه‌گیری نسبی گرانی آنها انجام گرفته است ۶۰۷ نقطه می‌باشد. نقاط باقیمانده در مشاهدات شبکه درجه دو گرانی اندازه‌گیری شدند.
- ✓ تعداد ۱۷۳۳ مشاهداتی نسبی گرانی شبکه درجه یک ایران انجام گرفته است. از این تعداد ۲۵ اندازه‌گیری به دلیل وجود اشتباهات فاحش از مشاهدات حذف شدند.
- ✓ تعداد ۱۶۱۴ اندازه‌گیری بین نقاط شبکه درجه یک انجام شده است.
- ✓ تعداد ۹۴ مشاهده گرانی از نقاط شبکه گرانی درجه یک به نقاط شبکه گرانی درجه صفر انجام گرفته است.
- ✓ تعداد ۱۶۱ اندازه‌گیری کالیبراسیون برای محاسبه و اعمال ضریب کالیبراسیون به مشاهدات اندازه‌گیری شده است.

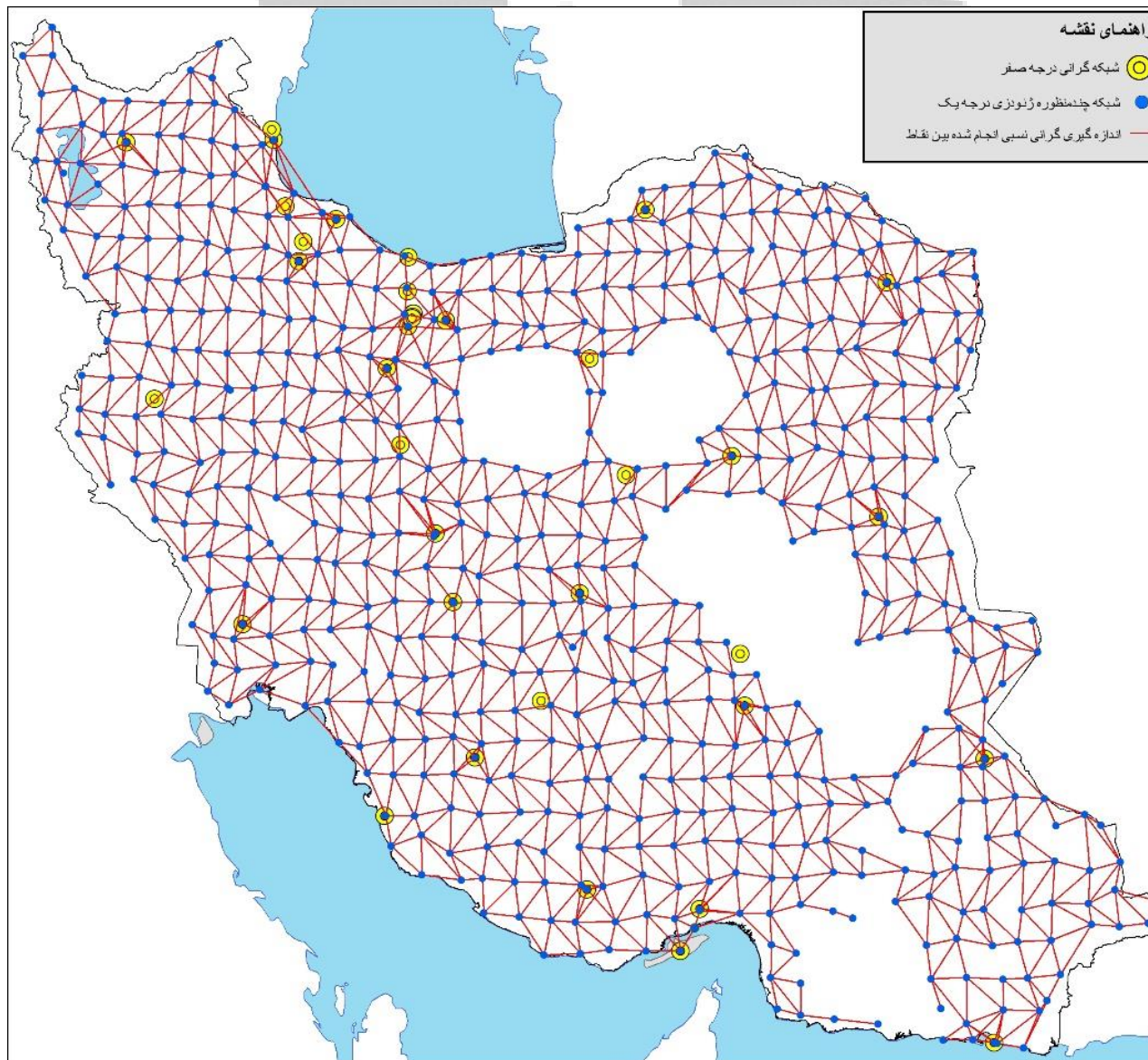
نحوه اندازه گیری شتاب ثقل

➤ اندازه گیری شتاب ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک:



نحوه اندازه‌گیری شتاب‌ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه یک:



مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو ایران در سال ۱۳۸۶ توسط متخصصین و کارشناسان اداره کل نقشه‌برداری زمینی طراحی گردید.

GLGAM (Gravity, Leveling, GPS, Astronomy, Magnetic)

➤ این شبکه با تراکم ۱۵ دقیقه‌ای (۲۵-۲۰ کیلومتر) نقاط در ایران شامل ۱۹۰۹ نقطه می‌باشد که بطور منظم در سطح ایران پراکنده شده‌اند.

➤ همانند شبکه چندمنظوره 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.

➤ شبکه درجه دو ثقل کشور تراکم ایستگاه‌های ثقل در سطح کشور را افزایش داده و به عنوان حلقه اتصال شبکه درجه یک به شبکه‌های مشاهداتی درجه سه عمل می‌نماید.

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

- شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو ایران: از ۱۹۰۹ نقطه طراحی شده، تاکنون تعداد ۱۱۶۷ سنگی و تعداد ۴۶۴ نقطه بتنی (در مجموع ۱۶۳۱) نقطه احداث شده است.
- نقاط بتنی در مکان‌هایی که امکان احداث نقطه سنگی وجود نداشت، ایجاد گردید.
- به منظور صرفه جویی در هزینه و زمان، در صورتی که نقاط ترازیبی درجه یک و دو با ساختمان و موقعیت مناسب در محل پیش‌بینی شده نقطه درجه دو وجود داشت، به عنوان نقطه جایگزین در نظر گرفته شده است.
- تعداد ۱۷۸ نقطه از نقاط باقی مانده از شبکه مربوط به استات سیستم و بلوچستان می‌باشد. تعداد ۱۰۰ نقطه از نقاط باقی مانده از شبکه مربوط به مناطق کویری ایران می‌باشد که ساختمان این نقاط به روش‌های ممکن مقدور نمی‌باشد.
- ساختمان نقاط شبکه درجه دو از اردیبهشت ماه ۱۳۸۷ تا خرداد ماه ۱۳۹۶ به طول انجامید.
- به منظور محاسبه ارتفاع ارتومتریک نقاط شبکه، انجام ترازیبی دقیق بین این نقاط و نزدیکترین پنج‌مارک ترازیبی درجه یک یا دو برنامه‌ریزی شده است. به این منظور نقاط میانی احداث گردیده است.
- تاکنون تعداد ۲۲۲۰ نقاط میانی برای انجام ترازیبی دقیق ایجاد شده است

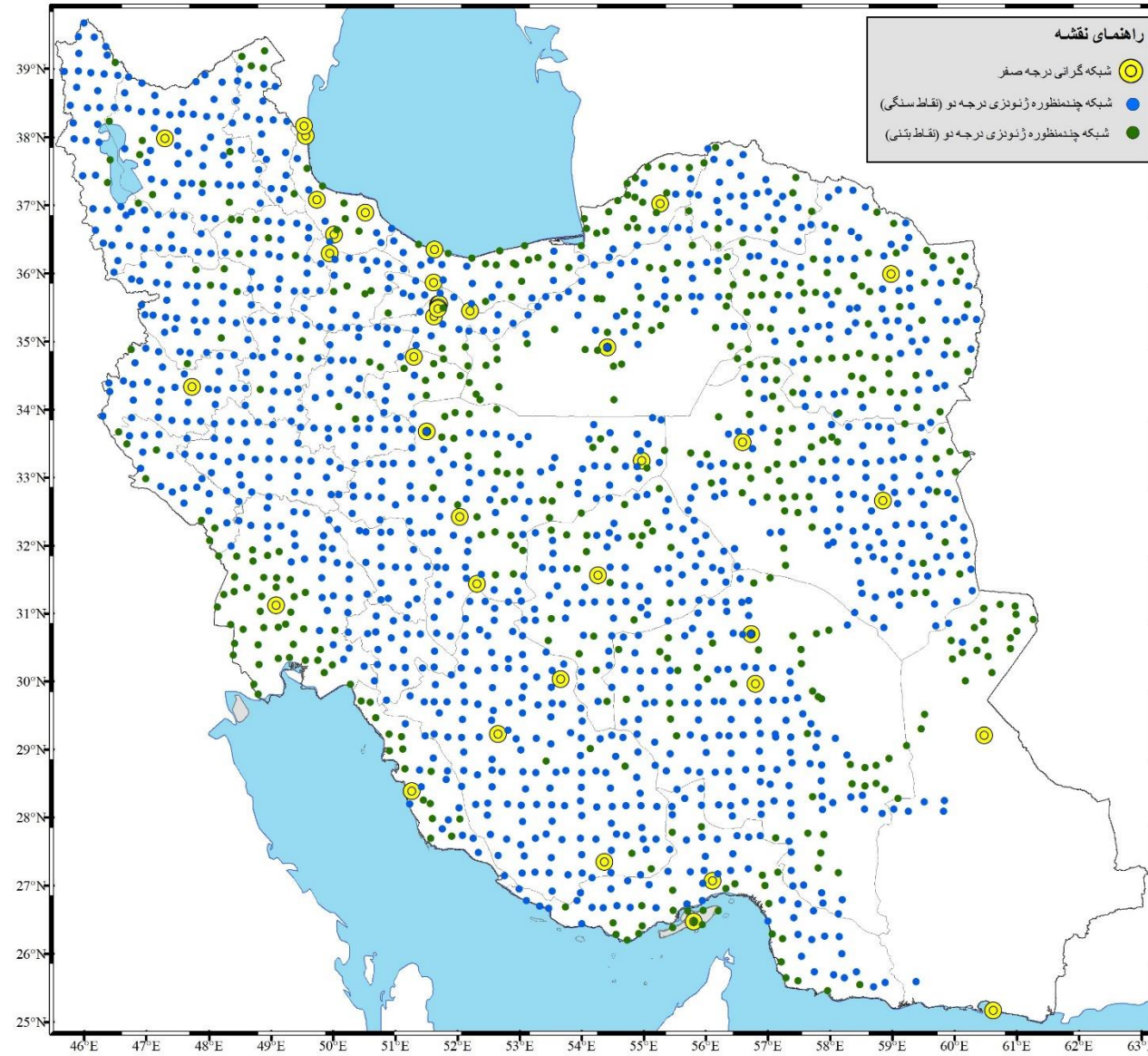
مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو ایران: نقاط شبکه مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی، بطور عمده بر روی سنگ‌های ریشه‌دار موجود در داخل طبیعت احداث شدند.



مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ نقاط شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو ایران



نحوه اندازه‌گیری شتاب‌ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو با گراویمتر نسبی از نوع CG-3M و CG-5 انجام شده است.

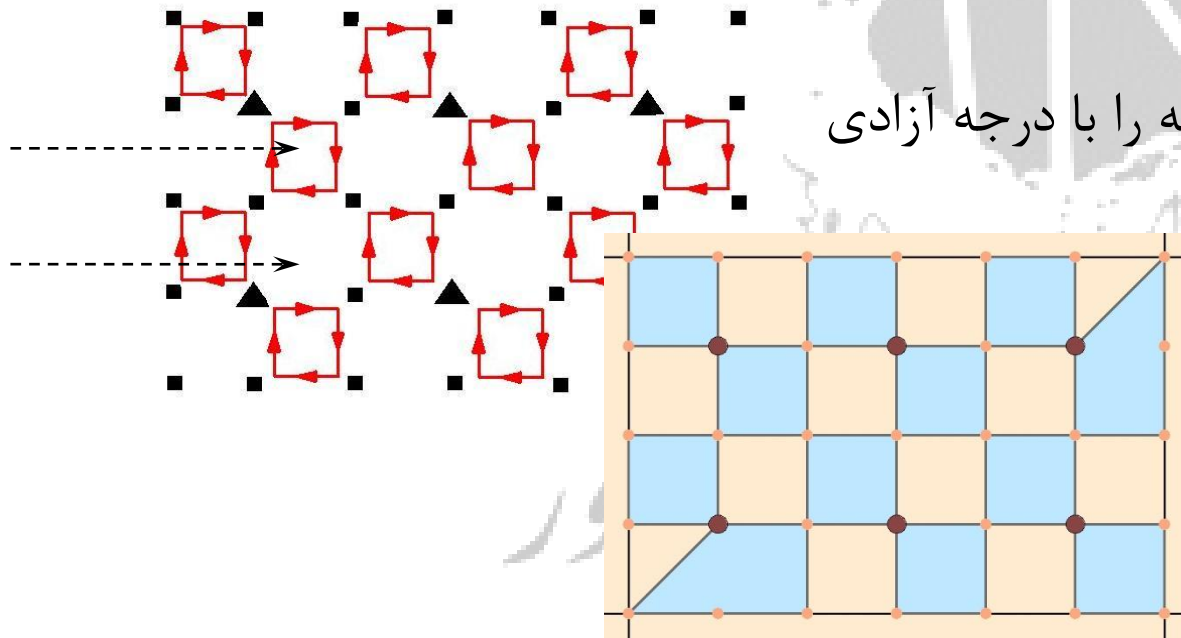
➤ مشاهدات ثقل بصورت شطرنجی تحت لوپ‌های چهار ضلعی شامل سه نقطه درجه دو و یک نقطه شبکه درجه یک است.

در صورتی که اطراف نقاط، نقطه ثقل شبکه درجه صفر موجود بود، این نقطه نیز در نزدیکترین لوپ اندازه‌گیری می‌شد.

➤ با توجه به این ساختار اندازه‌گیری، دو نقطه از مرز بلوک‌ها پوشش داده نمی‌شد، برای رفع این مساله دو لوپ گوشه‌ای به صورت پنج‌ضلعی قرائت شده‌اند.

➤ این روش اندازه‌گیری، امکان کنترل و سرشکنی شبکه را با درجه آزادی

بالا برای کشف مشاهدات اشتباه فراهم می‌آورد



نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو:

✓ اندازه‌گیری‌های نسبی گرانی شبکه مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی انجام گرفت.

✓ به منظور عدم وابستگی مشاهدات، لوپهای مشاهداتی گرانی، هر کدام در یک روز اندازه‌گیری شده است.

✓ به منظور محاسبه دریافت، ثقل‌سنجی هر لوپ مشاهداتی ثقل بصورت رفت و برگشت انجام گرفته است.

✓ بعد از استقرار و تراز گراویمتر، حداقل ۲۰ دقیقه دستگاه خاموش بوده تا به حالت ثبات برسد. سپس به اندازه ۱۵

دقیقه بصورت ثبت اتوماتیک قرائت‌های ۱ دقیقه‌ای انجام شده است.

✓ برای هر خط مشاهداتی فرم سایت لوگ تکمیل شده است که اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، دما و فشار یک بار در

اوایل و یک بار در اواخر مدت زمان مشاهدات گراویمتری، اسم نقطه، تاریخ و ساعت، موقعیت نقطه و شماره قرائت

داخل گراویمتر در فرم‌های قرائت وارد شده است.

✓ میزان دریافت مشاهدات ثقل در شبکه درجه دو باید کمتر از ۴ میکروگال در ساعت باشد.

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

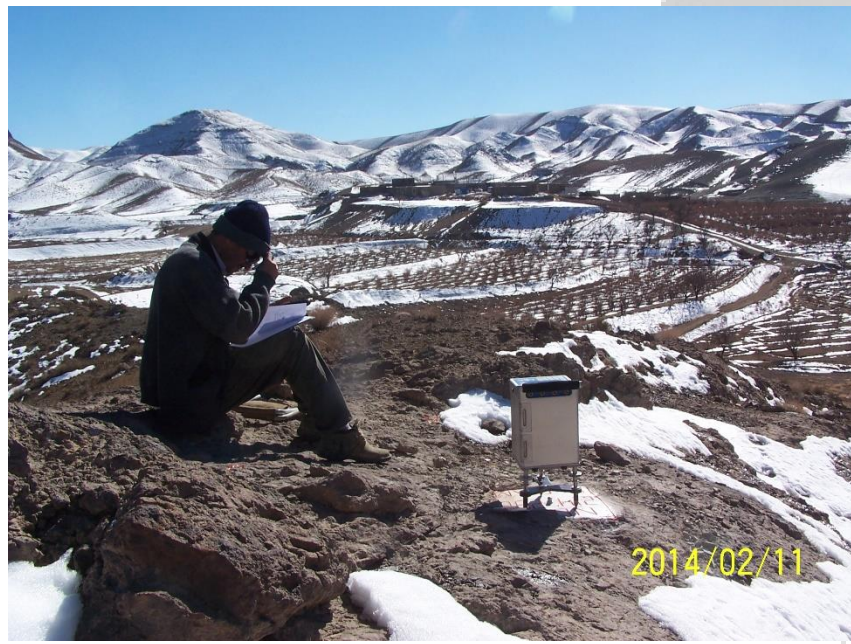
➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو:

- ✓ اندازه‌گیری‌های این شبکه از تیر سال ۱۳۸۷ شروع شده است و بهمن سال ۱۳۹۵ نیز به اتمام رسیده است.
- ✓ تعداد نقاط شبکه درجه یک که اندازه‌گیری نسبی گرانی آنها انجام گرفته است ۱۵۲۰ نقطه می‌باشد.
- ✓ تعداد ۴۰۵۵ مشاهداتی نسبی گرانی شبکه درجه دو ایران انجام گرفته است
- ✓ تعداد ۲۰۴۶ اندازه‌گیری بین نقاط شبکه درجه دو انجام شده است.
- ✓ تعداد ۲۰۰۹ مشاهده گرانی از نقاط شبکه گرانی درجه دو به نقاط شبکه گرانی درجه یک و صفر انجام گرفته است.
- ✓ تعداد ۳۰۰ اندازه‌گیری کالیبراسیون برای محاسبه و اعمال ضریب کالیبراسیون به مشاهدات اندازه‌گیری شده است.

سازمان نقشه‌برداری کشور

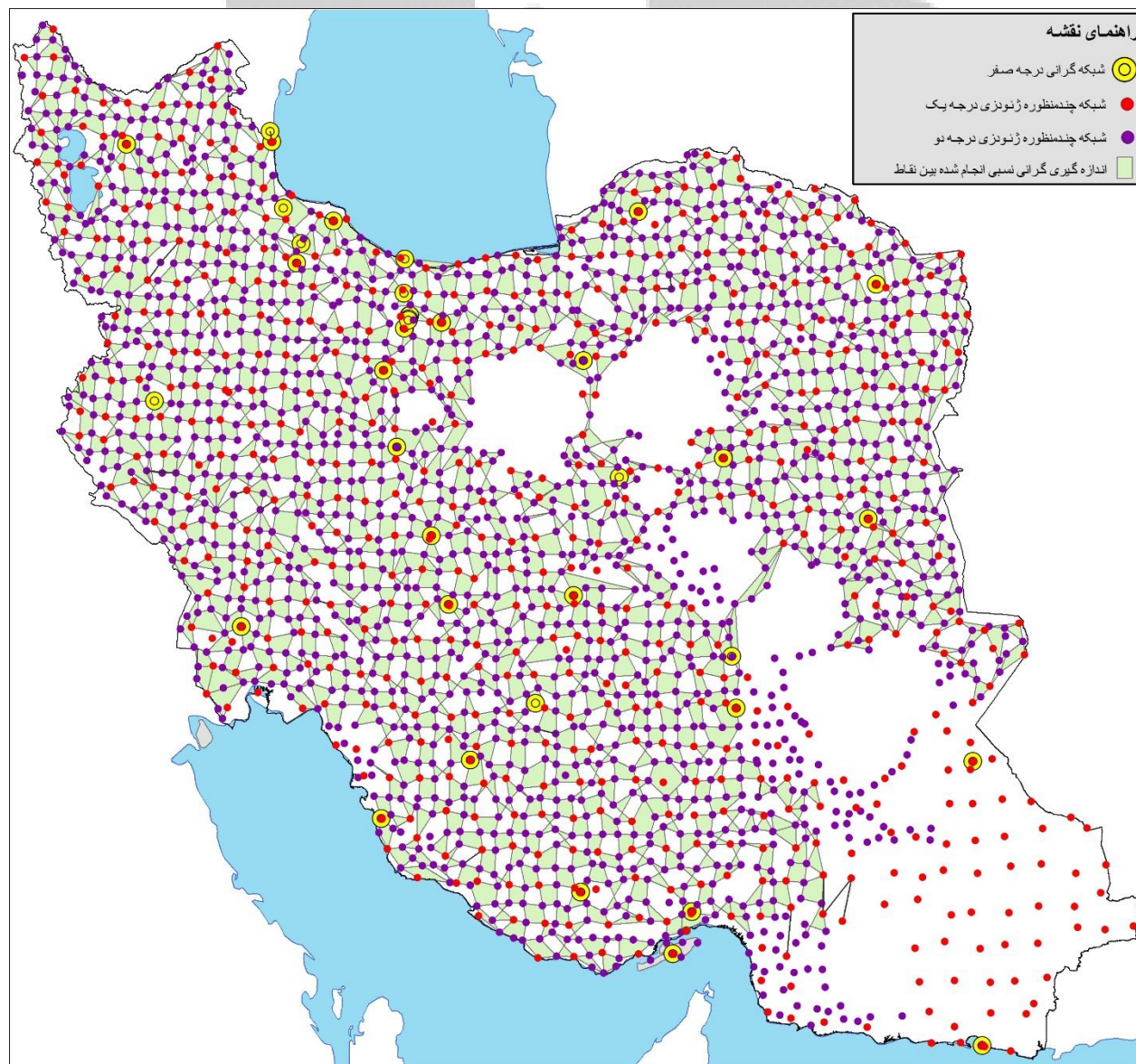
نحوه اندازه گیری شتاب ثقل

➤ اندازه گیری شتاب ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو:



نحوه اندازه‌گیری شتاب‌ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نسبی شبکه چندمنظوره ژئودزی درجه دو:



مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

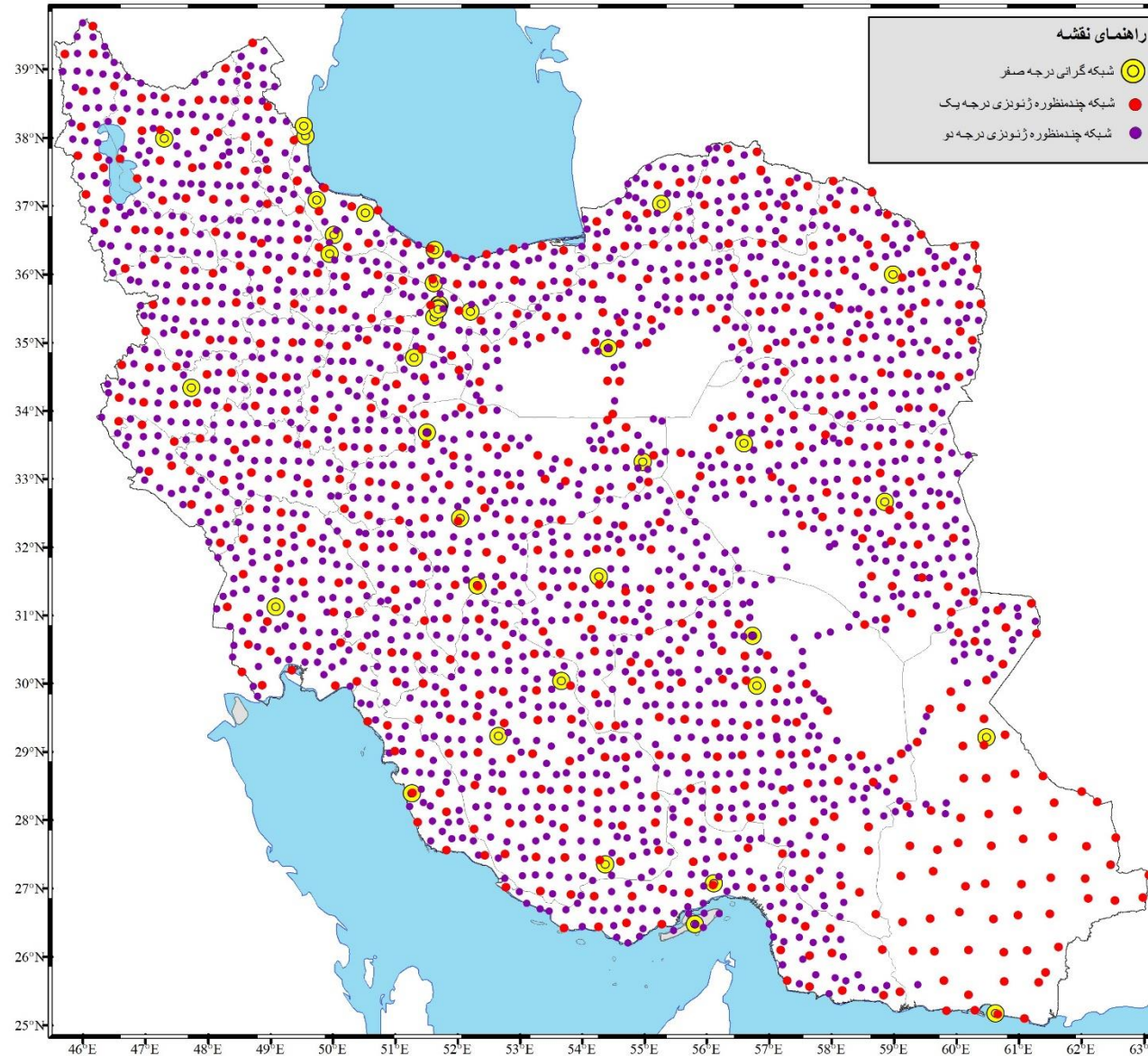
➤ با اتمام شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی درجه یک و دو بیش از ۲۵۰۰ نقطه شتاب‌ثقل در سطح کشور با پراکندگی مناسب احداث شده که بیشتر آنها دارای ساختمان مناسب (عموما سنگی) باشد و بتوان کلیه پروژه‌های گراویمتری در اقصی نقاط کشور را با اتصال به ایستگاه‌های این شبکه‌ها تحت یک سیستم گرانی واحد درآورد.

➤ این نقاط علاوه بر شتاب‌ثقل دارای مختصات دقیق مسطحاتی و ارتفاع ژئودتیک و ارتومتریک می‌باشند که می‌توان بعنوان شبکه‌های مبنایی ژئودزی ایران نام برد. بنابراین این نقاط را می‌توان به عنوان نقاط معتبر GPS-Levelling در سطح کشور در نظر گرفت و برای تست مدل‌های ژئوئید، تعیین ژئوئید به روش GPS-Levelling و همچنین تعیین یک مدل ترکیبی ژئوئید استفاده نمود.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ نقاط شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی درجه یک و دو



مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

- شبکه ثقل‌سنجی درجه سه ایران در ادامه گسترش شبکه گرانی کشور و به منظور مدلسازی بهتر و کاملتر میدان گرانی زمین، در سال ۱۳۸۲ توسط متخصصین و کارشناسان اداره کل نقشه‌برداری زمینی طراحی گردید.
- این شبکه با تراکم ۵ دقیقه‌ای (حدود ۷-۹ کیلومتر) نقاط در ایران شامل ۲۰۴۷۰ نقطه می‌باشد که بطور منظم در سطح ایران پراکنده شده‌اند، به‌طوری‌که فاصله بین هر دو نقطه درجه یک و دو با نقطه درجه سه پوشش داده می‌شود.
- در ابتدا نقاط شبکه بدون احداث اندازه‌گیری می‌شدند ولی در حال حاضر برای نقاط Mraker احداث می‌گردد.
- در شاخه فیزیکال ژئودزی وجود یک شبکه گرانی متراکم به منظور محاسبه یک دیتوم ارتفاعی دقیق یا ژئوئید ضروری است. بدین منظور لازمست تا مقدار گرانی روی یک شبکه ۵ دقیقه‌ای معلوم باشد.
- وجود این شبکه متراکم از نظر علوم زمین‌شناسی و ژئوفیزیک نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. چرا که مطالعات مربوط به تعیین دانسیته پوسته زمین، تعیین منابع و ذخائر زیرزمینی، مطالعات ایزوستازی و تعیین عمق لایه‌ها و علوم مرتبط می‌تواند با دقت بالاتری و با پوشش بهتری صورت پذیرد.

سازمان نقشه‌برداری کشور

مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ شبکه ثقل‌سنجی درجه سه ایران



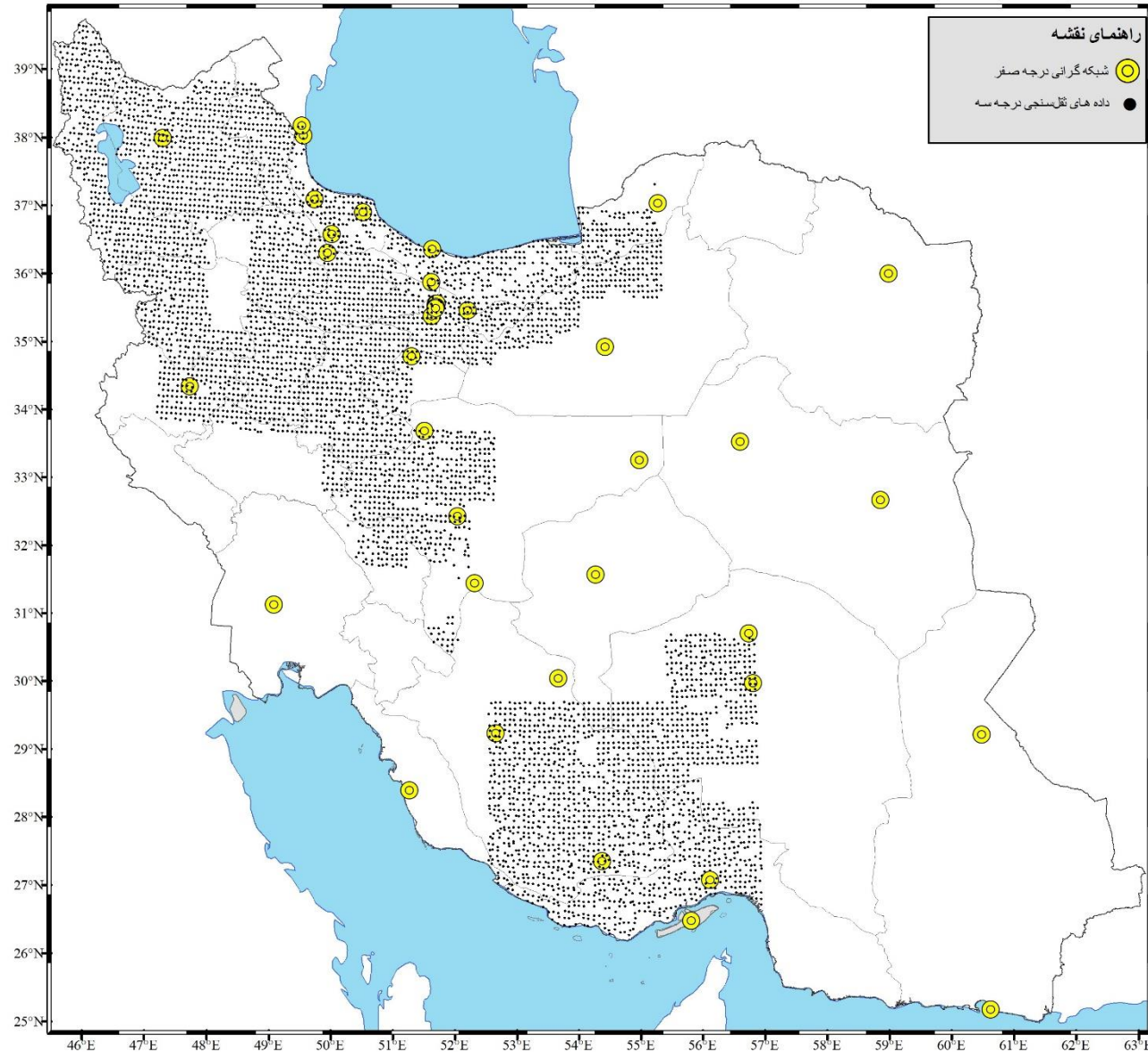
سازمان نقشه برداری کشور

➤ شبکه ثقل سنجی درجه سه ایران

il

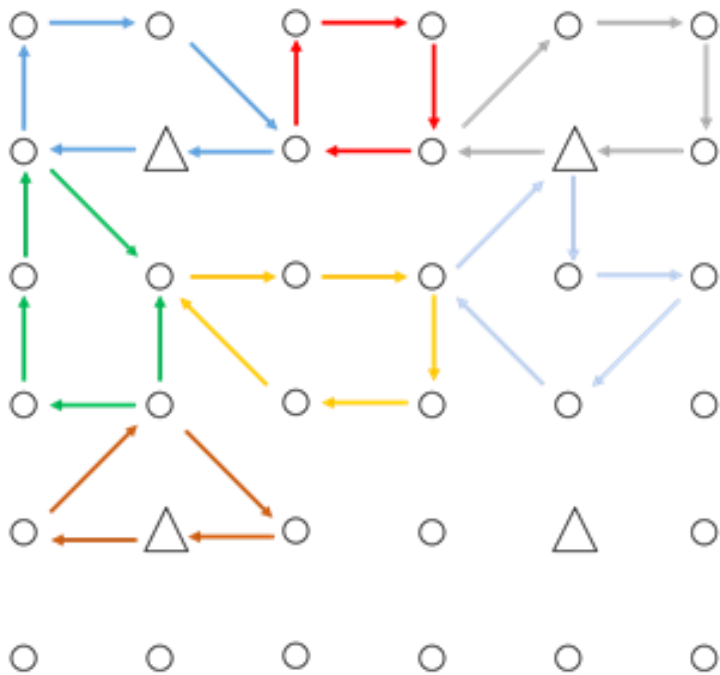
مروری بر شبکه‌های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل‌سنجی کشور

➤ داده‌های شبکه ثقل‌سنجی درجه سه ایران



نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

- اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی شبکه ثقل‌سنجی درجه سه با گراویمتر نسبی از نوع CG-3M و CG-5 انجام شده است.
- استراتژی اندازه‌گیری برای نقاط، به صورت لوپ‌های چند ضلعی بوده که هر لوپی در صورت امکان باید از یک نقطه شبکه درجه صفر، یک یا دو شروع شود و با قرائت چند نقطه مجاور از شبکه درجه سه به مبدا بازگردد.
- قرائت ثقل شبکه درجه سه به صورت همزمان با مشاهدات GPS انجام پذیرد



سازمان نقشه برداری کشور

نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل

➤ اندازه‌گیری شتاب ثقل نسبی شبکه ثقل‌سنجی درجه سه :

✓ اندازه‌گیری‌های نسبی گرانی شبکه مطابق با استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی انجام گرفت.

✓ به منظور عدم وابستگی مشاهدات، لوپهای مشاهداتی گرانی، هر کدام در یک روز اندازه‌گیری شده است.

✓ به منظور محاسبه دریافت، ثقل‌سنجی هر لوپ مشاهداتی ثقل بصورت رفت و برگشت انجام گرفته است.

✓ بعد از استقرار و تراز گراویمتر، حداقل ۱۵ دقیقه دستگاه خاموش بوده تا به حالت ثبات برسد. سپس به اندازه ۱۰

دقیقه بصورت ثبت اتوماتیک قرائت‌های ۱ دقیقه‌ای انجام شده است.

✓ برای هر خط مشاهداتی فرم سایت لوگ تکمیل شده است که اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، دما و فشار یک بار در

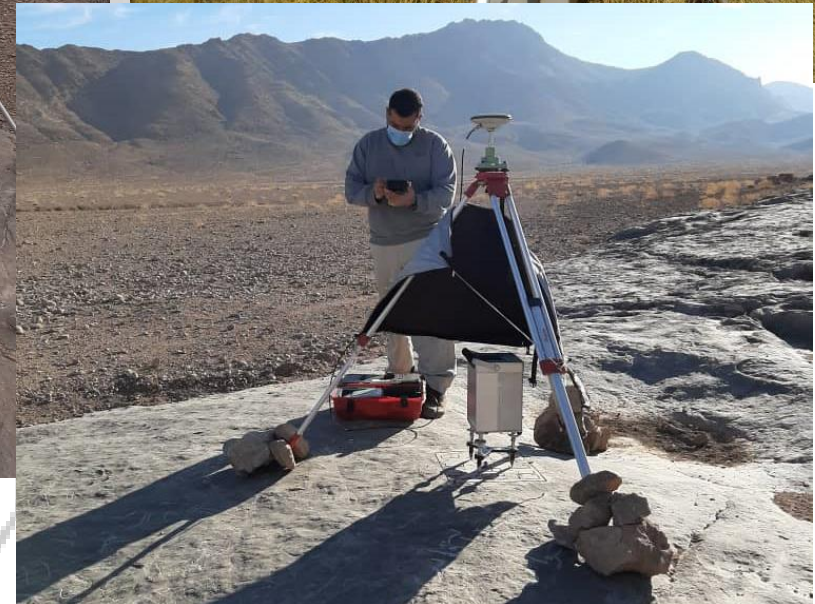
اوایل و یک بار در اواخر مدت زمان مشاهدات گراویمتری، اسم نقطه، تاریخ و ساعت، موقعیت نقطه و شماره قرائت

داخل گراویمتر در فرم‌های قرائت وارد شده است.

✓ میزان دریافت مشاهدات ثقل در شبکه درجه دو باید کمتر از ۶ میکروگال در ساعت باشد.

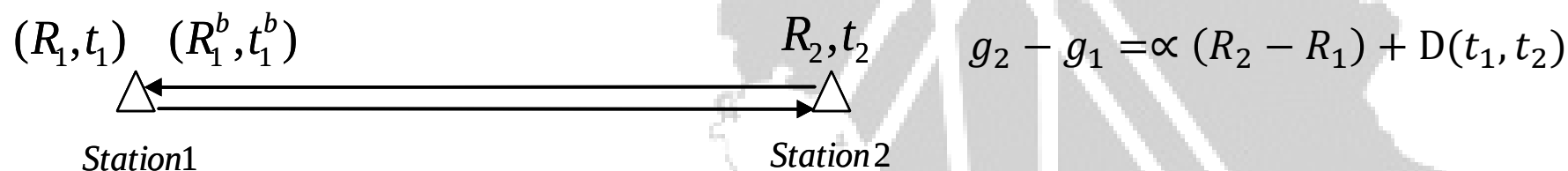
نحوه اندازه گیری شتاب ثقل

➤ اندازه گیری شتاب ثقل نسبی شبکه ثقل سنجی درجه سه :



محاسبه شتاب ثقل

- برای محاسبه اختلاف گرانی بین دو نقطه ابتدا دستگاه روی نقطه ۱ مستقر می‌شود و با توجه به دستورالعمل در مدت زمان معین شده یکسری اندازه‌گیری انجام میشود، سپس با استقرار روی نقطه ۲ اندازه‌گیری مربوط به این نقطه نیز انجام می‌شود و برای محاسبه و اعمال دریافت باید مجدداً به نقطه اول برگشت و اندازه‌گیری برگشت به نقطه ۱ انجام شود.
- معادله مشاهده با دستگاه گراویمتر نسبی برای محاسبه اختلاف گرانی دو نقطه ۱ و ۲ به صورت زیر می‌باشد:


$$(R_1, t_1) \quad (R_1^b, t_1^b) \quad R_2, t_2 \quad g_2 - g_1 = \alpha (R_2 - R_1) + D(t_1, t_2)$$

Station1 Station2

- در رابطه فوق $g_2 - g_1$ اختلاف گرانی نقاط، $R_2 - R_1$ اختلاف گرانی نسبی اندازه‌گیری شده، پارامتر α ضریب مقیاس (کالیبراسیون) است. پارامتر D دریافت دستگاه است. دریافت تغییر قرائت دستگاه در واحد زمان است که در نتیجه خارج شدن گراویمتر از کیفیت است.

سازمان نقشه برداری کشور

➤ خروجی دستگاه گراویمتر نسبی، یک فایل مشاهداتی شامل نام نقاط، نام دستگاه، تاریخ، مقادیر اندازه‌گیری شده، انحراف معیار، زمان، تیلت، مقدار تصحیح جذرومد (این تصحیح به صورت اتوماتیک به مقادیر اندازه‌گیری شده اعمال می‌شود) می‌باشد.

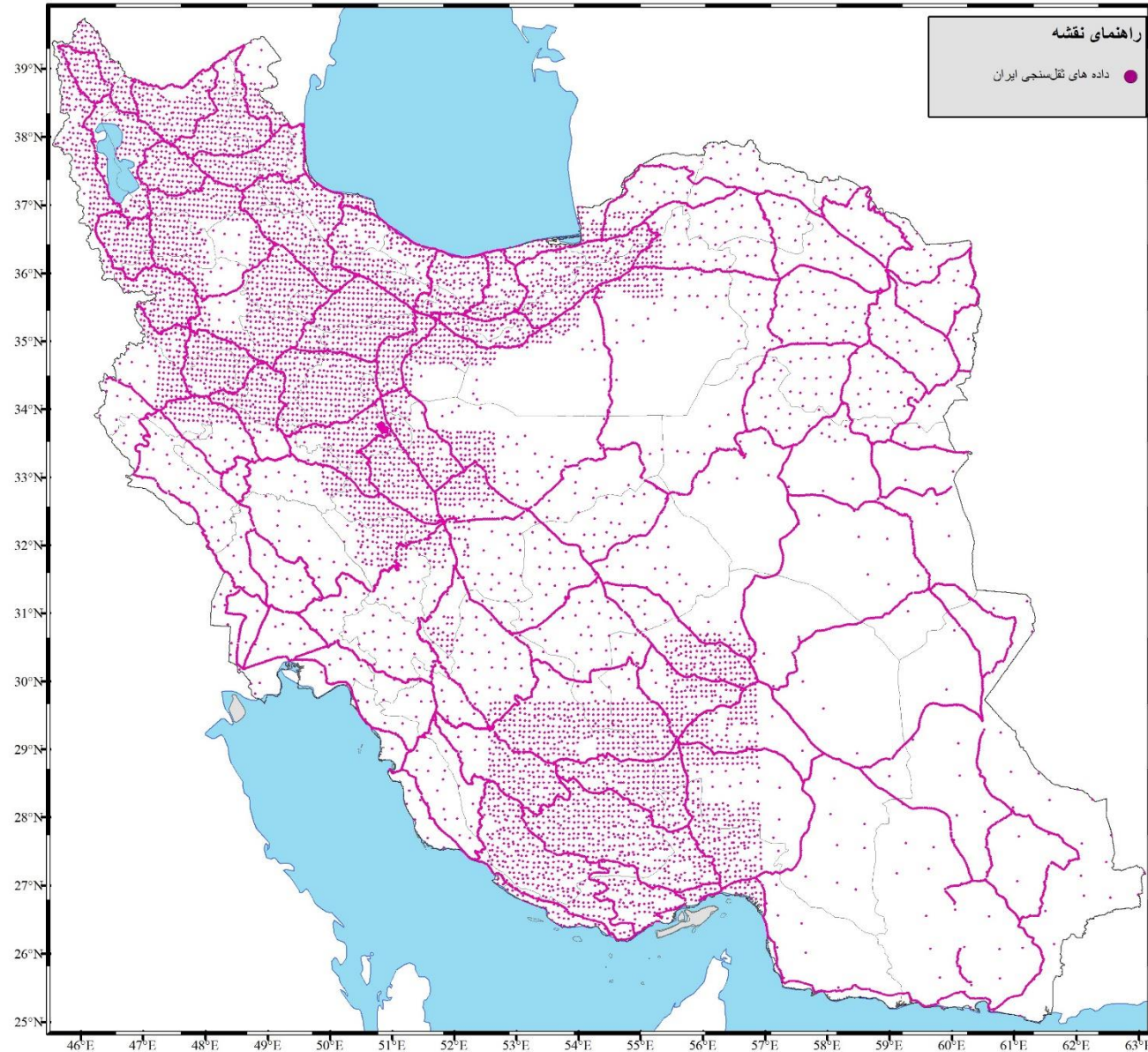
```

/      CG-5 SURVEY
/      Survey name:  GLGAM0734
/      Instrument S/N: 83
/      Client:      NCC
/      Operator:     EBRAHIMI
/      Date:        2008/ 3/ 2
/      Time:        13:39:58
/      LONG:        60.620  E
/      LAT:         27.200  N
/      GMT DIFF.:   -3.5
/-GRAV.-----SD.---TILTX---TILTY---TEMP---TIDE---DUR---REJ---TIME
2217.265  0.012  -1.5  -1.2  -0.81  -0.026  60  13  13:58:44
2217.262  0.009  -1.8  -1.1  -0.81  -0.026  60  0  13:59:59
2217.264  0.006  -1.9  -1.3  -0.81  -0.026  60  2  14:01:04
2217.262  0.007  -1.9  -1.6  -0.81  -0.026  60  0  14:02:09
2217.262  0.008  -2.0  -1.8  -0.81  -0.026  60  0  14:03:14
2217.260  0.007  -2.1  -2.8  -0.81  -0.026  60  0  14:05:24
2217.260  0.007  -2.2  -3.1  -0.81  -0.025  60  0  14:06:29
2217.260  0.008  -2.2  -3.5  -0.81  -0.025  60  2  14:07:34
2217.260  0.006  -2.4  -4.1  -0.82  -0.025  60  0  14:08:39
2217.260  0.007  -2.4  -3.8  -0.82  -0.025  60  0  14:09:44
2217.260  0.007  -2.0  -4.0  -0.82  -0.025  60  0  14:10:49
2217.261  0.009  -1.9  -4.4  -0.82  -0.025  60  0  14:11:54
2217.262  0.007  -2.1  -4.5  -0.83  -0.025  60  0  14:12:59
2217.261  0.008  -2.1  -4.5  -0.83  -0.024  60  0  14:14:04
2217.260  0.009  -2.1  -4.3  -0.83  -0.024  60  0  14:15:09
2217.261  0.011  -0.4  -1.0  -0.83  -0.024  60  14  14:16:14
2217.258  0.015  -1.8  -0.8  -0.83  -0.024  60  7  14:17:19
2217.261  0.007  -2.1  -0.8  -0.84  -0.024  60  1  14:18:24
2217.261  0.009  -2.2  -1.1  -0.84  -0.023  60  0  14:19:29
2217.262  0.008  -2.4  -1.4  -0.84  -0.023  60  0  14:20:34
2217.262  0.008  -2.3  -1.5  -0.84  -0.023  60  0  14:21:39
2217.263  0.010  -2.4  -1.8  -0.84  -0.023  60  1  14:22:44
2217.262  0.008  -2.5  -1.7  -0.84  -0.023  60  0  14:23:49
2217.260  0.010  -2.5  -1.7  -0.84  -0.022  60  0  14:24:54
2217.262  0.006  -2.8  -1.7  -0.84  -0.022  60  0  14:25:59
2217.263  0.006  -2.9  -1.7  -0.84  -0.022  60  0  14:27:04
2217.262  0.007  -3.0  -1.8  -0.84  -0.022  60  0  14:28:09
2217.262  0.009  -3.1  -2.0  -0.84  -0.022  60  0  14:29:14
2217.262  0.009  -3.2  -1.9  -0.84  -0.022  60  0  14:30:20

```

وضعیت داده های شبکه های مبنایی چندمنظوره ژئودزی و ثقل سنجی کشور

➤ داده های گرانی جمع آوری شده توسط سازمان نقشه برداری در ایران (داده گرانی شبکه ترازیبی دقیق و شبکه های گرانی)



با تشکر از توجه شما

سازمان نقشه برداری کشور