

گرادیومتری گرانی سنجی

وحید ابراهیم زاده اردستانی

استاد، دانشگاه تهران، موسسه ژئوفیزیک ebrahimz@ut.ac.ir

چکیده

در این مقاله به معرفی و کاربرد های مختلف گرادیومتری گرانی می پردازیم. انواع روش های برداشت داده های گرادیومتری مانند گرادیومتری ماهواره ای، هوایی، دریایی و زمینی معرفی و توصیح داده می شوند. روش ها و دستگاه های جدید برداشت داده های زمینی گرادیومتری که جدیداً برای آشکارسازی آنومالی های سطحی و ریز معرفی شده اند و ما آن ها را میکروگرادیومتری می نامیم از مهمترین قسمت های معرفی شده در این مقاله است.

واژه های کلیدی: گرادیومتری ماهواره ای، گرادیومتری هوایی، گرادیومتری دریایی و میکروگرادیومتری.

Gravity Gradiometry

Vahid Ebrahimzadeh Ardestani

Professor in Geophysics, University of Tehran, Institute of Geophysics

Abstract

In this paper the different methods and applications of gravity gradiometry are described. Different types of gravity gradiometry data such as satellite, airborne, marine and land are explained. The method of measuring land gradiometry which has been introduced recently and I name it "micro-gradiometry" is expressed.

Keywords: Satellite gradiometry, airborne gradiometry, marine gradiometry and micro-gradiometry

۱ مقدمه

روش های گرادیومتری بر اساس اندازه گیری گرادیان گرانی به طور مستقیم و یا تبدیل داده های گرانی به تانسور گرادیان امروزه به طور گسترده ای در اکتشافات گرانی سنجی کاربرد دارند. اندازه گیری مستقیم گرادیان گرانی و به تشکیل تانسور گرادیان از برداشت های ماهواره ای، هوایی، دریایی و جدیداً زمینی امکان پذیر است. در اینجا به طور خلاصه به کاربرد های متنوع این تانسور می پردازیم. قبل از پرداختن به کاربرد گرادیومتری تانسور گرادیان را توضیح می دهیم.

۲ روش تحقیق

سیستم های برداشت داده های گرادیومتری امروزه بر اساس آرایش موازی شتاب نگار ها بر روی یک صفحه طراحی و ساخته شده اند. فاصله بین این شتاب نگار ها و جهت استقرار آن ها در سیستم های مختلف متفاوت می باشد و در نتیجه مولفه های برداشتی تانسور گرادیان نیز متفاوت می باشند. در تمام این سیستم ها معمولاً ارتفاع برداشت در برداشت های هوایی بیش از ۳۰ متر و وسعت منطقه پوششی کمتر از ۲۰۰۰۰ مایل مربع می باشد. در برداشت های دریایی نیز حداقل وسعت پوشش برابر با برداشت های هوایی بوده و معمولاً برداشت ها در فاصله حداکثر ۲۰۰ مایلی خط ساحلی می باشد. گرادیان گرانشی نشانگر میزان تغییرات شتاب گرانی می باشد. گرادیان بردار شتاب گرانی تانسور گرادیان گرانی را ایجاد می کند:

$$T = \nabla \vec{g} = \begin{bmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & T_{zz} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه T معرف تانسور گرادیان گرانی است. پتانسیل گرانشی یک تابع هموار می باشد و بنابر این در معادله لاپلاس صدق می کند. بنابر این تانسور گرادیان گرانی متقارن می باشد. طبیعت هموار پتانسیل گرانشی و حالت تقارن باعث می شود که بعضی از مولفه های این تانسور به صورت زیر با هم مساوی باشند:

$$T_{xy} = T_{yx}, T_{xz} = T_{zx}, T_{yz} = T_{zy} \quad \text{رابطه (۲)}$$

با توجه به رابطه (۲) بنابر این در هر نقطه مشاهده ای فقط ۵ مولفه مستقل برای تانسور گرادیان داریم. ولی بایستی توجه داشت که این ۵ مولفه به صورت خطی به یکدیگر وابسته بوده و هر مولفه شامل تمام اطلاعات می باشد. به هر حال با در نظر گرفتن اینکه برداشت گرادیان در نقاط مجزا انجام گرفته و نوفه نیز در این برداشت ها وجود دارد، وجود نقشه های تمام مولفه ها می تواند حاوی اطلاعات بیشتری باشد و بنابر این در مطالعات عملی از نقشه ای تمام این مولفه ها استفاده می شود.

گرادیو متر گرانی در بعضی از کاربردها می تواند جایگزین خوبی برای برداشت های کلاسیک یعنی اندازه گیری اسکالر مولف قائم شدت گرانی باشد. از آنجائیکه معمولا برداشت های شدت گرانی به صورت پراکنده انجام می گیرند، در خیلی از این برداشت ها وسعت جانبی این برداشت ها برای آشکار سازی آنومالی های زیر سطحی کاملا محدود است.

به طور کلی می توان مزایای گرادیان گرانی را نسبت به روش های دیگر به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

- آشکار سازی آنومالی ها در وسعت بیشتری نسبت به گرانی سنجی زمینی و هوایی

- نسبت بالاتر سیگنال به نوفه نسبت به گرانی سنجی هوایی

- برداشت دانسیته بالاتری از داده نسبت به گرانی سنجی زمینی

- دقت جانبی بیشتر در آشکار سازی آنومالی ها نسبت به گرانی سنجی زمینی یا هوایی

- دقت بالاتر در آشکار سازی آنومالی های کم عمق نسبت به گرانی سنجی.

واحد اندازه گیری گرادیان گرانی اتووش (Otvos) است. هر اتووش برابر 0.1 mGal/km است. همانند داده های گرانی سنجی داده های گرادیومتری نیز نیاز به تصحیحات مختلفی دارند. یکی از مهمترین تصحیحات لازم روی داده ها تصحیح زمینگان یا توپو گرافی می باشد. برای این تصحیح نیز انتخاب دانسیته مناسب جرم های زمینگان بسیار مهم می باشد.

۱-۲- گرادیومتری ماهواره ای

داده های گرادیو متری ماهواره ای عمدتا با استفاده از برداشت های دو ماهواره گوس (GOCE) و گریس (GRACE) و در غالب تانسور گرادیان به دست می آیند. ماهواره گوس در سال ۲۰۰۵ به فضا پرتاب شد. مدار این ماهواره دایره ای و در ارتفاع ۲۹۰ کیلومتری سطح زمین است. با این ماهواره مولفه های اندازه گیری دقت فضایی ۸۰ کیلومتر دارند که مربوط به بسط هماهنگ های کروی تا درجه ماکزیمم ۲۵۰ است. سیستم ماهواره ای دیگر گریس است. این سیستم از دو ماهواره دنبال هم به فاصله ۲۵۰ کیلومتر تشکیل شده است. ارتفاع این ماهواره ها ۴۰۰ کیلومتر است. این سیستم قادر است که طول موج های بلند و متوسط را اندازه گیری کند.

۲-۲- گرادیو متری هوایی

در اندازه گیری های زمینی گرانی سنج ثابت و تراز می باشد ولی در اندازه گیری های هوایی متحرک بوده و بنابر این یک شتاب سنج، شتاب حاصل از حرکت و شتاب گرانی را با هم اندازه می گیرد.

بنابر این در گرانی سنجی هوایی دو مسئله کاملا بایستی حل شوند (مارتینز ۲۰۱۵):

۱- پایدار سازی و جهت یابی حسگر ها در یک محیط دینامیکی

۲- جدایش شتاب گرانی از غیر گرانی.

برای حل مسئله اول روش های متنوعی وجود دارد. یک راه کاملا متداول استفاده از سیستم پلت فرم های ثابت دو محوری می باشد که در گرانی سنج های لاکوست-رومبرگ دریایی نیز استفاده می شود.

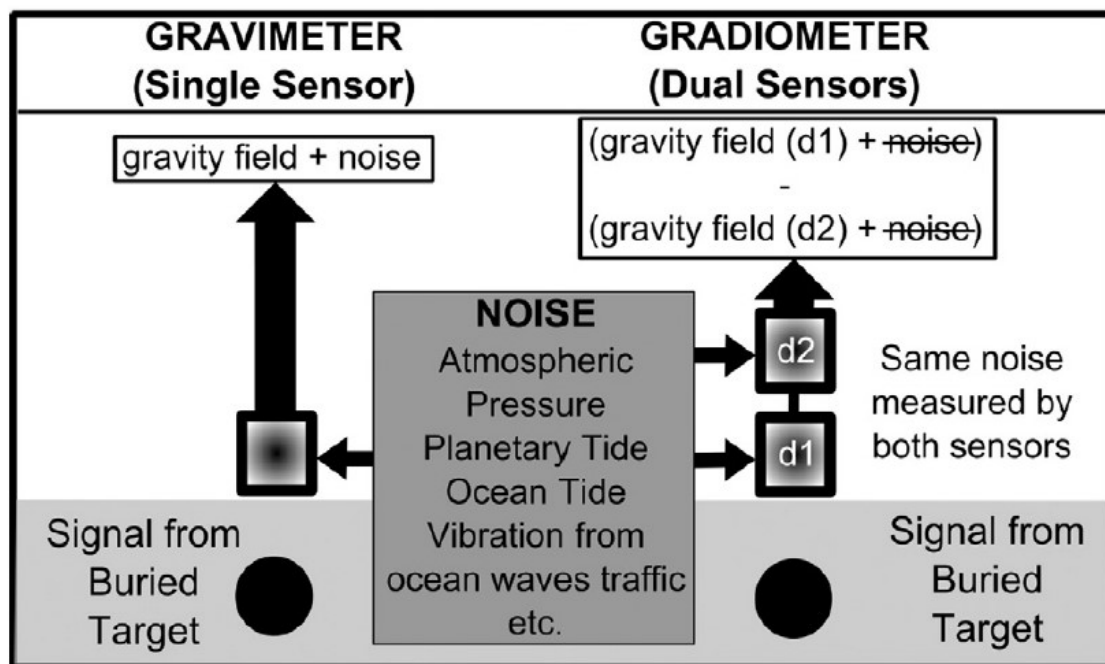
۳-۲- گرادیمتری دریایی

از این روش برای آشکار سازی دفرینه های کف دریاها و اقیانوس ها (وو و همکاران ۲۰۱۰) و یا مطالعات ساختار های زمین شناسی زیر بستر دریا استفاده می شود.

۳-۲-۴- گرادیمتری زمینی (میکرو گرادیمتری)

در دو دهه اخیر روش معمول برای محاسبه تانسور گرادیمان و استفاده از آن در مطالعات اکتشافی برداشت داده های گرانی اسکالر و مشتق گیری از آن ها بوده است (لاکربی ۲۰۱۴). با پیشرفت های اخیر و ساختن حسگرهای کوانتومی که فعلا مراحل اولیه آن به صورت آزمایشگاهی در حال تست شدن است می توان گرادیمان گرانی را با دقت بالا که برای اکتشاف اهداف کوچک و سطحی قابل استفاده است به کار برد.

از این حسگرها در آینده می توان برای اکتشاف آنومالی های بسیار ریز که اهداف اصلی روش میکروگروایمتری و GPR است استفاده کرد. در شکل (۱) تفاوت سیستم های زمینی گروایمتر و گرادیمتر نشان داده شده است (بودیک و همکاران ۲۰۱۷) شکل (۱)



۳ نتیجه گیری

در این مقاله به مرور روش های مختلف گرادیمتری گرانی پرداخته شد. این روش ها کاربرد های زیادی هم در اکتشافات منطقه ای و بزرگ مقیاس و هم در اکتشافات ناحیه ای و کم عمق دارند. یکی از مهمترین جنبه های این روش ها معرفی حسگر های جدید است که در آینده نزدیک کاربرد برداشت های زمینی را برای استفاده در پروژه های عمرانی امکان پذیر ساخته و می تواند با ترکیب با روش میکرو گرانی سنجی پاسخ گوی بسیاری از نیاز های اکتشافی در این زمینه باشد.

منابع

- Boddice, D., Metje N. and Tuckwell G., 2017, Capability assessment and challenges for quantum technology gravity sensors for near surface terrestrial geophysical surveys, Journal of Applied Geophysics, 146, 149-159.
- Lockerbie, N.A., 2014, The location of subterranean voids using tensor gravity gradiometry, IOP publishing, Class. Quantum Grav. 31.
- Martinez, C.D., 2015, Quantitative interpretation of airborne gravity gradiometry data for mineral exploration, Ph.D thesis, Colorado School of Mines, USA.
- Wu, L., Tian, X., Ma, Jie. And Tian, J., 2010, Underwater object detection based on gravity gradient, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 7, No. 2.