

تغییرات هم‌لرزه جاذبه برای زلزله‌های شدید با استفاده از مشاهدات ماهواره ثقلسنجی

فرزام فتح‌الله زاده^۱، بهزاد وثوقی^۲

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، گروه مهندسی ژئودزی، دانشگاه صنعتی خواجه
نصیرالدین طوسی
ffatollahzadeh@kntu.ac.ir
- ۲- دانشیار، گروه مهندسی ژئودزی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
vosoghi@kntu.ac.ir

چکیده

در این مطالعه، تغییرات هم‌لرزه جاذبه را ناشی از زلزله ۹ ریشتری ۱۱ مارچ ۲۰۱۱ توهوکوی ژاپن را با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از ماهواره گریس بدست می‌آوریم. مطالعات پیشین نشان داده است که حداقل بزرگی زلزله برای نمایش سیگنال‌ها توسط گریس ۸.۵ ریشتر است. به علت ارتفاع زیاد ماهواره‌ها تنها به مولفه‌های عمده یا طول موج‌های بلند میدان پتانسیل جاذبه زمین حساس می‌باشند. مقادیر ماکزیمم و مینیمم تغییرات هم‌لرزه جاذبه برای این منطقه 14.0539907495875 میکروگال و 19.1481385787076 میکروگال بدست آمد. این مقادیر در حالتی است که از فیلتر برای حذف نویز و خطاهای نواری گریس استفاده نکرده‌ایم. چون ضریب c_{20} در محاسبات مربوط به تعیین تغییرات شتاب ثقل دارای سهم ناچیزی است و به دلیل پایین بودن دقت محاسبه این ضریب، این ضریب با ضرائب داده‌های لیزری ماهواره SLR جایگزین شده است.

واژگان کلیدی: توکوهو، گریس، هم‌لرزه جاذبه، خطاهای نواری

Co-seismic gravity changes for great earthquake by gravimetry satellite observations

F. Fatolazadeh

*Ms.c student, faculty of Surveying and Geomatics Engineering, department of Geodesy, K. N Toosi University of
technology, Iran
ffatollahzadeh@kntu.ac.ir*

B. Voosoghi

*Associate Prof., faculty of Surveying and Geomatics Engineering, department of Geodesy, K.N Toosi University of
technology, Iran
vosoghi@kntu.ac.ir*

Abstract

In this study, we will review co-seismic gravity changes due to Tohoku's 9 magnitude earthquake on 11th March 2011 using data collected from GRACE Satellite. Previous studies have shown the minimum magnitude for display of signals by the GRACE is 8.5 Richter. Due to high altitude satellites, they are only sensitive to major components or long wavelengths of gravity potential field. The minimum and maximum values of co-seismic gravity changes for this area have calculated 14.0539907495875 and 19.1481385787076 microgal when we did not use any filter to remove noise and stripe errors of GRACE for the values. Because

c_{20} coefficient has a negligible contribution in the calculation of gravity changes determination due to the low accuracy of these coefficients, this coefficient will be replaced by SLR coefficients.

Key words: Tohoku- Grace- Coseismic gravity- stripe errors

۱ مقدمه

شناخت حرکات گسل^۱ و نتایج حاصل از این حرکات نظیر تغییر شتاب ثقل امری ضروری به حساب می‌آید. انرژی آزاد شده به هنگام حرکت سریع گسل‌های فعال، عامل وقوع اغلب زمین‌لرزه‌ها است. گسل‌های بزرگ در پوسته زمین نتیجه حرکت برشی زمین هستند و زمین‌لرزه‌ها نیز نتیجه نیروی رها شده در حین لغزش سریع لبه‌های یک گسل به هم است.

می‌دانیم توزیع شتاب ثقل در سطح جهانی برابر $\frac{m}{2}$ یا ۹۸۰ گال است. از مهمترین عوامل تغییر شتاب ثقل، غیریکنواخت بودن توزیع جرم درون زمین و تغییرات دانسیته^۲ محلی در اثر فشردگی صفحات تکتونیکی در مناطق فعال ژئودینامیکی است پس باید زلزله شدید باشد تا بتواند مقدار توزیع شتاب ثقل را تغییر دهد. در مطالعات قبل بررسی شد که ماهواره‌های ثقل‌سنجی به دلیل ارتفاع بالا فقط قابلیت کشف سیگنال‌های شدید را دارند (Sun & Okubo, 2004). به طور مثال در ایران که زلزله با ریشتر بالا اتفاق نیفتاده ماهواره ثقل‌سنجی مثل گریس^۳ قابلیت نمایش تغییرات هم‌لرزه^۴ جاذبه را ندارد، به همین دلیل سراغ زلزله‌های شدید می‌رویم.

گریس دو ماهواره مشابه مجزا از هم است که این دو ماهواره با فاصله ۲۲۰ کیلومتر از هم حرکت کرده که با تغییر ثقل در محلی که ماهواره‌ها از روی آن پرواز می‌کنند فاصله بین آنها دستخوش تغییر شده که با آنالیز تغییرات فاصله بین دو ماهواره، می‌توان به تغییرات ثقل دست یافت (Chen et al., 2007). گریس تخمینی از میدان جاذبه زمین را به صورت منظم و ماهیانه در قالب مدل‌های ژئوپتانسیل هارمونیک مشتمل بر مولفه‌های هارمونیک از درجه ۲ تا درجه و مرتبه ۱۲۰ معادل عوارض در ابعاد مکانی ۴۰۰ کیلومتر تا ۴۰ هزار کیلومتر را روی زمین در اختیار قرار می‌دهد. پس فرآیندهایی مثل زلزله که موجب جابجایی جرم در ابعاد مکانی فوق در داخل و درون زمین می‌شود و در پریود زمانی یک ماه رخ می‌دهد را می‌توان با داده‌های گریس زیر نظر گرفت (Han et al., 2008).

۲ بحث

در خارج زمین، پتانسیل در معادله لاپلاس صدق می‌کند پس می‌توان آنرا به سری هارمونیک بسط داد. تغییرات پتانسیل قبل و بعد از زلزله از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$(I) \Delta V = \frac{GM}{r} \sum_{n=0}^{60} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_e}{r} \right)^n (\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \phi)$$

با توجه به معادله، مشتق اول ΔV یعنی تغییرات جاذبه در جهت r و ϕ و λ از روابط زیر استخراج می‌شود:

^۱ Fault

^۲ Density

^۳ Gravity Recovery And Climate Experiment

^۴ Co-seismic

$$\Delta V_r = -\frac{GM}{R^2} \sum_{n=0}^{60} (n+1) \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \phi) \quad (2)$$

$$(3) \Delta V_\phi = -\frac{GM}{R^2} \sum_{n=0}^{60} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}'_{nm}(\sin \phi)$$

$$(4) \Delta V_\lambda = \frac{GM}{R^2} \sum_{n=0}^{60} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n m (-\Delta \bar{C}_{nm} \sin m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \cos m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \phi)$$

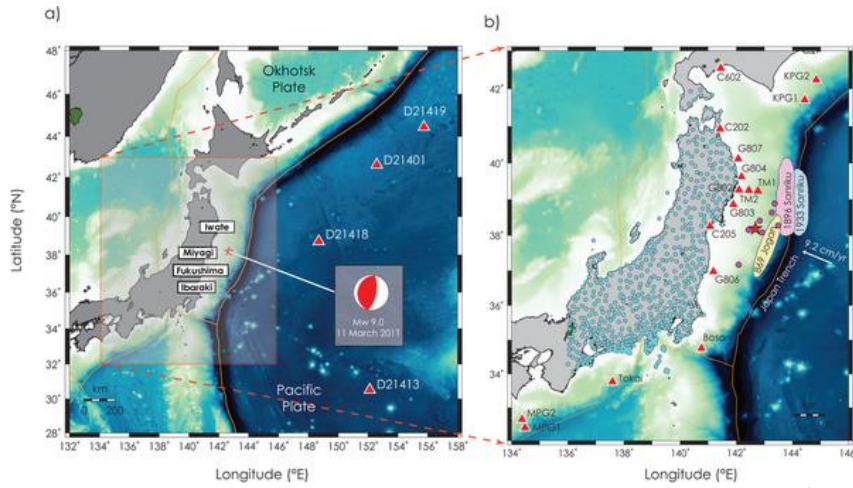
در معادلات بالا GM حاصلضرب ثابت جاذبه در جرم زمین، a_e شعاع استوایی زمین و P_{nm} توابع لژاندر می‌باشند. در این مطالعه از داده‌های میدان جاذبه ماهیانه سطح ۲ گریس به عنوان CSR05 استفاده کردیم. این ضرائب، ضرائب استوکس کاملاً نرمالیزه تا درجه و مرتبه ۶۰ هستند. از مجموع ۴۵ ماه میدان جاذبه پوشیده از دوره زمانی فوریه ۲۰۰۹ تا فوریه ۲۰۱۳ استفاده شده است. (در بین کل داده‌ها، داده‌های ۴ ماه موجود نبود). ضرائب C_{nm} و S_{nm} هر میدان ماهیانه برای محاسبه گرادیان پتانسیل در سیستم کروی استفاده شده است. دو تاثیر قابل توجه عمده در این مدل‌های ماهیانه موجود می‌باشد که هیدرولوژی و تغییرات جرم بزرگ بر اثر تغییرات پوسته و یا داخل زمین می‌باشد (که می‌تواند بر اثر زمین‌لرزه بوجود آید). برای استخراج سیگنال‌های هم‌لرزه و جلوگیری از تغییرات فصلی یا هیدرولوژی، از اختلاف دو سال میانگین داده‌های جاذبه در قبل و بعد از زلزله استفاده کردیم. میدان جاذبه میانگین قبل از زلزله از متوسط‌گیری داده‌های ۲۴ ماه از فوریه ۲۰۰۹ تا فوریه ۲۰۱۱ بدست آمد. میدان جاذبه میانگین بعد از زلزله از متوسط‌گیری داده‌های ۲۱ ماه از مارچ ۲۰۱۱ تا فوریه ۲۰۱۳ بدست آمد. اختلاف ضرائب ΔC_{nm} و ΔS_{nm} بین این دو میدان متوسط، برای تغییرات هم‌لرزه جاذبه مربوط به زلزله توکوهو^۱ ژاپن محاسبه شده است. چون ضریب C_{20} در محاسبات مربوط به تعیین تغییرات شتاب ثقل دارای سهم ناچیزی است و به دلیل پایین بودن دقت محاسبه این ضریب، این ضریب با ضرائب داده‌های لیزری ماهواره^۱ SLR جایگزین شده است.

زلزله ۹ ریشتری توکوهو نزدیک ساحل شرقی هونشو^۲ در ژاپن در تاریخ جمعه ۱۱ مارچ سال ۲۰۱۱ در ساعت UTC ۰۵:۴۶:۲۴ اتفاق افتاد. موقعیت زلزله $38.297^\circ N, 142.372^\circ E$ است. زلزله در عمق ۳۰ کیلومتری زمین اتفاق افتاد. این زلزله نتیجه یک گسل فشاری بین اقیانوس آرام و صفحه‌های آمریکای شمالی است. موقعیت این منطقه در شکل ۱ مشخص است.

^۱ Tohoku

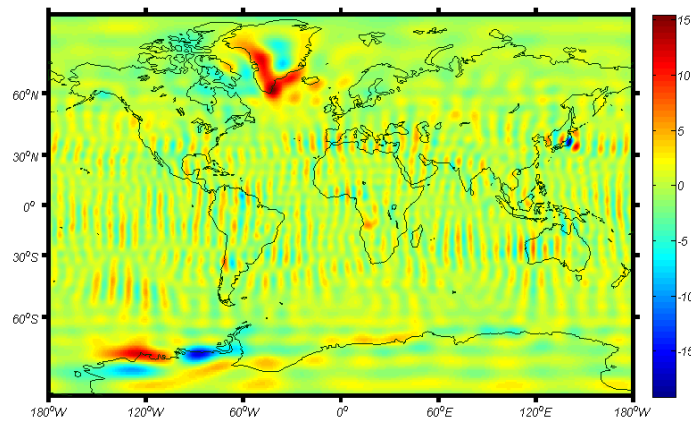
^۲ Satellite Laser Ranging

^۳ Honshu

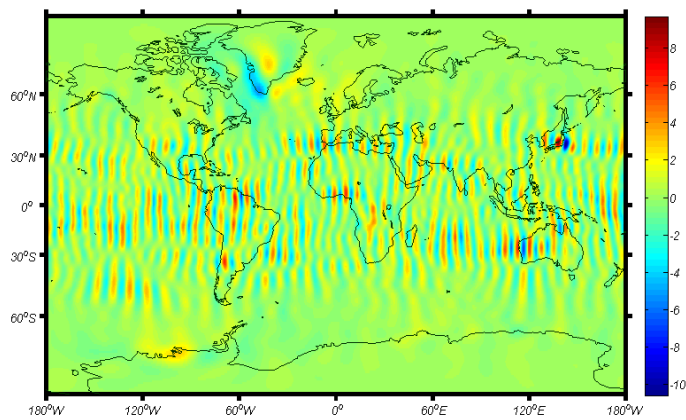


شکل ۱. نقشه موقعیت و سازوکار کانونی زلزله توهوکو

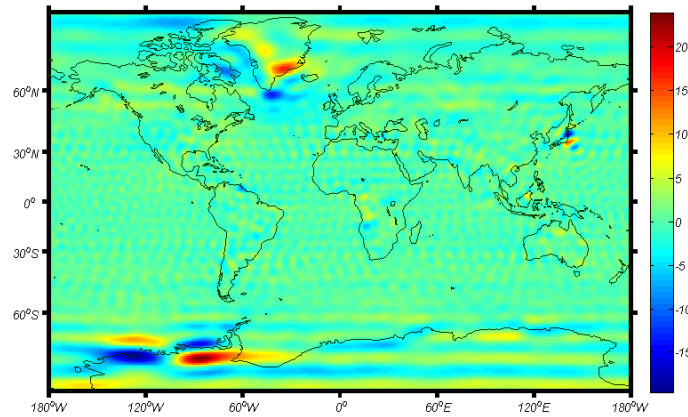
تغییرات هم‌لرزه جاذبه مشاهده شده توسط گریس برای توهوکوی ژاپن در شکل‌های ۲ تا ۵ دیده می‌شود.



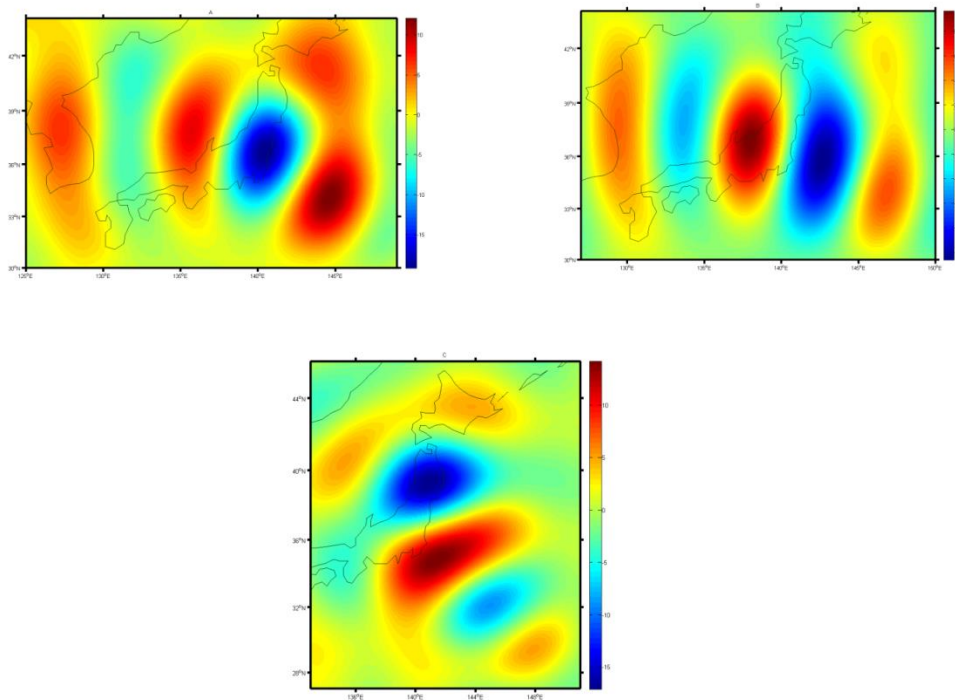
شکل ۲. تغییرات هم‌لرزه جاذبه ناشی از گریس در جهت z (در واحد میکروگال)



شکل ۳. تغییرات هم‌لرزه جاذبه ناشی از گریس در جهت λ (در واحد میکروگال)



شکل ۴. تغییرات هم‌لرزه جاذبه ناشی از گریس در جهت ϕ (در واحد میکروگال)



شکل ۵. تغییرات هم‌لرزه جاذبه در $\phi = 30$ تا $\phi = 45$ و $\lambda = 125$ تا $\lambda = 150$ در منطقه توهوکو (در واحد میکروگال)
الف) در جهت r (ب) در جهت λ (ج) در جهت ϕ

۳ نتیجه گیری

در این مطالعه تغییرات هم‌لرزه جاذبه را برای زلزله ۹ ریشتری توهوکوی ژاپن توسط ماهواره گریس بدست آوردیم. برای زلزله توهوکو، ماکزیمم تغییرات هم‌لرزه جاذبه در جهات r و ϕ و λ به ترتیب برابر 12.029296754992 و 14.0539907495875 و 9.62548148704121 میکروگال و مینیمم تغییرات هم‌لرزه جاذبه در جهات r و ϕ و λ به ترتیب برابر -19.1481385787076 و -16.9446648152932 و -10.6003098936211 میکروگال بدست آمد. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار ماکزیمم تغییرات هم‌لرزه جاذبه در جهت r و مقدار مینیمم تغییرات هم‌لرزه جاذبه در جهت ϕ از بقیه بیشتر است. همچنین همانگونه که در شکل‌ها

مشاهده شد وابستگی‌های مکانی داده‌های گریس با مشتق‌گیری از پتانسیل در جهت ϕ کاهش یافت.

منابع

- سلطانی، ا.، ۱۳۹۰، آنالیز تغییرشکل میدان ثقل زمین بر اساس زمین‌لرزه‌های شدید با استفاده از داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ای: پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- Chen, J. L., et al. (2007). "GRACE detects coseismic and postseismic deformation from the Sumatra-Andaman earthquake." *Geophysical Research Letters* 34(13).
- Han, S.-C., et al. (2008). "Implications of postseismic gravity change following the great 2004 Sumatra-Andaman earthquake from the regional harmonic analysis of GRACE intersatellite tracking data." *Journal of Geophysical Research* 113(B11).
- Sun, W. and S. Okubo (2004). "Coseismic deformations detectable by satellite gravity missions: A case study of Alaska (1964, 2002) and Hokkaido (2003) earthquake in the spectral domain." *Geophysical Journal International* 109(4)
- Wang, L., et al. (2012b). "Coseismic and postseismic deformation of the 2011 Tohoku-Oki earthquake constrained by GRACE gravimetry." *Geophysical Research Letters* 39(7).