

الگوسازی توزیع تنش در گسل مسبب زمینلرزه ۱۳۸۲ بم با روش اجزای محدود

رضا خواجهوی^۱، محمد فواد منوچهری^{۱*}، علی ریاحی^۱
مرکز تحقیقات زمینلرزه شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

با بررسی و مدل سازی ناحیه گسل مسبب زمینلرزه بم با استفاده از روش اجزای محدود توزیع تنش برشی ناشی از تنش های انحرافی زمین ساختی در صفحه گسل و ناحیه پیرامونی آن محاسبه شده است. بررسی محل های تمرکز تنش، به دست آمده با شبیه سازی عددی، نشان دهنده دو نقطه بحرانی احتمالی برای آغاز گسیختگی می باشد.

Abstract

The area of the Bam earthquake causative fault is modeled by finite element method. The shear stress distribution due to tectonic deviatoric stresses is computed for the fault plane and its surroundings. The results obtained by the simulation show two locations with high stress concentration, which might be interpreted as possible critical points for rupture initiation.

مقدمه

زمینلرزه ی ۱۳۸۲ بم در جنوب شرق ایران و در مختصات ۲۹/۰۵ درجه عرض شمالی و ۵۸/۳۵ درجه طول شرقی در ۵ کیلومتری جنوب شهر بم واقع شد (Sadeghi *et.al.* 2004). ساز و کار گسل مسبب زمینلرزه ی بم (ارگ بم (Nakamura *et.al.* 2005)) امتداد لغز راستگرد می باشد. طول این گسل ۲۰ کیلومتر و عمق آن ۱۵ کیلومتر است و شیب آن ۸۵ درجه می باشد (Yamanaka 2004). در این تحقیق هدف بر این است که با استفاده از روش اجزای محدود، تنش برشی برای گسل ارگ بم محاسبه شود.

الگوسازی

در این بخش، داده های لازم و انگاره های ساده کننده در برپاسازی الگوی سه بعدی گسل منطقه بم شناسایی و بررسی می شوند. الگوی سه بعدی برپاشده دربردارنده گسل ارگ بم و بخشی از ناحیه پیرامونی آن می باشد. برای شکل گسل از دو مدل ساده ی مکعبی و شکل هندسی سه شاخه ای بدست آمده توسط (Nakamura *et.al.* 2005) استفاده می شود. ناحیه سطحی می بایست به اندازه کافی بزرگ اختیار گردد تا از اندرکنش اثرات مرزی با آشفتگی های تنش در پیرامون منطقه گسلش جلوگیری گردد. از سوی دیگر، این ناحیه نباید تحت تأثیر آشفتگی های برآمده از گسل ها و گسیختگی های بیرونی قرار گیرد. از این رو، می بایست فاصله مناسب میان مرزهای ناحیه تا گسیختگی های بیرونی منظور گردد. بر این پایه، ابعاد ناحیه سطحی الگوی سه بعدی ۵۰×۸۰ کیلومتر مربع اختیار شده است. این ناحیه همراستا با تنش های زمین ساختی منطقه و در راستای N -

^۱- آدرس پستی: مشهد- میدان آزادی- دانشگاه فردوسی مشهد- بلوار علوم- مرکز تحقیقات زمینلرزه شناسی

* سخنران

رایانشانی: M.f.manoochehri.geo@gmail.com

NE اختیار شده است (McClusky *et. al.* 2003) تا در فرآیند الگوسازی، تنش‌های زمین‌ساختی عمود بر مرزهای الگوی سه بعدی وارد شوند. با این کار، معرفی شرط‌های مرزی نیرو، به آسانی انجام خواهد پذیرفت. عمق الگوی سه بعدی تا عمق موهو در منطقه برابر ۴۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود (Seber *et.al.* 2004). چنین عمقی برای جلوگیری از اندرکنش‌های ناخواسته آشفتگی‌های مرزی و گسلی، انتخاب می‌شود.

شکل (۱-الف) الگوی سه بعدی ساخته شده را نشان می‌دهد. عمق پوسته زمین در این الگو به پنج لایه مجزا تقسیم شده است. این لایه‌بندی تا عمق ۲۰ کیلومتر بر اساس نمودار سرعتی پوسته در منطقه انتخاب شده است (Sadeghi *et.al.* 2004). در این مدل با فرض کشسان بودن پوسته، شناسه‌های کشسانی لایه‌های معرفی شده از مقادیر سرعت‌های امواج درونی محاسبه شده اند (جدول (۱)).

برای الگوسازی گسل با بهره‌جویی از روش اجزای محدود، شیوه‌های گوناگونی معرفی شده است (Moczó *et.al.* 2004). چنین شیوه‌هایی برای انجام شبیه‌سازی‌های دینامیکی همچون انتشار امواج لرزه‌ای یا گسیختگی دینامیکی گسل‌ها طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند. برای مسأله پیش رو، که به رفتار ایستایی یک گسل و منطقه پیرامونی آن می‌پردازد، بهره‌گیری از الگویی ساده‌تر مناسب و بسنده خواهد بود. بدین منظور، گسل به صورت ناحیه‌ای سست و با یک صفحه به ضخامت اندک الگوسازی می‌شود. مدول کشسانی ناحیه سست گسلی ۱۰٪ مقادیر متناظر برای سنگ‌های پیرامونی انگاشته خواهد شد (Kurza *et.al.* 2003). ضریب پواسون ناحیه سست گسلی و سخت پیرامونی یکسان پنداشته می‌شود. ضخامت ناحیه گسلی برابر ۱ km منظور می‌گردد.

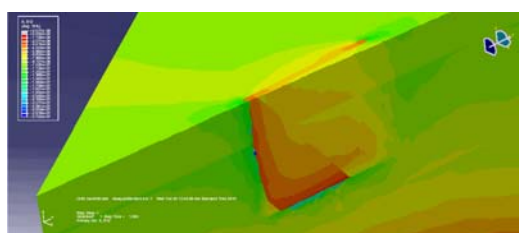
عمق لایه Km	V_p Km/s	V_s Km/s	λ GPa	μ GPa	E GPa	ν	ρ Kg / m ³
۰ - ۵	۵/۵۷۷	۳/۲۱۷	۲۹/۱۳۳	۲۸/۹۷۷	۷۲/۴۸۲	۰/۲۵۰۷	۲۸۰۰
۵ - ۱۰	۵/۸۳۰	۳/۴۶۴	۲۷/۹۷۳	۳۳/۵۹۸	۸۲/۴۶	۰/۲۲۷۲	۲۸۰۰
۱۰ - ۱۵	۵/۹۲۹	۳/۵۱۲	۲۹/۳۵۷	۳۴/۵۳۶	۸۴/۹۴	۰/۲۲۹۷	۲۸۰۰
۱۵ - ۲۰	۶/۰۳۲	۳/۵۰۹	۳۲/۹۲۵	۳۴/۴۷۷	۸۵/۷۹۵	۰/۲۴۴۲	۲۸۰۰
۲۰ - ۴۰	۶/۵	۳/۷۵۵	۳۹/۳۴	۳۹/۴۸	۹۸/۶۶۸	۰/۲۴۹۶	۲۸۰۰

جدول ۱- مقادیر سرعت موج طولی V_p ، سرعت موج عرضی V_s ، ضریب لامه λ ، ضریب برشی μ ، مدول کشسانی E ، نسبت پواسون برای لایه‌های پوسته ν .

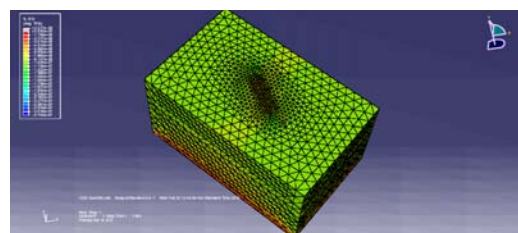
پس از برپاسازی الگوی سه‌بعدی، می‌بایست آن را با شرط‌های مرزی مناسب مقید ساخت. آشکارا، سطح بالایی الگوی سه‌بعدی، در نبود تنش‌های ناشی از بار توپوگرافی به دلیل کویری و یکدست بودن منطقه، به صورت سطح صاف آزاد خواهد بود. سطح پایینی الگو در برابر همه تغییرمکان‌ها و دوران‌ها گیردار و بسته می‌شود. در واقع، با این کار، یک لایه سخت آرمانی در زیر الگوی سه‌بعدی انگاشته خواهد شد. چنین انگاره‌ای با توجه به فاصله منظور شده میان گسل تا مرز پایینی قابل قبول خواهد بود. به چهار ناحیه مرزی قائم پیرامونی نیز تنش‌های زمین‌ساختی و مولفه

افقی ناشی از تنش‌های لیتواستاتیک منطقه وارد خواهد شد. بر این اساس، برای این چهار ناحیه مرزی، جابه‌جایی تنها در دو راستای قائم و افقی عمود بر صفحه مرز امکان‌پذیر بود، و دیگر راستاها بسته و بدون امکان جابه‌جایی انگاشته خواهند شد. یادآوری می‌شود، تنش‌های لیتواستاتیک نیز با انگاشتن نیروهای بدنه‌ای در الگوسازی وارد می‌گردند.

پیش‌بینی ناحیه آغاز گسیختگی تنها با بررسی تنش‌های برشی امکان‌پذیر است. تنش‌های زمین‌ساختی وارد بر کناره‌های قائم الگوی سه‌بعدی، که برای ناحیه شمال شرق ایران گزارش شده است (Zamani 2008)، محاسبه شد. شایان ذکر است، تنها بخش انحرافی تنش‌های زمین‌ساختی به الگوی سه‌بعدی وارد می‌گردد. اندازه تنش‌های عمود بر صفحه (نرمال) وارد بر مرزهای طولی و عرضی به ترتیب برابر $11/2 \text{ MPa}$ (فشارشی) و $8/56 \text{ MPa}$ (کششی) خواهد بود.



(ب)



(الف)

شکل ۱- نتیجه بدست آمده برای شکل هندسی ساده ی گسل - نمایشی از تنش برشی در راستای شمال جغرافیایی (رنگ های سرد تر نشان دهنده تنش برشی بیشتر می باشند). (الف) شبکه بندی منطقه بر اساس المان های هرمی انجام شد و المان بندی در اطراف گسل ریزتر می باشد. (ب) برش قائم از منطقه که شامل بخشی از گسل می باشد. افزایش تنش در اطراف گسل قابل مشاهده است.

در این مقاله، برای پیاده‌سازی الگوی محاسباتی از روش اجزای محدود بهره جسته شده است. این روش، به دلیل انعطاف‌پذیری بی‌بدیل آن در پیاده‌سازی شرط‌های مرزی و تحلیل‌های ایستایی بسیار کارآمد می‌باشد. پیاده‌سازی الگوی محاسباتی در این مقاله در نرم‌افزار ABAQUS 6.9 انجام پذیرفته است.

پس از ساخت الگوی سه بعدی در نرم‌افزار و اعمال شرط‌های مرزی، شبکه‌بندی الگو به منظور برپاسازی الگوی محاسباتی با بهره‌جویی از الگوریتم‌های ساخت شبکه نرم‌افزار انجام می‌پذیرد. از آن جا که در ناحیه گسل، آهنگ تند تغییرات تنش و کرنش پیش‌بینی می‌شود، ضروری است ناحیه پیرامونی گسل با شبکه ریزتری پوشش داده شود. برای انجام شبکه‌بندی، جزءهای محدود هرمی، که توانایی شایسته‌ای را در پوشش‌دهی مرزهای پیچیده دارند، به کار می‌روند. شبکه‌بندی انجام گرفته در شکل (۱-الف) نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

در شکل (۱-ب) نمایشی از مولفه افقی تنش برشی در صفحه قائم، که تقریباً به موازات صفحه گسل می‌باشد، آمده است. نتایج شبیه‌سازی عددی حاصل از هر دو مدل گسلی ساده و سه شاخه ای نشان می‌دهد که این مولفه ی افقی تنش، مقادیری به مراتب بزرگ‌تر از مولفه قائم تنش برشی دارد. از این رو، در بررسی محل‌های تمرکز تنش، که آغاز لغزش احتمالی را کلید می‌زنند، تنها

به مولفه افقی تنش برشی در ناحیه گسله پرداخته می‌شود. همچنین، توزیع تنش فشارشی عمود بر گسل در تمام سطح گسل تقریباً یکنواخت به دست می‌آید. از این رو، بررسی نقاط تمرکز تنش برشی در راستای افقی برای یافتن محل‌های آغازین لغزش بر پایه معیار ساده و آشنای لغزش کولمب بسنده خواهد بود. بر این پایه، نقاط مرکزی گسل، که بیشترین تنش‌ها را در خود متمرکز کرده‌اند، نقاط بحرانی به شمار می‌آیند. گفتنی است، همان‌گونه که شبیه‌سازی عددی انجام گرفته تأیید می‌کند، حجم ناحیه گسل در سنجش با توده سنگ پیرامونی تنش‌های کمتری را متحمل می‌شود، که آشکارا به دلیل سست بودن ناحیه گسله و ناتوانی آن در تحمل تنش‌های بالاست. از این رو، محدوده پیرامونی گسل ناگزیر از تحمل تنش‌های بالایی می‌باشد؛ اگرچه در مدل ساده تمرکز تنشی در لبه‌ها، بیشتر از مدل سه شاخه‌ای است. به ویژه، همان‌گونه که در شکل (۱-ب) مشخص است، یک محدوده تمرکز تنش در ناحیه پایین‌تر از ۵ کیلومتر، در توده سنگ ضلع جنوبی گسل، مشاهده می‌شود. این ناحیه نیز می‌تواند نقطه‌ای بحرانی برای آغاز گسیختگی باشد.

تقدیر و تشکر

ضمناً از راهنمایی‌های جناب آقای دکتر صادقی کمال تشکر و قدردانی را داریم.

فهرست مرجع‌ها

1. Kurza J. H., Jahrb T., Jentzsch G. , 2003, Geodynamic modeling of the recent stress and strain field in the Vogtland swarm earthquake area using the finite-element-method, *Journal of Geodynamics*, Vol. 35, pp.247–258.
2. McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., Tealeb, A., 2003. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophys. J. Int.* 155, 126–138.
3. Moczo P., Kristek J., Galisb M., Pazaka P., Balazovjech M., 2007, The finite-difference and finite-element modeling of seismic wave propagation and earthquake motion, *acta physica slovac*, Vol. 57(2), pp. 117– 406.
4. Nakamura T., Suzuki S., Sadeghi H., Fatemi Aghda S.M., Matsushima T., Ito Y., Hosseini S.K., Gandomi A.J., Maleki M., 2005, *Source fault structure of the 2003 Bam earthquake (southeastern Iran) inferred from the aftershock distribution and its relation to the heavily damaged area*: Existence of the Arg-e-Bam fault proposed, *Geophysical Research Letters*, Vol. 32.
5. Sadeghi H., Fatemi Aghda S.M., Suzuki S., Nakamura T., 2006, 3-D velocity structure of the 2003.Bam earthquake area (iran): existence of a low-poisson's ratio layer and its relation to heavy damage, *Tectonophysics*, Vol. 417, pp. 260–283.
6. Seber D., Vallve M., Sandvol E., Steer D., Barazangi M., 1997, Middle east tectonics: applications of geographic information systems (GIS), *GSA Today*, Vol.7, pp.1–6.
7. Yamanaka Y, 2003, Seismological note No.145, *Earthquake Inf .Cent., Earthquake Res .Inst., Univ .of Tokyo*, Tokyo.
8. Zamani G. B., Angelier J., Zamani A ,2008, State of stress induced by plate convergence and stress partitioning in northeastern Iran, as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Journal of Geodynamics*, Vol.45, pp.120–132.