بررسی پتانسیل لرزه ای تاقدیس با مدل تنش ژئودینامیکی در یامچی اردبیل

شهریار ندرمحمدی مقدم[۱]، محمد خلج[۲]، شاهرخ پوربیرانوند[۳]
[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، shahryarnadr@yahoo.com
[۲]دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، m_khalaj@pnu.ac.ir
[۳]استادیار پژوهشکده زلزله شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، beyranvand@iiees.ac.ir

چکیده

جایگاه اردبیل در نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای، رویداد زلزله اسفند ۱۳۷۵، تغییر شکل‌های بزرگ در سطح زمین و احداث سد خاکی یامچی، ضرورت بررسی رفتار لرزه ای توده تاقدیس یامچی را رقم می‌زند. فراخاست تاقدیس یکی از فرآیندهای ژئودینامیک است و فرض می‌شود که بطور پیوسته در زمان دامه پیدا می‌کند. این فرآیند بصورت مدل دو بعدی به روش تفاضل محدود در نرم افزار FLAC بررسی می‌شود. محتوای تاریخچه زمان توصیف بهتری از روند تغییر مولفه‌های فرآیند به دست می‌دهند. توپوگرافی سطح زمین، جابجایی، سرعت، شتاب، چگالی، تنش و دما مولفه‌های اصلی مدل هستند. توپوگرافی منتهی به فراخاست تاقدیس، حاصل رویدادی آهسته با یک درجه آزادی و بدون تکان بزرگ لرزه ای، همراه با چرخه انباشتگی- آزادسازی تنش است. علیرغم تغییر شکل بزرگ، چرخه انباشتگی- آزادسازی تنش نشان داد که تغییرات ناگهانی تنش چنان روند و بزرگائی ندارد که منجر به رویداد بزرگ لرزه ای شود.

واژه‌های کلیدی: ژئودینامیک، تنش، تفاضل محدود، تاقدیس، اردبیل

Investigation of anticline seismic potential with geodynamic stress model in Yamchi, Ardabil

Shahryar Nadr Mohammady[1], Mohammad Kalaj[2], Shahrohk Poor Beyranvand[3]
[1]Master student, Payame Noor University[1], shahryarnadr@yahoo.com
[2]Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Payame Noor University[2], m_khalaj@pnu.ac.ir
[3]Assistant Professor of Seismological Research Institute, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, beyranvand@iiees.ac.ir

Abstract

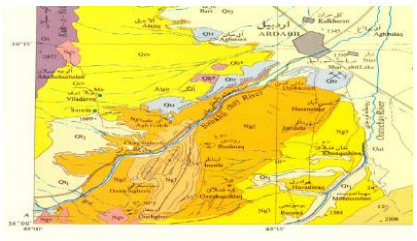
The position of Ardabil in the seismic hazard zoning map, the March 1996 earthquake event, large deformations in the earth's surface and the construction of the Yamchi earthen dam, necessitate the study of the seismic behavior of the Yamchi anticline. Anticline elongation is one of the geodynamic processes and is assumed to be continuous over time, this process is studied as a two-dimensional model with the finite difference method in FLAC software. Time history information and content provide a better explanation of the process of changing process components. Ground surface topography, displacement, velocity, acceleration, density, stress and temperature are the main components of the model. The topography leading to the anticline elongation results from a slow event with one degree of freedom and no major seismic shock, with a stress-relief cycle. Despite the large deformation, the stress-aggregation-release cycle showed that sudden stress changes did not have such a trend and magnitude, leads to a large seismic event.

Keywords: Geodynamics, stress, finite difference, anticline, Ardabil

۱ مقدمه

شهر اردبیل در موقعیت جغرافیائی 48.30 E – 48 و 38.30 N – 38 در شمال غرب ایران جای گرفته است. این پهنه از نظر جایگاه زمین شناختی در مرز جدائی سازند البرز و قفقاز قرار دارد. بخشی از مناطق چین خورده آن، انتها و ادامه رشته کوه البرز بوده و به سازند البرز متصف شده است (کوه‌های باغرو یا تالش) بخشی دیگر انتها و ادامه کوه‌های قفقاز بوده و به سازند قفقاز متصف شده است (کوه‌های خروسلو) و بخشی هم انتها و ادامه کوه‌های آذربایجان است. در نقشه پهنه بندی خطر لرزه ای ایران، شهر اردبیل در ردهٔ مناطق با خطر لرزه ای بالا تا خیلی بالا قرار گرفته است. حوضه مورد

مطالعه بطور کلی بصورت یک تاقدیس ترکیبی یا شکنجی است که بعنوان تاقدیس یامچی یا تاقدیس بالخلو شناخته می‌شود ولی در نقشه زمین شناسی عنوانی برای آن درج نشده است. محور آن در راستای شمال، شمال شرقی – جنوب، جنوب غربی است و به نظر می‌رسد میل محوری (Plunge) به سوی شمال شرقی (NE) است (مجموعه مطالعات یامچی ۱۳۷۳).



شکل ۱. موقعیت جغرافیائی، هندسی و زمین شناسی تاقدیس یامچی

۲ روش تحقیق

تلاش لرزه ای فراخاست تاقدیس در طول فرآیند شکل گیری بوسیله تهیه مدل ژئودینامیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. اهمیت شناخت مصالح و مواد تشکیل دهنده پوسته، چگونگی نیروهای وارده، ساختار تنش، کرنش و حرکت در توده سنگی بدان جهت است که پارامترهای رفتاری ومکانیکی مواد به درستی و نزدیک به واقعیت در مدل تعریف شوند تا ساختمان فیزیکی مدل هرچه بیشتر به واقعیت نزدیک شده و در نهایت عدم قطعیت در نتایج و برون دادها کاهش پیدا کند، بعبارت دیکر نتایج قابل اعتماد باشند.

چگالی پوسته زمین از مدل تغییرات چگالی مواد پوسته زمین با عمق براساس نتایج وارون سازی انومالی گرانی توسط سندویل- اسمیت (۲۰۱۹) استفاده شده و به اندازه کافی از روائی و پایائی بعنوان یک سند علمی برخوردار است.

ساختار مدل سرعتی امواج P و S یا تغییرات عمقی سرعت سیر امواج زلزله پوسته ایران، از پرتال پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (۱۴۰۰) اقتباس و براساس روابط بین سرعت امواج لرزه ای و متغیر چگالی، ثابت‌های کشسانی و نسبت پواسون، محاسبه شدند.

$$E_d = \frac{\rho(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(\frac{V_p^2}{V_s^2} - 1)} = 2\rho V_s^2(1+\mu) \qquad (۱)$$

ρ چگالی، V_P سرعت موج اولیه، V_S سرعت موج ثانویه، μ سختی برشی، E_d مدول یانگ دینامیکی است.

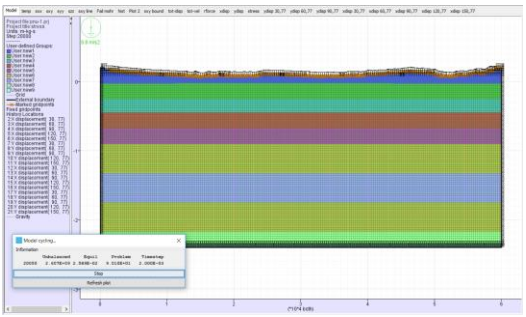
جدول ۱. تلفیق مدل سرعت امواج زلزله با چگالی و تعیین پارامترهای کشسانی

DEPTH (KM)	V_P (m/s)	V_S (m/s)	Rho (kg/m^3)	E (kg/m^2) *10^10	G (kg/m^2) *10^10	k (kg/m^2) *10^10	lambda	nuo
2	5400	2674.4	2300	4.40	1.65	4.51	2.733	0.338
4	5400	2966.4	2850	6.44	2.51	4.97	1.980	0.284
6	5400	3060	3200	7.57	3.00	5.34	1.780	0.264
8	5900	3184.8	3400	8.93	3.45	7.24	2.099	0.294
10	5900	3254.2	3480	9.44	3.69	7.20	1.951	0.281
14	5900	3359.6	3270	9.30	3.69	6.46	1.751	0.260
18	6300	3461.3	2913	8.96	3.49	6.91	1.980	0.284
22	6500	3530.2	3000	9.65	3.74	7.69	2.056	0.291
26	6500	3597.7	3200	10.60	4.14	8.00	1.932	0.279
30	6500	3660.1	3400	11.55	4.55	8.29	1.822	0.268
34	6500	3720.8	3625	12.61	5.02	8.62	1.717	0.256
38	6500	3784.7	3825	13.63	5.48	8.86	1.617	0.244

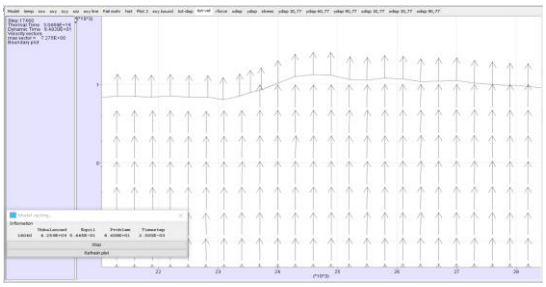
۳ نتایج مدل سازی

با توجه به این که فرایندهای ژئودینامیک، پیوسته در زمان و معمولاً دارای چرخه تکرار هستند، اطلاعات تاریخچه زمان مولفه های مذکور تبیین بهتری از چگونگی و روند تغییر مولفه های خروجی دارند.

ساختمان مدل براساس توضیحات روش تحقیق، مقطع مورد مطالعه بصورت زیر ساخته شده و اثرپروفیل سطح زمین در شکل‌ها (۲) دیده می‌شود.



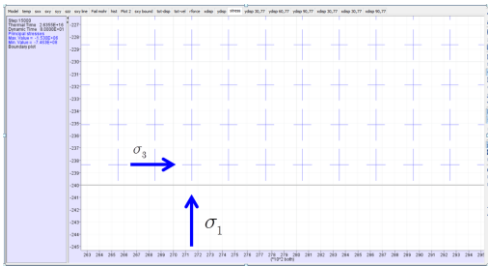
شکل ۲. ساختمان مدل پس از تعریف پروفیل سطح زمین



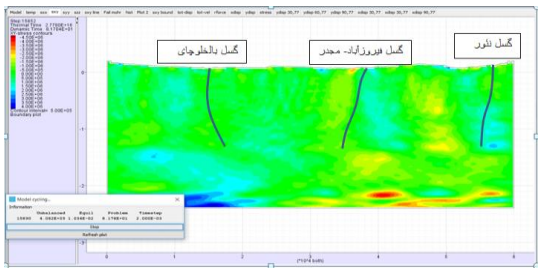
شکل ۳. نمای نزدیک بردار جابجائی متناظر با محل تاقدیس یامچی

بردار سرعت و جابجائی شامل دو مولفه در جهت افقی و قائم است. بردار جابجائی متناظر با موقعیت فراخاست تاقدیس به تبعیت از نظام فشردگی قشر جامد پوسته است و جهت آن با داده‌های ژئودتیک محل سد یامچی مطابقت دارد. تمایل به حرکت در راستایی است که آزادی حرکت وجود دارد. بزرگ‌ترین سرعت در سطح زمین و کوچک‌ترین سرعت در عمق بوجود آمده است و بردارهای شاخص سرعت با موقعیت تاقدیس یامچی مطابقت دارد.

تنش و تغییرات آن در راستای افقی و عمودی در شکل‌های (۴) نشان داده شده است. مولفه های برشی، افقی و عمودی تنش تحت تاثیر روند فشردگی و حرکت در بخش جامد پوسته بوده و به همراه عوامل فرسایش، شکل دهنده توپوگرافی زمین هستند. تداوم نظام فشردگی، اثر نامتعادل کننده توپوگرافی زمین و پیدایش اشکال متنوع در زمین توسط مدل تغییرات تنش برشی قابل تبیین است.



شکل ۴. راستای تنش حداکثر و حداقل در هر نقطه از شبکه گرهی

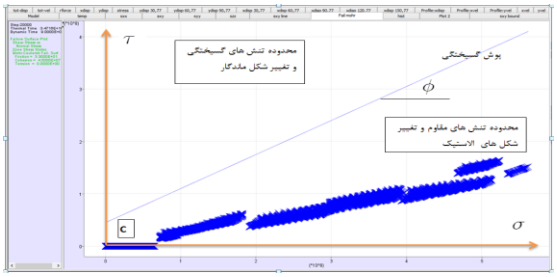


شکل ۵. تناسب نسبی موقعیت گسل و تغییرات تنش برشی

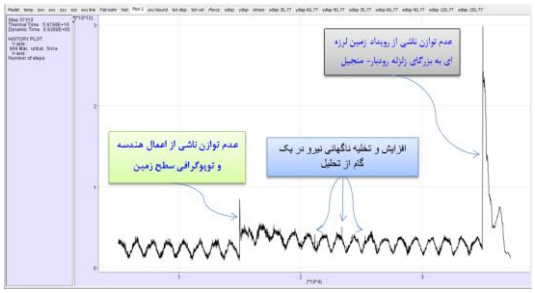
روند آشفتگی تنش برشی و پیدایش هسته‌های کم فشار و پرفشار در عمق و سطح زمین با توپوگرافی زمین در طول سپری شدن گام‌های تحلیل همبستگی نشان می‌دهد و محل تنش‌های بحرانی یا تغییر علامت تنش برشی با موقعیت گسل‌های منطقه اردبیل متناسب است شکل (۵). گسلهای نئور، فیروزآباد- مجدر و بالخلوچای مولفه بزرگ امتداد لغز دارند، و گسل بالخلوچای احتمالاً مولفه معکوس هم دارد که با شکل گیری تاقدیس منافاتی ندارد. اثر توپوگرافی در شکل گیری مدل تنش برشی، تعیین محل نسبی گسل و نحوه گسترش عمقی صفحه گسلی قابل توجه است.

گسیختگی نتیجه‌ی تداوم فشردگی مقطع، چرخه تکراری تجمع انرژی کرنشی، پیدایش تغییر شکل‌های ماندگار و آزاد شدن انرژی است. با پیشرفت مراحل تحلیل و تغییر در میزان فشردگی مقطع، تغییر در توپوگرافی زمین با عث اختلاف و تفرق در سطوح تنش شده و دامنه تنش در هر پله گسترش می‌یابد. طبق نمودارهای شکل (۶) معیار گسیختگی موهر-

کولمب، تنش در حد تنش‌های الاستیک باقی می‌ماند.



شکل ۶. گسترش دامنه تنش و استمرار حالت الاستیک



شکل۷. چرخه نیروهای نامتوازن و اثر تعریف توپوگرافی زمین

چرخه نیرو به پیروی از روند طبیعی فرآیند ژئودینامیکی، نیروها تا رخدادن تغییر شکل و تخلیه انرژی در کالبد توده مدل تجمع یافته و پس از پیدایش تغییر شکل و رها شدن تنش، سطح نیرو کاهش پیدا می‌کند شکل (۷). تجمع و تخلیه ناگهانی نیرو در برخی از مراحل تحلیل قابل مشاهده است که بلافاصله نیز آزاد شده و انرژی سیستم به حالت سرشتی باز گشته است. عظمت بزرگای نیروی ناشی از اعمال یک رویداد لرزه ای مانند زلزله رودبار- منجیل با بزرگای نیروی عدم توازن سرشتی تولید شده در جریان فشردگی مقطع قابل مقایسه است.

۳.۱. نتیجه‌گیری

با توجه به گستره و ابعاد تحقیق اهم نتایج بدست آمده چنین است که می‌توان گفت توپوگرافی سطح زمین نشانی از تاریخچه تنش است. نتیجه عملکرد نیروهای تکتنوژئودینامیک با همکاری فرایندهای فرسایش، ریخت و هندسه امروزی زمین است. فراخاست تاقدیس که پدیده وابسته به زمان است با چرخه تجمع- رهائی تنش همراه است ولی رهائی تنش چنان شدت و قوتی ندارد که منجر به رویداد بزرگ لرزه ای شود، حتی لرزش‌های ناشی از فراخاست آنقدر کوچک هستند که قابل احساس نیستند.

منابع

ضمیران، س.، ۱۳۹۶، مدل‌سازی و تحلیل سازه‌های خاکی و سنگی در FLAC، چاپ سوم، شماره کتاب‌شناسی ملی ۲۶۶۳۵۲۹

صدرنژاد، س.، ۱۳۷۹، مبانی نظریه خمیری در خاک، چاپ اول، چاپخانه دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۱۰۰۱۷۴۱

کرمی، م. ابره، ب. فرامرزی، ل.، ۱۳۹۵، آموزش کاربردی نرم افزار FLAC3D (جهت استفاده مهندسین مکانیک سنگ، معدن، عمران و زمین شناسی مهندسی)، چاپ دوم، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره کتاب‌شناسی ملی ۲۷۰۳۵۸۴

شهریار، ک. رضوانی فر، س. کریمیان، م.، ۱۳۹۳، مبانی تحلیل دینامیکی محیط‌های سنگی و خاکی با استفاده از نرم افزار FLAC، چاپ اول، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، شماره کتاب‌شناسی ملی ۳۴۸۱۲۳۷

سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۹۲، گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ آینه ورزان 6461 III NE.

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شبکه شتابنگاری زلزله ایران، ۱۴۰۰، https://smd.bhrc.ac.ir/Portal/

سازمان نقشه برداری کشور، اداره-ژئودزی-ژئودینامیک، ۱۴۰۰، http://www.ncc.org.ir/fa/news/1542/

Motavalli-Anbaran, S. H., Zeyen, H., Brunet, M. F., Ardestani, V. E., 2011, Crustal and lithospheric structure of the Alborz Mountains, Iran, and surrounding areas from integrated geophysical modeling. Tectonics, 30(5).

Itasca Consulting Group., 2011, Fifth edition (FLAC Version 7.0) manual, Inc.

Nikolaevskii V.N., 1984, Mechanics of porous and fissured media, Nedra. Moscow.

SedovL, I., 1976, Mechanics of Contoniuous Medi, Vol 1, 2 , Nauka, Moscow.

Heidbach, O. Barth, A. Muller ,B. Reinecker, J. Stephansson, O. Tingay, M. Zang, A., 2016, “"WSMThecnical Report 16-0”", DOI: http://doi.org/10.2312/wsm.2016.001, https://www.gfz-potsdam.de/en/section/seismic-hazard-and-risk-

Koide, H., Bhattacharji, S., 1977, A model for partial melting of upper mantle rocks by local instability and its cyclical stress relief, Brooklyn, New York, 11210.

Koide, H, Bhattacharji S., 1977 Sep 5, Mechanistic interpretation of rift valley formation. Science,189(4205):791-3. doi: 10.1126/science.189.4205.791. PMID: 17777585.

Yoder, H., 1976b. Generation of basaltic magma. National Acad. Science, Washington, D.C., 265 pp

Personal cooperation and Information Received from: Pechnikov. A.O., 20019, https: //orcid.org/ 0000-0001-9626-8615 (ORCID) . E-mail: pechnikov@mobigroup.ru . https://lnkd.in/gHeHjGc.

Personal cooperation and Information Received from: Durandin. A.V., 2019, https: //orcid.org/ 0000-0001-6468-9757 (ORCID). E-mail: durandin.andrew@gmail.com.