

Equation Chapter 1 Section 1 111 بررسی ارتباط توپوگرافی و تغییرات تنش ژئودینامیک با مدل دو بعدی در جنوب غربی اردبیل

شهریار ندرمحمدی^۱، شاهرخ پوربیرانوند^۲، محمد خلج^۳

1- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، shahryarnadr@yahoo.com
2- استادیار پژوهشکده زلزله شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، beyranvand@iies.ac.ir
3- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، m_khalaj@pnu.ac.ir

چکیده

کلمات کلیدی

- تنش
- توپوگرافی
- گسل
- ژئودینامیک
- مدل

اهمیت مدلسازی تنشهای ژئودینامیکی و ارتباط آن با توپوگرافی زمین از آنجا شکل گرفت که سدهای مهم گیوی و یامچی با هدف تامین آب شرب و کشاورزی در مجاورت گسلهای فیروزآباد-مجدر و بالخلوچای در بالادست شهرهای گیوی و اردبیل ساخته شدند. وجود تودههای معلق و درحال لغزش به سمت رودخانه، رخدادن زلزلههای بزرگ و کوچک، دغدغهایی از تاثیر تغییر شکل ریختاری زمین بر تاسیسات بوجود آورد. این ارتباط با مدل عددی دو بعدی به روش تفاضل محدود در محیط نرم افزار FLAC مطالعه شد. بر اساس روابط بین چگالی، سرعت امواج لرزه ای، ثابتهای کشسانی، پارامترهای مورد نیاز مدل محاسبه شدند. تفاضل بین تنش گسیختگی و تنش درجا نشان دهنده استعداد گسلش و میزان تنش لازم برای وقوع گسیختگی و رویداد لرزه ای است. وادی در حال تغییر شکل در میان رشته کوهها نشان میدهد که چین خوردگیهای بوجود آمده هم راستا با نقشه الگوی تنش جهانی است. نتیجه همکاری نیروهای ژئودینامیک با فرایندهای فرسایش، ریخت و هندسه فعلی زمین است. نیروها تا رخدادن تغییر شکل و تخلیه انرژی در کالبد توده مدل تجمع یافته و پس از پیدایش تغییر شکل یا گسیختگی، سطح نیرو کاهش مییابد. تغییرات توپوگرافی با تفرق در سطوح تنش متناسب است با این وجود، سطح تنش در محدوده الاستیک باقی میماند. مدل تنش برشی نشان میدهد که محل تغییر علامت تنش برشی (تنش بحرانی) و تغییرات هندسه و توپوگرافی زمین با هم مرتبط بوده و موقعیت گسلهای منطقه اردبیل به موقعیت تغییر علامت تنش برشی بسیار نزدیک است.

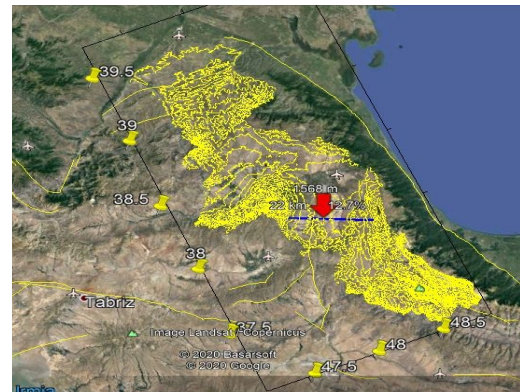
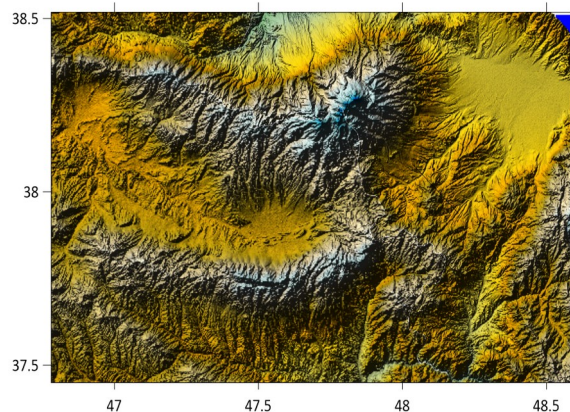
1 مقدمه

فرآیندهای مدلسازی در مهندسی زمینⁱⁱ شامل ملاحظات خاصی است که آن را از فرآیندهای مدلسازی قطعات صنعتی و مواد ساخت و تولید متمایز می کند. تحلیل و طراحی سازه ای و حفاری در خاک و سنگ در یک ساختگاه به واسطه داده های اندک مختص همان ساختگاه صورت می گیرد، از طرفی، با توجه به تغییرات ساختمان خاک، می بایست همواره نسبت به تغییر پارامترها هوشیار بود. در واقع غیر ممکن است که داده میدانی کامل از خاک و سنگ ساختگاه بدست آورد و در بهترین حالت بخشی از اطلاعات مربوط به تنش، کرنش، ناپیوستگی ها و خصوصیات مکانیکی شناخته می شود. از آنجا که داده های لازم برای ایجاد مدل پیش بین محدود هستند بهتر است از یک مدل عددی ژئومکانیکی برای نمایش سازوکار رفتاری سیستم استفاده شود. پس از درک رفتار سیستم یکسری محاسبات ساده شده برای تحلیل مدل به کار میرود. نتایج مدلسازی هنگامی قابل اعتماد خواهند بود که برنامه با داده مناسب پشتیبانی شود. جایگاه مدل مورد مطالعه می تواند از مدلی با ساختار ساده زمین شناسی تا یک مدل با زمین شناسی پیچیده، غیرقابل دسترس و غیر قابل آزمایش تغییر کند. از نظر اطلاعات ورودی، امکان دارد با مجموعه کاملی از داده ها تا فقدان داده مواجه شویم. از نظر پارامترهای رفتاری می تواند از مدل ناشناخته (بررسی سازوکار) تا مدل براساس رفتارسنجی

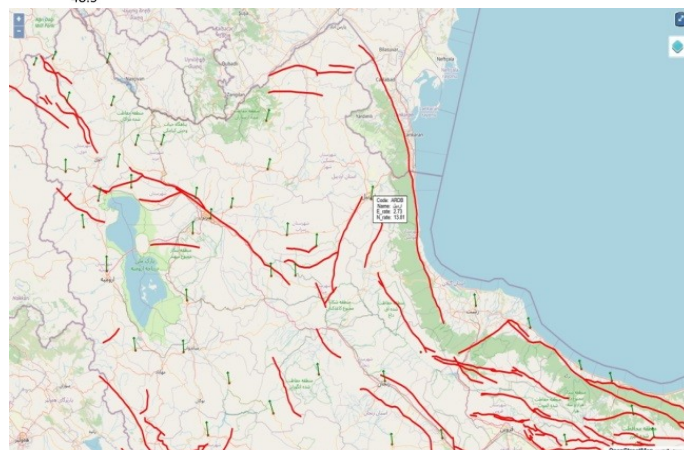
ⁱ شهریار ندرمحمدی مقدم، اردبیل، میدان شریعتی، کوچه اسلامی 1، روبروی مسجد اسلامی، پلاک 15، کد پستی 561365597، تلفن همراه 09144517204، ایمیل shahryarnadr@yahoo.com

ⁱⁱ Geo engineering

میدانی با مطالعه پارامترها (پیمایش میدانی) تا مدل شناخته شده و قابل پیش بینی متنوع باشد [1]. علاوه بر اتکا و استناد به پارامترهای ژئومورفولوژیک، مورفوتکتونیک و رخدادهای لرزه ای، برای فعال و جنبای بودن زمین منطقه مورد مطالعه، پایش مستقیم و تعیین میزان جابجائی ها دلیل مبرهن بر دینامیک و استقرار عوامل زمین ساخت است. وجود جابجائی زمین بعنوان عامل مؤثر در تجمع و آزاد شدن تنش و کرنش منجر به رویداد لرزه ای مورد تاکید است. بردار نرخ جابجائی برحسب میلیمتر در سال (سرعت) بیان شده و برای منطقه اردبیل E-rate 2.73 و N-rate 13.81 میلی متر در سال اعلام شده است [2].



شکل 1: موقعیت جغرافیائی و بردارهای
میدان سرعت در اردبیل [5]
E-rate 2.73 و N-rate 13.81 mm/y

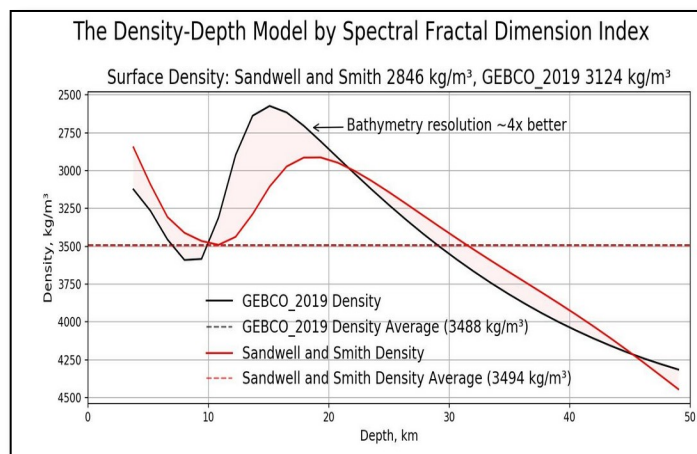


2 پارامترهای ورودی مدل

ساخت مدل مستلزم ورودی هایی است که در ادامه بطور مختصر تشریح می گردد:

2-1 چگالی پوسته زمین

در شکل (2) مدل تغییرات چگالی مواد پوسته زمین با عمق براساس نتایج وارون سازی انومالی گرانی توسط سندویل- اسمیت (1969) ارائه شده است. با توجه به عدم امکان نمونه برداری و انجام آزمایش مستقیم در اعماق زمین، و اینکه در مدل سازی های ژئوتکتونیک از این مدل استفاده شده است به اندازه کافی از روایی و پایائی بعنوان یک سند علمی برخوردار است. مقادیر نظیر چگالی- عمق استخراج شده و بعنوان داده ورودی در مدل اعمال می شوند [3].



شکل 2: نمودار تغییرات چگالی با عمق براساس روش Sandwell, Smith (1969)

2-2 مدل سرعتی امواج P و S

تغییرات عمقی یا ساختار مدل سرعتی امواج P و S پوسته ایران [4] و روابط سرعت امواج لرزه ای، ثابت های کشسانی یا پارامترهای رفتاری نظیر عمق محاسبه و در جدول (1) ارائه شده است. چگالی، نسبت پواسون و ثابتهای مکانیکی مواد، از مهمترین ورودیهای مدل هستند.

جدول 1: تعیین پارامترهای کشسانی بر اساس تلفیق مدل سرعت امواج زلزله با چگالی نظیر عمق

DEPTH (KM)	V_P (m/s)	V_S (m/s)	ρ (kg/m ³)	E (kg/m ²) 10^{10} *	G (kg/m ²) 10^{10} *	k (kg/m ²) 10^{10} *	λ	ν
2	5400	2674. ₄	2300	4.40	1.65	4.51	2.733	0.33 ₈
4	5400	2966. ₄	2850	6.44	2.51	4.97	1.980	0.28 ₄
6	5400	3060	3200	7.57	3.00	5.34	1.780	0.26 ₄
8	5900	3184. ₈	3400	8.93	3.45	7.24	2.099	0.29 ₄
10	5900	3254. ₂	3480	9.44	3.69	7.20	1.951	0.28 ₁
14	5900	3359. ₆	3270	9.30	3.69	6.46	1.751	0.26 ₀
18	6300	3461. ₃	2913	8.96	3.49	6.91	1.980	0.28 ₄
22	6500	3530. ₂	3000	9.65	3.74	7.69	2.056	0.29 ₁
26	6500	3597. ₇	3200	10.60	4.14	8.00	1.932	0.27 ₉
30	6500	3660. ₁	3400	11.55	4.55	8.29	1.822	0.26 ₈
34	6500	3720. ₈	3625	12.61	5.02	8.62	1.717	0.25 ₆
38	6500	3784. ₇	3825	13.63	5.48	8.86	1.617	0.24 ₄
42	6500	3861. ₁	4025	14.73	6.00	9.00	1.500	0.22 ₇
46	6500	3940. ₃	4225	15.87	6.56	9.10	1.387	0.21 ₀
50	8050	4030	4500	19.48	7.31	19.42	2.657	0.33 ₃

2-3 میدان سرعت و جابجایی سطحی زمین

منطقه اردبیل از نظر تکتونیکی به استناد داده های رقومی حوزه ژئودزی سازمان نقشه برداری کشور یک ناحیه فعال است [5]. آنچه در این بخش مورد توجه قرار می گیرد رابطه سرعت حرکت و تنش در پوسته، نرخ تجمع و آزاد شدن تنش و کرنش است. بردار نرخ جابجائی برحسب میلیمتر در سال (سرعت) برای منطقه اردبیل E-rate 2.73 (mm/y) و N-rate 13.81 اعلام شده است.

با در نظر گرفتن $dy/dt=13.81\text{mm/year}$ و $dx/dt=2.73\text{mm/year}$ کرنش برشی (2D) به صورت زیر به دست می آید:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right), (i \neq j; i, j = 1, 2, 3) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial t} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_j}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} \right) \right), (i \neq j; i, j = 1, 2, 3) \quad (2)$$

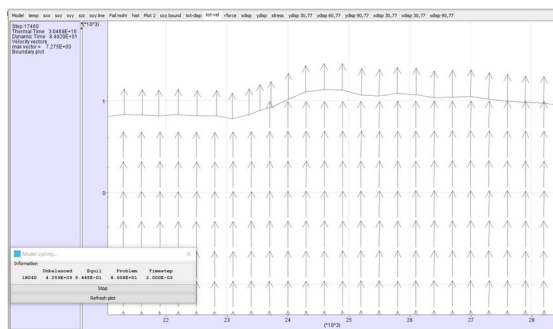
$\frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial t}$ کرنش برشی، $\frac{\partial u_j}{\partial x_i}, \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ تغییر شکل زاویه ای، نرخ یا سرعت کرنش است.

3 نتیجه گیری

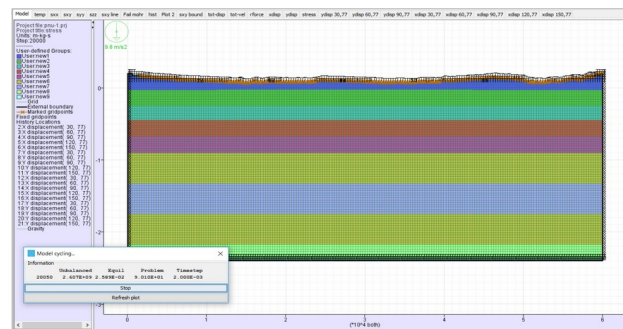
ساختمان مدل یک محیط پیوسته فرض شده است و طبق قوانین مکانیک محیط های پیوسته، هر یک از اجزا در محل استقرار خود در حال توازن هستند. برای بررسی وضعیت و چگونگی تغییر شکل ها از حالت کرنشهای بزرگ استفاده شده است. با این رویکردها ارتباط تنش تپوگرافی و تنش بررسی و نتایج بدست آمده ارائه می گردد.

3-1 ساختمان مدل

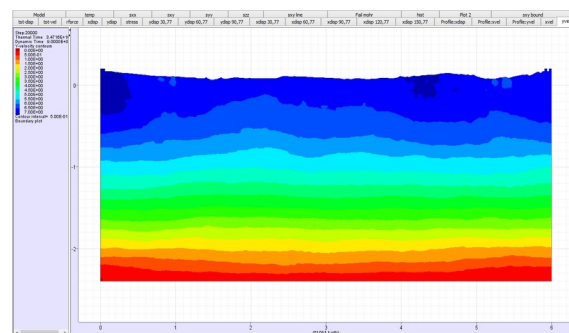
نتیجه اعمال تپوگرافی و برآیند جابجائی مسطحاتی ناحیه مورد مطالعه به ترتیب در شکل های (3) و (4) قابل مشاهده است. نقاط نزدیک به سطح زمین تاثیر بیشتری را متحمل می شوند.



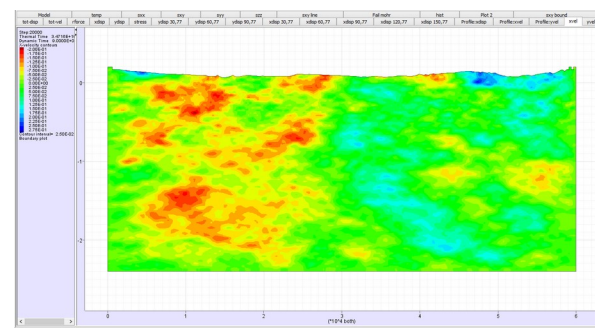
شکل 4: نمای نزدیک از بردار جابجائی متناظر با محل تاقدیس یامچی



شکل 3: ساختمان مدل و پروفیل سطح زمین



شکل 6: نمایش تغییرات سرعت در راستای قائم

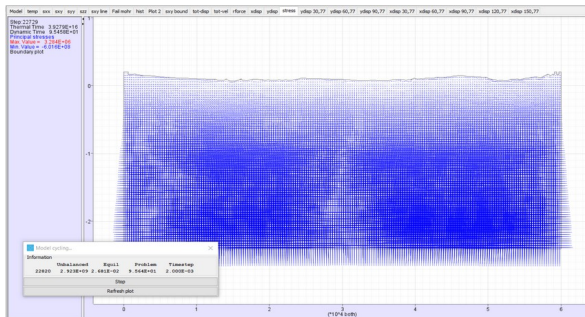


شکل 5: نمایش تغییرات سرعت در راستای افقی

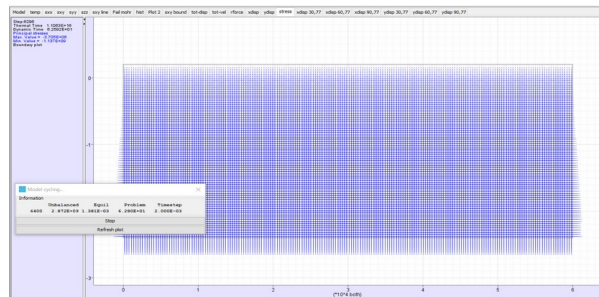
بردار سرعت در گره های مقطع نشانگر تمایل به حرکت در راستای دارند که آزادی حرکت وجود دارد. بزرگترین سرعت در سطح زمین و کوچکترین سرعت در عمق بوجود آمده است.

3-2 تنش

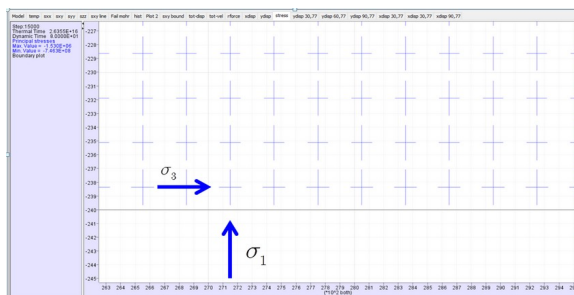
تغییر نظام تنش قبل و بعد از تعریف توپوگرافی زمین به ترتیب در شکل های (7) - (8) و (9) نشان داده شده است. شکل (10) راستای تنش های حداکثر و حداقل را نمایش می دهد.



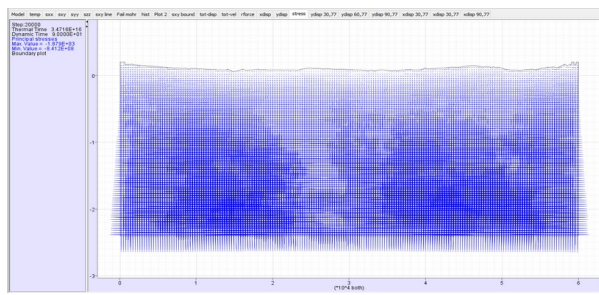
شکل 8: تغییر تنش در مقطع بعد از اعمال پروفیل سطح زمین



شکل 7: روند تحلیل تنش در مقطع قبل از اعمال پروفیل سطح زمین

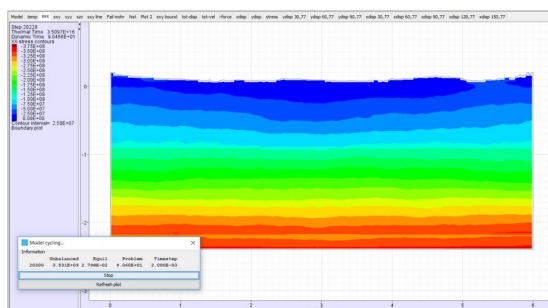


شکل 10: راستای تنش حداکثر و حداقل در هر نقطه از شبکه گرهی

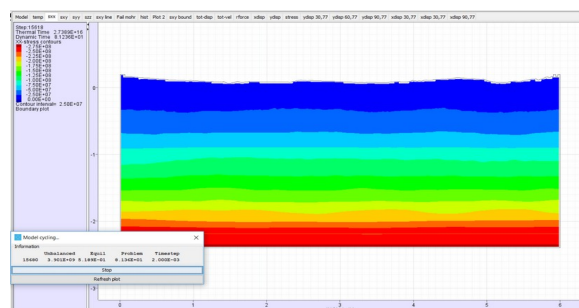


شکل 9: مولفه های تنش حداکثر و حداقل در مدل

در شکل های (11) و (12) به ترتیب تغییرات تنش افقی و قائم در مقطع نشان داده شده است. مشاهده می شود که سطح تنش متناسب با توپوگرافی و ستون روباره در هر نقطه است. مولفه های افقی و عمودی تنش هریک بطور جداگانه تحت تاثیر روند فشردگی و حرکت در بخش جامد پوسته هستند. اهمیت توپوگرافی زمین در توزیع تنش، رفتار الاستیک و پلاستیک توده مواد تشکیل دهنده بسیار حائز توجه است.



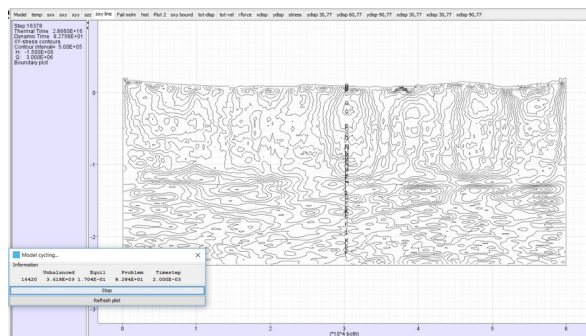
شکل 12: تحلیل تغییرات تنش در امتداد افقی در گامهای مختلف



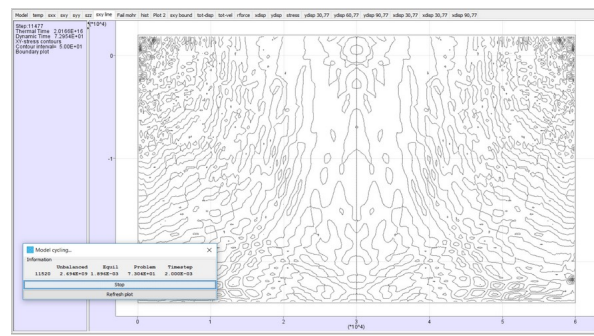
شکل 11: تحلیل تغییرات تنش در امتداد افقی در گامهای مختلف

3-3 تنش برشی

شکل (13) نشان دهنده تغییرات تنش برشی قبل از اعمال توپوگرافی زمین است. در شکل (14) بهم ریختگی خطوط هم تنش و به وجود آمدن هسته های کم فشار و پرفشار دیده می شود. در هر دو شرایط، مراحل تحلیل توأم با تداوم روند فشردگی براساس داده های ژئودتیک است.

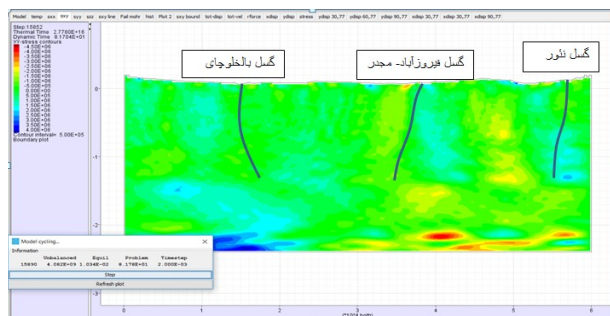


شکل 14: بهم ریختگی خطوط هم شدت تنش برشی ناشی از توپوگرافی و روند فشردگی

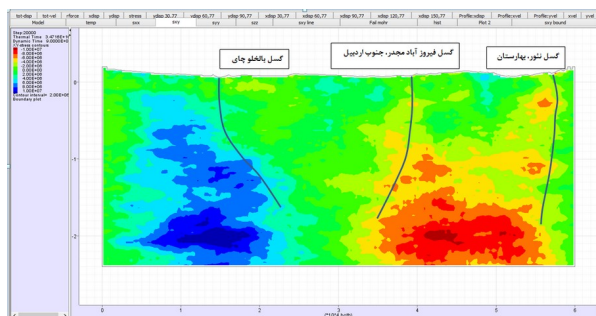


شکل 13: تنش متقارن در مقطع و خطوط هم تنش قبل از اعمال توپوگرافی زمین

تداوم نظام فشردگی، اثر نامتعادل کننده توپوگرافی زمین، روند آشفته گی تنش برشی و پیدایش اشکال متنوع کانون های برش مثبت (کششی) و برش منفی (فشاری) در درون زمین، پس از اعمال توپوگرافی زمین و سپری شدن گامهای تحلیل، در شکل های (15) تا (16) نشان داده شده اند. موقعیت هسته های تنش برشی با علامت های مخالف (مثبت و منفی یا کششی و فشاری) یا محل تغییر علامت تنش برشی با موقعیت جای گیری گسل های منطقه اردبیل متناسب است.



شکل 16: تعیین نسبی محل و صفحه گسلی از تغییرات تنش برشی و اثر توپوگرافی

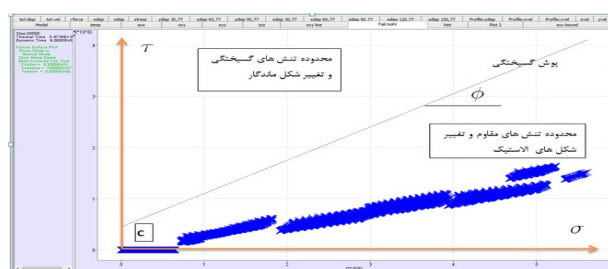


شکل 15: تناسب محل گسل ها با نقاط تغییر علامت تنش برشی

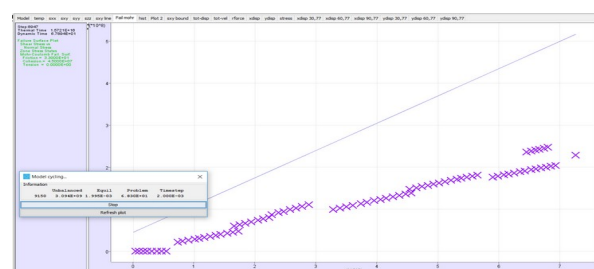
موقعیت نسبی گسل های نئور، فیروزآباد و بالخلوچای در شکل های بالا مشخص شده اند. هر سه گسل مولفه بزرگ امتداد لغز دارند.

گسیختگی

بوجود آمدن چرخه تکراری انباشت انرژی کرنشی- بروز تغییر شکل ماندگار- آزاد شدن انرژی، حاصل حرکت فشردگی ادامه دار در مقطع است. در نمودار شکل (17)- بسیاری از نقاط از نظر بزرگا هم تنش هستند در نتیجه بصورت یک نقطه نشان داده شده اند. در این شکل طبقات تنش قبل از اعمال پروفیل سطح زمین بوجود آمده اند و با پیشرفت مراحل تحلیل و تغییر در میزان فشردگی مقطع، اعمال توپوگرافی زمین با عث تفرق در سطوح تنش شده و دامنه تنش در هر سطح گسترش می یابد. نمودار شکل (18) نشان دهنده سطوح تنش پس از اعمال پروفیل زمین در شبکه گرهی است. در هر دو حالت تنش در محدوده الاستیک است.

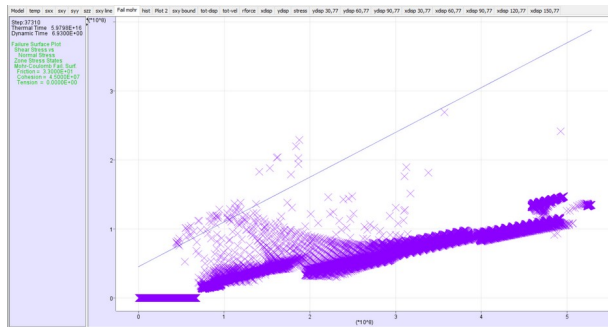


شکل 18: گسترش دامنه تنش در سطوح مختلف و استمرار حالت

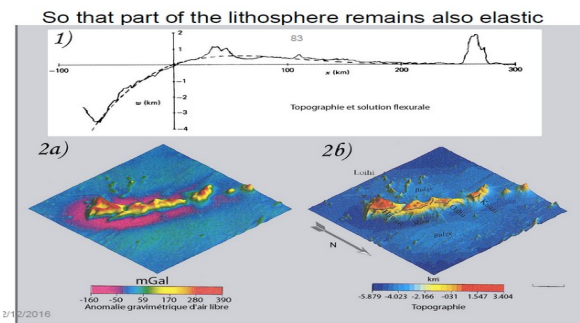


شکل 17: سطوح تنش و معیار شکست موهر- کولمب

الاستیک



شکل 20: فراگذشت تنش از معیار گسیختگی در حین رویداد لرزه ای

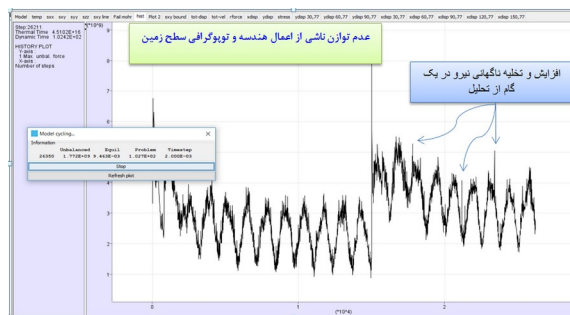


شکل 19: محدودهای که رفتار الاستیک نشان میدهد با خطچین مشخص شده است [0].

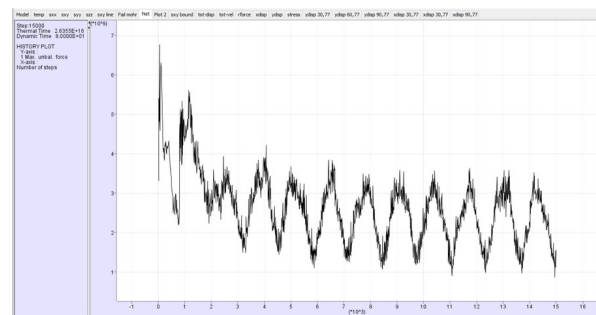
در رابطه با رفتار مواد در پوسته زمین لیتسیا پرووه (Laetitia Le Pourhiet) مطابق شکل (19) معتقد است که بیشتر واحدهای سنگی در لیتوسفر در سطح الاستیک باقی میماند و در نمودارهای معیار گسیختگی دیده می شود.

چرخه نیرو

در شکل (21) چرخه هارمونیک انباشت و تخلیه نیروهای نامتوازن کننده دینامیکی معادل با نیروی زمین ساخت قبل از اعمال پروفیل سطح زمین نشان داده شده است. در شکل (22) افزایش سطح نیرو و پیدایش جهش های ناگهانی در چرخه انباشت- تخلیه نیرو پس از اعمال پروفیل سطح زمین به مدل دیده می شود. تکتونیک فعال در طبیعت موجب تجمع و تخلیه متوالی نیروها و بوجود آمدن تغییر شکلهای بزرگ می شود. مدل تمایل به افزایش پایداری و کاهش نیروی نامتعادل کننده دارد، ولی استقرار و دوام حرکت پوسته (طبق داده های ژئودتیک) مانع کاهش سطح تنش از میزان تنش سرشتی سازند می شود. نیروها تا رخدادن تغییر شکل و تخلیه انرژی در پوسته تجمع یافته و پس از پیدایش تغییر شکل یا گسیختگی محلی، سطح نیرو کاهش پیدا می کند.



شکل 22: چرخه نیروهای نامتوازن پس از تعریف توپوگرافی زمین



شکل 21: چرخه نیروهای نامتوازن قبل از تعریف توپوگرافی زمین

4 سپاسگزاری

از سید هانی متولی عنبران و حمیدرضا نانکی برای مشاوره و راهنمایی های ارزشمندشان همچنین الکسی پچنیکف برای مشاوره و زحماتی که در تولید تصاویر تداخل سنجی راداری برای منطقه اردبیل متحمل شدند و سایر اشخاصی که در این تحقیق نقش راهنما و هدایت گری داشته اند قدرانی می گردد.

5 مراجع

[1] Heidbach, O., 2008. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. Tectonophysics 744 (2018) 484-498.

[2] Fifth Edition (FLAC Version 7.0) manual September 2011, © Copyright 2011, Itasca Consulting Group, Inc.

[3] IIEES P-Wave – IIEES Earthquake Process Program; hpc.iiees.ac.ir/3DModel/Inputs

[4] <http://www.ncc.org.ir/fa/news/1542/>

اداره ژئودزی-ژئودینامیک

[5] زینال پور، ع.، و قائدرحمتی، ر.، و مرادزاده، ع.، و رحمانی، م. (1397). اکتشاف ذخایر زمین گرمایی در منطقه بوشلی-سبلان با استفاده از داده های مگنتوتلوریک. پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، 4(2)، 171-186
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=475640>

[6] Laetitia Le Pourhiet, Trigger Workshop, 2018



Investigation of topographic relationship and changes in geodynamic stress with the two-dimensional model in the southwest of Ardabil

Shahryar Nadr Mohammady¹, Shahrokh Pourbeyranvand Nikkhah², Mohammad Khalaj³

1- Master student, Payame Noor University, shahryarnadr@yahoo.com

2- Assistant Professor of Seismological Research Institute, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, beyranvand@iiees.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Payame Noor University, m_khalaj@pnu.ac.ir

ABSTRACT

The importance of modeling geodynamic stresses and their relationship with land topography was formed because important Givi and Yamchi dams were built with the aim of supplying drinking water and agriculture in the vicinity of Firoozabad-Majdar and Balkhuchai faults upstream of Givi and Ardabil. The presence of suspended and slippery masses towards the river and the occurrence of large and small earthquakes raised concerns about the impact of landform deformation on the facility. This relationship with the two-dimensional numerical model was studied by the finite difference method in the FLAC software environment. Based on the relationships between density, seismic wave velocity, elastic constants, and the required parameters of the model were calculated. The difference between rupture stress and in situ stress indicates the tendency of faulting and the amount of stress required for rupture occurrence and seismic events. The deformed valley among the mountain ranges shows that the resulting folds are in line with global stress patterns. It is the result of the cooperation of geodynamic forces with the current erosion, morphology and geometry processes of the earth. The forces accumulate in the body of the model mass until deformation and energy discharge occurs, and after the occurrence of deformation or rupture, the force level decreases. Topographic changes are proportional to the dispersion at stress levels; however, the stress level remains in the elastic range. The shear stress model shows that the place of change of shear stress sign (critical stress) and changes in geometry and topography of the earth are related and the position of faults in the Ardabil region is very close to the position of change of shear stress sign.

KEYWORDS

- Stress
- topography
- fault
- geodynamics
- model