تخمین جهت تنش بیشینه‌ی افقی در جنوب باختر ایران به کمک آنالیز سازوکار کانونی زلزله‌ها

مهشید فدعمی[۱]، شبیر اشکپور مطلق*[۲]، سعید زارعی[۳]
[۱]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، mahshid.fadami8292@gmail.com
[۲]*استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران shashkpoor@pgu.ac.ir
[۳]استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران szarei@pgu.ac.ir
*نویسنده مسئول

چکیده

رژیم تکتونیکی حاکم بر منطقه زاگرس، تحت تاثیر همگرایی صفحات عربی و اوراسیا است که سالانه موجب وقوع زمین‌لرزه‌های فراوان با سازوکار کانونی عمدتاً معکوس در این منطقه می‌گردد. تحلیل تنش‌های برجا در مناطقی که دارای ذخایر زیرزمینی باارزش هستند، پیش‌نیاز مطالعات علم نوین ژئوفیزیک مخازن هیدروکربوری محسوب می‌شود. در مطالعه حاضر، جهت غالب تنش‌های زمین‌ساختی ناشی از رفتارهای تکتونیکی تحت تاثیر همگرایی پوسته در جنوب باختر ایران، با استفاده از داده‌های لرزه‌ای برآورد و با کمک نرم افزار Win-tensor تحلیل شده‌اند. به این منظور، از سازوکار کانونی زلزله‌های دستگاهی که در منطقه روی داده‌اند استفاده شده است. پهنه مورد مطالعه به ۸ زیرپهنه تقسیم شد. و آنالیزداده ها در نرم افزاربرای هر ۸ منطقه و در نهایت کل پهنه انجام شد. نتایج تحلیل نشان داد که جهت تنش بیشینه افقی در ۷ منطقه درجهت NE-SW می‌باشد که از فشار وارد از طرف صفحه‌ی عربی به قسمت جنوب باختری صفحه‌ی ایران تبعیت می‌کند، فقط در منطقه ۸؛ شمال باختری استان فارس، جهت تنش NW-SEمی‌باشد که دلیل آن می‌تواند غلبه عوامل ژئوتکتونیک محلی بر فشار حاصل از صفحه عربی دانست.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های برجا، سازوکار کانونی زلزله، جنوب باختر ایران، نرم افزار Win-tensor، زلزله‌های دستگاهی.

Estimation of maximum horizontal stress in southwestern Iran by analyzing the focal mechanism of earthquakes

Mahshid Fadami [1], Shobyr Ashkpoor-Motlagh [2], Saeed Zarei[3]
[1] MSc graduate in Geophysics,Persian Gulf University
[2] Assistant Professor of Geophysics department, Persian Gulf University
[3] Assistant Professor of Geophysics department, Persian Gulf University

Abstract

The tectonic regime in the Zagros orogeny is affected by the convergence of the Arabian and Eurasian plates, which causes many earthquakes each year with a mostly reverse mechanism in this region . In-situ stress measurement in areas of valuable underground reserves is necessary for modern geophysical studies of hydrocarbon reservoir. In this study, dominant directionthe of tectonic stresses caused by tectonic behaviors under the influence of shell convergence in the southwest of Iran have been estimated by using the focal mechanism of occurred Instrumental earthquakes and have been analyzed by WinTensor software. For this purpose, the focal mechanism of systemic earthquakes that have occurred in the region has been used. The study area was divided into 8 sub-areas. And the data were analyzed in the software for all 8 regions and finally the whole area. The results of the analysis showed that the direction of maximum

horizontal stress in 7 regions is NE-SW, which follows the pressure from the Arabian plate to the southwestern part of the Iranian plate, only in the 8th region; The northwest of Fars province is in the direction of NW-SE tension, the reason for which can be attributed to the dominance of local geotechnical factors over the owner's pressure from the Arabic plate.
Keywords: : In-situ stresses, Focal mechanism earthquake , Southwest of Iran, Software Win-tensor, Instrumental earthquakes.

۱ مقدمه

فلات ایران که در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا واقع است، به لحاظ زمین‌شناسی و فعالیت‌های زمین‌ساختی یکی از مناطق فعال جهان است که مورد توجه زمین‌شناسان و زلزله‌شناسان است و تحقیقات ارزشمندی در این خصوص انجام شده است (بربریان و کینگ،۱۹۸۱). این کمربند روی حاشیه‌ی شمال-خاوری صفحه‌ی عربی و روی پی‌سنگ کامبرین واقع شده است. ناحیه زاگرس با احتساب کمربند دگرگونی بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر پهنا و ۱۲۰۰ کیلومتر طول دارد (فالکن،1969) این کمربند یک منطقه جوان است که در اثر برخورد صفحات عربی و ایران مرکزی دچار کوتاه شدگی و ضخیم شدگی است (بربریان و کینگ،۱۹۸۱). با افزایش اطلاعات تنش‌های برجا در نقاط مختلف ایران، تحلیل‌های ژئومکانیکی با خطای کمتر و ضریب اطمینان بیشتر قابل استفاده هستند. در مناطق نفت‌خیز این آگاهی، نقش مهمی در تصمیمات مهندسی و مدیریت مخازن، در ارتباط با پایداری چاه‌های نفت و گاز بازی می‌کند. نخستین گام در تعیین جهت تنش، با نظریه آندرسن و مدل سه گانه او برداشته شد (اندرسون،۱۹۵۱). در جنوب باختر ایران جهت مولفه‌های افقی استرین لرزه‌ای در کمربند زاگرس با روش وارون‌سازی و با کمک داده‌های سازوکار کانونی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه نیز، سعی شده است جهت بیشینه تنش افقی درگستره جنوب باختر ایران (با استفاده از تحلیل سازوکارکانونی زلزله‌های رخداده) حاصل شود.

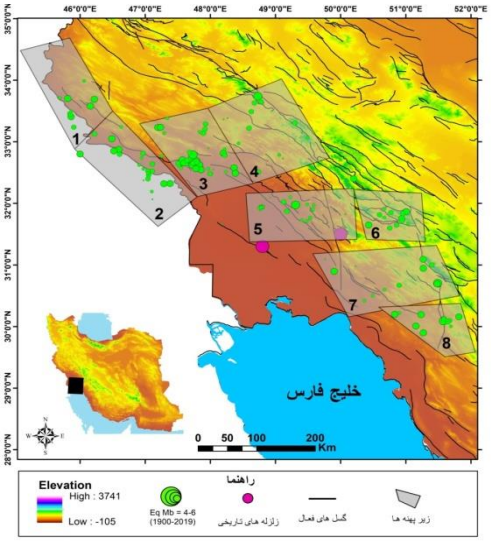
زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساخت

پهنه مورد مطالعه، زاگرس، که منطقه‌ی جنوب باختر را پوشش می‌دهد، شامل زون راندگی‌ها، کمربند چین‌خورده، فروافتادگی دزفول و دشت آبادان است. از نظر تاریخچه‌ی چینه‌ای همه‌ی سنگ‌های منطقه را می‌توان به دو گروه پی‌سنگ دگرگونه‌ی پرکامبرین و پوشش رسوبی روی پی‌سنگ تقسیم کرد. با توجه به بررسی‌های ژئوفیزیکی، باور بر این است که پی سنگ پرکامبرین زاگرس ادامه‌ی شمال- شمال خاوری سپر نوبی- عربی است؛ در این منطقه روند اکثر گسل‌ها از شمال باختر به جنوب خاور می‌باشد و تقریباً تمامی گسل‌ها از نوع راندگی و در زاگرس مرتفع و چین‌خورده می‌باشند (نباتی،۱۳۸۳). گسل‌های اصلی زاگرس عبارتند از: گسل اصلی زاگرس، گسل پیشانی کوهستان؛ گسل رگ‌سفید، اهواز. بیشتر زلزله‌های پهنه به دلیل وجود لایه‌های نمکی سری هرمز و سایر سطوح جدایش میانی مثل سازند گچساران بدون گسلش سطحی می‌باشد. عموماً زلزله‌های زاگرس، بزرگی کمتر از۷ دارند و کم‌ژرفایند. درباره بالا بودن توان لرزه‌خیزی زاگرس می‌توان به وجود گنبدهای نمکی و حرکت آن‌ها، تنش‌های فشارشی وارد بر زاگرس و حرکت گسل‌های شمالی – جنوبی پرکامبرین اشاره کرد. از زلزله‌های تاریخی منطقه نیز می‌توان از زلزله‌ی سال ۲۰۰۶ بروجرد (لرستان) با Mw=6 و زلزله‌ی سال ۲۰۱۴ مورموری (ایلام) با Mw=5.8 نام برد(امبرسیز و ملوین،۱۹۸۲). گفتنی‌ست به دلیل تداوم حرکت پوسته‌ی قاره ای عربستان چین‌خوردگی زاگرس ادامه دارد. جابجایی افقی امروزی در حدود ۲۲میلی‌متر و حرکت‌های قائم بیش از ۲ میلی‌متر در سال برآورد شده است.

۲ روش تحقیق

در پژوهش حاضر با استفاده از آنالیز داده‌های حاصل از فوکال مکانیزم زلزله‌ها، در نرم‌افزارWin-Tensor راستای تنش بیشینه‌ی افقی منطقه مطالعاتی تعیین شده است. برای این منظور منطقه به ۸ زیرپهنه تقسیم شد و آنالیز داده‌ای برای هر زیرپهنه و سپس کل منطقه به دست آمده است. پهنه‌های انتخاب‌شده بر اساس خوشه‌بندی زمین‌لرزه‌های رخداده در منطقه صورت گرفته است. در این پژوهش، از داده‌های سازوکار کانونی رویدادهای ثبت شده در آژانس‌های معتبر جهانی

(GCMT) در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ درمنطقه با عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۳۴ درجه و طول جغرافیایی ۴۶ تا ۵۲ درجه بهره گرفته شده است. کاتالوگ حاصل، شامل ۲۹۰ زلزله با mb>=4 با سازوکار کانونی معین می‌باشد که بعد از حذف پس‌لرزه و پیش‌لرزه توسط روش گاردنر- نیوف، ۱۴۶ زلزله برای بررسی و تحلیل مشخص گردید. سپس پهنه مورد مطالعه بر اساس تمرکز محلی رومرکز رویدادهای لرزه‌ای، به ۸ زیر پهنه تقسیم بندی شد؛ و آنالیز داده‌ای انجام شد.



شکل ۱. زلزله‌های مناطق ۸گانه جنوب باختر ایران

آنالیز داده‌ها

در این مطالعه میدان تنش در کمربند زاگرس را از فرمول وارونگی تنش با سازوکار کانونی داده شده و استفاده از نرم‌افزار محاسبه می‌کنیم. این روش بر دو فرضیه تکیه می‌کند (بات، ۱۹۵۹).

۱. میدان تنش یکنواخت و ثابت در فضا و زمان.

۲. لغزش d در جهت ماکزیمم تنش برشی τ (Shear Stress) اتفاق می‌افتد.

زاویه بین تنش برشی و بردار لغزش d، زاویه متناسب a (Fit Angle) است، لذا، تابع نابرازش (Misfit Function) مرتبط برای هر زمین‌لرزه i و زاویه نابرازش a (Misfit Angle) به‌صورت زیر بیان می‌شود. (رابطه۱)

$$f(i) = a(i) \quad (1)$$

با استفاده از تانسور تنش، با افزایش بزرگی تنش برشی $|\tau(i)|$ (Shear Stress) و کاهش بزرگی تنش نرمال $|\vartheta(i)|$ (Normal Stress) سعی در به‌دست آوردن زاویه نابرازش a می‌کنیم. در اینجا از تابع F5 در برنامه Win-Tensor (که همان تابع f_3 در است) برای حداقل‌سازی استفاده می‌شود. (رابطه۲) این حداقل‌سازی تا جایی ادامه می‌یابد که کمترین مقدار تابع F5 را نتیجه دهد. این تابع به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$F_5 = (f_2(i) \times 360) + ((Tinv(i) + |\vartheta(i)| - 29.7/p) \quad (2)$$

$$f_2(i) = \sin^2(a(i)/2 \quad (3)$$

$$Tinv(i) = \sigma_1/2 \quad (4)$$

برنامه با بهینه سازی تانسور و حذف داده‌های نامناسب توسط نرم افزار و پردازش و در نهایت اطلاعات دقیق و مفید بهترین نتیجه را می‌دهد. (جدول۱)

در این روش جهت دقیق محورهای تنش افقی محاسبه می‌شود. برای بیان عددی رژیم تنش از شاخص رژیم تنش (Index Regim Stress)R' استفاده می‌کنیم که مبتنی بر مقدار نسبت تنش R است و نوع رژیم تنش بر طبق مطالعه

دلواکس توصیف می‌شود. در این روش محدوده مقادیر 'R پیوسته است.

جدول۱. پارامترهای لرزه‌ای مربوط به مناطق ۸گانه جنوب باختر

Box		Definition			Reduced Stress Tensor Parameters								Quality		
No		**location**		**data**	**$_1PL\delta$**	**$_1az\delta$**	**$_2PL\delta$**	**$_2az\delta$**	**$_3PL\delta$**	**$_3az\delta$**	**R**		**$_{over}\propto$**	**$_{max}\propto$**	**Q**
1		**Kermanshah - ilam**		**10**	**1**	**43**	**30**	**312**	**60**	**135**	**0.55**		**23.7**	**71.6**	**C**
2		**Ilam**		**25**	**7**	**227**	**0**	**317**	**83**	**48**	**0.61**		**10.7**	**43.3**	**C**
3		**Lorestan west**		**39**	**2**	**192**	**26**	**283**	**64**	**98**	**0.32**		**28**	**161.1**	**C**
4		**Lorestan east**		**14**	**8**	**67**	**9**	**335**	**78**	**198**	**0.46**		**43.2**	**128.5**	**C**
5		**Khouzestan**		**21**	**10**	**51**	**3**	**141**	**79**	**250**	**0.48**		**6.6**	**34.5**	**A**
6		**Charmahal bakhtiari**		**12**	**7**	**184**	**25**	**277**	**60**	**79**	**0.17**		**20.6**	**43.2**	**C**
7		**Kohgiluye boyerahmad**		**11**	**3**	**237**	**12**	**146**	**78**	**342**	**0.49**		**29.9**	**98.3**	**C**
8		**Fars**		**13**	**5**	**329**	**29**	**62**	**61**	**230**	**0.36**		**31.6**	**55**	**C**
total		**South west**		**145**	**11**	**221**	**6**	**312**	**78**	**69**	**0.58**		**15.9**	**179.1**	**B**

بحث

نتایج به دست آمده، نشان داد که سه نوع جهت تنش بیشینه افقی در منطقه داریم: که بر اساس آن، مناطق ۱ و۲ و۴ و۵ و۷ از نظر جهت SH_{max} مشابه هستند و همینطور مناطق ۳و۶ نیز مشابه هستند؛ در منطقه ۸ نیز جهت بیشینه‌ی تنش افقی متفاوت از سایر مناطق می‌باشد.(شکل۲)

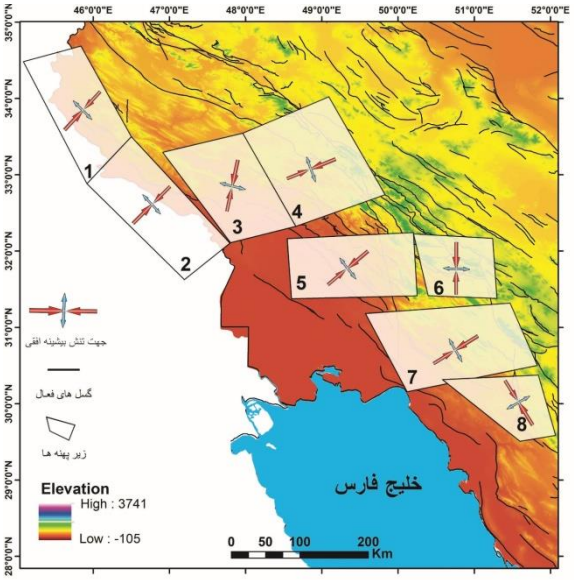
منطقه شماره ۱،۲،۴،۵،۷: در این ۵ منطقه جهت SH_{max} تقریبا مشابه می‌باشد که دلیل اصلی آن همان تبعیت از فشار وارد از طرف صفحه‌ی عربی به قسمت جنوب باختری صفحه‌ی ایران می‌باشد و به نظر می‌رسد عوامل محلی دیگری در شکل یافتن جهت تنش بیشینه افقی نقش بسزایی نداشته‌اند. شاخص رژیم در هر ۴ منطقه تراستی می‌باشد، که تحت تأثیر دگر شکلی، ناشی از فشارهای زمین ساختی نتیجه همگرایی و برخورد قاره‌ای ست.

منطقه ۳ و ۶: در این دو منطقه، جهت گیری SH_{max} متفاوت از مناطق دیگر حاصل شده است. و زاویه به دست امده از آنالیز داده‌ها بسیار کمتر از ۴ منطقه پیشین می‌باشد. احتمالا به دلیل وجود گره گسلی و تفاوت در تیپ گسل‌های منطقه، جهت تنش بیشینه‌ی افقی از روند طبیعی خارج شده و مقدار زاویه بسیار کمتر از مناطق اطراف می‌باشد.

منطقه شماره ۸:

این منطقه، شمال باختری استان فارس را در بر می‌گیرد؛ و جهت SH_{max} حاصل از آنالیز داده‌ای در آن عکس مناطق دیگر می‌باشد. که می‌توان آن را اولا به نوع سازوکار متفاوت گسل‌های منطقه (وجود چند گسل امتدادلغز) نسبت داد (کره‌بس، سبزپوشان، قیر، سروستان) و علت دیگر اینکه با دور شدن از مرکز زاگرس و فاصله گرفتن از مرکز راندگی حاصل از فشار صفحه عربی و نزدیک شدن به زمین ساخت کششی و فشارشی کوهزایی عمان و جریان نمک در طی رسوب‌گذاری در پهنه‌ی اطراف هرمز جهت SH_{max} متفاوت از مناطق دیگر به دست آمده است. در این منطقه، بیشترین

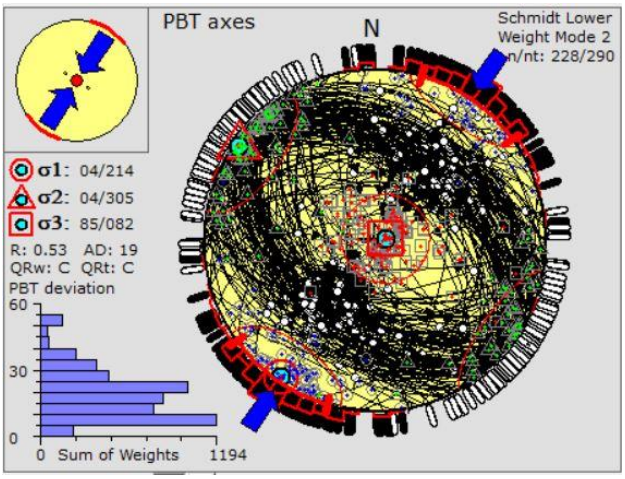
استرین را ، در جهت 148 درجه شمال خاوری و کم ترین جهت استرین افقی در 58درجه می توان مشاهده کرد.



شکل۲: جهت تنش بیشینه افقی در هریک از مناطق ۸گانه

۳ نتیجه‌گیری

منطقه جنوب باختر ایران دارای مختصات چهارگوش بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ تا ۵۲ درجه و عرض‌های جغرافیایی بین ۳۰ تا ۳۴ درجه می‌باشد. در این منطقه، ۱۴۶ زمین لرزه با mb>=4 ثبت شده است. میانگین جهت SHmax برای منطقه‌ی جنوب باختر ایران، (با استفاده از نمودار Win-Tensor ، SH_{max} =N39°$E^{\pm}$۲۳.۳ و کمینه تنش افقی SH_{min} =129° به دست آمد. به عبارتی، بیشترین استرین را ، در جهت 39 درجه شمال خاوری و کم ترین جهت استرین افقی در ۱۲۹درجه می توان مشاهده کرد.(شکل۳)



شکل۳. جهت SH max به دست آمده در منطقه جنوب باختر ایران

بزرگ‌ترین زلزله‌ی رخ داده در منطقه، mb=5.8 و عمق متوسط زلزله‌های منطقه ۲۷.۷۹ کیلومتر می‌باشد. شیب

سیگمایک ۵ و شیب سیگماسه ۷۸ است. شاخص رژیم به دست آمده منطقه، $R' = 2.79 \pm 0.2$ است و از این رو نوع رژیم منطقه تراستی است. در نتیجه، SHmax عمدتا در جهت NE-SW می‌باشد؛ ارتباط بین جهت SHmax به دست آمده در اینجا از آنالیز سازوکار کانونی زلزله‌های منطقه، و مکانیزم کانونی زمین‌لرزه در پروژه‌ی نقشه جهانی تنش (WSM)، استفاده شده است. که از لحاظ علمی بسیار مهم است و اعتبارات این فرضیه (جهت تنش در جنوب غرب ایران که همان NE-SW تعیین شد)را تامین و تایید می‌کند. نتیجه‌ی به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که نیروهای حاصل از حرکت صفحه‌ی عربی در شکل‌گیری ساختارهای ژئوفیزیکی منطقه نقش بسزایی داشته است.

منابع

نباتی، علی آقا.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، پهنه‌ی اصلی رسوبی-ساختاری ایران.

عباسی، م.، فربد، ی.، ۱۳۸۳، مقدمه‌ای بر تعیین وضعیت تنش به کمک روش برگشتی صفحه‌های گسلی و خط‌خش‌های مربوطه: مجله علوم زمین، ۵۴.

استادزاده، محبوبه.، ۱۳۹۷، بررسی جهت‌گیری مولفه‌های افقی استرین لرزه‌ای در کمربند زاگرس: پایان نامه کارشناسی ارشد درررشته ژئوفیزیک، دانشگاه خلیج فارس بوشهر.

Ambraseyes, N. N., Melvill, C. P., 1982, A history of Persian earthquick: Cambridge University press.

Bott, MHP., 1959, The mechanism of oblique slip fauiting, Geol, Mag, 96,109- 117.

Goodman, R. E., 1989, Introduction torock mechanics: john Wiley and sons publications.

Delvaux. D., Sperner. B., 2003, Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data, the TENSOR program, In Nieuwland, D. (Ed.), New Insights into Structural Interpretation and Modelling, Geol, Soc, Lond, Spe.. Publ, 212, 75-100.

Falcon. N., 1969, Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by Zagros range, in Time and Place in Orogeny, Geol, Soc, Spec, 3,9–22.

Anderson, E. M,. 1951, Thedynamics of faulting and dyke formation with application to Britain, Olivier and boyd, Edinburgh, p, 206.

Heidbach, O., Tingay, M. R. P., Barth, A., Reinecker, J., Kurfeβ, D., Müller, B.,2010, Global crustal stress pattern based on the World Stress Map database release 2008: Tectonophysics 482, 3–15.

Delvaux, D., Barth, A., 2009, African stress pattern from formal inversion of focal mechanism data: Tectonophysics 482,105-128.

Berberian, M., King, G., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Sciences, 18,210-265.

[online]. < http:// www.ds.iris.edu/spud/momenttensor>.

[online]. < https://www.globalcmt.org>.

[online]. < http://www.worldstress-map.org>.