



تفسیر هندسی مدل سافتارهای گل مانند مثبت و منفی

آرش پهلوانی^{۱*} و ممسن پورکرمانی^۲

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

عده دار مکاتبات pahlavaniap@yahoo.com

چکیده

مدلی طراحی شده در این پژوهش نشان دهنده‌ی برش دو قطعه مکعب مستطیل همان دازه از جنس فوم و تداعی کننده‌ی ساختار گل مانند می باشد. نوع و جهت حرکت بلوک‌های گسلی آن، هم در سطح افق و هم در مقطع عرضی به خوبی قابل تشخیص است. در این مدل، سطح تماس بلوک‌های بریده شده، توسط کاغذ گلاسه‌ی روغنی پوشیده و حرکت آنها با حداقل اصطکاک صورت می‌گیرد. دو مکعب در جعبه‌ای شیشه‌ای قرار داده شده و توسط دستگیره‌های چوبی حرکت داده می‌شوند. این نوع طراحی باعث می‌شود که نیروها تنها به صورت برشی وارد شوند و هیچ نیروی کششی یا فشارشی در به حرکت در آمدن آن دخالت نداشته باشد. این مدل نشان می‌دهد، که حتی در مناطقی با رژیم تکتونیکی برشی، نیز ساختارهای لغزشی - فشارشی یا لغزشی - کششی به وجود می‌آیند.

واژه‌های کلیدی: خم‌های گرفتار و رهایی، ساختار گل مانند، گسل امتدادلغز، مدل زمین‌شناسی ساختمانی.

Geometrical interpretation of positive and negative flower structure model

A. Pahlavani¹ & M. Pourkermani²

1) Department of geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, I.R.Iran

2) Department of geology, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran, I. R. Iran

*Correspondence Author: pahlavani_ap@yahoo.com

Abstract

Flower structures are amongst interesting phenomena in structural geology, whose three-dimensional understanding and interpretation are a bit difficult. In order to resolve this problem, a three-dimensional model has been represented, in which the type and direction of fault block movements both in plan view and cross section can be observed.

Two horizontal and vertical quadratic prisms of the same size are cut to resemble the flower structure. The contact faces of the cut blocks are covered by glossy paper so as to reduce friction and facilitate their motion. The two quadratic prisms are then placed in a glass box and are pushed by wooden levers. The design of the model is such that only shearing forces act with no tensile or compressive components. The result from such set-up is that even in regions with only shearing tectonic regimes transtensional and transpressional structures form.

Key words: Flower structure, restraining and releasing bends, strike-slip faults, structural geology model.

۱- مقدمه

سیالات گرمایی و احتمالاً آتشفشان می شود. (Dooley McClay

& 1997) گسله ای امتداد لغز بر روی عکس های هوایی و نقشه های

خم های گسلی به شکل های تک خم (Single bends)، دو خم

زمین شناسی به شکل خطوطی صاف و مستقیم دیده می شوند، اما این

(Double bends) و جفت شده (Paired bends) وجود دارند.

گسل ها این خصیصه را تا فواصل دورتر نشان نداده و در نهایت، در

تک خم ها در پایانه های گسل های راستالغز تشکیل می شوند و

درازای خود دچار خمیدگی می شوند. در مناطقی با رژیم برشی،

هندسه ی آنها با نگاه سطحی و روی نقشه به شکل شاخه های داماسبی

چنین خم هایی سبب به وجود آمدن بالا آمدگی یا فروافتادگی

(Horsetail splay) می باشد. خم های جفت شده به ساختار

می گردند. (Cunningham 2007)

ریپ آوت (Ripout) معروف هستند. هندسه ی آنها در سطح به

انحنای موجود در گسل های امتداد لغز به دو صورت خم گرفتار

شکل صفحه یا عدسی می باشد که از یک سمت مسطح و از سمت

(Restraining bend) و خم رهایی (Releasing bend) دیده

دیگر محدب هستند (Swanson 1989) در این نوع ساختارها، یک

می شود. خم گرفتار بر اثر رژیم لغزشی- فشارشی و هم گرایی نیروها در

خم گرفتار در مجاورت یک خم رهایی قرار می گیرد. خم جفت

محل خم، موجب فزایش تکنونیک، کوتاه شدگی پوسته و رخنمون

شده ای که در تصویر نشان داده شده، در سمت راست از نوع گرفتار

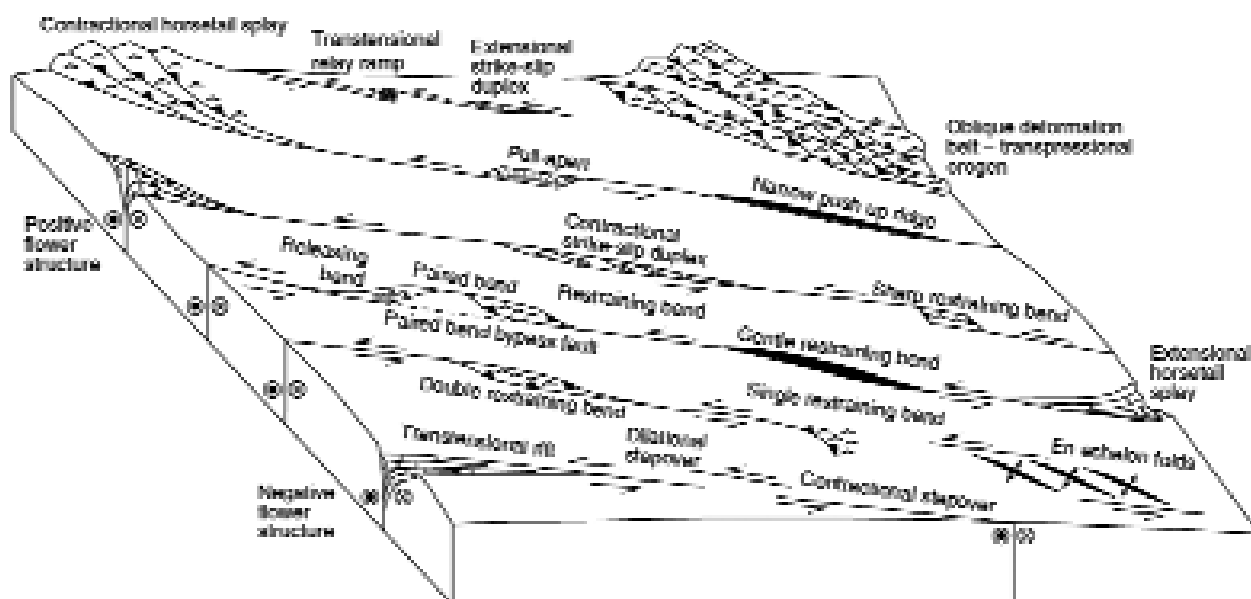
یافتن پیسنگ متبلور می شود (McClay & Bonora 2001)، در

است، زیرا نیرو به آن وارد می شود و تحت فشارش، یک رمپ

حالی که خم رهایی به دلیل رژیم لغزشی- کششی و واگرا شدن نیروها

انقباضی پیشرو (Leading contraction ramp) را ایجاد

در محل خم سبب فرونشست، ایجاد حوضه ی رسوب گذاری،



تصویر ۱- ساختارهای زمین ساختی در نواحی امتداد لغز (Cunningham 2007)

بالا آمدگی ناشی از رانده شدن گوه‌های گسلی به روی یکدیگر است. ساخت لاله که با گسل‌های عادی همراه است، تحت رژیم لغزشی-کششی به وجود می‌آید. فروافتادگی‌هایی مثل استخرهای گسلی، نتیجه‌ی عملکرد این رژیم می‌باشد. (جهت تنش بیشینه‌ی افقی SHmax)، نسبت به مرز زون دگرشکلی، اهمیت بسیاری دارد. (Tikoff & Teysier 1994) اگر جهت تنش بیشینه‌ی افقی زاویه‌ی زیادی با زون دگرشکلی داشته باشد، ساختارهای بزرگتر با جابجایی‌های شیب لغز بیشتر ایجاد می‌شوند، ولی اگر زاویه‌ی فوق کم باشد، ساختارها کوچکتر و جابه‌جایی‌ها، بیشتر راستالغز خواهند شد.



تصویر ۲- مدل ساختار گل مانند

۳- شرح مدل

نیلور و همکاران (Naylor et al. 1986) در مدلی کلاسیک از گسل‌های امتداد لغز، نشان دادند یک رابطه‌ی هندسی بین برش‌های ریدل (R) با گسل اصلی پیسنگ، در عمق وجود دارد که هندسه‌ای حلزونی را تداعی می‌کند.

وودکاک و فیشر (Woodcock & Fischer 1986)، مدل توسعه‌ی دوپلکس‌های امتداد لغز را ارائه کردند. در مدل آنها گسل‌ها همچون گلبرگ‌های یک گل، شبیهی به سمت داخل دارند، به همین دلیل ساخت‌های گل وار نامیده شدند.

مدلی که در این نوشتار ارائه می‌شود، جهت آشنایی با چگونگی ایجاد و توسعه‌ی ساختار گل مانند مثبت و منفی تهیه گردیده است. مدل فوق از دو مکعب مستطیل هم‌اندازه از جنس فوم تشکیل شده که هر کدام با دقت به شکلی برش داده شده‌اند که به سه بخش اصلی تقسیم می‌شوند. این سه بخش

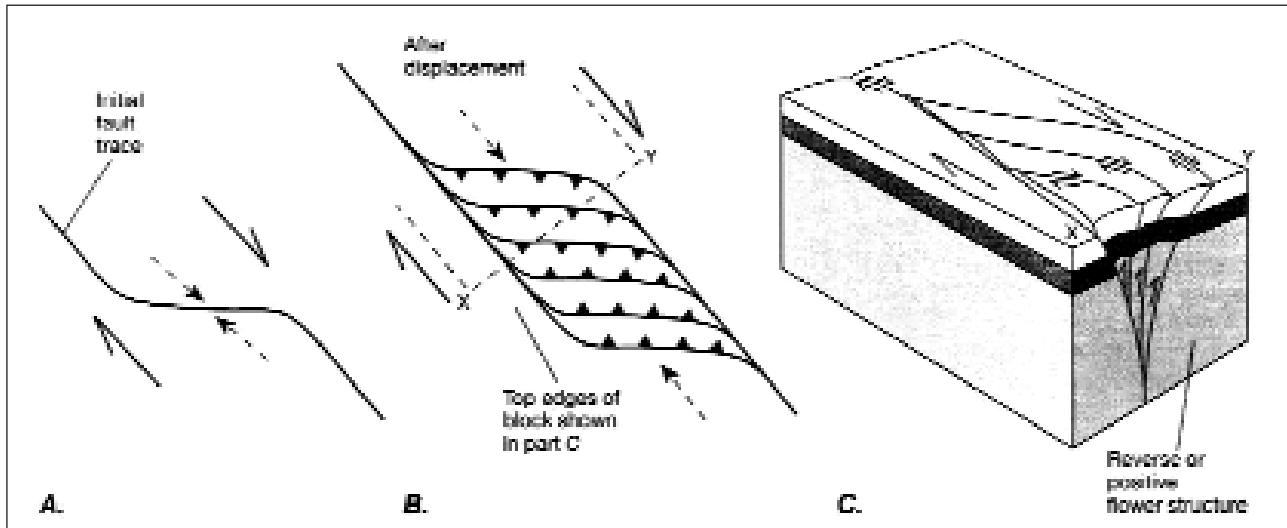
می‌نماید، در حالی که در سمت چپ از نوع رهایی است و به علت کشش، رمپ از نوع انبساطی دنباله‌رو (Trailing extensional ramp) است.

دابل بندها (دو خمی‌ها) یا از نوع گرفتار هستند یا رهایی که به ترتیب ساختارهای گل مانند مثبت و منفی نامیده می‌شوند. این ساختارها در سطح به شکل دوپلکس (duplexes) می‌باشند.

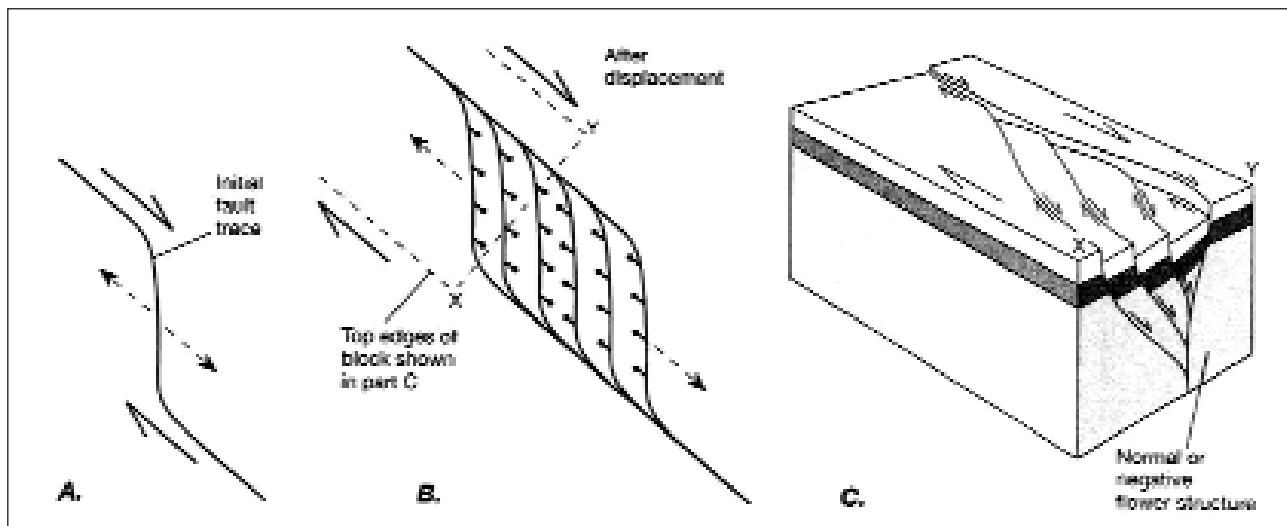
۲- ساختار گل مانند مثبت و منفی

هندسه‌ی خم و جهت حرکت بلوک‌ها (راست‌گرد یا چپ‌گرد)، در به وجود آمدن ساختارهای لغزشی- فشارشی (Transpressional) یا لغزشی-کششی (Transtensional) نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در مدل ارائه شده این مسئله به خوبی اثبات می‌شود (تصویر ۲). در تصویر ۳A، یک خم گسلی نشان داده شده است. با توجه به این که گسل راست‌گرد است، نیرو از هر دو سمت به محل خمیدگی وارد می‌شود که این خود ساختارهای لغزشی- فشارشی، بخصوص ساختار گل مانند مثبت را سبب می‌گردد. (تصویر ۳B و ۳C) نکته‌ی جالب اینکه اگر در همین خم بدون تغییر هندسه‌ی آن، جهت حرکت بلوک‌ها را عکس کنیم یعنی از راست‌گرد به چپ‌گرد تغییر دهیم، ساختارهای به وجود آمده، لغزشی-کششی خواهد شد و ما شاهد ساختار گل مانند منفی خواهیم بود. دلیل آن این است که در محل خمیدگی، نیروها واگرا شده‌اند. در تصویر ۴ خم گسلی دیگری دیده می‌شود. نوع حرکت گسل راست‌گرد است، ساختار مورد انتظار گل مانند منفی خواهد بود، به دلیل اینکه نیروها در محل خم واگرا شده‌اند. (تصاویر ۴A و ۴B) ساختارهای گل مانند دارای یک هندسه‌ی حلزونی هستند، یعنی گسله‌ای فرعی برای پیوستن به گسل پیسنگی در عمق می‌چرخند (Woodcock & Schubert 1994)

اگر هندسه‌ی آنها به گونه‌ای بود که دارای تحدب به سمت بالا باشند، ساختار گل مانند مثبت یا نخلی (Palm-Tree Structure) ایجاد می‌شود (تصویر ۳C)، اما اگر تحدب به سمت پایین باشد، ساختار گل مانند منفی یا لاله (Tulip Structure) شکل می‌گیرد. (تصویر ۳C) دلیل اختصاص نام لاله و نخلی به ساختارهای فوق شباهت به شکل آنها، در مقطع عرضی می‌باشد. ساخت نخلی به دلیل رژیم لغزشی-فشارشی سبب بالا آمدگی پوسته می‌شود. این



تصویر ۳- ساخت گل مانند مثبت (اقتباس از قاسمی ۱۳۸۳)



تصویر ۴- ساخت گل مانند منفی (اقتباس از قاسمی ۱۳۸۳)

بلوک فوق نقش کمربلک گسل عادی با مؤلفه های راستالغز را ایفا می کند (تصویر ۶-راست). بلوک ب در مدل ما ثابت است.



تصویر ۵- بخش های مختلف مدل

شامل: ۱- بلوک الف ۲- بلوک ب ۳- گوه های گسلی (تصویر ۵) می باشند. شکل دو بلوک با هم تفاوت دارد. بلوک الف بلوک متحرک آزمایش است، که توسط گیرهای چوبی جابه جا می شود، این بلوک، نقش سواری دهنده ی گوه های گسلی را دارد، در واقع این بلوک کمربلک پائین شاخه ای است که بیشترین زاویه را با گسل اصلی تشکیل می دهند. این شاخه روی سطح زمین بیشترین انحنا را دارد و شیب آن کمتر از سایر گسل ها می باشد. زمانی که رژیم لغزشی - فشارشی باشد، گوه ها به روی آن رانده می شوند و بلوک نقش کمربلک پائین گسل راندگی با مؤلف های راستالغز را داراست (تصویر ۶-چپ). در صورت لغزشی - کششی بودن رژیم، گوه ها روی آن سر می خورند و

این بلوک همان کمرباطین گسلی است که شیب زیادی دارد و بیشترین مؤلفه‌ی حرکتی آن راستالغز است. این گسل بر روی سطح زمین دارای خمیدگی کم بوده و نقش کنترل کننده‌ی گوه‌های گسلی را داراست، که در رژیم لغزشی- فشارشی گوه‌ها را به سمت بلوک الف هل می‌دهد، ولی در لغزشی- کششی، به دلیل واگرایی بلوک‌ها، فضای خالی ایجاد می‌شود که در نتیجه گوه‌ها از هم فاصله گرفته، گسل‌های عادی به وجود می‌آیند (تصویر ۵ و ۶- راست). گوه‌های گسلی بر روی سطح زمین به شکل دوپلکس مشاهده می‌شوند (تصویر ۷). تصاویر ۶ و ۷ تصاویر متوالی از شروع تا پایان لغزش چپ گرد هستند.

منطقه‌ی گسلی دارای گسترش به سمت بالا هستند. (Harding & Lowell 1979) محل اصلی گسل‌های گازانبری در مرز صفحات تبدیلی است، ولی در مرزهای همگرا و واگرا نیز مشاهده می‌شوند. گسل‌های گازانبری موجود در ایران جزء گسل‌های واقع در مناطق همگرا هستند. نمونه‌ی آن گسل اصلی جوان زاگرس (Main Recent Fault) با لغزش راست گرد می‌باشد. این گسل در درازای خود بارها خمیده شده، حوضه‌ی جدایشی کششی (pull-apart basin) بر وجود-دورود در محل یکی از خم‌های مذکور واقع گردیده است. وجود برش در نواحی تحت فشارش به دلیل همگرایی مایل صفحات می‌باشد. این هم‌گرایی مایل رژیم لغزشی- فشارشی را سبب می‌شود.

۴- گسل‌های گازانبری

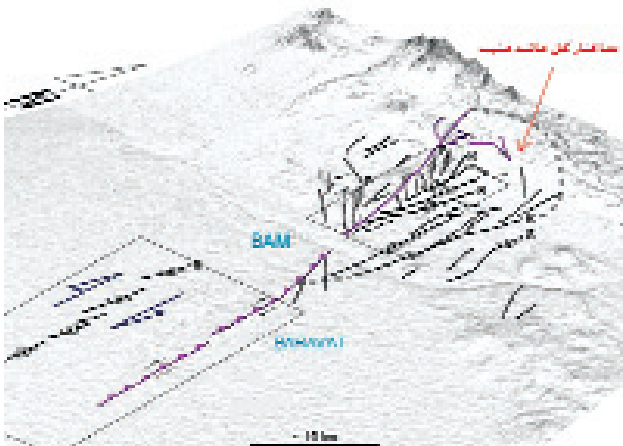
گسل‌های گازانبری (Wrench Faults) گسل‌هایی هستند که پی سنگ را می‌برند و شییبی نزدیک به قائم دارند (پورکرمانی و آراین ۱۳۸۵). برخی از گسل‌های گازانبری در نیمرخ، دارای مشخصات گسل‌های گل مانند می‌باشند، یعنی به صورت

۵- نمونه‌هایی از ساختار گل مانند در ایران

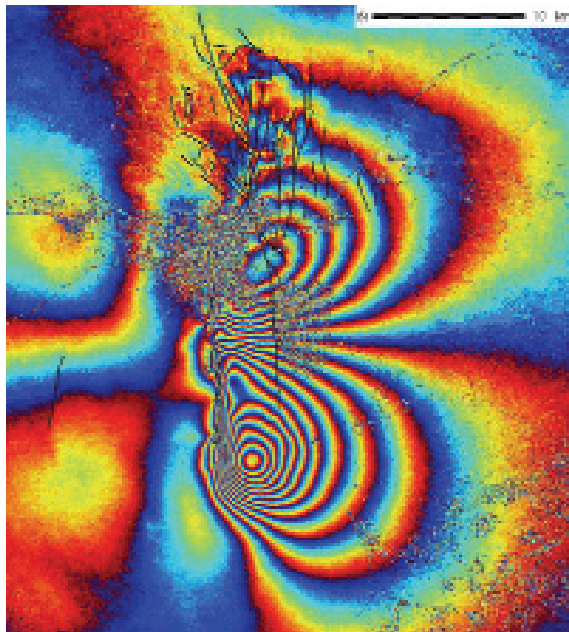
با توجه به اینکه ایران تحت رژیم زمین ساختی فشارشی قرار دارد، نمونه‌هایی از ساختارهای گل مانند مثبت ذکر می‌شود. یکی از مناطق زمین ساختی ایران که ساختار گل مانند را نشان



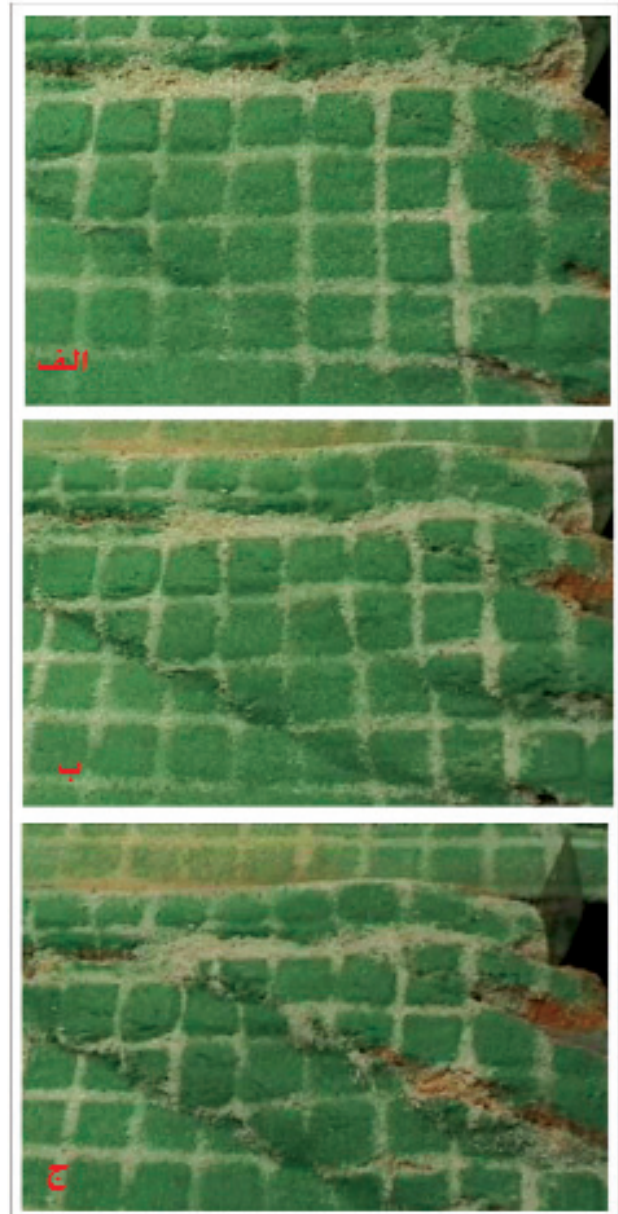
تصویر ۶- سمت راست: ساختار گل مانند منفی قبل از حرکت (الف) و بعد از حرکت (ب)، گسل‌ها از نوع عادی با مؤلفه‌های چپ لغز هستند. سمت چپ: ساختار گل مانند مثبت قبل از حرکت (الف) و بعد از حرکت (ب)، گسل‌ها از نوع معکوس با مؤلفه‌های چپ لغز می‌باشند.



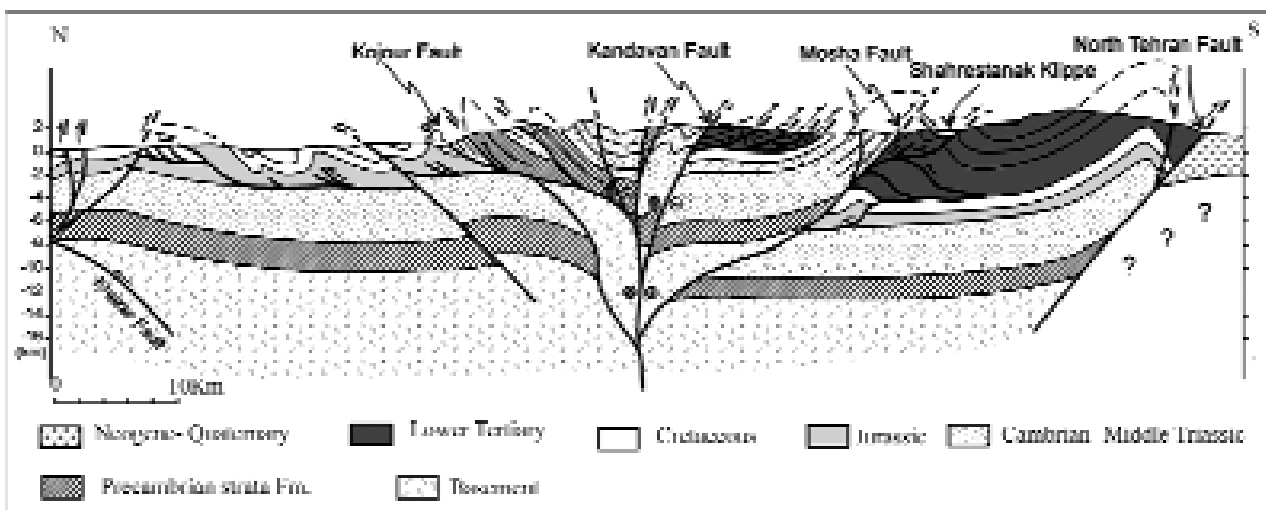
تصویر ۹- تصویر سه بعدی از ساختار گل مانند مثبت در شمال شرق شهر بم (Perski & Hanssen 2005)



تصویر ۱۰- تداخل نگاشت حاصل از زلزله‌ی بم که خطواره‌ها را به وضوح نشان می‌دهد (Perski & Hanssen 2005)



تصویر ۷- مراحل ایجاد ساختار گل مانند مثبت با دید سطحی



تصویر ۸- مقطع عرضی از البرز در طول جغرافیایی ۳۰°-۵۱° شرقی (Allen et al. 2003)

of strike-slip pull-apart basins", *AAPG, Bull.*, Vol. 81(11): 1804-1826.

Harding, T. P. & Lowell, J. D., 1997, "Structural styles, their plate-tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces", *AAPG, Bull.*, Vol. 63 (7): 1016-1058.

McClay, K. & Bonora, M., 2001, "Analog models of restraining stopovers in strike-slip fault systems", *AAPG, Bull.*, Vol. 85: 233-260.

Naylor, M. A., Mandl, G. & Sijpesteijn, C. H. K., 1986, "Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states", *J. Struc. Geol.*, Vol. 8 (7): 737-752.

Perski, Z. & Hanssen, R., 2005, "The interpretation of Bam fault kinematics using envisat SAR interferometric data", *Proceedings of the Conference held 28 November, 2 December, 2005 in Frascati, Italy, ESA SP-610 CD-ROM, POSTER*.

Swanson, M. T., 1989, "Sidewall ripouts in strike-slip faults", *J. Struc. Geol.*, Vol. 11 (8): 933-948.

Tikoff, B. & Teyssier, C., 1994, "Strain modeling of displacement-field partitioning in transpressional orogens", *J. Struc. Geol.*, Vol. 16: 1575-1588.

Woodcock, N. H. & Fischer, M., 1986, "Strike-slip duplexes", *J. Struc. Geol.*, Vol. 8 (7): 725-735.

Woodcock, N. H. & Schubert, C., 1994, "Continental strike-slip tectonics", *In: Continental Deformation*, (Ed.: P. L Hancock), Pergamon press Ltd, Oxford: 251-262.

می دهد البرز است. آلن و همکاران (Allen et al. 2003) مقطعی عرضی از البرز در طول جغرافیایی $30^{\circ} 51'$ شرقی تهیه کردند که در آن گسل های راستالغز اصلی در بخش میانی رشته کوه و گسله های راندگی به صورت واگرا در شمال و جنوب آن واقع شده اند (تصویر ۸). مثالی دیگر از ساختار گل مانند مثبت با مقیاس کوچکتر، در شمال شرق شهر بم قرار دارد. پریسکی و هانسن (Perski & Hanssen 2005) با تفسیر خطواره های موجود در تداخل نگاشت های ثبت شده از زلزله ی بم، یک ساختار گل مانند مثبت را در شمال شرق شهر بم تشخیص دادند (تصاویر ۹ و ۱۰).

۶- نتیجه گیری

در مدل ساختارهای گل مانند، مشاهده می شود که چگونه این ساختارها که در ارتباط با گسل های امتدادلغزند در محل خم گسل، به وجود می آیند. در مدل هندسی گسل های گل مانند، می توان به راحتی با دیدی سه بعدی چگونگی ایجاد و توسعه ی این ساختارها را درک کرد.

مدل فوق طوری ساخته شده که نیروهای حرکت دهنده ی بلوک ها تنها به صورت برشی باشند، اما ساختارهای ایجاد شده ی لغزشی- فشارشی و لغزشی-کششی هستند. برخی از مزایای این مدل ساده، سبک و قابل حمل بودن آن است. قابلیت بازگشت سریع به حالت اولیه و تکرار آزمایش، داشتن دید سه بعدی و... از دیگر محاسن آن می باشد.

مراجع

پورکرمانی، م. و آرین، م.، ۱۳۸۵، زمین شناسی ساختمانی کاربردی^۱ انتشارات یکان، ۲۹۶ ص.

قاسمی، ع.، ۱۳۸۳، زمین ساخت انتشارات پیام نور، ۲۳۶ ص.

Allen, M. B., Ghasemi, M. R., Shahrabi, M. & Gorashi, M., 2003, "Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran" *J. Struc. Geol.*, Vol. 25 (5): 659-672.

Cunningham, W. D. & Mann, P., 2007, "Tectonic of strike-slip restraining a releasing bends", *Geological Society, London, Special publications*, Vol. 290:1-12

Dooley, T. & McClay, K., 1997, "Analog modeling