

# ویژگی‌های هندسی و سازو کار جوان گسل طالقان: بر پایه بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی

نوشته: حمید نظری\* و ژان فرانسوا ریتز\*\*

\* پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
\*\* آزمایشگاه علوم زمین مونت پلیه، دانشگاه مونت پلیه ۲، مونت پلیه، فرانسه

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۳/۱۱

## چکیده

گسل طالقان در کرانه جنوبی دره طالقان در فاصله ۵۰ کیلومتری از تهران بزرگ قرار دارد. از این گسل به‌طور معمول به‌عنوان یک گسل فشارشی با شیب به‌سوی جنوب یاد می‌شود. گسل طالقان یکی از بزرگ‌ترین عوامل تهدید لرزه‌ای برای شهرهای گستره تهران و کرج با جمعیتی نزدیک به ۱۲ میلیون نفر است که می‌تواند عامل بسیاری از زمین‌لرزه‌های کهن و ویرانگر چون زمین‌لرزه ۹۵۸ میلادی با بزرگای برآورد شده ۷/۷ در این ناحیه به‌شمار رود. در راستای بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساخت و جنبش جوان بر روی این گسل، تلفیقی از داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و مدل رقومی زمین به کار گرفته شد. از جمله دستاوردهای این پژوهش برای نخستین بار معرفی شاخه‌ای جنبا از گسل طالقان است که در گذشته در قالب گسلی ناچنبا و کهن به نقشه در آمده بود. بررسی‌های دقیق و بزرگ مقیاس میدانی در راستای این پاره از گسل طالقان امکان اندازه‌گیری جابه‌جایی قائم و افقی را بر روی این گسل فراهم آورد که نشانگر تغییر در سازوکار فشاری به برشی-کششی در راستای این گسل است. نسبت جابه‌جایی تجمعی افقی به قائم اندازه‌گیری شده از ستیغی در میانه گسل، متناسب با سازوکار چپ‌گرد و نرمال برابر ۵/۰ - ۲/۵ است. مقادیر برآورد شده از ویژگی‌های هندسی گسل طالقان چون راستای گسل، شیب و زاویه افت آن در بخش خاوری برابر ۱۰۵، ۶۰ و ۴۰ درجه است که نشانگر وجود گسلی با سازوکار و لغزش راستالغز چپ‌گرد و نرمال در این بخش از البرز مرکزی است.

**کلید واژه‌ها:** ایران، البرز، گسل طالقان، زاویه افت گسل

## ۱. مقدمه و خاستگاه زمین‌ساختی

گسل طالقان در بخش جنوبی البرز مرکزی با درازایی نزدیک به ۷۰ کیلومتر در دامنه جنوبی دره طالقان و دره آزاد بر، در فاصله ۵۰ کیلومتری تهران قرار دارد. این گسل از دیدگاه زمین‌شناسی کلاسیک در سنوزویک (پس از ائوسن) در قالب گسلی فشاری با شیب به‌سوی جنوب و راستای خاوری-باختری سبب جابه‌جایی نهشته‌های رسوبی پرکامبرین-پالئوزویک بر روی سنگ‌های آذرآواری سنوزویک شده است (شکل ۱).

گسل طالقان از سوی خاور به گسل مشا (بخش مرکزی) و در ادامه باختری خود به گسل شمال قزوین نزدیک می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده در مورد هندسه و سازوکار این گسل، بارها نظرات گوناگون و گاه مخالف ارائه شده است. اگرچه Dedual (1967) و Meyer (1967) این گسل را گسلی رانده با شیب به سوی شمال دانسته‌اند، اما Annells et al. (1977) در نقشه زمین‌شناسی چهارگوش قزوین-رشت در مقیاس (۱:۲۵۰۰۰۰) و برگره شکران (۱:۱۰۰۰۰۰) در پاره باختری و در جنوب دره طالقان و Vahdati Daneshmand (1999) بخش خاوری گسل طالقان را در کرانه جنوبی دره آزاد بر با همان سازوکار و شیب به‌سوی جنوب نشان داده‌اند. در مطالعات بعدی Berberian and Yeats (1999, 2001) نیز این گسل را گسلی فشاری با شیبی به‌سوی جنوب در نظر گرفته‌اند. در نهایت در نقشه زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) مرزن‌آباد (Vahdati Daneshmand & Nadim, 2001) در پاره خاوری این گسل دوباره با شیبی به‌سوی شمال به نقشه درآمد.

بررسی‌های صحرائی انجام شده در سال‌های اخیر که با هدف انجام پژوهش‌های نوزمین‌ساختی و سپس دیرینه‌لرزه‌زمین‌ساختی در گستره البرز مرکزی بویژه بر روی گسل طالقان صورت پذیرفت، نشانگر صفحه گسل با شیب به‌سوی جنوب است که در هماهنگی کامل با گسلی با سازوکار فشاری در میان نهشته‌های ائوسن (فرودیواره) در شمال و سنگ‌نهشته‌های ژوراسیک و کهن‌تر از آن (فرادیواره) در سوی جنوب است.

از دیدگاه لرزه‌زمین‌ساختی گسل طالقان عامل لرزه ویرانگر ( $I=VII$ ;  $M=7.7$ ) ۹۵۸ میلادی در نظر گرفته شده است که سبب ویرانی گسترده نواحی ری و طالقان در گذشته دور شده است (Nabavi, 1972; Mallet, 1850-53; Melville, 1978; Berberian et al., 1993; Poirier & Taher, 1980; Ambraseys & Melville, 1982; Berberian & Yeats, 2001; Ambraseys, 1974). از این رویداد به‌عنوان سهمگین‌ترین زمین‌لرزه تاریخی گستره البرز مرکزی یاد می‌شود. از دیگر زمین‌لرزه‌های نسبت داده شده به گسل طالقان می‌توان از زمین‌لرزه‌های ۱۴۲۸، ۱۶۰۸، ۱۸۰۸ و ۱۹۶۶ میلادی یاد کرد (Berberian et al., 1985) (شکل ۱).

## ۲. ریخت‌زمین‌ساخت

با توجه به ویژگی‌های قابل توجه پرتگاه گسل طالقان در مقیاس و انواع گوناگون پژوهش، امکان بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی گسترده‌ای را بهره‌گیری از تصاویر هوایی (۱:۵۵۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای Land sat و مدل‌های رقومی برگرفته از نقشه‌برداری دقیق با GPS Kinematic و پژوهش‌های تکمیلی دیرینه‌لرزه‌زمین‌ساختی پیرو آن، پردازش دوباره هندسه و سازوکار این گسل را با نگاهی بر واپسین جنبش‌های کواترنری گسل طالقان فراهم می‌آورد. از این نگاه بررسی‌های انجام شده به ما اجازه تفکیک گسل طالقان را به دو بخش باختری (بخش آرمیده در دامنه جنوبی دره طالقان) و خاوری (بخش آرمیده در دامنه جنوبی دره آزاد بر) بدون رویکرد بر قطعه‌بندی گسل می‌دهد. در هر دو بخش در تمامی مقیاس‌ها پهنه گسل با پرتگاه و نشانه‌های آشکار زمین‌ریختی قابل مشاهده است (شکل ۲ a و b). فرازی از تجمع جنبش‌های جوان در تمامی درازای گسل طالقان با سطح گسلی با شیب به‌سوی جنوب شکل گرفته که نشان از عملکرد یک مؤلفه نرمال به همراه مؤلفه غالب دارد.

افزون بر آرایش شبکه آبراه‌ها، ستیغ‌های جابه‌جا شده نیز در گذر از

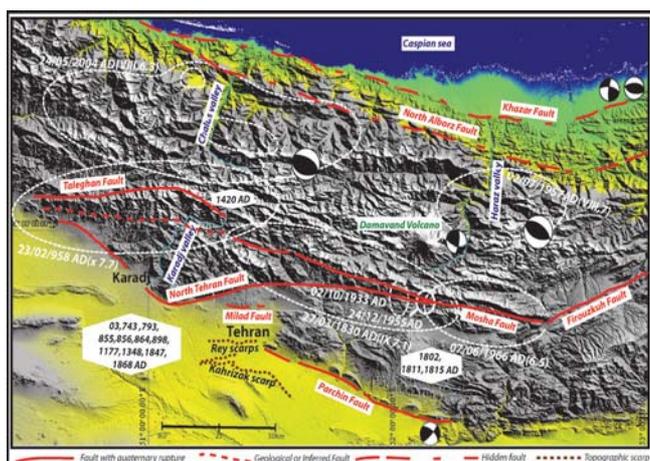
در حدود ۴۰ درجه به سوی خاور است. بنابراین مشخصات صفحه گسل طالقان N105E 60S 40E با ساز و کاری چپگرد و نرمال است (شکل ۶ b). در گزینهای دیگر، نه چندان دور از مکان اندازه‌گیری یاد شده نیز میزان جابه‌جایی اندازه‌گیری شده  $(2 \pm 7)$  متر و  $(2 \pm 3)$  متر است. این مقادیر در ستیغی از پرتگاهی کوچک در بخش خاوری مدل رقومی تهیه شده از سایت Tal2 امکان برآورد دیگری را با دقت کمتر از ویژگی‌های هندسی سطح گسل ( $8-40^\circ$  Pitch)، ولی کم و بیش هماهنگ با ویژگی‌های اندازه‌گیری شده را به دست می‌دهد. از این جابه‌جایی می‌توان به عنوان اثرات ناشی از گسیخت و جابه‌جایی آخرین و یا دو زمین‌لرزه آخر روی داده در این ناحیه یاد کرد (شکل ۶ a,c).

### ۵. دستاورد

در این نوشتار ویژگی‌های هندسی و سازو کار جوان گسل طالقان با دقتی درخور به‌عنوان پهنه‌ای گسلی و بازمانده از گسیخت کهن ناشی از جنبش این گسل با درازای چند ده کیلومتر ( $\sim 70$  km) با بهره‌گیری از روش‌های هندسی در اندازه‌گیری‌های ریخت‌زمین‌ساختی ارائه شد. گسل طالقان با پهنای بیشتر در بخش باختری (ناشی از عملکرد جابه‌جایی‌های تجمعی و قائم بزرگ‌تر حاصل از مؤلفه نرمال بزرگ‌تر در این بخش) نسبت به بخش خاوری با شکلی کمان‌گونه به آرامی از راستای ENE-WSW به راستای NW-SE تغییر مسیر می‌دهد. نتایج به دست آمده از پژوهش ریخت‌زمین‌ساختی پیش روی، امکان برآوردی دقیق از هندسه و سازو کار جوان (N105° 60°S 40°E) گسل طالقان را با اندازه‌گیری‌های انجام شده در بخش میانی گسل با عنوان گسلی جنبنا و سازو کار چپگرد با مؤلفه نرمال فراهم آورد (شکل ۷).

### ۶. سپاسگزاری

به این وسیله از سازمان زمین‌شناسی کشور و آزمایشگاه علوم زمین مونت پلیه به سبب همکاری و مساعدت بی‌دریغ در طی انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.



شکل ۱- نقشه لرزه‌زمین‌ساخت البرز مرکزی شامل گسل‌های فعال (خطوط سرخ رنگ) به نقل از: Nazari et al. (2005); Nazari (2006) و سازو کار کنونی لرزه‌های دستگاهی به نقل از: Mackenzie et al. (1972); Jackson et al. (2002); Tatar et al. (2006) پهنه‌های لرزه‌ای (خطوط سفید رنگ) و زمین‌لرزه‌های تاریخی به نقل از: Berberian and Yeats (2001) and Nazari et al. (2005)

پرتگاه گسل که گاه پهنای آن به ۵۰۰ متر می‌رسد، نشانگر مؤلفه غالب راستالغز با جابه‌جایی چپگرد در راستای NW-SE برای گسل طالقان است (شکل ۲ a,b) و  $3a,b$  و ۴). در میان پهنه برشی در مقیاسی دقیق‌تر، شواهد گسلس نرمال نردبانی (en échelon) در راستای NE-SW دیده می‌شود. با توجه به این شواهد سازو کار گسل طالقان بیانگر گسلسی است راستالغز چپگرد با مؤلفه نرمال. از دیدگاه زمانی، سازو کار برشی - کششی یاد شده نمی‌تواند بسیار کهن باشد، چرا که در این صورت مؤلفه کششی سبب دگرشکلی کامل چهره پرتگاه گسل در رابطه با بلندی‌های کوهستان جنوبی آن می‌شود که برآیند تجمع سازو کار تراکمی گسل در سیر تکوین خود است (Ritz et al., 2006 و Nazari et al., 2003) (شکل ۲ b,c و ۳ d). شیب گسل طالقان در بخش باختری، جایی که گسل سبب راندگی نهشته‌های پرکامبرین - پالئوزویک بر روی سنگ‌های سنوزویک شده است، تندتر از بخش خاوری آن است؛ جایی که عملکرد کهن گسل سبب راندگی نهشته‌های ژوراسیک بر روی سنگ‌های ائوسن می‌شود. مشاهدات میدانی، نشانگر ادامه این گسل تا دره کرج است. گسلی با شیب به سوی جنوب در میان پهنه‌ای از گور سرخ رنگ با نشانه‌هایی از سطح گسل اصلی با ویژگی هندسی:  $(Fp=210^\circ/30^\circ, Fr=170^\circ/30^\circ)$  و صفحه فرعی گسل:  $Fp=130^\circ/55^\circ$  (شکل ۵).

شناخت دنباله گسل طالقان از دره کرج به سوی خاور بسیار مشکل می‌نماید، اگر چه با توجه به مقایسه تمامی داده‌های ممکن شاید بهتر آن باشد که دنباله خاوری این گسل را بر روی شاخه مرکزی گسل مشا جست.

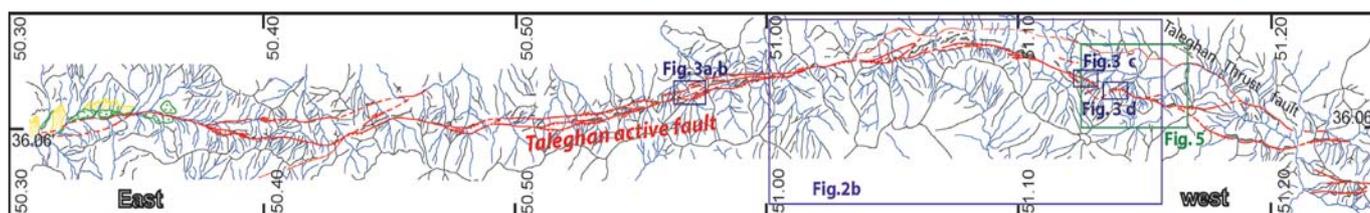
### ۳. برآورد میزان دگرشکلی برشی - کششی تجمعی در مقیاس کوچک

برش‌های توپوگرافی رسم شده بر روی مدل رقومی حاصل از رقومی‌سازی نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰,۰۰۰ و داده‌های SRTM امکان برآورد میزان جابه‌جایی قائم و افقی را بر گذر از پهنه گسل فراهم می‌آورد. بر این اساس برای نمونه در میانه گسل بیشینه جابه‌جایی قائم و افقی چپ‌بر اندازه‌گیری شده بر روی ستیغی (crest) عمود بر راستای صفحه گسل برابر با  $40 \pm 80$  متر و  $250 \pm$  متر است. اگر چه براساس نبود داده‌ای دقیق از آهنگ فرسایش در گستره مورد مطالعه همیشه امکان محاسبه عددی کمتر از میزان واقعی بویژه در برآورد جابه‌جایی افقی می‌رود.

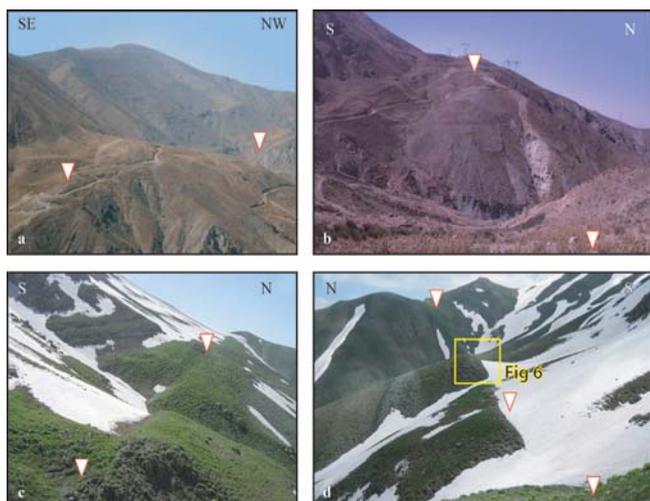
### ۴. برآورد میزان دگرشکلی برشی - کششی و سازو کار گسل در مقیاس بزرگ

براساس مقادیر اندازه‌گیری شده (جابه‌جایی افقی و قائم) از برش‌های بسیار دقیق توپوگرافی عمود بر راستای صفحه گسل، حاصل از به کارگیری (GPS RTK) در پهنه گسل، امکان محاسبه هندسه (شیب و سوی شیب صفحه گسیخت) و سازو کار گسلس در طول گسل طالقان فراهم آمد. برای این کار، در ناحیه موسوم به Tal2 مقادیر جابه‌جایی افقی و قائم در گذر یک خط تقسیم آب در دو سوی صفحه گسل با جنبش راستالغز چپ‌بر و جابه‌جایی قائم ناشی از مؤلفه نرمال اندازه‌گیری شد (شکل ۶ a).

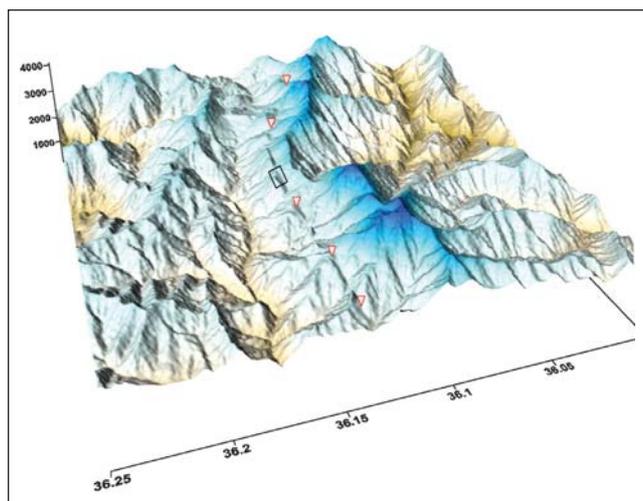
راستای تقریبی و شیب سطح گسلس با توجه به راستای خط اثر صفحه گسل بر روی نقشه توپوگرافی و مدل رقومی برابر با  $N 105^\circ E$  و شیب  $59^\circ S$  برآورد می‌شود. در همین مکان، مقدار جابه‌جایی افقی و قائم براساس ستیغ جابه‌جا شده از عملکرد گسل طالقان برابر  $13 \pm 1$  متر و  $9 \pm 1$  متر است. براساس مقادیر محاسبه شده برای راستا، شیب و مقادیر جابه‌جایی‌های افقی و قائم و به کارگیری روش و روابط هندسی (Nazari, 2006) در محاسبه میزان زاویه افت بر روی سطح گسل (Pitch)،



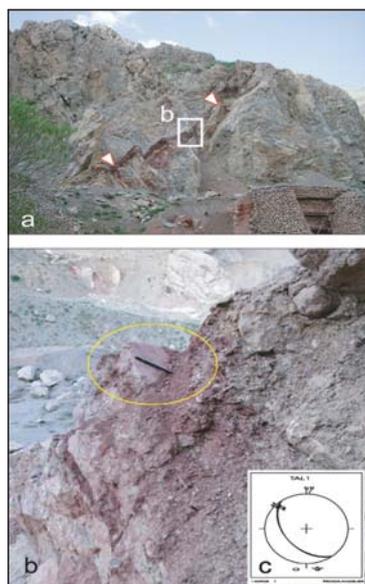
شکل ۲ - (a) نقشه دقیق از گسل طالقان بر اساس عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ به همراه موقعیت دیگر تصاویر بر روی آن.



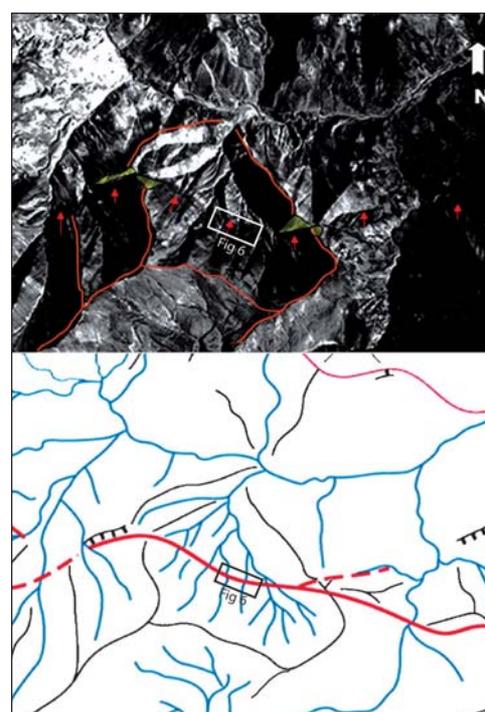
شکل ۳ - چشم‌اندازی بر پرنگاه طالقان: (a, b) در بخش باختری نشانگر پهنای پهنه گسل a جابه‌جایی ناشی از عملکرد مؤلفه نرمال b, (c و d) در بخش خاوری گسل از نمای پرنگاه جوان گسل طالقان در میان نهشته‌های ائوسن در فرو دیواره و ژوراسیک در فرادیواره صفحه گسل.



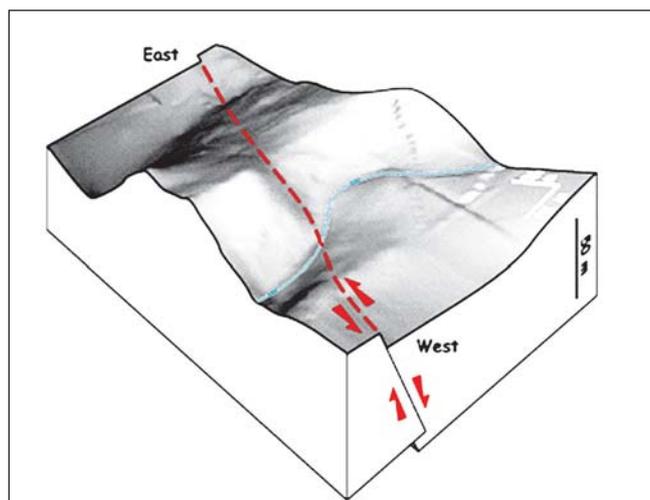
شکل ۲ - (b) مدل رقومی شده از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی آسارا که موقعیت و پرنگاه گسل طالقان را در دامنه جنوبی دره آزاد بر نشان می‌دهد؛ چهارچوب سیاه نیز نمایشگر گستره انجام مطالعات بزرگ مقیاس با GPS RTK (شکل ۶) است.



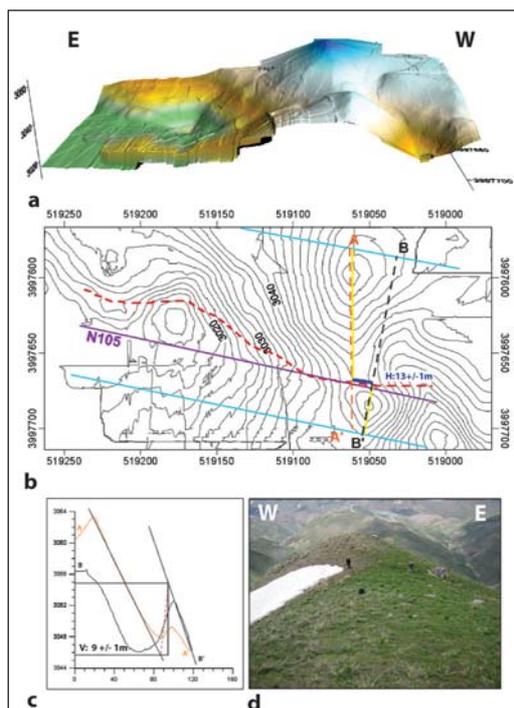
شکل ۵ - (a) نمایی از رخنمون صفحه گسل طالقان در میان گور سرخ رنگ در گذر از دره رودخانه کرج (نگاه به سوی باختر - شمال باختر)، (b) آئینه گسل نشان داده شده با چهارچوب سفید رنگ و (c) مشخصات صفحه گسل بر روی استریونت نشانگر سازوکار چپگرد و نرمال گسل طالقان.



شکل ۴ - پهنه گسل طالقان بر روی عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و نقشه همسان رسم شده از ویژگی‌های پرنگاه گسل



۷- نمودار ۳ بعدی حاصل از GPS RTK به همراه تفسیر ارائه شده از سازو کار گسل طالقان.



۶- (a) نمای ۳ بعدی از مدل رقومی شده از پرتگاه گسل طالقان به وسیله GPS RTK ، (b) نقشه توپوگرافی استخراج شده از مدل رقومی که در آن خط اثر گسل با رنگ سرخ، راستای تقریبی گسل با رنگ بنفش، و ستیغ جابه‌جا شده با رنگ زرد به نمایش در آمده است.

## References

- Ambraseys, N. N., 1974- Historical Seismicity of Iran. In materials for the study of seismotectonics of Iran. North-central Iran, Geological Survey of Iran: 29,47-116.
- Ambraseys, N. N. & Melville, C.P., 1982- "A history of Persian earthquakes." Cambridge University press, New York: 219.
- Annels, R. N., Arturton, R.S., Bazley, R.A.B., Davis, R.G., Hamed, M.A.R. & Rahimzadeh, F., 1977- Geological map of Shakran, GSI.
- Berberian, M., Ghorashi, M., Arjangraves, B. & Mohajer Ashjaie, A., 1993- Seismotectonic and earthquake-fault hazard investigations in the great Ghazvin Region (In Persian), GSI: 61.
- Berberian, M., Ghorashi, M., Arjangraves, B. & Mohajer Ashjaie, A., 1985- Seismotectonic and Earthquake fault hazard investigations in the Tehran region (In Persian). Tehran, GSI.
- Berberian, M. & Yeats, R.S., 1999- "Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau." Bulletin of seismological Society of America 89(1): 120-139.
- Berberian, M. & Yeats, R.S., 2001- "Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau." Journal of Structural Geology 23: 563-584.
- Dedual, E., 1967- Zur Geologie des mittleren und unteren Karaj-Tales, Zentral-Elborz (Iran). Zurich, Eidgen. Tech. Hochsch., Univ. Zurich, Mitt. Geol. Inst.
- Mallet, R., Ed., 1850-53- On the facts of earthquake phenomena. London, British Assoc. Advancement Sci.
- Melville, C. P., 1978- Arabic and Persian source material on the historical seismicity of Iran from the 7th to the 17th centuries A.D. Cambridge, Cambridge.
- Meyer, S. P., 1967- Die geologie des gebietes Velian-Kechire (Zentral-Elburz), Iran, Tech. Hochsch., Univ. Zurich, Mitt. Geol. Inst..
- Nabavi, S. M., 1972- The seismicity of Iran, M. Phil. Thesis, London University, London, U.K.: 273.
- Nabavi, S. M., 1978- "Historical earthquakes in Iran. C.300 B.C.-1900 A.D." Journal Earth and Space Phys. 7(1): 70-117.
- Nazari, H., Ritz, J.F., Ghorashi, M., Abbasi, M., Saidi, A., Shahidi, A.R. & Omrani, J., 2003- Analysing Neotectonic in Central Alborz: Preliminary results. 4th. International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (See 4), Tehran, Iran.
- Nazari, H., 2006- Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Teheran: Approche morphotectonique et paleoseismologique, PhD thesis, Montpellier II, Montpellier.
- Poirier, J. F. & Taher, M.A., 1980- "Historical seismicity in the Near and Middle East, north Africa, and Spain from Arabic documents (VIIth-XVIIIth century)." Bull. Seism. Soc. Am. 70(6): 2185-2201.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A. & Solaymani, S., 2006- "Active transtention inside Central Alborz: A new insight into the Northern Iran-Southern Caspian geodynamics." Geology 34(6): 477-480.
- Vahdati Daneshmand, F. C., 1999- Geological map of Amol, 1:250000 Geol. Surv., Iran.
- Vahdati Daneshmand, F. & Nadim, H., 2001- Geological map of Marzan abad, 1:100000 Geol. Surv., Iran.