



# نقشه برداری گسیختگی گسل ۲۲ مه ۲۰۰۴ زمین لرزه ایران<sup>(۱)</sup>

(با قدرت  $MW=6.2$ ) با استفاده از تصاویر ماهواره

نویسندگان:

M.SHARIFIKIA, C.S. DUBEY, B.K. SHARMA,

M.CHAUDHRY AND P.K. CHAMPATI RAY<sup>(۲)</sup>

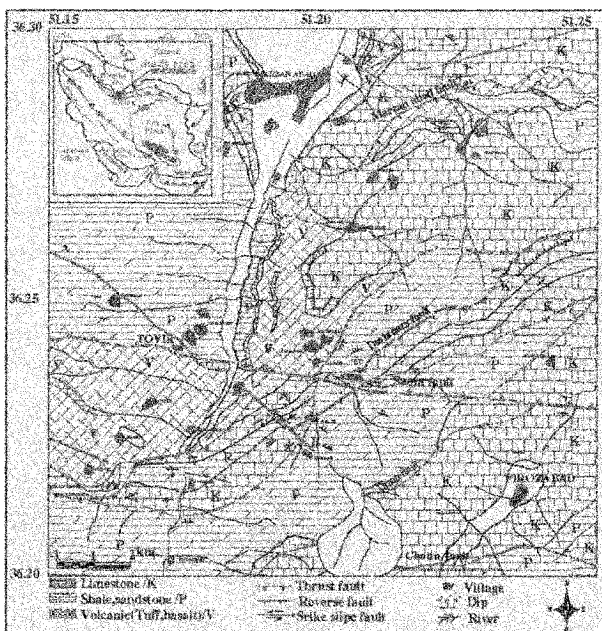
ترجمه: سر تیپ دوم ستاد مهندس محمد حسن نامی

## چکیده

(Firozabad - Tovir) با طول جغرافیایی  $51^{\circ}25'$  -  $51^{\circ}15'$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ}30'$  -  $36^{\circ}20'$  واقع شده است بخش کوچکی از کوههای مرکزی البرز می باشد که دارای ساختاری دولومیتی، سنگ آهکی، شیل (سنگ رستی) و ماسه سنگ است (نگاره ۱).

زمین لرزه‌ای با قدرت  $6.2$  MW در تاریخ ۲۸ مه ۲۰۰۴ در البرز مرکزی شمال ایران (فیروزآباد - کجور) در ساعت  $17:08:46$  بوقت محلی بوقوع پیوست. بیشتر مراکز تحقیقاتی زمین لرزه مرکز این زمین لرزه را نزدیک آبادی فیروزآباد (با عرض  $36.283$  و طول  $51.616$  جغرافیایی) در یک عمق  $28/3$  کیلومتری گزارش نمودند. منطقه فیروزآباد - تویر (Firozabad-Tovir) بخش کوچکی از سلسله جبال مرکزی البرز است و در واقع یکی از چند منطقه بسیار فعال تکتونیکی (زمین ساختی) در منطقه و زون کران پهنه می باشد و دو سمت از همین زون است که پهنه عربستان با توجه به پهنه اروپا - آسیا به میزان حدود  $20$  میلی متر در سال به طرف شمال حرکت می کند. این ناحیه از ایران، منطقه منحصراً برفری رادار سطح زمین جهت مطالعه و بررسی واکنش پوسته فوقانی در برابر برخورد قاره‌ای در طی میوسن پسین - دوره اخیر نشان می دهد که کوتاه شدگی درون قاره‌ای را با خطا بر خورد شمالی - جنوبی پهنه‌های عربستان و اروپا - آسیا در بر می گیرد. بیشتر درگیری در نواحی زاگرس، البرز و Kopet - Day در امتداد و طول گسل‌های با حرکت افقی تطابق دارد.

شمالی ترین رشته کوه‌های البرز بطور جانبی به اندازه  $900$  کیلومتر پیرامون دریای مازندران (دریای خزر) و  $500$  -  $200$  کیلومتر شمال چاک نئو تیتیان (Neo-Tethyan) گسترش می یابد. (نگاره ۱)



نگاره ۱: نقشه زمین‌شناسی ناحیه پژوهشی. نقشه کوچک حاشیه، محل ناحیه پژوهشی را نشان می‌دهد.

کهن‌ترین تشکیلات و فورماسیون سنگ در ناحیه مورد مطالعه، تشکیلات و فورماسیون کهر (Kahar) است که شامل سنگ آهک در سمت شمالی است و ایجاد شیب شمالی - غربی در بخش غربی این ناحیه بوقوع می‌پیوندد. رونهاد تشکیلات مبارک (Mobarak) با دولومیت و سنگ آهک دوره Carboniferous مشخص می‌گردد. این سنگ‌ها جهت‌های شمال غربی - شمال شرقی بویژه به آبادی فیروزآباد ادامه می‌یابند. شیل / سنگ آهک تشکیلات شمشک (Shemshak) که از عصر ژوراسیک بجا مانده است، روی تشکیلات مبارک (Mobarak) فرا گرفته است و در غرب و بخش شمال

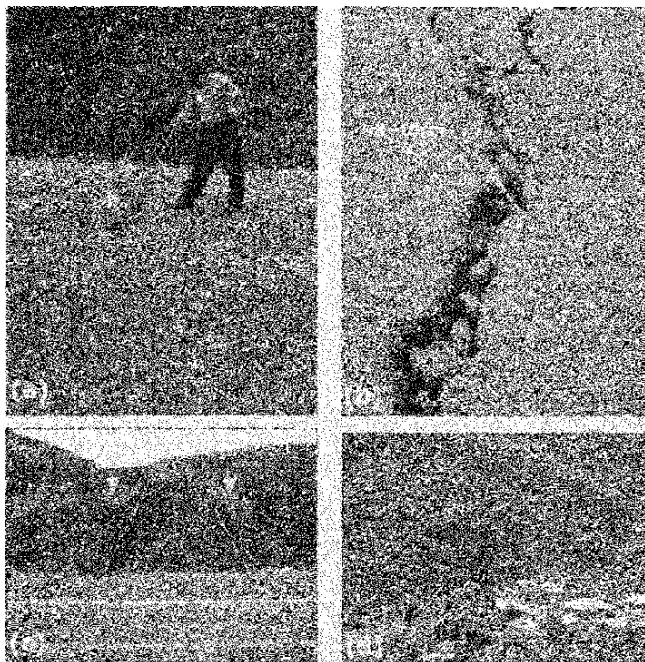
البرز دارای یک ارتفاع متوسط نزدیک  $3000$  متری است و سه قله بزرگ در ایران را در بر می‌گیرد. (آتشفشان دوران چهارم دماوند با ارتفاع  $4670$  متر؛ علم کوه با ارتفاع  $4822$  متر، و تخت سلیمان با ارتفاع  $4659$  متر). ارتفاع به طور ناگهانی بسمت دریای خزر (حدود  $30$  متر زیر سطح دریا) تا حدود  $60$  -  $50$  متر کاهش می‌یابد. جنوب دریای خزر که به محل شدیدتر اکتشافات نفتی بدل شده است (احتمالاً عمیق‌ترین حوضه رسوبی در جهان)، با یک ضخامت  $20$  کیلومتری رسوبهای ژوراسیک و جوانتر که روی پی سنگ جادویی (Magic) قرار گرفته است، می‌باشد. برجستگی ساختاری سرتاسری از کوه‌های البرز نسبت به جنوبی‌ترین پی سنگ دریای خزر تقریباً  $25$  کیلومتر است.

این عوارض و برجستگی بخشی از کمربند کوه‌زایی آلپ - هیمالیا در آسیای شرقی است که در شمال به دریای خزر و در جنوب به ایران مرکزی محدود می‌گردد. ناحیه پژوهشی که در اطراف منطقه فیروزآباد - تویر

هراز در شرق، این زمین لرزه را احساس کردند. تمامی مکانیزم کانونی محاسبه شده برای زمین لرزه فیروزآباد - کجور نشان می‌دهد که زمین لرزه در روی یک گسل معکوس با جابجایی جانبی بزرگ در سمت چپ بوقوع پیوسته است. تقریباً ۲۹ آبادی از جمله فیروزآباد، تویر، سما، چال زمین (Chalzamin)، ماکر (Makar)، دشت نظیر، بشدت تحت تأثیر این زمین لرزه قرار گرفتند. اما بیشترین خسارت در آبادی فیروزآباد (نگاره ۲) مشاهده گردید.

اثر یک شکستگی مهم و برجسته مرتبط با امتداد گسیختگی گسله‌ای در WNN-ESE (با آزمون متفاوتی از 290°-310°) نزدیک آبادی تویر (Tovir) (نگاره‌های ۳a و ۳b) در نزدیکی سنگ‌های گسله‌ای که ساختار فراراند و فروراند نشان می‌دهد، نقشه برداری گردید (نگاره ۳c).

در امتداد تقاطع جاده با شمال آبادی تویر (Tovir)، تغییر شکل زمین به صورت گسیختگی‌هایی نشان داده شده است که جابجایی حدود ۷ سانتی متر را در طول امتدادی و ۴ سانتی متر جابجایی قائم با ۵ سانتی متر دهانه (نگاره ۳a و ۳b) را نشان می‌دهد. بعضی از شکستگی‌های همراه در جهت N60W-S60E ادامه می‌یابند.



نگاره ۳: مشاهدات میدانی در دو آبادی تویر (Tovir) و فیروزآباد.  
 (a) گسیختگی سطحی نزدیک آبادی تویر (Tovir)  
 (b) نمای نزدیک (فلش قرمز رنگ) جابجایی با اندازه 8-10 سانتی متر  
 (c) ساختار فروراند و فراراند در شرق آبادی تویر (Tovir)  
 (d) اثر احتمالی گسیختگی گسله‌ای در آبادی فیروزآباد

گسل مربوط به سطح شکستگی نیز در آبادی فیروزآباد که در همان جهت ادامه می‌یابد قابل ردیابی است و زمین لغزه را در شیب‌های کوهستانی نشان می‌دهد (نگاره 3d).

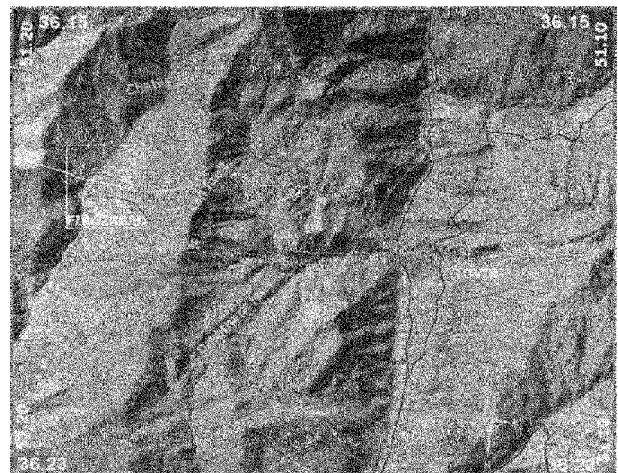
غربی ناحیه مورد مطالعه نمایان می‌باشد. رونهاد تشکیلات چالوس (Chalus) متعلق به عصر Cretaceous است و عمدتاً از سنگ آهک و سنگ آتشفشانی تشکیل یافته است. سنگ آتشفشانی از این تشکیلات در نوارهای با ضخامت‌های متفاوت در جهت شرقی - غربی در بخش غربی و جهت شمالی - جنوبی در بخش میانی کاملاً نمایان بوده و بیرون زدگی دارند.

همچنین بازالت و توف آتشفشانی نزدیک آبادی تویر (Tovir) در جنوب غربی نزدیک مرزن آباد (Marzanabad) در شمال و دشت نظیر (Dashtnazir) در بخش شمال شرقی ناحیه پژوهشی مشاهده گردید. سنگ آهک و مارن تشکیلات چالوس (Chalus) در بخش شمال شرقی ناحیه (از شهر مرزن آباد تا آبادی دشت نظیر)

ناحیه مورد پژوهش ما با تعدادی راندگی مشخص شده است که در جهت شرقی - غربی و شمال غربی - جنوب غربی قرار گرفته‌اند.

راندگی سما (Sama) یک امتداد راندگی بزرگ و عمده شرقی غربی در ناحیه است که به صورت شکستگی‌های بزرگ پوسته زمین حتی در وضوح متوسط تصاویر ماهواره (برای مثال TM) مشاهده می‌گردد و در میدان بصورت یک کنتاکت (همبری) بین شیل / سنگ آهک تشکیلات شمشک و توف و بازالت تشکیلات چالوس نزدیک آبادی تویر (Tovir) مشاهده شده است. گسل‌های دشت نظیر، دیزین (Dizan) و مرزن آباد در جهت NE-SW امتداد می‌یابند.

تعدادی از گسل‌ها با جابجایی امتدادی و نیز گسل‌های نرمال در شمال شرقی و جنوب شرقی ناحیه مشاهده گردیده است (نگاره ۲)؛ برخی از گسل‌ها در روی سطح بصورت بالا رانده و بصورت گرابن (فروراند یا پایین افتادگی) در سمت راست تقاطع جاده بین تویر (Tovir) - مرزن آباد و کناره رودخانه چالوس قابل رؤیت است (نگاره ۲).



نگاره ۲: تصویر TM لندست از ناحیه پژوهشی زمین ساختی‌های عمده و مکان آبادیهای تویر و فیروزآباد. پلیگونیهای زرد نقاط مسکونی را نشان می‌دهد.

دریای خزر در شمال، تهران در جنوب، طالقان در غرب و رودخانه

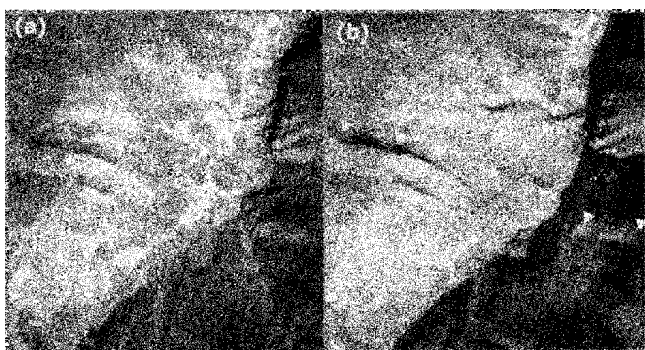
می‌گردد می‌تواند تغییر شکل زمین‌شناسی و گسیختگی‌های همراه با زمین لرزه را بصورت نتیجه تغییر شکل هم لرزه‌ای (Co-Seismic) پدید آورد. بنابراین، تصاویر IRS ID PAN با وضوح و قدرت تفکیک 23.5m در ۹ آوریل ۲۰۰۴ (قبل از وقوع زمین لرزه) دریافت گردید و اطلاعات TM لندست دوره پیش از زمین لرزه برای نقشه برداری عناصر تکتونیکی و تغییر شکل سطحی بدلیل زمین لرزه اخیر مورد آنالیز قرار گرفت. پردازش دیجیتالی تصویر با استفاده از ماهواره ER Mapper 6.3 انجام گرفت که در آن از فیلترین بالایی عبوری و تکنیک‌های تقویت تصویر بکار رفته است و تصاویر ترکیبی رنگی داده‌های فیلترگذاری شده از هر دو تاریخ برای تفسیر ساختاری مورد استفاده قرار گرفت.

راندگی‌های سما، دشت نظیر، مرزن آباد و چتین (Chatin) در روی تصاویری که قبل و بعد از زمین لرزه دریافت شده بود مورد شناسایی قرار گرفتند.

گسل‌های مزبور همچنین در روی زمین همراه گسیختگی‌های سطحی در مجاورت نواحی فیروز آباد و تویر که بیشترین خسارت رادیده بود مورد تأیید قرار گرفتند.

افزون بر تمامی خط واره‌هایی که در روی تصویر دریافتی قبل از وقوع زمین لرزه مشاهده گردید، خط واره (شکستگی‌های بزرگ پوسته زمین) جدیدی نزدیک روستای فیروزآباد در روی داده‌های بعد از زمین لرزه مشاهده گردید.

نزدیک روستای تویر (Tovir) و اطراف آن که با گسیختگی‌های بزرگ مقیاس روبرو شدیم، این خط واره در جهت گسیختگی‌های سطح بود که می‌توان آنرا با گسل شناخته شده تویر (Tovir) که تا لروسر (Lorosar) ادامه می‌یابد، ارتباط داد. لیکن از لروسر (Lorosar) تا فیروزآباد، مشاهده گردید که خط واره جدید از فیروزآباد در جهت SE برای مسافت قابل ملاحظه‌ای ادامه و گسترش می‌یابد. (نگاره ۵)



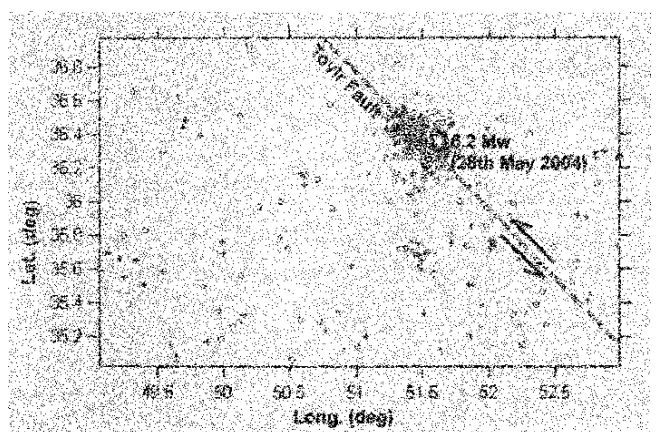
نگاره ۵: (a) تصویر ماهواره‌ای (IRS-PAN) از روستای فیروز آباد که در مارس ۲۰۰۴ قبل از وقوع زمین لرزه دریافت شده است. (b) تصویر ماهواره‌ای سما (Sama) بعد از وقوع زمین لرزه. در این تصویر مثلث‌های زرد گسیختگی‌های سطحی را همراه با گسل کور به نمایش می‌گذارد. می‌توان نتیجه گرفت گسلی که موجب بروز زمین لرزه ۲۸ مه ۲۰۰۴

شکستگی‌های کوچکی در امتداد شرق - غرب نیز در وسط آبادی فیروز آباد مشاهده شده است که دهانه‌هایی در حدود ۱۰ سانتی متر داشته و فوراً در هنگام پس لرزه‌ها بسته گردیده‌اند. تعدادی از ترک‌ها نیز در روستاهای دشت نظیر و سما (Sama) واقع در غرب و شمال روستای فیروزآباد و شرق شهر مرزن آباد یافته شد.

بیشترین گسل‌ها در منطقه مانند گسل تویر (Tovir) جابجایی امتدادی (گسل با حرکت افقی) را در امتداد گسل اصلی سما (Sama) نشان می‌دهد. تصور می‌شود که ساختار هندلی و داخلی شمال ایران همراه با گسل‌های امتدادی بزرگ مقیاس باشد.

بر اساس مشاهدات میدانی در پیرامون گسل‌های بزرگ و اثر لرزه‌ای، تصور می‌کنیم که جابجایی گسل امتدادی بطور قابل ملاحظه‌ای در وضعیت تکتونیکی لرزه‌ای (Seismotectonic) شمال ایران اهمیت دارد. این جنبه همچنین با راه حل صفحه کانونی زمین لرزه‌های شمال ایران مورد تأیید قرار گرفته است. مکانیزم کانونی زمین لرزه اخیر فیروزآباد - کجور نشان می‌دهد که زمین لرزه در روی یک گسل معکوس با لغزش جانبی چپ بوقوع پیوسته است.

وقوع این لغزش جانبی با شواهد تکرار فعالیت گسل‌های معکوس با حرکت امتدادی چون تغییر مکانهای جانبی، وجود شکستگی همیو، خوشه بندی تراکت مرکز زمین لرزه در طول گسل با جابجایی امتدادی در تداوم با اثر گسل تویر (Tovir) برای مسافت قابل ملاحظه‌ای (نگاره ۴) مورد پشتیبانی قرار گرفته است. از اینرو توزیع مکانی و زمانی مراکز زمین لرزه حاکی از آن است که فعالیت عمده لرزه‌ای در این منطقه تغییر شکل پوسته زمین را در منطقه گسل تویر (Tovir) به وسیله ایجاد گسل معکوس با مؤلفه جابجایی امتدادی ایجاد کرده است.



نگاره ۴: داده‌های فعالیت زمین لرزه‌ای گروه بندی (خوشه بندی)

مراکز زمین لرزه در امتداد گسل تویر (Tovir)، شمال ایران.

آبی: >10.8km؛ سبز: 10.9-21.5km؛ قرمز: 21.6-35.9km عمق کانون رانشان می‌دهد.

از آنجایی که اطراف فیروزآباد ببری از پوشش جنگلی است، تصور می‌رفت که بررسی تصاویر ماهواره‌ای که قبل و بعد از زمین لرزه دریافت



دارد که ادامه گسل نقشه برداری شده تا شمال روستای Tovir می‌باشد. از آنجا که این خط واره در سرتاسر جهت توپوگرافی عمده قرار گرفته است لذا بعید است آنرا به پدیده بزاختگی نسبت دهیم و بدین طریق است که ماهیت اولیه تغییر شکل زمین را نشان می‌دهد.

### منابع

- 1) Axen, G.J., Lam, P.s., Grove, M. and Stocklin, D.F., (2001). Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics. *Geology*, 29:559-562.
- 2) Berberian, M., (1983), The Southern Caspian: A Compressional depression Floored By a Trapped Modified oceanic crust. *Canadian J.of Earth Sciences* 20: 163-183.
- 3) Berberian, M. and Yeats, R.S. (1999). Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bull. Seism. Soc.Am.*, 89: 120-139.
- 4) Burchfiel and Stewart (1966). ``Pull-apart`` origin of the central segment of Death Valley, California. *Bull. Geological Society of America* . 77: 439-442.
- 5) Devlin, W.J., Cogswell, J.M., Gaskins, G.M., Isaksen, G.H., Pitcher, D.M., Puls, D.P., Stanley, K.O. and Wall, G.R.T. (1999). South Caspian Basin: Young cool. and Full of Promise. *GSA Today* . 9: 1-9.
- 6) Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M. (2002). Active Tectonics of the South Caspian Basin. *Geophysics J. International*, 148:214-245.
- 7) Mann, P., Hempton, M., Bradley, D. and Burke, K. (1983). Development of pull - apart basins. *J. Geol.*, 91: 529-554.
- 8) Neprochnov, Y.p (1968). Structure of the earth's crust of epi-Continental seas: Caspian, Blak, and Mediterranean. *Canadian J. of Earth Sciences*, 5: 1037-1043.

### پی نوشت

- ۱- خبرنگار «انجمن سنجش از دور هند» جلد ۳۴، شماره ۴ سال ۲۰۰۶
- ۲- از وزارت صنایع و معادن جمهوری اسلامی ایران، دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه دهلی هند، مؤسسه سنجش از دور هند (IIRS)

گردیده است، رابطه مستقیمی با این خط واره (یعنی گسل فیروزآباد) دارد که می‌توان اثر آنرا در داده‌های دریافتی پس از زمین لرزه ردیابی نمود. این گسل یک گسل کور است که تا کنون در ورای روستای لروسر (Lorosar) مورد نقشه برداری قرار نگرفته است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت خط واره‌ای که در غرب (یعنی در Tovir) مشاهده گردید، گسترش و امتداد خط واره‌ای است که در فیروزآباد مشاهده گردید.

بخش غربی گسل تا روستای لروسر (Lorosar) ردیابی گردید در حالی که گسل از فیروزآباد در شرق تا دامنه کوهها مشاهده شده است. بخش میانی گسل را بدلیل وجود پوشش گیاهی بیش از حد در منطقه مرتفع کوهستانی نمی‌شد مورد نقشه برداری قرار داد. (نگاره ۶)



نگاره ۶: تصویر ترکیبی PAN و IRS LISSII دو بخش از گسل

فیروزآباد و تویر را نشان می‌دهد؛ بخش سبز تا کنون نقشه برداری شده است. بخش زرد گسلی است که با خط واره مشخص شده و از تصویر ماهواره‌ای تبدیل گردیده است. قسمتی که با خطوط منقطع مشخص شده است بخش پنهان گسل را بین دو بخش نشان می‌دهد. پلیگونیهای زرد نقاط مسکونی را نشان می‌دهند.

علاوه بر تمامی خط واره‌های تکتونیکی که در روی تصویر ماهواره‌ای پیش از وقوع این زمین لرزه مشاهده گردید، خط واره جدیدی نزدیک روستای فیروزآباد در روی تصاویر ماهواره‌ای مشاهده گردید که بعد از زمین لرزه ۲۸ مه دریافت گردیده است.

این خط واره (شکستگی بزرگ پوسته زمین) یک شکستگی برجسته است، احتمالاً شکستگی گسل در امتداد WNW-ESE (با اختلاف آزیموت از 290°-310°) است که می‌توان آن را تا شمال روستای تویر (Tovir) در مجاورت سنگ‌های گسلی ردیابی نمود که از خود ساختار و ساختمان فروراند و فراراند را نشان می‌دهد.

مکان و جهت این خط واره با مشاهدات زمینی برای تغییر شکل مورد تأیید قرار گرفت و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که زمین لرزه ۲۸ مه ۲۰۰۴ همبستگی نزدیکی با خط واره تازه نقشه برداری شده در نزدیک فیروزآباد

