



اداره کل زمین سنجی و نقشه برداری زمینی

اداره ژئودزی و ژئودینامیک

تخلیه انرژی ذخیره شده قطعه خاوری گسل مشاء در

زمین لرزه ۱۹ اردیبهشت- و پس لرزه های ۷ خرداد- ۲۰ شهریور ۹۹ به ترتیب با بزرگای

۴-۳-۵

تهیه کننده: دکتر حمید رضا نانکلی

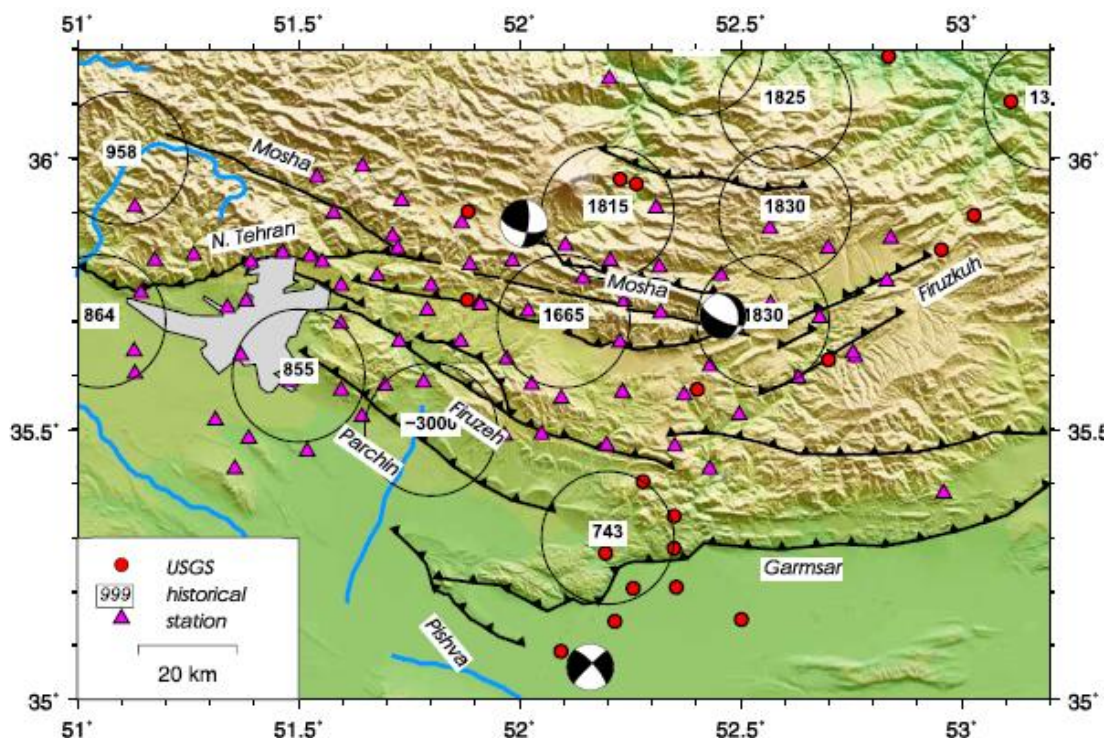
۱-مقدمه:

پدیده زمین لرزه یکی از مخاطرات طبیعی است که در اثر تنش انباشته شده بر روی گسل ها در مدت زمان طولانی و آزاد شدن این تنش در چندین ثانیه روی می دهد. تنش برشی- افت تنش و نرخ لغزش از پارامترهای مهم در تحلیل خطرپذیری گسل ها و مدل سازی چرخه زلزله بر روی آنها می باشد.

یکی از عناصر اصلی در پیشبرد پیش بینی زمین لرزه، شناخت رفتار بلندمدت گسل های لرزه زا است . مطالعه گسل های زمین لرزه ای در ایران نشان می دهد که شناخت تاریخچه زمین ساختی کواترنری آغازین و همچنین بررسی شواهد زمین شناختی پیش از کواترنری در فهم نحوه دگرشکلی قاره ای در حین زمین لرزه از اهمیت بالایی برخوردار است. به همان اندازه که شناسایی گسلش های عهدحاضر در فهم زمین ساخت پویای قاره ای اهمیت دارد شناخت دقیق لرزه خیزی تاریخی و دستگاہی نیز به عنوان ابزاری سودمند در این راستا محسوب می شود. حرکت در طول یک گسل فعال می تواند بصورت تدریجی و پیوسته (خزش زمین ساختی) و یا تناوبی از دوره های آرامش و حرکت ناگهانی با رها شدن انرژی بصورت زمین لرزه باشد.

## ۲- پهنه البرز

از نقطه نظر لرزه زمین ساختی، کشور ایران بخشی از کمر بند زلزله خیز آلپ- هیمالایا را تشکیل می‌دهد و وجود گسل‌های فراوان فعال در منطقه ایران و همچنین زلزله‌های تاریخی و معاصر گویای پتانسیل بالای تغییر شکل در این منطقه می‌باشد. از بین ساختارهای تکتونیکی فعال در ایران رشته کوه‌های البرز که در بر گیرنده تعداد زیادی گسل فعال می‌باشد بسیار حائز اهمیت می‌باشد (شکل ۱)



شکل ۱ پهنه البرز مرکزی، گسل شمال تهران و موقعیت کلان شهر تهران تاتار و همکاران - (۱۳۸۵)

منطقه البرز مرکزی لرزه خیز بوده و در طی دو هزار سال گذشته بیش از ۲۰ زمین لرزه با بزرگی ۶/۵ (درمقیاس امواج) سطحی در این منطقه بوقوع پیوسته است. از دیدگاه زمین ساخت البرز مرکزی توان ایجاد زمین لرزه‌های بزرگ را دارد و گسل‌های توانمندی در البرز مرکزی قرار دارند که بارزترین چشمه خطر برای شهر تهران گسل مشاء-فشم و گسل شمال تهران می‌باشد.

زلزله بزرگ تهران در ۲۷ مارس ۱۸۳۰ میلادی (۱۹۰ سال پیش) با بزرگی بیش از هفت درجه ریشتر به وقوع پیوست. در مورد ابعاد تخریب این زلزله منابع چنین گزارش کرده‌اند: مناطق شمیرانات و دماوند تقریباً به طور کامل ویران شد و حدود ۷۰ روستا در شرق جاجرود از بین رفتند.

همچنین با مراجعه به کتاب تاریخ زلزله‌های ایران مشاهده می‌شود که در البرز مرکزی زلزله‌های تاریخی مخرب چندی به وقوع پیوسته که از آن جمله زلزله‌های سال‌های ۷۴۳، ۸۵۵، ۹۵۸، ۱۱۷۷، ۱۲۸۳، ۱۶۶۵ و ۱۸۱۵ میلادی با بزرگی‌های تا ۷/۷ درجه ریشتر قابل ذکر هستند.

### ۳-گسل مشا

گسل مشا حدود ۲۰۰ کیلومتر طول دارد و از گسل‌های اساسی البرز مرکزی است که در شمال تهران قرار گرفته است. شیب این گسل رانده به سمت شمال برآورد شده است. طول این گسل را از روستای دلیچای در خاور تا فشم در باختر در نظر گرفته‌اند. شیب گسل فشاری مشا همیشه به سمت شمال و بین ۳۵ تا ۷۰ می‌باشد، اما چنان که بیان شد فعالیت این گسل تاکنون چندین زلزله در تهران به وجود آورده است. چنان که زلزله بزرگی که در سال ۹۵۸م با قدرت بیش از ۷/۷ در ۵۰ کیلومتری تهران رخ داده است به قسمت غربی این گسل نسبت داده می‌شود

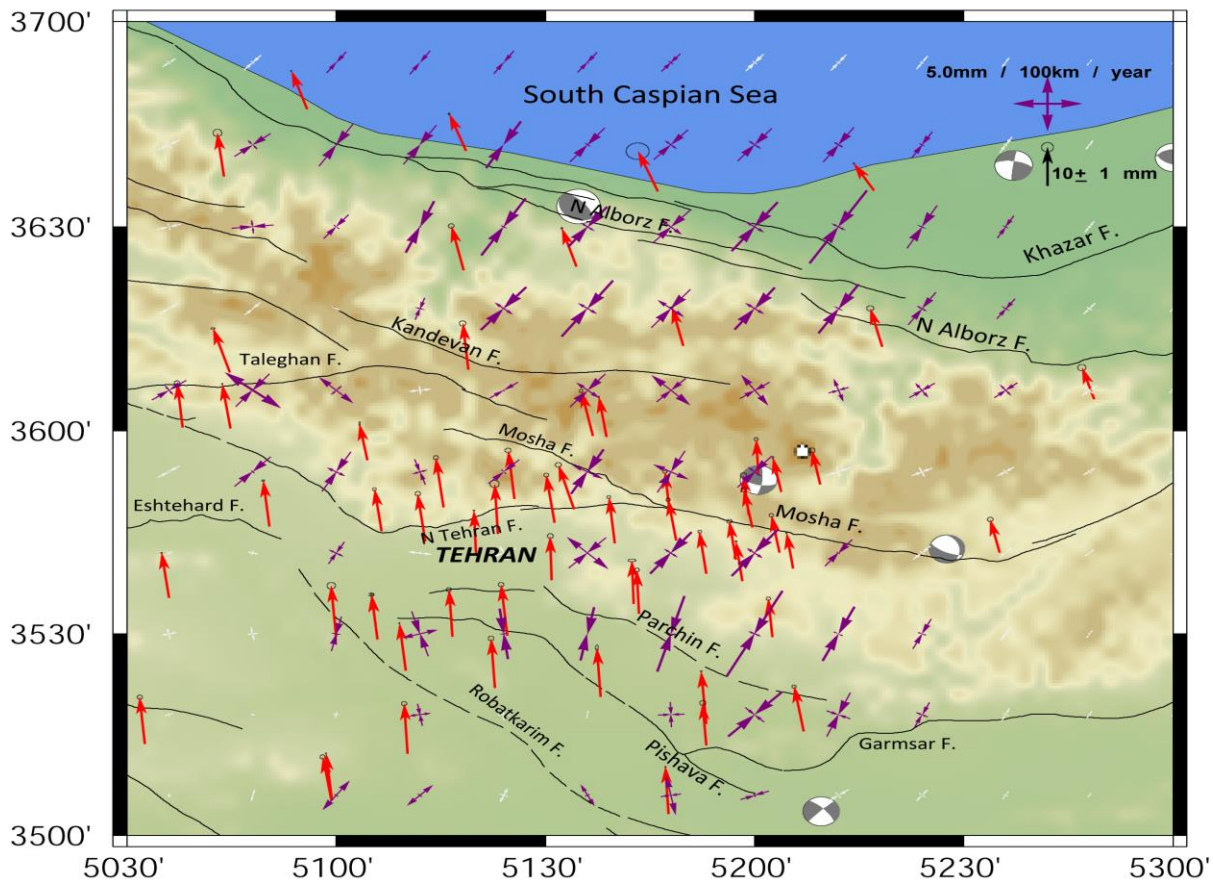
در سال ۱۳۰۹ نیز در اثر فعالیت شدید دنباله شرقی این گسل در روستای مبارک آباد زلزله بزرگی رخ داد که آن حادثه هم با خسارت‌های بسیاری همراه شد. به هر روی با نگاهی به تاریخ آخرین زلزله مهیب در تهران خواهیم دید که بیش از ۱۹۰ سال از آن می‌گذرد. یک زلزله هم در سال ۱۹۳۰ اتفاق افتاده که باز هم روی همین قطعه گسل مشا بوده .

گسل مشا در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی تهران از روستای کلان رد می‌شود، دو گسل مشا و گسل شمال تهران در این روستا به هم می‌رسند و تلاقی می‌کنند و به عنوان "زون اتصال" این دو گسل شناخته می‌شود ،

این گسل، قطعه قطعه و دارای حداقل سه بخش متفاوت "خاوری" ، (از فیروزکوه تا دره مشا) "بخش میانی" (از دره مشا تا منطقه لواسانات به طرف شهرستانک) و "بخش باختری" (از شهرستانک تا ورده و باختر کرج) است و از این رو، فعالیت لرزه‌ای بخش‌های متفاوت آن اثرات متفاوتی را بر بخش‌های مختلف تهران بزرگ و حتی کرج و آبیگ می‌تواند داشته باشد.

### ۴-مدل حرکت منطقه البرز با استفاده از شبکه های موردی و دائمی سازمان

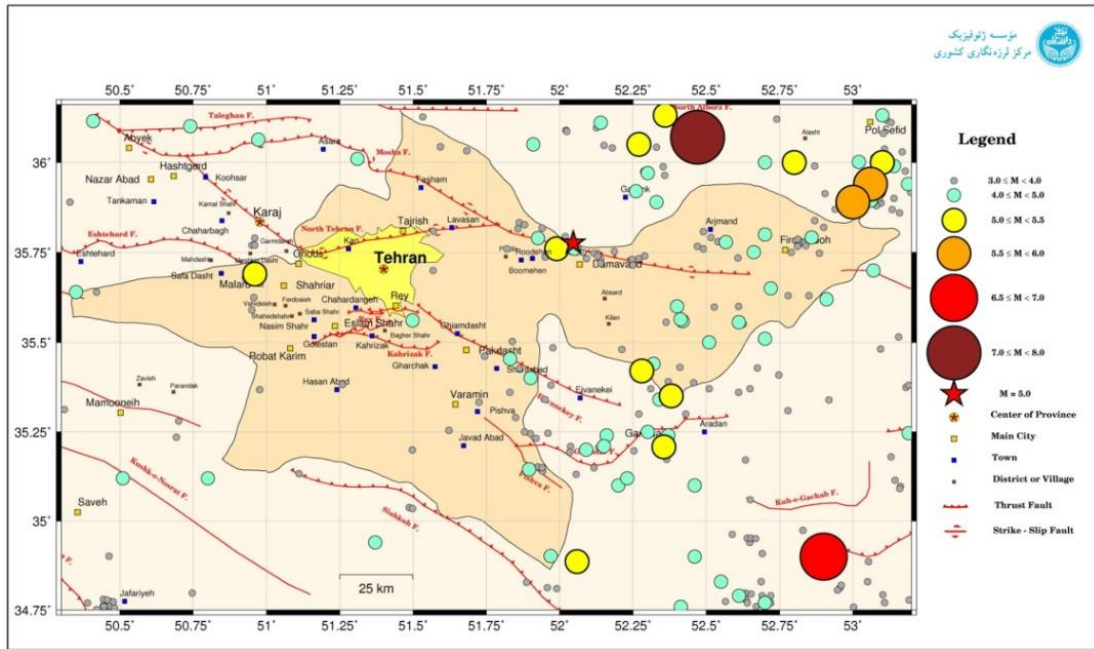
میدان سرعت و نرخ کرنش در شکل ۲ به ترتیب نحوه تغییر شکل در امتداد و در سراسر محدوده البرز را نشان می‌دهد. نمودار نرخ استرین نشان می‌دهد که تغییر شکل درون محدوده البرز به شدت در امتداد و در سراسر کمربند در حال تغییر کردن است. در بخش شرقی تغییر شکل به صورت حرکت چپگرد و کوتاه شدگی روی لبه جنوبی کمربند دیده می‌شود. در البرز مرکزی (از ۵۱ درجه شرقی تا ۵۲٫۵ درجه شرقی) تغییر شکل به صورت مایل و فشارش نسبتاً بزرگتری مشاهده می‌شود. جهت فشارش اغلب عمود بر راستای کمربند در آن بخش است. نرخ استرین محاسبه شده نشان می‌دهد که در البرز مرکزی بخشی از همگرایی بین دو صفحه عربستان و اوراسیا از طریق کوتاه شدگی صورت گرفته توسط گسل‌های تراسی شمال البرز، خزر (۱٫۸ میلیمتر در سال قائم)، پارچین و گرمسار جذب می‌گردد. در حالی که تغییر شکل به صورت امتداد لغز چپگرد درون محدوده کوهستانی در امتداد گسل‌های طالقان و مشا (با نرخ لغزش ۵٫۱ و ۲ میلیمتر) دیده می‌شود و این نشان می‌دهد که نوع تغییر شکل در البرز مرکزی تنها بصورت چین خورده و بالا آمده نیست. تعدادی از بخش‌های البرز (البرز غربی) میزان فشار خیلی کوچکی را نشان می‌دهد که بیانگر تغییر شکل در شمال البرز است،



شکل-۲ میدان سرعت و نرخ استرین در پهنا البرز

#### ۵- تحلیل زلزله های رخ داده سال ۹۹ گسل مشاء :

نتایج بدست آمده از سری های زمانی و میدان سرعت و استرین شبکه ایستگاه های دائمی سازمان نقشه برداری کشور POLR, PLZI, ABSD, GARM, LAR در منطقه حاکی از رژیم فشارشی برشی در قسمت شرقی و فشارشی در قسمت غربی گسل مشاء و افزایش حداکثر استرین برشی در قسمت مرکزی مشاء می باشد. نرخ افزایش این استرین برشی با توجه به عمق زلزله و فاصله از خط گسلی ۲ تا ۴ نانو استرین در سال می باشد. در قطعه شرقی و غربی گسل مشاء نیز بر اساس پروفیل های میدان سرعت شبکه موردی و شبکه دائمی حرکات کمی مشاهده شده و نقشه پراکندگی ۱۲۰ ساله نگاهشت های لرزه ای (شکل ۳) نیز گواه این مطلب است. این دو قسمت از گسل مشاء در حال تجمع استرین بین لرزه ای می باشد.



شکل ۳- محل زلزله و زمین لرزه های دستگاهی از سال ۱۹۰۰ تا کنون

۱-۶ زلزله ۱۹ اردیبهشت ماه ۹۹

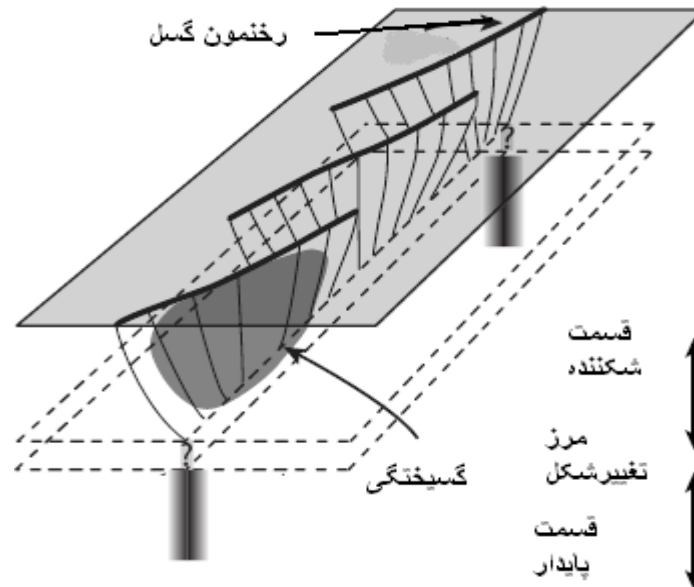
بزرگی: ۵

طول جغرافیایی: ۵۲,۰۵

عرض جغرافیایی: ۳۵,۷۸

عمق زمین لرزه: ۱۶ کیلومتر

آنچه در زلزله اردیبهشت ماه ۹۹ مشا رخ داده است و با توجه به توضیحات که داده شد بدین صورت میباشد که در اثر تجمع تنش فعال ناشی حرکات صفحه تکتونیکی AR-EU در طول زمان و غلبه این تنش بر استحکام بلوک گسلی مشا و شکست آن (تنش برشی بر تنش ناشی از اصطحکاک غلبه کرده) گسیختگی ایجاد و لغزش بر روی صفحه قطعه گسلی مشا انجام شده است. در این حالت تنش های حداکثر به سمت دم گسل و قسمت پایین و بالای پوسته منتقل شدند که در پس لرزه ها نیز نشان داده شده است. **میزان تنش قبل از زلزله و آغاز گسیختگی بر روی این قسمت از گسل مشا ۸,۷ مگا پاسکال میباشد.** در این حالت تنش برشی بر تنش قبل از زلزله غلبه کرده و جابجایی در صفحه گسل رخ داده و سپس افت تنش معادل ۱,۵۶ مگا پاسکال روی داده است و تنش باقی مانده در پوسته ۷,۱۴ مگا پاسکال می باشد. میزان جابجایی رخ داده با توجه به پراکندگی پس لرزه ها و ابعاد گسیختگی ۱,۱۰ متر محاسبه شده است که با توجه به بزرگای زلزله و رابطه ولز و کوپر اسمیت تطابق کامل دارد.



شکل ۴-صفحه گسلی - گسیختگی- و مرز تغییر شکل

این قطعه گسل مشا که در ۱۹ اردیبهشت فعال شده پیش تر هم فعالیت داشته هم در سال ۱۶۶۵ میلادی جابه جا شده و هم در زلزله ۱۸۳۰ میلادی. در سال ۱۶۶۵ یک زلزله به بزرگای ۶ تا ۷ ریشتر اتفاق افتاده و در سال ۱۸۳۰ با بزرگی ۷ بوده است. یک زلزله با بزرگای ۵ هم در سال ۱۹۳۰ اتفاق افتاده که روی همین قطعه گسل مشا بوده.

#### ۲-۶- پس لرزه ها و حرکات پسا زلزله ای رخداد۵

زلزله اصلی با بزرگای ۵ باعث افزایش تنش های برشی و نرمال در اطراف گسیختگی شده است. که این میزان معادل ۰,۰۲ تا ۰,۰۴۵ مگا پاسکال است. تعداد پس لرزه های تولید شده در منطقه به وسعت ۴\*۸ کیلومتر مربع) نیز بیانگر افزایش تنش و تغییرات تنش ناشی از لرزه اصلی هستند که نقطه مستعد و آماده گسیخته شدن بعدی را مشخص کردند. تراکم تنش بر روی گسیختگی ایجاد شده در زلزله ۱۹ اردیبهشت گسل مشا، بعد از گذر از آستانه مقاومت برشی (۵,۶ مگا پاسکال) باعث فعالیت دوباره گسیختگی شد و این رها شدن مجدد تنش و شروع گسیختگی از جایی آغاز شده که بیشترین تراکم تنش آنجا اتفاق افتاده بود. جایی که تراکم و افزایش تنش ۰,۰۲ تا ۰,۰۴۵ مگا پاسکال رخ داده است؛ در فاصله ۱ کیلومتری کانون زلزله اصلی و در عمق ۱۲ کیلومتر بوده است. پس لرزه ها به ۳ صورت کوتاه مدت -متوسط مدت و بلند مدت بسته به بزرگای زلزله ادامه خواهند داشت که برای این زلزله طبق قانون Omari تا ۴ ماه ادامه دارد و پس از آن این قطعه گسل مشا وارد مرحله بین لرزه ای و تجمع تنش خواهد شد.

۶-۳- زلزله ۷ خرداد ماه ۹۹

بزرگی: ۴

طول جغرافیایی: ۵۲,۰۱

عرض جغرافیایی: ۳۵,۷۵

عمق زمین‌لرزه: ۱۲ کیلومتر

زلزله با بزرگای ۴ ۷ خرداد ماه که در عمق ۱۲ کیلومتری رخ داده است می‌تواند به عنوان بزرگترین پس‌لرزه در نظر گرفته شده چون با مکان افزایش تنش سازگاری دارد. افت تنش در این رخداد دوم ۱,۱۸ مگا پاسکال است و تنش باقی مانده در منطقه ۵,۳۲ مگا پاسکال است.

۴-۶- زلزله ۱۹ شهریور ماه ۹۹

بزرگای ۳

طول جغرافیایی ۵۲,۱۱

عرض جغرافیایی ۳۵,۷۲

عمق زمین‌لرزه: ۸ کیلومتر

زلزله با بزرگای ۳ ۱۹ شهریور که در عمق ۸ کیلومتری رخ داده است دومین پس‌لرزه ریز در نظر گرفته شده است. میزان تنش قبل از زلزله و آغاز گسیختگی بر روی این قسمت از گسل مشا ۴,۳ مگا پاسکال میباشد. در این حالت تنش برشی بر تنش ناشی از اصطحکاک غلبه کرده و جابجایی در صفحه گسل رخ داده و سپس افت تنش معادل ۰,۸ مگا پاسکال روی داده است. تنش باقی مانده در پوسته ۳,۵ مگا پاسکال می باشد.

## ۷- نتیجه گیری :

بر مبنای تقسیم‌بندی‌های صورت‌گرفته زلزله‌ها از نظر بزرگی به هفت دسته تقسیم می‌شوند. زلزله‌های با بزرگی کمتر از ۲ ریشتر در گروه خردلرزه‌ها (micro) ، بین ۲ تا ۴ ریشتر، ریز (minor) ، بین ۴ تا ۵ ریشتر، کوچک (light) ، بین ۵ تا ۶ ریشتر، متوسط (moderate) ، بین ۶ تا ۷ ریشتر، شدید (strong) ، بین ۷ تا ۸ ریشتر، اصلی (major) و بیش از ۸ ریشتر، بزرگ (great) اطلاق می‌شود. با توجه به تقسیم‌بندی تعریف شده ۳ رخداد گسل مشاء از اردیبهشت تا شهریور ۹۹ در دسته ریز و کوچک قرار می‌گیرد.

افت تنش تفاوت بین تنش موجود در صفحه گسلی قبل و بعد از گسیختگی زلزله است. یکی از عواملی که ممکن است باعث کاهش تنش در زلزله به زلزله یا با ابعاد زمین لرزه شود تغییر خصوصیات فیزیکی زمین-نوع گسل-رزمی تکتونیکی و نرخ تغییرشکل و نرخ تنش بلند مدت منطقه و تغییرات زمانی رفتار مکانیکی گسل به ویژه با عمق است. بعضی از قسمتهای گسل ممکن است از قسمت دیگر قوی تر باشند و بر میزان تنش ذخیره شده و آزاد شده در قسمتهای مختلف گسل تأثیر بگذارند. تخمین الگوی توزیع افت تنش روی گسل مسبب یک زلزله نقش مهمی در بررسی حرکات ناشی از آن زلزله و شبیه سازی دینامیکی آن ایفا می‌کند. از سوی دیگر مطالعه تغییرات تنش ممکن است جنبه‌هایی نو از ارتباط بین پیش لرزه‌ها، پس لرزه‌ها و حادثه اصلی را نیز روشن کند. پس لرزه‌ها دنباله‌ای از زمین لرزه‌ها هستند که پس از وقوع شوک اصلی در یک گسل اتفاق می‌افتند پس لرزه‌ها در نزدیکی منطقه گسل که در آن گسیختگی اصلی اتفاق افتاده رخ می‌دهد و بخشی از " روند تنظیم مجدد " پس از لغزش اصلی در صفحه گسلی است. پس لرزه‌ها با گذشت زمان کمتر می‌شوند و می‌توانند برای روزها، هفته‌ها، ماهها ادامه داشته باشند. پس لرزه زلزله‌ای است که پس از زلزله اصلی، (mainshock) رخ می‌دهد. پس لرزه در منطقه همان شوک اصلی است، اما همیشه از لحاظ قدرت کوچکتر است. اگر پس لرزه بزرگ‌تر از شوک اصلی باشد، پس لرزه به عنوان شوک اصلی و شوک اولیه اصلی به عنوان Aftershock نام‌گذاری می‌شود

نتایج حاصله نشان می‌دهد که عمده انرژی ذخیره‌شده در این قطعه گسل مشاء در طی ۳ مرحله و با بازه زمانی ۴ ماه آزاد شده:

در مرحله اول (۱۹ اردیبهشت ۹۹) زلزله اصلی با بزرگای ۵ و عمق ۱۶ کیلومتر افت تنش معادل ۱,۵۶ مگا پاسکال روی داده است و تنش باقی مانده در پوسته ۷,۱۴ مگا پاسکال و در مرحله دوم (۷ خرداد ۹۹) پس لرزه با بزرگای ۴ و عمق ۱۲ کیلومتر افت تنش در این رخداد دوم ۱,۱۸ مگا پاسکال است و تنش باقی مانده در منطقه ۵,۳۲ مگا پاسکال است. و در مرحله سوم ۱۹ شهریور ماه پس لرزه با بزرگای ۳ و عمق ۸ کیلومتر افت تنش معادل ۰,۸ مگا پاسکال روی داده است. تنش باقی مانده در پوسته ۳,۵ مگا پاسکال می‌باشد.

انرژی قبل و بعد از زلزله :

میزان انرژی با توجه به عمق - چگالی - وسعت گسیختگی افت تنش-نوع و مکانیزم گسل- نرخ حرکت و بار گذاری تکتونیکی و ممان لرزه ای و اصطکاک ثابت و دینامیک در جدول شماره ۱ محاسبه شده است :



انرژی آزاد شده بر حسب ژول	بعد از زلزله بر حسب ژول	قبل زلزله بر حسب ژول	بزرگای زلزله رخ داده بر روی قطعه گسلی مشاء
۱,۰۶	۲,۱	۳,۱۶	زلزله ۱۹ اردیبهشت ماه ۹۹ با بزرگای ۵
۰,۶	۱,۲	۱,۸	پس لرزه ۷ خرداد با بزرگای ۴
۰,۲۷	۰,۵۲	۰,۷۹	پس لرزه ۱۹ شهریور با بزرگای ۳

جدول ۱- انرژی آزاد شده در زمین لرزه مشاء

تنها ۱۰ درصد یا کمتر از کل انرژی زلزله به صورت انرژی لرزه‌ای آزاد می‌شود. بیشترین بخش انرژی زلزله صرف شکستگی سنگ‌ها یا تبدیل به حرارت تولید شده توسط اصطکاک می‌شود. نکته دیگری که بایستی به آن توجه کرد این است که بین دو زلزله انرژی مانده تا قبل از وقوع زلزله دوم توسط زلزله‌های با بزرگی کمتر از ۲ در گروه خردلرزه‌ها کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که این قطعه گسل مشاء وارد مرحله بین لرزه ای interseismic خواهد شد.