



اداره کل زمین سنجی و نقشه برداری زمینی

اداره ژئودزی و ژئودینامیک

تحلیل حرکات کوتاه مدت پسا لرزه ای

در بازه زمانی ۷ ماه (خرداد لغایت آذرماه ۹۹) بر روی قطعه شرقی گسل مشاء

از: دکتر حمید رضا نانکلی



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.

بر مبنای تقسیم بندی های صورت گرفته زلزله ها از نظر بزرگی به هفت دسته تقسیم می شوند. زلزله های با بزرگی کمتر از ۲ ریشتر در گروه خرد لرزه ها (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 می شود. با توجه به تقسیم بندی تعریف شده ۶رخداد اعلام شده از سوی مرکز لرزه نگاری کشوری برای قطعه شرقی گسل مشاء از اردیبهشت تا آذر ۹۹ در دسته ریز و کوچک قرار می گیرد.

### کاری از کار گروه کمیته زمین لرزه و آتشفشان

یکی از عناصر اصلی در پیشبرد پیش بینی زمین لرزه، شناخت رفتار کوتاه و 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 عهد حاضر 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.

#### -گسل مشاء

گسل مشاء حدود ۲۰۰ کیلومتر طول دارد و از گسل های 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 گرفته اند. شیب گسل فشاری مشاء همیشه به سمت شمال و بین ۳۵ تا ۷۰ می باشد،

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

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 می شود

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. این قطعه گسل مشا که در ۱۹ اردیبهشت فعال شده پیش تر هم فعالیت داشته هم در سال ۱۶۶۵ میلادی جابه‌جا 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.

### رخداد ها

|                   |     |                |            |
|-------------------|-----|----------------|------------|
| ۱۹ اردیبهشت بزرگا | ۵   | عمق ۱۶ کیلومتر | ساعت ۰۰:۴۸ |
| ۷ خرداد بزرگا     | ۴   | عمق ۱۲ کیلومتر | ساعت ۱۳:۴۱ |
| ۱۹ شهریور بزرگا   | ۳   | عمق ۸ کیلومتر  | ساعت ۲۲:۱۷ |
| ۱۲ مهر بزرگا      | ۲,۵ | عمق ۱۰ کیلومتر | ساعت ۲۰:۱۹ |
| ۱ آبان ماه بزرگا  | ۲,۷ | عمق ۱۰ کیلومتر | ساعت ۷:۴۳  |
| ۲۹ آذر ماه بزرگا  | ۴   | عمق ۸ کیلومتر  | ساعت ۳:۰۵  |

### تحلیل حرکات پس لرزه ای

تجمع تنش فعال ناشی حرکات صفحه تکتونیکی AR-EU در طول زمان و غلبه این تنش بر استحکام بلوک قطعه شرقی گسل ی مشاء و شکست آن (تنش برشی بر تنش ناشی از اصطحکاک غلبه کرده) گسیختگی ایجاد ولغزش 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 قطعه شرقی 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. تنش باقی مانده در پوسته ۷,۱۴ مگا پاسکال می باشد.

پس لرزه ها دنباله ای از زمین لرزه ها هستند که پس از وقوع شوک اصلی در یک گسل اتفاق می افتند پس لرزه ها در نزدیکی منطقه گسل که در آن گسیختگی اصلی اتفاق افتاده رخ می دهد و بخشی از "روند تنظیم مجدد" پس از لغزش اصلی در صفحه گسلی است. پس لرزه ها با گذشت زمان کمتر

می‌شوند و می‌توانند برای روزها، هفته‌ها، ماهها ادامه داشته باشند. وقوع پس‌لرزه‌ها پس از یک رخداد زمین‌لرزه بزرگ ناشی از به تعادل رسیدن و ثبات تنش تکتونیکی حاکم بر پوسته زمین پس از رخداد زمین‌لرزه اصلی است. پس‌لرزه‌ها به عبارتی باقی مانده انرژی است که از رخداد اصلی در زمین باقی مانده است. پس از یک زلزله بزرگ حرکات پوسته متوقف نمی‌شود و پس‌لرزه‌هایی به دنبال دارد که برخی از آنها آسیب‌زا هستند. لغزش مربوط به این پس‌لرزه‌ها را پس‌لغزش می‌نامند و ممکن است به صورت زمین‌لرزه‌های معمولی یا به صورت لغزش کند رخ دهد که احساس نمی‌شود.

### حرکات کوتاه و میان مدت پس‌لرزه‌ای (near field) قطعه شرقی گسل مشاء

چرخه زمین‌لرزه این قطعه شرقی گسل مشاء که مسبب زلزله با بزرگای ۵ اردیبهشت ماه بوده است عامل دو تغییر شکل در این منطقه شده: ۱- تغییر شکل آبی سطح زمین: در قسمت بالای پوسته تا عمق ۱۰-۱۵ کیلومتر که دارای دمای کم - اصطکاک و شکننده است و به آن تغییر شکل هم‌لرزه‌ای می‌گوییم. ۲- تغییر شکل دوم: بلافاصله پس از وقوع زلزله مکانیسم آزاد شدن تنش به دلیل ویسکوزیته کم و دمای بالا در قسمت پایین یا شکل‌پذیر پوسته زمین فعال شده که منجر به تغییر شکل‌های پس‌لرزه‌ای در این قطعه گسلی شده. این سیکل با توجه به بزرگای زمین‌لرزه مربوط به یک دوره از چند دقیقه تا ماه‌ها یا سال‌ها پس از زلزله است که پوسته و گسل هر دو به حالت تغییرات تنش پوسته ناشی از زلزله تنظیم می‌شوند. در طول دوره پس‌لرزه‌ای حداقل دو فرآیند مشخص باعث ایجاد حرکت اضافی پوسته می‌شود. یکی شامل لغزش اضافی که معمولاً جزئی و در امتداد گسل رخ داده است و دوم مناطق عمیق‌تری از پوسته پایین‌تر از ۱۵ کیلومتر در پاسخ به تغییرات تنش پوسته جریان دارند،

پس‌لرزه اول با بزرگای ۴ در ۷ خرداد ماه که در عمق ۱۲ کیلومتری رخ داده است افت تنشی معادل ۱,۱۸ مگا پاسکال داشته و تنش باقی مانده در منطقه ۵,۳۲ مگا پاسکال بوده است.

پس‌لرزه دوم ۱۹ شهریور ماه 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. در ۳ پس‌لرزه بعدی که در تاریخ ۱۲ مهر و ۱ آبان و ۲۹ آذر اتفاق افتاده شاهد روند صعودی بزرگای هستیم اما مقادیر افت تنش و تنش باقیمانده در ۱۲ مهر و اول آبان روند نسبتاً افزایشی و در ۲۹ آذر کاهش یافته است. در ۲ پس‌لرزه اول و دوم یعنی ۷ خرداد و ۱۹ شهریور شاهد کاهش افت تنش و تنش باقی مانده هستیم. برای رفتار پس‌لرزه‌ها در یک بازه زمانی ۳ ماه و ۱۲ روز اول شاهد کاهش بزرگای و افت تنش و تنش باقی مانده در پوسته هستیم و برای ۳ ماه و ۴ روز بعد یعنی تا ۲۹ آذر ماه شاهد روند صعودی بزرگای تا ۲۹ آذر و افزایش جزئی افت تنش و تنش باقیمانده تا اول آبان و کاهش آن در ۲۹ آذر هستیم.

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 زمین‌لرزه شود تغییر خصوصیات فیزیکی زمین-نوع گسل-رژیم تکتونیکی و نرخ تغییر شکل 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 قوی‌تر 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 می کند. از سوی دیگر مطالعه تغییرات تنش ممکن است جنبه هایی نواز ارتباط بین پیش لرزه ها، پس لرزه ها و حادثه اصلی را نیز روشن کند.

## انتقال تنش استاتیک و دینامیک ناشی از زمین لرزه ۱۹ اردیبهشت ماه گسل مشاء بر روی پهنه گسلی فیروزکوه

زمین لرزه ها می توانند با همدیگر بر هم کنش داشته باشند و این موضوع می تواند منجر به توالی زمین لرزه ها و خوشه بندی ورخ داد پس لرزه ها گردد. برانگیختگی تنش بدین صورت است که گسل ها به تنشی که از گسل ها یا زمین لرزه های مجاور دریافت می کنند پاسخ می دهند. حرکت بلوکهای دو طرف یک گسیختگی باعث ایجاد تغییر در تنش ایستایی محیط اطراف آن میشود. این تغییر تنش روی سطوح گیرنده اطراف گسیختگی دارای دو مولفه نرمال و برشی میشود. معیار کلمب یکی از معیارهای است که گسیخته شدن نو پدید و به جنبش در آمدن گسل های قدیمی را در حال شکننده و در محیط الاستیک تحت تاثیر تنش کنترل می کند که تابع هر دو تنش نرمال و برشی اعمال شده روی سطوح گیرنده است. تنش انباشته شده در روی یک گسل به عنوان کلید اصلی به منظور آغاز گسیختگی در نظر گرفته می شود و در هنگام وقوع زلزله به سادگی از بین نمی رود. تنش آزاد شده از یک گسل می تواند هر چند کم می تواند تنش را روی گسل های مجاور و نزدیک تا صد کیلومتر افزایش یا کاهش دهد و بالقوه باعث ایجاد گسیختگی و زلزله یا تاخیر در زمان رخداد شود. برای این منظور نرخ بلند مدت تنش تکتونیکی بر روی یک گسل فعال باید مشخص باشد. انتقال تنش مثبت (یعنی افزایش تنش) می تواند چرخه لرزه ای گسل را به طور موقت اصلاح کند و زلزله بعدی را با یک دوره زمانی T پیش برد و بر عکس کاهش تنش باعث تاخیر در گسیختگی و زمان وقوع زلزله می شود (دوران آرامش).

گسل فیروزکوه با گسل مشا در ۳۰ کیلومتری جنوب غرب شهر فیروزکوه هم تلاقی دارد و در واقع ادامه شرقی گسل مشا به گسل فیروزکوه می رسد، شرق تهران، محل تلاقی گسل های مشا و گسل شمال تهران و از آن طرف پهنه تلاقی قطعه خاوری گسل "مشا" با بخش باختری پهنه گسلی "فیروزکوه" است. این ناحیه یکی از مهمترین نواحی فعال و لرزه خیز در اطراف شهر تهران است که موجب شده است رخداد زلزله ها در شرق شهر تهران نسبت به غرب آن به مراتب بیشتر باشد. 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 اصطحاک غلبه کرده) گسیختگی ایجاد و لغزش بر روی صفحه قطعه گسلی مشا انجام شده است. تنش انتقالی ۰,۰۱۵ مگا پاسکال است که معادل ۰/۱۵ بار می شود. در تاریخ ۲۲ تیر ماه شاهد یک فوج لرزه ای شامل ۱۸ زمین لرزه لرزه و در تاریخ ۱۹ و ۲۹ شهریور دو زمین لرزه با بزرگای ۳,۱ و ۲,۸ به ترتیب و در ۴ دی ماه با بزرگای ۳,۱ در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب گسل «مشا» و در یک قطعه مشخص پهنه گسلی فیروز کوه رخ داده است.

## نتیجه گیری

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 فشارش در قسمت غربی گسل مشا و افزایش حداکثر **استرین برشی در قسمت مرکزی مشا** می باشد. نرخ افزایش این استرین برشی با توجه به عمق زلزله و فاصله از خط گسلی ۲ تا ۴ نانواسترین در سال می باشد که نشان دهنده منطقه پر تنش و لرزه خیز میباشد. بازه ۶ ماه پس لرزه ای این قطعه از قسمت شرقی گسل مشاء با سطح گسیختگی ۳۲ کیلومتر مربع دارای یک رفتار نوسانی با تناوب ۳ ماه میباشد. در یک بازه زمانی ۳ ماه و ۱۲ روز اول شاهد کاهش بزرگا و افت تنش و تنش باقی مانده در پوسته هستیم و برای ۳ ماه و ۴ روز بعد یعنی تا ۲۹ آذر ماه شاهد روند صعودی بزرگا تا ۲۹ آذر و افزایش جزئی افت تنش و تنش باقیمانده تا اول آبان و کاهش آن در ۲۹ آذر هستیم. آیا این رفتار تا تعادل کامل تنش تکرار خواهد شد؟ بایستی منتظر رفتار گسل تا پایان سال و حتی میان مدت باشیم.

