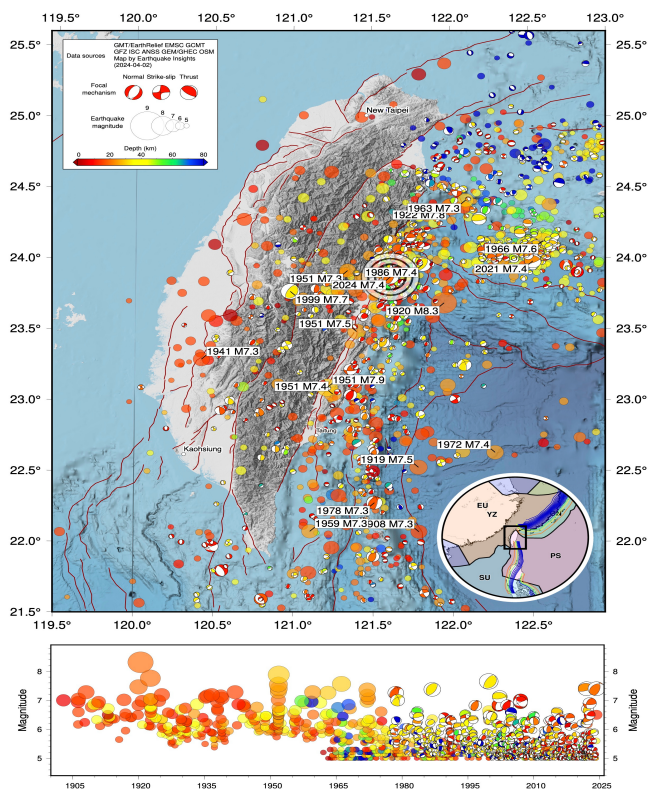




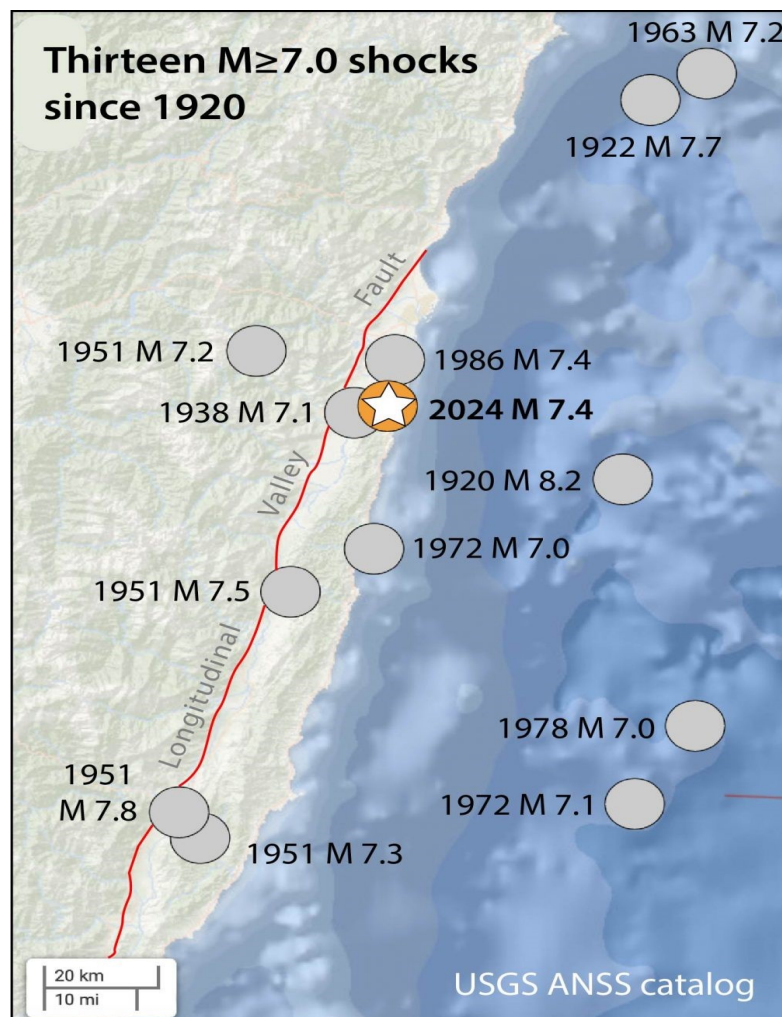
گزارش تحلیلی زمین لرزه فروردین ماه ۱۴۰۳ تایوان با بزرگای ۷٫۴ اداره کل نقشه برداری زمینی و بنیادی

تهیه کننده: دکتر حمید رضا نانکلی



۱-مقدمه

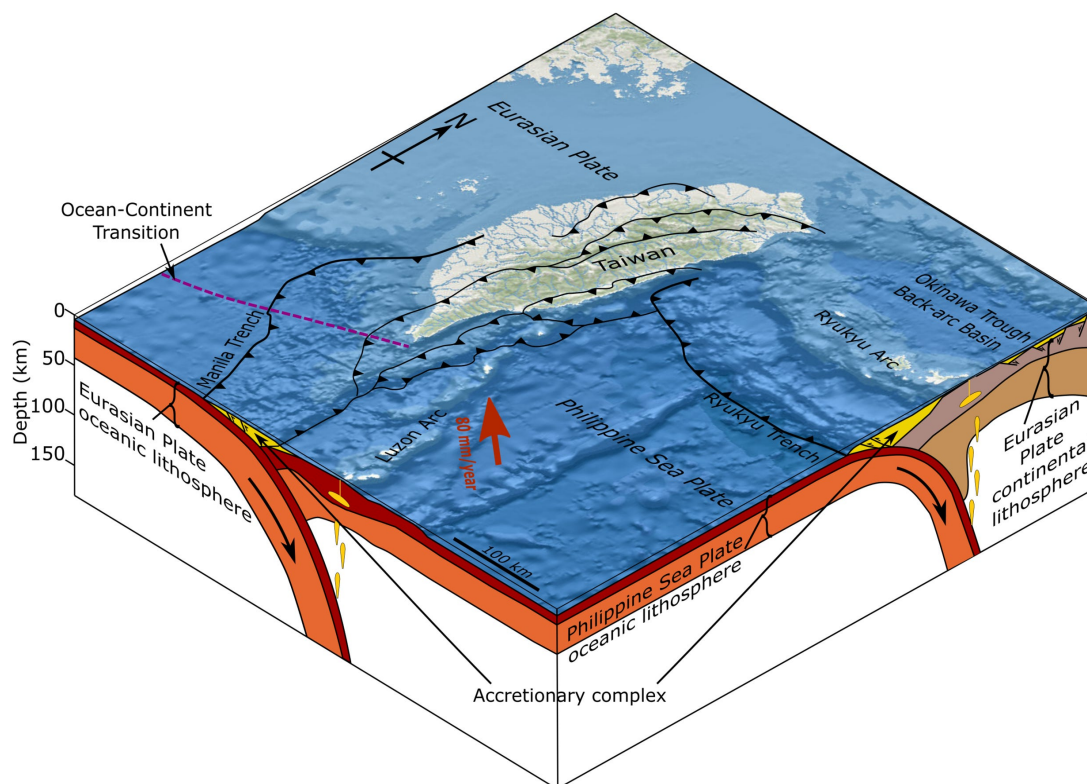
زمین‌لرزه با زتاب یک رویداد زمین‌شناسی است که به صورت جنبش در سطح زمین ظاهر می‌شود. گسیختگی در پوسته جامد زمین که به دلیل حرکت برشی در دو سوی گسل‌ها روی می‌دهد عامل اصلی بروز زمین‌لرزه بوده و پیامد مستقیم انباشتگی تنش‌ها در پی جابه‌جایی ورقه‌های زمین‌ساختی نسبت به یکدیگر می‌باشد. بامداد ۳ آوریل ۲۰۲۴-۱۵ فروردین ۱۴۰۳- ساعت ۷:۵۸ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای $M_w 7.4$ در ۱۸ کیلومتری جنوب-جنوب غربی شهر Hualien تایوان و در عمق ۳۵ کیلومتری به وقوع پیوست. تا کنون ۷۵۳ پس لرزه در منطقه رخ داده است که بزرگترین آن ۱۳ دقیقه بعد و با بزرگای ۶.۴ بوده است. این بزرگ‌ترین زمین‌لرزه تایوان از زمان زمین‌لرزه چی‌چی در ۲۱ سپتامبر ۱۹۹۹ بوده است که در آن اتفاق دوهزارو ۴۱۵ نفر کشته شدند. تایوان در منطقه لرزه‌خیز دور اقیانوس آرام (یکی از سه منطقه لرزه‌خیز بزرگ جهان) قرار دارد. تایوان با سابقه زمین‌لرزه‌های تاریخی مهم، جزیره‌ای در یک منطقه پیچیده فروانش و هم‌گرایی بین صفحه دریای فیلیپین و صفحه اوراسیا است شکل ۱.



شکل ۱- زمین لرزه‌های رخ داده تاریخی در تایوان (برگرفته از USGS)

۲- زمین ساخت تایوان

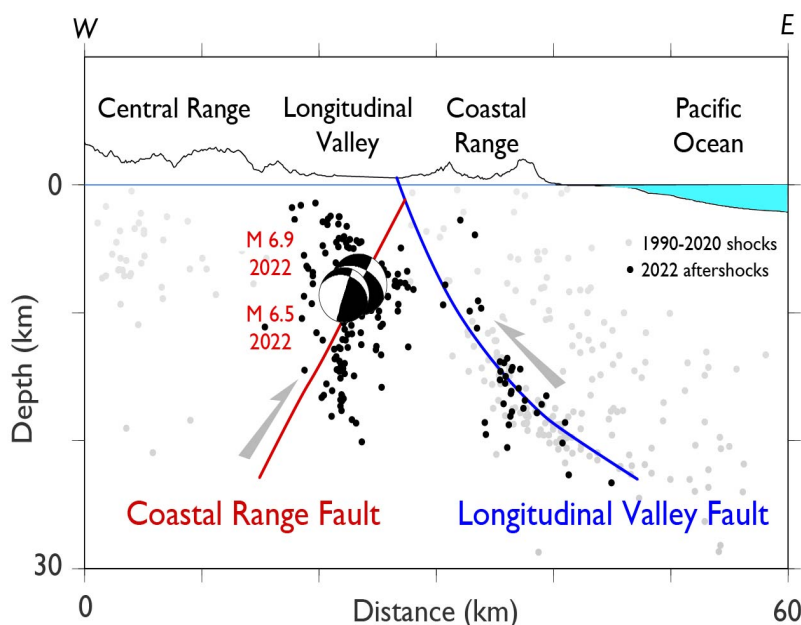
تایوان بین دو منطقه فرورانش بزرگ با تقاطع ۹۰ درجه ای قرار دارد، جایی که دو صفحه اقیانوسی بزرگ (دریای فیلیپین و اوراسیا در حال عبور از یکدیگر و فرورانش به داخل مانتل هستند شکل ۲). در سمت شمال، گودال ریوکیو، که در جنوب غربی ژاپن امتداد دارد، به سمت غرب انحنای پیدا کرده و به سمت شمال شرقی تایوان ختم می شود. در جنوب، گودال مانیل به زیر قسمت جنوبی تایوان ختم می شود. مرز صفحه در خود تایوان با منطقه برخورد قوس قاره مشخص می شود. به موجب آن انتهای شمالی قوس جزیره لوزون (فیلیپین) با پوسته شناور حاشیه قاره اوراسیا در ساحل چین برخورد می کند. در امتداد سواحل غربی تایوان، و ادامه جنوب، این منطقه برخورد به منطقه فرورانش مانیل به سمت شرق تبدیل می شود. نرخ همگرایی در سراسر تایوان حدود ۸ سانتی متر در سال است - بیش از دو برابر سریعتر از نرخ لغزش در گسل سن آندریاس. نیروهای زمین ساختی در این مکانیزم تغییر شکل منجر به ایجاد تعدادی گسل فعال در داخل تایوان شده است که آن را در معرض خطر زمین لرزه های فرورانشی قرار می دهد. با توجه به این ساختار تکتونیکی، تایوان معمولاً زلزله های متوسط تا بزرگ را تجربه می کند. منطقه ای در ۲۵۰ کیلومتری این زمین لرزه ۱۸ سپتامبر ۲۰۲۲ میزبان ۲۳۹ زمین لرزه با بزرگای $M \geq 6$ دیگر در قرن گذشته بوده است. در سپتامبر ۱۹۹۹، زمین لرزه $7.7M$ چی چی در مرکز تایوان رخ داد و حداقل ۲۲۹۷ کشته برجای گذاشت و خساراتی به بار آورد که حدود ۱۴ میلیارد دلار برآورد شده.



شکل ۲- زمین ساخت تایوان Judith, 2024

۳- رخداد

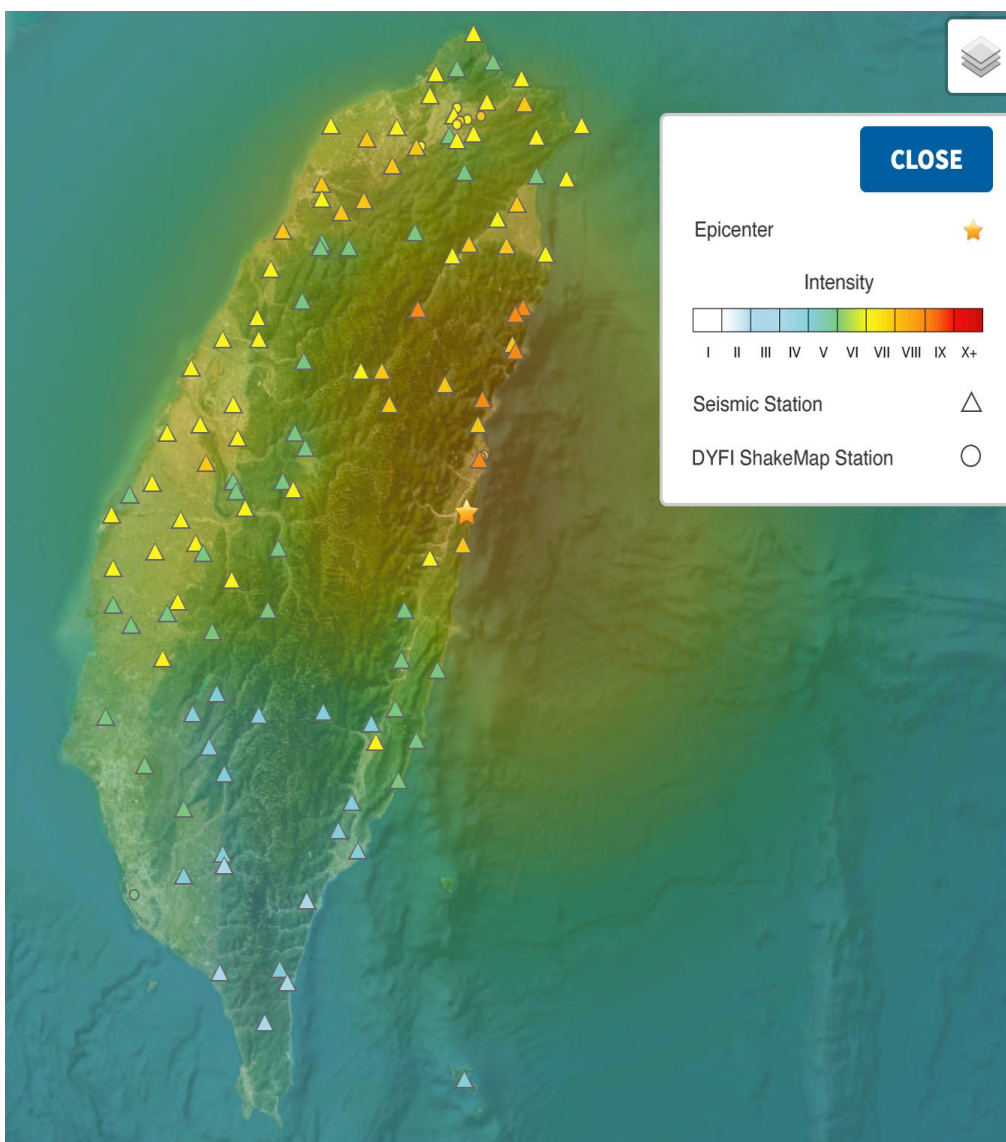
زمین لرزه ای به بزرگی ۷٫۴ ریشتر در ۳ آوریل ۲۰۲۴ در ساعت ۰۷:۵۸ به وقت محلی (۲ آوریل ساعت ۲۳:۵۸ UTC) در نزدیکی **Hualien**، تایوان رخ داد. لرزش در سراسر کشور وبا شدیدترین شدت در امتداد سواحل شرقی و نزدیک به کانون احساس شده است. از آنجایی که کانون زمین لرزه در نزدیکی ساحل بود هشدار سونامی در سراسر منطقه اعلام شد. ارتفاع موج سونامی ایجاد شده هنگام رسیدن به جزیره ای در حدود ۲۰۰ کیلومتری ساحل ۳۱ سانتی متر اندازه گیری شد. بر این اساس، تخمین زده می شود که ارتفاع سونامی در امتداد سواحل تایوان ممکن است به ۲-۱ متر رسیده باشد. بخش شرقی تایوان کوهستانی است و تنها چند منطقه قابل سکونت دارد. قابل توجه ترین آنها دره طولی باریک و طولانی است که به موازات ساحل شرقی است و در **Hualien** به اقیانوس می رسد. زمین لرزه ۷٫۴M در جنوب شهر رخ داده است. ابعاد گسیختگی در این زمین لرزه ۱۰۰ در ۵۰ کیلومترمربع می باشد و لغزش عمدتاً در جهت شمال-شمال شرقی کانون زمین لرزه رخ داده است. سیستم گسلی که در زلزله اخیر گسیخته شده در ساحل شرقی قرار دارد و منطقه اطراف **Hualien** از نظر لرزه ای بسیار فعال شناخته شده است. در سال ۲۰۱۸، زمین لرزه ۶٫۴M در اینجا رخ داد و ۱۷ نفر را کشت. سوابق لرزه ای طولانی تر حکایت از رویدادهای بزرگی دارد که در ۱۰۰ سال گذشته رخ داده اند. که شامل زمین لرزه با بزرگای ۷٫۴M دیگری در سال ۱۹۸۶ در نزدیکی رویداد اخیر و همچنین مجموعه ای از چهار زمین لرزه با بزرگای ۷M+ است که در امتداد این سیستم گسلی در سال ۱۹۵۱ رخ داده است. گسل **Longitudinal valley** یک گسل تراستی است که در امتداد سواحل شرقی تایوان قرار دارد، نرخ لغزش این گسل در حدود ۵۰ میلی متر در سال می باشد و با هر زمین لرزه متوالی، یک تکه ساحلی از جزیره را به سمت بالا (و غرب) جابجا می کند. گسل **Longitudinal Valley** از سطح زمین بسیار ساده به نظر می رسد، اما در عمق، با گسل **Coast Range** جفت می شود که در جهت مخالف متمایل است (شکل ۳). زمین لرزه اخیر و پس لرزه های آن منتسب به این گسل است.



شکل ۳- مقطع عرضی از دو گسل LV و CR (Tang, 2022)



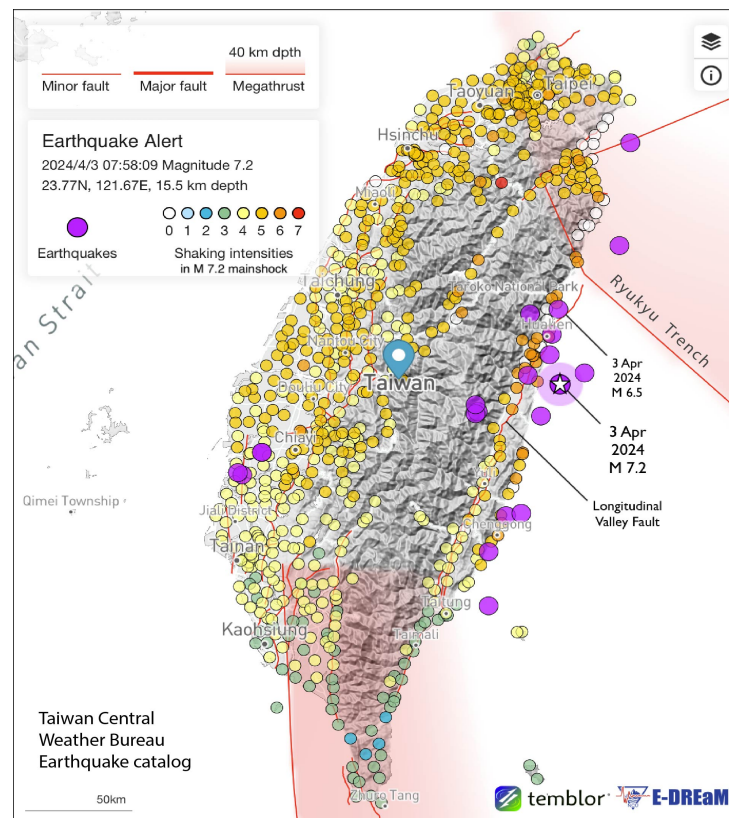
الگوی لرزش ثبت شده توسط لرزه‌نگار ها عموماً شدت کاهش را با فاصله نشان می‌دهد، بطوریکه مقادیر بالاتری در امتداد ساحل غربی نسبت به کوه‌های کم ارتفاع در شرق ثبت شده است. دلیل آن احتمالاً رسوبات نرم تر است که در زیر دشت های ساحلی قرار دارند. از آنجایی که اکثر مردم کشور در دشت هایی که سواحل غربی کشور را تشکیل می دهند زندگی می کنند، بسیاری از مردم شدت این زمین لرزه را حس کردند. شکل ۴



شکل ۴- نقشه شدت لرزش ناشی از زلزله ۷٫۴M بر گرفته از USGS

۴- هشدار اولیه زلزله

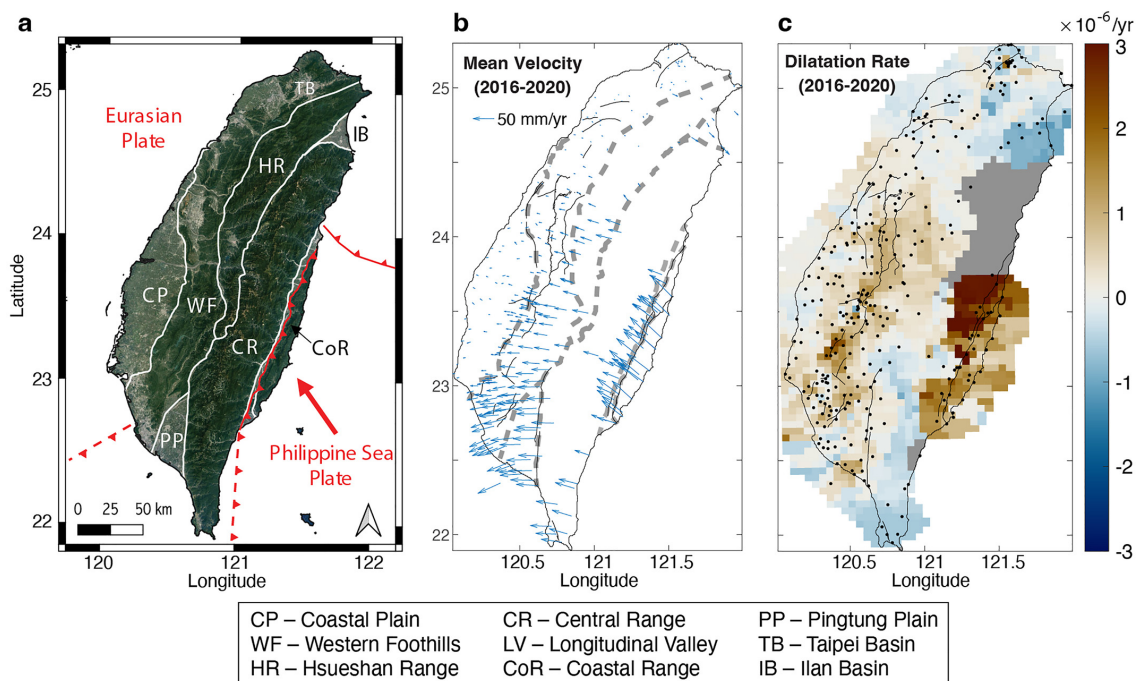
اداره مرکزی هواشناسی تایوان مسئول سیستم ملی هشدار اولیه زلزله می باشد. یک سیستم P-alert که توسط دانشگاهیان طراحی و توسعه یافته است و به طور مستقل عمل می کند. برای شهرهایی که بیش از ۵۰ کیلومتر از کانون زلزله فاصله داشتند، مردم قبل از شروع لرزش شدید هشدار دریافت کردند. اما لرزش در تایپه، ۱۲۵ کیلومتری شمال، قوی تر از آنچه سیستم هشدار پیش‌بینی می کرد بود، به این دلیل که گسیختگی در آن جهت منتشر شده و باعث می شود دامنه امواج لرزه ای بیشتر اما کوتاه تر باشد. با این وجود، لرزش در تایپه آنقدر قوی نبوده که به سازه های نوساز آسیب برساند. متأسفانه هاولین، بزرگترین شهر آسیب دیده، در منطقه به اصطلاح هشدار دیر هنگام سیستم هشدار قرار داشت. هاولین تنها در ۳۰ کیلومتری شمال مرکز لرزه اصلی زمین لرزه قرار دارد، که در نزدیکی ساحل قرار دارد (شکل ۵). امواج لرزه ای با سرعتی در حدود ۲ تا ۳ کیلومتر در ثانیه حرکت می کنند. اگر زمین لرزه بلافاصله در مرکز زمین لرزه شناسایی شده بود (که تنها در صورتی اتفاق می افتاد که یک ایستگاه لرزه نگاری مستقیماً در بالای مرکز زمین لرزه باشد)، سیستم های هشدار زود هنگام حدود ۱۰ تا ۱۵ ثانیه برای شناسایی و تأیید رویداد و محاسبه لرزش پیش بینی شده فرصت داشتند. اما این امکان پذیر نبود زیرا نزدیکترین ایستگاه لرزه نگاری در فاصله ۱۵ کیلومتری از کانون زمین لرزه قرار دارد به این معنی که موج اول حدود ۷ ثانیه پس از شروع گسیختگی به آن ایستگاه رسیده. در این مرحله، فرآیند تشخیص و محاسبه لرزش تقریباً ۵ تا ۶ ثانیه طول می کشد. با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای ارسال هشدارها، به نظر نمی رسد ساکنان هاولین به موقع هشدار دریافت کرده باشند.



شکل ۵- سیستم هشدار اولیه زلزله. تمام زمین لرزه های روز شوک اصلی که به عنوان بخشی از سیستم هشدار باعث ایجاد اخطار شد به صورت دایره های بنفش رنگ در این نقشه نشان داده شده است. دایره های رنگی کوچکتر، شدت لرزش محلی در سراسر تایوان است که با شوک اصلی ۲ آوریل مرتبط است.

۵- مدل سازی میدان سرعت منطقه و استرین با استفاده از ایستگاه های دائمی GNSS

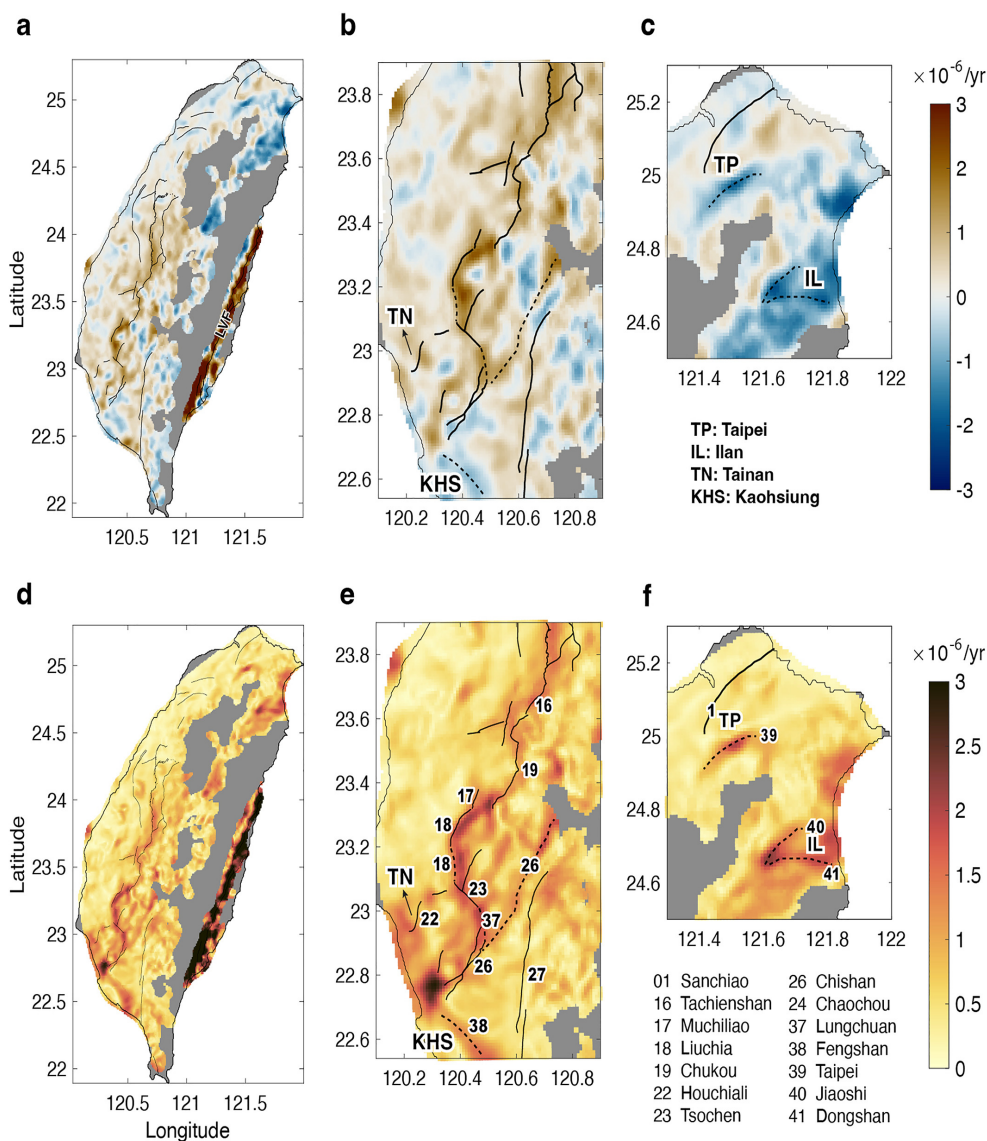
از اهداف مهم در ایجاد شبکه های ژئودینامیک اندازه گیری و تعیین نرخ تغییرات پوسته زمین در طول زمان می باشد. در این راستا با اندازه گیری های پیوسته در ایستگاه های شبکه ژئودینامیک، پردازش و آنالیز نتایج می توانیم به شناخت کاملتری از وضعیت و حرکات پوسته زمین دست یابیم. اندازه گیری های دقیق ژئودینامیک در تعیین حرکات صفحات تکتونیک قاره ای، بررسی حرکات گسل های فعال و پیش بینی روند جابجایی آنها، تعیین جابجایی و حرکت پوسته زمین برای کاهش خسارات احتمالی ناشی از زلزله و همچنین جهت مکانیابی بهینه سازه ها در پروژه های عظیم مهندسی کاربرد دارد. تایوان یکی از بالاترین تراکم های شبکه GNSS در جهان را دارد، شکل ۴ c مناطقی را که تحت فشارش بین لرزه ای در شرق و جنوب غربی تایوان و گسترش آن در شمال شرقی تایوان در مقیاس وسیع تر قرار دارند، نشان می دهد، نتیجه ترکیبی از InSAR-GNSS تغییر شکل بیشتری را در شرق و جنوب غربی تایوان نشان می دهد و بیش از ۴۰ میلی متر در سال فرونشست سطحی در غرب تایوان به دلیل پمپاژ آب انسانی و تا ۲۰ میلی متر در سال بالا آمدن در CR را نشان می دهد. تجزیه و تحلیل نرخ کرنش نشان می دهد نرخ فشارش سطحی در امتداد گسل LV، و همچنین سطح بالاتری از فشارش بر روی WF در سمت جنوب غربی وجود دارد (شکل ۶). تعیین و بررسی تنسور نرخ استرین پوسته زمین، امکان توصیف فرآیندهای ژئودینامیکی مانند تجمع استرین گسل ها را که یک پارامتر مهم در ارزیابی خطر لرزه ای محسوب می شود، فراهم می آورد. یکی از کاربردهای مهم شبکه ایستگاه های دائمی ژئودینامیک و GNSS، محاسبه نرخ استرین ژئودینامیکی و برشی با استفاده از بردارهای سرعت می باشد.



شکل ۶- ساختار تکتونیکی تایوان (a) خطوط قرمز یکپارچه و چین دار مرزهای صفحه را نشان می دهد. خطوط سفید مرزهای زمین شناسی را نشان می دهد. نام کامل هر استان و مکان زمین شناسی در زیر شکل نشان داده شده است. (b) میدان سرعت GNSS. خطوط سیاه گسل های فعال هستند. (c) نرخ اتساع بر اساس داده های GNSS. نقاط سیاه ایستگاه های GNSS هستند. رنگ خاکستری به دلیل چگالی شبکه GNSS کمتر، مناطقی را بدون نتایج نرخ کرنش نشان می دهد. قرمز و آبی به ترتیب نشان دهنده نرخ فشارش و کشش هستند. (Kthryn, 2022)

۶- نرخ کرنش ترکیبی از تصاویر راداری و ایستگاه‌های دائمی GNSS تایوان

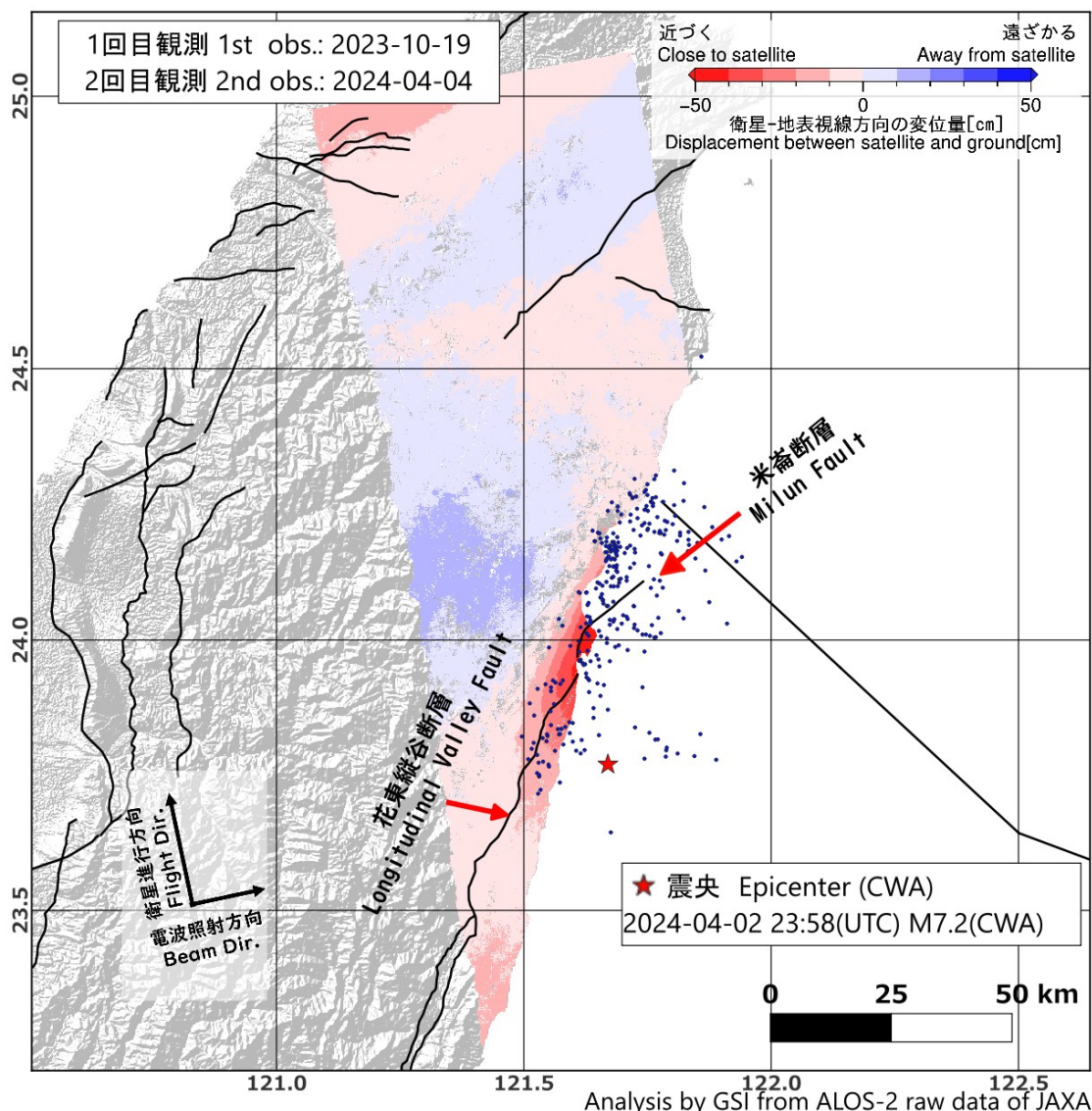
متغیر دوم تانسور نرخ کرنش در شکل ۸ مقدار کل نرخ کرنش (هم اتساع و هم برش) را نشان می‌دهد بیشترین تغییر شکل در امتداد گسل LV است. جنوب غربی تایوان بعد از LV بالاترین نرخ کرنش را دارد. در یک نمای دقیق تغییر شکل افزایش یافته در امتداد گسل‌های اصلی وجود دارد. این نتیجه وضوح مکانی بسیار بهتری را برای تغییر شکل نسبت به GNSS ارائه می‌دهد. شکل ۷



شکل ۷- نرخ کرنش ترکیبی InSAR-GNSS در تایوان (Kthryn, 2022)

۶-نتایج تصاویر راداری

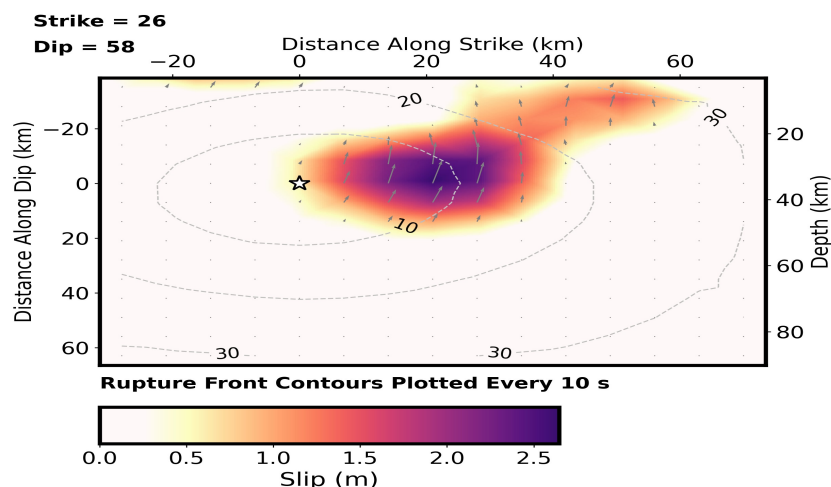
اندازه‌گیری تغییر شکل پوسته ناشی از این زلزله، از آنالیز تداخل سنجی بر اساس داده‌های ماهواره ای ALOS-۲، و پردازش‌های انجام شده توسط GSI نشان دهنده حد اکثر جابجایی ۴۵ سانتی متر در جهت خط دید ماهواره است. تجزیه و تحلیل به وضوح توزیع مکانی تغییر شکل پوسته را نشان می‌دهد... تغییر شکل پوسته از گسل Milun تا قسمت شمالی گسل LV مشاهده می‌شود. شکل ۸.



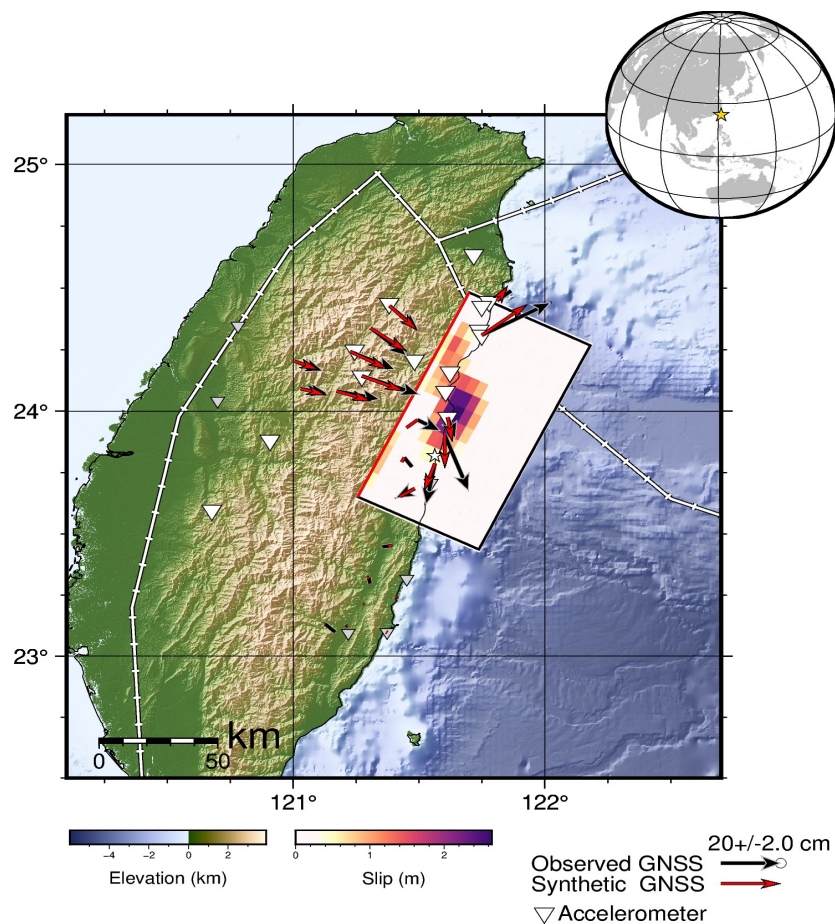
شکل ۸-جابجایی در جهت حرکت (خط دید) ماهواره (GSI, 2024)

۷- مکانیزم تغییر شکل پوسته

قسمت بالای لیتوسفر شامل صفحات مسطح شکننده و گسل‌ها می‌باشد. با استفاده از قانون آمونتون (Turcott, 1982) و لغزش این صفحات (یا دو طرف گسل نسبت به هم) می‌توان به تغییر شکل‌های شکننده یا **Brittle** دست پیدا کرد. در این راستا ضریب اصطکاک به عنوان یک پارامتری که مقاومت در برابر لغزش را نشان می‌دهد به همراه استرس برشی و استرس نرمال تعریف می‌گردد. عمومی‌ترین مکانیزمی که برای تشریح تغییر شکل‌های شکننده در قسمت بالای لیتوسفر (پوسته) استفاده می‌گردد، شکست برشی یا **shear failure** می‌باشد که معمولاً با قانون کولمب بیان می‌گردد. این معیار شکست با حذف چسبندگی یا **cohesion** صفر و بادر نظر گرفتن ضریب اصطکاک و اصطکاک لغزشی (Ranalli, 1995) مشابه قانون آمونتون می‌باشد. شکست مواد زمانی اتفاق می‌افتد که تغییر شکل دائمی رخ می‌دهد و در این حالت مقدار استرس **deviatoric** به یک حد بحرانی می‌رسد که به آن استرس تسلیم می‌گوییم. این شکست می‌تواند بصورت تغییر شکل ناپیوسته مثل یک ترک یا تغییر شکل پیوسته و غیرقابل برگشت یعنی رفتار پلاستیک باشد که در حالت اول تغییر شکل مواد بصورت شکننده یا **brittle** تعریف می‌شود و در حالت دوم بصورت **ductile** یا خمیری شکل تعریف می‌گردد. یکی از اطلاعاتی که در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای لازم است شناخت دقیق نرخ واقعی لغزش هر گسل است. ابعاد و دامنه لغزش در امتداد گسلی که باعث ایجاد زلزله شده است را می‌توان در یک "مدل گسل محدود" نشان داد. این مدل زلزله از طریق یک «وارونگی گسل محدود» تولید می‌شود که برای تخمین مکان، زمان و میزان لغزش استفاده می‌شود. زمین لرزه ۷.۴ ریشتری ناشی از گسیختگی گسل معکوس در عمق ۳۵ کیلومتری بوده است. مکان اولیه زمین لرزه آن را در مجاورت برخورد بین صفحات تکتونیکی و بر روی صفحه اوراسیا قرار می‌دهد. ابعاد این گسیختگی دارای طول ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد. از آنجایی که بخش عمیق گسل **LV** در فراساحل امتداد دارد، منطقی است که زلزله باعث سونامی شود. همچنین پتانسیل بالایی برای لغزش زیر دریا ناشی از زلزله در این منطقه وجود دارد که می‌تواند باعث سونامی نیز شود. این مدل گسل محدود شامل مشاهدات لرزه‌ای و همچنین مشاهدات شتاب‌نگار از آرایه باند پهن شبکه لرزه‌شناسی تایوان و مشاهدات **GNSS** استاتیکی از اداره مرکزی هواشناسی تایوان و پردازش شده توسط آزمایشگاه ژئودتیک نوادا با استفاده از نرم افزار **JPL GipsyX** است. آفست‌های **GNSS** ممکن است شامل رویداد **۶.۴M** باشد که ۱۳ دقیقه پس از شوک اصلی رخ داده است. نتایج اولیه نشان می‌دهد در طی یک دوره ۲۰ ثانیه‌ای، لغزش در ۲.۵ متر به اوج خود رسیده، و سپس به سمت شمال شرقی، جایی که به ۱ متر رسید، منتشر شده. این داده‌ها با هم، گسیختگی یک گسل به طول ۱۰۰ کیلومتر را توصیف می‌کنند شکل‌های ۱۰ و ۹.



شکل ۹- مقطع عرضی از توزیع لغزش در صفحه گسلی ناشی از زمین لرزه ۷.۴ تایوان (usgs) کانتورها زمان گسیختگی را بر حسب ثانیه نشان می‌دهند. دامنه لغزش به صورت رنگی و جهت حرکت فرا دیواره نسبت به فرو دیواره با فلش نشان داده شده است.



شکل ۱۰- توزیع لغزش و جابجایی هم لرزه ای ایستگاه های GNSS

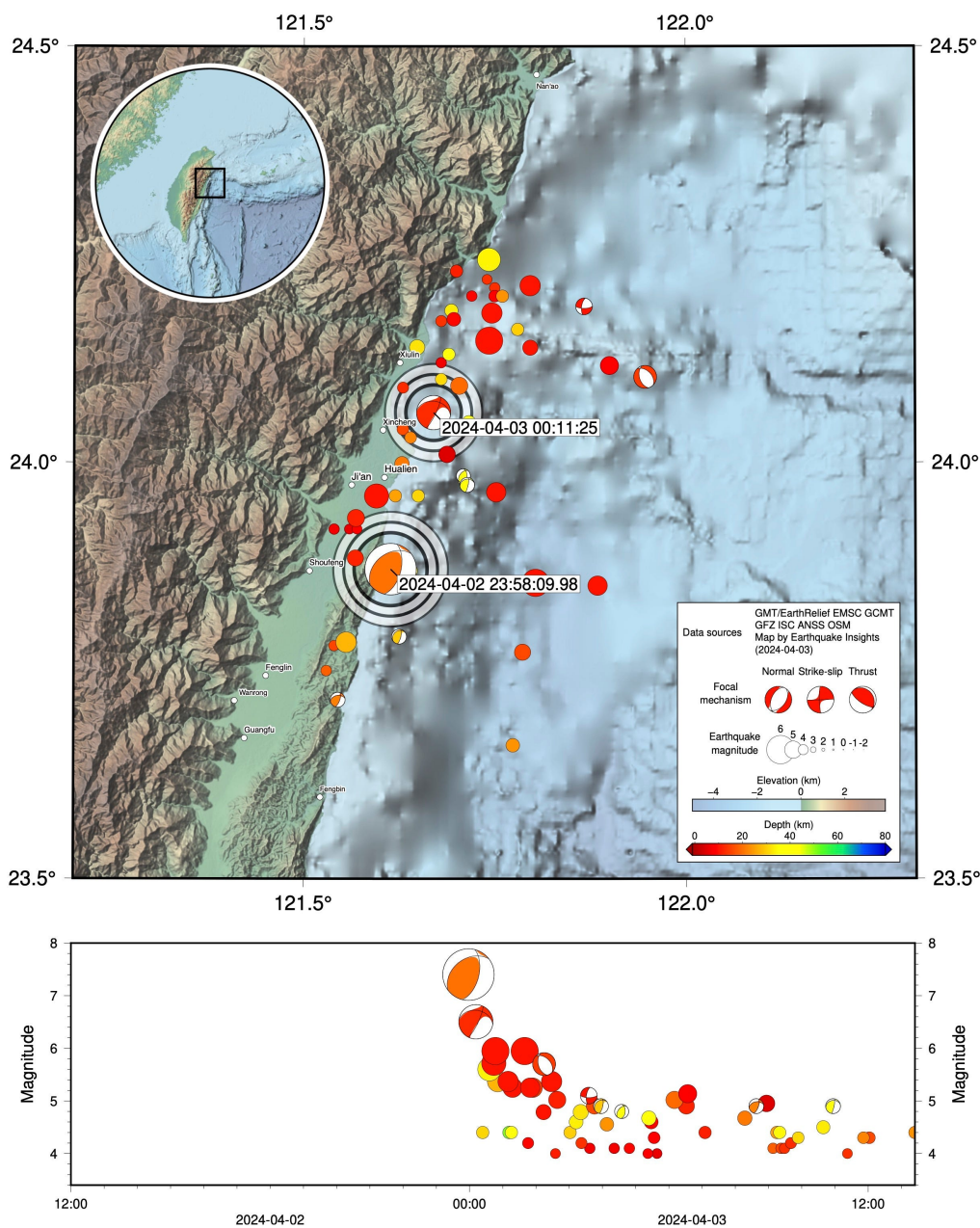
۸- حرکات پس لرزه ای

چرخه زمین لرزه این قطعه گسلی که مسبب زلزله با بزرگای ۷٫۴ تایوان بوده است عامل دو تغییر شکل در این منطقه شده اول تغییر شکل آنی سطح زمین : قسمت بالای پوسته تا عمق ۱۰-۳۵ کیلومتر که دارای دمای کم - اصطکاک و شکننده است و به آن تغییر شکل هم لرزه ای می گویم. تغییر شکل دوم : بلافاصله پس از وقوع زلزله مکانیسم آزاد شدن تنش به دلیل ویسکوزیته کم و دمای بالا در قسمت پایین یا شکل پذیر پوسته زمین فعال شده که منجر به تغییر شکل های پس لرزه ای در این قطعه گسلی شده. این سیکل با توجه به بزرگای زمین لرزه مربوط به یک دوره از چند دقیقه تا ماه ها یا سال ها پس از زلزله است که پوسته و گسل هر دو به حالت تغییرات تنش پوسته ناشی از زلزله تنظیم می شوند. در طول دوره پس لرزه ای حداقل دو فرآیند مشخص باعث ایجاد حرکت اضافی پوسته می شود. یکی شامل لغزش اضافی که معمولاً جزئی و در امتداد گسل رخ داده است و دوم مناطق عمیق تری از پوسته پایین تر از ۳۵ کیلومتر در پاسخ به تغییرات تنش جریان دارد.

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 می شوند و می توانند برای روزها، هفته ها، ماهها ادامه

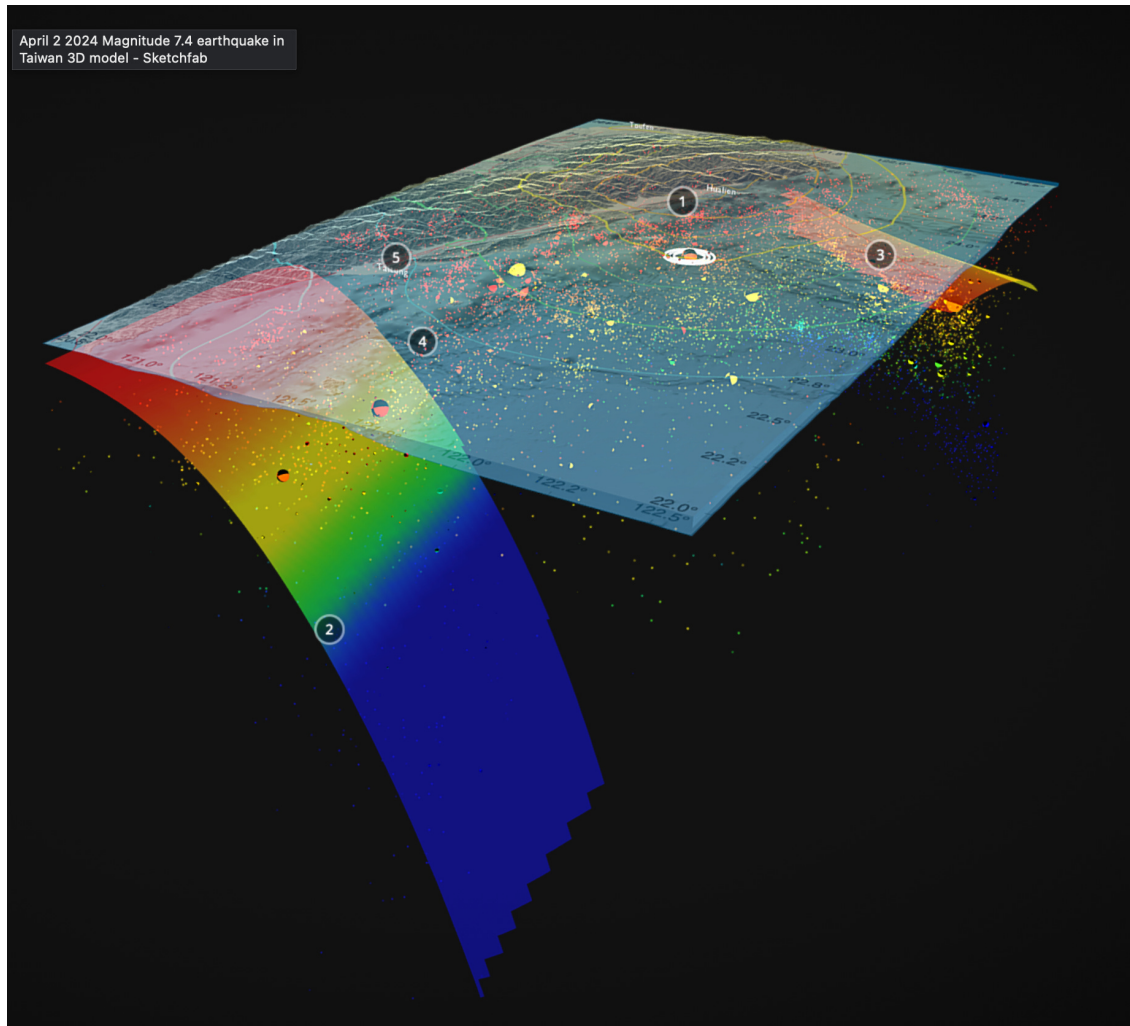


داشته باشند. وقوع پس‌لرزه‌ها پس از یک رخداد زمین‌لرزه بزرگ ناشی از به تعادل رسیدن و ثبات تنش تکتونیکی حاکم بر پوسته زمین پس از رخداد زمین‌لرزه اصلی است. پس‌لرزه‌ها به عبارتی باقی مانده انرژی است که از رخداد اصلی در زمین باقی مانده است. پس از یک زلزله بزرگ حرکات پوسته متوقف نمی‌شود و پس‌لرزه‌هایی به دنبال 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. شکل ۱۱.



شکل ۱۱- توزیع پس لرزه‌ها ۲۰۲۴، Hubbard; Judith

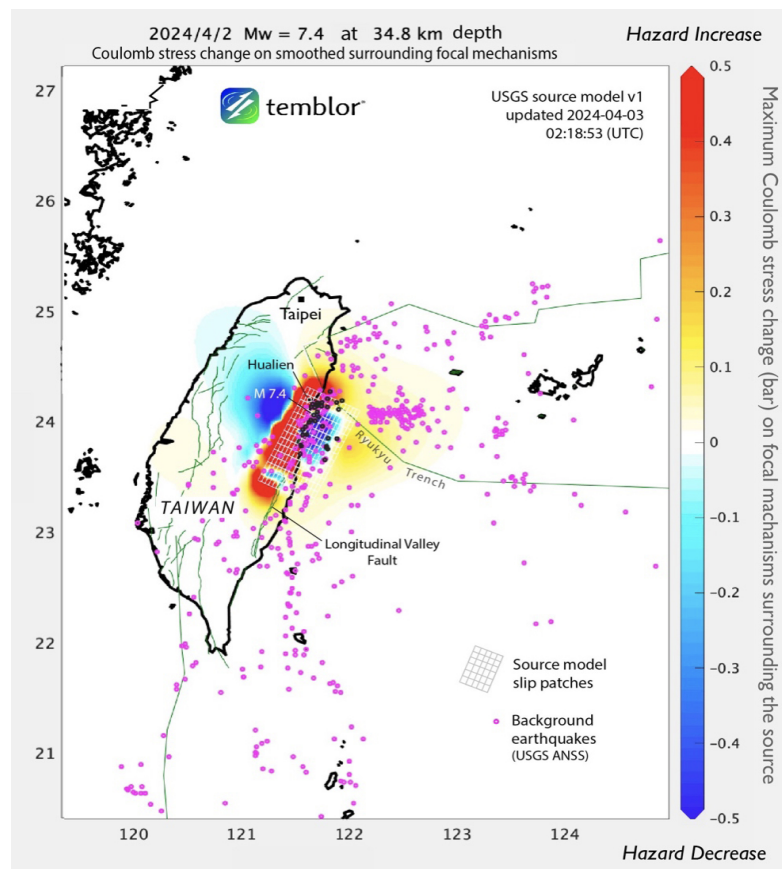
با نگاهی به موقعیت خوشه لرزه ای و پس لرزه های آن مساحتی با ابعاد ۱۰۰ کیلومتر در طول و ۵۰ کیلومتر در عرض را پوشش می‌دهد که نشان دهنده تجمع تنش تکتونیکی در پهنه گسلی و رها شدن آن در طی زمان است. تا کنون ۷۵۳ پس لرزه در پهنه رخداد روی داده است که بزرگترین آنها ۶٫۴ بوده است. تعداد پس لرزه‌های تولید شده در منطقه نیز بیانگر افزایش تنش و تغییرات تنش ناشی از لرزه اصلی هستند که نقطه مستعد و آماده گسیخته شدن بعدی رامشخص کردند. همانطور که در شکل مشاهده می‌گردد روند پس لرزه ها یا مها جرت لرزه ای نیز به سمت شمال در جهت گسیختگی است. شکل ۱۲.



شکل ۱۲- تصویر ۳ بعدی از گسیختگی گسل LV ناشی از زلزله ۷٫۴ تایوان ۱- کانون زمین لرزه ۲-۳ فرورانش تکتونیکی (دریای فیلیپین و اوراسیا - گسل
(Judith, 2024). Costal Range ۵-Longitudinal Valley - گسل

۹- انتقال و برهم کنش تنش استاتیک

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 زمین بندی و رخداد 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. تنش آزاد شده از یک گسل می تواند هر چند کم می تواند تنش را روی گسل های مجاور و نزدیک را افزایش یا کاهش دهد و بالقوه باعث ایجاد گسیختگی و زلزله یا تاخیر در زمان رخداد شود. بسیاری از زمین لرزه های گذشته در امتداد گسل LV رخ داده اند. معروف ترین آنها، در سال ۱۹۵۱، زمین لرزه های ۷٫۵ و ۷٫۱ ریشتری در یک روز بود و یک ماه بعد دو زمین لرزه با بزرگی ۷٫۳ و ۷٫۸ ریشتری در همان روز اتفاق افتاد. محاسبه اولیه از تنش منتقل شده به گسل های اطراف ناشی از زمین لرزه ۷٫۴ در ۲ آوریل ۲۰۲۴ نشان می دهد که مرکز و شمال غربی تایوان در یک سایه تنش قرار دارند (منطقه آبی در شکل ۱۳) که نشان می دهد در نتیجه شوک اصلی نسبتاً ایمن تر شده اند. از سوی دیگر، محدوده مرکزی و بخش هایی از گسل LV، به ویژه در شمال و جنوب گسیختگی، اکنون تنش بیشتری افزایش یافته (لوب قرمز) و خطرناک تر از قبل به نظر می رسد.



شکل ۱۳- تنش کلمب محاسبه شده برای زمین لرزه تایوان (Toda, 2024) افزایش تنش (رنگ های قرمز) در محدوده مرکزی کم جمعیت، بلکه در شمال و جنوب گسیختگی، که مناطق پر جمعیت تر هستند، مرکز تایوان تحت یک سایه تنش (رنگ های آبی) قرار می گیرد که به طور بالقوه خطر لرزه ای را کاهش می دهد.

۱۰- تحلیل رخداد و نتایج

گسیختگی در پوسته جامد زمین که به دلیل جنبش‌های برشی در دو سوی گسل‌ها روی می‌دهد عامل اصلی بروز زمین‌لرزه بوده و تابع پارامترهای بسیاری است از جمله عمق -رئولوژی پوسته و منتل- ویسکوزیته -ضریب اصطکاک- نرخ همگرایی صفحات -تنش تکتونیکی و نرخ آن- نرخ استرین (کرنش) در سال و جهت محورهای اصلی آن. سرعت‌های نسبی، میدان تنش و لرزه‌خیزی موجود در منطقه کاملاً وابسته به فعالیت این گسل‌ها و خصوصیات دینامیکی آنها است. گسل LV به عنوان منبع بالقوه زمین لرزه های ۷M+ از زمان انتشار اولین مطالعات نئوتکتونیکی تایوان مطرح شده است. زمین لرزه های ۷M+ ۱۹۵۱ به دلیل لغزش روی این گسل رخ داده است. شیو و همکاران (۲۰۰۵) به طور خاص این بخش شمالی گسل را به عنوان سناریوی گسیختگی بالقوه ۷,۲M و در محدوده ۷,۴M اخیر را هشدار داده بودند.

آنچه در زلزله تایوان با بزرگای ۷,۴ رخ داده است: در اثر تجمع تنش فعال ناشی از حرکات صفحات تکتونیکی (دریای فیلیپین و اوراسیا) در طول زمان و غلبه این تنش بر استحکام بلوک گسلی مسبب زلزله (LV) و شکست آن (تنش برشی بر تنش ناشی از اصطکاک غلبه کرده) گسیختگی ایجاد و لغزش بر روی صفحه گسلی انجام شده است. در این حالت انتقال تنش به سمت دم گسل تا ۰,۵ بار و قسمت پایین و بالای پوسته انجام شده که با پراکندگی پس لرزه ها تطابق دارد. میزان تنش قبل از زلزله و آغاز گسیختگی بر روی این قسمت از گسل ۱۹ مگا پاسکال می‌باشد. در این حالت تنش برشی بر تنش قبل از زلزله غلبه کرده و لغزش در صفحه گسل رخ داده. افت تنش در این زمین لرزه ۳,۵ مگا پاسکال و تنش انتقالی ۰,۳ مگا پاسکال است. افت تنش تفاوت بین تنش موجود در صفحه گسلی قبل و بعد از گسیختگی زلزله 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.

تجزیه و تحلیل کرنش و تغییرات آن در طول زمان در یک منطقه فعال زمین ساختی می تواند ابزار قدرتمندی در پیش بینی مکان و بزرگی مورد انتظار زلزله های آینده باشد. مناطق با نرخ بالا ی کرنش شکل های ۷و۶ را می توان به عنوان مناطقی تفسیر کرد که در آن پوسته بالایی و پایینی در حال خزش هستند و به طور متناوب بارگذاری زمین ساختی در آن اثر دارد. مناطق با نرخ کرنش بالا به طور متوسط تحت فعالیت لرزه ای بالا هستند، اما برای ارزیابی خطر چنین مناطقی باید دانست که آیا چرخه لرزه ای در مرحله اولیه است یا بعدی. نرخ کرنش بالا در مناطق خاص ممکن است ناشی از زلزله باشد، نه قبل از وقوع آن. بنابراین، همبستگی بین لرزه خیزی و تغییر شکل محلی و نرخ کرنش از سرعت‌های بین لرزه‌ای GNSS ممکن است شاخصی از وقوع رویداد لرزه‌ای آینده باشد.