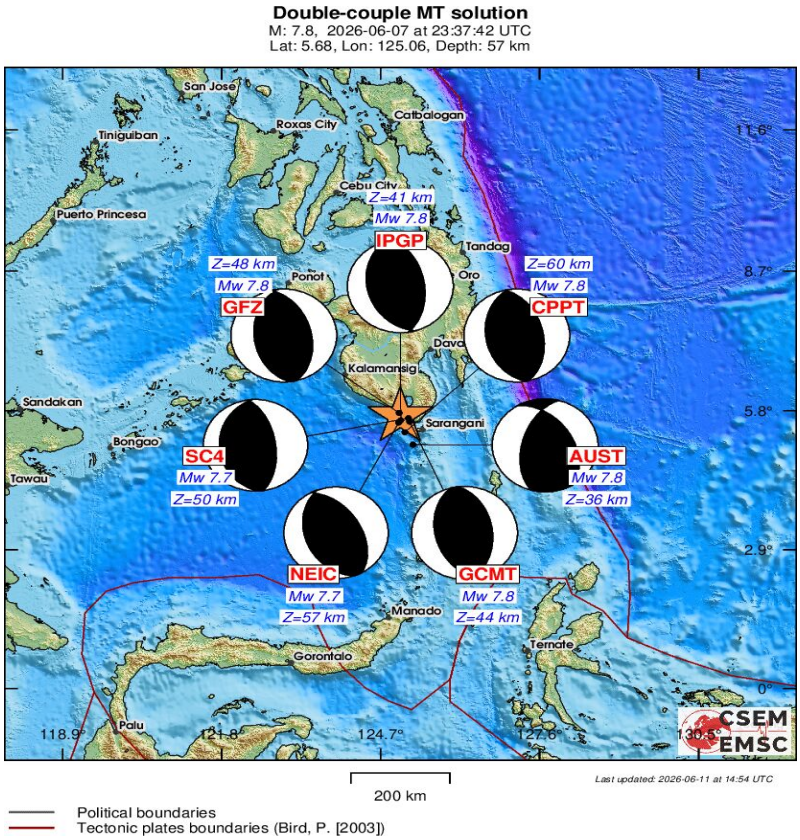
سازمان نقشه برداری کشور

گزارش تحلیلی زمین‌لرزه۱۸ خرداد ماه ۱۴۰۵ فلیپین با بزرگای۷,۸

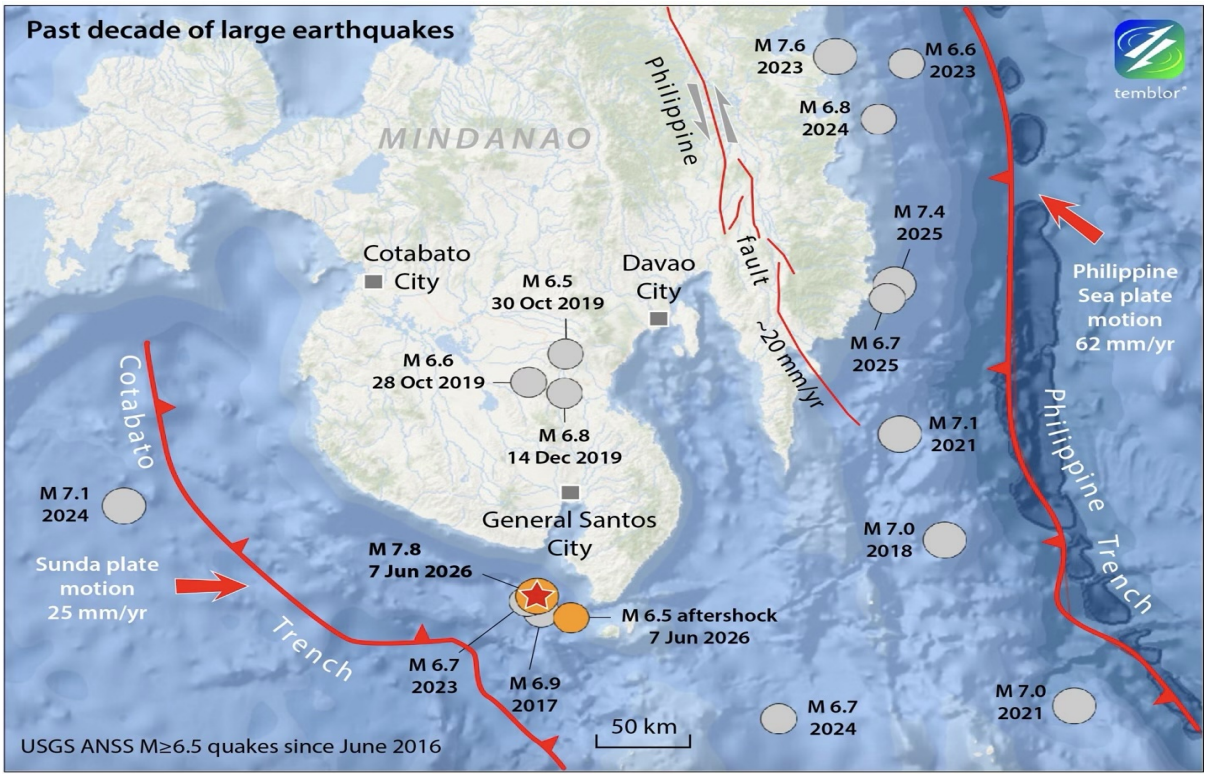
اداره کل نقشه برداری زمینی وبنیادی

تهیه کننده: دکترحمید رضا نانکلی



چکیده

در ساعت ۰۷:۳۷ به وقت محلی، یک زمین‌لرزه بزرگ با بزرگای گشتاوری **Mw 7.8** در جنوب جزیره میندانائو فیلیپین رخ داد. کانون زمین‌لرزه در محیط دریایی و در مجاورت سامانه فرورانش جنوب فیلیپین قرار داشت. به دلیل ماهیت راندگی گسیختگی و وقوع آن در بستر دریا، هشدار سونامی برای بخش‌هایی از فیلیپین صادر شد. تحلیل‌های اولیه نشان می‌دهد این رویداد ناشی از آزادسازی تنش انباشته در مرز همگرای صفحه دریای فیلیپین و ریزصفحات منطقه‌ای جنوب میندانائو بوده است و مکانیزم آن از نوع راندگی بین‌صفحه‌ای (**Interplate Thrust Faulting**)است. جنوب فیلیپین در محل برهم‌کنش چندین صفحه و ریزصفحه زمین‌ساختی قرار گرفته است. حرکت مداوم این صفحات موجب انباشت کرنش الاستیک در مرزهای فرورانش می‌شود. زمانی که مقاومت سنگ‌ها در برابر تنش انباشته‌شده از حد بحرانی فراتر رود، شکست ناگهانی رخ داده و انرژی به صورت امواج لرزه‌ای آزاد می‌شود. زمین‌لرزه ۲۰۲۶ میندانائو یکی از بزرگ‌ترین رویدادهای لرزه‌ای منطقه در دهه اخیر محسوب می‌شود و اهمیت ویژه‌ای برای مطالعه چرخه لرزه‌ای سامانه کوتاباتو دارد. عمق کانونی و تحلیل تانسور گشتاور لرزه‌ای (**Moment Tensor**)نشان می‌دهد که این رویداد در محدوده پیچیده‌ای از تغییرشکل فعال پوسته زمین اتفاق افتاده که با فرورانش صفحه فیلیپین به سمت غرب در زیر صفحه سوندا مرتبط است.شکل۱



شکل۱- نقشه تکتونیکی کلی فیلیپین. زمین‌لرزه **M7.8** به‌صورت یک ستاره قرمز نشان داده شده است. خطوط قرمز گسل‌ها هستند؛ خطوط قرمز با دندانه‌ها رانش‌های بزرگ یا مگاتراست‌ها هستند، بیشتر بخش‌های فیلیپین توسط مگاتراست‌ها احاطه شده است.**Tonda,2026**

۱-مشخصات رخداد

بزرگای گشتاوری : ۷,۸

عمق کانونی : ۵۵ کیلومتر

موقعیت : جنوب میندانائو،

نوع گسلش : راندگی

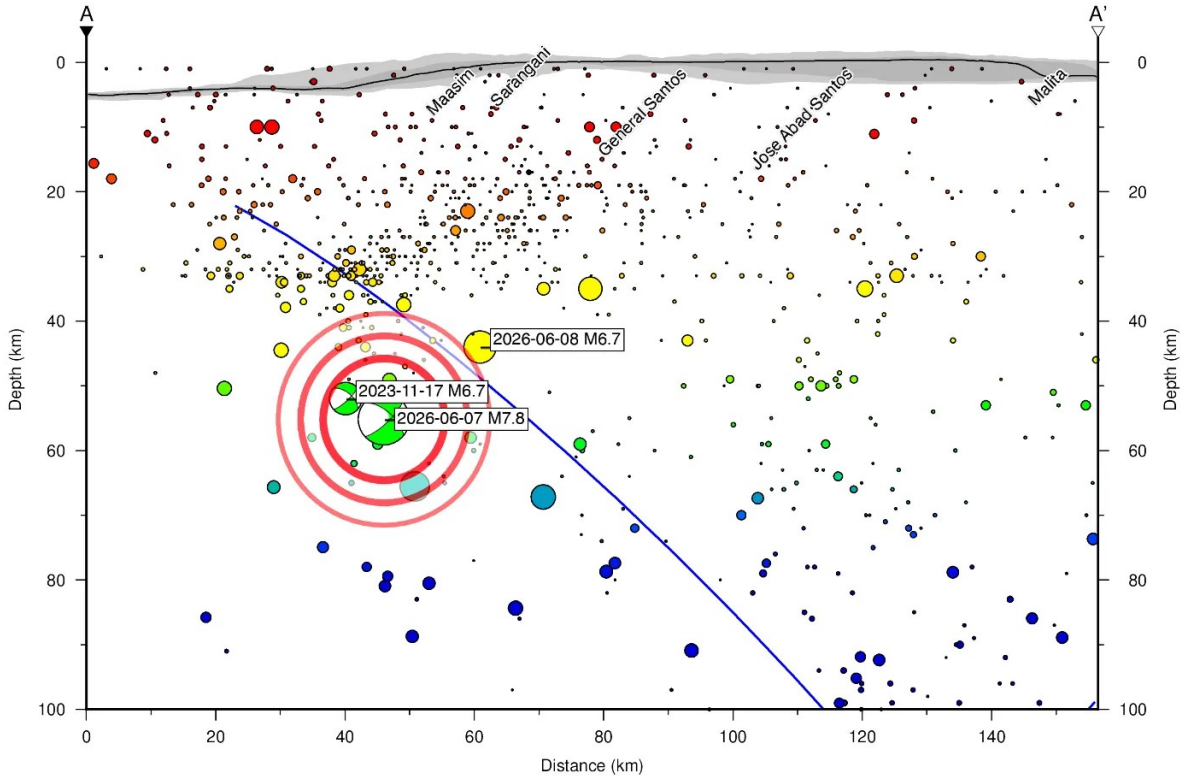
محیط رخداد: مرز فرورانش فعال

تعداد پس‌لرزه‌های: بیش از ۳۰۰۰ رویداد

طول شکست: ۱۶۵ کیلومتر

عرض شکست: ۱۵۰ کیلومتر

مساحت گسیختگی: حدود ۲۴۷۵۰ کیلومتر مربع



شکل۲: مقطع عرضی در اینجا تنها یک منطقه فرورانش نشان داده شده است — گودال کوتاباتو. صفحه دریای فیلیپین که به سمت غرب فرورانده می‌شود، در زیر این مقطع قرار دارد.**Hubbard,2026**

۲-زمین‌ساخت منطقه

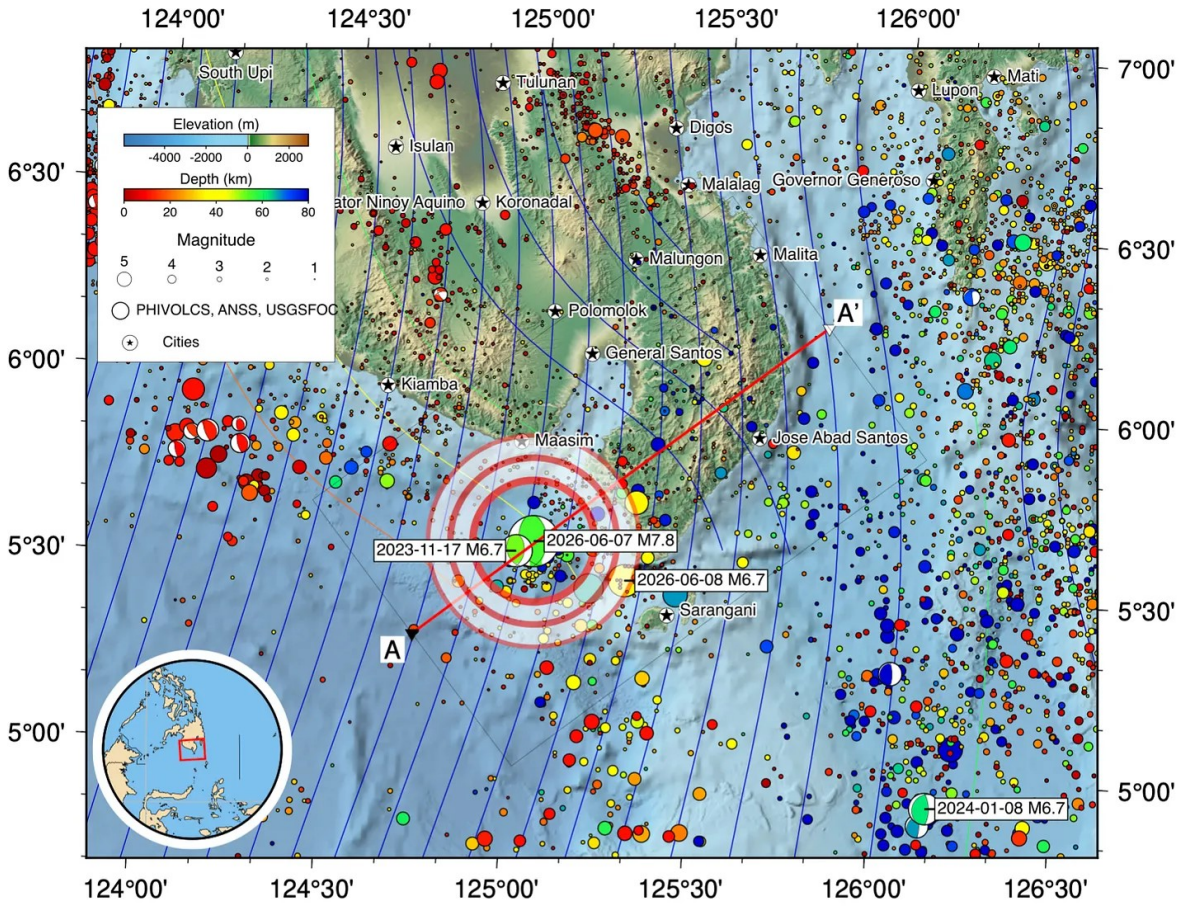
منطقه جنوب فیلیپین بخشی از کمربند لرزه‌خیز حلقه آتش اقیانوس آرام است. در این ناحیه، لیتوسفر اقیانوسی در امتداد ترانشه‌های فعال به زیر بلوک فیلیپین فرومی‌رود. نرخ همگرایی صفحات در این بخش حدود ۵تا۸ سانتی‌متر در سال برآورد می‌شود که موجب انباشت تدریجی کرنش الاستیک در مرز صفحات می‌گردد.رخداد حاضر بیانگر شکست بخشی از ناحیه قفل‌شده فرورانش و آزادسازی ناگهانی انرژی ذخیره‌شده طی دهه‌های گذشته است. منطقه دارای سابقه رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ متعددی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

* زلزله مورو گلف ۱۹۷۶ Mw≈8.1

* زلزله‌های کوتاباتو ۲۰۱۹

* زلزله‌های متعدد میندانائو در دهه ۲۰۲۰

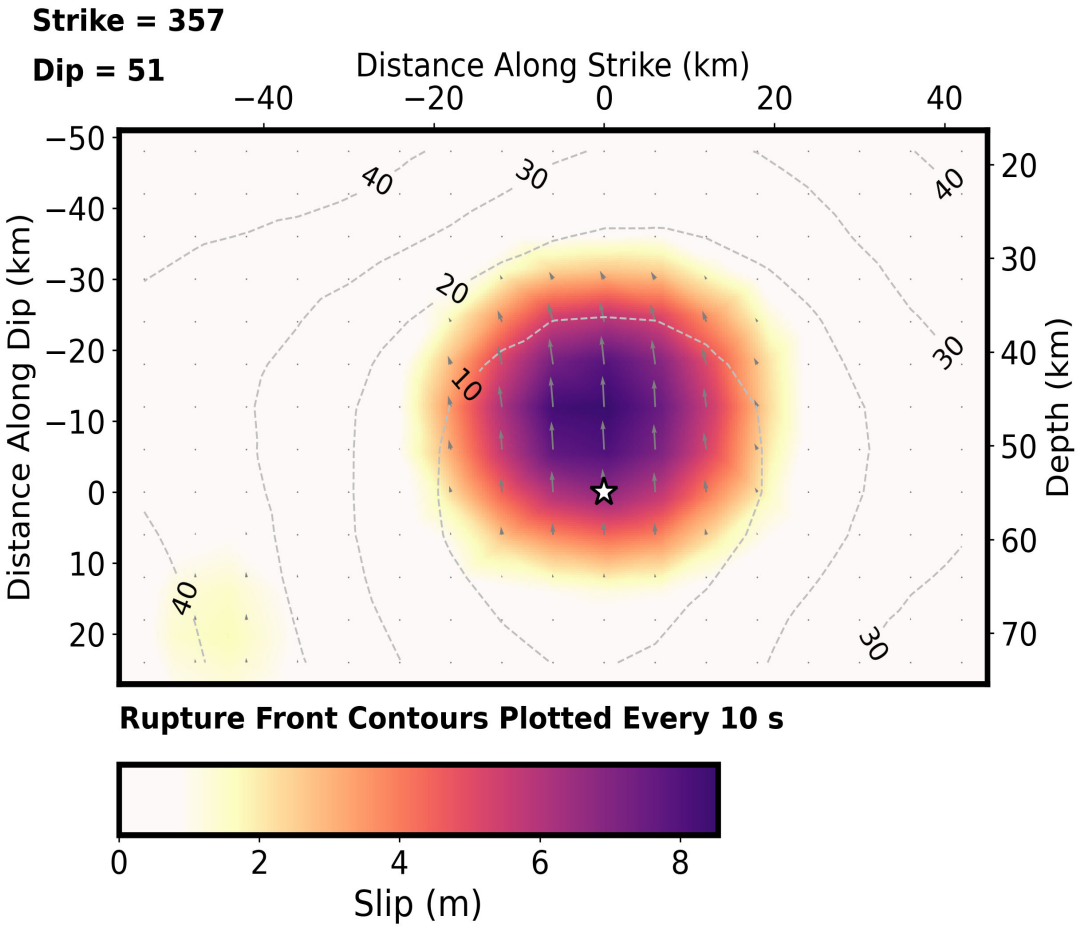
این سابقه نشان‌دهنده ظرفیت بالای لرزه‌زایی سامانه فرورانش جنوب فیلیپین است،شکل ۳.



شکل۳-لرزه‌خیزی جنوب فیلیپین. زمین‌لرزه‌ها بر اساس عمق رنگ‌بندی شده‌اند. خطوط رنگی، خطوط هم‌عمق دو ناحیه فرورانش هم‌پوشان در اینجا هستند.
Hubbard,2026

۳- جابه‌جایی روی صفحه گسل

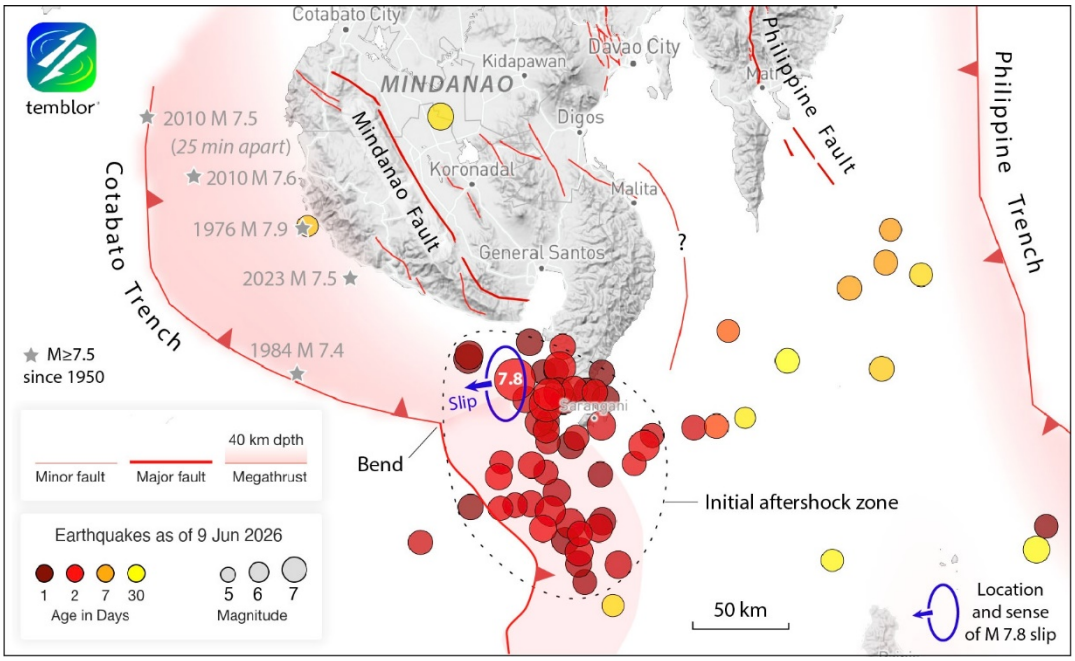
یکی از اطلاعاتی که در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای لازم است شناخت دقیق نرخ واقعی لغزش هر گسل است. ابعاد و دامنه لغزش در امتداد گسلی که باعث ایجاد زلزله شده است را می توان در یک "مدل گسل محدود" نشان داد. این مدل از زلزله از طریق یک « وارونگی گسل محدود» تولید می‌شود که برای تخمین مکان، زمان و میزان لغزش استفاده می شود. زمین لرزه۷٫۸ ریشتری ناشی از گسلش راندگی در عمق زیاد بوده. ابعاد این گسیختگی دارای طول ۱۶۵و عرض۱۵۰ کیلومتر می باشد. نتایج اولیه نشان می دهددر طی یک دوره ۱۰ ثانیه ای، لغزش درصفحه گسل در حدود ۸ متر رسیده است.



شکل۴- مقطع عرضی ازتوزیع لغزش در صفحه گسلی ناشی از زمین لرزه۷٫۸فلیپین (usgs) کانتورها زمان گسیختگی را بر حسب ثانیه نشان می دهند. دامنه لغزش به صورت رنگی و جهت حرکت فرا دیواره نسبت به فرو دیواره با فلش نشان داده شده است.

۴-حرکات پسا لرزه ای

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 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 نمی شودو پس لرزه هایی به دنبال دارد که برخی از آنها آسیب زا هستند. لغزش مربوط به این پس لرزه ها را پس لغزش می نامندو ممکن است به صورت زمین لرزه های معمولی یا به صورت لغزش کند رخ دهد.بیش از ۳۰۰۰ پس لرزه ناشی از این زمین لرزه ثبت شده که بزرگترین آن ۶,۵ بوده است. تعداد پس لرزه‌های تولید شده در منطقه نیز بیانگر افزایش تنش و تغییرات تنش ناشی از لرزه اصلی هستندکه نقطه مستعد و آماده گسیخته شدن بعدی رامشخص میکنند.شکل۵.

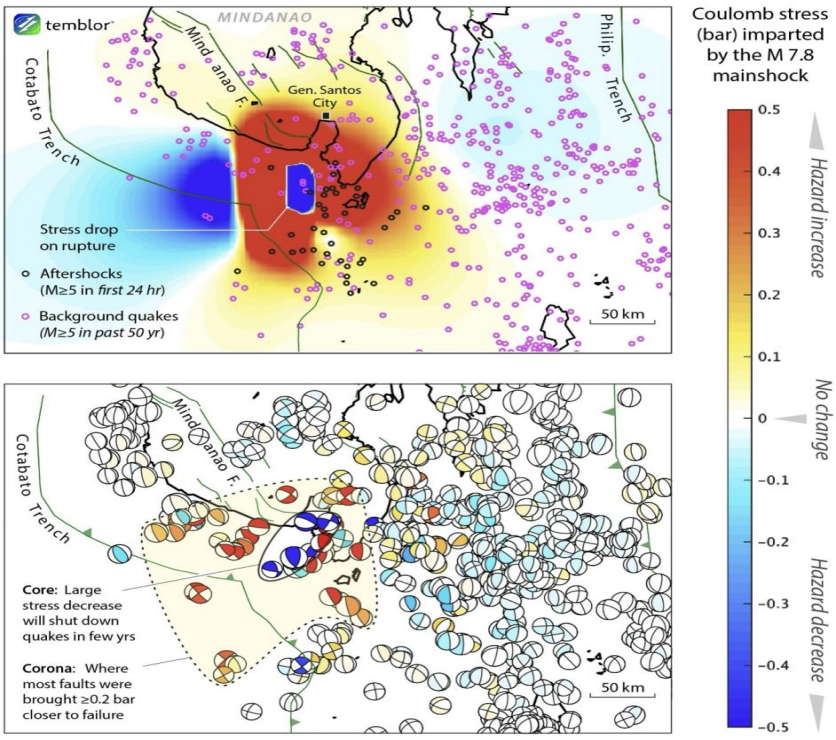


شکل۵-پراکندگی پس لرزها **Tonda,2026**

پس‌لرزه‌های اولیه منطقه‌ای به وسعت ۱۶۵ در ۱۵۰ کیلومتر در جنوب شهر سانتوس را پوشش می‌دهند، روی گسلی که با گودال کوتاباتو مرتبط است و زیر جزیره جنوبی میندانائو فرو می‌رود. یک گسل احتمالی چپ‌لغز، گسل میندانائو، در شمال گسیختگی قرار دارد. یک گسل دیگر چپ‌لغز، گسل فیلیپین، در شمال‌شرق گسیختگی واقع شده است. بخش ۱۰۰ کیلومتری گودال کوتاباتو بین زلزله ۷,۸ ریشتری ۲۰۲۶ و زلزله ۷,۵ ریشتری ۲۰۲۳ ممکن است گسیختگی در زلزله بعدی باشد.

۵-انتقال و برهم کنش تنش استاتیک

زمین لرزه ها می توانند با همدیگر بر هم کنش داشته باشند و این موضوع می تواندمنجر به توالی زمین لرزه ها وخوشه زمین بندی ورخداد 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.وقوع زمین لرزه نزدیک به هم در زمان و مکان که به صورت خوشه ای لحاظ می شود براساس تئوری انتقال تنش و اثر متقابل آن محاسبه می شود ، تنش انباشته شده در روی یک گسل به عنوان کلیداصلی به منظور آغاز گسیختگی در نظر گرفته می شودو در هنگام وقوع زلزله به سادگی از بین نمی رود .تنش آزاد شده از یک گسل می تواند هر چند کم می تواندتنش را روی گسل های مجاور و نزدیک را افزایش یا کاهش دهدو بالقوه باعث ایجاد گسیختگی و زلزله یا تاخیر درزمان 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 ببرد و بر عکس کاهش تنش باعث تاخر در گسیختگی و زمان وقوع زلزله می شود(دوران آرامش). شکل ۶ نشان می‌دهد که چگونه خوشه اخیر زمین‌لرزه‌ها تنش را در امتداد مرز فرورانش تغییر داده است. نواحی نمایش‌داده‌شده با رنگ قرمز (۱۰۰ کیلومتر به سمت جنوب رخ داد)بیانگر افزایش تنش هستند، در حالی که نواحی آبی(۵۰ کیلومتر به سمت غرب رخداد) نشان‌دهنده کاهش تنش‌اند.



شکل ۵- مدل انتقال تنش کولمب Tonda,2026

۶-تحلیل نتایج

در اثر تجمع تنش فعال ناشی ازحرکات صفحات تکتونیکی در طول زمان و غلبه این تنش بر استحکام بلوک گسلی مسبب زلزله و شکست آن(تنش برشی برتنش ناشی از اصطکاک غلبه کرده) گسیختگی ایجاد ولغزش برروی صفحه گسلی انجام شده است. در این حالت انتقال تنش به سمت مرز فرورانش تا ۰,۲ بار وقسمت 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 ۲۹ مگا پاسگال می‌باشد. در این حالت تنش برشی بر تنش قبل از زلزله غلبه کرده ولغزش در صفحه گسل رخ داده شکل۴. افت تنش در این زمین لرزه ۵ مگا پاسکال و تنش انتقالی ۰,۰۵ مگاپاسکال است. افت تنش تفاوت بین تنش موجود در صفحه گسلی قبل و بعد ازگسیختگی زلزله است.زلزله ۸ ژوئن ۲۰۲۶ میندانائو یک رویداد بزرگ فرورانشی با بزرگای Mw ۷,۸ بود که در نتیجه شکست بخشی از مرز همگرای جنوب فیلیپین رخ داد. طول گسیختگی حدود ۱۶۵ کیلومتر، لغزش متوسط حدود ۱ تا ۲ متر و انرژی آزادشده در حدود6e16 ژول برآورد می‌شود. ماهیت راندگی زمین‌لرزه موجب صدور هشدار سونامی شد، اما آثار سونامی محدود باقی ماند. انتظار می‌رود فعالیت پس‌لرزه‌ای قابل توجه در روزها و هفته‌های آینده ادامه یابد. یکی از مهم‌ترین نکات مقایسه این منطقه با زلزله بزرگ ۱۹۷۶ مورو گلف (حدود Mw 8.1)است. آن رویداد باعث سونامی و تلفات گسترده شد. تحلیل‌های زمین‌ساختی نشان می‌دهد که بخشی از مرز فرورانش جنوب فیلیپین هنوز ظرفیت رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ را دارد و رویداد ۲۰۲۶ لزوماً به معنی تخلیه کامل تنش منطقه نیست. به نظر می رسدکه جنوب میندانائو طی دهه‌های اخیر وارد یک دوره فعال بازتوزیع تنش شده است. این منطقه از نظر تکتونیکی تحت تأثیر ترانشه کوتاباتو و سامانه‌های گسلی داخلی میندانائو قرار دارد. خوشه‌های لرزه‌ای Earthquake Swarmsو زلزله‌های متوسط سال‌های اخیر می‌توانند نشانه وجود تنش انباشته در بخشی از این مرز فرورانشی باشند. از دیدگاه لرزه‌شناسی، مهم‌ترین موضوع در ماه‌های آینده بررسی الگوی مهاجرت پس‌لرزه‌ها، تغییرات تنش کولمب و رفتار قطعات مجاور سامانه فرورانش خواهد بود.

۷-زلزله ۷,۸ میندانائو؛ هشداری برای مکران ایران

زلزله Mw 7.8 میندانائو ۲۰۲۶ برای ایران چند درس مهم علمی، فنی و مدیریتی دارد؛ به‌خصوص چون ایران هم کشوری با لرزه‌خیزی بالا است، هرچند محیط زمین‌ساختی آن با فیلیپین متفاوت است

مکران یک ناحیه فرورانش Subduction Zoneبه طول حدود ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر در جنوب ایران و پاکستان است که در آن صفحه عربی در زیر صفحه اوراسیا فرو می‌رود. این سامانه از نظر زمین‌ساختی شبیه مناطقی مانند سوماترا، ژاپن و فیلیپین است، هرچند رفتار لرزه‌ای آن هنوز به‌خوبی شناخته نشده است.این پهنه از سواحل استان سیستان و بلوچستان تا سواحل پاکستان امتداد دارد و شهرهای مهمی مانند چابهار، کنارک و جاسک در معرض اثرات آن قرار دارند.چرا مکران مهم است؟

۱. قابلیت تولید زلزله‌های بسیار بزرگ

بزرگ‌ترین زلزله ثبت‌شده مکران در سال ۱۹۴۵ با بزرگای حدود Mw 8.1 تا ۸,۳ رخ داد و همراه با سونامی بود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که این سامانه توانایی تولید زمین‌لرزه‌های بسیار بزرگ را دارد.

۲. خطر سونامی

برخلاف بیشتر گسل‌های ایران، مکران می‌تواند سونامی ایجاد کند. زلزله ۱۹۴۵ موجب سونامی مرگبار در سواحل منطقه شد. مدل‌های جدید نشان می‌دهند که در برخی سناریوها ارتفاع امواج در بخش‌هایی از سواحل ایران و پاکستان می‌تواند به چندین متر برسد.

۳. شکاف لرزه‌ای Seismic Gap

یکی از نگرانی‌ها این است که بخش‌هایی از مکران، به‌ویژه در قسمت غربی نزدیک ایران، در دوران ثبت دستگاهی زلزله بزرگی نداشته‌اند. این سکون لرزه‌ای لزوماً به معنی ایمن بودن نیست و ممکن است ناشی از انباشت تنش باشد.

۸-مهم‌ترین نیازهای ایران در مکران

توسعه شبکه GNSS دائمی در سواحل مکران.

نصب سامانه‌های هشدار سونامی.

توسعه ایستگاه‌های لرزه‌نگاری دریایی

استفاده هم‌زمان از GNSS، InSAR و TEC برای پایش تغییرشکل پوسته.

تهیه نقشه‌های تخلیه سونامی برای شهرهای ساحلی.

۹-جمع‌بندی

از دید بسیاری از زمین‌لرزه‌شناسان، مکران تنها منطقه ایران است که توان بالقوه تولید زلزله‌های مگاترست (Mw≈8 تا ۹) و سونامی منطقه‌ای را دارد. عدم وقوع زلزله بزرگ در بخش غربی مکران طی دوران ثبت دستگاهی، لزوماً خبر خوبی نیست؛ بلکه یکی از پرسش‌های باز و مهم زمین‌ساختی ایران محسوب می‌شود.