

گزارش زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار

رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵، ساعت ۱۲:۵۴:۵۴ به وقت محلی و ساعت ۰۶:۲۰:۵۴ بوقت جهانی
(۸ فروردین ماه ۱۴۰۴ ساعت ۰۹:۵۴:۵۴ بوقت ایران)



دکتر علی بیت اللهی

۱۷ - ۰۱ - ۱۴۰۴

پیشگفتار

زمین لرزه‌های بزرگ جهان، صرف‌نظر از مصائب و آلام مردم تحت‌تاثیر، حاوی نکات آموزشی مهمی‌اند که با درس‌آموزی از آنها، می‌توان ریسک لرزه‌ای کاهش داد. بدیهی است که تدوین گزارش جزئی و کارشناسی از رخداد زلزله‌های سترگ، مستلزم بازدیدهای میدانی است که بدلیل فراهم نبودن این امکان، تدوین گزارش زلزله ۲۰۲۵ میانمار، براساس اطلاعات گوناگون منتشره توسط نگارنده پس از گذشت دو روز از تاریخ وقوع زلزله صورت گرفت.

از نکات مهم و قابل توجه زلزله ۲۸ مارس ۲۰۲۵ با بزرگی ۷.۷ ماندالای میانمار، نگارنده نوشتار حاضر، عناوین زیر را مهم ارزیابی کرده است:

- سکون لرزه‌ای نسبی در راستای گسله‌های بزرگ، هشدار بزرگی مبنی بر رخداد سترگ و دهشتناک آتی است.
- توسعه شهری و ساخت و ساز بدون توجه به خطر زلزله و بی‌توجهی به مخاطرات، در زمان رخداد حادثه، بحران‌های بزرگی را برای جوامع تحمیل خواهد کرد.
- بلندمرتبه‌سازی و برج‌سازی‌ها در مناطق ساحلی و مناطق با ساختگاه و خاک نرم، در زلزله‌های دور نیز خطرناک خواهد بود. این امر در کشور ایران در ساخت و سازهای مناطق ساحلی دریای مازندران باید بطور جدی مد نظر قرار گیرد.
- شرایط ساختگاهی در تشدید اثرات مخرب زلزله جایگاه ویژه‌ای دارد. بنظر نگارنده، زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، یک کلاس آموزشی بزرگ برای کارشناسان از این جنبه است.
- اثرات پیوندهای بلند زمین لرزه در ساختگاه‌های نرم بر سازه‌های مرتفع در زلزله میانمار بویژه در شهر بانکوک در کشور همسایه میانمار، نمایان بود. بنظر نگارنده، رخداد ۷.۷ ماندالای میانمار درس آموخته‌های موثری در درک ملموس اثرات طیفی زمین لرزه‌های دور داشت.
- در زلزله میانمار نیز شواهد آشکاری بر اهمیت کیفیت ساخت و ساز در رفتار سازه‌ها مشاهده گردید. در مناطقی دور و نزدیک سازه‌هایی بطور کامل فرو ریختند و در همان نقاط، سازه‌های متعددی دیگری بدون خسارت پابرجا ماندند. ضرورت توجه به مقررات و استانداردهای ساخت و ساز در زلزله میانمار نیز بوضوح خود را نشان داد.
- متأسفانه دسترسی به داده‌های تخصصی و محلی زلزله ماندالای میانمار، با مشکل همراه بود. ضرورت به اشتراک‌گذاری داده‌های زلزله‌های سترگ، با هدف تحلیل و ارزیابی‌های تفصیلی امر قابل توجه دیگری است که نگارنده در حین جمع‌آوری اطلاعات نیز با آن روبرو بود.

نکته شایان ذکر در تدوین گزارش حاضر، مشکلات دسترسی به داده‌ها و اطلاعات پایه در کشور میانمار (برمه) بود که بدلیل سیاسی و نوع حاکمیت موجود، بطور کلی انتشار اطلاعات و دسترسی به آن و حتی آمار خسارت‌ها و تلفات زلزله رخ داده با کاستی‌های قابل ملاحظه و عدم دسترسی‌ها مواجه بود. چند سایت و پایگاه داده که اطلاعات مربوط به زلزله‌ها را منتشر می‌کردند، طی چندین نوبت تلاش، قابل دسترسی نبودند. در هر حال با توجه به اطلاعات در دسترس و داده‌های کشور

تایلند و نیز مطالب منتشر در سایت‌های مختلف گزارش پیش رو جمع‌بندی، تدوین گردیده و عمده مطالب آن برگرفته از متون و داده‌ها و اطلاعات منتشر شده توسط مراکز و محققین مختلف است که امید می‌رود برای مهندسين و کارشناسان کشور مفید باشد.

زلزله ۷.۷ میانمار، رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵ بطور ملموس درس آموخته‌های مهمی برای کارشناسان و محققین و مهندسين دارد و امید است این نوشتار که با گذشت مدت کوتاهی از زمان رخداد تهیه شده، برای تعدادی از علاقمندان از این منظر مورد استفاده قرار گیرد.

دکتر علی بیت‌اللهی ۱۷ - ۱ - ۱۴۰۴

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه ۵
- ۲- زمان وقوع، بزرگی، رومرکز و محدوده کانونی زلزله ماندالای میانمار ۸
- ۳- پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها و راستای گسیختگی در زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار ۱۲
- ۴- گسل مسبب زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار و تفسیر گسیختگی آن ۱۵
- ۵- شدت زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار^۱ ۲۹
- ۶- تلفات جانی گزارش شده زلزله ۷.۷ ماندالای ۳۴
- ۷- خسارت‌های گزارش شده زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، رخداد ۲۸ - ۰۳ - ۲۰۲۵ ۳۵
- ۸- برخی از نتایج و درس‌آموخته‌های زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، رخداد ۲۸ - ۰۳ - ۲۰۲۵ ۴۶
- ۹- مراجع ۴۸

^۱ در این نوشتار منظور از زلزله میانمار، یا زلزله ماندالای میانمار و یا زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، زلزله مورخ ۲۸ مارس ۲۰۲۵ ماندالای میانمار است که باختصار گاه ممکن است تحت آن عناوین نام برده شود و منظور از شدت زمین‌لرزه، شدت در مقیاس مرکالی اصلاح شده است.

۱- مقدمه

با توجه به زمین لرزه سترگ ۷.۷ میانمار و با هدف ارائه تصویری کلی از وضعیت کشور میانمار از نظر جمعیتی و ساخت و ساز، بی‌مناسبت نیست که قبل از بررسی زلزله رخ داده، در مقدمه گزارش سیمای کلی کشور میانمار از حیث جمعیت و ساخت و ساز بصورت چکیده مورد اشاره قرار گیرد.

جمعیت فعلی میانمار (برمه سابق) تا روز شنبه، ۹ فروردین ۱۴۰۴ (۲۹ مارس ۲۰۲۵) بر اساس گزارش Worldometer از آخرین داده‌های سازمان ملل، ۵۴,۷۵۹,۵۳۶ نفر است، جمعیت میانمار در سال ۱۴۰۴ (۲۰۲۵) در اواسط سال حدود ۵۴,۸۵۰,۶۴۸ نفر تخمین زده شده که معادل ۰.۶۷ درصد از کل جمعیت جهان است. میانمار در فهرست کشورها بر اساس جمعیت، رتبه ۲۷ را دارد. تراکم جمعیت در میانمار ۸۴ نفر در هر کیلومتر مربع است. مساحت کل زمین میانمار (خشکی) ۶۵۳,۲۹۰ کیلومتر مربع است. ۳۴.۱ درصد از جمعیت، شهری (۱۸,۷۲۲,۴۹۱ نفر در سال ۲۰۲۵) و سن متوسط در میانمار ۳۰.۱ سال است (مرجع: اداره امور اقتصادی و اجتماعی سازمان ملل متحد). حدود ۳۰-۳۵٪ جمعیت میانمار در شهرها (بزرگ‌ترین شهرها: یانگون، ماندالای، نایپیداو) و حدود ۶۵-۷۰٪ جمعیت در مناطق روستایی ساکن هستند. مهاجرت به شهرهای بزرگ و درگیری‌های قومی از چالش‌های عمده جمعیتی میانمار هستند.

بر اساس سرشماری ۲۰۱۴ میانمار، تعداد کل خانوارها در این کشور حدود ۱۰.۸ میلیون خانوار گزارش شده است. با فرض اینکه هر خانوار یک واحد مسکونی مستقل دارد، حداقل ۱۰-۱۲ میلیون ساختمان مسکونی وجود دارد. اگر ساختمان‌های تجاری، اداری و صنعتی را اضافه کنیم، این عدد به حدود ۱۳-۱۵ میلیون ساختمان می‌رسد. کاربری‌های عمده ساختمان‌ها در کشور میانمار بطور تقریبی بقرار زیر می‌باشد:

مسکونی: حدود ۸۵٪ (شامل آپارتمان‌های شهری و خانه‌های روستایی)

تجاری و اداری: حدود ۱۰٪ (بیشتر در شهرهای بزرگ)

صنعتی و سایر: حدود ۵٪

میانمار یکی از کشورهای با تراکم نسبتاً پایین مسکن در مناطق شهری است، اما در شهرهای بزرگ مانند یانگون و ماندالای، کمبود مسکن مناسب وجود دارد. بسیاری از خانه‌ها در مناطق روستایی از مصالح سنتی مانند چوب و بامبو ساخته شده‌اند. در شهرها، آپارتمان‌های کوچک و خانه‌های قدیمی رایج هستند. در کشور میانمار نرخ بالای شهرنشینی و رشد جمعیت، فشار بر تقاضای مسکن را افزایش داده است.

در شهرهای بزرگ، ساختمان‌های مدرن از بتن، فولاد و آجر ساخته می‌شود، در بسیاری از ساختمان‌های قدیمی هنوز از چوب و مصالح سنتی استفاده می‌شود، در برخی پروژه‌های لوکس، از مصالح وارداتی باکیفیت استفاده می‌شود. پروژه‌های بزرگ (مانند هتل‌ها و مراکز تجاری) معمولاً با استانداردهای نسبتاً خوبی ساخته می‌شوند. اما بسیاری از ساختمان‌های مسکونی با نظارت ضعیف مهندسی و استفاده از مصالح بی‌کیفیت ساخته می‌شوند. مشکلاتی مانند ترک خوردگی دیوارها،

نفوذ آب و سیستم‌های برق و لوله‌کشی نامناسب رایج است. مقررات ساخت و ساز در میانمار ضعیف اجرا می‌شوند و نظارت کافی وجود ندارد. پس از زلزله‌های اخیر، توجه بیشتری به استانداردهای مقاوم‌سازی شده است، اما هنوز مشکلات زیادی وجود دارد. عدم دسترسی به مصالح مدرن مانند سیمان و فولاد، نبود نیروی متخصص برای ساخت وسازه‌های ایمن، کمبود سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، قوانین ساختمانی ناکارآمد و فساد در صدور مجوزها، تأثیر درگیری‌های داخلی و تحریم‌ها بر توسعه زیرساخت‌ها، رشد سریع شهرنشینی و افزایش تقاضا برای مسکن مقرون به صرفه از چالش‌های عمده دیگر حوزه ساخت و ساز میانمار است.

کیفیت ساخت و ساز در ماندالای میانمار (برمه) ترکیبی از پروژه‌های مدرن با استانداردهای نسبتاً خوب و ساختمانهای سنتی با محدودیت‌های کیفی است. پروژه‌های با حمایت سرمایه‌گذاران چینی، سنگاپوری و تایلندی (مثل هتل‌های لوکس یا مجتمع‌های تجاری) معمولاً از مصالح مرغوب و طراحی مدرن برخوردارند. ساختمان‌هایی مانند بیمارستان‌ها یا دانشگاه‌ها اغلب با نظارت بیشتر و کیفیت بهتری ساخته می‌شوند، اما ممکن است مشکلاتی مانند تأخیر در اجرا وجود داشته باشد. در محله‌های قدیمی مثل بسیاری از خانه‌ها از آجر، چوب و بتن‌های غیراستاندارد ساخته شده‌اند و در برابر رطوبت یا زلزله آسیب‌پذیرند.

ضعف مقررات ساختمانی (استانداردهای ساخت و ساز در میانمار به ویژه در مقایسه با کشورهای همسایه مثل تایلند سهل‌گیرانه است و نظارت ضعیف بر پروژه‌های کوچک منجر به استفاده از مصالح بی‌کیفیت می‌شود)، مشکلات زیرساختی (مانند شبکه فاضلاب و جمع‌آوری آب باران در بسیاری از مناطق قدیمی وجود دارد، قطعی برق مکرر از چالش‌های اصلی ساخت و ساز در ماندالای میانمار است).

شهر ماندالای دومین شهر پرجمعیت میانمار (برمه) پس از یانگون است. بر اساس آخرین برآوردها و داده‌های موجود (سال ۲۰۲۴) جمعیت ماندالای حدود ۱.۴ تا ۱.۶ میلیون نفر در محدوده شهری و بیش از ۲.۵ میلیون نفر در کل منطقه شهری و حومه‌ها است. ماندالای یکی از شهرهای میانمار با بیشترین رشد جمعیتی با مهاجرت گسترده از مناطق روستایی برای کار و تحصیل است. جمعیت ماندالای بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، تقریباً دو برابر شده است. شهر یانگون با بیش از ۷ میلیون نفر بعنوان بزرگترین شهر کشور میانمار و شهر نایپیداو بعنوان پایتخت کشور میانمار با حدود ۱.۲ میلیون نفر جمعیت همراه با ماندالای از شهرهای بزرگ کشور میانمار هستند.

نگاهی جزئی‌تر به ساخت و ساز در شهر ماندالای بعنوان بزرگترین شهر نزدیک به کانون زمین‌لرزه ۷.۷ میانمار (رخداد ۲۸-۰۳-۲۰۲۵) با جمعیتی در حدود ۱.۵ میلیون نفر، نشان می‌دهد که علیرغم لرزه‌خیزی بالای محدوده شهر، بسیاری از سازه‌ها (به ویژه ساختمان‌های قدیمی) فاقد طراحی مقاوم در برابر زلزله هستند.

در شهر ماندالای در مرکز شهر پروژه‌های تجاری و هتل‌ها با استانداردهای بالاتر احداث شده‌اند. در حومه‌های شمالی ساخت وسازه‌های جدید با کیفیت متغیر (بعضی پروژه‌ها مصالح ارزان استفاده می‌کنند) و در مناطق فقیرنشین خانه‌های خودساخته با مصالح بازیافتی و نایمن هستند. در ماندالای، کیفیت ساخت و ساز به شدت به موقعیت جغرافیایی، نوع پروژه و

سرمایه گذار آن وابسته است. در حالی که بخشی از شهر به سمت مدرنیزاسیون پیش می‌رود، مناطق زیادی هنوز با استانداردهای پایین ساخته می‌شوند.

شهر ساگایینگ بعنوان یکی دیگر از نزدیکترین شهرها به رومرکز زلزله ۷.۷ میانمار از مهمترین سکونتگاه‌های واقع در محدوده کانونی زلزله می‌باشد. شرایط ساخت و ساز و چالش‌های آن شبیه سایر شهرهای بزرگ میانمار است. جمعیت شهر ساگایینگ حدود ۷۰,۰۰۰ تا ۱۰۰,۰۰۰ نفر و جمعیت منطقه ساگایینگ (شامل شهرها و مناطق اطراف) بیش از ۵۰۰,۰۰۰ نفر برآورد شده است. شهر ساگایینگ یکی از مراکز مهم فرهنگی و مذهبی در میانمار است و به دلیل وجود معابد و صومعه‌های بودایی مشهور می‌باشد.

با توجه به شرایط جمعیتی و ساخت و ساز در کشور میانمار و محدوده ماندالای، انتظار می‌رود که وقوع زلزله بزرگ نظیر زمین لرزه ۲۸ مارس ۲۰۲۵ خسارت بار و بحران‌زا باشد، بر این اساس در ادامه به مشخصات زلزله رخ داده و خسارت‌های آن که براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از سایت‌ها و گزارش‌های مختلف می‌باشد پرداخته می‌شود. مجدداً لازم بذکر است که اطلاعات جزئی‌تر و تخصصی‌تر زمین لرزه میانمار با کاستی‌های قابل توجهی همراه است که تحلیل داده‌ها را از نظر کارشناسی با مشکل همراه می‌سازد.

۲- زمان وقوع، بزرگی، رومرکز و محدوده کانونی زلزله ماندالای میانمار

- زمان وقوع زلزله

براساس گزارش‌های سایت‌های رسمی جهانی گزارشگر زلزله‌ها، زمین لرزه میانمار در تاریخ ۲۸ مارس ۲۰۲۵، ساعت ۱۲:۵۰:۵۴ به وقت محلی، ساعت ۰۶:۲۰:۵۴ بوقت جهانی و ۸ فروردین ماه ۱۴۰۴ ساعت ۰۹:۵۴:۵۴ بوقت ایران رخ داده است. روز جمعه مصادف با روز رخداد حادثه، بعنوان روز کاری در کشور میانمار بوده و با توجه به ساعت وقوع زلزله که حوالی ظهر بوده، انتظار بر اینست که در زمان وقوع زمین لرزه، اکثریت نیروی کاری در خارج از منزل و در زمان بیداری و فعالیت بوده باشند و لذا تلفات جانی زلزله ۷.۷ میانمار در مقایسه با زلزله‌های شب‌هنگام، بطور نسبی کمتر تخمین زده می‌شود.

- بزرگای زلزله ۲۸-۰۳-۲۰۲۵ میانمار

هرچه تعداد سازمان‌های بیشتری درباره یک زمین‌لرزه گزارش دهند و داده‌های مشابهی ارائه کنند، اطمینان بیشتری به داده‌ها بوجود می‌آید. در جدول ۱ زلزله ۲۸ مارس میانمار با بزرگای ارائه شده توسط مراجع مختلف آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات زلزله ۲۸ مارس ۲۰۲۵ میانمار براساس گزارش مراجع جهانی مختلف

Mag	Depth	Time GMT 2025-03-28	Epicenter	Agency
7.7	10 km	06:20:52.68 4	2025 Mandalay, Burma (Myanmar) Earthquake, Epicenter uncertainty: $\pm$ 7.5 km	USGS (United States Geological Survey)
7.72	24 km	06:20:56.32	Myanmar, 14 km (8.6 mi) epicenter difference with USGS, Epicenter uncertainty: $\pm$ 3.7 km	GFZ (German Research Centre for Geosciences)
6.96 $\pm$ 0.18	10 km	06:20:55.20 4 $\pm$ 0.15s	Event of magnitude 7.0, near of Mandalay 10.1 km (6.2 mi) epicenter difference with USGS, Epicenter uncertainty: $\pm$ 3.7 km	RENASS (Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS))
7.6	10 km	06:20:56	Myanmar, 28 km (17 mi) epicenter difference with USGS	BMKG (Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency of Indonesia)
7.7	10 km	06:20:53	Myanmar, 22 km (13 mi) epicenter, difference with USGS	RaspberryShake (RaspberryShake)
7.7 $\pm$ 0.2	17 km	06:20:56.15 7	Myanmar, 22 km (13 mi) epicenter difference with USGS, Epicenter uncertainty: $\pm$ 23 km	INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)
7.7	10 km	06:20:52	Myanmar, 0 km (0 mi) epicenter, difference with USGS	IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology)

Mag	Depth	Time GMT 2025-03-28	Epicenter	Agency
7.8	10 km	06:20:55.37 8	Myanmar, 8.9 km (5.5 mi) epicenter difference with USGS, Epicenter uncertainty: ± 4.5 km	GeoAu (Geoscience Australia)
7.7	10 km	06:20:55.56 ± 0.14 s	MYANMAR, 1.5 km (1 mi) epicenter difference with USGS. Epicenter uncertainty: ± 4.6 km	EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre)
8.2	10 km	06:20:55	Myanmar, 40 km (25 mi) epicenter difference with USGS	TMD (Earthquake Observation Division of Thailand)

همانطور که در جدول اطلاعات زلزله میانمار نشان داده شده، بزرگای زلزله میانمار توسط اکثریت مراجع حدود ۷.۷ گزارش شده است و همینطور عمق کانونی این زمین لرزه نیز عمدتاً ۱۰ کیلومتر اعلام گردیده است (برخی از مراجع در صورت نامعین بودن عمق رخداد، عدد ۱۰ کیلومتر را عمق کانونی تلقی می کنند).

- رومرکز و محدوده و ساز و کار کانونی زلزله

براساس گزارش سایت EMSC مختصات رومرکز و عمق کانونی زلزله ۷.۷ میانمار با مقادیر زیر اعلام شده است:

Location: 22.008; 95.918

Depth: 10 km

Distance: 253 km NNW of Nay Pyi Taw, Myanmar / pop: 925,000 / local time: 12:50:55.5 2025-03-28

17 km W of Mandalay, Myanmar / pop: 1,208,000 / local time: 12:50:55.5 2025-03-28

براساس گزارش سایت USGS مختصات رومرکز و عمق کانونی زلزله ۷.۷ میانمار بقرار زیر منتشر گردیده است:

21.996°N 95.926°E

10.0 km depth

براساس گزارش سایت GFZ مختصات و عمق کانونی زلزله میانمار عبارت است از:

Epicenter 95.85°E 21.89°N

Depth 24 km

در شکل ۱، موقعیت رومرکز های تعیین شده توسط سه مرجع بین المللی نشان داده شده است. همچنین در این شکل مسیر و امتداد گسله مسبب زلزله (گسله ساگایینگ) قابل مشاهده است. دو شهر ماندالای و ساگایینگ و همچنین مسیر رودخانه ایراودی در شکل نشان داده شده است (دور رومرکز اعلامی USGS و EMSC در مجاورت هم و رومرکز تعیین شده توسط GFZ در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری آنها تعیین محل شده است که بنظر می رسد دارای خطای بیشتری باشد.

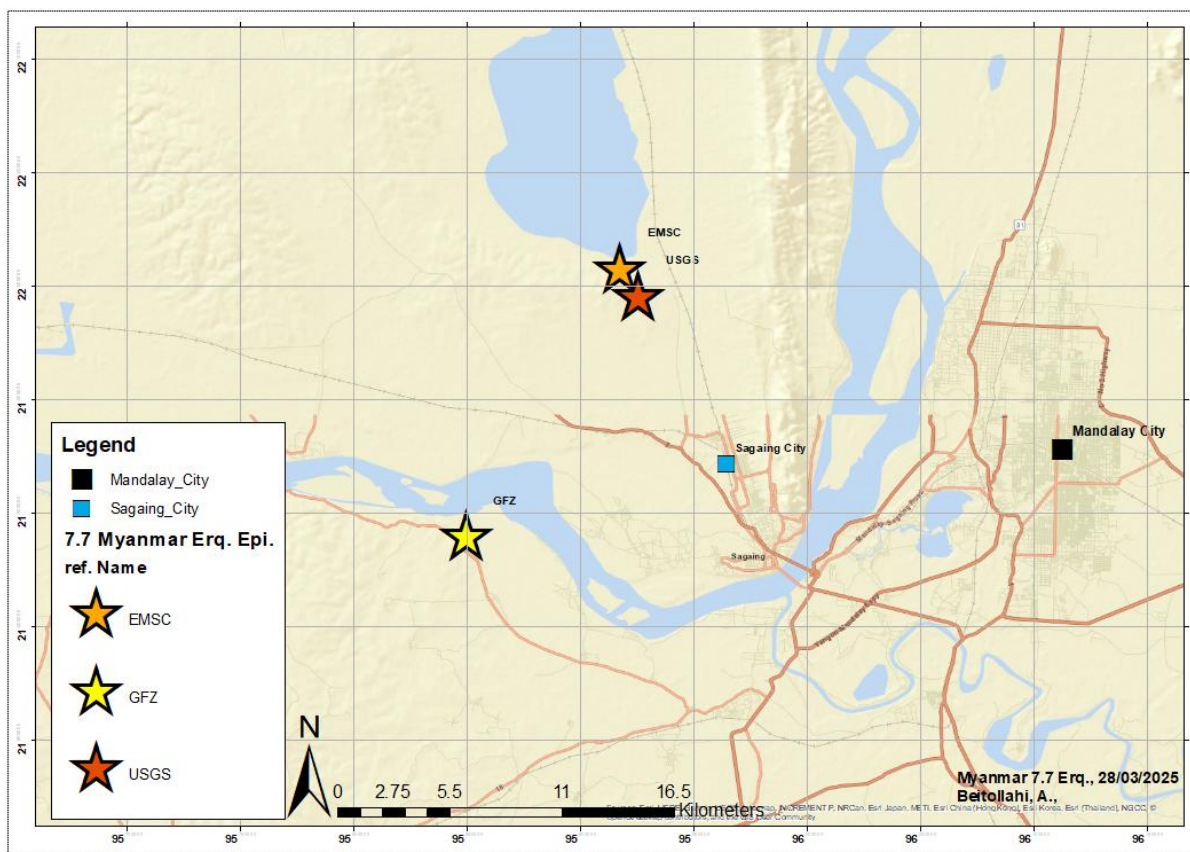
در شکل ۱ تغییر جهت ۹۰ درجه ای رودخانه ایراودی در محدوده شهر ساگایینگ شایان توجه است. گسل ساگایینگ نیز بدلیل مسیر گذر آن از محدوده شهر ساگایینگ به این نام نامیده شده است.

شهر بزرگ ماندالای بدلیل بزرگ و پرجمعیت بودن مهمترین سکونتگاه شهری محدوده کانونی زلزله ذکر شده است، هر چند که رومرکزهای تعیین شده به شهر ساگایینگ نزدیکتر است اما بدلیل بزرگ و پر اهمیت تر بودن شهر ماندالای، زلزله ۲۸ مارس ۲۰۲۵ میانمار از طرف مولف این نوشتار به نام زلزله ماندالای نامیده شده است.

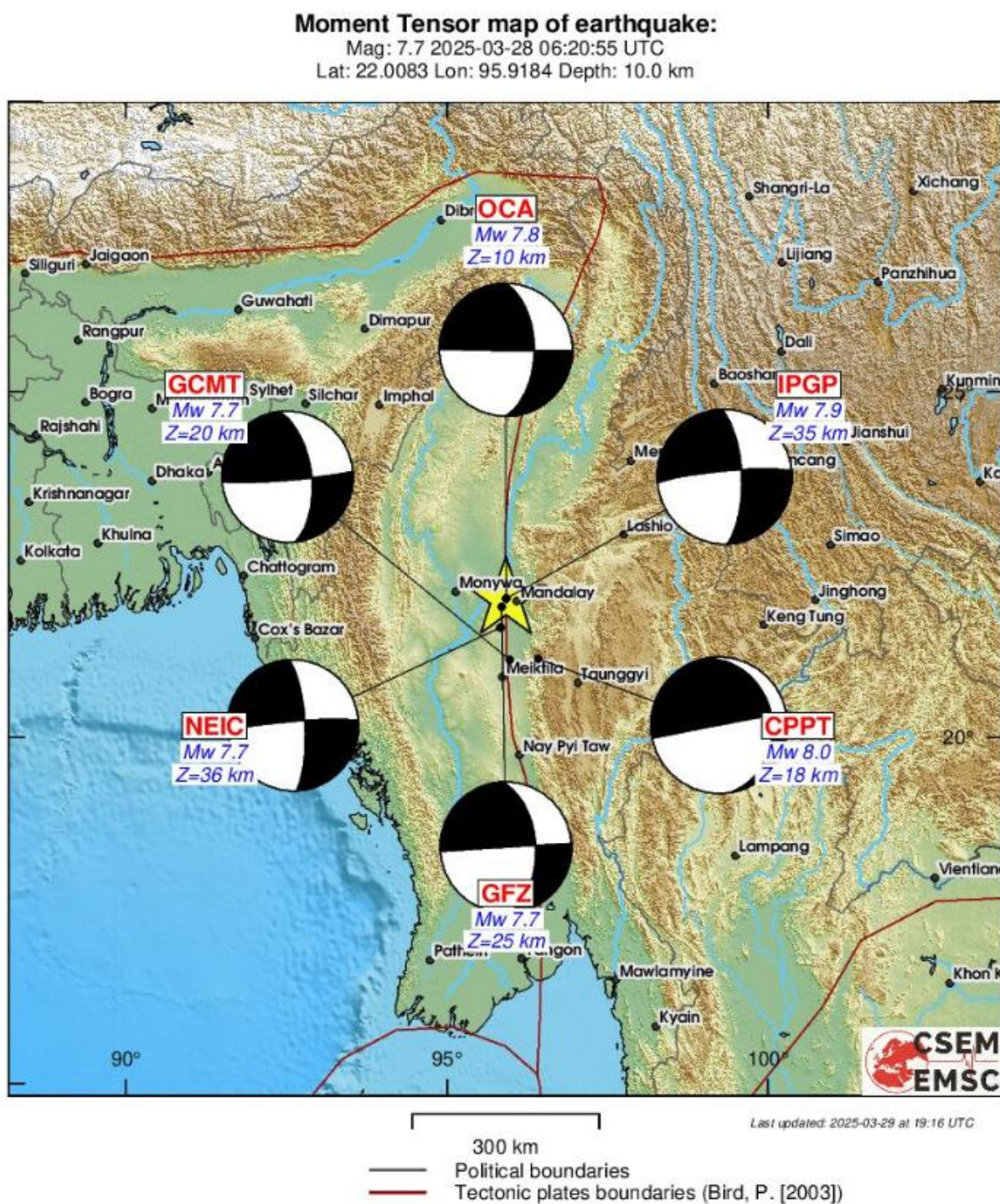
جمعیت شهر ساگایینگ حدود ۷۰,۰۰۰ تا ۱۰۰,۰۰۰ نفر و جمعیت منطقه ساگایینگ (شامل شهرها و مناطق اطراف) بیش از ۵۰۰,۰۰۰ نفر برآورد شده است. شهر ساگایینگ یکی از مراکز مهم فرهنگی و مذهبی در میانمار است و به دلیل وجود معابد و صومعه‌های بودایی مشهور می باشد.

رومرکز زلزله ۷.۷ میانمار، حدود ۱۶ کیلومتری شمال-شمال غربی شهر ساگایینگ و ۱۹ کیلومتری شمال غربی شهر ماندالای واقع شده است. پس‌لرزه‌ای به بزرگی ۶.۴ در مقیاس ریشتر در عمق ۱۰ کیلومتری در همان منطقه در ساعت ۰۶:۳۲ به وقت جهانی رخ داد. ساگایینگ محل سکونت ۱.۳ میلیون آواره داخلی است (یک سوم کل آوارگان داخلی در میانمار).

سازوکار کانونی زمین لرزه ۲۸ مارس ۲۰۲۵ میانمار، راستالغز راستگرد تعیین و اعلام شده است. در شکل ۲ سازوکارهای تعیین شده توسط مراجع مختلف برای زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار نشان داده شده است (برگرفته از سایت EMSC).



شکل ۱- رومرکزهای تعیین شده توسط سه مرجع جهانی همراه با مسیر عبور رودخانه ایراودی



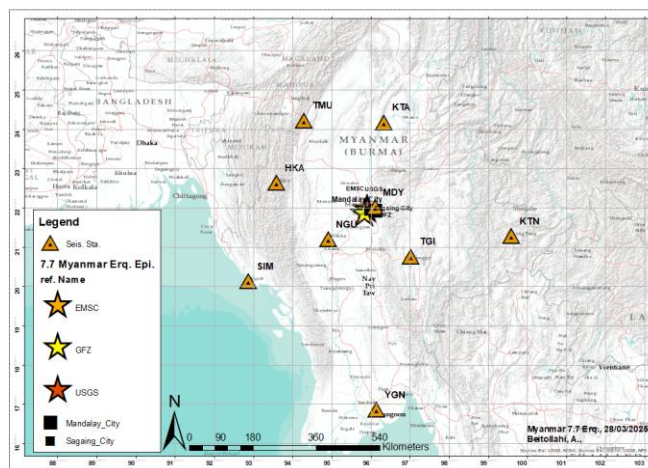
شکل ۲- سازوکارهای تعیین شده توسط مراجع مختلف برای زلزله میانمار

۳- پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها و راستای گسیختگی در زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار

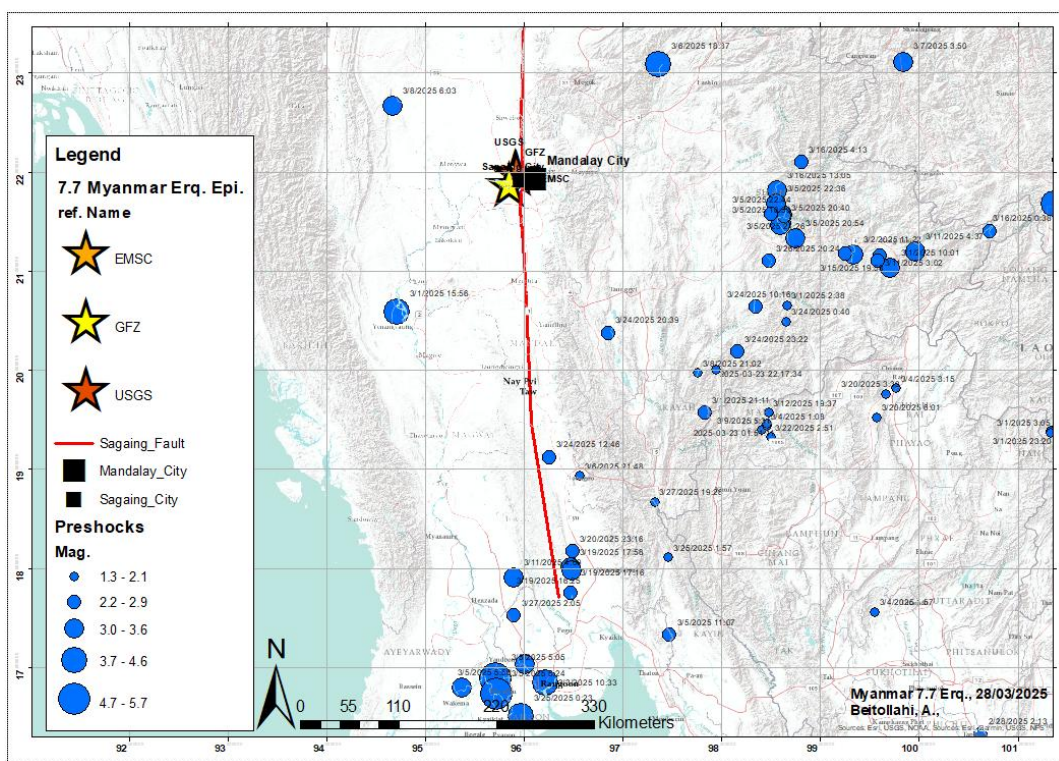
با توجه به مشکل دسترسی به داده‌های لرزه‌ای کشور میانمار، زلزله‌های اطراف محدوده کانونی قبل از رویداد اصلی و بعد آن از دپارتمان هواشناسی، بخش پایش زلزله‌های تایلند (<https://earthquake.tmd.go.th/>) برگرفته شد (در شکل ۳-۱ موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری کشور میانمار که از سایت IRIS برگرفته شده نشان داده شده است ولی دسترسی به نگاشت‌ها و اطلاعات ثبت شده این ایستگاه‌ها برای نگارنده علیرغم ارسال ایمیل میسر نشد). قبل از رویداد اصلی، زلزله‌های تا یکماه قبل در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. روی سمبل‌های دایره‌ای شکل زلزله‌ها قبل از رویداد اصلی، تاریخ وقوع آنها درج گردیده که در نقشه تهیه شده قابل مشاهده است. در محدوده‌های نزدیک به رومرکز رخدادی که بتوان بعنوان پیش‌لرزه تلقی نمود حداقل بر اساس داده‌های مرجع گزارش‌کننده تایلند قابل استنباط نیست. در انتهای جنوبی گسله ساگایینگ چند رخداد بصورت مجاور هم در ۱۰ روز منتهی به روز وقوع زمین‌لرزه ۷.۷ ثبت شده است که احتمالاً معرف رهایی اولیه تنش در لبه جنوبی گسل مسبب زلزله میانمار بوده که در نهایت منجر به رویداد اصلی می‌شود.

با وقوع زلزله اصلی و بر اساس داده‌های سایت بخش پایش زلزله‌های تایلند، پس‌لرزه‌های متعددی رخ داده است که تا زمان تدوین این بخش از گزارش نزدیک به ۴۰۰ پس‌لرزه ثبت شده است (<https://earthquake.tmd.go.th/>). ۹ پس‌لرزه براساس مقیاس محاسباتی مورد استفاده در تایلند، ۵ و بزرگتر از ۵ هستند. در شکل ۴ توزیع پس‌لرزه‌های زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار نشان داده شده است. جهت یافتگی شمال به جنوب پس‌لرزه‌ها در طول ۴۰۰ کیلومتر در نقشه تهیه شده توزیع پس‌لرزه‌ها نمایان است که این الگوی پخش پس‌لرزه‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای با روند گسله امتداد لغز ساگایینگ سازگار است.

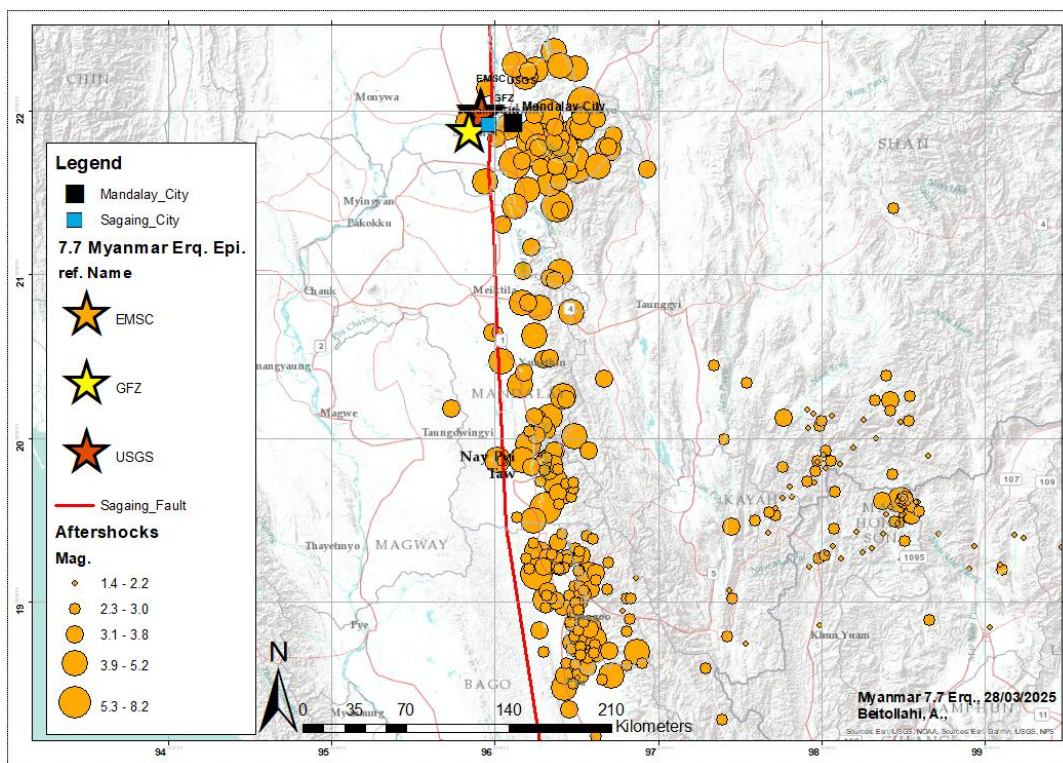
در شکل ۵ توزیع پس‌لرزه‌های زلزله ۷.۷ میانمار براساس بزرگا (سایز نمادهای دایروی شکل) و بر اساس زمان رخداد (از رنگ روشن به تیره معرف پس‌لرزه‌های قدیمی‌تر به جدید است) نشان داده شده است. در انتهای جنوبی محدوده توزیع پس‌لرزه‌ها، پس‌لرزه‌های عمدتاً جدید از نظر زمانی رخ می‌دهد که این امر معرف سمت و سوی گسیختگی از محدوده رومرکز رخداد اصلی به سمت جنوب است (جهت فلش در شکل ۵).



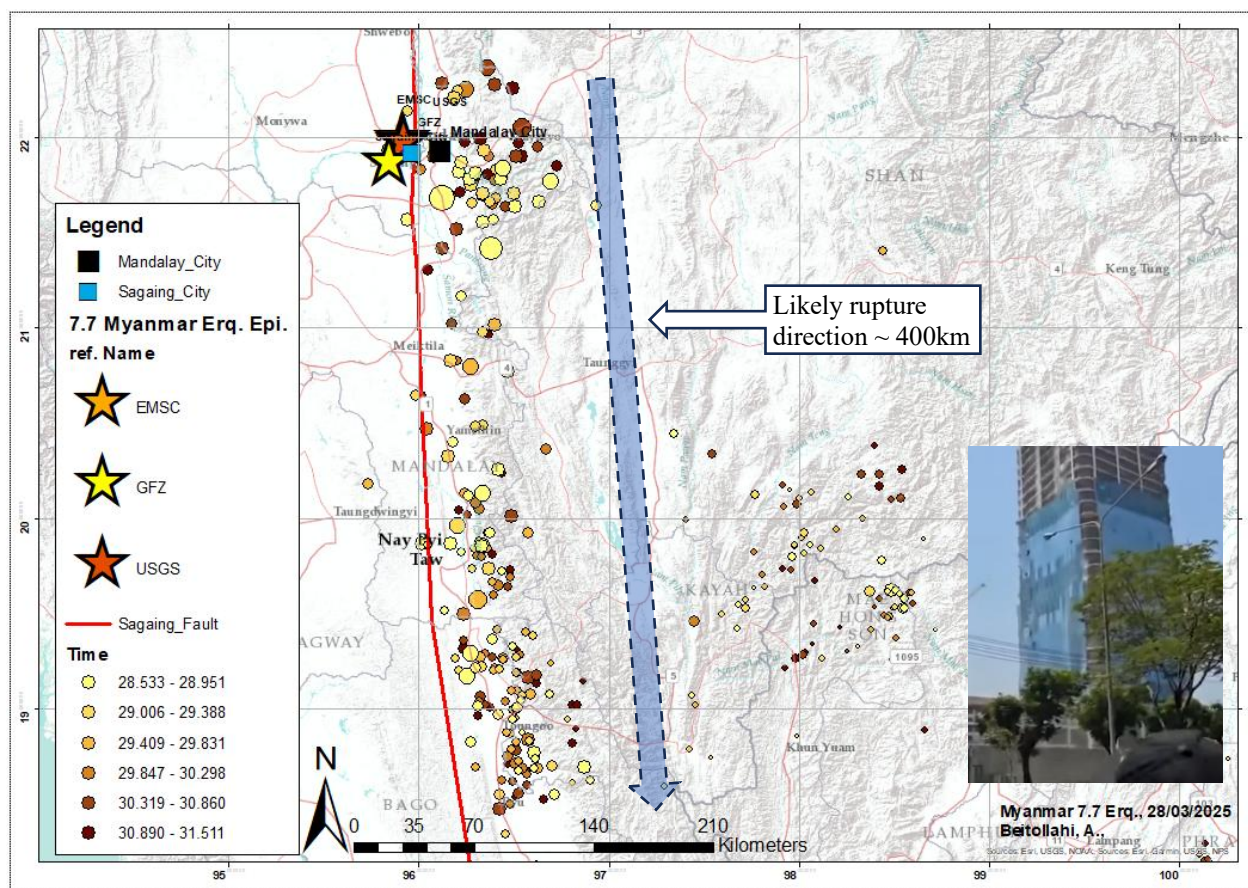
شکل ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری کشور میانمار (برگرفته شده از IRIS)



شکل ۳-۲- زلزله های یک ماه پیش از رخداد رویداد اصلی ۲۸ مارس ۲۰۲۵ میانمار



شکل ۴- توزیع پس‌لرزه های زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵

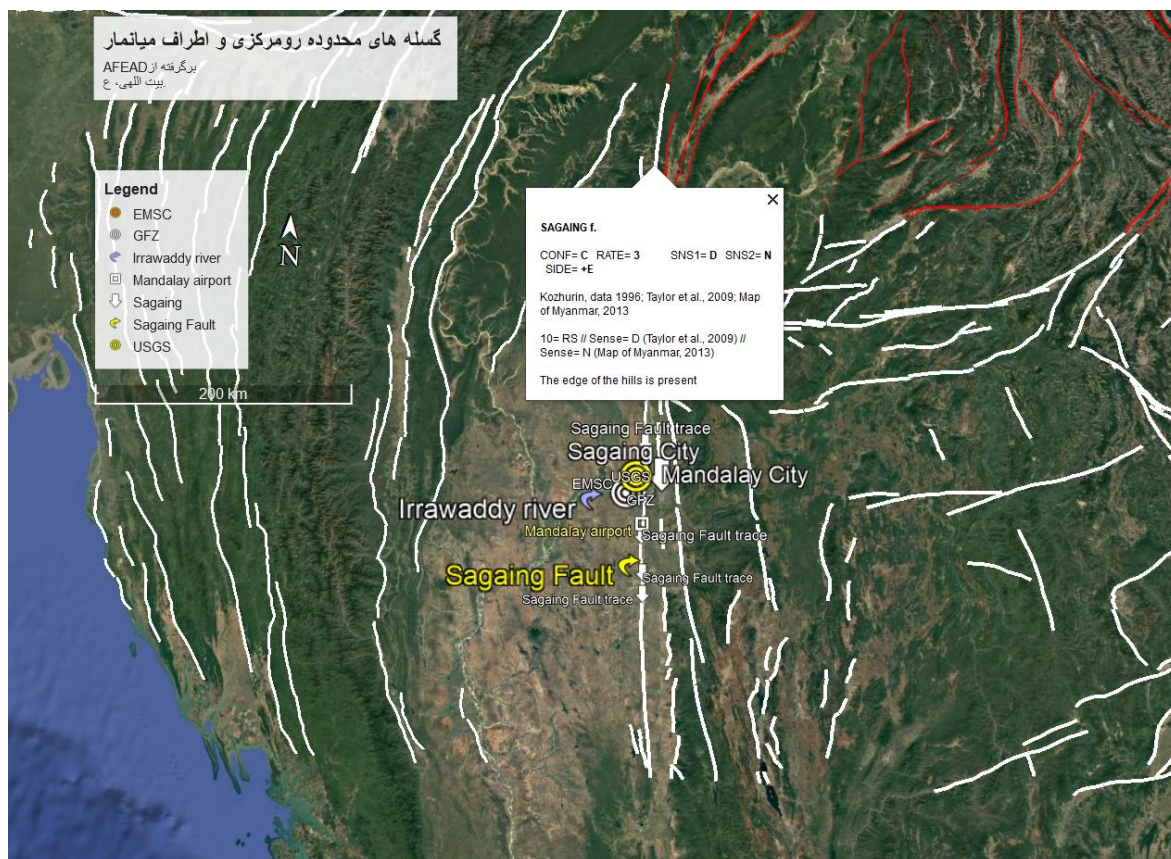


شکل ۵- توزیع زمانی پس‌لرزه‌های زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵ (رنگ تیره پس‌لرزه‌های جدیدتر و سایز دایره‌ها معرف بزرگی پس‌لرزه‌ها هستند)

۴- گسل مسبب زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار و تفسیر گسیختگی آن

براساس موقعیت رومرکز های زلزله ۷.۷ ماندالای (شکل ۱)، توزیع پس لرزه های آن رویداد (شکل های ۴ و ۵) و با توجه به موقعیت گسله های محدوده که براساس فایل رقومی برگرفته شده از پایگاه داده گسله های فعال اوراسیا، سایت AFEAD، Active Faults of Eurasia Database AFEAD، برای بخش شمالی میانمار که رومرکز زلزله ۷.۷ ماندالای نیز در آن واقع می گردد (شکل ۶) و با برهم نهی آنها، مشخص می شود که موقعیت رومرکز ها و پس لرزه ها با امتداد گسله ساگایینگ همخوانی واضحی پیدا می کند و لذا می توان گسل ساگایینگ را گسله مسبب زلزله ۷.۷ میانمار نامید.

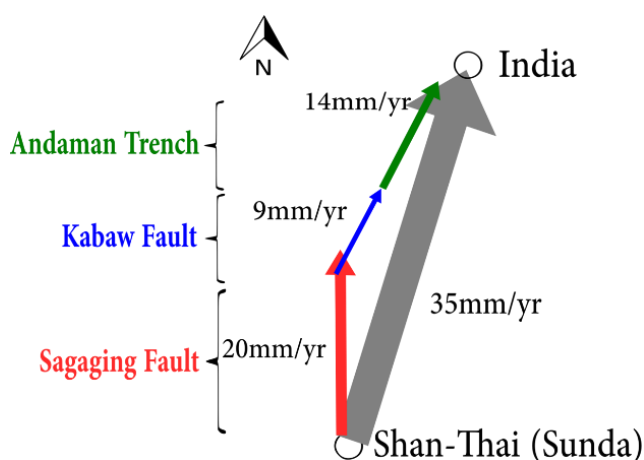
گسل ساگایینگ گسلی است طویل به طول تقریبی ۱۲۰۰ کیلومتر که از جنوب تا شمال کشور میانمار امتداد دارد. سازوکار گسل، راستالغز راست بر بوده و مکانیسم تشکیل آن در واقع جبران تنش حاصلی از راندگی صفحه هند به سوی شمال است. عبارت دیگر صفحه هند در همگرایی به اوراسیا لبه انتهایی شرقی خود را نیز با خود کشیده و منجر به ایجاد گسلش با سازوکار امتداد لغزی ساگایینگ می گردد.



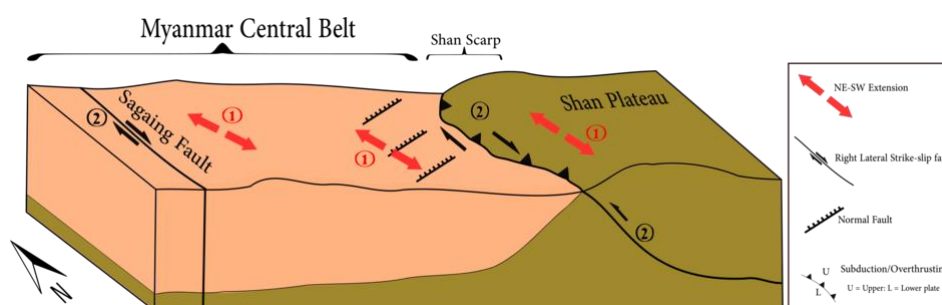
شکل ۶- موقعیت سه رومرکز تعیین شده برای زلزله ۷.۷ میانمار و گسله های محدوده براساس AFEAD

در شکل های ۷ و ۸ شماتیکی از دینامیسم پلایت ها و میکروپلایت های محدوده میانمار و اطراف نشان داده شده است. نرخ لغزش تعیین شده برای گسله امتداد لغز ساگایینگ بطور قابل ملاحظه ای بالاست و در نگاه کلی، می توان محدوده را یکی

از پویاترین نواحی پوسته زمین برشمرد (Socquet et al. 2006 و برتراند و همکاران ۲۰۰۳).

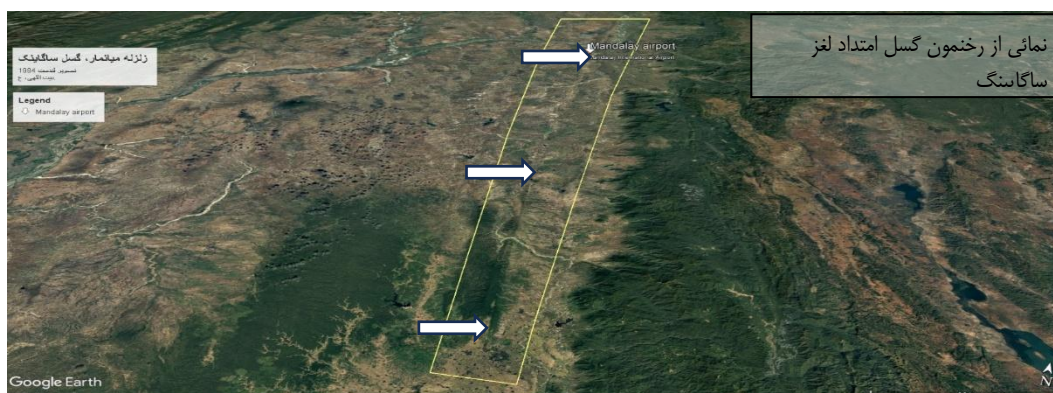


شکل ۷- حرکت صفحه هند صفحه و شان تای (ساندا)



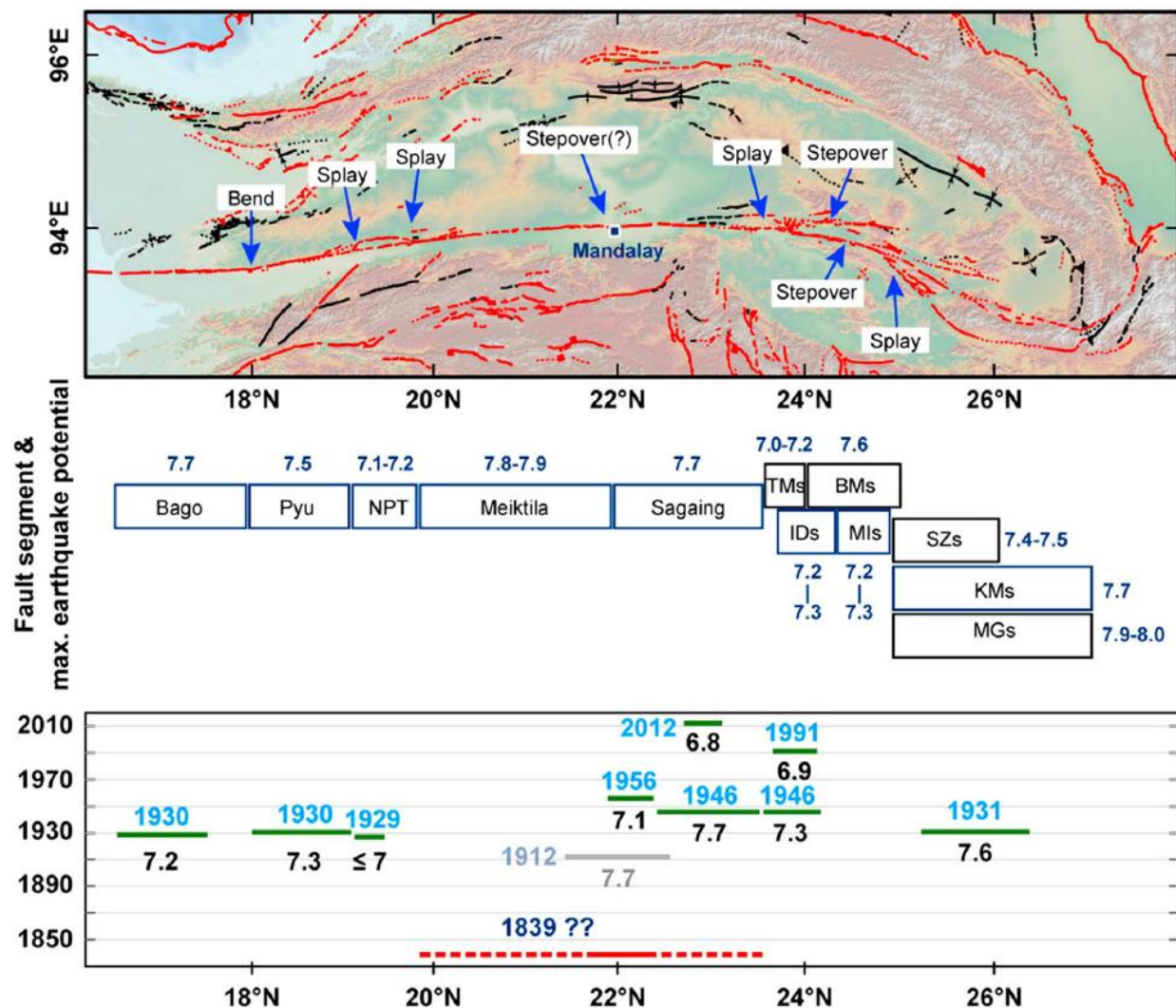
شکل ۸- تغییر شکل زمین ساختی در امتداد فلات شان و گسل ساگینگ

در شکل ۹ رد گسله ساگایینگ (Sagaing Fault) بر روی تصویر ماهواره ای لندست قابل مشاهده و تشخیص است. گسل ساگایینگ بعنوان گسل مسبب زلزله های به بزرگی ۷.۷ در سال ۱۹۴۶ و زلزله ای به بزرگی ۶.۸ ریشتر در سال ۲۰۱۲ نیز بوده است.



شکل ۹- رد گسله ساگایینگ روی تصاویر ماهواره ای محیط google earth

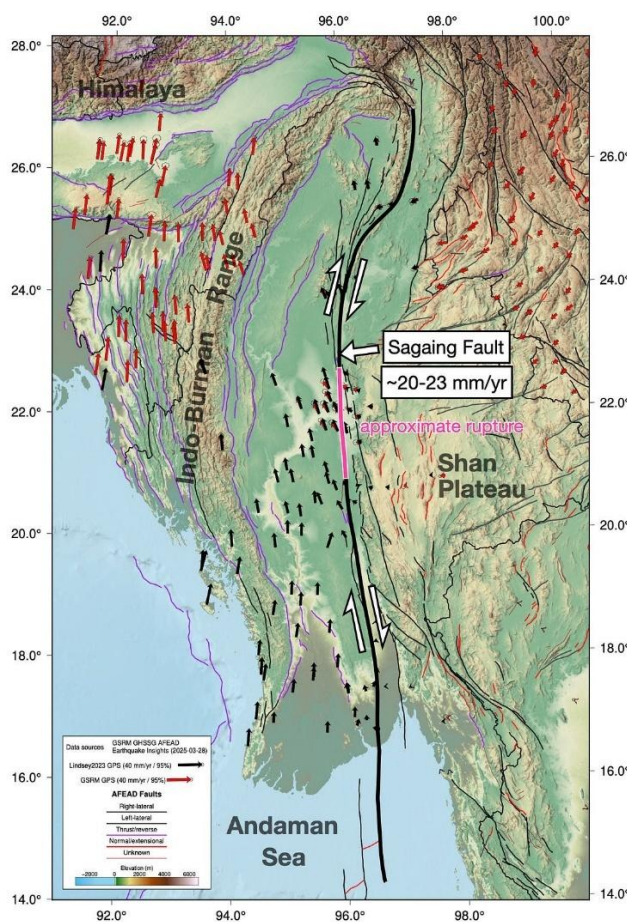
گسل ساگایینگ از مجاورت شهر یانگون (بزرگترین شهر)، نای پی تاو (پایتخت) و ماندالای بعنوان دومین شهر بزرگ کشور میانمار می‌گذرد. وانگ و همکاران (۲۰۱۴) محدوده‌های احتمالی گسیختگی‌های قبلی را در شکل ۱۰ گردآوری کرده‌اند. به نظر می‌رسد که زلزله ۷.۷ ماندالای، رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵، همراه با گسیختگی بخش‌هایی از قطعات میکتیلای و ساگایینگ بوده است. حد شمالی گسیختگی تقریباً با انتهای جنوبی زلزله ۶.۸ در سال ۲۰۱۲ مطابقت دارد. شکل ۱۰، لرزه خیزی بالای راستای گسلی ساگایینگ را بوضوح نشان می‌دهد. در این شکل splay ها و stepover های مرتبط با گسله ساگایینگ نیز قابل مشاهده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۴).



شکل ۱۰- نقشه و نمودار بزرگی‌های بالقوه حداکثر زلزله (M_w) مرتبط با سگمنت‌های گسل ساگایینگ. (وانگ و همکاران ۲۰۱۴) به نظر می‌رسد گسیختگی سال ۲۰۲۵ حداقل بخشی از گپ لرزه‌ای بین نواحی گسیختگی ۱۹۲۹ و ۱۹۵۶ را پر کرده است که گسیختگی مذکور توسط نوبو هوریکاوا و فیو ماونگ ماونگ در سال ۲۰۱۱، شناسایی شد. گسیختگی ناشی از زمین لرزه ۷.۷ ماندالای ۲۸ مارس ۲۰۲۵ ظاهراً با چندین گسیختگی گذشته نیز همپوشانی دارد. به طور خاص، زمین لرزه بزرگ آوا در

یکی از جنبه‌های زمین‌لرزه‌های حاصل از گسله‌های راست‌الغز این است که در حالی که تنش را بر روی قطعه‌ای از گسل که گسیخته شده است، کاهش می‌دهند، از دیگر سو تنش را بر روی قطعات مجاور افزایش می‌دهند و در برخی موارد بر روی گسل‌های دیگر در منطقه نیز تأثیر می‌گذارند. این فرآیندی است که در فوریه ۲۰۲۳ در ترکیه شاهد آن بودیم، زمانی که یک زلزله ۷.۸ م باعث ایجاد زلزله ۷.۵ م در یک گسل مجاور نه ساعت بعد شد (زلزله‌های بازارچیک و البیستان، Judith and Kyle, Earthquake Insights)

براساس داده های GPS، گسل ساگایینگ به طور متوسط نرخ لغزشی معادل ۲۰ میلی متر در سال را دارد. در شکل ۱۱، سرعت های GPS جمع آوری شده از نقشه نرخ کرنش جهانی (Kreemer et al., 2014) و (Lindsey et al., 2023) ترسیم شده است. فلش ها حرکت میانگین زمانی نشان می دهند. حرکت راستالغز گسل ساگایینگ به ویژه از فلش های سیاه مشخص است (مناطق غربی گسل نسبت به مناطق شرقی به سمت شمال حرکت می کنند).



شکل ۱۱- گسل ساگاینک و ژئودینامیسم محدوده در ایستگاه‌های GPS.

یکی از خصوصیات گسله ساگایینگ نداشتن شاخه‌های فرعی بلند و مسیر مستقیم و ساده آن است (البته splay ها و stepover های کوچکی در رد گسلی ساگایینگ قابل مشاهده است). این خصیصه چنین تصور را بوجود می‌آورد که در امتداد این گسل احتمال رخداد زلزله‌های بزرگ بمراتب بیشتر از گسله‌های راستالغز با فرم پخش شدگی است، زیرا گسیختگی‌های این گسله با پرش‌ها یا انحراف‌های بزرگ همراه نیست که بتوانند بخشی از تنش را رها و از افزایش و تجمع تنش ممانعت بعمل آورد.

۴-۱- نتایج مطالعات دورسنجی در خصوص گسل مسبب زلزله میانمار و جابجائی سطحی آن

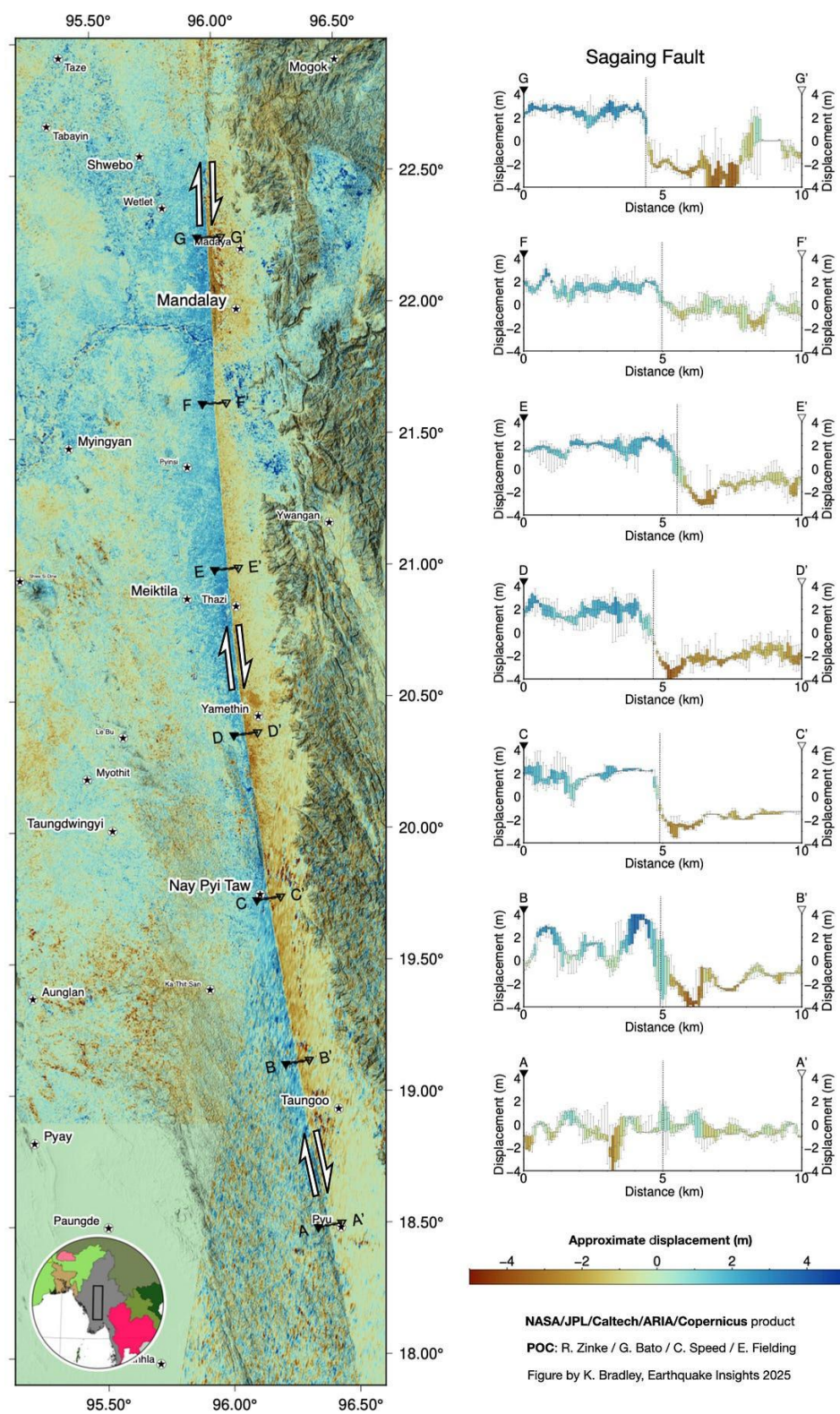
نتایج اولیه پردازش‌های دورسنجی یک گسیختگی سطحی واضح بین Penwagon (18.2°N) و Kyauk-Myaung (~22.6°N) را نشان می‌دهد که فاصله‌ای در حدود ۵۰۰ کیلومتر است. شکل ۱۲ حرکت پیکسل‌های آبی به سمت شمال و پیکسل‌های قرمز به سمت جنوب را نشان می‌دهد که معرف راست بر بودن گسل امتداد لغز ساگایینگ است (Data credit: NASA/JPL/Caltech/ARIA/Copernicus Product. POC: R Zinke/G Bato/C Speed/E Fielding).

در شکل ۱۳، نتایج پردازش‌های دورسنجی دیگری نشان داده شده است که توسط زیکسین لی (دانشگاه ملی تایوان) تهیه شده است، نتایج، تخمینی از میزان لغزش در طول گسل را نیز شامل می‌شود که به ۴-۵ متر می‌رسد و در بیشتر طول گسیختگی بیش از ۳ متر لغزش در سطح نشان می‌دهد.

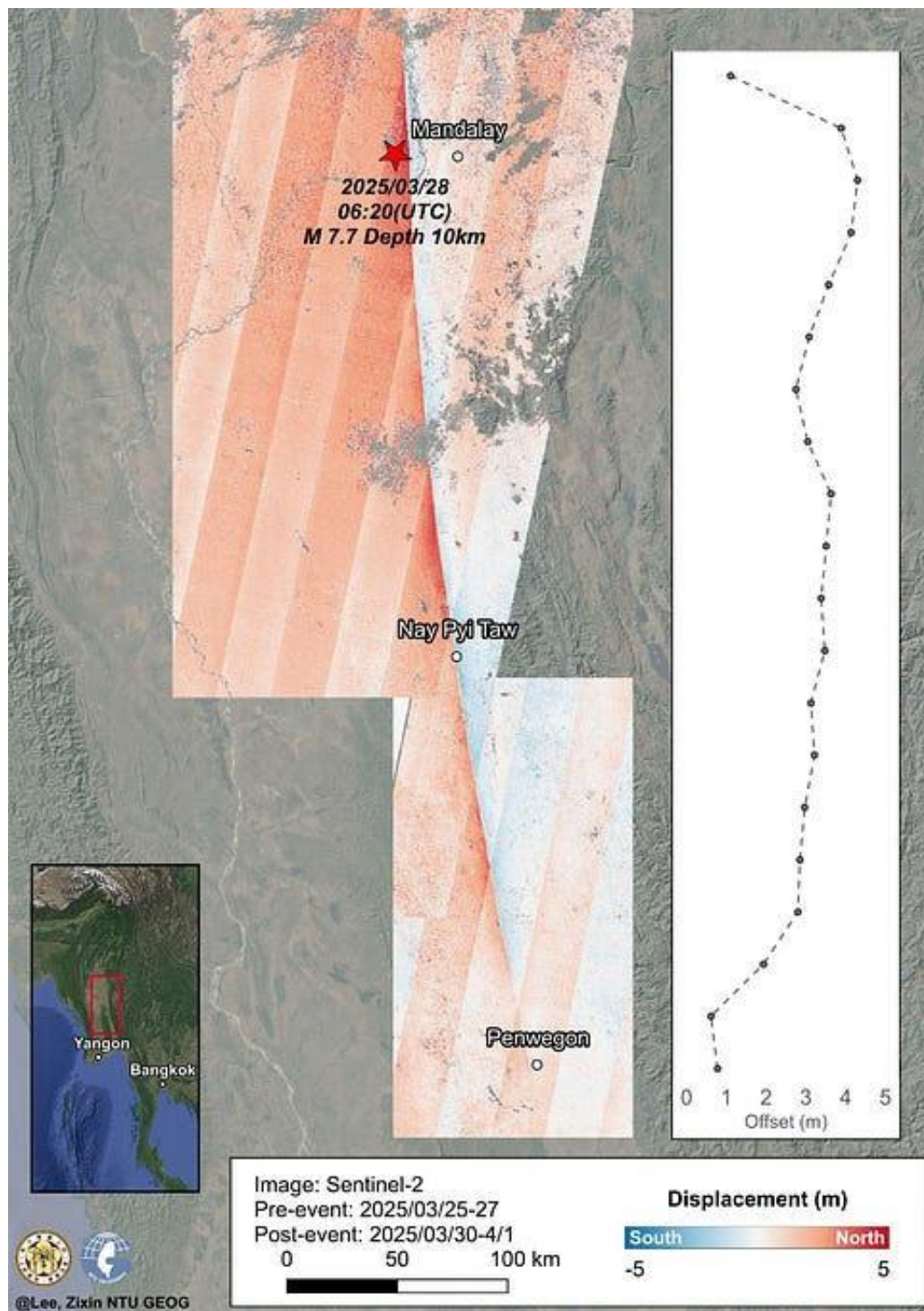
(Zixin Lee, National Taiwan University, <https://bsky.app/profile/zaxonlee.bsky.social/post/3llqwblz4ae23>)

در شکل ۱۴ نتایج دانشگاه تایوان (لی، ۲۰۲۵) با مدل لغزش USGS برهم‌نهی و مقایسه شده است (Judith and Kyle from Earthquake Insights). جابجائی در سگمنت جنوبی گسل ساگایینگ پس از کاهش مقادیر آن در سگمنت‌های میانی، شایان توجه است. این امر با رخداد پس‌لرزه‌های زلزله ۲۸ مارس ۲۰۲۵ ماندالای هم‌بنوعی سازگاری نشان می‌دهد و احتمالاً معرف اثرات فرابرسی در راستای گسله طویل امتداد لغز ساگایینگ است.

نتایج آنالیز اولیه تصاویر ماهواره‌ای اپتیکی سنتینل ۲ توسط مرکز علوم زمین GFZ (معتق و همکاران) نیز به وضوح افست ایجاد شده و جابجایی سطحی ناشی از گسیختگی در راستای گسل مسبب زلزله ۲۸ مارس میانمار با بزرگای ۷.۷ را به تصویر میکشد. در شکل ۱۵ جابجائی افقی بیش از ۲ تا ۳ متر قابل مشاهده است.

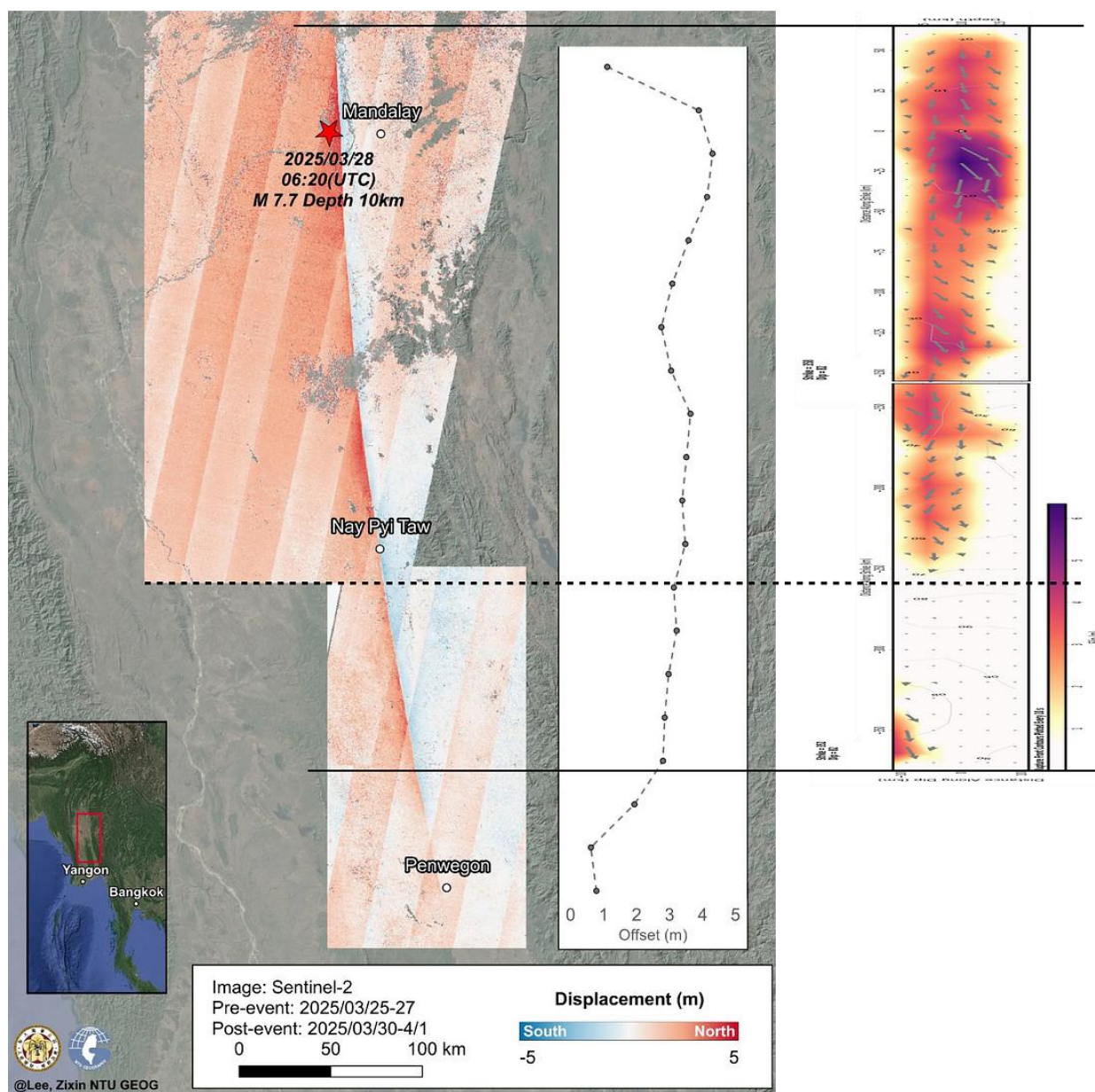


شکل ۱۲- جابجائی سطحی در امتداد گسل ساگایینگ براساس ارزیابی‌های دورسنجی (مرجع در گوشه سمت راست تصویر درج شده است)

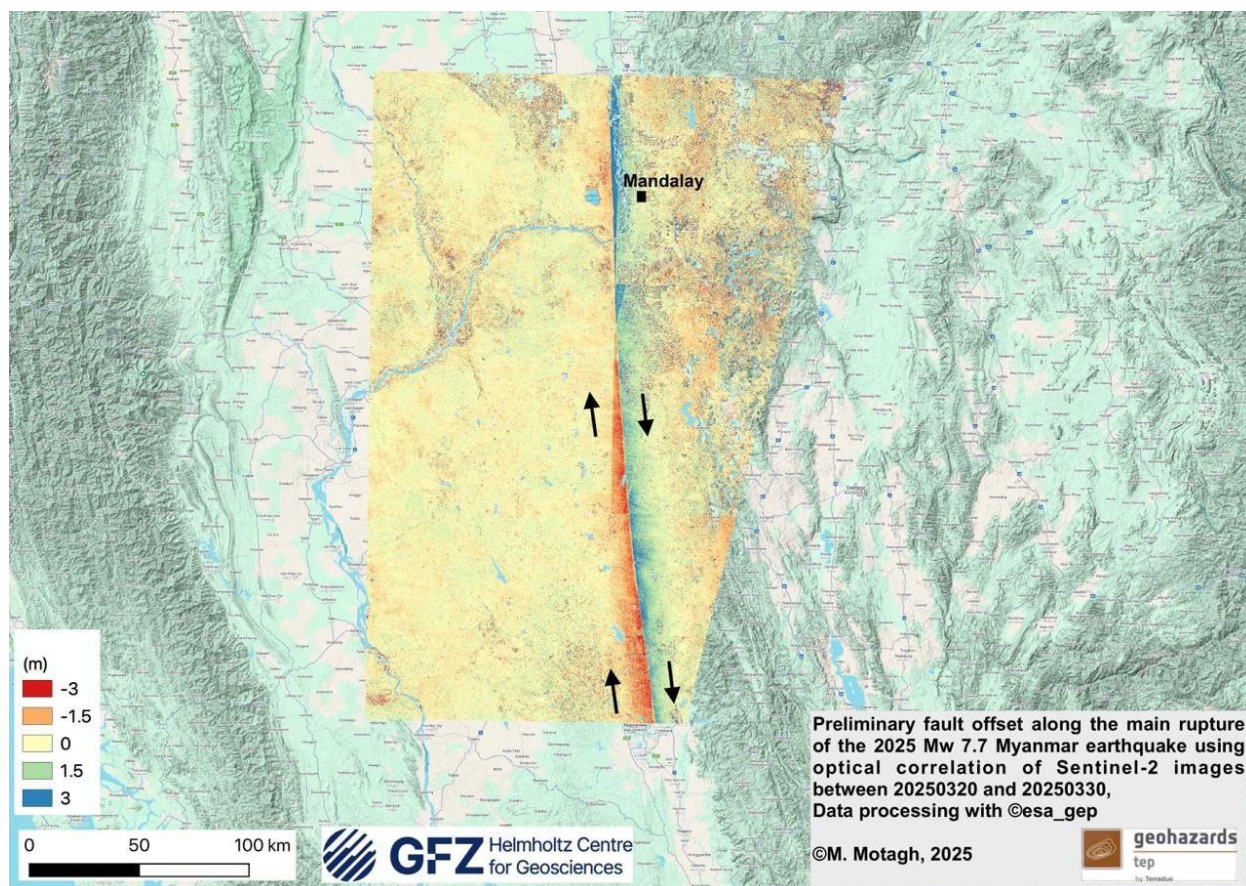


شکل ۱۳- نتایج ارزیابی های دورسنجی (دانشگاه ملی تایوان) پیرامون جابجائی سطحی در راستای گسل مسبب زمین لرزه ۷.۷ میانمار
 رخداد ۲۸ - ۰۳ - ۲۰۲۵

Zixin Lee, National Taiwan University, at: <https://bsky.app/profile/zaxonlee.bsky.social/post/3llqwblz4ae23>



شکل ۱۴- مقایسه جابجائی محاسبه شده توسط زیگسین لی با مدل لغزش USGS.

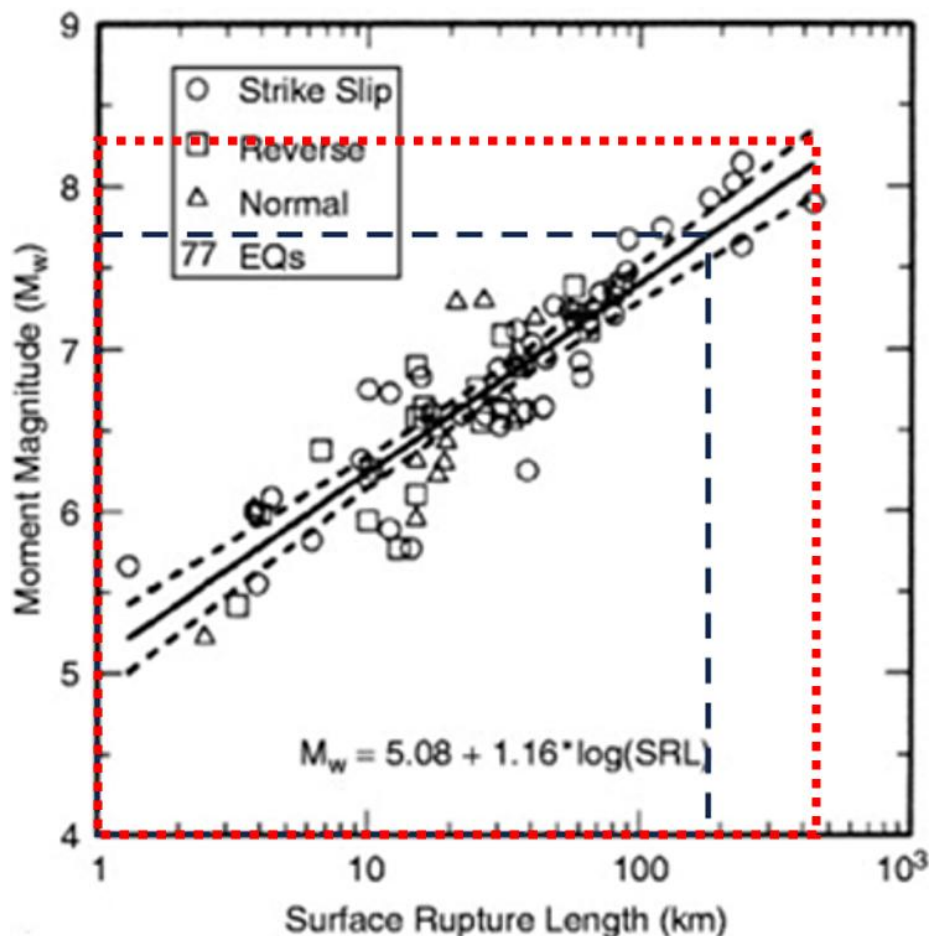


شکل ۱۵- نتایج دورسنجی مرکز GFZ آلمان در محدوده مهلرزه ای رویداد ۷.۷ میانمار و راستای گسلی ساگایینگ (در شکل ادامه جابجائی در راستای گسل ساگایینگ در سوی جنوبی نشان داده نشده است)

۲-۴- تحلیلی بر جابجائی صورت گرفته در راستای گسل ساگایینگ در زلزله ۷.۷ میانمار

توزیع پس‌لرزه‌های زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵ که در شکل ۴ این گزارش نشان داده شده است و همچنین دانشی که از گسله‌های محدوده میانمار و بویژه گسله امتداد لغز راست بر ساگایینگ با طول تقریبی بیش از ۱۲۰۰ کیلومتر و نرخ لغزش حدود ۲۰ میلی‌متر در سال (شکل‌های ۶، ۷، ۹ و ۱۰) و نیز با توجه به نتایج پردازش‌های دورسنجی (شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵) نشان می‌دهد که طول گسیختگی و جابجائی در راستای گسل مسبب زلزله، به بیش از ۴۰۰ کیلومتر می‌رسد، این در حالی است که بر اساس روابط تجربی متعدد بین بزرگای زلزله و طول گسیختگی، برای زلزله ۷.۷ میانمار، طول گسیختگی بمراتب کمتر و کمتر از ۲۵۰ کیلومتر بدست می‌آید. در شکل ۱۶ نمودار تجربی ولز-کوپراسمیت برای گسیختگی‌های سطحی و رابطه آنها با بزرگای زلزله نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که طول گسیختگی سطحی برای زلزله ۷.۷ بازه ۹۰ تا ۲۵۰ کیلومتر را تخمین می‌زند که با داده‌ها و ارزیابی‌های انجام گرفته روی زلزله ۲۸ مارس ۲۰۲۵ میانمار تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد (هرچند که می‌دانیم روابط تجربی دارای تقریب و براساس داده‌های تجربی

و موجود، مورد استفاده می‌باشند و نمی‌توانند بطور روشن مبنایی برای استنتاج دقیق باشند).



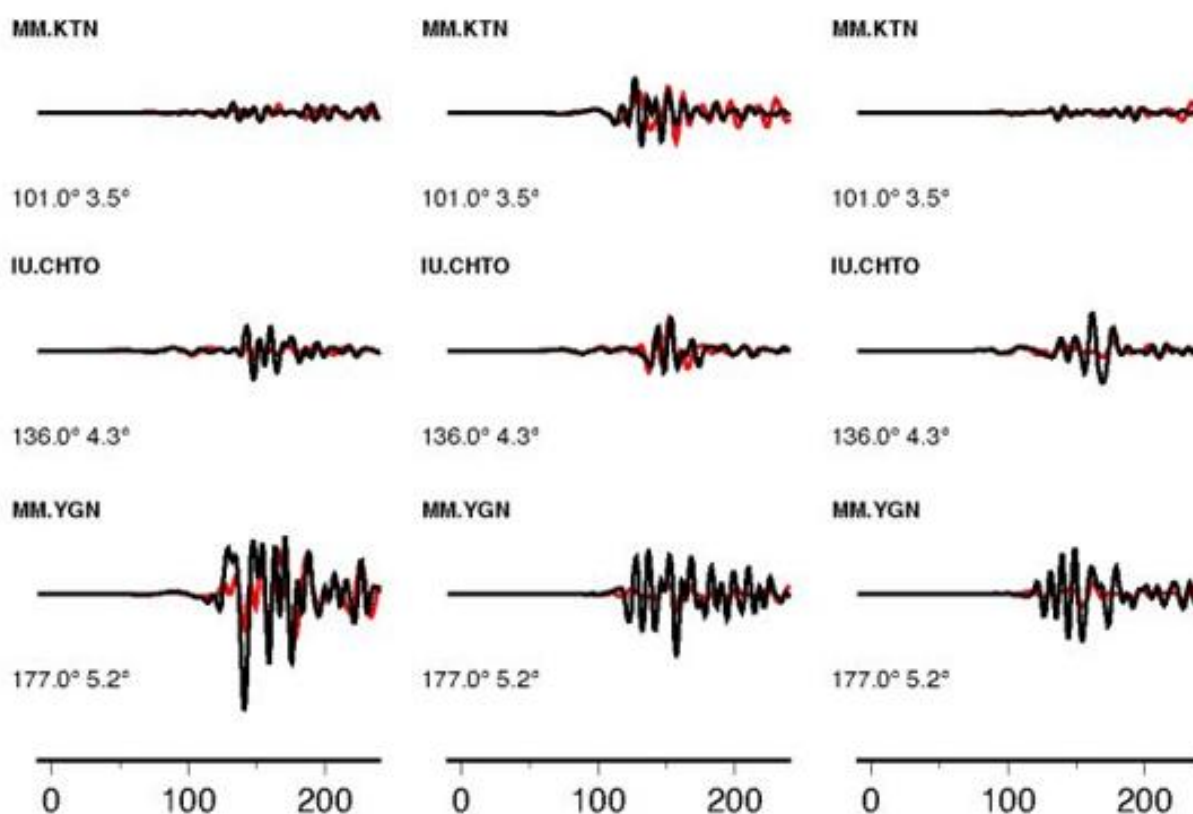
شکل ۱۶- نمودارهای تجربی ولز-کوپراسمیت برای گسیختگی‌های سطحی گسله‌های مختلف و رابطه آنها با بزرگای زلزله (در شکل معادل گسیختگی زلزله ۷.۷ میانمار و بزرگای مورد انتظار آن بصورت دو خط چین مشکی و قرمز نشان داده شده است)

براساس مطلبی که جیا در linkedin منتشر کرده است (Research Assistant Professor at UTIG, UT Austin, Zhe Jia, <https://www.linkedin.com/in/zhe-jia-205b427b>) که بنظر می‌رسد به داده‌های زلزله‌های ۷.۷ دسترسی داشته‌اند) دسترسی به سایت <http://www.dmh.gov.mm/> بعنوان سایت رسمی داده‌های سری زمانی زلزله‌های کشور میانمار توسط مولف پس از چندین بار تلاش میسر نبود، لازم بذکر است که در آخرین روز تدوین گزارش پیش‌رو، سایت مذکور قابل دسترسی شد ولی داده مشخصی از این رخداد ماندالای قابل برگرفتن از آن نبود. طول رکورد سری زمانی در ایستگاه یانگون واقع در انتهای جنوبی گسله ساگایینگ، ۹۰ ثانیه برآورد شده است و با توجه به طول حدود ۴۵۰ کیلومتری گسیختگی، سرعت گسیختگی حدود ۵ کیلومتر در ثانیه بدست می‌آید. جیا، شکل رکوردهای ایستگاه یانگون YGN را نشان داده است که در شکل ۱۷ قابل مشاهده است.

ایستگاه‌های MM KTN (شرق رومرکز زلزله ۷.۷ ماندالای) و MM YGN (جنوب رومرکز زلزله ۷.۷ ماندالای) در کشور میانمار بوده که در شکل ۳-۱ این گزارش موقعیت آن نشان داده شده است.

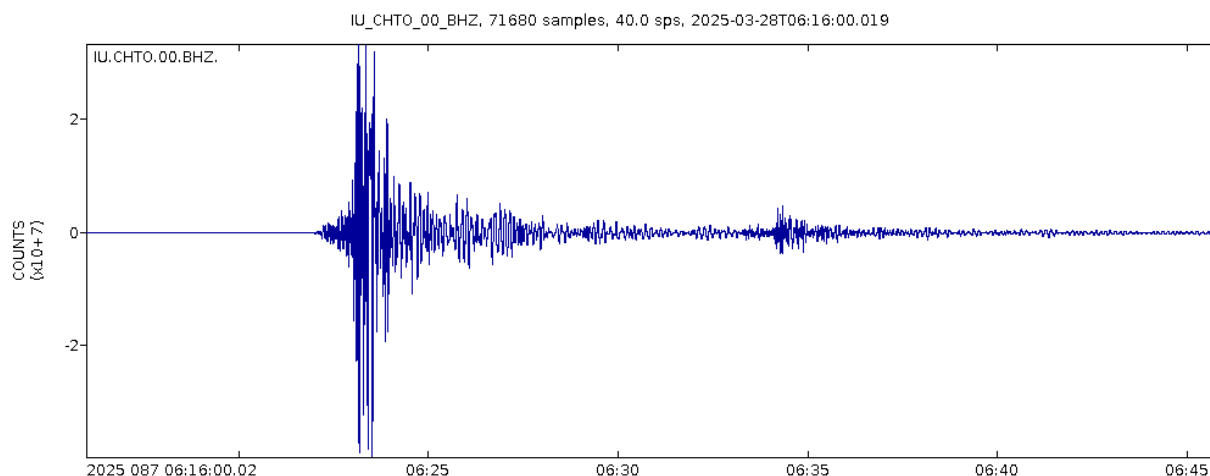
ایستگاه IUCHTO (لرزه نگاری و شتابنگاری <https://earthquake.usgs.gov/monitoring/operations/stations/IU/CHTO>) ایستگاه واقع در کشور تایلند است. همچنین براساس اطلاعات پایگاه GFZ, GEOFON ایستگاه لرزه نگاری ناپیداو NPW (پایتخت میانمار) نیز دارای رکورد زلزله ۷.۷ بوده که در آن پایگاه منتشر گردیده و اعلام شده که بدلیل قطعی سیگنال GPS زمان واقعی رکورد قابل اعتماد نیست. در شکل ۱۸ رکوردهای مولفه های سه گانه جابجائی ایستگاه NPW نشان داده شده است. در شکل ۱۹ نقشه موقعیت ۴ ایستگاه مذکور که رکوردهای آنها در شکل های ۱۷ و ۱۸ آورده شده، قابل مشاهده است. فاصله ایستگاه ها تا رومرکز زلزله ۷.۷ میانمار، رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵ نیز در روی نقشه درج گردیده است.

Local strong motion

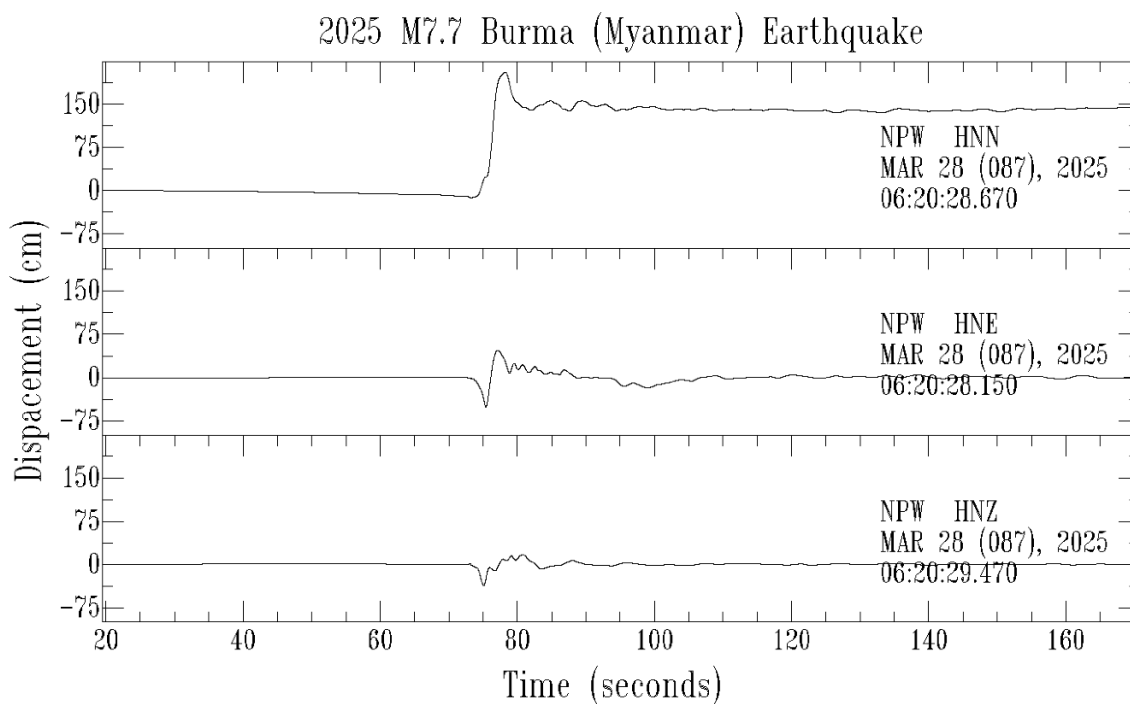


شکل ۱۷- گراف سری زمانی سه ایستگاه KTN, YGN میانمار و ایستگاه CHTO تایلند (براساس مطلب Zhe Jia)

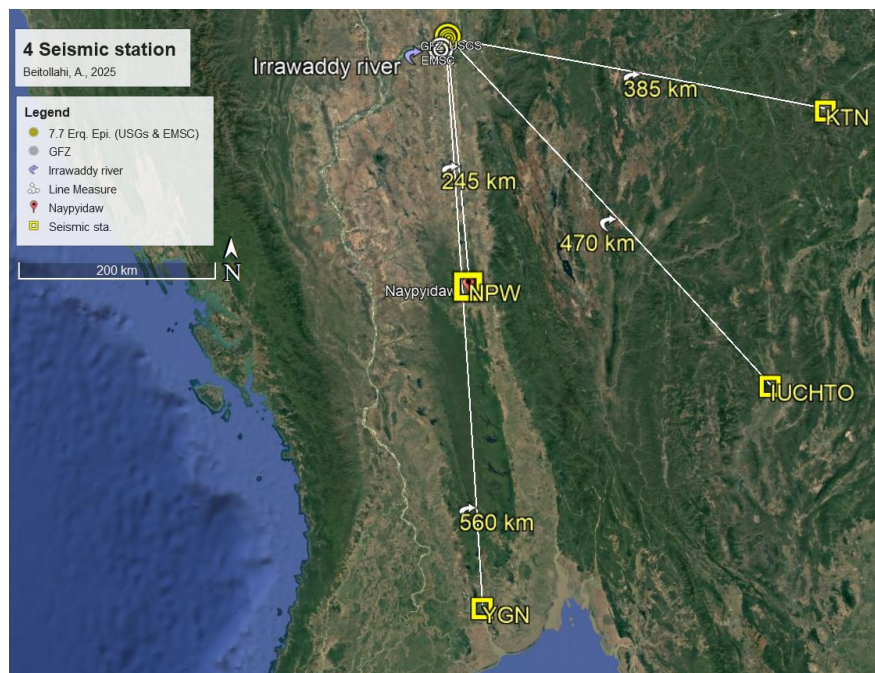
رکورد سایت CHTO کشور تایلند، بصورت مجزا در شکل ۱۷-۱۸ نیز نشان داده شده است (Source: [IRIS Buffer of Uniform Data \(BUD\)](#)).



شکل ۱۷-۱ مولفه عمودی زلزله نگار ایستگاه IU CHTO کشور تایلند با فیلتر پهنا گذر ۰.۱ تا ۵ هرتز



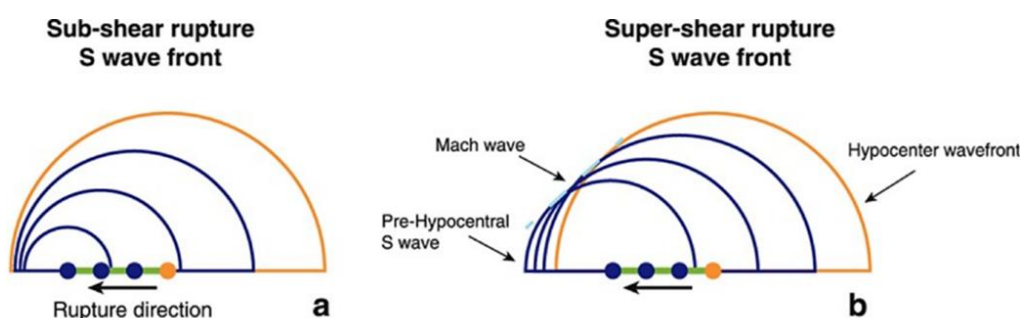
شکل ۱۸- گراف سری زمانی جابجایی ایستگاه ناپیدا NPW میانمار (براساس GFZ GEOFO)



شکل ۱۹- موقعیت ۴ ایستگاهی لرزه نگاری که نکاشت‌های آنها گزارش شده است

بعقیده جیا از دانشگاه تگزاس که رکوردهای سه ایستگاه شکل ۱۷ را پردازش کرده است، رکورد ایستگاه YGN با توجه به قرارگیری آن در راستای گسل امتداد لغز ساگایینگ زمان رسید موج برشی زلزله را بمراتب کمتر نشان می‌دهد. دو سناریوی گسیختگی انتهایی را ارائه می‌دهد، وی دو سناریو برای سرعت موج برشی حاصل از رخداد ۷.۷ ماندالای را مورد بحث قرار می‌دهد ۱- یک گسیختگی طولانی، فوق برشی (تقریباً ۵ کیلومتر در ثانیه) که تا بیش از ۳۵۰ کیلومتر امتداد دارد، و ۲- یک گسیختگی کوتاه‌تر، زیر برشی (تقریباً ۲ کیلومتر در ثانیه) که تا حدود ۱۸۰ کیلومتر امتداد دارد. تنها مدل طولانی فوق برشی، ورود زود هنگام امواج S ثبت‌شده در سه ایستگاه مجزای حرکت قوی به ویژه ایستگاه YGN توجیه می‌کند. زلزله‌های فوق برشی اغلب به دلیل سرعت بالای گسیختگی که انرژی لرزه‌ای را در جلوی جبهه در حال انتشار متمرکز می‌کند (اثر "مخروط ماخ" شکل ۲۰)، لرزش زمین قوی‌تری را در یک منطقه وسیع‌تر ایجاد می‌کنند. این پدیده، تاکید می‌کند که آسیب در محدوده وقوع زلزله و در راستای گسله ساگایینگ می‌تواند به طور قابل توجهی شدیدتر از حد انتظار برای یک رویداد "استاندارد" با بزرگای ۷.۷ باشد. بعقیده جیا، اثر زلزله فوق برشی و تشکیل مخروط باخ که پدیده شبیه شکستن دیوار صوتی و در واقع مشابه یک Sound boom است، می‌تواند فروریختن ساختمان‌های بلندمرتبه در بانکوک در هزار کیلومتری (شکل ۲۱) را توجیه نماید) بنظر مولف این نوشتار، فروریختن ساختمان مرتفع در بانکوک که فیلم آن در فضای مجازی منتشر شده است، بطور عمده بدلیل شرایط ساختمانی و احتمالاً کیفیت ساخت و یا تشکیل طبقه نرم می‌تواند باشد تا اثر زلزله فرابرشی). در میانمار، جایی که زیرساخت‌ها ممکن است به ویژه آسیب‌پذیر باشند، این نگرانی بزرگی را ایجاد می‌کند که تلفات جانی و ساختمانی می‌تواند حتی بیشتر از برآوردهای فعلی باشد

Jamison Steidl از دانشگاه کالیفرنیا در خصوص نگاشت منتشر شده توسط GFZ در شکل ۱۸ نیز مشابه نظر جیا را ارائه می‌دهد. ایستگاه NPW با توجه به اینکه دقیقاً روی گسل و حدود ۲۴۰-۲۵۰ کیلومتری از رومرکز زلزله قرار دارد، دارای جابجایی حدود ۱.۵ متر در ۵۰ ثانیه پس از رخداد در مبدأ است. این زمان رسید، سرعت گسیختگی حدود ۵ کیلومتر بر ثانیه را نشان می‌دهد (سرعت بالا و زمان زود!). اگر سرعت گسیختگی بطور متوسط ۳ کیلومتر بر ثانیه در نظر گرفته شود انتظار می‌رود که زمان ورود حدود ۸۰ ثانیه پس از رخداد اصلی باشد، اما اگر بخش قابل توجهی از گسیختگی فوق برشی و در امتداد گسل باشد زمانی که در رکورد ملاحظه می‌شود، قابل توجیه خواهد بود. استیادل با زوم روی موج P، زمان رسید آن را در ایستگاه NPW در ساعت ۰۶:۲۱:۲۹.۹ نشان می‌دهد که معرف زمان سیر ۳۵.۹ موج P است.



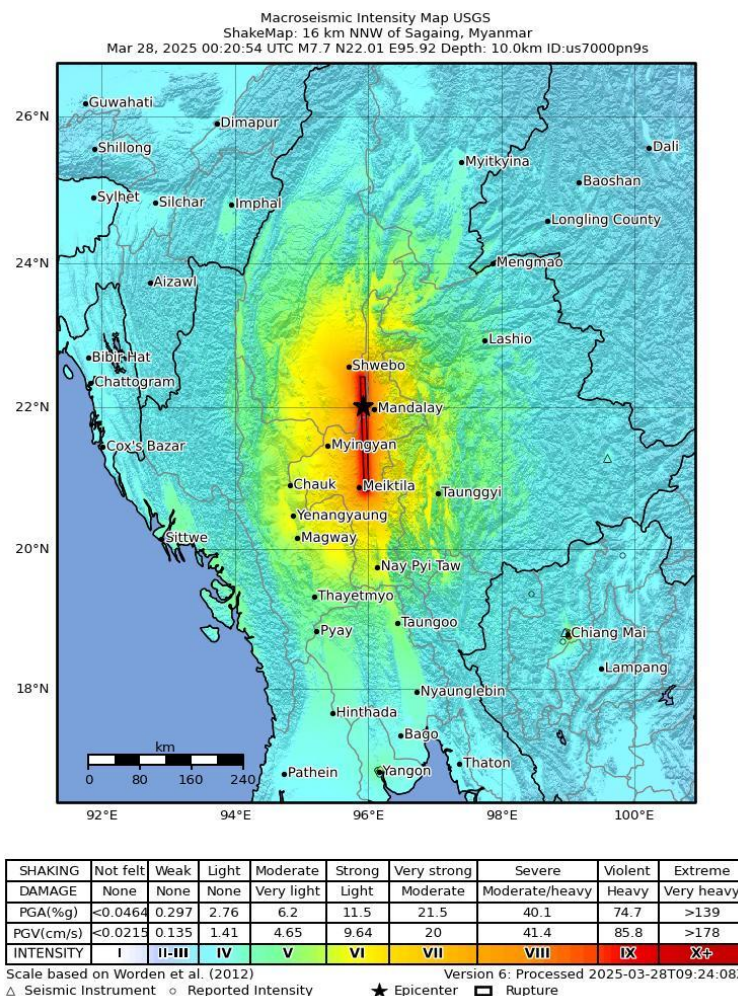
شکل ۲۰- شماتیکی از چگونگی تشکیل گسیختگی فرابرسی "موج ماخ" (Yue et al. (2013)



شکل ۲۱- موقعیت شهر بانکون و یانگون و ماندالای (مجاورت رومرکز زلزله) و فواصل آنها

۵- شدت زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار

بدلیل عدم دسترسی و یا دسترسی بسیار ناقص به اطلاعات محلی، در این نوشتار به ناچار به شدت‌های محاسباتی منتشر شده در سایت‌های معتبر اشاره می‌شود. شدت تخمین‌زده شده زلزله ۷.۷ میانمار در شکل ۲۲ که برگرفته شده از سایت USGS است، نشان داده شده است. شدت برآورد شده از نوع محاسباتی و با در نظر گرفتن بزرگی زلزله، راستای گسل و نیز نوع نهشته‌های سطحی (آبرفت یا سنگ) بوده که بصورت اتوماتیک تهیه و منتشر می‌شود. شکل کشیده پهنه شدت، معرف آنیزوتروپی بالای بیضوی شدت است که فرم کشیده و کمابیش خطی در راستای گسل ساگایینگ را ارائه داده است.

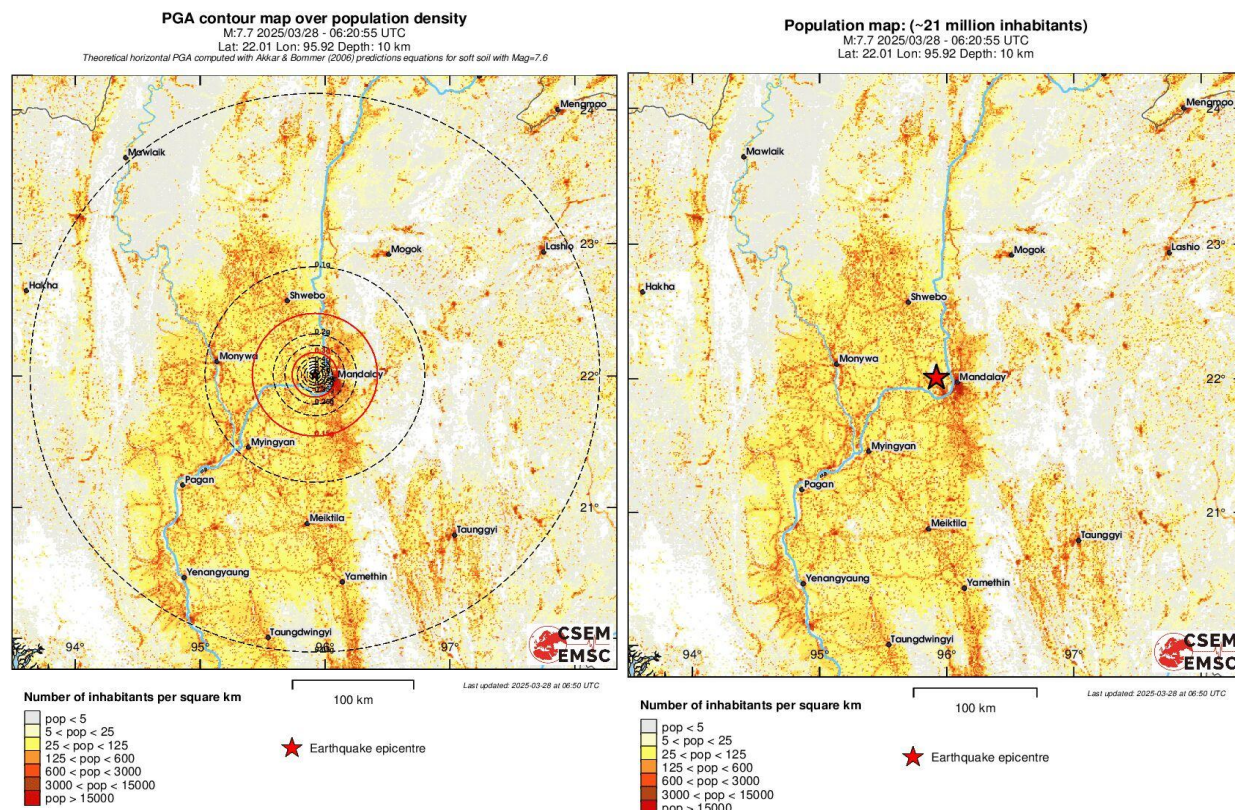


شکل ۲۲- توزیع شدت محاسباتی زلزله ۷.۷ میانمار، رخداد ۲۸ مارس ۲۰۲۵

بر اساس گزارش USGS، حداکثر شدت مرکالی اصلاح شده (MMI) شوک اصلی به MMI IX (خیلی شدید) در مناطق Mandalay، Sagaing، Bago و Naypyidaw نزدیک به ناحیه گسیختگی تخمین زده شده است. برآورد شده است که حدود ۳.۷ میلیون نفر در معرض لرزش MMI IX قرار گرفته باشند. MMI با درجه VIII (شدید) در Kayin، ایالت شان، VII (بسیار قوی) در منطقه Magway، و VI (قوی) در Yangon، Kachin، Mon، Kayah و Ayeyarwady برآورد شده است. MMI V (متوسط) در

بانکوک و چیانگ مای در تایلند، Dehong Dai و استان خودمختار Jingpo در چین و Imphal در هند ثبت شده است. سایت EMSC نیز براساس نقشه توزیع جمعیت (شکل ۲۳ راست) و از روی روابط آماری و تجربی (رابطه بین بزرگا و شتاب زلزله) شکل توزیع شتاب زلزله را ارائه کرده است (شکل ۲۳ چپ). در شکل ۲۳ توزیع شتاب بصورت همگن و در اطراف رومرکز در نظر گرفته شده است که با نقشه نشان داده شده در شکل ۲۲ تفاوت آشکاری دارد. این نوع برآوردها بصورت تقریبی و تخمینی بوده و با واقعیت های اندازه گیری و ارزیابی شده مطمئنا تفاوت خواهند داشت.

فرم شدت زمین لرزه ۷.۷ ماندالای میانمار، رخداد ۲۸ - ۰۳ - ۲۰۲۵، با توجه به جمع بندی مطالبی که در خصوص توزیع پس لرزه ها، شکل ۴، نتایج دورسنجی و جابجائی سطحی در راستای گسله ساگایینک که در شکل های ۱۲ تا ۱۵ نشان داده شده و نیز با توجه به احتمال رخداد زلزله فرابرسی و تشکیل مخروط ماخ که در بخش ۴-۲ این نوشتار ذکر گردید، انتظار داریم که شکل بیضوی باریک و کشیده باشد و لذا توزیع شدت نشان داده شده در شکل ۲۲ نسبت به شکل ۲۳ به واقعیت نزدیک تر است.



شکل ۲۳- شکل توزیع جمعیت (راست) و توزیع همگن و دایروی شکل شتاب محاسباتی بازای بزرگای زلزله در محدوده رومرکز زلزله ۷.۷ میانمار و اطراف آن

بدلیل عدم دسترسی کامل به اطلاعات و اخبار کشور میانمار، عمده خبرها از کشور تایلند منتشر شده است. جایی که صدها

نفر گزارش داده‌اند که لرزش را احساس کرده‌اند. در بانکوک، در حدود ۶۰۰ کیلومتری انتهای جنوبی گسل، لرزش با شدت IV به طور غیرمنتظره‌ای باعث فروریختن یک ساختمان بلندمرتبه در حال ساخت شد. با توجه به نوع زلزله و نوع گسل مسبب زلزله احتمال بالائی داده می‌شود که خسارت‌های گسترده‌ای در سراسر میانمار وجود داشته باشد. مهمترین سکونتگاه بزرگ جمعیتی مجاور رومرکز زلزله و نزدیک به گسل مسبب، شهر ماندالای با یک میلیون و ۲۰۰ هزار تا ۱ میلیون و ۵۰۰ هزار نفر جمعیت است، جایی که تخمین زده می‌شود شدت زلزله در بازه MMI VIII-IX بوده باشد.

براساس موقعیت گسل ساگایینگ و شدت مورد انتظار در راستای آن از شمال به جنوب، مراکز جمعیتی متعددی قابل شناسائی است که از جمله آنها می‌توان به شهرهای زیر با فواصل تقریبی از گسل و مسیر جابجائی ناشی از زمین لرزه ۷.۷ اشاره نمود:

- شهر Taze در فاصله ۶۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Tabayin در فاصله ۷۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Shwebo در فاصله ۲۵ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Wellet در فاصله ۱۵ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Maday مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر Mandalay مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر ساگایینگ مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر Myingyan در فاصله ۵۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Pyinsi مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر Ywagn در فاصله ۵۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Meiktiba مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر Tazi مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر Taungdwingyi در فاصله ۵۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Nuypyitaw مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر Kathitsan در فاصله ۲۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Aunglan در فاصله ۸۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Taungoo مجاورت گسل ساگایینگ
- شهر Paungde در فاصله ۶۰ کیلومتری از گسل ساگایینگ
- شهر Yangon در مجاورت گسل ساگایینگ

در لیست فوق، شهرها بترتیب از شمال (محدوده رومرکز) به جنوب مرتب شده‌اند و شهرهای نزدیک به گسل و یا در مجاورت آن، با رنگ مشخص شده‌اند، انتظار می‌رود که شهرهای مجاور گسل آسیب دیدگی گسترده‌ای را داشته باشند.

براساس روابط تجربی و محاسباتی شدت زلزله با توجه به فاصله شهرها از رومرکز در جدول ۵-۱ درج گردیده است که مقادیر هرچند تخمینی و تقریبی است اما تصویری از میزان در معرض قرارگیری سکونتگاه‌ها را در برابر رخداد ۷.۷ ماندالای میانمار ارائه می‌دهد (برگرفته از سایت volcanodiscover.com، بخشی از جدول تا درجه شدت مرکالی اصلاح شده شدید).

جدول ۵-۱- میزان شدت محاسباتی زلزله ۷.۷ میانمار در شهرهای مختلف نسبت به فاصله آنها از رومرکز

Distance	Place	Max. shaking intensity(*)	Region	Country
14 km (9 mi) SE of epicenter	Sagaing (pop: 78,700)	VIII: Severe	Sagaing Region	 Myanmar
16 km (10 mi) E of epicenter	Mandalay (pop: 1,208,100)	VIII: Severe	Mandalay	 Myanmar
48 km (30 mi) SE of epicenter	Kyaukse (pop: 50,500)	VII: Very strong	Mandalay	 Myanmar
55 km (34 mi) E of epicenter	Pyin Oo Lwin (pop: 117,300)	VII: Very strong	Mandalay	 Myanmar
68 km (42 mi) N of epicenter	Shwebo (pop: 88,900)	VII: Very strong	Sagaing Region	 Myanmar
82 km (51 mi) SW of epicenter	Mingyan (pop: 141,700)	VI: Strong	Mandalay	 Myanmar
82 km (51 mi) W of epicenter	Monywa (pop: 182,000)	VI: Strong	Sagaing Region	 Myanmar
82 km (51 mi) W of epicenter	Monywa (pop: 182,000)	VI: Strong	Sagaing Region	 Myanmar
100 km (62 mi) NW of epicenter	Ye-u (pop: 20,500)	VI: Strong	Shwebo, Sagaing Region	 Myanmar
114 km (71 mi) SW of epicenter	Pakokku (pop: 126,900)	VI: Strong	Magway	 Myanmar
119 km (74 mi) NE of epicenter	Mogok (pop: 90,800)	VI: Strong	Pyin Oo Lwin, Mandalay	 Myanmar
125 km (77 mi) S of epicenter	Meiktila (pop: 177,400)	VI: Strong	Mandalay	 Myanmar
167 km (104 mi) SW of epicenter	Chauk (pop: 90,900)	VI: Strong	Magway, Magway	 Myanmar
175 km (109 mi) S of epicenter	Yamethin (pop: 59,900)	VI: Strong	Mandalay	 Myanmar
177 km (110 mi)	Taunggyi	VI: Strong	Shan	 Myanmar

Distance	Place	Max. shaking intensity(*)	Region	Country
SE of epicenter	(pop: 160,100)			
202 km (126 mi) SW of epicenter	Yenangyaung (pop: 110,600)	VI: Strong	Magway , Magway	 Myanmar
215 km (133 mi) NE of epicenter	Lashio (pop: 131,000)	VI: Strong	Shan	 Myanmar
225 km (140 mi) S of epicenter	Taungdwingyi (pop: 70,100)	VI: Strong	Magway , Magway	 Myanmar
229 km (143 mi) SW of epicenter	Minbu (pop: 57,300)	VI: Strong	Magway	 Myanmar
230 km (143 mi) SW of epicenter	Magway (pop: 97,000)	VI: Strong	Magway	 Myanmar

گزارش‌های شدت احساس شده از طرف مردم بیشتر از بانکوک (۱۹۲ گزارش)، پایتخت تایلند با ۵۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت در فاصله ۱۰۳۷ کیلومتری جنوب شرقی مرکز زلزله، یانگون (۹۷ گزارش)، شهری با ۴.۵ میلیون نفر جمعیت در فاصله ۵۷۸ کیلومتری جنوب مرکز زلزله، چیانگ مای (۵۸ گزارش) ۴۷۸ کیلومتر به سمت جنوب شرقی تایلند اعلام شده است. در شکل ۲۴ موقعیت مکان‌هایی که بیشترین افراد در آن زلزله را گزارش کرده‌اند نشان داده شده است.



شکل ۲۴- موقعیت مکان‌هایی با بیشترین گزارش احساس زلزله ۷.۷ میانمار

۶- تلفات جانی گزارش شده زلزله ۷.۷ ماندالای

نظر به دسترسی مشکل به اطلاعات و آمار قابل اتکا، تلفات جانی گزارش شده از سوی سایت‌های مختلف نیز ممکن است منعکس‌کننده ابعاد واقعی مورد انتظار فاجعه نباشند. گزارش‌های مربوط به خسارات در تایلند نیز فاجعه‌ای را که در نزدیکی گسل در حال وقوع است، مسلماً نشان نمی‌دهند.

براساس گزارش بروز شده سایت <https://reliefweb.int/report/myanmar/myanmar-earthquake-unhcr-flash-update-1-4-april-2025>، و براساس گزارش (United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR)، تا ۴ آوریل ۲۰۲۵، تلفات جانی زلزله بیش از ۳۰۰۰ نفر بوده است. ۴۷۰۰ نفر مجروح و بیش از ۳۴۰ نفر دیگر مفقود اعلام شده است. زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، مناطقی را تحت تاثیر قرار داده است که پیش از این میزبان بیشترین تعداد آوارگان داخلی (IDP) - حدود ۱.۵۵ میلیون نفر از ۳.۵ میلیون آواره داخلی میانمار - بوده است که بسیاری از آنها بیش از چهار سال است که از درگیری فرار کرده‌اند. سایت <https://www.moezala.gov.mm/earthquake-news%20> مربوط به کشور میانمار که چند روز بعد از زلزله ۲۸ مارس ۲۰۲۵ غیرقابل دسترسی بود در ۶ آوریل ۲۰۲۵ در دسترس قرار گرفت. متأسفانه اطلاعات تلفات جانی زلزله و خسارت‌های آن در این سایت ذکر نگردیده است.

براساس گزارش خبرگزاری الجزیره، طبق آمار جدیدی که رسانه‌های دولتی روز شنبه منتشر کردند، زلزله میانمار منجر به ۳۳۵۴ کشته و ۴۵۰۸ زخمی و ۲۲۰ مفقود شده است.

در ۳۰ مارس، رسانه‌های محلی از حداقل ۲۶۰۱ مورد مرگ در سراسر کشور گزارش دادند. تلفات جانی گزارش شده شامل ۱۷۹۰ مورد در ماندالای، ۴۰۲ مورد در نایپیداو، ۳۱۴ مورد در ساگائینگ، ۷۹ مورد در شان جنوبی و ۳۵ مورد در باگو است. در خصوص آمار تلفات جانی به تفکیک شهرها و ایالت‌ها، مولف، مطلب قابل اتکای بیشتری را تا زمان تدوین گزارش نتوانست بدست بیاورد، با اینوصف زندگی در میانمار ادامه دارد! (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- زندگی در میانمار بعد از زلزله ۷.۷ ادامه دارد. مردم در رودخانه ایراودی در مقابل پل آوا که در اثر زلزله بزرگی که در مرکز میانمار رخ داد، در ۲ آوریل ۲۰۲۵ در ساگائینگ فرو ریخته است، حمام می‌کنند. عکس از سای آونگ ماین/خبرگزاری فرانسه/گتی ایمیجز برگرفته از سایت: <https://edition.cnn.com/2025/04/04/asia/myanmar-earthquake-sagaing-aid-intl-hnk-dst/index.html>

۷- خسارت های گزارش شده زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، رخداد ۲۸ - ۰۳ - ۲۰۲۵

شدت برآورد شده ۸ تا ۹ شدت زمین لرزه ویرانگری است که حتی به ساختمان های مستحکم نیز آسیب می رساند. در زمین لرزه ۷.۷ میانمار براساس روابط آماری و تجربی شدت برآورد شده تا درجه ۹ در مقیاس مرکالی اصلاح شده می رسد و لذا خسارت گسترده این رویداد قابل انتظار است. اطلاعات از وضعیت ساخت و ساز در میانمار نیز نشان می دهد که اکثر ساختمان ها در میانمار مقاوم در برابر زلزله نیستند. براساس اطلاعات موجود در کشور میانمار آیین نامه لرزه ای که به طور گسترده در ساخت و سازها رعایت شود وجود ندارد.

اثر تخریبی زلزله میانمار، علاوه بر کشور میانمار، در کشورهای مجاور نیز گزارش شده است. مطلب زیر جمع آوری اولیه از خسارت های گزارش شده زلزله ۷.۷ ماندالای است که انتظار می رود واقعیت بمراتب بدتر از آنست که در میان اخبار سایت های مختلف آمده است.

- برخی از خسارت های گزارش شده در کشور میانمار

گزارش شده است که در منطقه ساگینگ، بیش از ۷۰٪ از سازه ها آسیب قابل توجهی دیده اند. زیرساخت تلفن و اینترنت در سراسر کشور مختل شد. بیش از ۵۰ مسجد در زلزله فرو ریخته است. تصور می رود نیمی از ساختمان ها در ماندالای به شدت آسیب دیده یا ویران شده باشند. در فرودگاه بین المللی ماندالای، سقف ها فرو ریخت و آسیب هایی در زیرزمین رخ داد. ساختمان های پردیس دانشگاه ماندالای فرو ریخت یا آتش گرفت و بسیاری در داخل آن محبوس شدند. پل در بزرگراه یانگون-ماندالای که از نزدیکی اینوا عبور می کند نیز با سقوط ستون های نگهدارنده فرو ریخت. بنا بر گزارش ها، برخی از خودروها در زمان وقوع زلزله روی پل بوده و به داخل رودخانه سقوط کرده اند، اما هنوز تلفات جانی تایید نشده است. فرو ریختن مسجد تعدادی و از جمله کودکان را کشت و چندین راهب نیز در اثر فرو ریختن یک صومعه در شهر کشته و زخمی شدند. در مجموع، بیش از ۳۰ مسجد در ماندالای ویران شد که برخی از آنها بیش از یک قرن قدمت داشتند که منجر به مرگ بسیاری شد. چندین نفر راهب در زیر یک معبد فرو ریخته به دام افتاده بودند. در شهر ماها آنگ مای، یک مغازه چای فروشی دو طبقه فرو ریخت و تعدادی گرفتار شدند. علاوه بر این، یک فروشگاه لوازم جانبی خودرو در سه طبقه نیز در شهرستان پیگیداگون فرو ریخت و چند کارمند را گرفتار کرد، و در همان شهرستان، یک ساختمان در حال ساخت ویران شد که تعدادی کشته و بسیاری دیگر گرفتار شدند. صومعه Maha Aungmye Bonzan نیز ویران شد. کاخ ماندالای و معبد ماهامونی نیز آسیب ساختاری قابل توجهی را متحمل شدند. همچنین گزارش شده است که یک سد در ماندالای فرو ریخت و باعث سیل شد و بخش هایی از بزرگراه ماندالای-یانگون آسیب دیدند. در میکیتلا، خانه ها و ساختمان های مذهبی دچار ریزش ساختاری شدند. خانه ها و معبد ها نیز در شهر مادایا با خاک یکسان شدند. در شهر ساگینگ پل آوا فرو ریخت. از پنج مسجد در شهر ساگینگ، چهار مسجد بر اثر زلزله فرو ریخت. در ناییداو، پایتخت، برج کنترل ترافیک هوایی فرودگاه بین المللی نای پی تاو فرو ریخت و تعدادی کشته شدند. جاده ها و منازل مسکونی و زیارتگاه های مذهبی نیز آسیب دید. مقر نظامی، ساختمان های پارلمان و

ساختمان‌های مسکونی رسمی به شدت آسیب دیدند، چندین ساختمان دولتی، موزه خدمات دفاعی و موزه ملی در نایپیداو نیز آسیب دیدند. حداقل ۳۶ مرگ در شهرستان Nyaungshwe، ایالت شان گزارش شده است، از جمله مرگ و میر در روستاهای اطراف Inle Lake. حداقل ۱۰۰ خانه نیز ویران شد و در معبد ها خسارت وارد شد. در Aungban، چند نفر کشته شدند و تعدادی دیگر توسط یک هتل در حال فروریختن به دام افتادند. در شهر تاونگو، باگو، ریزش مدرسه چند کودک را کشت و ۱۴ چندین نفر دیگر در اثر فروریختن یک مسجد کشته شدند. مدرسه دیگری که به عنوان پناهگاه برای آوارگان خدمت می‌کرد فرو ریخت و بیش از ۲۰ نفر را گرفتار کرد. در پیو، چهار عضو یک خانواده بر اثر فروریختن دیوار خانه‌شان جان باختند. در یانگون، آسیب‌های جزئی رخ داد، برخی از ساختمان‌ها کج شدند و خطوط تلفن قطع شد. مطالب فوق برگرفته‌ای از اطلاعات منتشر شده در خصوص خسارت ناشی از زلزله ۷.۷ در شهرها و روستاها و زیرساخت‌های کشور میانمار بود، هرچند که آمار دقیق نبوده و خسارت‌ها مسلماً بیش از این مقادیر برآورد می‌شود، اما می‌تواند وسعت تاثیر زمین لرزه ویرانگر ماندالای را نشان دهد.

– برخی از خسارت‌های گزارش شده در کشور تایلند

در هشت استان کشور تایلند و بیشتر در شمال کشور خسارت گزارش شده است. در بانکوک، زمین لرزه باعث شد تا ساختمان‌ها تکان بخورند و در نتیجه باعث وحشت ساکنان شد. تمام خطوط حمل و نقل سریع برای یک روز معلق شد. معاملات در بورس تایلند نیز به حالت تعلیق درآمد. لرزش در چیانگ مای، چونیوری و بیشتر مناطق کشور نیز احساس شد. کنترل ترافیک هوایی تایلند دستور پرواز ممنوع سراسری را برای همه فرودگاه‌ها صادر کرد، و حرکت قطارها بین بانکوک و شمال شرق تایلند نیز به حالت تعلیق درآمد. سطح جاده راما در اثر زلزله ناهموار شد. در بانکوک، پس از فروریختن یک دفتر دولتی ۳۰ طبقه که در حال ساخت در منطقه چاتوچاک بود، تعدادی کشته شدند، نزدیک به ۱۲ نفر مجروح شدند و تعدادی دیگر ناپدید شدند. معاون نخست وزیر تایلند این لرزش را در ۱۰۰ سال گذشته در بانکوک بی سابقه توصیف کرد. در یک سایت ساخت‌وساز دیگر، یک پل آسمان که دو برج مجلل کاندومینیوم را به هم متصل می‌کرد، در حالی که صدها کارگر در ساختمان‌ها بودند فرو ریخت. یکی دیگر از کارگران ساختمانی پس از سقوط یک جرثقیل ساختمانی در یک سایت آپارتمان در بنگ فو جان باخت. سقوط یک جرثقیل دیگر در بزرگراه دین دانگ باعث بسته شدن جاده شد. مقامات بانکوک گفتند ۱۶۹ ساختمان در سرتاسر شهر که بیشتر آنها در حال ساخت بودند دچار ترک خوردگی شدند. یک حادثه آتش سوزی نیز گزارش شده است که ناشی از روشن ماندن اجاق گاز توسط ساکنان فراری بود. بزرگراه Chaloem Maha Nakhon و باجه‌های عوارضی Din Daeng نیز بسته شدند. در چیانگ مای، چندین ساختمان کاندومینیوم و بیمارستان ماهاراج ناکورن چیانگ مای دچار ترک خوردگی شدند. در لامپانگ، بیمارستان لامپانگ دارای دیوارهای ترک خورده و سقف‌های فرو ریخته بود. در Mae Hong Son، یک غرفه در یک سایت توریستی فرو ریخت و درختان سقوط کردند.

چین و سایر کشورها

در یوننان چین، زمین لرزه به شدت در سراسر استان احساس شد. خانه‌ها آسیب دیدند و دو نفر در شهر مرزی رویلی زخمی

شدند، در استان‌های دیگر از جمله گوئیژو، گوانگشی و سیچوان نیز مردم لرزش را احساس کردند. زلزله در سراسر **بنگلادش**، از جمله شهرهایی مانند داکا، سیلپت، راج شاهی و چیتاگونگ احساس شد و باعث وحشت مردم و تخلیه ساختمان‌ها شد. در **هند**، لرزش در منطقه پایتخت ملی دهلی تجربه شد، که باعث شد مردم ساختمان‌ها را تخلیه کنند. ایالت‌های شمال شرقی، به ویژه مگالایا، پس لرزه‌های قابل توجهی را با لرزش ۴.۰ ریشتری در تپه‌های گارو شرقی تجربه کردند. لرزش در شهرهایی مانند کلکته و ایمفال نیز احساس شد. لرزش در هانوی و شهر هوشی مین **ویتنام** احساس شد و باعث شد مردم ساختمان‌ها را تخلیه کنند. لرزش در **لائوس**، لرزش در ویتیان احساس شد و باعث شد مردم ساختمان‌ها را تخلیه کنند. لرزش‌ها همچنین در **کامبوج** و ایالت‌های پنانگ، کداه و کلانتان **مالزی** شمالی گزارش شده است.

در خصوص عکس‌ها و تصاویر مربوط به خسارت‌های زلزله ۷.۷ میانمار، موارد متعددی در سایت‌های خبری و تخصصی منتشر گردیده است که مراجعه به آنها اطلاعات مفیدی در مورد رفتار ساختمان‌ها در برابر زلزله می‌دهد.



شکل ۲۶- فروریختن ساختمان‌ها در فاصله حدود ۱۸۰ کیلومتری از مرکز زلزله. منبع EMSC

https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/earthquake_pictures.php?id=1787796



شکل ۲۷- فروریختن پل. گزارش شده که این پل Sagaing از رودخانه ایراودی عبور می‌کند.

منبع EMSC: https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/earthquake_pictures.php?id=1787796

۷-۱- عوامل اصلی تشدید کننده خسارت در زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار

بررسی گزارش‌های متعدد در سایت‌ها و رسانه‌های مختلف در خصوص خسارت‌های ناشی از رخداد زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار و پس‌لرزه‌های بزرگ بعدی آن نشان می‌دهد که عوامل اصلی مهمی بر آسیب‌پذیری مستحکات محدوده تأثیر زمین لرزه، تأثیر گذار بوده‌اند. عوامل اصلی تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری در زلزله ۷.۷ میانمار از نظر مولف این نوشتار عبارتند از:

- بزرگی زمین لرزه و کیفیت ساخت و ساز
- احتمال فراپرسی بودن زمین لرزه ۷.۷ میانمار با توجه به امتداد لغز بودن گسل مسبب زلزله (گسل ساگایینگ)
- اثر ساختگاه
- اثر پریود بلندها و تشکیل طبقه نرم در سازه‌های بلند مرتبه دوردست

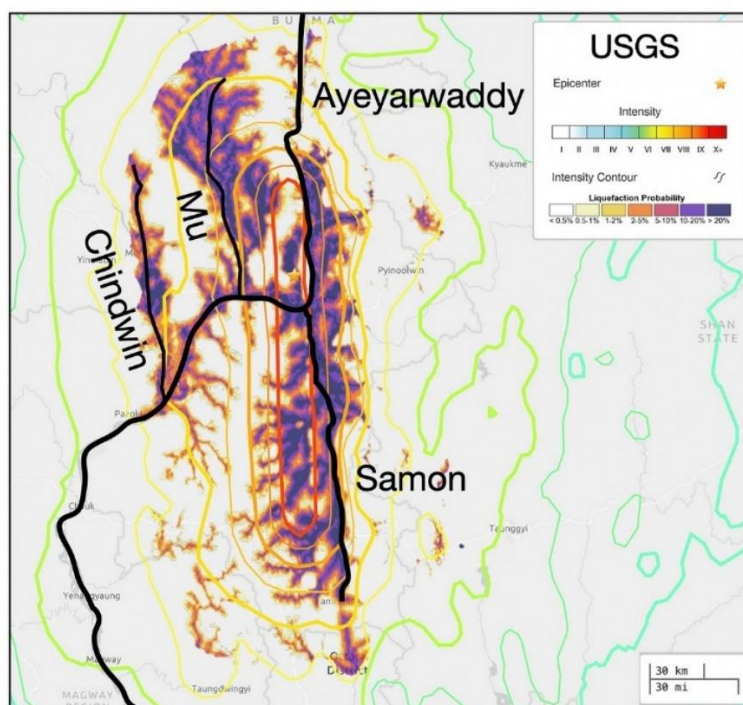
بزرگی ۷.۷ زلزله ماندالای میانمار و بزرگی قابل ملاحظه پس‌لرزه‌های آن، بنوبه خود حتی بر مستحکات با ساخت و ساز اصولی نیز تأثیر گذار است. این امر بویژه بر ساختمان‌هایی که در ساخت آنها ضوابط و اصول طراحی مهندسی چندان رعایت

نشده است، در زلزله میانمار بیشتر نمود دارد. مختصری از خسارت‌های وارده بر زیرساخت‌ها و مستحذات دیگر در بخش قبلی بیان گردید. با توجه به وجود ساختمان‌های قدیمی و تاریخی و بافت‌های فرسوده گسترده در مراکز جمعیتی کشور میانمار، بزرگی زلزله همراه با کیفیت ساخت و ساز ساختمان‌ها عامل اصلی در افزایش خسارت‌های حاصل از رخداد زلزله ۲۸ مارس ۲۰۲۵ میانمار است.

در خصوص **فرابرسی** بودن زلزله میانمار با توجه به سازوکار گسل مسبب آن که امتداد لغز راست بر است، و نظر به مطلبی که در این خصوص در بخش ۴-۲ این گزارش آمده است، می‌تواند تاثیر تشکیل پدیده **مخروط ماخ** را در راستای گسل مسبب زلزله، "گسل ساگایینگ" محتمل دانست. این امر احتمال فزونی خسارت را به مراتب بیش از یک زلزله معمولی با بزرگای ۷.۷ متصور می‌سازد. تصور بر اینست که علاوه بر شرایط ساختگاهی، اثر جهت یافتگی و فرابرسی بودن زلزله در شهر بانکوک می‌تواند توجیهی بر خسارت در فاصله ۱۰۰۰ کیلومتر از رومرکز زلزله در شهر بانکوک بوده باشد.

اثر ساختگاه در زلزله ۷.۷ میانمار، پارامتر بسیار مهمی در تشدید خرابی‌ها می‌باشد. بنظر مولف، زلزله میانمار، یک زلزله برای درک عمیق نقش اثر ساختگاه بر تشدید خسارت‌های آن است. اثر ساختگاه علاوه بر تاثیر پی‌روندها در دور دست در سازه‌های بلند احداثی در بستر نرم، در روانگرایی ساختگاه در دور دست نیز قابل تعقیب است. در شکل ۲۸ نقشه مناطق احتمالی پتانسیل روانگرایی در زلزله میانمار نشان داده شده است. این نقشه توسط USGS تولید و منتشر شده است که منطقه‌ای وسیع به وسعت تقریبی ۲۰,۰۰۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. نهشته‌های ریزدانه و رودخانه‌ای و سطح آب بالا، مسلماً خطر روانگرایی در منطقه را افزایش می‌دهد. برخی از ساختمان‌های حتی بسیار خوب ساخته‌شده نیز بدون فروریختن کامل در اثر پدیده روانگرایی کج یا واژگون می‌شوند. پدیده روانگرایی در مقیاس بزرگ معمولاً یک مشکل عمده برای مناطق ساحلی تحت تاثیر زمین لرزه‌های دور و یا نزدیک تلقی می‌شود اما در برخی از سایت‌ها با سطح آب بالاتر و در حدود کمتر از ۱۰ متر و با نهشته‌های ریزدانه رسی - ماسه‌ای نیز می‌تواند اثر گذار باشد.

یکی از عوامل مستعد کننده روانگرایی و اثر ساختگاه در منطقه نزدیک و حتی دور از رومرکز زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، وجود رودخانه‌های بزرگی جاری در منطقه است. این رودخانه‌ها مقدار زیادی ماسه و لای را به سمت دلتای بزرگ رودخانه ایراودی حمل می‌کنند. هر سال، با طغیان سالیانه رودخانه در محدوده شهرهایی مانند ساگایینگ و ماندالای رسوبات ضخیم ریزدانه از رس، لای و ماسه در سطح زمین نهشته می‌شود. این فرایند با تکرار در طول هزاران سال، لایه‌های ضخیم ریزدانه و اشباع مستعد روانگرایی را در منطقه تاثیر زلزله میانمار برجای می‌گذارد (شکل‌های ۲۹ و ۳۰).



شکل ۲۸- نقشه احتمال روانگرایی در اطراف گسیختگی اخیر. خطوط سیاه، رودخانه‌ها را با نام نشان می‌دهند. احتمال روانگرایی در مناطقی که تکان‌های شدید در نزدیکی رودخانه‌ها رخ داده، زیاد است.



شکل ۲۹- عکسی از شکاف‌های مرتبط با روانگرایی در Pyay، میانمار. منبع: EMSC.

https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/earthquake_pictures.php?id=1787796



شکل ۳۰- معبدهای فرو ریخته و نیمه غرق شده

<https://bsky.app/profile/did:plc:wyfv5hbavbf236pd4k56wrrp/post/3llger43gbk2l>

در زلزله ۷.۷ میانمار اثر پریود بلند زلزله بر سازه های مرتفع دور دست نیز جنبه آموزشی بسیار مفیدی داشت. تصاویر و کلیپ های متعددی از کشور تایلند و شهر بانکوک در فضای مجازی منتشر گردیده است که تحلیل رفتاری ساختمان ها را بصورت دقیقتر از سوی متخصصان سازه و مهندسی زلزله لازم دارد.

در شکل ۳۱ سه عکس از رفتار سازه های بلند در شهر بانکوک از کلیپ های منتشر شده در فضای مجازی بریده و نشان داده شده است. برخورد آهسته با پریود بلند دو برج به همدیگر، ریخته شدن آب استخر واقع در بام برج در اثر ارتعاش با فرکانس بسیار پائین ساختمان اثرات غلبه پریود بلندهای زلزله را در دوردست بر ساختمان های مرتفع نشان می دهد.

در شکل ۳۲ آسیب به ساختمان در اثر برخورد به همدیگر و افتادن جرثقیل از ساختمان نشان داده شده است که اثر ارتعاشی تشدید شده ساختمان در زلزله های دور و در ساختگاه های نرم را بخوبی نمایان می سازد.

در شکل ۳۳ دو عکس از دو کلیپ منتشر شده در فضای مجاز از ساختمان های مرتفع بانکوک نشان داده شده است. متلاطم شدن آب استخر در پشت بام و واژگونی ساختمان دیگر در شکل ۳۳ نشان داده شده است.



شکل ۳۱- برخورد آهسته با پیود بلند دو برج به همدیگر در بانکوک در اثر زلزله ۷.۷ میانمار

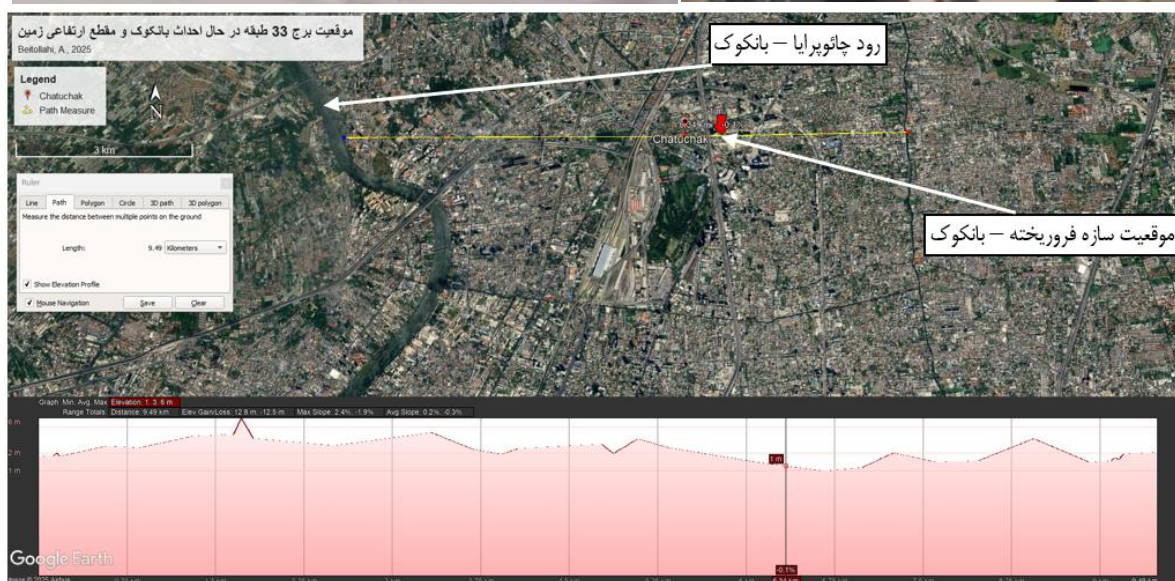


شکل ۳۲- آسیب به ساختمان در اثر برخورد به همدیگر و افتادن جرثقیل از ساختمان



شکل ۳۳- متلاطم شدن آب استخر در پشت بام (عکس سمت چپ) و واژگونی ساختمان دیگر (عکس سمت راست)

با رخداد زمین لرزه ۷.۷ ماندالای میانمار در ۲۸ مارس ۲۰۲۵، اثرات تخریبی زلزله در بانکوک تایلند با فروریزش ساختمان مرتفع (۳۳ طبقه اعلام شده است)، شناخته شده است. برج در حال ساخت فرو ریخته، در بانکوک، پایتخت تایلند، در نزدیکی بازار "چاتوچاک" واقع گردیده بود. در شکل ۳۴ تصاویری از برج تخریب شده و نیز نقشه موقعیت آن نشان داده شده است. در نقشه موقعیت نشان داده شده، پروفیل ارتفاعی عبوری از موقعیت سایت برج نشان داده شده است. در غرب سایت ساختمان، و در ۳۵۰۰ متری آن، رودخانه چائوپرایا واقع گردیده است. ارتفاع نقاط از سطح دریا بین ۲ تا ۶ متر در نوسان است. بنابراین سطح آب بالا و احتمال وقوع روانگرایی و احتمالاً ساختگاه نرم در این محدوده داده می شود. در شکل ۳۵ عکس هائی از برج تخریب شده با توضیحاتی ارائه شده است. با توجه به ارتفاع ۹ متری همکف، احتمال تشکیل طبقه نرم و تخریب ناشی از آن نیز می تواند یکی دیگر از دلایل فروریزش آسمانخراش بازار چاتوچاک بانکوک تایلند باشد.



شکل ۳۴- برج فروریژش کرده در منطقه بازار چاتوچاک بانکوک و موقعیت مکانی آن در تصویر google earth همراه با پروفیل ارتفاعی از ساختگاه آن که ارتفاع محدوده تقریبی سایت را حدود ۲ متر و در فاصله حدود ۳۵۰۰ متری از رودخانه چاتوپرایا نشان می‌دهد.



ارتفاع همکف فاقد دیوار جانبی با توجه به قرارگیری ساختمان سه طبقه سمت چپ حدود ۹ متر برآورد شده است. در چنین حالتی با توجه به نبود دیوارهای جانبی، احتمال شکل‌گیری طبقه نرم برای برج در ساختگاه نرم و با سطح آب بالا در زلزله‌های دوردست وجود دارد.



شکستگی در میانه ستون‌های همکف ساختمان و مایل شدن ساختمان به عقب در اثر احتمالاً شکستگی ستون‌های ضلع عقب ساختمان و فروریزش کامل ساختمان

شکل ۳۵- شکل طبقه همکف و نقاط شکستگی در ستون‌ها در برج فرو ریخته بازار چاتاچوک بانکوک تایلند

۸- برخی از نتایج و درس آموخته های زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار، رخداد ۲۸ - ۰۳ -

۲۰۲۵

زلزله ۷.۷ میانمار در ۸ فروردین ماه سال ۱۴۰۴ ساعت ۰۹:۵۴:۵۴ بوقت ایران (در تعطیلات سال نو ایران) رخ داد. مولف این نوشتار، تلاش کرد تا با جمع آوری اطلاعات و گزارش ها منتشره از فضای بسته و نظامی کشور میانمار و مطالب و گزارش خبرگزاری ها و محققین علاقمند سایر کشور، گزارشی با هدف استفاده کارشناسی و مدیریتی و مهندسی از جنبه های مهم و آموزشی این زمین لرزه دهشتناک تدوین نماید. تاکید می نماید بخش هایی از مطالب این گزارش برگرفته از گزارشات سایت ها و محققین دیگر همراه با نظرات کارشناسی مولف می باشد. بررسی مطالب منتشره در خصوص زمین لرزه میانمار توسط مولف (هرچند بدلیل عدم دسترسی به داده ها و اطلاعات میدانی و رقومی بیشتر از منطقه تاسف خوردم)، عناوین موضوعی مهمی را با عنوان نتایج و درس آموخته های این زمین لرزه تشکیل داده که تیتروار آنها را شایان ذکر می داند:

- زلزله ۷.۷ ماندالای میانمار در سگمنت گسلی با سکون لرزه ای ساگایینگ رخ داد. بنابراین مهم است که احتمال وقوع زمین لرزه های بزرگ در راستای گسله های بزرگ و بویژه در بخش های با سکون لرزه ای آن همواره مورد نظر قرار گیرد.
- گسله های امتداد لغز طویل پتانسیل ایجاد زلزله های فرابرسی و تخریب گسترده را دارند، ضرورت ویژه دارد تا از ساخت و سازهای گسترده در امتداد چنین گسله هایی و بطور کلی کلیه گسل ها اجتناب شود.
- اثر ساختگاه، ساختگاه نرم و یا مستعد روانگرایی بویژه در احداث ساختمان های بلند مرتبه فاکتور مهمی است که باید مد نظر قرار گیرد. استعداد روانگرایی در مناطق ساحلی (بویژه در سواحل استان مازندران) وجود دارد، احداث برج و ساختمان های مرتفع در نواحی ساحلی با ساختگاه نرم حتی در زلزله های دور نیز می تواند پر ریسک باشد.
- در نواحی با سطح آب بالا و ساختگاه نرم و نیز در احداث ساختمان های بلند مرتبه، حتی در حین ساخت باید تمهیداتی مبنی بر جلوگیری از شکل طبقه نرم لحاظ نمود. فروریزش برج در دست احداث مجاور بازار چاتوچاک بانکوک، این درس بزرگ را به جوامع مهندسی داد.

- توسعه متراکم ایستگاه‌های لرزه‌نگاری، شتابنگاری و GPS به معنی واقعی کلمه یک ضرورت ویژه در پایش لرزه‌ای است. نبود و یا کمبود ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و شتابنگاری و GPS در کشور میانمار در تحلیل عمیق‌تر زلزله ۷.۷ ماندالای بوضوح نقش خود را نشان می‌داد.
- به اشتراک‌گذاری داده‌ها و اطلاعات می‌تواند درک ما از سرشت حوادث طبیعی بیشتر کند. متأسفانه عدم دسترسی به داده‌های پایه و میدانی زمین لرزه میانمار در این خصوص بمراتب آزار دهنده بود.

۹- مراجع

- در تدوین این گزارش از مطالب سایت های خبری متعدد استفاده شد که نام بردن تک تک آنها در این قسمت توسط مولف مقدور نبوده ولی در متن تلاش شده است که تا حد امکان به آنها اشاره شود.
- گزارش های Kyle Bradley and Judith A Hubbard در خصوص زلزله میانمار
- مقاله ونگ و همکاران در خصوص لرزه خیزی میانمار
- مطالب ژ جیا در خصوص فرابرسی بودن زلزله
- داده های و اطلاعات و مطالب سایت USGS
- داده های سایت GFZ و EMSC
- داده های سایت هواشناسی تایلند
- داده های سایت IRIS
- مطالب برگرفته از سایر سایت ها و نوشته های محققین دیگر که در متن گزارش به آنها اشاره شده است.