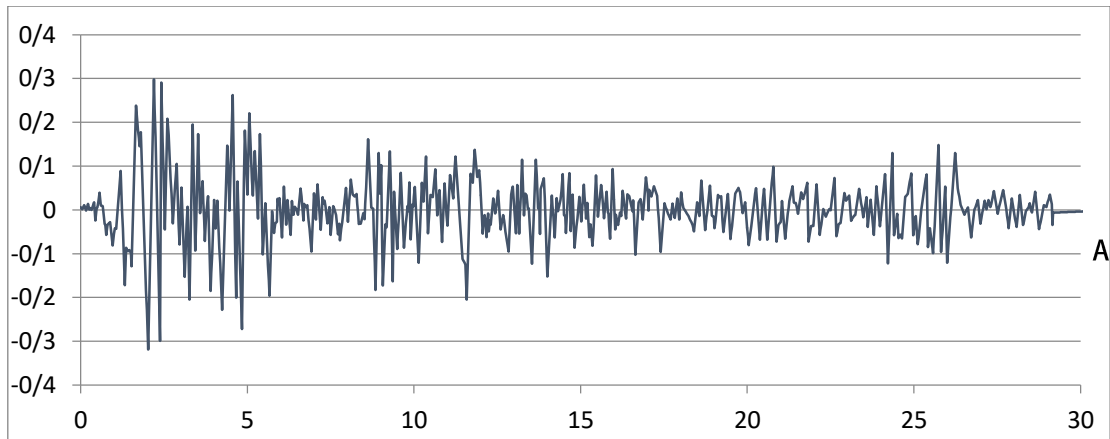




سازمان برنامه و بودجه کشور
مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل
دبیرخانه شورای فنی استان

بررسی مشخصات فنی زلزله سرپل ذهاب و نکات آئین‌نامه زلزله



تنظیم گزارش: اکبر محمدزاده
کارشناس ارشد مهندسی عمران

زمستان ۱۳۹۶

دانشگاه الزهراء

تقدیم به:

روح درگذشتگان زلزله آبان ماه در استان کرمانشاه



عنوان: بررسی مشخصات فنی زلزله سرپل ذهاب و نکات آئین نامه زلزله

تهیه کننده: سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان اردبیل
ناشر: سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان اردبیل
تاریخ انتشار: زمستان ۱۳۹۶
شمارگان: ۵۰۰
مشخصات: ۱۰۰ ص، مصور، جدول، نمودار
شماره نشریه: ۱۵

نظارت کلی بر فرآیند اجرای طرح: داود شایقی

رئیس سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان اردبیل

نظارت و هماهنگی اجرای طرح:

دبیرخانه شورای فنی استان اردبیل

نوربخش محمدی

ناظر هماهنگی و انتشار:

رئیس حوزه ریاست و روابط عمومی سازمان

اکبر محمدزاده

تهیه و تدوین:

مسعود ناصری

طرح روی جلد و صفحات:

کانون تبلیغاتی آیریس

ویراستاری و صفحه آرائی:

استفاده از مطالب و تصاویر این مجموعه تنها با ذکر منبع بالامانع میباشد

آدرس: اردبیل شهرک اداری، سازمان مدیریت و برنامه ریزی

تلفن: ۰۴۵ - ۳۳۷۴۴۲۱۰ - ۰۴۵ دورنگار: ۳۳۷۴۹۸۱۷ - ۰۴۵

نشانی سایت: www.ardabilmpo.ir

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۲	فصل اول: تکتونیک صفحه‌ای و تعریف زلزله
۳	تعریف زلزله
۴	انواع گسل‌ها
۵	زمین لرزه‌های دور از مرزهای صفحه‌ها
۵	کانون کم عمق و کانون عمیق زلزله
۶	فصل دوم: مشخصات فیزیکی امواج زلزله
۷	سرعت امواج زلزله
۸	مقیاس بزرگای ریشتر
۱۰	فصل سوم: ۱۰ مشخصات شتاب‌نگاشت
۱۰	شتاب‌نگاشت
۱۱	خروجی دستگاه لرزه‌نگار
۱۴	فصل چهارم: مشخصات زلزله سرپل ذهاب
۱۵	مشخصات زلزله سرپل ذهاب
۱۹	عملکرد ساختمان‌ها در شهر سرپل ذهاب
۲۲	زمین‌ساخت زاگرس
۲۳	لرزه زمین‌ساخت
۲۴	تغییر شکل پوسته زمین
۲۵	پیشینه لرزه‌خیزی منطقه
۲۷	روش و نحوه تحلیل
۲۸	تحلیل داده‌های شتاب‌نگاری ثبت‌شده در محدوده نزدیک گسل
۳۰	فصل پنجم: طراحی ساختمان‌ها در برابر نیروی زلزله
۳۱	سرعت موج زلزله وارده بر سازه
۳۱	رابطه بین مقیاس ریشتر و مبنای طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله
۳۲	داده‌های جنبش نیرومند زمین ناشی از رویداد زمین‌لرزه اصلی
۳۹	گزارش و تحلیل تصویری از اثرات زلزله بر ساختمان‌های سنتی
۴۳	تصاویر مربوط به آسیب‌های ایجادشده در ساختمان‌های فولادی
۵۱	تصاویر مربوط به آسیب‌های ایجادشده در ساختمان‌های بتنی
۶۲	تصاویر مربوط به آسیب‌های وارده به اجزای غیر سازه‌ای
۷۶	منابع و مراجع



مقدمه

زمین‌لرزه بیستویک آبان ماه سال جاری استان کرمانشاه از خیلی جهات از سایر زلزله‌های کشور ممتاز شناخته می‌شود حتی می‌توان به جرأت اشاره نمود که این جهات در بیشتر متون و گزارشات انتشار یافته جواب قطعی به علت و چرایی آن ارائه نشده است، هرچند همان‌گونه که در مجموعه حاضر خواهید دید ریشه‌یابی‌هایی در این زمینه صورت گرفته و بارزترین نکته را تفاوت خاک زمین محل ساخت پروژه‌های مسکونی در شهر عنوان نموده‌اند. اولین نکته در زلزله یادشده ایراد بیشترین خسارت توسط زلزله به منطقه‌ای در فاصله قابل توجه از کانون و آسیب دیدن کمتر از گله به نسبت سرپل ذهاب بود. نکته بعدی کوتاه بودن مدت زمان زلزله در مقایسه با سایر زلزله‌ها بوده به نحوی که برخلاف سایرین تکان‌های شدید با شدت ۷.۳ ریشتر فقط یازده ثانیه طول کشیده است.

در همین راستا نکته حائز اهمیت اینک محلاتی از شهر آسیب کلی دیده‌اند در حالی که محله دیگر در کمال آرامش خانه‌ها دایر و ساختمان‌ها سالم می‌باشد. بنده این نکته را به مؤسسات زلزله‌شناسی کشور نوشته و یادآور شدم که این خصوصیت از زلزله تابه‌حال در نقاط دیگر دنیا تجربه نشده و استدلال کردم که در کوهپایه‌های شرقی شهر سرپل ذهاب امکان انعکاس موج زلزله به دلیل در امتداد گسل بودن دور از انتظار نبوده این امر باعث تشدید خرابی در غرب شهر شده است.

از سوی دیگر هر سه مؤلفه افقی طولی و عرضی و قائم زلزله بسیار با مقادیر پیش‌بینی شده توسط آئین‌نامه اختلاف داشته در تکان حداکثر بزرگای جابجایی در زلزله ۰.۵۶ شتاب جاذبه در امتداد طولی ۰.۶۸ شتاب جاذبه در امتداد عرضی و تا ۰.۸ شتاب جاذبه در امتداد قائم ثبت و اندازه‌گیری شده است.

این زلزله برای اولین بار مجموعه مهندسی کشور را در بوته آزمایش قرارداد تا با بحث و بررسی مشخصات آن برای اقدامات و طراحی آینده روش‌های بهتر و مطمئن‌تری در پیش بگیرند هرچند مباحث سیاسی و بهره‌برداری‌ها و تنش‌هایی صورت گرفت که در متن علمی اصلاً به آن نخواهیم پرداخت.

موضوعی که به‌عنوان نکته اساسی بایستی مورد بررسی و موشکافی قرار دهیم و موضوع بسیاری از کارهای پژوهشی و پایان‌نامه‌های دانشگاهی قرار خواهد گرفت اینک در تحلیل آسیب‌های ناشی از زلزله با شدت بیشتر از طیف طراحی آئین‌نامه (به عبارت ساده‌تر شتاب محاسباتی آئین‌نامه زلزله) طبیعتاً منجر به از رده خارج شدن ساختمان و آسیب کلی شده برای سازه‌های مهندسی ساز از این منظر ایرادات و خسارت‌های به وجود آمده قابل پیش‌بینی و دور از انتظار نبوده است.

اکبر محمدزاده - کارشناس ارشد مهندسی عمران - اردیبهشت ۱۳۹۶



فصل اول:

تکتونیک صفحه‌ای و تعریف زلزله



تعریف زلزله

علت اصلی وقوع زمین‌لرزه بدین ترتیب تعریف شده است:

صخره‌های سفت در قسمت‌های عمیق‌تر پوسته زمین در اثر حرکت صفحات نسبت به یکدیگر به صورت ارتجاعی تغییر شکل داده و انرژی ذخیره می‌کنند تا اینکه این صخره‌ها در یک زلزله به صورت ناگهانی گسیخته شده انرژی آزاد می‌کند. تکتونیک صفحه‌ای به عنوان نظریه‌ای پذیرفته شده در زمین‌شناسی حرکات انشقاق قاره‌ها و کوهزایی در خشکی را توضیح می‌دهد، بر اساس این نظریه صفحات بزرگ فلات قاره‌ای با سرعت‌های معینی در حال حرکت به سمت همدیگر یا دور شدن از هم هستند، به عنوان مثال تغییر فاصله بین قاره آمریکا و اروپا در اثر ریفت کف اقیانوس اطلس با دقت میکرون اندازه‌گیری می‌شود.

حرکت صفحات موجب کوهزایی، آتش‌فشانی و جابجایی دامنه‌ها و ریزش غارها و معادن می‌گردد. در برخی از حرکات تکتونیک، ایجاد سد طبیعی، حبس شدن آب دریا در زیر طاق‌دیس‌ها و در مجموع منجر به ایجاد گسل‌ها خواهد گردید.

گسل‌ها علاوه بر اینکه موجب ایجاد زمین‌لرزه می‌شوند فوایدی هم در طبیعت دارند از جمله کاربردهایی که برای زندگی بشر برای تأمین انرژی و مواد معدنی، جابجایی سنگ‌ها لغزش زمین و تغییر مسیر رودخانه‌ها و... داشته است.

در ناحیه استقرار کشور ما صفحه عربستان با سرعت ۲۶ میلی‌متر در سال به سمت پائین صفحه ایران در حال حرکت است. طی میلیون‌ها سال، این حرکت موجب کوهزایی در رشته‌کوه‌های زاگرس موجب کوهزایی در رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس گردیده است.

کشور ایران روی نوار زلزله‌آلپاید قرار گرفته و تقارب در مرز مشترک صفحه عربستان و ایران نوار منطقه فشاری زاگرس می‌باشد.



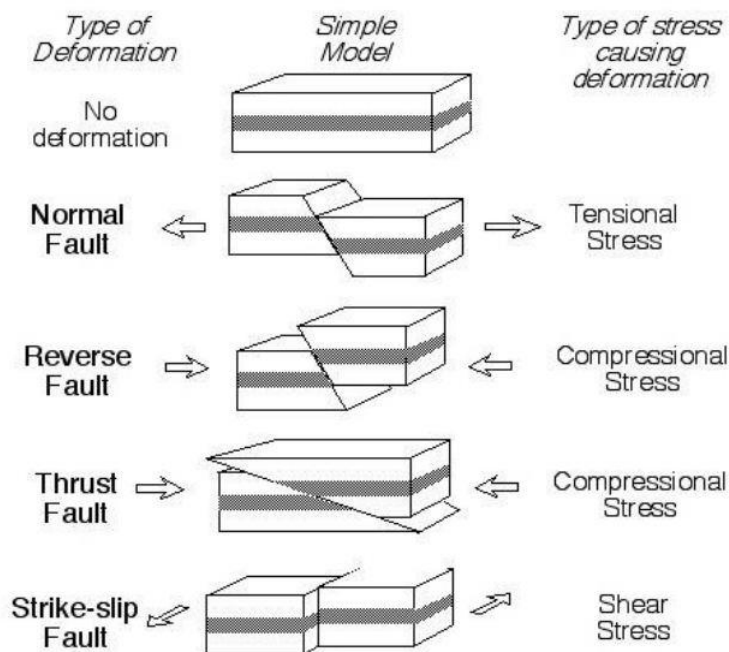
انواع گسل‌ها

انواع گسل‌ها به ۴ نوع تقسیم بندی می‌شود:

چهار نوع عمده از گسل وجود دارد که ممکن است موجب زلزله بشوند: نرمال، معکوس (محوری)، امتداد لغز و ضربه‌ای-لغزشی.

گسل‌های نرمال و معکوس نمونه‌هایی از شیب - لغزش هستند، که در آن جابه جایی در امتداد گسل در جهت شیب و حرکت بر روی آن‌ها شامل مؤلفه عمودی می‌شود. گسل نرمال عمدتاً در حوزه‌هایی رخ می‌دهد که پوسته مانند مرز واگرا در حال تمديد شدن است. گسل معکوس در مناطقی که پوسته مانند مرز همگرا در حال کوتاه شدن است رخ می‌دهد. گسل‌های ضربه‌ای - لغزشی ساختمان‌های شیب داری دارند که دو طرف گسل به صورت افقی در کنار یکدیگر می‌لغزند؛ مرزهای تبدیلی نوع خاصی از گسل ضربه‌ای - لغزشی هستند. زلزله‌های بسیاری ناشی از جنبش در گسل‌هایی هستند که شامل هر دو نوع شیب - لغزش و ضربه‌ای- لغزشی است، این لغزش به عنوان مورب شناخته شده‌است.

Simple faults and why they form



LBR 9/4/2001;
rev 2/2002



زمین لرزه‌های دور از مرزهای صفحه‌ها

از آنجایی که مرزهای صفحه‌ها در درون سنگ کره قاره‌ها رخ می‌دهد، تغییر شکل در منطقه‌ای بسیار بزرگ‌تر از مرز صفحه پخش شده‌است. مانند تبدیل قاره‌ای گسل سان آندریاس، بسیاری از زمین لرزه‌ها به دور از مرز صفحه رخ می‌دهند و به گونه‌های توسعه یافته در منطقه وسیع تری از تغییر شکل ناشی از نا منظمی در رابطه با گسل ردیابی هستند (به عنوان مثال منطقه «بزرگ خم»). زلزله نورتریج با جنبش در رانش کوه درون چنین منطقه‌ای در ارتباط بود. مثال دیگر مرز صفحه همگرا و به شدت مایل بین پلیت عربی و اوراسیا است که بخشی از شمال غربی کوه‌های زاگرس می‌باشد. تغییر شکل در ارتباط با مرز این صفحه به پوسته تقریباً خالص که جنبش‌های عمود بر مرز در منطقه وسیعی در جنوب غربی و حرکات تقریباً خالص ضربه‌ای- لغزشی در امتداد گسل‌های اصلی نزدیک به مرز واقعی صفحه‌ها تقسیم می‌شود. این توسط مکانیسم کانونی زمین لرزه نشان داده‌است. همه صفحات تکتونیکی میدان تنش داخلی ناشی از تعاملات خود با صفحات مجاور و بارگیری یا تخلیه رسوبی دارند. (به عنوان مثال deglaciation) این تنش‌ها ممکن است برای ایجاد شکست در امتداد گسل صفحه‌های موجود کافی باشند، و زلزله‌های میان صفحه‌ای را ظاهر کنند.

کانون کم عمق و کانون عمیق زلزله

اکثر زلزله تکتونیکی در حلقه آتش در عمقی کمتر از ده‌ها کیلومتر ناشی می‌شوند. زلزله‌های در عمق کمتر از ۷۰ کیلومتر به عنوان زمین لرزه‌های «کانون-کم عمق» طبقه‌بندی می‌شوند، در حالی که با فاصله کانونی بین ۷۰ و ۳۰۰ کیلومتر معمولاً «کانون-میانی» یا «زلزله متوسط عمق» نامیده می‌شوند. در مناطق فرورانش، جایی که پوسته اقیانوسی مسن تر و سردتر در بشقاب تکتونیکی دیگر می‌رود، زلزله‌ها ممکن است در عمق بسیار بیشتری (در محدوده ۳۰۰ تا ۷۰۰ کیلومتر) رخ دهند. این نواحی مرتعش فعال همراه با فرورانش به عنوان مناطق (Wadati – Benioff) شناخته شده‌است. کانون-عمیق زلزله‌ها در عمق زیاد می‌باشند که در آن ناحیه، سنگ کره با توجه به درجه حرارت بالا و فشار دیگر شکننده نیست. مکانیسم احتمالی برای نسل کانون-عمیق زلزله‌ها ناشی از اولین تحت تغییر فاز به ساختار صلبی است.



فصل دوم:

مشخصات فیزیکی امواج زلزله



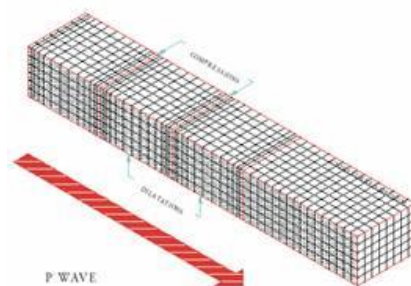
سرعت امواج زلزله

سرعت امواج زلزله به جرم مخصوص سنگ‌ها بستگی دارد. هرچه بافت سنگ‌ها متراکم‌تر صلب باشد سرعت موج زلزله در آن بیشتر خواهد بود.

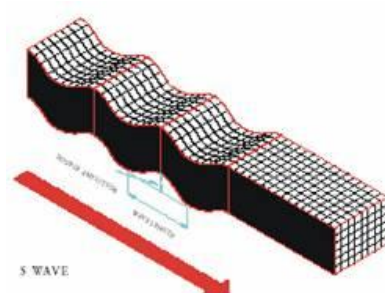
زلزله چهار نوع موج ایجاد می‌کند که از میان آن‌ها موج‌های اس و پی و موج لایو - رایلی امواج زلزله همان‌طور که اشاره گردید در محیط‌های مختلف سرعت‌های متفاوتی داشته، مانند امواج نور در مسیر خود منکسر یا منحرف و حتی انعکاس می‌یابند. سرعت موج پی از انواع دیگر بیشتر بوده ابتدا موج پی توسط لرزه‌نگار ثبت می‌گردد، سپس موج اس به دستگاه لرزه‌نگار می‌رسد.

مشابه مشخصات عمومی یک حرکت نوسانی، موج زلزله دارای دامنه، پریود و طول موج می‌باشد. امواج زلزله همان‌طور که اشاره گردید در محیط‌های مختلف سرعت‌های متفاوتی داشته، مانند امواج نور در مسیر خود منکسر یا منحرف و حتی انعکاس می‌یابند. سرعت موج پی از انواع دیگر بیشتر بوده ابتدا موج پی توسط لرزه‌نگار ثبت می‌گردد، سپس موج اس به دستگاه لرزه‌نگار می‌رسد.

موج پی موج طولی و مانند امواج صوتی می‌باشند بدین معنی که موج در مسیر خود مرتب محیط را فشرده و رها می‌سازد.



موج اس یا همان موج عرضی قوی‌ترین موج زلزله مانند امواج روی آب و موج نور بوده محیط را به نوسان درمی‌آورد.





مقیاس بزرگای ریشتر

تعابیر گوناگونی در رابطه با مقیاس ریشتر بکار برده می‌شود که گاهی با مبنای علمی آن تفاوت دارد. تعریف علمی مقیاس بزرگای ریشتر به این شکل است:

میزان انرژی آزادشده در کانون زلزله را بر اساس لگاریتم بیشترین مقدار جابه‌جایی افقی ثبت‌شده توسط لرزه‌نگار مشخص می‌گردد. دامنه حرکات زمین در فاصله ۱۰۰ کیلومتری محل وقوع زلزله توسط دستگاه لرزه‌نگار وود-اندرسون ثبت می‌شود. پس بزرگای محلی ریشتر به صورت لگاریتم مبنای ۱۰ دامنه لرزه‌نگار فوق در فاصله ۱۰۰ کیلومتری تعریف می‌گردد:

مقیاس ریشتر بیانگر میزان انرژی آزادشده در کانون زلزله است. اگر بزرگی زلزله‌ای M در مقیاس ریشتر باشد. انرژی آزادشده آن زلزله E در واحد ارگ (Erg) خواهد بود:

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

رابطه فوق نشان می‌دهد اضافه شدن هر یک درجه به بزرگی زلزله، انرژی آزادشده آن تقریباً $10^{1.5}$ یا ۳۱٫۶ برابر بیشتر می‌شود.

برای مثال بررسی بزرگی زلزله ۷٫۳ ریشتری به زلزله ۷ ریشتری را به دست می‌آوریم:

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

$$\log E_1 = 11.8 + 1.5 * 7.3$$

$$\log E_2 = 11.8 + 1.5 * 7$$

$$\log E_1 - \log E_2 = 1.5 * 0.3$$

$$\log E_1 / E_2 = 0.45$$

$$E_1 / E_2 = \text{Colog } 0.45 = 10^{0.45} \sim$$

$$E_1 / E_2 \sim \sqrt{10} \sim 3.1$$

یک زلزله ۷٫۳ ریشتری بیش از سه برابر زلزله ۷ ریشتری انرژی آزاد می‌کند.



امواج در محیط مادی به صورت خطی یا سطحی یا حجمی جابجا می‌شوند، در یک محیط ایزوتروپ، انتشار به صورت خطی در محیط یک‌بعدی مثل سیم تار، به صورت سطحی مانند امواج عرضی ناشی از تلاطم سطح آب و امواج حجمی مانند صوت و زلزله در محیط منتشر و سرعت انتشار آن به چگالی و مشخصات محیط بستگی دارد، هرچه محیط متراکم‌تر باشد، سرعت انتشار بیشتر خواهد بود.

این موضوع به این معنی است که این محیطها با فرکانس بالاتری ارتعاش خواهد داشت؛ و در نتیجه دوره تناوب کوتاه‌تری را در محیط و در بحث زلزله زمین زیر پی با دوره تناوب پائین لرزش زمین را به ساختمان انتقال می‌دهد.

هر ساختمان به صورت سه‌بعدی می‌تواند دو و در دقت بالا سه دوره تناوب داشته باشد. آئین‌نامه دوره تناوب طبیعی ارتعاش ساختمان را به ارتفاع آن ارتباط داده است البته اگر دقیق‌تر به موضوع نگاه کنیم در روش تحلیل استاتیکی معادل، دوره تناوب اصلی ساختمان در مد اول نوسان محاسبه می‌گردد. در حالی که به نسبت تعداد طبقات و یا دیافراگمها دوره‌های تناوب و مدهای نوسان بیشتری خواهیم داشت.

نوسانات ناشی از زمین‌لرزه، به صورت میرا در پوسته کره زمین منتشر می‌شوند، یک نوسان میرا فرکانس اصلی خود را حفظ می‌کند ولی دامنه نوسان به نسبت عکس مجذوری با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. بدین ترتیب حداکثر جابجایی و بیشترین خسارت ناشی از زلزله در شعاع محدودی از کانون زلزله به وقوع خواهد پیوست:



فصل سوم: مشخصات شتابنگاشت

شتابنگاشت



اثر زلزله بر روی سازه‌ها با نیروی وارده از زمین به ساختمان مدل می‌شود با در نظر گرفتن قانون دوم نیوتن نیرو عبارت است از حاصل ضرب جرم در شتاب، بنابراین از مشخصات اصلی موج زلزله جابجایی نوسانی سازه‌ها می‌باشد تغییرات سرعت این جابجایی در واحد زمان به دو شکل قابل تعیین است.

۱- عدد مطلق شتاب را می‌توانیم حساب کنیم.

۲- با توجه به ماهیت نوسانی موج زلزله و وابسته بودن روابط تعیین پرید به شتاب جاذبه، شتاب مبنای طرح را نسبتی از شتاب جاذبه منظور می‌کنیم.

آئین‌نامه‌ها و مراجع علمی مهندسی زلزله روش دوم را بکار می‌برند.

خروجی دستگاه لرزه‌نگار

دستگاه‌های لرزه‌نگار داده‌های زلزله را به صورت چهار متغییر به دست می‌دهند:

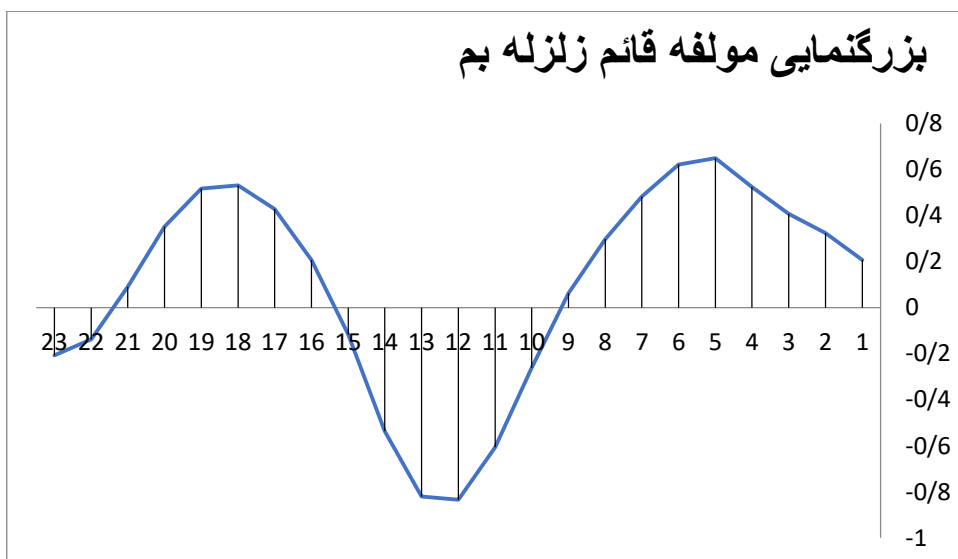
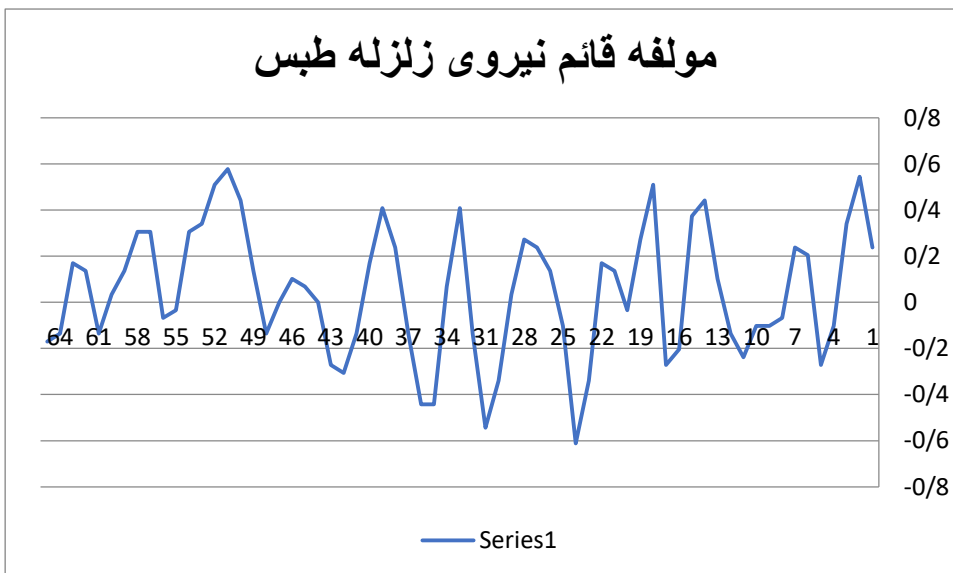
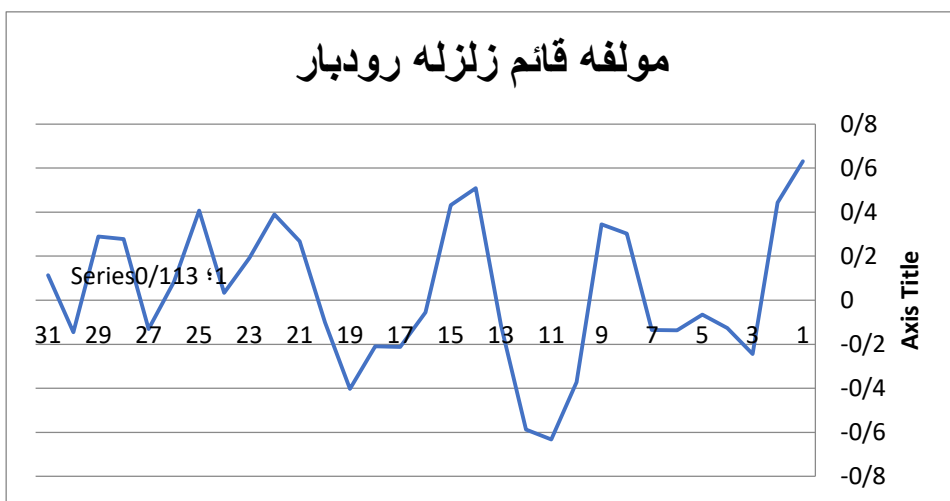
با توجه به تداوم زمانی ارتعاش و تغییرات آن در حین زلزله پاسخ زمانی خروجی دستگاه به صورت طیف خواهد بود

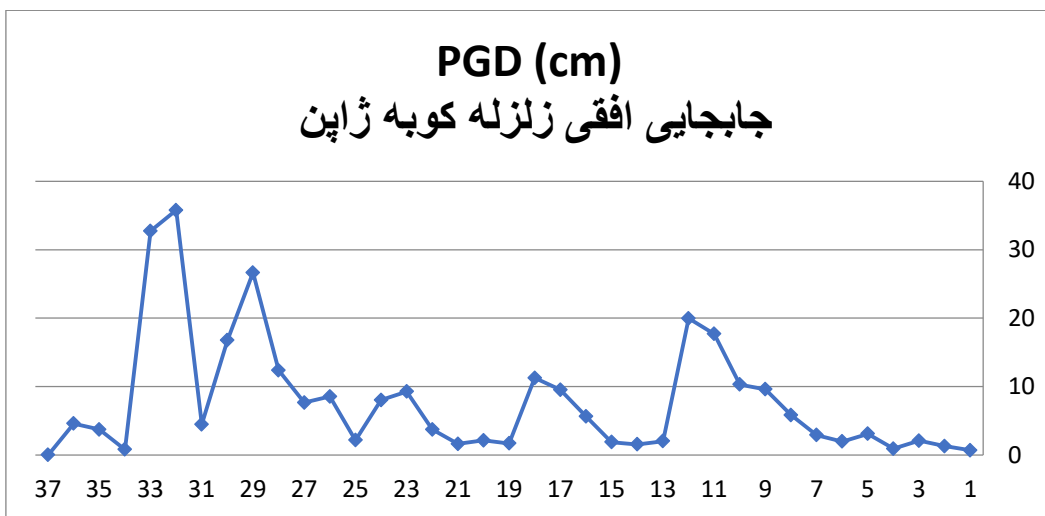
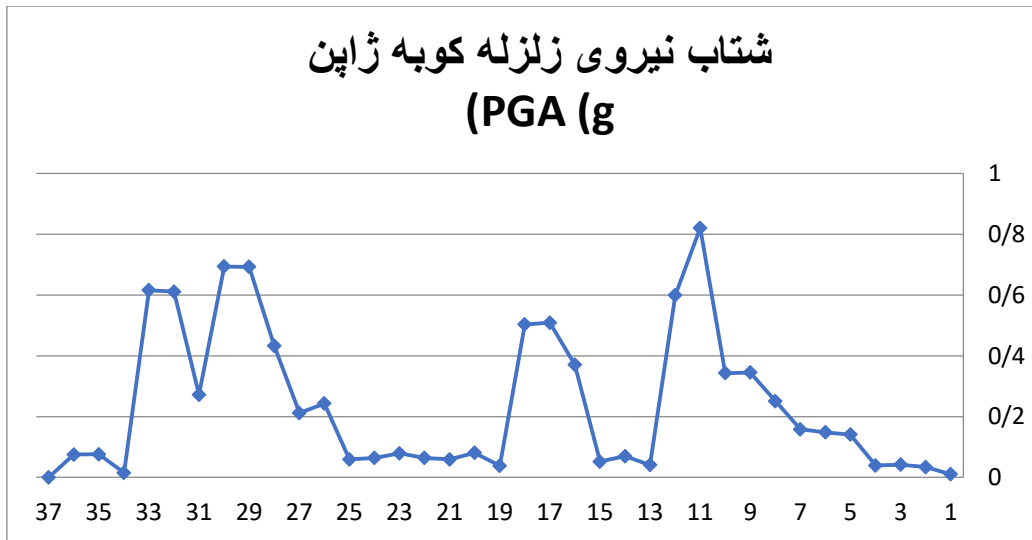
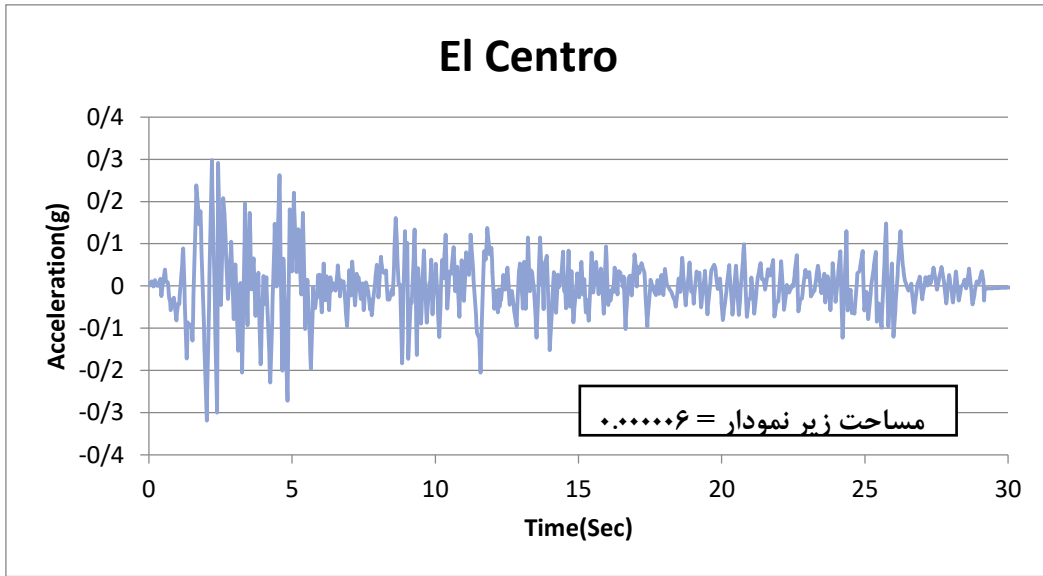
۱- جابجایی افقی

۲- جابجایی قائم

۳- شتاب افقی (مؤلفه افقی نیروی زلزله)

۴- شتاب قائم (مؤلفه قائم نیروی زلزله)







فصل چهارم: مشخصات زلزله سرپل ذهاب



مشخصات زلزله سرپل ذهاب

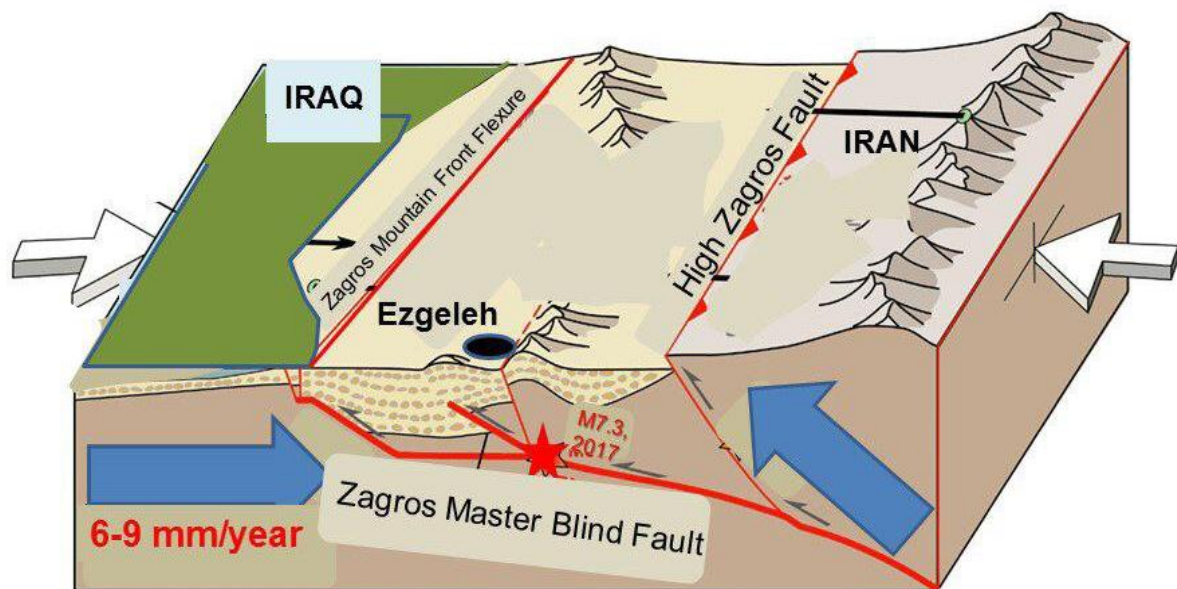
استان کرمانشاه با مساحت ۲۴۶۴۰ کیلومترمربع، هفدهمین استان ایران از نظر وسعت به شمار می‌رود. مختصات جغرافیایی کامل استان کرمانشاه بر روی کره زمین از طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۹ ثانیه شرقی تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی و از عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی می‌باشد.



برابر گزارشات موجود زمین‌لرزه سرپل ذهاب در نتیجه حرکت یک گسل رانده با مؤلفه کوچک امتدادلغز در عمق کم پوسته (۲۳ کیلومتر) اتفاق افتاده است.

نتایج اولیه سازوکار کانونی نشان می‌دهد که زمین‌لرزه بر روی گسلی اتفاق افتاده که دارای شیب کم به سمت شمال - شمال شرق است یا گسلی که شیب تندی به سمت جنوب غربی دارد.

مکان رویداد این زمین‌لرزه همراه با حل سازوکار کانونی که صفحه کم‌عمق با شیب شمال شرقی همراه بوده با گسیختگی سازند مربوط به مرز صفحه‌ای در این منطقه سازگار است.



A Simplified cartoon for Thrust faulting during **12 November 2017 Ezgeleh, Sar-e Pole Zahab, Kermanshah, Zagros, Iran Mw7.3 Earthquake**
Interpreted by: **M. ZARE**, 20 Nov 2017

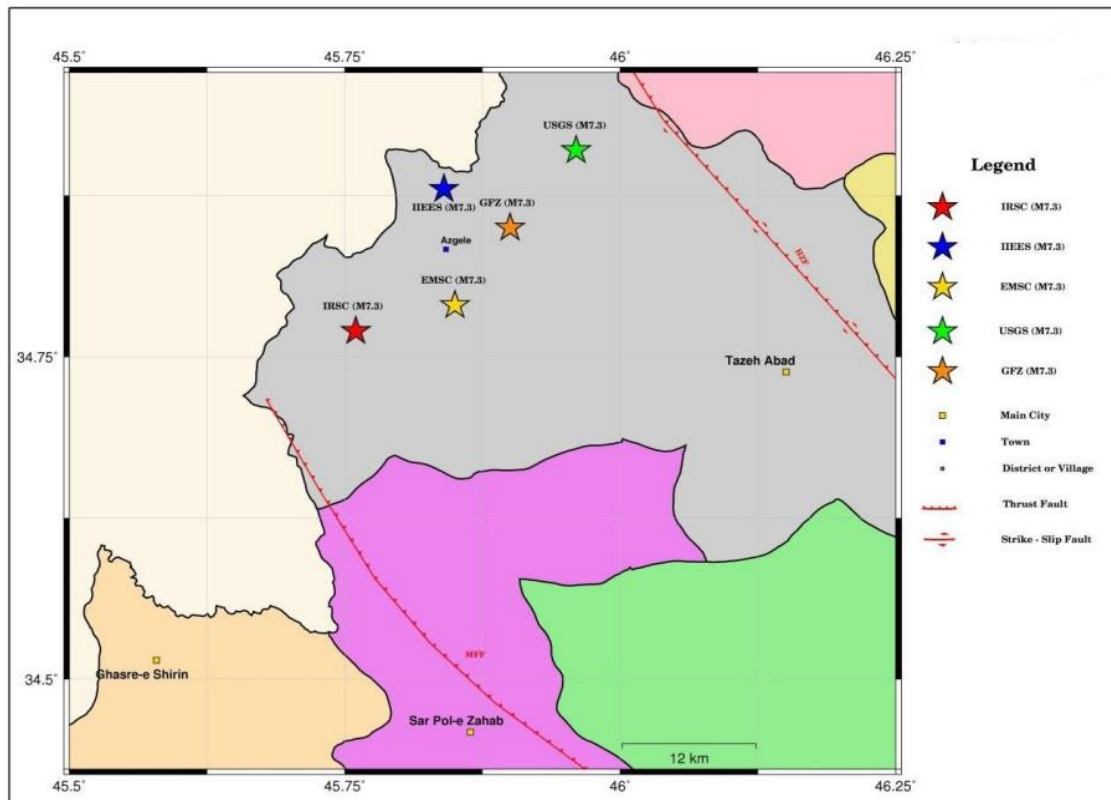
بر اساس داده‌های ثبت‌شده در مرکز لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران زلزله‌ای با بزرگای ۳/۷ ریشتر در شهر ازگله- استان کرمانشاه در ساعت ۲۱:۴۸:۱۶ به وقت محلی در مورخ ۲۱/۰۸/۹۶ رخ داده است. مشخصات این زلزله بر اساس داده‌های حاصل از مراجع مختلف ملی و بین‌المللی در جدول ۱ آورده شده است. همچنین در شکل‌های ۱ و ۲ مرکز زمین‌لرزه و محل وقوع زلزله به همراه گسل‌ها آورده شده است.

زلزله‌هایی مانند زلزله کرمانشاه که در اثر رهایی ناگهانی انرژی ذخیره‌شده در پوسته زمین ایجاد می‌شود زلزله‌های تکتونیک نامیده می‌شوند.

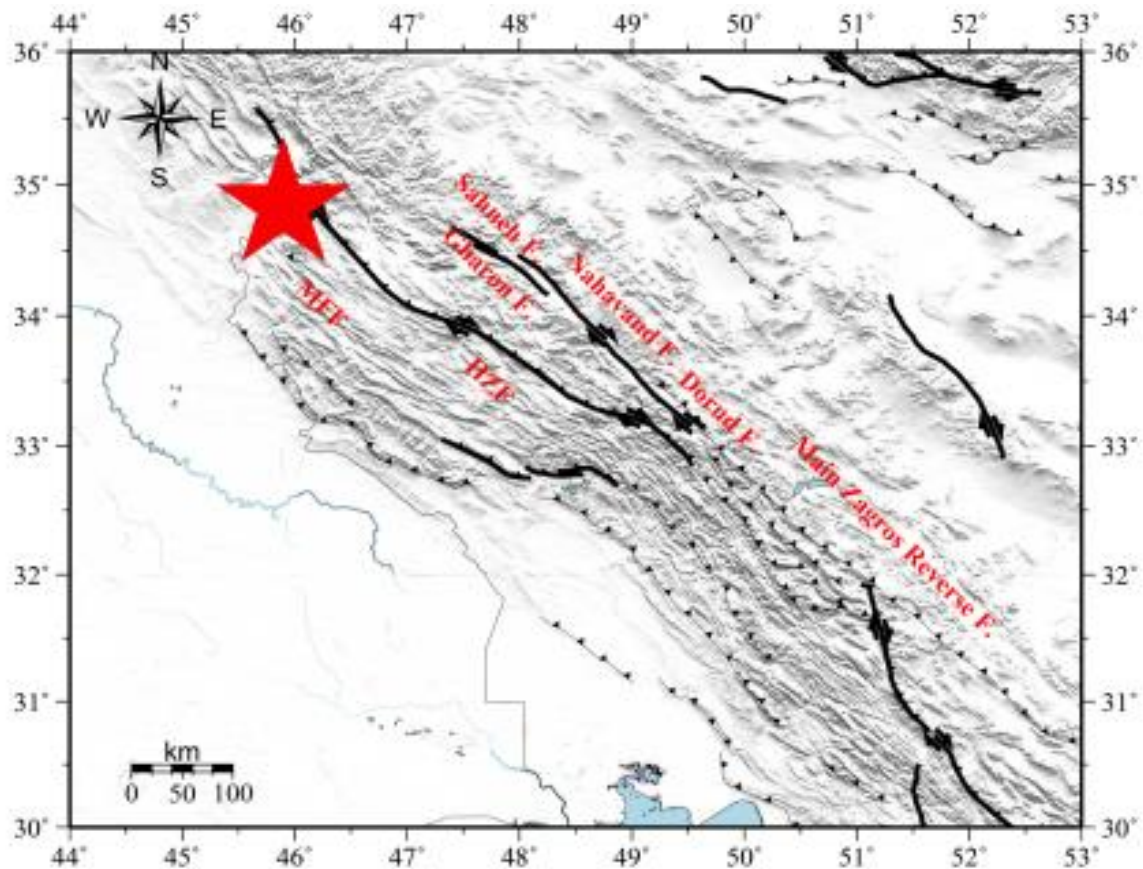


جدول ۱- مختصات رومرکز زمین لرزه ۳/۷ ازگله- سرپل ذهاب کرمانشاه، گزارش شده توسط مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) و سایر مراکز

مرجع	زمان وقوع (GMT)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق	بزرگی
IRSC	2017/11/12 18:18:16.2	34.77	45.76	18.1	7.3
IIEES	2017/11/12 18:18:17.8	34.88	45.84	18	7.3
EMSC	2017/11/12 18:18:17.3	34.79	45.85	24	7.3
USGS	2017/11/12 18:18:17.0	34.91	45.96	19	7.3
GFZ	2017/11/12 18:18:18.0	34.850	45.9	25	7.3



شکل ۱- رومرکز زمین لرزه ۳/۷ ازگله- سرپل ذهاب کرمانشاه، گزارش شده توسط مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) و سایر مراکز



شکل ۲ - گسل‌های عمده منطقه به همراه زلزله‌ی ۳/۷ رخ داده که با علامت ستاره نمایش داده شده است. نزدیک‌ترین ایستگاه شتاب‌نگاری به رومرکز این زمین‌لرزه ایستگاه سرپل ذهاب بوده است. این ایستگاه به صورت میدان آزاد (Free Field) در محل فرمانداری سرپل ذهاب نصب بوده است. حداکثر شتاب تصحیح‌نشده بر روی مؤلفه‌های افقی در ایستگاه سرپل ذهاب به ترتیب برابر ۶۸۴، ۵۵۴ و مؤلفه قائم ۳۸۵ سانتی‌متر بر مجذور ثابته گردیده است که بالاترین شتاب ثبت‌شده از این زمین‌لرزه است. رکورد ثبت‌شده در ایستگاه سرپل ذهاب توسط فیلتر باند گذر و تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی و طیف‌های مرتبط با آن استخراج گردید (مطابق شکل‌های ۳ تا ۱۰). نتایج حاصل از این پردازش نشان‌دهنده شتاب حداکثر اصلاح‌شده ۶۸۱ سانتی‌متر بر مجذور ثابته بر روی مؤلفه طولی دستگاه که در جهت شمال قرار داشته، شتاب ۳۵۸ سانتی‌متر بر مجذور ثابته بر روی مؤلفه قائم و ۵۶۵ سانتی‌متر بر مجذور ثابته بر روی مؤلفه عرضی که در امتداد شرقی غربی قرار داشته می‌باشد. پیروید غالب به ترتیب بر روی مؤلفه‌های طولی، قائم و عرضی شتاب‌نگاشت ۲۲/۰، ۰۸/۰ و ۳/۰ ثابته بوده است. مدت دوام مؤثر زمین‌لرزه (Significant duration) در این رکورد ۱۱ ثابته بوده است.



این یعنی حداکثر انرژی در این زمین‌لرزه در منطقه کلان لرزه‌های در ۱۱ ثانیه آزاد شده است. در شکل‌ها تاریخچه زمانی رکورد اصلاح‌شده مؤلفه شمالی- جنوبی (L-component)، قائم (V-component) و شرقی- غربی (T-component) شتاب‌نگاشت سرپل ذهاب به همراه طیف پاسخ آن‌ها آورده شده است. بررسی دقیق‌تر شتاب‌نگاشت ثبت‌شده در این ایستگاه نشان‌دهنده اختلاف‌زمانی رسید بین امواج p و s برابر با ۱۳/۵ ثانیه بوده که نشانه فاصله کانونی بین ۳۵ تا ۴۱ کیلومتری این ایستگاه تا کانون زمین‌لرزه (Hypocentral Distance) بوده است.

عملکرد ساختمان‌ها در شهر سرپل ذهاب

با توجه به بازدید محلی از شهر سرپل ذهاب مشاهده گردید که عمدتاً خرابی‌ها در ناحیه جنوب غربی شهر در مجاورت رودخانه که احتمال زیاد دارای رسوبات آبرفتی می‌باشد اتفاق افتاده است که پروژه جدیدالاحداث مسکن مهر هم در این منطقه واقع شده است. درحالی‌که میزان خرابی در سایر مناطق شهر بخصوص در شمال شهر که در دامنه تپه واقع شده است به مراتب کمتر می‌باشد.

علیرغم اینکه در این مرحله دسترسی به پروفیل خاک منطقه مقدور نبوده ولی بررسی اولیه نشان می‌دهد که به احتمال زیاد تفاوت قابل توجه در میزان خرابی در دو ناحیه از شهر مربوط به بافت خاک متفاوت دو ناحیه می‌باشد. به طوری‌که در ناحیه با خاک آبرفتی در مجاورت رودخانه شتاب وارده به سازه و در نتیجه خرابی بیشتر می‌باشد. همچنین دلیل این تفاوت خرابی می‌تواند مربوط به پدیده (Basin Edge) باشد که نیاز به بررسی دقیق و جامع‌تر می‌باشد.

البته همان‌طور که در مقدمه اشاره گردید از خصوصیات منحصربه‌فرد این زلزله اینکه نقطه جمعیتی در فاصله بالای ۳۰ کیلومتری کانون از کانون بیشتر آسیب‌دیده است، از سوی دیگر در خود شهر نیز محلاتی آسیب زیاد و محلات دیگر آسیب کمتری دیده است.

بر اساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای صورت گرفته گسل ۶۰ کیلومتری منطقه به‌اندازه حداکثر ۹۰ سانتی‌متر جابجایی از خود نشان داده است. همچنین امتداد لغز بودن گسل و امتداد آن که از شهر از گله میان دو کوهپایه می‌گذرد، خصوصیت منحصربه‌فردی به آن داده که به نظر بنده می‌توان از دو منظر یادشده نیز وضعیت خرابی‌ها در محلات فولادی و محل احداث مسکن مهر را مورد بررسی قرار داد.



بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، آمار ساختمان‌های مسکونی استان کرمانشاه به تفکیک تیپ سازه‌ای و مصالح مصرفی در جدول ۳ نشان داده شده است

جدول ۳- آمار ساختمان‌های مسکونی استان کرمانشاه

اظہار نشده	سایر								بتن آرمه	اسکلت فلزی	جمع استان	
	سایر	خشت و گل	خشت و چوب	تمام چوب	تمام آجر یا سنگ و آجر	بلوک سیمانی (با هر نوع سقف)	آجر و چوب	آجر و آهن یا سنگ و آهن چوب				جمع
۱۱۵۹	۳۸۶۴	۶۳۳۶	۱۵۲۰۹	۶۵۳	۹۷۸۹	۴۸۹۹	۳۶۸۷۰	۲۲۹۰۵۱	۳۰۶۶۷۱	۸۴۴۰۷	۱۴۷۳۴۳	۵۳۹۵۸۰

بر اساس آمارهای ارائه شده ۲۶ درصد از کل ساختمان‌های استان کرمانشاه اسکلت فلزی و ۱۵ درصد اسکلت بتن‌آرمه و در حدود ۴۲ درصد آجر و آهن و بقیه آجری و یا با مصالح کم‌دوام ساخته شده است.

طبیعتاً همین نسبت حدوداً در شهر سرپل ذهاب نیز برقرار بوده است.

با احتساب ۱۷ درصد باقیمانده به‌عنوان ساختمان‌های غیر مقاوم در نظر خواهیم داشت که حدود ۵۹ درصد ساختمان‌ها غیر مهندسی ساز در دست بهره‌برداری می‌باشند.

از سوی دیگر سازه‌های بنایی نیز سهمی از ۴۲ درصد را به خود اختصاص خواهد داد که با مراجعه به جدول عمر بناها این مهم قابل‌دستیابی خواهد بود.

برای شهر سرپل ذهاب که بیشترین آسیب را از زلزله اخیر کرمانشاه دیده، به ترتیب زیر می‌توان به آمارها دست‌یافت:

۴۱ درصد از ساختمان‌ها و واحدهای مسکونی موجود اگر مهندسی ساز بوده در واقع حدود ۶۰۰۰ واحد مسکونی را شامل شده آپارتمان‌های مسکن مهر و شخصی‌سازهای چند واحدی که با اخذ وام در سال‌های ۱۳۸۶ به بعد احداث شده‌اند در همین قاعده قرار می‌گیرند.

بنابراین اگر یک تفکیک کلی از مشاهداتمان را قبل از هر چیز به عمل آوریم:

۱- ساختمان‌هایی که قبل از انتشار و اجباری شدن آئین‌نامه زلزله در دهه شست و اوایل دهه هفتاد احداث شده‌اند اصلاً وارد مقوله ما نیستند.



۲- با توجه به مدارک موجود ساختمان‌هایی که بعد از تشکیل سازمان نظام‌مهندسی ساختمان پروانه گرفته و احداث شده‌اند:

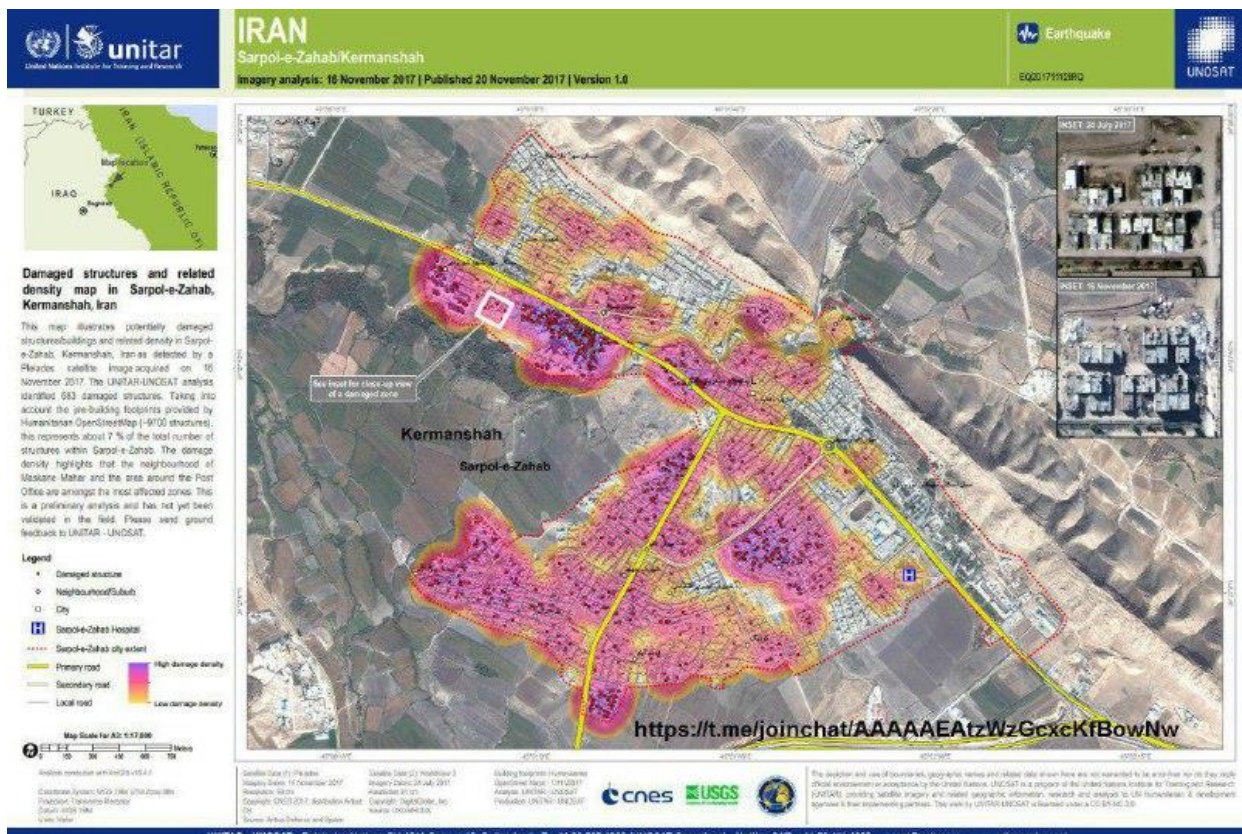
۳- از حدود سال ۱۳۷۵ در مراکز استان‌ها و در سال‌های متأخر در شهرستان‌ها، شهرداری نقشه‌ها را از نظام‌مهندسی اخذ و مهر ۲۸۰۰ روی نقشه‌ها هست.

۴- ضمناً از هنگام ابلاغ آئین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله چهار ویرایش در آئین‌نامه صورت گرفته است.

سؤال محوری این است:

آن دسته از ساختمان‌هایی که بعد از ابلاغ و اجرایی شدن آئین‌نامه زلزله استاندارد ۲۸۰۰ طراحی و اجرا شده‌اند چه ضعف‌هایی را از خود نشان داده‌اند؟

پاسخ به این سؤال ما را در مراحل بعدی طراحی و اجرا و نظارت ساختمان‌ها یاری خواهد نمود. حتی به ویرایش‌های بعدی آئین‌نامه منجر خواهد گردید.



شکل ۴- تصویر ماهواره‌ای سازمان ملل از میزان خسارات زلزله در سرپل ذهاب
زرد حداقل خسارت - بنفش حداکثر خسارت



زمین ساخت زاگرس

کوه‌های زاگرس از شمال به فلات ایران و از جنوب به حوضه‌ها فعال بین‌النهرین و خلیج فارس محدود می‌شود. طول کوه‌های زاگرس در ایران حدود ۱۵۲۲ کیلومتر و پهنای آن از حدود ۲۲۲ کیلومتر در شمال غرب به حدود ۳۵۲ کیلومتر در جنوب شرق افزایش می‌یابد. ارتفاع ساختارهای زمین‌شناسی و سن نسبی کوه‌های زاگرس به سمت شمال شرق افزایش می‌یابد. این افزایش با پله‌های تدریجی از طاق‌دیس‌های دست‌نخورده حاشیه خلیج فارس تا خط الراس ارتفاعات گسل خورده زاگرس مرتفع ادامه دارد.

زاگرس به مجموعه پستی‌وبلندی‌های منظم و ویژه‌ای گفته می‌شود که از کوه‌های تاوروس در ترکیه تا حوالی تنگه هرمز گسترده شده‌اند. ساخت زمین‌شناسی آن ساده، ملایم و شامل مجموعه‌ای از رشته طاق‌دیس‌های نزدیک هم با ساطع محوری متغیر ولی در مجموع روند شمال غربی - جنوب شرقی است. حد شرقی آن توسط گسل میناب محدود می‌شود و آن را از رشته‌کوه‌های مکران جدا می‌نماید. بخش باریکی از زاگرس در شرق تنگه هرمز نیز کشیده شده و در آنجا خاتمه می‌یابد. از نظر تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی (عمدتاً چین‌خوردگی‌ها) در شکل ظاهری کوه‌ها، زاگرس یکی از انواع مهم چین‌خوردگی‌ها است که در دنیا به نام چین‌خوردگی ژورائی شناخته می‌شود.

چین‌های زاگرس منظم و در بیشتر موارد محور آن‌ها موازی است. جهت محورهای چین‌خوردگی در آن نیز مستقیماً حاصل برخورد پلتفرم عربستان است و کوچک‌ترین تغییر در شکل لبه پلتفرم عربستان در مرفولوژی زاگرس منعکس شده است. بیشتر چین‌ها در کمربند چین‌خورده رانده زاگرس نامتقارن بوده و یال‌های پرشیب طاق‌دیس‌ها در پهلو جنوب غربی آن قرار دارند. چین‌خوردگی نامتقارن بیان‌کننده حرکت رو به شمال صفحه عربستان نسبت به ایران مرکزی است. گاه دگرشکلی زیاد موجب گردیده تا پهلو جنوب غربی طاق‌دیس‌ها برگشته شود. در برخی موارد نیز در محل یال برگشته و یا سطح محوری طاق‌دیس‌ها، راندگی‌هایی تشکیل شده است. اغلب راندگی‌های زاگرس دارای شیبی به سمت مال شرق هستند. شدت تغییر شکل‌ها به سمت شمال شرق زاگرس افزایش یافته و گسلش نقش مهم‌تری در تکامل ساختاری می‌یابد.

بنابراین مکانیسم کوتاه شدگی پوسته در زاگرس در اعماق مختلف متفاوت است. اعماق کمتر از ۱۲ کیلومتر بالاتر از نمک هرمز (پوشش رسوبی) عمده‌تاً توسط چین‌خوردگی تغییر شکل می‌دهد. از



عمق ۱۰ تا ۲۵ کیلومتر ضخامت پوسته فوقانی در طول گسله‌ای معکوس بزرگ زاویه افزایش می‌یابد. از عمق ۲۵ کیلومتری تا اعماق موهو، پوسته زیرین بر اثر خزش و یا جریان پلاستیکی مواد ضخیم می‌گردد؛ بنابراین، گوشته فوقانی به دلیل صلب بودن به زیر پوسته عربستان و ایران می‌لغزد.

ساختار پوسته در زیر زاگرس را می‌توان از نوع حاشیه قاره‌ای غیرفعال در نظر گرفت. مقطع ارائه‌شده توسط جکسان (۱۹۸۲) با شواهد زمین‌ساختی دال بر برخورد قاره‌ای بین عربستان و ایران انطباق دارد. بر مبنای مدل ارائه‌شده، پوسته در مراحل اولیه تشکیل حوضه زاگرس متحمل کشیدگی و نازک شدگی گردیده که با تشکیل گسله‌ای عادی در پی‌سنگ همراه بوده است. گسله‌ای عادی پی‌سنگی با گذشت زمان در زیر رسوبات دریایی پوشش رسوبی (که ضخامت آن از ۵ تا ۱۲ کیلومتر متغیر است) دفن گردیدند. هم‌گرایی دو صفحه عربستان و ایران باعث شد گسله‌ای پی‌سنگی به صورت گسله‌ای معکوس فعال شوند. این وارونگی جنبشی باعث ضخیم شدگی غیرعادی پوته بلورین و یا فرورانش آن نمی‌گردد و احتمالاً تا زمانی که پی‌سنگ به ضخامت اولیه خود برسد، ادامه خواهد یافت. در این فرایند فعالیت گسله‌ای معکوس با ضخیم شدگی نسبی در پی‌سنگ همراه بوده و سبب ایجاد چین‌خوردگی شدید در پوشش رسوبی گردیده است.

با ادامه هم‌گرایی، در شمال شرق زاگرس جنوب شرقی گسل اصلی زاگرس بر اثر فشار تانژانتی ناشی از ایران مرکزی، پوشش رسوبی بر روی سازند هرمز لغزیده و چین می‌خورد. این چین‌خوردگی به تدریج در طی مقاطع مختلف زمانی به سمت جنوب غرب مهاجرت می‌کند. این عمل که به طور مجزا و مستقل از پی‌سنگ صورت می‌گیرد باعث شده که تغییر شکل‌های ایجادشده در پی‌سنگ با پوشش رسوبی مطابقت نداشته باشد.

لرزه زمین‌ساخت

بررسی‌های لرزه زمین‌ساختی منطقه زاگرس به‌طور عمده به مطالعات لرزه‌خیزی این منطقه محدود گردیده است. این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که گسلش لرزه‌زا در منطقه زاگرس در سطح زمین رخنمون ندارد.

اساساً تغییر شکل الاستیک و رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در امتداد زون‌های گسلی اصلی در منطقه زاگرس به فوقانی ترین بخش پی‌سنگ ژرفای ۸ تا ۱۲ کیلومتر محدود گردیده و به دلیل وجود لایه‌های تبخیری که در افق‌های مختلف پوشش رسوبی وجود دارد، شکستگی به سطح زمین



نمی‌رسد. به دلیل محدودیت مذکور، از مدت‌ها پیش بررسی ساخت‌های ریخت شناختی زاگرس در پیوند با تمرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نتیجه این بررسی‌ها به شناسایی تعدادی از عوارض ریخت زمین‌ساختی لرزه زا منجر گردید. (فالکن، ۱۹۶۱؛ نی و برزننگی، ۱۹۸۶؛ بربریان، ۱۹۹۵).

از میان عوارض مزبور، خمیدگی جبهه کوهستان (فالکن، ۱۹۶۱) که بعدها توسط بربریان (۱۹۹۵) نامیده شد، از ویژگی‌های خاصی برخوردار است. بربریان (۱۹۹۵) به تمرکز زمین‌لرزه‌های متوسط و بزرگ بر روی این ساختار در شمال غرب گسل کازرون اشاره نموده و آن را به فعالیت گسل پی‌سنگی مسبب این ساختار نسبت داد. تمرکز زمین‌لرزه‌های متوسط و بزرگ بر روی گسل جبهه کوهستان (MFF) همچنین بالاترین نرخ کوتاه شدگی به دست آمده از اندازه‌گیری‌های GPS در طول آن بیانگر آن است که امروزه این گسل نسبت به سایر گسله‌ای معکوس زاگرس از بیشترین فعالیت لرزه‌خیزی در شمال غربی زاگرس برخوردار است.

کانون سطحی و سازوکار کانونی زمین‌لرزه 21 آبان سرپل ذهاب حکایت از این دارد که گسل مسبب این زمین‌لرزه یکی از قطعه‌های با راستای شمال-شمال غرب گسل جبهه کوهستان -MFF است که با زاویه بسیار کم ۱۵ - ۱۰ درجه به سمت شرق شیب دارد. اگرچه این زمین‌لرزه با گسلش سطحی همراه نبود ولی نتایج به دست آمده از داده‌های رادار (SAR Interferometry) گویای آن است که این زمین‌لرزه با یک چین خوردگی کم دامنه ۹ سانتی‌متر فرایش طاق‌دیس و ۳۰ سانتی‌متر فرونشست ناودیس (با طول موج وسیع حدود ۶۲ کیلومتر) همراه بوده است.

تغییر شکل پوسته زمین

مطابق با مدل اولیه تهیه شده توسط موسسه GSI کشور ژاپن Geospatial Information Authority of Japan بر پایه تحلیل داده InSAR، جابجایی بیشینه حدود ۹۰ سانتی‌متر به سمت بالا و حدود ۵۰ سانتی‌متر به سمت غرب در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال غرب سرپل ذهاب مشاهده می‌گردد، در محل کانون زمین‌لرزه، بیشینه جابجایی حدود ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر به ترتیب به سمت پایین و غرب محاسبه شده است. منطقه با جابجایی بیش‌تر از ۱۰ سانتی‌متر، حداقل ۸۲ کیلومتر گسترش دارد.



پیشینه لرزه‌خیزی منطقه

توزیع زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی سده اخیر در گستره هم لرزه‌ای زمین‌لرزه ۱۳۹۶/۰۸/۲۱ سرپل ذهاب ($MW=7.03$) دلالت بر سابقه فعالیت لرزه‌ای کم منطقه دارد. به جز زمین‌لرزه‌های مشاهده شده در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب قصر شیرین که مرتبط با وقوع فوج زمین‌لرزه‌های شهرستان قصر شیرین در آذرماه ۱۳۹۲ است، عملاً فعالیت لرزه‌های قابل‌توجهی در منطقه در طی صدسال اخیر مشاهده نمی‌گردد. غالب زمین‌لرزه‌های دستگاهی روی‌داده در منطقه دارای بزرگای گشتاوری کمتر از ۵ هستند. عملاً در بخش وسیعی از گستره اطراف کانون زمین‌لرزه اخیر سرپل ذهاب، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بالای ۶ مشاهده نمی‌گردد.

یکی از مناطقی که فرضیه عدم وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگای بالا ۷ در بخش چین‌خورده - رورانده زاگرس را قوت می‌بخشید، این بخش از زون لرزه-زمین‌ساختی زاگرس بود.

به لحاظ لرزه‌خیزی تاریخی، دو زمین‌لرزه ۹۵۸ و ۱۱۵۰ میلادی با بزرگای تخمینی به ترتیب ۶/۴ و ۵/۹ در مجاورت شهر سرپل ذهاب گزارش شده‌اند که سابقه لرزه‌خیزی بالای این شهر را نشان می‌دهد. زمین‌لرزه آوریل ۹۵۸ میلادی حلوان، سرپل ذهاب کنونی را ویران کرد و بسیاری را در جبال کشت. زمین‌لرزه که در بغداد حس شد و پس‌لرزه‌های آن که به‌تناوب در سرتاسر ماه‌های نخست سال ادامه داشت، بر منابع آب زیرزمینی در زاگرس اثر گذشت. بزرگای زمین‌لرزه‌ی اصلی ۶/۴ در مقیاس امواج سطحی MS برآورد شده است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲).

زمین‌لرزه آوریل ۱۱۵۲ میلادی حلوان نیز زمین‌لرزه‌ی ویرانگر دیگری است که در منطقه‌ی حلوان (سرپل ذهاب) روی داد و سبب دگر ریختی‌های زمین در کوه‌ها شد. رباط به‌روزی ویران شد و شمار زیادی از کوچ‌نشینان ترکمن کشته شدند. در بغداد زمین‌لرزه به‌شدت حس شد و زمین به هنگام جنبش چند بار شکل امواج به خود برآورد گرفت و باعث ترک خوردن برخی دیوارها شد. بزرگای این زمین‌لرزه ۵/۹ در مقیاس امواج سطحی MS برآورد شده است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲).

از نظر سازوکار گسله‌ای این بخش از زاگرس، همان‌طور که مشاهده می‌گردد غالب سازوکارهای حاکم بر زمین‌لرزه‌های این زون از نوع معکوس یا تراستی بر روی صفحه‌های با روند شمال غرب-جنوب شرق کم‌ویش مشابه سازوکار زمین‌لرزه اخیر سرپل ذهاب هستند



زمین‌لرزه سرپل ذهاب با بزرگای $7/3$ در ساعت $21/48$ به وقت محلی در بیست و یکم آبان ماه ۱۳۹۶ در نزدیکی شهر ازگله در استان کرمانشاه واقع در شمال غرب ایران به وقوع پیوست. این زلزله در پهنه وسیعی از ایران و صدها کیلومتر دور از مرکز زمین‌لرزه حتی در شهر تهران حس گردید که نشانگر وسعت بالای پهنای گسلش مربوط به گسل مسبب این زمین‌لرزه است. بعلاوه بررسی وسعت و شدت تخریب‌های شدید ساختمانی حاصل از این زمین‌لرزه نشانگر این حقیقت است که خسارات در مناط و جهات خاصی در اطراف گسل مسبب تجمع یافته و از مقدار آن در دیگر مناطق به شدت کاسته می‌شود. این امر نشان‌دهنده تأثیرپذیری شدید حرکات توانمند زمین در سطح از فرایند گسلش در عمق، نظیر جهت انتشار گسیختگی، مقادیر لغزش و الگوی انتشار آن بر پراکندگی حرکات توانمند زمین در سطح می‌باشد. یک دلیل محکم بر این مدعا بیشینه شتاب بالا ثبت شده در شهر سرپل ذهاب با مقدار $0.68g$ و کاهش شدید آن بافاصله در شهر گورسفید به میزان نصف این مقدار است. از آنجائی که خسارات ساختمانی و جانی ارتباطی مستقیم با بیشینه شتاب زلزله در هر نقطه داشته و این بیشینه شتاب در فواصل نزدیک از گسل به شدت تابع مشخصات چشمه زلزله و نحوه گسلش در گسل مسبب زمین‌لرزه است، لذا لازم است تا پارامترهای گسلش در این زمین‌لرزه با دقت بالا تعیین گردد.

بدین منظور در این قسمت مطالعات و بررسی‌های اولیه انجام شده جهت تعیین پارامترهای عمومی مختصات کانونی، عمق، شیب، امتداد (و خاص گسلش) مقادیر لغزش، الگوی لغزش، سرعت انتشار گسیختگی و ... در این زمین‌لرزه و ارتباط آن با پراکندگی حرکات توانمند زمین تشریح شده است.



روش و نحوه تحلیل

برای تعیین پارامترهای گسل مسبب زمین‌لرزه، استفاده از روش و اندازه‌گیری‌های مستقیم به دلیل عمق زیاد زلزله، وسعت سطح گسلش، ارتباط پارامترهای انتشار گسیختگی با زمان و فراوانی مقادیر مجهول امری محال است لذا برای تعیین این پارامترها، از روش‌های معکوس به کمک تحلیل‌های برگشتی استفاده می‌شود. برای این منظور لازم است تا از لرزه‌نگاشت‌ها سرعت‌سنج و شتاب‌نگاشت‌های ثبت‌شده از این زلزله در ایستگاه‌های مختلف لرزه‌نگاری استفاده نمود. بدین منظور مدلی از سطح گسل و پوسته زمین در محل (محیط انتشار موج) ساخته و پارامترهای گسل و گسلش آن با کمک روش‌های مختلف بهینه‌سازی به‌گونه‌ای تعیین می‌گردد که بهترین تطابق بین نگاشت‌های ثبت‌شده و مدل شده حاصل و پارامترهای گسلش تعیین گردد. جهت تعیین دقیق پارامترها در حوزه نزدیک گسل، لازم است تا سطح گسل به تعداد زیادی زیر گسل تقسیم شود. ضمناً مشخصات مدل پوسته (محیط انتشار موج) شامل سرعت امواج P و S ضخامت و دانسیته هر لایه به همراه روابط بیان‌کننده میرایی امواج بافاصله نیز از پارامترهای ورودی مدل بوده و باید قبل از انجام تحلیل تعیین گردد.

معمولاً پارامترهای گسلش را می‌توان با استفاده از دو دسته داده‌های دور لرزه Tele seismic و لرزه‌نگاشت یا شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل تعیین نمود. استفاده از داده‌های دور لرزه‌های می‌تواند در تعیین پارامترهای عمومی گسل مفید باشد ولی برای تعیین پارامترهای خاص گسلش به دلیل استفاده از محتوای فرکانس پایین کارایی لازم را ندارد. لازم به ذکر است که برای تعیین حرکات توانمند زمین در نزدیکی گسل و ارتباط آن با خسارات ساختمانی و جانی لازم است تا پارامترهای خاص گسلش را تعیین نمود و بدین منظور استفاده از داده‌های حوزه نزدیک گسل امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.



تحلیل داده‌های شتاب‌نگاری ثبت‌شده در محدوده نزدیک گسل

همان‌طور که در توضیحات فوق اشاره گردید، برای تعیین دقیق پارامترهای گسل مسبب زمین‌لرزه لازم است تا از داده‌های لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری در فواصل نزدیک به مرکز زمین‌لرزه و گسل مسبب استفاده نمود. در این راستا می‌توان از داده‌های لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و یا داده‌های شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن استفاده نمود. بررسی فواصل ایستگاه‌های لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با مرکز زلزله، نشان داد که داده‌های شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در فواصل به مراتب نزدیک‌تری و به تعداد بیشتری به مرکز زمین‌لرزه واقع شده‌اند. لذا در این تحقیق از داده‌های مربوط به این مرکز استفاده شده است.

با توجه به فاصله نه‌چندان دور این ایستگاه به مرکز سطحی زلزله، این تفاوت امری عجیب به نظر می‌رسد و توجه ما را به امکان رخداد پدیده‌ای خاص در این ایستگاه جلب می‌نماید. در سرعت نگاشت ایستگاه سرپل ذهاب حضور پالس سرعت که معمولاً در حوزه نزدیک گسل به وقوع می‌پیوندد کاملاً مشخص است. این پدیده که به پالس جهت یافتگی Pulse Directivity معروف است در اثر هم‌راستایی جهت انتشار گسلش با جهت لغزش در سطح گسل به سمت ایستگاه لرزه‌نگاری سرپل ذهاب اتفاق افتاده است و باعث شده تا بیشینه شتاب در این ایستگاه به مقدار بیش از دو برابر بیشینه شتاب در ایستگاه‌های دیگر با فواصل مشابه افزایش یابد. بدین ترتیب خساراتی به مراتب شدیدتر در اطراف این ایستگاه یعنی در شهر سرپل ذهاب و شهرک‌های زراعی و قره‌بلاغ اعظم و روستاهای (مجموعه روستاهای کوئیک) اطراف آن را موجب گردیده است.

این پدیده یکی از اثرات شاخص چشمه گسلش در منطقه نزدیک به گسل بوده و بار دیگر بر اهمیت شناخت فرایند گسلش در درک بهتر از بیشینه شتاب و پراکندگی آن در منطقه تأکید می‌نماید. افزون بر این، در زمین‌لرزه ۱۳۸۲ بم نیز همین اثر مشاهده و با ایجاد بیشینه شتاب حدود $0.8g$ خسارات گسترده جانی و مالی را در شهر بم موجب گردید. این پالس با توجه به پیروند آن که معمولاً بزرگ‌تر از ۱ ثانیه می‌باشد، خصوصاً می‌تواند برای ساختمان‌های بلندمرتبه تقریباً ۸ یا ۱۰ طبقه به بالا (سدها، پل‌ها، شریان‌های حیاتی، خطوط لوله آب، گاز و خطوط انتقال برق) بسیار خطرآفرین باشد و متأسفانه در آیین‌نامه طراحی ساختمان در ایران (استاندارد ۲۸۰۰) نیز از توجه به آن در طراحی ساختمان‌ها خصوصاً ساختمان‌های بلندمرتبه و با اهمیت بالا غفلت شده است.



شتاب طیفی چه در پریودهای زیر یک ثانیه و چه در پریودهای بالای 1 ثانیه مقادیر بسیار بزرگتری را از مقادیر آیین‌نامه‌ای نشان می‌دهد. باید دقت نمود که علیرغم وجود ساختمان‌های مهندسی ساز در شهر سرپل ذهاب، ساختمان‌های بلندمرتبه یا برج در این شهر وجود نداشته و در صورت وجود چنین ساختمان‌هایی خسارت وارده می‌توانست به مراتب بالاتر باشد. کما اینکه وقوع خسارات گسترده به خطوط لوله آب و گاز یا ساختمان‌های صنعتی با پریود بالا نظیر سیلوها خود می‌تواند دلیلی بر این مدعا باشد. وجود این پالس در زمین‌لرزه‌های بم و سرپل ذهاب و افزایش خسارات حاصل از آن‌ها، بر لزوم مدنظر قرار دادن این پدیده و انجام تمهیدات لازم در آیین‌نامه طراحی برای پیش‌بینی اثر آن در طراحی ساختمان‌ها خصوصاً ساختمان‌های بلندمرتبه تأکید و تأیید می‌نماید. بدین ترتیب می‌توان در صورت بروز آن در اطراف شهرهای بزرگ با مجموعه‌ای از ساختمان‌های بلندمرتبه و برج‌ها از وقوع و تشدید خسارات سنگین به این نوع ساختمان‌ها جلوگیری نمود.



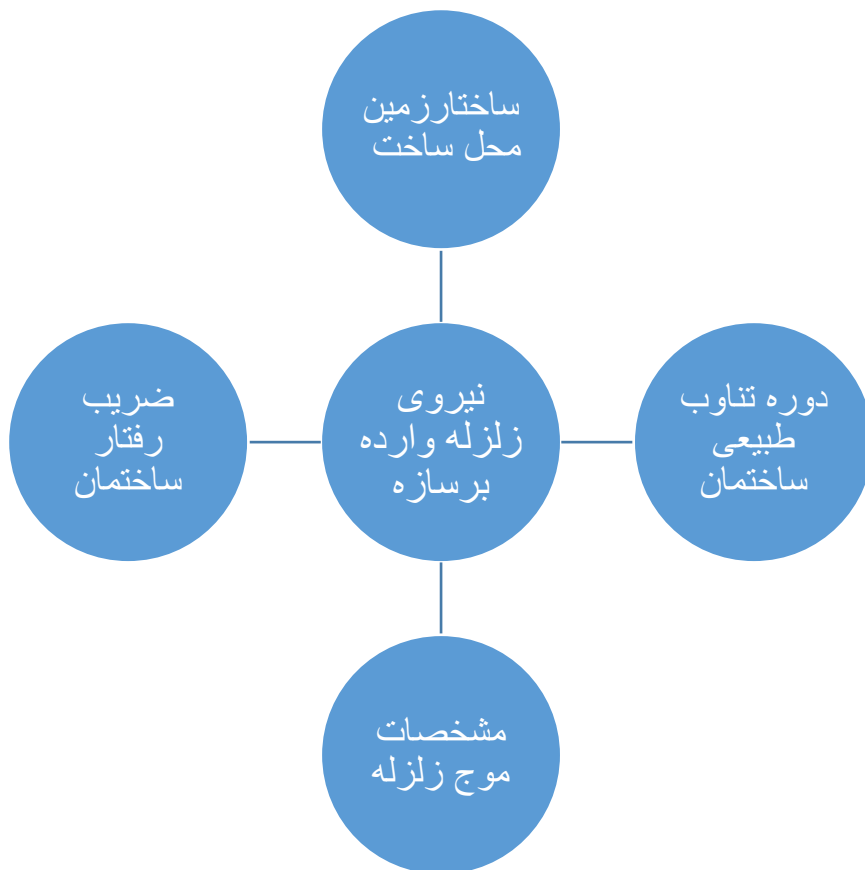
فصل پنجم:

طراحی ساختمان‌ها در برابر نیروی زلزله



سرعت موج زلزله وارده بر سازه

سرعت موج زلزله در خاک‌های مختلف متفاوت است. هرچه خاک زیر پی متراکم‌تر و فشرده‌تر باشد سرعت موج زلزله در آن بالاتر خواهد بود. همچنین سرعت موج عرضی S از سرعت موج طولی بیشتر است.



رابطه بین مقیاس ریشتر و مبنای طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله

از چند روش موجود طراحی ساختمان‌ها در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله، اشاره مستقیم به مقیاس ریشتر در آن وجود ندارد، اما آیا رابطه‌ای بین بزرگای زلزله و پارامترهای محاسبه برش پایه و اثر $P-\Delta$ و اثر شلاقی وجود دارد یا نه؟



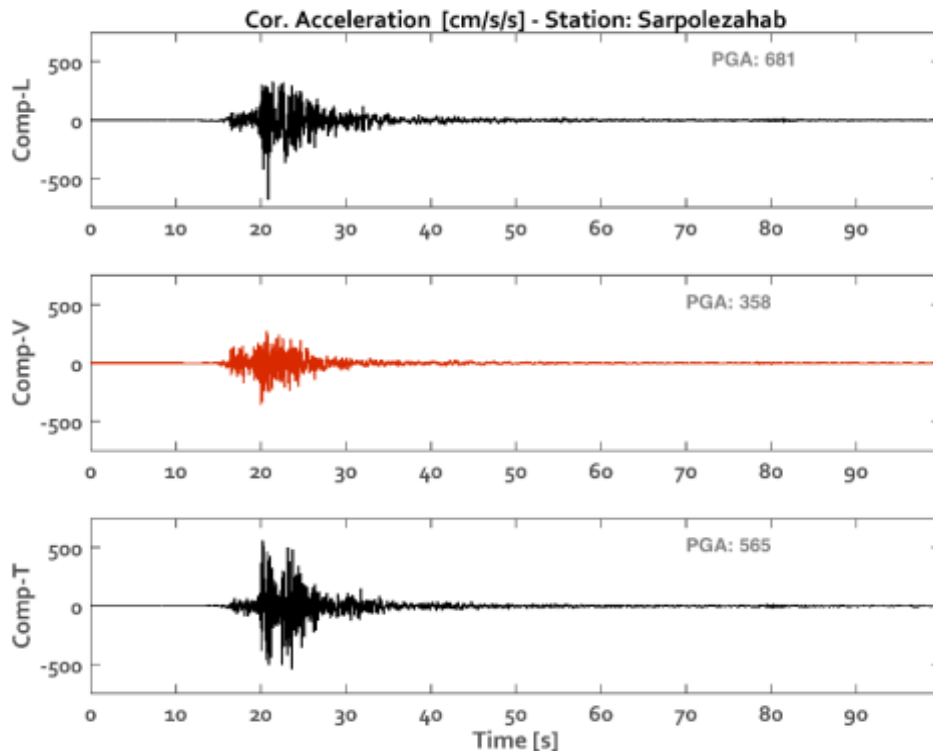
برای اینکه به این موضوع پی ببریم باید پارامترها را بهتر بشناسیم:

در محاسبه بروش استاتیکی معادل، عوامل موردنظر عبارتند از زمان تناوب ارتعاش طبیعی سازه، ضریب بازتاب ناشی از اندرکنش خاک زمین زیر ساختمان، ضریب رفتار سازه و بالاخره شتاب مبنای طرح و ضریب اهمیت ساختمان.

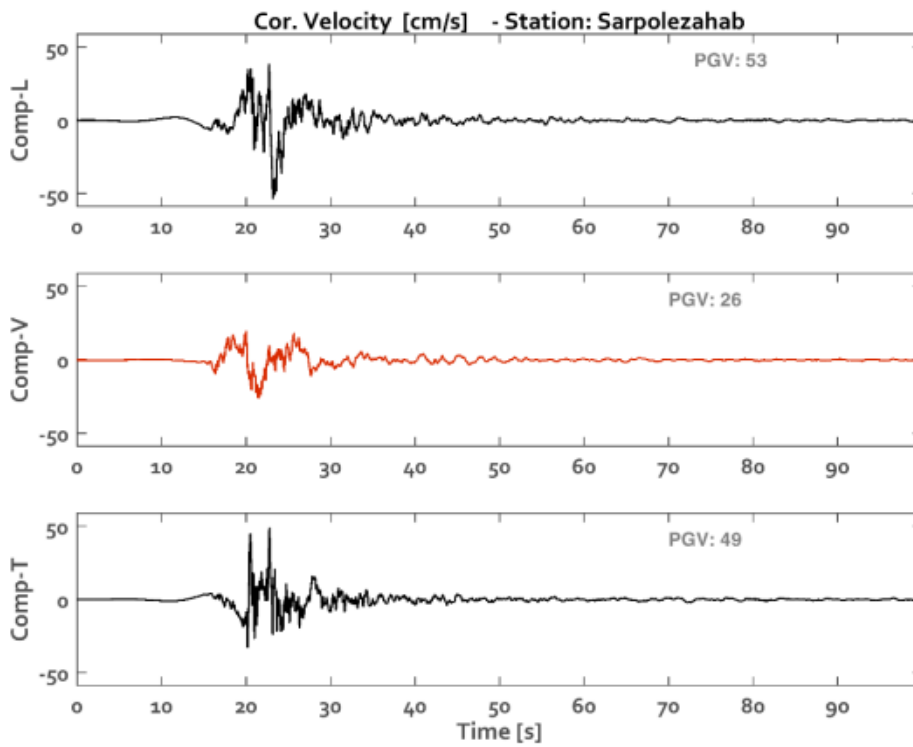
شتاب مبنای طرح بنا به تعریف حداکثر قدرت زلزله قابل پیش‌بینی در منطقه که احتمال برگشت آن در ۵۰ سال ۱۰ در صد باشد. معنی آن برای محاسبه برش پایه استفاده از طیف لرزه‌نگاری شده، هرتز واحد نوسان بوده به‌صورت تعداد نوسان در ثانیه بیان می‌گردد.

داده‌های جنبش نیرومند زمین ناشی از رویداد زمین‌لرزه اصلی

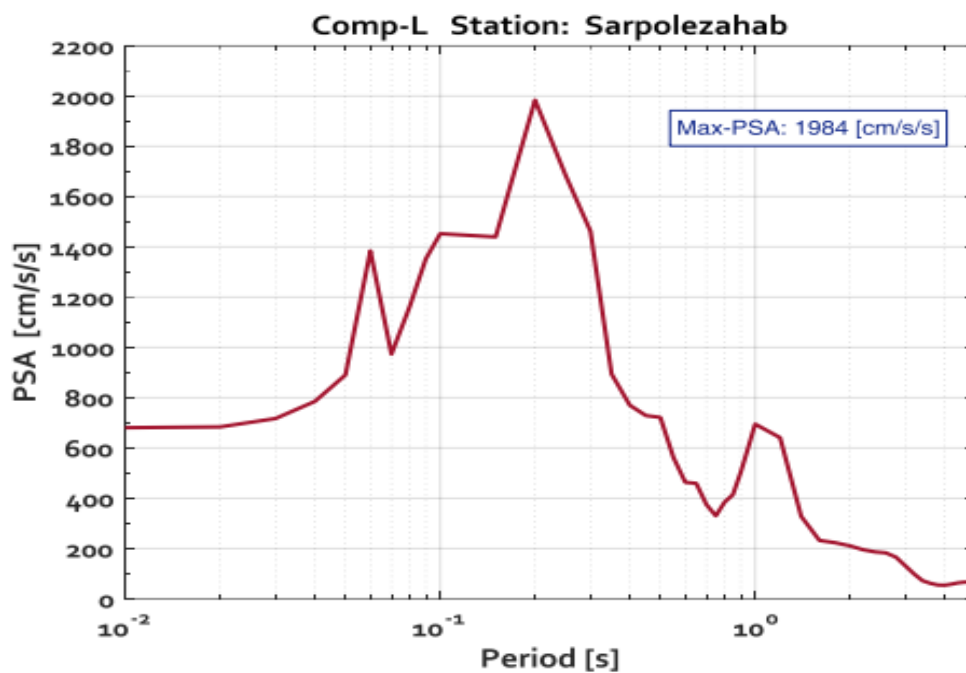
نزدیک‌ترین ایستگاه شتاب‌نگاری به رومرکز این زمین‌لرزه ایستگاه سرپل ذهاب بوده است. این ایستگاه به‌صورت میدان آزاد (Free Field) در محل فرمانداری سرپل ذهاب نصب بوده است. حداکثر شتاب تصحیح‌نشده بر روی مؤلفه‌های افقی در ایستگاه سرپل ذهاب به ترتیب برابر ۶۸۴، ۵۵۴ و مؤلفه قائم ۳۸۵ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه ثبت گردیده است که بالاترین شتاب ثبت‌شده از این زمین‌لرزه است. رکورد ثبت‌شده در ایستگاه سرپل ذهاب توسط فیلتر باند گذر و تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی و طیف‌های مرتبط با آن استخراج گردید (مطابق شکل‌های ۳ تا ۱۰). نتایج حاصل از این پردازش نشان‌دهنده شتاب حداکثر اصلاح‌شده ۶۸۱ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه بر روی مؤلفه طولی دستگاه که در جهت شمال قرار داشته، شتاب ۳۵۸ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه بر روی مؤلفه قائم و ۵۶۵ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه بر روی مؤلفه عرضی که در امتداد شرقی غربی قرار داشته می‌باشد. پیرو غالب به ترتیب بر روی مؤلفه‌های طولی، قائم و عرضی شتاب‌نگاشت ۰.۲۲، ۰.۰۸ و ۰.۳ ثانیه بوده است. مدت دوام مؤثر زمین‌لرزه (Significant duration) در این رکورد ۱۱ ثانیه بوده است. این یعنی حداکثر انرژی در این زمین‌لرزه در منطقه کلان لرزه‌های در ۱۱ ثانیه آزادشده است. در شکل‌ها تاریخچه زمانی رکورد اصلاح‌شده مؤلفه شمالی-جنوبی (L-component)، قائم (V-component) و شرقی-غربی (T-component) شتاب‌نگاشت سرپل ذهاب به همراه طیف پاسخ آن‌ها آورده شده است. بررسی دقیق‌تر شتاب‌نگاشت ثبت‌شده در این ایستگاه نشان‌دهنده اختلاف‌زمانی رسید بین امواج P و S برابر با ۱۳/۵ ثانیه بوده که نشانه فاصله کانونی بین ۳۵ تا ۴۱ کیلومتری این ایستگاه تا کانون زمین‌لرزه (Hypocentral Distance) بوده است



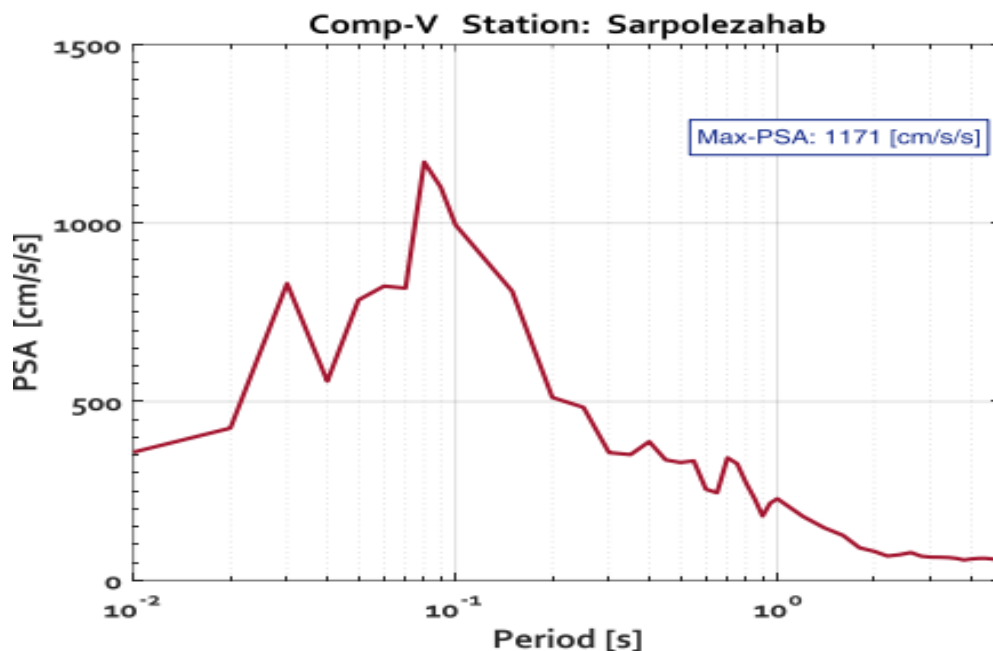
شکل ۳- تاریخچه زمانی شتاب رکورد ثبت شده در ایستگاه سرپل ذهاب در حدود ۳۹ کیلومتری از رومرکز



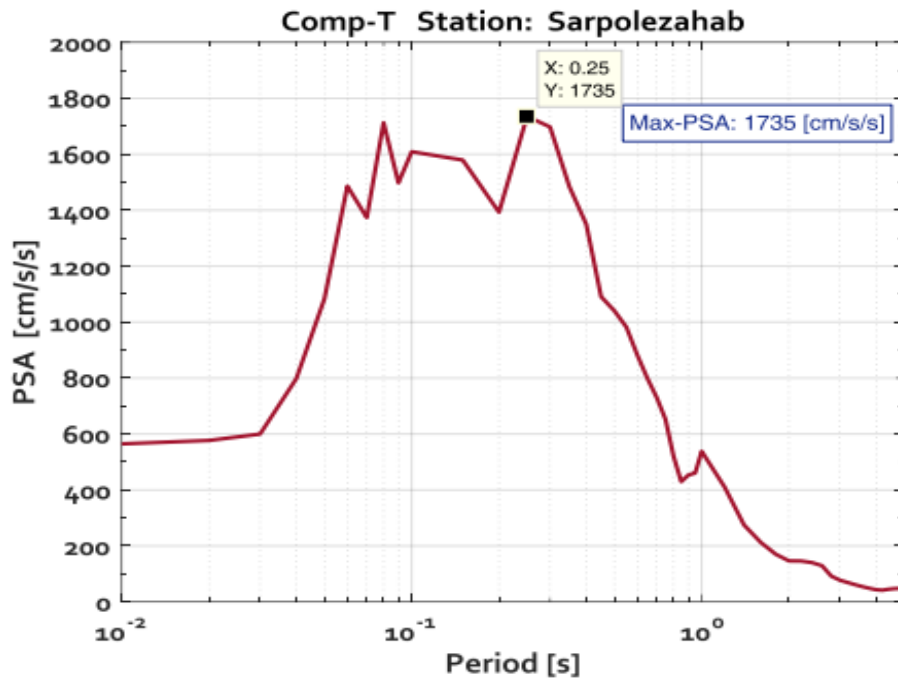
شکل ۴- تاریخچه زمانی سرعت در ایستگاه سرپل ذهاب در حدود ۳۹ کیلومتری از مرکز



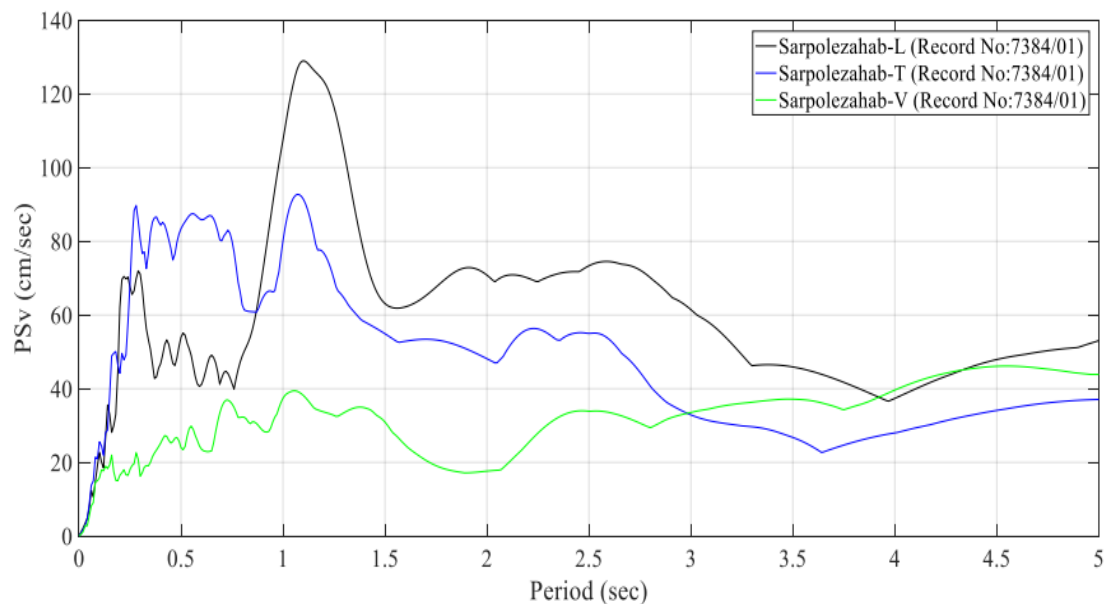
شکل ۶- طیف شتاب مؤلفه شمالی جنوبی رکورد سرپل ذهاب. ۰.۲۲ ثانیه و ۱۱ ثانیه



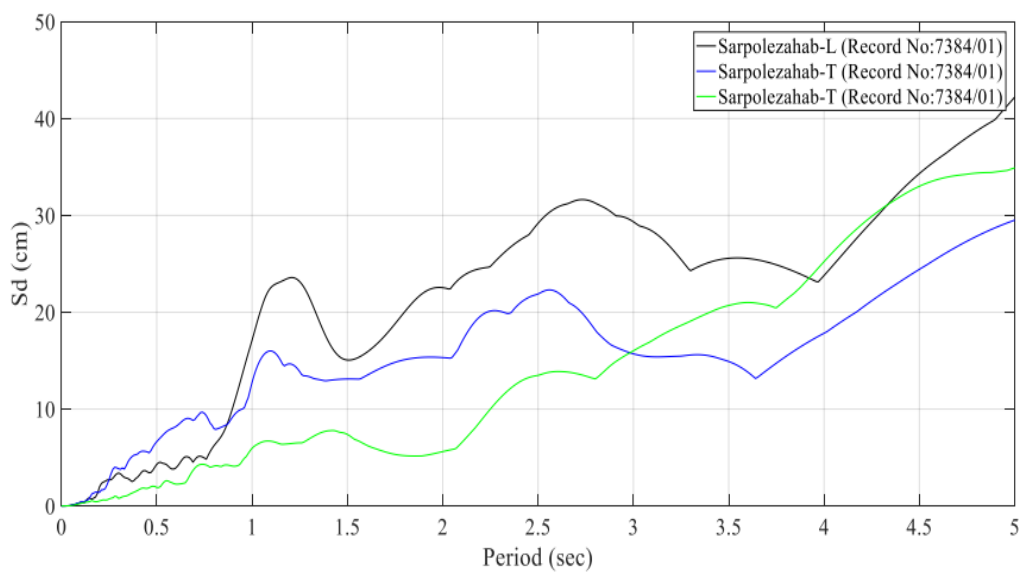
شکل ۷- طیف شتاب مؤلفه قائم رکورد سرپل ذهاب با پریود غالب ۰.۰۸ ثانیه و مدت دوام مؤثر ۱۱ ثانیه



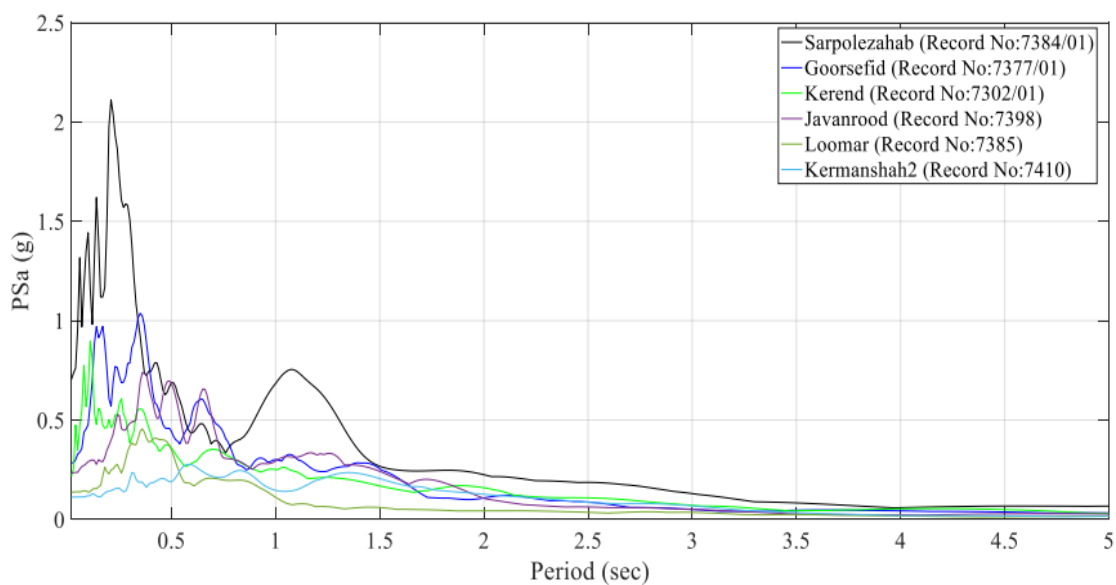
شکل ۸- طیف شتاب مؤلفه عرضی رکورد سرپل ذهاب با پریود غالب ۰.۲۵ ثانیه و مدت دوام مؤثر ۱۱ ثانیه



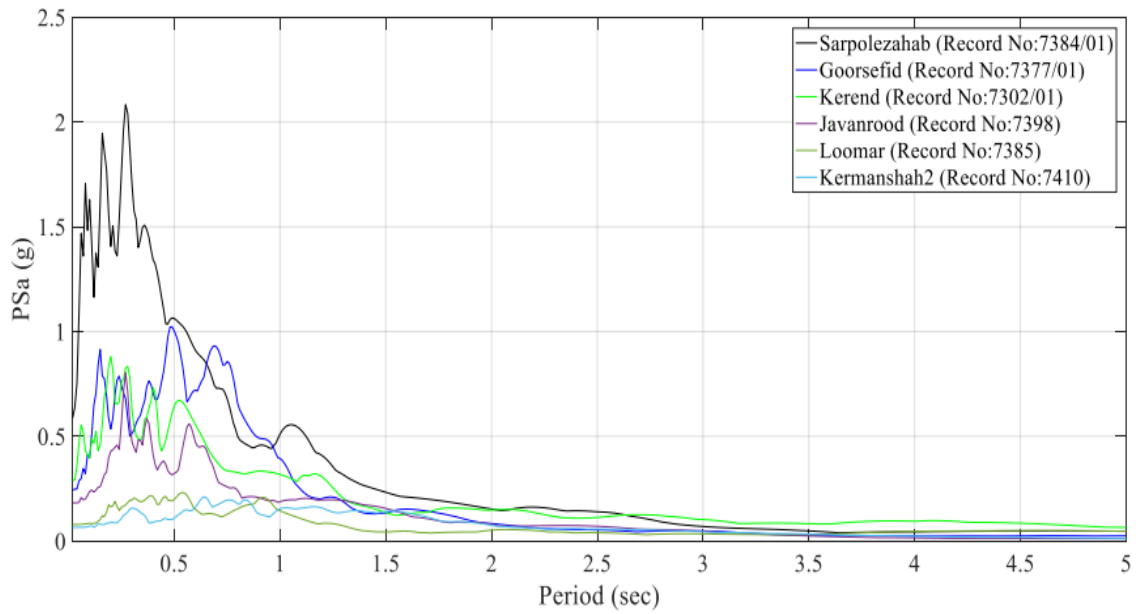
شکل ۹- طیف سرعت رکوردهای مؤلفه مختلف ایستگاه سرپل ذهاب



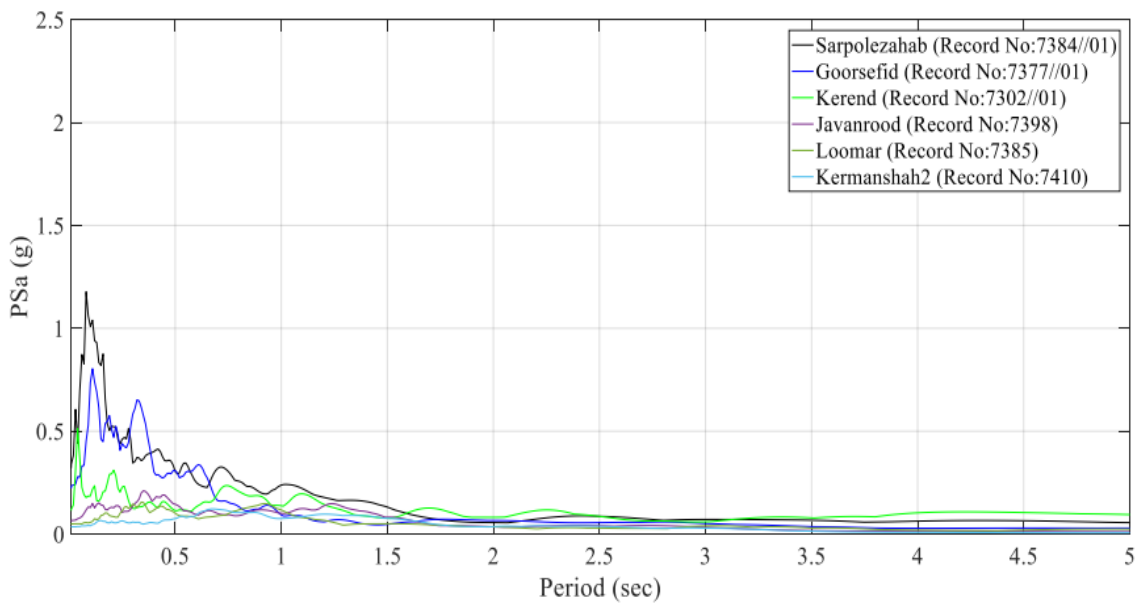
شکل ۱۰- طیف جابجایی رکوردهای مؤلفه مختلف ایستگاه سرپل ذهاب



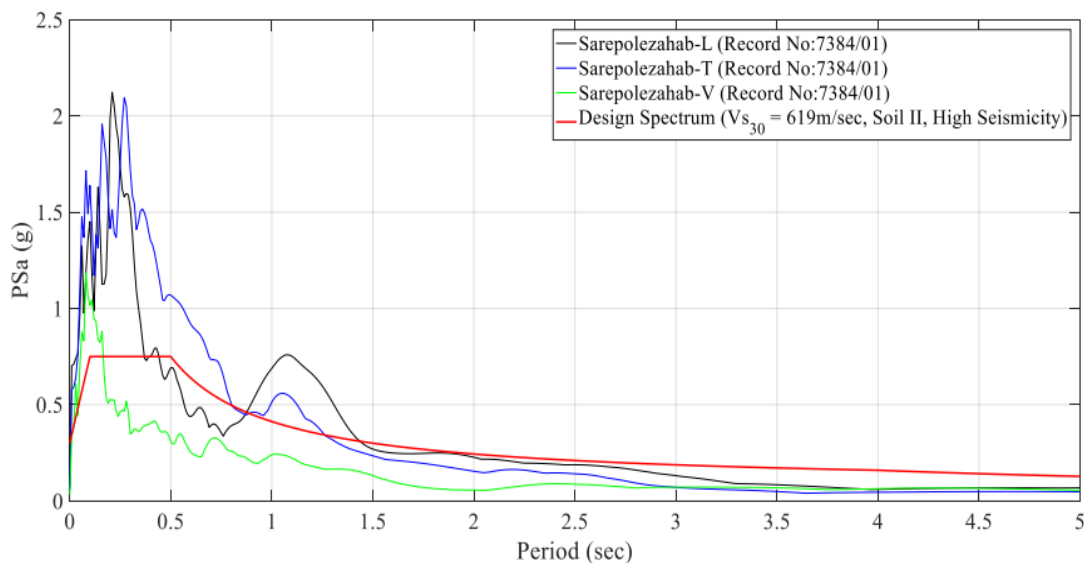
شکل ۱۱- طیف شتاب مؤلفه طولی رکوردهای مختلف



شکل ۱۲- طیف شتاب مؤلفه عرضی رکوردهای مختلف



شکل ۱۳- طیف شتاب مؤلفه قائم رکوردهای مختلف



شکل ۱۴- طیف شتاب زلزله ایستگاه سرپل ذهاب و طیف طراحی

با توجه به مشخصات رکورد و طیف ارائه شده برای زلزله اتفاق افتاده می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- مقایسه طیف زلزله اصلی (ایستگاه سرپل ذهاب) با طیف طراحی 280° (مربوط به خاک تیپ ۲) نشان می دهد که در سازه های کوتاه با دوره ی تناوب پایین مقدار شتاب طیفی زلزله از مقادیر طیف طراحی بیشتر بوده است. در خاک های نرم مقدار اختلاف می تواند از مقادیر به دست آمده برای خاک تیپ ۲ بیشتر هم باشد.

۲- مؤلفه عرضی هم دارای شتاب ماکزیمم قابل توجهی می باشد به طوری که نسبت شتاب ماکزیمم مؤلفه T به L برابر ۰.۸۱ می باشد که این مقدار از مقادیر پیشنهادی آیین نامه ها برای زلزله هم زمان در دو جهت بیشتر است.

۳- مؤلفه قائم زلزله اصلی (ایستگاه سرپل ذهاب) دارای شتاب قابل توجهی بوده به طوری که نسبت شتاب قائم به افقی ۰.۵۶ می باشد که بر اساس مقادیر پیشنهادی در مراجع مهندسی زلزله مقدار بالایی محسوب می شود.



گزارش و تحلیل تصویری از اثرات زلزله بر ساختمان های سنتی



ترک ایجادشده در ساختمان دارای دیوار باربر آجری



آسیب دیوارهای اطراف بازشو و شناژ قائم در ساختمان دارای شناژ



آسیب شناژ قائم بین دو بازشو



فروریزش ساختمان دارای دیوار باربر آجری و اجزای فولادی



ترک ایجادشده در ساختمان دارای دیوار باربر آجری



فروریزش ساختمان دارای دیوار باربر آجری و اجزای فولادی



فروریزش خرپشته ساختمان





تصاویر مربوط به آسیب‌های ایجاد شده در ساختمان‌های فولادی



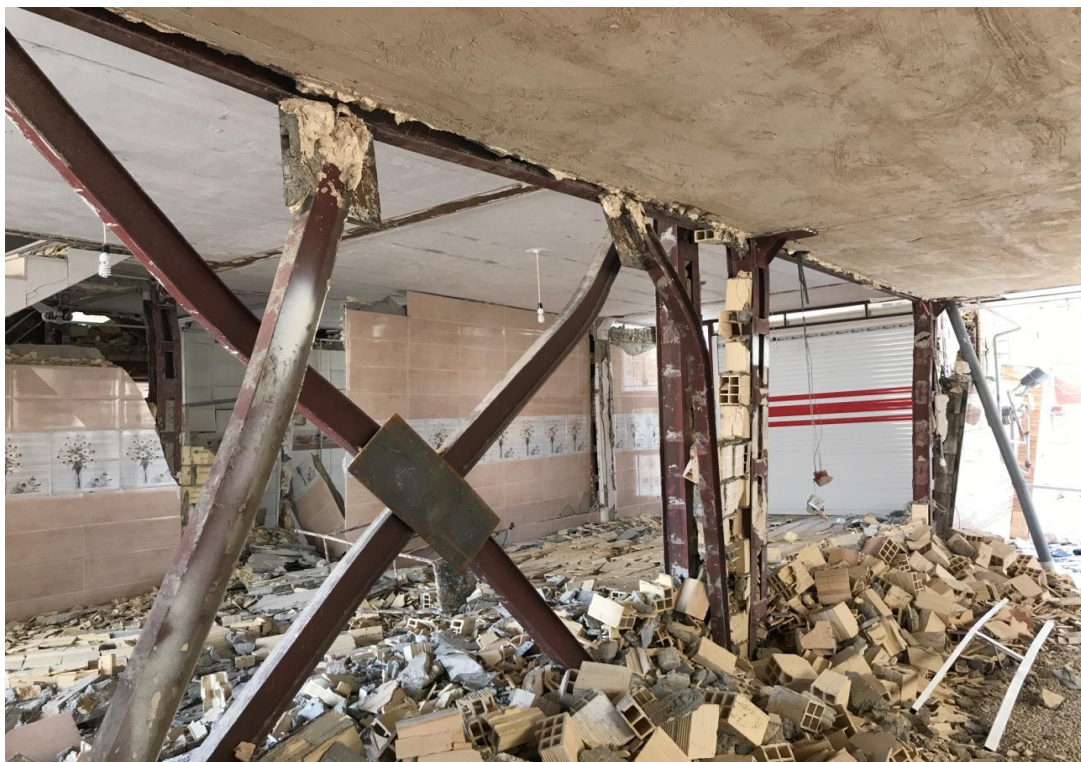
پاره شدن ورق در محل اتصال صفحه اتصال مهاربندی



پاره شدن ورق در محل اتصال صفحه اتصال مهاربندی



کنده شدن ورق اتصال صفحه اتصال مهاربندی و کمانش ستون دارای بست افقی



کنده شدن ورق اتصال صفحه اتصال مهاربندی و کمانش پروفیل سازنده یا واحد نظارت دو نوع بادبند را در یک دهانه استفاده کرده است



کمانش مهاربند



کمانش مهاربند تک پروفیل



عدم اجرای جوش در سطح فوقانی صفحه اتصال



عدم کفایت لقمه



کمانش مهاربند



کمانش ستون فولادی



تغییر شکل ستون‌ها از تراز کف اول ناشی از طبقه نرم



تغییر شکل ستون‌ها از تراز کف اول ناشی از طبقه نرم



تغییر شکل ستون‌ها از تراز کف اول ناشی از طبقه نرم



عملکرد نامناسب سازه فولادی دارای سیستم قاب خمشی و بادبندی در دو جهت متفاوت



تغییر شکل ستون‌ها از تراز کف اول ناشی از طبقه نرم



تغییر شکل ستون‌ها از تراز کف اول ناشی از طبقه نرم



تصاویر مربوط به آسیب‌های ایجادشده در ساختمان‌های بتنی



تغییرات در ستون

ظاهراً تحلیل می‌کنند که ستون بالا به دلیل ضعف بتن یا میلگرد تخریب شده است. درحالی‌که خرابی آن به هیچ‌کدام از موارد سازه‌ای مربوط نیست، اگر دقت کنید فردی که درب ریموت را می‌خواسته نصب کند، با دریل و انچور بولت قوی اقدام به سوراخ کردن ستون و ایجاد موضع ضعیف در پای ستون نموده است.

اگر دقت کنیم علی‌رغم از بین رفتن و تخریب کاور بتنی ستون به‌خوبی ایستایی خود را حفظ کرده است.



فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



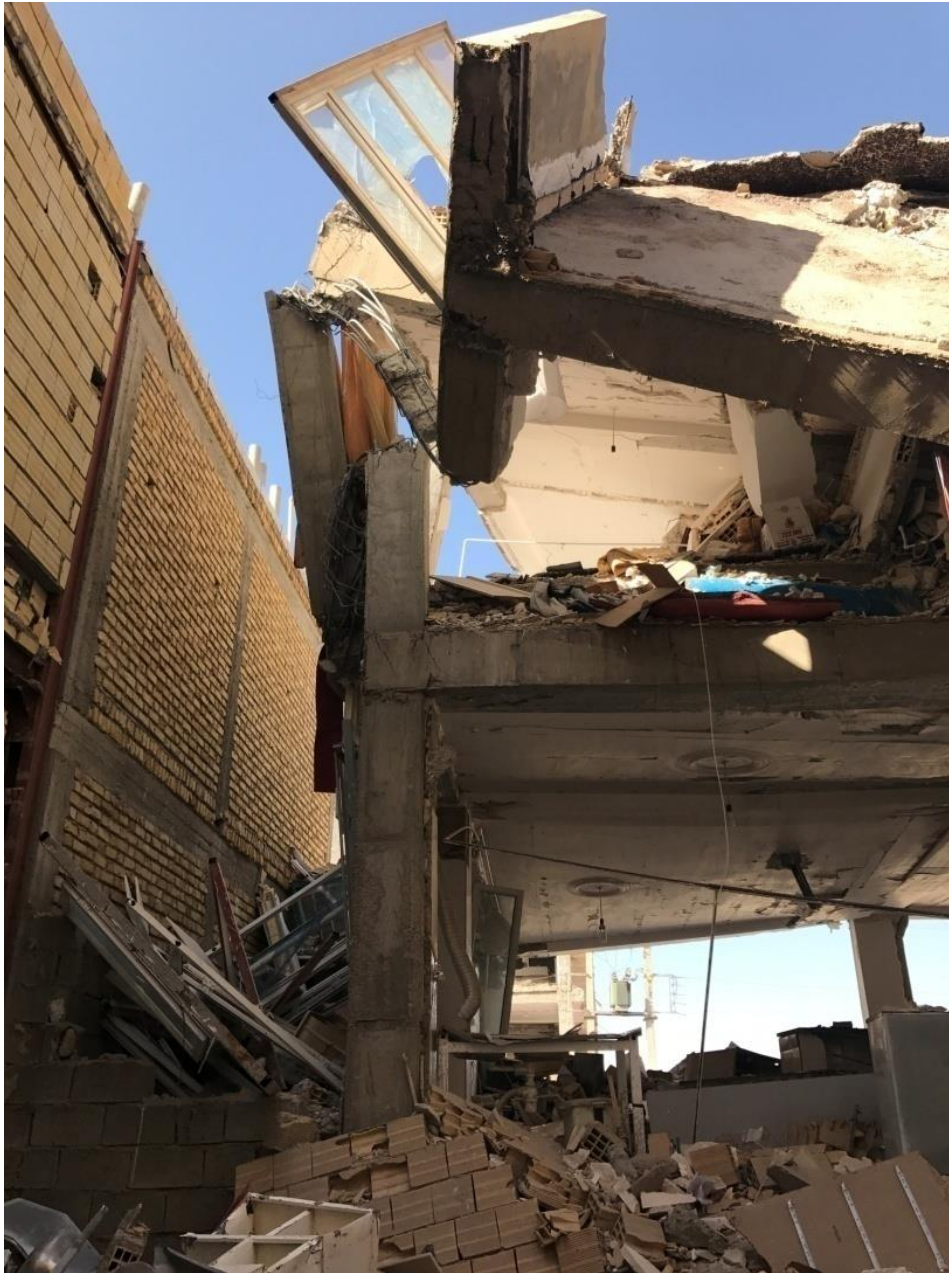
فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



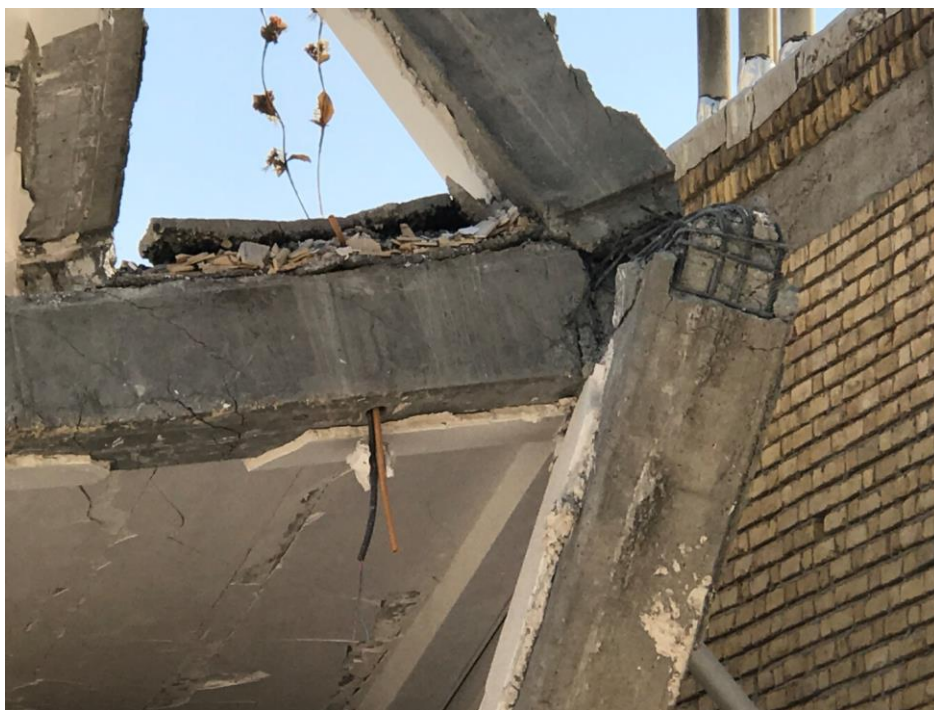
فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



فروریزش کامل ساختمان بتن آرمه



تشکیل مفصل پلاستیک در بالا و پایین ستون‌ها و دررفت زیاد طبقه پیلوت



شکست ستون بتنی



ایجاد مفصل پلاستیک در بالای ستون



ایجاد ستون کوتاه در راه پله در محل اتصال تیر میان طبقه



ایجاد ستون کوتاه در راه پله در محل اتصال تیر میان طبقه



ایجاد ستون کوتاه در راه پله در محل اتصال تیر میان طبقه



تصاویر مربوط به آسیب‌های وارده به اجزای غیر سازه‌ای



خرابی دیوار غیر سازه‌ای



فروریختن دیوار پیرامونی در سازه فولادی ۳ طبقه



فروریختن دیوار پیرامونی



فروریختن دیوار داخلی در سازه بتن آرمه ۷ طبقه مسکن مهر



فروریختن دیوار داخلی و پیرامونی در سازه بتن آرمه ۷ طبقه مسکن مهر



فروریختن دیوار پیرامونی در سازه بتن آرمه ۷ طبقه مسکن مهر



@Fazee2



فروریختن دیوار پیرامونی در سازه بتن آرمه ۷ طبقه مسکن مهر





فروریختن دیوار پیرامونی در سازه بتن آرمه ۷ طبقه مسکن مهر



فروریختن دیوار پیرامونی در سازه بتن آرمه ۷ طبقه مسکن مهر



تخریب مسکن مهر



تخریب مسکن مهر



استفاده از دوغاب با خرده سفال پشت سنگ پلاک در مسکن مهر



استفاده از دوغاب با خرده سفال پشت سنگ پلاک در مسکن مهر



فروریختن دیوار داخلی



گسلش سطحی زمین



گسلش سطحی زمین



منابع و مراجع

در این مجموعه از منابع علمی و گزارشات و مقالات تحلیلی زیر استفاده شده است:

- ۱- اصول مهندسی زلزله؛ ترجمه و تألیف دکتر حمزه شکیب - مهدی علیرضایی، انتشارات کتاب اترک سال ۱۳۹۰
- ۲- گزارش زمین‌لرزه ۷.۳ ریشتری ازگله - سرپل ذهاب کرمانشاه ساعت ۲۱:۴۸ مورخ ۱۳۹۶/۸/۲۱ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
- ۳- گزارش زمین‌لرزه ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استان کرمانشاه (ویرایش پنجم) جلد اول جنبه‌های زلزله، ۵ دی‌ماه ۱۳۹۶ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
- ۴- ویژه‌نامه زلزله در غرب کشور، ماهنامه شمس - سال چهارم شماره ۱۱۲ شورای مرکزی سازمان‌های نظام‌مهندسی ساختمان کشور
- ۵- گزارش فنی بازدید از منطقه زلزله‌زده سرپل ذهاب، تیم اعزامی ستاد مدیریت بحران استانداری استان اردبیل ۱۳۹۶/۸/۲۵ اعضای فنی تیم بازدیدکننده:
دکتر محتشم محبّی، دکتر کاظم شاکری، مهندس امیر دانش، مهندس ساجد آذری
- ۶- دینامیک سازه‌ها و تعیین نیروهای زلزله (نظریه و کاربرد)؛ آنیل چوپرا ترجمه شاپور طاحونی، انتشارات علم و ادب ۱۳۹۳
- ۷- مهندسی زلزله، دکتر حجت الله عادل انتشارات دهخدا ۱۳۶۹
- ۸- آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن - کمیته دائمی بازنگری آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله
- ۹- گزارش مقدماتی شبکه شتاب‌نگاری از زمین‌لرزه ۱۳۹۶/۸/۲۱ سرپل ذهاب استان کرمانشاه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی؛ شبکه ملی شتاب‌نگاشت کشور
- ۱۰- مجموعه مقالات علمی یافته‌های زلزله بم، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله؛ ۱۵ بهمن‌ماه ۱۳۸۲