

**گزارش زمین‌لرزه ۲۱ آبان‌ماه ۱۳۹۶ سرپل‌دهاب
استان کرمانشاه (ویرایش پنجم)**

**جلد دوم
پدیده‌های ژئوتکنیکی**

۵ دی‌ماه ۱۳۹۶



پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

عناوین جلد‌ها

- ۱-۳۶ **جلد اول: جنبه‌های زلزله‌شناسی**
فصل اول: لرزه زمین ساخت، لرزه‌خیزی و مدل‌سازی حرکت قوی زمین
- ۳۷-۱۲۱ **جلد دوم: پدیده‌های ژئوتکنیکی**
فصل دوم: اثرات ساختگاهی
فصل سوم: ناپایداری‌های زمین‌شناختی و ژئوتکنیکی ناشی از زمین‌لرزه
- ۱۲۲-۳۸۷ **جلد سوم: سازه و شریان‌های حیاتی**
فصل چهارم: ارزیابی سریع ساختمان‌ها
فصل پنجم: ساختمان‌های بتن آرمه
فصل ششم: عملکرد ساختمان‌های با اسکلت فولادی
فصل هفتم: ساختمان‌های مصالح بنایی
فصل هشتم: عملکرد ساختمان‌های مسکن مهر
فصل نهم: بررسی موردی علل تخریب دو ساختمان فولادی کنار هم
فصل دهم: شریان‌های حیاتی
فصل یازدهم: سازه‌های صنعتی
فصل دوازدهم: عملکرد لرزه‌ای امکانات فیزیکی شبکه درمان
فصل سیزدهم: عملکرد لرزه‌ای امکانات فیزیکی شبکه درمان
فصل چهاردهم: عملکرد لرزه‌ای امکانات فیزیکی شبکه درمان
- ۳۸۸-۴۳۱ **جلد چهارم: مدیریت بحران**
فصل پانزدهم: بررسی مقدماتی فرایند مدیریت بحران

فهرست مطالب جلد دوم

صفحه	عنوان
د	پیشگفتار
	فصل دوم : اثرات ساختگاهی
۳۷	۱-۲- مقدمه
۳۷	۲-۲- بررسی وضعیت خرابی‌ها در شهر سرپل ذهاب و ارتباط آن با اثرات ساختگاهی
۴۷	۳-۲- بررسی وضعیت خرابی‌ها در شهر اسلام‌آباد غرب و ارتباط آن با اثرات ساختگاهی
۴۹	۴-۲- بررسی وضعیت خرابی‌ها در شهر کرمانشاه و ارتباط آن با اثرات ساختگاهی
۵۰	۵-۲- اثرات ساختگاهی در دیگر نقاط زلزله زده
	فصل سوم : ناپایداری‌های زمین‌شناختی و ژئوتکنیکی ناشی از زمین‌لرزه
۵۱	۱-۳- مقدمه
۵۱	۲-۳- زمین‌لغزش‌ها
۵۳	۱-۲-۳- زمین‌لغزش مله‌کبود-قورچی باشی
۶۰	۲-۲-۳- پهنه لغزشی شمال دالاهو (زمین‌لغزش پالان علیا)
۶۱	۳-۲-۳- سنگ لغزش پاسگاه دارزنگنه
۶۶	۳-۳- ریزش‌ها و بهمن‌های سنگی
۶۸	۱-۳-۳- پهنه ریزشی دره بابایادگار
۷۳	۲-۳-۳- پهنه‌های ریزشی شمال و شمال شرق دالاهو
۷۶	۳-۳-۳- ریزش‌ها و بهمن سنگی پیران
۸۱	۴-۳-۳- پهنه ریزشی شمال ناودیس معلق ریجاب
۸۳	۵-۳-۳- ریزش‌های منفرد
۸۵	۴-۳- جریان‌های واریزه‌ای و گلروانه‌ها
۸۵	۱-۴-۳- جریان واریزه‌ای پیران
۸۷	۲-۴-۳- گلروانه چوار در استان ایلام
۹۱	۵-۳- گسیختگی گسترشی در تاج تپه‌ها
۹۶	۶-۳- روانگرایی و گسترش جانبی
۹۶	۷-۳- لغزش و فرونشست زمین در شهر سراپله ایلام
۹۶	۱-۷-۳- نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی و میدانی

۱۰۶	۳-۷-۲- نتایج حاصل از نگاشت‌های لرزه‌نگاری
۱۱۴	۳-۸- جمع‌بندی و توصیه‌های ضروری
۱۱۵	۳-۸-۱- جمع‌بندی از منظر تاثیر شرایط ساختمانی
۱۱۵	۳-۸-۲- جمع‌بندی از منظر ناپایداری‌های زمین‌شناختی-ژئوتکنیکی
۱۱۷	۳-۸-۳- جمع‌بندی در رابطه با شهر سرابله
۱۱۸	پیوست



پیشگفتار

بدنبال وقوع زمین‌لرزه ۱۳۹۶/۸/۲۱ سرپل ذهاب در استان کرمانشاه تیم‌های مختلف شناسایی از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله برای بررسی جنبه‌های مختلف این زلزله و ثبت رویدادها و پدیده‌های مختلف به منطقه اعزام شدند. فصل حاضر حاصل کار تیم بررسی جنبه‌های زمین‌شناختی-ژئوتکنیکی این پژوهشگاه با همکاری تیم دانشگاه رازی کرمانشاه است. بازدیدهای میدانی گسترده ۱۵ روزه در مناطق زلزله زده نشان داد که انواعی از پدیده‌های مختلف ژئوتکنیکی در اثر این زمین‌لرزه روی داده‌اند که در تشدید خسارات ناشی از این زلزله موثر بوده‌اند. در این جلد از گزارش شناسایی مناطق زلزله زده، این پدیده‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

در ابتدا با توجه به وضعیت مشاهده شده از خرابی‌ها در شهرهای مهم منطقه، موضوع تفاوت میزان خرابی بین این شهرها و نیز نحوه توزیع خرابی‌ها در هر کدام از این شهرها بویژه شهر سرپل ذهاب و ارتباط احتمالی توزیع خرابی‌ها در این شهرها با ویژگی‌های ژئوتکنیکی زمین مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی‌ها بر اساس مشاهدات میدانی و همچنین برداشت‌های خردلرزه‌سنجی گسترده توسط تیم دانشگاه رازی و پژوهشگاه صورت گرفته است. نتایج این بررسی‌ها در فصل دوم ارائه شده است.

در مرحله بعد ناپایداری‌های زمین‌شناختی-ژئوتکنیکی در گستره‌ای به طول ۱۵۰ کیلومتر مورد شناسایی قرار گرفتند. انواع ناپایداری‌ها شامل لغزش‌ها، ریزش‌ها و بهمن‌های سنگی، جریان‌ها، گسیختگی‌های گسترشی تاج تپه‌ها و فرونشست زمین در اثر زلزله اخیر روی داده است که منجر به مسدود شدن بسیاری از راه‌های فرعی و خسارات دیگر شده‌اند. تشریح ناپایداری‌های زمین‌شناختی - ژئوتکنیکی در فصل سوم ارائه می‌گردد.

فصل دوم

اثرات ساختگاهی

ابراهیم حق شناس

ایمان عشایری

سید مجتبی موسوی

مهنوش بیگلری

همکاران:

محمدامین معماری، آرمان صدر، یادگار هوشیار، موسی شکر بگی،

احسان کمربادی، یزدان دستمزد، سعید سلطانی،

مهرداد جوادی نژاد

۲-۱- مقدمه

در این بخش از فصل سوم یافته‌های مربوط به تاثیر شرایط ساختمانی بر جنبش لرزه‌ای سطح زمین بر اساس مشاهدات میدانی و اندازه‌گیری‌های خردلرزه‌سنجی انجام شده بعد از وقوع زمین‌لرزه ارائه می‌گردد. جدول ۲-۱، پارامترهای شتابنگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌های سرپل ذهاب، کردن غرب، اسلام‌آباد غرب و کرمانشاهرا ارائه می‌کند. این اطلاعات از نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شتابنگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (BHRC) پس از اعمال اصلاحات متعارف استخراج شده است.

جدول ۲-۱، پارامترهای شتابنگاشت‌های ایستگاه‌های سرپل ذهاب، کردن غرب، اسلام‌آباد غرب و کرمانشاه

Station	Comp.	PGA cm/s ²	Sus. PGA cm/s ²	Mean Prd (s)	Sig. Dur. (s)	Brak. Dur. (s)
SPZ	N	686	366	0.39	10.8	24.6
	E	563	517	0.32	9.8	29
	Z	325	298	0.28	10.5	29.4
KRD	N	204	161	0.54	15	47
	E	283	244	0.57	15.6	41.7
	Z	115	102	1.02	22.4	48.4
ELA	N	124	77.4	1.15	35.5	78
	E	95.6	87.9	1.16	37.3	88
	Z	55.2	39.6	1.4	44	86.8
KRM1	N	58.3	43.6	1.03	27.5	70
	E	36.6	33.2	0.98	37.4	69.6
	Z	24.6	19.6	1.5	42.7	71
KRM2	N	68.2	48.4	1.2	41	94.5
	E	111.2	54	1.2	37.8	71.8
	Z	35.2	32.8	1.03	36.4	94.7

۲-۲- بررسی وضعیت خرابی‌ها در شهر سرپل ذهاب و ارتباط آن با اثرات ساختمانی

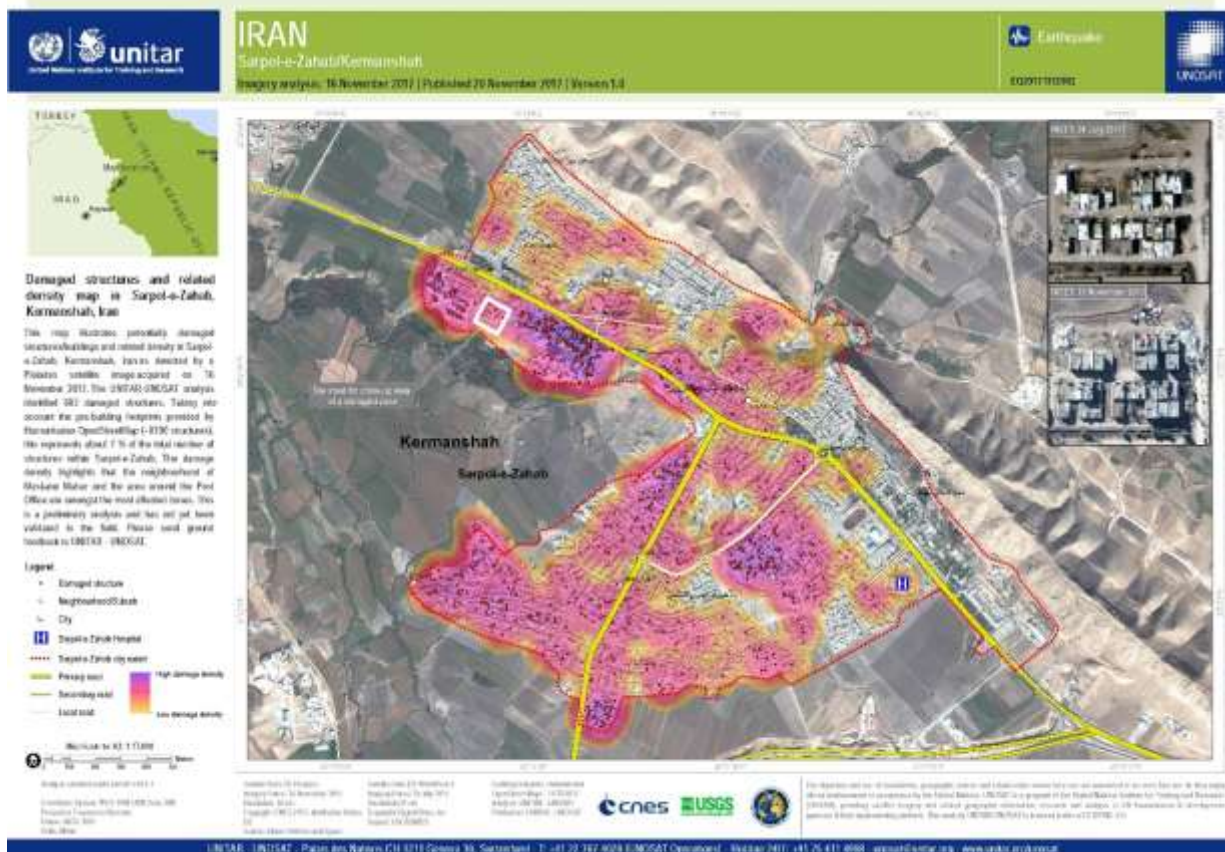
یکی از سوال‌های مطرح بعد از وقوع زمین‌لرزه سرپل ذهاب علت‌گسترده‌گی خرابی‌ها در شهر سرپل ذهاب در مقایسه با دیگر مناطق تحت تاثیر زلزله و حتی نسبت به منطقه پیرامون رومرکز زلزله بود. یک پاسخ به این سوال از سوی متخصصین زلزله‌شناسی اثرات حوزه نزدیک مانند جهت‌پذیری (Directivity) و تمایز موضعی جابجایی در صفحه گسل (Asperity) و ظهور پالس در نگاشت سرعت درحوزه نزدیک گسل می‌باشد. این پالسها فرکانس غالب حدود یک ثانیه سبب می‌شود مناطقی که در جهت عمود بر گسلش قرار می‌گیرند جنبش‌نیرومندتری را در مقایسه با بقیه شهرها تجربه کنند.

اگرچه به نظر می‌رسد این پدیده با توجه به شواهد موجود و الگوی پس‌لرزه‌ها یکی از دلایل قابل قبول برای توضیح شدیدتر بودن خرابی‌ها در سرپل ذهاب نسبت به شهرهای دیگری در فاصله مشابه تا رومرکز زمین‌لرزه باشد، اما نمی‌تواند تنها دلیل بروز خرابی‌ها در شهر سرپل ذهاب باشد. زیرا توزیع خرابی‌ها در خود شهر سرپل ذهاب هم یکنواخت نیست و تفاوت چشمگیری در نقاط مختلف شهر حتی با توجه به مشابهت نوع سازه‌ها دارد. دو روند خرابی کاملاً متمایز در شهر دیده می‌شود بطوریکه در مناطق شمال بلوار اصلی شهر (بلوار راه کربلا) خرابی‌ها ناچیز است و عمده مناطق با آسیب شدید در بخش جنوبی این بلوار متمرکز هستند.

به عنوان نمونه در انتهای غربی شهر سرپل ذهاب به سمت قصرشیرین در حدفاصل پای دامنه کوه تا کناره رودخانه دو مجموعه ساختمان‌های مسکن مهر که یکی در مجاورت دامنه ارتفاعات سنگی شمالی (فرهنگیان) و دیگری در مجاورت رودخانه (شیروودی) ساخته شده است، کاملاً رفتار متفاوتی در این زمین‌لرزه مشاهده می‌شود. مجموعه مسکن مهر فرهنگیان بدون آسیب سازه‌ای است و آسیب غیر سازه‌ای کمی دیده است در حالیکه در مجتمع مسکن مهر شهید شیروودی (در مجاورت رودخانه) اجزای سازه‌ای آسیب زیاد و اجزای غیر سازه‌ای آسیب خیلی زیادی دیده‌اند و ریزش کامل چند ساختمان ۴ تا ۶ طبقه شخصی‌ساز در همین منطقه از شهر سرپل ذهاب یکی از خبرسازترین موضوعات این زمین‌لرزه بوده است. همچنین تخریب سازه‌ای زیاد در ساختمان‌های عموماً سه طبقه به بالا در محله فولادی از شهر به چشم می‌خورد (شکل ۲-۱). در حاشیه غربی نیمه جنوبی شهر و از جمله در پیرامون دبستان حدیث (آزادگان) نیز خرابی‌های گسترده‌ای مشاهده می‌شود.

با توجه به موارد فوق به نظر می‌رسد که غیر از مسئله جهت‌پذیری تاثیر شرایط ساختگاهی نیز در تشدید آسیب‌ها در شهر سرپل ذهاب نقش داشته است. از نظر زمین‌شناسی شهر سرپل ذهاب در خط‌القعر یک ناودیس با روند شمال غرب-جنوب شرق قرار گرفته است. یال شمالی این ناودیس با نام کوه میان‌کال و لایه‌های با شیب برگشته مرز شمالی شهر را بوجود آورده است و رودخانه الوند با قطع این کوه از میان شهر می‌گذرد. بیشتر مناطق شهر به ویژه در ضلع جنوبی بلوار اصلی بر روی نهشته‌های غالباً ریزدانه این رودخانه ساخته شده‌اند. ضخامت این نهشته‌ها به سمت خط‌القعر ناودیس و با دور شدن از ارتفاعات شمالی بیشتر می‌شود که به نظر می‌رسد تشدید جنبش زمین در این نواحی و تخریب شدید را به دنبال داشته است.

همچنین در خصوص نواحی پایین دست بلوار راه کربلا شهر سرپل ذهاب- بلوار اصلی شهر سرپل ذهاب- فرض وجود خاک دستی توسط برخی شهروندان سرپل ذهاب در برخی از نواحی نظیر محله فولادی (نواحی پایین‌دست غربی بلوار ساحلی در حدفاصل پل بلوار ساحلی بر روی رودخانه تا ساختمان‌های مسکن مهر مجتمع شهید شیروودی) همچنین دپوی نخاله‌های ساختمانی پس از جنگ تحمیلی و ساخت و ساز بر روی آنها و در نتیجه بزرگنمایی خاک‌های دستی مزبور و تخریب بیشتر نیز مطرح گردیده است. مشاهدات میدانی وجود ناحیه گسترده‌ای از خاک دستی - که نتیجه دپوی نخاله‌های ساختمانی در سال‌های اخیر توسط شهرداری بوده است - را در مجاورت مجتمع شهید شیروودی تایید می‌نماید.



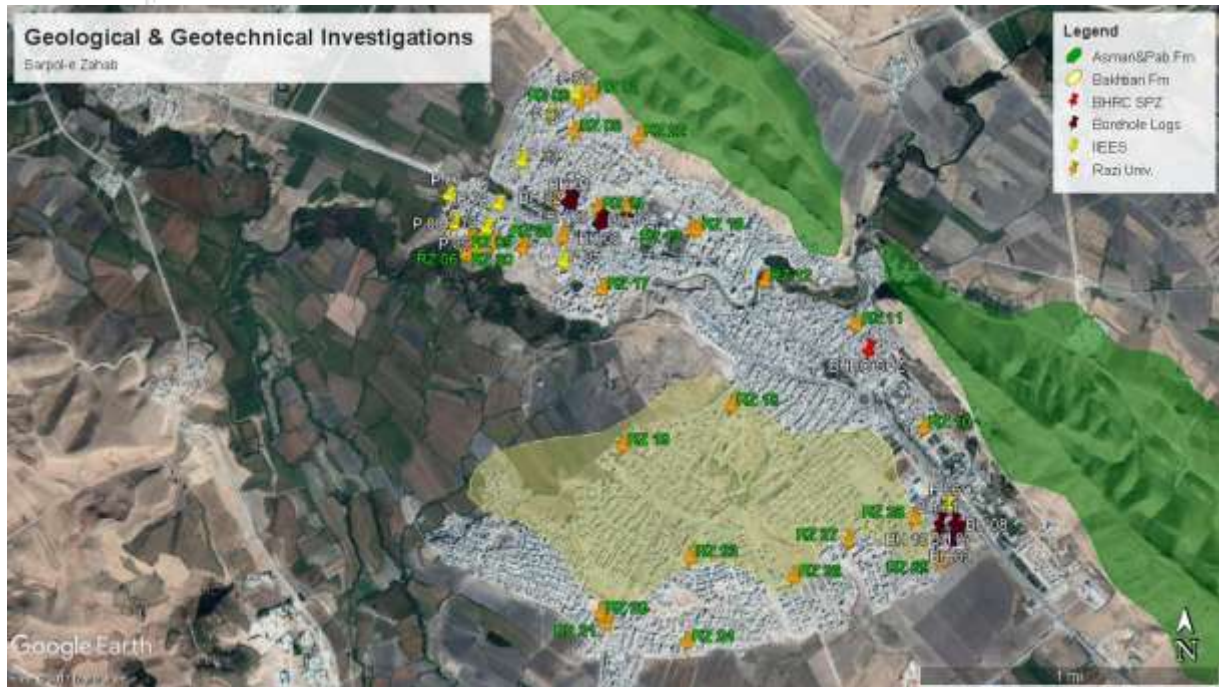
شکل ۱-۲ نقشه توزیع میزان آسیب‌ها تهیه شده توسط Unitar که حاکی از افزایش قابل ملاحظه میزان خرابی در نواحی جنوب بلوار اصلی با فاصله گرفتن از ارتفاعات شمال شرقی شهر است

اما در ناحیه مزبور ساخت و سازی صورت نگرفته است و ساختمان‌های مسکن مهر در مجتمع شهید شیروودی نیز بر روی خاک‌های دستی احداث نگردیده است و بر زمین‌های کشاورزی بنا شده‌اند و فرض خرابی ساخت و سازهای احداث شده بر روی خاک دستی می‌باید بصورت موردی و از طریق حفر گمانه تدقیق و تایید گردد. شکل ۲-۲، تصویر بخش غربی از منطقه فولادی و محل ساخت مسکن مهر شیروودی را در سال ۲۰۰۶ میلادی را نشان می‌دهد که مؤید کاربریکشاورزی این مناطق با شیب بندی متفاوت نسبت به شرایط کنونی است.



شکل ۳-۲- تصویر گوگل ارث از غرب محله فولادی و مسکن مهر شیروودی در سال ۲۰۰۶ میلادی

جهت بررسی دقیق‌تر تاثیر شرایط ساختگاه بر میزان آسیب‌ها در شهر سرپل‌ذهاب تیم شناسایی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله با همکاری تیم شناسایی دانشگاه رازی اقدام به برداشت داده‌های ارتعاشات محیطی در سطح شهر نمود. نتایج میان دوره‌ای حاصل از این برداشتها در این بخش ارائه می‌گردد. شکل ۲-۳، نقاط برداشت شده توسط این دو تیم را نشان می‌دهد. برای این برداشتها تیم پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله از لرزه‌نگار سه مؤلفه‌ای از نوع لنارتز ۵ ثانیه (Lennartz 5s) و تیم دانشگاه رازی از لرزه‌نگار سه مؤلفه باند پهن (۳۰ ثانیه تا ۵۰ هرتز) CME-4111 به ترتیب همراه با دیجیتایزر از نوع city-shark و پارسیان استفاده نموده‌اند. بدین ترتیب ۱۱ برداشت با لرزه‌نگار لنارتز و ۳۰ برداشت با لرزه‌نگار CME در پهنه شهر سرپل‌ذهاب انجام شده است که بطور مناسبی کلیه مناطق شهر را شامل می‌گردد. علاوه بر برداشتهای انجام شده بر روی خاک تعداد ۵ برداشت توسط تیم پژوهشگاه بر روی بام ساختمان‌ها (۴ ساختمان ۶ طبقه مسکن مهر شهید شیروودی و ۱ ساختمان ۴ طبقه در همین مجموعه) و تعداد ۹ برداشت توسط تیم دانشگاه رازی بر بام ساختمان‌های شهر (ساختمان‌های کوتاه تا بلند مرتبه) به منظور بدست آوردن فرکانس پایه ساختمان‌ها و مقایسه آن با شرایط ساختگاه انجام شد. شکل ۲-۴، توزیع برداشتهای ارتعاشات محیطی برای شناسایی عملکرد سیستم‌های سازه‌ای مختلف آنها را نشان می‌دهد. روش برداشت در هر ایستگاه شامل ثبت ۳۰ دقیقه‌ها ۱ ساعت ارتعاشات محیطی پیوسته با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰ (۲۰۰) برای دستگاه CME) نمونه در ثانیه برای خاک و ۱۵ دقیقه با همین مشخصات برای ساختمان‌ها بوده است.



شکل ۲-۳- نقشه توزیع نقاط برداشت ارتعاشات محیطی توسط تیم شناسایی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (نقاط زرد) و دانشگاه رازی کرمانشاه (نقاط نارنجی)



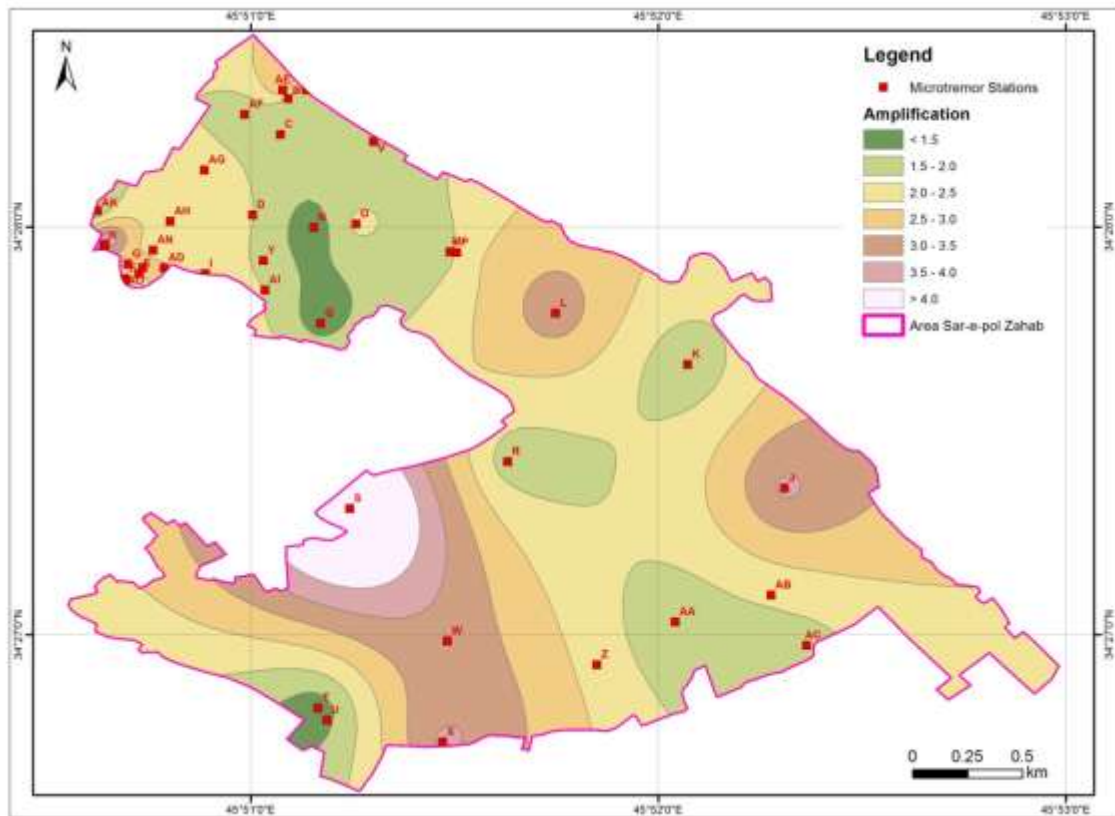
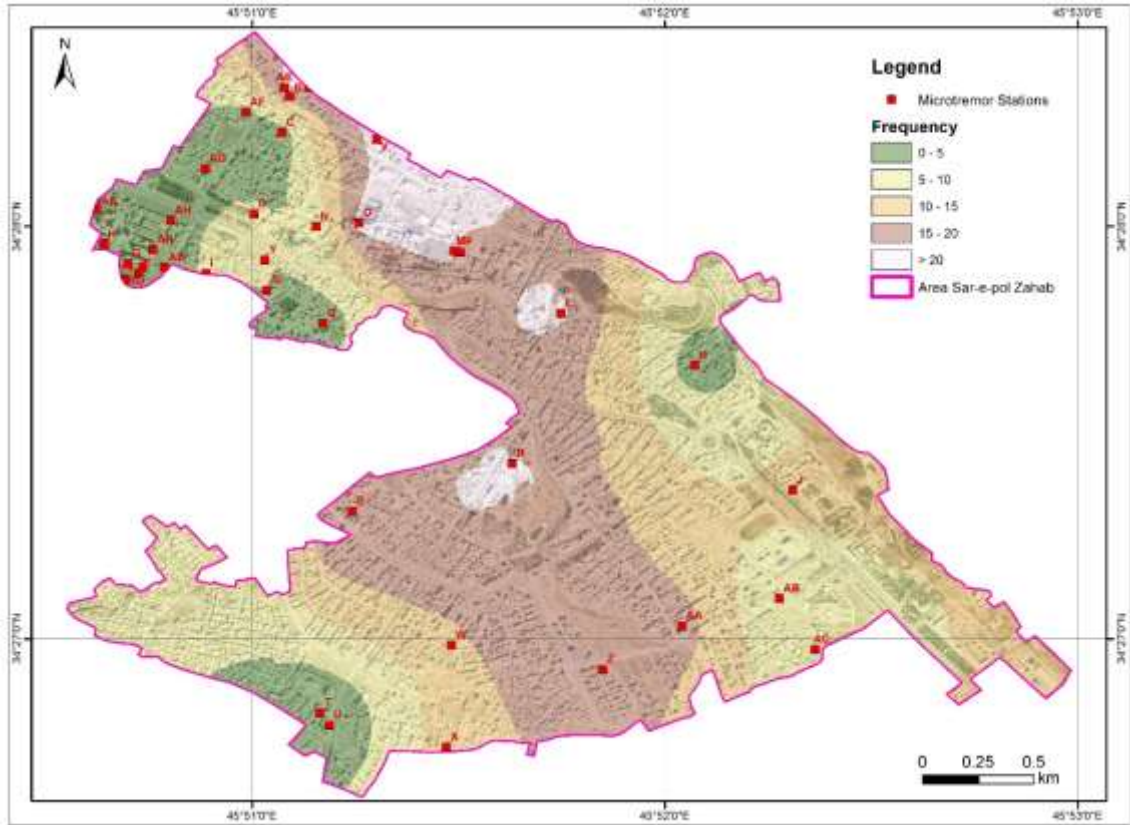
شکل ۳-۴- توزیع برداشت های انجام شده بر روی سازه های شهر سرپل زهاب، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (نقاط نارنجی) و دانشگاه رازی (نقاط قرمز)

به علاوه جهت تطبیق اطلاعات بدست آمده، مطالعات موجود در منطقه شامل ۲ پروژه سازمان نوسازی و تجهیز مدارس استان، پروژه بیمارستان شهدای سرپل‌ذهاب دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه و ایستگاه شتابنگاری سرپل‌ذهاب (SPZ) مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (BHRC) مورد بررسی قرار گرفتند که شکل ۲-۵ این اماکن را نشان می‌دهد. داده‌های برداشت شده با استفاده از روش نسبت طیفی مؤلفه افقی به قائم (H/V) برای خاک و محاسبه طیف توان (power spectra) برای ساختمان‌ها تحلیل گردیدند. شکل ۲-۶ نقشه توزیع فرکانس طبیعی (f_0) از پردازش این داده‌ها را نشان می‌دهند. منحنی‌های H/V برای هر نقطه در پیوست این فصل آورده شده‌اند.



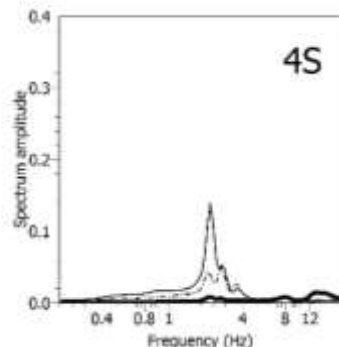
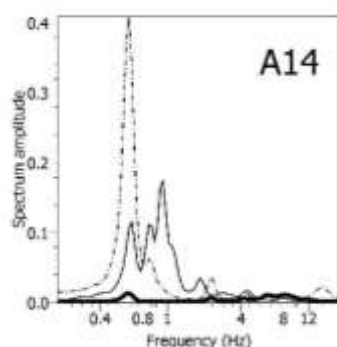
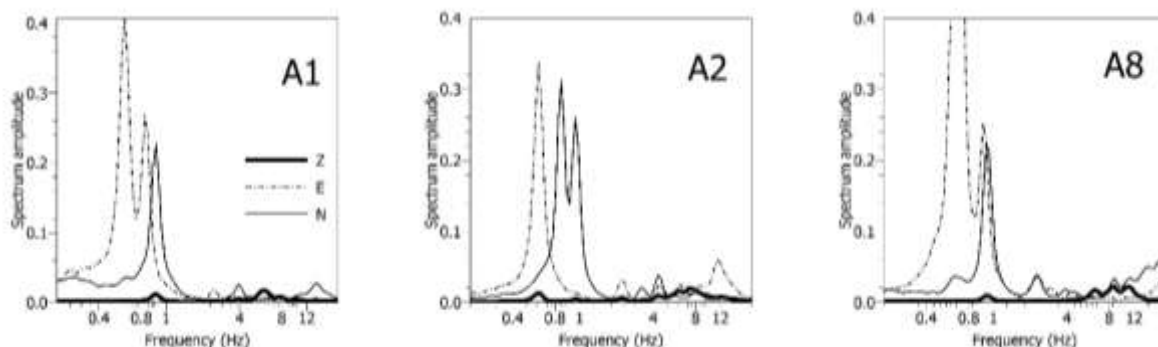
شکل ۲-۵- توزیع گمانه‌های بررسی شده در شهر سرپل‌ذهاب، گمانه‌ها (نقاط قهوه‌ای) و ایستگاه SPZ (نقطه قرمز)

همانگونه که از نقشه توزیع فرکانس (شکل ۲-۶) مشخص است در انتهای غربی شهر نتایج حاصل از مطالعه به روش نسبت مؤلفه‌های افقی به مؤلفه قائم نمایانگر یک روند کاهشی مشخص و تقریباً یکسان در فرکانس طبیعی با فاصله گرفتن از ارتفاعات شمالی است بطوریکه در نقاط A و AE در حاشیه مسکن مهر فرهنگیان (شکوه) در شمال شهرک صدرا که بر روی سنگ بنا شده است یک قله در فرکانس ۲۰ هرتز بر روی منحنی‌های H/V مشاهده می‌شود و برای فرکانس‌های پایین‌تر منحنی کاملاً تخت است که نشان دهنده ساختگاه سنگی است. با کمی فاصله از این محل در نقاط C و AF به سمت جنوب فرکانس تشدید بطور ناگهانی به ۵ هرتز کاهش می‌یابد. با ادامه روند به سمت مسکن مهر شهید شیروودی همین وضع ادامه می‌یابد با این تفاوت که در محدوده مسکن مهر شهید شیروودی با نزدیک شدن به رودخانه محدوده فرکانس تشدید باز هم کاهش یافته و از ۰٫۸ تا ۲ در نقاط مختلف برداشت شده تغییر می‌کند.



شکل ۲-۶- نقشه توزیع فرکانس طبیعی ساختمانه (بالا) و میزان بزرگنمایی (پایین) بدست آمده از برداشت ارتعاشات محیطی در شهر سرپل ذهاب

شکل ۲-۷ نمودارهای طیف دامنه برای نقاط برداشت شده بر روی ساختمان‌ها در مجتمع مسکن مهر شهید شیرودی را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود فرکانس غالب ساختمان‌های ۶ طبقه از ۰,۷ برای مولفه شرقی-غربی تا ۱ هرتز برای مولفه شمالی-جنوبی تغییر می‌کند و برای ساختمان ۴ طبقه حدود ۳ هرتز است که به محدوده‌های مشاهده شده در برداشت‌های روی خاک نزدیک هستند.



شکل ۲-۷- نمودارهای طیف دامنه برداشت‌های انجام شده بر روی ۴ بلوک شش طبقه A1، A2، A8، A14 و یک بلوک ۴ طبقه در مسکن مهر شهید شیرودی

نکته دیگر در مورد مناطق مجاور رودخانه در شهر سرپل ذهاب که بایستی مورد توجه قرار گیرد وقوع پدیده روانگرایی و جوشش ماسه در بستر رودخانه بویژه در نواحی مجاور مسکن مهر شهید شیرودی و محله فولادی است. آثار این پدیده در بستر رودخانه بخوبی دیده می‌شود (شکل ۲-۸). با توجه به شکاف‌های مشاهده شده متعدد در بستر کوچه‌های مجموعه مسکن مهر، به نظر می‌رسد وقوع این پدیده در عمق رسوبات زیر بستر مسکن مهر منجر به حرکت‌های از نوع گسترش جانبی و ایجاد شکاف‌های متعدد در این بخش (شکل ۲-۹) و همچنین در منطقه دپوی نخاله‌های ساختمانی در مجاورت محله فولادی شده است. به نظر می‌رسد یکی دیگر از دلایل تشدید خسارات در این بخش از شهر وقوع این پدیده باشد. در جمع‌بندی وضعیت مشاهده شده در شهر سرپل ذهاب بر اساس بررسی‌های صورت گرفته تاکنون می‌توان گفت:

- پهنه‌بندی خرابی سازه‌ها با پهنه‌بندی فرکانس طبیعی ساختگاه و حداقل دامنه بزرگنمایی بدست آمده از ارتعاشات محیطی تطابق دارد. بدین ترتیب که در مناطق فولادی و مسکن مهر شهید شیروودی به‌علت کاهش فرکانس غالب و افزایش بزرگنمایی دامنه در این فرکانس تخریب سازه‌ای در ساختمان‌های نسبتاً بلند مرتبه (۴ طبقه به بالا) بیشتر ملاحظه می‌شود. از طرفی در مناطق جنوبی شهر در امتداد
- خیابان احمد ابن اسحاق به علت افزایش فرکانس طبیعی و بزرگنمایی این محدوده از دوره تناوب سازه‌ها، ساختمان‌های کوتاه بیشتر دچار خرابی شده‌اند.
- علاوه بر پهنه‌بندی خرابی، تطابق پهنه‌بندی عدم خرابی سازه‌های نسبتاً ضعیف و یا ناسازگار با ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ نیز با توجه به عدم تطابق پریود طبیعی این سازه‌ها با پریود طبیعی ساختگاه به وضوح مشاهده می‌شود. بطوریکه در راستای شرقی-غربی در امتداد بلوار راه کربلا سازه‌هایی که سال ساخت آنها مربوط به پیش از سال ۱۳۷۵ می‌باشد وضوابط خاصی برای باربری جانبی در آنها رعایت نشده است از تخریب یا آسیب جدی زلزله در امان مانده‌اند.
- مشاهده توزیع جغرافیایی خرابی و عدم خرابی در امتداد شرقی-غربی و شمالی - جنوبی در پهنه شهر سرپل ذهاب تاثیر عامل تشدید ساختگاهی را نسبت به دیگر پدیده ساختگاهی مانند جهت پذیری محتمل تر می‌نماید ولی این مساله با مطالعه در دست اقدام قابل تدقیق است.
- در مقایسه مناطق مسکن مهر شهید شیروودی و منطقه فولادی با توجه به تشابه نسبی بافت و ساختار زمین، تا این مرحله از مطالعات اثر گسترش جانبی رویداده در مسکن مهر شهید شیروودی به همراه تشدید ساختگاهی در اولویت دوم به عنوان اصلی ترین عوامل ژئوتکنیکی و اثرات ساختگاهی تشخیص داده شده‌اند.
- بر مبنای نتایج بدست آمده از این مطالعات، به علت اهمیت آثار تشدید ساختگاهی در شهر سرپل ذهاب عملیات بازسازی بافت‌های آسیب دیده باید با اعمال این نتایج پیگیری شود.



شکل ۲-۸- تصاویری از پدیده روانگرایی و جوشش ماسه در نقاط مختلف بستر رودخانه در مجاورت مجتمع مسکن مهر شهید شیرودی

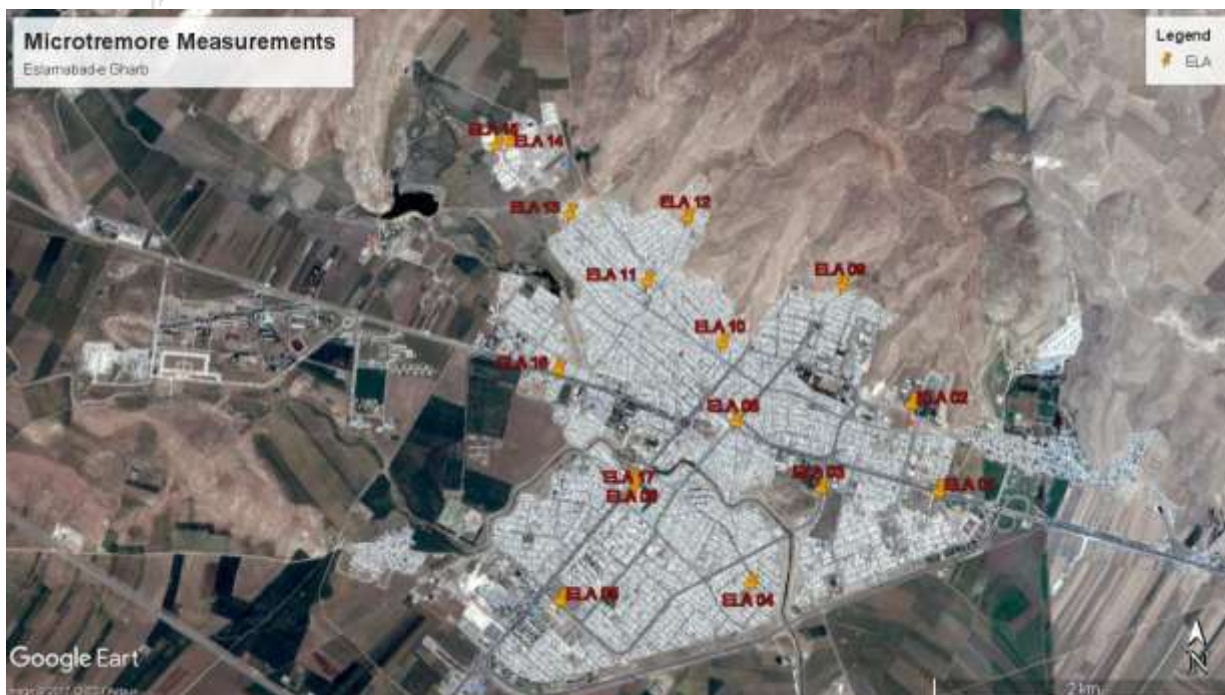


شکل ۲-۹- تصاویری از شکاف‌های ایجاد شده در اثر پدیده گسترش جانبی در محدوده مجتمع مسکن مهر شهید شیروودی

۲-۳- بررسی وضعیت خرابی‌ها در شهر اسلام‌آباد غرب و ارتباط آن با اثرات

ساختگاهی

بر اساس شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه شتابنگاری اسلام‌آباد غرب (ELA) ارائه شده در جدول ۲-۱، بیشینه شتاب افقی ثبت شده برابر ۱۲۴ گال و بیشینه شتاب افقی ماندگار برابر ۸۸ گال می‌باشد. این مقادیر به میزان قابل توجهی از شتاب مبنای طرح این شهرستان (۳۰۰ گال) پایین‌تر است. لذا خرابی‌های ایجاد شده در این شهرستان می‌بایست با تمرکز و توجه بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. شهر اسلام‌آباد غرب نیز از شمال محدود به ارتفاعات و از جنوب در آبرفت‌های رودخانه اسلام‌آباد وسعت دارد. به همین منظور گستره شهر اسلام‌آباد غرب توسط تیم شناسایی دانشگاه رازی در ۱۷ نقطه با دستگاه لرزه نگار CME-4111 برداشت شد. شکل ۲-۱۰، توزیع این نقاط را در شهر اسلام‌آباد غرب نشان می‌دهد.



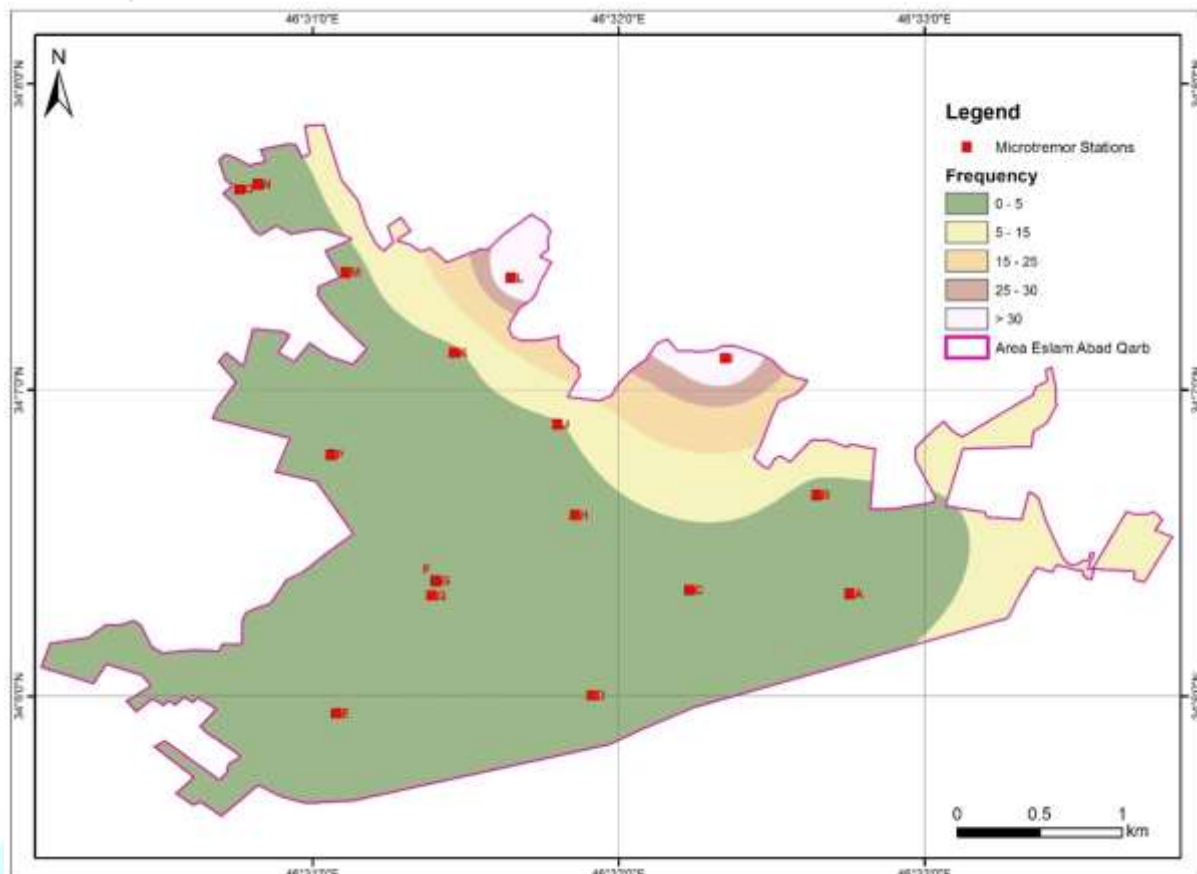
شکل ۲-۱۰- توزیع جغرافیایی برداشت‌های ارتعاشات محیطی در شهر اسلام‌آباد غرب

از میان برداشت‌های انجام شده دو نقطه در محوطه بیمارستان امام خمینی اسلام‌آباد غرب و دو نقطه در محدوده مسکن مهر اسلام‌آباد غرب برداشت شده است. تحلیل نسبت طیفی افقی به قائم بدست آمده از این ۱۷ ایستگاه به صورت نقشه فرکانس طبیعی ساختگاه در این مرحله از گزارش در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۲-۱۱ مشاهده می‌شود فرکانس طبیعی زمین از محدوده شمال شرقی به سمت جنوب-غربی از مقادیر بالای ۳۰ هرتزی که نشانه ساختگاه سنگی تا مقادیر حدود ۱ هرتز کاهش می‌یابد. مقادیر پایین‌تر از ۵ هرتز نشانه وجود لایه‌های ضخیم‌تر آبرفتی است. این نتایج با مطالعات گمانه‌های بدست آمده از پروژه کلینیک بیمارستان امام خمینی سرپل ذهاب که تا اعماق ۲۰ متری انجام شده است تطابق دارد.

بررسی خرابی ایجاد شده در تعدادی از بلوک‌های مسکن مهر اسلام‌آباد غرب نشان دهنده این موضوع است که عامل تشدید ساختگاهی پس از مشکلات اجرایی سازه‌ای به عنوان عوامل مخرب این سازه‌ها بوده‌اند.

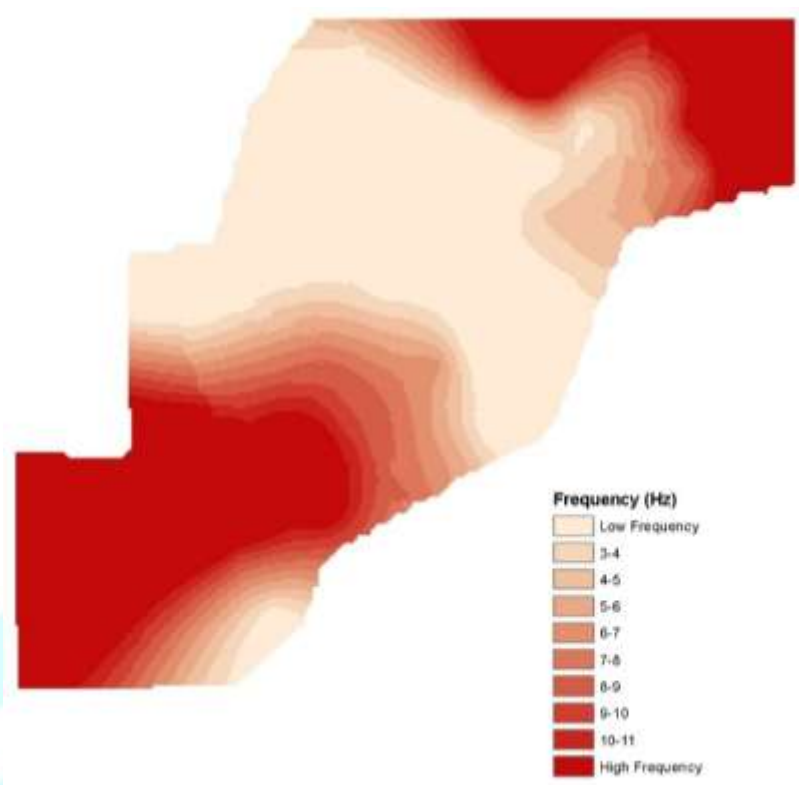
شرایط ساختگاهی شهر اسلام‌آباد غرب از این موضوع حکایت می‌کند که بخش وسیعی از شهر بر روی آبرفت-های رودخانه‌ای با عمق زیاد توسعه یافته است که منجر به تشدید اثرات زلزله می‌گردد لذا به منظور بازسازی مناطق آسیب دیده و برنامه ریزی توسعه شهری نتایج تکمیلی این مطالعات باید مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۲-۱۱- نقشه فرکانس طبیعی ساختمان شهر اسلام آباد غرب

۲-۴- بررسی وضعیت خرابی‌ها در شهر کرمانشاه و ارتباط آن با اثرات ساختمانی

زلزله ۲۱ آبان سرپل ذهاب در شهر کرمانشاه نیز با شدت قابل ملاحظه‌ای احساس شد و عمدتاً سازه‌های مهندسی ساخته شده و نوساز را که بر مبنای آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند متاثر نمود. این زلزله توسط دو ایستگاه شتابنگاری شهر کرمانشاه ثبت شد که اطلاعات آن در جدول ۳-۱ ارائه شده است. این اطلاعات نشان می‌دهد که بیشینه شتاب افقی ثبت شده در یکی از ایستگاه‌ها ۵۸ گال (KRM1) و در دیگری ۱۱۱ گال (KRM2) می‌باشد. تفاوت حدود ۲ برابری ذکر شده در دو ایستگاه شتابنگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن خود نشانه پر اهمیت بودن اثرات ساختمانی در این شهر است. آسیب‌های وارد به سازه‌های این شهر در منطقه مرکزی و در حاشیه شمالی و جنوبی رودخانه قره‌سو که در امتداد شرقی-غربی از این شهر عبور می‌کند مؤید اثرات ساختمانی در این شهر است. سازه‌های متوسط تا بلند مرتبه این شهر عموماً در این محدوده آسیب‌های غیر سازه‌ای کم تا متوسط را تجربه نمودند. مطالعات ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای انجام شده برای این شهر در سال‌های ۱۳۸۸ در طی قرار داد بانک جهانی و ۱۳۹۳ طی قرارداد اداره کل راه و شهرسازی استان با دانشگاه رازی تاییدکننده گستره آسیب‌های غیر سازه‌ای وارد بر این شهر می‌باشد. شکل ۳-۱۲، نقشه فرکانس طبیعی ساختمان را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۲ - نقشه فرکانس طبیعی ساختگاه شهر کرمانشاه

۲-۵- اثرات ساختگاهی در دیگر نقاط زلزله زده

مشاهدات میدانی تاثیر شرایط ساختگاهی در بسیاری نقاط دیگر زلزله زده را محتمل نشان می دهد. همچنین این تنها لایه های تحت الارضی نیستند که موجبات اثرات ساختگاهی می گردند بلکه مشخصات هندسی روستاهی ساختگاه که تحت عنوان اثرات توپوگرافی امروزه شناخته شده اند می تواند به هنگام وقوع زلزله، شدت حرکت سطح زمین و حجم خرابی ها را در نقاط مختلف متفاوت سازد. در پیمایش میدانی صورت گرفته در محدوده مسیر از گله به تازه آباد و همچنین طی مسیر روستای کانی رش به سوی روستای نیمه کاره می توان اثرات توپوگرافی را مشاهده نمود. بناها و مستحدثات روستاهایی نظیر اسپر، پشت اسپر، ژاله کوسه و فیاض علیرغم آنکه از استحکام مناسبی به دلیل مصالح بوم ساخت برخوردار نیستند اما به سبب قرارگیری در دره ها دچار آسیب های قابل ملاحظه نگردیده اند اما مواردی از خرابی در روستای کانی خنجر که بر تپه واقع بوده است مشاهده گردید و متاسفانه با توجه به خرابی بناهای بوم ساخت بر فراز قله تپه (بصورت تقریبی) در روستای نیمه کاره پنج نفر از هموطنان ما جان باختند.

فصل سوم

ناپایداری‌های زمین‌شناختی و ژئوتکنیکی ناشی از زمین‌لرزه

ابراهیم حق شناس

ایمان عشایری

سید مجتبی موسوی

مهنوش بیگلری

همکاران:

معصومه رخشنده، وحید تاجیک، پرهام معماریان، محمدعلی زارع

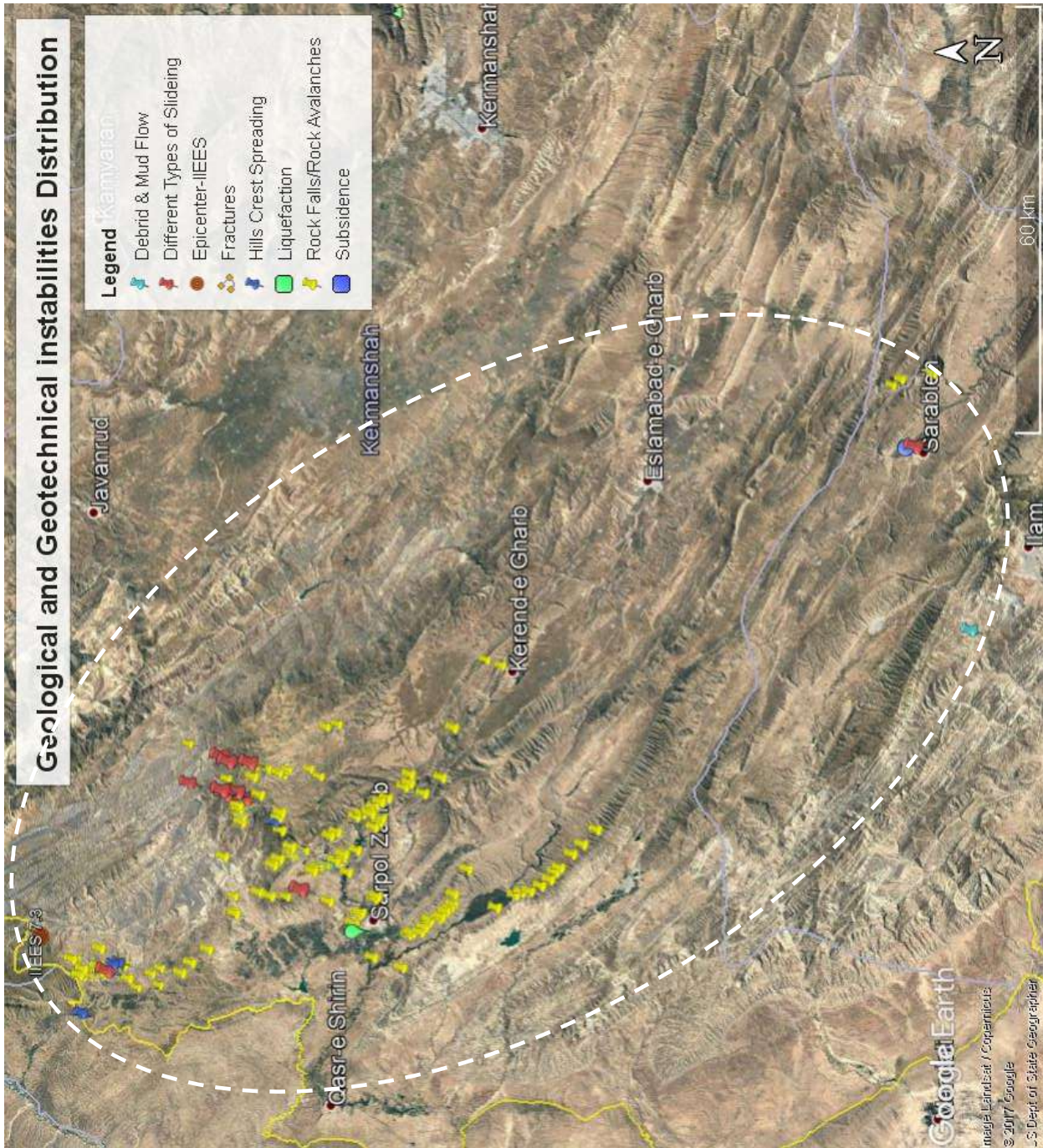
و پریسا مبین

۳-۱- مقدمه

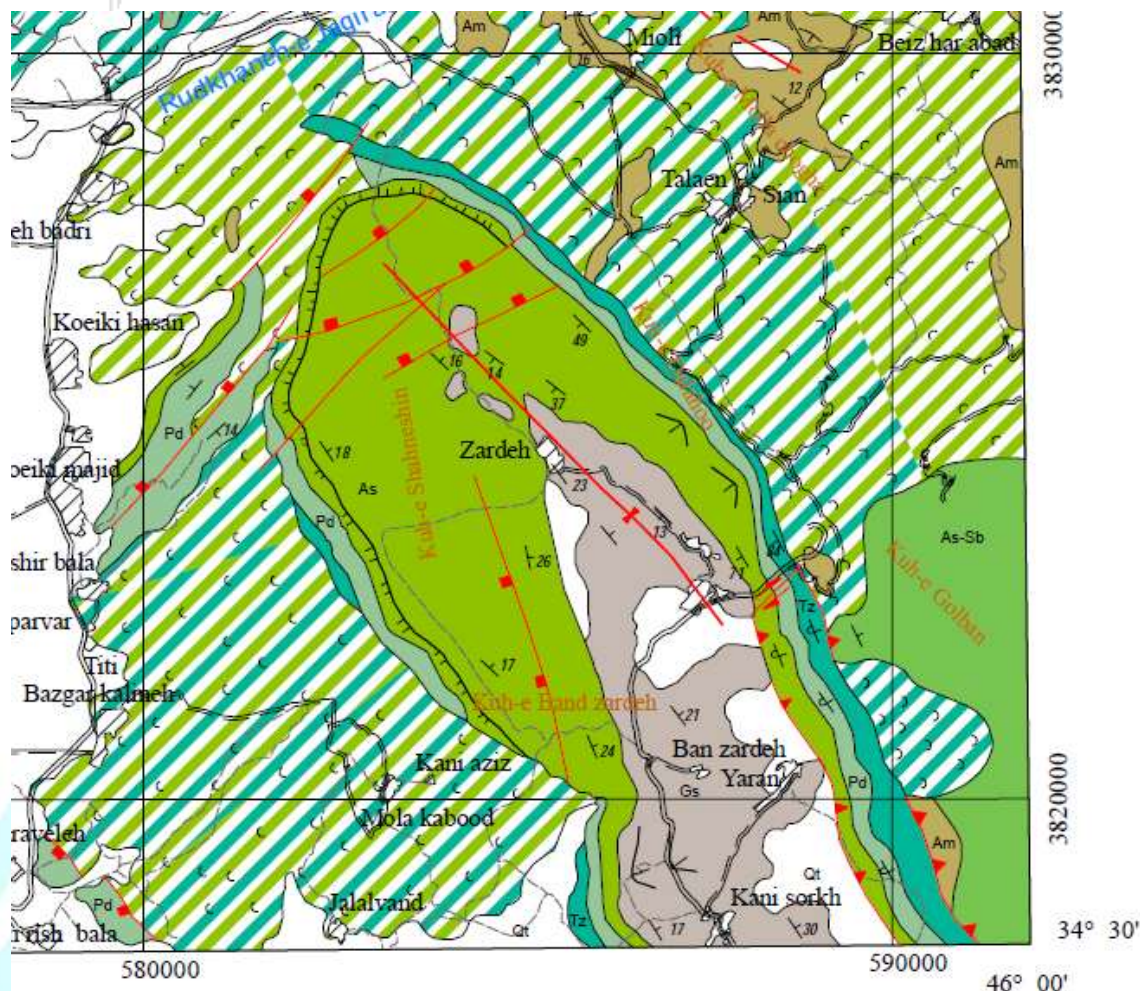
در اثر این زمین لرزه ناپایداری های زمین شناختی-ژئوتکنیکی بسیاری مانند ریزش های سنگی متعدد، لغزش های خاکی و سنگی، جریان واریزه ای و گلروانه، فرونشست غارهای آهکی، روانگرایی و گسیختگی گسترشی در تاج تپه ها روی داده است که در این بخش به آنها اشاره خواهد شد. شکل ۳-۱ توزیع مکانی ناپایداری های مشاهده شده تاکنون را بر روی تصویر ماهواره ای منطقه نشان می دهد. همانگونه که دیده می شود توزیع ناپایداری های زمین شناختی - ژئوتکنیکی در گستره وسیعی از منطقه رومرکزی در شمال غرب تا نزدیک به ایلام در جنوب شرق را در برمی گیرند که چنین پراکندگی وسیعی از این پدیده ها در مقایسه با زمین لرزه های با بزرگی مشابه دیگر کم نظیر است و جای بررسی و پژوهش دقیق تر دارد.

۳-۲- زمین لغزش ها

زمین لغزش های متعددی ناشی از این زمین لرزه روی داده است که بعضاً با تلفات انسانی و خسارات مالی قابل توجهی نیز همراه بوده اند که معروفترین آنها زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی با وسعت ۴,۶۱ کیلومتر مربع (۴۶۱ هکتار) در دامنه جنوبی کوه شاه نشین و در مجاورت دو روستای مله کبود و قورچی باشی در فاصله ۸ کیلومتری شمال سرپل نهاب است. از نظر ساختاری کوه شاه نشین تشکیل دهنده یال جنوبی یک ناودیس معلق ساخته شده از لایه های آهکی سازند آسماری بر روی سازند شیلی و آهک رسی پابده است. تفاوت مقاومت لایه های مقاوم سازند آسماری بر روی سازند ضعیف پابده به همراه ساختاری تکتونیکی این سازند تنوعی از پدیده های زمین شناسی را بوجود آورده است که در بروز مخاطرات زمین شناختی همراه با زمین لرزه اخیر موثر بوده اند. این پدیده ها شامل زمین لغزش های متعدد قدیمی به هم پیوسته در دامنه های پیرامونی این ناودیس و دره های عرضی با دیواره های قائم در بخش داخلی شده است. این دو پدیده زمین ریختی پتانسیل بالای زمین-لغزش در دامنه های پیرامونی و ریزش سنگی در دره های عرضی داخلی را ایجاد کرده است که اتفاقاً مهمترین مخاطرات زمین شناختی همراه با زمین لرزه اخیر را ایجاد کرده اند. تصویر نقشه زمین شناسی این ناودیس معلق در شکل ۳-۲ آورده شده است. در شکل ۳-۳ موقعیت زمین لغزش ها و ریزش های سنگی عمده مشاهده شده همراه با زمین لرزه اخیر در محدوده ناودیس مذکور و پیرامون آن بر روی تصویر ماهواره ای نشان داده شده است.



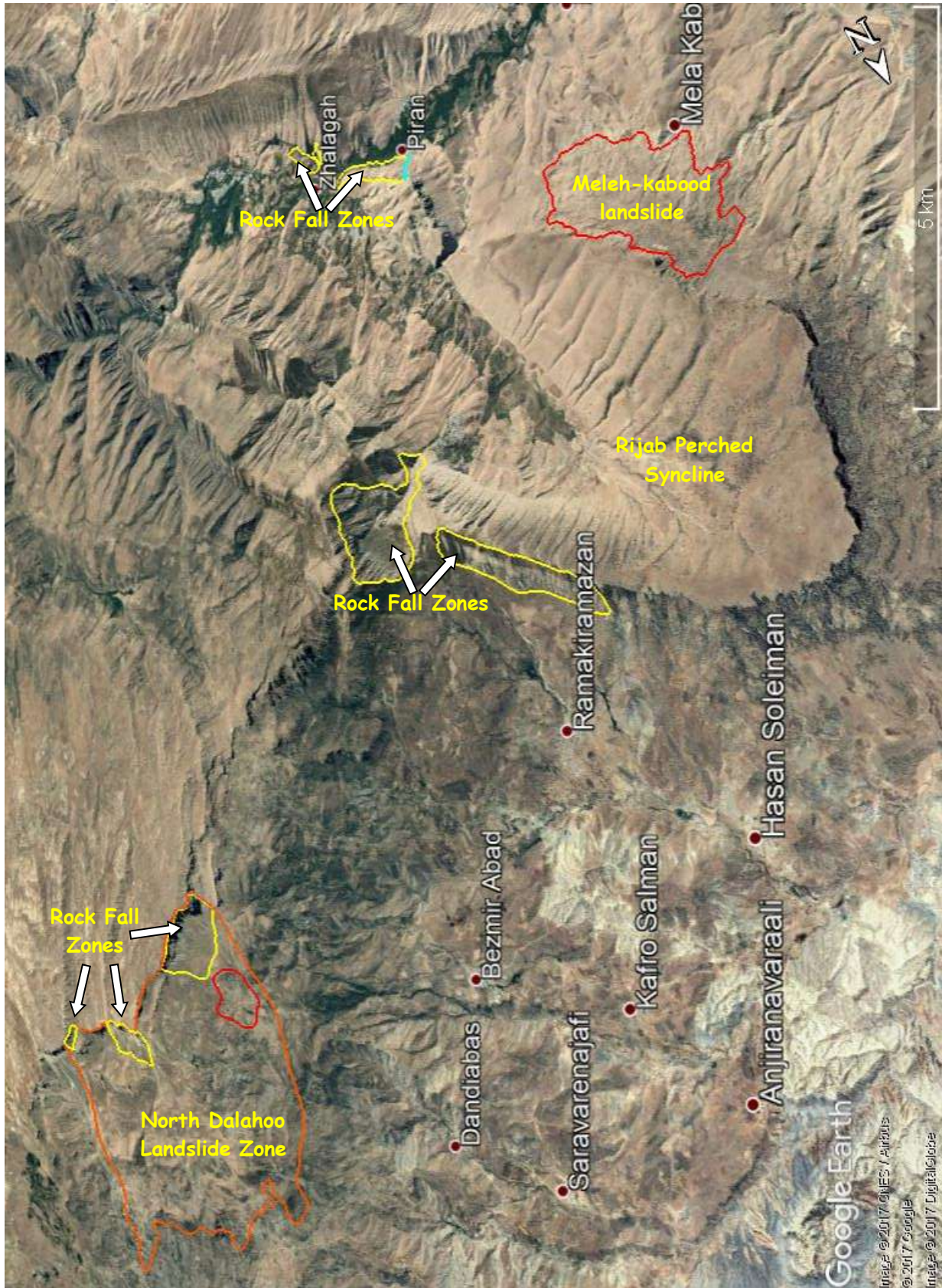
شکل ۳-۱- توزیع ناپایداری های زمین شناختی-ژئوتکنیکی رویداده در اثر زمین لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب



شکل ۳-۲- نقشه زمین شناسی ناودیس معلق ریجاب (بر گرفته از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ قصر شیرین، شرکت نفت) که نشان دهنده وقوع زمین لغزش های قدیمی گسترده در دامنه های پیرامونی آن است

۳-۲-۱- زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی

زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی بزرگترین زمین لغزش منفرد روی داده در این زمین لرزه و بزرگترین زمین لغزش روی داده در چند دهه اخیر در کشور است، بطوریکه از فواصل چند کیلومتری جنوب سرپل ذهاب نیز قابل رویت است. تصویر ماهواره ای لغزش مذکور همراه با شکاف های عرضی و طولی پیاده شده بر روی آن در شکل ۳-۴ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود شکاف های عرضی و طولی بسیاری بر روی این زمین لغزش شکل گرفته است که طول بعضی از آنها بیش از یک کیلومتر می باشد. برخی از این شکاف ها دارای بازشدگی چند متری و عمق بیش از ۴۰ متری هستند. ارتفاع افراز اصلی لغزش در برخی قسمت ها به ۱۵ متر می رسد. بر اساس شواهد توپوگرافی و ریخت شناسی دامنه لغزیده، همچنین ارتفاع افراز اصلی و افرازهای فرعی



شکل ۳-۳- تصویر ماهواره‌ای ناودیس معلق ریجاب و موقعیت زمین لغزش‌های قورچی‌باشی- مله کبود، شمال دالاهو و پهنه ریزشی بابایادگار بر روی آن

و نیز شکاف‌های مشاهده شده عمق زمین لغزش بیش از ۱۰۰ متر و به این ترتیب حجم توده جابجا شده حدود ۴۶۰ میلیون متر مکعب تخمین زده می‌شود. شکل‌های ۳-۵ تا ۳-۹ تصاویری از این زمین لغزش را نشان می‌دهد.

خسارات این زمین لغزش تخریب قبرستان قورچی باشی، منبع آب این روستا و لوله انتقال آب آن، مسدود کردن جاده دسترسی روستا به قبرستان، تخریب دیوار شمالی دو واحد مسکونی در این روستا، خشک شدن و از بین بردن چشمه آب روستای مله کبود و تخریب گسترده زمین‌های کشاورزی و مراتع این دو روستا است. از طرف دیگر با توجه به بالا آمدگی قابل توجه پنجه زمین لغزش در مجاورت شمالی این دو روستا، در صورت ادامه یا تشدید فعالیت این لغزش امکان مدفون شدن این دو روستا در بارندگی‌های شدید بسیار محتمل است و لذا جابجایی این دو روستا ضروری و حتمی است. لازم به ذکر است سه بازدید انجام شده به فواصل یک هفته‌ای بعد از زمین لرزه ۲۱ آبان گویای فعال بودن این زمین لغزش در حال حاضر است. نشانه‌های این فعالیت در باز شدن بیشتر شکاف‌ها در قبرستان قورچی باشی و کج شدگی بیشتر مخزن آب این روستا به نحوی که در هفته سوم آب از سقف آن به بیرون سرریز کرده است می‌باشد (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۴- تصویر ماهواره‌ای زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی همراه با شکاف‌های عرضی و طولی پیداده شده بر روی آن (خطوط زرد)



شکل ۳-۵- تخریب قبرستان روستای قورچی باشی در اثر وقوع زمین لغزش مله کبود- قورچی باشی



شکل ۳-۶- تخریب و مدفون شدن جاده قبرستان روستای قورچی باشی (راست) و تخریب خانه مسکونی در این روستا ناشی در محل پنجه زمین لغزش مله کبود- قورچی باشی



شکل ۳-۷- شکافهای عرضی عمیق در بخش میانی توده جابجا شده زمین لغزش مله کبود- قورچی باشی



شکل ۳-۸- شکاف‌های عرضی عمیق در بخش بالایی توده جابجا شده زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی با فروافتادگی بخش بالادست و بالآمدگی بخش پایین دست



شکل ۳-۹- نمایی از افزایش زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی و عوارض ایجاد شده در توده جابجا شده



شکل ۳-۱۰- بازشدگی بیشتر شکافها در قبرستان قورچی باشی و فروافتادن قبر در شکاف (بالا) و سرریز شدن مخزن آب این روستا به علت ادامه کج شدن رو به عقب در فواصلی زمانی یک و دوهفته‌ای باز دیده‌های صورت گرفته که نشان از فعال بودن این زمین لغزش است

۳-۲-۲- پهنه لغزشی شمال دالاهو (زمین لغزش پالان علیا)

پهنه لغزشی شمال دالاهو (شکل ۳-۱۱) پهنه‌ای به وسعت ۲۵ کیلومتر مربع شکل گرفته بر روی یک پهنه لغزشی قدیمی وسیع تر است. علت اینکه از واژه پهنه لغزشی برای آن استفاده شده وجود درز و شکاف-های لغزشی متعدد بدون امکان تعیین مرز مشخص برای آنها به عنوان یک لغزش منفرد است. بسیاری از این درز و شکاف‌ها در مسیر جاده سرپل ذهاب به تازه‌آباد بعد از روستای بزمیرآباد تا بعد از روستای پالان علیا، بصورت عرضی جاده را قطع کرده و در بعضی قسمت‌ها با طول قابل ملاحظه (۵۰۰ تا ۸۰۰ متر) در جهت شیب توپوگرافی عمود بر جاده گسترش یافته‌اند (شکل‌های ۳-۱۲ و ۳-۱۳). همچنین در این مسیر چندین زمین لغزش کوچکتر نیز شکل گرفته است که مهمترین آنها زمین لغزش پالان علیا است که باعث ایجاد یک پرتگاه نیم تا یک متری، تخریب ۶ واحد مسکونی و فوت یک کودک در محله صفرملکی از این روستا گردیده است (شکل‌های ۳-۱۴ و ۳-۱۵). با توجه به ایجاد یک پرتگاه جدید در تاج پهنه لغزشی قدیمی در زیر صخره‌های خط‌الراس کوه‌های دالاهو (شکل ۳-۱۶) به نظر می‌رسد که کل پهنه لغزشی کم و بیش فعال شده و درز و شکافهای مشاهده شده در پایین دست (جاده ثلاث باباجانی) در واقع ترکهای طولی ایجاد شده در پنجه این پهنه هستند.



شکل ۳-۱۱- تصویر ماهواره‌ای پهنه لغزشی شمال دالاهو که بخوبی ریخت‌شناسی یک لغزش بسیار بزرگ قدیمی را نشان می‌دهد محل مشاهده برخی از درز و شکاف‌های جدید با رنگ نارنجی مشخص گردیده. خطوط بسته زرد رنگ پهنه‌های ریزشی در این پهنه را نشان می‌دهد



شکل ۳-۱۲- نمونه‌هایی از شکاف‌های ایجاد شده در بستر جاده در پهنه لغزشی شمال دالاهو

زمین لغزش قدیمی که پهنه لغزشی جدید بر روی آن شکل گرفته است یک لغزش سنگی پیوسته (coherent) با عمق بسیار زیاد و سطوح لغزش چندتایی (multiple) بوده که مطابق با نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۳-۱۷) سازندهای آهکی آسماری-شهبازان و تله‌زنگ بر روی سازند فلیشی امیران لغزیده است.

۳-۲-۳- سنگ لغزش پاسگاه دارزنگنه

این سنگ لغزش با ابعاد متوسط در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب ازگله در مجاورت پاسگاه دارزنگنه رویداده است که منجر به آسیب دیدن ساختمان پاسگاه، قطع پای یک سرباز و مجروح شدن شدید یک سرباز دیگر گردید. تصاویری از این سنگ لغزش در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳ - نمونه‌هایی از شکاف‌های طولی در بخش پایینی پهنه لغزشی شمال دالاهو در امتداد شیب دامنه



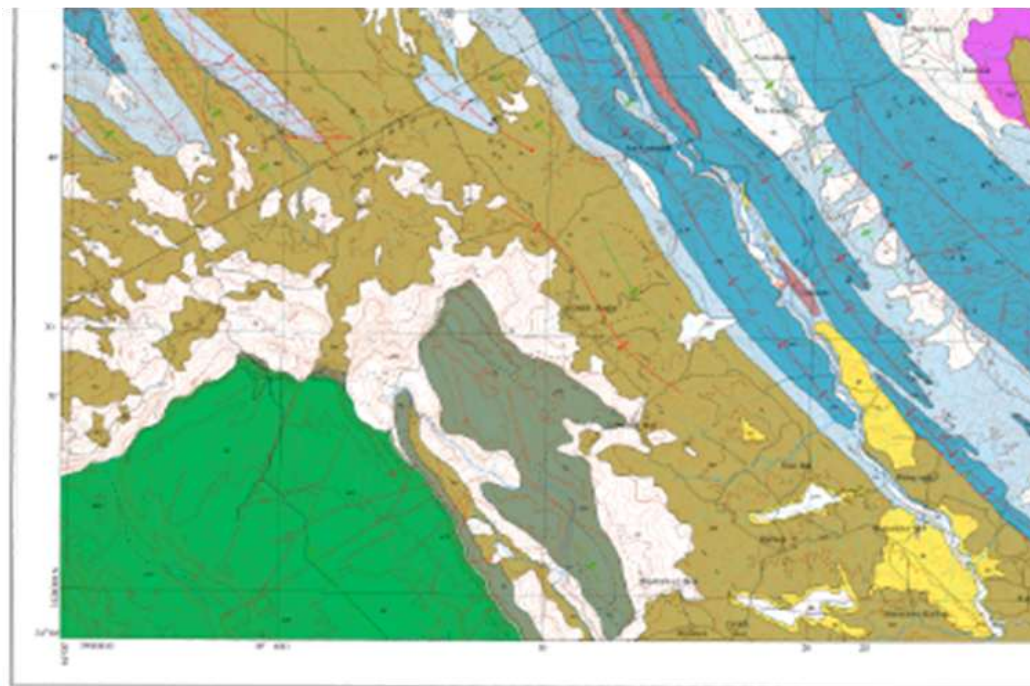
شکل ۳-۱۴ - واحدهای مسکونی تخریب شده در اثر زمین لغزش پالان علیا (بالا) و بخشی از افزایش اصلی این لغزش (پایین)



شکل ۳-۱۵- نماهایی دیگر از افزایش زمین لغزش پلان علیا



شکل ۳-۱۶- نمایی از تراس‌های ایجاد شده در اثر کلان لغزش قدیمی (بالا) و شکاف ایجاد شده در پای افراز اصلی آن در زمین- لرزه اخیر



شکل ۳-۱۷- نقشه زمین شناسی پهنه لغزشی شمال دالاهو (برگه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ باینگان، شرکت نفت)

۳-۳- ریزش ها و بهمن های سنگی

در اثر زمین لرزه اخیر تعداد متعددی (حداقل ۳۰۰) ریزش سنگی یا پهنه های ریزشی کوچک و بزرگی در گستره ای به وسعت تقریبی بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر مربع روی داده اند. گستردگی ریزش های سنگی در منطقه با خراشیدگی های سفید رنگ طویل بر روی دامنه ها از جمله چشم اندازهای مشخص ایجاد شده ناشی از این زمین لرزه در منطقه است بطوریکه بسیاری از بازدیدکنندگان بر مبنای مشاهده این حجم از خطوط سفید رنگ مشاهده شده بر روی دامنه های سنگی دچار شبهه در رابطه با زمین لرزه بودن رویداد اخیر می شدند.

بررسی مقدماتی از وضعیت شکستگی ها و سیستم های درزه و نیز ارتباط شان با شیب دامنه های تشکیل شده از سنگ های سخت آهکی سازند آسماری نشان داد که این نوع دامنه ها به علت شکستگی ها و درزه های فراوان، شیب مخالف و یا مورب لایه بندی نسبت به شیب دامنه و آبدار بودن توده ها بسیار مستعد ناپایداری از نوع ریزش یا بهمن سنگی در صورت وجود یک نیروی محرک مانند زلزله بوده اند.



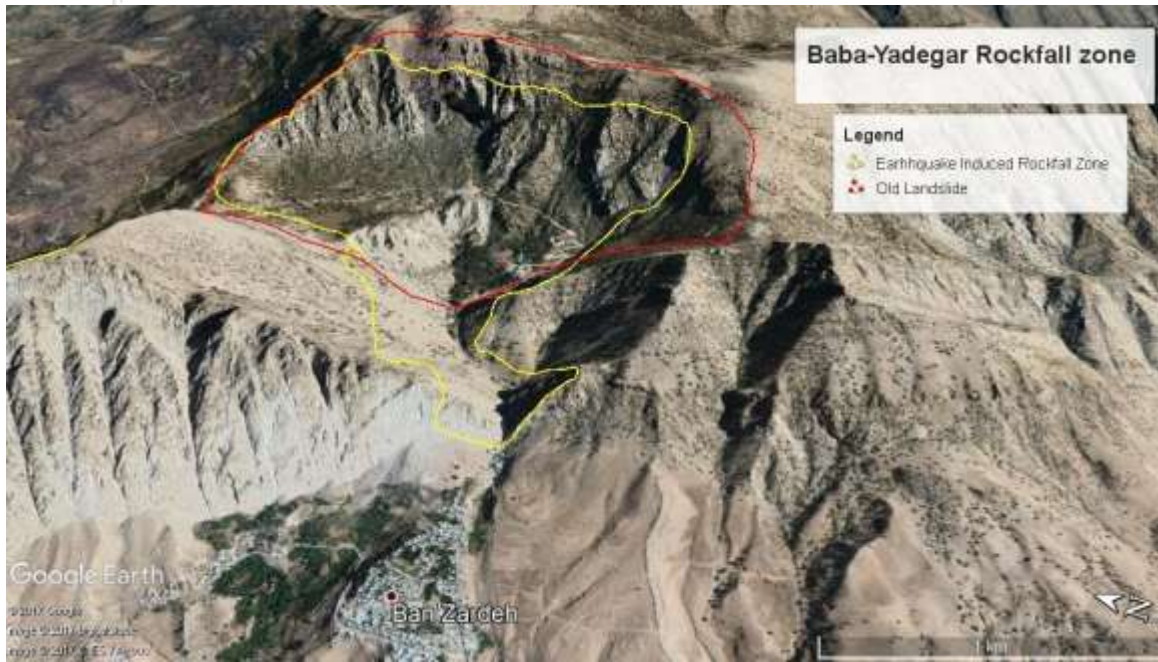
شکل ۳-۱۸- سنگ لغزش پاسگاه دارزنگنه و تصاویری از بخش‌های مختلف آن

۳-۳-۱- پهنه ریزشی دره بابایادگار

یکی از مهمترین پهنه ریزش‌های سنگی همراه این زمین لرزه دره بابایادگار در شمال روستای بان زرده واقع در انتهای غربی بخش داخلی ناودیس ریجاب است. در دامنه‌های دو طرف این دره به طول ۱,۵ کیلومتر ریزش‌ها- ی سنگی متعددی روی داده است. این ریزش‌ها با ابعاد بلوک تا شش متر مکعب و وزن بیش از ۱۰ تن منجر به مسدود شدن ورودی دره، از بین رفتن یک دستگاه خودرو و نیز تخریب گسترده جاده، خطوط انتقال برق و تلفن به مجموعه زیارتگاه‌های انتهای دره شده است. محدوده این پهنه ریزشی در شکل ۳-۱۹ و تصاویری از این ریزش‌ها در شکل‌های ۳-۲۰ تا ۳-۲۳ نشان داده شده است. تصویر ماهواره‌ای از این دره بخوبی نشان- دهنده وجود یک زمین لغزش قدیمی است که کل بخش انتهایی دره را دربر گرفته است. محدوده این زمین- لغزش قدیمی به علت توپوگرافی خاص خود و وجود چشمه‌های متعدد وجود به قبرستان و زیارتگاه‌های مردم اهل حق تبدیل شده است. در دهانه ورودی این دره عملکرد دو گسله معکوس (رجوع به نقشه زمین‌شناسی در شکل ۳-۲) باعث ایجاد شیب تند لایه‌بندی و لایه‌بندی از نوع معکوس در جناح شرقی گردیده است (شکل ۳-۲۰). وجود این زمین لغزش قدیمی در انتهای دره، شیب تند دامنه‌ها بخصوص در بخش ورودی دره بعلاوه نوع تقاطع لایه‌بندی با شیب دامنه (تقاطع مورب)، عوامل مستعد کننده این منطقه برای ایجاد چنین پهنه ریزشی گسترده‌ای بوده‌اند.

بنابر گفته‌های خادمان زیارتگاه‌ها زمین لرزه ۲۱ آبان باعث خشک شدن چشمه‌های مستقر در ترازهای ارتفاعی بالاتر و پرآب‌تر شدن چشمه‌های مستقر در ترازهای پایین‌تر شده است (شکل ۳-۲۲) که حاکی از تغییر سطح تراز آبهای زیرزمینی در اثر ایجاد درز و شکاف‌های جدید در توده لغزشی قدیمی است. وجود سفره‌های آب زیرزمینی در توده لغزشی قدیمی باعث ایجاد یک جریان واریزه‌ای در توده بسیار خردشده لغزش قدیمی در انتهای دره شده است.

وجود زمین لغزش بسیار بزرگ قدیمی و نیز بلوک‌های سنگی ریزشی قدیمی در کف دره حاکی از سابقه قبلی ریزش در این دره دارد. با توجه به ابعاد بسیار بزرگ بلوک‌های سنگی (شکل ۳-۲۳) احتمال سقوط آنها در زمین لرزه‌ای قدیمی بسیار زیاد است و با تعیین سن رسوبات زیرین این بلوک‌ها می‌توان سابقه لرزه‌خیزی منطقه را مورد مطالعه قرار داد.



شکل ۳-۱۹- محدوده پهنه ریزشی دره بابایادگار در شمال شرقی روستای بان زرده همراه با مرزهای زمین لغزش قدیمی انتهایی دره



شکل ۳-۲۰- تصاویری از ریزش های پهنه ریزشی بابایدگار در شمال شرقی روستای بان زرده، مسدود شدن تنگه باریک ورودی بخاطر ریزش بلوک های عظیم سنگی در لایه های پرشیب آهکی با رابطه مورب نسبت به شیب دامنه، و نمایی از توده لغزشی قدیمی در انتهای دره با ریزشهای متعدد روی داده در آن (گوشه چپ پایین)



شکل ۳-۲۱- تصاویری از ریزش‌های سنگی در پهنه ریزشی بابایادگار و خسارات حاصل از آنها



شکل ۳-۲۲- تصاویری از چشمه خشک شده هانیتا و چشمه پرآب شده غسلان و جریان واریزه‌های ناشی از آزاد شده آب‌های زیرزمینی در توده لغزشی قدیمی انتهای دره بابایادگار



شکل ۳-۲۳- قرار گرفتن بلوک حاصل از ریزش جدید در کنار بلوک سنگی ریزشی قدیمی در میدان ورودی زیارتگاه بابایادگار

۳-۳-۲- پهنه‌های ریزشی شمال و شمال شرق دالاهو

وجود ریخت‌شناسی پرتگاهی با ارتفاع بسیار زیاد (بیش از ۱۰۰ متر) ناشی از وقع یک زمین‌لغزش عظیم قدیمی در یال شمالی کوه‌های دالاهو به همراه خردشدگی بسیار شدید توده‌های سنگی تشکیل دهنده خط-الراس، مناطق بسیار مستعدی از نظر وقوع ریزش‌های سنگی بوجود آورده است. در پای این پرتگاه‌ها جاده-های دسترسی محلی برای اتصال روستاهای ارتفاعات دالاهو به دره بابا یادگار و روستای بزمیرآباد، بدون توجه به خطر بالای ریزش و ناپایداری، احداث شده است که هم اکنون با ریزش‌های بزرگ با ابعاد بلوک تا هشت متر مکعب و وزن بیش از ۱۵ تن مسدود شده‌اند.

محدوده این پهنه‌های ریزشی بر روی تصویر ماهواره‌ای و تصاویری از این بهمن و ریزش‌ها در شکل‌های ۳-۲۴ تا ۳-۲۶ نشان داده شده است. ایجاد شکاف‌های متعدد در محل افراز این ریزش‌ها (بویژه پهنه ریزشی مشخص شده با شماره ۲ در شکل ۳-۲۴) تهدید جدی برای سایت‌های نظامی مستقر بر فراز ارتفاعات دالاهو است و احتمال ریزش‌های آتی بسیار زیاد است.



شکل ۳-۲۴- تصویر ماهواره‌ای پهنه‌های ریزشی شمال دالاهو همراه با تصاویری از پهنه ریزشی شماره ۱ (مسیر جاده زیارتگاه بهلول دانا در شمال شرق فلات دالاهو)



شکل ۳-۲۵- ریزش ها و بهمن های سنگی در پهنه ریزشی شماره ۲ در شمال شرق ارتفاعات دالاهو مسیر جاده روستاهای دالاهو به روستای بز میرآباد



شکل ۳-۲۶- پهنه ریزشی شماره ۳ در ارتفاعات شمالی دالاهو

۳-۳-۳- ریزش ها و بهمن سنگی پیران

بزرگترین بهمن سنگی در شمال روستای پیران، واقع در طول جاده گردشگری دسترسی به آبشار پیران، روی داده است. این ناپایداری به طولی در حدود ۱,۸ کیلومتر جاده دسترسی به آبشار و تمامی مسیر سنگچین جاده گردشگری را مسدود نموده و همچنین سبب ایجاد سد و دریاچه طبیعی در پای آبشار گردیده است. ابعاد بلوک های فروریخته تا هشتاد متر مکعب و وزن بیش از ۱۵۰ تن برآورد گردید. همچنین در شرق دره پیران ریزش های سنگی متعددی در قالب پهنه های ریزشی روی داده اند. محدوده این ریزش ها و بهمن سنگی در شکل ۳-۲۷ و تصاویر مربوط در شکل های ۳-۲۸ تا ۳-۳۲ نشان داده شده است.

دیواره های آهکی با شیب بسیار تند ناشی از بالآمدگی ناودیس معلق ریجاب، همراه با شیب لایه بندی مخالف با شیب دامنه از مهمترین عوامل ذاتی مستعد کننده دامنه های در این منطقه بوده است که در ترکیب با عامل محرک زلزله این بهمن ها و ریزش های سنگی را بوجود آورده است.



شکل ۳-۲۷- محدوده پهنه بهممن سنگی پیران



شکل ۳-۲۸- آبشار پیران قبل و بعد از ریزش بهممن سنگی



شکل ۳-۲۹- ریزش‌ها و بهمن سنگی در مسیر جاده آبشار پیران



شکل ۳-۳۰- بهمن سنگی آبشار پیران



شکل ۳-۳۱- ریزش‌های سنگی در امتداد دره پیران



شکل ۳-۳۲- دریاچه طبیعی ایجاد شده در اثر ریزش بهمن سنگی آبشار پیران

۳-۳-۴- پهنه ریزشی شمال ناودیس معلق ریجاب

این پهنه ریزشی در یال سمت راستی (شمالی) ناودیس معلق ریجاب روی داده است که باعث مسدود شدن راه های ارتباطی روستاهای رماکی رمضان و جوانمیری به دره بابایادگار گردیده است. این محدوده در شکل ۳-۳۳ نشان داده شده است. شکل ۳-۳۴ نمایی از ریزش های یال شمالی ناودیس را نمایش می دهد.



شکل ۳-۳۳- محدوده ریزش‌های سنگی در یال شمالی ناودیس معلق ریجاب



شکل ۳-۳۴- ریزش‌های سنگی در یال شمالی ناودیس معلق ریجاب

۳-۳-۵- ریزش های منفرد

این ریزش ها به صورت بلوک های سنگی فروافتاده در اکثر ارتفاعات منطقه روی داده است. که می توان به ریزش های سنگی در ارتفاعات فلات دالاهو، مسیر پاتاق به سرپل ذهاب، ارتفاعات مشرف به دشت دیره واقع در راه ارتباطی سرپل ذهاب به گیلان غرب و در مسیر جاده پاسگاه دارزنگنه به دربند دوهل اشاره نمود. تصاویر مربوط در شکل های ۳-۳۵ تا ۳-۳۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۵- ریزش سنگی روی داده در مسیر گردنه پاتاق که منجر به سقوط دکل برق فشار قوی و مسدود شدن جاده اصلی کرمانشاه - سرپل ذهاب گردید



شکل ۳-۳۶- ریزش سنگی روی داده در مسیر فلات دالاهو



شکل ۳-۳۷- ریزش سنگی روی داده در مسیر پاسگاه دارزننگنه به دریند دوهل

۳-۴- جریان‌های واریزه‌ای و گلروانه‌ها

در طی بازدیدهای انجام شده دو مورد حرکت‌های دامنه‌ای از نوع جریانی واریزه‌ای (debris flow) در منطقه پیران در ۱۰ کیلومتر شمال شرق سرپل‌دهاب و گلروانه (Mudflow) در شهر چوار ایلام مشاهده گردید که در این بخش تشریح می‌گردند.

۳-۴-۱- جریان واریزه‌ای پیران

شکل ۳-۳۸ تصویر ماهواره‌ای این جریان واریزه‌ای را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود این حرکت در مسیر آبراهه‌ای که از ارتفاعات ناودیس ریجاب به سمت جنوب کشیده شده است و از میان روستای پیران می‌گذرد، روی داده است و آثار آن تا داخل روستا نیز دیده می‌شود. با توجه به ساخت یک آبگیر مصنوعی در قله کوه به منظور تامین آب مورد نیاز یک نیروگاه برق-آبی کوچک در پایین دست و در مجاورت روستا به نظر می‌رسد که این جریان واریزه‌ای در اثر شکست لوله انتقال آب این نیروگاه یا سرریز آب آبگیر بالادست در هنگام زمین‌لرزه روی داده باشد. همچنین مصالح جریان یافته بخشی از بستر آبراهه و بخشی از مصالح دپو شده در مرحله ساخت آبگیر مصنوعی به نظر می‌رسد. خوشبختانه بخش اعظم واریزه‌های انتقالی در پشت خاکریز جاده گردشگری آبشار پیران در بالادست روستا متوقف شده‌اند و آسیب به روستا از این ناحیه ناچیز بوده است. به منظور جلوگیری از حوادث بعدی احداث سیل‌بندی در این بخش لازم است. شکل ۳-۳۹ تصاویری از این جریان واریزه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۸- تصویر ماهواره‌ای جریان واریزه‌ای پیران



شکل ۳-۳۹- تصاویری از جریان واریزه‌های پیران

۳-۴-۲- گلووانه چوار در استان ایلام

از جمله نکات قابل توجه در زلزله اخیر وقوع یک مورد گلووانه بزرگ در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از رومرکز در محاورت شهر چوار استان ایلام است که منجر به تخریب کامل جاده کمربندی غربی شهر و ویرانی کامل و جمل تعدادی از خانه‌ها گردید. خوشبختانه با ایجاد شکاف‌های اولیه در زمین ساکنین به تخلیه منطقه اقدام کرده بودند و گلووانه تلفات جانی برجای نگذاشت. با بازدید انجام شده مشخص شد که علت وقوع این گلووانه و در چنین فاصله دوری از رومرکز وجود نهشته‌های بسیار ضخیم (بیش از ۵۰ متر) خاک ضعیف ریزدانه است که نشان از پتانسیل ناپایداری بسیار بالای زمین در مناطق مجاور رودخانه غربی شهر چوار دارد. علاوه بر استعداد ذاتی این مصالح برای لغزش و ناپایداری که با توجه به وجود ناپایداری‌های قدیمی متعدد در منطقه مشخص است، هدایت روان‌آب‌های سطحی منطقه و فاضلاب شهری به سمت این آبراهه در کنار زلزله اخیر به عنوان عامل محرک، منجر به وقوع این پدیده شده است. با توجه به شیب بسیار تند ایجاد شده درافراز اصلی در مجاورت مناطق مسکونی امکان وقوع حرکت‌های بعدی در فصل بارندگی بسیار زیاد است و هرچه سریعتر باید عملیات بهسازی با اصلاح شیب و زهکشی مناسب آب‌های سطحی و زیر زمینی صورت گیرد. شکل ۳-۴۰ موقعیت گلووانه و سایر تصاویر این گلووانه در شکل‌های ۳-۴۱ و ۳-۴۲ نشان داده شده است.





شکل ۳-۴۰- تصاویر ماهواره‌ای ماه ۵ سال ۲۰۱۷ (بالا) و سال ۲۰۰۶ از محل وقوع گلروانه چوار که ریخت‌شناسی فرسایشی آن بخوبی نشان دهنده وجود خاکهای ضعیف است



شکل ۳-۴۱- تصاویری از افزایش ارتفاع گلووانه چوار



شکل ۳-۴۲- تصاویری از بخش‌های مختلف گلروانه چوار و شکاف‌های موجود در جناح راست که نشان دهنده پتانسیل حرکت-های آتی است

۳-۵- گسیختگی گسترشی در تاج تپه‌ها

پدیده دیگر ژئوتکنیکی مشاهده شده در این زمین لرزه که کمتر در زمین لرزه های دیگر مشاهده شده است، گسیختگی در تاج تپه ها و حرکت لایه خاکی پوشاننده در جهات مختلف است. این پدیده بویژه در منطقه تپه-ماهوری مجاور پاسگاه دارزننگه در جنوب ازگله دیده می شود (شکل ۳-۴۳) اما محدود به این منطقه نبوده و در روستای مرزی باویسی، در کنار جاده روستای دربند دوهل و نیز مسیر بزمیرآباد به پالان در جاده ثلاث نیز دیده شد. در اغلب این موارد تپه ها از جنس سنگ های ضعیف مارنی-شیلی و با پوشش خاک برجای قابل توجه هستند. شکل های ۳-۴۴ و ۳-۴۵ تصاویری از این پدیده را نشان می دهند.

به نظر می رسد که علت وقوع چنین پدیده ای اثر هندسه روستایی، یعنی تشدید دامنه موج لرزه ای در تاج تپه ها به دلیل کانونی شدن این امواج در ترکیب با اثر مصالح ضعیف سازنده این تپه ها باشد. یک مورد اندازه-گیری ارتعاشات محیطی بر روی تاج یکی از این تپه ها بخوبی بزرگنمایی قابل توجهی در فرکانس حدود ۲ هرتز را نشان می دهد که تایید کننده اثرات ساختگاهی در تاج است (شکل ۳-۴۶). همچنین مواردی از پرتاب قائم سنگ در این تپه ها مشاهده شد (شکل ۳-۴۷) که می تواند نشان از شتاب قائم قابل توجه در تاج این تپه ها باشد.



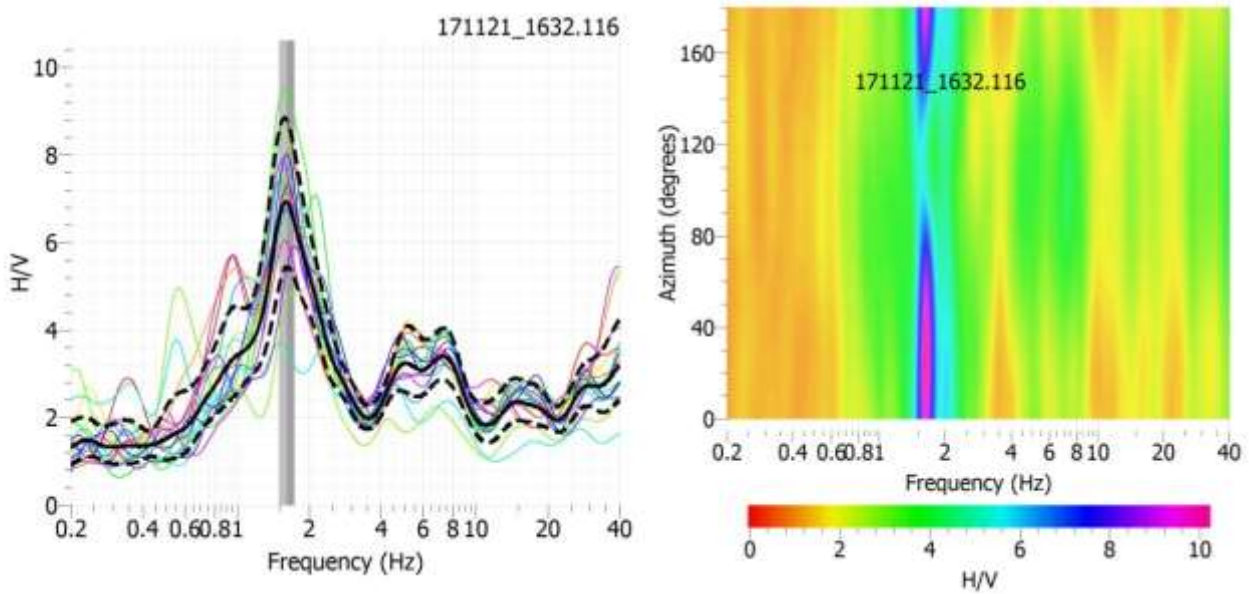
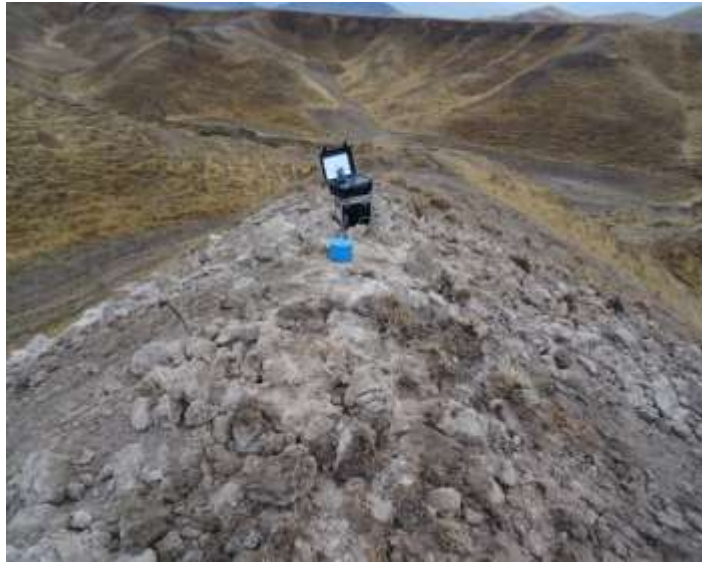
شکل ۳-۴۳- تصویر ماهواره ای منطقه تپه ماهوری در جنوب دارزننگه همراه با نقاطی که در آنها پدیده گسیختگی گسترشی تاج تپه ها دیده می شود



شکل ۳-۴۴- تصاویری از گسیختگی گسترشی در تاج تپه‌ها در روستای مرزی باویسی (بالا) و کنار جاده روستای دربنددوهل (پایین)



شکل ۳-۴۵- تصاویری از گسیختگی گسترشی در تاج تپه‌ها در جنوب شرق پاسگاه دارزننگنه (دو ردیف بالا) به همراه تصویری از ریخت‌شناسی کلی منطقه (پایین)



شکل ۳-۴۶- تصویر برداشت ارتعاشات محیطی بر روی تاج یکی از تپه‌ها (بالا)، نمودار نسبت طیفی مولفه افقی به قائم (پایین سمت چپ)، و نمودار آزمایشی نسبت طیفی (پایین سمت راست) که نشان دهنده قوی تر بودن بزرگنمایی در آزمایش‌های صفر تا ۴۰ درجه عمود بر طول تپه است



شکل ۳-۴۷- تصاویری از پرتاب قائم‌سنگه‌ها در تاج تپه‌ها در جنوب شرق پاسگاه دارزننگه (دو ردیف بالا) و غرب روستای باویسی (پایین)

۳-۶- روانگرایی و گسترش جانبی

همانگونه که بخش دوم فصل حاضر نیز اشاره شد مهمترین مورد وقوع روانگرایی در زمین‌لرزه اخیر در بستر رودخانه جنوب مجتمع مسکن شهید شیروودی در سرپل‌ذهاب روی‌داده است. در این منطقه آثار پدیده روانگرایی بصورت جوشش ماسه و خروج آب در نقاط مختلف دشت سیلابی رودخانه به چشم می‌خورد. تصاویری از آن در شکل‌های ۲-۸ و ۲-۹ ارائه گردید. همچنین با توجه به ایجاد شکاف‌های متعدد در کوچه‌های مجتمع شهید شیروودی که در محاورت بلافصل محل‌های وقوع روانگرایی قرار گرفته است به نظر می‌رسید این شکاف‌ها ناشی از ناپایداری از نوع گسترش جانبی در اثر روانگرایی لایه ماسه‌ای در عمق زیر بستر این مجتمع باشد.

۳-۷- صداهای انفجار گونه در شهر سرابله ایلام

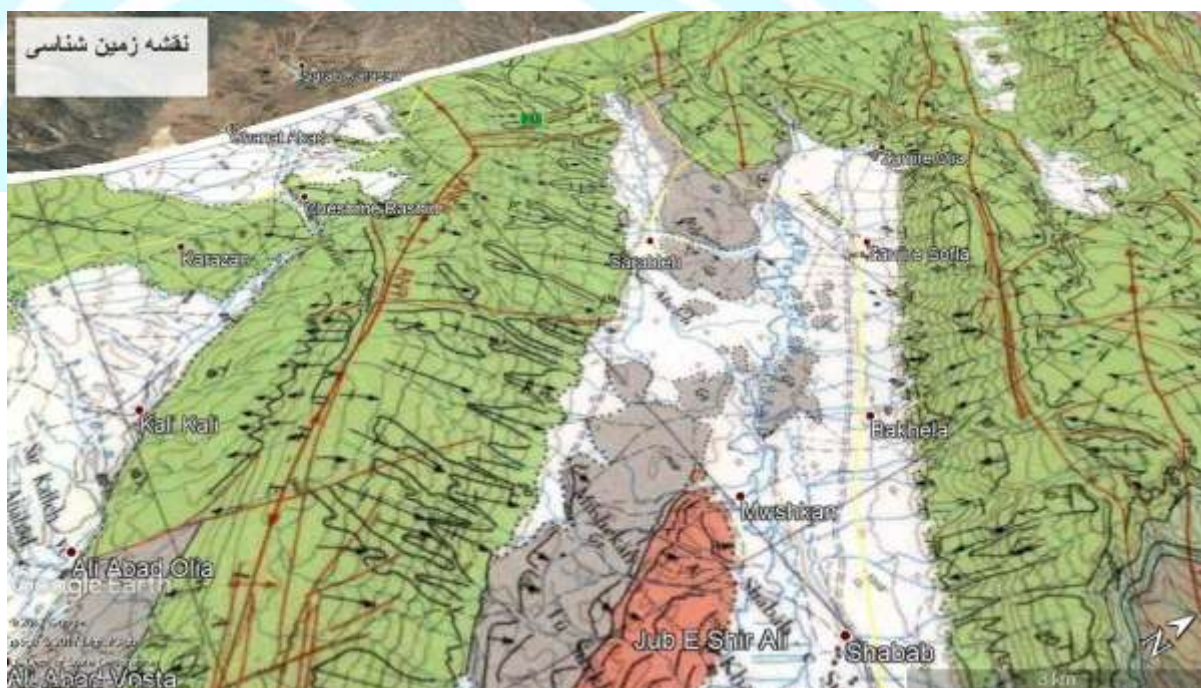
در ایام بازدید از مناطق زلزله‌زده استان کرمانشاه بر اساس شنیده‌ها در فضای مجازی و نیز تماس مدیریت بحران استان ایلام باخبر شدیم پس از زلزله ۲۱ آبان سرپل‌ذهاب و ایجاد یکسری ترک در خانه‌های محله بدر آباد شهر سرابله، شنیده شدن صداهای شبه انفجار در این شهر امنیت روانی مردم را صلب نموده است. در آن زمان تصور بر ارتباط این صداها با پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه سرپل‌ذهاب بود و سوال مطرح، چرایی تولید صدا، ناشی از این پس‌لرزه‌ها در این شهر برخلاف دیگر مناطق زلزله زده بود.

با توجه به این مسئله تیم شناسایی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در روزهای ۱۲ و ۱۳ آذر ۱۳۹۶ اعزام این شهر برای بررسی مسئله گردید و ضمن نصب چند دستگاه لرزه‌نگار در منطقه به بازدید-های میدانی و رصد صداهای زمین پرداخت. حاصل این بررسی دو روزه و داده‌های ثبت شده لرزه‌ای حاکی از پدیده‌ای محلی بدون ارتباط با پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه سرپل‌ذهاب بود و لذا پیشنهاد تامین اعتبار مطالعات تکمیلی با استفاده از تعداد بیشتر دستگاه‌های لرزه‌نگار به استانداری ایلام اعلام گردید. با موافقت استانداری تعداد ۱۰ دستگاه لرزه‌نگاری از تاریخ ۱۹/۰۹/۱۳۹۶ در منطقه نصب شد و بازدیدهای میدانی گسترده‌تر از منطقه صورت گرفت. در این بخش، ضمن ارائه نتایج بررسی‌های صورت گرفته تاکنون پیشنهاداتی را برای شناخت دقیق مسئله و ابعاد آن ارائه می‌دهد.

۳-۷-۱- نتایج حاصل از بررسی های زمین شناسی و میدانی

در کنار نصب شبکه لرزه نگاری باز دیده های میدانی گسترده ای همراه با بررسی تصاویر ماهواره ای، نقشه های زمین شناسی و مدل ارتفاعی رقومی برای شناخت وضعیت زمین شناسی منطقه، وضعیت خرابی ها و مشاهده علائم جابجایی احتمالی در زمین صورت گرفت.

شکل ۳-۴۸ نقشه زمین شناسی و شکل ۳-۴۹ مدل ارتفاعی رقومی منطقه را نشان می دهد. بر اساس نقشه زمین شناسی شهر سرابله بر روی ناودیس با روند شمال غربی-جنوب شرقی (مطابق با روند عمومی چین خوردگی های زاگرس) که بین دو تاقدیس لنه در جنوب و تاقدیس وردلان در شمال قرار گرفته ساخته شده است. سازندهای تشکیل دهنده دو کوه لنه و وردلان در سطح زمین سازند آهکی آسماری-شهبازان با شیب لایه بندی ۵ تا ۲۰ درجه برای یال شمالی تاقدیس لنه و شیب لایه بندی کمی تندتر (۳۰ درجه) برای یال جنوبی تاقدیس وردلان است. در محور مرکزی ناودیس رخنمون های سازند گچی گچساران به صورت تپه های کم ارتفاع به چشم می خورد که بخش های شمالی و شمال شرقی شهر بر روی این سازند ساخته شده است. نیمه جنوبی و جنوب شرقی شهر بر روی آبرفتهای کوتاه تر بنا شده اند. در بخش میانی شهر چشمه ای کارستی وجود دارد که جهت زیباسازی دریاچه ای کوچک در پای آن ساخته شده است. وجود سازندهای آهکی آسماری شهبازان و گچی گچساران در همان نگاه اول پتانسیل وجود حفرات کارستی در منطقه را به ذهن می آورد. مشاهده اشکال انحلالی فراوان در دره های پیرامون شهر بر روی یال شمالی کوه لنه و نیز وجود چشمه کارستی مرکز شهر به علاوه تامین آب شرب شهر از سه حلقه چاه کارستی حفر شده در جنوب شهر تایید کننده این مسئله است.



شکل ۳-۴۸- نقشه زمین شناسی شهر سرابله پیاده شده بر روی تصویر ماهواره ای



شکل ۳-۴۹- مدل ارتفاعی شهر سرابله پیاده شده بر روی تصویر ماهواره‌ای

از طرف دیگر مدل ارتفاعی رقومی منطقه (شکل ۳-۴۹) نشان دهنده یک ناهنجاری توپوگرافی در مجاورت نیمه جنوب شرقی شهر به صورت ایجاد تپه‌های کوچک بر روی دامنه یکنواخت کوه لنه است. مجتمع گردشگری نشمیل بر فراز یکی از این تپه‌ها ساخته شده است. ایجاد این ناهنجاری توپوگرافی می‌تواند به دو عامل وقوع یک لغزش قدیمی یا گسلی معکوس با شیب به سمت شمال نسبت داده شود. مرز این ناهنجاری در شکل با خط نارنجی نشان داده شده است.

وجود چنین ناهنجاری توپوگرافی به همراه مشاهده ترک‌های ایجاد شده در مجموعه گردشگری نشمیل در تاج یکی از این تپه‌ها (شکل ۳-۵۰) و همچنین مشاهده به هم ریختگی مصالح تشکیل دهنده شیب در یکی دیگر از تپه‌ها (شکل ۳-۵۱) احتمال لغزش این تپه را نیز به عنوان عامل ایجاد صداهای غیرعادی زمین مطرح ساخت. بررسی‌های گسترده‌ای برای مشاهده آثار لغزش در مناطق پیرامونی این ناهنجاری ارتفاعی و دره‌های عرضی تاقدیس لنه انجام شده اما بجز موارد فوق مورد مشخصی دیده نشد.

در محور بررسی‌های میدانی مشاهده خرابی‌های ایجاد شده در نقاط مختلف شهر و نوع آنها نیز مد نظر قرار گرفت. این مشاهدات حاکی از ترک خوردگی و آسیب به بعضی ساختمان‌های مسکونی و اداری، مجتمع گردشگری نشمیل و نیز ترک خوردگی سطح زمین در محل اداره برق، جهاد-کشاورزی و نقاط دیگر بود. بیشترین آسیب‌های سازه‌ای به ساختمان‌های دو اداره دولتی اشاره شده وارد گردیده است. نقشه توزیع بعضی از ساختمان‌های آسیب دیده که تاکنون مورد بازدید قرار گرفته‌اند در شکل ۳-۵۲ نشان داده شده است که حاکی از توزیع ساختمان‌های آسیب دیده در محله بدرآباد و زمین‌شهری است. تصاویری از این آسیب‌ها در

شکل های ۳-۵۳ تا ۳-۵۷ آورده شده است. نکته قابل توجه در آسیب ها ایجاد ترک های قائم در بسیاری از ساختمان ها و نشست کف منازل می باشد که نشان دهنده نشست زمین است.



شکل ۳-۵۰- تصاویری از آسیب های سازه ای و ترک های ایجاد شده در مجتمع گردشگری نشمیل که در فراز تپه مشرف به شهر ساخته شده است.



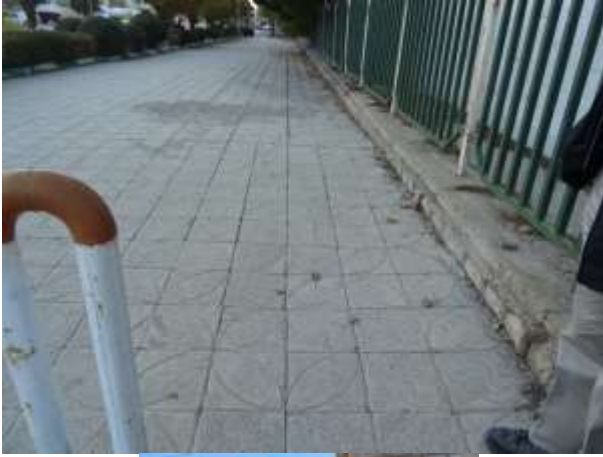
شکل ۳-۵۱- تصاویری از به هم ریختگی مصالح تشکیل دهنده دامنه در یکی از تپه‌های جنوب شهر



شکل ۳-۵۲- نقشه توزیع ساختمان‌های آسیب دیده بازدید شده تا تاریخ ۲۸ آذر ۱۳۹۶. ساختمان‌های دیگری نیز آسیب دیده‌اند که بازدید نشده‌اند.



شکل ۳-۵۳- تصاویری از آسیب‌های سازه‌ای در اداره منابع طبیعی ردیف بالا و اداره برق دو ردیف پایین



شکل ۳-۵۴- تصاویری از ترکهای زمین و آسیبهای سازه‌ای در اداره برق (دو ردیف بالا) و اداره جهاد-کشاورزی (پایین)



شکل ۳-۵۵- تصاویری از آسیب‌های سازه‌ای و ترک‌های زمین در اداره جهاد کشاورزی



شکل ۳-۵۶- تصاویری از آسیب‌های سازه‌ای و در خانه‌های مسکونی محله زمین شهری



شکل ۳-۵۷- تصاویری از آسیب‌های سازه‌ای و نشست کف در خانه‌های مسکونی محله بدرآباد

۳-۷-۲- نتایج حاصل از نداشت‌های لرزه‌نگاری

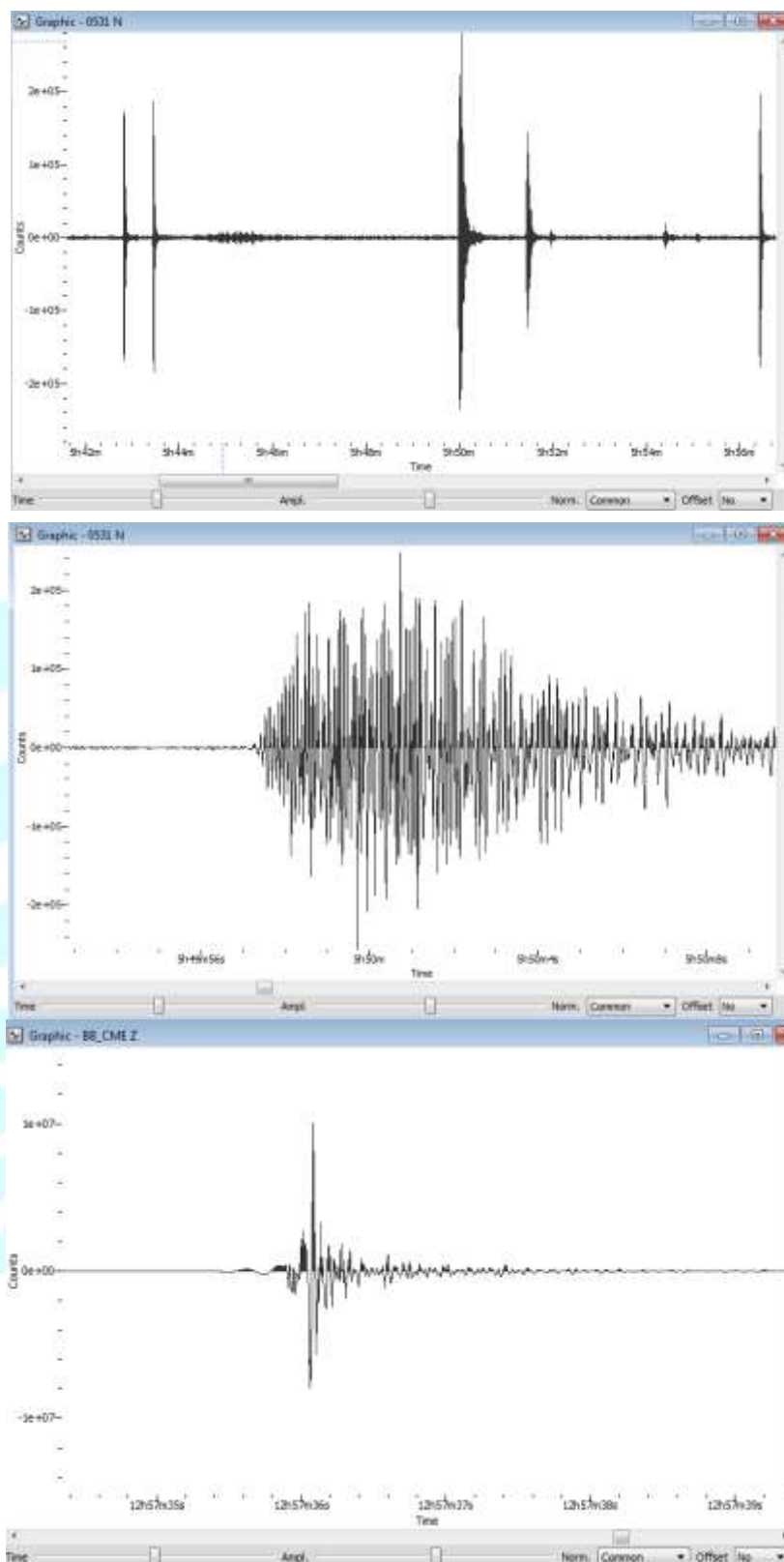
در مدت بازدید دو روزه اول از منطقه با توجه به دراختیار بودن دو دستگاه لرزه‌نگار، دو دستگاه در محل مجتمع گردشگری نشمیل نصب گردید و تیم شناسایی با استقرار در این مجتمع به رصد صداهای احتمالی از زمین پرداخت. با اضافه شدن دو دستگاه دیگر در روز بعد ۴ ایستگاه در سطح شهر توزیع شدند (شکل ۳-۵۸).

در طی دو روز استقرار تیم شناسایی دو نوع صدا شنیده شد. نوع اول از نوع صدای خش خش در ساعت ۵:۳۰ دقیقه تا ۶:۳۰ دقیقه صبح روز ۱۳ آبان و دیگری صدای شبه انفجار که در ساعت ۱۶:۲۷ دقیقه بعد از ظهر همان روز در زمان حضور تیم شناسایی در جلسه فرمانداری شهرستان چرداول به گوش رسید.

رکوردهای لرزه‌نگاری مربوط به این دو ساعت در شکل ۳-۵۹ نشان داده شده است که این رکوردها کاملاً حاکی از ایجاد شکست در سنگ‌های منطقه در فاصله نزدیک به سطح زمین هستند و با توجه به مدت ارتعاش بسیار کوتاه (تا ۲ ثانیه) و نیز فاصله اندک بین زمان ورود موج‌های فشاری و برشی (۰,۱ تا ۰,۲ ثانیه) عملاً ارتباطی با پس‌لرزه‌های زلزله سرپل‌ذهاب ندارند. بررسی داده‌های پیوسته ثبت شده در طول این دو روز مشخص نمود که منطقه از این نظر بسیار فعال بوده و مردم عملاً صداهای شکستگی‌های بزرگ را می‌شنوند.



شکل ۳-۵۸- موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری نصب شده در طی دو روز بازدید میدانی در ۱۲ و ۱۳ آذر ۹۶

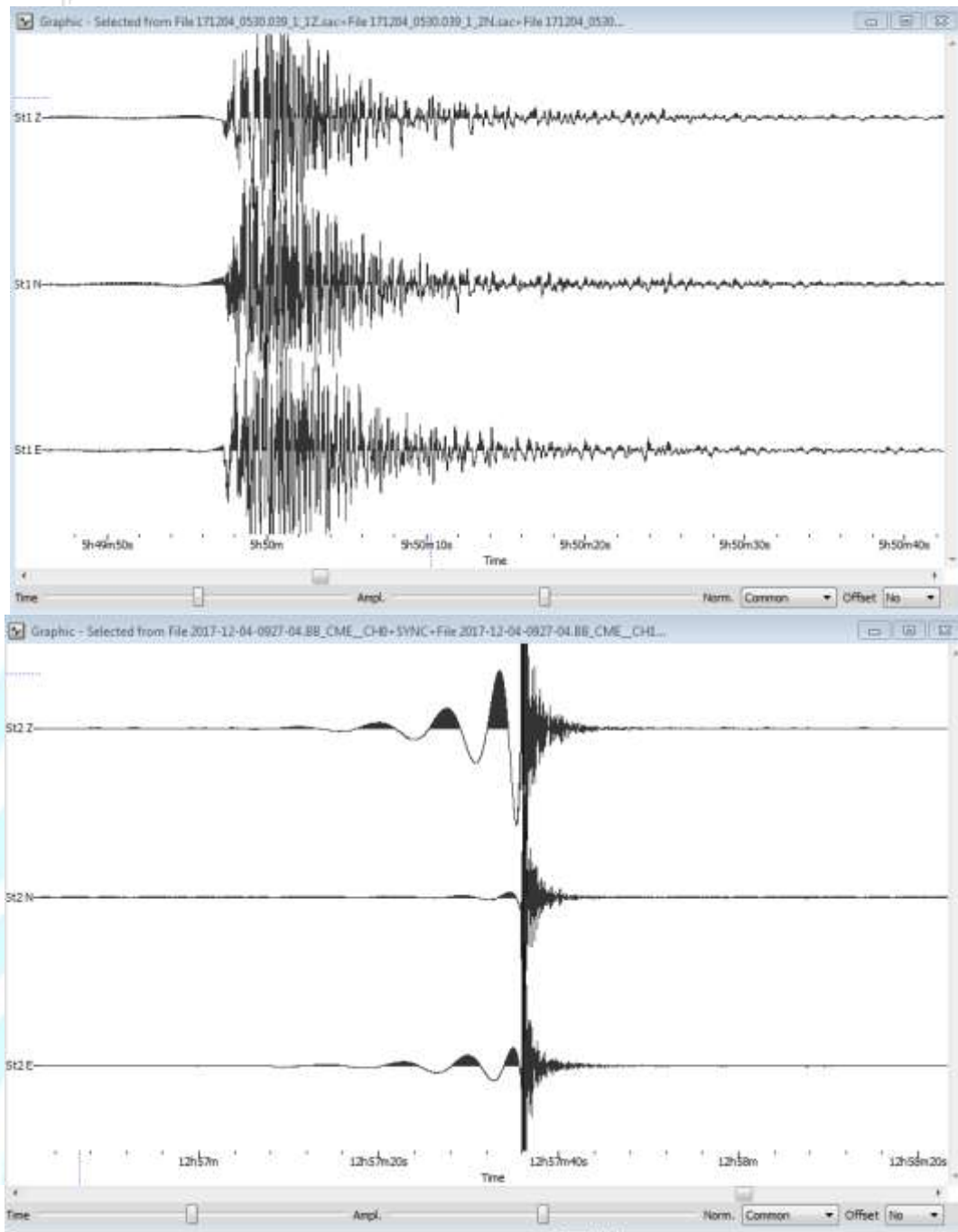


شکل ۳-۵۹- تعدادی از رویدادهای ثبت شده در زمان شنیده شدن صدای سایش سنگ در محل مجتمع گردشگری نشمیل در ساعت ۵:۳۰ تا ۶:۱۵ دقیقه صبح روز ۱۲ آذر ۹۶ (ردیف بالا) نمای نزدیک از رویداد ۵:۵۰ (ردیف وسط) و رکورد رویداد ساعت ۱۶:۲۰ دقیقه (ردیف پایین). محور زمان در دو ردیف بالا زمان محلی و در ردیف پایین زمان به وقت جهانی است. سیگنال‌ها بین ۱ و ۲۰ هرتز فیلتر شده‌اند

همچنین مقایسه نگاشت مرتبط با دوصدای شنیده شده کاملاً تفاوت ماهیت منشاء این دو نوع صدا را مشخص می‌سازد. به نظر می‌رسد نگاشت اول که در آن امواج برشی موج غالب است به لغزش لایه‌ای سنگی در زیر مجتمع گردشگری مرتبط است، بویژه اینکه در محل این مجتمع نیز شنیده شده است، اما نگاشت دوم منشایی دیگر دارد و حاکی از ایجاد یک شکستگی جدید تحت تنش بالاست که مکانیزمی مانند نگاشت یک زلزله با مدت ارتعاش بسیار پایین ایجاد می‌کند. نکته قابل توجه دیگر در مقایسه این دو سیگنال، وجود امواج بلند دوره قبل از رسید امواج با فرکانس بالا در نگاشت دوم است که نشان از خزش و جابجایی بسیار آرام قبل از رسید به نقطه شکست می‌باشد (شکل ۳-۶۰).

نظر به مشاهدات انجام شده به پیشنهاد پژوهشگاه و پذیرش استانداری استان ایلام ۱۰ دستگاه لرزه‌نگار در سطح شهر نصب شد (۳-۶۱). داده‌های ثبت شده روزانه موردی بررسی قرار گرفته و در روز سوم ایستگاه‌های St01، St08 و St09 که در آنها دامنه‌های امواج رویداده ضعیفتر از بقیه ایستگاه‌ها بود به نقاط St1b، St8b و St9b جهت بررسی گستره شرقی‌تر منطقه منتقل شدند. همچنین با توجه به اینکه در در دشتهای کشاورزی مرکزی امکان نصب ایستگاه طولانی مدت وجود ندارد دو برداشت کوتاه مدت آزمایشی ۱ ساعته تاکنون انجام شده است. بررسی داده‌های ثبت شده تاکنون حکایت از ادامه روند ایجاد شکستگی‌ها در منطقه دارد. آنچه از بررسی و مقایسه دامنه نگاشتهای لرزه‌ای تاکنون می‌توان گفت به شرح زیر است:

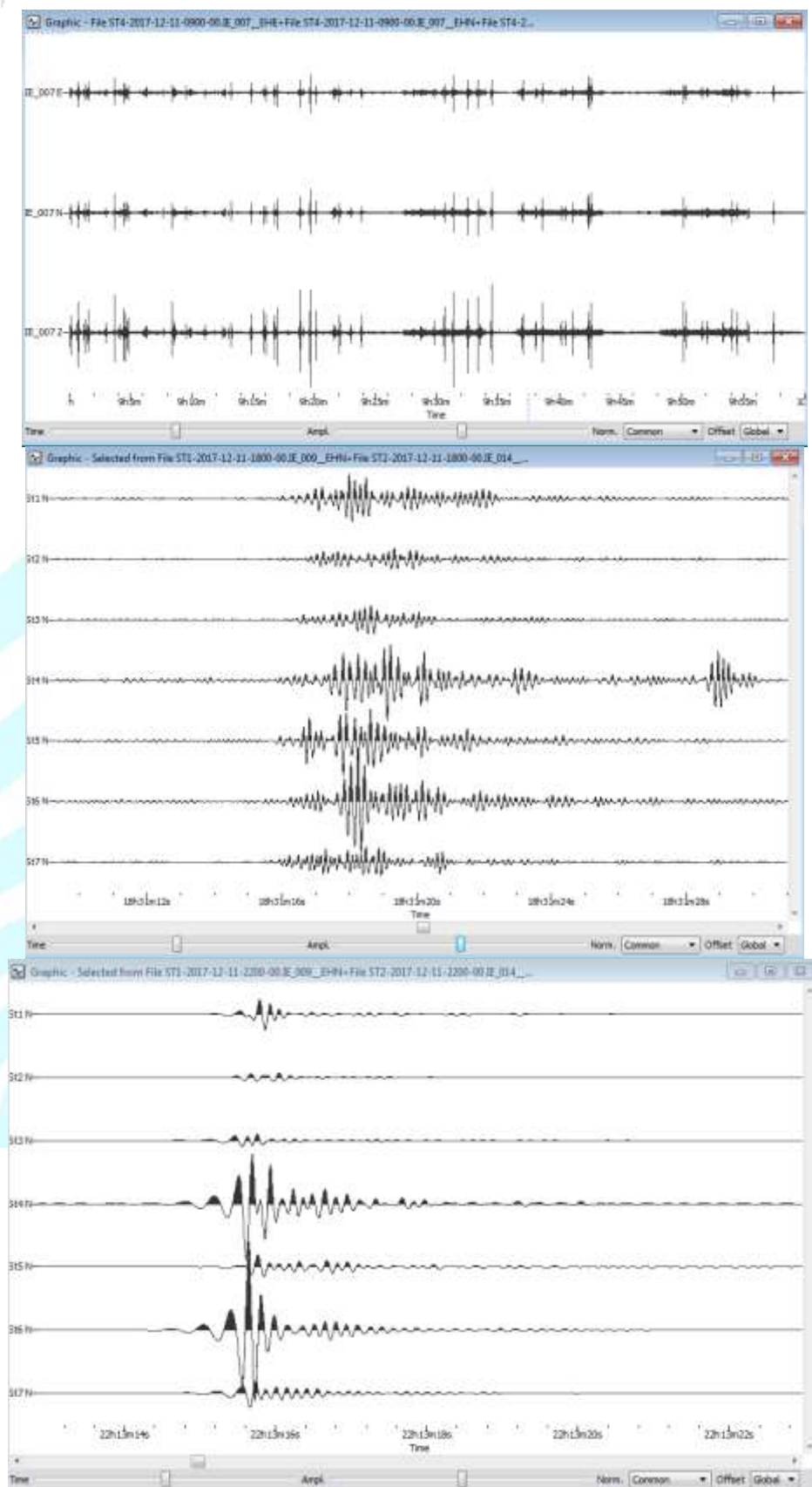
دامنه سیگنال‌های ثبت شده بطور غالب در ایستگاه‌های مستقر در بخش دشتی شهر بویژه محله بدر آباد (ایستگاه ۴، ۶ و ۳) و ایستگاه‌های نصب شده در محله زمین‌شهری (ایستگاه ۱۰ و ۵) قوی‌تر از ایستگاه‌های دیگر و از جمله ایستگاه نصب شده در مجتمع گردشگری (ایستگاه ۲) بوده و زمان رسید امواج به این ایستگاه‌ها نیز سریعتر است. شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ نگاشتهای تعدادی از رویدادهای لرزه‌ای مهم ثبت شده را نشان می‌دهند. بررسی‌های انجام شده تاکنون حاکی از کاهش قدرت سیگنال‌ها به سمت شرق و غرب این محله‌ها دارد. اگر چه محله‌های غربی‌تر تا میدان فرمانداری نیز در زمان زمین‌لرزه اصلی دچار آسیب شده‌اند که از جمله در ساختمان فرمانداری و مهمانسرای آن ترک‌هایی ایجاد شده است.



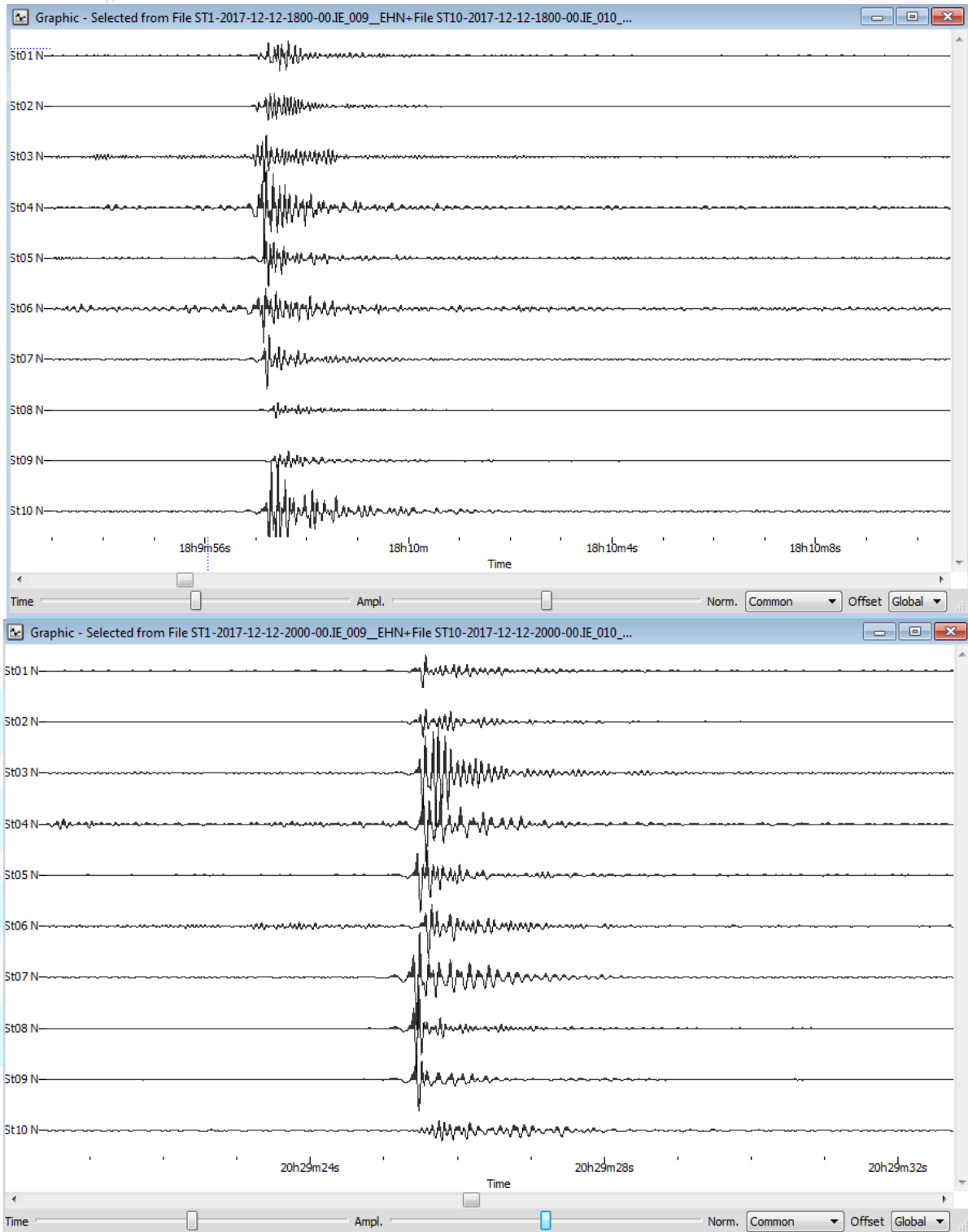
شکل ۳-۶۰- مقایسه دو نگاشت ساعت ۵:۵۰ و ۱۶:۲۷ (۱۲:۵۷ به وقت جهانی) در محدوده فیلتری ۰,۱ تا ۲۰ هرتز که نشان دهنده حرکت از نوع خزشی قبل از شکست اصلی و شنیده شده صدای شبه انفجار است.



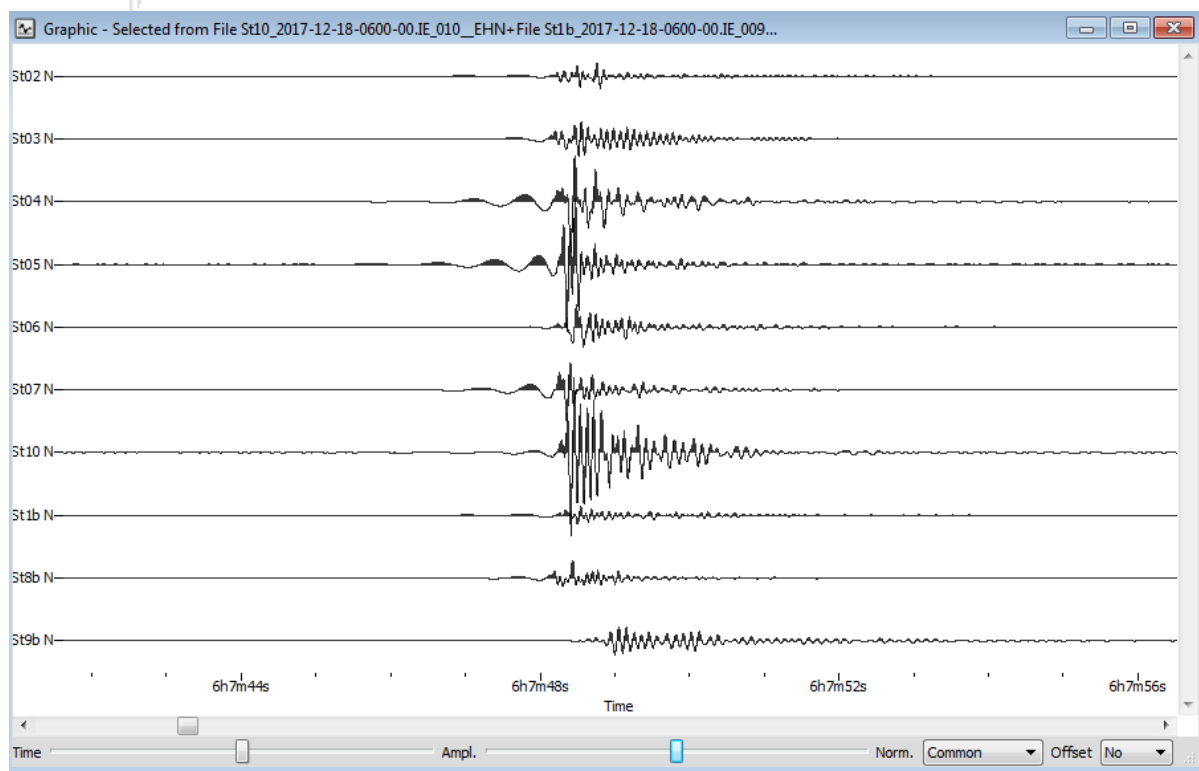
شکل ۳-۶۱- موقعیت ایستگاههای شبکه لرزه نگاری ۱۰ ایستگاهی



شکل ۳-۶۲- نمایی از رویدادهای ثبت شده توسط شبکه ۱۰ ایستگاهی نشان دهنده فعال بودن شدید زمین در اطراف ایستگاه ۴ (بالا) نمای نزدیک دو رویداد حاکی از دامنه قوی تر در ایستگاه‌های ۴ و ۶ (دو ردیف پایین)



شکل ۳-۶۳- نمایی از دو رویداد دیگر که اینبار دامنه‌های قوی‌تری در ایستگاه ۴ و ۱۰ (بالا) و ایستگاه ۳ (پایین) دیده می‌شود و نشان می‌دهد موقعیت منشاء شکستگی‌ها در منطقه متغیر است



شکل ۳-۶۴- نمایی از رویداد مرتبط با شنیده شدن صدا در دوشنبه ۲۷ آذر ساعت ۹:۳۰ صبح با دامنه قوی در ایستگاه ۱۰، ۵ و ۴ و نیز امواج بلند دوره قبل از شکست اصلی.

پردازش کامل داده‌های لرزه‌ای پیوسته ثبت شده نیاز به زمانی طولانی‌تر دارد بویژه اینکه در حال حاضر نیز ثبت داده‌ها ادامه دارد. دلیل این مسئله نیز حجم بسیار بالای داده برداشت شده و نیاز به استخراج چشمی رویدادها به دلیل مدت دوام بسیار پایین سیگنال‌ها است که استفاده از الگوریتم‌های اتوماتیک را سخت می‌سازد. اما بررسی رویدادهای قوی‌تر ثبت شده در طی مدتی که از نصب می‌گذرد همان حدس اولیه مطرح شده در جلسات حضوری در استان را تایید می‌کند.

اما بررسی رویدادهای قوی‌تر ثبت شده در طی مدتی که از نصب می‌گذرد همراه با بررسی‌های زمین‌شناسی و نیز نتایج برداشتهای ژئورادار انجام شده توسط شرکت زمین آب پی نشان دهند وجود غارهای کارستی در سنگ‌های آهکی سازند آسماری و همچنین سازند گچی گچساران در زیر بستر شهر است و صداهای شبه انفجار شنیده شده می‌توانند مربوط به ایجاد شکستگی در سقف این غارها باشند.

البته بعضی از سیگنالهای دریافتی مربوط به ناپایداری دامنه جنوبی شهر است. اینکه دلیل شروع این پدیده ناپایدار شدن دامنه جنوبی و لغزش آن و به تبع آن تحت تنش قرار گرفتن حفرات بوده است یا ابتدا نشست اتفاق افتاده و فرو نشستن پاشنه تپه مجتمع گردشگری باعث شروع یک سنگ لغزش در این تپه گردیده است مشخص نیست.

در حال حاضر بررسی‌های تکمیلی در رابطه با ابعاد این حفرات و تعیین کانون شکستگی‌ها با استفاده از روشهای پردازش سیگنال پیشرفته در جریان است. همزمان نیاز به استفاده از روشهای ژئوفیزیکی دیگر و نیز حفاری فوری چند حلقه گمانه وجود دارد که حفاری حلقه اول در محوطه جهاد-کشاورزی شهر شروع شده است. پس از مشخص شدن ابعاد حفرات و بررسی وضعیت پایداری سقف می‌توان در مورد نیاز به اجرای روشهای پایدارسازی آنها قضاوت نمود. در طی مدت اجرای مطالعات تعداد سه دستگاه لرزه‌نگار در منطقه باقی خواهد ماند تا با رصد روزانه سیگنال‌ها در صورت مشاهده وضعیت بحرانی به مسئولین امر اطلاع داده شود.



شکل ۳-۶۵- جابجایی بلوک‌های سیمانی کنار آبروی کوچه در مجاورت ایستگاه ۳

۳-۸- جمع‌بندی و توصیه‌های ضروری

طی ۱۵ روز بازدید میدانی فشرده انواع متنوعی از پدیده‌های زمین‌شناختی و ژئوتکنیکی ناشی از زمین‌لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب با بزرگی ۷٫۳ ریشتر مورد شناسایی و بررسی قرار گرفت که نتایج آن در طی دو فصل گذشته بصورت مفصل و مستند با تصاویر مربوطه نشان داده شد. در فصل حاضر خلاصه‌ای از آنچه مشاهده گردیده و توصیه‌هایی که باید در مراحل بازسازی مناطق زلزله زده مد نظر قرار گیرد ارائه می‌گردد.

۳-۸-۱- جمع‌بندی از منظر تاثیر شرایط ساختمانی

نخستین نتیجه حاصل از بررسی جنبه‌های ژئوتکنیکی این زلزله مسئله تاثیر شرایط ژئوتکنیکی محلی بر تشدید جنبش لرزه‌ای زمین در شهرهای سرپل ذهاب و اسلام آباد است. نقشه‌های اولیه فرکانس تشدید خاک برای این شهرها، بر اساس اندازه‌گیری‌های خردلرزه‌سنجی تهیه و ارائه شد. این نقشه‌ها نشان دهنده افزایش پیوند طبیعی خاک در این شهرها با فاصله گرفتن از حاشیه کوه و به سمت بخش‌های دشتی پوشیده از آبرفت

هستند. اگر چه نتایج ارائه شده در همین مرحله نیز می‌توانند و بایستی در برنامه‌های بازسازی این شهرها مورد توجه قرار گیرند اما توصیه می‌شود برنامه مطالعات تفصیلی ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای برای این شهرها در نظر گرفته شود و با شناسایی دقیق تر پروفیل خاک‌های منطقه و تحلیل دینامیکی آبرفت نقشه‌های جنبش قوی سطح زمین برای آنها تهیه گردد. در رابطه با شهر سرپل ذهاب با توجه به مشاهده شواهد روانگرایی، شناسایی دقیق منطقه از این منظر و عمق و ضخامت لایه‌ی دارای قابلیت روانگرایی نیز باید قبل از هرگونه طرح بازسازی مد نظر قرار گیرد.

۳-۸-۲- جمع‌بندی از منظر ناپایداری‌های زمین‌شناختی-ژئوتکنیکی

نتایج حاصل از بخش دوم شناسایی‌ها، یعنی بررسی مخاطرات زمین‌شناختی و ناپایداری‌های ژئوتکنیکی نیز به شرح زیر قابل بیان است.

منطقه تحت تاثیر زلزله سرپل ذهاب بسیار مستعد وقوع انواع ناپایداری‌های زمین‌شناختی و ژئوتکنیکی از قبیل لغزش لایه‌های زمین و ریزش‌های سنگی است. دلایل این استعداد وجود چین‌خوردگی‌های جوان کوه‌های زاگرس همراه با عملکرد گسل‌های قطع‌کننده این کوه‌ها هستند که خردشدگی‌های شدیدی را در منطقه ایجاد کرده‌اند. از طرف دیگر توالی لایه‌های سخت و سست سازنده‌های زمین‌شناسی بسیاری از این مناطق را مستعد لغزش لایه‌های سخت بر روی لایه‌های سست پایینی در اثر از بین رفتن پاشنه دامنه‌ها، ناشی از زیرشویروودخانه‌ها؛ و عملیات عمرانی نموده است. همچنین منابع غنی آب زیرزمینی در دامنه کوه‌های منطقه خود پتانسیل وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای را افزایش داده است.

وجود زمین‌لغزش‌های بسیار بزرگ قدیمی در دامنه‌های جنوبی کوه شاه نشین (یال جنوبی ناودسی ریجاب) و دامنه‌های شمالی کوه‌های دالاهو ضمن اینکه نشانه‌ای از استعداد ذاتی منطقه برای ناپایداری است، خود استعداد وقوع ناپایداری‌های بعدی در اثر عوامل محرک مانند زلزله را تقویت نموده است.

آنچه در منطقه دیده شد احداث جاده‌های فرعی متعدد بویژه در مناطق شمالی ارتفاعات دالاهو بر روی پهنه لغزشی وسیع قدیمی و در پای دامنه‌های خطرناک مستعد ریزش و لغزش است که ضرورت چندان‌ی نیز برای این جاده‌ها احساس نمی‌شد. در حال حاضر بسیاری از این جاده‌ها به دلیل ریزش‌ها و بهمن‌های سنگی عظیم در طول چندین کیلومتر مسدود شده‌اند. عملیات پاکسازی این جاده‌ها بسیار پرهزینه و از طرف دیگر بخاطر امکان ناپایداری‌های جدید در بالادست خطرناک خواهد بود که در صورت ضرورت بر پاکسازی آنها بایستی مورد توجه قرار گیرد.

بعضی از جاده‌های روستایی که ناگزیر از پاکسازی بوده‌اند مانند مسیر دارزننگه به دربند دوهل، اگر چه مسیر پاکسازی شده، اما به دلیل شیب تند دامنه‌های کنار جاده به همراه خردشدگی شدید سنگ‌ها، امکان وقوع

ریزش های آتی بسیار زیاد است و در بخشی از این مسیر عملیات بهسازی هندسی شیب ضروری به نظر می رسد.

در رابطه با زمین لغزش بزرگ مله کبود-قورچی باشی با توجه به باز دیده های دوره ای انجام شده نشانه های فعالیت بطئی همچنان مشاهده می گردد. شکاف های عرضی بسیار بزرگ و عمیق در توده لغزشی در نفوذ رواناب سطحی ناشی از فصل بارندگی، به داخل توده کمک خواهد کرد و این می تواند تهدیدی جدی برای دو روستای مله کبود و قورچی باشی در مجاورت پنجه این زمین لغزش باشد. لذا لازم است هر چه سریعتر مسئله جابجایی این دو روستا به مکان های ایمن تر تعیین تکلیف گردد.

همچنین روستای پالان علیا در مسیر ثلث باباجانی بر روی پنجه لغزش قدیمی بنا شده که در اثر فعال شدن مجدد بخشی از روستا تخریب گردیده است. در بازدید انجام شده کانکس های اسکان موقت برای بخش تخریب شده مجدداً بر روی توده ناپایدار مستقر شده بودند و شکاف های بالادست زمین محل استقرار کانکس ها گویای ناپایدار بودن آن است. مسئله پیدا کردن نقطه امن برای بازسازی این روستا با توجه به پهنه لغزشی وسیع یکی از معضلاتی است که بایستی با بررسی ناحیه ای مناسب به آن پرداخته شود.

در رابطه با شهر چوار استان ایلام وقوع این گلروانه و نیز نشانه های وقوع ناپایداری متعدد دیگر در منطقه استعداد ذاتی بالای نهشته های ضعیف در این شهر را نشان می دهد. انحراف آبهای سطحی از مسیر توده ناپایدار از اولینا ولایت هایی است که بایستی مدنظر قرار گیرد. در عین حال با توجه به شیب بسیار تند دیواره ها و نهشته های بسیار ضعیف عملیات اصلاح شیب با مطالعه دقیق برای منطقه ضروری به نظر می رسد. از آنجا که گستره وسیعی از این شهر و مناطق پیرامون بر روی این نهشته های ضعیف بنا شده پیشنهاد می گردد مطالعه جامعی برای ریزپهنه بندی ناپایداری های دامنه ای در این منطقه صورت گیرد.

۳-۸-۳- جمع بندی در رابطه با شهر سرابله

در رابطه با شهر سرابله بررسی های فشرده میدانی و لرزه نگاری (که کماکان ادامه دارد) فرضیه مطرح شده در سری اول بازدید از منطقه مبنی بر در جریان بودن دو پدیده زمین شناختی همزمان یعنی ایجاد شکست سقف (یا دیواره) غارها و حفرات زیرزمینی و لغزش در دامنه جنوبی شهر سرابله را تایید کرد. برداشتهای ژئورادار توسط شرکت زمین آب پی نیز وجود حفرات کارستی در زیر شهر را تایید می کند. داده های لرزه نگاری کانون وقوع شکستگی ها در زیر بستر شهر و در دره میانی آن را نشان می دهند. تحلیل داده های لرزه ای برای تعیین ابعاد حفره ها ادامه دارد و مستلزم زمان کافی است.

متأسفانه آنچه در حال حاضر می‌توان گفت این است که منطقه همچنان از این نظر فعال است و موقعیت آن نیز در زیر بستر شهر قرار دارد اما ابعاد و پیامدهای آن ناشناخته است. از آنجا که بطور معمول پدیده فرونشست در مناطق کارستی و تشکیل فروچاله بصورت ناگهانی روی می‌دهند لذا این مسئله باید به عنوان تهدیدی جدی در نظر گرفته شود، اگر چه بطور قطع نیز نمی‌توان گفت که فرونشست ناگهانی اتفاق خواهد افتاد. بر اساس بررسی‌های میدانی کارشناس پژوهشگاه، مستقر در منطقه و گفته‌های اهالی در ۲۰ کیلومتری شرق سرابله در زمین‌های کشاورزی روستای کلنگ‌بر فروچاله‌ای در اثر زمین‌لرزه سرپل‌زهاب تشکیل شده و این نشانه استعداد منطقه برای ایجاد فروچاله است. همچنین با بررسی‌های زمین‌ریخت-شناسی خود شهر سرابله این موضوع محتمل است که شکل‌گیری دره میانی شهر بر اثر فرونشست‌های گذشته باشد.

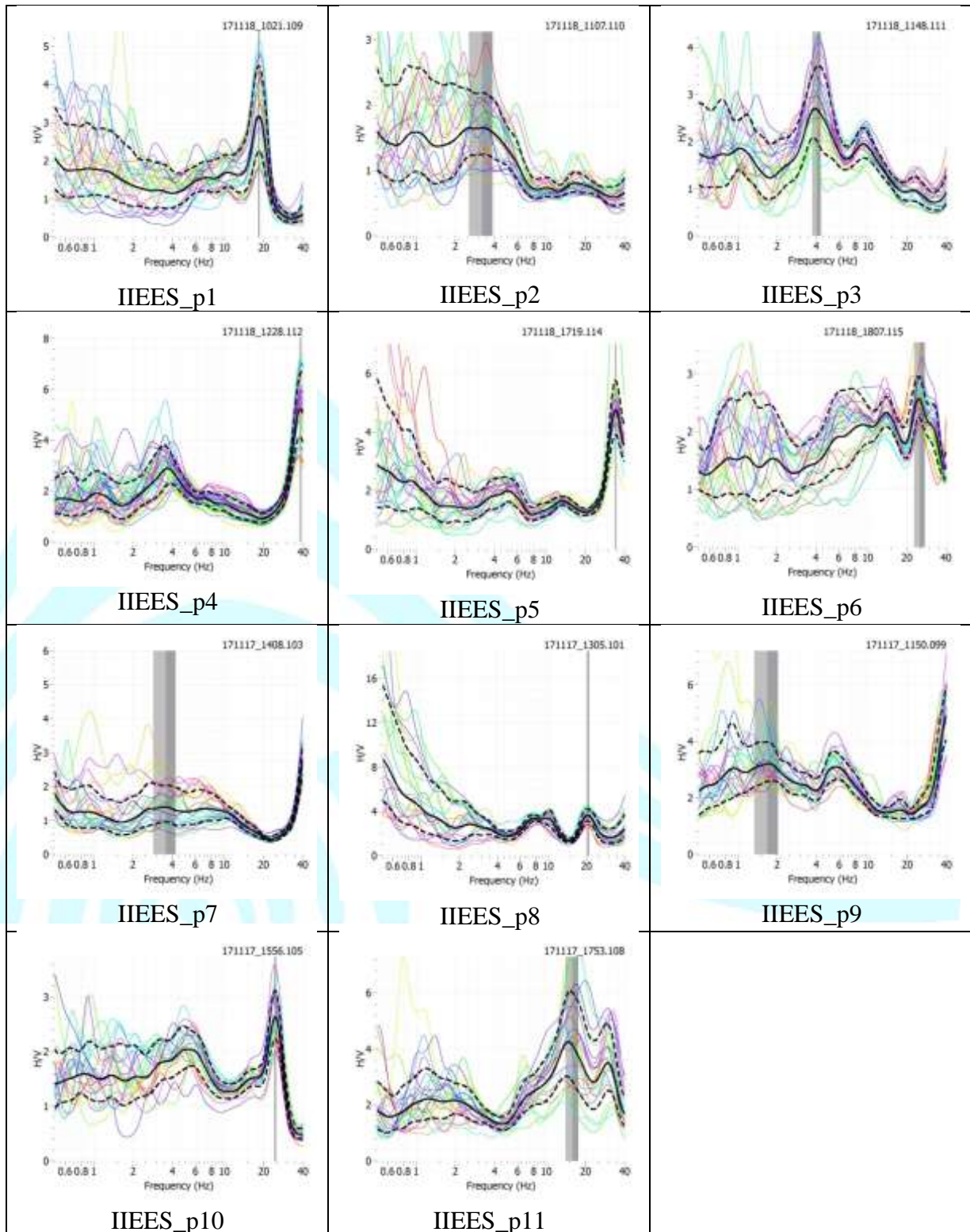
داده‌های لرزه‌ای و همچنین ژئورادار به تنهایی برای شناخت ماهیت پدیده در حال وقوع و ابعاد آن کافی نیستند. استفاده از روش‌های دیگر ژئوفیزیکی مانند روش مقاومت الکتریکی و ریزثقل سنجی و نیز حفاری چند حلقه گمانه ژئوتکنیکی در این زمینه لازم است که شرح خدمات مورد نیاز در صورت تایید استانداری محترم استان ارسال خواهد شد. برداشتهای مقاومت الکتریکی توسط پژوهشگاه انجام خواهد گرفت، اما برای دو مورد بعدی لازم است قراردادهای جداگانه با مشاورین ذیصلاح منعقد گردد. برای روش ثقل‌سنجی سازمان نقشه‌برداری با توجه به تجهیزات مناسب آنها پیشنهاد می‌گردند.

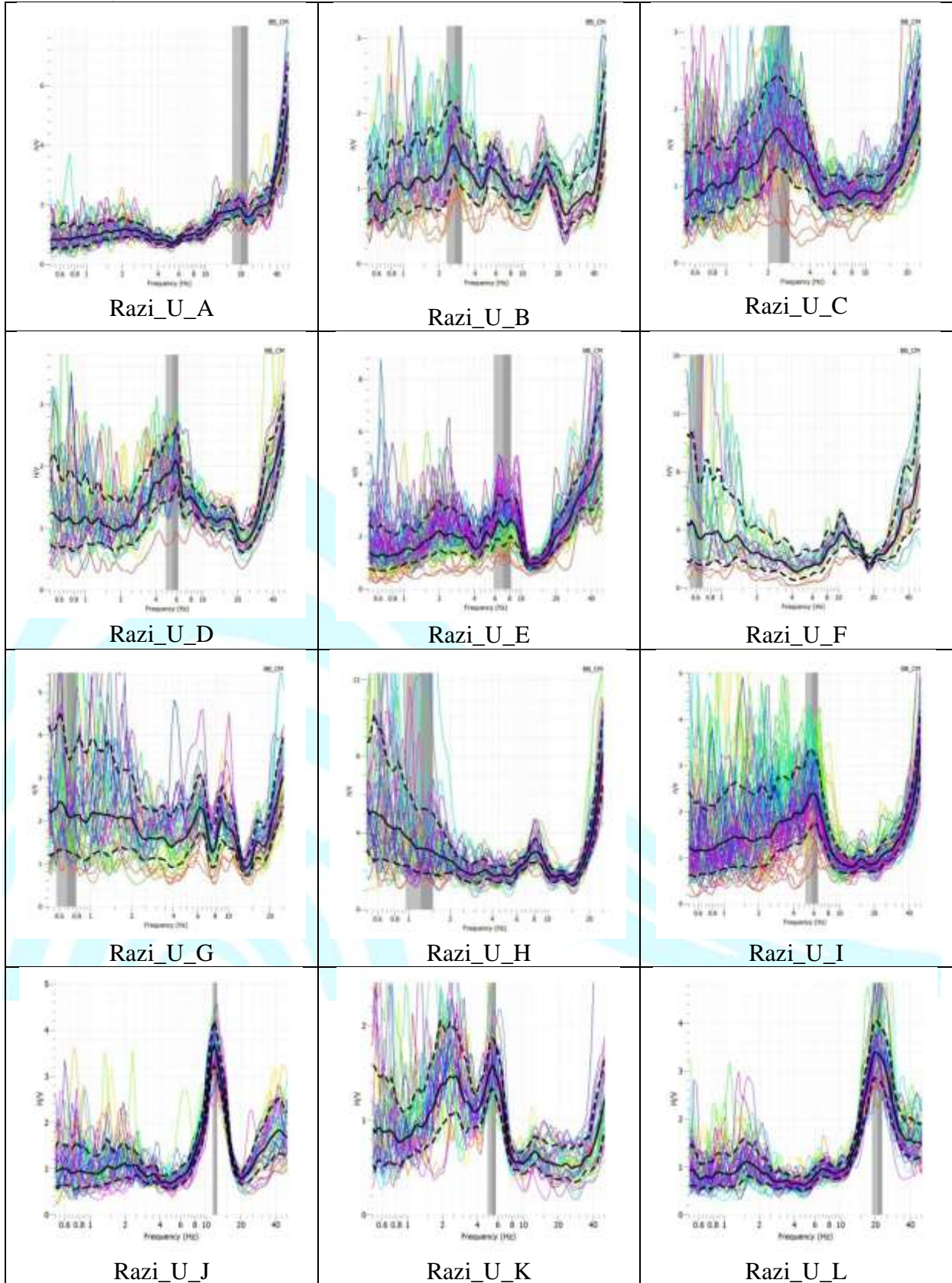
پس از شناخت دقیق تر و کمی تر ابعاد پدیده می‌توان در رابطه با علاج بخشی آن از طریق تزریق و پر کردن حفرات با روشهای مناسب یا جابجایی محله‌های در معرض خطر از طریق بررسی‌های فنی و در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی-اجتماعی، پیشنهادات لازم را ارائه داد.

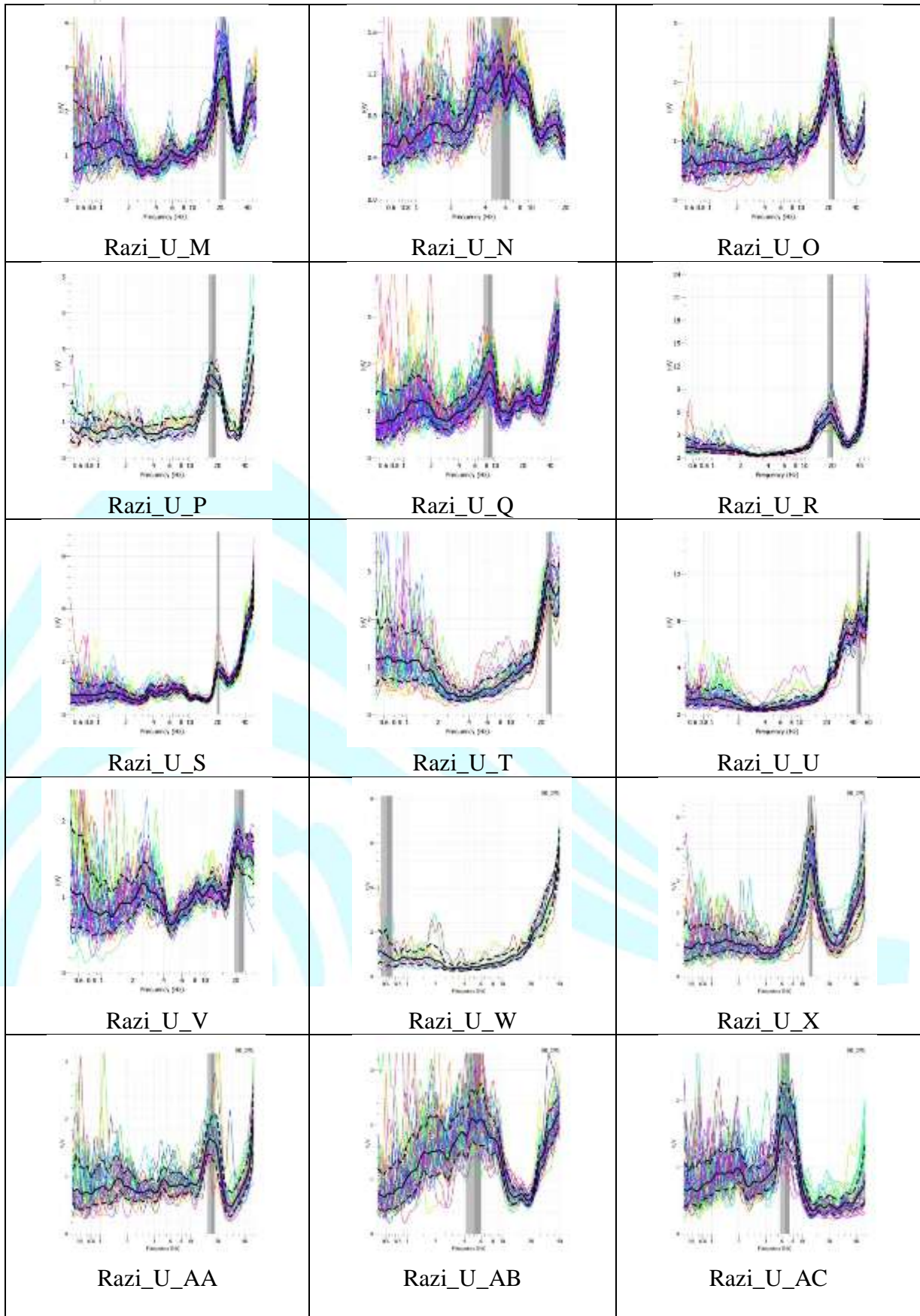
همانطور که در مکاتبات قبلی با استانداری محترم ایلام منعکس شده است و توضیحات تفصیلی این گزارش نیز موید آن است، ریسک نشست و لغزش کماکان میتواند به آسیب جدی به خانه‌های مردم و خدای ناکرده تلفات جانی، منجر گردد و لذا اتخاذ تمهیدات لازم به موازات ادامه مطالعات و انجام اقدامات علاج بخشی ضروری است.

پیوست جلد دوم

منحنی‌های نسبت طیفی مولفه افقی به قائم اندازه‌گیری شده در سریل نهاب







تشکر و قدردانی

جلد حاضر از گزارش شناسایی مناطق زلزله زده سرپل ذهاب حاصل یک تلاش گروهی فشرده در منطقه زلزله-زده است که با حمایت بسیاری از سازمان ها و استقبال و مهمان نوازی اهالی خونگرم منطقه به سرانجام رسید. در ابتدا باید از رییس محترم پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله به خاطر حمایتی که از تیم-های شناسایی مختلف بعمل آوردند و خود نیز همراه تیم در منطقه حضور یافتند تشکر نماییم. جناب آقای دکتر حسامی در بعضی از بازدیدها ما را همراهی نموده و بحثهای علمی با ایشان بسیار در شناخت پدیدهها راهگشا بود که لازم به تشکر و تقدیر است. امکانات اقامت تیم توسط سازمان های مختلف فراهم گردید سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان کرمانشاه به ویژه معاون فنی این سازمان، آقای مهندس پشنگ، دانشگاه رازی، برق منطقه ای کرمانشاه در مدت اقامت تیم امکانات اسکان را فراهم نمودند که شایسته تقدیر است. از مقامات مسئول استان ایلام بویژه آقایان مهندس احمد کرمی، مدیر کل محترم مدیریت بحران استان ایلام و نیز جناب آقای یگانه، فرماندار محترم شهرستان چرداول، تشکر و قدردانی می گردد. همچنین از محبت ها و مهمان نوازی-های اهالی مهربان مناطق بازدید شده و بویژه آقای محمد فاروق صادقی، مالک محترم مجتمع گردشگری نشمیل شهر سرابله برای همراهی گروه اعزامی تقدیر می گردد.