

عوارض ژئومورفیک ناشی از زلزله آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب - ازگله

علی رضاپور

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

ایرج جباری*

دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۴

چکیده

زلزله ۷/۳ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب علاوه بر تلفات جانی و مالی که در بر داشت عوارض ژئومورفیک زیادی بر جای گذاشت. در این پژوهش سعی بر این است این عوارض را شناسایی و حجم این تغییرات ارزیابی شود. ابتدا با تکیه بر توپوگرافی، محدوده مورد مطالعه به دو بخش کوهستان و دشت تقسیم شد و سپس عوارض ژئومورفیک ناشی از زلزله با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، شناسایی و مورد بررسی قرار گرفتند. سپس نقشه سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور با استفاده از نرم افزار ARC GIS رقومی شد و نقشه شیب نیز از روی مدل رقومی ارتفاعی در محیط نرم افزار ARC GIS تهیه شد. از این داده‌ها، برای نمایش بهتر تأثیر گسل‌ها، جنس زمین، تشخیص سازندها، ناپایداری‌های دامنه‌ای و علت یابی عوارض ژئومورفیک ناشی از زلزله استفاده شد. نتایج نشان داد که وجود لایه‌های مقاوم آهک آسماری بر روی سازندهای ماسه سنگی آغاچاری، مارنی و سازند گچساران و سستی و فرسایش پذیری این سازندها موجب مخاطرات ثانویه زیاد ناشی از زلزله مانند ناپایداری‌های دامنه‌ای (زمین لغزش، ریزش‌های سنگی، جریان‌های واریزه‌ای) گسیختگی، روان‌گرایی، نوسانات سطح آب‌های زیر زمینی شده است. علاوه بر شناسایی عوارض ژئومورفولوژیک ناشی از زلزله، موقعیت و محل آن‌ها در ارتباط با سایر عوامل زمین شناختی به نقشه درآورده شد و نقش اثرات ژئومورفولوژیک در ایجاد خطرات ثانویه و مقایسه این اثرات در دو واحد توپوگرافی کوهستان و دشت بررسی شد.

واژگان کلیدی: زلزله، زمین ریخت، ژئومورفولوژی، سرپل ذهاب - ازگله

مقدمه

مخاطرات طبیعی با انواع گوناگون، به عنوان پدیده‌هایی تکرار شونده و مخرب، همواره در طول حیات کره زمین وجود داشته‌اند و خطری جدی برای انسان محسوب می‌شوند (پورطاهری و همکاران، ۳۰). این مخاطرات به شکل‌های مختلفی مانند: سونامی، طوفان، سیل و بهمن رخ می‌دهند. یکی از این مخاطرات طبیعی زلزله است که جزء ویرانگرترین مخاطرات طبیعی مرتبط با عوامل ژئومورفولوژیک به شمار می‌آید (امیدوار، ۱۳۹۰، ۱۷).

زلزله یکی از فرایندهای ژئومورفیک درونی زمین است که آثار تخریبی فراوانی دارد (نگارش، ۱۳۸۲، ۱۳۹). این پدیده، موجب تغییر شکل زمین می‌شود و عوارض ژئومورفولوژی خاصی را در سطح زمین، به وجود می‌آورد. این عوارض ژئومورفولوژیکی ناشی از زلزله، می‌تواند به صورت جابجایی افقی و عمودی، ایجاد شکافها در ابعاد مختلف، تحریک و تجدید حرکت مواد بر روی دامنه (زمین لغزش، ریزش‌های سنگی، جریان‌های واریزه‌ای)، انسداد و تغییر مسیر رودها، باز و بسته شدن چشمه‌ها، فرونشست، روانگرایی و نوسانات سطح آب‌های زیر زمینی رخ دهد (بونیکو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲، ۱۷۹). یکی از این پدیده‌ها که گاهی همزمان با زلزله اتفاق می‌افتد و موجب خسارت‌های فراوانی می‌شود، زمین لغزش است (صفاری و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۱۸).

زمین لغزش از جمله متداول‌ترین پدیده‌های طبیعی تغییر شکل‌دهنده سطح زمین است (ایزدی و همکاران، ۱۳۹۲، ۳۳). این پدیده در بسیاری از مناطق باعث ایجاد خسارات اقتصادی، محیطی و اجتماعی زیادی می‌شود و برای انسان اهمیت بسیار زیادی دارد (بادوکس^۲ و همکاران، ۲۰۱۶؛ روزی و همکاران، ۲۰۱۹). در بروز خطر زمین لغزش متغیرهای اصلی شامل (زمین‌شناسی سنگ بستر، نوع و عمق خاک، شیب، شبکه زهکشی، پوشش گیاهی) و متغیرهای اتفاقی شامل (زلزله و بارش‌های سنگین) نقش دارند (دهال^۳ و همکاران، ۲۰۰۸، ۴۹۶). یکی از پارامترهای مهم در وقوع زمین لغزش‌ها، زمین لرزه است؛ بنابراین شواهد میدانی نشان می‌دهد که زلزله مهم‌ترین محرک ناپایداری دامنه است (ین^۴ و همکاران، ۲۰۰۹، ۱۹۶).

زمین لرزه و زمین لغزش از مهمترین مخاطرات طبیعی هستند که همزادی و همبستگی زمانی و مکانی بسیار معناداری با همدیگر دارند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۸، ۷۱). در این زمینه گالوس و همکاران (۲۰۰۷، ۸۷). با بررسی عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۹۱ تغییراتی که در شکل زمین بر اثر دو زمین لغزش بزرگ، در کنار گسل فعال ماراتیاس در امتداد خلیج کورنیت در کشور ایتالیا رخ داده بود به زمین لرزه نسبت داده‌اند. در زمین لرزه ۷/۸ ریشتر نپال در سال ۲۰۱۵، شدت زمین لرزه، شیب، جنس زمین و بارندگی فاکتورهای اصلی در ایجاد زمین لغزش بودند (شریتا و کانگ^۵، ۲۰۱۷). وقوع زلزله شدید، نه تنها زمین لغزش‌های زیادی را به طور همزمان تحریک می‌کند، بلکه تا سال‌ها بعد نیز اثر خود را به صورت افزایش تعداد زمین لغزش‌ها در منطقه برجای می‌گذارد (ایزدی، ۱۳۹۱، ۳۳).

زمین لرزه‌ها علاوه بر زمین لغزش می‌تواند، عامل بسیاری از حرکات توده‌ای مانند: سنگ‌افت‌ها، بهمن‌ها و جریانات واریزه‌ای باشد (مختاری، ۱۳۸۵، ۵۷). بعد از زلزله ۲۰۰۸ سیچوان چین، انباشت مواد سست در دامنه‌ها بعد از زلزله و شدت بارش در سال ۲۰۱۰ سبب وقوع جریانات واریزه‌ای بوده است (خو^۶ و همکاران، ۲۰۱۲). پس از وقوع زمین لرزه

¹ Bonico

² Badoux

³ Dahal

⁴ Yin

⁵ Gallousi

⁶ Shrestha I & Kang

⁷ Xi

تعداد و دایره عملکرد زمین لغزش‌ها و از هم گسیختگی‌ها گسترش می‌یابد و در مناطق دارای مواد لسی فراوان، جریانات واریزه‌ای به وفور رخ می‌دهد و شکل‌گیری آن‌ها توسط بارش کنترل می‌شود (جی^۸ و همکاران، ۲۰۱۰). زمین‌لرزه علاوه بر حرکات توده‌ای، باعث پدیده روان‌گرایی می‌شود.

پدیده روان‌گرایی، در بسیاری از زمین‌لرزه‌های مخرب گذشته اتفاق افتاده است. این پدیده، باعث بروز خسارت‌های فراوانی به ساختمان‌ها، راه‌ها، پل‌ها، سدها و سایر تأسیسات می‌شود. علاوه بر این موارد، موجب تغییر شکل (نشست)، پی‌های سطحی سازه‌ها (جعفریان، ۱۳۹۴، ۵۲)، کج شدن و فرو رفتن سازه‌های روزمینی و بالا آمدن سازه‌های سبک مدفون در خاک (مثل لوله‌ها)، پر شدن چاه‌های آب و تغییرات مورفوتکتونیکی در زمین‌ریخت‌های موجود در پهنه روانگرایی شود (شایان، ۱۳۹۰، ۵۲). بر اساس مطالعات امپرسیز و ملویل (۱۹۸۲) در سال ۱۷۸۰ میلادی زمین لرزه فاجعه باری شهر تبریز را کاملاً ویران کرد. این زمین‌لرزه با یک گسیختگی همراه بود که دست کم شصت کیلومتر درازا داشت. در منطقه پست باختر تبریز، خاک دچار روانگرایی شد و گل از زمین بیرون زد، چشمه‌ها و قنات‌ها در بعضی جاها خشک شدند و جریان آب در جاهای دیگر به حدی زیاد شدند که سیل جاری شد. جریان آب پس از دو ساعت باز ایستاد و به سوی دریاچه ارومیه کشیده شد. زلزله‌های نسبتاً شدید، علاوه بر روانگرایی می‌توانند سطح آب‌های زیر زمینی را تغییر دهند (وانگ و همکاران ۲۰۱۴، ۸۷۷). روان‌گرایی و قابلیت گرادیان هیدرولیکی پیش از زلزله می‌تواند در تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی مؤثر باشند (ون - جی^۹ و همکاران، ۲۰۰۴، ۸۷۵).

تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، در اثر افزایش و یا کاهش منافذ خاک، متأثر از زلزله ایجاد می‌شود و باعث پایین رفتن آب داخل چاه‌ها و خشک شدن چشمه‌ها در بعضی نقاط و فوران آب از داخل چاه‌ها و یا جاری شدن آب چشمه‌های خشک قبلی در بعضی نقاط دیگر می‌شود (هارتمن^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج پژوهش شریتا و همکاران (۲۰۱۷) در زلزله ۹ ریشتری ۲۰۱۱ ژاپن نشان می‌دهد که فشار وارد بر اثر زلزله باعث تغییر حجم و حرکت و انتقال آب‌های زیرزمینی شده است. بر اساس این پژوهش، از ۱۷۶ حلقه چاه آزمایش شده ۴۰ حلقه چاه، به حالت اولیه خود بازنگشتند و ۲۵ حلقه چاه افزایش و ۱۵ حلقه کاهش سطح آب در آنها ایجاد شده بود. تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی می‌تواند قبل یا بعد از رخداد زمین‌لرزه ایجاد شود. در بسیاری از زمین‌لرزه‌های بزرگ جهان، این تغییرات قبل از رخداد زمین‌لرزه گزارش شده است. در زمین‌لرزه ونچوان چین به بزرگای ۷/۹ در مقیاس ریشتر، ۱۷ روز قبل از وقوع زمین‌لرزه، آب یک تالاب در مدت چند ساعت ناپدید شد و تغییرات غیر عادی سطح آب، چند روز قبل از زمین‌لرزه، سبب بیرون آمدن بسیاری از وزغ‌ها از داخل آب به سطح زمین شد (زارع و همکاران، ۱۳۸۹، ۳).

8- Cui

9 -Ambraseys, N.N. and Melville

10 .Wang

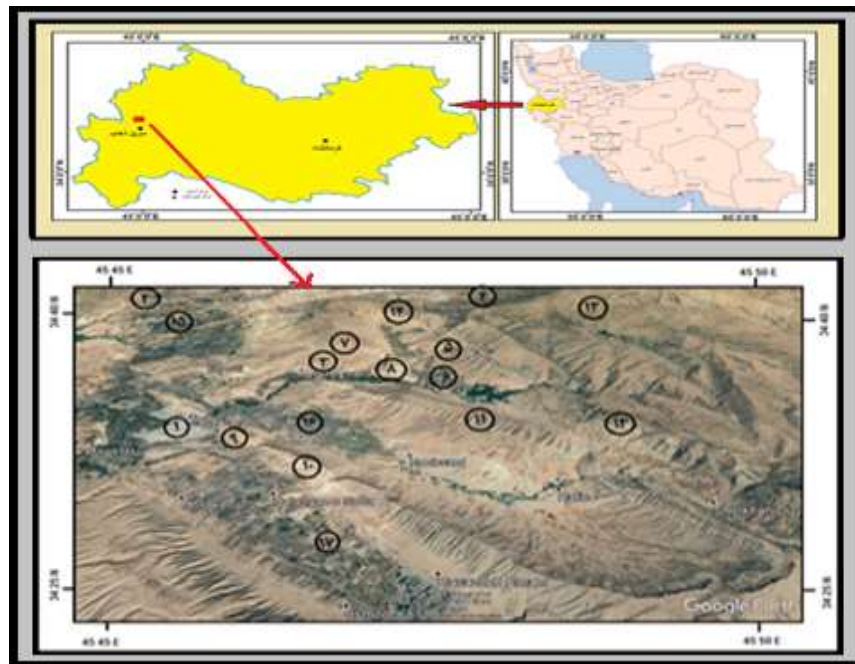
11- Wen chi

12- Hartman

در زلزله ۷/۳ ریشتری سرپل ذهاب - ازگله که در تاریخ ۲۱ آبان ۱۳۹۶ اتفاق افتاد نیز همانند زلزله‌های دیگر جهان عوارض ژئومورفولوژیک متعددی ایجاد شد. این منطقه از دو واحد توپوگرافی دشت و کوهستان با شیب‌ها و مواد زمین‌شناسی گوناگون ایجاد شده است و مناطق مسکونی متعدد را در درون خود جای داده است. در این راستا انواع پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از این زلزله شدید، در داخل هر دو واحد کوهستان و دشت بررسی شده است تا نتایج خسارت‌باری را که این پدیده‌ها می‌توانند به‌وجود آورند، نشان داده شود.

موقعیت جغرافیایی و عوارض ژئومورفیک محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه که بیشترین تأثیرات ژئومورفولوژیک را از زلزله داشته است در غرب استان کرمانشاه و در واحد چین خورده زاگرس قرار دارد (شکل ۱).

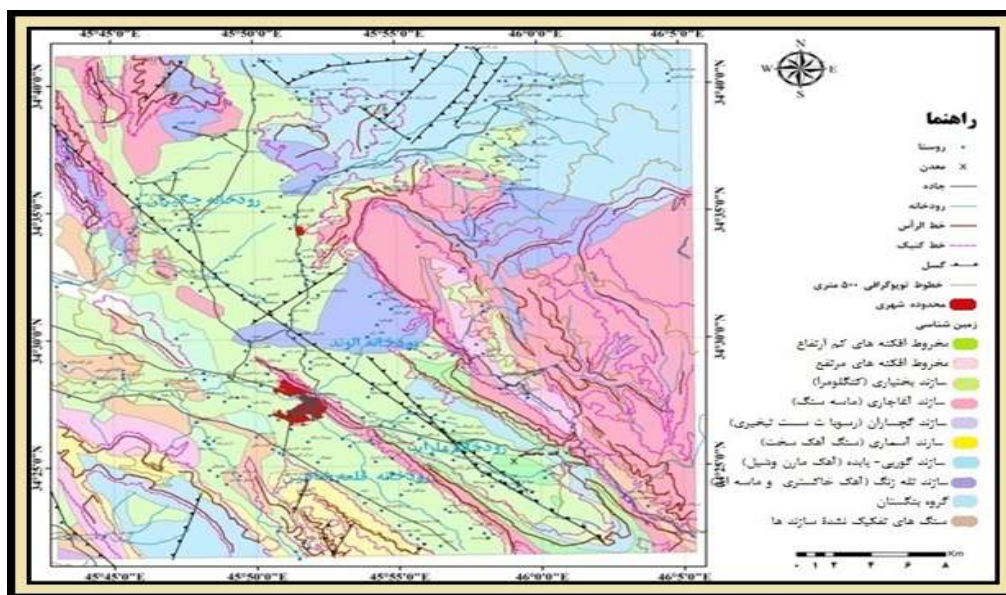


مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه. نقاط داخل متن عبارتند از: ۱- سرپل ذهاب، ۲- ازگله، ۳- روستای قورچی باشی، ۴- روستای بزمیرآباد، ۵- بابایادگار، ۶- ناودیس ریجاب، ۷- کوه شاه نشین، ۸- کوه پیران، ۹- کوه میان کل، ۱۰- کوه برز، ۱۱- کوه زنگالیان، ۱۲- کوه گلبن، ۱۳- کوه دالاهو، ۱۴- کوه باریکه، ۱۵- دشت ذهاب، ۱۶- بشیوه پاطاق، ۱۷- دشت قلعه شاهین.

این منطقه از دو واحد توپوگرافیک کوهستان و دشت تشکیل شده است. این دشت‌ها که عمدتاً سه دشت، ذهاب، بشیوه پاطاق و قلعه شاهین را تحت پوشش قرار می‌دهند با شیبی کمتر از ۲ درجه و با ارتفاع بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ متری قرار می‌گیرند. آن‌ها در واقع دره‌های طاق‌دیزی هستند که توسط رودخانه‌های الوند، ماراب، جگیران و قلعه شاهین برش یافته و کفشان از رسوبات همین رودخانه‌ها پر شده‌اند. واحد کوهستان که شرایط رسوبگذاری را با توالی نامنظم، از اولین گروه

سازندهای موجود در زاگرس معروف به گروه بنگستان (آهک تیره رنگ سنومانین) تا سازند بختیاری (کنگلومرای دوران پلیستوسن) نشان می‌دهد (شکل ۲)، نسبت به دشت‌ها تا ۲۰۰۰ متر اختلاف ارتفاع یافته است. این ناهمواری‌ها، معمولاً دیواره‌های طاقدیسی هستند که به صورت هوگ بگ رشته‌های امتدادی را به وجود آورده‌اند. در بخش شمال شرق منطقه، رشته ناهمواری‌ها، در واقع یال‌های یک ناودیس معلق‌اند که کف آن دره ریجاب را به وجود آورده است. دامنه‌های فرسایشی این ناودیس شیب‌های تندی را ایجاد کرده است که در هنگام زلزله شرایط مناسب را برای ریزش‌ها و بهم‌پاشی سنگی فراهم کرده است. پرتگاه‌های دیوارمانند (گیلویی)، کانیون‌ها، دولین‌ها، لایه‌ها و سراب‌ها پدیده‌های مشخص ژئومورفولوژی، بر روی آهک‌های آسماری هستند که فرایندهای رودخانه‌ای در به‌وجود آمدن آن‌ها نقش اساسی داشته‌اند و تخریب آهک‌های واریزه‌ای را بر روی دامنه شکل داده است. در حالی که سازندهای نرمی مانند مارن، شیل و سیلتستون مربوط به سازند گورپی که در دره پشت تنگ (نقطه ۴ در شکل ۱)، برونزد یافته‌اند؛ مواد ضخیم، دانه‌ریز و مستعد به لغزش را بر روی دامنه‌ها به وجود آورده‌اند، عمل کرده است.



مأخذ: نگارندگان (باز ترسیم از نقشه سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

شکل ۲: نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.

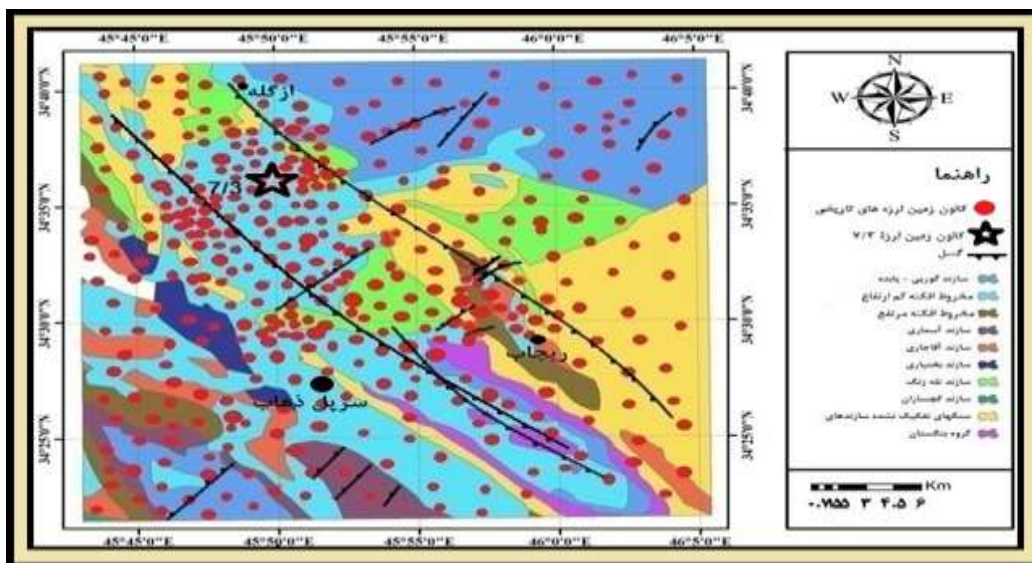
داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی عوارض ژئومورفولوژیک ناشی از زلزله، نخست محدوده مورد مطالعه تعیین حدود شد. سپس برای استخراج نقشه‌های توپوگرافی و شیب، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد و با کمک این نقشه‌ها محدوده مورد مطالعه به دو واحد کوهستان و دشت تقسیم شد. سپس طی چند مرحله بازدید میدانی، عوارض قدیمی و جدید که در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ثبت شده بود تفکیک شد. علاوه بر این برای کسب اطلاعات بیشتر با اهالی محل مصاحبه و عوارض ایجاد شده را شناسایی و با استفاده از

(GPS) موقعیت یابی انجام گرفت و در محل وقوع عوارض ژئومورفولوژیک بر روی تصویر ماهواره‌ای قرار داده شد. عوارضی که حدود آن‌ها وسعت زیادی داشت و در تصویر ماهواره‌ای مشخص بود حدود آن نیز تعیین شد. البته بعضی پدیده‌ها نیز که در مناطق صعب‌العبور قرار داشتند از طریق گوگل ارث ردیابی و موقعیت‌یابی شدند. بدین‌وسیله دو گروه از عوارض نقطه‌ای و مساحتی به دست آمد. برای ایجاد ارتباط بین پدیده‌های رخ داده با زلزله و وضعیت زمین‌شناسی، اطلاعات زلزله از گزارش‌ها (گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و گزارش موسسه ژئوفیزیک مرکز لرزه‌نگاری کشور) اسناد مکتوب و سایت‌های الکترونیکی معتبر به نشانی (<http://www.iiees.ac.ir>) از وب سایت پژوهشگاه بین‌المللی و مهندسی زلزله‌شناسی مراجعه و نقشهٔ زمین‌شناسی از نقشهٔ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور باز ترسیم شد. این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار (ARC GIS) به صورت رقومی درآمدند. برای بررسی ارتباط پدیده‌ها با نوسانات سطح آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز داده‌های مربوط به نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی از داده‌های شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه به دست آمد و از آن‌ها، داده‌های مربوط به تغییرات آب چاه‌های دشت‌های ذهاب، قلعه‌شاهین، بشیوه‌پاطاق و حومه شهر سرپل ذهاب رودخانه‌های محدودهٔ مورد مطالعه استفاده شد. در نهایت با قرار دادن موقعیت عوارض ژئومورفولوژیک بر روی نقشه زمین‌شناسی و شیب زمین، نوع خاک، آب و هوا، هوازدگی، پوشش گیاهی، هیدرولوژی، نزدیکی به گسل و میزان فاصله از کانون زلزله، گسترش عوارض ژئومورفولوژیک و ابعاد آنها به صورت استدلالی تفسیر شد. برای میزان تأثیر پدیده‌های ژئومورفولوژیک و نوع مواد زمین در ایجاد خسارت‌های مالی و تلفات انسانی در دو واحد توپوگرافی دشت و کوهستان نیز به همین ترتیب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بحث و یافته‌ها

محدودهٔ مورد مطالعه در ایالت لرزه زمین‌ساختی زاگرس قرار گرفته است که از نظر لرزه‌خیزی بسیارفعال می‌باشد. در منابع تاریخی و سفرنامه‌های ذکر شده در شهر باستانی سرپل‌ذهاب در طول تاریخ چندین بار زمین‌لرزه‌های ویرانگر رخ داده است که می‌توان زلزلهٔ ۶/۴ ریشتر نام برد که در سال ۳۴۷ هجری قمری برابر با آوریل سال ۹۵۸ میلادی شهر حلوان (سرپل‌ذهاب کنونی) را ویران کرد و بسیاری را در جبال کشت و بر منابع آب زیرزمینی زاگرس اثر گذاشت. زمین‌لرزه دیگری که بزرگای آن ۵/۹ ریشتر برآورد شده است در تاریخ ۱۲ فروردین ماه سال ۵۲۹ هجری شمسی برابر با یکم آوریل سال ۱۱۵۰ میلادی در منطقه حلوان (سرپل ذهاب) روی داد و سبب دگرریختی زمین در کوه‌ها شد. (آمبرسیزو ملویل، ۱۹۸۲). در طول ۱۱۷ سال اخیر حدود ۳۳۶ زمین لرزه در اطراف کانون زلزله ۷/۳ ریشتر سال ۱۳۹۶ ثبت شده است (شکل ۳) که ۲۰ مورد آن‌ها دارای بزرگای بیشتر و مساوی ۵ ریشتر بوده است (موسسه ژئوفیزیک ایران).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه گسل‌ها و کانون زلزله‌های ۱۱۷ سال اخیر در اطراف کانون زمین لرزه ۷/۳.

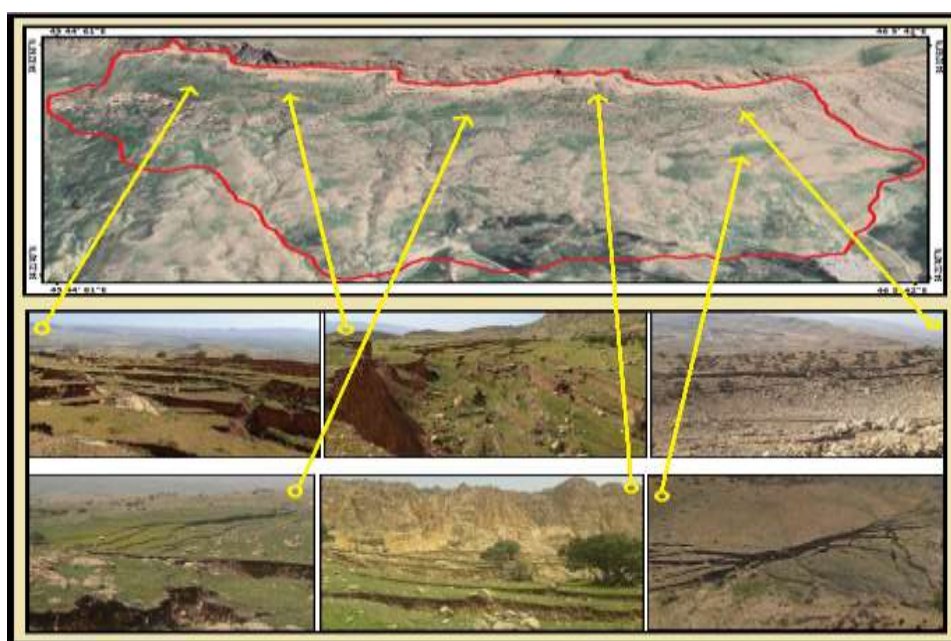
در آذر ماه سال ۱۳۹۲ دو زلزله با بزرگای $5/2$ و $5/4$ ریشتری همراه با پس لرزه‌های متعددی این محدوده را لرزاند. عوارض ژئومورفولوژیک ناشی از این زلزله، یک گسیختگی سطحی در کوه بازی‌دراز بود که در ۸ کیلومتری سرپل‌ذهاب قرار دارد. نزدیک به ۴ سال پس از این زلزله، در ۲۱ آبان ماه سال ۱۳۹۶ زمین لرزه‌ای با بزرگای $7/3$ در مقیاس ریشتری، در عمق ۱۸ کیلومتری زمین در نزدیکی روستای ازگله و در فاصله ۳۴ کیلومتری شمال سرپل‌ذهاب به وقوع پیوست. این زلزله باعث شد که تعداد ۶۲۰ نفر کشته و تعداد ۹۳۸۸ نفر زخمی شوند و ۱۹۳۰ روستا و ۷ شهرستان را تحت تأثیر قرار داد. در شهرستان سرپل‌ذهاب تعداد ۲۱۷۲۲ واحد ساختمان شهری و ۱۴۳۵۶ واحد روستائی و جمعاً ۳۶۰۷۸ واحد دچار آسیب شدند (مدیریت بحران شهرستان سرپل‌ذهاب). در اثر این زلزله عوارض ژئومورفولوژیکی زیادی مانند زمین‌لغزش، ریزش‌های سنگی، جریان‌های واریزه‌ای، روان‌گرائی، گسیختگی، نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه به‌وجود آمده است.

عوارض ژئومورفولوژیکی واحد کوهستان

در محدوده مورد مطالعه، عوارض ناشی از زلزله در واحد توپوگرافی کوهستان، مطالعه شده است. عامل این عوارض می‌توان به دامنه‌های فرسایشی، شیب بسیار تند دیواره‌های آهکی، شکستگی‌ها و درز و شکاف‌های فراوان، سازندهای سست و ضعیف و ساختار تکتونیکی دانست.

زمین لغزش مله کبود

زمین لغزش‌ها یکی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی است که در اثر نیروی جاذبه و عوامل دیگری همچون زمین‌لرزه، بارش و فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود (گورابی، ۱۳۹۷، ۴۸). این پدیده از متداولترین مخاطرات محیطی تغییر شکل دهنده سطح زمین است که در گذشته و در طول تمام دوران زمین‌شناسی به وقوع پیوسته و به عنوان یکی از بلاهای طبیعی، مورد توجه فراوان است (سانوی و همکاران، ۲۰۱۲، ۳۵؛ کورست و همکاران، ۲۰۰۵، ۱۷۳). یکی از مهم‌ترین آنها، زمین لغزش مله کبود است که در دامنه کوه شاه‌نشین در اثر زلزله ۷/۳ ریشتر سال ۱۳۹۶ به وقوع پیوست (شکل ۴).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: تصویر ماهواره‌ای، گسیختگی‌های ایجاد شده و تنوع عوارض ناشی از گسیختگی‌ها.

از نظر ساختاری کوه شاه‌نشین در یال جنوبی، بخش غربی ناودیس ریجاب قرار گرفته است که از لایه‌های مقاوم آهک آسماری بر روی سازندهای ماسه سنگی تله‌زنگ، گورپی، پابده و گروه بنگستان تشکیل شده است. تفاوت مقاومت لایه‌های سخت و مقاوم آسماری بر روی سازندهای سست و ضعیف به همراه ساختار تکتونیکی تنوعی از عوارض ژئومورفولوژیکی را به وجود آورده است که در بروز مخاطرات ناشی از این زلزله مؤثر بوده است. در این زمین لغزش شکاف‌های طولی و عرضی زیادی با اعماق متفاوت ایجاد گردید و روستاهای قورچی باشی و مله کبود را در معرض خطر قرار داد. این زمین لغزش خساراتی از قبیل، آسیب به دو واحد مسکونی روستای قورچی باشی، تخریب قبرستان، تخریب جاده منتهی به قبرستان، آسیب رساندن به منبع آب، تخریب زمین‌های کشاورزی و مراتع وارد کرد. مشخصات این زمین لغزش در (جدول ۱) نشان داده است.

جدول ۱: مشخصات زمین لغزش مله کبود.

موقعیت	میزان عوامل تاثیرگذار				نوع سازند	جهت شیب	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (Km ²)	نام عوارض
	شیب	شیب	ارتفاع	گسل								
34° 33' 53" N 45° 54' 46" E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	کله زنگ	جنوب	۱۲۹۰	۰	۱۰۰۰ ۴ ۱۳۰۰	۴۳۵۰	۶	زمین لغزش مله کبود

مأخذ: نگارندگان

طی چندین مرحله بازدید میدانی، طول شکاف‌های ناشی از این زمین لغزش به وسیله GPS اندازه‌گیری شد. طول بعضی از آنها، تقریباً بین ۵۰۰ تا بیش از ۱۰۰۰ متر است. عرض و عمق این شکاف‌ها به وسیله متر دستی و لیزری اندازه‌گیری شد. عرض آنها تقریباً بین ۱ تا ۵ متر است. این شکاف‌ها دارای اعماق متفاوتی هستند. عمق بعضی از این شکاف‌ها خیلی زیاد است و با چشم قابل رؤیت نیست و اندازه‌گیری این شکاف‌ها به وسیله متر لیزری، بین ۳۰ تا ۴۰ متر نشان داده شد (شکل ۵).



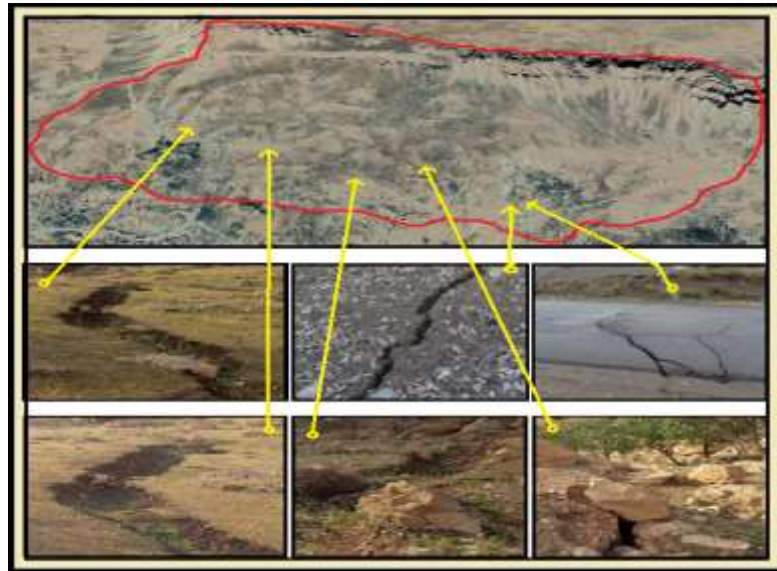
مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: اندازه‌گیری طول، عرض و عمق شکاف‌های ناشی از زمین لغزش مله کبود

زمین لغزش دامنه کوه دالاهو

این زمین لغزش، در شمال غربی دامنه کوه دالاهو رخ داده است. این منطقه از لایه‌های مقاوم آسماری بر روی سازند گورپی - پابده قرار گرفته است. تفاوت مقاومت لایه‌های آسماری بر روی سازندهای سست در بروز این زمین لغزش مؤثر بوده است. درز و شکاف‌هایی این زمین لغزش در جهت شیب توپوگرافی ایجاد شده است. طول بعضی از این شکاف‌ها،

بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ متر می‌رسد. این شکاف‌ها در دو مسیر، جاده سرپل ذهاب به ثلاث باباجانی بین روستای بزمیرآباد و پالان علیا به صورت عرضی قطع کرده است (شکل ۶).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: تصویر ماهواره‌ای و عکس از زمین لغزش کوه دالاهو

در محدوده این زمین لغزش به مراتب و درختان بلوط خسارات زیادی وارد شده است. بنا به اظهارات اهالی روستای بزمیرآباد در این پهنه لغزشی چندین چشمه آب که حدود ۱۵ الی ۲۰ سال قبل از زلزله، خشک شده بود دوباره احیاء شده‌اند. مشخصات این زمین لغزش در (جدول ۲) نشان داده است.

جدول ۲: مشخصات زمین لغزش کوه دالاهو.

موقعیت	میزان عوامل تاثیرگذار				نوع سازند	جهت شیب	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (Km ²)	نام عوارض
	جهت شیب	شیب	ارتفاع	گسل								
34°36'03" N 46°06'49" E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	تله زنگ	غربی	۱۳۸۰	۰	۱۳۱۰	۱۸۲۰	۲۳	زمین لغزش دالاهو

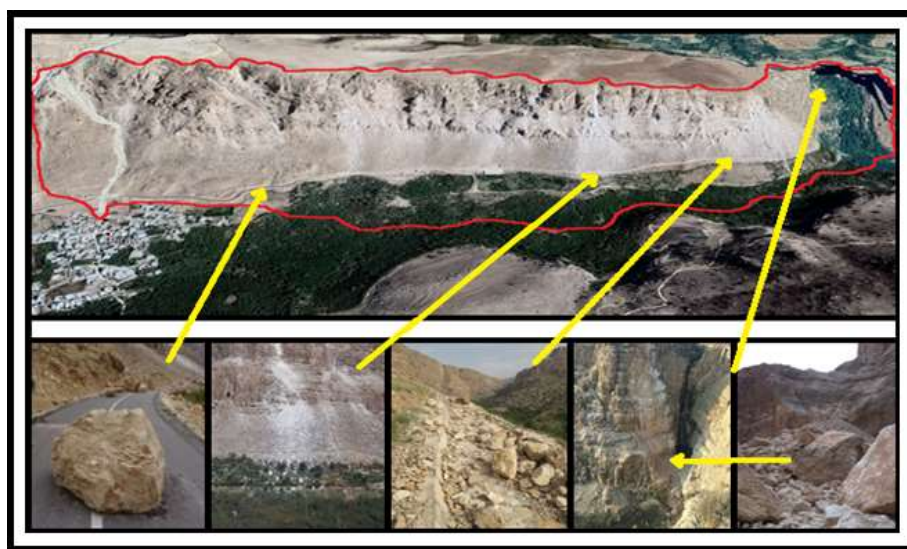
مآخذ: نگارندگان

ریزش‌ها و بهمن‌های سنگی

بهمن سنگی پیران

زمین‌لرزه‌ها به عنوان عامل اصلی ایجاد بسیاری از حرکات توده‌ای مواد تشکیل دهنده زمین همچون سنگ‌افت‌ها، بهمن‌ها و روانه‌ها محسوب می‌شوند (ختک و همکاران، ۲۰۱۰، ۸۳). در زلزله‌های بالای ۶ ریشتر علاوه بر زمین لغزش، بهمن‌های سنگی نیز ایجاد می‌شود (عارف پور و همکاران، ۱۳۹۲، ۵۴۲). از نظر ساختاری محدوده مورد مطالعه، اشکال

برجسته و صخره‌ای، شکستگی‌ها و درزها، یال‌های تیز، دره‌ها، پرتگاه دیوار پدید آمده است. هنگامی که شبکه آب‌ها در پهلوی طاق‌دیس‌ها و در امتداد محور آن‌ها ابقا شوند، دره‌های طولی پدید می‌آیند. این نوع دره‌ها در شرایطی به وجود می‌آیند که تاقدیس از تناوب طبقات سخت آهک و سست مارن یا شیل تشکیل شده باشد. پس از این که فرسایش آب لایه آهک فوقانی را شکافته، لایه سست زیرین را تعقیب می‌کند و به تدریج در محل دره‌ای عمیق ایجاد می‌شود. بقایای یال تاقدیس در این محل به علت شیب، تقریباً برابر دو سمت یال طاق‌دیس به صورت (هوک بگ) ظاهر شده است. دیواره‌های آهکی، مخصوصاً دیواره‌هایی که به وسیله گسل‌های عرضی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، مستعدترین نقاط را برای وقوع بهمن‌ها و ریزش‌های سنگی ناشی از زلزله را فراهم کرده‌اند. بزرگ‌ترین آن‌ها در دامنه کوه پیران در شمال روستای پیران رخ داده است (شکل ۷).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: تصویر ماهواره‌ای و عکس از بهمن سنگی کوه و آبشار پیران

تخته سنگ‌های زیادی در این پهنه با ابعاد مختلفی در این دیواره فرو ریخته است. این بهمن سنگی جاده آبشار پیران را مسدود نموده و باعث کشته شدن دو نفر بر روی همین جاده و از بین رفتن بسیاری از باغات و تسهیلات گردشگری روستای پیران شده است. در (جدول ۳) ویژگی‌های این بهمن سنگی نمایش داده است.

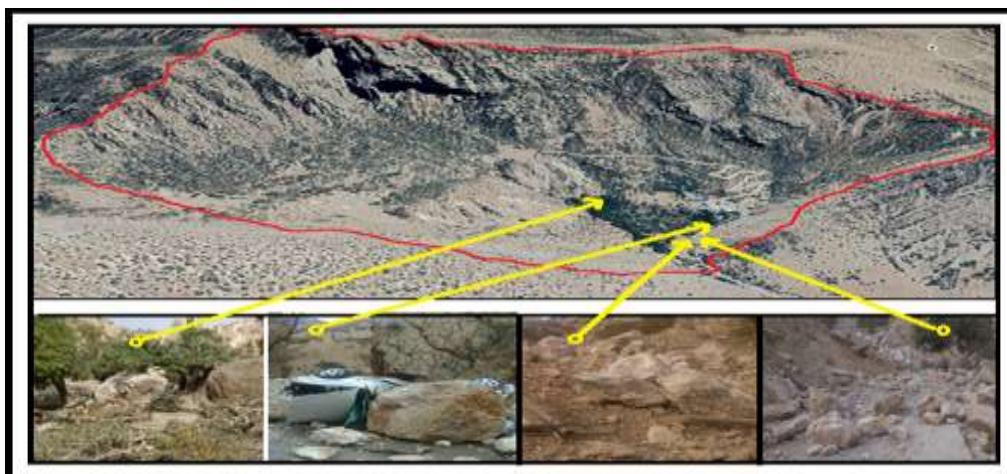
جدول ۳: مشخصات بهمن سنگی کوه پیران.

موقعیت	میزان عوامل تاثیرگذار				لیتولوژی	جهت شیب	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (Km ²)	نام عوارض
	جهت شیب	شیب	ارتفاع	گسل								
34°30'38"N 45°59'52"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک آسماری	جنوب شرقی	۹۱۰	۰	۴۶۵ تا ۴۹۵	۲۱۲۰	۱/۰۵	بهمن سنگی پیران

مأخذ: نگارندگان

ریزش سنگی بابایادگار

این پهنه در شمال روستای بان زرده در شمال غرب ناودیس معلق ریجاب قرار گرفته است. در یال‌های اطراف این درهٔ ریزش‌های سنگی زیادی رخ داده است. عوامل مؤثر در ایجاد آن اختلاف مقاومت در برابر فرسایش، شیب تند سنگ‌های آهکی همراه با درز و شکاف‌های زیاد و عوامل زمین‌ساختی بویژه تأثیر گسل‌ها در سنگ‌های یک‌پارچه که در محل شکستگی‌ها مقاومت آن کاهش می‌یابد و اختلاف میزان فرسایش در دو سنگ هم‌جوار با جنس مختلف می‌شود (شکل ۸).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: تصویر ماهواره‌ای و عکس از پهنهٔ ریزشی بابایادگار.

خسارات ناشی از این سنگ ریزش، تخریب خطوط انتقال برق و تلفن، مسدود شدن راه زیارتگاه و بابایادگار و آسیب جدی به یک دستگاه خودروسواری و نابودی درختان در این پهنه می‌باشد. ویژگی‌های این ریزش سنگی در (جدول ۴) نشان داده است.

جدول ۴: مشخصات ریزش سنگی بابایادگار.

موقعیت	میزان عوامل تاثیرگذار				تئولوژی	جهت شیب	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (Km ²)	نام حواره‌ن
	جهت شیب	شیب	ارتفاع	گسل								
34°32'09"N 45°58'37"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک، آسکاری	جنوب خرف غرب	۱۹۹۰	-	۱۵۵۰	۱۹۸۳	۳/۸۵	ریزش سنگی بابایادگار

مأخذ: نگارندگان

ریزش‌های سنگی منفرد

در محدودهٔ مورد مطالعه، ریزش‌های سنگی به صورت منفرد در نقاط مختلفی، با ابعاد متفاوت رخ داده است. این ریزش‌ها عبارتند از: ریزش سنگی کل داوود، ریزش کوه گلبان، ریزش‌های کوه زنگالیان، ریزش کوه برز، ریزش کوه میانکل (شکل ۹).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: ریزش‌های سنگی منفرد، الف: کل داوود، ب: کوه گلبان، ج و د: کوه زنگلیان، ه: کوه برز و و: کوه میانکل.

این ریزش‌ها به غیر از ریزش کل داوود که منجر به تخریب دکل برق شده است و ریزش کوه میانکل که باعث از بین رفتن خودروی سواری شده است، خساراتی در بر نداشتند ویژگی‌های این ریزش سنگی در (جدول ۵) نشان داده است.

جدول ۵: مشخصات ریزش‌های سنگی منفرد.

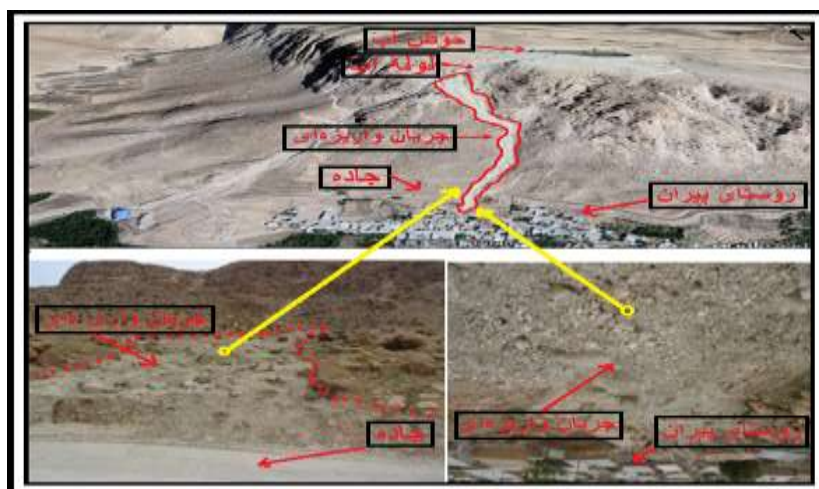
موقعیت	میزان عوامل تاثیرگذار				انحطی	جهت شیب	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (m ²)	نام حوضه (ریزش سنگی)
	شیب	ارتفاع	گسل	شیب								
34°26'47"N 45°53'44"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک آسفاری	شرف	۶۴۱	۰	۶۵	۱۲۵	۸۱۲۵	الف: کوه کل داوود
34°23'44"N 45°03'50"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک آسفاری	جنوب غرب	۱۸۹۲	۰	۲۳۰	۹۲۰	۳۰۳۶۰۰	ب: کوه گلبان
34°25'44"N 45°01'37"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک آسفاری	شرف	۱۱۳۷	۰	۳/۲۰	۳/۴۰	۱۰/۸۸	ج: کوه زنگلیان
34°25'44"N 45°01'03"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک آسفاری	شرف	۱۰۸۴	۰	۷	۱۱	۷۷	د: کوه زنگلیان
34°25'11"N 45°55'25"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک آسفاری	جنوب	۱۰۰۳	۰	۵ تا ۱۲۷	۴۵۳	۳۱۷۱۰	ه: کوه برز
34°27'21"N 45°52'40"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آهک آسفاری	جنوب	۶۴۶	۰	۱۱	۱۲۵	۱۲۷۵	و: کوه میانکل

مأخذ: نگارندگان

جریان واریزه‌ای

جریان واریزه‌ای عمدتاً در نواحی نیمه‌خشک، کوهستانی شیب‌دار به دلایلی از جمله، بارش شدید بارندگی و حرکت توده‌های خاک اشباع شده در اثر زلزله به وجود می‌آید (بنی حبیب و همکاران، ۲۰۱۷، ۵۷۵). این پدیده، حرکات توده‌ای مواد تخریبی در اثر نیروی ثقل به سمت پایین دامنه‌ها می‌باشد که از لحاظ ویژگی‌های جریانی، حدواسط پدیده لغزش و جریان‌های سیلابی است و از جورشدگی بسیار ضعیف و نامنظم برخوردار هستند (مای و همکاران، ۲۰۰۴، ۱۵۲). پیدایش و جابجایی جریان‌های واریزه‌ای، در پای پرتگاه‌ها و برونزدهای سنگی شیب‌دار در اثر عوامل اقلیمی، زمین ساخت (به ویژه نوزمین ساخت) و جریان‌های حاصل از بارش‌های رگباری و نیروی ثقل رخ می‌دهد (دورن و همکاران، ۲۰۰۴، ۱۳۶). جریان واریزه‌ای دامنه کوه پیران، در اثر زلزله ۷/۳ ریشتری سال ۱۳۹۶ رخ داد. این جریان به علت شکستن لوله آب

نیروگاه برق و بیرون ریختن آب سد بالای کوه، هنگام زلزله مواد و مصالح را با خود در مسیر یک آبراهه حمل و به جریان می‌اندازد و تا داخل بخش شمالی روستا ادامه داشته است (شکل ۱۰).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: تصویر ماهواره‌ای و عکس از از جریان واریزه‌ای کوه پیران.

این جریان واریزه‌ای خساراتی به دنبال نداشت و فقط باعث مسدود شدن جاده منتهی به آبشار پیران شد. ویژگی‌های این جریان واریزه‌ای در (جدول ۶) نمایش داده است.

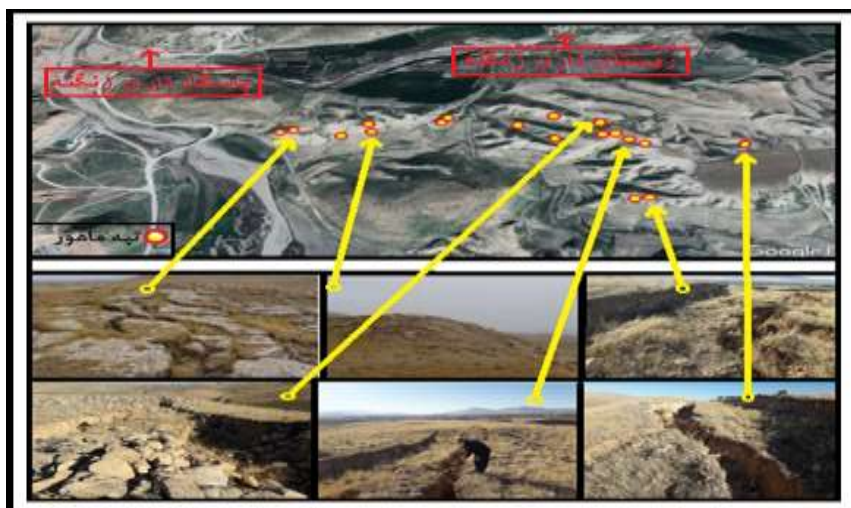
جدول ۶: مشخصات جریان واریزه‌ای پیران.

موقعیت	میزان عوامل تاثیرگذار				نیروی	جهت شیب	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (m ²)	نام عوارض
	شیب	ارتفاع	گسل	شیب جهت								
34°29'47"N 45°56'27"E	کم	زیاد	زیاد	زیاد	آبرق آسکاری	جنوب	۴۲۰	۰	۷ تا ۳۵	۵۸۹	۱۴۷۲ ۵	جریان واریزه‌ای پیران

مآخذ: نگارندگان

گسیختگی تپه‌ها

عوارض ژئومورفولوژیکی دیگری که در اثر این زلزله به وجود آمده است گسیختگی تپه‌ها و حرکت لایه‌های خاک روی آن، از رأس به اطراف آن‌ها می‌باشد. این پدیده در تپه ماهورهای دشت ذهاب در جنوب روستای ازگله و جنوب شرق پاسگاه داری‌زنگنه زیاد دیده می‌شود. این تپه‌ها از جنس سنگ‌های ضعیف مانند مارن و شیل و خاک برجا تشکیل شده است. (شکل ۱۱).



ماخذ: نگارندگان

شکل ۱۱: تصویر ماهواره‌ای و عکس از گسیختگی رأس تپه‌های دشت ذهاب.

علاوه بر گسیختگی‌های سطحی بر روی تپه شکاف‌های عمیقی با طول و اعماق متفاوتی ایجاد شده است. (جدول ۷) ویژگی‌های این تپه‌ها را نشان داده است.

جدول ۷: مشخصات گسیختگی تپه‌های دشت ذهاب.

موقعیت	میزان عوامل تاثیرگذار			توع سازنده	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل	عرض (متر)	طول (متر)	تعداد	نام عوارض تپه‌ها
	شیب	ارتفاع	گسل							
34°45'47"N 45°46'27"E	زیاد	زیاد	زیاد	پختیاری	۵۱۰ تا ۵۱۸	۳ کیلومتر	۴۸ تا ۱۰۵	۹۴ تا ۲۸۹	۱۸	گسیختگی تپه‌ها

ماخذ: نگارندگان

روان‌گرایی

یکی از خطرهای ژئوتکنیکی مهم، پدیده روانگرایی می‌باشد. این پدیده در خاک‌های سست ماسه‌ای تا سیلتی در شرایط اشباع، ایجاد می‌گردد (عسکری و همکاران، ۱۳۸۸، ۹۵). افزایش فشار آب منفذی در خاک‌های ماسه‌ای و لایه‌های سست اشباع، در هنگام زلزله بر اثر تمایل خاک به کاهش حجم، منجر به کاهش همه جانبه در خاک می‌شود. در این حالت، مقاومت برشی خام به شدت کاهش می‌یابد و به مقدار صفر نزدیک می‌شود و پدیده روانگرایی رخ می‌دهد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳، ۲). در محدوده مورد مطالعه این پدیده در هر دو واحد توپوگرافی کوهستان و دشت رخ داده است. در واحد دشت و در بخش جنوبی مسکن مهر شهید شیروودی به صورت جوشش ماسه و خروج آب در بعضی از نقاط دشت سیلابی رودخانه الوند اتفاق افتاده است. شکاف‌های متعددی که در آسفالت کوچه‌های مسکن مهر به وجود آمده است. این شکاف‌ها ناشی از ناپایداری و گسترش جانبی در اثر روان‌گرایی لایه‌های ماسه‌ای در اعماق زیر بستر ساختمان‌های مسکن مهر می‌باشد (شکل ۱۲ تصویر الف، ب و ج). در واحد کوهستان در نزدیکی روستای پالان علیا به صورت جوشش خاک ریز و بسیار نرم روی داده است. وجود چندین چشمه در نزدیکی این پدیده و بالا بودن سطح

ایستایی در اثر بارش برف و باران زیاد در کوه دالاهو می‌باشد. در نزدیکی این روانگرایی سه چشمه جدید بوجود آمده است که به مدت هفت الی ده روز بعد از زلزله همراه آب، خاک قرمز بالا آمده است که رنگ قرمز آن ناشی از سازند زیرین آغاچاری می‌باشد (شکل ۱۲).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۲: روان‌گرایی مسکن مهر و شکاف‌های ناشی از آن (الف، ب و ج) - روانگرایی نزدیک روستای پالان علیا (د)

نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی

علت اصلی تغییرات تراز آب در یک آبخوان هنگام عبور امواج لرزه‌ای، ناشی از تغییر شکل کسسان پوسته زمین است (نسپلی و همکاران، ۲۰۱۶ و شی و همکاران، ۲۰۱۵). تغییرات دائمی تراز آب اغلب در اثر زمین‌لرزه‌های بزرگ و در فواصل نزدیک به گسیختگی گسل اتفاق می‌افتند؛ جایی که تغییرات تنش استاتیکی بزرگ است (رزه و همکاران، ۲۰۰۸، ۲۳۹). یکی دیگر از پدیده‌های ناشی از این زلزله، ظهور چشمه‌ها و تغییرات سطح آب چاه‌های پی‌زومتری، در اثر نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی است. تعدادی از این چشمه‌ها که در ارتفاعات بالاتر قرار گرفته‌اند، خشک یا کم آب شده‌اند و چشمه‌هایی که در ارتفاع پایین وجود دارند پرآب شده‌اند. این تغییرات ناشی از نوسانات سطح تراز آب‌های زیرزمینی در اثر ایجاد درز و شکاف‌های زیاد در منطقه بوده است. آبدهی عموم چشمه‌های محدوده مورد مطالعه، افزایش نسبی و حتی در برخی موارد افزایش چشمگیری داشته است. با توجه به منشاء سازندی - تشکیلاتی بیشتر این چشمه‌ها، در اثر زلزله تغییرات محسوسی در آبدهی بعضی از سراب‌ها گردیده است و حرکات و جابجایی لایه‌ها باعث توسعه درز و شکاف‌ها و تبدیل جریان از حالت خطی به متلاطم، متناسب با نوع متنوع سیستم درز و شکاف گردیده است. نتیجه آن تغییرات ناچیز در فاکتورهای کمی و همچنین تغییرات چشمگیر و قابل توجه در سراب‌ها گردیده است (شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، ۱۳۹۶). تغییرات وضعیت کیفی و کمی سراب‌ها نشان می‌دهد که از لحاظ کیفی سراب‌گرم، سراب‌ریجاب و سراب‌ماراب، میزان کدورت بالایی داشته‌اند و از لحاظ کمی سراب‌گرم بیشترین تغییرات را داشته است (جدول ۸).

جدول ۸: وضعیت کمی و کیفی سرابها قبل و بعد از زلزله

ردیف	نام سراب	محدوده مطالعاتی	اندازه گیری قبل از زلزله (مهر ۹۶)		اولین اندازه گیری بعد از زلزله (آبان ماه ۱۳۹۴)		دومین اندازه گیری بعد از زلزله (آذرماه ۱۳۹۴)	
			دبی	تغییرات نسبت به قبل از زلزله	دبی	تغییرات نسبت به قبل از زلزله	دبی	تغییرات نسبت به قبل از زلزله
۱	سراب گرم	پل ذهاب	۱۸۹۴	۱۰۲۳	-۴۴/۱۰	زیاد	۲۱۰۰	۱۱
۲	سراب سادات	ذهاب	۳۶۷	-	-	کمی	۳۶۹	۶
۳	قلعه شاهین	سرپل ذهاب	۴۳۳	۴۳۰	۷/۱۱	متوسط	۷۲۶	-۴۵
۴	قره پاش	پل ذهاب	۷۳۵	۵۴۹	-۲۷/۵۹	کمی	۴۶۸	-۹۴
۵	سراب ریحان	پل ذهاب	۱۸۷۷	۲۷۵	-۱۶/۸۷	زیاد	۲۰۴۹	۹
۶	سراب عراب	پل ذهاب	۳۳۸	۸۱۸	۱۴۳/۹۷	زیاد	۷۷۴	۱۶۹

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه

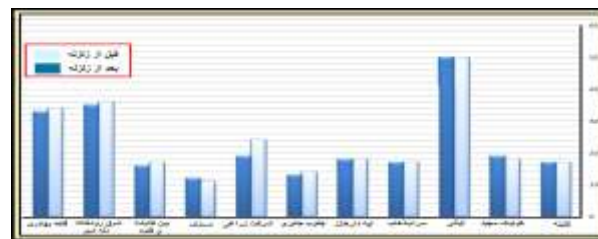
این سرابها علاوه بر تغییرات کمی، از لحاظ کیفی، به علت پس‌لرزه‌های زیاد تا دو ماه پس از وقوع زلزله اصلی تقریباً گل‌آلود بودند (شکل ۱۳).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۳: گل‌آلود شدن سرابها، الف: استخر ماهی سراب قلعه شاهین، ب: سراب گرم.

در دشت سرپل ذهاب ۱۱ حلقه چاه مشاهده‌ای (پیزومتری) مورد بررسی قرار گرفت. بیشتر این چاهها در دشت سیلابی و بر روی سازندهای منفصل قرار گرفته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در اثر این زلزله تغییرات محسوس و معناداری در هیچکدام از این چاهها به جزء چاه شرکت زراعی مشاهده نشد. در چاه شرکت زراعی در مقایسه با اندازه‌گیری صورت گرفته، ۳۳ روز قبل از زلزله، به میزان ۴ متر پس از وقوع زلزله، کاهش سطح آب وجود داشت (شکل ۱۴).



مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه

شکل ۱۴: مقایسه سطح آب چاههای پیزومتری دشت ذهاب قبل و بعد از زلزله

در بررسی‌های ۲۰ حلقه چاه، در دشت قلعه‌شاهین و دشت سرپل ذهاب، اندازه‌گیری‌ها نشان داد که در این چاهها، تفاوت معنی‌دار و غیرنرمالی به غیر از چاه پل‌ماهیت، مشاهده نشد. در بررسی و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، توسط

داده است که عبارتند از: زمین لغزش‌ها، سنگ‌ریزش‌ها، بهمن‌های سنگی و جریان واریزه‌ای می‌باشد. عوامل مؤثر در وقوع این عوارض، وجود چین‌خوردگی‌های جوان رشته کوه زاگرس همراه با عملکرد گسل‌ها که باعث شکستگی‌ها و درز و شکاف‌های زیادی شده است. علاوه بر این، توالی لایه‌های سخت و ضعیف سازندهای زمین‌شناسی، شیب‌های بسیار تند دیواره‌های آهکی، دامنه‌های فرسایشی و منابع آب زیرزمینی در دامنه کوه‌ها می‌باشد. در واحد دشت مهم‌ترین عوارض، گسیختگی تپه‌ها، تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی (نوسانات سطح چاه‌ها و چشمه‌ها) و روانگرایی می‌باشد. عواملی مانند حرکت و جابجایی لایه‌ها، ایجاد و توسعه درز و شکاف‌ها، خروج گازها، خاک‌های سست و ضعیف و فشار آب منفذی در اثر حرکات لرزه‌ای باعث رخداد این عوارض شده است. پدیده‌های مشترک در هر دو واحد کوهستان و دشت، روانگرایی است. عوامل مؤثر این پدیده، در واحد دشت نزدیکی به رودخانه‌ها، ماسه‌های ریز و فشار آب منفذی و گسترش جانبی در اثر تکان‌های لرزه‌ای است. در واحد کوهستان وجود منابع آب غنی در دامنه کوه‌ها، بالا بودن سطح ایستایی در اثر بارش برف و باران زیاد و وجود چشمه‌ها در نزدیکی پدیده روانگرایی است. مسدود شدن جاده‌ها در پای دامنه کوه‌ها، تخریب زمین‌های کشاورزی و تلف شدن دام‌های روستائیان، تخریب واحدهای مسکونی، از بین رفتن و خشک شدن چشمه‌ها و ایجاد چشمه‌های جدید، تخریب خطوط انتقال آب و برق، آسیب رساندن به تعدادی خودرو سواری، تخریب درختان بلوط و باغهای روستائیان، گل‌آلود و تیره شدن آب چشمه‌ها، سراب‌ها و رودخانه، در اثر عوارض ژئومورفولوژیکی ناشی از این زلزله بوده است.

منابع

- ۱- امیرسیز، ن.ن و ملویل چ. (۱۳۷۰): تاریخ زمین لرزه‌های ایران، انتشارات آگاه، ترجمه ابوالحسن زاده.
 - ۲- اسلامی، آرش، محمودی کوهی، علی، تقابنی، مسعود، کمیزی، ابوالفضل، گزارش مقدماتی زلزله ۲۱ آبان ماه، ۱۳۹۶ کرمانشاه.
 - ۳- زارع، مهدی، حق شناس ابراهیم، تاجیک، وحید، معماریان، پرهام، رخشنده، معصومه، مبین، پریسا، گزارش پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. دی ماه (۱۳۹۶).
 - ۴- سلامت، مونا. معماریان، حسین. زارع، مهدی، (۱۳۸۹): بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در اثر زمین لرزه با نگرشی بر زمین لرزه زرنند.
 - ۵- فاطمی عقدا، سیدمحمود. مهدوی فر، محمدرضا. باقری، وحید، (۱۳۹۲): پهنه بندی زمین لغزش‌های سریع ناشی از زلزله ۱۰ اسفند ۱۳۷۵ با استفاده از روش کیفی.
 - ۶- کرمی، فریبا. بیاتی خطیبی، مریم. ملکی، شهرام (۱۳۹۶): بررسی مخاطرات ناشی از زلزله اهر ورزقان در حوضه سرنده‌چای و پیرامون آن.
 - ۷- کوک، آریو؛ دورکمپ، یووجی، (۱۳۷۸): ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، جلد ۲، ترجمه شاپور گودرزی نژاد، تهران، سمت.
 - ۸- گزارش فنی - تحلیلی، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه از وضعیت آب استان کرمانشاه پس از وقوع زلزله ۲۱ آبانماه (۱۳۹۶).
- 9- Cui, P. Zhuang, JQ. Chen, XZ. Et Al. (2010): Characteristics And Countermeasures Of Debris Flow In Wenchuan Area After The Earthquake. Journal.

- 10- Di, B., Zeng, H., Zhang, M., Ustin, S. L., Tang, Y., Wang, Z., Chen, N., Zhang, B., (2010): Quantifying The Spatial Distribution Of Soil Mass Wasting Processes After The 2008 Earthquake In Wenchuan, China, *Remote Sensing Of Environment*, 114: 761-771.
- 11- Gallousi, C., & Koukouvelas, I.K., (2007): Quantifying Geomorphic Evolution Of Earthquake-Triggered Landslides And Their Relation To Active Normal Faults, An Example From The Gulf Of Corinth, Greece. *Tectonophysics*, 440, 85-104.
- 12- Geist, E. L., Titov, V. V. And Synolakis, C. E., (2006): "Tsunami: Wave Of Change", *Scientific American*, 56-63.
- 13- Hartman, J. And Jason, L., (2006): "The Influence Of Seism Tectonics On Precursory Changes In Groundwater Composition For The 1995 Kobe Earthquake, Japan", *Hydrogeology Journal*, No.14: Pp1307-1318.
- 14- Kamp, U., Growley, B.J., Khattak, G.A., & Owen, L.A., (2008): GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping For The 2005 Kashmir Earthquake Region, *Geomorphology*, 101, 631-642.
- 15- Keefer D. K., "Landslides Caused By Earthquakes", *Bulletin Of The Geological Society Of America* (1984): 16-Keller E. A., Pinter, N.; *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift And Landscape*; Prentice Hall, (2007): *Landslides In A Mountainous Watershed Using Logistic Regression*, *Geomorphology*, 89, 335-347.
- 17- Luzi, L., & Pergalani, F., (2000): A Correlation Between Slope Failures And Accelerometric Parameters: The 26 September 1997 Earthquake (Umbria Marche, Italy), *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 20, 301-313.
- 18- Marano, K.D., Wald, D.J. Allen, T.I., (2010): Global Earthquake Casualties Due To Secondary Effects: A Quantitative Analysis For Improving Rapid Loss Analyses, *Nat. Hazards*, 52:319-328.
- 19- PNSN (Pacific Northwest Seismic Network), (2001): Surface Rupture. ([Http://Pnsn.Org/Outreach/Earthquakehazards/Surface-Rupture](http://Pnsn.Org/Outreach/Earthquakehazards/Surface-Rupture)).
- 20- Ritz, J.F., Nazari, H., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Ghassemi, A., Shafei, A., Ghorashi, M., Saidi, A., (2012): Paleo Earthquakes Of The Past 30,000 Years Along The North Tehran Fault (Iran), *Journal Of Geophysical Research*, Vol: 117, P: B06305.
- 21- Sanwei H., Peng P., Lan D., Haijun W., Jiping L. (2012): Application Of Kernel Based Fisher Discriminant Analysis To Map Landslide Susceptibility In The Qinggan River Delta, Three Gorges, China, *Geomorphology* 171, 30-41.
- 22- Suchita Shrestha & Tae-Seob Kang (2017): Assessment Of Seismically-Induced Landslide Susceptibility Assessment Of Seismically-Induced Landslide Susceptibility.
- 23- Sun Xiaolong, Liu Y Aowei And Ren Hongwei. Influence Of The (2011): Mw9. 0 Japan Earthquake On Groundwater Levels In Chinese Mainland. Doi:10.3724/SP.J.1246.2011.0007.
- 24- Synolakis, C. E., (2003): *Tsunami And Seiche*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbasi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A.
- 25- Wang, G, Huang,., Lourenço, S. D.N., Kamai, T., (2014): A Large Landslide Triggered By The 2008 Wenchuan (M8.0) Earthquake In Donghekou Area: Phenomena And Mechanisms, *Engineering Geology*, 182,148-15.
- 26- Wen-Chi, W., Naoji, K., Norio, M., Yuichi, K., Ching-Wee, L., Chjeng, S., And Youe-Ping, L., (2004): Effects Of Seismic Ground Motion And Geological Setting On The Coseismic Groundwater Level Changes Caused By The 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan", *Earth Planets Space*, No.56: Pp873-880.
- 27- Xu, Ch., Xu, X., Yu, G., (2012): Earthquake Triggered Landslide Hazard Mapping And Validation Related With The 2010 Port-Au Prince, Haiti Earthquake, *Disaster Advances*, 5 (4):1297-1304.