

## شواهد ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی زمین لغزش قدیمی مله کبود

علی رضاپور؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

ایرج جباری\*؛ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

کاظم بهرامی؛ دکتری مهندسی زمین‌شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

### چکیده

زمین لغزش قدیمی، می‌تواند در تشکیل یا وقوع زمین لغزش اثرگذار باشد. هدف این تحقیق، بررسی زمین لغزش‌های قدیمی قبل از رخداد زمین لغزش ناشی از زلزله ۷/۳ ریشتر در سال ۱۳۹۶ در منطقه شمال غرب سرپل‌ذهاب (مله کبود) می‌باشد. در این تحقیق از شواهد ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی مانند شکل هندسی و توپوگرافی زمین، حرکت لایه‌های مارن بر رسوبات آبرفتی کواترنر، رسوب‌شناسی و تحلیل لایه‌های زمین‌شناسی و آثار انحلالی سنگ‌ها استفاده شده است. شواهد نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه قبل از وقوع لغزش، توپوگرافی مشابه با محدوده‌های لغزش یافته دارد. در بخش‌های بالای این ناهمواری شیب کمتر با پوششی از رسوبات ریزدانه رسی و در بخش‌های پایینی شیب بیشتر و از ذرات و سنگ‌های درشت‌دانه تشکیل شده است. جابجایی لایه‌های زیرین مارن بر روی لایه‌های سطحی آبرفتی و کج شدگی آثار انحلالی سنگ‌ها از دیگر شواهد وقوع زمین لغزش‌های قدیمی است. لایه‌ها که باید عمود بر سطح و در جهت بیشترین شیب باشند در جهاتی متفاوت قرار گرفته‌اند که همگی نشان دهنده وقوع زمین لغزش‌های قدیمی در محدوده مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش قدیمی، زمین لغزش مله کبود، شواهد ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی.

## مقدمه

زمین لغزش‌های بزرگ قدیمی، بیشتر در گستره‌هایی با پتانسیل لرزه‌خیزی بالا و ویژگی‌های زمین ساختی فعال تشکیل می‌شوند و با پهنه‌های گسلی کواترنری و زمین‌لرزه‌های مرتبط با آن‌ها در پیوند هستند (اسدی و همکاران، ۱۳۹۲: ین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). بررسی‌های صحرایی در ایران نشان می‌دهد که بیشتر زمین‌لغزش‌های تاریخی بزرگ، نتیجه رویداد زمین‌لرزه هستند (پدرام، ۱۹۹۱) بنابراین فاجعه‌آمیزترین و دل‌خراش‌ترین زمین‌لغزش‌ها با زلزله‌های شدید، تحریک و آغاز می‌شوند (انتظاری، ۱۳۹۲). زلزله در نواحی کوهستانی پرشیب باعث زمین‌لغزش‌های بسیار بزرگ قدیمی با حجم چندین میلیارد مترمکعب شده‌اند (ونگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). به همین دلیل شناسایی مناطق حساس، برای پیشگیری از وقوع زمین‌لغزش‌های جدید و فعال شدن زمین‌لغزش‌های قدیمی، جهت کاهش خطرپذیری امری مهم و ضروری است (احمد آبادی و همکاران، ۱۳۹۴). با شناسایی توده‌های لغزشی گذشته می‌توان به موقعیت‌های احتمالی خطر وقوع زمین‌لغزش در آینده دست یافت (تاربوک<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۳۶۸). در اختیار داشتن داده‌ها و اطلاعات در مورد زمین‌لغزش‌های قدیمی، می‌تواند در تحلیل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کمک کند (کامران زاد و همکاران، ۱۳۹۴). اهمیت این موضوع بیشتر به این دلیل است که شناسایی محل وقوع لغزش‌های قدیمی، می‌تواند راهنمایی برای تعیین و پیش‌بینی محل احتمالی وقوع زمین‌لغزش‌های آتی باشد، زیرا این محدوده‌ها شرایط ناپایداری بیشتری داشته و تأثیر زمین‌لرزه‌ها در این مکان‌ها به مراتب بیشتر خواهد بود. در صورتی که زمین‌لغزش‌های آتی بر روی مواد زمین‌لغزش‌های قدیمی رخ دهند ممکن است ابعاد زمین‌لغزش جدید بیشتر و موجب بالا رفتن خسارات زلزله شود بنابراین لازم است منطقه مستعد لغزش به‌طور اصولی و علمی ارزیابی شود تا شیوه‌های مناسب پیشگیری اتخاذ شوند (لی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). زمین‌لغزش‌های قدیمی را از طریق شواهد ژئومورفولوژیکی و اشکال و نندفرم‌های خاصی که ایجاد کرده‌اند، می‌توان شناسایی کرد. سازوکار زمین‌لغزش‌ها به‌گونه‌ای است که می‌تواند باعث ایجاد تغییرات توپوگرافی در سطح زمین شود و تغییر درشیب عموماً در اثر این پدیده شکل می‌گیرد. در بخش‌های بالای زمین‌لغزش‌های چرخشی، شیب کمتر و بخش‌های پایین آن شیب بیشتری ایجاد خواهد شد بنابراین با بررسی تغییرات توپوگرافی می‌توان شواهدی از وقوع زمین‌لغزش‌های قدیمی پیدا کرد (شکل ۱).

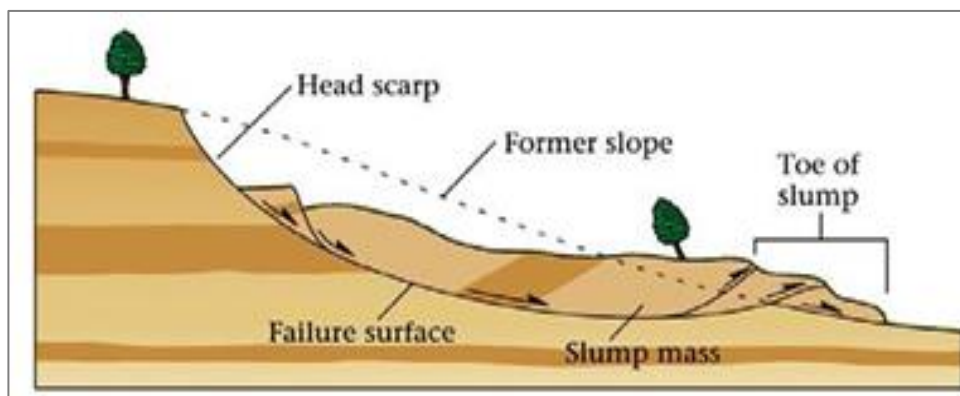
---

<sup>1</sup> Yin

<sup>2</sup> Wang

<sup>3</sup> Tarbok

<sup>4</sup> Lee



شکل ۱: تغییرات در شیب سطح زمین در اثر زمین‌لغزش (وارنز، ۱۹۷۸)

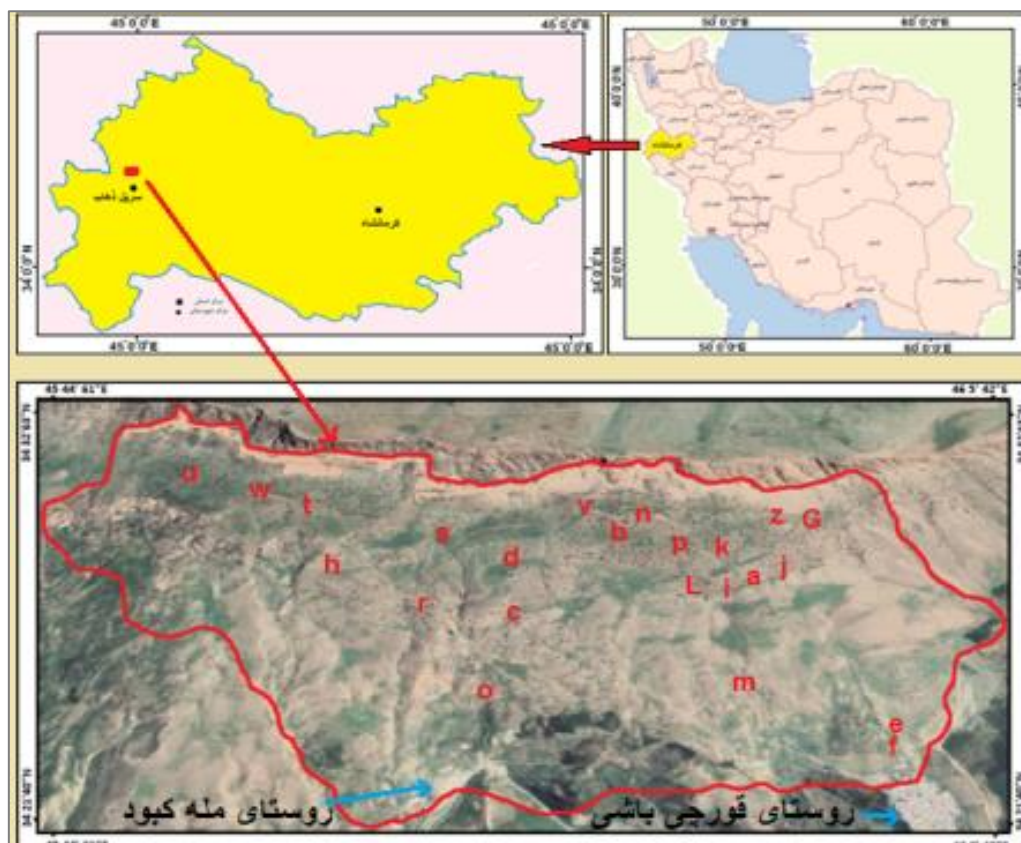
در ایران شواهدی وجود دارد که زمین‌لغزش‌های قدیمی مجدداً دچار لغزش شده‌اند. از جمله، مناطق جنوبی استان اردبیل در غرب رشته‌کوه البرز و در شمال غرب ایران هر ساله شاهد وقوع زمین‌لغزش‌های جدید و با فعالیت دوباره برخی از زمین‌لغزش‌های قدیمی است (طلایی، ۱۳۹۸). شهر باستانی سرپل ذهاب (حلوان) در طول تاریخ شاهد چندین زمین‌لرزه‌های شدید بوده که سبب دگرریختی زمین در کوه‌ها شده و بر منابع آب زیرزمینی زاگرس اثر گذاشته است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲). زلزله ۷/۳ ریشتر در سال ۱۳۹۶ در منطقه شمال غرب سرپل ذهاب که باعث زمین‌لغزش بسیار بزرگ دامنه کوه شاه‌نشین با مساحت ۶ کیلومترمربع شد. این زمین‌لغزش بزرگ‌ترین زمین‌لغزش روی داده در چند دهه اخیر در ایران است که در اثر آن شکاف‌های طولی و عرضی زیادی با اعماق متفاوت ایجاد گردید و روستاهای مله کبود و قورچی باشی را در معرض خطر قرار داد. با توجه به وجود سکونتگاه‌های انسانی، لازم است احتمال وقوع مجدد این زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گیرد. به‌طور طبیعی شناخت پیشینه قبلی زمین‌لغزش می‌تواند راهنمایی برای تحلیل احتمال وقوع آن در آینده باشد. در این راستا از شواهد ژئومورفولوژیکی به‌منظور بررسی آثار وقوع زمین‌لغزش در زمان‌های قدیمی‌تر از زمین‌لغزش اخیر در منطقه استفاده شده است.

### منطقه مورد مطالعه

زمین‌لغزش دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین (مله کبود) در غرب استان کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این زمین‌لغزه با وسعت ۶ کیلومترمربع در فاصله ۸ کیلومتری شمال شهرستان سرپل ذهاب رخ داده است (شکل ۲).

<sup>5</sup> Ambraseys

<sup>6</sup> Melville



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای و موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

در این زمین لغزش شکاف‌های طولی و عرضی زیادی ایجاد شده است که طول برخی از آن‌ها بین ۵۰۰ تا بیش از ۱۰۰۰ متر بوده و دارای اعماق متفاوتی هستند. جهت‌گیری آن‌ها به تبعیت از محور ساختمانی زاگرس، شمال غربی- جنوب شرقی است. با توجه به ایجاد گسیختگی‌های زیاد در سطح لغزش و بالا آمدگی پنجه زمین لغزش و برخورد آن با منازل مسکونی روستاهای قورچی باشی و مله کیود، خطری جدی برای این روستاها بوجود آورده است. خسارت‌های وارده در این زمین لغزش از بین رفتن و خشک شدن چشمه آب، تخریب قبرستان روستای قورچی باشی و آسیب رساندن به دو واحد مسکونی، بالا آمدن و مسدود شدن جاده دسترسی روستا به طرف قبرستان، تخریب زمین‌های کشاورزی و مراتع این روستاها می‌باشد. از نظر ساختاری کوه شاه‌نشین در یال جنوبی بخش غربی ناودیس ریجاب قرار گرفته است که از لایه‌های مقاوم آهک آسماری بر روی سازندهای ماسه‌سنگی تله زنگ، مارنی پابده، و در زیر سازند تبخیری - تخریبی ریزدانه گچساران 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. از دیدگاه ساختمانی و در تقسیم‌بندی زمین‌ساخت ایران، این منطقه جزو واحد زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. این منطقه همراه کمربند زاگرس، به دنبال تحولات زمین‌ساختی اواخر تریاس به تدریج به وجود می‌آید و از آن زمان تاکنون نیز تحت تأثیر فرایندهای فرسایشی و زمین‌ساخت جدید در حال تحول بوده است.

در این قلمرو، اشکال برجسته و صخره‌ای، شکستگی‌ها و درزها، یال‌های تیز، دره‌ها، پرتگاه دیوار مانند (گیلویی)، دولین‌ها، لایپه‌ها، واریزه‌ها و سراب‌ها پدید آمده است. این مناطق در ایالت لرزه زمین ساختی زاگرس قرار گرفته است که از نظر لرزه‌خیزی بسیار فعال می‌باشد. با توجه به کوهستانی بودن و شرایط زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی خاص محدوده مورد مطالعه که از تناوب لایه‌های مارنی و آهکی تشکیل شده است، شرایط مساعدی برای وقوع زمین‌لغزش در این منطقه وجود دارد.

## روش تحقیق

این پژوهش بر مبنای مطالعات و بررسی‌های میدانی، تحلیل نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. ابتدا کل محدوده زمین‌لغزش مله کیود ۵ بار طی ۳ سال در زمان‌ها و فصول مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در مرحله اول بازدید میدانی، شواهد تغییرات توپوگرافی، به هم‌ریختگی‌های زمین‌شناسی، تغییرات و الگوهای پوشش گیاهی و رسوب‌شناسی مورد بررسی قرار داده شد. نتایج این مرحله از طریق بررسی نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تحلیل تصاویر ماهواره‌ای تجزیه و تحلیل شد. از تلفیق نتایج این دو روش در مراحل بعدی استفاده شد و بر مبنای آن در بازدیدهای میدانی بعدی پدیده‌های مشاهده شده با دقت بیشتر مورد بررسی قرار گرفت. مشهودترین پدیده‌ای که در این محدوده نشان‌دهنده وقوع زمین‌لغزش‌های قدیمی است، تغییرات توپوگرافی است. طی بازدیدهای میدانی و بررسی نقشه توپوگرافی، تغییرات توپوگرافی مورد بررسی قرار گرفت. توپوگرافی بخش‌هایی از محدوده که در زلزله اخیر هیچ‌گونه لغزشی در آن مشاهده نشده است انطباق زیادی با زمین‌لغزش داشت. تصاویر ماهواره‌ای و توپوگرافی قبل از وقوع زمین‌لغزش نیز مورد بررسی قرار گرفت که تأیید کننده این موضوع است. در بخش‌های زیادی از محدوده مورد مطالعه الگوی توپوگرافی متشکل از لایه‌های هموار و پرشیب در کنار هم دیده می‌شود. این بخش‌ها از نظر رسوب‌شناسی و پوشش گیاهی مطالعه شد. بررسی‌های رسوب‌شناسی به صورت ماکروسکوپی بوده که نشان می‌دهد که بخش‌های کم شیب به صورت مشخص متشکل از لایه‌های رسوبات رسی با ضخامت متغیر است و بخش‌های پرشیب عموماً دارای دانه‌بندی درشت و ذرات گوشه‌دار است. این موضوع نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در بخش‌های کم شیب لغزش‌های چرخشی و فرسایش در بخش‌های بالا آمده و پرشیب است. تغییرات پوشش گیاهی از طریق بررسی‌های میدانی و تغییرات تن رنگ و حالت زمین در تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. پوشش گیاهی در بخش‌های کم شیب عموماً از نوع گیاهان یک‌ساله و شدید و در بخش‌های پرشیب از نوع گیاهان چندساله و بسیار پراکنده است. ویژگی رسوب‌شناسی، سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی بخش‌های رخنمون یافته در ترانشه‌ها ناشی از لغزش و برش‌های ایجاد شده ناشی از جریان‌های رودخانه‌ای نیز مورد بررسی قرار گرفت. محدوده لایه‌های آبرفتی، جنس لایه‌های سنگی و شرایط اولیه رسوب‌گذاری در رخنمون‌ها مشخص شد. تغییرات و به هم‌ریختگی‌های مشخصی در این بررسی‌ها دیده شد. مهم‌ترین به هم‌ریختگی در شرایط اولیه زمین‌شناسی، راندگی لایه‌های مارنی بر روی لایه‌های آبرفتی کواترنر است. این وضعیت در چندین نقطه از محدوده که در مرحله اخیر هیچ‌گونه لغزشی صورت نگرفته بود مشاهده شد. از همه این بخش‌ها نمونه‌گیری شد و از طریق مطالعات سنگ‌شناسی و رسوب‌شناسی ماکروسکوپی جنس لایه‌های آبرفتی و سنگ‌ها تشخیص داده شد.

همچنین عدم تجانس رسوب در بخش‌هایی از محدوده مشاهده گردید که به‌طور مشخص نشانه وقوع شکاف و پرشدگی با رسوبات متفاوت از رسوبات اصلی است. در بازدیدهای میدانی در مکان‌های مختلف، محدوده مورد مطالعه، سنگ‌هایی مشاهده می‌شد که جهت آثار انحلالی بر روی آن‌ها متفاوت از شرایط معمول است. آثار انحلالی سنگ‌ها، مانند لایه‌ها قبل از وقوع زمین‌لغزش باید دارای بیشترین شیب و عموماً عمود بر سطح دامنه باشد. در صورتی که لایه‌ها غیر هماهنگ با شیب باشند می‌تواند نشان‌دهنده تغییر وضعیت سنگ در اثر زمین‌لغزش‌های قدیمی باشد. این پدیده در بخش‌های مختلف منطقه مشاهده شد.

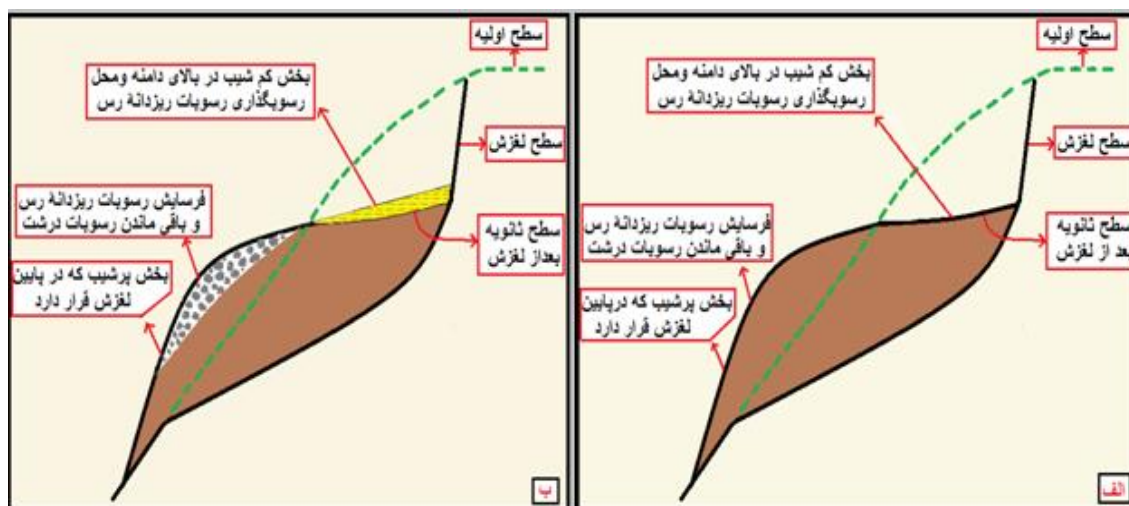
## یافته‌ها و بحث

بررسی‌های میدانی در کل پهنه زمین‌لغزه تغییراتی را در شکل هندسی و توپوگرافی و همچنین وضعیت زمین شناسی نشان داد که تجزیه و تحلیل آن تغییرات، نیز حکایت از رویدادهایی در گذشته می‌باشد. این نتایج در دو مجموعه شواهد ژئومورفولوژیک و شواهد زمین‌شناسی ارائه شده است.

## شواهد ژئومورفولوژیک

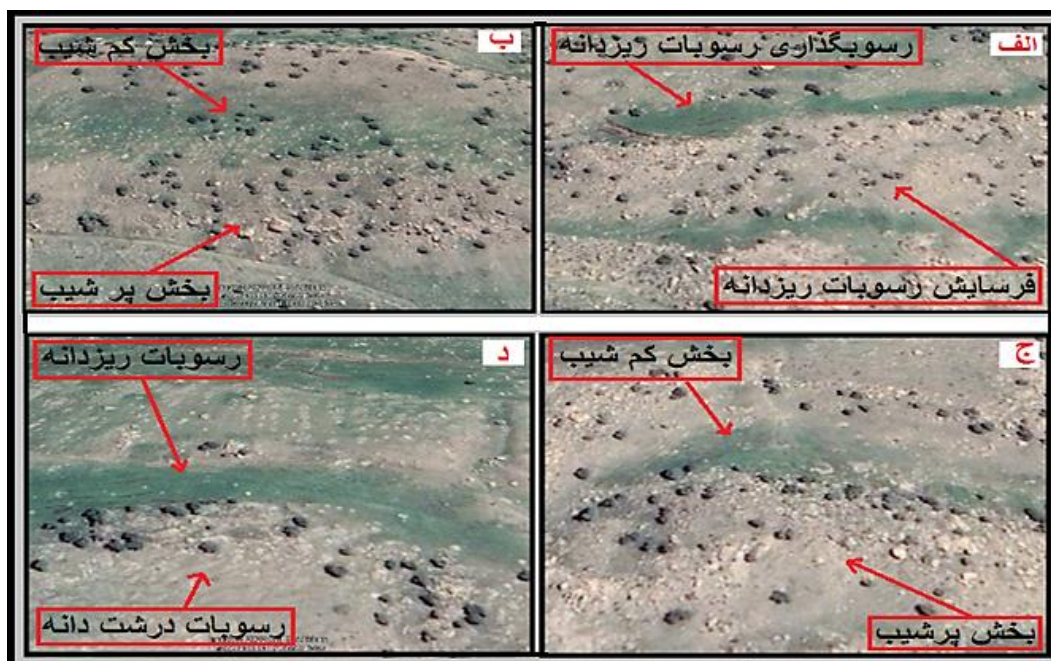
در اثر وقوع زمین‌لغزش، مورفولوژی زمین تغییر پیدا می‌کند و ناهمواری‌های سطح زمین را متحول و دوباره شکل می‌دهند (گورسیسکی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۶) و اشکال و لندفرم‌های خاصی را به وجود می‌آورد (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۲). اشکال و زمین‌ریخت‌های جدید ایجاد شده ناشی از زمین‌لغزش به شدت در فرسایش و رسوب‌گذاری تأثیرگذار است؛ بنابراین درجایی که شیب کمتر است انرژی جریان کمتر بوده و مواد رسوبی تجمع و ته‌نشین می‌شود. اما در جاهایی که فرسایش اتفاق می‌افتد به علت انرژی بیشتر جریان‌های سیلابی، ذرات ریزدانه رسی به دلیل وزن کمتر فرسایش می‌یابند. اما ذرات و قلوه‌سنگ‌های درشت به علت وزن بیشتر، جریان سیلابی توانایی حمل این ذرات را نداشته و در محل باقی مانده‌اند. در نتیجه پس از گذشت زمان، قسمت‌های جلویی دامنه لغزش یافته (بخش پرشیب) از قلوه‌سنگ‌های درشت و قسمت بالای زمین‌لغزش (بخش کم شیب) از لایه‌های رسی تشکیل می‌شود. در شکل ۳ سعی شده است به‌صورت شماتیک تغییرات در دانه‌بندی خاک در اثر وقوع لغزش به‌صورت شماتیک نشان داده شود.

<sup>7</sup> Gorsevski



شکل ۳: توپوگرافی زمین لغزش در حین (الف) و بعد از گذشت زمان (ب) (ترسیم: نویسندگان)

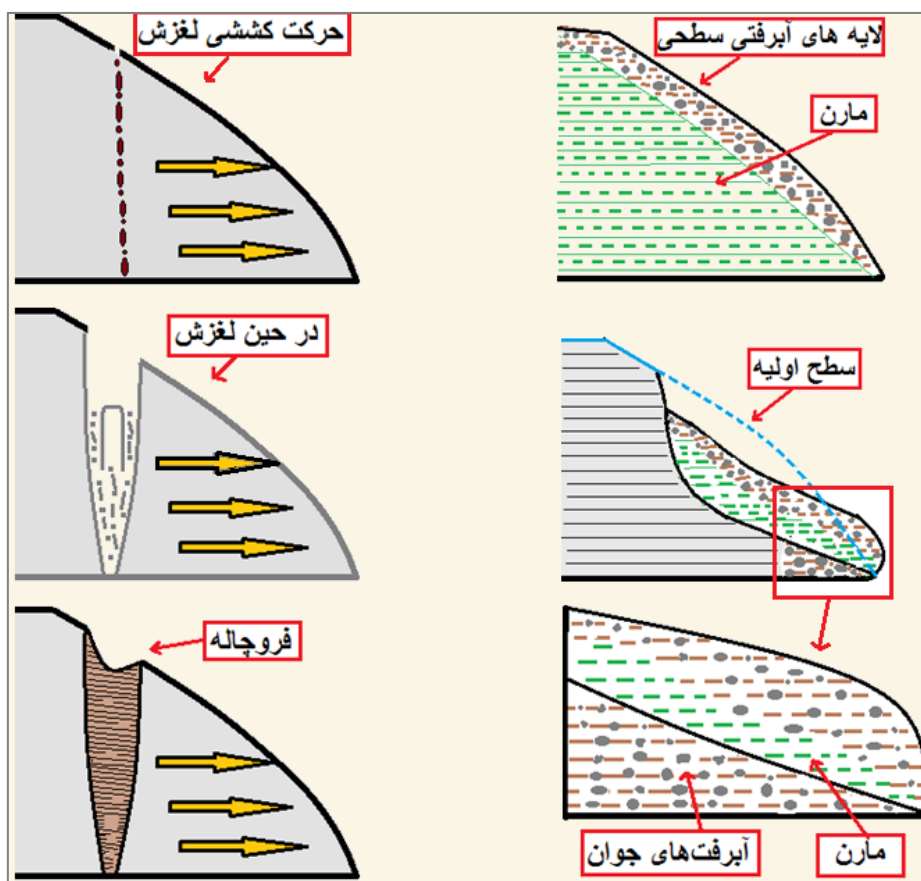
تصویر الف شکل ۳ وضعیت دامنه را بلافاصله بعد از زمین لغزش نشان می‌دهد که فرسایش و رسوب‌گذاری هنوز اتفاق نیفتاده است. در این شرایط در اثر حرکت زمین در قسمت‌های بالای زمین لغزش شیب کاهش و در بخش‌های پایین زمین لغزش شیب افزایش می‌یابد. گاهی نیز در بخش‌های بالای زمین لغزش جهت شیب خلاف جهت شیب کلی دامنه می‌شود و فروچاله شکل می‌گیرد. کاهش شیب و یا شکل‌گیری فروچاله باعث کاهش سرعت جریان و ته‌نشست رسوبات می‌گردد. در گذر زمان لایه‌ای از رسوبات ریزدانه رسی در بخش‌های بالای زمین لغزش تشکیل می‌شود. این وضعیت در تصویر ب شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین در بخش‌های پایینی زمین لغزش به علت تغییرات ایجاد شده در اثر حرکت زمین، فرسایش تشدید می‌شود و در گذر زمان رسوبات ریزدانه رسی شسته شده و رسوبات درشت‌دانه که در مقابل فرسایش مقاومت بیشتری دارند، باقی می‌ماند. در این شرایط دو بخش کم شیب و متشکل از لایه ریزدانه رسی در کنار یک بخش پر شیب و درشت‌دانه قرار می‌گیرد. در بازدیدهای میدانی به‌عمل آمده در بیشتر محدوده مورد مطالعه پستی و بلندی‌ها زیادی، مشاهده می‌شود که نشان دهنده وقوع زمین لغزش گذشته در محدوده مورد مطالعه است (شکل ۴).



شکل ۴: آثار زمین لغزش‌های قدیمی و فرسایش در بخش پرشیب و رسوب‌گذاری در بخش کم‌شیب (مأخذ: نویسندگان).  
(تصویر الف نقطه a در شکل ۱)، (تصویر ب نقطه b در شکل ۱)، (تصویر ج نقطه c در شکل ۱)، (تصویر د نقطه d در شکل ۱).

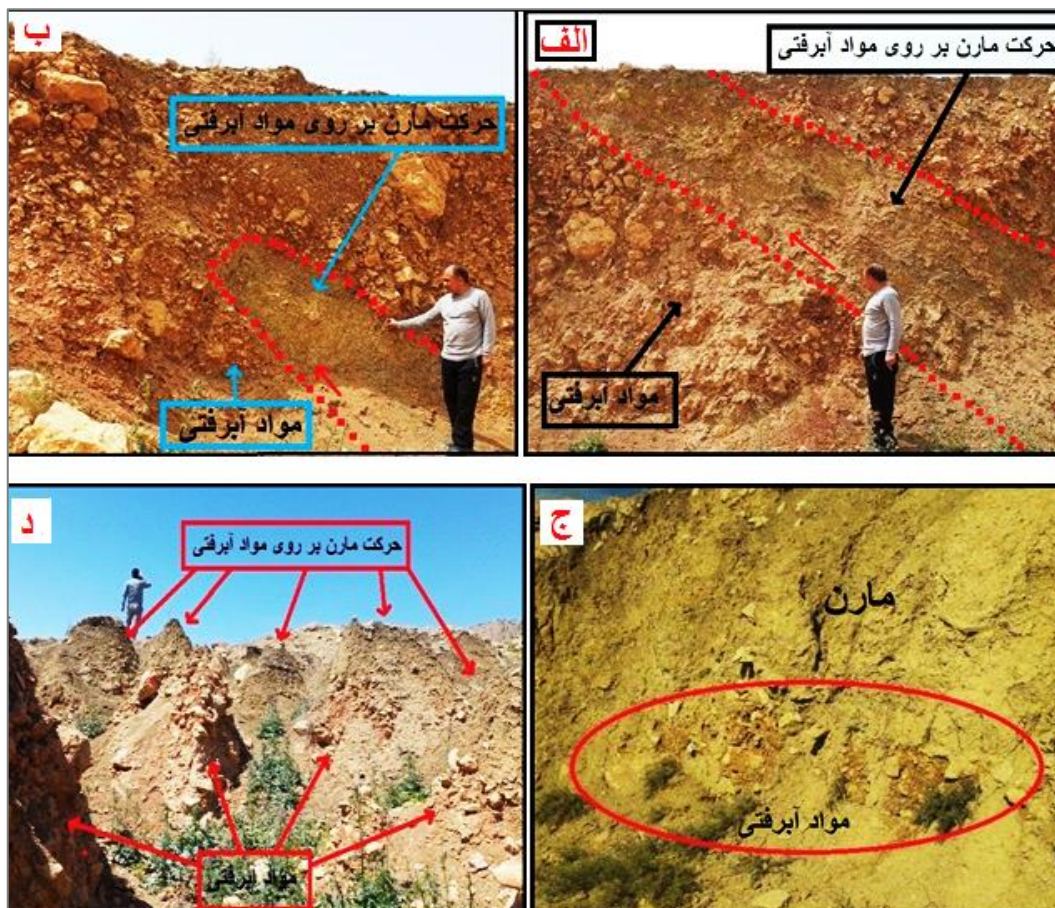
#### شواهد زمین‌شناسی

وقوع زمین‌لغزش باعث به هم ریختگی در شرایط زمین‌شناسی و چینه‌شناسی می‌شود. در زمین‌لغزش‌های چرخشی لایه‌هایی از بخش‌های عمیق‌تر ممکن است به سطح زمین حرکت کند و بر روی لایه‌های سطحی زمین قرار گیرد. ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه متشکل از تناوبی از لایه‌های مارنی و آهکی است. لایه‌های مارنی به علت نفوذناپذیر بودن مانع از حرکت آب‌های زیرزمینی می‌شوند و به علت افت شدید مقاومت در اثر اشباع‌شدگی محل مناسبی برای وقوع زمین‌لغزش هستند. حرکت چرخشی زمین‌لغزش‌ها منجر به بالا آمدن لایه‌های مارنی و قرار گرفتن بر روی لایه‌های آبرفتی کواترنر می‌شوند. این موضوع به طور شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: نحوه قرارگیری و حرکت لایه‌های مارن و آبرفتی (ترسیم: نویسندگان)

در حالت طبیعی لایه‌های سنگی همیشه در زیر لایه‌های آبرفتی کواترنر قرار می‌گیرند و قرارگیری لایه‌های سنگ مارن بر روی رسوبات آبرفتی کواترنر یک حالت غیرعادی در زمین‌شناسی را نشان می‌دهد. در محدوده مورد مطالعه در بخش‌هایی از منطقه که در زلزله سال ۱۳۹۶ دچار لغزش نشده، شواهدی از قرارگیری لایه‌های مارنی بر روی لایه‌های آبرفتی دیده می‌شود که نشان دهنده وقوع لغزش در زمان‌های گذشته و قبل از زمین‌لغزش سال ۱۳۹۶ است. در شکل ۶ نمونه‌هایی از این شواهد نشان داده شده است.



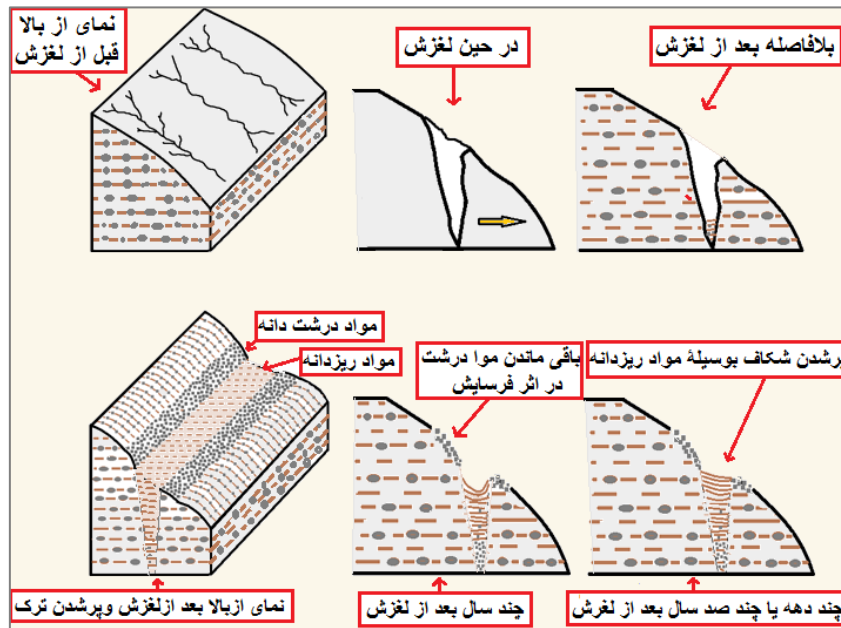
شکل ۶: نحوه فرارگیری و حرکت لایه‌های مارن و آبرفتی در محدوده مورد مطالعه (مأخذ: نویسندگان) (تصویر الف نقطه e در شکل ۱)، (تصویر ب نقطه f در شکل ۱)، (تصویر ج نقطه G در شکل ۱)، (تصویر د نقطه h در شکل ۱).

زمین‌لغزش‌های بزرگ دنیا یکی از عوامل اصلی تولید رسوب با حجم بالا معرفی شده‌اند و نتایج مطالعات نشان می‌دهد که یک دوره چندساله بعد از وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی زلزله یا بارندگی‌های شدید، باعث فرسایش رسوب زیادی می‌شود (کروپ<sup>۸</sup>، ۲۰۱۲). زمانی که زمین‌لغزش در اثر امواج کششی زمین‌لرزه اتفاق می‌افتد می‌تواند باعث گسیختگی‌ها و ترک‌های کششی اولیه بر روی دامنه‌ها گردد (سانوی<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). این ترک‌ها و شکاف‌ها ایجاد شده در فرایند فرسایش و رسوب‌گذاری تأثیرگذار هستند و به علت اختلاف ارتفاعی که این ترک‌ها و شکاف‌ها با بخش‌های حاشیه‌ای خود دارند طی فرایند فرسایش به مکانی برای تجمع رسوبات ریزدانه تبدیل می‌شوند و پس از گذشت زمان در اثر فرسایش محیط اطراف خود، با رسوبات ریزدانه رسی پر می‌شوند. در یک نگاه کلی محل این شکاف‌ها در سطح زمین به صورت بخش‌هایی با توپوگرافی هموار و مسطح با بافت کاملاً نرم و صاف تشکیل شده‌اند که از نظر دانه‌بندی و بافت خاک با سنگ‌ها و خاک‌های حاشیه خود متفاوت هستند.

<sup>8</sup> Korup

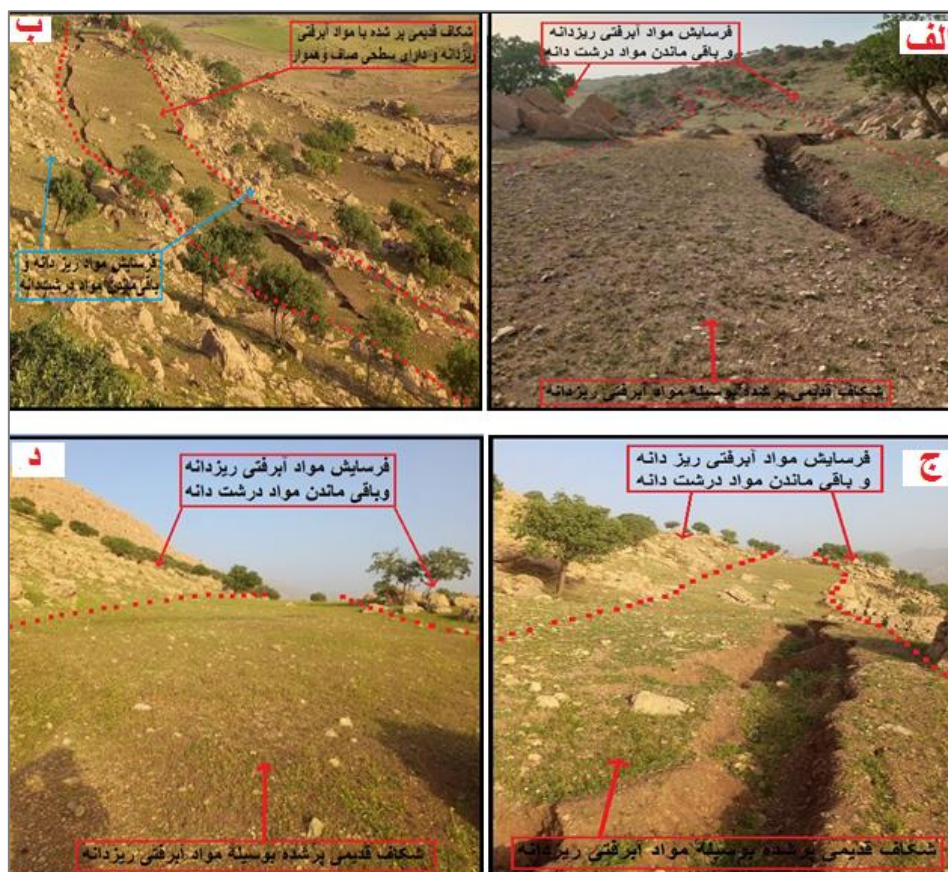
<sup>9</sup> Sanwei

اما در بخش حاشیه‌ای آن‌ها به علت فرسایش رسوبات ریزدانه، دارای سطحی خشن و از قلوه‌سنگ‌های درشت‌دانه تشکیل شده‌است. در شکل ۷ به‌طور شماتیک مراحل فرسایش و رسوبگذاری شکاف‌های ناشی از لغزش را نمایش می‌دهد.



شکل ۷: ایجاد شکاف ناشی از زمین لغزش و پر شدن آن‌ها به وسیله مواد آبرفتی بعد از گذشت زمان (ترسیم: نویسندگان)

در محدوده مورد مطالعه، مکان‌هایی مشاهده می‌شود که دارای سطحی هموار و مسطح با بافتی بسیار نرم و ریزدانه و در حاشیه آن‌ها از قلوه‌سنگ‌های درشت‌دانه تشکیل شده است. این شواهد نشان‌دهنده رخداد زمین لغزش قدیمی در منطقه است (شکل ۸).



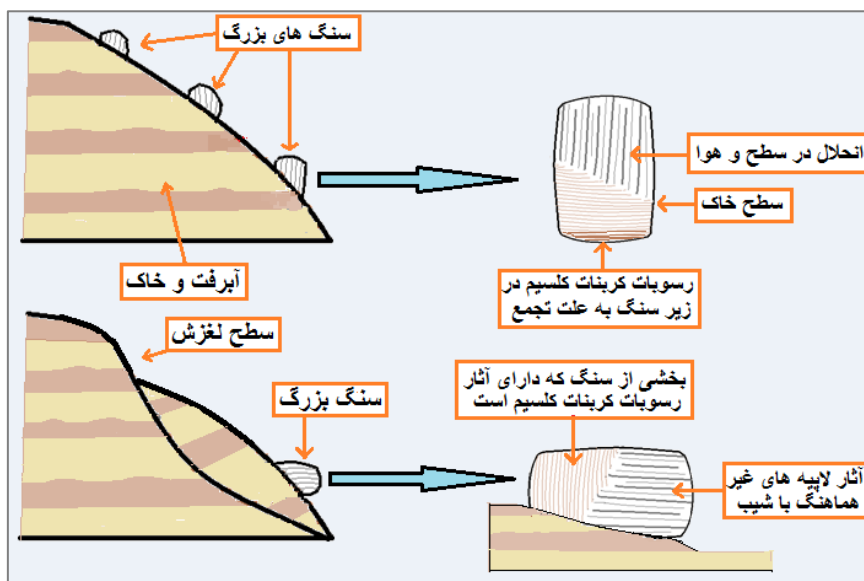
شکل ۸: آثار شکاف‌های قدیمی و پر شدن آن‌ها به وسیله مواد آبرفتی (مأخذ: نویسندگان). (تصویر الف نقطه‌آدر شکل ۱)، (تصویر ب نقطه‌آدر شکل ۱)، (تصویر ج نقطه‌آدر شکل ۱)، (تصویر د نقطه‌آدر شکل ۱).

ترک‌های پر شده با رسوبات ریزدانه می‌تواند در اثر لغزش‌های بعدی دچار ترک‌خوردگی شود. در این حالت رسوباتی با بافتی متفاوت از حاشیه خود درون این ترک‌ها شکل می‌گیرند. گاهی درشت‌دانه تر و گاهی نیز ریزدانه‌تر است. نیمرخ این شکاف‌ها قدیمی پر شده به وسیله مواد آبرفتی، در اثر شکاف‌های ایجاد شده ناشی از زمین‌لغزش اخیر در چند مکان مشاهده می‌شود که می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از شواهد وقوع زمین‌لغزش قدیمی در محدوده مورد مطالعه به شمار آید (شکل ۹).



شکل ۹: نیمرخ شکاف‌های قدیمی پر شده به وسیله مواد آبرفتی (مأخذ: نویسندگان). (تصویر الف نقطه m در شکل ۱)، (تصویر ب نقطه n در شکل ۱)،

از دیگر شواهد شناسایی زمین‌لغزش‌های قدیمی جابجایی و حرکت سنگ‌ها در اثر زمین‌لغزش است. زمین‌لغزش باعث حرکت رو به پایین مواد سازنده دامنه‌ها اعم از سنگ، خاک یا مخروطی از این مواد می‌شود (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱). قبل از رخداد زمین‌لغزش، بخشی از سنگ‌های سطح دامنه داخل خاک و بخش دیگر آن بیرون از خاک بوده است. در بخش بیرونی آن‌ها در اثر بارندگی، لایه‌ها و آثار انحلالی آن‌ها به صورت عمودی بر روی سنگ، می‌شود. اما در بخشی که داخل خاک است به علت رسوب‌گذاری کربنات کلسیم آثار سمتاسیون کربنات کلسیم باید در آن‌ها مشاهده شود. زمانی که زمین‌لغزش اتفاق می‌افتد در اثر حرکت مواد، سطح اولیه دامنه باعث تغییرات شده و امتداد لایه‌های روی سنگ در جهت خلاف اولیه یا قائم قرار می‌گیرند و آثار رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در قسمتی از سنگ که داخل خاک بوده است رخنمون پیدا می‌کند و یا جهت لایه‌ها در جهتی غیر عمود بر سطح افق دیده می‌شود. طبیعتاً با گذشت زمان آثار لایه‌های قدیمی کمتر و لایه‌های جدید در سطح سنگ ظاهر می‌شود. در شکل ۹ طرح شماتیکی برای این موضوع ترسیم شده است.



شکل ۹: جابجایی و حرکت سنگ‌ها در اثر زمین لغزش و طرز قرار گرفتن لایه‌ها (ترسیم: نویسندگان)

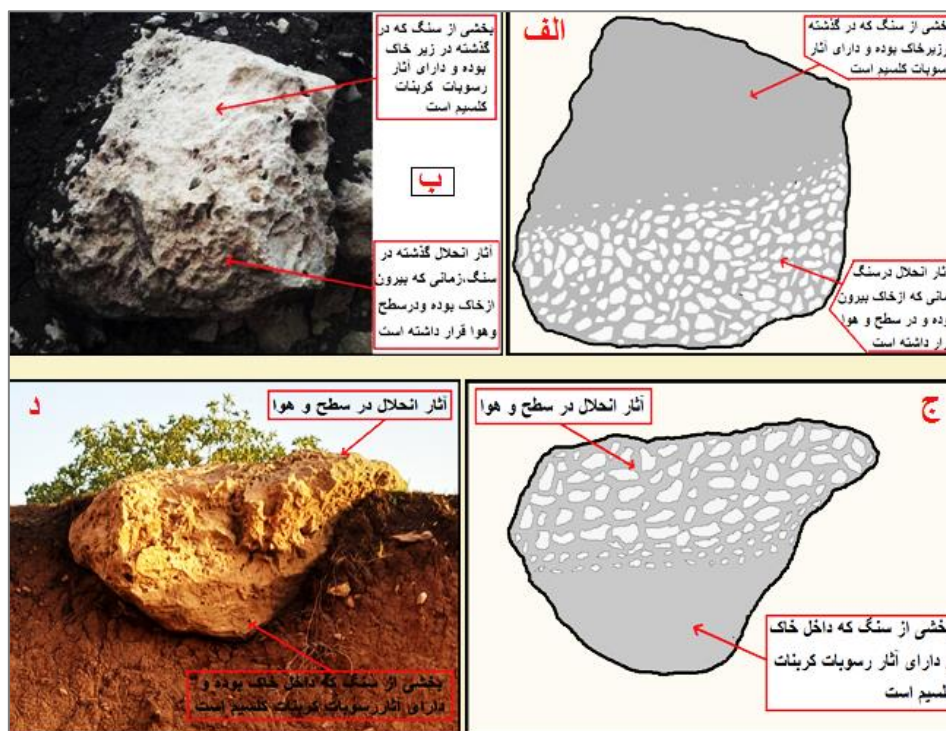
در محدوده مورد مطالعه سنگ‌هایی - که در زمین لغزش سال ۱۳۹۶ جابجا نشده‌اند - مشاهده می‌شوند که آثار لایه‌های آن‌ها غیر هماهنگ با شیب دامنه است و بخشی از آن که در گذشته داخل خاک بوده، دارای آثار رسوبات کربنات کلسیم است. ولی در حال حاضر این بخش از سنگ در سطح و مجاورت هوا قرار گرفته است. در شکل ۱۰ نمونه‌هایی از این سنگ‌ها نشان داده شده است. در این شکل تصویر (د)، پشت سنگ تصویر (ج) را نشان می‌دهد که در گذشته داخل خاک بوده و آثار رسوبات کربنات کلسیم در آن مشاهده می‌شود. این شواهد بیانگر این است که زمین لغزش قدیمی در این محدوده مورد مطالعه، اتفاق افتاده است. انحلال سنگ‌ها منجر به ایجاد حفره‌های کوچکی می‌شود. این حفره‌های کوچک را لایه یا کارن‌های حفره‌ای می‌نامند که بیشتر در سنگ‌های آهکی و دولومیتی دیده می‌شود (پاولوپولوس<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). در حالت عادی عموماً حفرات در بخشی از سنگ که خارج از سطح زمین است مشاهده می‌شود و در بخش‌های زیرین که درون زمین قرار دارد آثار انحلالی یا دیده نمی‌شود و یا کمتر است. زمانی که زمین لغزش اتفاق می‌افتد مواد در روی دامنه به حرکت می‌آید و توده‌هایی از مواد سنگی و خاک به طرف پایین دامنه جابه‌جا می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۸۵). در این شرایط ممکن است بخش‌های بالایی و پایینی سنگ‌ها جابجا شده و آثار انحلالی در زیر سطح سنگ و بخش‌های بدون آثار انحلالی و حتی دارای رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در سطح زمین قرار می‌گیرند.

<sup>10</sup> Pavlopoulos



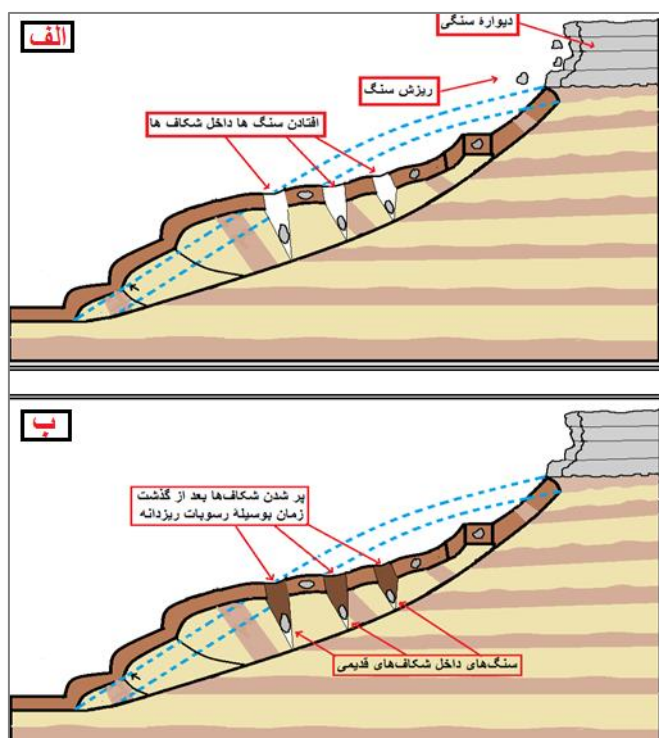
شکل ۱۰: نمونه‌ای از سنگ‌هایی که لایه‌های آنها غیر هماهنگ با شیب است (مأخذ: نویسندگان). (تصویر الف نقطه ۵ در شکل ۱)، (تصویر ب نقطه p در شکل ۱)، (تصویر ج نقطه ۲ در شکل ۱)، (تصویر د نقطه ۲ در شکل ۱)،

در بازدیدهای به عمل آمده در محدوده مورد مطالعه سنگ‌هایی مشاهده می‌شود که در اثر شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش اخیر نمایان شده‌اند. آثار انحلالی این سنگ‌ها، قبل از وقوع زمین‌لغزش که در سطح و مجاورت هوا قرار گرفته بود؛ در حال حاضر در زیر قرار گرفته است. همچنین آثار رسوب کربنات کلسیم در بخشی از سنگ که در سطح و مجاورت هوا قرار دارد مشاهده می‌شود. در شکل ۱۱ تصویر (د) سنگی را در کنار یک شکاف ناشی از زمین‌لغزش اخیر مشاهده می‌شود. همانطوری که در شکل می‌بینید بخش زیرین این سنگ در اثر رسوبات کربنات کلسیم دارای سطحی صاف می‌باشد و بخش بالایی آن که در مجاورت هوا قرار گرفته است؛ آثار انحلالی در آن مشاهده می‌شود. مقایسه این تصویر با تصویر (ب) نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه زمین‌لغزش قدیمی رخ داده است و سنگ‌ها قبلاً حداقل یک‌بار جابجا و دچار حرکت شده است.



شکل ۱۱: وارونه شدن سنگ در اثر زمین لغزش و مقایسه آن با سنگ‌های تغییر نیافته (ترسیم و مأخذ: نویسندگان (تصویرب نقطه s در شکل ۱)، (تصویرد نقطه t در شکل ۱).

زمین لغزش‌ها یکی از خطرات متداول در نواحی کوهستانی می‌باشند که به شکل گسیختگی دامنه‌ها، ریزش‌های سنگی، لغزش‌های سنگی، لغزش‌های خاکی، بهمن‌های سنگی و واریزه‌های ظاهر می‌شوند (بلورچی، ۱۳۷۸). در شرایط عادی رسوب‌گذاری قلوه‌سنگ‌ها و قطعات بزرگ سنگی به نحوی درون رسوبات ریزدانه‌تر قرار می‌گیرند که در پایدارترین حالت خود باشد. این حالت عموماً در شرایطی ایجاد می‌شود که جهت طولی سنگ موازی با سطح رسوبات باشد. زمانی که زمین لغزش اتفاق می‌افتد، شکاف‌هایی درون زمین در اثر آن ایجاد می‌شود. قطعات سنگی که در نزدیکی این شکاف‌ها قرار دارند ممکن است به درون این شکاف‌ها حرکت کنند. در این شرایط جهت قرارگیری بخش‌های طولی قطعه‌سنگ‌ها موازی با جهت ترک‌ها خواهد بود. طی بازدیدهای میدانی صورت گرفته رخنمون‌هایی از شکاف‌های قبلی پر شده مشاهده می‌شود که قطعه‌سنگ‌های بزرگی که جهت طولی آن به صورت قائم است، درون آن قرار دارد. در شکل ۱۲ طرح شماتیکی برای نشان دادن این موضوع ارائه شده است و شکل ۱۳ نمونه‌های از سقوط قطعه‌سنگ‌ها درون شکاف‌های قدیمی و رسوب‌گذاری مجدد بر روی این سنگ‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: تصویر الف: افتادن سنگ‌ها داخل شکاف‌ها. تصویر ب: پوشیدن شکاف‌ها و مدفون شدن سنگ‌ها بعد از گذشت زمان (ترسیم: نویسندگان)

در (شکل ۱۳ تصویر الف و ب) فضایی خالی زیر سنگ‌ها نشان دهنده این است که این سنگ‌ها در گذشته داخل شکاف افتاده‌اند. علاوه بر این در تصویر (ب) نشان می‌دهد که سنگ به صورت وارونه داخل شکاف افتاده است؛ به این دلیل که در زیر سنگ آثار انحلال گذشته در زمانی که سنگ بیرون از خاک بوده و در سطح و مجاورت هوا قرار داشته است، دیده می‌شود. در بخش بالای این سنگ آثار رسوبات کربنات کلسیم دیده می‌شود که نشان دهنده این است که این بخش در گذشته داخل خاک بوده است. مقایسه این سنگ‌ها با سنگ‌های تصویر (ج و د) که در زمین لغزش اخیر به داخل شکاف‌ها سقوط کرده‌اند بیانگر این است که در محدوده مورد مطالعه زمین لغزش قدیمی اتفاق افتاده است.



شکل ۱۳: افتادن سنگ داخل شکاف در اثر زمین لغزش و نمونه آن در زمین لغزش اخیر (مأخذ: نویسندگان). (تصویرالف نقطه u در شکل ۱)، (تصویر ب نقطه v در شکل ۱)، (تصویر ج نقطه w در شکل ۱)، (تصویر د نقطه z در شکل ۱).

## نتیجه گیری

در بررسی‌های به عمل آمده در محدوده مورد مطالعه، براساس تکنیک‌های شکل هندسی و توپوگرافی زمین، جابجایی لایه‌های مارن و مواد آبرفتی، رسوب‌شناسی و تحلیل لایه‌های زمین‌شناسی و آثار انحلال بر روی سنگ‌های بزرگ، این نتیجه‌گیری حاصل شد که قبل از رخداد زمین لغزش ناشی از زلزله ۷/۳ ریشتر در سال ۱۳۹۶ در منطقه شمال غرب سرپل ذهاب (مله کبود)، زمین لغزش قدیمی اتفاق افتاده است. شکل هندسی و توپوگرافی زمین در محدوده مورد مطالعه نشان دهنده وقوع زمین لغزش‌های قدیمی است. توپوگرافی زمین در محدوده مورد مطالعه مشابه با توپوگرافی زمین در مناطق لغزش یافته است. در این منطقه بخش‌هایی کم شیب و یا تقریباً افقی در بخش‌هایی بالای دامنه وجود دارد که توسط رسوبات ریزدانه رسی پوشیده شده است. این بخش در واقع افزایش یا بخش بالایی زمین لغزش‌های چرخشی هستند در پایین این قسمت از دامنه بخش‌هایی با شیب زیاد قرار دارد که توسط ذرات درشت زاویه‌دار پوشیده شده است که معادل بخش‌های پنجه زمین لغزش است. درجایی که شیب کمتر است انرژی جریان کمتر بوده، مواد رسوبی تجمع و ته‌نشین شده است. اما در جاهایی که فرسایش اتفاق می‌افتد به علت انرژی بیشتر جریان‌های سیلابی، ذرات ریزدانه رسی به دلیل وزن کمتر فرسایش یافته است. اما ذرات و قلوه‌سنگ‌های درشت به علت وزن بیشتر، جریان سیلابی توانایی حمل این ذرات را نداشته و در محل باقی مانده‌اند.

در نتیجه پس از گذشت زمان قسمت‌های جلویی (بخش پرشیب) از قلوه‌سنگ‌های درشت و قسمت بالای زمین لغزش (بخش کم شیب) از لایه‌های رسی تشکیل شده‌اند. این شواهد نشان می‌دهد؛ که زمین لغزش قدیمی اتفاق افتاده است. ترک‌ها و شکاف‌ها پر شده با مواد آبرفتی یکی دیگر از شواهد وقوع زمین لغزش‌های قدیمی است. محل این شکاف‌ها در سطح زمین به صورت بخش‌هایی با توپوگرافی هموار و مسطح با بافت کاملاً نرم و صاف تشکیل شده‌اند که از نظر دانه‌بندی و بافت خاک با سنگ‌ها و خاک‌های حاشیه خود متفاوت هستند. اما در بخش حاشیه‌ای آن‌ها به علت فرسایش رسوبات ریزدانه، دارای سطحی خشن و از قلوه‌سنگ‌های درشت دانه تشکیل شده‌است. این شواهد بیانگر این است که در گذشته زمین لغزش رخ داده است. حرکت لایه‌های مارن بر روی رسوبات آبرفتی کواترنر نشانه وقوع زمین لغزش در این منطقه است. زمین لغزش باعث حرکت و جابجایی مواد در سطح دامنه شده و در نتیجه این حرکت، لایه‌های سنگی مارن که عموماً باید در زیر مواد آبرفتی قرار گرفته باشد بر روی لایه‌های آبرفتی رانده شده‌اند. این آثار نشان می‌دهد که زمین لغزش قدیمی رخ داده است. در محدوده مورد مطالعه سنگ‌هایی مشاهده می‌شود که امتداد لایه‌ها روی سنگ در جهت خلاف اولیه یا قائم قرار گرفته است و آثار رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در قسمتی از سنگ که داخل خاک بوده است رخ‌نمون پیدا کرده است. این شواهد نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در اثر زمین لغزش جابجا شده و آثار لایه‌های آن غیر هماهنگ با شیب می‌باشد. علاوه بر آثار لایه‌ها، سنگ‌هایی دیگری مشاهده می‌شوند؛ که در اثر شکاف‌های ناشی از زمین لغزش اخیر نمایان شده‌اند. آثار انحلالی این سنگ‌ها، قبل از وقوع زمین لغزش که در سطح و مجاورت هوا قرار گرفته بود در حال حاضر در زیر قرار گرفته است. این شواهد ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که زمین لغزش قدیمی اتفاق افتاده است.

## منابع

- امبرسیز، ن. ملویل، ج. (۱۳۷۰). تاریخ زمین لرزه‌های ایران. ترجمه ابوالحسن رده، تهران، آگاه.
- احمدآبادی، ع. رحمتی، م. (۱۳۹۴). کاربرد شاخص‌های کمی ژئومورفومتریک در شناسایی پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش با استفاده از مدل SVM (مطالعه موردی: آزاد راه خرم آباد - پل زال). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، ص ۲۱۳-۱۹۷.
- احمدی، ح. فیض نیا، س. (۱۳۸۵). سازندهای دوره کواترنر، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
- اسدی، ز. زارع، م. (۱۳۹۴). برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها و ارزیابی بزرگای زمین‌لرزه‌های پیش از تاریخ از داده‌های زمین‌لغزش: مطالعه موردی در دره نور (البرز مرکزی). بهار ۱۳۹۴، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، ص ۷۸-۶۸.
- بلورچی م. انصاری ف. (۱۳۷۸). بهمن واریزهای آبیکار در استان چهار محال و بختیاری، مجموعه مقالات اولین همایش محیط و زمین‌شناسی مهندسی، تهران ص ۷.
- تاربوک، ا. فردریک، ج. (۱۳۶۸). مبانی زمین‌شناسی. ترجمه رسول اخروی، تهران، انتشارات مدرسه.
- تقیان، ع. شیرانی ک. بابلی مؤخر، ح. (۱۳۹۷). ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تلفیقی فاکتور اطمینان و رگرسیون لجستیک با بکارگیری شاخص‌های ژئومورفومتریک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۳، ص ۱۱۶-۹۱.
- زارع، ف. طالبی، ع. مختاری، م. (۱۳۹۷). اولویت‌بندی عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های فرایند محور در روستای آب باد کامفیروز. سال سی و یکم، ص ۷۰-۵۴.
- زارعی، پ. علایی طالقانی، م. طالبی، ع. (۱۳۹۴). بررسی علل وقوع لغزش‌های سطحی در منطقه جوانرود با استفاده از مدل فرایند محور. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۵۳-۱۳۸.
- قهرودی، م. صدوق، س. احتشامی، م. افشاری، ا. (۱۳۹۸). کاربرد شاخص‌های مورفوتکتونیک در تحلیل مخاطرات زمین‌لغزش در راه آهن ناحیه لرستان. مدیریت مخاطرات محیطی. دوره ۶، شماره ۱. صص ۶۶-۵۱.
- کامران‌زاده، ف. محصل افشار، ع. مجرب، م. معماریان، ح. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی. سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، صص ۱۱۴-۱۰۱.
- مرادی، ح. محمدی، م. پورقاسمی، ح. (۱۳۹۱). حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای) با تأکید بر روش‌های کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش. انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب انسانی دانشگاهها (سمت)، تهران، صص ۲۲۴.
- Dahal, R.K., Hasegawa, Sh., Nonoura. A., Yamanka, M., Dhakal, S., Paudyal., P. 2008, Predictive modeling of rainfall-induced landslide hazard in the lesser Himalaya of Nepal based on weights of evidence, *Geomorphology*, 102, 496- 510.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Boll, J., Elliot, W.J., Flotz, R.B. 2006. Spatially and temporally distributed of landslide susceptibility. *Geomorphology*, 80, 178-198.
- Korup, O., J.J. Clague. 2012. Natural hazards, extreme events, and mountain topography. *Quaternary Science Reviews*. 28: 977-990.
- Lee, E.M., Jones, D.K.C. (Editors). 2004. *Landslide risk assessment*. Thomas Telford, London, 454pp.
- Orsevski, P.V., Gessler, P.E., BOLL, J., Elliot, W.J., Flotz, R.B. 2006. Spatially and temporally distributed of landslide susceptibility, *Geomorphology*, 80, 178-198.
- Pavlopoulos, K., Evelpidou, N. and Vassilopoulos, A. 2009. *Mapping Geomorphological Environments*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg.

- Pedram, H. 1991- Earthquakes, Tectonics Activities and Landslides, Proceeding of the first international conference on Seismology and Earthquake Engineering, Vol. I. May 27-29.
- Sakar, S., Kanungo, D.P., Mehrotar, G.S. 1995. Landslide Zonation: A Case Study in Garhwal Himalaya, India, Mountain Research and Development. Vol.15, No. 4:301-309.
- 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.
- Talaei, R. 2018. A combined model for landslide susceptibility, hazard and risk assessment. AUT Journal of Civil Engineering, 2(1): 11-28.
- Talebi, A., Troch, P. A., Uijlenhoet, R. 2008. A steady state analytical slope stability model for complex hillslope, Hydrological Processes, No. 22, Pp. 546-553.
- Varnes, D.J., Slope Movement Types and Process in R.L. Schuster & R.J. Krizek, (Eds.), Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board, Pp. 11- 33, 1978.
- Wang, Ying, Chongzhen Song, Qigen Lin, and Juan Li. 2016. Occurrence Probability assessment of Earthquake-Triggered Landslides with Newmark Displacement Values and Logistic Regression: The Wenchuan Earthquake, China. Geomorphology 258 (Supplement C): 108-19
- Yin, K.J. and Yan, T.Z. 2009. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. Proceeding of the 5th International Symposium on Landslides Lausanne, Switzerland, 2, 1269-1272.
- Zezere, J.L. landslide in the north of Lisbon region (portugl): conditioning and triggering factors, phys. chem. earth(A), Vol, 24:925, 1999.