

## زمین لغزش بزرگ سیمره و توالی پادگانه‌های دریاچه‌ای

مجتبی یمانی\* - دانشیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران  
ابوالقاسم گورابی - استادیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران  
صمد عظیمی راد - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۲/۲۳      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۳/۲۳

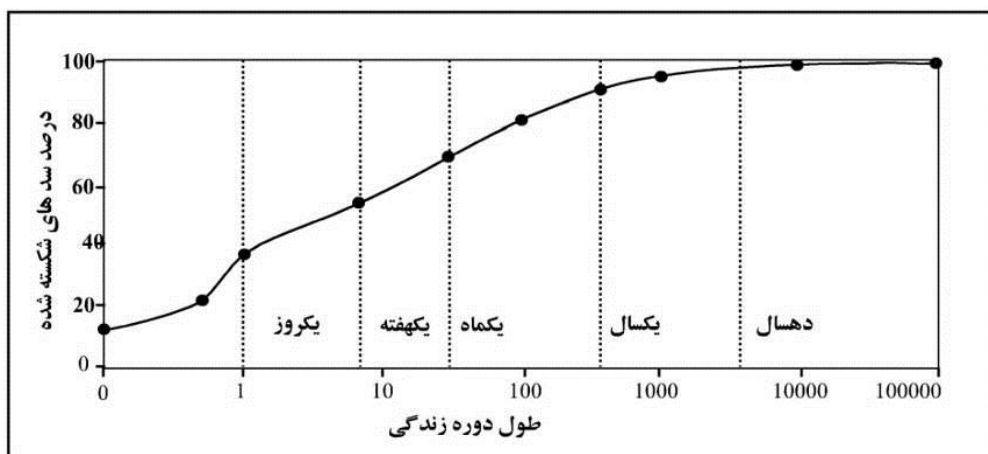
### چکیده

پادگانه‌های دریاچه‌ای سیمره، در بالادست زمین لغزش سیمره، به‌عنوان بزرگترین لغزش جهان، بیانگر احتمال رخداد مکرر لغزش هستند. هدف این پژوهش تعیین وسعت و توالی پادگانه‌های اشاره‌شده و ارتباط آنها با ویژگی زمین لغزه‌های روی داده است. برای دستیابی به این هدف، از تصاویر ماهواره‌ای ETM 2002 و IRS سنجنده‌ی Pan و Liss III (سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶)، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های رقومی DEM SRTM ده متر و نرم‌افزارهای ArcGis، به‌عنوان ابزارهای اصلی پژوهش استفاده شده است. روش پژوهش تجربی و برپایه‌ی تحلیل داده‌های میدانی است. برای این کار، ابتدا ارتفاع پادگانه‌ها و فاصله از بستر فعال رودخانه و گسترش آنها تعیین و روی نقشه انتقال داده شده است. سپس مورفومتری آنها از طریق اندازه‌گیری و ترسیم مقاطع، نیم‌رخ‌ها و تلفیق داده‌های رسوب‌شناسی پادگانه‌ها تحلیل شده است. نتایج به‌دست‌آمده از طریق مقایسه‌ی مکانی - زمانی مستند به ترتیب و توالی پادگانه‌ها نشان می‌دهد که در مسیر رودخانه‌ی سیمره، چهار پادگانه با اختلاف ارتفاع ۶۳۰، ۵۹۵، ۵۸۵ و ۵۷۵ متر از سطح دریا تشکیل شده است. ضخامت و گستره‌ی پادگانه‌ها، رسوب‌شناسی، مورفومتری و به‌ویژه سطوح ارتفاعی آنها، به‌خوبی روشن می‌کند که لغزش سیمره در سه یا چهار مرحله تکرار شده است. مقیاس لغزش‌های بعدی کوچکتر از لغزش اصلی و اولیه بوده است. تکرار لغزش در مقیاس‌های متفاوت، موجب تشکیل دریاچه‌های سدی در مسیر رودخانه‌های سیمره و کشکان شده است. در فرآیند سرریز شدن این دریاچه‌ها، سد لغزشی بریده‌شده و پس از تخلیه‌ی مجدد دریاچه و حفر رسوبات ته‌نشین شده در کف آن، پادگانه‌های دریاچه‌ای مورد اشاره در مسیر رود سیمره، به جای مانده‌اند. روشن است، تعیین سن پادگانه‌های دریاچه‌ای موجود، می‌تواند نتایج دقیق‌تری از زمان وقوع لغزش‌های مورد اشاره به‌دست دهد.

کلیدواژه‌ها: پادگانه‌ی دریاچه‌ای، رود کشکان، رود سیمره، سد لغزشی، لغزش سیمره.

## مقدمه

سدهای لغزشی، نتیجه‌ی انسداد طبیعی آبراهه‌های رودخانه‌ای توسط حرکات توده‌ای است (Costa, 1991). احتمال تشکیل یک سد کامل، به عرض دره، اندازه‌ی دانه‌ها و رسوبات، شدت لغزش، حجم مواد جابه‌جا شده، تنش برشی و ظرفیت انتقال جریان بستگی دارد (Ermini, 2006). عوامل مؤثر در ایجاد سد لغزشی، شکل دره در ارتباط با هندسه و حجم واریزه، ویژگی‌های واریزه‌ی لغزشی و دبی رودخانه هستند (Evans, 2006). به‌طور معمول، بیشتر دریاچه‌های سدّی لغزشی در مدّت کوتاهی پس از وقوع لغزش تشکیل می‌شوند. پس از پُرسدن دریاچه‌ی حاصل، آب سد سر ریز کرده و موجب شسته‌شدن دیواره‌ی سدّ لغزشی و سرانجام تخریب و تخلیه دریاچه می‌شود (Ermini, 2006).



شکل ۱. منحنی طول عمر سدهای لغزشی (Ermini, 2006)

سدهای لغزشی به‌وسیله‌ی فرآیندهای گوناگونی شامل سرریزی، نفوذ آب، سرریز در اثر امواج ناشی از لغزش، شکست دامنه‌های بالادست یا پایین‌دست جریان و تأثیر فعالیت‌های انسانی شکسته می‌شوند. فعالیت نوع اخیر، به‌طور معمول از طریق حفر مجرا روی سدّ لغزشی اعمال می‌شود (Evans, 2006).

در ایران تشکیل دریاچه‌های سدّی ناشی از لغزش در دره‌های کوهستانی زاگرس و البرز به فراوانی وجود دارند. همچنین در البرز مرکزی، گدازه‌هایی که از قلّه‌ی دماوند به طرف دره‌ی هراز سرازیر شده‌اند، سدهای گدازه‌ای بزرگی در مسیر رودخانه‌های هراز و لار به‌وجود آورده‌اند. در پشت این سدها، هم‌زمان با تشکیل دریاچه، موادّ رسوبی نیز ته‌نشین شده است. بعدها با تخریب این سدها پادگانه‌های متعدّدی در مسیر این دره‌ها به‌وجود آمده‌اند. دریاچه‌های سدّی لغزشی با دو رویکرد مطالعه می‌شوند؛ از دیدگاه کاربردی که به خطرها و خسارت‌هایی مثل سیل‌های بزرگ که در نتیجه‌ی این رخداد ایجاد به راه‌های مطالعه و جلوگیری از آن می‌پردازد و رویکرد بنیادی دیگر، تشکیل و تحوّل پادگانه‌های دریاچه‌ای و شرایط و عوامل مؤثر بر آنها را مشخص می‌کند.

بررسی توالی‌ها، چینه‌ها و جریان‌ها، راهی برای تعیین تغییرات تکتونیکی و اقلیمی گذشته است. پادگانه‌های دریاچه‌ای اطلاعات بسیار زیادی برای تطابق مراحل رسوب‌گذاری با تغییرات محیط طبیعی و انسانی و نشانه‌ی تغییرات

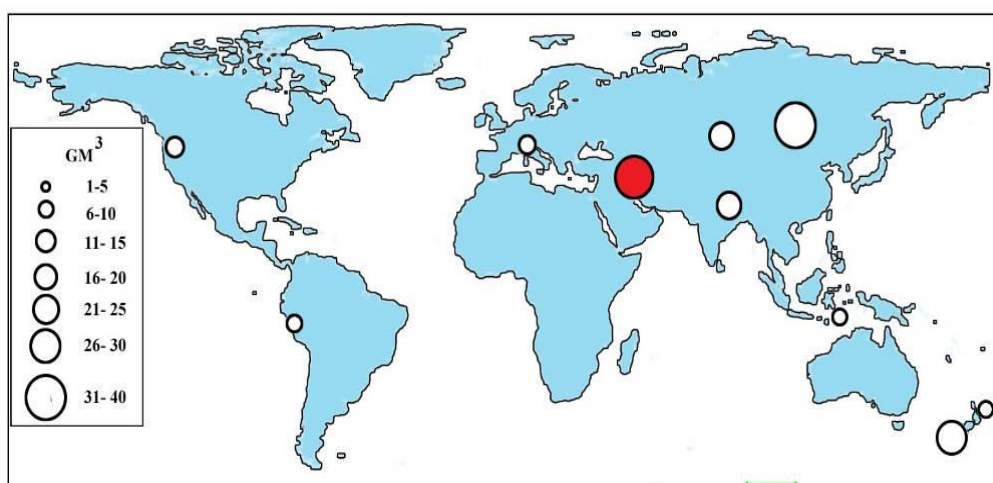
رژیم آبرفتی و محیط رسوبی هستند (Warner, 1972; Young, 1982). یک پادگانه‌ی دریاچه‌ای می‌تواند با فرسایش خطوط ساحلی، انباشت‌های رسوبی و ترکیبی از این فرآیندها تشکیل شود (Cheetham et al., 2010). پادگانه‌های دریاچه‌ای، در نتیجه‌ی تشکیل دریاچه‌های سدّی در درّه‌های کوهستانی ایران، در نقاط مختلفی تشکیل شده‌اند. برای نمونه، نهشته‌های دریاچه‌ای درّه‌ی لاسم در البرز مرکزی، موجب تشکیل پادگانه‌هایی به ارتفاع بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر شده است. این پادگانه‌ها تناوبی از رسوبات دریاچه‌ای و رودخانه‌ای هستند. همچنین در درّه‌ی لار بعد از شکستن دریاچه‌ی سدّی، نهشته‌های دریاچه‌ای به شکل چند پادگانه در دامنه‌های درّه‌ی لار برجای مانده‌اند. تعداد پادگانه‌ها در نقاط مختلف ایران متفاوت است. در درّه‌ی طالقان، پنج سطح پادگانه‌ای مربوط به دوره‌های یخچالی گونز، میندل، ریس، وورم و جنگ ترویا وجود دارد. در دشت سیستان تعداد چهار سطح پادگانه دریاچه‌ای تشکیل شده است و در منطقه‌ی مکران، پادگانه‌ها نشان‌دهنده‌ی چهار دوره فرسایشی هستند (علایی طالقانی، ۱۳۸۱).

ایران در ناحیه‌ی فعال تکتونیکی، همراه با رشته کوه‌های بزرگ زاگرس و البرز، شرایط را برای وقوع زمین‌لغزش‌های درّه‌ای و تشکیل دریاچه‌های سدّی لغزشی فراهم آورده است.

بزرگترین لغزش‌های جهان مربوط به ماقبل تاریخ هستند، اما بقایای آنها عوارض مورفولوژیک مهمی را در سطح زمین به نمایش گذاشته‌اند (Schuster & Highland, 2003). کمابیش ۸۵ سال از شناخت لغزش سیمره می‌گذرد. نخستین مطالعات در زمینه‌ی سیمره از سوی دمورگان<sup>۱</sup> انجام گرفته که به اشتباه واریزه‌های این لغزش را به‌عنوان رسوبات یخچالی مورد بررسی قرار می‌دهد. این امر، به دلیل مورفولوژی و حجم زیاد واریزه‌های لغزشی بوده است. هریسن<sup>۲</sup> و فالکون<sup>۳</sup> (۱۹۳۷) نخستین کسانی بودند که این عارضه را به‌عنوان یک لغزش مورد مطالعه قرار دادند و توصیفی کلی از ابعاد لغزش و مورفولوژی آن بیان کردند. هریسن و فالکون (۱۹۳۶)، همچنین در مورد عامل محرک مؤثر در ایجاد لغزش و سازوکارهای حرکتی آن بحث کردند (Harrison & Falcon, 1936, 1937). ارزیابی ابرلندر<sup>۴</sup> (۱۹۶۵) از پیش شرط‌های ژئومورفیک شکست دامنه‌ای، موجب توجه بیشتر به زمین‌لغزش‌ها شد. به باور او این لغزش قبل از دوره‌ی تاریخی و در حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش رخ داده است (Oberlander, 1965). واتسن و رایت<sup>۵</sup> (۱۹۶۹) روی مراحل پایانی انتقال و جابه‌جایی واریزه براساس ویژگی‌های سطحی آن بحث می‌کنند (Watson & Wright, 1969). ارزیابی برگ‌ریزان (۱۳۷۳)، زمین‌لغزش سیمره و نهشته‌های دریاچه‌ای در جنوب‌غربی پل دختر لریستان را مطالعه کرده و معتقد است، این رویداد با زلزله‌ی مهیب سال ۸۷۲ میلادی همراه بوده است و طی آن، شهر تاریخی سیمره به کلی ویران شده و در حدود ۲۰۰۰۰ نفر کشته شده‌اند (برگ‌ریزان، ۱۳۷۳). شعاعی و غیومیان (۲۰۰۰) توالی‌های نفوذپذیر لایه‌های مارن و شیل و آهک‌های ترک خورده، تکتونیک فعال و دامنه‌های

1. Demorgan  
2. Harrison  
3. Falcon  
4. Oberlander  
5. Watson and Wright

پُرشیب را عامل اصلی در وقوع لغزش سیمره می‌دانند. آنها حجم لغزش را ۲۴ تا ۳۲ میلیارد متر مکعب تخمین زده‌اند (Shoaei & Ghayoumian, 2000). بهارود (۱۳۸۷) عامل اصلی حرکت، ازهم‌گسیختگی و ایجاد ناپایداری در این زمین لغزش را زلزله می‌داند. افزون‌بر آن، عوامل مهم دیگری مانند عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی و آب نیز، در رخداد آن مؤثر بوده‌اند (بهاروند، ۱۳۸۷). رابرتز<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) سازوکارهای شکست و انتقال و جابه‌جایی واریزه‌ها را در لغزش سیمره مطالعه کرده و پس از اندازه‌گیری‌های دقیق، این لغزش را بزرگترین لغزش جهان می‌داند (رابرتز، ۲۰۰۸).

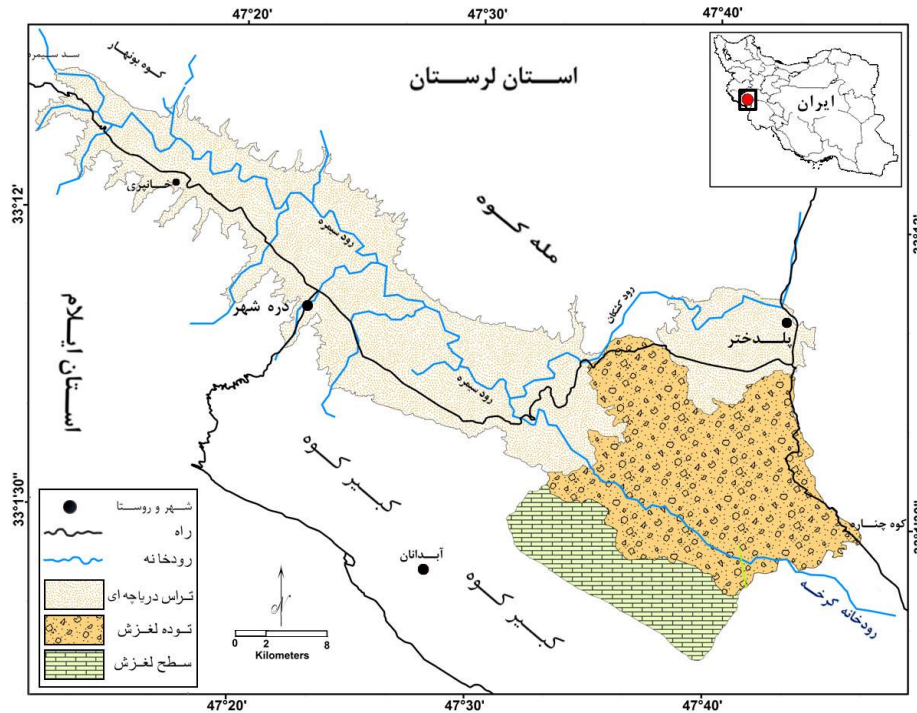


شکل ۲. اندازه‌ی نسبی بزرگترین زمین لغزش‌های جهان و موقعیت زمین لغزش سیمره (رابرتز، ۲۰۰۸).

در منطقه‌ی مورد مطالعه، انسداد رودخانه‌ی سیمره به‌وسیله‌ی لغزش بزرگ سیمره، سبب تشکیل دریاچه‌ای در پشت این لغزش در گذشته شده است. بررسی میدانی مقدماتی، وجود پادگانه‌های دریاچه‌ای و رودخانه‌ای متعددی را در مسیر آبراهه‌ی سیمره و کشکان رود و درست در بالادست توده‌ی لغزشی سیمره آشکار می‌کند. عدم وجود چنین پادگانه‌هایی با این وسعت و حجم در دیگر نقاط، و در تمامی طول مسیر رودخانه‌ی سیمره، آشکارا تأثیر این لغزش را در تشکیل چنین پادگانه‌هایی با این شکل و ابعاد توجیه می‌کند. به‌ویژه آنکه توالی آنها از نظر ویژگی‌های مورفومتریک نیز منحصر به فرد است. هدف این پژوهش، تعیین وسعت و توالی پادگانه‌های مذکور و ارتباط ویژگی‌های مورفومتریکی آنها با فرآیند تشکیل زمین لغزش بزرگ سیمره است.

### منطقه‌ی مورد مطالعه

زمین لغزش سیمره در محدوده‌ی رشته‌کوه زاگرس غربی (رشته‌ی کبیر کوه) و در منتهی‌الیه حوضه‌های سیمره و کشکان (حوضه‌ی کرخه)، در جنوب‌شرقی استان ایلام و در مرز استان لرستان و در امتداد دره‌ی رود سیمره قرار گرفته است (شکل شماره‌ی ۳).



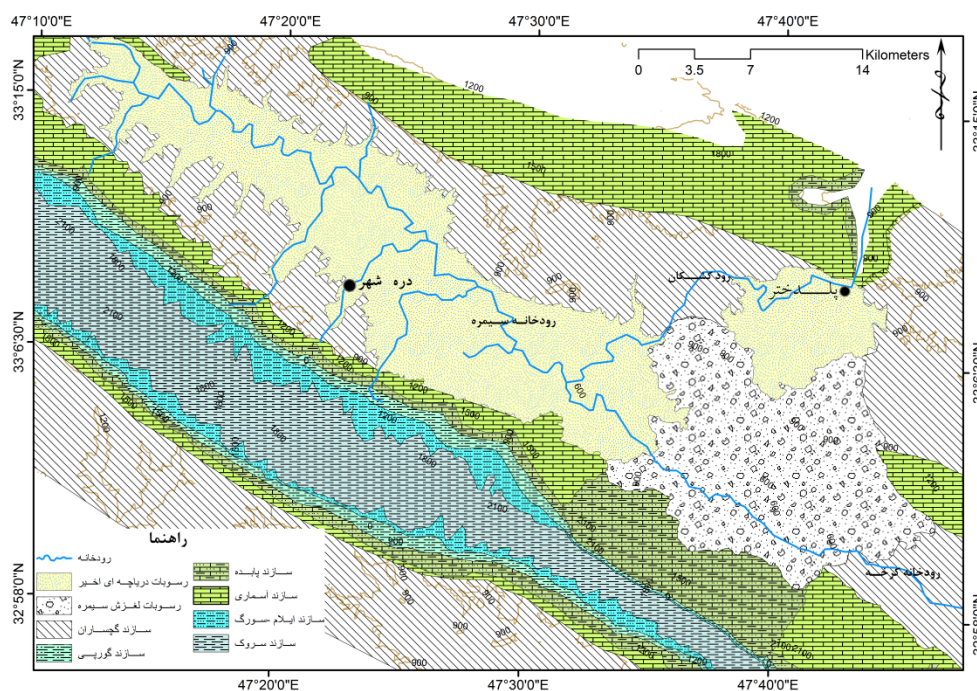
شکل ۳. محدوده‌ی مورد مطالعه

### موقعیت زمین‌ساختی منطقه‌ی مورد مطالعه

برخورد دو صفحه‌ی قاره‌ای عربی و ایران و فرورانش صفحه‌ی عربی در نئوژن، موجب تشکیل فرم کنونی کوه‌های زاگرس و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی و لرزه‌ی زمین‌ساختی شده است (آقابات‌ی، ۱۳۸۳). زاگرس به دو بخش زاگرس رورانده و کمربند چین‌خورده‌ی گسلی تقسیم می‌شود. زاگرس رورانده به دلیل عملکرد گسل‌ها، چین‌های آن تخریب و فرسایش یافته است. در زاگرس چین‌خورده که لغزش سیمره در این محدوده قرار می‌گیرد، چین‌های کمتری تحت تأثیر تخریب قرار گرفته‌اند (Vernant & Chéry, 2006).

فعالیت‌های تکتونیکی در امتداد زاگرس چین‌خورده، به وسیله‌ی وقوع زلزله‌های عمیق مشخص می‌شود. این فعالیت‌ها تأثیر زیادی در وقوع حرکات لغزشی و بهمن‌های سنگی بزرگ در پهلوهای این چین‌ها دارند. پهنه‌ی سیمره، یک پهنه‌ی فعال گسلی با ویژگی‌های نوزمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی ویژه و متأثر از گسل کبیر کوه یا گسل جبهه‌ی کوهستانی است. شواهد نشان می‌دهد که بخش عمده‌ی گسل‌های اصلی این پهنه فعال بوده و از توان بالایی در لرزه‌زایی برخوردارند. وجود تغییر شکل در رسوب‌های جوان نئوژن و کواترنری دشت سیمره، می‌تواند حاکی از فعالیت گسل راندگی، در پایانه‌ی گسل‌های اصلی راستالغز باشد. در این خصوص، امکان وجود راندگی‌های پنهانی در زیر پوشش رسوبی دگرشکل‌شده وجود دارد (بهاروند، ۱۳۸۷). در گسل پنهان طاقدیس کبیر کوه رویدادهای بزرگ زمین‌لرزه با دوره‌ی بازگشت، حدود هفت هزار سال همراه است. رویداد زمین‌لرزه‌ی بزرگ سیمره در دو مرحله روی این طاقدیس، یکی مربوط به حدود ۱۴ هزار سال و دیگری حدود ۷ هزار سال پیش روی داده است. آخرین رویداد زمین‌لرزه روی این چشمه‌ی لرزه‌زا، زمین‌لرزه‌ی سال ۸۷۲ میلادی ماداکتو با بزرگی ۶/۸ ریشتر بوده است (طرح سد و نیروگاه سیمره، ۱۳۷۴).

از نظر زمین‌شناسی، محدوده‌ی مورد مطالعه در منطقه‌ی زاگرس چین خورده<sup>۱</sup> با تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منظم و کشیده با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر با روند شمال غرب - جنوب شرق قرار گرفته است. سازندهای آهکی آسماری و بنگستان که دارای پتانسیل لغزشی بسیار فراوانی هستند، به‌عنوان واحدهای مقاوم و سازندهای پابده، شیل‌های گورپی و گرو را به‌عنوان واحدهای غیرمقاوم و انعطاف‌پذیر می‌توان نام برد (درویش‌زاده، ۱۳۸۰؛ آقاباتی، ۱۳۸۳).



شکل ۴. زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

آب‌وهوای منطقه دارای میانگین درجه‌حرارت سالانه‌ی ۲۲/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل درجه‌حرارت ۹/۴ درجه سانتی‌گراد است و مقدار بارندگی در طول سال، به طور متوسط ۶۰۶/۲ میلی‌متر است. زیرحوضه‌ی سیمره با پیچ و خم زیاد از دامنه‌های شمالی کبیرکوه عبور کرده و با پیوستن رودخانه‌ی کشکان به آن، کرخه نامیده می‌شود. کل وسعت این زیرحوضه همراه با زیرحوضه‌ی کشکان، حدود ۲۸۲۵۰ کیلومتر مربع است (تیرافکن، ۱۳۸۶).

## مواد و روش‌ها

مطالعات پیشین در مورد لغزش سیمره از کتاب‌ها، مقاله‌های داخلی و خارجی، پایان‌نامه‌ها و... گردآوری شده است. تهیه‌ی عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM (۲۰۰۲) و ماهواره‌ی لندست، سنجنده‌ی IRS (Pan) و Liss III (۲۰۰۴ و ۲۰۰۶)، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه‌ی زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ابزارهای اصلی پژوهش را تشکیل داده‌اند. کار میدانی تفصیلی طی چند نوبت روی

پادگانه‌های دریاچه‌ای و لغزش سیمره انجام گرفت. پس از بررسی عکس‌های هوایی و نقشه‌ها و هماهنگی آنها با سطوح پادگانه‌های دریاچه‌ای، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شد. سپس بر اساس یافته‌ها، همبستگی پادگانه‌ها بر پایه‌ی هندسه (الگو و ناهمواری) از روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تعیین شدند. در مرحله‌ی بعد با استناد به داده‌های میدانی و با استفاده از GPS موقعیت، ارتفاع و فاصله‌ی هر یک از پادگانه‌ها نسبت به بستر کنونی رودخانه و سطح لغزش محاسبه شد. از این داده‌ها در تهیه‌ی انواع نیم‌رخ‌های مورد نیاز در تجزیه و تحلیل استفاده شد. همچنین برای تطبیق لایه‌بندی پادگانه‌ها و انطباق آنها در نقاط مختلف، چندین مقطع برداشت شد. لایه‌بندی مقاطع تهیه‌شده با در نظر گرفتن ارتفاع نسبی هر لایه مطابقت و سطوح پادگانه‌ای بازسازی شد. این داده‌ها در تهیه‌ی نیم‌رخ‌های توالی رسوبی پادگانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. بخش دیگر کارهای میدانی روی توده‌ی لغزشی انجام گرفت. در این بخش نیز فرآیند تشکیل لغزش، ارتفاع، حدود گسترش و نحوه‌ی برش توده‌ی لغزشی، مورد بررسی قرار گرفت. سپس نیم‌رخ‌های مورد نیاز در تحلیل آن ترسیم شدند. در نهایت با استناد به یافته‌ها، سطوح گسترش پادگانه‌ها و توالی آنها در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی بازسازی شدند.

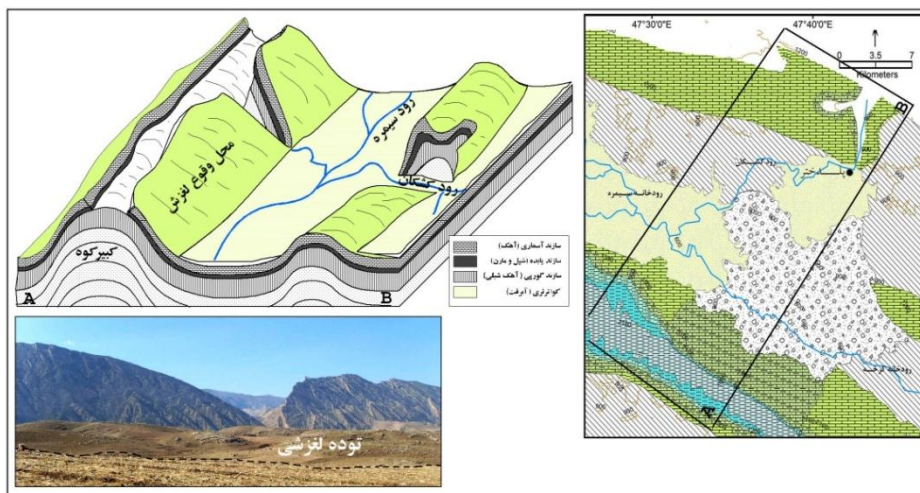
### یافته‌های پژوهش

یافته‌ها شامل دو بخش می‌شود. بخش نخست در مورد لغزش سیمره و بخش دوم در خصوص دریاچه و پادگانه‌های دریاچه‌ای است.

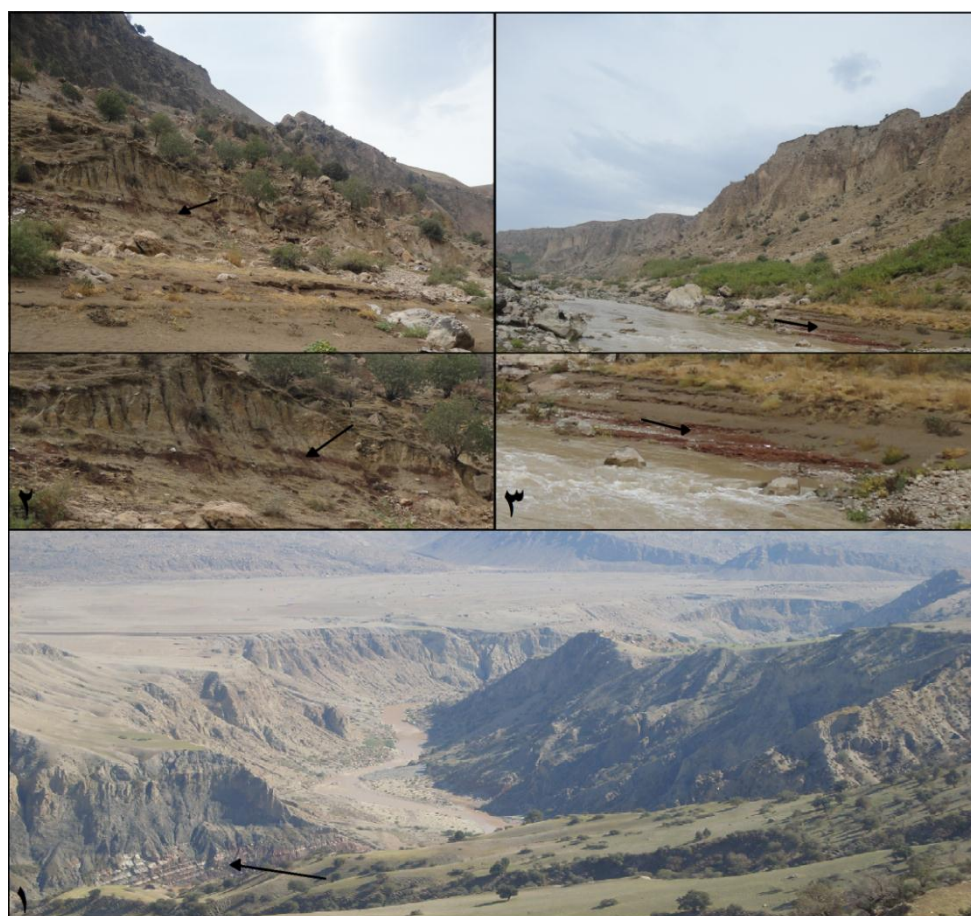
### لغزش بزرگ سیمره (کبیر کوه)

لغزش بزرگ سیمره (کبیر کوه) در دامنه‌ی شمالی رشته‌ی کبیر کوه زاگرس ایجاد شده و عرض دره‌ی ناودیسی رود سیمره را پوشش داده است. این لغزش از طرف جنوب و جنوب‌غربی به تاقدیس کبیرکوه و از شمال به تاقدیس‌های هلوش و ماله‌کوه و از شرق به تاقدیس‌های چناران و تپه‌ماهورهای چناران و گچساران و از غرب به آبرفت‌های بین مناطق چم مهر و هلوش محدود می‌شود (شکل شماره ۵). توپوگرافی دره‌ی رودخانه‌ای پیش از رخداد لغزش مطابق با شکل شماره ۵، نشان‌دهنده‌ی یک دره ناودیسی با عرض ۷ کیلومتر است. در شمال این دره، رودخانه‌ی کشکان جریان داشته و پس از عبور از فرود محوری، دو تاقدیس هلوش و چناره به رودخانه‌ی سیمره می‌پیوندند. محل اتصال این دو رود در پیشانی سطح لغزش قرار داشته و از مهم‌ترین عوامل ناپایداری پهلوی تاقدیس کبیرکوه بوده است.

رود سیمره در دره‌ی ناودیسی کبیرکوه و در ارتفاع حدود ۴۹۱ متری جریان داشته است. این امر با مطالعات میدانی و وجود یک لایه‌ی قرمز رنگ در زیر توده‌ی لغزشی تعیین شده که مربوط به بخشی از سازند گچساران است (شکل شماره ۶). این لایه به احتمال مربوط به رسوب‌های کف ناودیس پیش از وقوع لغزش است که در زیر توده‌ی لغزشی مدفون شده است. در حال حاضر رود سیمره این لایه را حفر کرده و در سطح عمیق‌تری جریان دارد.



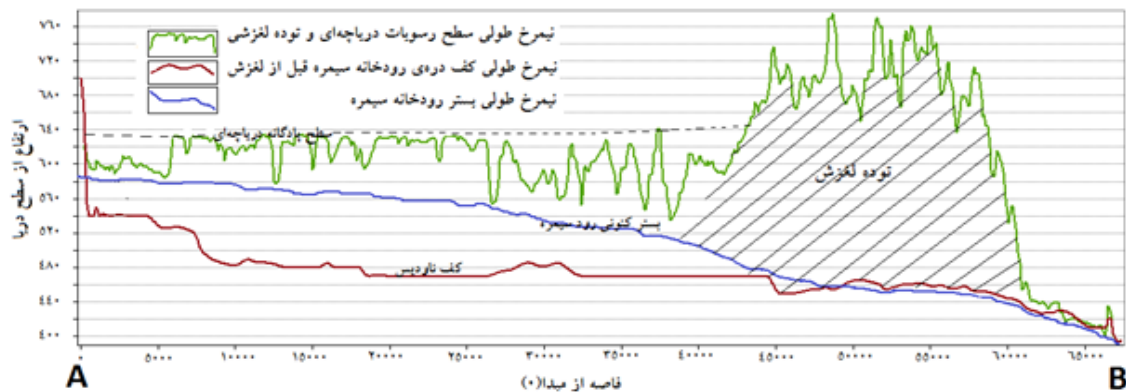
شکل ۵. بلوک دیاگرام دره‌ی رود سیمره پیش از وقوع لغزش بزرگ سیمره و نقشه‌ی زمین‌شناسی موقعیت لغزش



شکل ۶. سازند رسوبی قرمز رنگ سازند گچساران (توالی گچ و مارن قرمز) در زیربنای توده‌ی لغزشی قرار گرفته است. ارتفاع این لایه ۴۹۱ متر است. قسمت پایین نیز دره‌ی ایجاد شده در توده‌ی لغزشی سیمره و رسوبات لغزشی را نشان می‌دهد.



پس از وقوع لغزش بزرگ سیمره تحت تأثیر عوامل گوناگون، شرایط توپوگرافی منطقه به‌طور کامل تغییر کرده است. طول واریزه‌های لغزشی حاصل از لغزش سیمره به‌طور مستقیم (خط مستقیم) ۱۶/۱ کیلومتر و به‌طور متقاطع (در امتداد سطح ناهموار توده‌ی لغزشی) ۲۰/۷ کیلومتر است. مساحت کل توده‌ی لغزشی حدود ۲۱۳/۵۳ کیلومتر مربع است. در گذشته حجم بسیار زیاد مواد جابه‌جا شده، شرایطی برای تشکیل دریاچه‌های سدّی بزرگ فراهم کرده است. وجود رسوب‌های بسیار ریزدانه‌ی دریاچه‌ای سیلتی در ضخامت زیاد این درّه‌ها، بقایایی از دریاچه‌های قدیمی است. دریاچه‌ی رودخانه‌ی کشکان بزرگ و بیش از ۷۰ کیلومتر مربع وسعت داشته است. این دریاچه ابتدا از دریاچه‌ی اصلی جدا بوده، ولی پس از پر شدن سرریز کرده و از طریق مجرایی به دریاچه‌ی اصلی سیمره پیوسته است. رودخانه‌ی کشکان در حال حاضر در این مجرا جریان دارد. مسیر رودخانه کاملاً تغییر کرده است. در این پژوهش دریاچه‌ی بیان‌شده مورد مطالعه قرار نگرفته است. دریاچه‌ی دیگری در شمال‌غربی لغزش، منطبق بر مسیر رودخانه‌ی سیمره تشکیل شده است. حجم رسوب‌گذاری این دریاچه بالا بوده است، به‌طوری که رسوب‌های آن بالاتر از سدّ سیمره مشاهده شده است و در حال حاضر در مخزن سدّ سیمره قرار گرفته‌اند. وجود این رسوب‌ها در بررسی‌های اولیه‌ی سدّ سیمره نیز تأیید شده است. با توجه به وجود رسوب‌های دریاچه‌ای تا ارتفاع ۷۰۰ متر، مساحت دریاچه‌ی مذکور ۲۹۰ کیلومتر مربع برآورد شده است. ضخامت رسوب‌هایی که توسط این دریاچه ته‌نشست شده، حدود ۱۴۴ متر است (شکل شماره ۷).



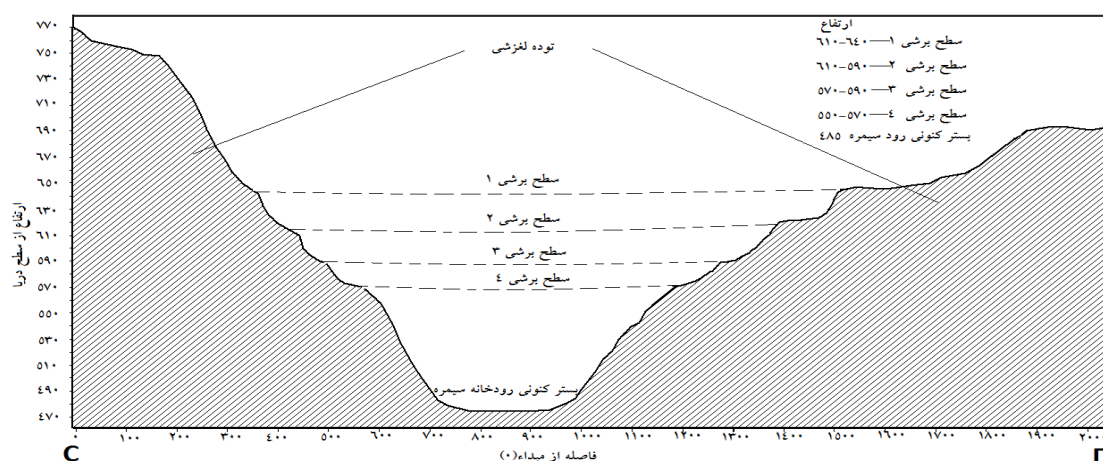
شکل ۷. نیمرخ طولی رود سیمره، کف ناودیس و سطح رسوب‌های دریاچه‌ای

موقعیت نیمرخ در نقشه‌ی سطوح پادگانه‌ای (شکل شماره ۱۲) مشخص شده است.

این امر در بررسی‌های اولیه، نشان‌دهنده‌ی یک محیط دریاچه‌ای بزرگ با حجم رسوب‌گذاری زیاد و پایداری بالا است. با توجه به ارتفاع توده‌ی لغزشی (۸۰۰ متر) و ارتفاع کف مسیرهای متروک که تخلیه‌ی اولیه‌ی دریاچه از طریق آنها انجام شده، ارتفاع سطح آب دریاچه احتمالاً به بیشتر از ۷۰۰ متر می‌رسیده است. ارتفاع رسوب‌های کف این دریاچه ۴۹۵ متر و با توجه به ارتفاع حداکثر سطح آب آن، عمق این دریاچه در پُرآب‌ترین دوره به حدود ۲۰۰ متر هم رسیده است. از طول دوره‌ی زندگی و زمان تخلیه‌ی آن اطلاعات دقیقی در دست نیست، اما ان. جی. رابرتز (۲۰۰۸) زمان وقوع لغزش را با استفاده از تعیین سنّ کربن ۱۴ در حدود ۹۰۰۰ سال برآورد کرده است.

گمان می‌رود، توده‌ی لغزشی به تدریج تحت تأثیر بالا آمدن سطح آب دریاچه، نفوذ، سرریز و نیروی برشی آن شروع

به بریده شدن کرده است. در سطح توده‌ی لغزشی چندین دریاچه در ابعاد مختلف تشکیل شده است. تشکیل این دریاچه‌ها نتیجه‌ی چاله‌های بسته در سطح توده‌ی لغزشی است. بعد از برش توده‌ی لغزشی، این دریاچه‌ها از آبهای نفوذی تغذیه کرده و هم‌اکنون نیز در سطح توده‌ی لغزشی دیده می‌شوند. گمان می‌رود بعضی از آنها با مسیر آبراهه‌های قدیمی در سطح لغزش هماهنگ بوده و با امتداد طولی این آبراهه‌ها انطباق دارند. هم‌اینک رودخانه‌های سیمره و کشکان در دره‌ی کنونی و در ارتفاع ۴۸۵ متری جریان دارند. عمق این دره به‌طور میانگین ۲۰۰ متر است و گمان می‌رود که کل توده‌ی لغزشی را بریده و به سازندهای زیربنای لغزش رسیده است و شاهد آن، وجود لایه‌ی ممتد سازند قرمز گچساران در کف این دره است که رود سیمره آن را بریده است (شکل شماره ۶). با توجه به ارتفاع این سازند (۴۹۱ متر)، کف توده‌ی لغزشی سیمره در منتهی‌الیه توده‌ی لغزشی در ارتفاع ۴۹۱ متری قرار دارد. بررسی‌های میدانی و نیم‌رخ‌های طولی و عرضی تهیه شده چند سطح برشی را در ارتفاعات مختلف نشان می‌دهد. ارتفاع هر یک از این سطوح با GPS اندازه‌گیری شده است (شکل شماره ۸). هر یک از این سطوح پله‌مانند، مربوط به یک دوره فرسایش رود سیمره بوده است.

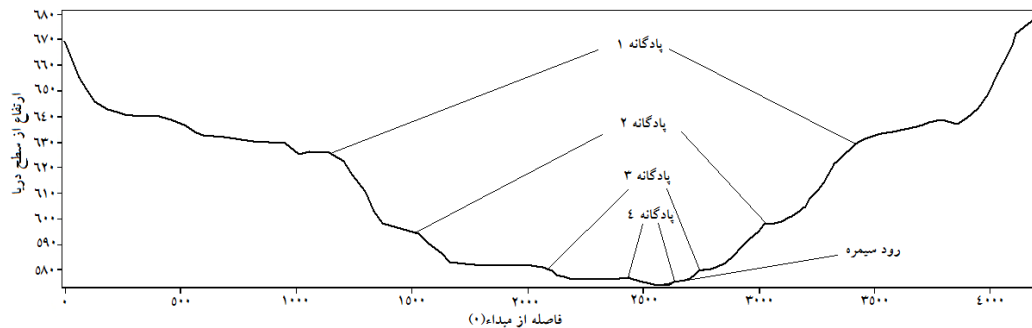


شکل ۸. نیم‌رخ دره رود سیمره در توده‌ی لغزشی و سطوح پلکانی ایجاد شده توسط رود سیمره  
موقعیت نیم‌رخ در نقشه سطوح پادگانه‌ای (شکل شماره ۱۲) مشخص شده است.

بیشترین ضخامت رسوب‌های دریاچه‌ای و ریزدانه‌ترین آنها، در پایین‌دست دریاچه و در مجاورت لغزش روی واریزه‌های لغزشی رسوب‌گذاری شده است. شکل رودخانه روی این رسوب‌ها کاملاً مائندی است. رودخانه‌ی سیمره پس از برش این رسوب‌ها شروع به رسوب‌گذاری مجدد روی رسوب‌های دریاچه‌ای قدیمی کرده و روی آنها چند سطح پادگانه‌ای تشکیل داده است. بررسی رسوب‌های یک محیط رسوب‌گذاری تناوبی یا ریتمی که در آن تناوبی از محیط رسوب‌گذاری دریاچه‌ای و رودخانه‌ای شکل گرفته، نشان می‌دهد طی چند مرحله، محیط رسوب‌گذاری دریاچه‌ای به محیط رسوب‌گذاری رودخانه‌ای و برعکس تبدیل شده است. جنس رسوب‌ها شامل سیلت، ماسه ریز و درشت و گراول و قلوه‌سنگ است.

## سطوح پادگانه‌ای

گسترش پادگانه‌های وسیع آبرفتی در نواحی کوهستانی ایران، چشم‌اندازی از فعالیت آبهای جاری است (محمودی، ۱۳۶۷). در بالادست لغزش بزرگ سیمره چهار سطح پادگانه‌ای تشکیل شده است. ارتفاع این پادگانه‌ها نسبت به سطح کنونی رود ۷۰ متر است. از سوی دیگر نبود سطوح پادگانه‌ای مشابه در نقاط دیگر در مسیر رود سیمره، موجب بررسی نقش احتمالی لغزش سیمره در تشکیل و تکامل این پادگانه‌ها می‌شود. رود سیمره به‌عنوان یک عامل ژئومورفولوژیک پویا نیز تأثیر به‌سزایی در تکامل شکل این پادگانه‌ها داشته است. این رود در حال حاضر روی رسوب‌های دریاچه‌ای این پادگانه‌ها در ارتفاع ۵۶۵ متر جریان دارد و مرتفع‌ترین سطح پادگانه‌ای در ارتفاع ۶۳۵ متری است.



شکل ۹. نیم‌رخ عرضی سطوح پادگانه‌های دریاچه‌ای

از دیدگاه چینه‌شناسی مقطع این پادگانه‌ها شامل تناوبی از رسوب‌های دریاچه‌ای و رودخانه‌ای است. به این ترتیب که در پایه و کف پادگانه‌ها رسوب‌های دریاچه‌ای ریزدانه قرار دارند. ضخامت این رسوب‌ها زیاد بوده (۱۴۴ متر) و یک محیط دریاچه‌ای پایدار با حجم رسوب‌گذاری بالا را نشان می‌دهد. این رسوب‌ها به‌طور عمده از رس تشکیل شده‌اند و روی آنها، رسوبات رودخانه‌ای قرار دارد (شکل شماره ۱۰).



شکل ۱۰. قرارگیری رسوب‌های دریاچه‌ای و رودخانه‌ای روی هم. مختصات نقاط عکس‌برداری: عکس A طول  $۳۳^{\circ}۱۷'۴۷''$  و عرض  $۴۵^{\circ}۱۳'۳۳''$ ، عکس B طول  $۲۳^{\circ}۱۷'۴۷''$  و عرض  $۳۷^{\circ}۱۳'۳۷''$ ، عکس C طول  $۴۹^{\circ}۱۷'۴۷''$  و عرض  $۴۸^{\circ}۱۳'۳۳''$

ضخامت رسوب‌های رودخانه‌ای زیاد است. گسترش عرضی این رسوب‌ها نسبت به رسوب‌های دریاچه‌ای بسیار کمتر است و از ماسه‌های ریز تا درشت و قلوه‌سنگ در ابعاد چند سانتی‌متر تشکیل شده است. روی رسوب‌های رودخانه‌ای به مرور زمان رسوبات دریاچه‌ای ریزدانه قرار گرفته است و ضخامت آنها ۲/۵ تا ۳ متر است. در بعضی نقاط این رسوب‌ها به‌طور مستقیم روی رسوب‌های دریاچه‌ای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. رنگ و بافت متفاوت این رسوب‌ها، آنها را از یکدیگر تمایز می‌دهد (شکل شماره ۱۱).



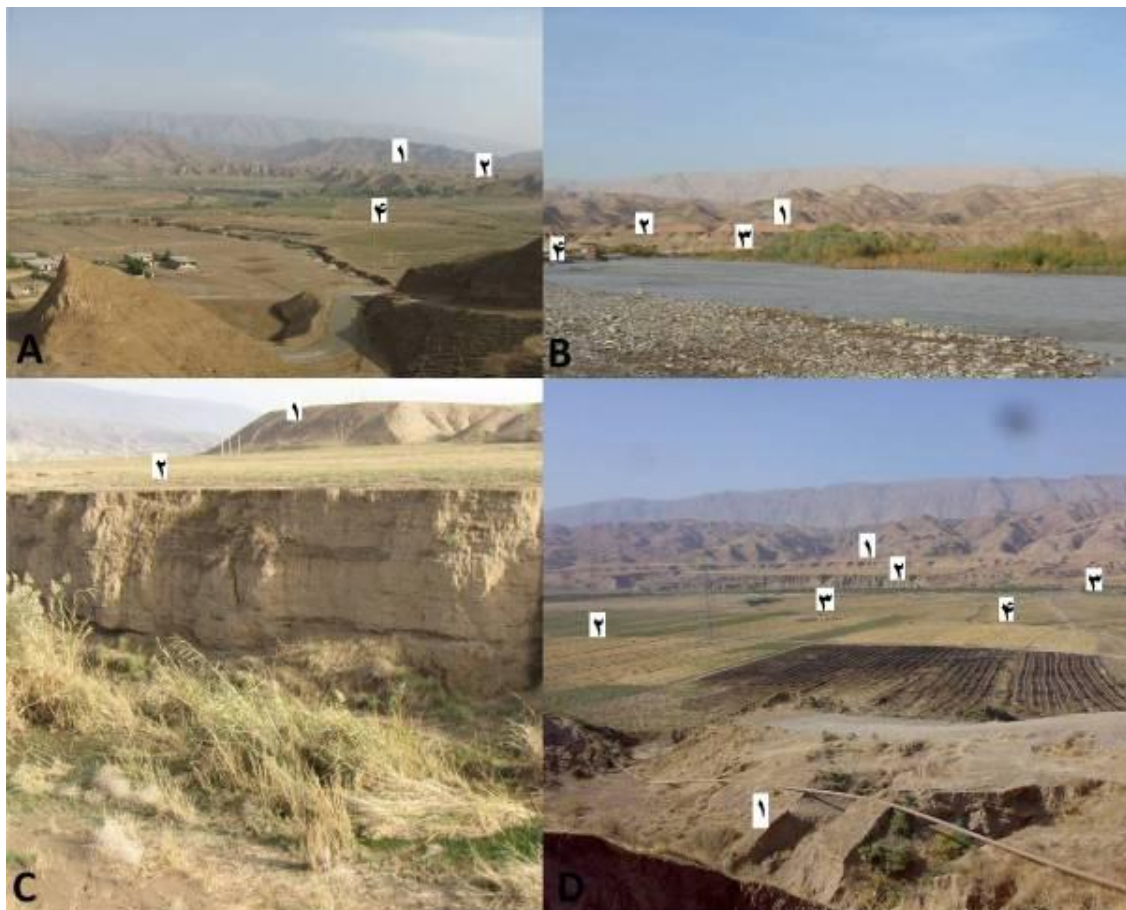
شکل ۱۱. قرارگیری رسوب‌های دریاچه‌ای جدید روی پادگانه‌ی دریاچه‌ای قدیمی را نشان می‌دهد. بافت رسوبی پادگانه‌ی قدیمی‌تر، ریزدانه‌تر و همگن‌تر بوده و پایداری بیشتری را نسبت به پادگانه‌های جدید نشان می‌دهد.

بالاترین سطح پادگانه‌ای، جوان‌ترین پادگانه و در جوان‌ترین رسوب‌های دریاچه‌ای تشکیل شده است. پایین‌ترین سطح پادگانه‌ای که در مجاورت رودخانه قرار دارد، در قدیمی‌ترین رسوب‌های دریاچه‌ای تشکیل شده است.

### مورفومتری پادگانه‌ها

پادگانه‌ی شماره ۱، مرتفع‌ترین و جوان‌ترین پادگانه با ارتفاع ۶۳۵ متر و ارتفاع پای ۵۹۵ متر است. ارتفاع آن از سطح رودخانه ۷۰ متر است. مقطع آن تناوبی از سری رسوب‌های دریاچه‌ای و رودخانه‌ای است. سطوح چینه‌شناسی آن عبارتند از رسوب‌های بسیار ریزدانه‌ی رس در پایه و ماسه‌ی ریزدانه و شن و قلوه‌سنگ روی آن و رسوب‌های ریزدانه‌ی رسی که روی رسوب‌های رودخانه‌ای قرار گرفته‌اند. در حال حاضر حرکات پیچان‌رودی رودخانه، سبب زیربری این پادگانه و تخریب شدید آن شده است. در بعضی نقاط حتی پادگانه‌های ۲، ۳ و ۴ نیز توسط تغییرات آبراهه‌ی کنونی کاملاً تخریب

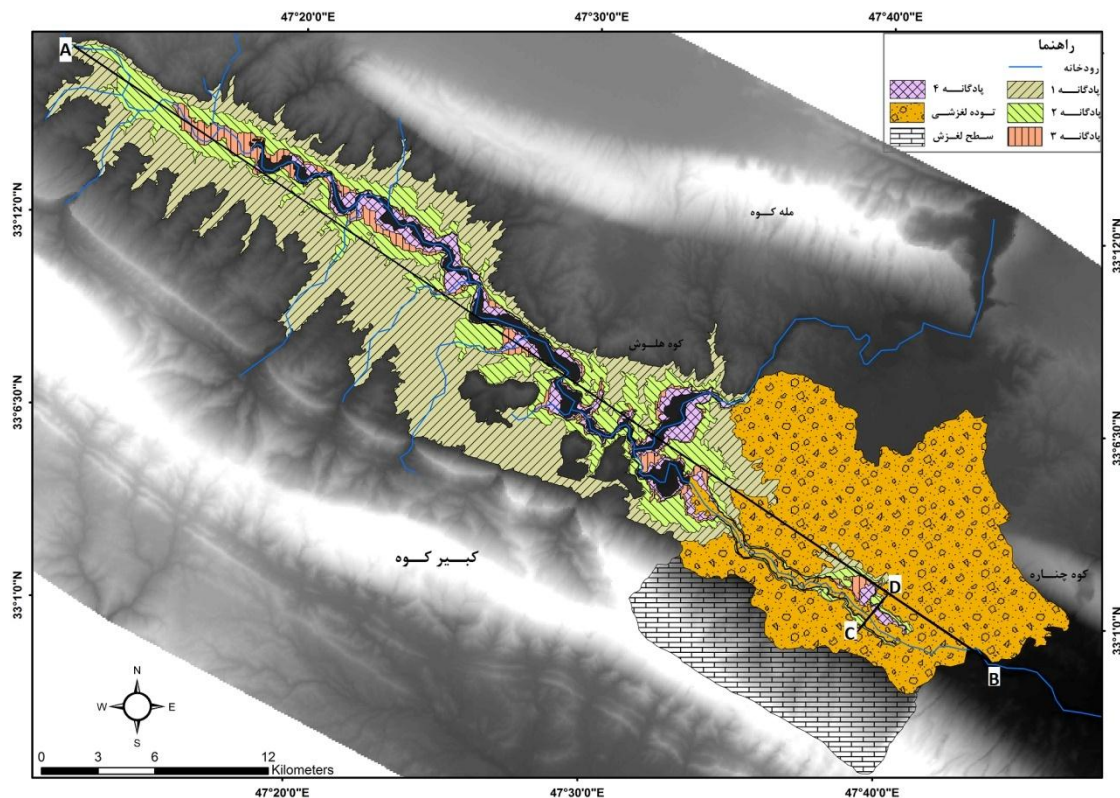
شده است (شکل شماره‌ی ۱۲). در پاره‌ای نقاط میان لایه‌های شن و ماسه، ریزدانه وجود دارد که مربوط به پیچان رودهای متروک است که بعد از تخلیه‌ی دریاچه در سطح بستر پادگانه‌ای رسوب کرده است. ارتفاع پادگانه‌ی شماره‌ی ۲، حدود ۵۹۵ متر و ارتفاع کف آن ۵۸۵ متر است. لایه‌بندی آن تناوبی از رسوب‌های دریاچه‌ای قدیمی در زیر و رودخانه‌ای در وسط و به‌طور مجدد، رسوب‌های دریاچه‌ای جوان‌تر بر روی آن قرار گرفته است. بافت رسوب این پادگانه‌ها شامل رس، مارن، ماسه، شن و قلوه‌سنگ است. ضخامت رسوب‌های رودخانه‌ای بیش از ۵ متر است. این پادگانه به‌وسیله‌ی حرکات پیچان‌رودی رودخانه به‌شدت تخریب شده است. توسعه‌ی مائندرها موجب بروز حرکات توده‌ای به‌نسبت بزرگی در پیشانی این پادگانه شده، به‌گونه‌ای که مسیر رودخانه‌ی سیمره را تغییر داده و رودخانه در مائندرها متروک قبلی جریان یافته است. سطوح این پادگانه در دوره‌های مختلف مورد استفاده‌ی کشاورزان قرار گرفته و نقش مهمی را در توسعه‌ی سکونتگاهی و مدنیت منطقه داشته است (شکل‌های شماره‌ی ۱۱ و ۱۲).



شکل ۱۲. رسوب‌های دریاچه‌ای و سطوح پادگانه‌ی دریاچه‌ای در منطقه‌ی مطالعاتی

(مختصات عکس‌ها: عکس A طول  $47^{\circ}33'36''$  و عرض  $33^{\circ}06'19''$ ، عکس B طول  $47^{\circ}17'50''$  و عرض  $33^{\circ}14'28''$ ،

عکس C طول  $47^{\circ}17'30''$  و عرض  $33^{\circ}13'43''$ ، عکس D طول  $47^{\circ}17'20''$  و عرض  $33^{\circ}13'37''$ .)



شکل ۱۳. سطوح پادگانه‌های دریاچه‌ای در منطقه‌ی مطالعاتی

این پادگانه‌ها به‌شدت تحت تأثیر حرکات پیچان‌رودی رودخانه‌ی سیمره قرار گرفته‌اند.

جدول ۱. ویژگی‌های پادگانه‌های دریاچه‌ای منطقه‌ی مطالعاتی

| ویژگی‌های رسوبی  | مساحت<br>(کیلومتر مربع) | ارتفاع از سطح<br>دریا | پادگانه   |
|--|-------------------------|-----------------------|-----------|
| رسوب‌های دریاچه‌ای سیلت و رس و رسوب‌های رودخانه‌ای قلوه‌سنگ، ماسه، شن، سنگ‌ریزه با میان لایه‌هایی از ماسه بسیار ریز مربوط به مائندهای رودخانه‌ای | ۱۵۵                     | ۶۳۵ متر               | پادگانه ۱ |
| سیلت و رس همراه با رسوب‌های رودخانه‌ای قلوه‌سنگ، ماسه‌های ریز و درشت، شن و سنگ‌ریزه  | ۷۶                      | ۵۹۵ متر               | پادگانه ۲ |
| سیلت، رس و رسوب‌های رودخانه‌ای ماسه، شن، سنگ‌ریزه و قلوه‌سنگ، به‌ویژه در پیشانی پادگانه همراه با ماسه‌ی ریز مائندی                               | ۱۹                      | ۵۸۵ متر               | پادگانه ۳ |
| رسوب‌های بسیار ریزدانه‌ی دریاچه‌ای سیلت و رس، همراه با رسوب‌های سیلابی قلوه‌سنگ، سنگ‌ریزه و ماسه‌های ریز و درشت                                  | ۲۱                      | ۵۷۵ متر               | پادگانه ۴ |

پادگانه‌های سوم و چهارم نسبت به دو پادگانه‌ی قبلی ارتفاع کمتری دارند و این موضوع نتیجه‌ی کوتاه‌تر بودن ارتفاع سدهای لغزشی جدیدتر است. از سویی تخلیه‌ی دریاچه‌ی سدّی لغزشی موجب کاهش نیروی برشی رودخانه در پادگانه‌های جدیدتر شده است. ارتفاع سطح پادگانه‌ی سوم ۵۸۵ و ارتفاع پایه آن ۵۷۵ متر است و از دیدگاه رسوب‌شناسی

و توالی رسوبی مشابه پادگانه‌های دیگر است. این پادگانه نیز تحت تأثیر حرکات پیچان‌رودی رودخانه‌ی سیمره قرار گرفته و در سطح آن مئاندر متروک تشکیل شده است که به دلیل کاربری زراعی مئاندرهای متروک، به‌سختی قابل تشخیص است.

## بحث و نتیجه‌گیری

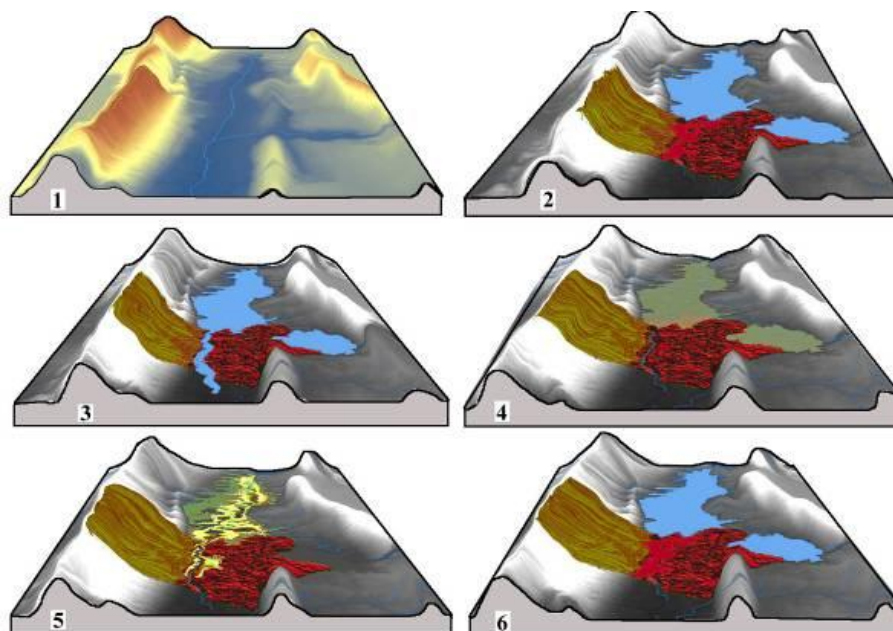
لغزش سیمره به عنوان بزرگ‌ترین نمونه آن در دنیا، ابعادی بیش از ۱۵ در ۲۰ کیلومتر و حجمی حدود بیش از ۴۰ میلیارد مترمکعب دارد. این لغزش در مسیر رودخانه‌ی سیمره در جنوب‌شرقی استان ایلام واقع شده و در ۳ یا ۴ مرحله رخ داده است. شواهد این بررسی نشان می‌دهند؛ (۱) رویداد زمین‌لرزه‌ای با قدرت زیاد در وقوع این لغزش تأثیرگذار بوده است؛ (۲) به‌هم‌پیوستن دو رود سیمره و کشکان در پیشانی این لغزش و قدرت زیربری این رود و حفر تکیه‌گاه، یعنی لایه‌ی سخت آهک آسماری در کف این ناودیس، از عمده‌ترین علل ناپایداری آن است.

رود کشکان نیز از فرود محوری دو تاقدیس هلوش و چناره عبور کرده و درست در پیشانی این توده‌ی لغزشی قرار گرفته است (شکل شماره‌ی ۵). براساس شواهد مورد بررسی در پی این لغزش این پیامدها رخ داده است: (۱) به دلیل جریان توده‌ی لغزشی، مسیر رودخانه‌ی کشکان تغییر کرده است؛ (۲) در فرآیند انسداد مسیر رودهای سیمره و کشکان و تشکیل سدهای لغزشی، عرض کم دره (۷/۲۵ کیلومتر)، حجم زیاد توده‌ی لغزشی، شدت لغزش و اندازه رسوب‌های لغزشی و در نتیجه قدرت برشی کم رود سیمره، از مهم‌ترین عوامل تشکیل دریاچه‌ای وسیع در پشت این توده‌ی لغزشی به‌شمار می‌روند. حجم زیاد رسوب‌های دریاچه‌ای موجود و توالی آنها، نشان‌دهنده‌ی یک محیط دریاچه‌ای بزرگ و پایدار برای مدتی طولانی است.

نخستین مجرای تخلیه در مجاورت طاقدیس‌های مدفون هلوش و چناره حفر شده است. به دلیل فشردگی زیاد رسوب‌های لغزشی، دریاچه قادر به حفر کامل مجرای تخلیه نشده و بقایای آن به صورت چند دریاچه کوچک باقی مانده است. این امر به خاطر عملکرد طاقدیس‌های هلوش و چناره که به صورت یک سد عمل کرده و موجب فشردگی، افزایش ارتفاع و در نتیجه، پایداری رسوب‌های لغزشی در مقابل آب دریاچه شده است. با توجه به اینکه تخلیه‌ی دریاچه در مسیر کنونی رود سیمره طی چند مرحله انجام گرفته، در هر مرحله یک سطح برشی در توده‌ی لغزشی ایجاد شده است. مقایسه‌ی ارتفاع این سطوح پله‌مانند با ارتفاع پادگانه‌ها، بیانگر ارتباط مستقیمی میان آنها است. مقایسه‌ی ارتفاع پادگانه‌ی اول (۶۳۵ متر) با ارتفاع سطح برشی اول (۶۴۰-۶۱۰ متر)، ارتفاع پادگانه‌ی دوم (۵۹۵ متر) با ارتفاع سطح برشی دوم (۵۹۰-۶۱۰ متر)، ارتفاع پادگانه‌ی سوم (۵۸۵ متر) با ارتفاع سطح برشی سوم (۵۷۰-۵۹۰ متر) و ارتفاع پادگانه‌ی چهارم با ارتفاع سطح برشی چهارم (۵۷۰-۵۵۰ متر)، نشان‌دهنده‌ی تشکیل هر سطح پادگانه‌ای در نتیجه یک دوره برش توده‌ی لغزشی توسط رود سیمره است (شکل شماره‌ی ۸ و جدول شماره‌ی ۱). به این صورت که با پایین رفتن سطح اساس در نتیجه‌ی حفر توده‌ی لغزشی، رود سیمره حفر بستر دریاچه‌ای را ادامه داده تا به سطح پایه، یعنی بستر قدیمی خود رسیده و یک سطح پادگانه‌ای تشکیل داده است. از این مرحله به بعد و پس از برش رسوب‌های دریاچه‌ای و نزدیک شدن به سطح بستر قدیمی خود، رسوب‌گذاری آبرفت‌های رودخانه‌ای را در سطح پادگانه دریاچه‌ای آغاز کرده است. وجود

میان لایه‌های آبرفتی با بافت ماسه، شن و قلوه‌سنگ در بین رسوب‌های دریاچه‌ای نتیجه این فرآیند است (شکل شماره ۱۰). فرآیند مذکور چندین بار تکرار شده و منجر به تشکیل پادگانه‌های متعددی در پشت این توده‌ی لغزشی شده است. با این تفاوت که ضخامت و حجم انباشته‌های پادگانه‌ای یکسان نیست. دلیل تفاوت‌های موجود نیز نتیجه‌ی ارتفاع و حجم سد لغزشی و پایداری دریاچه‌ها از نظر توالی زمانی است. بنابراین، قرارگیری مجدد رسوب‌های دریاچه‌ای جدید بر روی رسوب‌های دریاچه‌ای قدیمی و رودخانه‌ای (توالی ریتمی)، به دلیل تشکیل مجدد محیط دریاچه‌ای است. آنچه مشخص است آنکه رسوب‌های دریاچه‌ای جدید روی پادگانه‌های دریاچه‌ای قدیمی رسوب‌گذاری کرده و ارتفاع آنها را ۲ تا ۳ متر افزایش داده‌اند (شکل‌های شماره ۱۰ و ۱۱).

یافته‌های حاصل از بررسی توالی رسوب‌های پادگانه‌های دریاچه‌ای نشانگر آن است که لغزش بزرگ سیمره طی چند مرحله ناپایدار شده است. وسعت و ضخامت زیاد پادگانه‌ی دریاچه قدیمی‌تر حاکی از آن است که لغزش اولیه به همان نسبت از وسعت بیشتری برخوردار بوده و حجم نهشته‌های موجود نیز، پایداری طولانی‌تر آن را به خوبی نشان می‌دهد. به همان نسبت ضخامت کمتر پادگانه‌های دریاچه‌ای جدید و قرارگیری آنها روی رسوب‌های قدیمی، نشان می‌دهد که لغزش‌های بعدی از حجم و وسعت کمتری برخوردار بوده و طول عمر کوتاه‌تری نیز داشته‌اند. شکل شماره ۱۴ توالی زمانی رویداد لغزش و تشکیل دریاچه‌های سدّی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. مراحل رخداد لغزش سیمره و تشکیل دریاچه و رسوب‌گذاری و تشکیل پادگانه‌های دریاچه‌ای (۱) توپوگرافی درّه ناودیسی سیمره قبل از وقوع لغزش؛ (۲) وقوع لغزش بزرگ سیمره و تشکیل دریاچه‌ی سدّی در پشت توده‌ی لغزشی؛ (۳) سر ریز شدن دریاچه‌ی سدّی و برش توده‌ی لغزشی توسط رودخانه‌ی سیمره؛ (۴) تخلیه‌ی دریاچه و باقی‌ماندن رسوب‌های دریاچه‌ای؛ (۵) عمیق شدن درّه و حفر رسوب‌های دریاچه‌ای توسط رود سیمره و سپس رسوب‌گذاری آبرفت رودخانه‌ای روی پادگانه‌های دریاچه‌ای؛ (۶) تکرار لغزش و مسدود شدن آبراهه و تشکیل دوباره‌ی دریاچه‌ی سدّی.



## منابع

- آقناباتی، سید علی. ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- برگریزان، محمود. ۱۳۷۳، زمین‌لغزه‌ی سیمره و نهشته‌های دریاچه‌ای در جنوب باختر پل دختر - لرستان، مجموعه مقالات نخستین سمپوزیوم بین‌المللی کواترنر، دانشگاه تهران، صص. ۲۶۵-۲۵۵.
- بهاروند، سیامک. ۱۳۸۷، لرزه‌خیزی منطقه‌ی پل دختر و ارتباط احتمالی آن با زمین‌لغزش سیمره، رساله‌ی دوره‌ی دکتری، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- تیرافکن، مسلم. ۱۳۸۶، پهنه‌بندی لغزش در دامنه‌های شمالی کبیرکوه مطالعه‌ی موردی (دره‌شهر تا سد سیمره)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- درویش زاده، علی. ۱۳۸۰، زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر امروز، تهران.
- شرکت توسعه‌ی منابع آب و نیروی ایران. ۱۳۷۴، طرح سد و نیروگاه سیمره.
- علایی طالقانی، محمود. ۱۳۸۱، ژئومورفولوژی ایران، چاپ چهارم، انتشارات قومس، تهران.
- محمودی، فرج‌الله. ۱۳۶۷، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۲۳، صص. ۴۳-۵.
- Aghanabati, A., 2004, **Geology of Iran**, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Alaee Taleghani, M., 2002, **Geomorphology of Iran**, Ghoomes Publisher, Tehran.
- Baharvand, S., 2008, **Seismicity Analysis of the Poledokhtar Area and Its Relationship to Saymarreh Landslide**, Ph.D. Thesis, Unit of Sciences and Researches of Tehran.
- Bargrizan, M., 1994, **Saymarreh Landslide and Lake Sediments in South of Poledokhtar**, Proceedings of the First International Symposium on Quaternary, Lorestan.
- Cheetham, M.D., Bush, R.T., Keene, A.F., Erskine, W.D., Fitzsimmons, K.E., 2010, **Longitudinal Correlation of Late Quaternary Terrace Sequences of Widen Brook, Southeastern Australia**, Australian Journal of Earth Sciences, Vol. 57, PP. 97-109.
- Costa, J., 1991, **The Formation and Failure of Natural Dams**, U.S. Geological Survey, Vol. 100, PP. 1054-1068.
- Darvishzadeh, A., 2001, **Geology of Iran**, Nashr-e Emruz, Tehran.
- Evans, S.G., 2006, **The Formation and Failure of Landslide Dams; an Approach to Risk Assessment**, Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue on Security of Natural and Artificial Rockslide Dams, PP. 15-19.
- Harrison, J.V., Falcon, N.L., 1936, **Gravity Collapse Structures and Mountain Ranges as Exemplified in Southwestern Iran**, The Quarterly Journal of the Geological Society, Vol. 92, PP. 91-102.
- Harrison, J.V., Falcon, N.L., 1937, **The Saidmarreh Landslip**, Southwest Iran, Geographical Journal, Vol. 89, PP. 42-47.
- Iran Water and Resources Power Development Company, 1995, **Dam and Power Projection of Saymarreh Dam and Power**, Published Data, Tehran.
- Mahmoudi, F., 1988, **Landforms Evolution of Iran in Quaternary**, Physical Geographic Research, No. 23, PP. 5-43.

- Oberlander, T., 1965, **The Zagros Streams: a New Interpretation of Transverse Drainage in an Orogenic Zone**, Syracuse University Press, New York & Allen & Unwin, Boston.
- Ramini, L.E., Asagli, N.C., Arina, P.F., 2006, **Landslide Dams: Analysis of Case Histories and New Perspectives from the Application of Remote Sensing Monitoring Techniques to Hazard and Risk Assessment**, Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue. 1, PP.44-52.
- Roberts, N. J., 2008, **Structural and Geologic Controls on Gigantic (QUOTE) Landslides in Carbonate Sequence: Case Study from Zagros Mountains, Iran and Rocky Mountain**, M.Sc. Thesis, the University of Waterloo, Canada.
- Roberts, N. J., Evans S. G., 2008, **Seymareh (Saidmarreh) Landslide, Zagros Mountains**, Iran Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, PP.181-193
- Schuster, R.L., and Highland, L.M., 2003, **Impact of Landslides and Innovative Landslide-Mitigation Measures on the Natural Environment**, Geological Survey, Denver, Colorado, U.S.A.
- Shoaei, Z., and Ghayoumian, J., 2000, **Seimareh Landslide, Western Iran: One of the World's Largest Complex Landslides**, Landslide News, No. 13, PP.23-27.
- Tirafkan, M., 2008, **The Zonation of Landslide on North Kabir Kuh Hill Slops: (Case Study Darrehshahr –Saymarreh dam)**, M.Sc. Thesis, Tehran University.
- Vernant, P. & Chéry, J., 2006, **Mechanical Modeling of Oblique Convergence in the Zagros, Iran**, Geophysical Journal International, Vol. 165, No. 3, PP. 991-1002.
- Warner, R. F., 1972, **River Terrace Types in the Coastal Valleys of New South Wales**, Australian Geographer, Vol. 12, PP. 1-22.
- Watson, R.A., and Wright, H.E., Jr., 1969, **The Saidmarreh Landslide, Iran**, Geological Society of America Special Paper 123, PP. 115-139.
- Young, R. W., Nanson, G. C., 1982, **Terrace Formation in the Illawarra Region of New South Wales**, Australian Geographer, Vol. 15, PP. 212-219.

## *Large Saymarreh Landslide and Lake Terraces Sequence*

**Yamani M.\***

Associate Prof., Faculty of Geography, University of Tehran

**Goorabi A.**

Assistant Prof., Faculty of Geography, University of Tehran

**Azimirad S.**

MA Student in Geomorphology, University of Tehran

Received: 13/03/2012

Accepted: 12/06/2012

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

The Landslide dams are the natural result of blocking of river channels by the mass movements. The effective factors of landslide dam formation include: the shape of valley in relation with the geometry, volume of debris, the characteristics of landslide debris, river discharge. The dam lakes are formed by landslide in the mountain valleys of Zagros and Alborz. Behind these dams, sediments were deposited simultaneous formation of the lake. After destruction of dams, several terraces are formed along the valleys. Investigation of the sequences, strata and streams are proxies to determine the tectonically and climatically changes of the past. The lake terraces can be formed by erosion of coastline, sediment accumulation, or a combination of these processes. These landforms are formed in various points of Iran. In the study area, blockage of Saymarreh River by Saymarreh landslide led to formation of a lake behind the landslide in the past. Primary field investigation revealed the several lakes and river terraces along the Saymarreh and Kahskan riverbanks and in the upstream Saymarreh landslide mass. The purpose of this study is the determination of the extent and sequence of these terraces and relation of their morphometric characteristics with the process of formation of large Saymarreh landslide.

#### **Methodology**

The used method in this research is the analysis of data that accrued based on fieldwork study. Therefore, we used the satellite images, topographic and geologic maps, SRTM10m and ArcGIS software. Accordingly, we measured height and distance of the terraces from active riverbed and their boundaries and area. Then, morphometry of these landforms was analyzed through drawing the cross sections, profiles and integrating sedimentary data.

#### **Results and Discussion**

Saymarreh landslide has a large landslide mass in which length is more than 15×20 Kms; its

\*E-mail: myamani@ut.ac.ir

volume is more than  $40\text{Gm}^3$ , which had occurred along the Saymarreh River in the southeast of Ilam province. The evidence of this survey showed that a strong earthquake can be occurred, joining Saymarreh and Kashkan rivers in front of this landslide and their undercutting and excavating the base of landslide are among the main causes of its instability. According to the evidence after the landslide, the following subsequences occurred: first, because of the flow of the landslide mass, the course of Kashkan River was changed; second, in the process of obstruction of Saymarreh and Kashkan rivers and formation of landslide dams, the little width of the valley (7.25 kms), the great volume of the landslide mass, the intensity of the landslide and the size of the landslide sediments and the little shear strength of Saymarreh river are the most important factors of formation a vast lake behind this landslide. The great volume of extant lake sediments and their sequences showed a large and stable lake environment for a long time. The first depletion canal had been excavated next to Helosh and Chenareh buried anticline's. This phenomenon is derived from the function of Helosh and Chenareh anticline's that had performed like a dam and caused compaction, a rise in height, and the stability of landslide sediments against the lake water.

### Conclusion

The research findings show that the depletion of the lake in the course of Saymarreh River had occurred during several stages. The comparison of the height of river and lake terraces shows a direct relation between them. The comparison of terrace height first (635m), second (595m), third (585m) and forth (575) with height of incision surface first (610-640m), second (590-610), third (570-590m) and forth (550-570m) respectively indicated that the formation of each terrace surface are related to cutting cycle of the landslide mass by Saymarreh river. By decreasing base level as a result of excavating landslide mass, the Saymarreh river had continued excavating lake bed until it had reached its old bed and formed a terrace surface. After this stage and cutting of lake sediments and approaching its old bottom, it started sedimenting alluvial at the lake terrace surface. This process had occurred many times and led in the formation of several terrace upstream this landslide mass. Of course, the thickness and volume of the terrace is not same. This difference is the result of the height and volume of the landslide dam and the stability of the lakes according to the chronological order. Therefore, reoverlying new lake sediments on the old lake and river sediments (rhythmic sequence) are due to forming Lake Environment again. The findings of surveying sediments sequence of lake terraces indicate that the large Saymarreh landslide had been unstable during some stages (3-4 stages). Great extent and thickness of the older lake terraces indicate that the first landslide had a greater extent and the volume of sediments indicates its longer stability. The Less thickness of the new lake terrace and their overlaying on the old sediments indicate that the later landslides had less volume and extent, and a shorter stability.

**Keywords:** *Lake Terrace, Saymarreh Landslide, Landslide Dam, Saymarreh and Kashkan River.*