پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سوم، شماره ٤، بهار ١٣٩٤
صص. ١٥٦-١٤٢

ویژگی‌های ژئومورفومتری دریاچه دیرینه سدی لغزشی سیمره و اثرات ژئومورفولوژیک آن

صمد عظیمی راد *– دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
معصومه رجبی – دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ١٣٩٣/٠٤/١٢ تأیید نهایی: ١٣٩٣/١٢/٠٥

چکیده

تشکیل دریاچه‌های سدی لغزشی از گسترده‌ترین فرآیندهای ژئومورفیک در مناطق کوهستانی جهان است. ارزیابی کمی ویژگی‌های ژئومورفومتری این دریاچه‌ها به‌منظور مطالعه رفتار و آثار ژئومورفولوژیک آن‌ها امری ضروری است. دریاچه قدیمی سیمره درنتیجه زمین‌لغزش بزرگ سیمره در زاگرس چین‌خورده (کبیر کوه) در هولوسن ایجادشده است. روش مطالعه مبتنی بر تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های رقومی ارتفاع و بازدید میدانی به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای ژئومورمومتری در سه مقطع سد لغزشی، دریاچه سدی و حوضه زهکشی بالادست می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که سد لغزشی سیمره با حجم بیش از ٤٠ میلیارد مترمکعب بزرگ‌ترین سد لغزش جهان بوده است. شاخص انسداد بی‌بعد با مقدار ٢/٣٣ نشان‌دهنده پایداری این سد لغزشی می‌باشد. عمق دریاچه قدیمی سیمره بیش از ٢٠٠ متر و طول آن ٤٠ کیلومتر بوده است. اندازه‌گیری‌های حجم آبی (٤٥ میلیارد مترمکعب) و حجم رسوبی (٢٣ میلیارد مترمکعب) دوره پایداری دریاچه‌ای را به ترتیب ١٩/٨ و ١٩١٣/٥ سال نشان می‌دهد. تفاوت این دو بیانگر رسوب‌گذاری این حجم رسوب دریاچه در طی چند مرحله می‌باشد. سد لغزشی سیمره چند مرحله با انسداد مسیر رود سیمره منجر به تشکیل محیط دریاچه‌ای شده است. درنتیجه این فرایند توپوگرافی، مورفولوژی و زمین‌شناسی دره رودخانه-ای به‌طور گسترده‌ای کرده شده است.

واژگان کلیدی: دریاچه سدی، زمین‌لغزش سیمره، ژئومورفومتری، جنوب غربی ایران

* نویسنده مسئول: ٠٩١٤٣٥٣٣٠٢٦ E-mail: S.azimirad@ut.ac.ir

مقدمه

از آب کندهای باریک تا دره‌های آبرفتی گسترده و به‌طورکلی همه محیط‌های فیزیوگرافی دارای یک جریان آبی روان می‌تواند به‌وسیله فرآیندهای زمین‌لغزش سد شود. اندازه، شکل و دوره ماندگاری این سدهای لغزشی به نوع، اندازه و مواد زمین‌لغزش و ارتباط بین این عوامل با خصوصیات دره به‌عنوان مقطع عرضی در محل سد شدگی، مساحت حوضه زهکشی و رژیم هیدرولیک آن بستگی دارد. در ارتباط با طول عمر این دریاچه‌ها، مقاومت در برابر فرسایش یک فاکتور کلیدی است و موادی که دارای دانه‌های درشت با دانه‌بندی مناسب‌اند تأثیر این عامل را افزایش می‌دهد (*Swanson et al, 1985; Schuster and Costa, 1986; Schuster, 1993*). نتایج تحلیل سیستماتیک دریاچه‌های سدی به‌ویژه در ابعاد زمین‌شناسی و مهندسی، عمدتاً به‌وسیله کوستا و شوستر (۱۹۸۶، ۱۹۸۸) و شوستر (۱۹۹۳، ۲۰۰۰) انجام پذیرفته است. این نویسندگان یک طبقه‌بندی از سدهای لغزشی به‌عنوان عامل تشکیل دریاچه‌های سدی را در شش دسته ارائه داده‌اند:

طبقه ۱: سدهایی که کل محدوده دره را در برنمی‌گیرند.

طبقه ۲: سدهایی که کل دره را در برمی‌گیرند و به روی دامنه مقابل رانده می‌شوند.

طبقه ۳: سدهایی که علاوه بر در برگرفتن دره به‌طور چشمگیری به بالادست و پایین‌دست دره حرکت می‌کنند.

طبقه ۴: سدهایی که به‌وسیله شکستن همزمان هر دو پهلوی تاقدیس تشکیل می‌شوند. در این حالت پیشانی هر دو توده در وسط آن‌ها قرار می‌گیرد.

طبقه ۵: سدهایی که به‌وسیله لوب‌های متعدد از یک لغزش تشکیل می‌شوند.

طبقه ۶: سدهایی که وقتی سطوح شکست به زیر بستر جریان گسترش می‌یابند، تشکیل می‌شوند. در این حالت وقتی‌که لغزش حرکت کند بستر جریان بالا می‌آید (*Costa and Schuster, 1988; Schuster and Costa, 1986; Schuster, 2000, 1986a, 1986b*).

بیشتر سدها معمولاً از طبقات ۱ (۶۱٪) و ۲(۲۸٪) هستند؛ و سایر نمونه‌ها ۲ تا ۳ درصد را به خود اختصاص می‌دهند. نوع حرکت‌های دامنه‌ای تشکیل‌دهنده سدها نیز توسط محققین بررسی‌شده است. نتایج نشان می‌دهد عموماً سدهای مشتق شده از ریزش سنگ‌ها و لغزش‌های زمین ۵۰٪، جریان‌های واریزه‌ای، گلی و زمینی ۲۵٪، بهمن‌های سنگی و واریزه‌ای ۱۹٪، شکست‌های گلی حساس و سقوط سنگ‌ها ۰۶٪ می‌باشند. در بین عواملی که نقش محرک را در فرایند رخداد زمین‌لغزش‌های تشکیل‌دهنده سد بازی می‌کنند: بارش و ذوب برف تقریباً ۶۰٪، زمین‌لرزه‌ها ۳۰٪، فعالیت‌های آتشفشانی و سایر عوامل ۱۰٪ (*Nicoletti and Parise, 2002*).

اندازه سدهای لغزشی متفاوت می‌باشد. بعضی از سدها فقط ۱ تا ۲ متر ارتفاع دارند درحالی‌که ارتفاع بعضی از آن‌ها به بیش از ۵۰۰ متر نیز می‌رسد[۱]. در زمینه شکست سدهای لغزشی و بلایای مرتبط با آن‌ها شوستر و کوستا (۱۹۸۶، ۱۹۸۸ و ۱۹۹۳) به‌طور مفصل بحث کرده‌اند. پایداری سدهای لغزشی ممکن است چندین دقیقه، ساعت یا برای هزاران سال باشد. این امر به چندین عامل بستگی دارد: حجم و سرعت جریان‌های آبی و رسوبی به دریاچه، اندازه و شکل سد، ویژگی زمین‌شناسی رسوبات تشکیل‌دهنده سد و میزان نفوذپذیری از سد (*Costa and Schuster, 1988; Nicoletti and Parise, 2002; Schuster, 1986b*).

سدهای لغزشی قادر به تغییر مورفولوژی دره‌ها می‌باشند. ته‌نشست رسوبات دریاچه‌ای و رودخانه‌ای در مخزن آن‌ها موجب تغییر شیب جریان، مورفولوژی سطحی، و زمین‌شناسی سطحی به سمت بالادست سد لغزشی می‌شوند. در برخی موارد به دلیل بار رسوبی بالای (در رودخانه) ناشی از فرسایش رسوبات لغزشی در طی فرایند شستشوی سد، پدیده

[۱]. مثل سد لغزشی که بر روی رودخانه مرغاب در تاجیکستان در سال ۱۹۱۱ تشکیل شده است.

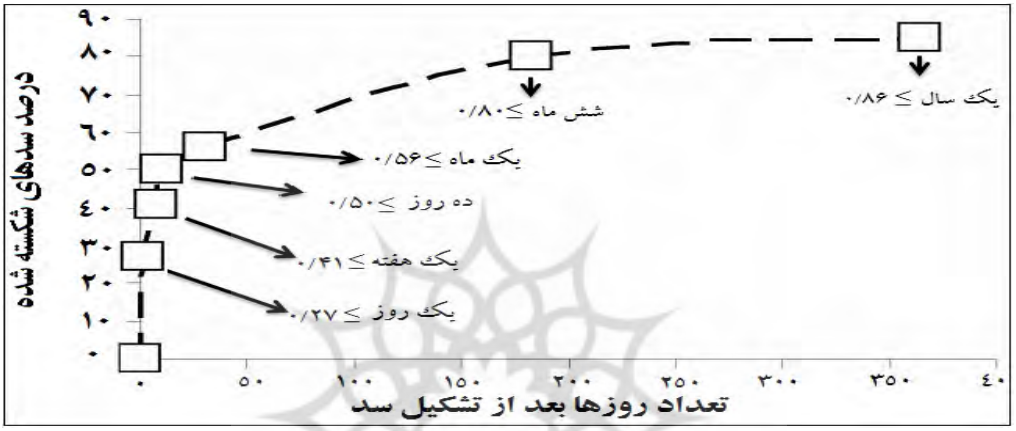
انباشت[1] موجب تغییر مکان کانال‌های رودخانه‌ای به سمت پایین‌دست جریان می‌شود. پر شدن مخزن سد لغزشی یا فروکش سریع سطح آب آن می‌تواند موجب شکست‌های ثانویه در امتداد ساحل مخزن شود(*International Strategy for Disaster Reduction, 2000*).

دریاچه‌های مرتبط با این سدهای لغزشی بر اساس طبقه‌بندی کروزیر و پیلان (۱۹۹۱) به چهار دسته تقسیم می‌شوند: ۱. دریاچه‌ای که در بین توده لغزشی و شکاف پشتی ناشی از لغزش قرار می‌گیرد[2] .

۲ .دریاچه‌ای که بر روی توده جابه‌جاشده قرار می‌گیرد[3].

۳. دریاچه‌ای که دره اصلی به‌وسیله توده لغزشی سد شده تشکیل می‌شود .

۴. دریاچه‌هایی که در سرشاخه‌های منتهی به دره اصلی تشکیل می‌شوند(*Crozier and Pillans, 1991*).



شکل ۱: دوره پایداری سدهای لغزشی بعد از تشکیل آن‌ها (بر اساس ۷۳ نمونه) (*Schneider et al., 2013*)

اولین مطالعات در زمینه سیمره توسط دمورگان[4] صورت گرفته که به‌اشتباه واریزه‌های این لغزش را به‌عنوان رسوبات یخچالی موردبررسی قرار می‌دهد. این امر به دلیل مورفولوژی و حجم زیاد واریزه‌های لغزشی بوده است. هریسن و فالکون (۱۹۳۷) اولین کسانی بودند که این عارضه را به‌عنوان یک لغزش موردمطالعه قراردادند و توصیفی کلی از ابعاد لغزش و مورفولوژی آن فراهم کردند. هریسن[5] و فالکون[6] (۱۹۳۶) همچنین در مورد عامل محرک مؤثر در ایجاد لغزش و مکانیسم‌های حرکتی آن بحث کردند (*Harrison and Falcon, 1936 and 1937*). ارزیابی ابرلندر[7](۱۹۶۵) از پیش‌شرط‌های ژئومورفیک شکست دامنه‌ای موجب توجه بیشتر به زمین‌لغزش‌ها شد. به عقیده او این لغزش قبل از دوره تاریخی و در حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش رخ‌داده است (*Oberlander, 1965*). واتسن و رات[8](۱۹۶۹) بر روی مراحل پایانی انتقال و جابه‌جایی واریزه براساس ویژگی‌های سطحی آن بحث می‌کنند (*Watson & Wright, 1969*). ارزیابی برگریزن (۱۳۷۳) زمین‌لغزش سیمره و نهشته‌های دریاچه‌ای در جنوب باختر پل دختر– لرستان را موردمطالعه قرار داده و معتقد است این رویداد با زلزله مهیب سال ۸۷۲ میلادی همراه بوده است و در طی آن شهر تاریخی سیمره به‌کلی ویران‌شده و در حدود ۲۰۰۰۰ نفر کشته‌شده‌اند (برگ‌ریزان،۱۳۷۳). شعاعی و غیومیانن (۲۰۰۰) توالی‌های نفوذپذیر لایه‌های مارن و شیل و آهک‌های ترک‌خورده، تکتونیک فعال و دامنه‌های پرشیب را عامل اصلی در وقوع لغزش سیمره

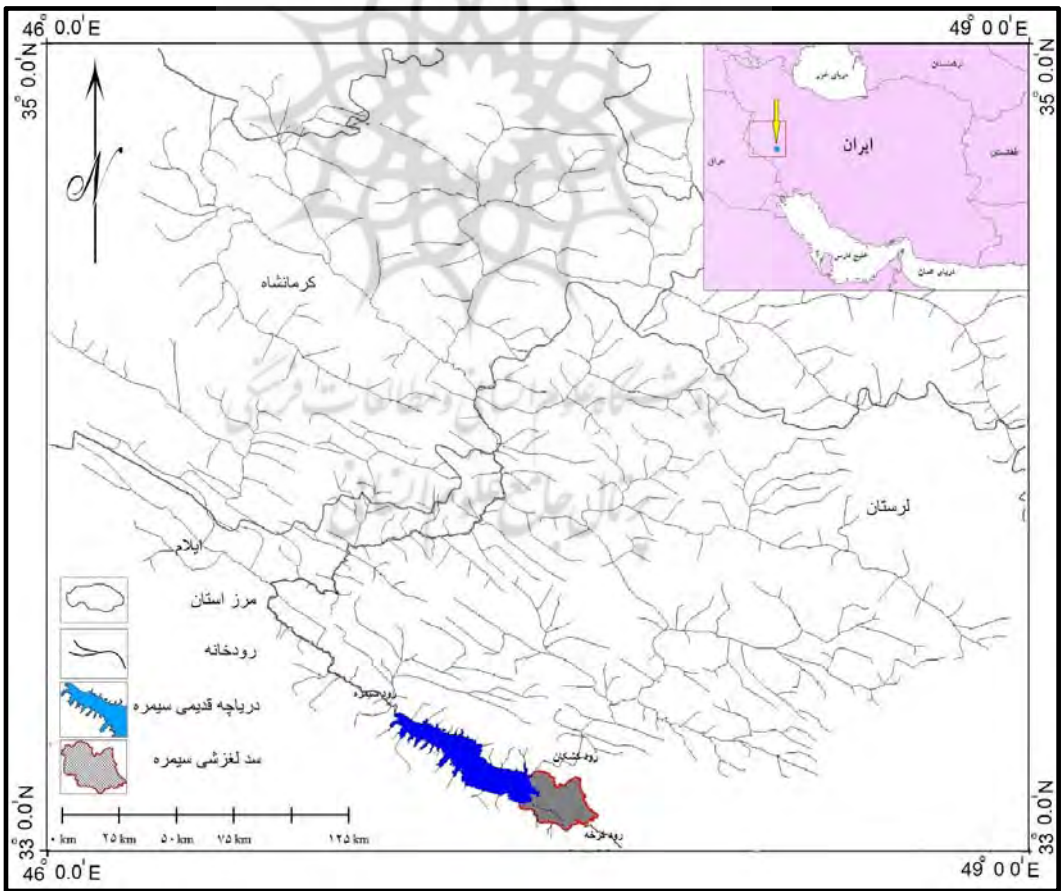
[1] Bulking
[2] Back Lake
[3] Supra Lake
[4] Demorgan
[5] Harrison
[6] Falcon
[7] Oberlander
[8] Watson and Wright

می‌دانند. آن‌ها حجم لغزش را ۲۴ تا ۳۲ میلیارد مترمکعب تخمین زده‌اند (*Shoaei and Ghayoumian, 2000*). بهاروند (۱۳۸۷) عامل اصلی حرکت، ازهم‌گسیختگی و ایجاد ناپایداری در این زمین‌لغزش را زلزله می‌داند. علاوه بر آن، عوامل مهم دیگری نظیر عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی و آب نیز در وقوع آن مؤثر بوده‌اند. رابرتز[1] (۲۰۰۸) مکانیسم‌های شکست و انتقال و جابه‌جایی واریزه‌ها را در لغزش سیمره را مطالعه کرده و پس از اندازه‌گیری‌های دقیق، این لغزش را بزرگ‌ترین لغزش جهان می‌داند. یمانی و همکاران(۱۳۹۱) زمین‌لغزش سیمره و توالی پادگانه‌های دریاچه را موردمطالعه قرار داده‌اند.

شواهد ژئومورفولوژیک در منطقه نشان‌دهنده سد شدن سیستم زهکشی به‌وسیله زمین‌لغزش بزرگ سیمره و تشکیل دریاچه سدی بزرگ در مسیر رودهای سیمره و کشکان می‌باشد. در این پژوهش دریاچه سدی لغزشی سیمره در ارتباط با ژئومورفومتری و آثار مورفولوژیک آن موردمطالعه قرار می‌گیرد. . بدیهی است که ارزیابی این پدیده ژئومورفیک داده‌های مهمی را برای برنامه‌ریزی، کاهش اثرات مخاطره انگیز و تصمیمات مدیریتی فراهم می‌کند.

منطقه موردمطالعه

دریاچه قدیمی سیمره در محدوده رشته‌کوه زاگـــرس غربی (رشته کبیر کوه) و در منتهی‌الیه حوضه‌های سیمره و کشکان (حوضه کرخه)، در جنوب شرقی استان ایلام و در مرز استان لرستان و در امتداد دره رود سیمره قرارگرفته است (شکل ۲).

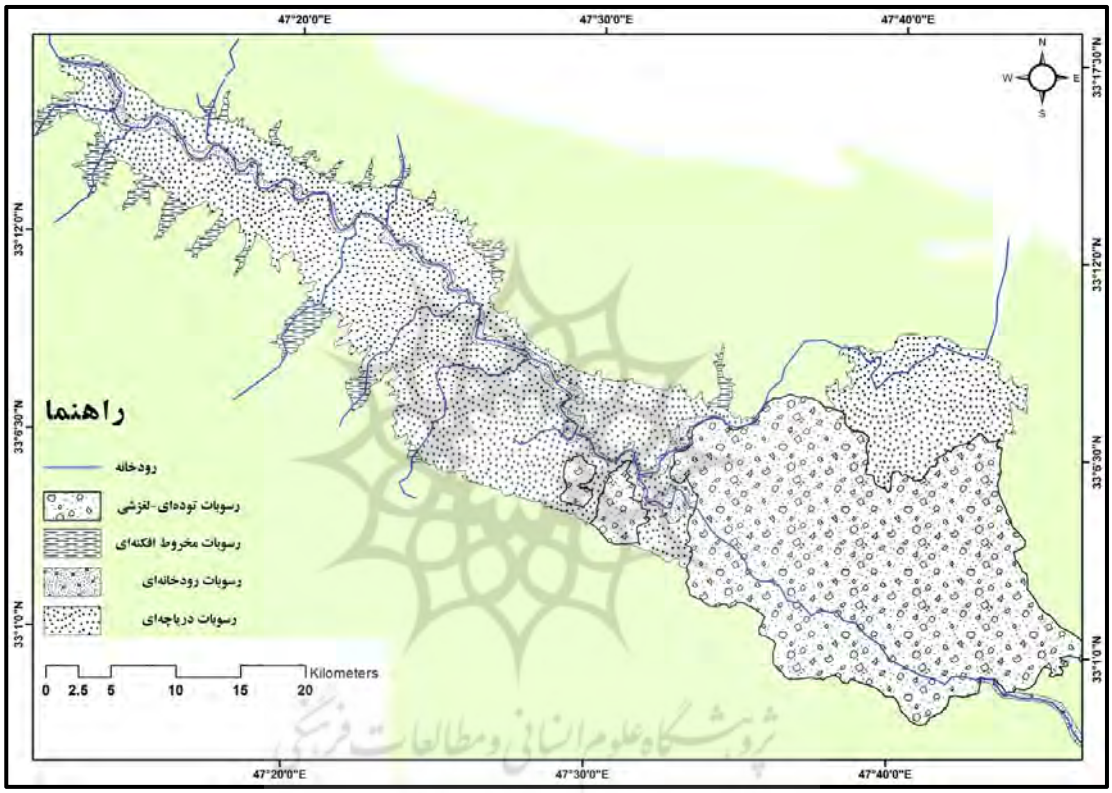


شکل ۲ : محدوده دریاچه و سد لغزشی قدیمی سیمره و سرشاخه‌های منتهی به آن

[1] Raberts

فعالیت‌های تکتونیکی در امتداد زاگرس چین‌خورده به‌وسیله وقوع زلزله‌های عمیق مشخص می‌شود. این فعالیت‌ها تأثیر زیادی در وقوع حرکات لغزشی و بهمن‌های سنگی بزرگ در پهلوهای این چین‌ها دارند. پهنه سیمره یک پهنه فعال گسلی و متأثر از گسل کبیر کوه یا گسل جبهه کوهستانی است.

ازنظر زمین‌شناسی محدوده موردمطالعه در منطقه زاگرس چین‌خورده[1] با تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منظم و کشیده با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر با روند شمال غرب- جنوب شرق قرارگرفته است (درویش زاده ۱۳۸۰؛ آقانباتی ۱۳۸۳). رسوبات کواترنری درمنطقه شامل رسوبات دریاچه‌ای، رسوبات توده‌ای لغزش، رودخانه‌ای و مخروط افکنه‌ای است (شکل۳).



شکل ۳: نقشه رسوبات کواترنری منطقه

آب‌وهوای منطقه دارای میانگین درجه حرارت سالانه ۲۲/۸ درجه و مقدار بارندگی در طول سال به‌طور متوسط ۶۰۶/۲ میلی‌متر است. زیر حوضه سیمره با پیچ‌وخم زیاد از دامنه‌های شمالی کبیر کوه عبور کرده و با پیوستن رودخانه کشکان به آن کرخه نامیده می‌شود. کل وسعت این زیر حوضه به انضمام زیر حوضه کشکان در حدود ۲۸۲۵۰ کیلومترمربع می‌باشد (یمانی و همکاران،۱۳۹۱).

مواد و روش‌ها

مطالعه پژوهش‌های منتشرشده در زمینه دریاچه‌ها و سدی‌های لغزشی نقطه آغازین این پژوهش بوده است. با توجه به اینکه دریاچه موردنظر یک دریاچه قدیمی متروک می‌باشد، جمع‌آوری داده‌های موردنیاز و تعیین حدود آن به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های ژئومورفومتریک و بررسی آثار ژئومورفولوژیک آن در منطقه، مطالعه در مقیاس گسترده و استفاده از ابزارهای عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۰، تصاویر ماهواره‌ای (لندست ETM (۲۰۰۲) ماهواره لندست، سنجنده IRS

[1] Folded-Zone

(Pan) و Liss III(۲۰۰۴ و ۲۰۰۶)، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر (SRTM) را ضروری می‌نمود. تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های رقومی ارتفاع به‌منظور به دست آوردن داده‌های موردنیاز از منطقه مطالعه باهم ترکیب‌شده‌اند. پارامترهای ژئومورفومتریک حوضه‌های زهکشی منطقه، سد لغزشی و دریاچه موردنظر از داده‌های به‌دست‌آمده از عکس-های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار جی‌آی‌اس[1] اندازه‌گیری شد. بازدیدهای میدانی به‌منظور اطمینان یافتن از درستی و دقت زمینی داده‌های اندازه‌گیری شده طی چند مرحله انجام شد. به‌طورکلی ویژگی-های اندازه‌گیری شده در این پژوهش در سه گروه سد لغزشی، دریاچه سدی و حوضه زهکشی بالادست به‌عنوان ژئومورفومتری دریاچه سدی سیمره ارائه‌شده است. درنهایت از داده‌های اندازه‌گیری شده از پارامترهای ژئومورفومتری سد و دریاچه سیمره در تحلیل‌های مربوط به شاخص‌های پایداری سد لغزشی، حجم آبگیری، حجم رسوب‌گذاری، دوره پایداری دریاچه و تأثیر آن بر مورفولوژی دره رودخانه‌ای استفاده‌شده است.

جدول ۱: پارامترهای ژئومورفومتری اندازه‌گیری شده در این پژوهش

پارامترهای ژئوموفومتری	توضیحات	منابع و ابزار اندازه‌گیری
الف. **سد لغزشی**		
ارتفاع سد لغزشی(H_D) (متر)	حداکثر ارتفاع خط الراس سد لغزشی	مدل رقومی ارتفاع (۳۰ متر) (استخراج پروفایل)
طول سد لغزشی(L_d)(متر)	حداکثر طول سد لغزشی (در عرض دره)	عکس هوایی، مدل رقومی ارتفاع (۳۰ متر)
عرض سد لغزشی(W_D)(متر)	حداکثر عرض سد لغزشی (در طول دره)	عکس هوایی، مدل رقومی ارتفاع (۳۰ متر)
حجم سد لغزشی(V_D)(مترمکعب)	حجم تقریبی رسوبات سد لغزشی	مدل رقومی ارتفاع(۳۰ متر)
نوع سد لغزشی	بر اساس طبقه‌بندی لغزش (Cruden and Varnes, 1996)	عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه میدانی
مکانیسم حرکت	عامل محرک تشکیل سد لغزشی	عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه میدانی
سن	زمان تشکیل سد لغزشی	داده‌های منتشرشده

[1] GIS

ب. **دریاچه سدی لغزشی**	حداکثر طول سد لغزشی در امتداد محور میانی	عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی
طول دریاچه(L_L)		ارتفاع، مطالعه میدانی
	حداکثر عرض دریاچه عمود بر محور طولی	عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی
عرض دریاچه(W_L)		ارتفاع، مطالعه میدانی
	مساحت دریاچه سدی لغزشی	عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی
مساحت دریاچه(A_L)		ارتفاع، مطالعه میدانی
	مساحت دریاچه سدی لغزشی	عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی
محیط دریاچه(P_L)		ارتفاع، مطالعه میدانی
	حجم تقریبی دریاچه	عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی
حجم دریاچه(V_L)		ارتفاع، مطالعه میدانی
پ. **حوضه بالادست**	مساحت حوضه در بالادست نقطه انسداد جریان زهکشی	مدل رقومی ارتفاع(۳۰ متر)
مساحت حوضه(A_C)(مترمربع)	بالاترین نقطه ارتفاع در حوضه بالادست	
	ارتفاع سد لغزشی(خط الراس)	مدل رقومی ارتفاع(۳۰ متر)
حداکثر ارتفاع(E_{MAC})		مدل رقومی ارتفاع(۳۰ متر)
حداقل ارتفاع(E_{MIN})		

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

بحث و یافته‌ها

ژئومورفومتری سد و دریاچه قدیمی سیمره

سد لغزشی

مهم‌ترین اطلاعات در زمینه طبقه‌بندی سدها و دریاچه‌های سدی بر اساس مطالعات کوستا و شوستر (۱۹۸۸) انجام‌شده است. در زمینه سدهای لغزشی مؤلفه‌های زیر باید موردمطالعه قرار گیرد: ۱- مکان و زمان تشکیل سد لغزشی ۲- نوع و خصوصیات لغزش‌هایی که این سدها را تشکیل می‌دهند ۳- زمین‌شناسی سطح و بستر منطقه لغزش ۴- عامل اصلی رخداد لغزش ۵- ارتفاع، عرض، طول، حجم سد لغزشی ۶- خصوصیات فیزیکی رسوباتی که سد را تشکیل می‌دهند ۷- ارتفاع، عرض، طول، حجم آبگیری ۸- درصد نفوذ و شکست پهلوهای سد ۹- دوره پایداری سد و دریاچه ۱۰- مکانسیم شکست سد لغزشی ۱۱- تخمین یا اندازه‌گیری دبی حداکثر ۱۲- کاهش امواج سیلابی ناشی از شکست سد. تابه‌حال در هیچ‌یک از سدهای لغزشی همه این مؤلفه‌ها به‌طور کامل شناخته‌نشده‌اند.

جدول ۱: ویژگی‌های ژئومورفومتریک سد لغزشی سیمره و حوضه زهکشی بالادست

رود سد شده	رودهای سیمره و کشکان**(کرخه)**
نوع حرکت دامنه‌ای	زمین‌لغزش
مکانیسم حرکت	لغزش در امتداد لایه‌های زمین‌شناسی[1]
نوع سد لغزشی	بر اساس طبقه‌بندی کوستا و شوستر (۱۹۸۶، ۱۹۸۸) : طبقه ۲(سدهایی که کل دره را در برمی‌گیرند و به روی دامنه مقابل رانده می‌شوند)
علت اصلی رخداد	زیر بری رود سیمره و کشکان در لایه‌های آهک آسماری دامنه شمالی کبیر کوه
ارتفاع سد لغزشی از بستر	ارتفاع حداکثر ۳۵۸ متر
دره	میانگین ارتفاع ۲۲۰ متر
عرض سد لغزشی	۲۲ کیلومتر
طول سد لغزشی	۱۶/۱ کیلومتر
حجم سد لغزشی	بیش از ۴۰ میلیارد مترمکعب
مساحت توده لغزش	۲۱۳/۵۳ کیلومترمربع
مساحت حوضه زهکشی	۳۹۳۸۹ کیلومترمربع
محیط حوضه زهکشی	۱۲۶۲ کیلومتر
حداکثر ارتفاع حوضه زهکشی	۳۶۲۶
حداقل ارتفاع حوضه زهکشی	۸۲۸
زمان رخداد	۸۷۱۰ سال(رابرتز، ۲۰۰۸)
شدت زمین‌لرزه در منطقه	معمولاً کمتر از ۷ ریشتر. آخرین رویداد زمین‌لرزه، زمین‌لرزه سال ۸۷۲ میلادی ماداکتو با بزرگی ۶.۸ ریشتر بوده است (طرح سد و نیروگاه سیمره، ۱۳۷۴).

[1] Block Slide

پایداری سد لغزشی

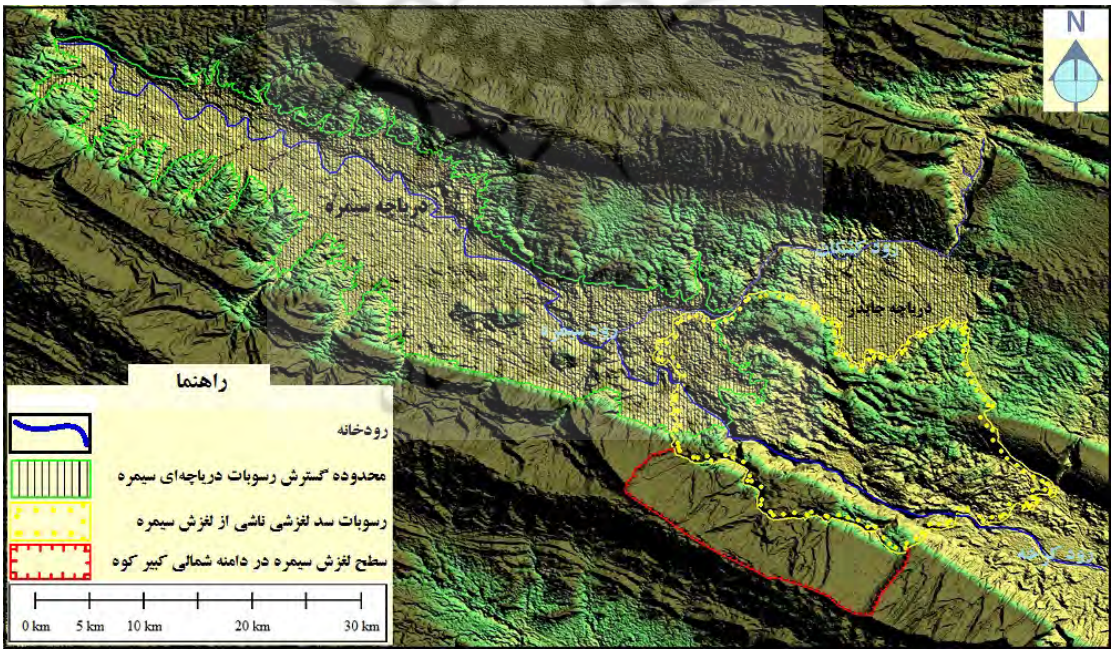
به‌منظور ارزیابی پایداری سد لغزشی ازنظر ژئومورفیک از شاخص انسداد بی‌بعد[1] استفاده شد. بعضی از ژئومورفولوژیست‌ها حجم سد لغزشی و مساحت حوضه زهکشی را مهم‌ترین عوامل در پایداری سدهای لغزشی و بعضی دیگر ارتفاع سد، شدت لغزش و عرض دره سد شده را مهم‌ترین عوامل در فرآیند سد شدن می‌دانند. شاخص ژئومورفیک (DBI) ترکیب سه متغیر مهم (ارتفاع سد H_d، حجم سد V_d، مساحت حوضه A_c) را به‌منظور برآورد پایداری سد لغزشی مورداستفاده قرار می‌دهد. یک سد لغزشی با مقدار DBIکمتر از ۲/۷۵ به‌صورت یک سد پایدار و یک سد با DBI بیشتر ۳/۰۸ به‌صورت ناپایدار طبقه‌بندی می‌شود(Ermini and Casagli, 2003). مقدار این شاخص برای سد لغزشی سیمره برابر است با:

$$DBI = log\left(\frac{H_d . A_c}{V_d}\right) = 2.33$$

بر اساس این شاخص سد لغزشی سیمره یک سد پایدار بوده است.

دریاچه قدیمی سیمره

وجود رسوبات بسیار ریزدانه دریاچه‌ای سیلتی در ضخامت زیاد در این دره رودخانه‌ای بقایای دریاچه‌های قدیمی در دوره هولوسن می‌باشد. وسعت زیاد این رسوبات شاهدی بر یک دوره محیط دریاچه‌ای پایدار می‌باشد. مهم‌ترین عوامل در تشکیل و پایداری دریاچه خصوصیات حوضه زهکشی، سد لغزشی و مورفولوژی دره‌ای که در آن فرایند سدشدگی رخ‌داده، می‌باشند(شکل ۴).



شکل ۴: حدود گسترش رسوبات دریاچه‌ای و سد لغزشی سیمره در هولوسن

در ژئومورفومتری دریاچه سیمره پارامترهای وسعت (A)، عمق حداکثر (ZM)، عمق متوسط (Z)، حجم (V)، طول، عرض و ... موردمطالعه قرارگرفته است:

[1] Dimensionless Blockage Index

وسعت دریاچه

به‌منظور محاسبه وسعت دریاچه از طریق بررسی‌های میدانی حدود گسترش رسوبات دریاچه‌ای مشخص و منحنی تراز ۷۰۰ متر به‌عنوان مرز رسوبات دریاچه‌ای تعیین شد[۱]. با استفاده از نقشه رقومی[۲] (۳۰ متر) و منحنی تراز ۷۰۰ متر، وسعت دریاچه تعیین و در محیط جی‌آی‌اس اندازه‌گیری شد.

شکل ۵: رسوبات دریاچه‌ای در بالادست توده لغزش سیمره

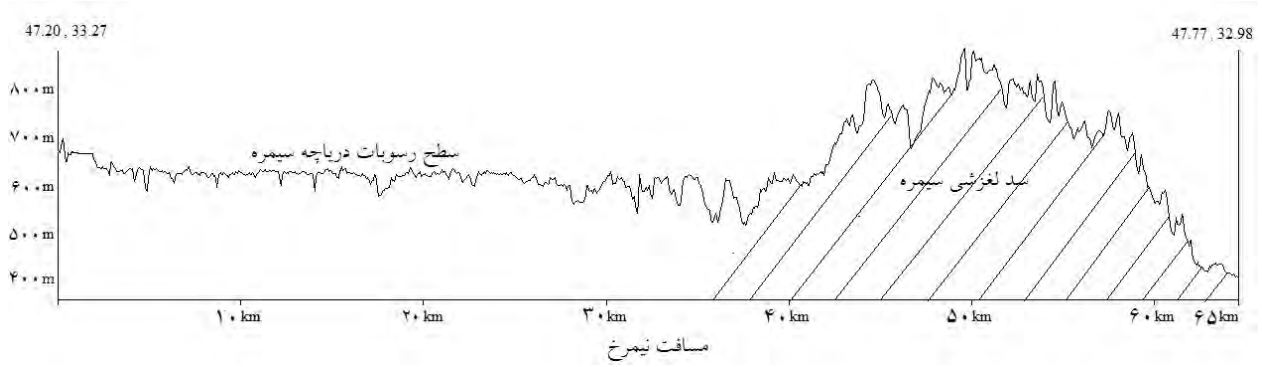
با توجه به مطالعات میدانی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و آی آر اس وسعت دریاچه رودخانه کشکان (جایدر) در هولوسن بیش از ۵۰ کیلومترمربع مساحت داشته است. این دریاچه ابتدا از دریاچه سیمره جدا بوده ولی پس از پر شدن از طریق مجرایی به دریاچه اصلی سیمره پیوسته است. دریاچه اصلی در شمال غربی سد لغزشی منطبق بر مسیر رودخانه سیمره تشکیل‌شده است. نتایج حاصل از مطالعات میدانی رسوبات دریاچه‌ای منطقه نشان می‌دهد که حجم رسوب‌گذاری این دریاچه بسیار بالا بوده است. این حجم رسوب‌گذاری نشان‌دهنده یک اقلیم مرطوب در منطقه در دوره هولوسن بوده است. با توجه به وجود رسوبات دریاچه‌ای تا ارتفاع ۷۰۰ متر، مساحت دریاچه سیمره ۲۹۰ کیلومترمربع تخمین زده می‌شود. طول دریاچه بیش از ۴۰ کیلومتر و عرض متوسط آن ۷ کیلومتر می‌باشد (شکل ۴، ۵ ، ۶).

عمق حداکثر

با توجه به تراز ارتفاعی توده لغزشی (بیش از ۸۰۰ متر) و ارتفاع کف مسیرهای متروک که تخلیه اولیه دریاچه از طریق آن‌ها صورت گرفته، ارتفاع سطح آب دریاچه احتمالاً به بیشتر از ۷۰۰ متر می‌رسیده است. ارتفاع رسوبات کف این دریاچه ۴۹۵ متر و با توجه به ارتفاع حداکثر سطح آب دریاچه، عمق این دریاچه در پرآب‌ترین دوره‌ی آن بیش از ۲۰۰ متر (حداکثر ۲۴۰ متر) بوده است (شکل ۶). عمق متوسط دریاچه از طریق تقسیم حجم دریاچه به مساحت کل دریاچه A به دست می‌آید. بنابراین با توجه به این رابطه عمق متوسط دریاچه سیمره در دوره هولوسن ۱۵۷/۳ متر بوده است. البته در زمینه اینکه آیا نفوذپذیری سد لغزشی امکان رخداد این عمق حداکثر را داده اطلاعات دقیقی در دست نیست.

[۱] اندازه گیری ارتفاع حدود گسترش رسوبات دریاچه‌ای به وسیله GPS انجام گرفت.

[2] Dem Aster



شکل ۶: نیم‌رخ سطح رسوبات دریاچه‌ای و سد لغزشی سیمره

حجم آبگیری دریاچه

به‌منظور برآورد حجم آب، رسوب و درنهایت طول دوره پایداری دریاچه قدیمی سیمره از یک روش محاسبه استفاده‌شده است. میانگین دبی سالیانه رود سیمره ۷۳/۸ مترمکعب در ثانیه می‌باشد[1].

با محاسبه حجم کل آب ورودی در هرسال به دریاچه می‌توان طول عمر دریاچه را در دوره هولوسن با در نظر گرفتن حجم آبگیری آن محاسبه کرد.

ی آب ورودی در هر سال

برای محاسبه حجم کل دریاچه و حجم کل رسوبات و مدت‌زمان پرشدگی آب و رسوب دریاچه، استفاده از میانگین مساحت بین خطوط تراز و ارتفاع آن‌ها روش دقیقی به نظر می‌رسد:

$$\text{حجم بین دو خط تراز} = \frac{s1+s2}{2} \times H = v1$$

$v1 =$ حجم کل دریاچه

$V = 196.5 + 42$

$=$

بنابراین با توجه به حجم کل آب ورودی در هرسال (2.3×10^9) مدت‌زمان لازم برای پر شدن دریاچه با توجه به حجم آبگیری آن برابر است با:

زم برای پر شدن دریاچه

حجم رسوب‌گذاری

بازسازی کف ناودیس رود سیمره قبل از رخداد لغزش با استفاده از مطالعات میدانی و در محیط نرم‌افزار جی‌آی‌اس نشان داد ضخامت رسوباتی که توسط این دریاچه ته‌نشست شده‌اند در حدود ۱۴۴ متر می‌باشد (شکل ۶).

محاسبات انجام‌شده و ضخامت ۱۴۴ متری رسوبات دریاچه‌ای، حجم رسوبات دریاچه سیمره را برابر با ۲۳۴۲۲ میلیون مترمکعب نشان می‌دهد. مطالعات انجام‌شده در سد سیمره بیانگر آن است که حجم کل رسوبات در طی یک دوره ۵۰ ساله، ۶۱۲ میلیون مترمکعب بوده است.

---

[1] آمار دبی و رسوب سالانه رود سیمره بر گرفته از طرح سد و نیروگاه سیمره می‌باشد.

[2] مقادیر بدست آمده برای زمان پر شدن دریاچه بدون محاسبه میزان نفوذپذیری سد لغزشی می‌باشد. بدیهی است با در نظر گرفتن مقدار نفوذپذیری زمان لازم برای پر شدن دریاچه افزایش می‌یابد.

(V)حجم رسوب دریاچه
=
زمان لازم برای رسوب

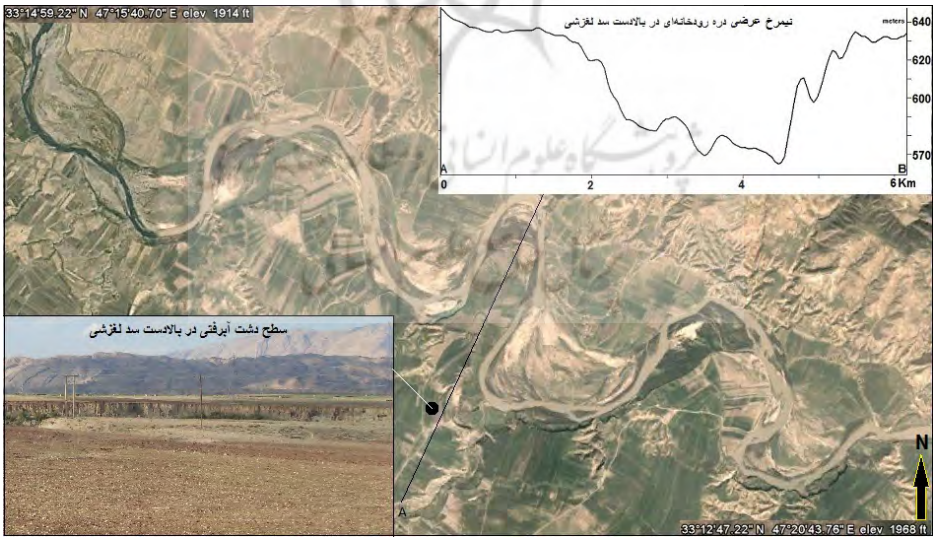
دوره پایداری دریاچه

با بالا آمدن سطح آب دریاچه، نفوذ، سرریز و نیروی برشی آن، توده لغزشی به‌تدریج شروع به بریده شدن کرده است. محاسبات مربوط به حجم آبگیری و رسوب دریاچه به‌منظور برآورد طول دوره پایداری این دریاچه انجام شد. داده‌های به‌دست‌آمده مدت‌زمان یکسانی را نشان نمی‌دهند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات دبی سالانه رود سیمره، طول عمر دریاچه سیمره در دوره هولوسن ۲۰ سال بوده است و بعدازآن دریاچه شروع به سرریز کرده است. درحالی‌که مدت‌زمان رسوب‌گذاری خیلی بیشتر و در حدود ۱۹۰۰ سال را نشان می‌دهد.

تأثیر سد لغزشی بر مورفولوژی دره

پس از تشکیل دریاچه مورفولوژی دره رودخانه‌ای و حتی الگوی رودخانه سیمره تغییر کرده است. به نظر می‌رسد این دریاچه در طول دوره پایداری خود تأثیر چشمگیری بر مورفولوژی دره داشته است. تأثیر سد لغزشی بر مورفولوژی دره در سه مقطع موردمطالعه قرار گرفت:

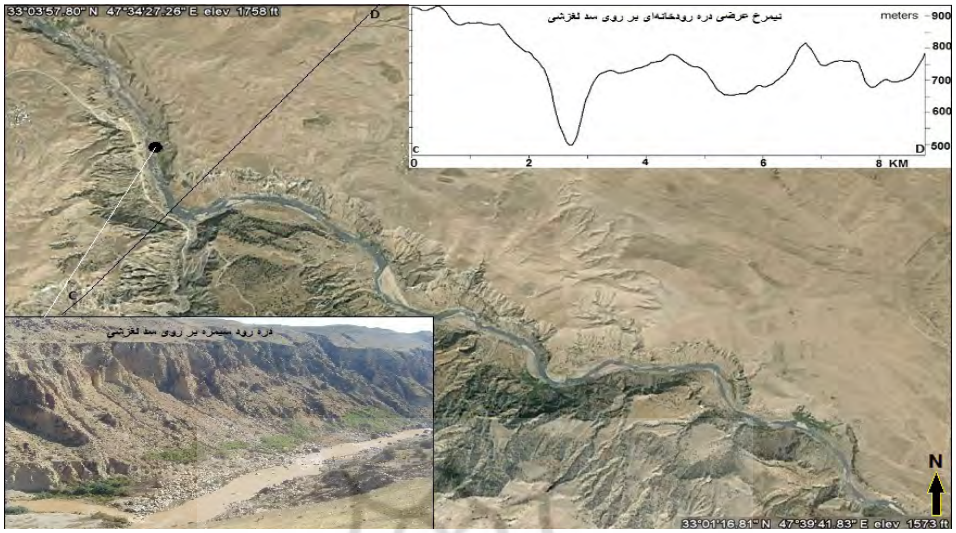
مقطع اول: مشاهدات میدانی از مورفولوژی دره در بالادست سد لغزشی نشان‌دهنده یک دشت آبرفتی وسیع درنتیجه انباشت رسوبات دریاچه قدیمی سیمره می‌باشد. شیب رود سیمره در منطقه بسیار کم و بر روی رسوبات نرم دریاچه‌ای جریان دارد. درنتیجه کاهش شیب و رسوب‌گذاری رسوبات بستری رود سیمره الگوی پیچان‌رودی به خود گرفته و در کناره‌های آن چندین مئاندر متروک شکل‌گرفته است. ازنظر زمین‌شناسی سازندهای گچساران دره در زیر رسوبات دریاچه‌ای کو اتر نری مدفون‌شده‌اند(شکل ۷).



شکل ۷: دره رود سیمره در بالادست سد لغزشی

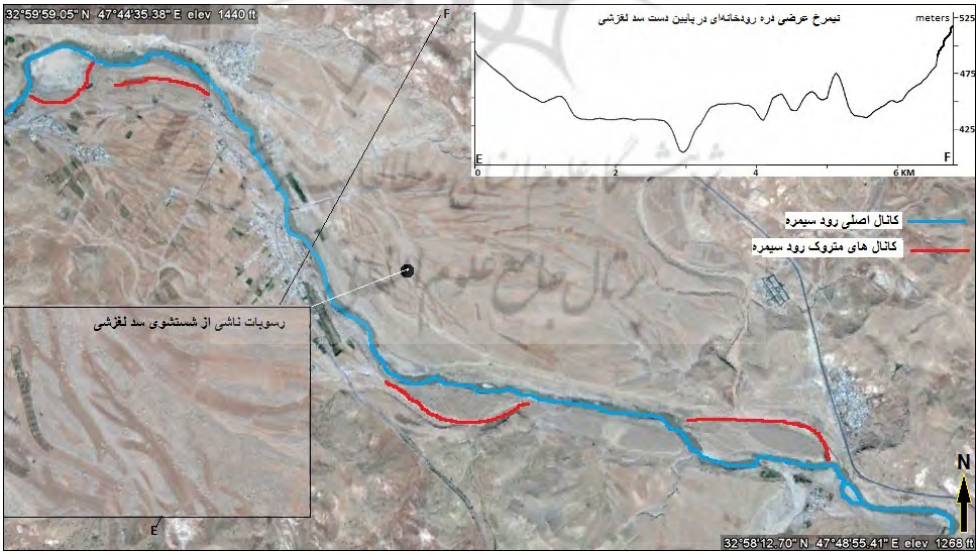
مقطع دوم: مسیر رود سیمره بر روی سد لغزشی می‌باشد. رود سیمره در یک دره عمیق و پرشیب که در رسوبات لغزشی حفرشده قرارگرفته است. دره رودخانه‌ای بسیار ناپایدار و دارای پتانسیل سد شدن مجدد به‌وسیله پهلوهای ناپایدار دره می‌باشد. سد شدن مجدد مسیر رود سیمره و تشکیل دریاچه موجب مخاطرات محیطی بزرگی برای مناطق بالادست و پایین‌دست لغزش (مثل آبگیری شهرهای بالادست و وقوع سیلاب‌های بزرگ در زمان شکست سد برای مناطق

پایین‌دست) می‌شود. این امر در شکل‌گیری و نابودی سکونتگاه‌های تاریخی در بالادست و پایین‌دست سد لغزشی نقش مهمی داشته است. آثار تمدنی مدفون‌شده در زیر رسوبات دریاچه‌ای شاهدی بر این رخداد می‌باشد. در این مقطع توپوگرافی و زمین‌شناسی دره تحت تأثیر توده لغزشی کاملاً تغییر کرده است(شکل ۸).



شکل ۸: دره رود سیمره بر روی سد لغزشی

مقطع سوم: دره رودخانه‌ای پایین‌دست سد لغزشی است. به دلیل بار رسوبی بالای رود سیمره ناشی از فرسایش رسوبات دریاچه و رسوبات لغزشی در طی فرایند شستشوی سد، پدیده انباشت رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه (در ابعاد چند متر) موجب تغییر مکان کانال رودخانه سیمره شده است(شکل ۹).



شکل ۹: دره رود سیمره در بالادست سد لغزشی

نتیجه‌گیری

دریاچه قدیمی سیمره در رشته‌کوه‌های زاگرس چین‌خورده (کبیر کوه) ایران درنتیجه سد شدن مسیر رود سیمره (تقریباً ۹۰۰۰ سال قبل) به‌وسیله لغزش بزرگ سیمره در دوره هولوسن تشکیل شد(جدول ۲). مهم‌ترین عامل محرک در وقوع این لغزش زیر بری رود سیمره در لایه‌های آهک آسماری منطقه بوده است. آثار ژئومورفولوژیک این دریاچه به‌صورت

دشت‌های آبرفتی گسترده دره رود سیمره باقی‌مانده است (شکل ۳). ویژگی‌های ژئومورفومتری حوضه زهکشی، سد لغزشی (جدول ۲) و دریاچه قدیمی سیمره اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این محاسبات نشان می‌دهد این سد با حجم بیش از ۴۰ میلیارد مترمکعب بزرگ‌ترین سد لغزشی جهان می‌باشد. بر اساس شاخص ژئومورفومتری انسداد بی‌بعد که پارامترهای ژئومورفومتری ارتفاع سد، حجم سد و مساحت حوضه زهکشی (جدول ۲) را برای ارزیابی پایداری سد لغزشی بکار می‌برد، سد لغزشی سیمره را یک سد پایدار و دریاچه آن مدت‌زمان زیادی به حیات خود ادامه داده است. با توجه به مساحت زیاد حوضه زهکشی رود سیمره و درنتیجه حجم آبی و رسوبی بالای منتهی به سد لغزشی، حجم و ارتفاع سد لغزشی مهم‌ترین علل پایداری آن می‌باشند. حجم زیاد رسوبات لغزشی جابه‌جاشده، عرض کم دره رودخانه و دبی کم احتمالی رودخانه سیمره و کشکان برای انتقال این رسوبات توده‌ای، شرایط برای تشکیل دریاچه‌های سدی بزرگ فراهم نموده است. درنتیجه این سد لغزشی، دریاچه‌ای با ویژگی‌های ژئومورفومتریک زیر شکل‌گرفته است:

جدول ۲: ویژگی‌های ژئومورفومتری دریاچه قدیمی سیمره

طول	عرض	مساحت	محیط	حجم	عمق	
بیش از ۴۰ کیلومتر	۷ کیلومتر	۲۹۰	۲۳۶	۴۵ میلیارد	حداکثر	متوسط
		کیلومترمربع	کیلومتر	مترمکعب	بیش از ۲۰۰ متر	۱۵۷

نتایج بکار گیری داده‌های مربوط به پارامترهای ژئومورفومتری دریاچه (جدول ۳) نشان می‌دهد حجم آبگیری دریاچه ۴۵ میلیارد مترمکعب و حجم رسوباتی که دریاچه سیمره ته نشت سده ۲۳ میلیارد مترمکعب می‌باشد. شاخص دوره پایداری دریاچه دو دوره متفاوت را بر اساس داده‌های حجم آبگیری و رسوبی دریاچه نشان می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری حجم آبی دریاچه دوره پایداری آن را ۱۹/۸ سال و محاسبه حجم رسوبی مدت‌زمان رسوب را ۱۹۱۳/۵ سال را نشان می‌دهد. با توجه به مدت‌زمان محاسبه‌شده برای پر شدن دریاچه سیمره و مدت‌زمان لازم برای ته‌نشست حجم رسوب دریاچه سیمره محتمل‌ترین نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که رسوب‌گذاری در طی چند مرحله صورت گرفته است و محیط دریاچه‌ای چندین مرحله تجدید شده است. سد لغزشی سیمره طی چند مرحله مسیر رود سیمره را سد کرده و منجر به تشکیل محیط دریاچه‌ای شده است. شواهد تأثیر تشکیل سد و دریاچه لغزشی سیمره بر مورفولوژی دره نشان‌دهنده تغییرات گسترده در توپوگرافی، مورفولوژی و زمین‌شناسی دره در طی یک دوره طولانی‌مدت می‌باشد(شکل ۷،۸ ،۹).

منابع و مآخذ

- آقانباتی، سید علی. (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهاروند، سیامک. (۱۳۸۷)، لرزه‌خیزی منطقه پل دختر و ارتباط احتمالی آن با زمین‌لغزش سیمره، رساله دوره دکتری، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- برگ‌ریزان، محمود. (۱۳۷۳)، زمین‌لغزه سیمره و نهشته‌های دریاچه‌ای در جنوب باختر پل دختر– لرستان، مجموعه مقالات نخستین سمپوزیوم بین‌المللی کواترنر، دانشگاه تهران، صص ۲۶۵–۲۵۵.
- درویش زاده، علی. (۱۳۸۰)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر امروز، ص ۹۰۱.
- علایی طالقانی، محمود. (۱۳۸۱)، ژئومورفولوژی ایران، چاپ چهارم. انتشارات قومس، ص ۱۲۲.

- محمودی، فرج الله. (۱۳۶۷)، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲۳، ۵-۴۳.
- شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران؛ ۱۳۷۴، طرح سد و نیروگاه سیمره.
- یمانی، مجتبی؛ گورابی، ابوالقاسم؛ عظیمی راد، صمد. (۱۳۹۱)، زمین‌لغزش بزرگ سیمره و توالی پادگانه‌های دریاچه‌ای، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره‌ی ۴، صص. ۳۸-۱۷.

- *Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. IN: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, Investigation and Mitigation. Special Report, vol. 247. Transportation Research Board, National Research Council, pp. 36–75.*
- *Costa, J.E., Schuster, R.L., 1988. The formation and failure of natural dams. Geol. Soc. Am. Bull. 100, 1054–1068.*
- *Crozier, M.J., Pillans, B.J., 1991. Geomorphic events and landform response in south-eastern Taranaki, New Zealand. Catena 18, 471–487.*
- *Ermini, L., Casagli, N., 2003. Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. Earth Surf. Process. Landf. 28, 31–47.*
- *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.*
- *International Strategy for Disaster Reduction, 2000. Usoi landslide dam and Lake Sarez: an assessment of hazard and risk in the Pamir Mountains, Tajikistan, ISDR prevention series. United Nations, New York.*
- *Nicoletti, P.G., Parise, M., 2002. Seven landslide dams of old seismic origin in southeastern Sicily (Italy). Geomorphology 46, 203–222.*
- *Roberts, N. J., (2008). Structural and geologic controls on gigantic (QUOTE) landslides in carbonate sequence: case study from Zagros Mountains, Iran and Rocky Mountain, Canada, MSc thesis, the University of Waterloo.*
- *Shoaei, Z., and Ghayoumian, J., (2000). Seimareh landslide, western Iran: one of the world's largest complex landslides. Landslide News 13, 23-27.*
- *Schneider, J.F., Gruber, F.E., Mergili, M., 2013. Recent Cases and Geomorphic Evidence of Landslide-Dammed Lakes and Related Hazards in the Mountains of Central Asia, in: Margottini, C., Canuti, P., Sassa, K. (Eds.), Landslide Science and Practice. Springer Berlin Heidelberg, pp. 57–64.*
- *Schuster, R., Costa, J., 1986. PERSPECTIVE ON LANDSLIDE DAMS. United States Geological Survey.*
- *Schuster, R.L., 1986a. Landslide Dams: Processes, Risk, and Mitigation.*
- *Schuster, R.L., 1986b. Landslide dams: processes, risk and mitigation : proceedings of a session. American Society of Civil Engineers.*
- *Schuster, R.L., 2000. Dams Built on Pre-Existing Landslides. Presented at the International conference on geotechnical and geological engineering; GeoEng 2000, pp. 1537–1589.*