بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی محیطی و نقش آنها در وقوع زمین‌لغزش‌های اطراف سد لتیان

محمود فاطمی عقدا[1]*، مهدی رهبر[2]، محسن معجزی[3] و غلامرضا اسدالله فردی[1]

[1] دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران، ایران.
[2] شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران.
[3] شرکت مهندسی قدس نیرو، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۵

چکیده

زمین‌لغزش‌ها همه ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در سراسر جهان برجای می‌گذارند، به منظور جلوگیری از خسارات و خطرات ناشی از لغزش می‌بایست علل رویداد آن را شناخت و این شناخت فقط با بررسی کامل وضعیت زمین‌شناسی منطقه و مطالعه لغزش‌های پیشین اعم از جهانی و محلی امکان‌پذیر است. در این تحقیق، علاوه بر تعیین ویژگی‌های سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی و زمین‌ساختی ناحیه اطراف سد، عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش‌های منطقه بررسی شده است. به‌طور کلی در تکیه‌گاه‌ها علت وقوع زمین‌لغزش‌ها را می‌توان وجود سنگ‌شناسی سست، ناپیوستگی‌های متعدد و شیب توپوگرافی بالا دانست. در حالی که زمین‌لغزش‌های اطراف دریاچه علاوه بر عوامل یاد شده، متأثر از افزایش فشار آب منفذی و تغییر تراز سطح آب دریاچه سد است. در پایان نیز نقش و اهمیت این پدیده برای سد و منطقه تشریح شده است.

کلیدواژه: زمین‌لغزش، سدلتیان، زمین‌ساخت، ریخت‌شناسی، فشار آب منفذی

***نویسنده مسئول:** محمود فاطمی عقدا

۱- مقدمه

سد لتیان در شمال خاوری شهر تهران واقع شده و از اهمیت ویژه اقتصادی و اجتماعی برای این شهر و مردم آن برخوردار است. این سد در منطقه‌ای به شدت تکتونیزه ساخته شده است، به گونه‌ای که گسل‌ها و دسته درزهای متعددی سنگ‌های منطقه را قطع کرده‌اند. این وضعیت به هوازدگی و خردشدگی شدید سنگ‌ها انجامیده است. بنابراین زمین‌لغزش‌های قدیمی فراوانی سازه سد و دریاچه آن را احاطه کرده است. بعد از ساخت سد نیز لغزش‌های متعددی در تکیه‌گاه‌ها و اطراف دریاچه سد رخ داد که بسیاری از آنها بر روی زمین‌لغزش‌های قدیمی قرار داشتند. ماسه‌های جاری(Flowing Sands) ، زمین‌لغزش‌ها و ریزش‌های سنگی همگی نمونه‌هایی از حرکات توده‌ای هستند که اصطلاحی عمومی برای حرکت رو به پایین سنگ و خاک تحت‌تأثیر گرانش است (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۳). زمین‌لغزش‌ها همه ساله در سراسر دنیا موجب خسارات مالی و جانی زیادی می‌شوند. این پدیده در اثر عواملی چون تغییر گرادیان شیب، بارگذاری، زمین‌لرزه و ارتعاشات، افزایش فشار آب منفذی، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، یخزدگی، هوازدگی سنگ‌ها و از بین رفتن پوشش گیاهی ایجاد می‌شود(کمک پناه و همکاران، ۱۳۷۱). راهکارهای علمی فراوانی نیز برای مقابله با زمین‌لغزش‌ها ارائه شده است، به عنوان مثال می‌توان به زهکشی دامنه، پایدارسازی دامنه با استفاده از مسلح کننده‌ها، پیچ‌سنگ و پایدارسازی از طریق گشتاور تعادلی اشاره کرد (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۳). کارهای بسیاری بر روی زمین‌لغزش‌ها در دنیا انجام شده است. Terzaghi & Peck (1967) نقش فشار منفذی را در ایجاد زمین‌لغزش شرح دادند. Royster(1973) نشان داد که چگونه نصب قریب به ۱۵۰۰۰ لوله زهکشی افقی به همراه دوازده چاه عمودی به ژرفای ۳۰ متر، در کاهش سطح ایستابی و تثبیت زمین‌لغزش‌های کوهرفتی و شیلی هوازده در طول جاده ۱۷۵ در تنسی مؤثر بوده است. Paige Green (1981) افزایش نظری ضریب ایمنی (FS) در شیب بریدگی‌ها را به کمک چاه‌های پمپاژ و زهکش‌های افقی تشریح کرد (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۳). Hock & Bray (1981) نشان دادند که چگونه می‌توان شیب‌های سنگی را با استفاده از شبکه استریونت تحلیل کرد.

در این نوشتار، ابتدا انواع حرکت‌های توده‌ای منطقه مورد بررسی قرار گرفته، سپس علل رویداد حرکات توده‌ای با توجه به وضعیت زمین‌شناسی و ریخت‌شناختی منطقه تعیین می‌شود؛ همچنین مکان‌ها و لیتولوژی‌های دارای پتانسیل لغزش در منطقه مشخص می‌شود. در نهایت نقش و اهمیت این پدیده برای سد و منطقه تشریح خواهد شد.

۲- ویژگی‌های زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی منطقه

سد لتیان در ۲۰ کیلومتری شمال خاوری شهر تهران و در بخش جنوبی رشته‌کوه‌های البرز مرکزی با عرض $35^{o}47'$ شمالی و طول $51^{o}40'$ خاوری در محل برخورد رودخانه‌های فرعی لوارک، گلندوک، افجه با رودخانه جاجرود واقع شده است (شکل ۱)، به گونه‌ای که هر انشعاب به طور مستقیم به دریاچه سد می ریزد.

از عمده‌ترین انواع سنگ‌های اطراف دریاچه، توف‌های سبز رنگ و ستبرلایه است که بیشتر مناطق کناره جنوب، باختر و شمال خاوری دریاچه را تشکیل می‌دهد. کناره شمالی دریاچه را کنگلومرا با سیمان رسی- ماسه‌ای تشکیل می‌دهد که در اثر فرسایش آبی شیارها و دره‌هایی بر روی آنها ایجاد شده است. این کنگلومراها لایه‌های نازک ماسه‌سنگ و لای‌سنگ را در خود جای داده‌اند. همچنین کنگلومرای پلی‌ژنتیک و سنگ‌آهک در کناره جنوبی دریاچه مشاهده می‌شود. همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی منطقه مشاهده می‌شود(شکل ۳)، منطقه از تنوع سنگ‌شناسی بسیار بالایی برخوردار است. از سازندهای عمده ساختگاه سد می‌توان به زاگون، لالون، کوارتزیت رأسی، میلا، جیرود و توف‌های سبز کرج اشاره کرد (شکل ۲). عمده‌ترین ویژگی ریخت‌شناسی، تکیه‌گاه راست شیب زیاد دامنه‌های آن است. هوازدگی و فرسایش فیزیکی سبب ایجاد واریزه سنگی(Scree) شده است. خردشدگی شدید زمین‌ساختی، شرایط آب و هوایی، وجود دسته درزهای تمیز، لایه‌بندی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی توده سنگ، از جمله عواملی است که باعث شکسته شدن و ریزش بلوک‌های سنگی در این محدوده می‌شود. محل ساخت سد یک

طاقدیس فرسایش‌یافته و گسل خورده است که سازندهای آن از جدید به قدیم (از حاشیه به طرف هسته) عبارتند از:

الف) عضو توف میانی سازند کرج متشکل از توف سبز ستبر لایه، شیل توفی همراه با گدازه‌های آذرآواری. ب) سازند جیرود متشکل از ماسه‌سنگ، شیل، سنگ‌آهک و مارن. پ) سازند میلا شامل سنگ‌آهک، دولومیت، مارن و شیل ت)سازند لالون شامل ماسه‌سنگ‌های قرمز آرکوزی و کوارتزیت‌های رأسی سفید رنگ. ج) سازند زاگون که شیل‌های آهکی سرخ‌رنگ و ماسه‌سنگ‌های سرخ را در منطقه شامل می‌شوند.

همچنین در تکیه‌گاه راست درون سنگ‌آهک‌ها، غاری در مراحل مطالعاتی ساخت سد شناسایی شده است(طرح علاج بخشی سد لتیان، سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۸۰)، که خود عامـــلی مؤثر در فرار و نشت آب از درون توده‌های آهکی است. به‌طور کلی منطقه ساحل راست از لحاظ ژئومکانیکی با توجه به ویژگی‌های ریخت‌شناسی سنگ‌ها، لایه‌بندی و شیب و امتداد درزه‌ها، به ۸ زون مستقل قابل تقسیم است که تقریباً تمامی آنها شامل دسته درزهایی با شیب ۴۵ تا ۷۵ درجه و جهتی به سمت جنوب خاوری و به طرف پایین دامنه دارند(شکل۴ و جدول ۱) (طرح علاج بخشی نشست جاده لتیان- کلان، سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۷۹).

تنوع سنگی تکیه‌گاه سمت چپ از جدید به قدیم عبارتند از:

الف) توف‌های سبز کرج شامل شیل توفی همراه با گدازه‌های آذرآواری. ب) سازند لالون متشکل از ماسه‌سنگ‌های قرمز آرکوزی و ماسه‌سنگ‌های سفید رنگ. پ) سازند زاگون که از ماسه‌سنگ و شیل‌های سرخ‌رنگ تشکیل شده است. در این محدوده نیز پتانسیل لغزش وجود دارد چرا که لغزش‌ها و ریزش‌هایی در این محدوده مشاهده شده است. سازه سد بر روی ماسه‌سنگ‌های قرمز آرکوزی که از مقاومت نسبی بهتری نسبت به دیگر انواع سنگی برخوردارند، ساخته شده است.

۳- ویژگی‌های زمین‌ساختی منطقه

در منطقه مورد مطالعه بر اثر عملکرد فاز کوهزایی لارامید، بین دوره کرتاسه و پالئوسن و پیرینه‌ای (ائوسن- الیگوسن) و پاسادنین(پلیوسن- پلئوسن) گسل‌های متعددی پدید آمده است (خسرو تهرانی، ۱۳۷۵؛ درویش زاده، ۱۳۷۰). گسل‌ها به سبب متفاوت بودن نحوه عملکرد نیروها و نامتجانس بودن سازندهای مختلف موجود در منطقه، دارای روندهای مختلفی هستند. بیشتر گسل‌ها از نوع فشاری و راندگی هستند. گسل‌های اصلی که در امتداد خاوری- باختری و شمال باختر- جنوب خاور کشیده شده‌اند، به شرح زیر هستند(مهر پویا، ۱۳۷۱):

- گسل مشا- فشم(گسل آبیک فیروزکوه): این گسل به وسیله نبوی (۱۳۵۵) به نام گسل آبیک- فیروزکوه- شاهرود نامیده شد. به عقیده وی، گسترش جغرافیایی آن که به راندگی مشا- فشم نیز موسوم است، از حدود آبیک در باختر شروع می‌شود و پس از عبور از شمال تهران، فیروزکوه و شمال سمنان به طرف دامغان و شاهرود ادامه می‌یابد (نبوی، ۱۳۵۵). شیب آن در همه جا به طرف شمال و بین ۳۵ تا ۷۰ درجه متغیر است (Berberian, 1967). به عقیده نبوی (۱۳۵۵)، این گسل در لیاس فعال بوده، زیرا ستبرای رسوبات شمشک در شمال آن بیشتر از ناحیه جنوبی است و طولی حدود ۱۷۰کیلومتر دارد.

- گسل شمال تهران: مهم‌ترین و طویل‌ترین گسل نزدیک به تهران، گسل شمال تهران است که بخشی از سامانه زمین‌ساختی و پیچیده یال جنوبی سلسله جبال البرز را تشکیل می‌دهد. طول تقریبی این گسل حدود ۹۰ کیلومتر است(پور کرمانی و آرین،۱۳۷۷). به طور کلی، در بیشتر نقاط، این گسل مرز مشخص بین دو سازند کرج و رسوبات آبرفتی است؛ ولی همان‌طور که گفته شد، در برخی نقاط، سازند کرج روی آبرفت‌ها راندگی پیدا کرده است.

-گسل لتیان: این گسل که یک گسل فرعی است، با مجموعه‌ای از سنگ‌های درهم ریخته و جابه‌جایی راست‌گرد آبراهه مشخص می‌شود. این گسل دقیقا" از زیر سد می‌گذرد و روندی شمال باختر- جنوب خاور دارد که شیبی متغیر بین ۴۰ تا ۸۰ درجه به سمت شمال خاور را دارا است. از گسل‌های دیگر منطقه می‌توان گسل دیزین- دربندسر در باختر دره لالون و گسله‌های آهار، لالون، میگون، امام زاده داوود، تلوپایین، شیان، نیاوران و جیرود را نام برد.

در شکل۵ نقشه گسل‌های منطقه به همراه زمین‌لرزه‌ها به تصویر کشیده شده است. همان‌طور که در نقشه رسم شده از منطقه مشاهده می‌شود، گسل‌های اصلی و فرعی فراوانی در اطراف سد وجود دارد که خردشدگی شدید واحدهای سنگی را باعث شده است. این خردشدگی‌ها و دسته درزها شرایط لغزش توده‌های سنگی را فراهم می‌کند؛ افزون بر این، زلزله‌های فراوانی که در اطراف سد رخ داده‌اند، در فراهم آوردن شوک اولیه برای لغزش توده‌های سنگی بی‌تأثیر نبوده‌اند.

۴- حرکات توده‌ای سنگی و خاکی پیرامون سد لتیان

به طور کلی حرکات توده‌ای در منطقه لتیان را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود، لغزش‌هایی که در توده‌های سنگی مشاهده می‌شوند و لغزش‌هایی که در توده‌های خاک و واریزه‌ها مشاهده می‌شوند. سنگ‌لغزش‌های منطقه در چهار شکل، لغزش صفحه‌ای، لغزش گوه‌ای، واژگونی بلوک‌های سنگی و ریزش‌های سنگی قابل مشاهده است. لغزش توده‌های خاک نیز به دو دسته انتقالی و چرخشی قابل تقسیم هستند(توکلی،۱۳۷۵؛ فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۳). به‌علاوه، از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی محیطی می‌توان حرکات توده‌ای موجود را، در دو منطقه بررسی نمود:

۱- حرکات توده‌ای در تکیه‌گاه‌ها

۲- حرکات توده‌ای در اطراف دریاچه سد

۴-۱. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی محیطی در وقوع لغزش‌های اطراف تکیه‌گاه‌ها

در ساحل سمت راست رودخانه جاجرود از محل تکیه‌گاه سد اصلی تا سد تنظیمی به دلیل شیب زیاد بریدگی (60^o تا 80^o)، هوازدگی شدید سنگ‌ها و تکتونیزه بودن منطقه، ریزش‌های سنگی و واژگونی بلوک‌های سنگی فراوان دیده می‌شود. به گونه‌ای که این ریزش‌ها برای سازه سد و نیروگاه مشکلاتی را ایجاد کرده است. این ریزش‌های سنگی بیشتر در سنگ‌های آهکی، کوارتزیت‌ها و شیل‌های خرد شده رخ می‌دهند. به منظور حفظ و نگهداری سازه سد و نیروگاه از خطرات ناشی از این ریزش‌ها و لغزش‌ها در دیواره سمت راست، اقدام به عملیات پایدارسازی توسط پیچ‌سنگ و شاتکریت نموده‌اند. ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی در دیواره سمت راست در چهار زون R1, R3, R4 و R6 و در دیواره سمت چپ در زون L3 قابل مشاهده است(شکل ۷).

همان‌طور که پیش‌تر عنوان شد، سنگ‌های تشکیل دهنده این محدوده عمدتاً از شیل و ماسه‌سنگ و در رقوم بالاتر از نوع سنگ‌آهک و دولومیت هستند که به علت تکتونیزه بودن منطقه و تنوع سنگ‌شناسی شاخص کیفی سنگ(RQD)، بسیار متغیر و بین ۶۰ الی ۱۱ درصد است، به استثنای سنگ‌های آهکی ستبرلایه و توده‌ای، سنگ‌های دیگر در رده سنگ‌های ضعیف قرار می‌گیرند. با توجه به برداشت‌های صحرایی و آزمایشات برش مستقیم، زاویه اصطکاک داخلی در محدوده ۲۴ تا ۳۲ درجه قرار می‌گیرند (طرح علاج بخشی سد لتیان، سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۸۰) و موقعیت فضایی لایه‌بندی دارای جهت شیب و زاویه شیب ۳۲۵/۴۰ درجه است که آشکارترین ناپیوستگی محدوده است. افزون بر لایه‌بندی، چهار دسته درزه نیز محدوده را تحت‌تأثیر قرار داده که ویژگی‌های آنها در جدول ۲ آمده است. همان‌طور

که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، محل برخورد دسته درزهای J1 و J2، دسته درزهای J1 و J4 و دسته درزهای J2 و J4 در ناحیه گسیختگی گوه‌ای قرار می‌گیرد. در نتیجه، در این محدوده افزون بر ریزش‌های ناشی از هوازدگی و فرسایش، گسیختگی گوه‌ای نیز ممکن به نظر می‌رسد.

در زون‌های L2, L4, L5, R2 و R5 لغزش واریزه‌های سنگی و توده‌های خاک به چشم می‌خورد(شکل ۷). توده‌های لغزیده را به‌طور عمده بلوک‌های سنگی تا ذرات ریز لای و رس تشکیل می‌دهند(جدول ۴). علت رویداد آنها را می‌توان هوازدگی شدید سنگ‌ها، سنگ‌های سست، تکتونیزه بودن شدید لایه‌ها و شیب زیاد دامنه دانست. از طریق مشاهدات صحرایی، انطباق نقشه زمین‌لغزش‌ها با نقشه زمین‌شناسی منطقه تعداد لغزش‌های موجود در هر نوع سنگی در دو محدوده ساحل دریاچه سد و طول دره تکیه‌گاه‌ها بین دو سد اصلی و تنظیمی به‌دست آمد.

با توجه به نسبت به دست آمده برای تعداد لغزش‌ها و طول سنگ‌شناسی‌های (در این مقاله منظور از طول سنگ‌شناسی، طولی از واحدهای سنگی (سازند) است که شیب توپوگرافی، صرف نظر از دیگر عوامل مؤثر در لغزش به آنها اجازه لغزش می‌دهد) درهٔ تکیه‌گاه و اطراف دریاچه، حساسیت انواع سنگ‌ها به لغزش تعیین شد. در جدول ۳ نحوه امتیاز دهی‌ها آمده است. با استفاده از جدول ۳ و دخالت دادن مشاهدات صحرایی، جدول ۴ به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سنگ آهک در ردیف ۲ و پس از کنگلومرا حساس‌ترین واحد سنگی به لغزش است که علت این پدیده شیب زیاد بریدگی در دو طرف تکیه‌گاه است، نه سنگ‌شناسی سست آن، بنابراین با توجه به مشاهدات صحرایی در رده زیاد تا متوسط و پس از توف‌ها و سنگ‌های آذرآواری قرار می‌گیرند. همان گونه که مشاهده می‌شود، سست‌ترین واحدهای سنگی را شیل‌ها، مارن‌ها و کنگلومراها با سیمان‌شدگی ضعیف نشان می‌دهند.

۴-۲. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی محیطی در وقوع لغزش‌های اطراف دریاچه سد

در شکل ۷ زمین‌لغزش‌های فراوانی در اطراف دریاچه مشاهده می‌شود، عامل این پدیده را علاوه بر وضعیت زمین‌شناسی و زمین‌ساختی می‌توان تغییرات تراز آب دریاچه و فشار آب منفذی دانست. در جدول ۵ ویژگی‌های زمین‌لغزش‌ها را مشاهده می‌کنید. گمانه‌های اکتشافی در محل زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهند که شاخص کیفی سنگ(RQD) در ژرفاهای مختلف حداقل صفر و حداکثر ۴۵ است به طوری که این سنگ‌ها در رده خیلی ضعیف تا ضعیف قرار می‌گیرند. همچنین نفوذپذیری آنها زیاد تا بسیار زیاد و از 10^{-1} cm/sec تا 10^{-5} cm/sec متغیر است (طرح علاج بخشی نشست جاده لتیان- کلان، سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۷۹).

به‌طور کلی عامل زمین‌لغزش در تپه‌های اطراف دریاچه تغییرات سریع سطح آب دریاچه است؛ با کاهش سطح آب دریاچه، سطح ایستابی موجود در توده‌های سنگ و خاک به دلیل نفوذپذیری کم نسبت به سطح آب دریاچه با سرعت بسیار کمتری پایین می‌آید که در نتیجه آن توده سنگ وخاک به حالت اشباع باقی می‌ماند. در نتیجه وزن توده افزایش یافته و به عبارتی تنش مؤثر کم می‌شود و توده سنگ و خاک به پایین می‌لغزد (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۳). در عین حال واحدهای سنگی سست اطراف دریاچه نیز بی‌تأثیر نیستند؛ وجود لایه‌های توف هوازده با شیب توپوگرافی بالا و کنگلومرای پلیوسن با سیمان ماسه‌ای و رسی سست بر شدت این پدیده می‌افزاید.

معمولاً شیب‌ها پس از یک لغزش اولیه به یک پایداری مرزی می‌رسند و اگر شکل و ترکیب این شیب‌ها تغییر یابد بویژه در نقاط انتهایی (پنجه) موجب لغزش‌های بعدی می‌شود(کمک پناه، ۱۳۷۱). این موضوع در اطراف دریاچه زیاد به چشم می‌خورد چرا که زمین‌لغزش‌های قدیمی فراوانی در اطراف دریاچه وجود دارد که به تعادل مرزی رسیده و ضریب اطمینانی نزدیک به یک دارند(FS=1) (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۳)، و با کوچک‌ترین تحریک مانند تغییرات سطح آب دریاچه، بارندگی، ویلاسازی و راه‌سازی به پایین می‌لغزند. بنابراین اگر در حال حاضر این زمین‌لغزش‌های قدیمی پایدار باشند،دلیلی ندارد که در آینده نیز پایدار باشند.در تاریخ بیست و ششم اسفند ماه ۱۳۸۴ زمین‌لغزشی در مختصات جغرافیایی 51^{o} ۴۱′ طول خاوری و 35^{o} ۴۷′ عرض شمالی و در حدود ۴۰۰ متر بالاتر از سد در کناره جاده آسفالته دسترسی به سد رخ داد و به گفته ساکنان محلی تا هفته اول فروردین ۱۳۸۵ ادامه داشته است. حرکت زمین در این ناحیه باعث آسیب‌دیدگی جاده آسفالته شده به نحوی که تردد در آن به سختی صورت می‌پذیرفت. همچنین باعث تخریب چند دکل انتقال نیرو و سقوط آنها به دریاچه سد شده است. این رویداد سبب آسیب جدی به سازه‌های مسکونی ساخته شده و ویلاهای در حال ساخت بالا دست دامنه نیز شده است. زمین‌لغزش مورد مطالعه درازای ۱۰۰۰ متر و پهنای حدود ۵۰۰ متر و ژرفای ۲۵ متر دارد حجم مواد جابه‌جا شده ۶۵۴۱۶۶۶ متر مکعب است(رضایی،۱۳۸۵). محل رخداد این زمین‌لغزش بر روی زمین‌لغزش قدیمی است که دوباره فعال شده است که عمده سنگ‌شناسی آن بر طبق نتایج به‌دست آمده از گمانه‌های اکتشافی واریزه و توف سبز رنگ کرج است. بر اساس تقسیم‌بندی کانفورت(Conforth) این زمین‌لغزش از نوع لغزش دورانی(Rotational Slump) است(رضایی،۱۳۸۵). حرکت دورانی زمین به خوبی در جاده نمایان است که سبب بالا آمدگی جاده شده است. وجود بارندگی در روزهای قبل و حفر گمانه‌های اکتشافی در محل زمین‌لغزش این نظریه را تأیید می‌کند که علت رویداد زمین‌لغزش، بارش‌های جوی و تغییرات تراز آب دریاچه است(شکل ۹). چراکه بارش‌ها سبب اشباع شدن توده و افزایش وزن توده و در نتیجه کاهش تنش مؤثر شده است. عامل دیگر فعالیت‌های انسانی است که با ساخت و سازهای مسکونی و ویلاسازی در بالادست دامنه نمود یافته که در نتیجه این بارگذاری بر وزن توده افزوده شده و نیروی محرک افزایش یافته است.

۵- نتیجه‌گیری

منطقه اطراف سد لتیان از پتانسیل بالای لغزش توده‌های سنگ و خاک برخوردار است، از نظر پتانسیل لغزش منطقه را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد اول منطقه لغزشی اطراف تکیه‌گاه‌ها و دیگری منطقه لغزشی اطراف دریاچه سد. لغزش‌ها در اطراف تکیه‌گاه راست به صورت سنگ‌لغزش صفحه‌ای و گوه‌ای هستند. همان‌طور که در جدول‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، علت این امر وجود ناپیوستگی‌ها با جهت‌ها و شیب‌های مختلف و شیب زیاد دامنه است. به سبب نفوذپذیری بالا (10^{-1} cm/sec تا 10^{-5} cm/sec) و RQD پایین (۴۵-۰) و سنگ‌شناسی سست لایه‌های سنگی در دامنه‌های مشرف به دریاچه سد، آب به راحتی به درون این لایه‌ها نفوذ کرده و باعث افزایش فشار آب منفذی می‌شود و در نتیجه آن، تنش مؤثر کاهش یافته و توده‌های سنگ و خاک در دامنه‌های اطراف دریاچه به پایین می‌لغزند. لغزش‌های اطراف دریاچه باعث ورود حجم عظیمی از رسوبات به داخل مخزن سد شده و از بازده و عمر مفید سد می‌کاهد. در حالی که لغزش‌های سنگی در تکیه‌گاه برای جسم سد، نیروگاه و سد تنظیمی پایین دست خطر ساز است.

۶- سپاسگزاری

در پایان از معاونت امور سد و نیروگاه وزارت نیرو، سازمان آب منطقه‌ای تهران و شرکت مهندسان مشاور مهاب قدس که ما را در انجام تحقیقات یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

جدول۱- سطوح ناپیوستگی بلوک‌های ناپایدار در زون‌های مختلف(طرح علاج بخشی سد لتیان، سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۸۰)

زون	درزه اول Dip Dir/ Dip	درزه دوم Dip Dir/ Dip	شیب و امتداد صفحه بلوک Dip Dir/ Dip	شیب سطح بالایی در محل بلوک Dip Dir/ Dip
D	۱۳۵/۵۰	۳۴۰/۶۵	۰۳۰/۶۵	۰۳۰/۱۰
E	۰۴۰/۵۷	۱۵۰/۵۷	۱۲۰/۶۲	۱۲۰/۱۰
F	۱۵۵/۵۶	۰۵۵/۶۲	۱۰۰/۶۳	۱۰۵/۱۵
G	۰۵۵/۵۵	۱۵۵/۵۸	۱۰۵/۶۸	۱۰۵/۱۵
H	۱۲۵/۴۵	۳۳۵/۷۵	۰۹۵/۵۸	۰۹۵/۱۵

جدول۲- ویژگی‌های فضایی دسته درزها در تکیه گاه راست سد اصلی

Joint Set	Dip	Dip Direction
J۱	۸۰	۰۴۵
J۲	۷۵	۲۰۰
J۳	۷۵	۱۱۲
J۴	۶۰	۱۴۵

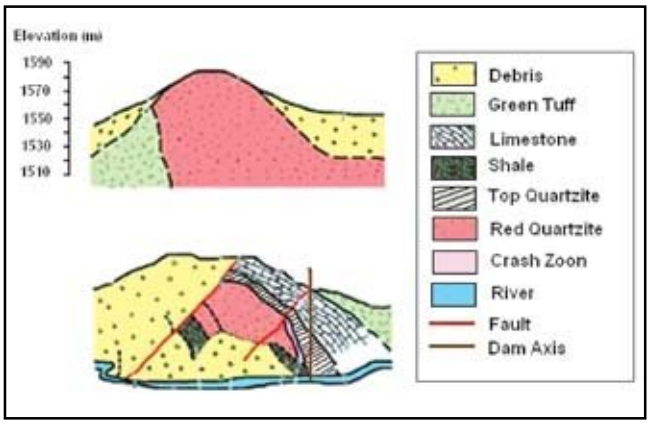
جدول ۳- نحوه امتیاز دهی‌ها برای تعیین حساسیت سنگ‌شناسی‌ها به لغزش(در این محاسبات از نقشه ۱۰۰۰۰۰ :۱ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شده است)

سنگ شناسی	فراوانی لغزش‌ها N	طول سنگ شناسی در مقیاس نقشه L [cm]	طول سنگ شناسی در مقیاس واقعی L [km]	نسبت N/L
کنگلومرا	۶	۲/۷	۲/۲۵	۲/۶۷
سنگ آهک درزه دار	۵	۲/۳	۱/۹۱	۲/۶۲
شیل و مارن	۳	۱/۸	۱/۵	۲
توف و واریزه های آذر آواری	۸	۹/۷	۸/۱	۰/۹۹
ماسه سنگ های قرمز آرکوزی	۱	۱/۵	۱/۲۵	۰/۸
کوارتزیت	۱	۲/۴	۲	۰/۵

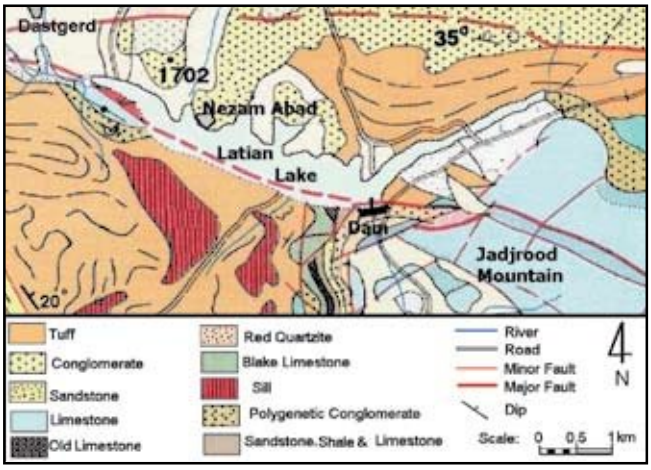
جدول ۴- درجه حساسیت واحدهای مختلف سنگی به لغزش

سنگ شناسی	درجه حساسیت به لغزش
شیل، مارن و کنگلومرا با سیمان شدگی ضعیف	خیلی زیاد
توف هوازده و سنگ آهک درزه دار	زیاد
توف، ماسه سنگ سرخ رنگ هوازده و سنگ آهک	متوسط
ماسه سنگ سرخ رنگ	کم
کوارتزیت رأسی	خیلی کم

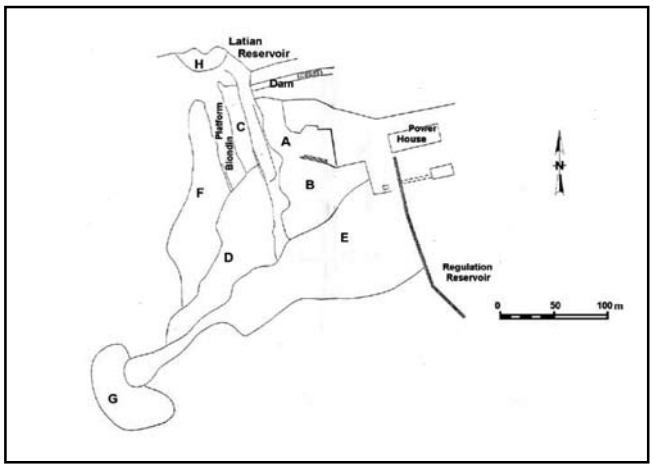
شکل ۱- موقعیت سد لتیان



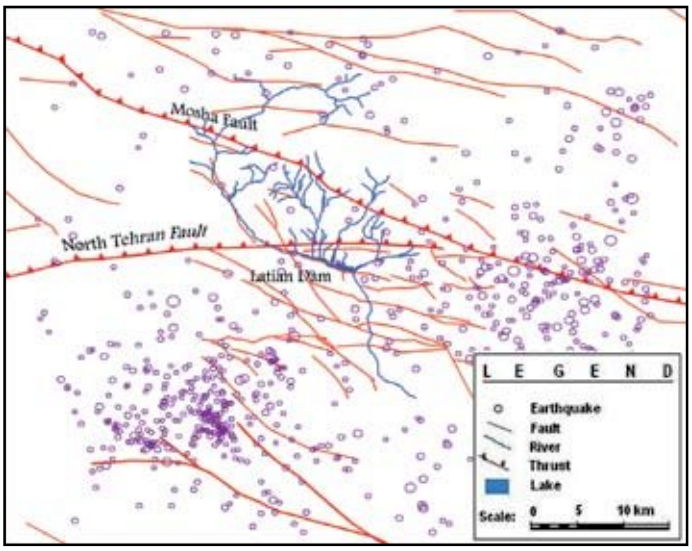
شکل۲- نمایی از دامنه تکیه‌گاه چپ در بالا و تکیه گاه راست در پایین (رضایی، ۱۳۸۵)



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی سد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۵)



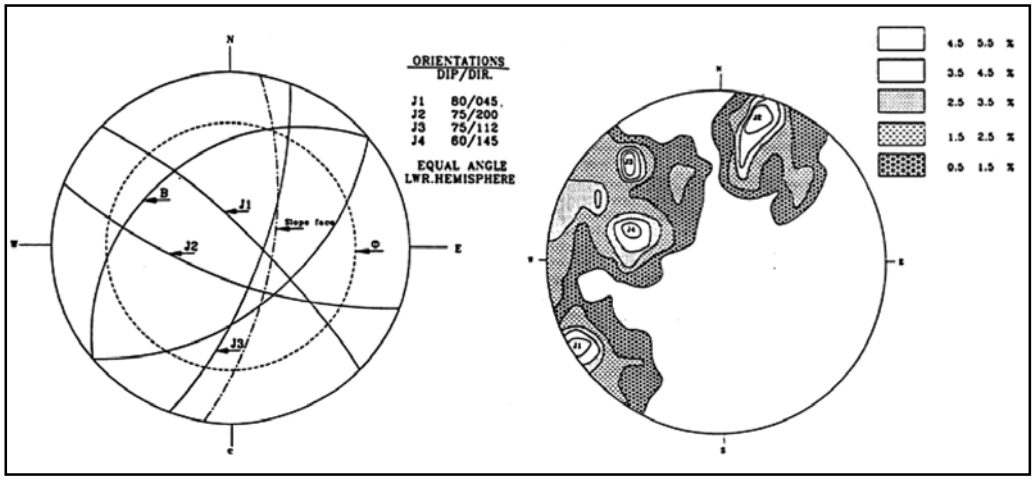
شکل ۴- نقشه زون‌بندی ژئومکانیکی تکیه‌گاه سمت راست(طرح علاج بخشی سد لتیان، سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۸۰)



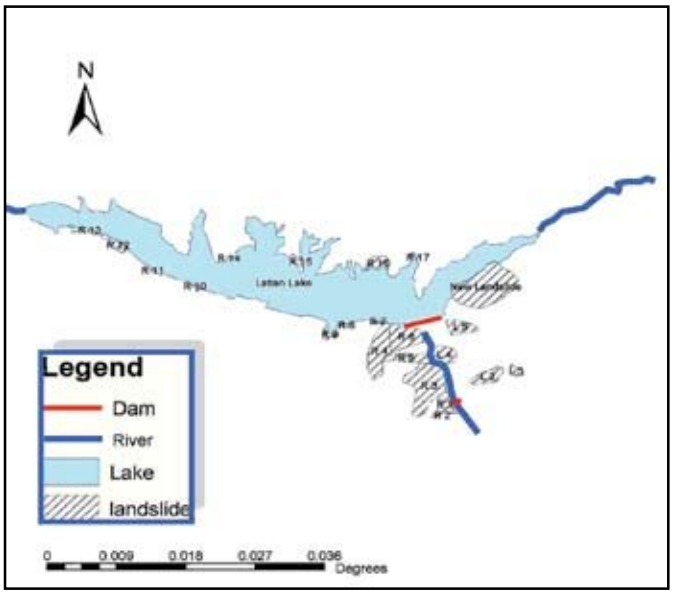
شکل ۵- نقشه منطقه که در آن موقعیت سد، گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها مشخص شده است(زمین لرزه‌ها از سال ۱۹۹۶ تا ابتدای سال۲۰۰۶)

جدول۵- ویژگی‌های زمین‌لغزش‌های اطراف دریاچه و تکیه‌گاه‌های سد

منطقه	نوع لغزش	سنگ شناسی توده لغزیده	عوامل مؤثر در لغزش	توصیفات
R_1	سنگ لغزش (ریزش و واژگونی)	سنگ‌آهک	وجود دسته درزهای متقاطع شیب زیاد دامنه	سد تنظیمی را تهدید می‌کند
R_2	زمین لغزش قدیمی (لغزش صفحه ای)	سنگ‌آهک با میان لایه‌های شیل	وجود لایه‌های شیل	دارای پتانسیل لغزش است
R_3	زمین لغزش	سنگ‌آهک و لایه‌های کوارتزیت	وجود دسته درزهای متقاطع هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه	دارای پتانسیل لغزش است و قطعات لغزیده در پایین دامنه دیده می‌شود
R۴	زمین لغزش (لغزش صفحه‌ای)	سنگ‌آهک	دسته درزهای موازی با شیب دامنه (نقش صفحات جدایش را بازی می کند) دسته درزهای عمود بر دامنه (نقش مرزهای جدایش را بازی می کند) شیب زیاد دامنه	دارای پتانسیل لغزش است
R_5	زمین لغزش	شیل‌های هوازده	ویژگی های سنگ‌شناسی شیل هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه	دارای پتانسیل لغزش است
R_6	سنگ لغزش (ریزش و گسیختگی گوه ای)	شیل، ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ و سنگ‌آهک	وجود دسته درزهای متقاطع هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه	دارای پتانسیل لغزش است
R_7, R_8, R_9, R_{10}, R_{11}	زمین‌لغزش	سنگ‌های آذرآواری و توف	تکتونیزه بودن منطقه شیب زیاد دامنه تغییرات سطح آب دریاچه	دارای پتانسیل لغزش است
R_{12}, R_{13}, R_{17}	زمین‌لغزش	کنگلومرای پلی‌ژنتیک	سیمان سست کنگلومرا شیب زیاد دامنه تغییرات سطح آب دریاچه	دارای پتانسیل لغزش است
R_{14}, R_{15}, R_{16}	زمین‌لغزش	کنگلومرا با میان لایه‌های مادستون	سیمان سست کنگلومرا تغییرات سطح آب دریاچه وجود میان لایه های مادستون	
L_2	زمین‌لغزش قدیمی	واریزه‌های آواری	شیب زیاد دامنه	
L_3	سنگ لغزش	سنگ‌آهک	هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه	
L_4, L_5	زمین‌لغزش قدیمی	واریزه‌های آواری	هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه عملیات راه سازی	در زمان ساخت سد به دلیل احداث راه به وقوع پیوست
L_6	زمین‌لغزش قدیمی	واریزه‌های آذرآواری	هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه تغییرات سطح آب دریاچه	
L_8	زمین‌لغزش قدیمی	واریزه‌های آذرآواری	هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه تغییرات سطح آب دریاچه	
New landslide	زمین‌لغزش (لغزش دورانی)	واریزه‌های آذرآواری و توف	هوازدگی شدید شیب زیاد دامنه تغییرات سطح آب دریاچه ویلا سازی در بالادست دامنه	

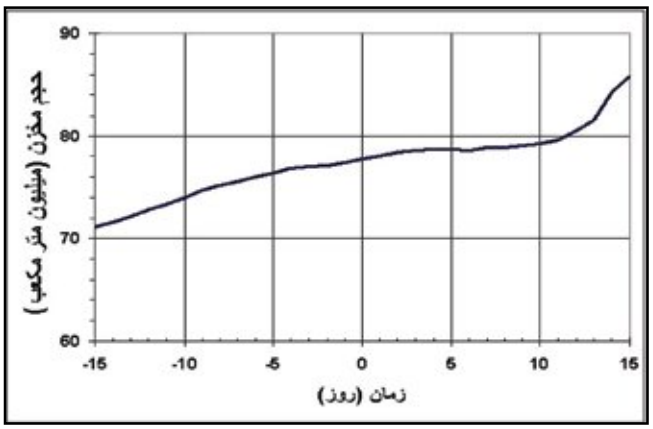


شکل ۶- نمایش کانتور دیاگرام و تصویر استریوگرافیک موقعیت درزه‌ها در تکیه‌گاه سمت راست سد اصلی



شکل۷- نقشه زمین‌لغزش‌های اطراف سدلتیان و تکیه-گاه‌های آن

شکل۸-ایجاد ترک‌های کششی در دامنه مشرف به سد (جهت دید شمال باختری) (رضایی، ۱۳۸۵)



شکل۹- نمودار تغییرات حجم مخزن در ۱۵ روز پیش و پس از رویداد زمین‌لغزش۲۶ اسفند ۱۳۸۴

کتابنگاری

پور کرمانی، م.، آرین، م.، ۱۳۷۷- لرزه‌خیزی ایران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
توکلی، ب.، ۱۳۷۵- مبانی زمین‌شناسی مهندسی، انتشارات دانشگاه پیام نور.
خسرو تهرانی، خ.، ۱۳۷۵- زمین‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر دانش.
رضایی، ع.، ۱۳۸۵-گزارش رانش زمین دریاچه سد لتیان، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.
سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی لشکرک، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰.
سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۸۰-گزارش زمین‌شناسی مهندسی و مکانیک سنگ، طرح علاج بخشی سد لتیان، تکیه‌گاه ریزشی جناح راست سد اصلی و سد تنظیمی.
سازمان مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۷۹- طرح علاج بخشی نشست جاده لتیان- کلان، مطالعات مرحله اول، گزارش فنی.
فاطمی عقدا، م.، رضایی، پ.، نوری زاده، م.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی مهندسی از دیدگاه محیطی، ترجمه کتاب پری راهن، انتشارات دانشگاه هرمزگان، جلد اول.
کمک پناه، ع.، منتظرالقائم، س.، چدنی، ج.، ۱۳۷۱- پهنه‌بندی زمین لغزه در ایران، زمین لغزه و مروری بر زمین‌لغزه‌های ایران، جلد اول، پژوهشگاه زلزله و مهندسی زلزله.
مهرپویا، پ.، ۱۳۷۱- بررسی اجمالی ژئودینامیک دامنه‌ای دره جاجرود (از لشکرک تا شمشک) ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد.
نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

Berberian, M., 1967- Contibution to the seismotectonic map of Iran (PeII), Geol Surv.of Iran, Report No. 39,156 P.
Hock, E. & Bray, J., 1981- Rock Slope Engineering, The Institution of Mining and Metallurgy, London, Third edition.
Royster, D. L., 1973- Highland landslide problems along the Cumberland Plateau in Tennessee, Assoc. Eng. Geol. Bull.10:255-287.

Study of Environmental Geology Characteristics and Their Effects on Landslides around Latian Dam

M. Fatemi Aghda[1*], M. Bakhtar[2], M. Mojtaf[3] & G. R. Amirkhanzadeh[3]

[1] Tarbiat Moalem University, Tehran, Iran.

[2] National Oil Company, Ahwaz, Iran.

[3] Ghods Niroo Engineering Company, Tehran, Iran.

Received: 2007 July 10 Accepted: 2009 February 13

Abstract

Every year, all over the world, landslides cause considerable damage to life and property. In order to prevent the danger and destruction brought about by landslides, it is important to identify the reasons for the occurrence of this phenomenon. This can only be achieved by conducting a thorough investigation into the geological conditions of the region and a study of the local and global landslides that have occurred in the past across the years. In this research, the reasons for occurrence of landslides in the region have been studied, in addition to the identification of lithological, geological, morphological and tectonical characteristics of the region around the dam. In abutments, landslides occur due to weak lithologies, discontinuities and a high topographic gradient. Landslides around the reservoir occur due to an increase in pore water pressure and changes in water level of the reservoir, in addition to the reasons mentioned above. Finally, the importance and the role of this phenomenon regarding dams and the region have been studied and explained in this research.

Key words: Landslide, Latian Dam, Tectonic, Morphology, Pore water pressure.

For Persian Version see pages 69 to 76

*Corresponding author: M. Fatemi Aghda; Email: Fatemi@saba.tmu.ac.ir