

تأثیر زمین لغزش‌ها بر بار رسوبی رودخانه جاجرود

حمیدرضا پیروان^{۱*}، محسن شریعت‌جعفری^۲ و دادور لطف‌الله‌زاده^۳

^۱ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ^۲ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۳ مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۲

چکیده

این تحقیق در حوزه آبخیز سد لتیان به منظور تعیین ارتباط بین زمین لغزش‌ها و افزایش بار رسوبی رودخانه جاجرود انجام شده است. میزان رسوب‌دهی شش زیرحوزه آبخیز بالادست سد لتیان به دو روش برآوردی و مشاهده‌ای محاسبه شد. به کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ و Google Earth، موقعیت مکانی بیش از ۱۵۰ لغزش به وقوع پیوسته شناسایی و به نقشه درآمد. با مقایسه داده‌های رسوب مشاهده‌ای با داده‌های برآورد مدل MPSIAC در دو زیرحوزه لواسانات و کند-افجه مشخص شد که حوضه لواسانات کمتر از حوضه کند-افجه توان رسوبزایی دارد، ولی با این وجود، میزان رسوب مشاهده‌ای حوضه لواسانات بر اساس تن در سال حدود دو برابر حوضه کند-افجه است و این در حالی است که مساحت لغزش در لواسانات ۱/۸ و در کند-افجه ۰/۷ مساحت کل حوضه است. بر اساس رسوب‌دهی برآوردی به کمک مدل MPSIAC، متوسط وزنی تولید رسوب ویژه دو زیر حوضه کند-افجه با درصد مساحت لغزش ۰/۷ درصد و گرمابدر با درصد مساحت لغزش ۲/۴ درصد به ترتیب برابر با ۳۸۷/۰۲ و ۴۳۱/۳۹ مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال است که بدین مفهوم است که با افزایش درصد نسبی مساحت زمین لغزش‌ها از ۰/۷ به ۲/۴ درصد، حدود ۱۱/۵ درصد رسوب‌دهی ویژه حوضه زیادتر شده است. بر اساس تحلیل داده‌های ایستگاه هیدرومتری رودک در خروجی حوضه جاجرود، متوسط دبی رسوب رودخانه جاجرود در نه ماهه اول سال ۱۳۸۳ و قبل از رخدادهای زمین لغزشی ناحیه حاجی‌آباد ۶/۱۷ تن بر روز بوده که در نه ماهه بعد از زمین لغزش به متوسط ۱۶/۹ تن بر روز افزایش یافته است. این مقدار معادل ۱۷۰ درصد افزایش بار رسوبی رودخانه در نه ماهه بعد از رخدادهای مذکور است. نکته جالب توجه این است که این افزایش در حالی است که در این دوره حدود ۳۰ درصد حجم جریان کاهش داشته است و این به مفهوم آن است که افزایش بار رسوبی نه تنها ناشی از افزایش دبی جریان نبوده بلکه کاهش ۳۰ درصدی دبی جریان می‌توانسته در کاهش بار رسوبی نیز تاثیرگذار بوده باشد، بنابراین با در نظر گرفتن مساحت ۲۰/۴۵ هکتار زمین لغزش‌های فوق‌الذکر، هر هکتار زمین لغزش، موجب افزایش بیش از هشت درصد بار رسوبی رودخانه شده است.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، سد لتیان، لواسانات، منحنی‌سنجه دبی-رسوب، MPSIAC

مقدمه
و رسوب مطالعاتی صورت گرفته است. Shariat Jafari و Ghayoumian (۲۰۰۵) ارتباط و همبستگی بین

در حوزه آبخیز سد لتیان از جنبه‌های مختلف آب

نیوزلند (New, Alps zealand) بر روی تولید رسوب از زمین‌لغزش‌های بزرگ دریافتند که زمین‌لغزش‌ها عامل غالب فرایند انتقال رسوب به درون کانال‌های رودخانه‌ها هستند. آن‌ها با مد نظر قرار دادن سه زمین‌لغزش بزرگ که در دامنه‌های غربی جنوب آلپ به‌وقوع پیوسته‌اند، تولید و انتقال رسوب را به‌صورت کمی مورد بررسی قرار دادند. با ترکیبی از مطالعات صحرایی، محاسبات حجم با استفاده DEM زمین و تفسیر عکس‌های هوایی، ویژگی‌های رسوبات به وجود آمده از گسیختگی‌های دامنه‌ای در محدوده‌ای به وسعت بیش از ۷۰ هزار کیلومتر مربع در یک دوره زمانی کوتاه مدت، در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

Matjaz و همکاران (۲۰۰۶) در مقاله‌ای اثر زمین‌لغزش و سنگ‌افت‌های بزرگ ناشی از فعالیت زمین‌لرزه‌ای بر میزان رسوب ورودی به حوضه رودخانه سوکا در اسلونی را مورد مطالعه قرار داد. وقوع زلزله ۱۲ آوریل ۱۹۹۸ به بزرگای ۵/۶ سبب بروز بیش از ۱۰۰ مورد گسیختگی دامنه‌ای شد که ۵۰ مورد آن‌ها سنگ‌افت بوده است. حدود ۲۶۰ هزار مترمکعب از مواد سنگ‌افت‌ها در دامنه شیب‌ها باقی می‌ماند و توانایی رسیدن به شبکه رودخانه‌ها را ندارند، در حالی که ۴۸۰ هزار مترمکعب از این مواد می‌توانند در طی یک دوره زمانی طولانی‌تر و در حین وقوع بارش‌های سنگین و زلزله وارد جریان رودخانه‌ها شوند. حدود ۲۰۰ هزار مترمکعب از قطعات ناشی از سنگ‌افت در محل‌هایی انباشته شده‌اند که مواد از آن محل‌ها در حین وقوع بارش شدید وارد جریان رودخانه می‌شود. پس از زمین‌لرزه ۱۲ جولای ۲۰۰۴، ۵۰ گسیختگی نسبتاً سطحی شامل ۳۸ سنگ‌افت ثبت شدند. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ بیش از ۱۵۰ هزار مترمکعب رسوب لایروبی شده است.

Claessens و همکاران (۲۰۰۷) با به‌کارگیری مدل زمین‌لغزش LAPSUS_LS، جابه‌جایی و رسوب‌زایی ناشی از زمین‌لغزش‌های ناحیه کوهپایه‌ای کوه الگون را بررسی کرد و توانست زمین‌لغزش‌های جدید را شبیه‌سازی کند. وی با بررسی ۸۱ زمین‌لغزش دریافت که در این منطقه، تندی شیب، خصوصیات خاک، بارندگی شدید و فعالیت‌های انسانی از عوامل به‌وجود

رسوب‌دهی با گسیختگی شیب‌ها و رانش زمین را در حوضه طالقان مرکزی بررسی نموده‌اند. با این فرض که عوامل مؤثر در فرسایش‌پذیری و افزایش بار رسوبی حوضه‌ها تأثیر مشابه در ایجاد و تشدید حرکات توده‌ای دارند، آن‌ها ویژگی‌ها و توان تولید رسوب ۹۰ مورد زمین‌لغزش را در هشت زیرحوضه بررسی و رابطه همبستگی بار رسوبی حوضه و فراوانی سطوح گسیختگی زمین‌لغزش، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند.

Kelsey (۱۹۷۸) با مطالعه ۱۹ مورد جریان واریزه‌ای که به حوضه رودخانه وان دوزن در کالیفرنیا شمالی وارد می‌شوند، تخمین زد که ورودی سالانه رسوب به رودخانه از طریق این جریان‌ات بین ۲۲۰۰ تا ۴۱۰۰۰ مترمکعب در هر رویداد است. Mizuhara و Ohte (۱۹۸۷) در مورد فرسایش مواد گسیخته زمین‌لغزش پس از رخداد، نتیجه گرفت که بیشترین تولید رسوب مربوط به حالت بدون پوشش دامنه لغزشی است. چنانچه دامنه‌های لغزشی به‌طور طبیعی یا مصنوعی از پوشش گیاهی پوشیده نشوند ممکن است رسوب ناشی از چنین دامنه‌هایی به‌نحوی باشد که ذخایر آبی را به خطر اندازند.

Pearl و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی‌های خود بر روی زمین‌لغزش‌ها و رسوب‌گذاری در سامانه زهکشی در کشور هنگ‌کنگ دریافت که زمین‌لغزش‌ها می‌توانند فرایند تولید رسوب را در حوزه‌های آبخیز کوچک کوهستانی به‌وسیله انتقال مستقیم مواد به درون آبراهه‌ها یا کانال‌ها تحت تأثیر قرار دهند و یا در مرحله بعدی با انتقال مواد به درون سامانه زهکشی و رودخانه‌ها و ایجاد فرسایش‌های بعدی و گاهی با حفر کانال به‌وسیله توده لغزشی سبب تولید و انتقال رسوب شوند. به گفته Pearl (۲۰۰۵) در هنگ‌کنگ به‌طور کلی کمتر از نصف زمین‌لغزش‌ها، رسوبات واریزه‌ای را به سامانه زهکشی منتقل می‌کنند. نمونه‌های انتقال مواد و واریزه‌های ناشی از زمین‌لغزش به آبراهه‌ها که از محل اولیه خود فاصله دارند، فراوان‌تر از نمونه‌های انتقال مواد به‌صورت مستقیم به‌وسیله زمین‌لغزش هستند. در این تحقیق همچنین اثرات موقتی رسوب‌گذاری هم مورد بررسی قرار گرفته است. Korup و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعات خود در سوترن آلپز

تولید رسوب رودخانه جاجرود در حوضه سد لتیان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد پژوهش: حوضه سد لتیان با مساحت ۷۱۰ کیلومتر مکعب از لحاظ تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان شمیرانات و بین طول‌های جغرافیایی $25^{\circ} 51'$ تا $55^{\circ} 51'$ و عرض‌های جغرافیایی $45^{\circ} 35'$ تا 36° واقع شده است. این شهرستان دارای دو بخش رودبار قصران و لوسان است. شیب متوسط حوضه ۴۳ درصد است. میانگین حجم سالانه بارش $433/45$ میلیون مترمکعب می‌باشد.

در این حوضه از سال ۱۳۴۷، دبی رسوب و آب اندازه‌گیری می‌شود. این ایستگاه‌ها به نام‌های نجارکلا، رودک، اوشان، باغ‌تنگه، کند سفلی، کمرخانی-گلوکان، نارون، علی‌آباد-لوارک و فشم می‌باشند (شکل ۱). در بررسی‌های به عمل آمده، آمار برخی از ایستگاه‌ها به دلیل تعداد کم اندازه‌گیری‌ها قابل استناد نیستند. این ایستگاه‌ها شامل اوشان، کند سفلی و فشم است. مراحل انجام کار به قرار زیر است.

- ۱- تعیین میزان رسوبدهی زیرحوضه‌های سد لتیان به کمک مدل MPSIAC
- ۲- بررسی آمار دبی رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی زیرحوضه‌ها بر اساس آمار ایستگاه‌ها
- ۳- تهیه نقشه موقعیت مکانی لغزش‌های به‌وقوع پیوسته به کمک پردازش تصاویر ماهواره‌ای ETM و Google Earth
- ۴- بررسی تاریخچه وقوع زمین‌لغزش‌های ثبت شده
- ۵- مقایسه رسوبدهی مشاهده‌ای و برآوردی زیرحوضه‌ها با میزان گسترش لغزش‌ها در هر زیرحوضه

با توجه به این که توزیع مکانی ایستگاه‌های رسوب‌سنجی شش زیرحوضه مورد بررسی در خروجی حوضه‌ها نیست و لغزش‌ها در سرتاسر زیرحوضه‌ها و در بالادست و پایین‌دست ایستگاه‌ها به‌وقوع پیوسته‌اند، لذا علاوه بر آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی از مدل MPSIAC به‌عنوان شاهدهی دیگر برای شناسایی تاثیر لغزش‌ها در میزان تولید رسوب حوضه نیز استفاده شد.

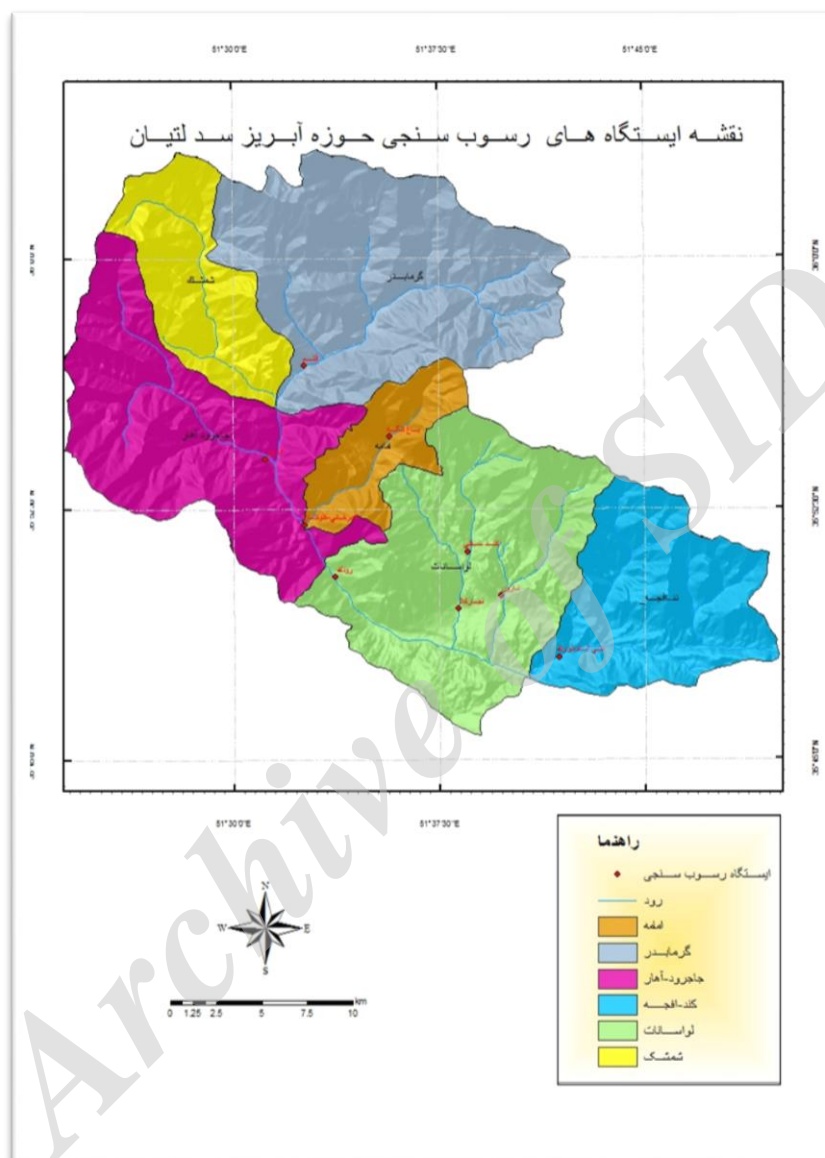
آوردنده زمین‌لغزش در منطقه هستند. در این مدل با تلفیق مدل هیدرولیکی با یک مدل پایداری شیب، مناطق مستعد زمین‌لغزش تعیین شده است. مشخص شده که زمین‌لغزش‌ها در فاصله‌ای نسبتاً دور از خط تقسیم آب و در شیب‌های تند مقعر و شیب‌های محدب ملایم به وقوع می‌پیوندند. با تهیه نقشه خطر در این تحقیق، برآورد شد که در صورت فعالیت مناطق مستعد زمین‌لغزش، حجم خاک جابه‌جا شده چهار برابر بیشتر از میزان فعلی می‌شود.

Torres Sanchez و Larsen (۱۹۹۲) با بررسی نرخ رسوب در حوضه پورتوریکو نشان داد که کاربری زمین در افزایش زمین‌لغزش‌ها نقش داشته است. در مناطق توسعه‌یافته به‌دلیل افزایش وقوع خزش خاک، میزان رسوب ۲۱۱۰ تن در هر کیلومتر مربع است در حالی که در مناطق جنگلی که میزان وقوع خزش خاک کمتر است، رسوبدهی حدود ۱۰۸ تن در هر کیلومتر مربع است. Zong و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای با مدل‌سازی هیدرولوژیکی HSPH نشان دادند که هر چند زمین‌لغزش در تولید رسوب در یک حوضه نقش زیادی دارد، ولی تنها بخش کوچکی از آن به پایین‌دست آورده می‌شود. در حدود ۲۳ درصد از رسوب سالانه یک رودخانه، حاصل از زمین‌لغزش است. تحقیقات دیگری نیز در جهان در مورد رابطه بین بار رسوبی و عوامل موثر بر فرسایش و تولید رسوب انجام شده است. در این تحقیقات میزان و شدت بارندگی، شیب، جهت شیب و دیگر پارامترهای موثر بررسی شده است و آن‌ها در غالب مدل‌ها و روش‌های تک متغیره نظیر مدل SIEMSA (Elwell, ۱۹۷۸)، MUSLE (Williams و Berndt, ۱۹۷۲)، FAO EPM و PSIAC (Kunkle و Harcharik, ۱۹۷۷)، و Gavrilovic (۱۹۸۸) به‌وسیله دانشمندان مختلف به‌کار گرفته شدند.

در اغلب مدل‌ها نقش عوامل مختلف فرسایش به جزء زمین‌لغزش‌ها در نظر گرفته شده است. فرض تحقیق حاضر این است که حرکات توده‌ای زمین در حوضه‌های آبخیز نقش تعیین‌کننده در افزایش بار رسوبی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از آن در حوضه‌های آبخیز دارند. این تحقیق در راستای کمی-کردن میزان تأثیرگذاری حرکات توده‌ای زمین بر

اقلیم، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، کاربری اراضی، وضعیت فرسایش بالادست و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌باشند که بر اساس جدول ۱ امتیاز داده می‌شوند.

در مدل تجربی MPSIAC با نمره‌دهی به یک حوزه آبخیز بر اساس نه عامل موثر بر رسوب‌دهی نسبت به برآورد کیفی و کمی تولید رسوب اقدام می‌شود. این عوامل شامل زمین‌شناسی سطحی، خاک،



شکل ۱- زیرحوضه‌ها و ایستگاه‌های رسوب‌سنجی حوزه آبخیز سد لتیان

نتایج و بحث

برآورد میزان رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها: برای برآورد رسوب‌دهی حوضه‌های مورد نظر از روش MPSIAC بهره گرفته شد که برای مقایسه بین حوضه‌ها، نتایج مربوط به هر زیرحوضه به صورت میانگین وزنی تولید رسوب سالانه ارائه شده است (جدول ۲).

در مدل MPSIAC با نمره‌دهی به نه عامل موثر فوق‌الذکر، با استفاده از رابطه زیر، میزان تولید رسوب برآورد شد.

$$Q_s = 0.253e^{0.036R}$$

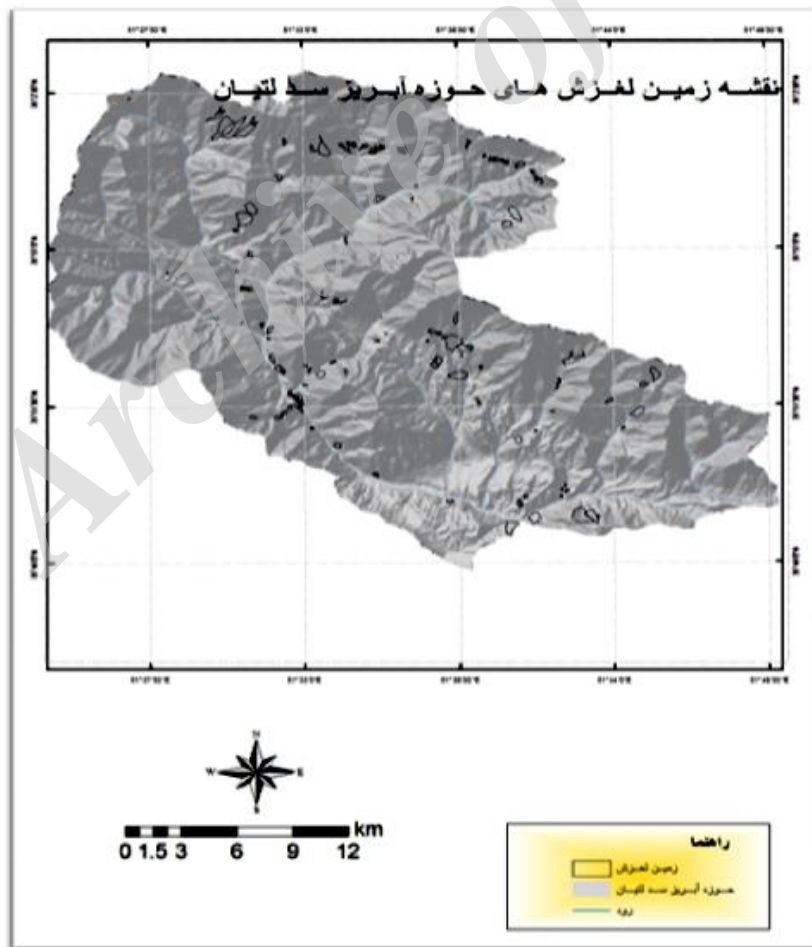
که در آن، Q_s میزان تولید رسوب (تن در هکتار) و R درجه رسوب‌دهی با مجموع نمرات نه‌گانه اشاره شده در جدول ۱ می‌باشد (Refaee, ۲۰۰۶).

شناسایی پهنه‌های لغزشی: به کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ و تصاویر Google Earth دوره‌های زمانی مختلف و تفسیر چشمی و تکمیل یافته‌ها با بازدیدهای صحرایی، ۱۵۰ مورد لغزش در حوضه لتیان

شناسایی شد (شکل ۲) و در هر زیرحوضه نسبت مساحت زمین لغزش به مساحت حوضه به درصد محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- عوامل موثر در مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آن

ردیف	عامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب	نحوه محاسبه امتیاز	شرح پارامترها
۱	زمین‌شناسی سطحی یا سنگ‌شناسی	$X_1 = Y_1$	X_1 امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش آبی
۲	خاک	$Y_2 = 16.76X_2$	X_2 عامل فرسایش‌پذیری خاک در معادله USLE
۳	آب و هوا	$Y_3 = 0.2X_3$	X_3 بارندگی شش ساعته با دوره برگشت دو ساله
۴	رواناب (جریان‌های سطحی)	$Y_4 = 0.2X_4$	X_4 (حجم هرزآب سالانه $\times 0.30 +$ دبی پیک سالانه مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع $\times 0.50$)
۵	پستی و بلندی	$Y_5 = 0.33X_5$	X_5 شیب متوسط (درصد)
۶	پوشش زمین	$Y_6 = 0.2X_6$	X_6 درصد زمین لخت
۷	استفاده از زمین (کاربری اراضی)	$Y_7 = 20 - 0.2X_7$	X_7 درصد تاج پوشش
۸	وضعیت فعلی فرسایش	$Y_8 = 0.28X_8$	X_8 وضعیت سطح خاک و فرسایش با روش B.L.M
۹	فرسایش رودخانه‌ای	$Y_9 = 1.67X_9$	X_9 امتیاز فرسایش خندقی در مدل B.L.M



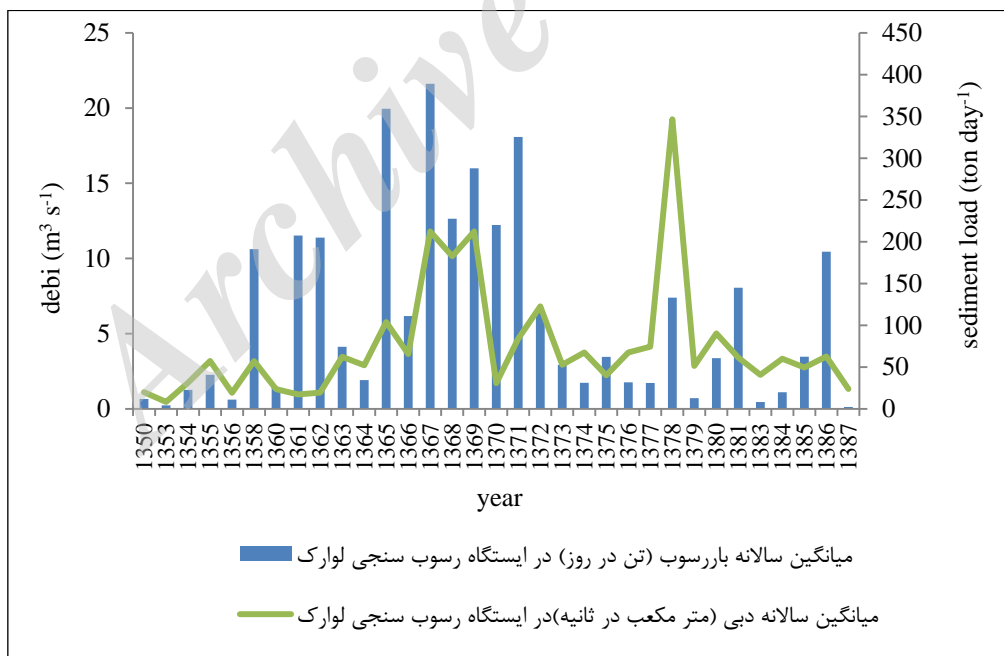
شکل ۲- پهنه‌های لغزشی شناسایی شده در تحقیق حاضر به کمک تصاویر ماهواره‌ای در حوزه آبخیز سد لتیان

در نمودارهای شکل ۳ تا ۸ به وضوح مشهود است. به بیان دیگر در برخی از سال‌ها علی‌رغم این که دبی آب نسبت به سنوات قبل تغییری نکرده و یا حتی کاهش داشته است، ولی میزان آورد رسوب رودخانه افزایش چشمگیر نشان می‌دهد که این افزایش می‌تواند ناشی از وقوع حرکات توده‌ای و زمین لغزش در سطح حوضه باشد.

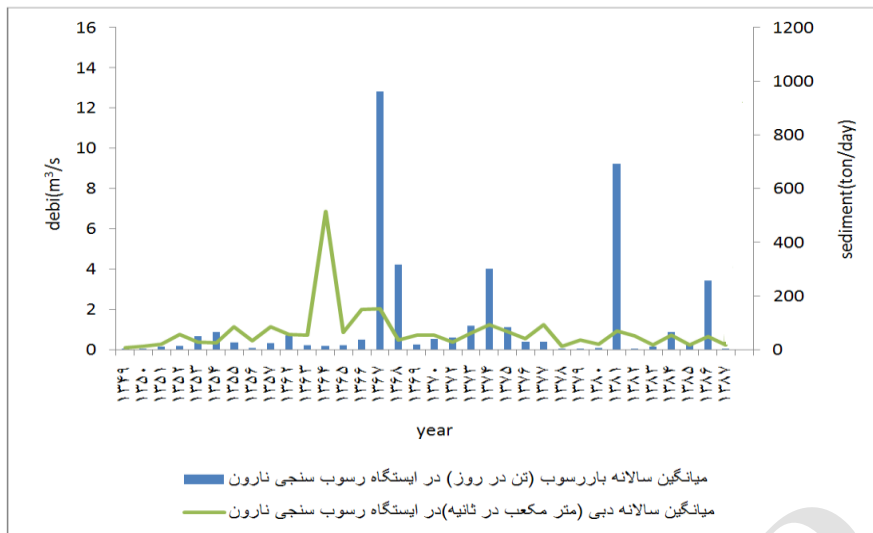
دبی آب و میزان رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی: در شش ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی، میانگین سالانه بار رسوب و میانگین سالانه دبی آب بر اساس آمار هر ایستگاه رسم شد (جدول ۲ و شکل‌های ۳ تا ۸). بررسی‌ها نشان داد که بار رسوب در برخی از سال‌های آماری به‌طور شاخصی بالاتر از دبی آب است که این اختلاف

جدول ۲- مساحت زیرحوضه‌ها، درصد مساحت پهنه‌های لغزشی هر زیرحوضه و میانگین وزنی تولید رسوب برآوردی هر زیرحوضه

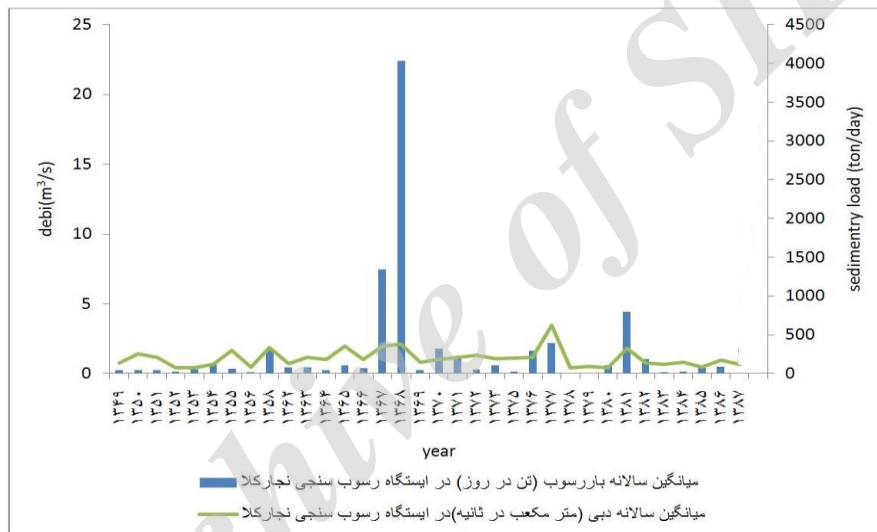
زیرحوضه						ویژگی‌ها
گرماپدر	جاجرود- آباد	شمشک	امامه	لواسانات	کند - افجه	
۱۸۰/۶۷	۱۴۵/۷	۶۹/۷۵	۴۱/۹	۱۶۸/۰۴۷	۱۰۲/۱۵	مساحت زیرحوضه (km ²)
۴/۲۸۲	۱/۱۵	۱/۹۶۸	۰/۳	۳/۰۱۳	۰/۶۷	مساحت زمین لغزش در زیرحوضه (km ²)
۲/۴	۰/۷۹	۲/۸	۰/۷	۱/۸	۰/۶۹	نسبت مساحت زمین به مساحت زیرحوضه (%) به مساحت زیرحوضه
۴۳۱/۳۹	۳۰۴/۸۵	۲۶۲/۲۶	۳۱۶/۱۱	۲۷۶/۲۲	۳۸۷/۰۲	میانگین وزنی تولید رسوب (MPSIAC (m ³ km ⁻² yr ⁻¹)
----	----	----	۸۸۷۰۰/۱۱	۱۳۴۷۴۱/۷۴۱	۶۰۲۷۶/۲۵	میزان تولید رسوب مشاهداتی ایستگاه رسوب‌سنجی (ty ⁻¹)



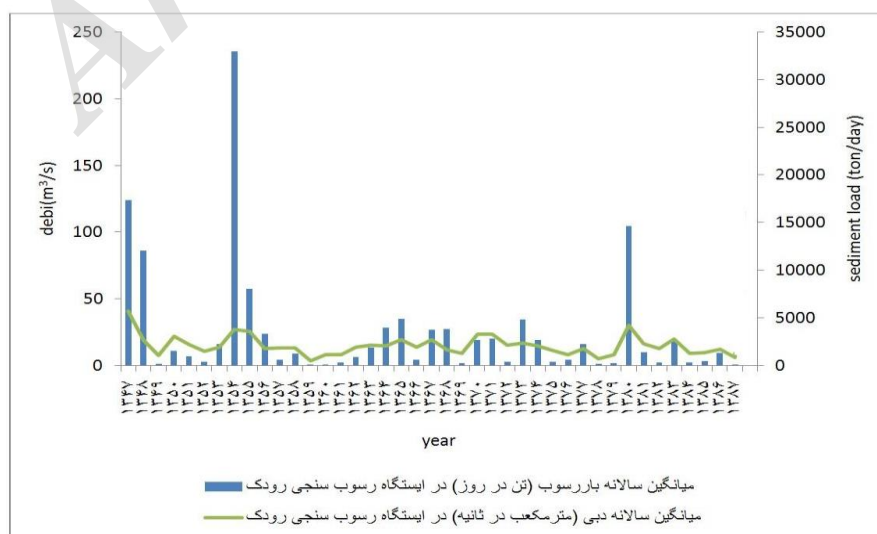
شکل ۳- تغییرات دبی آب و بار رسوب در ایستگاه رسوب‌سنجی علی‌آباد لوارک



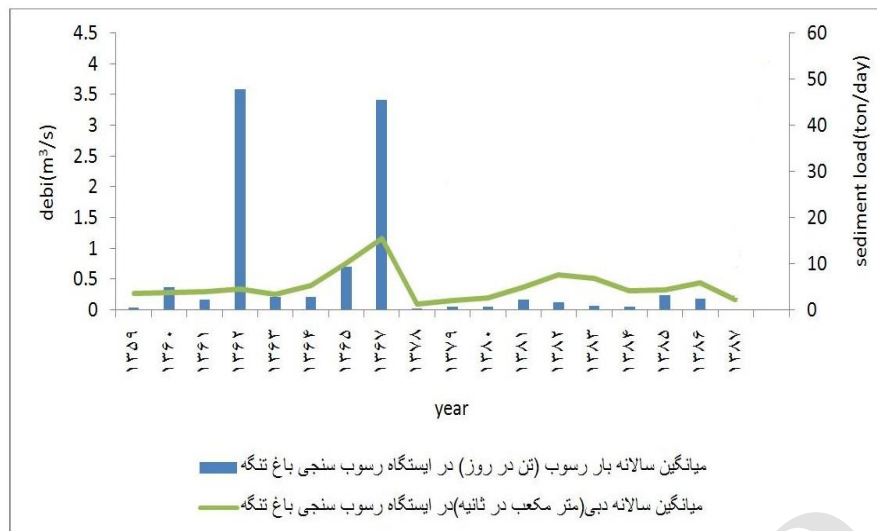
شکل ۴- تغییرات دبی آب و بار رسوب در ایستگاه رسوب سنجی نارون



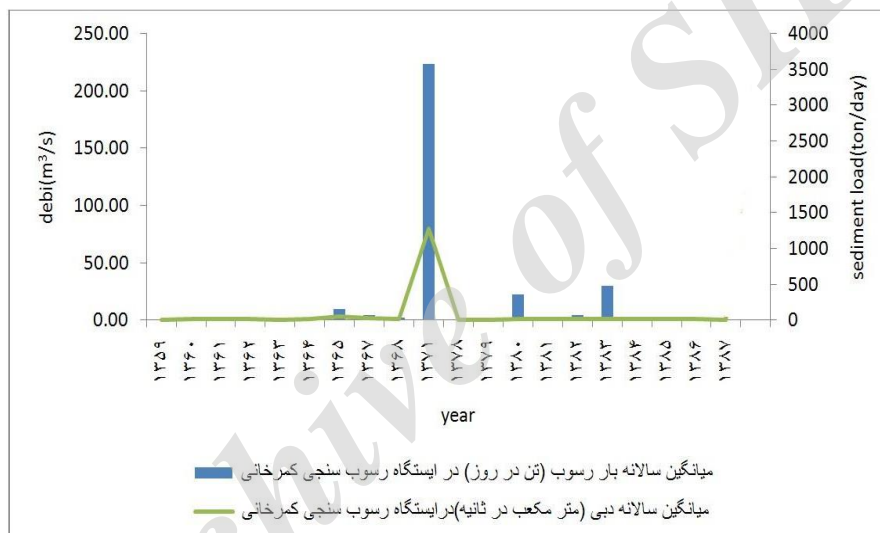
شکل ۵- تغییرات دبی آب و بار رسوب در ایستگاه رسوب سنجی نجارکلا



شکل ۶- تغییرات دبی آب و بار رسوب در ایستگاه رسوب سنجی رودک



شکل ۷- تغییرات دبی آب و بار رسوب در ایستگاه رسوب‌سنجی باغ تنگه



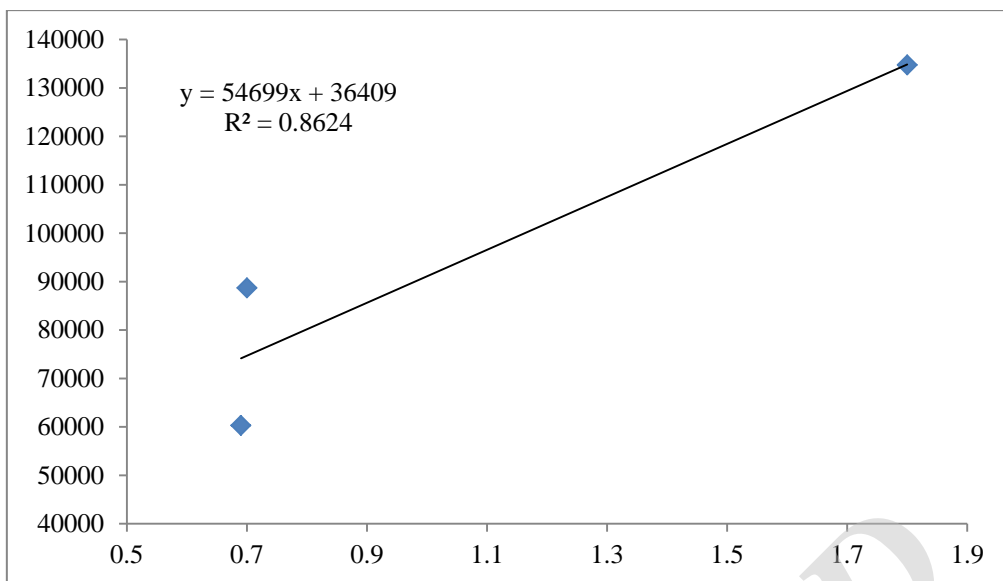
شکل ۸- تغییرات دبی آب و بار رسوب در ایستگاه رسوب‌سنجی کمرخانی

تحلیل داده‌ها در مقایسه با آمار مشاهده‌ای:

ارتباط بین میزان تولید رسوب مشاهداتی سالانه زیرحوضه‌های آبخیز کند-افجه، لواسانات و گرمابدر و درصد پهنه‌های لغزشی (جدول ۲) در هر زیرحوضه در شکل ۹ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد مساحت لغزش، میزان تولید رسوب سالانه نیز افزایش می‌یابد. این موضوع به خوبی نقش زمین-لغزش‌ها را در افزایش بار رسوبی رودخانه بارز می‌کند.

نتیجه‌گیری

تحلیل داده‌ها در مقایسه با برآورد مدل: بر اساس رسوب‌دهی برآوردی به کمک مدل MPSIAC دو زیرحوضه افجه-کند و گرمابدر به ترتیب دارای متوسط وزنی تولید رسوب ویژه برابر با $387/02$ و $431/39$ متر مکعب بر کیلومتر مربع می‌باشند. این موضوع به آن مفهوم است که با افزایش درصد نسبی مساحت زمین لغزش‌ها از $0/7$ به $2/4$ درصد حدود $11/5$ درصد رسوبدهی برآوردی مدل برای حوضه زیادت‌تر شده است.



شکل ۹- ارتباط بین تولید رسوب سالانه زیرحوضه‌های آبخیز کند- افجه، لوسانات و گرمابدر با نسبت مساحت زمین لغزش‌ها به مساحت زیرحوضه (درصد)

تحلیل موردی تاثیر زمین لغزش‌های جاده حاجی‌آباد- اوشان بر بار رسوبی رودخانه جاجرود: در تایید نتایج تحلیل‌های فوق‌الذکر، تاثیر زمین لغزش‌های جاده حاجی‌آباد-اوشان بر بار رسوبی رودخانه جاجرود بررسی شد. این وقایع به دلیل مشخص بودن تاریخ وقوع از یک سو و قرار داشتن پهنه لغزشی در حاشیه کانال اصلی رودخانه جاجرود از سوی دیگر در دستیابی به نتایج بهتر بسیار موثر بوده است. بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده است که سهم تولید رسوب ناشی از این لغزش‌ها در بار رسوبی

رودخانه به‌طور خاص مورد تجزیه و تحلیل واقع شود. در پی بارندگی‌های اسفند ۱۳۸۳ چهار زمین لغزش در محدوده جاده حاجی‌آباد-اوشان به مساحت ۲۰/۴۵ هکتار اتفاق افتاد. شرایط موجود در دوره وقوع این زمین لغزش‌ها در جدول ۳ درج شده است. کلیه ویژگی‌های دبی جریان و دبی رسوبی رودخانه بر اساس آمار ثبت شده در ایستگاه رسوب‌سنجی و هیدرومتری رودک در ۸۷/۳ کیلومتری جنوب حاجی‌آباد در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- تاثیر زمین لغزش‌های اسفند ۱۳۸۳ جاده حاجی‌آباد-اوشان در دبی رودخانه جاجرود بر اساس آمار رسوب‌سنجی در ایستگاه رودک

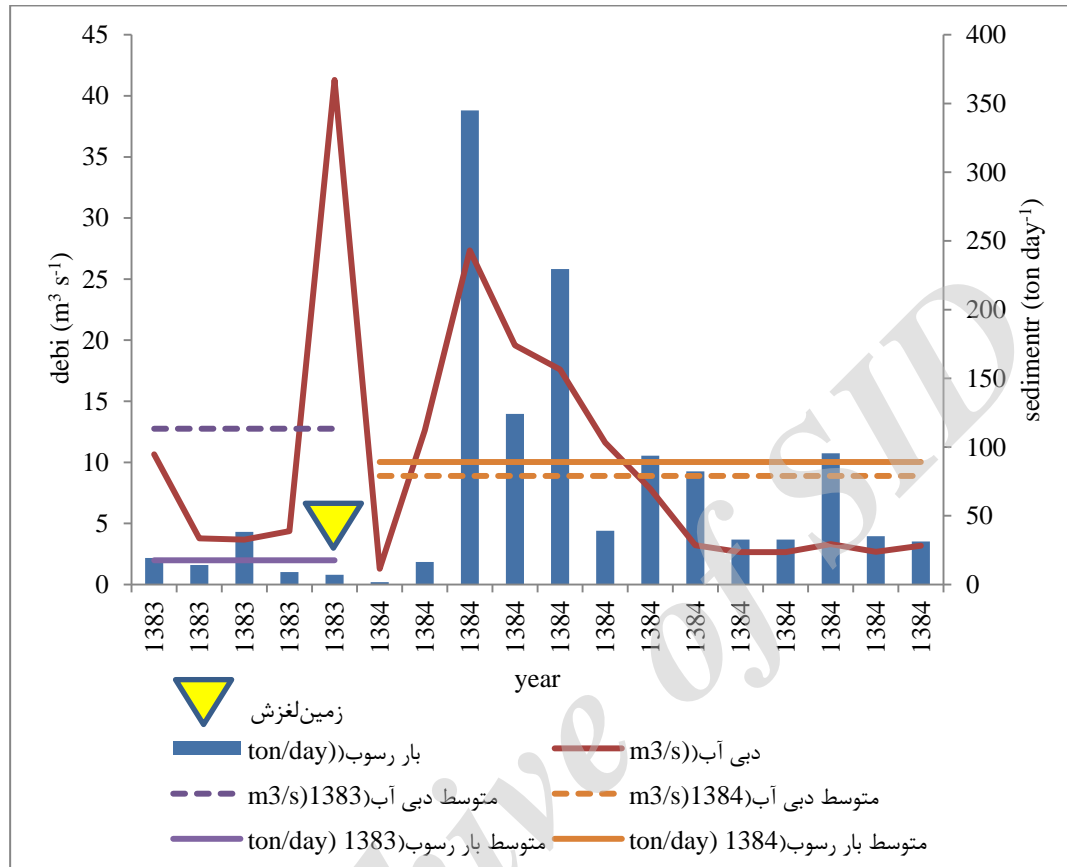
حجم کل رسوب (m ³)		حجم کل جریان (m ³)		متوسط دبی رسوب قبل و بعد از لغزش‌ها (ton day ⁻¹)		متوسط دبی جریان قبل و بعد از لغزش‌ها (m ³ s ⁻¹)	
بعد از لغزش	قبل از لغزش	بعد از لغزش	قبل از لغزش	فروردین ماه تا دی ماه ۱۳۸۴	تیر ماه تا اسفند ماه ۱۳۸۳	فروردین ماه تا دی ماه ۱۳۸۴	تیر ماه تا اسفند ماه ۱۳۸۳
۱۱۵۹/۱۲	۸۸	۱۱۵/۵۳	۶۳/۷۸	۸۹/۱۶	۱۷/۶۰	۸/۸۸	۱۲/۷۵

تن بر روز (در نه ماهه بعد از زمین لغزش) افزایش یافته است. این مقدار معادل ۱۷۰ درصد افزایش بار رسوبی رودخانه در نه ماهه بعد از رخ داده‌های مذکور است. نکته جالب توجه این است که این افزایش در حالی است که در این دوره حدود ۳۰ درصد حجم

بر اساس تحلیل داده‌های ایستگاه هیدرومتری رودک در خروجی حوضه جاجرود، متوسط دبی رسوب رودخانه جاجرود در نه ماهه اول سال ۱۳۸۳ و قبل از رخ داده‌های زمین لغزشی، ۶/۱۷ تن بر روز بوده که بعد از رخ داده‌های زمین لغزشی فوق‌الذکر به متوسط ۱۶/۹

با در نظر گرفتن مساحت ۲۰/۴۵ هکتار زمین لغزش-های فوق‌الذکر، هر هکتار زمین لغزش، بیش از هشت درصد در افزایش بار رسوبی رودخانه موثر بوده است.

جریان کاهش داشته است و این به مفهوم آن است که افزایش بار رسوبی نه تنها ناشی از افزایش دبی جریان نبوده بلکه کاهش ۳۰ درصدی دبی جریان می‌توانسته در کاهش بار رسوبی نیز تاثیرگذار بوده باشد. بنابراین



شکل ۱۰- نمودار متوسط ماهیانه دبی آب و بار رسوب سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در ایستگاه رسوب‌سنجی رودک

امکانات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به انجام رسیده است که مراتب تشکر خود را از مدیریت پژوهشکده به خاطر حمایت‌های مالی پروژه ابراز می‌داریم.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب زیر پروژه ملی با عنوان ارزیابی تاثیر رانش زمین بر بار رسوبی حوضه‌ها با تاکید بر داده‌های متناظر دبی آب-دبی رسوب با

منابع مورد استفاده

1. Elwell, H.A. 1978. Modelling soil losses in southern Africa. Journal of Agricultural Engineering Research, 23: 117-127.
2. Gavrilovic, Z. 1988. The use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. International Conference on River Regime, 411-422.
3. Kelsey, H. 1978. Earth flows in Franciscan melange, Van Duzen River basin, California. Geology, 10: 361-364.
4. Mizuhara, K. and K. Ohte. 1987. Sediment yield from bare slopes due to landslides in central Japan. Erosion and sedimentation in the Pacific Rim, 12: 251-259.
5. Kunkle, S.H. and D.A. Harcharik. 1977. Conservation of upland wildlands for downstream agriculture. In Soil Conservation and Management in Developing Countries. FAO. Rome Soil Bull 33.

6. Claessens, L., A. Knapen, M.G. Kitutu, J. Poesen and J.A. Deckers. 2007. Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Ugandan footslopes of Mount Elgon. *Geomorphology*, 4: 23-35.
7. Larsen, M.C. and A.J. Torres Sanchez. 1992. Landslide triggered by Hurricane Hugo in eastern Puerto Rico, September 1989. *Caribbean Journal of Science*, 1992: 113-125.
8. Matjaz, M., R. Fazarinc and M. Ribicici. 2006. Sediment production and delivery from recent large landslides and earthquake-induced rock falls in the Upper Soca River Vally, Slovenia. *Engineering Geology*, 12: 198-210.
9. Peart, M.R., K.Y. Ng and D.D. Zhang. 2005. Landslides and sediment delivery to a drainage system: some observations from Hong Kong. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25: 821-836.
10. Korup, O., J. Mauri and R.H. Davies. 2004. Sediment generation and delivery from large historic landslides in the Southern Alp, New Zealand. *Geomorphology*, 11: 189-207.
11. Refaee, H.Gh. 2006. Water erosion and conservation. Tehran University Press, 671 Pages.
12. Shariat Jafari, M. and J. Ghayoumian. 2005. The relationship between sediment yield and landslides in central basin Taleghan, Iran. *Geoscience Journal*, 14(55): 90-97 (in Persian).
13. Williams, X.R. and H.D. Berndt. 1972. Sediment yield computed with universal soil loss equation. *Journal of Hydraulics*, 10: 12-23.
14. Zong, T., J. Gene, Y. You, L. Hong-Yuan and Ch. Yu-Jia. 2012. Modeling the sediment yield from landslides in the Shihmen Reservoir watershed, Taiwan. *Earth Surface Processes and Landforms Journal*, 12: 23-33.

Archive of SID