

ارزیابی تأثیر زمین لغزش بر بار رسوبی حوضه بالخلوچای در استان اردبیل

رضا طلایی^{۱*}، محسن شریعت جعفری^۲ و بایرامعلی بیرامی^۳

^۱مربی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران، ^۲استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۳کارشناس ارشد، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳

چکیده

زمین لغزش‌ها، از عوامل عمده فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های شیبدار و کوهستانی هستند. هر چند شواهد دال بر این است که میزان رسوب وارده به رودخانه‌های مناطق کوهستانی استان اردبیل بر اثر زمین لغزش‌ها قابل توجه است، اما از لحاظ کمی عدد و رقم متقن مبتنی بر تحقیق علمی برای آن ارائه نشده است. در این پژوهش، موضوع در حوضه بالخلوچای استان اردبیل با استفاده از داده‌های مستخرج از عکس‌های هوایی، مطالعات صحرایی و داده‌های رسوب‌سنجی ایستگاه هیدرومتری پل الماس مورد بررسی قرار گرفت. با تعیین رابطه داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب، حجم رسوب در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مرتبط با حوضه برآورد شد. میزان رسوب برآوردی در دوره‌های زمانی مختلف با دوره‌های فعالیت زمین لغزش‌ها مورد مقایسه قرار گرفت و تأثیر زمین لغزش‌ها در افزایش فرسایش و رسوبدهی حوضه تعیین شد. زمین لغزش‌های بزرگ مورد اشاره باعث افزایش قابل توجه بار رسوبی رودخانه بالخلوچای شده‌اند. آثار این لغزش‌ها در بار معلق عبوری از ایستگاه پل الماس مشاهده می‌شود. میانگین رسوب سالانه بر اساس داده‌های کل دوره آبی ۴۰ ساله برابر با ۴۶۵۶۶/۳۰ تن در سال است، در حالی که میانگین رسوب سالانه بر اساس داده‌های ۳۶ ساله، یعنی با حذف داده‌های مربوط به سال‌های لغزشی ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲، برابر با ۳۰۸۳۱ تن در سال می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس برآوردهای انجام گرفته میزان رسوب حمل شده به وسیله رودخانه بالخلوچای بعد از وقوع دو مورد زمین لغزش ساری‌قیه و ایلانجق در طول دوره چهار ساله (سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۲) به‌طور محسوسی افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: بار معلق، دبی، رسوب‌سنجی، رسوبدهی، فرسایش

مقدمه

زمین لغزش‌ها در نقاط مختلف دنیا علاوه بر خسارت‌هایی که بر منابع طبیعی و سازه‌ها وارد می‌سازند (Schuster و Highland، ۲۰۰۱؛ Spiker و Gori، ۲۰۰۳)، یکی از عوامل اصلی تشدید فرسایش و تولید رسوب هستند (Korup و همکاران، ۲۰۰۴؛ Glade و همکاران، ۲۰۰۵؛ Korup، ۲۰۱۲). نقش

زمین لغزش‌ها یکی از مهمترین خطرات طبیعی هستند که سالانه خسارت‌های زیادی را در مناطق کوهستانی تمام دنیا وارد می‌نمایند (Castellanos و Abella، ۲۰۰۷؛ Das و همکاران، ۲۰۱۱a و ۲۰۱۱b؛ Corominas و همکاران، ۲۰۱۴).

* مسئول مکاتبات: rztala1969@gmail.com

اردبیل نیز مانند سایر مناطق لغزش خیز کشورمان در زمینه عوامل موثر در وقوع زمین لغزشها (Ansari و - Blurchi، ۱۹۹۶؛ Nikandish و Mir Sanei، ۱۹۹۶؛ Talaei و همکاران، ۲۰۰۴)، ارزیابی حساسیت و خطر زمین لغزش (MahdaviFar، ۱۹۹۷؛ Imani، ۲۰۰۹؛ Feyz، ۲۰۰۹؛ Torokpour، ۲۰۱۳؛ Nasrollahei، ۲۰۱۴)، و روشهای کنترل و تثبیت آنها (، housing and urban development research center، ۲۰۰۶) انجام گرفته است. در خصوص رابطه زمین- لغزش و تغییرات بار رسوبی حوضه‌ها در کشور ما مطالعات کمی صورت گرفته است. شاید بتوان در این خصوص به مطالعه Peyrowan و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه سد لتیان اشاره کرد. نتایج بررسی‌های این پژوهشگران نشان می‌دهد که بار رسوبی در برخی از سال‌های آماری به‌طور شاخص بالاتر از دبی آب است. در این سال‌ها علی‌رغم این‌که دبی آب نسبت به سنوات قبل تغییری نکرده و حتی کمتر هم شده است، اما میزان رسوبدهی رودخانه افزایش چشمگیری داشته است. عامل افزایش رسوب در حوضه لتیان در این سال‌ها وقوع زمین لغزشها معرفی شده است. از مساحت ۱۷۹۵۳۰۰ هکتاری استان اردبیل در ۵۱۳۵۰۰ هکتار آن (۲۸ درصد از مساحت استان) زمین لغزشها پراکنش گسترده‌ای دارند. با این وضعیت به نظر می‌رسد که مطالعه مشکلات و معضلات مرتبط با زمین لغزشها از جمله تولید رسوب، تخریب اراضی و تهدید مراکز مسکونی در بیش از ۲۸ درصد از مساحت استان ضروری است (Talaei و همکاران، ۲۰۱۵). در حوضه لغزش خیز بالخلوچای در جنوب استان اردبیل نیز نقش زمین لغزشهای به‌وقوع پیوسته در تشدید فرسایش و افزایش بار رسوبی آن مطالعه نشده است. هرچند مساحت تحت اشغال زمین لغزشها در حوضه بالخلوچای در حدود یک درصد از مساحت حوضه است، اما چون در این حوضه لغزشهای جدید در چند سال گذشته اتفاق افتاده و با انتقال حجم عظیمی از رسوب به بستر رودخانه سبب تشدید فرسایش و تولید رسوب شده‌اند، جهت مطالعه انتخاب شده است. هدف اصلی در این پژوهش، تعیین میزان تاثیر زمین لغزشها در تشدید فرسایش و افزایش بار رسوبی حوضه لغزش-خیز بالخلوچای است. به‌طوری که بر اساس نتایج

زمین لغزشها در تشدید فرسایش و تولید رسوب کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Harvey، ۲۰۰۲؛ Peart و همکاران، ۲۰۰۵a). به نظر می‌رسد که در برخی موارد خسارت‌های وارده از زمین لغزشها به طریق تشدید فرسایش و افزایش رسوبدهی خیلی بیشتر از سایر خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم آنها است (Clague و Korup، ۲۰۰۹؛ Liu و همکاران، ۲۰۱۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در برخی موارد وقوع زمین لغزشها می‌تواند میزان فرسایش و تولید رسوب را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند (Al-Sheriadeh و همکاران، ۲۰۰۰). پستی و بلندی حوضه‌ها کنترل کننده شدت فرسایش طولانی مدت در یک مقیاس ناحیه‌ای است (Montgomery و Brandon، ۲۰۰۲). اما وقوع زمین لغزشهای بزرگ و یا تعداد زیادی زمین- لغزش کوچک در یک منطقه کوهستانی با توپوگرافی خشن باعث افزایش معنی‌دار در میزان فرسایش می‌شود (Korup و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طور کلی تاثیر زمین لغزشها در بار رسوبی رودخانه‌ها ممکن است با وارد کردن مستقیم مصالح خاکی، سنگی و یا واریزه‌ای به بستر رودخانه‌ها صورت گیرد و یا این‌که مواد جابه‌جا شده تاثیر فرایندهای فرسایشی بعدی را تسهیل نموده و باعث افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها و مسیل‌ها شود (Peart و همکاران، ۲۰۰۵a). تشدید فرسایش به‌وسیله زمین لغزشها در برخی از نقاط دنیا در پر شدن مخازن سدها (Bronstert و همکاران، ۲۰۱۴)، کاهش کیفیت آب (Ochiai و Sidle، ۲۰۰۶)، تخریب زیستگاه‌های آبی (Wing، ۲۰۰۰)، تخریب خاک‌های حاصل‌خیز (Page و Reid، ۲۰۰۲) موثر بوده است. به این دلیل است که زمین لغزشها در برخی از مناطق لغزش خیز به‌عنوان عامل اصلی فرسایش معرفی شده‌اند (Larsen، ۲۰۱۲).

در ایران نیز در نقاط مختلف دو رشته کوه زاگرس و البرز هر ساله زمین لغزشهای جدید رخ می‌دهد و یا زمین لغزشهای قدیمی دوباره فعالیت می‌کنند (Shoaei و همکاران، ۲۰۰۵). استان اردبیل نیز در شمال غرب ایران قرار گرفته و به‌علت موقعیت زمین‌شناسی و مورفولوژیکی و سایر پارامترهای مستعد کننده و تشدید کننده زمین لغزش، دارای انواع مختلف حرکات دامنه‌ای است. مطالعه زمین لغزشها در استان

الماس (در نزدیکی خروجی حوضه بالخلوچای) در دوره زمانی ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱ تهیه شد. در این ایستگاه، برآورد رسوب برای دوره ۴۰ ساله صورت گرفت. در نهایت با رقومی کردن نقشه‌های پایه در محیط GIS، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه شد (شکل ۲). بر اساس داده‌های شناسنامه‌ای به‌دست آمده، سعی شد به‌منظور تعیین تأثیر زمین‌لغزش بر میزان رسوبزایی حوضه، سن و درجه فعالیت زمین‌لغزش‌های حوضه مشخص شود.

ایستگاه رسوب‌سنجی پل الماس در محلی از رودخانه بالخلوچای واقع شده است که زمین‌لغزش-های حوضه در بالادست آن اتفاق افتاده‌اند (شکل ۲)، لذا، داده‌های آماری این ایستگاه جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفته است. هرچند جهت بالا بردن ضریب رگرسیون داده‌های آماری دبی جریان و دبی رسوب که پرت هستند حذف می‌شوند، اما در این پژوهش سعی شد این داده‌ها حذف نشوند. چرا که این داده‌ها معمولاً به مواقع پربابی و سیلابی و یا زمان تشدید فرسایش از جمله فعالیت زمین‌لغزش‌ها که حجم زیادی رسوب معلق را حمل می‌کنند، مربوط هستند؛ و یا این‌که در زمان کم آبی رودخانه‌ها و همچنین، دوره‌های تثبیت و کاهش فرسایش اتفاق افتاده‌اند.

در این پژوهش، جهت رسم منحنی سنجه دبی-رسوب در ایستگاه پل الماس، از روش حد وسط دسته‌ها استفاده شده است. روش حد وسط دسته‌ها دارای کمترین خطا است. چون در ایستگاه هیدرومتری نمونه‌برداری از غلظت در طبقات پائین جریان آسان‌تر است، لذا، تعداد نمونه‌های دبی‌های پائین زیاد بوده و در مقابل تعداد نمونه‌ها در دبی‌های بالا کمتر می‌باشد. در روش حد وسط دسته‌ها با دسته‌بندی جریان، داده‌های طبقات پائین تعدیل می‌شوند و در نتیجه برآوردها نسبت به سایر روش‌های منحنی سنجه رسوب دقیق‌تر می‌باشد (Aazami و همکاران، ۲۰۰۹). جهت برآورد رسوبدهی بعد از رسم منحنی سنجه رسوب برآزش معادله نمایی انجام گرفت. حالت کلی معادله نمایی رسوب به‌صورت رابطه (۱) است.

$$Q_s = aQ_d^b \quad (1)$$

به‌دست آمده از آن می‌توان میزان تأثیر زمین‌لغزش‌ها بر سازه‌های موجود همچون سدهای احداث شده و یا گزینه‌های احتمالی برای سازه‌ها در آینده را تعیین کرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز: حوضه بالخلوچای با مساحت ۱۱۵۰۰۰ هکتار در جنوب شهر اردبیل قرار گرفته و از زیرحوضه‌های مهم قره‌سو محسوب می‌شود (شکل ۱). این حوضه عمدتاً شامل نواحی مرتفع کوهستانی است و در حوالی شهر اردبیل، دشت محدودی را در بر می‌گیرد. رودخانه اصلی حوضه تحت عنوان بالخلوچای بوده که طولی برابر با ۷۸ کیلومتر دارد. رودخانه بالخلوچای، در جنوب غربی شهرستان اردبیل، آب‌های دامنه‌های جنوبی و شرقی کوه سبلان و دامنه‌های شمال شرقی ارتفاعات بزقوش را جمع‌آوری می‌نماید. شهرهای اردبیل و نیر در حوزه آبخیز این رودخانه واقع می‌باشند. رودخانه بالخلوچای دارای آب دایم بوده و دوران پربابی آن در بهار و رژیم آبی آن برفی-بارانی است. بارش متوسط حوضه ۳۰۵ میلی‌متر برآورد شده است.

روش پژوهش: به‌منظور انجام این پژوهش، بعد از تعیین مناطق لغزش‌خیز، اقدام به شناسایی و بررسی خصوصیات زمین‌لغزش‌ها شد. با تعیین رابطه داده-های متناظر دبی جریان متوسط روزانه و دبی رسوب، حجم رسوب در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مرتبط با حوضه برآورد شد. سعی شد، میزان رسوب برآوردی در دوره‌های زمانی مختلف با دوره‌های فعالیت زمین-لغزش‌ها مقایسه شود و تأثیر زمین‌لغزش‌ها در افزایش فرسایش و رسوبدهی حوضه بالخلوچای تعیین شود.

پس از بررسی منابع موجود، پژوهش با آماده‌سازی نقشه‌های مقدماتی از زمین‌لغزش‌ها شروع شد. اطلاعات شناسنامه زمین‌لغزش‌ها بر اساس تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس تقریبی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ مربوط به سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۴۸ و همچنین، بررسی تصاویر Google Earth و برداشت-های صحرایی تکمیل شد. همچنین، تمام داده‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی ثبت شده در ایستگاه پل

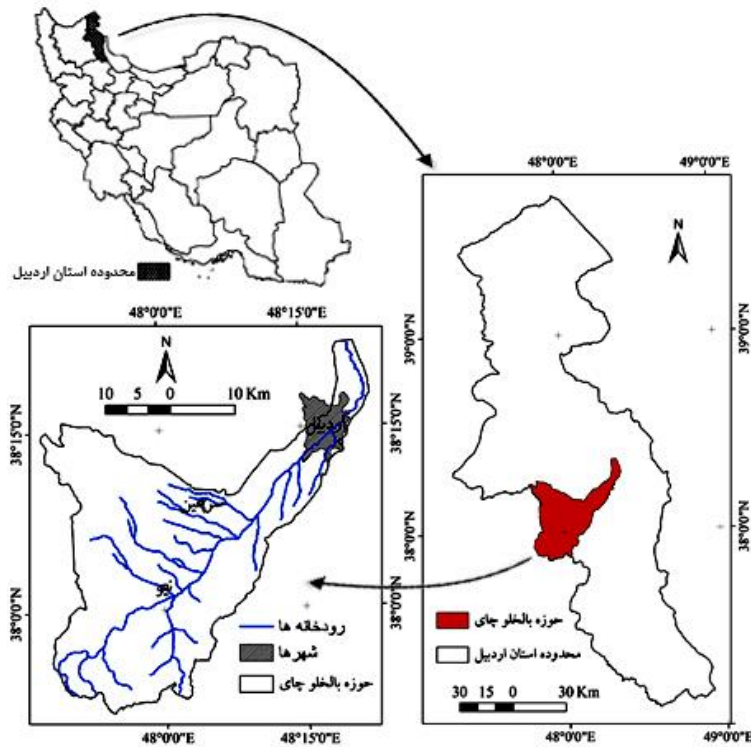
میانگین داده‌های مجاور، داده‌سازی انجام گرفت. سپس میزان رسوب روزانه بر اساس رابطه (۲) به دست آمد.

$$Q_{si} = aQ_{di}^b \quad i = 1,2,3, \dots, 36 \quad (2)$$

که در آن، Q_{si} رسوب روزانه (تن در روز)، Q_{di} دبی متوسط روزانه (متر مکعب در روز) و i شاخص روز از یک تا ۳۶۵ است.

که در آن، Q_s بار رسوبی معلق (تن در روز)، Q_d دبی متوسط جریان روزانه (متر مکعب بر ثانیه)، a و b به ترتیب ضریب و نمای معادله هستند.

به منظور برآورد میزان رسوب روزانه، ابتدا داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری پل الماس مورد بررسی قرار گرفت. در مواردی که تعداد داده‌های گم‌شده (بدون اندازه‌گیری) کم بوده با استفاده از روش



شکل ۱- موقعیت حوضه بالخلوچای

ماهانه مطابق رابطه (۴) به دست آمده است.

$$Q_{syk} = \sum_{i=1}^{365} Q_{si,k} \quad k = 1,2,3, \dots, N \quad (4)$$

که در آن، Q_{syk} بار رسوبی سالانه برای سال آبی k ، $Q_{si,k}$ بار رسوبی روزانه در سال آبی k (تن) و N تعداد سال‌های آبی می‌باشد.

روند عادی فرسایش و حمل رسوب در حوضه بالخلوچای از زمان گذشته تا حال ادامه داشته است. اما وقوع زمین‌لغزش در حاشیه رودخانه اصلی، بعد از زلزله رودبار-منجیل در سال ۱۳۶۹، باعث حرکت توده‌هایی از خاک و سنگ به داخل دره و بستر رودخانه بالخلوچای شده است. ورود رسوب حاصل از توده‌های لغزشی به رودخانه شرایط فرسایش در بالادست حوضه را تغییر داده است. با توجه به وقوع

مقدار رسوب ماهانه از حاصل جمع مقادیر رسوب روزانه محاسبه شد. رسوب ماهانه برای هر سال آبی یعنی از ماه‌های مهر تا شهریور به دست آمد (رابطه ۳).

$$Q_{smj,y} = \sum_{i=1}^m Q_{si,j} \quad j = 1,2,3, \dots, 12 \quad (3)$$

$$M = 30(29,31) \quad y = 1,2, \dots, N$$

که در آن، $Q_{smj,y}$ رسوب ماهانه در ماه مورد نظر j و سال مورد نظر y (تن)، $Q_{si,j}$ تناژ رسوب روزانه در ماه مورد نظر j ، M شاخص تعداد روزهای هر ماه و y شاخص تعداد سال‌های آبی می‌باشد.

رسوب سالانه معرف مقدار بار رسوبی حمل شده در یک سال آبی است و از مجموع رسوب روزانه و یا

این دوره ۴ ساله بخش اصلی توده لغزشی تهنشین شده در بستر رودخانه به‌وسیله جریان‌های عادی و سیلابی آن حمل شده است؛ لذا، می‌توان با محاسبه مقادیر بار اضافه شده به رسوب رودخانه از طریق توده‌های لغزشی، نقش زمین‌لغزش‌ها را در افزایش رسوبدهی حوضه تعیین کرد. در این پژوهش، در ابتدا به‌منظور تعیین نقش زمین‌لغزش‌ها در افزایش بار رسوبی حوضه، رسوبدهی بر اساس معادله نمایی به‌دست آمده و بر مبنای داده‌های کل سال‌های آماری (۱۳۵۱-۱۳۹۱) برآورد شد. سپس با حذف آمار رسوب و دبی جریان متناظر آن در دوره وقوع زمین‌لغزش (۱۳۶۹-۱۳۷۲) معادله نمایی به‌دست آمد و میزان رسوب سالانه این بار با آن محاسبه شد. جهت ارزیابی نقش زمین‌لغزش‌ها در میزان رسوبدهی حوضه بالخلوچای، مقادیر رسوب برآورد شده در دو حالت یعنی بر اساس کل داده‌های رسوب‌سنجی ثبت شده در چهل سال (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱) و داده‌های بدون چهار سال لغزشی (بدون داده‌های رسوب‌سنجی مربوط به سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲) مورد مقایسه قرار گرفتند. میانگین رسوب سالانه و حجم کل رسوب در دوره‌های مورد بحث با هم مقایسه شدند و مقادیر اختلافات تعیین شدند. در نهایت میزان تأثیر زمین‌لغزش‌ها بر رسوبدهی‌های برآورد شده در حوضه به‌صورت کمی تعیین شد و مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

به‌طور کلی در ۷۱ نقطه از منطقه مورد مطالعه شواهد مورفولوژیکی مربوط به زمین‌لغزش‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۲). ۶۱ مورد از این زمین‌لغزش‌ها علاوه بر داشتن مساحت قابل توجه، دارای مورفولوژی نسبتاً واضح یا کاملاً مشخص بوده و اغلب در دامنه‌های کنار رودخانه‌های منطقه به‌وقوع پیوسته‌اند. در این پژوهش، برای این گروه از زمین‌لغزش‌ها که امکان تعیین مشخصات وجود داشت، شناسنامه‌های اطلاعاتی تهیه شد. بر اساس داده‌های به‌دست آمده از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و شناسنامه‌های اطلاعاتی مشخص شد که از مساحت ۱۱۵۰۰۰ هکتاری منطقه مورد مطالعه در ۱۲۳۲/۴۹ هکتار آن زمین‌لغزش به‌وقوع پیوسته است. مساحت کوچک‌ترین زمین‌لغزش منفرد در

زمین‌لغزش در دامنه‌های مسیر رودخانه و ورود حجم زیادی از مواد خاکی و سنگی به بستر رودخانه، تغییر در میزان رسوبدهی سالانه حوضه طبیعی می‌باشد. چون نقش زمین‌لغزش‌ها در افزایش کمی رسوب و تغییرات کیفی آن در حوضه بالخلوچای در زمان وقوع زمین‌لغزش و متعاقب آن بررسی نشده است، بنابراین، در این پژوهش جهت ارزیابی نقش زمین‌لغزش‌ها در تغییرات بار رسوبی حوضه در ابتدا دوره فعالیت و جابه‌جایی توده‌های لغزشی بر اساس بررسی‌های میدانی مشخص شد. سپس، بر اساس داده‌های رسوب‌سنجی ایستگاه پل الماس، در پایین‌دست حوضه، میزان بار رسوبی در کل دوره ۴۰ ساله (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱) و بدون داده‌های مربوط به دوره لغزشی چهار ساله (از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲) برآورد شدند و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به این‌که تاریخ وقوع دو مورد زمین‌لغزش جدید به نام‌های ساری‌قیه و ایلانجق، سال ۱۳۶۹ تعیین شد و بررسی‌های صحرایی حاکی از فرسایش و حمل توده خاک حمل شده به مسیر و بستر رودخانه تا سال ۱۳۷۲ می‌باشد، لذا، انتظار می‌رود بار رسوبی رودخانه در این دوره زمانی تحت تأثیر این دو زمین‌لغزش قرار گرفته است.

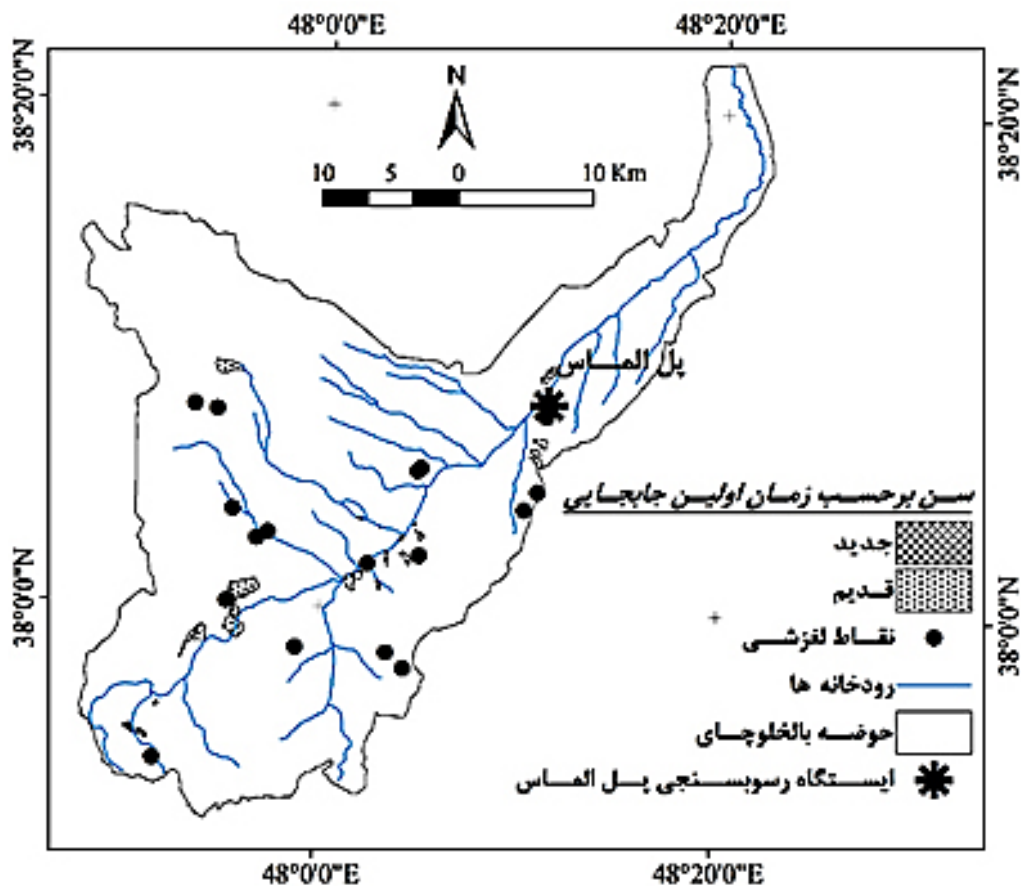
در حوضه بالخلوچای زمان فعالیت زمین‌لغزش‌های تأثیرگذار بر بار رسوبی حوضه مشخص می‌باشد. زمین‌لغزش‌های ساری‌قیه و ایلانجق در سال ۱۳۶۹ در دامنه‌های مجاور رودخانه اصلی به‌وقوع پیوسته‌اند و بخشی از مواد رسوبی را در زمان وقوع مستقیماً تحویل رودخانه داده‌اند. در اثر جابه‌جایی این دو زمین‌لغزش، حتی پنجه لغزش‌ها به نزدیکی دیواره مقابل دره بالخلوچای رسیده و به این ترتیب عرض بستر جریان آب رودخانه بسیار کم شده است. بررسی‌های صحرایی و داده‌های شناسنامه‌ای زمین‌لغزش‌ها (که در این پژوهش تهیه شد) نشان می‌دهد که از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۲ بخش اصلی مواد توده لغزشی رسیده به بستر رودخانه شسته شده و به پائین‌دست رودخانه حمل شده است. به این ترتیب، هرچند مورفولوژی بستر رودخانه تغییر یافته اما در پایان دوره آماری ۱۳۷۳-۱۳۷۲ عرض بستر رودخانه بالخلوچای تقریباً به حالت اولیه برگشته است. چون در

های گذشته (قدیمی‌تر از ۵۰ سال) به‌وقوع پیوسته و به سن قدیم هستند. علاوه بر این، زمین‌لغزش‌ها در مسیر رودخانه پراکنده شده‌اند (شکل ۲).

منطقه ۰/۱۷ هکتار و بزرگ‌ترین آن ۲۴۰/۲۶ هکتار است (جدول ۱). بیش از ۸۰ درصد از زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در منطقه از نوع چرخشی، انتقالی و یا ترکیب این دو هستند. اکثریت زمین‌لغزش‌ها در زمان-

جدول ۱- مقایسه فراوانی زمین‌لغزش‌ها بر اساس زمان آخرین جابه‌جایی و فعالیت

زمان آخرین حرکت	تعداد	مساحت (هکتار)			
		حداکثر	میانگین	حداقل	انحراف معیار
قدیم	۵۶	۲۴۰/۲۶	۲۱/۸۸	۰/۱۷	۴۳/۷۶
جدید	۱۰	۳۶/۵۳	۱۱/۶۵	۰/۴۳	۱۴/۰۸
کل	۶۱	۲۴۰/۲۶	۲۰/۲۰	۰/۱۷	۴۰/۴۹



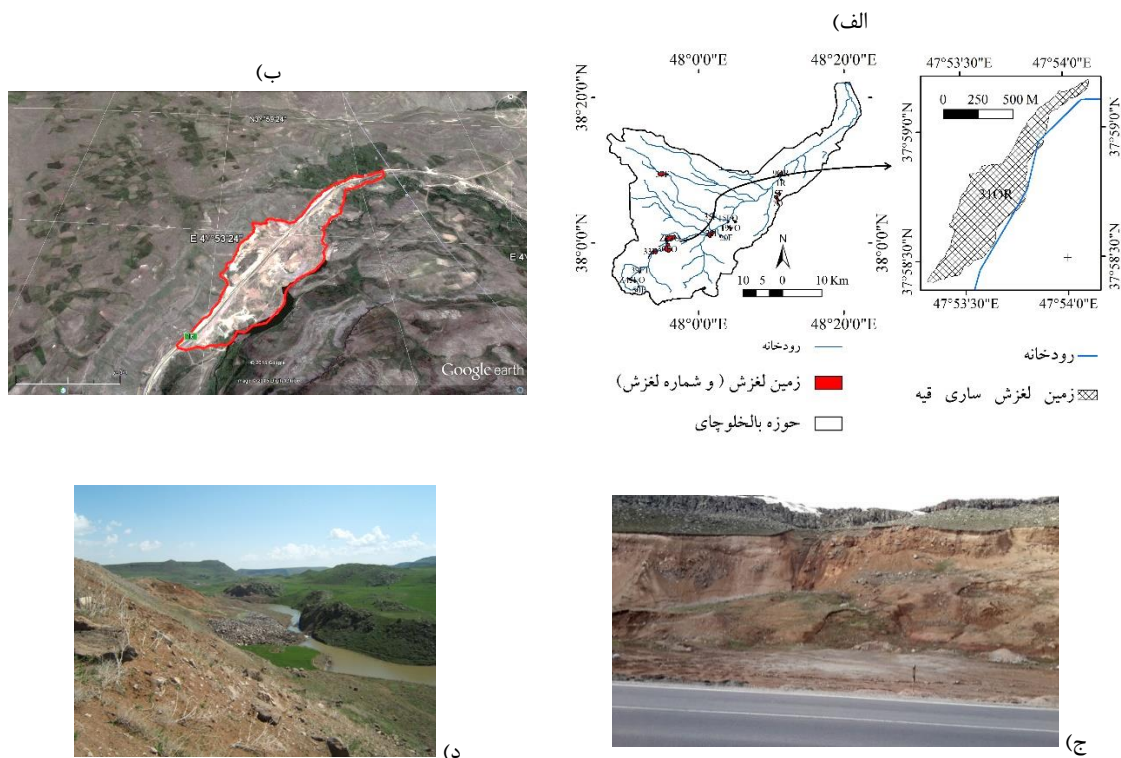
شکل ۲- موقعیت تمام زمین‌لغزش‌های حوزه و ایستگاه رسوب‌سنجی پیل الماس

احتمالی زمین‌لغزش‌های قدیمی بوده و احتمال این که در آینده فعالیت مجدد داشته باشند، زیاد است. به غیر از دو مورد زمین‌لغزش، به‌نام‌های ساری‌قیه و ایلانجق، بقیه زمین‌لغزش‌های فعال، یا حجم کمی داشته‌اند و یا در فاصله‌ای از رودخانه‌ها به‌وقوع پیوسته‌اند که مواد جابه‌جا شده از آن‌ها تا به‌حال

با بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی و سایر شواهد صحرائی زمین‌لغزش‌های منطقه و بر اساس داده‌های شناسنامه‌های تهیه شده از آن‌ها، مشخص شد که در ۲۰ درصد از زمین‌لغزش‌های قدیمی منطقه شواهد جابه‌جایی در زمان‌های اخیر یعنی بعد از سال ۱۳۴۰ وجود دارد. چنین نتیجه‌ای نشان‌دهنده فعال شدن

سراب در شامگاه روز دوشنبه مورخ ۱۶ خرداد ماه سال ۱۳۸۴ در محل زمین‌لغزش فعالی که در سال ۱۳۶۹ جابه‌جا شده بود، به‌وقوع پیوست. وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۴/۲ ریشتر در شهرستان آستارا با فاصله ۹۵ کیلومتر از محل زمین‌لغزش در روز سیزدهم خردادماه سال ۱۳۸۴ می‌تواند عامل تشدید کننده در جابه‌جایی دوباره این توده باشد (Mohamadzadeh, ۲۰۰۵). بلافاصله بعد از وقوع زمین‌لغزش در سال ۱۳۸۴، با انجام عملیات خاک‌برداری، مسیر رودخانه به سمت دیواره راست انحراف داده شد و با ایجاد دیواره سنگی در پای دیواره سمت چپ، از ورود رسوبات اضافی به بستر رودخانه جلوگیری به عمل آمد. هر چند این زمین‌لغزش در حال حاضر در وضعیت ناپایدار است، اما با انجام عملیات کنترل و تثبیت از ورود مواد خاکی و سنگی جابه‌جا شده به رودخانه جلوگیری می‌شود. مساحت توده جابه‌جا شده لغزشی ۳۶/۵ هکتار است که در یک پهنه لغزشی به مساحت ۱۴۴/۵ هکتار قرار دارد (شکل ۳). عمق سطح گسیختگی در این زمین‌لغزش بین ۵۰ تا ۶۰ متر تخمین زده می‌شود.

به‌طور مستقیم تحویل سیستم رودخانه‌ای حوضه داده نشده است. حرکات زلزله ۷/۴ ریشتری سال ۱۳۶۹ رودبار-منجیل باعث لرزش شدید در این منطقه نیز شده و همچنین، متعاقب آن زلزله‌های متوالی در منطقه به‌وقوع پیوسته است (Ghorashi و Berberian, ۱۹۹۲a و ۱۹۹۲b). تعدادی از زمین‌لغزش‌های قدیمی این منطقه بعد از زلزله سال ۱۳۶۹ فعال شده و جابه‌جایی‌های قابل توجهی در آن‌ها صورت گرفته است. چنان که اشاره شد، دو مورد از زمین‌لغزش‌های حوضه بالخلوچای به‌نام شمال روستای ایلانجق و شمال روستای ساری‌قیه (گردنه صائین در مسیر اردبیل به سراب) فعالیت‌هایی را در سال ۱۳۶۹ بعد از حرکات زلزله در رودبار-منجیل و جنوب استان اردبیل نشان داده و حجم عظیمی از خاک و سنگ را به مسیر رودخانه آورده‌اند. مواد جابه‌جا شده در اثر این دو زمین‌لغزش مستقیماً وارد بستر رودخانه شده‌اند. زمین‌لغزش ساری‌قیه در سال ۱۳۸۴ نیز با فعالیت دوباره باعث جابه‌جایی حجم عظیمی از مواد سنگی و خاکی شد. این زمین‌لغزش در محور مواصلاتی نیر-



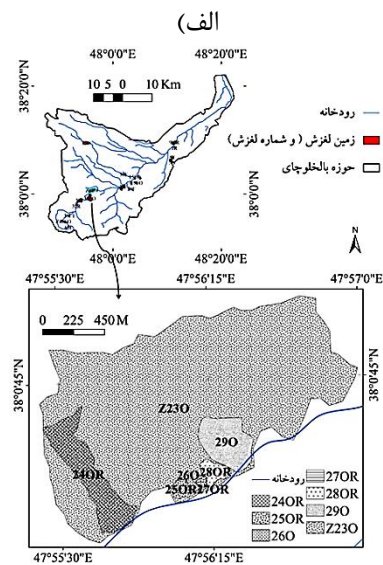
شکل ۳- الف) نقشه موقعیت زمین‌لغزش ساری‌قیه، ب) محدوده تأثیر زمین‌لغزش در تصویر Google earth، ج) آثار باقی‌مانده از تاج لغزشی در بخش شرقی توده و د) پنجه تثبیت شده زمین‌لغزش در بستر رودخانه (دید به سمت شمال و در جهت جریان رودخانه بالخلوچای)

شواهد صحرایی و گفته‌های اهالی روستاهای محل نشان دهنده جابه‌جایی در دامنه شمالی روستای ایلاتجق در سال ۱۳۶۹ است. مساحت توده ۱۸/۵ هکتار است که در یک پهنه لغزش به مساحت ۱۷۸/۵ هکتاری قرار گرفته که در آن نیز توده‌های مختلفی در همان سال به سمت رودخانه حرکت کرده‌اند، اما این توده‌ها در حال حاضر فعالیت چندانی ندارد. عمق متوسط زمین‌لغزش ۱۵ متر بوده است. مورفولوژی

دامنه نشان‌دهنده منحرف شدن مسیر رودخانه به سمت دیواره روبه‌روی در اثر حرکت توده در بستر رودخانه در گذشته است. سازند زمین‌شناسی آن ترکیبی از مارن، ماسه‌سنگ، لایه‌های گچ‌دار (معادل سازند قرمز فوقانی) و گدازه‌های تراکیتی و تراکیت آندزیتی (آتشفشانی‌های نئوژن سبلان) است. موقعیت زمین‌لغزش و نحوه تاثیر آن بر مسیر رودخانه، در تصویر هوایی به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۴).



(ب)



(د)

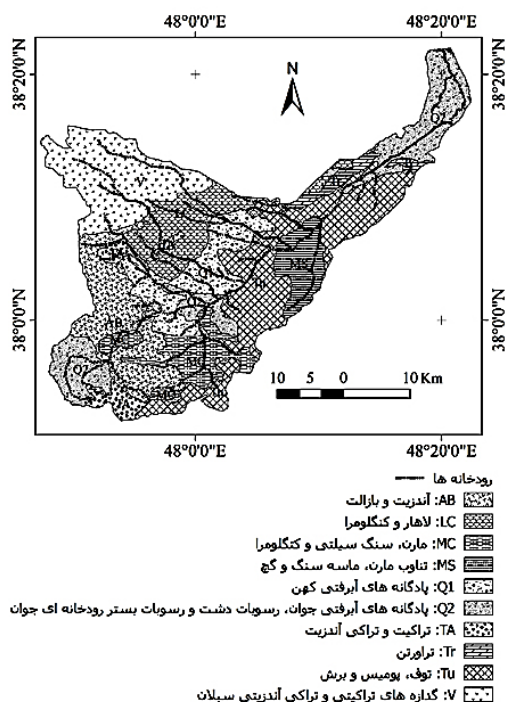


(ج)

شکل ۴- الف) نقشه موقعیت پهنه لغزشی و لغزش منفرد ایلاتجق، ب) تصویر هوایی فعلی زمین‌لغزش، ج) محدوده زمین‌لغزش تثبیت شده از روبرو (دید به سمت غرب) و د) باقی‌مانده توده جابه‌جا شده در پنجه لغزش و در دیواره بستر رودخانه

کانی‌های رسی همچون مارن‌ها و پهنه‌های دگرسان و همچنین، واحدهای توفی و پومیزی سست را از دلایل اصلی وقوع زمین‌لغزش در منطقه به حساب آورد، اما درصد نسبت بالای زمین‌لغزش‌ها در سازندهای آتشفشانی همچون آندزیت و بازالت‌های نئوژن نیز قابل توجه است (جدول ۲). در بین لایه‌های رسوبی و رسوبی-آذرآواری مربوط به سازندهای قرمز فوقانی و رسوبات مربوط به پلیوسن (معادل طبقات ماهی‌دار

در این حوضه، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی، رسوبی، رسوبی-آتشفشانی و آبرفت‌های درشت دانه تا ریز دانه وجود دارد (شکل ۵). در برونزدهای واحدهای مختلف نئوژن و کواترنر حوضه بالخلوچای زمین‌لغزش‌های مختلفی در گذشته به‌وقوع پیوسته است. گسترش ۱۲۳۲/۴۹ هکتاری زمین‌لغزش‌ها نشان دهنده پتانسیل لغزش‌خیزی سازندهای زمین‌شناسی حوضه است. هر چند می‌توان حضور سازندهای دارای



شکل ۵- نقشه ترکیب سنگی حوضه بالخلوچای

دریاچه‌ای در اطراف تبریز) لایه‌های مارن‌دار به صورت متناوب تشکیل شده است. فرسایش لایه‌های مارن‌دار نیز همزمان با سایر لایه‌ها و در طول سال‌های گذشته کم و بیش با روند عادی ادامه داشته است. وقوع زمین‌لغزش‌ها، همراه با سایر لایه‌ها، باعث جابه‌جایی طبقات مارن‌دار نیز شده و مواد زیادی را در مسیر رودخانه بالخلوچای قرار داده است. به غیر از سازندهای با ترکیب سنگی لاهار و تراورتن، در بقیه سازندهای زمین‌شناسی منطقه زمین‌لغزش‌ها مشاهده می‌شوند. مقایسه درصد نسبت مساحت مناطق لغزشی به مساحت ترکیب سنگی، نشان می‌دهد که نوع سنگ‌ها از لحاظ رسوبی و یا آتشفشانی نقش اساسی در افزایش پتانسیل زمین‌لغزش ایفا نمی‌کنند. لذا، باید عوامل دیگری نیز در وقوع زمین‌لغزش‌های این حوضه موثر بوده باشند.

جدول ۲- مساحت ترکیب سنگی حوضه بالخلوچای

ردیف	نشانه	ترکیب سنگی	نام سازند	مساحت (هکتار)	مساحت مناطق لغزشی (هکتار)
۱	MS	تناوب مارن، ماسه‌سنگ و گچ	قرمز فوقانی (میوسن)	۱۱۱۵۷	۵۸/۲۰
۲	AB	آندزیت و بازالت	آتشفشانی‌های نئوزن	۱۴۲۸۹	۳۱۴/۹۵
۳	TA	تراکیت و تراکی آندزیت		۳۶۷۰	۱۷/۱۲
۴	MC	تناوب مارن، سنگ سیلتی و کنگلومرا	رسوبات پلیوسن معادل طبقات ماهی‌دار دریاچه‌ای اطراف تبریز	۸۲۱۲	۱۳۳/۶۰
۵	Tu	توف، پومیس و برش		۲۳۱۰۳	۲۷۲/۷۳
۶	LC	لاهار و کنگلومرا	نهشته‌های آذرآواری سیلان (کواترنر)	۱۰۹۸۸	۰/۰۰
۷	V	تراکیت، تراکی آندزیت، آندزیت و بازالت	گدازه‌های سیلان (کواترنر)	۱۷۰۶۳	۱۵۲/۹۱
۸	Q1	پادگانه‌های آبرفتی کهن		۱۱۷۸۹	۱۵۷/۴۷
۹	Q2	پادگانه‌های آبرفتی جوان، رسوبات دشت و رسوبات رودخانه‌ای عهد حاضر	رسوبات کواترنر	۱۲۲۲۷	۱۲۵/۵۲
۱۰	Tr	تراورتن		۲۴۷۴	۰/۰۰

گذشته و در کنار مسیر گسل بالخلوچای، این احتمال را که حرکات تکتونیکی و وقوع زلزله‌ها در گذشته بر وقوع زمین‌لغزش‌ها موثر بوده‌اند، افزایش می‌دهد (شکل ۶).

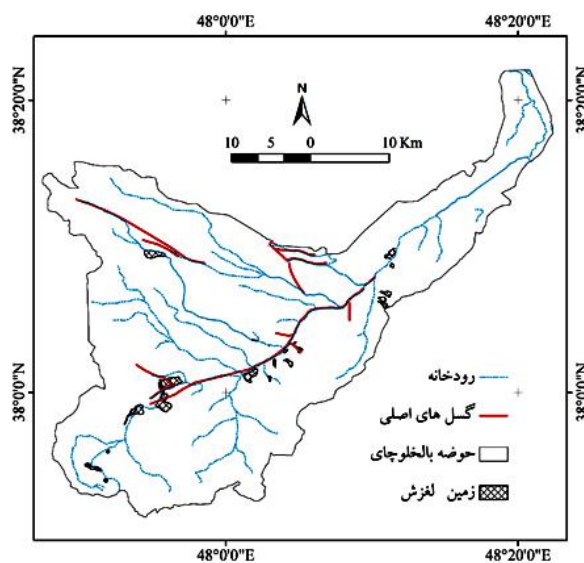
در صورت وقوع زمین‌لغزش در مسیر یک رودخانه دائمی و یا فصلی با دبی جریان آب مناسب، انتظار می‌رود که توده خاک و یا سنگی که در اثر جابه‌جایی

به نظر می‌رسد که مسیر رودخانه بالخلوچای گسلی است که روند آن با گسل دامنه غربی تالش موازی می‌باشد. از علائم این گسل می‌توان به جابه‌جایی رسوبات میوسن در نزدیکی روستای چای-سغرو اشاره کرد. با توجه به عریض بودن دره رودخانه، احتمالاً خط گسل به‌وسیله رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده شده است. وقوع زمین‌لغزش‌ها در زمان

در بالادست ایستگاه هیدرومتری پل الماس بر روی رودخانه بالخلوچای حوضه‌ای با مساحتی معادل ۹۹۷۰۰ هکتار در جنوب و جنوب غرب اردبیل قرار دارد. در دوره آماری ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲ پیک‌های افزایش میزان رسوب اندازه‌گیری شده نسبت به دبی جریان بسیار زیاد است. این دوره منطبق بر فعالیت زمین-لغزش‌های ایلانجق و ساری‌قیه می‌باشد (شکل ۷).

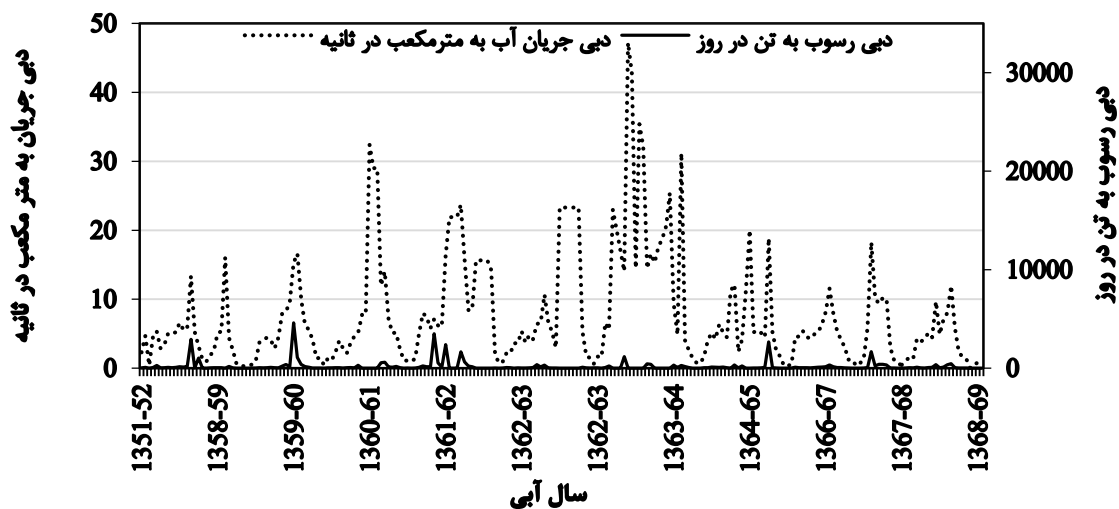
بررسی و مقایسه داده‌های مشاهده‌ای از میزان دبی جریان متوسط روزانه و دبی رسوب نشان می‌دهد که پیک‌های دبی رسوب در سه دوره، قبل از وقوع زمین‌لغزش (از سال ۱۳۵۱ تا سال ۱۳۶۸)، دوره جابه‌جایی و انتقال مصالح لغزشی به بستر رودخانه و حمل آن‌ها (از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۲) و همچنین، دوران بعد از حمل مواد انتقال یافته به بستر رودخانه (از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۹۱)، تغییرات قابل توجهی دارند (شکل ۷). تعداد پیک‌های با رسوب بالا در دوره چهار سال لغزشی خیلی بیشتر از دوره‌های قبل و بعد از آن است. در دوره چهار سال لغزشی با وجود این که دبی جریان تغییر نکرده اما میزان رسوب افزایش معنی‌دار یافته است که می‌تواند به دلیل وقوع دو زمین‌لغزش ساری‌قیه و ایلانجق باشد. همچنین، در این دوره غلظت آب رودخانه بالخلوچای به علت وقوع زمین‌لغزش ساری‌قیه و ایلانجق افزایش یافته و دو منحنی دبی جریان و دبی رسوب به هم نزدیک‌تر شده‌اند.

در معرض جریان آب قرار گرفته به مرحله حمل و نقل وارد شود. تغییرات ناگهانی در بار رسوبی یک رودخانه نسبت به شرایط عادی می‌تواند متأثر از پدیده زمین‌لغزش در مسیر رودخانه باشد. مطمئناً نوع و میزان رسوبی که به وسیله یک زمین‌لغزش در یک دوره زمانی مشخص بر بار رسوبی یک رودخانه افزوده می‌شود، علاوه بر دبی جریان و مورفولوژی مسیر رودخانه به نوع موادی که به وسیله یک زمین‌لغزش در مسیر فرسایش قرار می‌گیرد نیز بستگی دارد. شواهد به دست آمده از بررسی‌های صحرایی، نشان‌دهنده جابه‌جایی و فعالیت دوباره زمین‌لغزش‌ها در مسیر رودخانه بالخلوچای در سال ۱۳۶۹ بعد از زلزله رودبار-منجیل است که از بین آن‌ها دو زمین‌لغزش ساری‌قیه و ایلانجق با حجم توده جابه‌جا شده بالا قابل توجه هستند. نتایج بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که بخش پنجه این دو زمین‌لغزش در موقع جابه‌جایی بخش اصلی بستر رودخانه را مسدود کرده و در ماه‌ها و سال‌های بعد با جریان دائمی و سیلابی این رودخانه حمل شده‌اند. بنابراین، تغییرات معنی‌دار در میزان بار رسوبی این رودخانه در سال‌های بعد از وقوع زمین‌لغزش منطقی خواهد بود. ارزیابی بار رسوبی ایستگاه پائین‌دست حوضه (ایستگاه پل الماس) که در مسیر رودخانه بالخلوچای قرار دارد، می‌تواند در آزمایش درستی و یا نادرستی فرضیه فوق به کار گرفته شود.

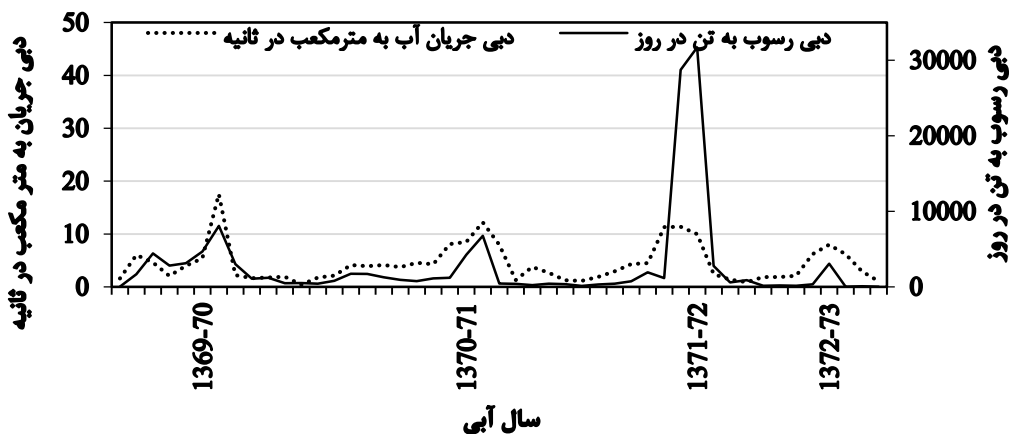


شکل ۶- پراکنش زمین‌لغزش‌ها در مسیر گسل‌های اصلی منطقه

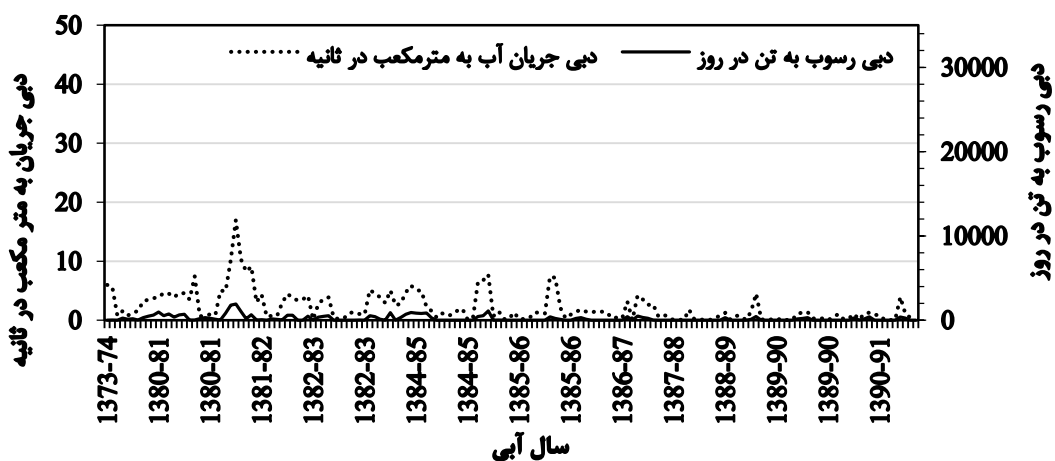
(الف)



(ب)

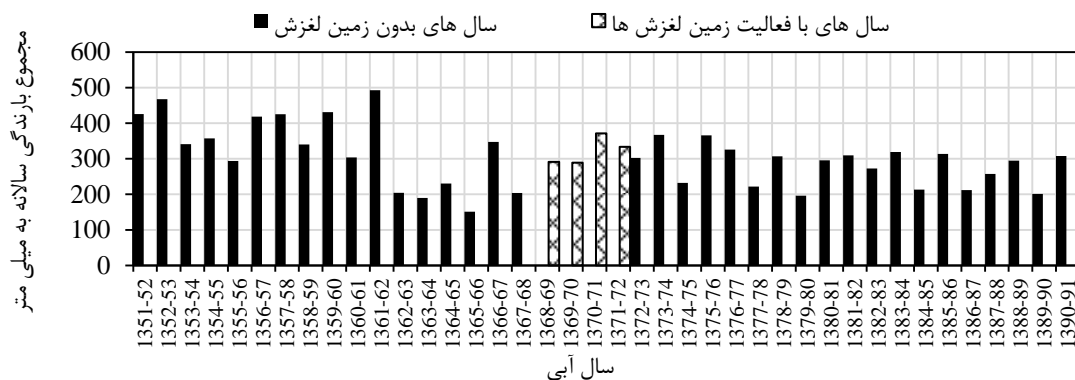


(ج)



شکل ۷- تغییرات داده‌های دبی جریان متوسط روزانه و رسوب روزانه در محل ایستگاه پل الماس در سه دوره آماری، الف) دوره قبل از وقوع زمین لغزش، ب) دوره تأثیر زمین لغزش‌ها بر رسوبدهی حوضه و ج) دوره بعد از حمل مواد انتقال داده شده به بستر به وسیله جریان رودخانه بالخلوچای

هر چند با روش مشاهده‌ای امکان بررسی تغییرات دبی رسوب در دوران لغزشی وجود دارد، اما جهت تدقیق این نتیجه باید تغییرات به‌طور کمی نیز نشان داده شوند. در حال حاضر، با توجه به محدود بودن داده‌های قبلی از حوضه، تنها راه کمی‌سازی این تغییرات استفاده از روش‌های منحنی سنج رسوب است. با این روش می‌توان میزان تاثیر زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در سال ۱۳۶۹ را بر دبی رسوب تحلیل نمود. هر چند عوامل طبیعی و انسانی نیز می‌توانند در افزایش ناگهانی رسوب در حوضه بالخلوچای در فاصله سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲ تاثیرگذار باشند، اما بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که در این دوره زمانی فعالیت عمرانی خاصی در حوضه صورت نگرفته است. از طرف دیگر، همان گونه که در شکل ۸ نشان داده شده است، بررسی تغییرات میزان بارندگی سالانه در دوره ۴۰ ساله در ایستگاه اردبیل نیز تغییرات معنی‌داری را در دوره لغزشی (از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲) نشان نمی‌دهد (I. R. Of Iran).



شکل ۸- تغییرات مجموع بارندگی سالانه (میلی‌متر) در ایستگاه اردبیل برای ۴۰ سال دوره آبی

ب- برآورد میزان رسوب حوضه بر اساس داده های ۳۶ ساله (بدون سال‌های ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۲): میزان رسوب روزانه، ماهانه و سالانه در محل ایستگاه پل الماس پس از تعیین منحنی سنج رسوب و معادله نمایی آن بر اساس شکل ۱۰ و رابطه (۶) تعیین شد.

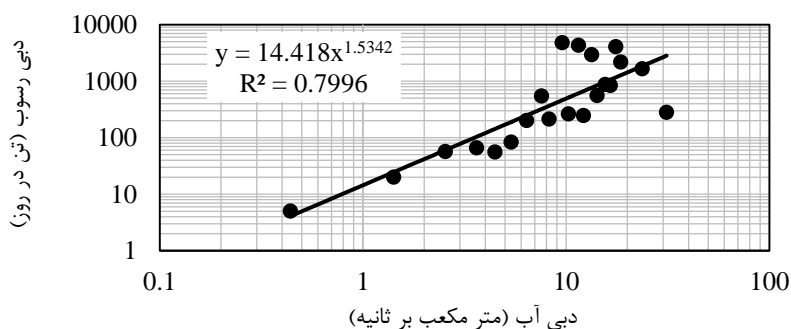
$$Q_s = 10.601 \times Q_w^{1.4844} \quad R^2 = 0.8268 \quad (۶)$$

که در آن، Q_s بار رسوبی معلق (تن در روز)، Q_w دبی جریان متوسط روزانه (متر مکعب بر ثانیه) و R^2 ضریب همبستگی است.

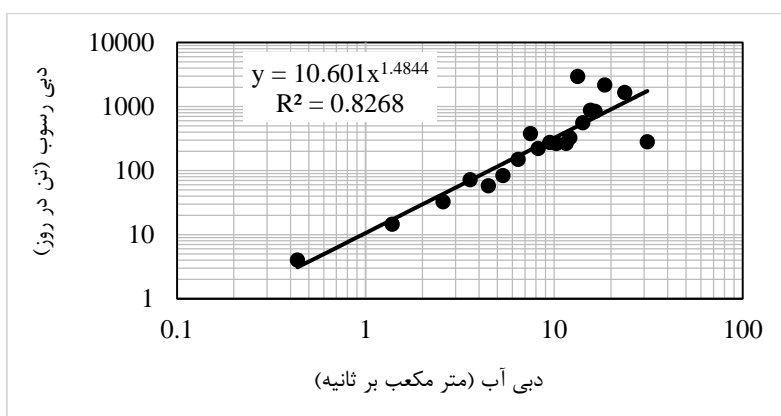
الف- برآورد میزان رسوب حوضه بر اساس داده های مشاهده‌ای ۴۰ ساله (از سال ۱۳۵۱ تا سال ۱۳۹۱): میزان رسوب روزانه، ماهانه و سالانه در محل ایستگاه پل الماس پس از تعیین منحنی سنج رسوب و معادله نمایی آن بر اساس شکل ۹ و رابطه (۵) تعیین شد.

$$Q_s = 14.418 \times Q_w^{1.5342} \quad R^2 = 0.7996 \quad (۵)$$

که در آن، Q_s بار رسوبی معلق (تن در روز)، Q_w دبی جریان متوسط روزانه (متر مکعب بر ثانیه) و R^2 ضریب همبستگی است.



شکل ۹- منحنی سنجه رسوب و معادله نمایی نظیر در ایستگاه پل الماس بر اساس تمام داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب در طول دوره ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱



شکل ۱۰- منحنی سنجه رسوب و معادله نمایی نظیر در ایستگاه پل الماس بر اساس داده‌های متناظر دبی جریان و دبی رسوب بدون داده‌های سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲

شده و بعد از جابه‌جایی، حجم زیادی از مواد را در مسیر رودخانه قرار داده‌اند. بعد از وقوع زمین‌لغزش‌ها و انحراف مسیر جریان آب، حدود چهار سال طول کشیده تا مواد حمل شده به بستر رودخانه در اثر جریان‌های عادی و سیلابی رودخانه حمل شود و مورفولوژی بستر رودخانه به حالت عادی برگردد. مجموع رسوب برآوردی برای ۴۰ سال بر اساس داده‌های رسوب‌سنجی دوره آبی ۴۰ ساله برابر با ۱۸۶۲۶۵۲ تن و بر اساس داده‌های رسوب‌سنجی بدون داده‌های دوره آبی چهار سال لغزشی برابر با ۱۲۳۳۲۴۰ تن است. اختلاف ۶۲۹۴۱۲ تنی در میزان رسوب برآوردی بر اساس داده‌های رسوب‌سنجی دو دوره با لغزش و بدون لغزش مربوط به داده‌های رسوب‌سنجی چهار سالی است که زمین‌لغزش رخ داده و مقدار رسوب تحویلی به رودخانه را افزایش داده است.

بنابراین، اگر در برآورد رسوب در یک دوره ۴۰

بین میزان رسوب برآوردی بر حسب داده‌های تمام سال‌های رسوب‌سنجی (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱) و داده‌های رسوب‌سنجی سال‌هایی که در آن داده‌های مربوط به سال‌های لغزشی (از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲) حذف شده است، تفاوت معناداری وجود دارد. میانگین رسوب سالانه بر اساس داده‌های کل دوره آبی ۴۰ ساله برابر با ۴۶۵۶۶/۳۰ تن در سال است، در حالی که میانگین رسوب سالانه بر اساس داده‌های ۳۶ ساله، یعنی با حذف داده‌های مربوط به سال‌های لغزشی ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲، برابر با ۳۰۸۳۱ تن در سال می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس برآوردهای انجام گرفته میزان رسوب حمل شده به وسیله رودخانه بالخلوچای بعد از وقوع دو مورد زمین‌لغزش ساری‌قیه و ایلانجق در طول دوره چهار ساله (سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۲) به‌طور محسوسی افزایش یافته است. دو زمین‌لغزش ساری‌قیه و ایلانجق در حاشیه رودخانه بالخلوچای بعد از زلزله ۱۳۶۹ منجیل-رودبار فعال

انجام گیرد، میزان رسوب سالانه برآورد شده حدود ۱۵۷۳۵/۳ تن در سال اضافه‌تر به‌دست خواهد آمد. این موضوع در یک دوره طولانی مدت باعث بیش برآورد رسوبدهی حوزه آبخیز لغزش‌خیز بالخلوچای نسبت به شرایط معمول هیدرولوژیکی رودخانه خواهد شد (جدول ۳).

ساله از تمام داده‌های رسوب‌سنجی استفاده شود، باعث خواهد شد تا میزان رسوب سالانه محاسبه شده تحت تاثیر داده‌های دوره لغزشی قرار گیرد و در نتیجه میزان کل رسوب بیشتر از مقدار واقعی آن برآورد شود. به‌طوری که اگر برآورد رسوب سالانه در یک دوره چهل ساله بر اساس تمام داده‌های رسوب‌سنجی

جدول ۳- آماره‌های توصیفی محاسبه شده برای رسوب برآوردی در دو دوره ۴۰ ساله بر اساس داده‌های کل دوره و داده‌های بدون چهار سال لغزشی

جمع کل رسوب دوره (تن)	انحراف معیار	میانگین سالانه (تن)	رسوب حداکثر (تن)	رسوب حداقل (تن)	نوع رابطه جهت محاسبه	تعداد سال	رسوب محاسبه شده در
۱۲۳۳۲۴۰	۱۶۶۸۹/۲۰	۳۰۸۳۱/۰۰	۷۴۸۰۱/۹۱	۱۵۵۶/۸۹	رابطه ۶ (بدون داده‌های رسوب‌سنجی ناشی از لغزش در سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲)	۴۰	تمام سال‌های آماری
۱۸۶۲۶۵۲	۲۶۰۸۸/۸۶	۴۶۵۶۶/۳۰	۱۱۶۷۹۱/۴۹	۲۱۱۳/۵۴	رابطه ۵ (بر اساس کل داده‌های رسوب‌سنجی در طول دوره ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱)		

مساحت زمین‌لغزش‌ها به‌ترتیب برای زمین‌لغزش-های ساری‌قیه و ایلانجق ۳۶/۵ و ۱۸ هکتار برآورد شده است. با در نظر گرفتن عمق ۵۵ و ۱۵ متری برای این دو زمین‌لغزش ساری‌قیه و ایلانجق، حجم مواد جابه‌جا شده حدود ۳۰ میلیون تن تخمین زده می‌شود. از حجم توده زمین‌لغزش‌های جابه‌جا شده تنها ۲۹۲۲۵۸/۳۲ تن آن یعنی ۰/۹۷ درصد از کل توده لغزشی در طول چهار سال به جریان رودخانه تحویل داده شده و به پائین‌دست حوضه حمل شده است. این مقدار رسوب حاصل حمل توده خاک و واریزه به‌وسیله جریان رودخانه از پنجه دو زمین‌لغزش بوده است.

افزایش فوق‌العاده رسوبدهی حوضه‌ها در اثر زمین‌لغزش‌ها، موضوعی تأیید شده است (Korup, ۲۰۱۲؛ Brardinoni و همکاران، ۲۰۱۳)، خصوصاً در زمان وقوع زمین‌لرزه و یا بارندگی‌های شدید که هم موجب وقوع و یا فعالیت دوباره زمین‌لغزش‌های قدیمی می‌شوند و هم در رسیدن مواد جابه‌جا شده به بستر روخانه‌ها موثر هستند (Chen و همکاران،

اگر میزان رسوب متوسط سالانه بدون در نظر گرفتن رسوبدهی سال‌های لغزشی حوضه ۳۰۸۳۱/۰۰ تن در سال در نظر گرفته شود، در مساحت ۹۹۷۰۰ هکتاری بالادست ایستگاه پل الماس میزان رسوب ۰/۳۰۹ تن در هکتار در سال خواهد بود. اما اگر حجم رسوب سالانه در دوره چهل ساله ۴۶۵۶۶/۳۰ تن در سال فرض شود، میزان رسوب سالانه ۰/۴۶۷ تن در هکتار در سال بوده است (جدول ۳). بنابراین، در این حوضه اگر داده‌های رسوب‌سنجی سال‌هایی که زمین‌لغزش‌ها فعالیت داشته‌اند (از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲) تفکیک نشوند و میزان رسوب حوضه بر اساس تمام داده‌های رسوب‌سنجی برآورد شود، در یک دوره ۴۰ ساله میزان رسوب حوضه ۶۲۹۴۱۲ تن بیشتر از میزان رسوب در حالت بدون داده‌های دوره لغزشی محاسبه خواهد شد. افزایش ۱۵۷۳۵/۳ تنی میانگین رسوب سالانه در تمام دوره ۴۰ ساله باعث می‌شود تا میزان رسوب کل ۱/۶۶ برابر یعنی ۱۶۶ درصد بیشتر از شرایط هیدرولوژیکی معمول رودخانه برآورد شود.

متفاوت متغیر است. میزان افزایش رسوب رودخانه در اثر وقوع زمین‌لغزش به حجم مواد تحویلی به بستر و در نتیجه جریان آب نیز بستگی دارد. فاصله محل وقوع زمین‌لغزش از بستر رودخانه نیز در میزان رسوب تحویلی به رودخانه نقش مهمی دارد. اگر توده لغزشی مستقیماً وارد بستر رودخانه شود، مسلماً میزان رسوب بیشتری را نسبت به توده‌هایی که در بالای دامنه اتفاق می‌افتند و در مدت زمان طولانی‌تر به بستر می‌رسند، وارد جریان آب می‌کند (Larsen و Parks, ۱۹۹۷). در نقاط مختلف دنیا میزان رسوبزایی زمین‌لغزش‌ها متفاوت گزارش شده است (Peart و همکاران، ۲۰۰۵b). برخی از پژوهشگران میزان رسوبزایی زمین‌لغزش‌ها را بسیار زیاد (Wells و Harvey, ۱۹۸۷؛ Benda و Dunne, ۱۹۹۷؛ Scott و همکاران، ۲۰۰۱؛ Korup, ۲۰۰۵) و برخی دیگر بسیار کم (Cannon و همکاران، ۲۰۰۱) تعیین کرده‌اند. در مطالعه اخیر نیز سعی شد عوامل موثر دیگری که می‌توانند فرسایش و رسوب را تشدید نمایند، مورد ارزیابی قرار گیرند تا ضمن کاهش و یا حذف برخی از عدم قطعیت‌های ذکر شده بر درجه اعتبار نتایج به‌دست آمده نیز افزوده شود. در حوضه بالخلوچای زمین‌لغزش‌های فعال با حجم زیاد و با تاریخچه فعالیت نسبتاً روشن تنها دو مورد زمین‌لغزش ساری‌قیه و ایلانجق می‌باشند. همچنین، در طول دوره چهار ساله آماری، بین سال‌های آبی ۱۳۶۹/۷۰ تا ۱۳۷۲/۷۳، به غیر از لرزش‌های حاصل از زلزله رودبار-منجیل و فعالیت برخی از زمین‌لغزش‌های کوچک، تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های دیگر حوضه بالخلوچای صورت نگرفته است. زمین‌لغزش‌های ساری‌قیه و ایلانجق در دامنه‌های رو به شرق رودخانه بالخلوچای به‌وقوع پیوسته‌اند و مواد جابه‌جا شده مستقیماً وارد بستر رودخانه شده‌اند. به این ترتیب، با تأثیر مستقیم زمین‌لغزش‌ها در افزایش رسوبزایی از عدم قطعیتی که می‌توانست به‌علت دور بودن محل زمین‌لغزش‌ها از سیستم رودخانه‌ای باشد، می‌کاهد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود که در آینده نصب تجهیزات حرکت‌سنج در چند مورد زمین‌لغزش بزرگ و موثر در رسوبزایی حوضه مانند زمین‌لغزش فعال ساری‌قیه

(۲۰۱۱). مشاهده مستقیم تأثیر زمین‌لغزش‌ها در میزان غلظت رسوب معمولاً به‌ندرت اتفاق می‌افتد (Peart و همکاران، ۲۰۰۵a). نتایج به‌دست آمده در حوضه بالخلوچای در جنوب شهر اردبیل تأثیر وقوع زمین‌لغزش در دو موقعیت اصلی به همراه تعدادی زمین‌لغزش کوچک را بعد از زلزله ۱۳۶۹ رودبار منجیل منعکس می‌کند. در این حوضه برآورد میزان رسوب در دو حالت، بر اساس تمام داده‌های رسوب‌سنجی در یک دوره ۴۰ ساله و بر مبنای داده‌های رسوب‌سنجی ۳۶ ساله یعنی بدون داده‌های رسوب‌سنجی سال‌های وقوع و جابه‌جای زمین‌لغزش‌ها انجام گرفته است.

هر چند عوامل مختلفی وجود دارند که بر جابه‌جایی و انتقال مواد رسوبی در حوضه‌ها و رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارند و باعث بروز عدم قطعیت‌هایی در تعیین نقش زمین‌لغزش‌ها در تشدید فرسایش و افزایش رسوبزایی می‌شوند، اما بر مبنای نتایج این پژوهش، نقش زمین‌لغزش‌ها در تشدید فرسایش و افزایش رسوبزایی حوضه لغزش‌خیز بالخلوچای در استان اردبیل در یک دوره چهار ساله به اثبات رسیده است. با وجود این‌که در مناطق کوهستانی وقوع پدیده‌هایی همچون زمین‌لغزش متداول بوده و حوضه‌های با شرایط مشابه نرخ فرسایش را به‌طور معنی‌دار افزایش می‌دهند (Gary و Fryirs, ۲۰۰۵)، اما چون تولید و حمل رسوب متأثر از خصوصیات فیزیوگرافیک حوزه‌های آبخیز نظیر مساحت، شیب، تراکم شبکه آبراهه‌ها، شکل حوضه و نیمرخ طولی رودخانه‌ها، اقلیم، ترکیب سنگی، فعالیت‌های تکتونیکی و بشری است (Syvitski و Milliman, ۲۰۰۷؛ Kao و Milliman, ۲۰۰۸)، لذا در بررسی نقش زمین‌لغزش‌ها در افزایش رسوبدهی حوضه‌ها باید عوامل دیگری که می‌توانند در فرسایش و رسوبزایی تغییرات اساسی ایجاد نمایند نیز در نظر گرفته شوند. افزایش فرسایش و رسوبدهی در یک حوضه لغزش‌خیز ممکن است به‌علت وقوع زمین‌لغزش‌های جدید و یا انتقال مواد خاکی و سنگی توده‌های جابه‌جا شده قبلی باشد. این‌که چه درصد از رسوب یک حوضه به‌وسیله زمین‌لغزش تامین می‌شود، در حوضه‌های مختلف و در دوره‌های زمانی

همکاران گروه پژوهشی مهندسی حفاظت آب و خاک برای همکاری و هم‌فکری در موضوعات پیرامون این پژوهش و نیز از مسئولین مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان اردبیل و همچنین، از مسئولین پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به سبب در اختیار گذاشتن امکانات پژوهش، تشکر و قدردانی می‌نماییم. همچنین، نویسندگان مقاله از داوران محترم به‌خاطر راهنمایی‌ها و پیشنهادات سازنده‌شان کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

به‌منظور تکمیل پژوهش، بررسی دقیق‌تر ویژگی‌های مناطق لغزش‌خیز و انجام مدل‌سازی تولید رسوب به‌منظور اعمال نقش زمین‌لغزش‌ها و واسنجی مدل‌های فرسایش، و بررسی روش‌های مختلف کنترل و تثبیت خصوصاً پژوهش در زمینه احیاء بیولوژیکی دامنه‌های ناپایدار در منطقه در اولویت قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه همکاران طرح و خصوصاً

منابع مورد استفاده

1. Al-Sheriadeh, M.S., A.I. Husein Malkawi, A. Al-Hamdan and N.S. Abderahman. 2000. Evaluation sediment yield at King Talal Reservoir from landslides along Irbid-Amman Highway. *Engineering Geology*, 56: 361-372.
2. Ansari, F. and M.C. Blurchi. 1996. Landslides of Ardabil Province, Iran. Geological Survey of Iran, 46 pages (in Persian).
3. Aazami, A., N. Berodian, A. Najafinejad, F. Yeghmaili and M. Arabkhedri. 2009. Determination the suitable method for estimate suspended sediment load in Ilam dam watershed. *Watershed Management Researches (Pajouhesh and Sazandegi)*, 83: 75-82 (in Persian).
4. Benda, L. and T. Dunne. 1997. Stochastic forcing of sediment supply to channel networks from landsliding and debris flow. *Water Resources Research*, 33(12): 2849-2863.
5. Brardinoni, F., G.B. Crosta, S. Cucchiario, E. Valbuzzi and P. Frattini. 2013. Landslide mobility and landslide sediment transfer in Val di Sole, Eastern Central Alps. *Landslide Science and Practice*, 4: 315-320.
6. Bronstert, A., J.C. de Araújo, R.J. Batalla, A.C. Costa, J.M. Delgado, T. Francke, S. Foerster, A. Guentner, J.A. López-Tarazón, G.L. Mamede, P.H. Medeiros, E. Mueller and D. Vericat. 2014. Process-based modelling of erosion, sediment transport and reservoir siltation in mesoscale semi-arid catchments. *Journal of Soils Sediments*, 14: 2001-2018.
7. Cannon, S.H., R.M. Kirkham and M. Parise. 2001. Wildfire-related debrisflow initiation processes, Storm King Mountain, Colorado. *Geomorphology*, 39: 171-181.
8. Castellanos Abella, E.A. and C.J. van Westen. 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides*, 4: 311-325.
9. Chen, H., G.W. Lin, M.H. Lu, T.Y. Shih, M.J. Horng, S.J. Wu and B. Chuang. 2011. Effects of topography, lithology, rainfall and earthquake on landslide and sediment discharge in mountain catchments of southeastern Taiwan. *Geomorphology*, 133: 132-142.
10. Corominas, J., C. van Westen, P. Frattini, L. Cascini, J.P. Malet, S. Fotopoulou, F. Catani, M. Van Den Eeckhaut, O. Mavrouli, F. Agliardi, K. Pitilakis, M.G. Winter, M. Pastor, S. Ferlisi, V. Tofani, J. Hervás and J.T. Smith. 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73: 209-263.
11. Das, I., A. Stein, N. Kerle and V.K. Dadhwal. 2011a. Probabilistic landslide hazard assessment using homogeneous susceptible units (HSU) along a national highway corridor in the northern Himalayas, India. *Landslides*, 8: 293-308.
12. Das, I., G. Kumar, A. Stein, A. Bagchi and V.K. Dadhwal. 2011b. Stochastic landslide vulnerability modeling in space and time in a part of the northern Himalayas, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178: 25-37.
13. Feyz, N. 2009. The study of effective factors in the slip of earth's layer in Nier-Sarab road with the process in environmental planning. MSc Thesis, Islamic Azad University, Ardabil branch, 174 pages (in Persian).
14. Gary, B.J. and K.A. Fryirs. 2005. *Geomorphology and river management, application of the river style framework*. Blackwell Publishing, USA.
15. Ghorashi, M. and M. Berberian. 1992a. The Rudbar-Tarom earthquake of 20 June 1990 in NW Iran: A preliminary field reconnaissance report. *Scientific Quarterly Journal, GeoSciences*, 1(1): 16-29 (in Persian).
16. Ghorashi, M. and M. Berberian. 1992b. The Rudbar-Tarom earthquake of 20 June 1990 in NW Iran: A preliminary field reconnaissance report. *Scientific Quarterly Journal, GeoSciences*, 1(2): 6-17 (in

- Persian).
17. Glade, T., M., Anderson and M.J. Crozier. 2005. *Landslide hazard and risk*. John Wiley and Sons Ltd, England, 824 pages.
 18. Harvey, A.M. 2002. Effective timescales of coupling within fluvial systems. *Geomorphology*, 44(3-4): 175-201.
 19. Imani, R. 2009. Effective elements in creating landslide in Hashtjin of Khalkhal considering environmental planning. MSc Thesis, Faculty of Social and Humanities, Islamic Azad University, Ardabil branch, 138 pages (in Persian).
 20. I.R. of Iran Meteorological Organization. 2016. WWW.Ardabilmet.ir.
 21. Kao, S.J. and J.D. Milliman. 2008. Water and sediment discharge from small mountainous rivers, Taiwan: the roles of lithology, episodic events and human activities. *Journal of Geology*, 116: 431-448.
 22. Korup, O. 2005. Large landslides and their effect on alpine sediment flux: South Westland, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30: 305-323.
 23. Korup, O. 2012. Earth's portfolio of extreme sediment transport events. *Earth Science Reviews*, 112: 115-125.
 24. Korup, O., J.J. Clague, R.L. Hermanns, K. Hewitt, A.L. Strom and J.T. Weidinger. 2007. Giant landslides, topography and erosion. *Earth and Planetary Science Letters*, 26: 578-589.
 25. Korup, O. and J.J. Clague. 2009. Natural hazards, extreme events and mountain topography. *Quaternary Science Reviews*, 28: 977-990.
 26. Korup, O., M.J. McSaveney and T.R.H. Davies. 2004. Sediment generation and delivery from large historic landslides in the Southern Alps, New Zealand. *Geomorphology*, 61: 189-207.
 27. Larsen, M.C. 2012. Landslides and sediment budgets in four watersheds in Eastern Puerto Rico. In: Murphy, S.F. and R.F. Stallard. (Eds.) *Water quality and landscape processes of four watersheds in Eastern Puerto Rico*. Professional Paper 1789-F., U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 157-178.
 28. Larsen, M.C. and J.E. Parks. 1997. How wide is a road? The association of roads and mass-wasting disturbance in a forested montane environment: *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 835-848.
 29. Liu, J., Y. You, X. Chen, J. Liu and X. Chen. 2014. Characteristics and hazard prediction of large-scale debris flow of Xiaojia Gully in Yingxiu Town, Sichuan Province, China. *Engineering Geology*, 180: 55-67.
 30. MahdaviFar, M.R. 1997. Landslide hazard zonation in Khorshrostan region (southwest of Khalkhal County). MSc Thesis, Tarbiat Modarres University, 154 pages (in Persian).
 31. Mohamadzadeh, A. 2005. Field observation results and images of Saein Landslide (Ardabil-Sarab road). Management and Planning Organization of Ardabile Province, 8 pages (in Persian).
 32. Montgomery, D.R. and M.T. Brandon. 2002. Topographic controls on erosion rate in tectonically active mountain ranges. *Earth and Planetary Science Letters*, 201: 481-489.
 33. Nasrollahei, S.F. 2014. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and LNRF, case study: Givei Basin, (Ardabile Province). MSc Thesis, Islamic Azad University, Noor branch, 92 pages (in Persian).
 34. Nikandish, N. and R. Mir Sanei. 1996. Introduction to Ardabile Province landslides. Iran Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran, 63 pages (in Persian).
 35. Peart, M.R., M.E. Ruse and L. Fok. 2005a. Sediment delivery from a landslide to a stream in a drainage basin in Hong Kong. *Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins* (Proceedings of the International Conference held at Solsona, Catalonia, Spain, May 2004). IAHS Publication 299, 2005, pp. 46-55 Peart, M.R., K.Y. Ng and D.D. Zhang. 2005b. Landslides and sediment delivery to a drainage system: some observations from Hong Kong. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25: 821-836.
 36. Peyrowan, H.R., M. Shariat Jafari and D. Lotfallahzadeh. 2015. Evaluation of landslides on sediment yield of basins with the emphasis on flow rate and its corresponding sediment discharge, case study: Latyan dam basin. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Final Report of Research, 105 pages (in Persian).
 37. Reid, L.M. and M.J. Page. 2002. Magnitude and frequency of land sliding in a large New Zealand catchment. *Geomorphology*, 49: 71-88.
 38. Road, housing and urban development research center. 2006. Study of Taleganeh landslide stabilization, Germe, Ardabile Province. The Ministry of Road and Urban Development. Road and Housing Organization of Ardabile Province, 114 pages (in Persian).

39. Schuster, R.L. and L.M. Highland. 2001. Socioeconomic and environmental impacts of landslides in the Western Hemisphere. US Department of the Interior, US Geological Survey, Open-File Report 01-0276.
40. Scott, K.M., J.L. Macias, J.A. Naranjo, S. Rodriguez and J.P. McGeehin. 2001. Catastrophic debris flows transformed from landslides in volcanic terrains: mobility, hazard assessment, and mitigation strategies. US Geological Survey Professional Paper, 1630, 59 pages.
41. Shoaiei, Z., G. Shoaiei and R. Emamjomeh. 2005. Interpretation of the mechanism of motion and suggestion of remedial measures using GPS continuous monitoring data. In: Sassa, K., H. Fukuoka, F. Wang and G. Wang (Eds.), Landslides: Risk analysis and sustainable disaster management. Proceeding of the First General Assembly of the International Consortium of Landslides, Springer, 327-335.
42. Sidle, R.C. and H. Ochiai. 2006. Landslides: Processes, prediction and land use. Water Resources Monograph, 18: 312-324.
43. Spiker, E.C. and P.L. Gori. 2003. National landslide hazards mitigation strategy: a framework for loss reduction. Department of Interior, USGS, Open-file Report 00-450, 49 pages.
44. Syvitski, J.P.M. and J.D. Milliman. 2007. Geology, geography and humans battle for dominance over the delivery of fluvial sediment to the coastal ocean. *Journal of Geology*, 115: 1-19.
45. Talaei, R., J. Ghayoumian, M. Shariat Jafari and E. Aliakbarzadeh. 2004. Study on effective factor causing landslide in southwest of Khalkhal region. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran, 153 pages (in Persian).
45. Talaei, R., M. Shariat Jafari and B. Beyrami. 2015. Evaluation of landslides on sediment yield of basins with the emphasis on flow rate and its corresponding sediment discharge (Ardabil Province). Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Final Report of Research, 123 pages (in Persian).
46. Torkpour, A. 2013. Slope stability assessment against landslide in order to reduce destructive damage in Germe region. MSc Thesis, Islamic Azad University, Yasouj branch, 99 pages (in Persian).
47. Wells, S.G. and A.M. Harvey. 1987. Sedimentologic and geomorphic variations in storm generated alluvial fans, Howgill Fells, Northwest England. *Bulletin Geological Society of America*, 98: 182-198.
48. Wing, M.G. 2000. Landslide and debris flow influences on aquatic habitat conditions. Paper presented at 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada, September 2-8, 2000. p. 8. Accessed: 27/01/2004. <http://www.colorado.edu/research/cires/banff/pubpapers/35>.

Evaluation of landslides on sediment yield of Baleklou-Chay Basin in Ardabil Province

Reza Talaei^{*1}, Mohsen Shariat Jafari² and Bayramali Beyrami³

¹ Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran, ² Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and ³ MSc, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran

Received: 13 March 2016

Accepted: 13 September 2016

Abstract

Landslides are the major causes of erosion and sediment yield in the sloping and mountainous basins. However, evidence suggests that the amount of sediment to the river of the mountainous regions in Ardabil province due to landslides is significant, but in quantitative terms it has not been provided the certain value based on scientific its research. In this study, the subject was evaluated in the Baleklou-Chay Basin of Ardabil Province, using data extracted from the aerial photographs, field investigations and the sediment discharge measured data at Pole-Almas hydrometric station. Sediment volume in the sediment measurement stations associated with the catchment was estimated by determining the relationship between flow rate and it's corresponding sediment discharge. It was attempted to compare the estimated amount of sediment at different time periods with its amount in the periods of activity of landslides and to determine the possible effects of the landslides in increasing erosion and sediment yield in the catchment. The noted large landslides have caused a significant increase in the sediment load of the available rivers. The effects of these slides can be observed in the suspended load passing through Pol-e-Almas station. The mean of the suspended sediment concentration of Baleklou-Chay Basin has been estimated about 46566.30 tons per year based on sediment discharge values from field data during 40 years (from 1972 to 2001), however the mean of the suspended sediment concentration is 30831 tons per year based on sediment discharge values from field data during 36 years, which means with the elimination of the data related to landslide years (from 1980 to 1983). In conclusion, according to the calculated sediment carried by the Baleklou-Chay River after the occurrence of the Sarighaye and Ilanjigh landslides during the period of four years (from 1980 to 1983) has been increased rapidly.

Keywords: Discharge, Erosion, Sediment measurement, Sediment yield, Suspended load

* Corresponding author: rztala1969@gmail.com