بازسازی شرایط جریان آواری ماسوله تحت تأثیر بارندگی شدید

سعید هاشمی طباطبائی [۱*]، علی اکبر موسی‌وند[۲]، سید محمد صفوی[۲] و بهمن اکبری[۲]

[۱] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران

[۲] سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۳/۱۰

چکیده

زمین لغزش و سیل از جمله بلایای طبیعی هستند که هر یک به نوبه خود باعث بروز خسارت و تلفات جانی و مالی فراوان می‌شوند. رخداد همزمان این دو پدیده می‌تواند منجر به جریان‌های واریزه‌ای شود. با توجه به تکرار وقوع سیلاب‌های واریزه‌ای در مناطق مختلف بویژه نواحی شمال کشور(نکا ۱۳۷۸، گلستان ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۴) و قدرت تخریبی فوق‌العاده و خسارات جانی و مالی فراوان، بررسی علل رخداد و عوامل مؤثر در تشکیل جریان واریزه‌ای برای کاهش خسارات آن، ضروری و مفید به نظر می‌رسد. در این مقاله شرایط تشکیل جریان واریزه‌ای مورد بحث قرار گرفته است. به دنبال یک رگبار شدید و به نسبت کوتاه، در شهر ماسوله سیلاب عظیمی جاری و به همراه خود مقادیر بسیار زیادی گل و لای و قطعات بزرگ سنگ موجود در مسیر را حمل و با انسداد پل ابتدای شهر، سیلاب به سوی خیابان اصلی منحرف و خسارات قابل توجهی به تأسیسات شهر و خودروهای موجود در مسیر وارد نمود. به طور کلی مناطق ناپایدار موجود در حوضه، حدود ۴۰ درصد کل زیرحوضه را تشکیل می‌دهند. حرکات توده‌ای به صورت ریزش، لغزش و جریان نمودار می‌شوند. لغزش‌های سنگی در بخش خروجی حوضه (جنوب حوضه) به تنهایی حدود ۲۵/۷ درصد از کل مساحت حوضه را در بر می‌گیرند. به منظور تعیین دبی به لحاظ حمل مصالح از روش‌های مختلف استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل روش‌ها و انطباق آن با شرایط منطقه و اندازه‌گیری‌های صحرایی، بهترین روش برای محاسبه مقدار دبی جریان واریزه‌ای انتخاب شد. نتایج بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که مقاطع رودخانه در بالادست، برای عبور قطعات بزرگ سنگ مناسب نبوده و قطعه سنگ بزرگی که دهانه پل ابتدای شهر را مسدود و باعث انحراف جریان سیلاب به داخل شهر شده، از مصالح زمین‌لغزش بزرگ پایین دست تأمین شده است.

کلیدواژه‌ها: جریان آواری، سیل، کانال، دبی، زمین لغزش، ماسوله

* **نویسنده مسئول:** سعید هاشمی طباطبایی

E-mail: htabatabaei@bhrc.ac.ir

۱- مقدمه

مواد و مصالح از هم گسسته تشکیل دهنده شیب‌ها زمانی که توسط آب اشباع شوند، در نتیجه افزایش وزن، تحت تأثیر نیروی گرانش به صورت روانه‌های گلی و یا مخلوط گل و خاک و سنگ در امتداد شیب‌ها به سمت پایین سرازیر می‌شوند و در هنگام حرکت به دلیل داشتن توان تخریبی بالا تمامی موانع و تأسیسات موجود بر سر راه مانند درخت‌ها، ساختمان‌ها، جاده‌ها و . . . را تخریب نموده و با حمل مواد حاصل از تخریب دامنه به پایین، باعث انسداد دهانه پل‌ها و آبروها می‌شوند. تحقیقات بسیاری از پژوهشگران نشان می‌دهد که ترکیب بارندگی شدید و هوازدگی مصالح شیب می‌تواند در شروع جریان‌های آواری بسیار مؤثر باشد، (Louvat and Allegre 1997; Gaillardet et al. 1999; Millot et al., 2002; Lyons etal., 2005). بروز یک لغزش کوچک، یک سد موقت کوچک در مسیر حرکت آب ایجاد نموده و انباشته شدن آب در پشت این سدهای کوچک باعث شکستن آنها می‌شود. تکرار این عمل، افزون‌بر افزایش حجم آب، باعث افزایش قدرت تخریب آن شده و نیروی انباشته شده در آن افزون‌بر کندن بستر، توسط زیرشویی مصالح ناپایدار دو طرف آبراهه‌ها را نیز تخریب و به همراه خود به حرکت در می‌آورد. بار معلق موجود در این مرحله توان تخریبی بسیاری را دارا بوده به طوری که چگالی این مخلوط جامد و مایع در بعضی موارد تا بیش از ۲ تن در مترمکعب رسیده و سرعت آن نیز تا ۱۴ متر در ثانیه افزایش پیدا می‌نماید (Chiarle and Luino, 1998; Arattano, 2003).

یک حوضه کوچک با مساحت حدود ۱۷۶ هکتار، توسط جریان واریزه‌ای در دره‌های آلپ ایتالیا تخریب شد (Chiarle and Luino, 1998) بیشترین جریان ۷۵۰ متر مکعب در ثانیه برای یک مقطع واقع در میانه رودخانه برآورد شده بود. در حالی که بیشترین جریان پیش بینی شده (توسط HEC-1) برای همین مقطع، ۱۹ مترمکعب در ثانیه بوده است. جریان‌های آواری با شرایط کم و بیش مشابه با محل مورد مطالعه، توسط Van Steijn et al.(1990);Zimmermann(1990);Rickermann&Zimmermann(1993) از کشورهای فرانسه و سوئیس و Berti et al. (1999); Pasuto and Soldati (2004) از ایتالیا در کوه‌های آلپ گزارش شده است. شرایط تحریک جریان‌های آواری به طور عموم شامل تشکیل دبی بحرانی به وسیله بارندگی شدید و یا انسداد موقت کانال و سپس تخریب آن است (Cojean and Staub, 1992). بنابراین تحریک جریان‌های آواری توسط بارندگی بستگی به شرایط متعدد از جمله تأمین رسوبات دارد (Deganutti et al., 2000).

امروزه حوادث مربوط به وقوع جریان‌های واریزه‌ای، تلفات و میزان خسارات آنها در کل جهان بسیار خوب مستندسازی شده‌اند. مناطق مستعد جریان‌های واریزه‌ای از راه استفاده از اطلاعات مربوط به حوادث گذشته و بازدیدهای صحرایی می‌تواند مشخص شود. همچنین شناسایی محدوده خطر، برآورد شدت آن و تعیین ویژگی‌های پارامترهای مؤثر برای استفاده در بررسی‌های خطرپذیری که در تدوین طرح‌های پیشگیری خطر مورد نیازند امری لازم و ضروری است.

مدل عددی Dambrk (2000) قادر است چگونگی شکست سدهای موقتی ایجاد شده در هنگام انتقال جریان واریزه‌ای در یک بستر طبیعی به سمت پایین دست را شبیه‌سازی و شکل و میزان آن را به صورت عددی پیش‌بینی نماید. از آنجایی که رژیم جریان می‌تواند در مکان‌ها و زمان‌های مختلف بین مراحل زیر بحرانی و بالای بحرانی متغیر باشد پارامترهایی مانند دبی پیک، وزن مخصوص مخلوط، گرانروی سیال، حجم مواد جامد تمرکز یافته برای تجزیه برگشت‌پذیری جریان در محل سدهای موقتی ایجاد شده در طول مسیر، مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل یادشده همچنین قادر است مقدار دبی جریان واریزه‌ای، دبی طغیانی ناشی از دیواره چپ و راست رودخانه به دلیل سقوط زمین‌لغزش‌ها، سرعت میانگین و ژرفای جریان در هر مقطع و زمان را بیان نماید.

تحقیقاتی برای شناسایی پتانسیل جریان‌های گلی و واریزه‌ای حوضه آبخیز کن

(شمال تهران) انجام گرفته است (Fatemi qomi, 2003). هدف اصلی این تحقیق، توجه بیشتر به جریانات گلی و واریزه‌ای که در اثر دبی سیلابی بالا ممکن است روی دهد، می‌باشد. شناسایی ویژگی‌های زمین‌شناسی برای شناسایی وضعیت گذشته و حال حوضه به عنوان اولین نکته لازم و ضروری به نظر می‌رسد. وضعیت توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و همچنین ویژگی‌های ریخت‌شناسی و اقلیمی برای معرفی شرایط حوضه مورد نیاز است.

۲- موقعیت و ویژگی‌های منطقه مورد بررسی

شهرستان ماسوله در باختر استان گیلان (منطقه فومنات)، در فاصله ۶۰ کیلومتری باختر رشت و در محل تلاقی خروجی دو رودخانه خلیل‌دشت و دولی‌چال قرار دارد. این دو رودخانه پس از به‌هم پیوستن در ابتدای ماسوله تشکیل ماسوله رودخان را می‌دهند. شیب اراضی در بخش جنوبی حوضه خلیل‌دشت بسیار تند بوده به طوری که در ۵ کیلومتر، طول دره اصلی این زیرحوضه ، اختلاف ارتفاع به حدود ۱۸۰۰ متر می‌رسد و شیبی در حدود ۴۰ درصد را به وجود می‌آورد. شیب زیاد حوضه باعث افزایش سرعت جریان شده و قدرت فرسایش و حمل واریزه را افزایش می‌دهد. مساحت حوضه دولی‌چال کم و بیش ۵ برابر حوضه خلیل دشت، طول آبراهه اصلی آن بیش از ۷ کیلومتر و شیب کلی آن حدود ۲۲ درصد بوده و نسبت به حوضه خلیل‌دشت از شدت سیل‌خیزی کمتری برخوردار است. بنابراین زیرحوضه خلیل‌دشت برای شهر ماسوله خطرساز بوده و در زمان رخداد سیلاب همواره بیشترین خسارت را به شهر وارد می‌نماید. در این مقاله وضعیت حوضه خلیل‌دشت مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۳- پیشینه سیل‌های گذشته

به دلیل کوهستانی بودن منطقه و بارش رگبارهای شدید فصلی در اواخر تابستان و اوایل بهار، شهر ماسوله به صورت دائم در معرض رویداد سیل‌هایی است که منشأ آنها رودخانه و حوضه خلیل‌دشت است. تاریخ وقوع و خسارات گزارش شده سیل‌های گذشته در جدول ۱ ارائه شده است.

۴- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

با توجه به نقشه‌های زمین شناسی، قدیمی ترین واحد سنگی منطقه واحد دگرگونی (Pzs) و جوان‌ترین آنها رسوبات زمین لغزشی است. در زیر شرح سازندهای منطقه آورده شده است.

۴- ۱. واحد دگرگونی (PzS)

این واحد به صورت پراکنده در خاور، شمال و شمال باختر حوضه گسترده شده است. از نظر سنگ‌شناسی مجموعه‌ای از فیلیت اسلیتی همراه کوارتزیت و کنگلومرای مربوط به پالئوزوییک بالایی است. این واحد در بیشتر نقاط توسط مصالح زمین‌لغزشی پوشیده شده است. مساحت این واحد سنگی ۵۷/۸ هکتار و معادل ۸/۵ درصد از مساحت کل حوضه است (شکل ۱).

۴-۲. واحد سنگ آهک (P)

این واحد به صورت نواری با راستای جنوب خاور- شمال باختر در مرکز حوضه گسترش دارد. جنس این واحد در اساس از سنگ آهک و سن آن مربوط به پرمین است. مساحت این واحد سنگی ۸۲/۲ هکتار و حدود ۱۲/۱ درصد از مساحت کل حوضه است(جدول۲).

۴-۳. واحد کوارتزیت (T)

این واحد به صورت پراکنده در جنوب حوضه گسترش دارد. از نظر سنگ‌شناسی شامل کوارتزیت سفید تا خاکستری، با لایه‌های نازک شیل و سیلتستون توفی و کربناتی است. سنگ‌های کوارتزیتی به لحاظ مقاومت بالا، دارای تراکم بالایی از درزه‌های زمین‌ساختی بوده و بسیار خرد شده هستند. سن این تشکیلات تریاس و مساحت آن ۴۰/۱ هکتار است که شامل ۵/۹ درصد از مساحت کل حوضه است.

۴-۴. واحد ماسه‌سنگ کنگلومرایی (CS)

این واحد در مرکز حوضه رخنمون و به صورت نواری با راستای شمال باختر – جنوب خاور گسترش داشته و از سنگ نهشته‌های تخریبی مشابه سازند شمشک تشکیل شده است. از نظر سنگ‌شناسی شامل طبقات ستبر کنگلومرای ناهمگن با گردشدگی، کرویت و سخت شدگی خوب به همراه جورشدگی متوسط حاوی قطعات ماسه‌سنگ می‌باشد. وسعت این واحد حدود ۱۵۱ هکتار و ۲۲/۵ درصد مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد. سن این واحد ژوراسیک است.

۴-۵. واحد سنگ آهک (Kln)

این واحد سنگی در باختر و جنوب حوضه رخنمون داشته و شامل سنگ آهک ریزدانه به رنگ خاکستری روشن است که ویژگی آن وجود آمونیت است. سن آن کرتاسه (نئوکومین) است. مساحت این رخنمون سنگی ۷۰/۴ هکتار و حدود ۱۰/۴ درصد از سطح حوضه را تشکیل می‌دهد.

۴-۶. واحد رسوبات زمین‌لغزشی (Ls)

این رسوبات از نظر زمانی مربوط به دوران چهارم هستند. رسوبات زمین‌لغزشی حدود ۲۵۶/۹ هکتار مساحت و ۴۰/۸ درصد از مساحت حوضه را در بر می‌گیرند. حرکات توده‌ای حوضه شامل ریزش، لغزش و جریان هستند. در جدول ۲ خلاصه وضعیت واحدهای سنگی حوضه ارائه شده است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت از نظر سنگ‌شناسی، منطقه مورد مطالعه کم و بیش از مصالح با مقاومت بالا تشکیل شده است.

۵- زمین‌لغزش‌های منطقه مورد بررسی

حرکات توده‌ای حوضه شامل ریزش، لغزش و جریان هستند. لغزش‌های سنگی در بخش جنوب حوضه به تنهایی حدود ۲۵/۷ درصد از کل مساحت حوضه را در بر می‌گیرند. رخداد زمین‌لغزش‌های کوچک در مصالح دو زمین‌لغزش Ls1 و Ls2 و بویژه Ls1 عامل اصلی در رهاسازی قطعات سنگی بزرگ مدفون در رسوبات این دو زمین‌لغزش است (شکل۲). زمین‌لغزش‌های کوچک در حاشیه آبراهه اصلی و در زمان‌های سیلابی، بر اثر زیرشویی و همچنین اشباع شدن مصالح زمین‌لغزشی Ls1 و Ls2 اتفاق می‌افتد. مصالح زمین‌لغزشی Ls1 منشأ گرفته از مصالح سنگی دگرگونی(Pzs)، آهکی(P) و به احتمال کنگلومرایی (Cs) است که در درون مصالح ریزدانه به صورت قطعات سنگی بسیار بزرگ مدفون هستند. البته مصالح این زمین‌لغزش در ژرفای بیشتر از قطعات سنگی آهکی و کنگلومرایی تشکیل شده است. جدول ۳ ویژگی‌های زمین‌لغزش‌های حوضه خلیل‌دشت را ارائه می‌دهد. دلایل متعددی در رخداد زمین‌لغزش می‌تواند تأثیرگذار باشد. در حوضه خلیل‌دشت ماسوله عمده دلایل به ترتیب اهمیت شامل موارد زیر است.

۵-۱. عوامل ساختاری زمین‌شناسی

از عوامل ساختاری مهم در ایجاد لغزش می‌توان به جهت شیب و مقدار شیب طبقات زمین‌شناسی نسبت به توپوگرافی، میزان فاصله از محور تاقدیس‌ها و همچنین وضعیت دسته درزه‌های زمین‌ساختی اشاره نمود. در این حوضه لغزش‌های ایجاد شده در مصالح زمین‌شناسی آهک‌های پرمین و سنگ‌های دگرگونی بیشتر به علت هم‌جهت بودن شیب طبقات زمین‌شناسی با توپوگرافی، تأثیر درزه‌ها و نزدیکی به محور تاقدیس واقع در جنوب باختری ماسوله اتفاق افتاده است.

۵-۲. زیرشویی شیب

زیرشویی همواره باعث برهم خوردن تعادل نیروها و افزایش تنش برشی در برابر

مقاومت برشی مصالح دامنه می‌شود. بر اثر زیرشویی پاشنه شیب توسط رودخانه‌ها، تنش برشی افزایش یافته و در نتیجه لغزش اتفاق می‌افتد. این پدیده در طول آبراهه اصلی به شکل لغزش‌های سنگی و خاکی کوچک مقیاس به تعداد زیاد دیده می‌شود. در مواقع سیلابی، شدت زیرشویی بویژه در محل پیچان‌رودها (مئاندرها) افزایش یافته و در نتیجه احتمال رخداد زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.

۵-۳. ارتفاع سطح آب زیرزمینی

وجود چشمه‌های فراوان در دامنه ارتفاعات منطقه، نشانگر بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این مناطق است. نفوذ آب به داخل مصالح شیب باعث افزایش وزن کلی آنها شده و در نتیجه، تنش‌های برشی در برابر مقاومت برشی افزایش یافته و شیب ناپایدار می‌شود. موقعیت زمین‌لغزش Ls1 در رابطه با شهرک ماسوله و رودخانه‌های اطراف آن بر روی عکس هوایی ۱/۲۰۰۰۰ تشریح شده است (شکل ۳). همچنان که دیده می‌شود این زمین‌لغزش بین دو رودخانه خلیل دشت در خاور و دولی چال در شمال قرار گرفته و به طور دائم در حال تخلیه رسوب به داخل این دو رودخانه است. این زمین‌لغزش، تخته سنگ‌های بزرگ را در منطقه ورودی به شهر وارد رودخانه کرده است (شکل ۴). وضعیت پوشش گیاهی مستقر بر روی آن که بیشتر از گیاهان یک ساله تشکیل شده گویای فعال بودن آن است.

۵-۴. فیزیوگرافی حوضه

مساحت حوضه آبخیز خلیل دشت ۶۹۴ هکتار بوده که حدود ۲۴۷ هکتار آن اراضی جنگلی نیمه انبوه تشکیل داده است. اختلاف ارتفاع این حوضه ۱۸۰۰ متر، ارتفاع میانه ۱۸۵۰ متر و ارتفاع متوسط وزنی ۹۱۲ متر است. با استفاده از رابطه پیشنهادی کرپیچ (Kirpich)، زمان تمرکز لازم برای رسیدن رواناب از دورترین نقطه به خروجی حوضه معادل ۲۵/۲ دقیقه است.

شیب عمومی حوضه از ۵ تا ۱۲۰ درصد متغیر بوده و شیب متوسط وزنی حوضه معادل ۴۸ درصد و حدود ۹۱ درصد منطقه دارای شیب بیشتر از ۲۰ درصد است شیب آبراهه اصلی خلیل دشت از ۲۰ تا ۵۰ درصد متغیر و شیب وزنی متوسط ۳۶ درصد است. در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب منحنی هیپسومتری شیب- سطح حوضه و نیمرخ طولی آبراهه اصلی نشان داده شده است. آمار بارندگی ماهانه و سالانه ایستگاه‌های منطقه در طول دوره آماری مورد نظر نشان می‌دهد که افزون بر استمرار بارندگی در تمامی طول سال، بارش ماهانه ایستگاه‌های واقع در محدوده و خارج محدوده طرح از دو رژیم مختلف جلگه‌ای و کوهستانی پیروی نموده و در حقیقت ماه خشک وجود ندارد (شکل ۷).

ایستگاه ماسوله که در ارتفاعات قرار دارد، به واسطه توپوگرافی متفاوت و نیز دوری از ساحل دریای خزر تا حدودی با میزان بارش ماهانه در ایستگاه‌هایی که در نواحی جلگه‌ای قرار دارند، متفاوت است. با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های باران سنجی موجود درون و مجاور حوضه و برقراری رابطه گرادیان بارندگی و ارتفاع مقدار بارش سالانه حوضه خلیل دشت معادل ۸۰۰ میلی‌متر برآورد شده است.

شدت بارندگی نقش بسیار مهمی در تولید سیلاب و ایجاد فرسایش و وقوع جریان‌های واریزه‌ای دارد. به منظور تعیین شدت و مدت بارندگی که منجر به ایجاد زمین‌لغزش‌ها و جریان‌های واریزه‌ای شده‌اند تحقیقات فراوانی در سطح جهان انجام گرفته است. یک بانک اطلاعات جهانی از اطلاعات ۲۶۲۶ واقعه بارندگی که منجر به زمین‌لغزش سطحی و جریان واریزه‌ای شده و در قالب یک مقاله تحقیقاتی گردآوری و تشکیل شده است. اطلاعات بارندگی و زمین لغزش برای به روز نمودن رابطه همبستگی بین میزان بارندگی و شدت محتمل آن که منجر به وقوع زمین‌لغزش و جریان واریزه‌ای شده توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرارگرفته است (Nel Caine, 1980). با استفاده از ۷۳ مورد اطلاعات شدت و مدت بارندگی در نقاط مختلف دنیا، رابطه‌ای برای شروع جریان آواری ارائه شده است (Caine, 1980).

$$I = 14.82 * D^{(-0.39)} \qquad (0.167 < D < 500)$$

(D) مدت بارندگی بر حسب ساعت و (I) شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر در ساعت. به منظور برآورد شدت بارندگی مربوط به سیلاب سال ۱۳۷۷ ماسوله از این رابطه استفاده شد. مدت بارندگی در حدود ۲۰ دقیقه بوده است بنابراین شدت بارندگی دست کم ۲۳ میلی‌متر در ساعت برآورد می‌شود که حجم ریزش بر حوضه حدود ۴۸۰/۰۰۰ متر مکعب و میزان جریان احتمالاً به رقم ۳۶۰/۰۰۰ متر مکعب بالغ شده است. اما شدت سیلاب و دبی اوج و زمان دوام آن ارقام بزرگ‌تری را ارائه می‌کند.

۶- بررسی سیلاب منطقه

یکی از مشکلات بسیار مهم حوضه آبخیز، شدت سیل‌خیزی آن است. شدت سیل‌خیزی همراه با ویژگی‌هایی مانند مقادیر سیلاب‌های با تواتر مختلف، میزان فراوانی وقوع سیلاب‌ها و تاریخچه اتفاقاتی که در گذشته در آن حوضه رخ داده است، از بارزترین ویژگی‌های حوضه است. برای تعیین مقدار دبی سیلاب از روش‌های مختلفی استفاده شده است که در ابتدا این روش‌ها تشریح و در انتها افزون‌بر بررسی و تجزیه و تحلیل آنها، مناسب‌ترین روش برای تعیین مقدار دبی سیلابی با در نظر گرفتن شرایط منطقه و مستند بر اندازه‌گیری‌های صحرایی، انتخاب شده است.

۶-۱. روش آماری

به منظور برآورد بیشترین سیلاب لحظه‌ای حوضه ابتدا از آمار ۱۴ ایستگاه موجود در منطقه که دارای طول دوره آماری متفاوت از ۱۵ سال تا ۴۱ سال است، استفاده شد. پس از بازسازی و تکمیل آمار در دوره زمانی مورد نظر، بر اساس استفاده از توزیع‌های آماری موجود، بر اساس روش تجزیه منطقه‌ای پس از انجام آزمون همگنی، ۵ ایستگاه دارای آمار مناسب برای استفاده در این روش نبودند لذا در نهایت، با استفاده از آمار ۹ ایستگاه محاسبات مربوطه انجام و براساس رابطه همبستگی ایجاد شده بین مساحت و دبی، مقدار دبی حداکثر سیلاب روزانه و حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف برای حوضه خلیل‌دشت محاسبه شد (جدول ۴).

۶-۲. برآورد سیلاب با استفاده از روش مانینگ

برای بررسی میزان بده اوج جریان واریزه‌ای، بررسی‌های میدانی (پیمایش صحرایی) و دفتری صورت گرفته است. برای تجزیه هیدرولیکی جریان آب در محدوده شهرک ماسوله نیاز به تهیه برش‌های عرضی رودخانه بود. بر این اساس، با استفاده از آثار داغاب‌های به جا مانده از سیلاب، ۱۰ برش عرضی در نقاط مختلف رودخانه اصلی خلیل‌دشت مشخص و اندازه‌گیری شد. با تعیین ضریب زبری رودخانه بر اساس بازدیدهای صحرایی و با استفاده از روش شیب- سطح (فرمول مانینگ) بده اوج سیلاب در برش عرضی شماره یک (شکل ۸) ۵۱۹ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد.

بیان این نکته ضروری است که برای جلوگیری از افزایش ارتفاع داغاب سیل به دلیل برگشت آب، این مقطع در فاصله ۴۰۰ متر بالاتر از پل ورودی به ماسوله انتخاب شده است. چنین سیلابی باران مولد خود را بیش از ۲ برابر برآوردی با فرمول تجربی یادشده معرفی می‌نماید.

۷- تعیین سرعت، بده اوج و حجم جریان برای سیلاب‌های واریزه‌ای

الف) برای تعیین سرعت جریان واریزه‌ای می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد (Richenman, 1991).

$$V = 1.3_* \sin^{0.2}(\theta) _* q_0^{0.6} _* g^{0.2}/d_{50}^{0.4} \qquad (1)$$

θ =زاویه شیب بر حسب درجه g =شتاب ثقل d_{50} =میانگین اندازه ذرات

q_0= دبی ویژه جریان که از رابطه زیر به دست می‌آید

$q_0 = Q_0 / b$

Q_0: دبی رودخانه با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، b: عرض رودخانه.

با استفاده از فرمول بالا مقدار سرعت جریان در بالادست پل خلیل دشت حدود ۷/۷متر بر ثانیه و مقدار دبی سیلاب معادل ۳۸۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد.

ب) به منظور تعیین دبی اوج جریان واریزه‌ای (Qsp) از رابطه زیر استفاده شد(Takahashi, 1991).

$$Q_{sp} = (C^*/(C^*-C_d))^*Qp \qquad (۲)$$

C^* = غلظت حجمی رسوبات در حالت روی هم انباشته شده، Cd = غلظت حجمی رسوبات در حال انتقال (برای حالتی که شیب بستر بیش از ۲۰ درجه باشد (مثل شرایط ماسوله) معادل C^* ۰/۹ فرض می‌شود. در نتیجه مقدار داخل پرانتز برابر ۱۰ است.

Qp = دبی جریان سیلاب معمولی حاصل از حوضه (سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله) و معادل ۳۳/۱ مترمکعب برثانیه است (جدول ۴).

Qsp = دبی اوج جریان واریزه‌ای در نتیجه:

$$Qsp = 10 * Qp \qquad Qp = 33.1\ m^3/s \longrightarrow Qsp = 331\ m^3/s$$

ج) دبی جریان واریزه‌ای را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$U = \phi . U^* \quad (2) \qquad U^* = \sqrt{g\,RS} \quad (3)$$

$$U = \varphi \sqrt{g\,RS} \quad (4)$$

Φ = ضریب سرعت، g = شتاب ثقل (m/s^2)، R = شعاع هیدرولیکی (m)، S = شیب طولی، U= سرعت، U^* = سرعت برشی آبراهه می‌باشد.

تحقیقات، اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات نشان داده‌اند که در جریان واریزه‌ای می‌توان Φ را معادل ۳/۸۱ در نظر گرفت. به عنوان مثال اگر مقدار دبی بر اساس مشخصات مقطع ۱ محاسبه شود مقادیر زیر به دست می‌آید:

$U^* = \sqrt{9.81 * 2.43 * .09} = 1.46$ m/s

$U = \Phi . U^* = 3.81 * 1.46 = 5.6$ m/s

$Q = A * U = 50.46 * 5.6 = 281.7\ m^3/s$

نتایج حاصل از روش‌های مختلف در جدول ۵ ارائه گردیده است.

۸- تعیین سرعت حمل سنگ‌های بزرگ به وسیله جریان‌های واریزه‌ای

یکی از مهم‌ترین مشکلات رودخانه در محدوده شهرک، وجود تخته سنگ‌های بزرگ است که به وسیله سیلاب‌های گذشته به این محل حمل شده است (شکل۹). این سنگ‌ها در اثر سیلاب به حرکت درآمده و باعث بروز خسارت می‌شوند. همچنین این تخته سنگ‌ها باعث کاهش ظرفیت کشش رودخانه در این محدوده هستند. ظرفیت عبوری فعلی رودخانه خلیل‌دشت و پل موجود روی آن در محل ورودی شهرک ماسوله با دهانه۱۰/۲ متر و بیشترین ارتفاع ۳/۸ متر به منظور عبور بیشینه ۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه سیلاب (در صورتی که حمل قطعات سنگی و درختان مانع جریان نشود) مناسب است، بنابراین در صورت رخداد سیلاب با دبی بالاتر، پل یاد شده جوابگو نبوده و شهرک ماسوله در خطر قرار دارد.

جریان‌های واریزه‌ای با توجه به قدرت تخریبی فوق‌العاده، قادر به حمل سنگ‌های بزرگ موجود در مسیر هستند. برای تعیین سرعت حمل سنگ‌هایی با ابعاد L و h (L طول تخته سنگ در جهت جریان و h ارتفاع سنگ) در یک کانال با ژرفای جریان d، روابط تجربی متعددی پیشنهاد شده و یکی از این روابط به شرح زیر است (Vanoni, 2006):

$$V_s = L/h\ [\ 1.59_* (1.28/(5.8+d/h)^{(1/3)})]_* \sqrt{(((\rho_s - \rho)/\rho), g_* h)}$$

ρs = وزن مخصوص رسوب که معادل $2.5 ton/m^3$ در نظر گرفته می‌شود.

ρ = وزن مخصوص آب بدون رسوب که معادل $1 ton/m^3$ است.

g = شتاب ثقل که معادل ۹/۸۱ است.

Vs = سرعت حمل برحسب متر مکعب بر ثانیه

ابعاد یکی از سنگ‌های موجود در رودخانه خلیل دشت به شرح زیر است:

طول = ۴ متر (L) ارتفاع = ۲ متر (h) ارتفاع جریان = ۳ متر (d)

با استفاده از رابطه یادشده، سرعت حمل سنگ توسط جریان واریزه ای حدود ۷/۷ متر بر ثانیه خواهد بود. لذا جریان واریزه‌ای قدرت حمل سنگ‌های موجود در بستر و دیواره‌های رودخانه و انتقال آنها به پایین دست را دارد.

۹- تجزیه و تحلیل نتایج

مساحت حوضه آبخیز خلیل دشت ۶۹۴ هکتار است که حدود ۲۴۷ هکتار آن از اراضی جنگل نیمه انبوه است. اختلاف ارتفاع این حوضه ۱۸۰۰ متر، ارتفاع میانه ۱۸۵۰ متر و ارتفاع متوسط وزنی ۹۱۲ متر است. شیب متوسط وزنی حوضه معادل ۴۸ درصد و بیش از ۵۲ درصد مساحت حوضه در رده شیب ۶۰- ۳۰ درصد قرار دارند. زمان تمرکز حوضه ۲۵ دقیقه و شیب متوسط آبراهه اصلی معادل ۳۹ درصد است. این مقادیر بیانگر پرشیب بودن حوضه خلیل دشت است. در حدود ۴۰ درصد از مساحت حوضه تحت تأثیر حرکات دامنه‌ای قرار دارد.

بر اساس نتایج بررسی‌های صحرایی، ویژگی‌های حوضه از قبیل کوچک بودن حوضه، کوتاه بودن طول رودخانه، کم بودن شیب کلی در بالادست، وجود پرتگاه‌های متعدد در طول مسیر حرکت آب، تنگ بودن مسیر رودخانه در بعضی قسمت‌ها و حجیم بودن سنگ‌ها، امکان حمل سنگ‌های بزرگ از قسمت‌های بالاتر به پایین دست توسط آب، منتفی است (شکل ۱۰). این سنگ‌ها غالباً از جنس آهک و اسلیت و فیلیت بوده که محل رخنمون آنها در بخش تقریباً میانی حوضه قرار گرفته و اسکارپ زمین لغزش قدیمی نیز در این موقعیت ایجاد شده و همچنین با توجه به این که بیشترین قطعات سنگ با ابعاد بزرگ در بخش انتهایی حوضه و در محدوده ناپایدار لغزش LS1 متمرکز هستند احتمال حمل آنها از بالا دست به پایین دست وجود ندارد.

افزایش غلظت رسوب در جریان‌های واریزه‌ای موجب افزایش زبری جریان و در نتیجه برای یک مقدار دبی مشخص ژرفای جریان افزایش یافته و باعث تشدید جریان و طغیان رودخانه‌ها می‌شود. چنانچه سیلاب حاصل از حوضه و رابطه هیدرولیکی عبور سیلاب از مقطع رودخانه را بدون در نظر گرفتن جریان واریزه‌ای برآورد نماییم، سیلاب عبوری از مقطع رودخانه چند برابر مقدار واقعی خواهد بود. این مقدار اختلاف از محدوده خطاهای قابل قبول در برآورد بده جریان خارج بوده و نشانگر آن است که روش‌های آماری و مانینگ برای محاسبه سیلاب جریان‌های واریزه‌ای مناسب نیستند. در نهایت، با توجه به روابط مورد استفاده، مقدار دبی سیلاب معادل ۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

یکی از مهم‌ترین مشکلات رودخانه در محدوده شهرک، وجود تخته سنگ‌های بزرگ است که به وسیله سیلاب‌های گذشته به این محل حمل شده‌اند. این سنگ‌ها در اثر سیلاب به حرکت درآمده و باعث بروز خسارت می‌شوند. همچنین این تخته‌سنگ‌ها باعث کاهش ظرفیت کشش رودخانه در این محدوده هستند. با توجه به این که ظرفیت عبوری فعلی رودخانه خلیل‌دشت و پل موجود با دهانه ۱۰/۲ متر و بیشترین ارتفاع ۳/۸ متر در محل ورودی شهرک ماسوله جهت عبور بیشینه ۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه سیلاب مناسب است، لذا در صورت رویداد سیلاب با دبی بالاتر، پل یاد شده توان عبور جریان واریزه‌ای را نداشته و شهرک ماسوله در خطر قرار دارد.

۱۰- نتیجه‌گیری

- شیب متوسط وزنی حوضه معادل ۴۸ درصد و بیش از ۵۲ درصد مساحت حوضه

در رده شیب ۶۰-۳۰ در صد قرار دارد. زمان تمرکز حوضه ۲۵ دقیقه و شیب متوسط آبراهه اصلی معادل ۳۹ درصد است. این ویژگی‌ها بیانگر پرشیب بودن حوضه خلیل‌دشت می‌باشد.

- ۴۰/۸ درصد از مساحت حوضه لغزشی است. تمرکز مناطق لغزشی در شمال و جنوب حوضه قرار دارد. بزرگ‌ترین زمین‌لغزش فعال حوضه Ls1، با مساحت تقریبی ۱۲۵ هکتار در منطقه جنگلی و در محدوده بین دو رودخانه خلیل دشت در خاور و دولی‌چال در شمال قرار دارد که به نوبه خود یک خطر بالقوه برای شهرک ماسوله به‌شمار می‌آید. قطعات بسیار بزرگ سنگ مدفون در توده لغزشی، در صورت رخداد سیل با دبی بالا، آزاد گشته و می‌توانند باعث بروز مشکلاتی برای شهرک ماسوله شوند.

- با توجه به وضعیت ریخت‌شناختی، توپوگرافی و ویژگی‌های فیزیکی منطقه ماسوله، زمین‌ساخت، ژرفا و بافت خاک، بارندگی بالا و کاربری‌های غیر اصولی (قطع درختان و چرای بی‌رویه)، پتانسیل تشدید حرکت‌های توده‌ای وجود دارد. مناطق لغزشی یادشده از نظر تولید میزان رسوب رتبه اول را دارند.

- در جریان‌های واریزه‌ای همراه با بار رسوبی زیاد و در مناطق کوهستانی و پرشیب استفاده از فرمول مانینگ برای محاسبه سیلاب نتایج غیر واقعی به دست خواهد داد . از این رو، استفاده از روش یادشده برای شرایط مشابه منطقه مورد مطالعه توصیه نمی‌شود .

- بر اساس محاسبات انجام شده و با استفاده از روابط موجود، دبی جریان واریزه‌ای حدود ۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده که گویای میزان بالای بارندگی در ارتفاعات حوضه و حجم بالای رسوبات حمل شده است.

- عواملی از قبیل کوچک بودن حوضه، کوتاه بودن طول رودخانه، کم بودن شیب مراتع بالادست، وجود پرتگاه‌های متعدد در طول مسیر حرکت آب، تنگ بودن مسیر رودخانه در بعضی قسمت‌ها و حجیم بودن سنگ‌ها، امکان حمل آنها از قسمت‌های بالاتر به پایین دست توسط آب را منتفی می‌نماید.

-روش‌های آماری و مانینگ برای محاسبه سیلاب جریان‌های واریزه‌ای مناسب نیستند.

- مهم‌ترین مشکل رودخانه در محدوده شهرک، وجود تخته سنگ‌های بزرگ است که به وسیله سیلاب‌های گذشته به این محل حمل شده‌اند. این امکان وجود دارد که این سنگ‌ها در اثر سیلاب دوباره به حرکت درآمده و باعث بروز خسارت شوند. همچنین این تخته سنگ‌ها باعث کاهش ظرفیت عبوری رودخانه در این محدوده شده‌اند. با توجه به تعیین ظرفیت کشش رودخانه و پل موجود روی رودخانه خلیل‌دشت در محل ورودی شهرک ماسوله، این پل قادر به عبور بیشینه ۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه سیلاب است و در صورت وجود سیلاب با دبی بالاتر این پل توان عبور جریان واریزه‌ای را نداشته و این مسئله برای شهرک مشکل ساز خواهد بود.

جدول ۱- خسارت ثبت شده ناشی از سیل در سال‌های مختلف

ردیف	سال وقوع	خسارات وارده
۱	۱۳۱۳	۴ نفر کشته
۲	۱۳۶۹	ساختمان‌های زیادی خراب شده است.
۳	۱۳۷۲	تخریب ابنیه و تأسیسات و از بین رفتن ۳۲ دستگاه وسیله نقلیه
۴	۱۳۷۷	۳۰ نفر کشته، ۲۰ نفر مفقود، ۵۰ دستگاه وسیله نقلیه نابود و ۶ هتل و تعدادی ساختمان‌های دولتی مانند پاسگاه انتظامی، اداره برق و مخابرات آسیب دیده، کل خسارت حدود ۵ میلیارد ریال

جدول ۲- مساحت و درصد سطحی واحدهای سنگی حوضه خلیل دشت

واحد زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی	مساحت هکتار	مساحت درصد
Pzs	فیلیت اسلیتی همراه کوارتزیت و کنگلومرا	۵۷/۸	۸/۵
P	سنگ آهک	۸۲/۲	۱۲/۱
T	کوارتزیت	۴۰/۱	۵/۹
Cs	ماسه‌سنگ کنگلومرایی	۱۵۱	۲۲/۳
Kln	سنگ آهک	۷۰/۴	۱۰/۴
Ls	زمین‌لغزش	۲۷۶/۹	۴۰/۸
مجموع		۶۷۸/۴	۱۰۰

جدول ۳- مساحت زمین‌لغزش‌های مهم حوضه

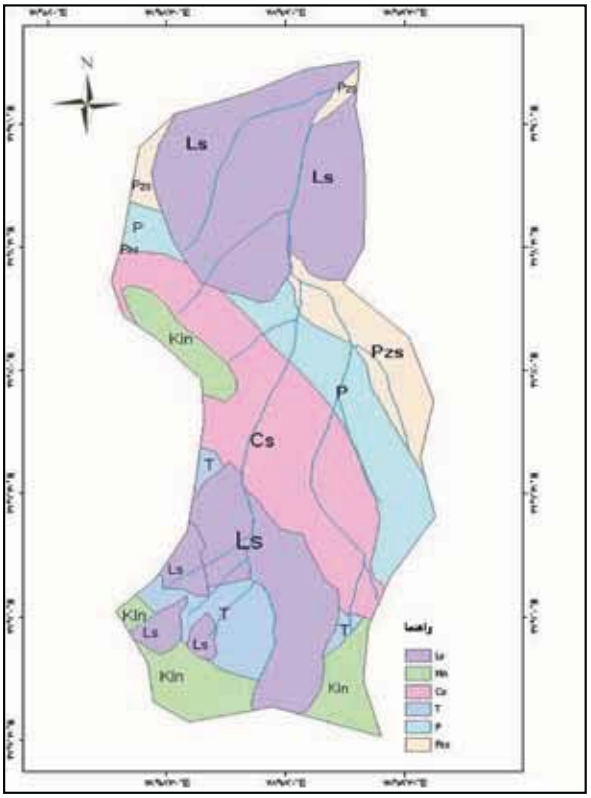
نام زمین‌لغزش	مساحت(هکتار)	درصد از کل حوضه
Ls1	۱۲۵/۴	۱۸/۵
Ls2	۴۸/۸	۷/۲
Ls3	۲۵/۷	۳/۸
Ls4	۹/۸	۱/۵
Ls5	۵۴/۷	۸/۱
Ls6	۷/۹	۱/۲
Ls7	۴/۵	۰/۷

جدول ۴- مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف زیر حوضه خلیل دشت (m^3/s)

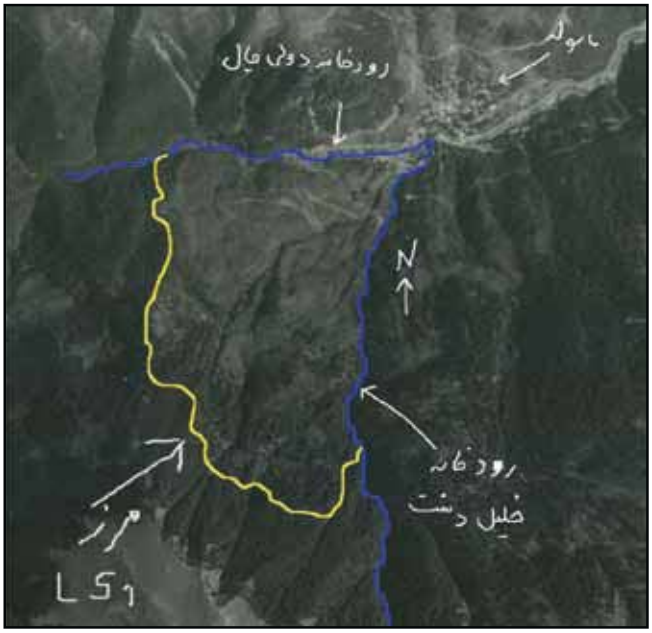
نام زیرحوضه	مساحت (هکتار)	دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
خلیل‌دشت	۶۹۴/۴	۳۳/۱	۴۹/۷	۶۳/۰	۷۶/۲	۸۹/۵	۹۹/۴

جدول ۵- دبی سیلاب برآورد شده با روش‌های مختلف (m^3/s)

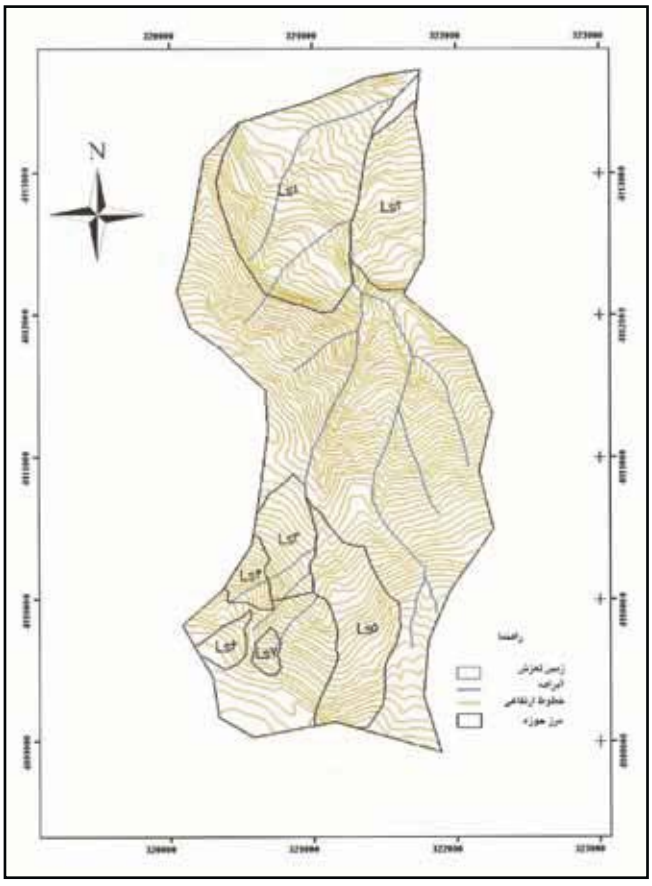
روش برآورد	بده اوج (m3/s)
سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حاصل از روش تحلیل منطقه‌ای	۹۹/۵
سیلاب عبوری از مقطع رودخانه با استفاده از روش شیب - سطح (فرمول مانینگ)	۵۱۹
سیلاب واریزه‌ای حاصل از حوضه با استفاده از رابطه (۱)	۳۸۸
جریان واریزه‌ای عبوری از مقطع رودخانه با استفاده از رابطه (۲)	۳۳۱
سیلاب واریزه‌ای حاصل از حوضه با استفاده از رابطه (۳)	۲۸۱/۷



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی زیرحوضه خلیل دشت ماسوله

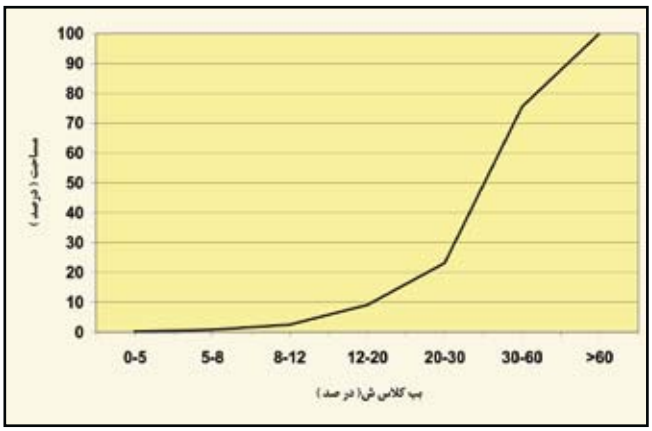


شکل ۳- موقعیت زمین لغزش Ls1 در رابطه با شهر ماسوله و رودخانه‌های بالا دست آن

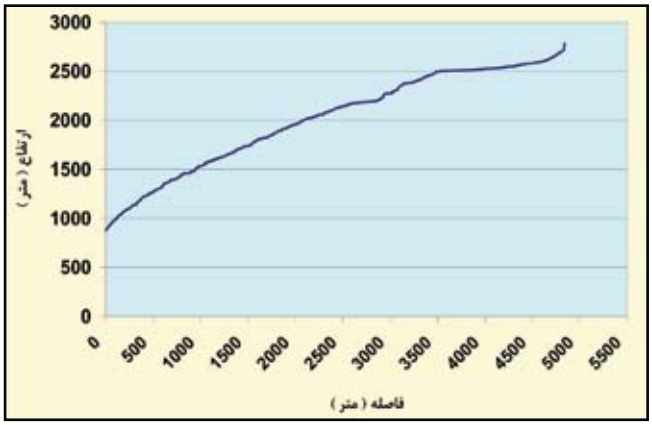


شکل۲- نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه مورد مطالعه

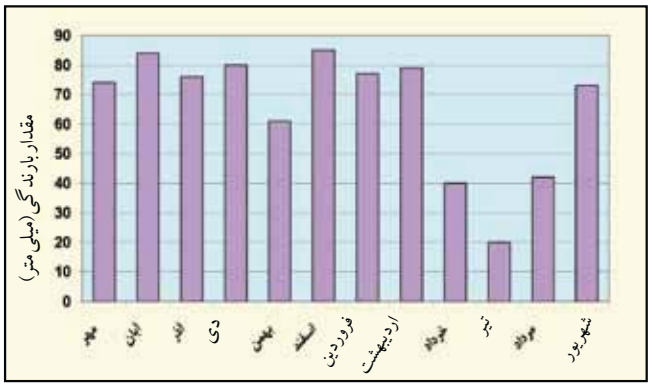
شکل ۴- تخته سنگ‌های بزرگ در ماتریکس مصالح ریزدانه زمین‌لغزش در ۷۰ متری ورود رودخانه به شهر



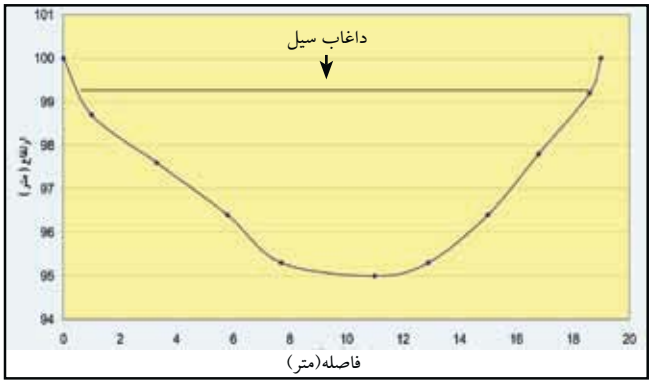
شکل ۵ - منحنی هیپسومتری شیب- سطح حوضه خلیل دشت



شکل ۶- نیمرخ طولی آبراهه اصلی و فرعی حوضه خلیل دشت



شکل ۷ – مقدار بارندگی ماهانه ایستگاه باران سنجی ماسوله (میلی‌متر)



شکل ۸- برش عرضی شماره ۱ رودخانه بالادست پل خلیل دشت

شکل ۹– سنگ‌های موجود در بستر و دیواره‌های رودخانه در بخش انتهایی حوضه

شکل ۱۰- وجود دره‌های تنگ امکان حمل سنگ‌های عظیم الجثه توسط آب را منتفی می‌سازد (علامت پیکان ابعاد کانال را نشان می‌دهد)

کتابنگاری

علیزاده، ا.، ۱۳۷۸- هیدرولوژی کاربردی، انتشارات رضوی

بنی‌حبیب، م. ا.، ۱۳۷۸- تأثیر غلظت بالای رسوب در تشدید طغیان رودخانه‌ها ، دومین کنفرانس هیدرولیک ایران ۱۳۷۸

References

Berti, M., Genevois, R., Tecca, P., 1999- "Field observations of a debris flow event in the Dolomites", Geomorphology 29: 265- 274.

Bertolo, P., Bottino, G., 2008- "Debris flow event in the Frangerello Stream – Susa Valley (Italy)- calibration of numerical models for the back analysis of the 16 October , 2000 rainstorm", Journal of the Inter national Consortium on Landslide Vol. 5, no. 1.

Cojean, R., Staub, I., 1998- "Mecanismes d' initiation des laves torrentielles dans les Alpes francaises". In: Proceeding of 8 th International IAEG Congress, Vancouver, 21- 25 September 1998, pp 2075- 2082.

Deganutti, A. M., Marchi, L., Arttano, M., 2000- "Rainfall and debris- flow occurrence in the Moscardo basin (Italian Alps)", Wieczorek GF, Naeser ND (eds) (2000) Proceedings of the second International Conference on Debris Flow Hazards Mitigation, Taipei, Taiwan, pp 67- 72.

Fatemiqomi, M., 2003- "Identification of Potential for Mud & Debris Flows (Kan Watershed)", International Institute For Geo – Information Science and Earth Observation Enschede , The NETHERLANDS

Gaillardet, J., Dupre, B., Allegre, C. J., 1999- "Geochemistry of large river suspended sediments: silicate weathering or recycling tracer" Geochim. Cosmochim Ac 63: 4037- 4051

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C. P., 2008- "Rainfall intensity- duration control of shallow landslides and debris flow". Journal of the International Consortium on Landslide Vol.5, no.1.

Louvat, P., Allegre, C. J., 1997- "Present denudation rates in the island of Reunio determined by river geochemistry: basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions". Geochim. Cosmochim Ac 61: 3645- 3669.

Lyons, W. B., Carey, A. E., Hicks, D. M., Nezat, C. A., 2005- "Chemical weathering in high- sediment- yielding watersheds, New Zealand". J Geophys Res 110: FO1008, doi: 10. 1029/ 2003 JF000088

Millo, R. M., Gaillardet, J., Dupre, B., Allegre, C. J., 2002- "The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new in sights from rivers of the Canadian Shield". Earth Planet Sc Lett 196: 83- 98.

Milton A. Kanji, Paulo T. Cruz, Faical Massad, 2008- "Debris flow affecting the Cubatao Oil Refinery , Brazil", Journal of the Inter national Consortium on Landslide Vol.5, no.1.

Pasuto, A., Soldati, M., 2004- "An integrated approach for hazard assessment and mitigation of debris flows in the Italian Dolomites", Geomorphology 61: 265- 274.

Rickenman, D., Zimmermann, M., 1993- "The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis". Geomorphology 8: 175- 193.

Takahashi, T., 1976- "Freshet and Sediment Discharge in Mountain Basin" , Kyoto University Disaster Prevention Research Institute Annual, Report No. 19 – B, P 10, 1976

Van Steijn, H., De Ruig, J., Hoozemans, F., 1988- "Morphological and mechanical aspects of debris flows in parts of the French Alps". Z Geomorphol 32(2): 143- 161.

Vanoni, V. A., 2006- "Sedimentation Engineering", ASCE

Zimmermann, M., 1990- "Debris Flows 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects", IAHS 194: 387- 393.

Introducing Rudist of Tarbur Formation, Semirum and Khorramabad Sections

I. Maghfouri Moghaddam[1*]

[1] Dep. of Geology, Islamic Azad University, Ashtian Branch, Ashtian, Iran

Received: 2008 March 03 Accepted: 2009 March 17

Abstract

Rudists of the Tarbur Formation, in 7 km southwest of Semirum and 10 km north of Khorramabad, have been studied. Paleontological studies indicate that the age of the Tarbur Formation in both sections is Masstrichtian, and has a rich macrofossil fauna of rudist. The important types of rudist include Radiolites, Hippurites and Caprinidae. The assemblage shows a close similarity with those reported from south Turkey, Mediterranean, Saudi Arabia and Oman.

Keywords: Rudist, Masstrichtian,Tarbur Formation, Zagros, Iran

For Persian Version see pages 63 to 66

* Corresponding author: I. Maghfouri Moghaddam; E_mail: maghfouri.i@lu.ac.ir

Reconstruction of Masuleh Debris Flow Initiated by Heavy Rain Fall

S. Hashemi Tabatabaei[1*], A. A. Musivand[1], S. M. Safavi[1] & B. Akbari[1]

[1] Building and Housing Research Center, Tehran, Iran

[2] Forest, Range and Watershed Organization, Tehran, Iran

Received: 2009 May 20 Accepted: 2010 May 31

Abstract

Landslide and flood are natural disaster which can create tremendous lost of life and properties. The combine occurrence of these events can create debris flow. Due to the repetition of debris flood in different locations of northern part of the country (Neka, 1378, Kolastan, 1380, and 1384), and tremendous destructive power of this natural event, it is essential to assess the effective parameters in development of debris flow. In this paper the condition of masouleh debris flow is reconstructed to assess the effective parameter and suggest possible remedial measures. After a short and Intensive rainfall a huge flood along with considerable amount of particles ranging from silts to boulder contents striked masouleh town and obstacled the main bridge. This event diverted the debris flood towards the town and caused lose of life and properties. About forty percent of sub basin area is affected by landslides. The rock slides have affected 25.7 percent of the area at the southern part of basin. Various methods were used to estimate the required discharge flow to carry out the materials. The optimum method was chosen according to study area condition. The filed investigations clearly demonstrated the river cross sections of upstream can not permit the huge boulders to cross and the big boulder which obstacle the main bridge has been removed from landslide area at downstream at the vicinity of the town.

Keywords: Debris flow, Flood, Channel, Discharge, Landslide, Masuleh

For Persian Version see pages 67 to 74

*Corresponding author: S. Hashemi Tabatabaei; E-mail: htabatabaei@bhrc.ac.ir