

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 بلاهای 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 زمین لغزش بزرگ پایین دست تأمین شده است.

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

* نویسنده مسئول: سعید هاشمی طباطبائی

E-mail: htatababaei@bhrc.ac.ir

۱- مقدمه

از کشورهای فرانسه و سوئیس و (Pasuto and Soldati (2004); Berti et al. (1999)) 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 زمین لغزش‌ها، سرعت میانگین و ژرفای جریان در هر مقطع و زمان را بیان نماید.

تحقیقاتی برای شناسایی پتانسیل جریان‌های گلی و واریزه‌ای حوضه آبخیز کن

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 هوازگی مصالح شیب می‌تواند در شروع جریان‌های آواری بسیار مؤثر باشد، (Louvat and Allegre 1997; Louvat et al., 2005; Gaillet et al. 1999; Millot et al., 2002; Lyons et al., 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 پیش‌بینی 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)

کربناتی است. سنگ‌های کوارتزی 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 ماسه سنگ کنگلومرای (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 گردش‌گی، کرویت و سخت‌شدگی خوب به همراه جورشدگی متوسط حاوی قطعات ماسه سنگ می‌باشد. وسعت این واحد حدود ۱۵۱ هکتار و حدود 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 (نتوکومین) است. مساحت این رخنمون سنگی ۷۰/۴ هکتار و حدود ۱۰/۴ درصد از سطح حوضه را تشکیل می‌دهد.

۴-۶. واحد رسوبات زمین لغزشی (Ls)

این رسوبات از نظر زمانی مربوط به دوران چهارم هستند. رسوبات زمین لغزشی 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- زمین لغزش‌های 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 زمین لغزش‌های کوچک در مصالح دو زمین لغزش Ls1 و Ls2 و بویژه Ls1 عامل اصلی در راهسازی قطعات سنگی بزرگ مدفون در رسوبات این دو زمین لغزش است (شکل ۲). زمین لغزش‌های کوچک در حاشیه آبراهه اصلی و در زمان‌های سیلابی، بر اثر زیرشویی و همچنین اشباع شدن مصالح زمین لغزشی Ls1 و Ls2 اتفاق می‌افتد. مصالح زمین لغزشی Ls1 منشأ گرفته از مصالح سنگی دگرگونی (Pzs)، آهکی (P) و به احتمال کنگلومرای (Cs) است که در درون مصالح ریزدانه به صورت قطعات سنگی بسیار بزرگ مدفون هستند. البته مصالح این زمین لغزش در ژرفای بیشتر از قطعات سنگی آهکی و کنگلومرای تشکیل شده است. جدول ۳ ویژگی‌های زمین لغزش‌های حوضه خلیل دشت را ارائه می‌دهد. دلایل متعددی در رخداد زمین لغزش می‌تواند تأثیرگذار باشد. در حوضه خلیل دشت 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 پریمین 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

(شمال تهران) انجام گرفته است (Fatemi qomi, 2003). هدف اصلی این تحقیق، توجه بیشتر به جریان‌های گلی و وارزهای 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 خلیل دشت و دولی چال قرار دارد. این دو رودخانه پس از به هم پیوستن در ابتدای تشکیل ماسوله رودخان را می‌دهند. شیب اراضی در بخش جنوبی حوضه خلیل دشت 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 وارزها را افزایش می‌دهد. مساحت حوضه دولی چال 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 خلیل دشت از شدت سیل‌خیزی کمتری برخوردار است. بنابراین زیرحوضه خلیل دشت برای شهر ماسوله خطرناک بوده و در زمان رخداد سیلاب همواره بیشترین خسارت را به شهر وارد می‌نماید. در این مقاله وضعیت حوضه خلیل دشت 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 خلیل دشت است. تاریخ وقوع و خسارات گزارش شده سیل‌های گذشته در جدول ۱ ارائه شده است.

۴- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

باتوجه به نقشه‌های زمین‌شناسی، قدیمی‌ترین 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 فلیت اسلیتی همراه کوارتزیت و کنگلومرای مربوط به پالئوزویک بالایی است. این واحد در بیشتر نقاط توسط مصالح زمین لغزشی 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 پریمین است. مساحت این واحد سنگی ۸۲/۲ هکتار و حدود ۱۲/۱ درصد از مساحت کل حوضه است (جدول ۲).

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

$$I = 14.82 * D^{(-0.39)}$$

$$(0.167 < D < 500)$$

(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 سیل خیزی آن است. شدت سیل خیزی 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 صحرائی، 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 خلیل دشت محاسبه شد (جدول ۴).

۶-۲. برآورد سیلاب با استفاده از روش مایننگ

برای بررسی میزان بده اوج جریان واریزه‌ای، بررسی‌های میدانی (پیمایش صحرائی) 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 خلیل دشت مشخص و اندازه‌گیری شد. با تعیین ضریب زبری رودخانه بر اساس بازدیدهای صحرائی و با استفاده از روش شیب-سطح (فرمول مایننگ) 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).

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

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

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 ویژه در محل پیچان رودها (مناذرها) افزایش یافته و در نتیجه احتمال رخداد زمین لغزش 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 زمین لغزش LSI 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 زمین لغزش 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 زمین لغزش، 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 هیسومتري 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 زمین لغزش‌ها و جریان‌های واریزه‌ای شده‌اند تحقیقات فراوانی در سطح جهان انجام گرفته است. یک بانک اطلاعات جهانی از اطلاعات ۲۶۲۶ واقعه بارندگی که منجر به زمین لغزش 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 زمین لغزش و جریان واریزه‌ای شده توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته 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).

$g =$ شتاب ثقل که معادل 9.81 است.

$V_s =$ سرعت حمل بر حسب متر مکعب بر ثانیه

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

طول $4 =$ متر (L) ارتفاع $2 =$ متر (h) ارتفاع جریان $3 =$ متر (d)

با استفاده از رابطه یادشده، سرعت حمل سنگ توسط جریان واریزه ای حدود

$7/7$ 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 694 هکتار است که حدود 247 هکتار آن از اراضی جنگل نیمه انبوه است. اختلاف ارتفاع این حوضه 1800 متر، ارتفاع میانه 1850 متر و ارتفاع متوسط وزنی 912 متر است. شیب متوسط وزنی حوضه معادل 48 درصد و بیش از 52 درصد مساحت حوضه در رده شیب $60 - 30$ درصد قرار دارند. زمان تمرکز حوضه 25 دقیقه و شیب متوسط آبراهه اصلی معادل 39 درصد است. این مقادیر بیانگر پرشیب بودن حوضه خلیل دشت است. در حدود 40 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 LSI 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 300 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 تخته سنگ‌ها باعث کاهش ظرفیت کشت رودخانه در این محدوده هستند. با توجه به این که ظرفیت عبوری فعلی رودخانه خلیل دشت و پل موجود با دهانه $10/2$ متر و بیشترین ارتفاع $3/8$ متر در محل ورودی شهرک ماسوله جهت عبور بیشینه 100 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 48 درصد و بیش از 52 درصد مساحت حوضه

$Q_0 = Q_0 / b$

Q_0 : دبی رودخانه با دوره بازگشت 100 ساله، b : عرض رودخانه.

با استفاده از فرمول بالا مقدار سرعت جریان در بالادست پل خلیل دشت حدود $7/7$ متر بر ثانیه و مقدار دبی سیلاب معادل 388 متر مکعب بر ثانیه برآورد شد.

(ب) به منظور تعیین دبی اوج جریان واریزه‌ای (Q_{sp}) از رابطه زیر استفاده شد (Takahashi, 1991).

$$Q_{sp} = (C^*/(C^* - C_d)) * Q_p \quad (2)$$

C^* = غلظت حجمی رسوبات در حالت روی هم انباشته شده، C_d = غلظت حجمی رسوبات در حال انتقال (برای حالتی که شیب بستر بیش از 20 درجه باشد مثل شرایط ماسوله) معادل $C^* / 9$ فرض می‌شود. در نتیجه مقدار داخل پراوتر برابر 10 است. Q_p = دبی جریان سیلاب معمولی حاصل از حوضه (سیلاب با دوره بازگشت 2 ساله) و معادل $33/1$ متر مکعب بر ثانیه است (جدول ۴).

Q_{sp} = دبی اوج جریان واریزه‌ای در نتیجه:

$$Q_{sp} = 10 * Q_p \quad Q_p = 33.1 \text{ m}^3/\text{s} \quad \rightarrow \quad Q_{sp} = 331 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$U = \phi \cdot U^* \quad (2) \quad U^* = \sqrt{gRS} \quad (3)$$

$$U = \phi \sqrt{gRS} \quad (4)$$

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 $3/81$ در نظر گرفت. به عنوان مثال اگر مقدار دبی بر اساس مشخصات مقطع ۱ محاسبه شود مقادیر زیر به دست می‌آید:

$$U^* = \sqrt{9.81 * 2.43 * 0.09} = 1.46 \text{ m/s}$$

$$U = \Phi \cdot U^* = 3.81 * 1.46 = 5.6 \text{ m/s}$$

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

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 (شکل ۹). این سنگ‌ها در اثر سیلاب به حرکت درآمده و باعث بروز خسارت می‌شوند. همچنین این تخته سنگ‌ها باعث کاهش ظرفیت کشت رودخانه در این محدوده هستند. ظرفیت عبوری فعلی رودخانه خلیل دشت و پل موجود روی آن در محل ورودی شهرک ماسوله با دهانه $10/2$ متر و بیشترین ارتفاع $3/8$ متر به منظور عبور بیشینه 100 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 (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):

$$V_s = L/h [1.59, (1.28/(5.8+d/h)^{0.3})] \cdot \sqrt{((\rho_s - \rho) / \rho) \cdot g \cdot h}$$

ρ_s = 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.

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

واحد زمین شناسی	سنگ شناسی	مساحت هکتار	مساحت درصد
Pzs	فلیت اسلیتی همراه کوارتزیت و کنگلومرا	۵۷/۸	۸/۵
P	سنگ آهک	۸۲/۲	۱۲/۱
T	کوارتزیت	۴۰/۱	۵/۹
Cs	ماسه سنگ کنگلومرای	۱۵۱	۲۲/۳
Kln	سنگ آهک	۷۰/۴	۱۰/۴
Ls	زمین لغزش	۲۷۶/۹	۴۰/۸
مجموع		۶۷۸/۴	۱۰۰

جدول ۳- مساحت زمین لغزش های مهم حوضه

نام زمین لغزش	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 لحظه ای سیلاب با دوره بازگشت های مختلف زیر حوضه خلیل دشت (m³/s)

نام زیر حوضه	مساحت (هکتار)	دوره بازگشت (سال)				
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰
خلیل دشت	۶۹۴/۴	۳۳/۱	۴۹/۷	۶۳/۰	۷۶/۲	۸۹/۵

جدول ۵- دبی سیلاب برآورد شده با روش های مختلف (m³/s)

روش برآورد	بده اوج (m ³ /s)
سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حاصل از روش تحلیل منطقه ای	۹۹/۵
سیلاب عبوری از مقطع رودخانه با استفاده از روش شیب - سطح (فرمول مانینگ)	۵۱۹
سیلاب واریزه ای حاصل از حوضه با استفاده از رابطه (۱)	۳۸۸
جریان واریزه ای عبوری از مقطع رودخانه با استفاده از رابطه (۲)	۳۳۱
سیلاب واریزه ای حاصل از حوضه با استفاده از رابطه (۳)	۲۸۱/۷

در رده شیب ۶۰-۳۰ در صد قرار دارد. زمان تمرکز حوضه ۲۵ دقیقه و شیب متوسط آبراهه اصلی معادل ۳۹ درصد است. این ویژگی ها بیانگر پرشیب بودن حوضه خلیل دشت می باشد.

۴۰/۸ درصد از مساحت حوضه لغزشی است. تمرکز مناطق لغزشی در شمال و جنوب حوضه قرار دارد. بزرگ ترین زمین لغزش فعال حوضه Ls1، با مساحت تقریبی ۱۲۵ هکتار در منطقه جنگلی و در محدوده بین دو رودخانه خلیل دشت در خاور و دولی چال در شمال قرار دارد که به نوبه خود یک خطر بالقوه برای شهرک ماسوله به شمار می آید. قطعات بسیار بزرگ سنگ مدفون در توده لغزشی، در صورت رخداد سیل بادبی بالا، آزاد گشته و می توانند باعث بروز مشکلاتی برای شهرک ماسوله شوند. - با توجه به وضعیت ریخت شناختی، توپوگرافی و ویژگی های فیزیکی منطقه ماسوله، زمین ساخت، ژرفا و بافت خاک، بارندگی بالا و کاربری های غیر اصولی (قطع درختان و چرای بی رویه)، پتانسیل تشدید حرکت های توده ای وجود دارد. مناطق لغزشی یاد شده از نظر تولید میزان رسوب رتبه اول را دارند.

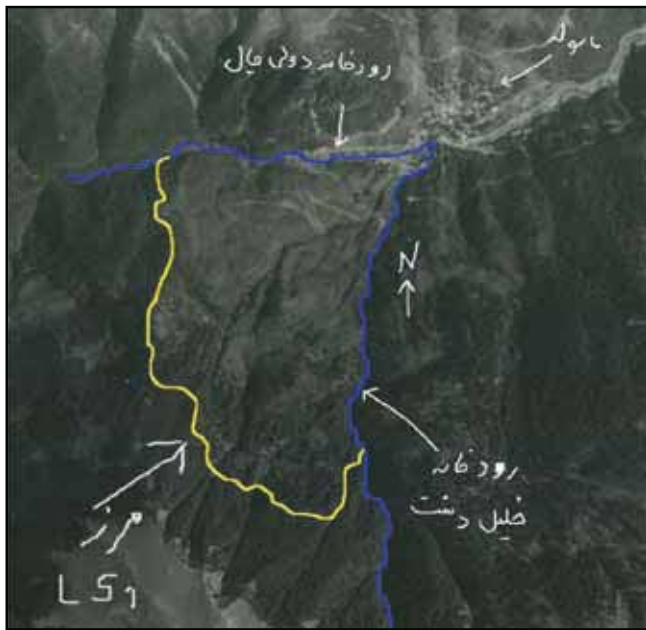
- در جریان های واریزه ای همراه با بار رسوبی زیاد و در مناطق کوهستانی و پرشیب استفاده از فرمول مانینگ برای محاسبه سیلاب نتایج غیر واقعی به دست خواهد داد. از این رو، استفاده از روش یاد شده برای شرایط مشابه منطقه مورد مطالعه توصیه نمی شود. - بر اساس محاسبات انجام شده و با استفاده از روابط موجود، دبی جریان واریزه ای 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 پرتگاه های متعدد در طول مسیر حرکت آب، تنگ بودن مسیر رودخانه در بعضی قسمت ها و حجیم بودن سنگ ها، امکان حمل آنها از قسمت های بالاتر به پایین دست توسط آب را منتفی می نماید.

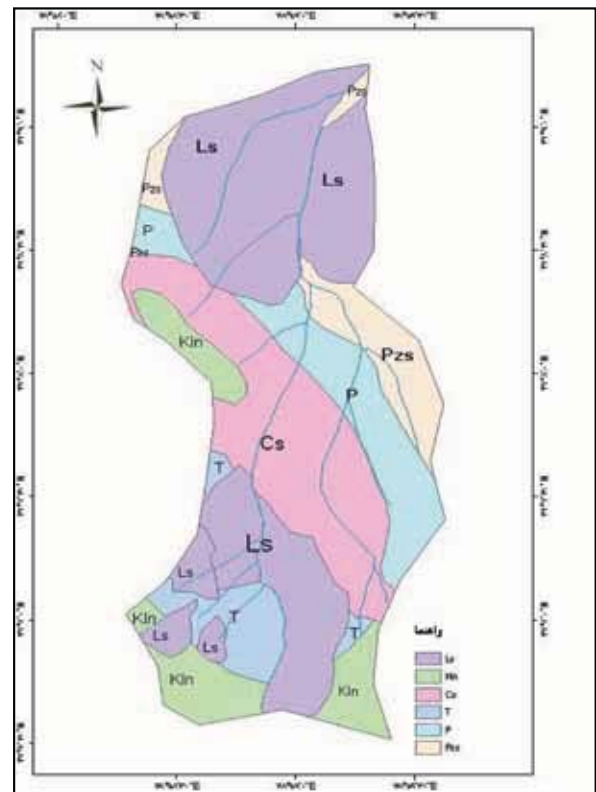
- روش های آماری و مانینگ برای محاسبه سیلاب جریان های واریزه ای مناسب نیستند. - مهم ترین مشکل رودخانه در محدوده شهرک، وجود تخته سنگ های بزرگ است که به وسیله سیلاب های گذشته به این محل حمل شده اند. این امکان وجود دارد که این سنگ ها در اثر سیلاب دوباره به حرکت درآمده و باعث بروز خسارت شوند. همچنین این تخته سنگ ها باعث کاهش ظرفیت عبوری رودخانه در این محدوده شده اند. با توجه به تعیین ظرفیت کشش رودخانه و پل موجود روی رودخانه خلیل دشت 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 واریزه ای را نداشته و این مسئله برای شهرک مشکل ساز خواهد بود.

جدول ۱- خسارت ثبت شده ناشی از سیل در سال های مختلف

ردیف	سال وقوع	خسارات وارده
۱	۱۳۱۳	۴ نفر کشته
۲	۱۳۶۹	ساختمان های 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 ساختمان های دولتی مانند پاسگاه انتظامی، اداره برق و مخابرات آسیب دیده، کل خسارت حدود ۵ میلیارد ریال



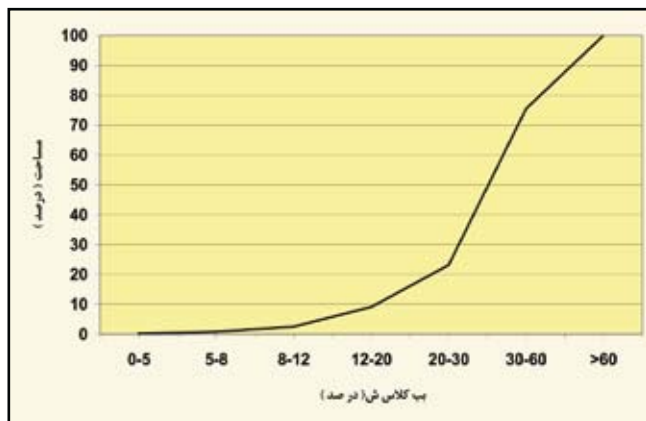
شکل ۳- موقعیت زمین لغزش LSI در رابطه با شهر ماسوله و رودخانه‌های بالا دست آن



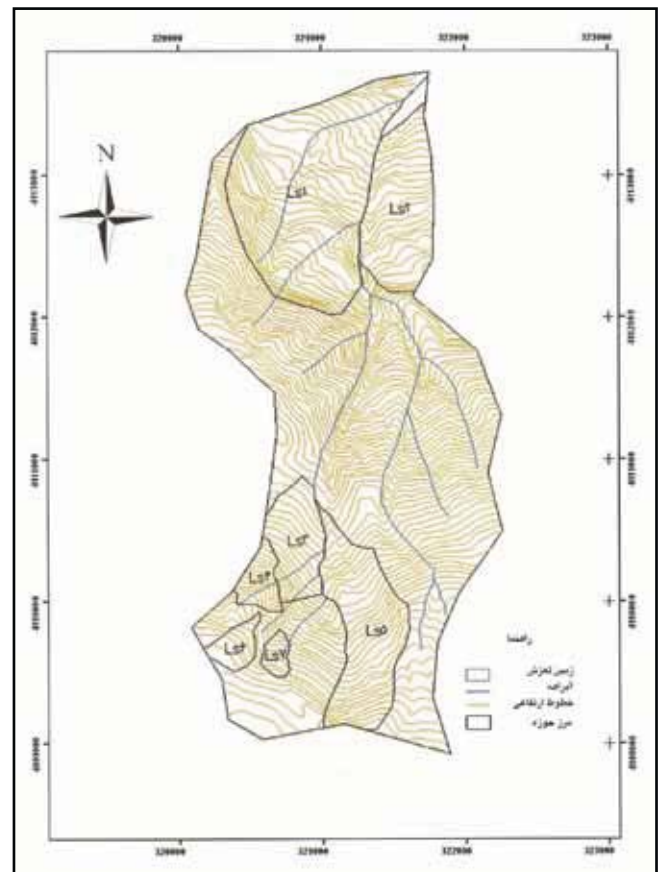
شکل ۱- نقشه زمین شناسی زیرحوضه خلیل دشت ماسوله



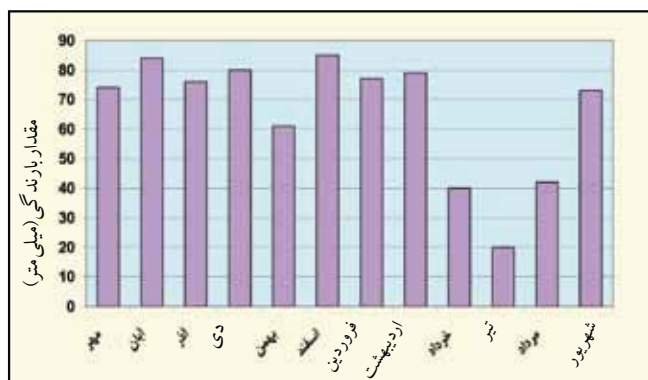
شکل ۴- تخته سنگ‌های بزرگ در ماتریکس مصالح ریزدانه زمین لغزش در ۷۰ متری ورود رودخانه به شهر



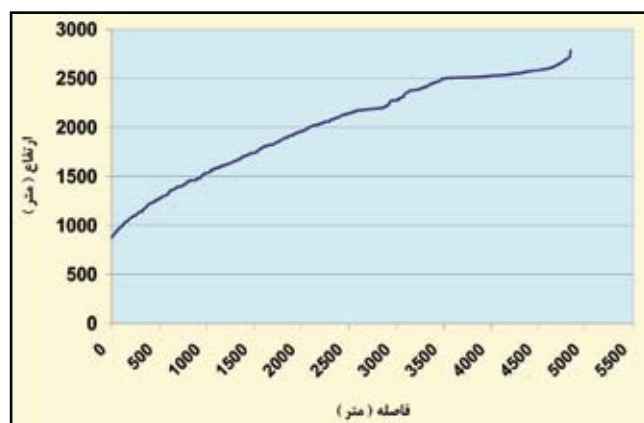
شکل ۵- منحنی هیپسومتری شیب- سطح حوضه خلیل دشت



شکل ۲- نقشه پراکنش زمین لغزش های حوضه مورد مطالعه



شکل ۷- مقدار بارندگی ماهانه ایستگاه باران سنجی ماسوله (میلی متر)



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



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



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



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

بنی حبیب، 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 International 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 International 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.