

گسترش شهر سقز و اثرات آن بر سیل خیزی حوضه آبریز چم سقز

حسین نگارش: دانشیار دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی دانشگاه سیستان و بلوچستان
محمد دارایی: کارشناس ارشد اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی

چکیده

سیل پدیده‌ای طبیعی است و هر رودخانه‌ای، بالقوه مستعد وقوع آن است، اما آنچه که این پدیده را از حالت طبیعی خارج و به صورت بلا در می‌آورد، دخالت انسان در طبیعت است. در منطقه مورد مطالعه مواردی از قبیل گسترش شهر سقز، تجاوز به حریم رودخانه‌ها، تخریب پوشش گیاهی، گسترش دیم در اراضی شیبدار، طراحی و اجرای غیراصولی سازه‌های تقاطعی رودخانه‌ها..... باعث افزایش سیل خیزی شده است. برای بررسی اثرات گسترش غیراصولی شهری بر سیل خیزی، هیدروگراف سیل با استفاده از روش SCS برای سال ۱۳۲۵ به عنوان دوره‌ی قبل از توسعه و سال ۱۳۷۵ (جدیدترین نقشه‌ی در دسترس)، به عنوان دوره‌ی بعد از توسعه ترسیم شد و محاسبات نشان داد که زمان تأخیر حوضه قبل از توسعه از یک ساعت و ۵۶ دقیقه در سال ۱۳۷۵ به یک ساعت و ده دقیقه کاهش یافته است. یعنی بر اثر افزایش سطوح نفوذناپذیر زمان رسیدن اوج هیدروگراف ۴۰ دقیقه کمتر شده است و سیل در زمان کوتاهی به اوج می‌رسد. همچنین زمان رسیدن به نقطه‌ی اوج دبی در سال ۱۳۲۵ دو ساعت و هفت دقیقه بوده در حالیکه در سال ۱۳۷۵ به یک ساعت و شانزده دقیقه کاهش یافته است و این بدان معنی است که اوج سیل ۵۱ دقیقه زودتر از قبل فرا می‌رسد.

کلید واژگان: سیل خیزی، گسترش شهر سقز، تجاوز به حریم رودخانه‌ها، نقطه‌ی اوج دبی، زمان تأخیر، هیدروگراف سیل

مقدمه

سیل پدیده‌ای طبیعی است که جوامع بشری آن را به عنوان یک واقعه‌ی اجتناب ناپذیر پذیرفته‌اند اما رویداد، اندازه و تکرار سیل ناشی از عوامل متعددی است که بسته به شرایط اقلیمی، طبیعی و جغرافیایی هر منطقه تغییر می‌کند. سالانه در نقاط مختلف دنیا، جان و مال بسیاری از مردم بر اثر سیل به مخاطره می‌افتد و میلیون‌ها تن خاک ارزشمند به وسیله‌ی سیل تخریب می‌شود. سیل یکی از زیان‌بارترین بلایای طبیعی جهان محسوب می‌شود و بررسی‌های آماری نشان داده است که حدود ۷۰ درصد خسارات بلایای طبیعی در ایران ناشی از سیلاب‌هاست. به جرأت می‌توان گفت که پدیده‌ی سیل در کشور یک پدیده‌ی فراگیر بوده و تقریباً تمامی نواحی کشور به نوعی متحمل خسارات هنگفت ناشی از آن شده‌اند. به علاوه فراوانی وقوع سیل در کشور از روندی فزاینده برخوردار است به گونه‌ای که از ۳۹ مورد در سال ۱۳۵۰ به ۲۷۶ مورد در سال ۱۳۷۷ فزونی یافته‌است و خسارات ناشی از سیل در طی ۵ دهه‌ی گذشته در کشور ۲۵۰ درصد رشد داشته‌است و روزانه به طور متوسط در حدود ۳ میلیارد ریال خسارت ناشی از سیل به کشور تحمیل می‌شود (تقوی و محمدی، ۱۳۸۵: ص ۱۲).

حوضه آبریز چم سقز که در شمالغربی کشور واقع شده است با توجه به خصوصیات فیزیوگرافی آن از توان سیل خیزی نسبتاً بالایی برخوردار است و دارای شیب متوسطی در حدود ۱۴/۵۸ درصد می‌باشد که باعث شدت فرسایش و سیل خیزی در منطقه می‌شود که میزان انرژی و فرسایش افزایش یافته و نفوذ و زمان پیمایش آب در حوضه کاهش یابد و سیل خیزی افزایش پیدا کند.

ارتفاع متوسط این حوضه آبریز برابر با ۱۸۰۸/۵ متر است. ارتفاع بلندترین نقطه ۲۶۸۵ متر و ارتفاع پایین‌ترین نقطه ۱۴۰۶ متر است. بیشترین وسعت ما بین خطوط منحنی میزان ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است. بنابراین این حوضه از بلندای نسبتاً زیادی برخوردار است و احتمال بروز سیلاب‌های مخرب در آن زیاد است. همچنین منحنی هیپسومتریک حوضه نشان داد که حدود ۸۴ درصد از وسعت حوضه بالاتر از ۱۶۰۰ متر و حدود ۴۵ درصد بالاتر از ۱۸۰۰ متر قرار دارد. از ارتفاعات عمده‌ی حوضه‌ی آبریز چم

سقز می‌توان کوه پیرداغ با بلندای ۲۶۸۵ متر، کپری ۲۶۰۲ متر و بیان ۲۵۲۱ متر را نام برد.

براساس داده‌های بارش ایستگاه همدید سقز میانگین بارش سالانه‌ی سقز حدود ۴۹۴/۳۶ میلیمتر است. انحراف معیار آن ۱۲۹/۹ و ضریب تغییرات آن ۲۶/۱۵ می‌باشد که بیانگر پراکنش ریزش سالانه و تغییرات زمانی آن در این منطقه است. در این پژوهش سعی خواهد شد ضمن پرداختن به دلایل سیل خیزی حوضه آبریز چم سقز به اثرات منفی گسترش شهر سقز بر افزایش توان سیل خیزی آن نیز پرداخته شود.

مواد و روشها

در این تحقیق ابتدا حوضه آبریز به دو قسمت برون شهری و درون شهری تقسیم گردید و نقشه‌های توپوگرافی هر دو قسمت رقومی شد و خصوصیات فیزیکی آنها موردبررسی قرار گرفت. سپس روند تغییرات بارش حوضه با استفاده از روش‌های آماری بررسی و با استفاده از نقشه‌ها و داده‌های موجود اقدام به محاسبه هیدروگراف سیل در دوره‌های بازگشت مختلف گردید. در قسمت شهری هیدروگراف سیل قبل از توسعه سال (۱۳۲۵) با بعد از توسعه سال (۱۳۷۵) مقایسه و تحلیل شد.

مطالعه سیل خیزی از اهمیت زیادی برخوردار است و به اطلاعاتی از قبیل مدل‌های رقومی نیاز دارد که همراه با خطر سیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بسیار متنوع و شامل موارد زیر می‌باشند:

جهت تهیه‌ی پیشینه‌ی تحقیق و همچنین درک مبانی نظری تحقیق و با هدف جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مطالعات مشابه انجام شده، از مطالعات کتابخانه‌ای استفاده شد. داده‌های اقلیمی مورد نیاز روزانه، فصلی و سالانه‌ی مربوط به ایستگاه‌های انتخابی منطقه‌ی مورد مطالعه از سازمان هواشناسی استان کردستان دریافت گردید. داده‌های آب‌سنجی از بایگانی اطلاعات آماری سازمان آب منطقه‌ای جمع‌آوری شد. همچنین در این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc GIS 9.2 و ILWIS 3.1 برای

تهیه نقشه‌ها، نرم افزار Excel 2003، برای رسم شکل‌ها، نرم افزارهای 13 Spss، Minitab 14، برای یافتن روابط همبستگی‌ها، نرم افزارهای Photoshop، Paint برای ویرایش نقشه‌ها و تصاویر، نرم افزار AutoCAD 2007 برای محاسبه مساحت‌ها، نرم افزار Smada 6.0 برای برآورد دوره‌های بازگشت سیل و بارش استفاده شده است.

بحث و نتایج

تعریف‌های فراوانی برای سیل ارائه شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود: سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیر منتظره افزایش پیدا کرده و باعث خسارات مالی و جانی گردد (علیزاده، ۱۳۸۲: ۷۲۵). سیل، جریانی شدید و استثنائی است که ممکن است این جریان از بستر طبیعی رودخانه لبریز شده و خارج شود (زاهدی، ۱۳۷۸ ص ۱۰۱). آب فراوانی که بر اثر بالا آمدن سطح آب رودخانه‌ها یا دریا و دریاچه، سرزمینی را بطور ناگهانی و غیرعادی فراگیرد (جعفری، ۱۳۷۶ ص ۲۷). با توجه به دیدگاه‌های مختلف می‌توان چنین گفت که سیل به جریانی گفته می‌شود که:

- ۱- جریان آب برای مقطع خاصی از رودخانه بیش از جریان عادی باشد.
- ۲- تداوم زمانی محدودی داشته باشد.
- ۳- جریان آب از بستر طبیعی خود خارج و زمین‌های پست حاشیه‌ی رودخانه را فرا گیرد.
- ۴- خسارات مالی و جانی داشته باشد (خلیلی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴ ص ۱۳۹).

موقعیت حوضه آبریز چم سقز

از نظر سیاسی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی چم سقز در شمال استان کردستان جای دارد. این حوضه در ارتفاعات بین سقز و بانه و بخش باختری حوضه آبریز زرينه‌رود واقع

شده است. حوضه در محدوده‌ی $۳۵^{\circ} ۵۹'$ تا $۳۶^{\circ} ۲۳'$ عرض شمالی و $۴۵^{\circ} ۲۷'$ تا $۴۶^{\circ} ۴۷'$ طول شرقی قرار دارد. چم سقز یکی از شاخه‌های اصلی رودخانه‌ی زرینه‌رود است و رودخانه‌ی زرینه‌رود بزرگترین رودخانه‌ی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد.

رودخانه‌ی چم و سر شاخه‌های آن

چم سقز: رودخانه‌ی چم سقز آبراهه‌ی اصلی حوضه می‌باشد طول آن $۷۹/۲$ کیلومتر است و از بلندی‌های خان در شمال غربی حوضه سرچشمه می‌گیرد و به سمت جنوب شرقی جریان دارد و پس از گذر از شهر سقز در ۲۰ کیلومتری شمال شرقی این شهر به زرینه‌رود می‌ریزد.

چم میره‌ده: از بلندی‌های غربی حوضه به سوی شرق جاری می‌شود و طول آن تا ورود به چم سقز ۳۴ کیلومتر است.

چم آخکند: از ارتفاعات شمالی به طرف جنوب روان می‌شود و طول آن تا ورود به چم سقز $۲۷/۷۵$ کیلومتر است.

چم تموغه: از ارتفاعات جنوب غربی سرچشمه گرفته و به سمت شمال شرقی جاری می‌شود و طول آن تا ورود به چم تموغه ۱۴ کیلومتر است.

چم سید: از بلندی‌های شمال شرقی به سوی جنوب روان می‌شود و طول آن تا ورود به چم سقز ۱۳ کیلومتر است.

تجزیه و تحلیل فراوانی بیشینه‌ی سیلاب‌های حوضه

تعیین دبی احتمالی طغیان‌های رودخانه و تخمین کمی میزان آب قابل دسترس دارای اهمیت فراوانی است و تحلیل داده‌ها، مبنای برنامه‌ریزی، طراحی، اجرا و بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب می‌باشد. در حوضه‌هایی که دارای آمار اندازه‌گیری حداکثر دبی لحظه‌ای سیل باشند از تحلیل فراوانی سیل استفاده می‌گردد. دبی لحظه‌ای بیشترین مقدار جریان در کوتاه‌ترین زمان است. با تجزیه و تحلیل این آمارها می‌توان

مقادیر حداکثر سیلاب را که ایجاد می‌شود محاسبه و محدوده‌ی کناری بستر را که آب تا آن حد بالا می‌آید مشخص نمود و از ایجاد سکونت‌گاه‌های انسانی در آن محدوده خودداری کرد (ضیائی، ۱۳۸۲ ص ۹۲).

با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده به صورت سری‌های کرانه‌ای می‌باشند با توزیع گامبل مطابقت خوبی دارند به همین جهت از روش فوق استفاده شده‌است (جلالی، ۱۳۷۸ ص ۷۹). معادله‌ی طرح کلی سیل با استفاده از ضریب فراوانی که در روش گامبل تیپ ۱ از آن استفاده می‌شود به صورت زیر است:

$$X = \bar{X} + KS \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

X = سیل مورد نظر با توجه به دوره‌ی برگشت، $\bar{X}$ = میانگین حداکثرهای دبی لحظه‌ای سیل، K = ضریب فراوانی

مقادیر سیل با دوره‌های بازگشت مختلف در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی چم سقز با روش گامبل در نرم‌افزار Smada 6.0 محاسبه و بشرح جدول شماره ۱ می‌باشد.

جدول شماره (۱) بیشینه‌ی سیلاب‌های حوضه‌ی آبریز چم سقز با دوره‌های بازگشت مختلف

دوره‌ی برگشت (سال)	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دبی سیل m^3/s	۲۱۲/۴	۲۶۷/۵	۳۳۷/۰۶	۳۸۸/۷	۴۳۹/۹

سیل و شهر

سیل به عنوان یکی از مهمترین سوانح طبیعی همواره مورد توجه بشر بوده است و در سال‌های اخیر با توسعه مراکز جمعیتی و صنعتی و کشاورزی و افزایش خسارات ناشی از سیل، لزوم توجه بیشتر به آن احساس گردید. در سال ۱۹۳۰ یونسکو در ورشو کارگاهی را تحت عنوان اثرات توسعه شهری و هیدرولوژی تشکیل داد. شهرنشینی و توسعه‌ی شهری با سرمایه‌گذاری‌های قابل ملاحظه‌ای همراه است. در حالی‌که مسائل رواناب‌های شهری تقریباً کمتر مورد عنایت قرار می‌گیرد (رزاقی و تیموری، ۱۳۸۵ ص ۲۳۲).

مهمترین عوامل موثر در تحولات هیدرولوژیک شامل میزان سطوح یا اراضی نفوذناپذیر حوضه و همچنین خصوصیات مسیرهای حرکت جریان آب است که هر دو عامل در حوضه‌هایی که تحت شهرسازی قرار گرفته یا می‌گیرند به نحو بارزی تغییر می‌کند. گسترش شهر با کاهش ضریب نفوذپذیری اراضی همراه است در حالی که به مرور مسیل‌ها کوچکتر شده و دشت‌های اطراف تبدیل به اماکن تجاری و مسکونی می‌شود. مسیل‌های کم اهمیت دیروز به مرور دریافت کننده‌ی سیلاب‌های بیشتری می‌شود، این فرایند در تمام شهرها و روستاهای کشور و بسیاری دیگر از کشورها در جریان است و به همین دلیل شاهد سیلاب‌هایی با ابعاد خطرناک‌تر می‌شویم و خواهیم شد (طاهری بهبهانی و بزرگزاده، ۱۳۷۵: ص ۴).

تحولات هیدرولوژیک ناشی از شهرسازی و نحوه کاربری اراضی حوضه‌های شهری را می‌توان به صورت تغییر حجم کل رواناب، تغییر میزان تغذیه‌ی ناشی از بارش، تغییر حداکثر آبدهی (پیک) سیلاب‌ها، بیان کرد.

اثرات توسعه‌ی شهری بر رژیم هیدرولوژی حوضه آبریز چم بسیار زیاد است. همانطور که در جدول شماره ۲ دیده می‌شود با افزایش میزان سطوح نفوذناپذیر ناشی از شهرسازی میزان تبخیر و نفوذ آب به زمین کاهش یافته، ولی میزان رواناب بالا رفته‌است. چون آب بلافاصله از دسترس خارج می‌شود و فرصتی برای تبخیر و نفوذ نمی‌یابد.

جدول شماره (۲) تأثیر شهرنشینی بر میزان تبخیر، نفوذ آب و رواناب (زیمر، ۲۰۰۶ ص ۱۱)

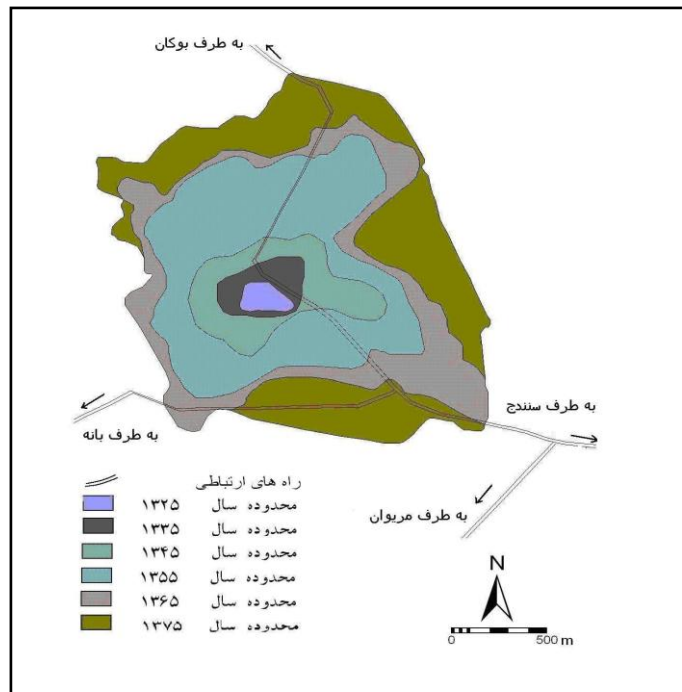
ویژگی	٪ تبخیر	٪ نفوذ سطحی	٪ نفوذ عمقی	٪ رواناب
پوشش طبیعی	۴۰	۲۵	۲۵	۱۰
۲۰٪ تا ۱۰٪ سطوح نفوذ ناپذیر	۳۸	۲۱	۲۱	۲۰
۵۰٪ تا ۳۵٪ سطوح نفوذ ناپذیر	۳۵	۲۰	۱۵	۳۰
۱۰۰٪ تا ۷۵٪ سطوح نفوذ ناپذیر	۳۰	۱۰	۵	۵۵

برای بررسی اثرات گسترش غیراصولی شهری بر سیل‌خیزی، هیدروگراف سیل با استفاده از روش SCS برای سال ۱۳۲۵ به عنوان دوره‌ی قبل از توسعه و سال ۱۳۷۵ (جدیدترین نقشه‌ی در دسترس)، به عنوان دوره‌ی بعد از توسعه ترسیم شده و پارامترهایی نظیر زمان تمرکز، زمان تأخیر و دبی اوج سیل هر دو دوره مقایسه و تحلیل می‌گردد. در این بررسی نمایه‌ی نفوذ پذیری خاک CN متغیر وابسته است و برای هر دوره به دلیل تغییر نفوذپذیری خاک تغییر می‌کند و کلیه‌ی شرایط دیگر برای هر دو دوره ثابت در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به اینکه نقش مسیل‌ها در هدایت انتقال آب جاری شده به سمت رودخانه‌ها غیر قابل انکار بوده که در صورت نادیده گرفتن شرایط مورفولوژیکی آن و دخل و تصرف در حریم آن، می‌تواند باعث به وجود آمدن خسارات مالی و جانی شود.

موقعیت شهر سقز

شهر سقز در شمال استان کردستان با وسعت ۱۴۷۴۸۶۹۱ مترمربع، بین مدار ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع متوسط ۱۴۶۰/۹۲ متری از سطح دریا قرار دارد.

گسترش روز افزون شهر سقز شکل شماره ۱ و کاهش مناطق قابل نفوذ، باعث به‌راه افتادن حجم زیادی از آب‌های ناشی از بارندگی در سطح شهر و آب‌گرفتگی معابر می‌شود، از طرف دیگر بارش‌های رگباری و شیب زیاد زمین حوضه، سرعت حرکت جریان آب را بیشتر و زمان تمرکز آن را کوتاه‌تر می‌نماید و کمترین مانعی باعث تجمع آب و ایجاد سیل می‌شود و مشکلاتی را برای شهروندان به بار می‌آورد. چم سقز که از وسط شهر می‌گذرد سیلاب‌های ناشی از بارندگی‌ها را در حوضه‌های بالادست خود به سمت رودخانه‌ی زرینه‌رود و در نهایت سد شهید کاظمی می‌رساند.



شکل شماره (۱) مراحل توسعه‌ی فیزیکی شهر سقز طی سال‌های ۷۵-۱۳۲۵ (اولی زاده، ۱۳۸۴ ص ۷۲)

هیدروگراف سیل قبل و بعد از توسعه

همانطور که ذکر شد برای بررسی اثرات گسترش غیراصولی شهری بر سیل‌خیزی، هیدروگراف سیل با استفاده از روش SCS برای سال ۱۳۲۵ به عنوان دوره‌ی قبل از توسعه و سال ۱۳۷۵ (جدیدترین نقشه‌ی در دسترس)، به عنوان دوره‌ی بعد از توسعه ترسیم شده و پارامترهایی نظیر زمان تمرکز، زمان تأخیر و دبی اوج سیل هر دو دوره مقایسه و تحلیل می‌گردد.

مراحل رسم هیدروگراف واحد اداره‌ی حفاظت خاک آمریکا SCS به‌صورت زیر است:

۱- محاسبه‌ی زمان تأخیر

زمان تأخیر فاصله‌ی زمانی بین مرکز بارش تا زمان اوج هیدروگراف است که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$t_1 = \frac{l^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

که در آن:

t_1 = زمان تأخیر به ساعت

l = طول بزرگترین آبراهه به فوت

y = شیب متوسط حوضه به درصد

S = نمایه‌ی نگه‌داشت آب در داخل حوضه که به شماره‌ی منحنی (CN) بستگی دارد.

مقدار S از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

رابطه‌ی (۳)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

مقدار CN برای سال ۱۳۲۵ با توجه به مساحت کم شهر در مقایسه با کل حوضه‌ی مورد مطالعه ۷۵ و برای سال ۱۳۷۵ با در نظر گرفتن وسعت و نوع کاربری زمین در شهر ۹۰ لحاظ شده است.

A = محاسبات مربوط به قبل از توسعه (سال ۱۳۲۵)

B = محاسبات مربوط به بعد از توسعه (سال ۱۳۷۵)

$$A : S = \frac{1000}{75} - 10 = 3.33$$

$$B : S = \frac{1000}{90} - 10 = 1.11$$

$$A : t_1 = \frac{19822.835^{0.8} (3.33 + 1)^{0.7}}{1900 \times 4.34^{0.5}} = 1.93 \cong 1 : 56'$$

$$B : t_1 = \frac{19822.835^{0.8} (1.11 + 1)^{0.7}}{1900 \times 4.34^{0.5}} = 1.16 \cong 1 : 10'$$

زمان تأخیر حوضه قبل از توسعه حدود دو ساعت ($1:56'$) و سال ۱۳۷۵ یک ساعت و ده دقیقه است. یعنی بر اثر افزایش سطوح نفوذناپذیر زمان رسیدن اوج هیدروگراف ۴۰ دقیقه کمتر شده است و سیل در زمان کوتاهتری به اوج می‌رسد و دامنه‌ی صعود و افت منحنی با شیب بیشتری صورت می‌گیرد.

۲- تعیین زمان تمرکز حوضه از روی زمان تأخیر

$$t_c = 1.67t_1 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$A:t_c = 1.67 \times 1.93 = 3.20 \cong 3:12'$$

$$B:t_c = 1.67 \times 1.16 = 1.92 \cong 1:55'$$

زمان تمرکز حوضه سال ۱۳۲۵ حدود سه ساعت و ۱۲ دقیقه بوده ولی سال ۱۳۷۵ به یک ساعت و ۵۵ دقیقه رسیده است و یک ساعت و هفت دقیقه کاهش یافته است و رواناب‌های ناشی از بارش در زمان کمتری جمع شده و جریان می‌یابند.

۳- انتخاب زمان بارندگی

در روش SCS برای تهیه‌ی هیدروگراف واحد، زمان بارندگی (t_d) معمولاً بین یک پنجم تا یک هشتم زمان تمرکز انتخاب می‌شود. مدت بارندگی در هیدروگراف واحد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$t_d = \frac{1}{5}t_c \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$A:t_d = \frac{1}{5} \times 3.20 = 0.64 \cong 38'$$

$$B:t_d = \frac{1}{5} \times 1.92 = 0.38 \cong 23'$$

مدت بارندگی برای هر دو دوره یک رگبار ۳۰ دقیقه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

۴- زمان رسیدن به نقطه‌ی اوج دبی

$$t_p = 0.66t_c \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$A:t_p = 0.66 \times 3.20 = 2.11 \cong 2:7'$$

$$B:t_p = 0.66 \times 1.92 = 1.27 \cong 1:16'$$

زمان رسیدن به نقطه‌ی اوج دبی در سال ۱۳۲۵ دو ساعت و هفت دقیقه بوده در حالیکه سال ۱۳۷۵ به یک ساعت و شانزده دقیقه کاهش یافته است و این بدان معنی است که اوج سیل ۵۱ دقیقه زودتر از قبل فرا می‌رسد.

۵- دبی اوج

رابطه‌ی (۷)

$$Q_p = \frac{0.208AR}{t_p}$$

QP = دبی اوج به متر مکعب در ثانیه

A = سطح حوضه به کیلومتر مربع

tp = زمان اوج هیدروگراف

R = رواناب یا بارندگی خالص

برای محاسبه‌ی ارتفاع رواناب از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

رابطه‌ی (۸)

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

P = ارتفاع رگبار طرح

S = پتانسیل ذخیره‌ی حوضه

$$A:R = \frac{(5 - 0.2 \times 3.33)^2}{5 + 0.8 \times 3.33} = 2.45$$

$$B:R = \frac{(5 - 0.2 \times 1.11)^2}{5 + 0.8 \times 1.11} = 3.88$$

رواناب یا بارندگی خالص حاصل از یک رگبار ۵ میلیمتری ۳۰ دقیقه‌ای در سال ۱۳۲۵ برابر با ۲/۴۵ میلیمتر و سال ۱۳۷۵ برابر با ۳/۸۸ میلیمتر می‌باشد.

$$A: Q_p = \frac{0.208 \times 14.78 \times 2.45}{2.11} = 3.57$$

$$B: Q_p = \frac{0.208 \times 14.78 \times 8.78}{1.27} = 9.39$$

دبی اوج حاصل از یک رگبار ۵ میلیمتری ۳۰ دقیقه‌ای به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک از ۳/۵۷ مترمکعب بر ثانیه در سال ۱۳۲۵، به ۹/۹۳ مترمکعب بر ثانیه در سال ۱۳۷۵ افزایش یافته است. بنابراین سیل با میزان بارش کمتری نسبت به قبل از شهرنشینی جاری می‌گردد. حال از ارقام t_p و Q_p به دست آمده و ضرب آنها در جدول استاندارد مقادیر t و Q به دست می‌آید (جدول شماره ۳) که با استفاده از ارقام به دست آمده هیدروگراف واحد سیل برای هر دو دوره رسم شده است (شکل شماره ۲) حال با توجه به هیدروگراف رسم شده به راحتی می‌توان به مقایسه‌ی تفاوت‌های دو دوره پرداخت.

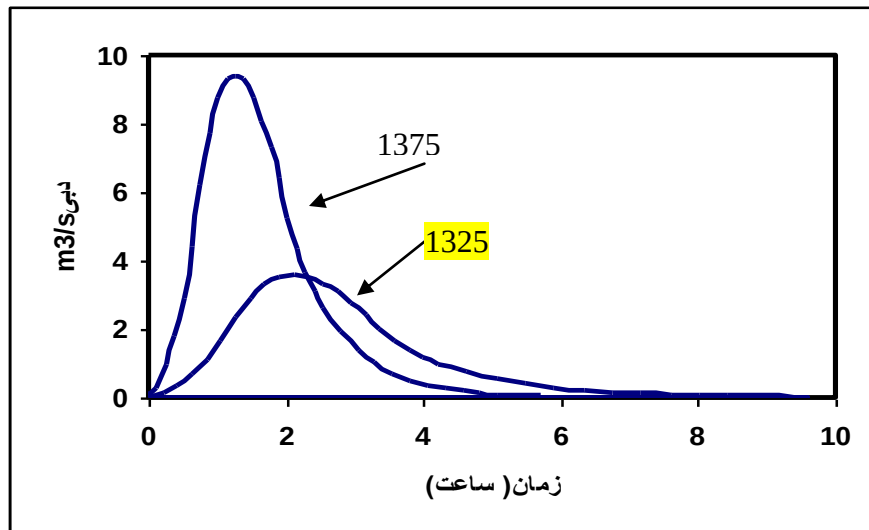
بررسی خصوصیات سیلاب های مسیل ولی خان

در بررسی‌ها و مشاهدات صورت گرفته در شهر سقز توسعه‌ی ناهمگون و ناسازگار یعنی عدم توجه به ویژگی‌های طبیعی زمین نظیر شیب و توپوگرافی و ساخت و سازهای بدون نقشه‌ی علمی و فنی نظیر مسدود نمودن مسیر مسیل‌های قدیمی و یا کاهش حریم آنها و نیز راه اندازی فعالیت‌های تجاری در بستر آنها به چشم می‌خورد و از همین روست که پاره‌ی از مشکلات هیدرولوژیکی شهر نظیر جمع شدن آب در داخل معابر و نبود سیستم زهکشی مناسب در برخی قسمت‌های شهر دیده می‌شود. به عنوان نمونه چم سقز دارای شاخه‌ای فرعی به نام مسیل ولی خان می‌باشد. مسیل ولی خان امتداد شمال غربی- جنوب شرقی داشته و از ساحل چپ به مسیل اصلی چم سقز ملحق می‌گردد. در سال‌های اخیر با رشد و توسعه‌ی ساخت و ساز در شهر، هر روز به حریم طبیعی مسیل تجاوز شده تا جائیکه در بعضی از مقاطع از مسیل، آبراهه‌ای بسیار تنگ به وجود آمده است. به دلیل شیب زیاد محلات اطراف مسیل و عدم رعایت اهالی آبراهه به محلی بی استفاده تبدیل شده بود. بنابراین شهرداری اقدام به احداث کانالی به ابعاد

۱×۱ متر و سرپوش گذاری و خیابانی روی مسیل نمود. ولی بازهم ابتدای کانال در نقطه‌ی ورود به شهر به محل تجمع آشغال و تخلیه نخاله‌ی ساختمانی تبدیل شده است.

جدول شماره (۳) مقادیر محورهای هیدروگراف واحد بدون بعد

A:1325				B:1375			
t/tp	t(hr)	Q/Qp	Qm ³ /s	t/tp	t(hr)	Q/Qp	Qm ³ /s
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.21	0.03	0.11	0.10	0.13	0.03	0.28
0.20	0.42	0.10	0.36	0.20	0.25	0.10	0.94
0.30	0.63	0.19	0.68	0.30	0.38	0.19	1.78
0.40	0.84	0.31	1.11	0.40	0.51	0.31	2.91
0.50	1.06	0.47	1.68	0.50	0.64	0.47	4.41
0.60	1.27	0.66	2.36	0.60	0.76	0.66	6.20
0.70	1.48	0.82	2.93	0.70	0.89	0.82	7.70
0.80	1.69	0.93	3.32	0.80	1.02	0.93	8.73
0.90	1.90	0.99	3.53	0.90	1.14	0.99	9.30
1.00	2.11	1.00	3.57	1.00	1.27	1.00	9.39
1.20	2.53	0.93	3.32	1.20	1.52	0.93	8.73
1.40	2.95	0.78	2.78	1.40	1.78	0.78	7.32
1.60	3.38	0.56	2.00	1.60	2.03	0.56	5.26
1.80	3.80	0.39	1.39	1.80	2.29	0.39	3.66
2.00	4.22	0.28	1.00	2.00	2.54	0.28	2.63
2.20	4.64	0.21	0.74	2.20	2.79	0.21	1.94
2.40	5.06	0.15	0.52	2.40	3.05	0.15	1.38
2.60	5.49	0.11	0.38	2.60	3.30	0.11	1.00
2.80	5.91	0.08	0.27	2.80	3.56	0.08	0.72
3.00	6.33	0.06	0.20	3.00	3.81	0.06	0.52
3.20	6.75	0.04	0.14	3.20	4.06	0.04	0.38
3.40	7.17	0.03	0.10	3.40	4.32	0.03	0.27
3.60	7.60	0.02	0.07	3.60	4.57	0.02	0.20
3.80	8.02	0.02	0.05	3.80	4.83	0.02	0.14
4.00	8.44	0.01	0.04	4.00	5.08	0.01	0.10
4.50	9.50	0.01	0.02	4.50	5.72	0.01	0.05
5.00	10.55	0.00	0.00	5.00	6.35	0.00	0.00



شکل شماره (۲) هیدروگراف سیل قبل و بعد از توسعه

در مسیل ولی خان که ویژگی‌های آن در جدول شماره ۴ آمده است به دلیل شیب تند اراضی و کمی مقدار زمان تمرکز سیلاب، به یکباره دبی سیلاب با مقادیر بسیار بالا وارد مسیل شده و در نهایت موجب بالا آمدن سطح آب در مجرای انتقال شده و باعث بروز خطراتی در شهر می‌شود.

برآورد سیلاب‌های درون‌شهری یکی از گام‌های اساسی برای تعیین ابعاد و مشخصات سامانه‌های جمع‌آوری و دفع سیلاب‌های شهری است. در بررسی میزان ارتفاع سیلاب شهری، به طور معمول دبی سیلاب با دوره برگشت ۲۵ ساله مدّ نظر قرار می‌گیرد (یونسی، ۱۳۸۶ ص ۱). در این قسمت دبی سیلاب در مسیل ولی خان با دوره‌ی برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال محاسبه شده است.

جدول شماره (۴) ویژگی‌های حوضه‌ی مسیل ولی خان

ویژگی	ارزش
مساحت (هکتار)	۱۷۸۰
طول آبراهه (متر)	۶۸۴۰
شیب حوضه (درصد)	۱۴/۰۸

برای به دست آوردن دبی سیل با روش SCS فقط حداکثر دبی لحظه‌ای و زمان رسیدن به دبی پیک مورد نظر است. برای محاسبه‌ی آن ابتدا با فرمول‌های پیشنهادی SCS زمان تمرکز حوضه مشخص می‌شود که باید مراحل زیر طی شود:

▪ محاسبه‌ی زمان تأخیر

زمان تأخیرفاصله‌ی زمانی بین مرکز بارش تا زمان اوج هیدروگراف است که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$t_1 = \frac{l^{0.8}(S+1)^{0.7}}{781.64y^{0.5}} \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

که در آن:

t_1 = زمان تأخیر به ساعت

l = طول بزرگترین آبراهه به متر

y = شیب متوسط حوضه به درصد

S = نمایه‌ی نگه‌داشت آب در داخل حوضه که به شماره‌ی منحنی (CN) بستگی دارد.

مقدار S از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

رابطه‌ی (۱۰)

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

$$S = \frac{2540}{75} - 25.4 = 8.46(cm)$$

$$t_1 = \frac{6840^{0.8}(8.46+1)^{0.7}}{781.64 \times 14.08^{0.5}} = 1.92 \cong 1:55'$$

▪ تعیین زمان تمرکز حوضه از روی زمان تأخیر

$$t_c = 1.67t_1 \quad \text{رابطه‌ی (۱۱)}$$

$$t_c = 1.67 \times 1.92 = 3.20 \cong 3:12'$$

چون زمان تمرکز حوضه از ۶ ساعت کمتر است لذا طرح سیل بر اساس باران‌های ۶ ساعته استخراج می‌شود. حداکثر بارش‌های ۶ ساعته با دوره‌ی برگشت مورد نظر را می‌توان از روی حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته با همان دوره‌ی برگشت ($P_{24,T}$) از رابطه‌ی زیر به دست آورد (علیزاده، ۱۳۸۴ ص ۷۴۲).

$$P_{6,T} = \frac{P_{24,T}}{1.48} \quad \text{رابطه‌ی (۱۲)}$$

روابط شدت - مدت بارندگی‌ها با تناوب یا دوره‌ی برگشت آن‌ها تغییر می‌کند. هرچه دوره‌ی بازگشت طولانی‌تر باشد باید انتظار باران‌های شدیدتری را داشت. برای برآورد حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته با دوره‌های بازگشت مختلف از توزیع گامبل در نرم‌افزار Smada 6.0 استفاده شده است. ویژگی‌های حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته‌ی سقز در جدول شماره ۵ و همچنین نتایج برآورد حداکثر بارش‌های ۲۴ و ۶ ساعته با دوره‌های برگشت مختلف در جدول شماره ۶ آمده است.

جدول شماره (۵) ویژگی‌های حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته‌ی سقز

ویژگی	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد
ارزش	۰/۳۸	۱۵/۵۶	۴۱/۱۳	۸۶	۲۳	۴۵

جدول شماره (۶) مقادیر حداکثر بارش‌های ۲۴ و ۶ ساعته‌ی سقز با دوره‌های بازگشت مختلف

دوره‌ی بازگشت سال	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰
بارش ۲۴ ساعته به mm	۳۹/۰۲	۵۲/۳۱	۶۱/۱۱	۷۲/۲۳	۸۰/۴۸
بارش ۶ ساعته به cm	۲/۶۳	۳/۵۳	۴/۱۳	۴/۹	۵/۴

▪ ارتفاع رواناب که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Q_d = \frac{(P - 0.2.S)^2}{P + 0.8.S} \quad \text{رابطه‌ی (۱۳)}$$

▪ حداکثر دبی سیل برابر است با:

$$Q_p = \frac{0.208 \times A \times Q_d}{T_p} \quad \text{رابطه‌ی (۱۴)}$$

Q_p = دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)

A = مساحت حوضه (هکتار)

Q_d = ارتفاع رواناب (سانتیمتر)

T_p = زمان رسیدن دبی به اوج که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

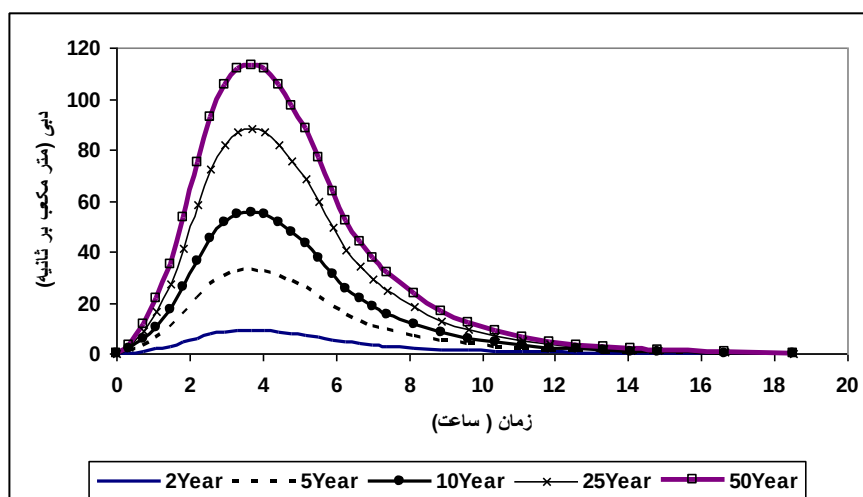
$$T_p = 0.6T_c + \sqrt{T_c} \quad \text{رابطه‌ی (۱۵)}$$

$$T_p = 0.6 \times 3.2 + \sqrt{3.2} = 3.70 \cong 3:42'$$

با استفاده از روابط بالا مقادیر حداکثر دبی سیل مسیل ولی‌خان با دوره‌ی بازگشت مختلف محاسبه شده‌است. نتایج در جدول شماره ۷ ارائه شده و با کمک ارقام به دست آمده هیدروگراف واحد مصنوعی سیل ترسیم شده است (شکل شماره ۳). محاسبات صورت گرفته فقط شامل محدوده‌ی مسیل تا ابتدای ورود به شهر است و حدود ۲ کیلومتر از مسیل در محدوده‌ی شهر قرار دارد. همچنان‌که ذکر شد باید قبل از ایجاد هر گونه تأسیساتی در حریم مسیل مطالعاتی در این زمینه صورت گیرد.

جدول شماره (۷) مقادیر حداکثر دبی سیل مسیل ولی خان با دوره های بازگشت مختلف

دوره ی بازگشت سال	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰
Qd (cm)	۰/۰۹	۰/۳۳	۰/۵۵	۰/۸۸	۱/۱۳
Qp (m ³ /s)	۹	۳۳/۰۲	۵۵/۰۳	۸۸/۰۵	۱۱۳/۰۷



شکل شماره (۳) هیدرو گراف واحد سیل مسیل ولی خان با دوره های بازگشت مختلف

نتیجه گیری

حوضه آبریز چم سقز که در شمال غربی کشور واقع شده است دارای شیب متوسطی در حدود ۱۴/۵۸ درصد است که شیب نسبتاً زیادی به حساب می آید و سیل خیزی منطقه را افزایش می دهد.

ارتفاع متوسط این حوضه آبریز برابر با ۱۸۰۸/۵ متر است. ارتفاع بلندترین نقطه ۲۶۸۵ متر و ارتفاع پایین ترین نقطه ۱۴۰۶ متر است. بیشترین وسعت ما بین خطوط منحنی میزان ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است. اقلیم کوهستانی آن باعث نزول ریزش های

جوی به صورت جامد می شود، ریزش‌ها برای مدتی در سطح زمین می‌مانند و به جریان سطحی نمی‌پیوندند. با شروع دوره‌ی گرم و افزایش دما همراه با باران‌های گرم، برف‌های انباشته شده ذوب می‌گردند و یکجا به رواناب سطحی می‌پیوندند و سیلاب‌های مخربی را به بار آورند.

یکی از ناهنجاری‌های قابل توجه و معنی‌داری که از بررسی روند بارش فصلی و ماهانه و مقایسه‌ی دوره‌ای فازهای بارش سقز دیده می‌شود، افزایش غیر معمول بارش‌های تابستانه در ماه‌های جولای و سپتامبر است. گرچه این تغییر باعث کاهش طول دوره‌ی خشک و افزایش دوره‌ی مرطوب می‌شود ولی این بارش‌ها بیشتر رگباری بوده و در بعد از ظهرها و اوایل شب اتفاق می‌افتند و خطر سیل را به وجود می‌آورند. افزایش سیل می‌تواند از تغییر توزیع فراوانی بارش‌های روزانه ناشی شده باشد.

بارش‌های تندری یکی از مهمترین پدیده‌های اقلیمی شمال غرب ایران محسوب می‌شوند. این نوع بارش‌ها در مواقعی از سال ضمن تأمین بخشی از آب مورد نیاز زراعی، بویژه در فصول گرم سال تأثیرات فاجعه‌باری بر روی محیط طبیعی، سیلاب‌های شدید، مردم و اقتصاد کشاورزی می‌گذارند. در سال‌های اخیر بر شمار روزهای تندری افزوده شده است روند تعداد روزهای تندری، با استفاده از آمار ایستگاه همدید سقز (۲۰۰۵-۱۹۶۱) آزمون شد. بررسی تغییرات درازمدت فراوانی این پدیده حاکی از افزایش زیاد تعداد روزهای تندری و به تبع آن ازدیاد فراوانی بارش‌های رگباری و ایجاد سیل در سال‌های اخیر است.

هیدروگراف شبیه‌سازی شده‌ی سیل با دوره‌های بازگشت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله‌ی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی چم سقز نشان می‌دهد که دبی پیک سیلاب پس از ۹ ساعت صورت می‌گیرد. سپس سیلاب فروکش کرده و پس از سپری شدن ۳۰ ساعت از شروع سیل جریان رودخانه به حالت طبیعی خود برمی‌گردد. با توجه به ویژگی‌های حوضه زمان اوج سیل کوتاه است و حوضه از پتانسیل سیل‌خیزی بالایی برخوردار است.

برای بررسی اثرات گسترش غیراصولی شهری بر سیل‌خیزی، هیدروگراف سیل با استفاده از روش SCS برای سال ۱۳۲۵ به عنوان دوره‌ی قبل از توسعه و سال ۱۳۷۵

(جدیدترین نقشه‌ی در دسترس)، به عنوان دوره‌ی بعد از توسعه ترسیم شد و پارامترهایی نظیر زمان تمرکز، زمان تأخیر و دبی اوج سیل هر دو دوره مقایسه و تحلیل گردید. در این بررسی نمایه‌ی نفوذ پذیری خاک CN متغیر وابسته است و برای هر دوره به دلیل تغییر نفوذپذیری خاک تغییر می‌کند و کلیه‌ی شرایط دیگر برای هر دو دوره ثابت در نظر گرفتیم. نتایج حاصل به شرح زیر است:

زمان تأخیر حوضه قبل از توسعه حدود دو ساعت (۱:۵۶) و سال ۱۳۷۵ یک ساعت و ده دقیقه است. یعنی بر اثر افزایش سطوح نفوذناپذیر زمان رسیدن اوج هیدروگراف ۴۰ دقیقه کمتر شده است و سیل در زمان کوتاهی به اوج می‌رسد.

زمان تمرکز حوضه سال ۱۳۲۵ حدود سه ساعت و ۱۲ دقیقه بوده ولی سال ۱۳۷۵ به یک ساعت و پنجاه و پنج دقیقه رسیده است و یک ساعت و هفت دقیقه کاهش یافته است و رواناب‌های ناشی از بارش در زمان کمتری جمع شده و جریان می‌یابند.

رواناب یا بارندگی خالص حاصل از یک رگبار ۵ میلیمتری که در مدت ۳۰ دقیقه‌ای در سال ۱۳۲۵ برابر با ۲/۴۵ میلیمتر و سال ۱۳۷۵ برابر با ۳/۸۸ میلیمتر می‌باشد.

دبی اوج حاصل از یک رگبار ۵ میلیمتری ۳۰ دقیقه‌ای به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک از ۳/۵۷ مترمکعب بر ثانیه در سال ۱۳۲۵ به ۹/۹۳ مترمکعب بر ثانیه در سال ۱۳۷۵ افزایش یافته است.

در سال‌های اخیر با رشد و توسعه‌ی ساخت و ساز در شهر، هر روز به حریم طبیعی مسیل تجاوز شده تا جائیکه در بعضی از مقاطع از مسیل، آبراهه‌ای بسیار تنگ به وجود آمده است. برآورد سیلاب‌های درون‌شهری یکی از گام‌های اساسی برای تعیین ابعاد و مشخصات سامانه‌های جمع‌آوری و دفع سیلاب‌های شهری است. در بررسی میزان ارتفاع سیلاب شهری، به طور معمول دبی سیلاب با دوره برگشت ۲۵ ساله مدّ نظر قرار می‌گیرد در این راستا دبی سیلاب در مسیل ولی‌خان با دوره‌ی برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال محاسبه نمودیم. دبی سیلاب به ترتیب برابر بود با: ۹، ۳۳/۰۲، ۵۵/۰۳، ۸۸/۰۵ و ۱۱۳/۰۷ متر مکعب بر ثانیه. در بررسی‌ها و مشاهدات صورت گرفته در شهر توسعه‌ی ناهمگون و ناسازگار یعنی عدم توجه به ویژگی‌های طبیعی زمین نظیر شیب و

توپوگرافی و ساخت و سازهای بدون نقشه‌ی علمی و فنی نظیر مسدود نمودن مسیر مسیل‌های قدیمی و یا کاهش حریم آنها و نیز راه اندازی فعالیت‌های تجاری در بستر آنها به چشم می‌خورد و از همین روست که پاره‌ی از مشکلات هیدرولوژیکی شهر نظیر جمع شدن آب در داخل معابر و نبود سیستم زهکشی مناسب در برخی قسمت‌های شهر دیده می‌شود.

منابع و مآخذ

- ۱- اولی زاده، انور، ۱۳۸۴، بررسی و تحلیل روند گسترش توسعه‌ی فیزیکی و تعیین جهات بهینه‌ی توسعه‌ی شهر سقز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد به راهنمایی غلامعلی مظفری، دانشگاه یزد، مجتمع علوم انسانی، گروه جغرافیا
- ۲- تقوی، فرحناز و محمدی، حسین، ۱۳۸۵، روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳
- ۳- جعفری، فرهاد، ۱۳۷۶، آب و هواهای سیلابی، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، انتشارات آستان قدس، شماره ۳۶، مشهد
- ۴- جلالی، اروج، ۱۳۷۸، هیدرولوژی شهری، مورد مطالعه شهر تبریز، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد به راهنمایی مجید زاهدی، دانشگاه تبریز، دانشکده‌ی علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی
- ۵- خلیلی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴، پهنه‌بندی خطر سیل در بخشی از محدوده‌ی رودخانه‌ی زیارت در حوزه‌ی آبخیز شهری گرگان، مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره، چهارم
- ۶- رزاقی، ناصر و تیموری، حمید، ۱۳۸۵، اثرات توسعه‌ی شهری و هیدرولوژی، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب، تهران، (منتشرشده در <http://www.irncid.org/workshop>)
- ۷- ضیائی، حجت الله، ۱۳۸۰، اصول مهندسی آبخیزداری، چاپ اول، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد

- ۸- طاهری بهبهانی، محمدطاهر و بزرگزاده، مصطفی، ۱۳۷۵، سیلابهای شهری، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات معماری و شهرسازی ایران، چاپ اول، تهران
- ۹- علیزاده، امین، ۱۳۸۲، اصول هیدرو لوژی کاربردی، چاپ شانزدهم، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- ۱۰- میرزاپور و همکاران، ۱۳۸۲، تعیین مدل شدت سیل خیزی مناطق با استفاده از منابع محیطی در حوزه آبریز سقز چای، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۲
- ۱۱- یونسی، حجت الله و همکاران، ۱۳۸۶، بررسی خصوصیات سیلاب های شهری در مسیل های شهرستان خرم آباد و نقش آن در مدیریت سیلاب، (ناشر <http://www.civilica.ir>)

Zimmer, Christine Anne, 2006, *Low impact development practices for storm water management: implications for urban hydrology*, the faculty of graduate studies of the University of Guelph. Published heritage branch, Ottawa, Canada