هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۶، بهار ۱۳۹۵، صص ۵۴-۳۳
وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۰۵ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸

بررسي ويژگي‌هاي هيدروژئومورفولوژيک حوضه‌هاي آبريز کلان‌شهر تهران با تأکيد بر سيل‌خيزي

عزت الله قنواتی[1*]
امیر صفاری[2]
امیر کرم [3]
اسماعیل نجفی [4]
غلامحسین جهاندار[5]

چکیده

بررسی و شناخت عوامل و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک و چگونگی تأثیر آنها در مدیریت حوضه‌های آبریز در جهت کاهش خسارت ناشی از رخداد سیل، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. تحقیق حاضر، با هدف بررسی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران با تأکید بر سیل‌خیزی از طریق برآورد و بررسی خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبخیز مسلط بر کلان‌شهر تهران انجام گرفته است. در این مقاله، برای بررسی سیل‌خیزی حوضه، نقشه‌های ژئومورفولوژی منطقه‌ی تهران تحلیل و نقشه‌ی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک، ترسیم و نمودارهای دبی‌های حدبیشتر لحظه‌ای در ایستگاه‌های هیدومتری هفت‌حوض (درکه)، سولقان (کن)، پل تجریش (دربند) و قلاک (دارآباد) ترسیم شده است. این تحقیق با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، DEM ۳۰ متری منطقه‌ی D مورد مطالعه، عکس‌های‌هوایی سال۱۳۳۴ و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و با به کارگیری نرم‌افزارهای ArcGIS، WMS, FreeHand و Excel انجام گرفته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، به علت تأثیرات خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز مسلط بر کلان‌شهر تهران، از جمله، شکل حوضه‌ها، مساحت و طول کم آبراهه‌های اصلی، وجود اختلاف ارتفاع و شیب زیاد شمالی- جنوبی، فاصله‌ی کم بین حوضه دریافت و بخش خروجی حوضه‌ها و کوتاهی زمان تمرکز و مداخلات انسانی، رواناب‌های حاصل از بارندگی در مدت زمان اندک وارد پیکره‌ی شهری می‌گردد. نقشه‌ی HRUs حوضه‌های مورد مطالعه، نیز نشان‌دهنده‌ی تنوع زیاد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک بیشتر حوضه‌ها، به‌ویژه حوضه‌ی کن است. همچنین، بررسی نمودارهای داده‌های دبی حدبیشتر لحظه‌ای، نشان داد که در ایستگاه‌های هفت‌حوض و قلاک نوسان زیاد بوده و با توجه به پیشینه‌ی سیل‌خیزی در محدوده‌ی مورد مطالعه، به دلیل وضعیت و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز در بالادست، کلان‌شهر تهران به شدت متأثر از رخداد سیلاب است و این مخاطره پدیده‌ی همیشگی آن خواهد بود.

۱- دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران (نویسنده مسئول). Email: ezghanavati@yahoo.com
۲- دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.
۳- دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.
۴- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.
۵- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری.

کلمات کلیدی: هیدروژئومورفولوژی، حوضه‌های آبریز، کلان‌شهر تهران، سیل‌خیزی.

مقدمه

بررسی و شناخت ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌ها در زمینه‌ی مسایل مختلفی از جمله؛ تخمین آب‌دهی حوضه‌ها، پیش‌بینی روند سیلاب، مدیریت حوضه‌های آبریز در جهت کاهش خسارت ناشی از رخداد سیل، مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از سدها، احداث پل‌ها و سازه‌های تقاطعی و سایر پروژه‌های منابع آب و آبخیزداری حایز اهمیت می‌باشد. در بین مخاطرات طبیعی، سیلاب‌ها تهدیدآمیزتر از سایر مخاطرات در جهان هستند (هنونونین و همکاران[1]، ۲۰۱۰: ۲). علاوه بر عوامل انسانی، زمین‌شناسی و نوع سازندها، خاک، پوشش‌گیاهی، میزان و نوع بارش، شکل حوضه، شیب حوضه، وضعیت شبکه‌های زهکشی و ویژگی‌های رودخانه‌ای، از مهم‌ترین عوامل و پارامترهای هیدروژئومورفولوژیک هستند که در سیل‌خیزی حوضه‌ها نقش دارند. حوضه‌ی آبریز، به عنوان یک چارچوب و واحد ژئومورفولوژیک، در برگیرنده‌ی مورفوسیستم‌های رودخانه‌ای است که شوم[2] (۱۹۸۵) آن را منطقه‌ی وسیعی شامل زهکش‌های تقسیم شده در محل تجمع آب و رسوبات، مسیر کانال و دره‌های حوضه‌ی زهکش و منطقه‌ی نهشته‌گذاری رسوبات همچون اقیانوس‌ها تعریف می‌کند. به دلیل تبادلات انرژی و ماده‌ای که این حوضه‌ها در قلمرو خود دارند، می‌تواند به عنوان یک سیستم باز قلمداد گردند. گذشته از جریان تبادلات انرژی، ماده و اطلاعات در یک حوضه‌ی آبریز با محیط پیرامونش، الگو و وضعیت آرایش زهکش‌ها در یک حوضه نیز می‌تواند حاکی از حاکمیت قواعد و اصول سیستمی در آنها باشد (رامشت و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۴). در زمینه‌ی هیدروژئومورفولوژی حوضه‌های آبریز و سیل در سطح جهان و سطح ایران می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد:

توماس و بنسون[3] (۱۹۸۷) با استفاده از ۷۰ پارامتر جریان رودخانه‌ای و ۳۱ مشخصه‌ی حوضه‌های آبخیز به بررسی مهم‌ترین عوامل فیزیکی و اقلیمی مؤثر در مدل‌های منطقه‌ای سیلاب پرداخته‌اند. آنها نتیجه گرفتند که سطح حوضه، شاخص‌های ذخیره، مقدار نزولات جوی و شدت و تواتر آنها، تبخیر و تعرق و درجه‌ی حرارت مهم‌ترین مشخصه‌های یک حوضه‌ی آبخیز می‌باشند که می‌توانند در تدوین معادلات تناوب سیل حوضه نقش داشته باشند. کنی[4] (۱۹۹۰)، در مقاله‌ای به ارزیابی هیدروژئومورفیک مخاطره‌ی سیل در محیط‌های نیمه خشک (آریزونای آمریکا) پرداخته است. وی چهار منطقه‌ی خطر سیل بر اساس تحلیل‌های هیدروژئومورفولوژیک

1- Henononin et al.,
2- Schumm
3- Thomas and Benson
4- Kenny

را شناسایی کرد. نقشه‌ی مناطق خطر می‌توانند مبنای طرح‌های مدیریت سیل باشند و برای مهندسان و برنامه‌ریزان شهری بسیار مفید باشند.

فرناندز لاوادو و همکاران[1] (۲۰۰۷)، به بررسی روش ژئومورفولوژیک در ارتقاء نقشه‌های خطر سیلاب‌های ناگهانی در محدوده‌ی شهری جاکواران السالوادور پرداختند. ایشان در نهایت سه طبقه خطر (بسیار زیاد، زیاد و متوسط) با استفاده از انرژی سیل، ارتفاع آب و شدت جریان استنباط شده از بررسی‌های ژئومورفولوژیک و گزارشات میدانی را تشخیص دادند. بورگا[2] (۲۰۱۴)، در تحقیقی به بررسی پاسخ هیدروژئومورفیک به بارش‌های حدبیشتری، سیلاب‌های ناگهانی و جریان‌های گلی با هدف بررسی و مرور تحقیقات بین‌المللی و اروپایی جهت تهیه‌ی سیستم هشدار اولیه برای سیلاب‌های ناگهانی و جریان‌های‌گلی پرداختند. یمانی و عنایتی (۱۳۸۴)، در پژوهشی با عنوان ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی ارایه دادند که بر پایه‌ی روش تحلیلی و کمیت‌پذیری متغیرهای مؤثر در سیل‌خیزی به پهنه‌بندی و مقایسه‌ی خطر وقوع سیل در این حوضه‌ها پرداخته‌اند. امیدوار و کیانفر (۱۳۸۹)، با استفاده از ۲۸ پارامتر فیزیوگرافی، هیدرومتری، نفوذپذیری و اقلیم پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی را برای حوضه‌ی کنجانچم انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در بین این پارامترها عامل شکل با ضریب ویژه ۹/۷۵ بیشترین تأثیر را در بین سایر عوامل، در سیل‌خیزی حوضه دارد. عزتیان و دانش‌آموز (۱۳۹۱)، در مقاله‌ای با هدف تحلیل نقش پدیده‌های هیدروژئومورفولوژی در تعیین قابلیت‌های حوضه‌ی خیرآباد و بیان راهکارها و کاربری‌های در منطقه‌ی مورد مطالعه در چهارچوب محدودیت‌ها و قابلیت‌ها به منظور استفاده منطقی از منابع موجود با استفاده از روش حوضه‌ای، به بررسی عوامل فیزیوگرافی، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، آب و هواشناسی، خاک و پوشش‌گیاهی و بررسی‌های میدانی در حوضه، نقش بارز آب‌های جاری در تکوین و توسعه اشکال ژئومورفولوژی موجود در حوضه‌ی مورد نظر پرداختند. شفیعی (۱۳۹۲)، به بررسی عوامل هیدروژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب در حوضه‌های آبخیز را انجام داده است. وی بیان داشته که این عوامل به دو دسته تقسیم می‌شوند: یک دسته از این عوامل مربوط به ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی حوضه‌ها از لحاظ خصوصیات طبیعی و فیزیوگرافی حوضه‌ها می‌باشد و دسته‌ی دیگر این عوامل مربوط به تغییرات ژئومورفولوژیکی ناشی از عدم اعمال مدیریت صحیح حوضه‌ها می‌باشد.

بنی‌صفار و همکاران (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای به ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیکی حوضه‌ی آبریز فیره‌رود استان گیلان به منظور پایش مخاطره سیل پرداخته‌اند، ایشان در این مقاله ضمن بررسی، تفکیک و شرح هر کدام از عوامل ژئومورفولوژیکی مؤثر بر وقوع سیلاب، پارامترهای اصلی مانند مشخصات فیزیوگرافی، شیب،

1- Fernandez-Lavado et al.,
2- Borga et al.,

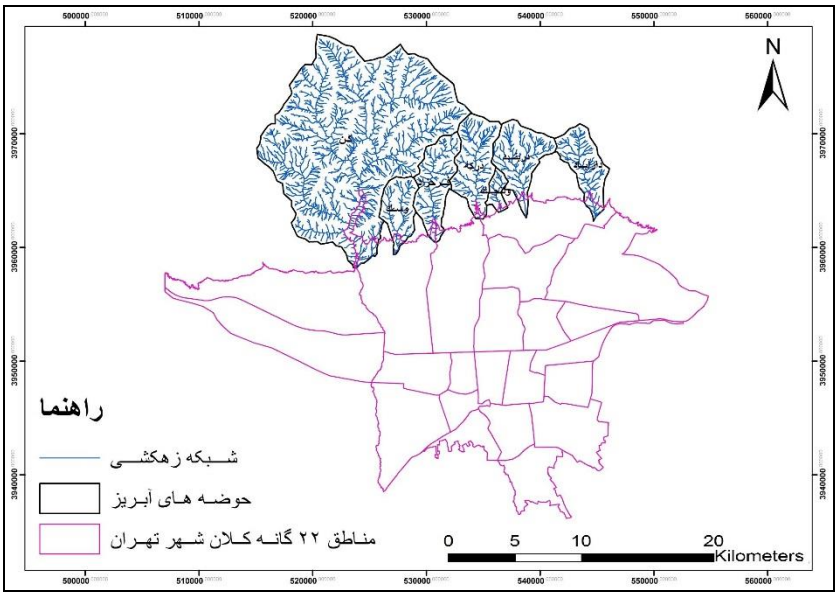
ارتفاع، پوشش گیاهی و... را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. همچنین از مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته در ارتباط با حوضه‌های آبریز و سیل‌خیزی در کلان‌شهر تهران می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد:

نتایج بررسی مقیمی و صفاری (۱۳۸۹)، نشان داد که تلفیق حوضه‌ها، تغییر مسیر آب‌های سطحی و تبدیل آنها به کانال‌های مصنوعی باعث افزایش آبدهی، به خصوص در دوره‌های بازگشت بالاتر شده و در نتیجه افزایش میزان مخاطره سیلاب‌های شهری را به دنبال دارد. قطع مسیر آبراهه‌های اولیه و ایجاد الگوی جدید آبراهه‌ای در قلمروی کلان‌شهر تهران بدون توجه به اصول و معیارهای ژئومورفولوژیکی انجام شده است. درفشی (۱۳۹۰)، در پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد خود به ارزیابی پتانسیل خطر، آسیب‌پذیری و ریسک سیلاب در این کلان‌شهر پرداخته که این ارزیابی با هدف ارتقای دیدگاه فهم جامع ریسک سیلاب تهران و تغییرات مکانی آن انجام گرفته است. قنواتی و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه‌ی فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی پرداخته‌اند. نتیجه‌ی پژوهش و نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری نشان‌دهنده‌ی انطباق نواحی با خطر بسیار بالا در پایین دست حوضه بر دره‌ی اصلی فرحزاد است. تحقیق حاضر با هدف شناسایی و بررسی ابعاد و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران با تأکید بر سیل‌خیزی، انجام گرفته است.

معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

بارش سالانه در محدوده‌ی تهران عمدتاً متأثر از تغییرات ارتفاعی محدوده‌ی شهر بوده و بین حدبیشتر ۴۲۲ میلی‌متر در شمال تهران تا ۱۴۵ میلی‌متر در جنوب شرق تهران متغیر است. در محدوده‌ی کلان‌شهر تهران، دمای سالانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه متغیر بوده و با توجه به ناهموار بودن محدوده‌ی شهر، میانگین سالانه در مناطق مختلف آن حدود ۳ درجه سانتی‌گراد اختلاف دما دارند (اطلس کلان‌شهر تهران، ۱۳۸۹). کلان‌شهر تهران بر روی رسوبات اخیر و کواترنر توسعه یافته است و نقشه‌های زمین‌شناسی مؤید این نکته‌اند که آبرفت‌های پلیوسن و کواترنری در دشت تهران گسترش یافته‌اند. سنگ بستر تهران از سازندهای دوران سوم تشکیل شده که در مناطق کوهستانی شمالی تهران رخنمون یافته‌اند و عمدتاً گدازه‌های آتشفشانی ائوسن محسوب می‌شوند رسوبات جوان‌تر روی این سنگ بستر قرار گرفته‌اند. مشخصه‌ی اصلی زمین‌شناسی تهران، قرار گرفتن آن بین توده‌ی عظیم رشته‌کوه البرز (متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی) و فلات ایران (متعلق به دوران چهارم زمین‌شناسی) است. مهم‌ترین نمود این مسأله وجود گسل‌های فعالی چون گسل مشاء، گسل شمال تهران و گسل ری است که موجب شده همواره زمین‌لرزه‌های خفیف و نامحسوسی در محل این گسل‌ها به وقوع بپیوندد. این گستره به سادگی می‌تواند به ۵ واحد توپوگرافیکی تقسیم شود: (۱) کوه‌ها؛ (۲) تپه‌ها؛

(۳) مخروط افکنه‌های آبرفتی قدیمی؛ (۴) مخروط‌افکنه آبرفتی جوان و (۵) دشت‌های آبرفتی. وضعیت توپوگرافی و به تبع آن شبکه هیدروگرافی تهران به نحوی است که کلیه‌ی نزولات جوی حوضه‌های آبخیز در یک سیستم آبراهه‌ای از شمال به جنوب در مناطق کوهستانی جریان داشته و پس از ورود به نواحی کم ارتفاع داخل شهر در دو جهت کلی جنوب شرقی (سیل برگردان شرق) و جنوب غربی (سیل برگردان غرب) ادامه مسیر داده و از شهر خارج می‌شود (صفاری، ۱۳۸۷). در کلان‌شهر تهران و دامنه‌های مسلط بر آن ۷ حوضه‌ی اصلی به ترتیب از غرب به شرق عبارتند از: کن، حصارک، فرحزاد، درکه، ولنجک، دربند و دارآباد وجود دارد که موقعیت آنها در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) نقشه‌ی حوضه‌های زهکشی مسلط بر کلان‌شهر تهران

مواد و روش‌ها

روش انجام تحقیق توصیفی-تحلیلی و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی سال۱۳۳۴ و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و با بکارگیری نرم‌افزارهای FreeHand، WMS و ArcGIS انجام گرفته است. در این تحقیق، بررسی ویژگی‌های فیزیوگرافیک (مساحت، محیط، طول‌حوضه، طول آبراهه اصلی، تراکم شبکه زهکشی، ارتفاع، حوضه، شیب حوضه، زمان تمرکز، نسبت طولی، مستطیل معادل و ضرایب شکل حوضه) حوضه‌های آبخیز مشرف بر کلان‌شهر تهران (به ترتیب از غرب به شرق: کن، حصارک، فرحزاد، درکه، ولنجک، دربند و دارآباد) از طریق نقشه‌های توپوگرافی

و ۳۰DEM متری منطقه و با بکارگیری نرم‌افزارهای WMS[1] و ArsGIS پرداخته شده است. در ادامه به توضیح این ویژگی‌ها و روابط مورد استفاده در آنها پرداخته شده است.

- **مساحت و محیط حوضه‌ها:** در تعیین حدبیشتر آبدهی حوضه‌ها در تحلیل داده‌های هیدروژئومورفولوژیکی یکی از پارامترهای مورد نیاز، مساحت حوضه‌های آبخیز می‌باشد. همچنین از محیط حوضه‌ها برای به دست آوردن برخی از پارامترهای فیزیوگرافیک حوضه‌ها، از قبیل ضریب فشردگی (ضریب گراویلیوس) استفاده می‌شود.

- **تراکم شبکه‌ی زهکشی:** این میزان تراکم نشان‌دهنده‌ی وضعیت شدت و ضعف رواناب و فرسایش در قسمت‌های مختلف حوضه می‌باشد و از طریق رابطه‌ی (۱) به‌دست می‌آید:

$$\mu = \frac{\sum Li}{A} \qquad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در رابطه‌ی Li: طول هر یک از آبراهه‌های حوضه بر حسب کیلومتر، A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و μ: تراکم شبکه‌ی رودخانه‌های حوضه بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع. شایان ذکر است که هر چه تراکم شبکه زهکشی بزرگ‌تر باشد، بده اوج و حجم سیلاب افزایش می‌یابد.

- **شاخص‌های شکل حوضه:** این شاخص در بررسی‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد و درک عمیق‌تری از روابط بین عوامل مورفولوژیک، هیدرولوژیک، ژئومورفولوژی و همچنین نحوه‌ی کارکرد فرآیندها را فراهم سازد (زاهدی و بیاتی‌خطیبی، ۱۳۸۹: ۵۳).

- **ضریب شکل حوضه یا ضریب هورتون**[2]: شاخص ضریب شکل بر اساس روش هورتون برای همه‌ی حوضه‌های محدوده‌ی مورد مطالعه از طریق رابطه‌ی (۲) محاسبه شده است. ضریب شکل حوضه عبارت است از؛ نسبت عرض متوسط حوضه به طول آن است. به عبارت دیگر از نسبت مساحت حوضه به مجذور طول حوضه به دست می‌آید.

$$FF = \frac{A}{L^2} \qquad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

در رابطه‌ی (۲)، A مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع و L طول حوضه بر حسب کیلومتر می‌باشد.

1- Watershed Modeling System
2- Horton

هر چه حاصل کسر به عدد یک نزدیک‌تر باشد، شکل حوضه به شکل مربع یا قیفی شکل شبیه‌تر و خطر سیلاب بیشتر خواهد بود و هر چه عدد یک کوچک‌تر شود، نشان‌دهنده‌ی کشیدگی حوضه و پایین بودن خطر سیلاب آن است.

- **ضریب فشردگی**[1] (ضریب گراویلیوس[2]): این ضریب توسط استرالر در سال ۱۹۴۶ ارایه شده و عبارت است از؛ نسبت بین محیط حوضه و محیط دایره‌ای فرضی که مساحت آن با مساحت حوضه برابر است و از طریق رابطه‌ی (۳) بدست می‌آید:

$$C = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$ رابطه‌ی (۳)

در این رابطه A و P به‌ترتیب مساحت و محیط حوضه برحسب کیلومترمربع و کیلومتر می‌باشند.

این ضریب برای حوضه‌های گرد نزدیک به عدد یک و برای حوضه‌های کشیده بین عدد ۱/۵ تا ۲/۵ می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۴۶۸). هر چه حوضه‌ای دایره‌ای شکل باشد، زمان تمرکز حوضه کمتر و لذا پیک سیلاب بالاتر خواهد بود.

- **ضریب دایره‌ای** (ضریب میلر[3]): این ضریب نشان‌دهنده‌ی نسبت بین مساحت حوضه و مساحت دایره‌ای فرضی است که محیط آن مساوی محیط حوضه می‌باشد. این ضریب در سال ۱۹۵۳ توسط میلر به صورت رابطه‌ی زیر ارایه شده است :

$$Rc=12.56A/P2$$ رابطه‌ی (۴)

در رابطه‌ی (۴): A= *مساحت حوضه و P= مساحت دایره‌ای فرضی که محیط آن مساوی محیط حوضه باشد*

این ضریب همواره کمتر از یک بوده و در حوضه‌های دایره‌ای به یک نزدیک می‌شود. هر چه این شاخص به صفر نزدیک‌تر شود کشیدگی حوضه نیز بیشتر می‌شود.

- **مستطیل معادل:** مستطیل معادل نمایش‌دهنده‌ی حوضه‌ی آبریزی است که محیط آن به شکل مستطیل تغییر یابد ولی مساحت آن به شکل مستطیل تغییر یابد ولی مساحت آن برابر مساحت حوضه باشد. به عبارت دیگر، مستطیل معادل دارای سطح، محیط و ضریب گراویلیوس مساوی حوضه‌ی اصلی است (علیزاده، ۱۳۸۵: ۴۸۴). برای برآورد طول و عرض مستطیل معادل از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود:

1- Compactness Coefficient
2- Gravelius
3- Miller

$$L = \frac{C\sqrt{A} + \sqrt{C^2A - 1.2544A}}{1.12} \quad \text{رابطه‌ی (۶ و ۵)}$$
$$B = \frac{C\sqrt{A} - \sqrt{C^2A - 1.2544A}}{1.12}$$

در رابطه‌ی (۵ و ۷) L و B : به ترتیب طول و عرض مستطیل معادل بر حسب کیلومتر مربع، A : مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع و C : ضریب گراویلیوس می‌باشد.

- **نسبت طول(روش شوم**[1]): در این روش از نسبت قطر دایره‌ی هم سطح با حوضه‌ی آبریز (D) به بلندترین طول آن (L) استفاده می‌شود، (R=D/L). در این روش هرچه R به عدد یک نزدیک‌تر باشد شکل حوضه به حالت دایره‌ای نزدیک‌ترمی‌شود.

$$R=D/L \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

- **زمان تمرکز**[2]

زمان تمرکز در واقع زمانی است که قطره‌ی آب لازم دارد تا مسیر خود را از نقطه‌ی آغازین شروع و در نهایت طی کند و به نقطه‌ی تمرکز برسد. معمولاً در حوضه‌های دایره‌ای شکل زمان تمرکز کوتاه‌تر بوده و زمان عکس‌العمل را برای مقابله با سیل را کمتر می‌کند، ولی در حوضه‌های کشیده با توجه به زمان تمرکز بیشتر، فرصت بیشتری برای اقدامات پیشگرانه وجود دارد. روش مورد استفاده برای محاسبه‌ی زمان تمرکز در این تحقیق، روش کرپیچ است.

$$tc = 0.949(l^3/h)^{.385} \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

که در رابطه‌ی (۸) TC؛ زمان تمرکز برحسب ساعت، L؛ طول مسیر حرکت آب در داخل حوضه (متر) H؛ اختلاف ارتفاع بین نقطه‌ی ورودی و خروجی می‌باشد.

- **توزیع ارتفاعی حوضه‌ها:** جهت بررسی توزیع ارتفاعی حوضه‌های مسلط بر کلان‌شهر تهران، از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی حوضه‌ها و از طریق نقشه‌ی رقومی ارتفاع منطقه (DEM) و نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است.

برای ترسیم نقشه‌ی ژئومورفولوژی کلان‌شهر تهران از عکس‌های هوایی سال۱۳۳۴ (قبل از توسعه و گسترش شهر)، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه و نرم‌افزارهای Ars GIS و FreeHand استفاده شده است. سپس در این تحقیق برای نشان دادن پیچیدگی‌ها و تنوع واحدهای ژئوموفولوژیک، اقدام به تهیه و تحلیل نقشه‌ی واحدهای پاسخ هیدولوژیک (HRUs) محدوده‌ی مورد

1- Schumm
2- Time of Concentration

مطالعه گردید. HRUs با استفاده از متغیرهای توپوگرافیکی، مانند ارتفاع، شیب و جهت شیب و متغیرهای جغرافیایی مانند، نوع خاک، پوشش گیاهی و توزیع بارش مشخص می‌شوند (پراساد[1]، ۲۰۰۴). به طور کلی مناطق با زمین‌شناسی یا نوع خاک، شیب و کاربری اراضی مشابه در داخل یک زیرحوضه، تشکیل یک واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU) می‌دهند، که این واحد پایه‌ی محاسباتی، پاسخ هیدرولوژیک همگنی به تغییر پوشش اراضی می‌دهد و می‌توان آن را به عنوان یک زیر حوضه در نظر گرفت (نجفی، ۱۳۹۴). در این پژوهش با استفاده از لایه‌های رستر زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار ArcGIS اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی HRUs حوضه‌های مورد مطالعه گردید.

در این تحقیق نمودار داده‌های دبی حدبیشتر لحظه‌ای، مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری هفت‌حوض (درکه)، سولقان (کن)، پل تجریش (دربند) و قلاک (دارآباد) با استفاده از نرم‌افزار Excel تهیه و تحلیل شده است.

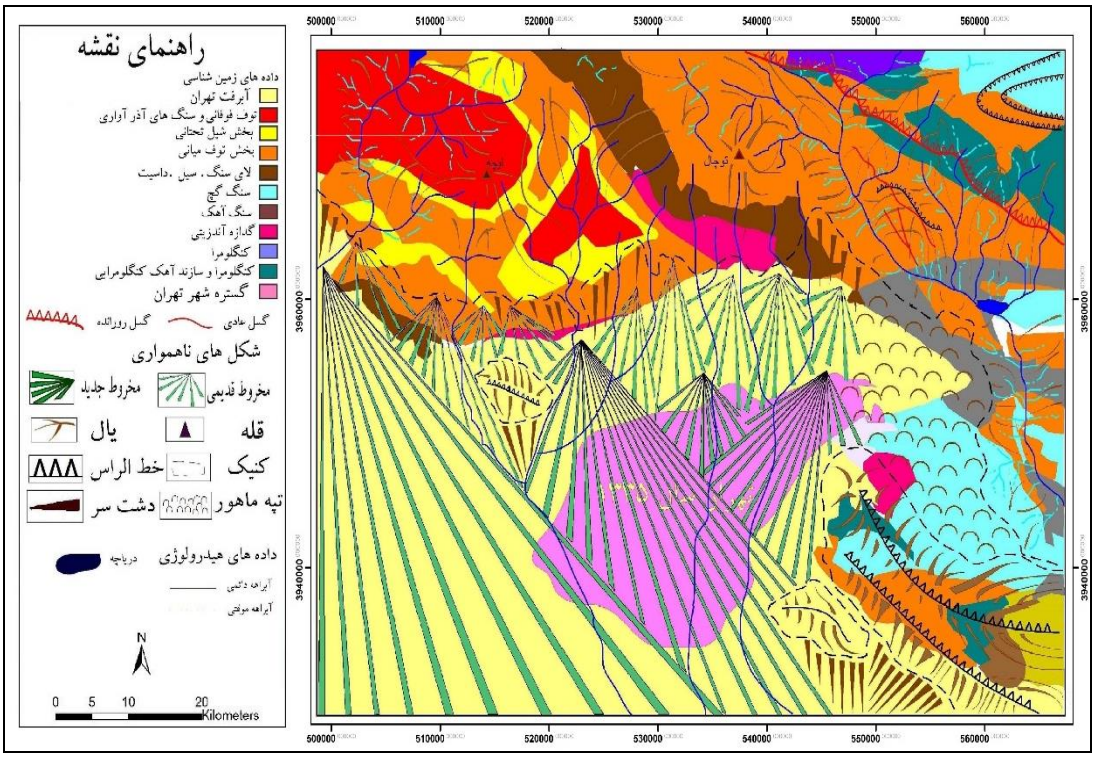
بحث و نتایج

تهیه و تحلیل نقشه‌ی ژئومورفولوژی محدوده‌ی مورد مطالعه

در محدوده‌ی مورد مطالعه عوارض ساختمانی و سنگ‌شناسی، قله‌ها دیواره‌ها و تیغه‌های سنگی، تیغه‌های بریده کم‌ارتفاع، پرتگاه‌های سنگی، دامنه‌های منظم و نامنظم، تپه‌ها و بیرون‌زدگی‌های سنگی و توده‌ی سنگی، دره‌ها و پرتگاه‌های گسلی، اشکال یخچالی (سیرک یخچالی قدیمی و یخرفت‌ها) در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای وجود دارند. همچنین مخروط افکنه‌های قدیم و جدید (باهادای تهران)، پادگانه‌های آبرفتی و دشت‌آبرفتی، دره‌های U یا V شکل، تپه ماهور، دشت‌سر، سیستم شکل‌زایی فرآیندهای ناشی از ذوب برف و یخ، تخریب فیزیکی به صورت متلاشی شدن بر اثر تغییرات دما، هوازدگی شیمیایی، انحلال، ریزش، زمین لغزش، وقوع جریان‌های گلی و سولیفولوکسیون و مخروط واریزه‌ای نیز در محدوده‌ی مورد مطالعه دیده می‌شود. همانطوری که در نقشه ژئومورفولوژی منطقه تهران مشاهده می‌گردد (شکل۲)، بخش گسترده‌ای از کلان‌شهر تهران بر روی مخروط‌افکنه‌ها و نهشته‌های آبرفتی بهم پیوسته موسوم به باهادای تهران توسعه یافته است. با توجه به روند توسعه‌ی کالبدی این شهر در دهه‌های اخیر، پیشروی به سمت ارتفاعات (خط کنیک)، تجاوز و ساخت‌وساز در حریم مسیل‌ها، تغییر ماهیت و کاربری باهادای تهران و ایجاد سطوح نفوذناپذیر و آسفالته، اقدام به شهرسازی و احداث راه‌های ارتباطی، اتوبان، بزرگراه و پل‌های متعدد گردیده است. چنین

1- Prasad

اقداماتی می‌تواند منجر به ریسک سیلاب و بروز مخاطراتی همچون حرکات دامنه‌ای، فرونشست زمین و ایجاد خسارات جانی و مالی فراوان گردد که نیازمند توجه جدی می‌باشد.



شکل (۲) نقشه‌ی ژئومورفولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه

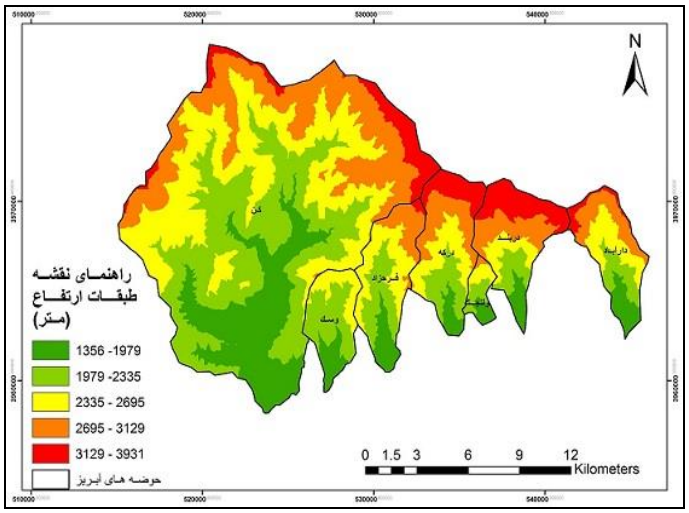
بررسی ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوضه‌های کلان‌شهر تهران

با توجه به نتایج بررسی ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوضه‌های کلان‌شهر تهران که در (جدول۱) آورده شده است، بیشترین مساحت و محیط مربوط به حوضه‌ی آبریز کن و کمترین میزان محیط و مساحت مربوط به حوضه‌ی آبریز ولنجک است، که نشان دهنده‌ی سیل‌خیز بودن حوضه‌ی ولنجک است. همچنین با توجه به اینکه هرچه تراکم شبکه‌ی زهکشی بزرگ‌تر باشد، بده اوج و حجم سیلاب افزایش می‌یابد، با توجه به محاسبات انجام شده حوضه‌ی دارآباد دارای بیشترین و حوضه‌ی وسک دارای کمترین تراکم زهکشی است. از نظر شکل حوضه، هرچه مقدار به دست آمده به عدد یک نزدیک‌تر باشد، شکل حوضه به شکل مربع یا قیفی شکل شبیه‌تر و خطر سیلاب بیشتر خواهد بود و هر چه عدد کوچک‌تر از یک شود، نشان دهنده‌ی کشیدگی حوضه و پایین بودن خطر سیلاب آن است. مقدار ضریب شکل همه‌ی حوضه‌های مسلط بر کلان‌شهر تهران در جدول (۱) آورده شده است، که طبق آن بیشترین ضریب شکل هورتون مربوط به حوضه‌ی کن (۰/۴۸) و کمترین ضریب مربوط به حوضه‌ی فرحزاد (۰/۲۳) می‌باشد، که نشان دهنده‌ی سیل‌خیز بودن حوضه‌ی کن

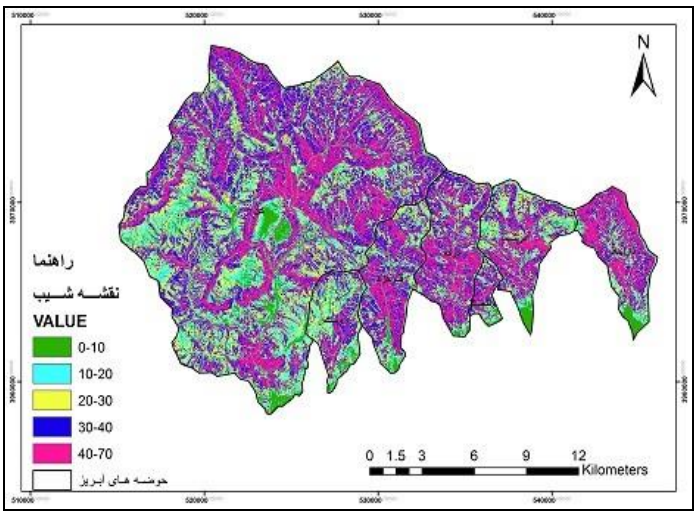
نسبت به سایر حوضه‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه است. هر چه حوضه‌ای گردتر باشد، زمان تمرکز حوضه کمتر و لذا پیک سیلاب بالاتر خواهد بود، لذا بیشترین ضریب فشردگی مربوط به حوضه‌ی وسک (۱/۴۳) و کمترین ضریب مربوط به حوضه‌ی فرحزاد (۱/۲۷) می‌باشد. از نظر ضریب دایره‌ای، هر چه این شاخص به صفر نزدیک‌تر شود کشیدگی حوضه نیز بیشتر می‌شود. طبق جدول (۱) بیشترین ضریب دایره‌ای مربوط به حوضه‌ی درکه (۰/۷۳) و کمترین ضریب مربوط به حوضه‌ی وسک (۰/۴۹) می‌باشد، که نشان دهنده‌ی احتمال سیل‌خیزی بیشتر در حوضه‌ی درکه است. طبق نتایج به دست آمده، بیشترین زمان تمرکز مربوط به حوضه‌ی کن (۹۴ دقیقه) و کمترین ضریب مربوط به حوضه‌ی ولنجک (۱۸دقیقه) می‌باشد. با توجه به کوتاهی زمان تمرکز در بیشتر حوضه، پس از هر بارش رگباری باید شاهد رخداد سیلاب و آبگرفتگی خیابان‌ها و معابر در کلان-شهر تهران بود.

ارتفاع حوضه از سطح دریا نشان دهنده‌ی موقعیت اقلیمی آن حوضه است. نتایج بررسی توزیع ارتفاعی حوضه‌های مسلط بر کلان‌شهر تهران، در شکل (۳) آورده شده است، طبق آن، هر چه به سمت شمال حوضه‌ها پیش رویم بر میزان ارتفاع افزوده می‌گردد. حداقل ارتفاع حوضه‌ها ۱۳۵۶متر و حد بیشتر آنها ۳۹۳۹ متر می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی اختلاف ارتفاع زیاد بین سرشاخه حوضه‌ها و نقاط خروجی آنها می‌باشد که می‌تواند علاوه بر تأثیر بر بارش بیشتر به صورت برف، به دلیل اثرگذاری شیب و اختلاف ارتفاع زیاد، به کوتاهی زمان تمرکز و سیل‌خیزی در منطقه‌ی مورد مطالعه کمک کند. همان‌طوری که در شکل‌های (۴و۵) آمده است، هر چه به سمت شمال حوضه‌ها پیش رویم بر میزان شیب افزوده می‌گردد. شیب در حوضه‌ها بین صفر تا ۷۱ درصد می‌باشد. به طوری که خط‌القعرها کم شیب‌تر و دامنه‌های دارای شیب بیشتری می‌باشند و بیشترین مساحت حوضه‌ها را شیب‌های ۳۰ تا ۷۱ درصد در بر گرفته است. از نظر جهات شیب را جهات جنوبی و جنوب غرب و جنوب شرق تشکیل می‌دهد. از نظر، طول حوضه و طول آبراهه اصلی، حوضه‌های آبریز مسلط بر کلان‌شهر تهران دارای طول‌کوتاهی هستند و با توجه به شیب زیاد و اختلاف ارتفاع زیاد، می‌توانند خطر سیلاب را تشدید کنند. بیشترین و کمترین طول حوضه و طول آبراهه اصلی، مربوط به حوضه‌های کن و ولنجک است.

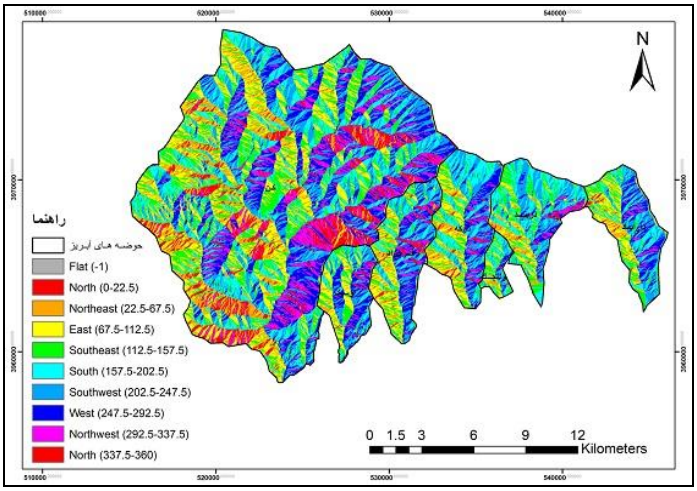
در نهایت می‌توان گفت ویژگی‌های فیزیوگرافیک، به ویژه مساحت و محیط کم حوضه‌های آبریز مسلط بر کلان‌شهر تهران، کوتاهی آبراهه اصلی و وجود اختلاف ارتفاع و شیب زیاد، به شدت بر شکل هیدروگراف و کوتاهی زمان تمرکز در رودخانه‌های واقع در حوضه‌های مورد بررسی، تأثیرگذار است و به تشدید رخداد سیلاب در کنار سایر ویژگی‌های محیطی و دخالت‌های انسانی در حوضه‌ها کمک می‌کند.



شکل(۳) نقشه‌ی توزیع ارتفاعی حوضه‌های مورد مطالعه



شکل (۴) نقشه‌ی شیب حوضه‌های مورد مطالعه



شکل(۵) نقشه‌ی جهات شیب حوضه‌های مورد مطالعه

جدول (۱) مشخصات فیزیوگرافیک حوضه‌های کلان‌شهر تهران

مشخصات حوضه‌ها	مساحت (KM)	محیط (KM)	طول حوضه (KM)	طول آبراهه اصلی (KM)	تراکم شبکه زهکشی	حداقل ارتفاع (متر)	حدبیشتر ارتفاع (متر)	ارتفاع متوسط (متر)
کن	۲۱۰/۳	۶۶/۸۳	۲۱	۱۲/۷	۲.۸۷	۱۳۰۰	۳۷۵۰	۲۲۸۳
وسک	۱۴/۹	۱۷/۵۲	۷	۷/۳	۲.۶۱	۱۵۵۰	۲۷۵۰	۲۱۸۱
فرحزاد	۲۳	۲۴/۴۱	۹/۷	۱۱/۱	۲.۷۵	۱۵۵۰	۲۷۵۰	۲۴۰۸
درکه	۲۵.۴	۲۴/۱۲	۹/۵	۱۰/۱	۲.۹۳	۱۱۳۰	۲۷۰۰	۲۶۸۵
ولنجک	۴/۵	۱۰/۳۲	۴	۴/۳	۲.۷۹	۱۷۵۰	۲۹۴۰	۲۲۴۰
دربند	۲۳/۱	۲۳/۶۷	۸/۸	۷/۲	۲.۹۹	۱۶۰۰	۳۹۰۰	۲۸۷۰
دارآباد	۱۹/۳	۲۱/۵۶	۸/۷	۷/۴	۳.۱	۱۵۸۵	۳۵۳۰	۲۵۷۱

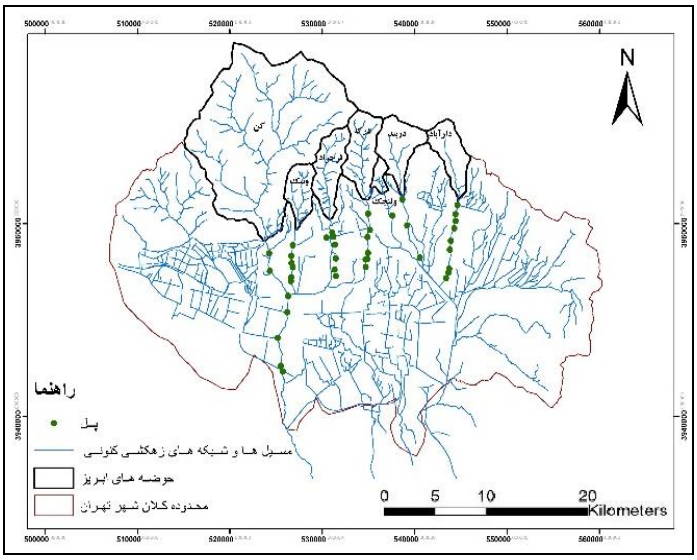
ادامه‌ی جدول (۱) مشخصات فیزیوگرافیک حوضه‌های کلان‌شهر تهران

مشخصات حوضه‌ها	ارتفاع غالب (متر)	شیب حوضه (درصد)	زمان تمرکز (دقیقه)	نسبت طولی (روش شیوم)	مستطیل معادل طول (KM)	مستطیل معادل عرض (KM)	ضریب هورتون	ضریب فشردگی (گراویلیوس)	ضریب دایره‌ای (میلر)
کن	۲۱۵۰	۵۸/۱۸	۹۴	۶۶/۸۳	۳۷/۲۴	۵/۵۷	۰/۴۸	۱/۲۹	۰/۶۲
وسک	۲۲۵۰	۶۵	۳۵	۱۷/۵۲	۸/۵۳	۱/۷۲	۰/۳۰	۱/۲۷	۰/۴۹
فرحزاد	۲۴۵۰	۶۱	۴۵	۲۴/۴۱	۱۱/۲۵	۱/۷۱	۰/۲۳	۱/۴۳	۰/۵۶
درکه	۲۶۵۰	۶۴/۶۰	۳۹	۶۹/۲۱	۱۲/۶۷	۱/۹۳	۰/۲۹	۱/۳۴	۰/۷۳
ولنجک	۲۳۵۰	۵۸/۱۰	۱۸	۱۰/۳۲	۴/۶۱	۰/۷۱	۰/۲۹	۱/۳۶	۰/۵۴
دربند	۲۹۵۰	۵۹/۶۰	۳۵	۲۳/۶۷	۱۰/۵۳	۱/۹۵	۰/۳۰	۱/۳۸	۰/۵۳
دارآباد	۲۴۵۰	۶۶/۷۰	۳۷	۲۱/۵۶	۹/۷۹	۱/۷۰	۰/۲۶	۱/۳۷	۰/۵۳

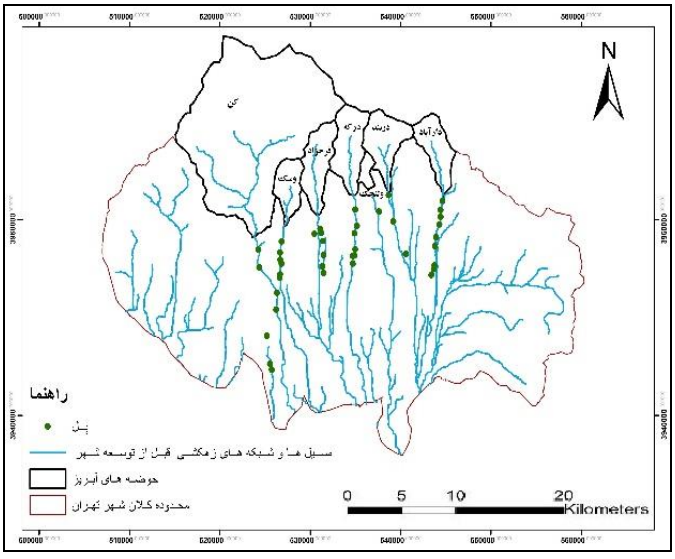
کلان‌شهر تهران به عنوان پهنه‌ای با تمرکز جمعیت فراوان و توسعه طرح‌های عمرانی در آن، زهکش‌های فراوانی را از ارتفاعات شمالی خود دریافت می‌دارد. تعداد ۷ رودخانه، رواناب‌های حاصل از بارندگی‌های دوره‌ی سرد سال را از دامنه‌های جنوبی البرز زهکشی نموده و به طور مستقیم وارد شهر تهران می‌کنند. غالب این حوضه‌ها و رودخانه‌ها سیل‌خیز هستند، چرا که به علت اختلاف ارتفاع و شیب شمالی- جنوبی، فاصله بین حوضه دریافت و بخش خروجی آنها اندک بوده و رواناب‌های حاصل از بارندگی در مدت زمان کمی وارد پیکره شهری می‌گردند. از نظر وسعت، این حوضه‌ها نیز جزو حوضه‌های کوچک محسوب می‌گردند، بنابراین، عکس‌العمل آنها نسبت به بارش‌های کوتاه‌مدت و تبدیل آنها به سیلاب زیاد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که هرچه از جنوب تهران به سمت شمال و حوضه‌های آبریز پیش رویم بر میزان ارتفاع و شیب افزوده می‌گردد و در حوضه‌های آبریز هم وضع بدین صورت است که می‌تواند بر سرعت رواناب بیفزاید و در کنار سایر ویژگی‌های فیزیوگرافیک (به ویژه مساحت و شیب و شکل حوضه‌ها) زمان رسیدن به دبی پیک را کاهش داده و بر احتمال سیل‌خیزی بیفزاید. با توجه به اینکه در همه‌ی ۷ حوضه‌ی مورد مطالعه، شاخص‌های مربوط به

شکل حوضه‌ها (گراویلیوس، هورتون و میلر) نشان‌دهنده‌ی شکل دایره‌ای و کوتاهی زمان تمرکز است، می‌توان استنباط کرد با توجه به سابقه‌ی سیل‌خیزی در منطقه‌ی تهران (از جمله سیلاب ۴ مرداد ۱۳۶۶ که در مناطق شمیران و مناطق شمالی تهران) به دلیل، دخل و تصرف در حریم و بستر مسیل‌ها، ایجاد حوضه‌های تلفیقی و احداث و مکان‌یابی نامناسب سازه‌های تقاطعی از جمله پل‌های متعدد، انتظار سیل‌خیزی و تخریب چنین سازه‌هایی دور از انتظار نیست و در سال‌های اخیر حوادثی از جمله آب گرفتگی متروی تهران، تخریب پل بزرگراه آزادگان بر رودخانه کن شاهدی بر این مدعی است. همانطوری که نقشه‌ی ژئومورفولوژی نشان می‌دهد بخش گسترده‌ای از کلان‌شهر تهران بر روی مخروط‌افکنه‌ها و نهشته‌های آبرفتی بهم پیوسته موسوم به باهادای تهران توسعه‌یافته است. با توجه به روند توسعه کالبدی این شهر در دهه‌های اخیر، پیشروی به سمت ارتفاعات (خط کنیک)، تجاوز و ساخت و ساز در حریم مسیل‌ها، تغییر ماهیت و کاربری باهادای تهران و ایجاد سطوح نفوذناپذیر و آسفالته، اقدام به شهرسازی و احداث اتوبان، بزرگراه و پل‌های متعدد گردیده است. چنین اقداماتی می‌تواند منجر به بروز مخاطراتی همچون سیلاب و ایجاد خسارات جانی و مالی فراوان گردد، که نیازمند توجه جدی می‌باشد. همزمان با گسترش و توسعه‌ی فیزیکی کلان‌شهر تهران در چند دهه‌ی اخیر، با احداث بزرگراه‌ها و پل‌های متعدد، تغییر کاربری اراضی و تغییر ماهیت لندفرم‌های ژئومورفولوژیک (مخروط‌افکنه‌های متعدد قدیم و جدید (باهادای تهران)، دامنه‌های پایکوهی، دشت‌های سیلابی و آبرفتی، پادگانه‌های رودخانه‌ای، تپه ماهورها، مسیل‌ها و رود-دره‌های)، ساخت و ساز و تجاوز به حریم مسیل‌ها، کاهش عرض و تبدیل آنها به کانال‌های بتنی و در نهایت حوضه‌های تلفیقی ایجاد شده است. در شکل‌های (۶ و ۷) که در آنها مسیل‌ها و کانال‌های کنونی و قبلی کلان‌شهر تهران نمایش داده شده است، در بیشتر این مسیل‌ها در سرشاخه و بالادست نیمرخ طولی دست نخورده باقی مانده است، ولی هر چه به سمت پایین دست (منطقه‌ی شهری) پیش رویم، بر میزان تغییر هم از نظر طولی و هم از نظر عرضی افزوده شده و به کانال‌های زیرزمینی و بتونی تبدیل شده و در نهایت وارد کانال‌های سیل برگردان‌های غرب و شرق می‌شوند. در نقشه کانال‌ها و مسیل‌های مربوط به قبل از توسعه فیزیکی کلان‌شهر تهران، مسیل‌ها و رودخانه‌ها شمالی-جنوبی، طبیعی و دست نخورده و دارای بستر عرض بوده‌اند ولی در دهه‌های اخیر، بیشتر مسیل‌های شهری مورد دخل و تصرف و تغییرات عمده هم به صورت کانالیزه شدن و کاهش عرض و هم اینکه به صورت بتنی درآمده‌اند که امکان نفوذ آب در آنها وجود ندارد که این خود می‌تواند منجر به افزایش سرعت و قدرت و در نتیجه آب گرفتگی شود. به‌طور کلی بیشترین تغییرات در محدوده‌ی مرکزی شهر رخ داده است و در مناطق شمالی شهر اقدام به ایجاد حوضه‌های تلفیقی و از بین بردن و قطع روند شمالی - جنوبی مسیل‌ها و رود - دره‌ها شده است. وقوع بارش‌های رگباری، وجود شیب شمالی - جنوبی و اختلاف ارتفاع زیاد، به همراه کم

توجهی به بررسی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران منجر به بروز سیلاب و ایجاد خسارات مالی و جانی و سلب آسایش شهروندان گردیده است که مواردی از آنها ذکر گردید. در سال‌های اخیر پل کن در جاده قدیم کرج در اثر بارش‌های اواخر آبان ماه سال ۱۳۹۱ ریزش کرد و متروی تهران نیز دچار آب‌گرفتگی شد. همچنین بر اثر بارندگی و سیل عصر یکشنبه ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴تهران در سولقان کن، منجر به خسارات جانی و مالی فراوانی گردید. هر چند این سیلاب خارج از محدوده کلان‌شهر تهران رخ داد، ولی می‌توان وقوع چنین سیلابی را به عنوان زنگ خطر برای کلان‌شهر تهران قلمداد کرد که می‌تواند منجر به مخاطره و خسارت گردد (شکل‌های ۸ تا۱۰).



شکل(۶) نقشه‌ی مسیل‌ها و کانال‌های قبل از توسعه‌ی فیزیکی کلان‌شهر تهران



شکل(۷) نقشه‌ی مسیل‌ها و کانال‌های کنونی

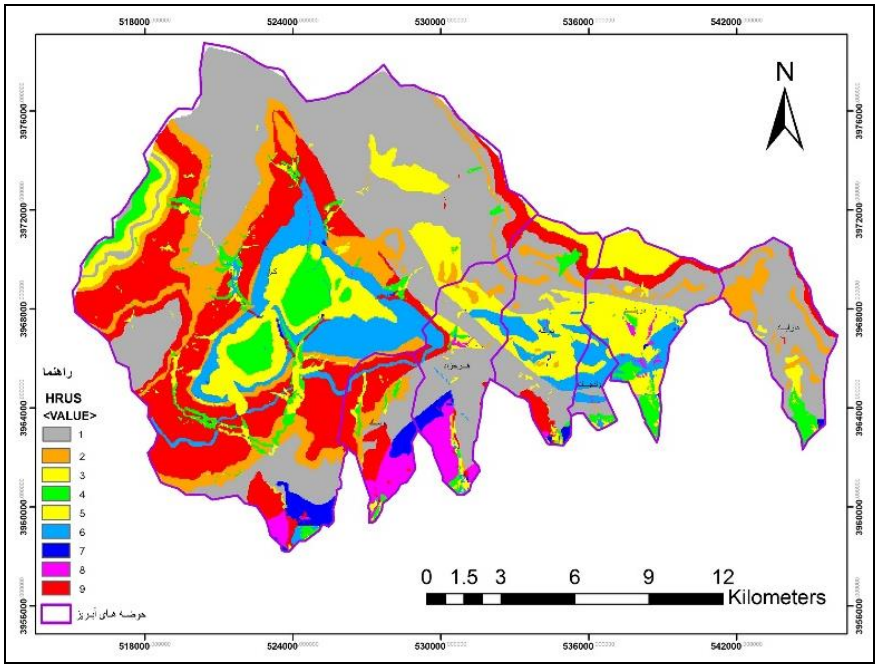
شکل(۸) سیل تجریش در چهارم مرداد ۱۳۶۶ و خسارات فراوان آن (وبلاگ شمران، ۱۳۹۳)

شکل(۹) ریزش پل در جاده‌ی قدیم کرج بر اثر سیلاب در آبان‌ماه سال ۱۳۹۱ (خبر گزاری مهر، ۱۳۹۱)

شکل(۱۰) خسارات سیل در ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ در سولقان کن (مشرق نیوز، ۱۳۹۴)

تهیه‌ی نقشه‌ی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU_S) محدوده‌ی مورد مطالعه

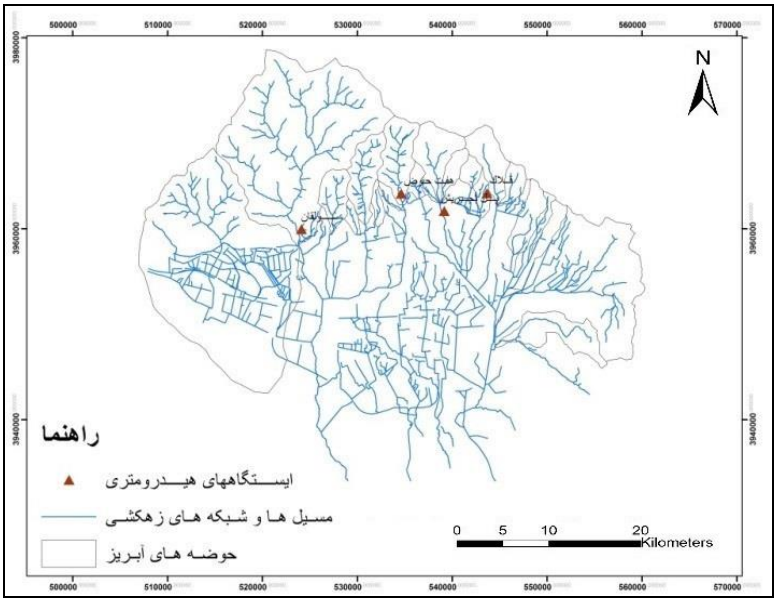
در این پژوهش با استفاده از لایه‌های رستر زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار GIS اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی HRU_S حوضه‌های مورد مطالعه گردید (شکل۱۱). طبق آن بیشتر حوضه‌ها، به ویژه حوضه‌ی کن دارای تنوع واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU_S) بیشتری هستند و در انجام پروژه‌های مرتبط با وضعیت سیل‌خیزی و فرسایش و رسوب حوضه‌های مورد مطالعه، باید مطالعات دقیق‌تری صورت گیرد تا از بروز مخاطرات در کلان‌شهر تهران و خسارات منتج از آنها جلوگیری گردد. بنابراین می‌توان استنباط کرد که هر چه حوضه‌ها دارای واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU_S) متنوعی باشند، به آسانی برآورد دبی و رواناب در آنها به دلیل تنوع در جنس سازندها و خاک، شیب و کاربری اراضی امکان‌پذیر نباشد، زیرا که دارای واحدهای پاسخ هیدرولوژیک متنوع می‌باشند که هر کدام می‌توانند دارای آستانه‌ی فرسایش، رسوب و دبی و سیل‌خیزی متفاوتی باشند. با توجه به نقشه‌ی به دست آمده در محدوده‌ی مورد مطالعه، بیشتر حوضه‌ها و به ویژه حوضه‌ی کن دارای چنین خصیصه‌ای می‌باشند. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد برای انجام پروژه‌های مهندسی و هیدرولوژیک از جمله مکان‌یابی کاربری مختلف و احداث پل‌ها در هر منطقه، ابتدا نقشه‌ی HRU_S منطقه تهیه شده و بسته به تنوع واحدهای آن، برآوردهای مختلفی صورت گردد تا ضمن درک پویایی محیط و ژئومورفولوژی منطقه، بتوان تحلیل جامع از ویژگی‌های محیطی آن به عمل آورد، تا ضمن کاهش هزینه‌ها، از بروز مخاطرات و خسارات بعدی و احتمالی کاست.



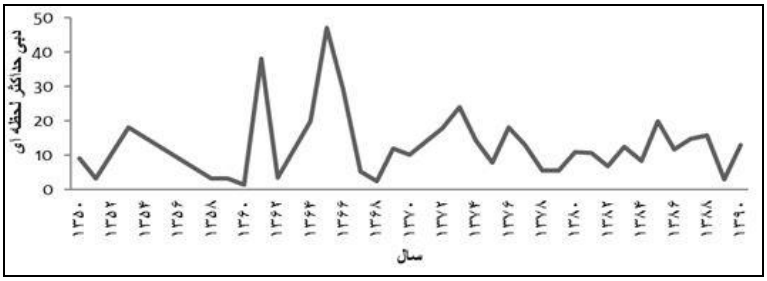
شکل (۱۱) نقشه‌ی HRU_S محدوده‌ی مورد مطالعه

بررسی دبی‌های حد بیشتر لحظه‌ای در محدوده‌ی مورد مطالعه

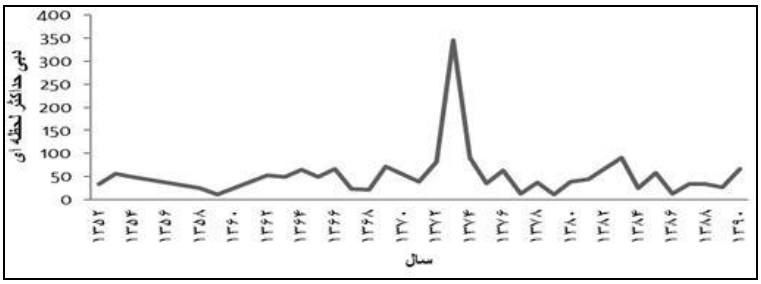
شکل (۱۲)، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در شکل‌های (۱۴تا ۱۷) نمودار داده‌های دبی حدبیشتر لحظه‌ای، مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری هفت‌حوض (درکه)، دوره‌ی آماری ۱۳۵۰-۱۳۹۰، سولقان (کن) دوره‌ی آماری ۱۳۵۲-۱۳۹۰، پل‌تجریش (دربند) دوره‌ی آماری ۱۳۵۸-۱۳۹۰و قلاک (دارآباد) در دوره‌ی آماری ۱۳۵۳-۱۳۹۰ با استفاده از Excel نمایش داده شده است. با توجه به شکل‌های (۱۳-۱۶) در ایستگاه هفت‌حوض کمترین میزان دبی در ایستگاه هفت‌حوض مربوط به سال ۱۳۶۰ و بیشترین دبی متعلق به سال ۱۳۶۵ که در آن نوسان زیاد بوده است. می‌توان گفت که در ایستگاه‌های هفت‌حوض و قلاک نوسان زیاد بوده است ولی در سولقان و پل تجریش نوسان کم بوده است. همچنین در ایستگاه هفت‌حوض سال‌های ۱۳۶۱و ۱۳۶۵، ایستگاه سولقان در سال۱۳۷۳، ایستگاه مقصودبیک ۱۳۶۴و ۱۳۶۵ و ایستگاه قلاک ۱۳۸۲دارای بیشترین دبی پیک لحظه‌ای می‌باشد. با توجه به نوسان زیاد دبی حدبیشتر لحظه‌ای در ایستگاه‌های هفت‌حوض (درکه) و قلاک (دارآباد) می‌توان استنباط کرد که این رودخانه و مسیل‌ها، به شدت متأثر از وضعیت و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های بالادست (مساحت و محیط، شاخص‌های شکل حوضه (ضریب‌گراویلیوس، هورتون و میلر)، فرم شبکه‌های زهکشی، شاخص مستطیل معادل، توزیع ارتفاعی حوضه‌ها، طول آبراهه‌های اصلی، شیب و جهات شیب و زمان تمرکز) بوده و دارای ریسک سیلاب هستند و باید در احداث سازه‌های تقاطعی از جمله پل‌سازی بر این مسیل‌ها تمهیدات لازم اندیشده شود و دوره‌های بازگشت سیلاب را مورد توجه قرار داد.



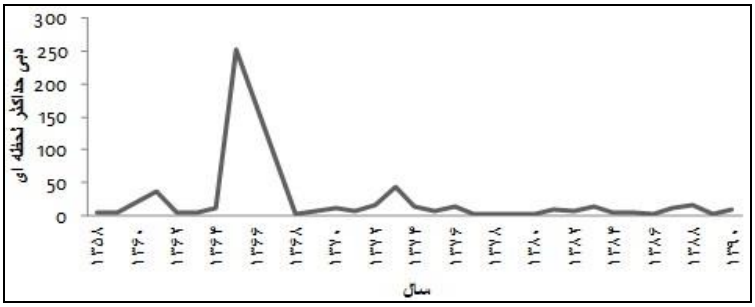
شکل(۱۲) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه



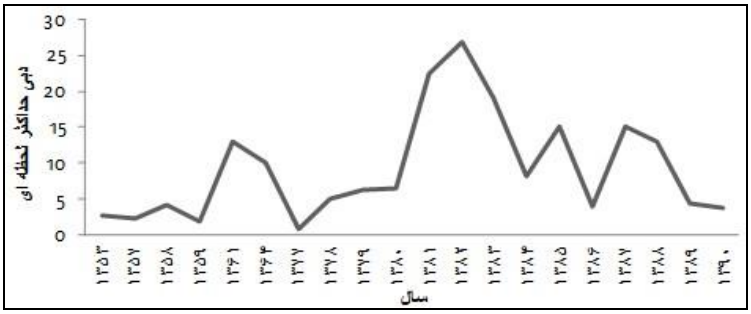
شکل (۱۳) نمودار دبی حدبیشتر لحظه‌ای (مترمکعب بر ثانیه) ایستگاه هفت حوض-رودخانه‌ی درکه



شکل (۱۴) نمودار دبی حدبیشتر لحظه‌ای (متر مکعب بر ثانیه) ایستگاه سولقان-رودخانه‌ی کن



شکل(۱۵) نمودار دبی حدبیشتر لحظه‌ای (مترمکعب بر ثانیه) ایستگاه پل تجریش-رودخانه‌ی دربند



شکل (۱۶) نمودار دبی حدبیشتر لحظه‌ای (متر مکعب بر ثانیه) ایستگاه قلاک-رودخانه‌ی دارآباد

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد، در کنار ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز (به‌ویژه مساحت کم حوضه‌ها، شیب و ارتفاع زیاد، شکل حوضه‌ها و زمان تمرکز کوتاه)، عوامل انسانی-ژئومورفولوژیکی (شهرسازی و توسعه

کالبدی بر روی باهادای تهران در دهه‌های اخیر، ایجاد حوضه‌های تلفیقی، تجاوز و ساخت و ساز در حریم مسیل‌ها، تغییر ماهیت و کاربری لندفرم‌های باهادای تهران و ایجاد سطوح نفوذناپذیر و آسفالته، احداث اتوبان، بزرگراه و پل‌های متعدد و غیراصولی) می‌توانند بر احتمال سیل‌خیزی و سیل‌گیری در منطقه تهران بیفزاید. با توجه وقوع سیلاب در سال‌های گذشته و اخیر (سیلاب ۱۳۶۶ تجریش و آب‌گرفتگی متروی تهران و سیلاب سولقان کن در سال‌های اخیر) رخداد سیلاب در تهران همیشگی می‌باشد. برای جلوگیری از بروز خسارت‌های جانی و مالی ناشی از وقوع سیلاب و افزایش رفاه و امنیت شهروندان، نیازمند مدیریتی جامع و بین رشته‌ای با رویکرد سیستمی (حوضه‌ای) است.

نقشه‌ی HRU_S تهیه شده از حوضه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده‌ی تنوع زیاد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU_S) بیشتر حوضه‌ها، به ویژه حوضه‌ی کن است. همچنین نمودار داده‌های دبی حدبیشتر لحظه‌ای، مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری هفت‌حوض (درکه)، سولقان (کن)، پل‌تجریش (دربند) و قلاک (دارآباد) نشان داد که در ایستگاه‌های هفت‌حوض و قلاک نوسان زیاد بوده است ولی در سولقان و پل‌تجریش نوسان کمی داشته و حول میانگین بوده است. در نهایت می‌توان گفت، به دلیل وضعیت و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز در بالادست و با توجه به پیشینه‌ی سیل‌خیزی در منطقه، کلان‌شهر تهران به شدت متأثر از رخداد سیلاب است و این مخاطره پدیده‌ی همیشگی آن خواهد بود. لذا پیشنهاد می‌گردد، ضمن داشتن نگرش سیستمی و حوضه‌ای به مخاطره سیلاب، به ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز در مکان‌یابی، ساخت و نگهداری سازه‌های مرتبط با رودخانه به ویژه پل‌سازی توجه گردد و تحقیقاتی در مورد نقش عوامل انسانی (ایجاد حوضه‌های تلفیقی، تجاوز به حریم مسیل‌ها و افزایش سطوح آسفالته و ...) مؤثر در بروز خطر سیل در کلان‌شهر تهران صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری با عنوان «مدل‌سازی ژئومورفولوژیکی احداث پل‌ها در مسیل‌های شهری (مطالعه‌ی موردی: کلان‌شهر تهران)» می‌باشد که با حمایت شهرداری تهران (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران) انجام پذیرفته است.

منابع

- **اطلس کلان‌شهر تهران** (۱۳۸۵)، انتشارات شهرداری تهران .(www.atlas.tehran.ir)

- امیدوار، کمال و آمنه کیانفر (۱۳۸۹)، «**پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آبریز کنجانچم**»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۷۲، تابستان ۱۳۸۹، صص۷۳-۹۰.

- پناهی، حامد (۱۳۹۳)، «**بررسی هیدروژئومورفولوژی حوضه‌ی آبریز قره‌سو در ایجاد جریان‌های سیلابی**»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (هیدروژئومورفولوژی)، دانشگاه تبریز.

- خبرگزاری مهر (۱۳۹۱)، «**پل کن در جاده‌ی قدیم کرج در اثر بارش‌های چند روز گذشته تهران ریزش کرد**»، کد خبر ۲۸۵۲۷۸، تاریخ انتشار ۲۴ آبان.

- داورزنی، زهرا (۱۳۸۳)، «**پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز داورزن**»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه تهران.

- درفشی، خه‌بات (۱۳۹۰)، «**بررسی تغییرات فضایی سیلاب در کلان‌شهر تهران**»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

- رامشت، محمدحسین و همکاران (۱۳۸۹)، «**حوضه‌های آبریز از دیدگاه سیستمی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز گاماسیاب)**»، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال اول، شماره‌ی اول، صص۱۲۷-۱۴۵.

- زاهدی مجید و بیاتی‌خطیبی، مریم (۱۳۸۷)، «**هیدرولوژی**»، انتشارات سمت.

- شفیعی، فاطمه (۱۳۹۲)، «**بررسی عوامل هیدروژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب در حوضه‌های آبخیز**»، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، دانشگاه خوارزمی.

- صفاری، امیر (۱۳۸۷)، «**قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی‌کلان‌شهر تهران به منظور توسعه و ایمنی**»، رساله‌ی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.

- عزتیان، ویکتوریا و ذبیح‌الله دانش‌آموز (۱۳۹۱)، «**بررسی خصوصیات هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌ی آبخیز خیرآباد**»، مجله‌ی علمی- پژوهشی آمایش سرزمین، دوره‌ی چهاردهم، شماره ۲، صص۱۱۳-۱۴۰.

- علیزاده، امین (۱۳۸۱)، «**هیدرولوژی کاربردی**»، انتشارات آستان قدس رضوی.

- قنواتی، عزت‌الله و همکاران (۱۳۹۱)، «**ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه‌ی فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی**»، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۸ ، شماره‌ی ۴، صص۱۲۱-۱۳۸.

- قهرودی تالی، منیژه (۱۳۸۸)، «**کاربرد مدل یکپارچه‌ی سیلاب شهری در کلان‌شهرها (مطالعه‌ی موردی: شمال شرق تهران)**»، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پیش شماره‌ی (پاییز و زمستان)، صص ۱۶۷-۱۷۸.

- مشرق نیوز (۱۳۹۴)، «**خسارات سیلاب در کن و سولقان**»، کد خبر ۴۴۲۸۷۴، تاریخ انتشار ۲۹ تیر ماه.

- مقیمی، ابراهیم و امیر صفاری (۱۳۸۹)، «**ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه‌ی شهری در قلمروی حوضه‌های زهکشی سطحی مطالعه‌ی موردی: کلان‌شهر تهران**»، فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، دوره‌ی ۱۴، شماره‌ی ۱، (بهار).

- مهدوی، محمد (۱۳۸۴)، «**هیدرولوژی کاربردی**»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم.

- نجفی، اسماعیل (۱۳۹۴)، «**مدل‌سازی ژئومورفولوژیکی احداث پل‌ها در مسیل‌های شهری (مطالعه موردی: کلان شهر تهران)**»، رساله‌ی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی.

- وبلاگ شمران (۱۳۹۳)، «**سیل تجریش، عکس‌های سیل تجریش**»، بخش اول، تاریخ انتشار ۱۹ بهمن.

- وزارت نیرو (۱۳۷۷)، «**فرهنگ مهندسی رودخانه**»، انتشارات دفتر استانداردهای مهندسی آب.

- یمانی، مجتبی و مریم عنایتی (۱۳۸۴)، «**ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئوموفولوژیک حوضه‌های فشند و بهجت‌آباد)**»، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۵۴، (زمستان)، صص ۴۷-۵۷.

- Borga. M, Stoffel. M, Marchi. L, Marra. F. and Jakob. M, (2014), "**Hydrogeomorphic Response to Extreme Rainfall in Headwater Systems: Flash Floods and Debris Flows**, Journal of Hydrology, Journal Homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol.

- Henononin, J., Russo, B., Roqueta, D.S., Diezma, R.S., Domingo, N.D., Thomsen, F. and Mark, O. (2010), "**Urban Flood Real- Time Forecasting and Modeling**": A State- of- the-Art Review, Mike by DHI Conference-Copenhagen, PP: 1-21.

- Kenny. R., (1990), "**Hydrogeomorphic Flood Hazard Elevation for Semi-arid Environments**", Quarterly Journal and Engineering Geology, London, 1990, Vol, 23, PP: 333-336.

- Leavesley, G. and Stannard .L, (1990), "**Application of Remotely Sensed data in a Distributed Parameter Watershed model, Proc. of the Workshop on Applications of Rremote Sensing in Hydrology**", Saskatoon, Saskatchewan, Feb.

- Prasad V.H, (2004), "**Delineation of Hydrologic Response Units (HRUs) Using Remote Sensing and GIS, Indian Institute of Remote Sensing (NRSA)**", Dept. of Space, Govt. of India.

- Thomas W.O. and M.A. Benson (1968), "**Uniform Flood Frequency Estimating Methods for Federal Agences Water Resources Geology**", PP: 891-908.