

## آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی: تهران، درکه تا کن)

منیژه قهرودی تالی<sup>۱</sup> - استاد ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
آینتا مجیدی هروی - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه پیام نور، تهران، ایران  
اسماعیل عبدلی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۳

### چکیده

تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، سبب رخداد تغییرات الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن سیل در نواحی شهری، آب‌گرفتگی معابر و افزایش هزینه‌های نگهداری شهر می‌شود. شهر تهران مستقر در دامنه جنوبی کوه‌های البرز مرکزی، در پایین‌دست حوضه‌های آبریز متعددی قرار دارد. گسترش شهر تهران تا ارتفاع ۲۲۰۰ متری، باعث تفاوت ساختاری در بافت فیزیکی این شهر و در نتیجه مستعد مخاطرات طبیعی از جمله سیلاب شده است. مناطق ۲ و ۵ شهرداری تهران در شمال غرب تهران به دلیل مجاورت با حوضه‌های درکه، فرحزاد، و کن، بالا بودن سهم نسبی ساخت‌وسازها، بالا بودن نسبی تراکم مسکن و جمعیت، تغییر کاربری و وارد شدن به حریم رودخانه و بهره‌برداری نادرست از مسیل‌ها در معرض ناپایداری ناشی از سیلاب قرار دارد. این پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، داده‌های اقلیمی و هیدرومتری (۲۰۱۲ تا ۱۹۹۵) و داده‌های کاربری دریافت شده از سازمان شهرداری تهران انجام شده است. معیارهای انتخابی با روش مقایسه دوتایی وزن دهی شدند و بر اساس توابع فازی تلفیق گردیدند. برای تشخیص نقش عوامل مؤثر از روش‌های تهیه نیم‌رخ آبی و هیدروگراف استفاده شد و ضرایب اهمیت با استفاده از تحلیل شبکه عصبی چند لایه MLP استفاده گردید. نقشه آسیب‌پذیری حاصل از وزن‌های مقایسه‌ای و توابع تلفیقی فازی نشان داد که بیشترین آسیب‌پذیری در خارج شهر پیرامون مسیل‌ها می‌باشد. به دلیل اهمیت حجم رواناب در حوضه‌های بالادست شهری، سهم حجم رواناب با احتساب مساحت نواحی تعیین گردید. نتایج، سهم رواناب حوضه کن در نواحی شهری را زیاد نشان داد. لذا برای ارزیابی ورودی مسیل کن به تهران، ایستگاه باران‌سنجی سولقان انتخاب شد و پروفیل طولی و هیدروگراف آن ترسیم گردید. نتایج مطالعات آسیب‌پذیری در نواحی شمال غرب تهران که حوضه‌های درکه تا کن در بالادست آن قرار دارند و مناطق شهری ۲ و ۵ را شامل می‌شود نشان داد که ترکیبی از عوامل بالادست و شهری سبب تشدید آسیب‌پذیری این مناطق می‌شود. اگرچه در مناطق خارج از شهر حواشی

رودخانه‌ها و مسیل‌ها بالاترین آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند، لیکن عوامل دیگری از جمله بافت فرسوده، سطوح شیب عمودی و ضریب انحناء در تعیین میزان آسیب‌پذیری نواحی شهری دخالت می‌کند. شواهد این ادعا در برداشت‌های میدانی آشکار است. جهش‌های دبی بیک در هیدروگراف ماه اکتبر سال ۲۰۱۲ بر لزوم توجه به رواناب خروجی حوضه کن دارد که تهران به‌طور سالانه حوادثی در رابطه با حوضه کن را تجربه می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** آسیب‌پذیری، سیلاب شهری، تهران، کن، درکه.

## ۱. مقدمه

امروزه افزایش جمعیت، گسترش تأسیسات صنعتی، کمبود مکان برای ساخت‌وساز خصوصاً در کلان‌شهرها، باعث شده تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریز ایجاد شود. همچنین تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، باعث تغییر الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن جریان در سطح شهر می‌شود (سپهر و کاویان، ۱۳۹۳: ۱۲۶). این مسئله منجر به تشدید خطر سیل خیزی و آب‌گرفتگی معابر و افزایش هزینه‌های نگهداری شهر شده و خسارات احتمالی جانی و مالی را افزایش داده است. بر اساس مطالعات انجام شده، گسترش شهرها در حوضه آبریز، سبب افزایش سطوح نفوذناپذیر، افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی حداکثر لحظه‌ای و تغییر کیفیت سیلاب می‌گردد (حسین زاده و جهادی طرفی، ۱۳۸۶: ۱۴۵).

سیلاب از مخرب‌ترین خطرهای طبیعی است که جبران آثار آن به‌خصوص در مناطق که مظاهر توسعه انسانی در آنجا به چشم می‌خورد (مانند شهرها)، هزینه‌های زیادی را تحمیل می‌کند. توسعه شهرنشینی، به‌ویژه در حاشیه رودخانه‌ها، بر خسارات سیل در دهه‌های اخیر افزوده است (قهرودی تالی، ۱۳۹۱: ۲). از این‌رو آگاهی از میزان خطرپذیری مناطق مختلف شهر و توجه موضوع مدیریت سیلاب‌های شهری به‌منزله یکی از محورهای مهم در پرداختن به مسائل شهری با تأکید بر حفظ محیط‌زیست شهری حائز اهمیت و توجه است (صادقلو و سجاسی قیداری، ۱۳۹۳: ۱۲۸-۱۰۵). سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که بر اساس گزارش پایگاه داده بین‌المللی مخاطرات در زمینه بلایای طبیعی، در کنار زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارات مالی و جانی به همراه دارد (پایگاه داده بین‌المللی مخاطرات<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶). حداقل یک سوم از همه ضرر و زیان ناشی از نیروهای طبیعی را می‌توان به جاری شدن سیل نسبت داد (لاستر<sup>۲</sup>: ۱۹۹۹؛ هانسون و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸: ۴۸۰-۴۶۵، رشید<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱: ۳۵-۴۵). با رشد سریع شهرسازی و ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب در نواحی شهری بیشتر و

1 The International Disaster Database(EM-DAT)

2 Loster,

3 Hansson

4 Rashid

شدیدتر شده است (بهاتاچاریا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰)، لذا با توجه به گسترش شهرنشینی و تغییرات آب و هوایی، ساخت یک سیستم کنترل سیل مؤثر و مکانیسم زهکشی کارآمد در شهرها را ضروری می‌کند (چانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۴-۳۴).

ناپایداری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده بوده و تولید سیلاب در یک حوضه آبخیز به عوامل متعددی همچون ویژگی‌های حوضه آبخیز، میزان بارش، نفوذ، و شرایط پیشین بستگی دارد (سینگ<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶: ۸). از آنجاکه جمع‌آوری و دفع رواناب‌های ناشی از بارندگی در مسیل رودخانه در واقع نوع اقدامات ایمنی، بهداشتی و رفاهی تلقی می‌شود (قناتی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۲۱). تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین گام در جهت کاهش آثار زیانبار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا بتوان بر اساس نتایج به دست آمده با مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی شهری جامع مانع از آثار زیانبار سیلاب‌های شهری تا حد ممکن شد (احمد زاده، ۱۳۹۴: ۲۳-۱). بر اساس مطالعات انجام شده تعداد حوادث سیل در شهر تهران طی چهار دهه (۱۳۳۱-۱۳۷۰) رو به افزایش بوده، در دهه اول ۱۲ مورد در دومین دهه ۱۵ مورد، دهه ۵۰ تا ۶۰ (دهه سوم) ۳۳ مورد و آخری دهه (۶۰ تا ۷۰) ۵۴ مورد ثبت رسیده است (قهرودی تالی، ۱۳۸۸: ۱۶۷). نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب می‌تواند به‌منزله ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهر، همچنین شناخت نواحی که توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیلاب مورد نیاز است استفاده شود (بوچله<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۶: ۵۰۳-۴۸۵). مدل‌های چند متغیره جهت انجام پهنه‌بندی آسیب‌پذیری وجود دارد که از جمله این مدل‌ها، توابع مربوط به مجموعه‌های فازی و یا شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند. در این مجموعه‌های غیرقطعی حضور عوامل به‌صورت عضویت در بازه صفر تا ۱ یا ضریب اهمیت بر اساس فراوانی رخدادها محاسبه می‌شود (زو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱: ۷۷-۵۷ و فاین<sup>۶</sup>، ۱۹۹۹). هدف این پژوهش تعیین آسیب‌پذیری شمالغرب تهران حوضه‌های درکه تا کن و مناطق ۲ و ۵ تهران می‌باشد.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران مستقر در دامنه جنوبی کوه‌های البرز مرکزی در بخش وسطی و سفلی حوضه‌های شمالی و جنوبی قرار دارد. توسعه فیزیکی تهران تا ارتفاع ۲۲۰۰ متری و تسطیح زمین، اشغال حریم آبراهه و مسیل‌ها، سبب

1 Bhattacharya

2 Chang

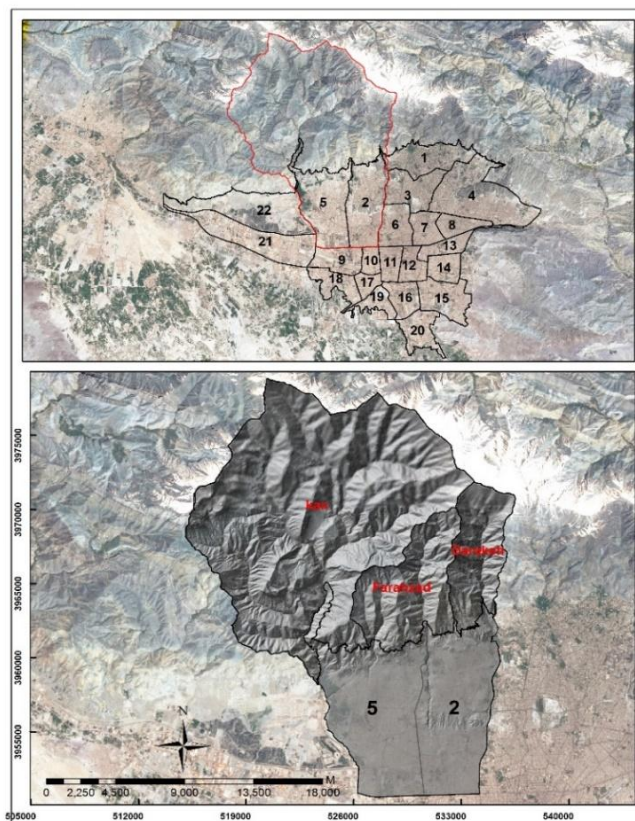
3 Singh

4 Buchele

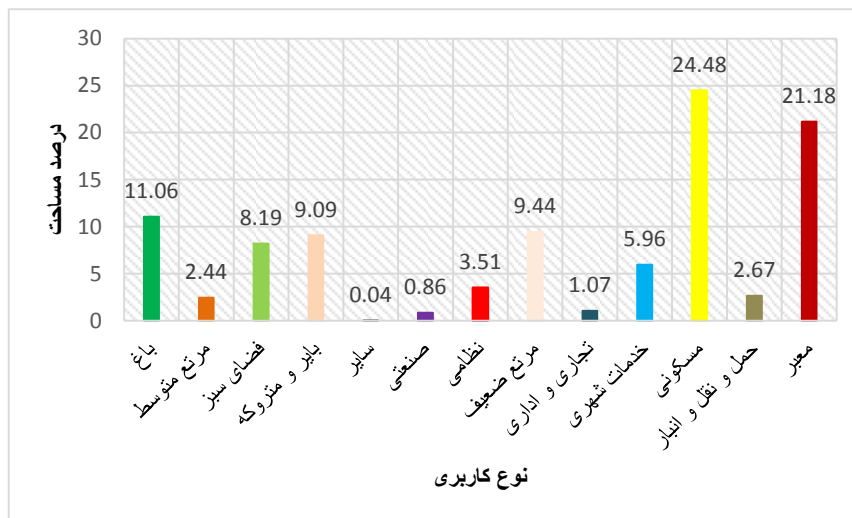
5 Zhu

6 Fine

افزایش رخداد سیلاب‌های شهری شده است، به طوری که آستانه‌های میزان بارش در تولید سیلاب تهران کاهش یافته است (قهرودی و نظام محله، ۲۰۱۳: ۶۷). شهر تهران از دهه ۴۰ مرکز جذب مهاجران زیادی از سراسر ایران بوده است. در بین مناطق شهرداری تهران، مناطق ۲ و ۵ شهرداری تهران در شمال غرب تهران سرریز جمعیت تهران از مناطق مرکزی، جنوبی و مهاجرین گسترش یافته است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۲). این محدوده به دلیل مجاورت با حوضه‌های درکه، فرحزاد، و کن از یک طرف و افزایش ساخت‌وسازها، وجود حوزه‌های مسکونی ناپایدار، بالا بودن نسبی تراکم مسکن و جمعیت، تغییر کاربری و وارد شدن به حریم رودخانه و بهره‌برداری نادرست از مسیل‌ها از سوی دیگر امکان وقوع سیلاب‌های عظیم را دارا است و در معرض ناپایداری ناشی از سیلاب قرار دارد. شکل ۱ موقعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را در بستر تهران و روی تصاویر لندست نشان می‌دهد. از نظر کاربری در مناطق ۲ و ۵، تنوع وجود دارد اما غلبه با مناطق مسکونی و معابر کوچه‌ها، خیابان‌ها و میادین می‌باشد (صادقی نیا و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۷-۱). شکل ۲ درصد کاربری در مناطق شهری فوق را نشان می‌دهد.



شکل ۱ محدوده مورد مطالعه



شکل ۲ درصد کاربری در مناطق شهری ۲ و ۵

### ۳. مواد و روش‌ها

مطالعه در خصوص سیستم‌های شهری نیازمند ترکیب روش‌های چند معیاری است که بتواند ترکیبی از داده‌های توصیفی و کمی را فراهم آورد. مسائل مربوط به آسیب‌پذیری مناطق شهری در مقابل سیلاب نیز تحت تأثیر نقش حوضه‌های بالادست، تسطیح زمین، عدم زهکشی مناسب محدوده‌های شهری، وجود بافت‌های فرسوده و سایر عوامل می‌باشد. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های ارتفاعی مستخرج از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، داده‌های اقلیمی، هیدرومتری سال‌های ۲۰۱۲ تا ۱۹۹۵ و داده‌های کاربری دریافت شده از سازمان شهرداری تهران بوده است. در این پژوهش متغیرهای مؤثر و تشدیدکننده آسیب‌پذیری زیرساخت‌های فیزیکی مناطق شهری ۲ و ۵ تهران که در پایین دست حوضه‌های درکه تا کن قرار دارد با توجه به مشاهدات میدانی انتخاب شدند که شامل پارامترهای رواناب، شیب، جهت شیب، کاربری، طبقات ارتفاعی، ضریب انحناء، بافت فرسوده، سطوح عمود بر شیب و سطوح موازی با شیب می‌باشند. با توجه به تفاوت مقیاس در معیارهای فوق و انطباق و عدم انطباق آن‌ها از روش مقایسه دوتایی<sup>۱</sup> برای وزن دهی آن‌ها استفاده شد (مالکزوسکی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸: ۷۲۶-۷۰۳). روش مقایسه دوتایی بر اساس قضاوت‌های نظری انجام می‌شود و نسبت آن به صورت کیفی با مقادیر کمی بین ۹ تا ۱ بیان می‌گردند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۸۸-۱۷۹). در این پژوهش به منظور اجتناب از خطاهای شخصی یا سلیقه‌ای در تصمیم‌گیری از نظرات گروهی از متخصصین استفاده شده است. روش مقایسه

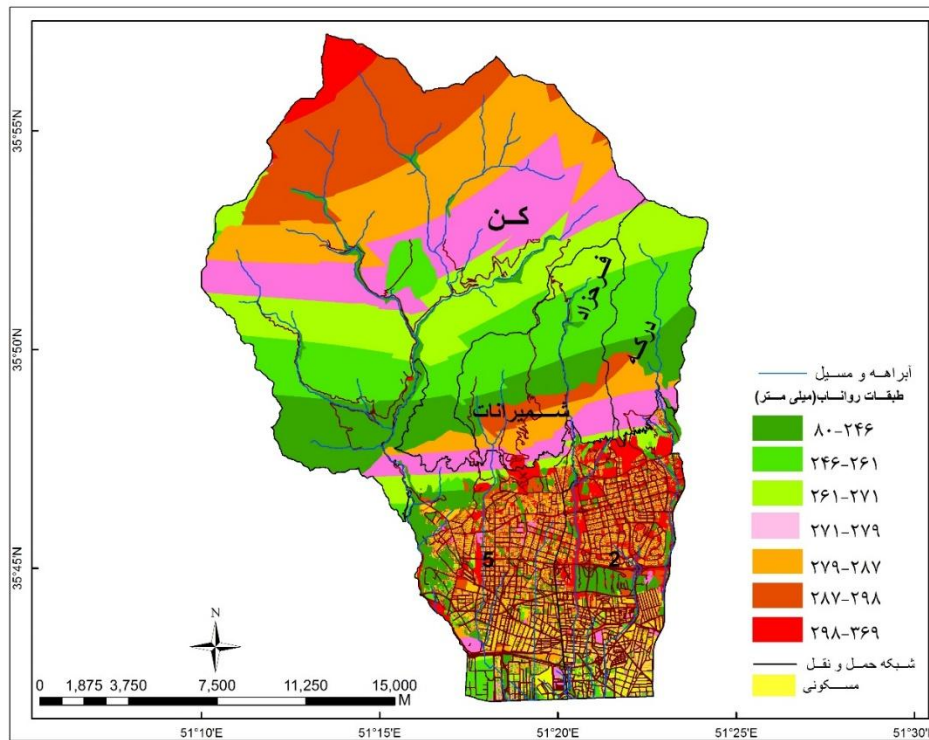
1 Pairwise Comparison

2 Malczewski

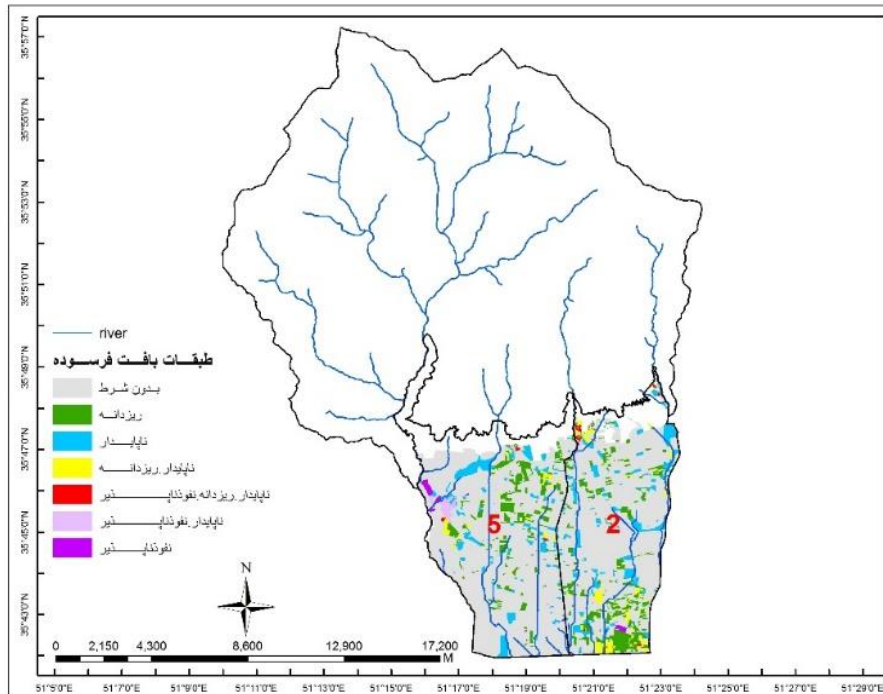
دوتایی در زمینه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP<sup>۱</sup> ارائه شده است که بر پایه اصول بدیهی شروط معکوسی<sup>۲</sup>، همگنی<sup>۳</sup>، وابستگی<sup>۴</sup> و انتظارات<sup>۵</sup> بنا شده است. در AHP، عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط خود در سطوح بالاتر به صورت دوتایی مقایسه شده و وزن نسبتی<sup>۶</sup> آن‌ها استخراج می‌شود سپس با تلفیق<sup>۷</sup> وزن‌های نسبی معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها، وزن مطلق<sup>۸</sup> هر معیار تعیین می‌گردد (جیا<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۲: ۳۱۸۸-۳۱۸۶).

به دلیل وجود اراضی بالادست در محدوده مورد مطالعه، میزان رواناب با استفاده از مدل SCS(CN) برآورد شده است. همچنین محاسبه CN در محدوده‌های شهری بر اساس نوع کاربری و درصد فضای باز صورت گرفت (شکل ۳). سرعت جریان رواناب در شمال شهر تهران و به‌ویژه در اتصال با حوضه‌های بالادست و همچنین جهت زهکشی شمالی و جنوبی تهران اهمیت متغیرهای رواناب، شیب و جهت آن و همچنین پهنه‌های عمود و موازی با شیب در تحلیل را آشکار می‌سازد. رودخانه‌ها و مسیل‌های شهری نیز به دلیل ساخت‌وساز در حریم آن‌ها در تحلیل مورد توجه قرار گرفت. بافت فرسوده به دلیل عدم زهکشی مناسب و مدیریت صحیح و نفوذپذیری ساختارهای شهری از جمله متغیرهای مورد استفاده می‌باشد. بر اساس تعریف احمدی (۱۳۸۶، ۱۷) و شاخص‌های مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری (ناپایداری، نفوذپذیری و ریزدائگی)، معیارهای تعیین بافت فرسوده شامل بلوک‌هایی که بیش از ۵۰ درصد ابنیه آن ناپایدار و فرسوده باشد، بلوک‌هایی که بیش از ۵۰ درصد معابر آن کمتر از ۶ متر باشد و بلوک‌هایی که بیش از ۵۰ درصد ابنیه آن کمتر از ۲۰۰ متر مربع باشد. بر اساس تعریف فوق بافت فرسوده منطقه ۲ و ۵ تهران تهیه و نقشه آن به دست آمد (شکل ۴) و در نهایت به جهت تحلیل آسیب‌پذیری سیلاب مورد استفاده قرار گرفت و میزان نفوذپذیری بر اساس شماره منحنی ((CN محاسبه گردید. وجود چشم‌انداز تپه‌ماهوری در مناطق شمالی ۲ و ۵ نشان داد که ضریب انحناء<sup>۱۰</sup> می‌تواند معیار مهمی در ارزیابی آسیب‌پذیری باشد. با توجه به نقش شبکه حمل‌ونقل عرضی و طولی در انتقال سیلاب در تهران و گستردگی فضای سبز به‌ویژه در منطقه ۵ تهران، این دو معیار نیز به کار گرفته شد.

- 
- 1 Analytic Hierarchy Process
  - 2 Reciprocal Condition
  - 3 Homogeneity
  - 4 Dependency
  - 5 Expectation
  - 6 local Priority
  - 7 Synthesis
  - 8 Overall Priority
  - 9 Jia
  - 10 curvature



شکل ۳ میزان رواناب در حوضه شمالغرب تهران



شکل ۴ نقشه بافت فرسوده مناطق ۲ و ۵ تهران

تلفیق داده‌ها بر اساس توابع فازی انجام شده است، زیرا این تکنیک از پرستفاده‌ترین روش‌ها در سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است (کان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰: ۳۳۷-۳۳۰) و کاربرد وسیعی در مخاطرات طبیعی دارد (بنایی کاشامی<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹: ۶۹۳-۶۸۵ و لشکر<sup>۳</sup>: ۲۰۰۳). در استفاده از توابع فازی، وزن‌های مقایسه زوجی بکارگرفته شده است. شکل ۵ نحوه استفاده از توابع را نشان می‌دهد. برای ارزیابی نقشه آسیب‌پذیری گامای ۰/۹، ۰/۸۵ و ۰/۷ تهیه شد و همبستگی آن با سایر داده‌ها محاسبه شد و گامای ۰/۸۵ بیش‌ترین همبستگی را با متغیرهای اصلی نشان داد، بنابراین به‌عنوان نقشه آسیب‌پذیری در نظر گرفته شد. برای تشخیص نقش عوامل مؤثر از روش‌های تهیه نیم‌رخ طولی و هیدروگراف استفاده شد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱-۱۶). ضرایب اهمیت عوامل مؤثر با استفاده از تحلیل شبکه عصبی چند لایه MLP<sup>۴</sup> تعیین گردید. پرسپترون چندلایه از ساختارهای مشهور و موفق شبکه‌های عصبی برای محدوده گسترده‌ای از کاربردها نظیر شناسایی الگو، درون‌یابی، پیش‌بینی و مدل‌سازی می‌باشد (هایکین<sup>۵</sup>: ۱۹۹۸). یکی از کارآمدترین چیدمان‌های پیشنهادی برای استفاده در مدل‌سازی عصب‌های واقعی، مدل پرسپترون چندلایه یا به‌اختصار MLP می‌باشد که از لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل یافته است. در این ساختار، تمام نرون‌های یک لایه به تمام نرون‌های لایه بعد متصل‌اند. این چیدمان اصطلاحاً یک شبکه با اتصالات کامل را تشکیل می‌دهد. در این شبکه تعداد نرون‌های هر لایه، مستقل از تعداد نرون‌های دیگر لایه‌ها می‌باشد. عمل جمع و آستانه‌گذاری نرون‌ها با استفاده از تابع غیر خطی سیگموئید است (رابطه ۱)، که در آن  $o, h$  به ترتیب نشان دهنده لایه پنهان و لایه خروجی بوده و منظور از  $w$  همان وزن‌های لایه‌ها می‌باشد. Sgm نیز تابع سیگموئید است که به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌گردد.

$$o_i = \text{sgm}[(\sum_m \text{sgm})(\sum_l x_l w_{lm}^h) w_{mi}^o] \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{sgm}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad \text{رابطه ۲}$$

1 cahn

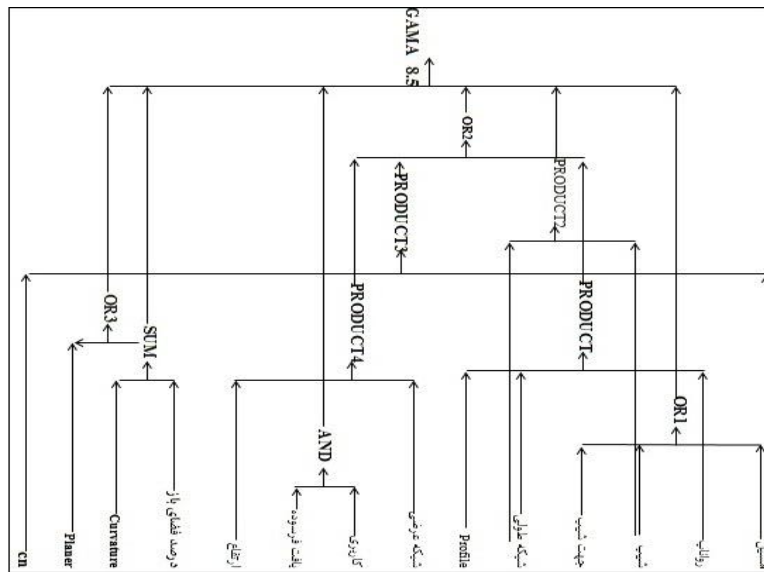
2. Banai Kasham

3 Laskar

4 Multilayer Perceptron Network

5 Haykin

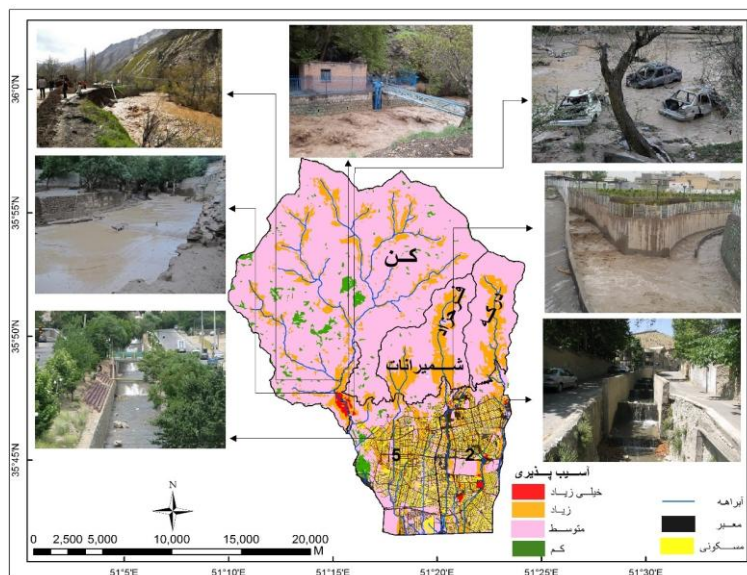




شکل ۵ نحوه ترکیب داده‌ها در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری

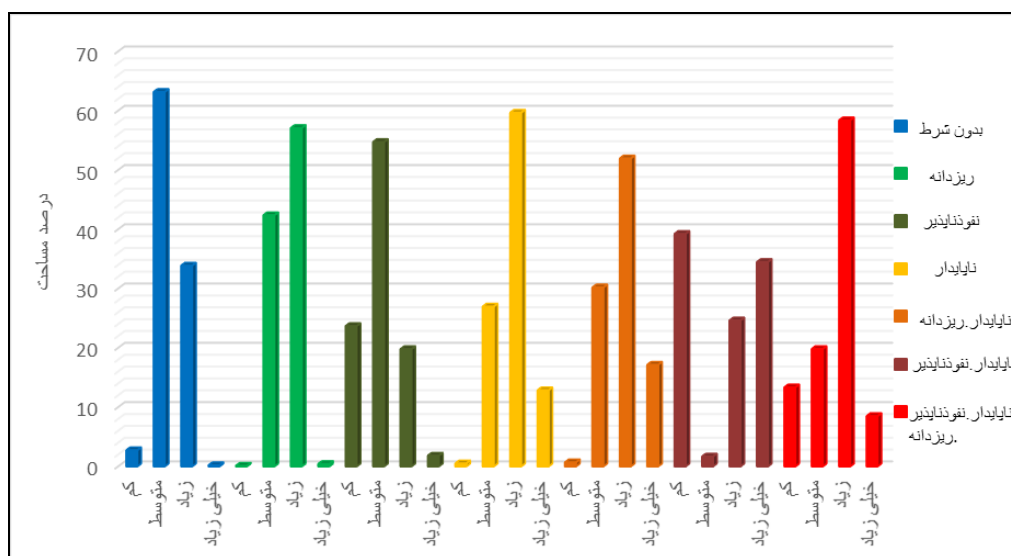
#### ۴. بحث و نتایج

نقشه آسیب‌پذیری حاصل از وزن‌های مقایسه‌ای و توابع تلفیقی فازی نشان داد که بیشترین آسیب‌پذیری در پیرامون مسیل‌ها می‌باشد. به‌ویژه مسیل‌هایی که با دریافت میزان آب و دبی بیشتر از مناطق بالادست خود، مناطق شهری را با مسئله سیلاب مواجه می‌سازند. مقایسه این نقشه با شبکه حمل‌ونقل شهری، بیشترین نقاط آسیب‌پذیر منطبق بر شبکه‌های غرب به شرق و بالعکس می‌باشند که شیب طبیعی جریان آبراهه‌ها قطع کرده‌اند و مانع عبور شبکه جریان آبراهه‌ها بر بستر شیب شمال به جنوب منطقه می‌شوند (شکل ۶).



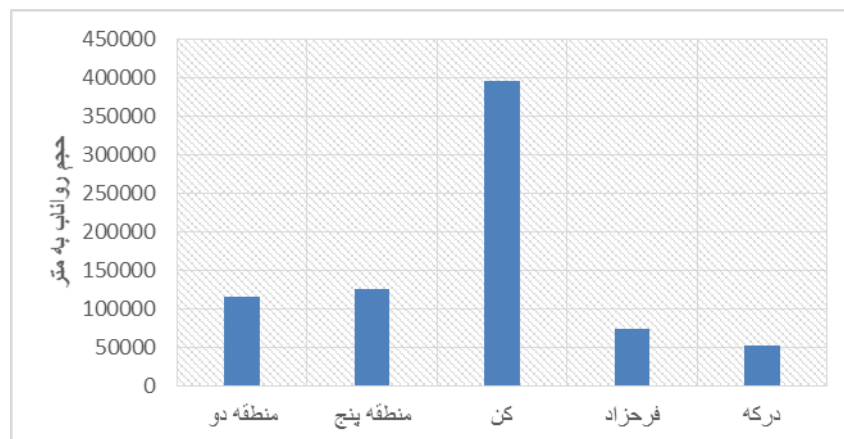
شکل ۶ آسیب‌پذیری در محدوده مورد مطالعه

مقایسه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و نقشه کاربری اراضی شهری نشان داد که بیشترین مساحت کاربری منطقه، کاربری مسکونی و معبر است که حدود ۶۵ درصد مساحت منطقه را شامل می‌شود. به دلیل قدمت کم مناطق ۲ و ۵ و نوسازی‌های اخیر مساحت بافت فرسوده‌ای که دارای هر سه ویژگی ناپایداری، نفوذناپذیر و ریزدانه باشد کم است و بیشتر به مناطق شمالی که قبلاً روستا بوده و بعدها به شهر ملحق محدود شده است. در بین این نقاط بافت فرسوده بیشترین مساحت طبقه آسیب‌پذیر زیاد به خود اختصاص داده است به طوری که بیش از ۷۰ درصد مساحت بافت فرسوده در این محدوده پراکنده شده که در برنامه‌ریزی مدیریت سیلاب و مخاطرات آن باید مدنظر قرار گیرد (شکل ۷).

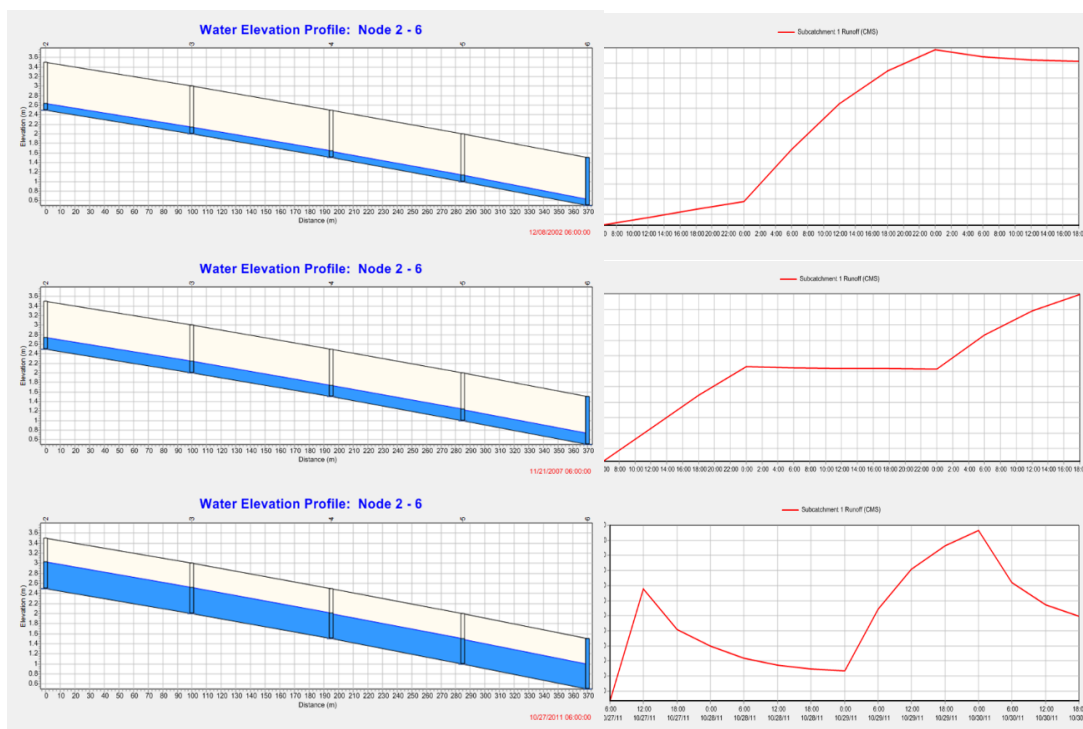


شکل ۷ طبقات آسیب‌پذیری بافت فرسوده منطقه ۲ و ۵ تهران

به دلیل اهمیت حجم رواناب در حوضه‌های بالادست مناطق شهری، سهم حجم رواناب با احتساب مساحت نواحی تعیین گردید. همچنان که شکل ۸ نشان می‌دهد، سهم رواناب حوضه کن در نواحی شهری زیاد می‌باشد و در نقشه آسیب‌پذیری در خروجی حوضه کن به تهران با حداکثر آسیب‌پذیری مشخص گردیده است، لذا برای ارزیابی ورودی مسیل کن به تهران، ایستگاه باران‌سنجی سولقان انتخاب شد و در طی روزهای ۲۷-۳۰ اکتبر سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲، ۳ سری زمانی بارش ساعتی انتخاب شدند و بر اساس آن دبی سیلاب در سه حالت مختلف محاسبه شد. پروفیل طولی و هیدروگراف آن ترسیم گردید. بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی، ابعاد دره کن به عرض ۳ متر و ارتفاع ۱،۵۰ متر در نظر گرفته شد. همچنان که نیمرخ‌های طولی نشان می‌دهد جریان آب با افزایش باران، افزایش می‌یابد و در هیدروگراف حوضه کن، دبی‌های پیک که احتمالاً با سیلاب‌های ناگهانی همراه است، ملاحظه می‌شود (شکل ۹).



شکل ۸ میزان رواناب تولید شده در نواحی مورد مطالعه



شکل ۹ هیدروگراف و پروفیل طولی حوضه کن در ۲۷-۳۰ اکتبر سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۷-۲۰۱۲

## ۵. نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات آسیب‌پذیری در نواحی شمالغرب تهران که حوضه‌های درکه تا کن در بالادست آن قرار دارند و مناطق شهری ۲ و ۵ را شامل می‌شود نشان داد که ترکیبی از عوامل بالادست و شهری سبب تشدید آسیب‌پذیری این مناطق می‌شود. اگرچه در مناطق خارج از شهر حواشی رودخانه‌ها و مسیل‌ها بالاترین

آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند که سوابق حوادث قبلی و مشاهدات میدانی نیز بر تأکید آن اصرار دارند (حسین زاده و جهادی طرقي، ۱۳۹۱: ۲۵)، لیکن عوامل دیگری در تعیین میزان آسیب‌پذیری نواحی شهری دخالت می‌کند. شواهد این ادعا در برداشت‌های میدانی آشکار است. برای تحلیل کمی این موضوع و برای تعیین اهمیت عوامل داخل شهر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب از تحلیل شبکه‌های عصبی استفاده شد. ۴۳ نمونه از محدوده‌های شهری برداشت گردید و اطلاعات آن‌ها از داده‌های مکانی استخراج گردید. ۱۴ درصد از نمونه‌ها به‌عنوان آموزش استفاده شد. مجموع مربعات خطا<sup>۱</sup> در نمونه‌های اصلی<sup>۲</sup> ۰/۹۲ و در نمونه‌های آموزشی<sup>۳</sup> ۰/۴۴ برآورد شده است. تعداد لایه‌های ورودی ۸ عدد بود و متغیر مستقل گامای ۰/۸۵ در نظر گرفته شد. جدول ۱ و شکل ۱۰ اهمیت متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بافت فرسوده دارای اهمیت بالا در میزان آسیب‌پذیری می‌باشد. به دلیل اینکه زهکشی مناسبی ندارند و همچنین شبکه‌های مسیل در این مناطق عمدتاً در بخش زیرین شهر قرار دارند و پدیده آبگرفتگی تشدیدکننده و حتی گاهی اوقات شروع سیلاب را سبب می‌شوند. نقش سطوح شیب عمودی، ضریب انحناء نیز در مناطق شمالی و شمالغرب تهران، انطباق و عدم انطباق آن‌ها را با شبکه زهکشی و مسیل‌ها نشان می‌دهد. جهش‌های دبی پیک در هیدروگراف ماه اکتبر سال ۲۰۱۲ بر لزوم توجه به رواناب خروجی حوضه کن دارد که تهران به‌طور سالانه حوادثی در رابطه با حوضه کن را تجربه می‌کند.

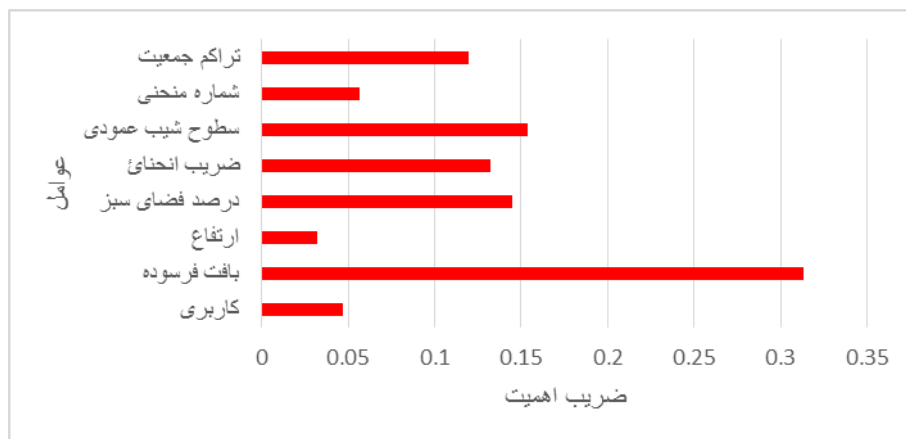
جدول ۱ ضرایب اهمیت متغیرهای مستقل

عضویت	ضریب اهمیت	استاندارد شده
کاربری	۰/۰۴۷	۱۵/۱۰%
بافت فرسوده	۰/۳۱۳	۱۰۰/۰۰%
ارتفاع	۰/۰۳۲	۱۰/۲۰%
درصد فضای سبز	۰/۱۴۵	۴۶/۱۰%
ضریب انحناء	۰/۱۳۲	۴۲/۲۰%
سطوح شیب عمودی	۰/۱۵۴	۴۹/۲۰%
شماره منحنی	۰/۰۵۷	۱۸/۳۰%
تراکم جمعیت	۰/۱۲	۳۸/۲۰%

1 Sum of Squares Error

2 Training

3 Testing



شکل ۱۱ ضرایب اهمیت متغیرهای مستقل

### کتابنامه

- احمدزاده، حسن؛ سعیدآبادی، سعید و الهه نوری؛ ۱۳۹۴. بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تأکید بر سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی: شهر ماکو). نشریه هیدروژئومورفولوژی. سال ۱. شماره ۲. صص ۲۳-۱.
- حسین زاده، سید رضا؛ جهادی طرقي، مهناز؛ ۱۳۸۶. اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۱. صص ۱۵۹-۱۴۵.
- حسین زاده، سیدرضا؛ جهادی طرقي، مهناز؛ ۱۳۹۱. بازسازی سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه هزار با استفاده از دندروژئومورفولوژی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال ۱. شماره ۲. صص: ۵۳-۲۹.
- سپهر، عادل؛ کاویان، راحیل؛ ۱۳۹۳. طبقه‌بندی تحمل‌پذیری مناطق شهری کلان‌شهر مشهد به مخاطرات محیطی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تعامل تناوبی سیموس (SIMUS). جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال سوم. شماره نهم. صص ۱۴۱-۱۲۵.
- صادقی نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ ۱۳۹۱. تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال اول. شماره ۴. صص ۱۷-۱.
- صادقلو، طاهره؛ سجاسی قیداری، حمدالله؛ ۱۳۹۳. راهبردهای مدیریت مخاطره سیل در مناطق روستایی با مدل SWOC-TOPSIS (مطالعه موردی حوضه آبریز قره چای رامیان). جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال سوم. شماره ۱۲. صص ۱۰۵-۱۲۸.
- صالحی، اسماعیل؛ رفیعی، یوسف؛ بهتاش، محمدرضا فرزاد؛ آقابابایی، محمدتقی؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: تهران). محیط‌شناسی. سال سی و نهم. شماره ۳. صص ۱۷۹-۱۸۸.

قنواتی، عزت‌الله؛ امیر کرم و آقا علیجانی، مرضیه؛ ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیل در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۳. شماره ۴. صص ۱۳۸-۱۲۱.

قهرودی تالی، منیژه؛ ۱۳۸۸. کاربرد مدل یکپارچه سیلاب شهری در کلان‌شهرها (مطالعه موردی: شمال شرق تهران). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای. پیش‌شماره. صص ۱۶۷-۱۷۸.

قهرودی تالی، منیژه؛ ۱۳۹۱. آسیب‌پذیری خطوط ریلی شمال دشت لوت در مقابل سیلاب. جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال ۱. شماره ۲. صص ۱-۱۸.

یمانی، مجتبی؛ تورانی، مریم؛ چزغه، سمیرا؛ ۱۳۹۱. تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته). جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال ۱. شماره ۱. صص ۱۶-۱.

- Banai-Kashami, R. (1989). A new method for site suitability analysis — The analytic hierarchy process. *Environmental Management*, 13(6), 685–693.
- Bhattacharya, N.(2010). Flood risk assessment in Barcelona, France. The Netherlands: International institute for geo-information science and earth observation Enscheda (ITC).
- Büchle, B., Kreibich H., Kron1, A., Thieken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B. & Nestmann, F. (2006). Flood-risk mapping: Contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 485–503.
- Chan, F., Chan, M., & Tang, N.( 2000). Evaluation methodologies for technology selection. *Journal of Materials Processing Technology*, 107, 330–337.
- Chang, F. J., Chang, K. Y., & Chang, L. C. (2008). Counter propagation fuzzy-neural network for city flood control system. *Journal of Hydrology*, 358(1), 24-34.
- Fine, T. L. (1999). *Feed forward neural network methodology* (3rd ed). New York: Springer-Verlag.
- Ghahroudi Tali, M. & Nezammahaleh, M. M. (2013). *Urban flooding management using the natural drainage system case study: Tehran, capital of Iran. Floods: From risk to opportunity*. Japan: IAHS Publications.
- Hansson, K., Danielson, M., & Ekenberg, L. (2008). A framework for evaluation of flood management strategies. *Journal of Environmental Management*, 86, 465-480.
- Haykin, S. (1998). *Neural networks: A comprehensive foundation* (2nd ed). New York: Prentice Hall .
- Jia, J., Wang, J.Z., Liu, X., Xue, Q.K., Li, Z.Q., Kawazoe, Y., & Zhang, S.B. (2002). *Artificial nanocluster crystal: Lattice of identical Al clusters*, *Applied physics letters*, 80 (17), 3186-3188.
- Laskar, J. (2003). *Frequency map analysis in particle accelerators*.. Proceedings of PAC2003", Portland, 12-16 May 2003, 378-382.
- Loster, T.,( 1999). *Flood trends and global change*. Proceedings of Euroconference on global change and catastrophe risk management: Flood risk in Europe .IISA Laxenburg.Austria, 6-9 June 1999.

- Malczewski, G. (2008). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(70), 703–726.
- Rashid, H. (2011). Interpreting flood disasters and flood hazard perceptions from newspaper discourse: Tale of two floods in the Red River valley, Manitoba, Canada. *Applied Geography*, 31, 35-45.
- Singh, V.P. (1996), Hydrology of disasters, water science and technology library. Kluwer Academic Publishers, 24, 395-425.
- The International Disaster Database (EM-DAT). (2016). <http://www.emdat.be/about>.
- Van Alphen B. J., & Stoorvogel, J. J. (2000). A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture. *Soil Science, American Journal*, 64, 1706-1713.
- Van Westen, C. (2006), Geofomation Science Earth Observation for municipal risk management; The SLARLM project, International Institute for Geofomation Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enscheda, The Netherlands.
- Zhu, A.X., & Scott, M. (2001), Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. *Journal of Hydrology*, 284, 57-77.