

کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در مطالعات سیل خیزی

عزت‌الله قنواتی^۱، امیر کرم^۲ و مرضیه آقا علیخانی^۳

چکیده

سیلاب یکی از مخاطراتی است که امروزه بشر با آن مواجه است و هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را به دنبال دارد. در این پژوهش سعی شده تا نواحی با بیشترین ظرفیت تولید رواناب و سیل در حوضه فرحزاد با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی تعیین شود. در این زمینه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شاخص NDVI، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، بارش، انحنای پروفیل و پلانیمتری، شیب، لندفرم‌ها، کاربری اراضی و لیتولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. در نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی نواحی با خطر بسیار بالا در بخش‌های شمالی و بالادست حوضه واقع گردیده‌اند. اغلب نواحی با خطر سیل‌خیزی بسیار بالا در شیب‌های بین ۶۰-۸۰ درصد با بارش ۴۰۰-۱۰۰۰ میلی‌متر و واحدهای کوهستانی با شیب زیاد واقع گردیده است. بسیاری از این پهنه‌ها در فاصله ۳۰۰ متری از آبراهه فرحزاد واقع گردیده‌اند. پهنه‌های با خطر سیل‌خیزی بالا در اطراف پهنه‌های با خطر سیل‌خیزی بسیار بالا هستند. این نواحی شیب‌های بین ۴۰-۶۰ درصد را شامل می‌شود. شاخص NDVI در هر دو پهنه نشان‌دهنده فقر پوشش گیاهی است.

کلیدواژگان: پهنه‌بندی، سیلاب، مخاطرات، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، فرحزاد.

۱. دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت معلم

۲. استادیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت معلم

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی

مقدمه

در جهان امروز همواره مخاطرات بی‌شماری گریبان‌گیر بشر هستند که سبب خسارات مالی و جانی بسیاری می‌شوند، یکی از این مخاطرات سیلاب است که همراه با زلزله و زمین لغزش جزء سه مخاطره طبیعی است که بیشترین خسارات را به بشر وارد می‌کنند. (بهشتی، ۱۳۸۸)

اما این خسارات وقتی بیشتر می‌شود که در مراکز انسانی رخ دهند بنابراین مراکز انسانی باید با برنامه‌ریزی بیشتری توسعه پیدا کنند. گاهی این مراکز نظیر شهر تهران، مرحله توسعه خود را طی کرده‌اند، در چنین حالتی تنها راه باقی‌مانده مدیریت این قبیل پدیده‌ها است. در زمینه سیلاب نیز جهت مدیریت این پدیده، تعیین مکان‌هایی که دارای بالاترین میزان تولید رواناب و سیل‌خیزی هستند از ضرورت‌های اولیه است، زیرا برنامه‌ریزی در بالادست این مناطق موجب مدیریت این پدیده به صورت خودکار در مراکز انسانی پایین‌دست می‌شود. رخداد چندین سیلاب در تهران که در برخی موارد با خسارات جانی و مالی همراه بوده است، نشان‌دهنده ضرورت مطالعه جامع در زمینه سیلاب در حوضه‌های بالادست شهر تهران است که از جمله می‌توان به سیلاب ۷ مرداد ۱۳۳۳ معروف به سیل امامزاده داود اشاره کرد که با خسارات جانی فراوان همراه بوده است. (روزنامه کیهان، ۱۳۳۳/۵/۹) سیلاب ۴ مرداد ۱۳۶۶ که در مناطق شمیران و مناطق شمالی تهران رخ داد و تعداد زیادی از ساکنین منطقه جان خود را از دست دادند. (قربانی و همکاران، ۱۳۸۶) در ۳ و ۴ اردیبهشت ۱۳۷۴ بارندگی در حوضه رودخانه کن موجب جاری شدن سیلاب در این منطقه گردید. (روزنامه ایران، ۱۳۷۴/۲/۵) همچنین در تاریخ ۱۳۸۶/۱/۲۶ بارندگی در بسیاری از مناطق مرکزی و جنوبی شهر تهران باعث آب‌گرفتگی شد. (روزنامه جام‌جم، ۱۳۸۶) علاوه بر موارد فوق سیلاب‌های مهم دیگری در سال‌های ۱۳۱۶، ۱۳۴۶ و ۱۳۴۷ در تهران رخ داده است. براساس مطالعات انجام شده، تعداد حوادث سیل در شهر تهران طی چهار دهه (۱۳۳۱-۱۳۷۰) رو به افزایش بوده، در دهه اول ۱۲ مورد، دهه دوم ۱۵ مورد، دهه سوم ۳۳ مورد و دهه چهارم ۵۴ مورد به وقوع پیوسته است. (صابری، ۱۳۷۵)

در این پژوهش سعی گردیده تا به این سؤال پاسخ داده شود که: کدام پهنه‌ها در حوضه فرحزاد دارای بیشترین پتانسیل در تولید رواناب و در نتیجه سیلاب است؟ در نتیجه هدف از

این مطالعه تعیین نواحی با بیشترین ظرفیت تولید رواناب است. جهت پاسخ به این سوال از روشی به نام AHP یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۱ استفاده است که اولین بار بوسیله ساتی^۲ ارائه گردیده است. این مدل به ما کمک می‌کند تا پدیده‌های پیچیده را که از متغیرهای بسیاری تأثیر می‌پذیرند در یک چارچوب سازماندهی شده مورد بررسی قرار دهیم. مدل مذکور بر مبنای مقایسه زوجی متغیرها استوار است و پژوهشگر را قادر به مقایسه متغیرهایی با واحدهای اندازه‌گیری مختلف می‌کند. (محمدی لرد، ۱۳۸۸: ۳۳)

مطالعات بسیاری در ارتباط با سیلاب و زمینه‌های مختلف مرتبط با سیلاب صورت گرفته که همگی نشان‌دهنده اهمیت مساله سیلاب است و می‌توان به کارهای بسیاری در سطح ایران و جهان در این زمینه اشاره کرد، از جمله به کارهای انجام شده بوسیله وندرسن^۳ و همکاران (۲۰۰۳) اشاره کرد که تصویر ماهواره‌ای IKONOS-2 را در بخش‌های جنوبی هلند جهت برآورد خطر و خسارات سیلاب با استفاده از مدل LISFLOOD طبقه‌بندی کردند. در نهایت، خسارات ناشی از سیلاب را با توجه به عمق و حجم سیلاب در ارتباط با هر طبقه پوشش زمین تعیین کردند. حرکت سیلابها در مراحل مختلف در حوضه آمازون بوسیله مارتینز^۴ و همکاران (۲۰۰۷) بررسی شد، آنها تأثیر حرکت سیلابها بر روی توزیع پوشش گیاهی را براساس مدت زمان سیلاب با کمک تصاویر ماهواره‌ای تعیین کرده‌اند. تأثیر داده‌های توپوگرافیکی، پیکربندی ژئومتریک و انواع روش‌های مدلسازی بر روی نقشه‌کشی طغیان سیلاب بوسیله کوک^۵ و همکاران (۲۰۰۹) بررسی شده است. در این بررسی بر روی نهر استراودز و برازاس که دارای شرایط توپوگرافیک و پیکربندی ژئومتریک متفاوت‌اند صورت گرفته و در دو مدل HEC-RAS و FESWMS اجرا شده تا تأثیر هر یک از این عوامل در نقشه‌کشی سیلاب تعیین شود. برای نقشه‌کشی سیلاب مدلی به نام مهندسی معکوس سیلاب طراحی شده و جهت نقشه‌کشی سیلاب در کشورهای در حال توسعه که اطلاعات کافی برای مطالعه سیلاب در دسترس ندارند نظیر حوضه هلمند در افغانستان

-
1. Analytic Hierarchy Process
 2. Saaty
 3. Vander Sand
 4. Martinez
 5. Cook

به کار رفته است (Hagen, et al, 2010). علاوه بر موارد فوق مطالعات دیگری در زمینه سیلاب بوسیله سیناکودن^۱ و همکاران (۲۰۰۳)، هودسن^۲ و همکاران (۲۰۰۳)، والسکی^۳ و همکاران (۲۰۰۶)، مرواید^۴ و همکاران (۲۰۰۸)، بالدزار^۵ و همکاران (۲۰۰۹) انجام شده است. در ایران نیز کارهای بسیاری در زمینه سیلاب انجام شده که از جمله می‌توان به کارهای زیر اشاره نمود: یکی از کارهایی که در ارتباط با سیلاب و با استفاده از سنجش از دور در ایران صورت گرفته توسط وهابی (۱۳۷۶) است که از نرم‌افزار HEC-1 جهت مدل‌سازی و CN برای برآورد سیلاب استفاده کرده است. فنواتی (۱۳۸۶) نیز جهت شناسایی عوامل مختلف هیدروژئومورفولوژیکی مؤثر بر سیلاب در حوضه گاماسیاب از پارامترهای مورفومتریکی حوضه همچون ضریب جریان، ارتفاع متوسط، شیب حوضه، طول حوضه، مساحت حوضه و... بهره برده است. همچنین حسین‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) تأثیر گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری را مطالعه کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که اثرات مستقیم و غیرمستقیم شهر بر الگوی زهکشی طبیعی در محدوده گسترش شهر سبب تشدید سیل‌خیزی در این شهر شده است. امیراحمدی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS سیلاب را در دشت کرون بررسی کرده است. جهت برآورد رواناب از روش CN حفاظت خاک آمریکا (SCS) و مدل HEC-HMS استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نحوه مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل خروجی لزوماً متناسب با دبی اوج زیر حوضه‌ها نیست. علاوه بر مطالعات فوق، در زمینه سیلاب در حوضه‌های کوهستانی بالادست کلانشهر تهران نیز تحقیقاتی صورت گرفته است. جلالی راد (۱۳۸۱) با کمک نرم‌افزار HEC-RAS و معرفی مقاطع عرضی به نرم‌افزار عمق و وسعت سیلاب را به ازاء دوره‌های بازگشت مختلف در بخشی از حوضه آبخیز شهر تهران تعیین و خسارات ناشی از سیل به ازاء هر دوره بازگشت را تعیین نموده است. صراطی (۱۳۸۵) مدل پهنه‌بندی سیلاب در حوضه دربند در شمال تهران را ارائه و برای ارزیابی و اصلاح مدل از شاخص رتبه‌ای رابطه‌ای استفاده نموده است. صادقی و همکاران (۱۳۸۶) جهت بررسی نقش پل‌ها و آبروها بر

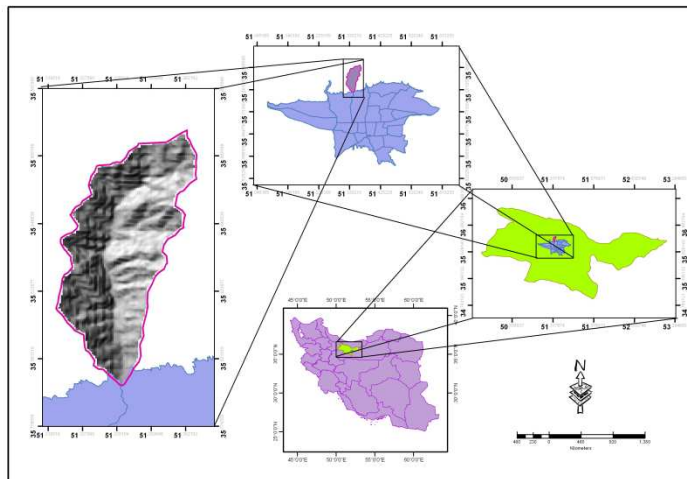
1. Sinnakaudan
2. Hudson
3. Wolski
4. Merwade
5. Baldassarre

رفتار سیل در دوره‌های بازگشت مختلف در بازه‌ای از رودخانه کن از مدل HEC-RAS استفاده کردند و رفتار هیدرولیکی رودخانه در دو حالت فعلی و حذف فرضی سازه مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر متفاوت هر یک از سازه‌ها بر عمق و سطح سیل‌گیری و همچنین تأثیر بیشتر آبروها نسبت به پل‌ها است. تبدیل سطوح قابل نفوذ اولیه به سطوح غیرقابل نفوذ و همچنین انسداد و تغییر مسیر آبراهه‌ها بدون توجه به اصول ژئومورفولوژیکی سبب پس‌زدگی آب می‌شود به طوری که حتی بارش‌های کوتاه مدت سبب ایجاد سیلاب و آبگرفتگی در سطح شهر می‌شود، مقیمی و صفاری (۱۳۸۹) به بررسی تأثیر چنین توسعه‌ای بر روی زهکشی سطحی در کلان‌شهر تهران پرداخته‌اند و نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان می‌دهد که شبکه زهکشی شهر تهران با توجه به سیر مراحل تکوین مخروط افکنه‌های منطقه، فعالیت‌های زمین‌ساختی و وضعیت اقلیمی آن شکل گرفته است و تغییرات غیراصولی در این شبکه و رعایت نکردن اصول ژئومورفولوژیکی در تعریض و تعمیق سیلاب‌روها، طیفی از تحولات ژئومورفولوژیکی و گاهی اوقات خسارت بار را بدنبال داشته است.

با توجه به مطالعات انجام شده و قرار گرفتن تهران در پایین دست حوضه فرحزاد و همچنین عدم پژوهشی جامع در این زمینه، پهنه‌بندی سیل‌خیزی در حوضه فرحزاد را ضروری می‌کند.

منطقه مورد مطالعه

فرحزاد یکی از هفت رود دره‌ای است که تهران خود را از سمت شمال به آن رسانده است. حوضه فرحزاد در بالادست شهر تهران قرار گرفته و دارای مساحت تقریبی ۲۲/۲۹ کیلومتر مربع است. از نظر موقعیت جغرافیایی در عرض جغرافیایی $35^{\circ}47'$ تا $35^{\circ}52'$ شمالی و طول جغرافیایی $51^{\circ}19'$ تا $51^{\circ}21'$ شرقی واقع گردیده است. (شکل ۱) این رودخانه از ارتفاعات امامزاده داوود سرچشمه می‌گیرد.



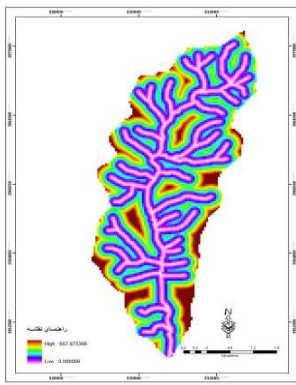
شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

اقلیم این حوضه از نوع نیمه خشک کوهستانی و سرد است و از نظر توپوگرافی جهت کلی دامنه‌ها رو به جنوب پر شیب است. حداقل ارتفاع این حوضه ۱۶۰۰ متر و حداکثر آن ۳۴۰۷ متر است. بر طبق نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان تهران دارای تیپ کوهستانی بوده و واحدهایی با کوه‌های بسیار مرتفع و عموماً با قله مضرس را شامل می‌شود که متشکل از سنگ‌هایی نظیر سنگ‌های سخت آهکی - شیل، کنگلومرا، آذرآواری و بعضاً آذرین است. (مؤسسه تحقیقات آب و خاک، ۱۳۷۰)

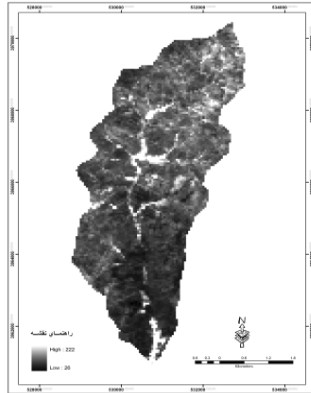
داده‌ها و روش

با توجه به موضوع و هدف تحقیق که تعیین مناطق سیل‌خیز در حوضه فرحزاد است و همچنین بر اساس تجارب و مطالعات قبلی (صراطی، ۱۳۸۵ و ساعد، ۱۳۸۷) داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی شامل: شاخص NDVI، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، بارش، انحنا پروفیل و پلانیمتریک، شیب، لندفرم‌ها، کاربری اراضی و لیتولوژی به عنوان پارامترهای مؤثر بر سیل‌خیزی تعیین شدند. برای تهیه داده‌ها و لایه‌های مذکور از اطلاعات سینوپتیکی ایستگاه هواشناسی تجریش، مهرآباد، چیتگر، کرج و امین‌آباد، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجریش،

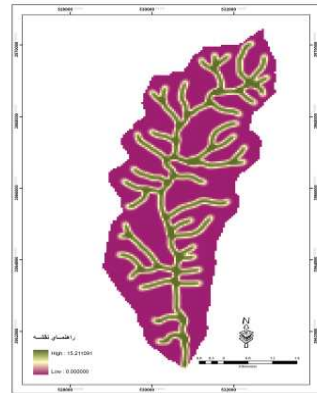
نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران، نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰ تهران، تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ لندست و تصویر ماهواره‌ای IRS-LISS III استفاده شده است. شاخص NDVI با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ در نرم افزار ERDAS تهیه شده است و تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، هر چه مقدار عددی در لایه بالاتر باشد تراکم پوشش گیاهی بالاتری را داریم، بنابراین با سیل خیزی رابطه معکوس دارد. (شکل ۲) تراکم زهکشی از تقسیم طول آبراهه‌ها بر مساحت به دست می‌آید این پارامتر با پدیده سیل خیزی دارای رابطه مستقیم است. (شکل ۳) فاصله از آبراهه از دیگر پارامترهای مؤثر بر سیل خیزی است، هر چه فاصله از آبراهه در حوضه افزایش یابد سیل خیزی نیز افزایش می‌یابد. (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه فاصله از آبراهه



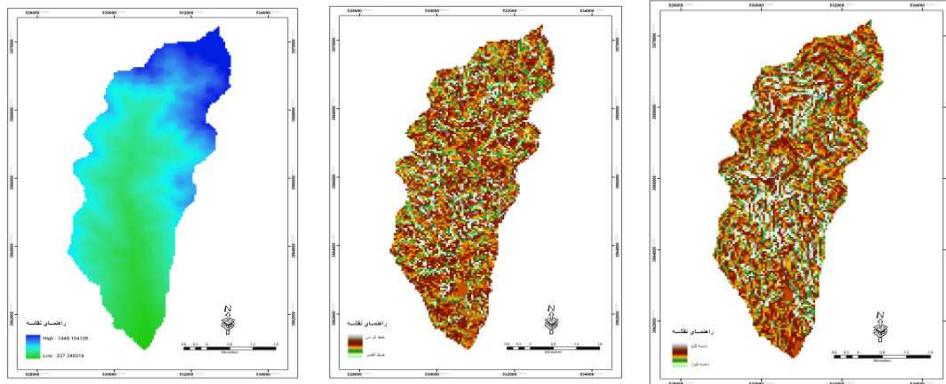
شکل ۳: نقشه تراکم زهکشی



شکل ۲: نقشه شاخص NDVI

بارش از مهمترین عوامل مؤثر بر سیل خیزی است. برای تهیه لایه بارش منطقه از داده‌های ایستگاه هواشناسی شمال تهران، مهرآباد، چیتگر، کرج و امین‌آباد استفاده شده و رابطه نمایی تغییرات بارش با ارتفاع به دست آمده است (رابطه ۱) که مقدار همبستگی آن ۰/۸۷ است.

$$Y = 47.92e^{0.001x} \quad R^2 = 0.876 \quad (1)$$



شکل ۷: نقشه انحنا پلانیمتری

شکل ۶: نقشه انحنا پروفیل

شکل ۵: نقشه بارش

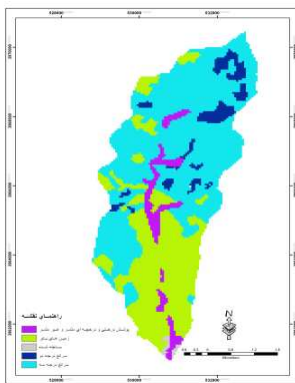
لایه بارش (شکل ۵) با قرار دادن DEM منطقه در این رابطه به دست آمده است. انحنا پروفیل و پلانیمتریک (شکل ۶ و ۷) نیز بر روی سیل خیزی مؤثر هستند. انحنا پروفیل نشان‌دهنده دامنه‌های کاو و کوژ است، اما انحنا پلانیمتریک تعیین‌کننده دره‌ها و ستیخ‌هاست. دامنه‌های کوژ و ستیخ‌ها تأثیر زیادی را در سیل‌خیزی دارند. عامل شیب (شکل ۸) با مساله سیل‌خیزی رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش شیب، دامنه‌ها سیل‌خیزتر می‌شوند.

در منطقه ۱۷ لندفرم براساس واحد کلان ارضی، شیب و لیتولوژی منطقه تعیین شد. (جدول ۱)، برای تهیه این لایه از نقشه توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای IRS استفاده شده است. (شکل ۹) برخی نواحی نظیر مناطق ساخته شده شهری با تراکم بالا و زمین‌های بایر نیز توان تولید رواناب بالایی دارند. برای تعیین تأثیر چنین نواحی بر سیل‌خیزی لایه کاربری (شکل ۱۰) با استفاده از تصویر ماهواره‌ای IRS تهیه شده است. مشخصات هر یک از کاربری‌ها نیز در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

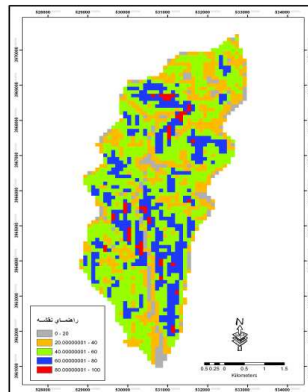
جدول ۱: مشخصات لایه لندفرم‌های حوضه

مساحت (درصد)	امتیاز	واحد‌های ارضی	لیتولوژی		شیب		واحد کلان ارضی			
۰۴/۰	۵	VAB	B	سازند هزار دره	A	کم	V	دره		
۳۶/۰	۲	VAG	G	پادگانه و مخروط افکنه کنگلومرایی						
۸۷/۱	۱	VAI	I	سازند آبرفتی تهران						
۰۲/۰	۶	VBB	B	سازند هزاردره	B	متوسط				
۸۲/۰	۳	VBC	C	سنگ اهک						
۰۹/۳	۴	VBJ	J	سازند کهریزک						
۶۷/۰	۷	VCA	A	گچ	C	زیاد				
۷/۱	۸	VCE	E	سنگ توف						
۰۴/۰	۱۰	MBG	G	پادگانه و مخروط افکنه کنگلومرایی	B	متوسط	M	کوهستان		
۴۲/۱۲	۹	MBI	I	سازند آبرفتی تهران						
۲۲/۰	۱۲	MCB	B	سازند هزاردره	C	زیاد				
۴/۱	۱۴	MCC	C	سنگ اهک						
۰۹/۰	۱۱	MCD	D	سنگ‌های آندزیتی - داسیتی، آذرآواری						
۹۴/۲۰	۱۵	MCE	E	سنگ توف						
۲/۱۵	۱۶	MCF	F	ماسه سنگ - شیل						
۴۵/۴	۱۷	MCH	H	دولومیت سلطانیه						
۷۳/۳۶	۱۳	MCJ	J	سازند کهریزک						
۱۰۰		مجموع								

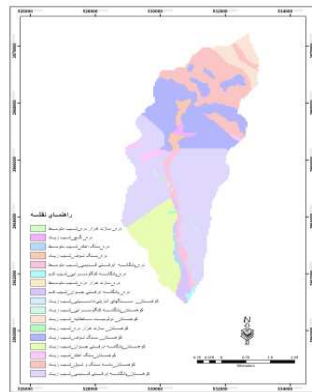
به لندفرم‌ها در جدول فوق به گونه‌ای امتیاز داده شده که با سیل خیزی در حوضه رابطه مستقیم دارد.



شکل ۱۰: نقشه کاربری اراضی



شکل ۹: نقشه لندفرمها



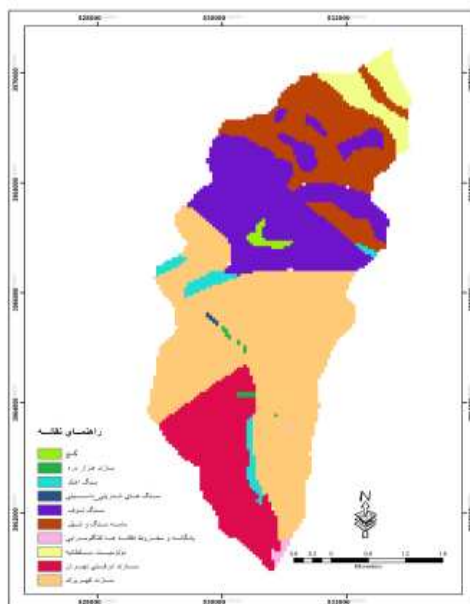
شکل ۸: نقشه شیب

جدول ۲: مشخصات نقشه کاربری اراضی حوضه فرحزاد

ردیف	کاربری	امتیاز	مساحت-KM2	مساحت-درصد
۱	ساخته شده	۵	۱۲/۰	۵۲/۰
۲	پوشش درختی و درختچه‌ای	۱	۳/۱	۸۳/۵
۳	زمین‌های بایر	۴	۸۵/۶	۷/۳۰
۴	مراعت درجه سه	۳	۷۲/۱۲	۰۷/۵۷
۵	مراعت درجه دو	۲	۳۱/۱	۸۹/۵
	مجموع		۲۹/۲۲	۱۰۰

*به کاربری‌ها در جدول فوق به گونه‌ای امتیاز داده شده که با سیل‌خیزی در حوضه رابطه مستقیم دارد.

لیتولوژی (شکل ۱۱) آخرین پارامتریست که جهت تعیین نواحی سیل‌خیز استفاده می‌شود. این لایه براساس نقشه زمین‌شناسی تهیه شده است. واحدهای لیتولوژیک مقاوم به دلیل تأثیری که در نفوذپذیری دارند بر روی تولید رواناب و سیل‌خیزی در حوضه مؤثرند. در جدول زیر مشخصات مربوط به هر یک از کاربری‌ها ارائه شده است.



شکل ۱۱: نقشه لیتولوژی

جدول ۳: مشخصات نقشه لیتولوژی حوضه فرحزاد

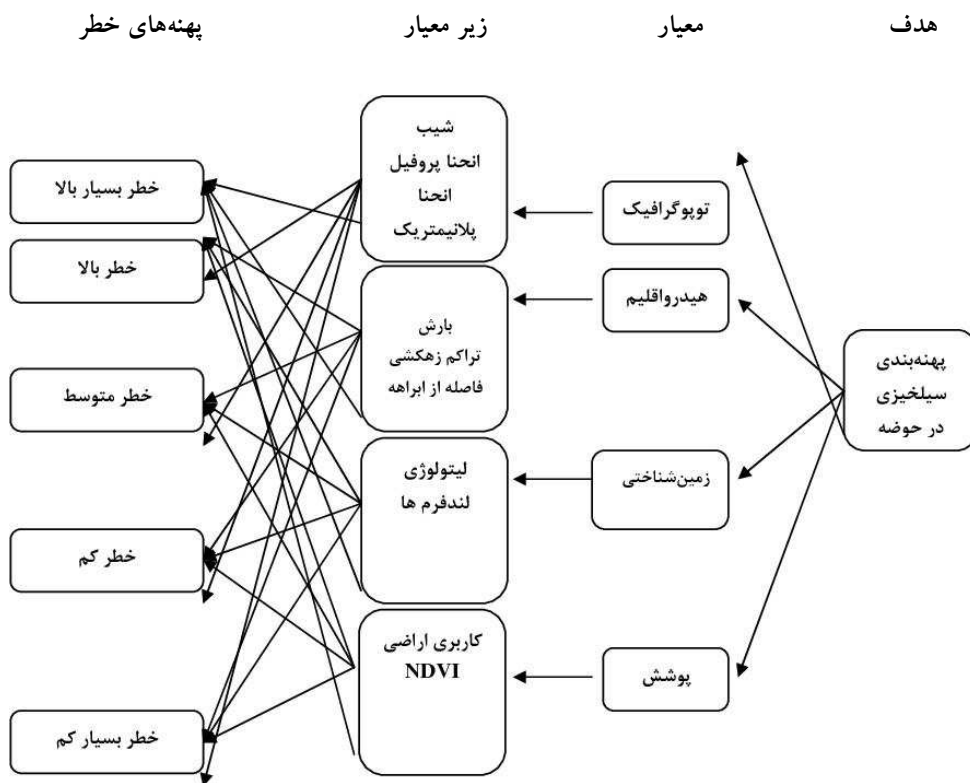
ردیف	سنگ اصلی	امتیاز	مساحت-KM2	مساحت-درصد
۱	دولومیت سلطانیه	۷	۰/۱	۵۳/۴
۲	سنگ توف	۹	۰/۲/۵	۲۲/۵۳
۳	گچ	۳	۱۴/۰	۰/۶۳
۴	ماسه سنگ- شیل	۸	۴/۳	۱۵/۲۵
۵	سنگ آهک	۵	۴۹/۰	۲/۲
۶	سنگ‌های اندزیتی- داسیتی، آذرآواری‌ها	۱۰	۰/۰۳	۱۱/۰
۷	سازند هزار دره	۶	۰۶/۰	۲۸/۰
۸	پادگانه و مخروط‌افکنه‌های کنگلومرایی	۴	۰/۰۹	۳۸/۰
۹	سازند کهریزک	۲	۸۹/۸	۸۷/۳۹
۱۰	سازند آبرفتی تهران	۱	۱۷/۳	۱۴/۲۲
مجموع			۲۹/۲۲	۱۰۰

*به لیتولوژی‌ها در جدول فوق به گونه‌ای امتیاز داده شده که با سیل خیزی در حوضه رابطه مستقیم دارد.

با توجه اثر و اهمیت هر یک عوامل مؤثر بر سیل خیزی، لایه‌های موردنظر بر اساس مدل کمی- کیفی فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن‌دهی شدند. (شکل ۱۲) فرایند تحلیل سلسله مراتبی مبنی بر مقایسات زوجی است که شامل عنصر، هدف، معیارها، مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی است. (زبردست، ۱۳۸۰) تحلیل سلسله مراتبی ارائه‌دهنده روشی برای طبقه‌بندی گزینه‌ها در آخرین سطح است که این طبقه‌بندی منتج از تعیین ارجحیت بین معیارهاست. (saaty, etal, 2007)

این مدل در اجرا از سه مرحله یا گام اصلی شامل ایجاد مقایسات زوجی، محاسبه وزن معیارها و تخمین نرخ سازگاری تشکیل شده است. (زبیری و دیگران، ۱۳۸۷) برای انجام مقایسات زوجی در مدل از مقیاس عددی یک تا نه استفاده می‌شود. عدد یک نشان‌دهنده اهمیت برابر معیارهای مورد مقایسه و عدد نه نشان‌دهنده بالاترین اهمیت است. نرخ سازگاری نیز که مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد نشان‌دهنده درستی مقایسات انجام شده است.

براساس شکل (۱۲) مدل شامل چهار معیار اصلی عوامل توپوگرافیک، عوامل هیدرواقليمی، عوامل زمین‌شناختی و پوشش زمین است. عوامل توپوگرافیک شامل شیب، انحنا پروفیل و انحنا پلانیمتری هستند. بارش، تراکم زهکشی و فاصله از آبراهه نیز زیر معیارهای عوامل هیدرواقليمی را تشکیل می‌دهند. زیرمعیارهای عوامل زمین‌شناختی شامل لیتولوژی و واحدهای ارضی است. کاربری ارضی و NDVI نیز زیرمعیارهای پوشش زمین را تشکیل می‌دهند.



شکل ۱۲: نمودار ساختار مدل AHP جهت مدل‌سازی سیلاب در دره فرحزاد

یافته‌ها

جهت تعیین مناطق با خطر سیل‌خیزی بالا در حوضه فرحزاد از مدل AHP استفاده گردیده و برای استفاده از این مدل ابتدا لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده براساس نوع رابطه‌شان با این پدیده طبقه‌بندی و امتیازدهی شده و در نهایت، وارد مدل شده‌اند. همانطور که در جداول زیر مشاهده می‌شود

معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مربوط به آنها با یکدیگر مقایسه شده است. در این جداول اهمیت معیار سطری نسبت به معیار ستونی مقایسه شده است. مقدار عددی ۱ نشان‌دهنده اهمیت برابر معیار سطری و معیار ستونی است. در حالی که مقدار عددی ۹ نشان‌دهنده اهمیت فوق‌العاده زیاد معیار سطری در مقایسه با معیار ستونی است. در جداول ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ مقایسات زوجی مربوط به مدل ارائه شده است.

جدول ۴: مقایسات زوجی معیارهای اصلی مدل

شرح	توپوگرافی	هیدرواقليم	زمین شناختی	پوشش زمین	وزن
توپوگرافی	۱	۳	۵	۷	۰/۵۷
هیدرواقليم	۰/۳۳	۱	۳	۵	۰/۲۶
زمین شناختی	۰/۲	۰/۳۳	۱	۳	۰/۱۲
پوشش زمین	۰/۱۴	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۰۵
مجموع	-	-	-	-	۱

$$CR=۰/۰۴۳$$

جدول ۵: مقایسات زوجی زیر معیارهای عوامل توپوگرافیک مدل

شرح	شيب	انحنا پروفيل	انحنا پلانيمتریک	وزن
شيب	۱	۳	۵	۰/۶۴
انحنا پروفيل	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲۶
انحنا پلانيمتریک	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۱
مجموع	-	-	-	۱

$$CR=۰/۰۳۷$$

جدول ۶: مقایسات زوجی زیر معیارهای عوامل هیدرواقليمی مدل

شرح	بارش	تراکم زهکشی	فاصله از ابراهه	وزن
بارش	۱	۳	۵	۰/۶۴
تراکم زهکشی	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲۶
فاصله از ابراهه	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۱
مجموع	-	-	-	۱

$$CR=۰/۰۳۷$$

جدول ۷: مقایسات زوجی زیر معیارهای عوامل زمین شناختی مدل

شرح	لیتولوژی	لندفرمها	وزن
لیتولوژی	۱	۳	۰/۷۵
لندفرمها	۰/۳۳	۱	۰/۲۵
مجموع	-	-	۱

$$CR=0$$

جدول ۸: مقایسات زوجی زیر معیارهای عوامل پوشش زمین مدل

شرح	کاربری اراضی	NDVI	وزن
کاربری ارضی	۱	۳	۰/۷۵
NDVI	۰/۳۳	۱	۰/۲۵
مجموع	-	-	۱

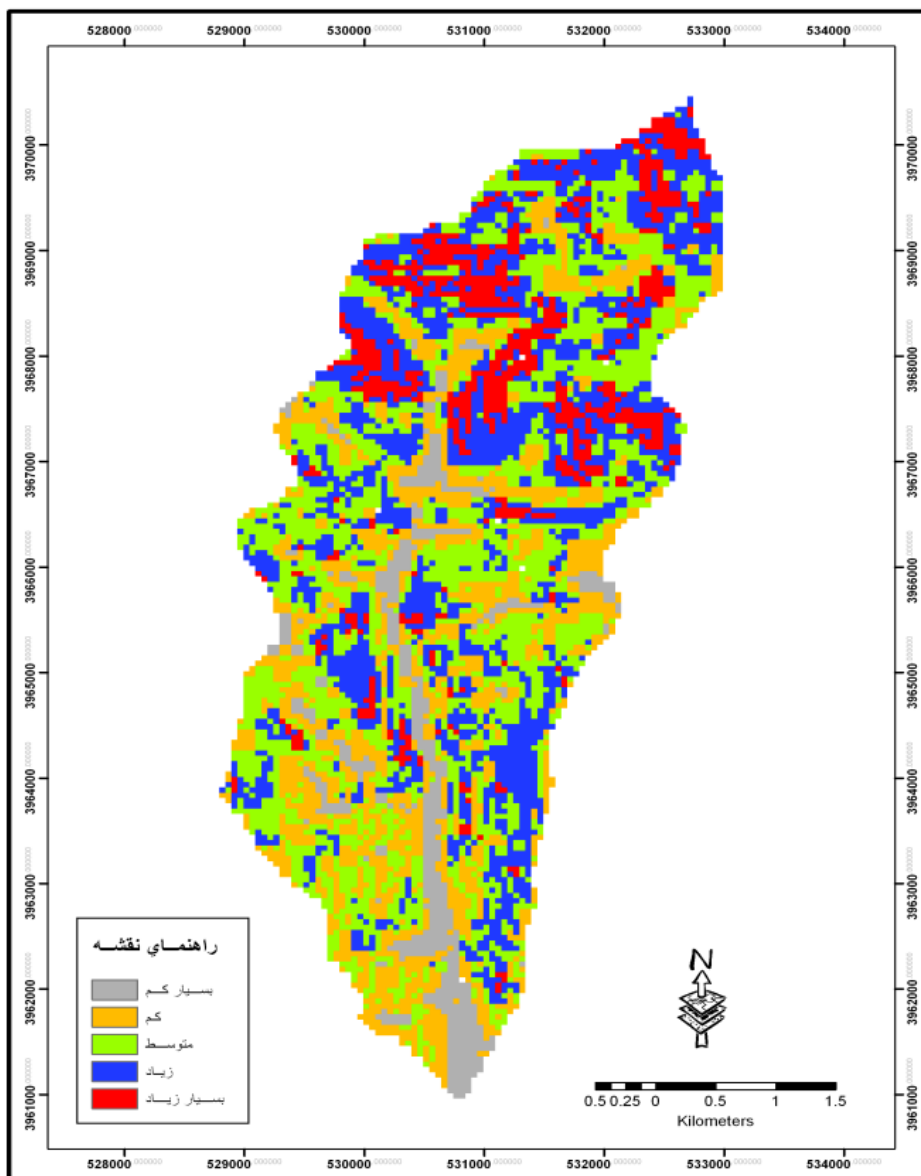
$$CR=0$$

جهت تعیین وزن نهایی معیارها، پس از مقایسه زوجی معیارها وزن معیارهای اصلی در وزن زیر معیارهای فرعی مربوط به خود ضرب شده است. در زیر (جدول ۹) وزن نهایی معیارها در مدل AHP نشان داده شده است.

جدول ۹: وزن نهایی مربوط به هر یک از معیارها

معیارهای اصلی	وزن	معیارهای فرعی	وزن	وزن نهایی معیارها
توپوگرافیک	۰/۵۷	شیب	۰/۶۴	۰/۳۵
		انحنا پروفیل	۰/۲۶	۰/۱۵
		انحنا پلانیمتریک	۰/۱	۰/۰۶
هیدرو اقلیم	۰/۲۶	بارش	۰/۶۴	۰/۱۷
		تراکم زهکشی	۰/۲۶	۰/۰۷
		فاصله از ابراهه	۰/۱	۰/۰۳
زمین شناختی	۰/۱۲	لیتولوژی	۰/۷۵	۰/۰۹
		لندفرمها	۰/۲۵	۰/۰۳
پوشش زمین	۰/۰۵	کاربری اراضی	۰/۷۵	۰/۰۴
		NDVI	۰/۲۵	۰/۰۱
مجموع	۱	--	-	۱

در نهایت پس از مقایسه زوجی معیارها و تعیین وزن مربوط به هر یک از آنها براساس جداول فوق نقشه پهنه‌بندی خطر سیل خیزی در حوضه تهیه شده است. (شکل ۱۳)



شکل ۱۳: نقشه پهنه‌بندی خطر سیل خیزی در حوضه فرحزاد

نتیجه‌گیری

براساس نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی تهیه شده پهنه‌های با خطر سیل‌خیزی بسیار زیاد بصورت پهنه‌هایی در شمال و بالادست حوضه مورد مطالعه بوده و در حد فاصل میاناب‌ها واقع شده‌اند و پهنه‌های با خطر کم و بسیار کم نیز اغلب در دره‌ها و خط‌القعرها واقع شده‌اند و از الگوی زهکشی حوضه پیروی می‌کنند و پهنه‌های با خطر متوسط اغلب در حدفاصل بین این پهنه‌ها قرار گرفته‌اند. در جدول (۱۰) مساحت هر یک از این طبقات به درصد و کیلومتر مربع ارائه شده است.

جدول ۱۰: مساحت طبقات خطر سیلاب در حوضه فرحزاد

ردیف	طبقات خطر	مساحت (KM ²)	مساحت (درصد)
۱	بسیار کم	۱/۷	۷/۷
۲	کم	۵	۲۲/۵
۳	متوسط	۷/۰۲	۳۱/۶
۴	زیاد	۶/۲	۲۷/۹
۵	بسیار زیاد	۲/۳	۱۰/۳

براساس جدول (۱۰) بیشترین مساحت منطقه را نواحی با خطر متوسط با ۳۱/۶ درصد از مساحت حوضه تشکیل می‌دهند، اما نواحی با خطر زیاد و کم نیز مساحت قابل توجهی از منطقه (به ترتیب ۲۷/۹ و ۲۲/۵ درصد منطقه) را تشکیل می‌دهند و کمترین مساحت نیز مربوط به نواحی با خطر بسیار کم (۷/۷ درصد) و سپس نواحی با خطر بسیار زیاد (۱۰/۳ درصد) است.



شکل ۱۴: مساحت طبقات خطر به درصد

شکل شماره (۱۴) مساحت هر یک از طبقات خطر را به درصد نشان می‌دهد، براساس این نمودار بیشترین مساحت منطقه مربوط به مناطقی با خطر سیل‌خیزی متوسط است و کمترین مساحت منطقه مربوط به مناطقی با خطر بسیار کم می‌باشد. نتایج تحلیل ناحیه‌ای که حاصل همپوشانی نقشه نهایی با نقشه‌های مربوط به هر یک از عوامل دهگانه مؤثر بر سیلاب است، نشان می‌دهد که بیش از نیمی از مناطق با خطر بسیار زیاد شبیهی بین ۶۰ تا ۸۰ درصد را دارند و بر روی میاناب‌ها واقع شده‌اند. نیمی از نواحی با خطر سیل‌خیزی زیاد و متوسط نیز شبیهی بین ۴۰ تا ۶۰ درصد دارند، نواحی با خطر کم (تقریباً ۵۰ درصد) و بسیار کم (۹۸ درصد) شبیهی بین ۰-۴۰ درصد دارند و در دره‌ها و خط‌القعرها واقع شده‌اند. با افزایش شیب خطر سیل‌خیزی افزایش می‌یابد، که متناسب با رابطه شیب و سیل‌خیزی است. بیشتر نواحی با خطر سیل‌خیزی بسیار زیاد بارندگی بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر را دارا هستند. بیش از نیمی از پهنه‌های با خطر زیاد، متوسط و کم بارش سالانه ۴۰۰-۶۰۰ میلی‌متر را دارند. کمترین مقدار بارش سالانه (۲۰۰-۴۰۰ میلی‌متر) مربوط به نواحی با خطر بسیار کم (۶۷ درصد مساحت این نواحی) است، بنابراین میزان خطر در حوضه با افزایش مقدار بارش سالانه در حوضه افزایش می‌یابد، در واقع پهنه‌های با خطر زیاد دارای مقدار بارش بیشتری نسبت به پهنه‌های با خطر کم هستند. نواحی با خطر بسیار کم و کم دارای کمترین فاصله و نواحی با خطر زیاد و بسیار زیاد دارای بیشترین فاصله از آبراهه اصلی هستند، در حالی که نواحی با خطر متوسط بطور پراکنده در سرتاسر حوضه مشاهده می‌شوند. بیش از ۹۰ درصد از مناطق با خطر بالا در واحدهای کوهستانی با شیب زیاد می‌باشد که لیتولوژی آن اغلب از نوع توف، سنگ‌های آذرآواری و ماسه سنگ است. این مناطق اغلب از مراتع درجه سه پوشیده شدند که از لحاظ پوشش گیاهی فقیر بوده شاخص NDVI نیز نشان‌دهنده فقر پوشش گیاهی و تراکم پایین آن در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و تراکم بالای پوشش گیاهی در مناطق با خطر کم و بسیار کم است.

نتایج حاصل نشان‌دهنده قابلیت و کارایی این مدل در پهنه‌بندی سیلاب است. تاکنون از روش‌های بسیاری برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده شده است، صراطی (۱۳۸۵) و ساعد (۱۳۸۷) از مدل وزنی و دادرسی سبزوار (۱۳۸۷) از مدل فازی برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده

نمودند. اما روش AHP در مقایسه با این روش‌ها دارای مزایای بسیاری است که سبب افزایش قابلیت و کارایی بیشتر این مدل می‌شود. مهمترین مزیت این مدل سادگی آن در اجرا است که موجب شده بطور گسترده در پهنه‌بندی پدیده‌های مختلف به کار رود. باقری بداغ آبادی و همکاران (۱۳۸۲) از این مدل در پهنه‌بندی شوری خاک و جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۸۶) برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استفاده کردند. از دیگر مزایای این مدل قابلیت آن در مقایسه و مدل‌سازی پدیده‌ها بوسیله پارامترهایی با واحدهای اندازه گیری متفاوت و حتی با پارامترهای کیفی است که سبب سادگی هر چه بیشتر این مدل می‌شود. این مدل همچنین دارای قابلیت اصلاح و بازنگری است.

تعیین مناطق با خطر سیل‌خیزی زیاد این کمک را به ما می‌کند تا با انجام اقدامات لازم در این مناطق مقدار رواناب ناشی از بارش کاهش یابد از جمله این اقدامات انجام عملیات آبخیزداری است. ایجاد شیب شکن‌ها موجب کاهش سرعت آب و افزایش نفوذپذیری می‌شود که نتیجه آن کاهش میزان تولید رواناب است. از تغییر کاربری و تخریب مراتع در این مناطق باید جلوگیری شود زیرا باعث افزایش حجم رواناب می‌شود، بنابراین، از دیگر اقدامات مؤثر در این زمینه تقویت مراتع و پوشش گیاهی است. این اقدامات می‌تواند به کاهش خطر سیل‌خیزی در این نواحی کمک کند.

منابع

۱. امیراحمدی، ابوالقاسم، شیران، مهناز (۱۳۸۸)، "کاربرد مدل HEC-HMS در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب دشت کرون"، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۱۵۳-۱۷۳
۲. باقری بداغ‌آبادی، محسن؛ فسخودی، عباس امینی و اسفندیارپور، عیسی (۱۳۸۲)، "پهنه‌بندی شوری خاک به منظور کاربری محیطی فضای سبز با استفاده از تکنیک AHP و اصول زمین آماری (در جزیره کیش)"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، ص ۱۰۱-۱۱۶
۳. تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ تهیه شده از سازمان فضایی کشور
۴. تصویر ماهواره‌ای IRS، تهیه شده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۵. بهشتی، مسعود؛ فیض‌نیا، سادات؛ سلاجقه، علی و احمدی، حسن (۱۳۸۸)، "بررسی کارایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش فاکتور اطمینان: مطالعه موردی، حوضه آبخیز معلم کلایه". فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۵: ۲۰
۶. جلالی‌راد، رامین (۱۳۸۱)، "پهنه‌بندی سیلاب در بخشی از حوضه آبخیز شهری تهران با استفاده از GIS"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس
۷. جوکار، سرهنگی، امیراحمدی، عیسی ابوالقاسم، سلملیان، حسین (۱۳۸۶)، "پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه صفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره نهم، ص ۷۹-۹۲
۸. حسین‌زاده، سیدرضا؛ جهادی طرفی، مهناز (۱۳۸۶)، "بررسی موضوع سیلاب و آب‌گرفتگی شهر مشهد از دیدگاه ژئومورفولوژی تاریخی و تلفیق آن با روش‌های تجربی"، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۱، ص ۱۴۵-۱۵۹
۹. دادرسی سبزواری، ابوالقاسم و خسروشاهی، محمد (۱۳۸۷)، "شناخت مناطق مستعد برای گسترش سیلاب به روش کاربرد مدل‌های مفهومی (راه‌کاری برای مهار بیابان‌زایی)"، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۵، ص ۲۲۷-۲۴۱
۱۰. روزنامه ایران، پنجم اردیبهشت ۱۳۷۴
۱۱. روزنامه کیهان، روز شنبه نهم مرداد ۱۳۳۳

۱۲. روزنامه جام جم ۱۳۸۶، گروه جامعه، آب‌گرفتگی معابر و سختی تردد شهروندان، به نقل از صادقیان، شماره ۱۹۷۴
۱۳. زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰)، "کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای"، هنرهای زیبا شماره ۱۰: ۱۲-۱۳
۱۴. ساعد، عدرا (۱۳۸۷)، "پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر سنندج"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم
۱۵. صابری، امیر (۱۳۷۵)، "بررسی اثرات تغییرات ناشی از شهرسازی در مسیل‌های شمال تهران به منظور ارائه روش‌های کنترل و مدیریت سیلاب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس
۱۶. صادقی، سیدحمیدرضا؛ قلی‌زاده، محمدحاج؛ وفاه‌خواه، مهدی و مطیعی، همایون (۱۳۸۶)، "نقش شیب‌شکن‌ها بر تغییر عمق و سطح سیلاب در بخشی از رودخانه کن"، تحقیقات منابع آب ایران. سال سوم، شماره ۱، ص ۲۴-۲۷
۱۷. صراطی، نرجس (۱۳۸۵)، "مدلسازی پهنه‌بندی سیل‌خیزی مناطق شهری در وب، منطقه مورد مطالعه شمال تهران (در بند)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم
۱۸. قربانی، اردوان؛ ستاریان، علی و الیاسی بروجنی، حمید (۱۳۸۶)، "بحران سیل در شمال تهران، مرور فعالیت‌های انجام گرفته در جهت مقابله با آن و وضعیت فعلی"، سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه
۱۹. قنواتی، عزت‌الله (۱۳۸۲)، "مدل ژئومورفولوژیکی سیلاب در حوضه گاماسیاب"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۱، ص ۱۷۴-۱۸۲
۲۰. محمدی لرد، عبدالمحمود (۱۳۸۸)، "فرایندهای تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سلسله مراتبی (AHP) به همراه نرم‌افزار Super Decision"، تهران، البرز ف دانش
۲۱. مقیمی، ابراهیم و صفاری، امیر (۱۳۸۹)، "ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری در قلمرو حوضه‌های زهکشی سطحی: مطالعه موردی کلان شهر تهران". فصلنامه مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین، دوره چهاردهم، شماره ۱، ص ۱-۳۱
۲۲. وهابی، جلیل (۱۳۷۶)، "پهنه‌بندی خطر سیل با بکارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز طالقان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس
۲۳. نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجریش، تهیه شده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح

۲۴. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران، تهیه شده از سازمان زمین شناسی
۲۵. نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان تهران، تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب
26. Baldassarre G. Di., Guy Schumann, Paul D. Bates. 2009. "A technique for the calibration of hydrologic models using uncertain satellite observation of flood extent". *Journal of Hydrology*, Volume 367, Pages 276-282.
27. Chen. Jain, Arleen A. Hill, Lensy D. Urbano. 2009. "A GIS-based model for urban flood inundation". *Journal of Hydrology*, 373: 148-192.
28. Cook A., Venkatesh Merwade. 2009. "Effect of topographic data, Geometric Configuration and modeling approach on flood inundation mapping". *Journal of Hydrology*, Volume 337. Pages 131-142.
29. Hagen E., J.F. Shrodr Jr., X.X. Lu, John F. Teufert. 2010. "Reverse engineered flood hazard mapping in Afghanistan: A parsimonious flood map model for developing Countries". *Quaternary International* XXX, Pages 1-10.
30. Hudson P.F., Rene R. Colditz. 2003. "Flood delineation in a larg and complex alluvial vally, lower Panuco basin, Mexico". *Journal of Hydrology*, Volume 280, Pages 222-245.
31. Martinez J.M., Thuy Le Toan. 2007. "Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floatplain using multitemporal SAR data". *Remote Sensing of Environment*, Volume 108, Pages 209-223.
32. Merwade V. Aaron Cook, Julie Coonrod. 2008. "GIS technigues for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping". *Environment Modelling & Software*, Volume 23, Pages 1300-1311.
33. Satty T.L, Peniwati Kirti and Shang S. Jen. 2007. "The Analytic Hierarchy Process and human resource allocation: Half the story". *Mathematical and Computey Modelling*.
34. Sinnakaudan F.K, Aminuddin Ab Ghani, Mohd. Sanusis. Ahmad, Nor Azizi Zakaria. 2003. "Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport". *Environment Modelling & Software*. Volume 18, Pages 119-130.
35. Vander Sande C.J., S.M. De Jong, A.P.J. De-Roo. 2003. "A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for landcover mapping to assist flood risk and flood damages assessment". *International journal of applied Earth observation and Geolandformation*, Volume 4, Pages 217-229.
36. Wolski P., H.H.G. Savenije, M. Murray-Hudson, T. Gumbrich. 2006. "Modelling of the flooding in the Dkavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir GIS model". *Journal of Hydrology*, Volume 331, Issues 1-2, Pages 58-72.