

ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی

مطالعه موردی: حوضه آبخیز پردیسان در استان قم

الهام فروتن^۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۲۲

چکیده

سیل از جمله رخدادهای طبیعی است که وقوع آن سالانه خسارت‌های زیادی به مردم و محیط‌زیست در سراسر جهان وارد می‌کند. اقدامات آبخیزداری راهکاری مؤثر در راستای کنترل سیل و کاهش خسارت ناشی از آن بوده و ارزیابی اثر این اقدامات بیانگر میزان دستیابی به موفقیت در نائل شدن به هدف کنترل سیلاب است. در این تحقیق هدف آن است که از تلفیق روش شماره منحنی و AHP در Arc-GIS برای تهیه نقشه حساسیت به سیل استفاده شده و نقش اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری در حساسیت به سیلاب منطقه با استفاده از این روش و آزمون‌های آماری مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور، حوضه آبخیز پردیسان در قسمت جنوبی شهر قم، با بیشترین سطح کاربری اراضی مرتع انتخاب شد. ده عامل تراکم زهکشی، شیب، بارندگی سالانه، فاصله از رودخانه، ارتفاع، تجمع جریان، شماره منحنی SCS، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و نقشه سیلاب پیشین منطقه انتخاب و هر عامل براساس تأثیر بر حساسیت سیل‌خیزی منطقه در مقیاس‌های مختلف طبقه‌بندی شدند. سپس از روش AHP در Arc-GIS برای محاسبه مقایسه جفتی و تعیین وزن هر عامل استفاده شد. نتایج نشان داد که عامل شماره منحنی دارای بیشترین درصد وزنی (۲۷/۴۴) و نفوذپذیری سنگ‌ها دارای کمترین درصد وزنی (۳/۲۰) است. مقایسه کلاس‌های سیل‌خیزی در شرایط فعلی و آینده نشان می‌دهد که با انجام اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری، طبقات سیل‌خیزی زیاد و متوسط به ترتیب ۷/۳ و ۳۹/۷ درصد کاهش و طبقات با حساسیت کم و خیلی کم به ترتیب ۲۲/۱۸ و ۲۲/۸۲ درصد افزایش خواهد یافت. انجام آزمون آماری نشانه و ویلکاکسون نیز بیانگر آن است که اختلاف معنی‌دار در طبقات سیل‌خیزی در قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری وجود دارد و اقدامات بیولوژیکی تأثیر مثبتی در کاهش سیل دارد.

واژه‌های کلیدی: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، سیل‌خیزی، اقدامات آبخیزداری، حوضه آبخیز پردیسان

۱- مقدمه

در مطالعه‌ای که به وسیله Khosravi و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه آبخیز هراز انجام پذیرفت از چهار مدل مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم‌گیری برای تهیه نقشه حساسیت به سیلاب استفاده شد که نتایج بیانگر آن بود که همه روش‌ها در تعیین مناطق مستعد به سیلاب دقیق هستند.

یکی از روش‌هایی که می‌تواند برای مشخص کردن پتانسیل سیل‌خیزی مورد استفاده قرار گیرد، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای تحلیل تصمیمات اعمال می‌شود. این روش توسط Saaty در سال ۱۹۸۰ ارائه شد. در این زمینه Dahi و Abida (۲۰۱۷) فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای تهیه نقشه مناطق مستعد سیلاب استفاده کردند که نتایج به دست آمده با سیلاب‌های مشاهده شده تطبیق داشت. در تحقیقی که Mahmoud و Gan در سال ۲۰۱۸ انجام دادند از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور استخراج وزن هر عامل مؤثر برای مشخص کردن حساسیت منطقه به سیل استفاده شد. در این تحقیق که در محیط GIS انجام پذیرفت عوامل کلیدی در ایجاد حساسیت در برابر سیل اعم از رواناب سطحی، تجمع جریان، نوع خاک، ارتفاع، فاصله از شبکه زهکشی، تراکم زهکشی، کاربری زمین، شیب و زمین‌شناسی با توجه به وزن‌های محاسبه شده با یکدیگر تلفیق شدند که نتایج تحقیق بیانگر دقت و کارایی این روش در تهیه نقشه مناطق حساس به سیلاب می‌باشد. تحقیق انجام شده به وسیله Das (۲۰۱۸) نیز که بر اساس تلفیق AHP و GIS می‌باشد بیانگر دقت این مدل در تهیه نقشه سیل‌خیزی است. Hammami و همکاران (۲۰۱۹) از تلفیق AHP و GIS نتیجه گرفتند که این روش امکان ارزیابی بهتر نقش هریک از پارامترها در حساسیت به سیل را فراهم می‌کند و نتایج حاصل از آن زمینه‌ای برای محدود کردن تأثیرات سیل و محافظت از منطقه شهری در برابر طغیان را فراهم می‌کند. Souissi و همکاران (۲۰۲۰) برای تهیه نقشه حساسیت به سیل از مدل "تصمیم‌گیری

سیل از جمله رخدادهای طبیعی است که وقوع آن سالانه خسارت‌های زیادی به مردم و محیط‌زیست در سراسر جهان وارد می‌کند. این پدیده طبیعی در صورت مدیریت مناسب می‌تواند موجب توسعه اقتصادی شده و وضعیت کشاورزی و منابع طبیعی را بهبود بخشد (Kazakis *et al.* 2015:556). اقدامات آبخیزداری اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای راهکاری مؤثر در راستای کنترل سیل و کاهش خسارت ناشی از آن در سطح حوضه آبخیز بوده و ارزیابی اثر این اقدامات بیانگر میزان دستیابی به موفقیت در نائل شدن به هدف کنترل سیلاب است. به عنوان مثال ارزیابی تأثیر اقدامات بیولوژیکی بر سیل‌خیزی می‌تواند تأثیر پوشش گیاهی بر میزان حساسیت حوضه آبخیز نسبت به سیل را مشخص کند. لذا در هر حوضه آبخیز بایستی تهیه نقشه سیل‌خیزی در قبل و پس از اقدامات آبخیزداری مورد توجه قرار گیرد. این امر به‌ویژه در حوضه‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود بارش مواجه هستند در راستای کمک به استفاده بهینه از منابع آب سطحی حائز اهمیت می‌باشد. تحقیقات متعددی در زمینه تهیه نقشه‌های حساسیت به سیل در مناطق مختلف جهان انجام شده است. Rahmati و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد مدل نسبت فراوانی و مدل‌های وزن شواهد را برای تهیه نقشه حساسیت به سیل در استان گلستان ایران مورد بررسی قرار دادند که نتایج تحقیق بیانگر دقت روش پیشنهادی و اهمیت تهیه نقشه سیل‌خیزی می‌باشد. در تحقیق دیگری Chapi و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل جدید هوش مصنوعی (AI) را برای مشخص کردن مناطق مستعد به سیل در حوضه آبخیز هراز مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل پیشنهادی می‌تواند برای مدیریت پایدار مناطق مستعد سیل استفاده شود. Zhao و همکاران (۲۰۱۸) مدل تصادفی جنگل (RF) را برای این منظور در کشور چین استفاده نمودند که منجر به تهیه نقشه دقیقی شد که می‌تواند به عنوان نقشه مرجع برای کاهش خسارات سیل مورد استفاده قرار گیرد.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی ... / ۱۷۳

خطر زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۷/۹۵ و ۴/۸۸ درصد از منطقه را به خود اختصاص می‌دهد. شهری طبرستانی و ذکایی (۱۳۹۹) پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز استان مازندران را با استفاده از روش AHP ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ۳۶/۷۹ درصد سطح استان مازندران دارای سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد است. زیاری و همکاران (۱۳۹۹) پتانسیل سیل‌خیزی شهرستان ایلام را با استفاده از تلفیق AHP و منطق فازی مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های تحقیق مشخص نمود که ۰/۶ و ۶/۲۹ درصد منطقه دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد نسبت به سیل می‌باشد. میرموسوی و اسماعیلی (۱۴۰۰) پهنه‌بندی نواحی سیل‌خیز شهرستان داراب را با استفاده از AHP در محیط GIS انجام دادند. نتایج تحقیق پهنه‌بندی خطر رخداد سیل شهرستان داراب با دوره‌های بازگشت مختلف را مشخص ساخته است. با توجه به آن که اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری از عواملی است که بر حجم رواناب و در نتیجه وقوع سیلاب اثرگذار است لذا بایستی نقش آن در تهیه نقشه حساسیت به سیل مد نظر قرار گیرد. روش شماره منحنی که در سال ۱۹۸۵ توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (S.C.S) ارائه شد از جمله روش‌های تخمین رواناب سطحی در یک حوضه آبخیز است که از رطوبت قبلی خاک، گروه هیدرولوژیک خاک، نوع کاربری اراضی و روش‌های مدیریتی استفاده می‌کند (Rao, 2020:16; Meshram & et al, 2017:1773). بنابراین از روش شماره منحنی S.C.S می‌توان برای تعیین نقش اقدامات بیولوژیکی در مناطق مستعد به سیل استفاده کرد. به این منظور در تحقیقات ندیمی و همکاران (۱۳۹۱)، نورعلی و قهرمان (۱۳۹۵) و مصطفایی و صالح‌پور جم (۱۳۹۹) از مدل HEC-HMS که بر مبنای روش شماره منحنی است برای ارزیابی اقدامات مکانیکی و بیولوژیکی استفاده شده است.

از آنجایی که در هیچ‌یک از تحقیقات انجام شده از تلفیق روش AHP و روش شماره منحنی برای بررسی تأثیر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری استفاده نشده است لذا در

چند معیاره - فرآیند تحلیل سلسله مراتبی" در محیط GIS استفاده کردند. آن‌ها از هشت عامل ارتفاع، کاربری زمین، زمین‌شناسی، شدت بارندگی، تراکم زهکشی، فاصله از شبکه زهکشی، شیب و عمق آب زیرزمینی در مدل‌سازی سیل استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۷۴/۵۱٪ از مناطقی که واقعه سیلاب در آن‌ها مشاهده شده است در کلاس با حساسیت متوسط تا بسیار زیاد قرار دارند.

نتایج تحقیق Kishore و همکاران (۲۰۲۰) در این زمینه نشان داد که استفاده از تعداد بیشتری از پارامترها نقشه دقیق‌تری از مناطق مستعد سیل را فراهم می‌نماید. همچنین کاربرد مدل تلفیقی GIS-AHP در تایلند که توسط Kittipongvises و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد نشان داد که تقریباً نیمی از کل منطقه مورد بررسی (۵۲/۶۳٪) در معرض خطر سیل شدید قرار دارد و در کشور مصر، نتایج تحقیق Abu El-Magd و همکاران در سال ۲۰۲۰ مشخص نمود که تقریباً ۵٪ از کل منطقه مورد مطالعه در معرض خطر بسیار شدید، ۱۰٪ در معرض خطر شدید و ۲۵٪ در معرض خطر متوسط سیل قرار دارد. تحقیق دیگری که در کشور سودان توسط Abdel Hamid و همکاران در سال ۲۰۲۰ با استفاده از این روش صورت گرفت، نشان داد که به دلیل تغییر اقلیم و شرایط جغرافیایی منطقه، تنوع زیادی در حساسیت به سیل در منطقه وجود دارد. در ایران نیز کاربرد تلفیق روش AHP و GIS در شهر سبزوار بیانگر قابلیت و توانمندی این روش در تهیه نقشه حساسیت به سیل است (امیر احمدی و دیگران، ۱۷:۱۳۹۱). نوری و همکاران (۱۳۹۸) حساسیت به وقوع سیل در حوضه آبخیز راز آور در استان کرمانشاه را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که ۴۸/۵ درصد از حوضه دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد بوده و ۳۰/۹ درصد از منطقه دارای حساسیت کم و خیلی کم می‌باشد. ندیری (۱۳۹۸) پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی حوضه آبخیز آیدوغموش واقع در جنوب‌غربی شهر میانه را با استفاده از AHP-TOPSIS انجام داد. نتایج نشان داد که پهنه با

مرتفع، ۲/۲۱ درصد زمین بدون پوشش (بدلند) و ۰/۳۵ درصد منطقه مسکونی است (نگاره ۲).
 ارزیابی مراتع در منطقه نشان داده است که ۳۶٪ و ۸٪ در شرایط بسیار ضعیف، ضعیف و متوسط قرار دارند. میانگین بارش منطقه حدود ۱۷۶ میلی‌متر است که از ۱۵۰ میلی‌متر در شمال تا ۲۱۷ میلی‌متر در قسمت جنوبی متغیر است (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان قم، ۱۳۹۹: ۶).

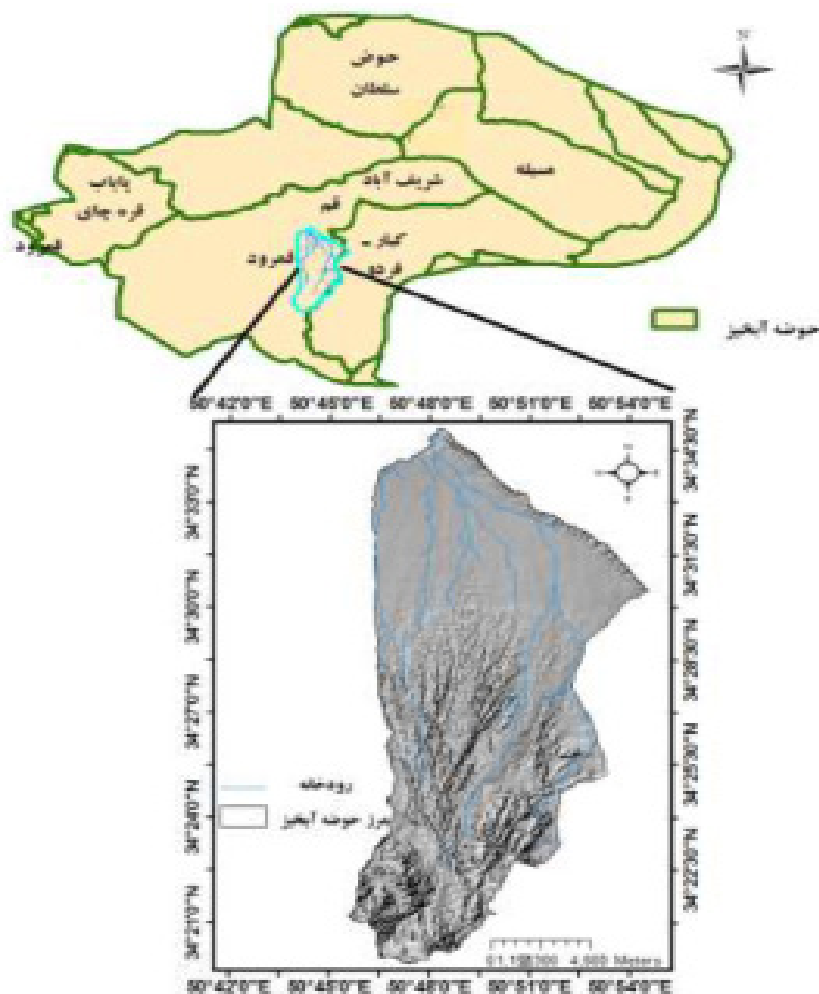
تحقیق حاضر هدف آن است که از این روش در Arc-GIS برای تهیه نقشه حساسیت به سیل استفاده شده و نقش اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری در حساسیت به سیلاب منطقه با استفاده از این روش و با استفاده از آزمون‌های آماری مورد بررسی قرار گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز پردیسان در طول شرقی ۴۵° ۵۰ تا ۵۴° ۵۰ و عرض شمالی ۱۹° ۳۴ تا ۳۵° ۳۴ واقع شده است (نگاره ۱). این منطقه با مساحت ۲۲۲۸۶/۵۷ هکتار در قسمت جنوبی شهر قم واقع شده است. کاربری‌های زمین شامل ۳/۶۱ درصد کشاورزی، ۰/۳۸ درصد پارک جنگلی، ۰/۲۷ درصد باغ، ۹۳/۱۸ درصد

۳- مواد و روش

از آن جایی که هیچ توافق دقیقی در مورد تعداد عوامل مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل حساسیت به سیل وجود ندارد (Vojtek et al, 2019: 13)، لذا در این مطالعه، ده عامل تراکم زهکشی، شیب، بارندگی سالانه، فاصله از رودخانه، ارتفاع،



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی ... / ۱۷۵

ژئومورفولوژی. مطابق تفاسیر صورت پذیرفته بر روی عکس‌های هوایی، واحدهای ژئومورفولوژی کوهستان، تپه ماهور، فلات، مخروط‌افکنه آبرفتی و بدلد (هزاردره) در منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است (جدول ۱). واحد تپه ماهور دارای تیپ‌های دامنه منظم و نامنظم و واحد کوهستان دارای تیپ دامنه نامنظم می‌باشد. در این تیپ‌ها بر اساس میزان پوشش مواد منفصل، دامنه‌های با رخساره پوشیده از خاک (با پوشش خاک بیشتر از ۷۰٪) و دامنه‌های با رخساره رخنمون سنگی (با پوشش خاک ۳۰ تا ۷۰٪) شناسایی و تفکیک گردیده‌اند (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان قم، ۱۳۸۹: ۶۳). چگونگی رتبه‌بندی حساسیت به سیل هریک از رخساره‌ها در حوضه آبخیز مورد نظر در جدول ۳ ارائه شده است.

سیلاب گذشته. در منطقه مورد مطالعه ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد. لذا به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب گذشته از نتایج پرسشنامه‌هایی که توسط افراد معتمد و با تجربه حوضه تکمیل شده بود استفاده شد (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان قم، ۱۳۸۹: ۶۱). نتایج جمع بندی پرسشنامه‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های گذشته در برخی روستاها سیل خسارتی نداشته است ولی در تعدادی از روستاها

تجمع جریان، شماره منحنی S.C.S، نفوذپذیری سنگ‌ها، ژئومورفولوژی و پهنه‌بندی سیلاب گذشته بر اساس تحقیقات قبلی و ویژگی‌های منطقه انتخاب شده است (Hong & et al, 2018: 578). عوامل انتخاب شده در مقیاس‌های مختلف تهیه و طبقه‌بندی شدند.

بارش سالانه. سیل‌هایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک اتفاق می‌افتد اغلب موجب تخریب بیشتری نسبت به مناطق مرطوب می‌شوند. در این مطالعه، میزان بارندگی به کلاس‌های ۱۴۰-۱۶۰، ۱۶۰-۱۸۰، ۱۸۰-۲۰۰ و ۲۰۰-۲۵۰ میلی‌متر طبقه‌بندی شد که به کلاس بارش ۲۰۰-۲۵۰ بالاترین نمره تخصیص یافت و کمترین نمره به کلاس ۱۴۰-۱۶۰ داده شد (جدول ۳).

تراکم زهکشی. نسبت کل طول جریان به مساحت حوضه آبخیز، تراکم زهکشی تعریف می‌شود. مقدار تراکم زهکشی بالا نشان دهنده حساسیت بیشتر منطقه نسبت به سیل می‌باشد. این عامل در این حوضه به ترتیب به کلاس‌های ۰-۰/۰۵، ۰/۰۵-۰/۰۷، ۰/۰۷-۰/۰۹ و ۰/۰۹-۰/۱۲ کیلومتر در هکتار طبقه‌بندی شده است که بالاترین نمره به طبقه ۰/۱۲-۰/۰۹ و کمترین نمره به کلاس ۰/۰۵-۰/۱۲ اختصاص داده شده است (جدول ۳).

جدول ۱: واحدها، تیپ‌ها و رخساره‌های ژئومورفولوژی حوضه مورد مطالعه

نام واحد	نام تیپ	نام رخساره	تعریف رخساره
کوهستان	دامنه نامنظم	MIOm	دامنه نامنظم با پوششی ۳۰ الی ۷۰ درصد از مواد منفصل
		MIC	دامنه نامنظم با پوشش بیش از ۷۰ درصد از مواد منفصل
تپه ماهور	دامنه منظم	HRC	دامنه‌های منظم با پوشش بیش از ۷۰ درصد از مواد منفصل
		HROm	دامنه‌های منظم با پوشش ۳۰ الی ۷۰ درصد از مواد منفصل
	دامنه نامنظم	HIOm	دامنه نامنظم با پوشش ۳۰ الی ۷۰ درصد از مواد منفصل
		HIC	دامنه‌های نامنظم با پوشش بیش از ۷۰ درصد از مواد منفصل
بدلد (هزار دره)		BD	تپه‌هایی با تراکم آبراهه‌های زیاد از نوع دندریتی که دارای لیتولوژی کنگلومرایبی با ماتریکس رسی است
فلات		PI	واحد فلات‌های قدیمی با شبکه آبراهه‌ای موازی
مخروط‌های آبرفتی سنگریزه‌دار		Af	مخروط‌های آبرفتی با شبکه آبراهه‌ای موازی

مأخذ: اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان قم، ۱۳۸۹: ۶۵

قدیمی (Qt1) و مخروط‌های آبرفتی جوان (Qt2) رخنمون یافته‌اند. لذا واحدهای سنگی E16, E6, OMmq, OMIq, OMq, M, E4, E5 و Ngv1 در رده نفوذپذیری بسیار کم، واحد Plc در رده کم؛ واحد مخروط‌ها و پادگانه‌های آبرفتی قدیمی در رده نسبتاً زیاد و واحد مخروط‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان در رده نفوذپذیری زیاد قرار داده شدند. در این مطالعه، کمترین نمره به کلاس نفوذپذیری زیاد و بیشترین نمره به کلاس نفوذپذیری بسیار کم اختصاص داده شد (جدول ۳).

ارتفاع. در این مطالعه، مدل رقومی ارتفاعی حوضه با استفاده از نقشه توپوگرافی مربوطه در محیط Arc-GIS تهیه شد. کلاس‌های ارتفاعی منطقه شامل ۹۰۰-۱۲۰۰، ۱۲۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۱۸۰۰، ۱۸۰۰-۲۱۰۰ و ۲۱۰۰-۲۴۰۰ می‌باشد که کمترین نمره به بالاترین کلاس ارتفاعی (۲۴۰۰-۲۱۰۰) تعلق گرفت و بالعکس (جدول ۳).

ژئومورفولوژی. در این مطالعه بیشترین نمره‌ی حساسیت به سیلاب، به رخساره‌های مخروط‌افکنه و فلات اختصاص یافت و رخساره بدلند و رخساره‌های واحد تپه ماهور در رتبه‌های پایین‌تر قرار داده شد. در نهایت کمترین نمره به واحد کوهستان تخصیص داده شد.

شماره منحنی^۱: روش شماره منحنی به شرح رابطه (۱) است:

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (1)$$

که در آن P مجموع بارش (میلی‌متر)، Q رواناب سطحی، S حداکثر پتانسیل نگهداشت می‌باشد. مقدار S بر مبنای شماره منحنی محاسبه می‌شود که در معادله (۲) شرح داده شده است:

$$S = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (2)$$

که در آن S برحسب میلی‌متر بوده و شماره منحنی بر اساس گروه هیدرولوژیکی خاک، شرایط رطوبت پیشین خاک و کاربری زمین مشخص می‌شود. در این تحقیق،

موجب وارد آمدن خسارت شده و بیشترین خسارت در شهرک پردیسان مشاهده شده است. بنابراین نقشه پهنه‌بندی سیلاب‌های گذشته براساس مشاهدات نقطه‌ای شدت خسارت با استفاده از روش IDW در Arc-GIS در سه کلاس حساسیت زیاد، متوسط و کم تهیه شد (نگاره ۴-۴). **تجمع جریان.** در لایه تجمع جریان، تعداد سلول‌های تخلیه شده به هر سلول مشخص می‌شود. تجمع جریان زیاد باعث حساسیت بیشتر در برابر سیل می‌شود. در این مطالعه، کلاس‌های تجمع جریان شامل طبقات ۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۶۰۰۰ پیکسل می‌باشد که کلاس ۰-۱۵۰۰ کمترین و کلاس ۱۵۰۰-۲۶۰۰۰ بیشترین نمره را دریافت نموده است (جدول ۳).

فاصله از رودخانه. مکان‌های نزدیک به رودخانه در مقایسه با زمین‌های دور از رودخانه نسبت به طغیان حساس‌ترند. بنابراین، محاسبه فاصله تا رودخانه برای تهیه نقشه حساسیت سیل بسیار مهم است. برای تعیین مناطق مستعد به طغیان، کلاس‌های ۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۳۰۰۰ و ۳۰۰۰-۶۵۰۰ متر تفکیک شدند که بیشترین امتیاز به کلاس ۰-۵۰۰ متر و کمترین نمره به کلاس ۳۰۰۰-۶۵۰۰ تعلق گرفته است (جدول ۳).

شیب. نسبت اختلاف ارتفاع دو نقطه به فاصله بین آن‌ها تعریف شیب می‌باشد. شیب کمتر باعث حساسیت بیشتر منطقه نسبت به سیل می‌شود. در این تحقیق نقشه شیب با استفاده از رقوم مدل ارتفاعی (DEM) تهیه شد. کلاس‌های شیب شامل ۰-۲٪، ۲-۵٪، ۵-۱۵٪، ۱۵-۳۵٪، ۳۵-۶۰٪ که بالاترین نمره به کلاس شیب ۰-۲٪ و کمترین نمره به کلاس شیب ۳۵-۶۰٪ تخصیص یافته است (جدول ۳).

زمین‌شناسی. نفوذپذیری زیاد سنگ‌ها باعث کاهش میزان رواناب می‌شود. در این منطقه واحدهای سنگی آهکی ائوسن (E16)، آذری و آذرآواری ائوسن (E5 و E6)، سنگ آهک ریفی (OMmq)، آهک زیستی - تخریبی (OMIq)، سازند قم (OMq)، سازند قرمز فوقانی (M)، واحد ولکانیکی نئوژن (Ngv1)، کنگلومرای پلی ژنتیک (Plc)، مخروط‌های آبرفتی

1- Curve Number(CN)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی ... / ۱۷۷

جدول ۲: اقدامات بیولوژیکی که در منطقه اجرا می‌شوند

نوع کاربری	اقدامات	مساحت (هکتار)
مرتع	بذرپاشی	۱۲۹۶/۸
	پیتینگ	۹۲۱/۴
	ایجاد کتور فارو و بذرکاری	۲۶۲۹/۷
	اجرای سیستم چرای مناسب	۳۳۱۵/۳
	کنترل زمان ورود و خروج دام به مرتع	در کل سطح مراتع
	فرق	۱۸۰۳۶/۳
کشاورزی	تغییر نوع کشت به خانواده لگومینوز	در کل سطوح
بدلند و باغ	انجام اقدامات مدیریتی در راستای بهبود وضعیت خاک	در کل سطوح

جدول ۳: کلاس‌های عامل‌های مورد بررسی در سیل خیزی منطقه

نمره	کلاس	عامل	نمره	کلاس	عامل	نمره	کلاس	عامل
5	0-2	شیب	1	زیاد	نفوذپذیری	1	140-160	بارش
4	2-5		2	متوسط		2	160-180	
3	5-15		3	کم		3	180-200	
2	15-30		4	خیلی کم		4	200-250	
5	900-1200	ارتفاع	1	15-35	شماره منحنی	4	0-500	فاصله از رودخانه
4	1200-1500		2	35-50		3	500-1000	
3	1500-1800		3	50-65		2	1000-3000	
2	1800-2100		4	65-80		1	3000-6500	
1	2100-2400							
5	Pl, Af	ژئومورفولوژی	1	0-1500	تجمع جریان	4	0.12-0.09	تراکم زهکشی
4	BD		2	1500-5000		3	0.09-0.07	
3	HIOm, HIC		3	5000-15000		2	0.07-0.05	
2	HRC, HROm		4	15000-25000		1	0-0.05	
1	MIOm, MIC		5	25000-100000				

شماره منحنی در شرایط قبل از انجام اقدامات مدیریتی تعیین شده و مجدداً به همان صورت رتبه‌بندی انجام شد. همپوشانی لایه شماره منحنی فعلی با نه لایه شیب، تراکم زهکشی، تجمع جریان، نفوذپذیری سنگ، فاصله از رودخانه، ارتفاع، بارش، ژئومورفولوژی و سیلاب گذشته با استفاده از وزنه‌ای به دست آمده از روش تجزیه و تحلیل

تعیین شده و به شماره منحنی کمتر نمره پایین‌تر و به شماره منحنی بالاتر نمره بیشتری تخصیص داده شده است. سپس با در نظر گرفتن اجرای اقدامات بیولوژیکی که در جدول ۲ ارائه شده است مقادیر شماره منحنی آینده در هر کاربری

۴- یافته‌های تحقیق

در این تحقیق نقشه نفوذپذیری سنگ‌ها نشان می‌دهد که کلاس‌های نفوذ "کم" و "بسیار کم" به ترتیب ۴/۴۶٪ و ۱۶/۸۷٪ از منطقه را شامل می‌شود (نگاره ۳-۳) در حالی که کلاس‌های نفوذ متوسط و زیاد ۳۹/۷۵ و ۳۸/۹۲ درصد را در برمی‌گیرد. در نقشه شیب کلاس‌های ۰-۲، ۲-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۳۵، ۳۵-۶۰٪ به ترتیب ۲۹/۸۷، ۳۵، ۳۰/۱۱، ۴/۸۸ و ۰/۱۴ درصد از سطح مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. در این منطقه، قسمت‌های جنوبی شیب‌دار بود در حالی که؛ قسمت‌های شمالی شیب کمتری دارند (نگاره ۳-۲).

فاصله تا رودخانه عامل دیگری است که در چهار طبقه ۵۰۰-۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۳۰۰۰ و ۳۰۰۰-۶۵۰۰ متر طبقه‌بندی شده است که این طبقات به ترتیب در ۳۸/۸۶٪، ۲۴/۳۲٪، ۲۹/۶۳٪ و ۷/۱۹٪ منطقه مشاهده شده است (نگاره ۳-۱). نقشه طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد که ۴۵/۱٪ از منطقه در محدوده ۹۰۰-۱۲۰۰ متر قرار دارند در حالی که ۳۶/۴٪، ۱۴/۸٪، ۳/۶٪ و ۰/۱٪ به ترتیب در کلاس‌های ۱۲۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۱۸۰۰، ۱۸۰۰-۲۱۰۰ و ۲۱۰۰-۲۴۰۰ متر قرار دارد. این نقشه نیز بیان می‌دارد که قسمت‌های جنوبی از بخش‌های شمال مرتفع‌تر هستند (نگاره ۳-۴). همانطور که در نقشه بارندگی مشاهده می‌شود، ۲۵/۵۷٪ از منطقه در کلاس ۱۴۰-۱۶۰ میلی‌متر طبقه‌بندی شده در حالی که ۳۵/۴۱٪، ۲۰/۵۹٪ و ۱۸/۴۳٪ از کل منطقه در کلاس‌های ۱۶۰-۱۸۰، ۱۸۰-۲۰۰ و ۲۰۰-۲۵۰ میلی‌متر طبقه‌بندی شده است (نگاره ۳-۲).

در این منطقه، قسمت‌های جنوبی نسبت به شمال دارای میزان بارندگی بیشتری هستند. همچنین، نقشه تجمع جریان بیانگر آن است که ۹۶/۵٪، ۱/۹۷٪، ۱/۰۷٪، ۰/۲۴٪ و ۰/۲۲٪ از منطقه در کلاس‌های ۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۵۰۰، ۲۵۰۰-۵۰۰۰، ۵۰۰۰-۱۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰-۲۵۰۰۰ پیکسل طبقه‌بندی می‌شوند که پیکسل تجمع جریان بالا محدوده حساسیت سیل بالا را نشان می‌دهد (نگاره ۳-۲). نقشه تراکم زهکشی نیز نشان‌دهنده آن است که ۱۰/۳۸٪

سلسله مراتبی منجر به تهیه نقشه حساسیت به سیل در شرایط فعلی شده و همپوشانی لایه شماره منحنی آبی با همان نه لایه موجب تهیه نقشه حساسیت به سیل آینده منطقه می‌شود.

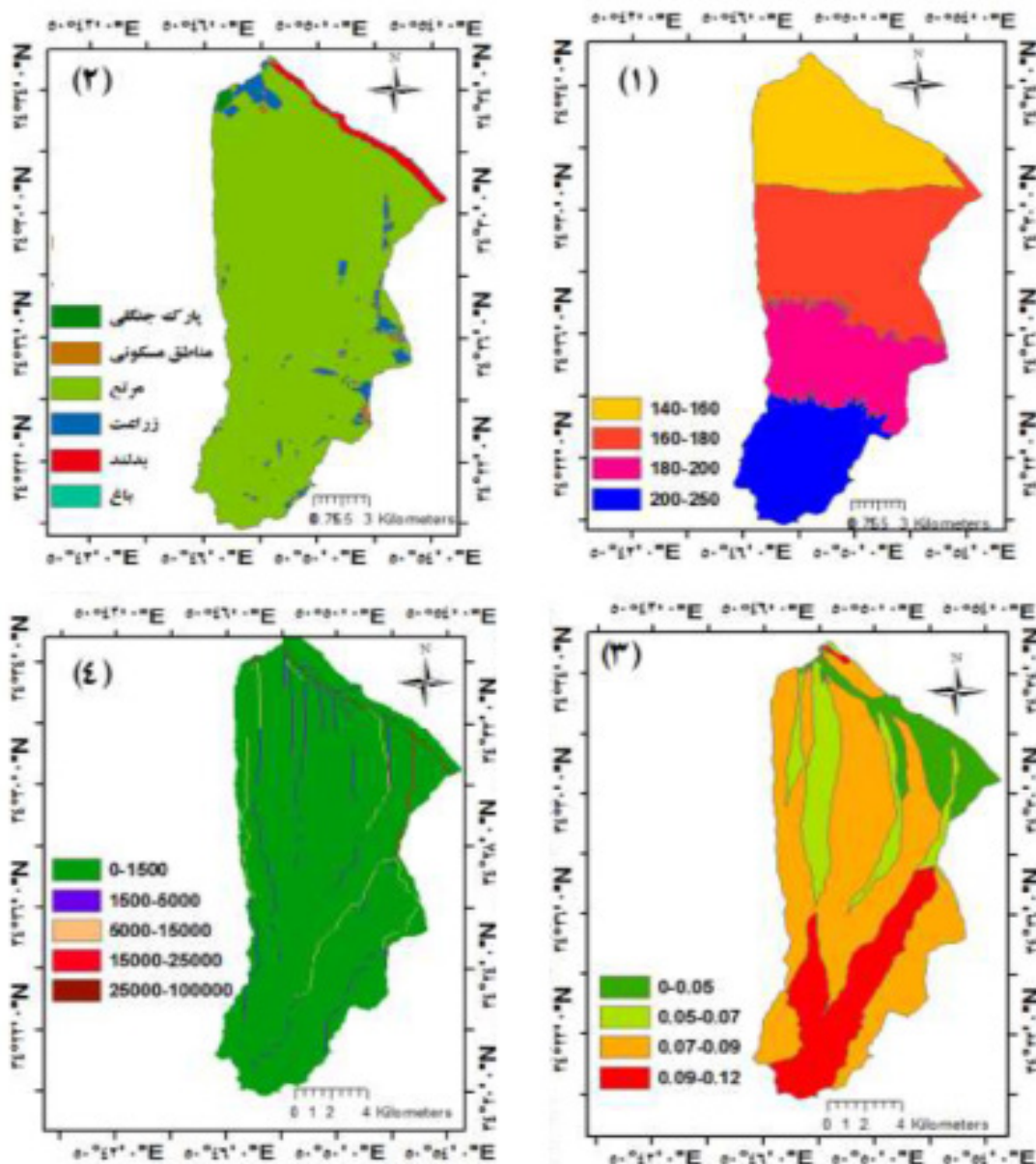
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. در مطالعه حاضر، از روش AHP در Arc-GIS برای محاسبه مقایسه جفتی و تعیین وزن هر عامل استفاده شد. در این روش برای تعیین عامل مؤثر در سیل از روش رتبه‌بندی معکوس استفاده شده و رتبه‌بندی با توجه به نظر کارشناسان و شرایط منطقه‌ای انجام شده است. نرخ سازگاری به صورت رابطه (۳) تعریف شده است:

$$\text{CI} / \text{RI} = \text{نرخ سازگاری} \quad (۳)$$

که در آن، CI شاخص سازگاری است و RI شاخص تصادفی است. اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، مدل قابل قبول می‌باشد (علیخواه اصل و فروتن، ۱۳۹۸: ۱۴).

آزمون‌های آماری. در این تحقیق آزمون‌های آماری نشانه و ویلکاکسون موجود در نرم‌افزار SPSS به منظور بررسی میزان تغییر در کلاس‌های حساسیت به سیل مورد استفاده قرار گرفته است. به این منظور ۶۱ نقطه به صورت تصادفی و بر اساس اجرای فرمان Create sample points در نرم‌افزار GIS انتخاب شد که بر روی نقشه‌های نهایی سیل‌خیزی مشخص شده است (نگاره ۵). سپس برای انجام آزمون‌های آماری به کلاس حساسیت به سیل خیلی کم بالاترین نمره (نمره چهار) تخصیص داده شد و به کلاس‌های کم، متوسط و زیاد به ترتیب نمرات سه، دو و یک تخصیص داده شد و نمرات ۶۱ نقطه تصادفی در قبل و بعد از اقدامات مورد مقایسه قرار گرفته است. در این آزمون‌ها اگر نمره کلاس سیل در یک نقطه انتخابی در قبل از اقدامات بیشتر از نمره همان کلاس در بعد از اقدامات باشد به آن علامت منفی داده می‌شود و بالعکس. همچنین اگر نمره در دو وضعیت قبل و بعد با هم مساوی باشد از محاسبات حذف می‌شود. در نهایت اگر تعداد مثبت‌ها بیشتر باشد می‌توان به تأثیر مثبت اقدامات آبخیزداری پی برد و برعکس.

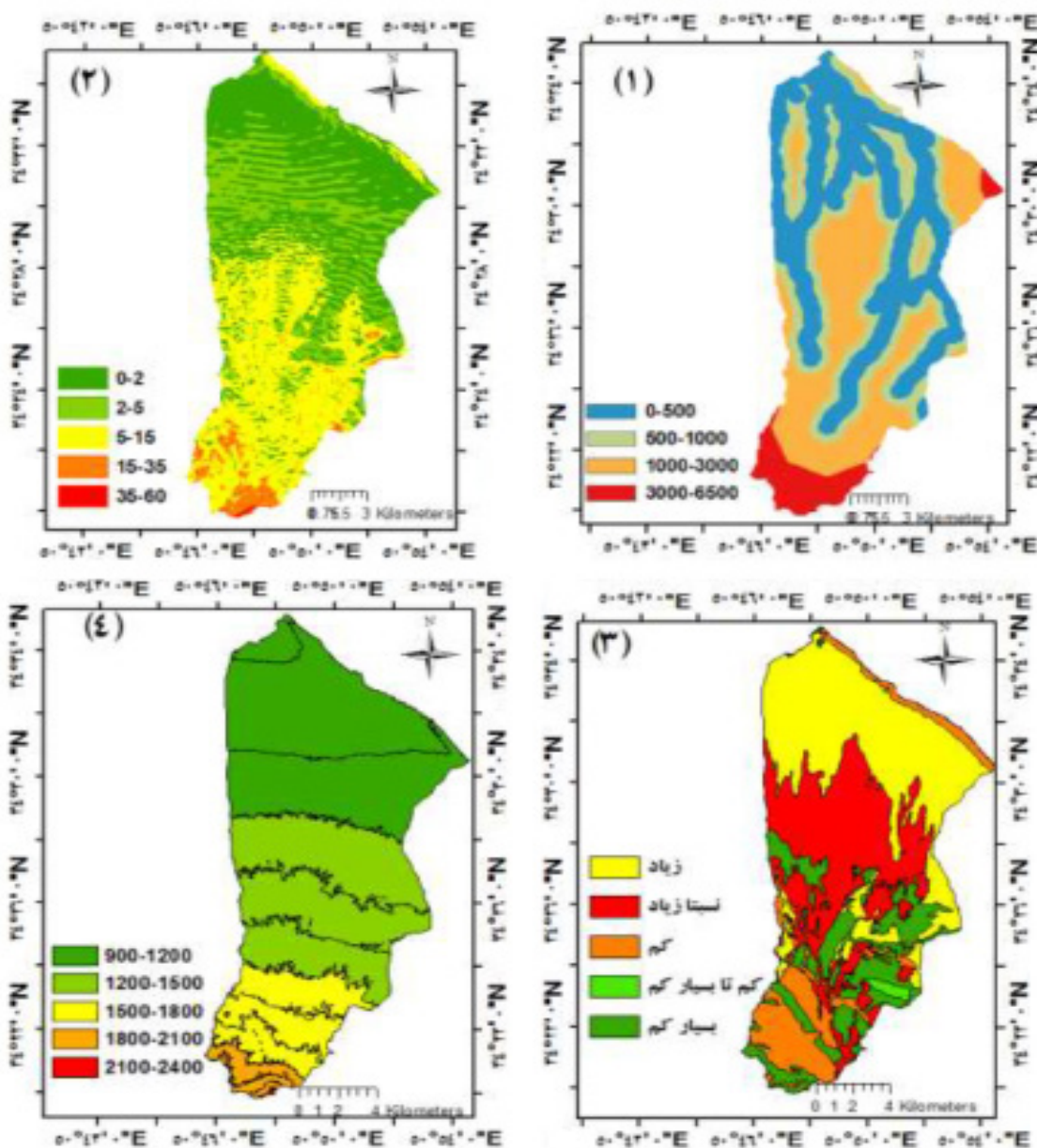
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی ... / ۱۷۹



نگاره ۲: نقشه بارش (۱)، کاربری اراضی (۲)، تراکم زهکشی (۳) و تجمع جریان (۴)

این نقشه‌ها نشان می‌دهند که در قبل از انجام اقدامات بیولوژیکی در منطقه، ۱۴/۳۶٪، ۵۶/۸۸٪ و ۱۸/۳۸٪ از منطقه مورد مطالعه در کلاس‌های ۰-۰/۰۵، ۰/۰۵-۰/۰۷، ۰/۰۷-۰/۰۹ و ۰/۰۹-۰/۱۲ قرار می‌گیرد در این نقشه تراکم زهکشی در اکثر قسمت‌ها کمتر از ۰/۱ می‌باشد (نگاره ۲-۳). همچنین، نقشه شماره منحنی برای باغات، زمین‌های کشاورزی، مراتع و زمین‌های بلدند در قبل و بعد از اقدامات مدیریتی در نگاره ۴-۱ و نگاره ۴-۲ نشان داده شده است.

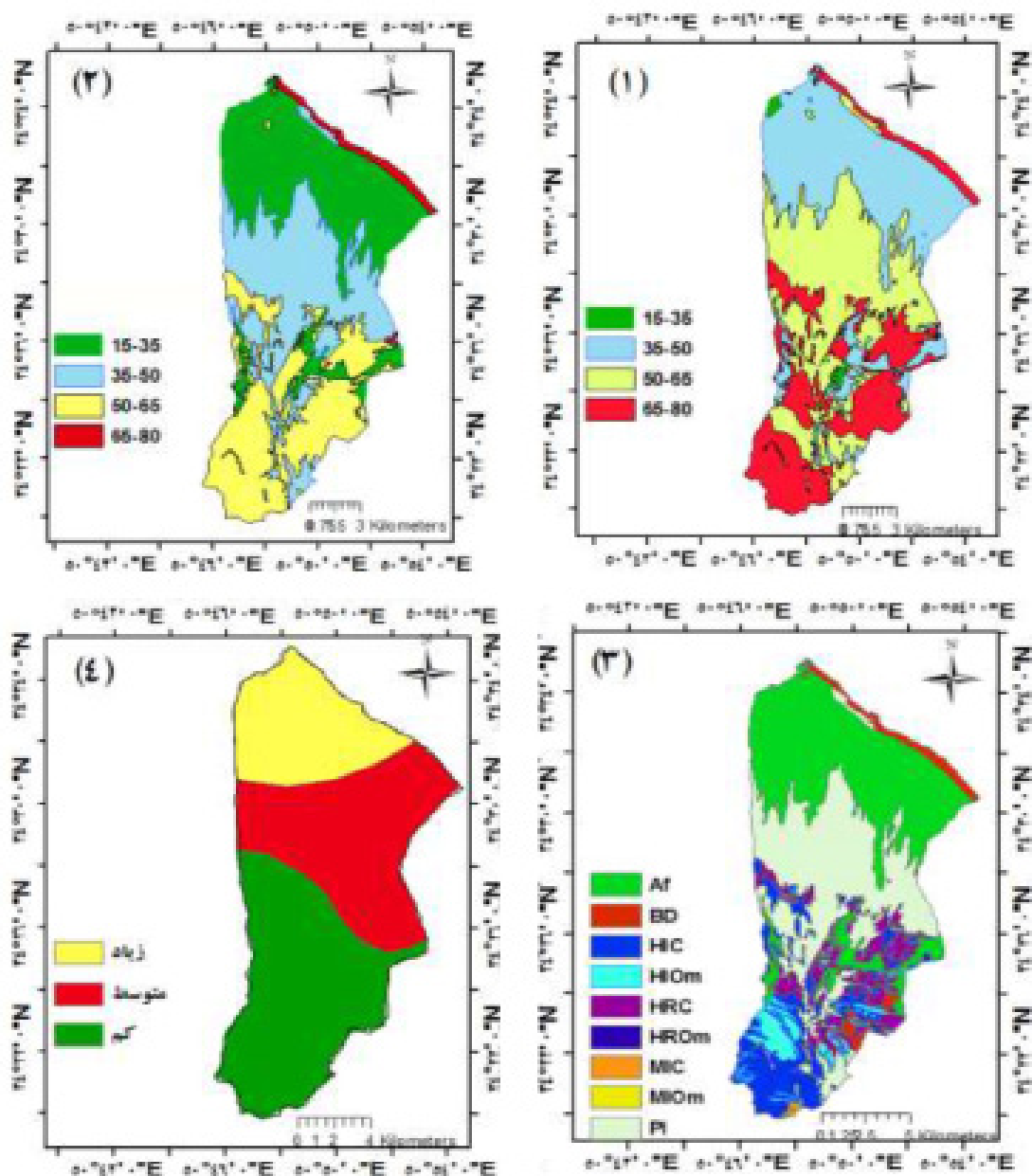
محدوده ۱۵-۳۵ در ۳۶/۶ درصد از منطقه مشاهده شده و ۳۷/۴۲٪ در کلاس‌های شماره منحنی ۳۵-۵۰، ۵۰-۶۵ و ۶۵-۸۰ قرار می‌گیرند و حال آنکه در صورت انجام اقدامات بیولوژیکی در کاربری‌های مختلف، مقادیر شماره منحنی در محدوده ۱۵-۳۵ در ۳۶/۶ درصد از منطقه مشاهده شده و



نگاره ۳: نقشه فاصله از رودخانه (۱)، درصد شیب (۲)، نفوذپذیری (۳)، طبقات ارتفاعی (۴)

طبقات ۳۵-۵۰، ۵۰-۶۵، ۶۵-۸۰ به ترتیب ۳۲/۰۵٪، ۲۹٪ و ۲/۳۵٪ از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شوند. نقشه ژئومورفولوژی نشان می‌دهد کلاس با بالاترین نمره که شامل رخساره‌های Af و PI می‌باشد در ۶۸/۹۶ درصد منطقه قابل مشاهده است و حال آنکه کلاس‌های با رتبه چهار (شامل رخساره BD)، رتبه سه (شامل رخساره‌های HIC و HIOM)، رتبه دو (شامل رخساره‌های HRC و HROM) و رتبه یک (شامل رخساره‌های MIC و MIOM) به ترتیب در ۳/۰۷٪، ۱۸/۳۴٪، ۹/۳۷٪، ۰/۲۶٪ درصد از مساحت منطقه قابل رؤیت می‌باشد (نگاره ۴-۳). نقشه پهنه‌بندی سیلاب گذشته منطقه نیز نشان می‌دهد که ۲۲/۴۱ درصد منطقه دارای سیل خیزی کم، ۳۶/۱۵ درصد منطقه در کلاس با حساسیت متوسط و ۴۱/۴۴ درصد در کلاس با حساسیت زیاد قرار می‌گیرد (نگاره ۴-۴).

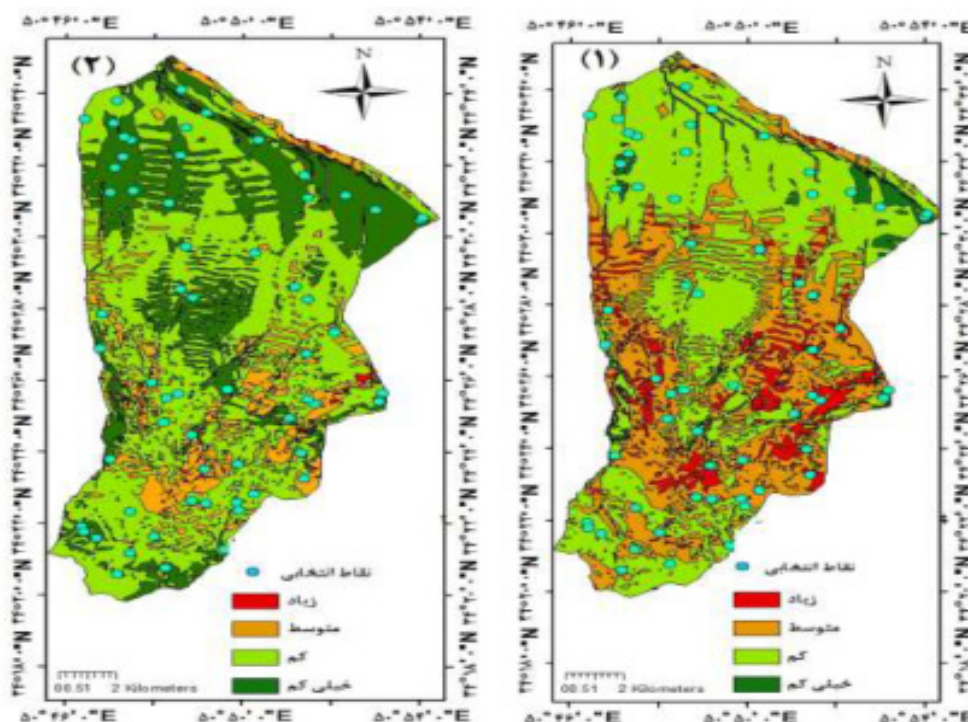
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی ... / ۱۸۱



نگاره ۴: نقشه شماره‌های منحنی قبل از اقدامات بیولوژیکی (۱)، بعد از اقدامات بیولوژیکی (۲)، ژئومورفولوژی (۳) و حساسیت به سیلاب گذشته (۴)

بیشترین درصد وزنی (۲۷/۴۴) و نفوذپذیری سنگ‌ها دارای کمترین درصد وزنی (۳/۲۰) می‌باشد. وزن عوامل فاصله از رودخانه، بارش، شیب، تجمع جریان، ژئومورفولوژی، تراکم زهکشی، ارتفاع و سیلاب قبلی به ترتیب ۱۳/۱۴، ۱۲/۳۲، ۱۲/۰۱، ۸/۳۰، ۶/۹۲، ۶/۶۸، ۶/۴۹ و ۳/۵ درصد می‌باشد (جدول ۵).

همچنین در راستای اجرای روش AHP ماتریس مقایسه برای هر عامل حساسیت به سیل تشکیل شد (جدول ۴). با توجه به آنکه نرخ سازگاری محاسبه شده در این تحقیق کمتر از ۰/۱ است، سازگاری بین ده عامل انتخاب شده قابل قبول است. بنابراین ضرایب محاسبه شده ده عامل در جدول ۵ ارائه شده است که در آن عامل شماره منحنی دارای



نگاره ۵: نقشه‌های حساسیت به سیل فعلی (۱) و آینده (۲)

جدول ۴: ماتریس مقایسه برای هر عامل حساسیت به سیل

عامل	نفوذپذیری	شیب	هیسومتری	تجمع جریان	تراکم زهکشی	بارش	شماره منحنی	فاصله از رودخانه	ژئومورفولوژی	سیلاب قبلی
نفوذپذیری	۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۶	۰/۵	۱	۱
شیب	۴	۱	۱	۴	۳	۰/۵	۰/۳۳	۲	۰/۵	۲
هیسومتری	۳	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۱	۱	۲
تجمع جریان	۴	۰/۲۵	۲	۱	۲	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۲	۳
تراکم زهکشی	۳	۰/۳۳	۲	۰/۵	۱	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵	۲
بارش	۵	۲	۳	۲	۱	۱	۰/۲۵	۰/۵	۳	۳
شماره منحنی	۶	۳	۴	۳	۳	۴	۱	۵	۴	۴
فاصله از رودخانه	۲	۰/۵	۱	۳	۲	۲	۰/۲	۱	۵	۴
ژئومورفولوژی	۱	۲	۱	۰/۵	۲	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۱	۲
سیلاب قبلی	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۱

جدول ۵: درصد وزن هر یک از عوامل سیل خیزی در AHP

عامل	تجمع جریان	بارش	شماره منحنی	نفوذپذیری سنگ‌ها	هیسومتری (ارتفاع)	فاصله تا رودخانه	شیب	تراکم زهکشی	ژئومورفولوژی	سیلاب قبلی
وزن	۸/۳۰	۱۲/۳۲	۲۷/۴۴	۳/۲۰	۶/۴۹	۱۳/۱۴	۱۲/۰۱	۶/۶۸	۶/۹۲	۳/۵

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی ... / ۱۸۳

جدول ۶: مقایسه کلاس‌های سیل خیزی در شرایط فعلی و آینده

کلاس	وضعیت موجود (درصد)	آینده (درصد)	وضعیت تغییر	درصد تغییر
زیاد	۷/۸۵	۰/۵۵	کاهش	۷/۳
متوسط	۵۲/۸۴	۱۳/۱۴	کاهش	۳۹/۷
کم	۳۶/۸۳	۵۹/۰۱	افزایش	۲۲/۱۸
خیلی کم	۲/۴۸	۲۷/۳	افزایش	۲۴/۸۲

جدول ۷: نتایج آزمون‌های آماری نشانه و ویلکاکسون

آزمون آماری	مقادیر	
	نقاط دارای تغییر مثبت	نقاط دارای تغییر منفی
نشانه	۴۲	۰
ویلکاکسون	۴۲	۰

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سیل یکی از بلایای طبیعی است که اغلب مناطق کشور را تحت تأثیر قرار داده و موجب وارد آمدن خسارت‌های مالی و جانی شده است (زیاری و همکاران، ۲۸: ۱۴۰۰). دخالت انسان در طبیعت که عمدتاً از طریق تخریب پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ صورت می‌پذیرد، در افزایش سیل خیزی حوضه‌های آبخیز کشور مؤثر بوده است (پرورش و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۹۴). اقدامات آبخیزداری که مجموعه اقدامات مکانیکی، بیولوژیکی و مدیریتی است می‌تواند به بهبود وضعیت خاک و پوشش گیاهی حوضه آبخیز و متعاقباً به کاهش وقوع سیل کمک نماید و ارزیابی این اقدامات مشخص می‌نماید که با توجه به هزینه انجام شده تا چه میزان کنترل و کاهش سیل در منطقه محقق شده است. از آنجایی که در برخی از حوضه‌های آبخیز آمار ثبت شده دبی و ارتفاع رواناب موجود نیست، لذا به منظور ارزیابی نیاز به استفاده از روش‌هایی است که بتواند بر کمبود داده‌های هیدرولوژی فائق آید. در این تحقیق به منظور ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی از روش AHP برای تهیه نقشه‌های حساسیت به سیل در حوضه آبخیز پردیسان واقع در قسمت جنوبی شهر قم استفاده شده و نقشه قبل و پس از انجام اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری مورد مقایسه قرار گرفته است. اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری پیشنهاد شده در مراتع این منطقه شامل بذرپاشی، کپه‌کاری،

نتایج تلفیق لایه‌ها با استفاده از وزن‌های به دست آمده در نگاره ۵ نشان داده شده است. محاسبه درصد هر یک از طبقات نقشه‌های سیل خیزی نشان می‌دهد که در شرایط فعلی منطقه، ۷/۸۵ درصد از منطقه در کلاس با حساسیت زیاد، ۵۲/۸۴ درصد در کلاس با حساسیت متوسط، ۳۶/۸۳ درصد در کلاس با حساسیت کم و ۲/۴۸ درصد در کلاس با حساسیت خیلی کم می‌باشد (جدول ۶). همچنین در آینده کلاس‌های با حساسیت زیاد، متوسط، کم و خیلی کم نسبت به سیل به ترتیب ۰/۵۵، ۱۳/۱۴، ۵۹/۰۱ و ۲۷/۳ درصد از مساحت حوضه آبخیز را شامل می‌شود. مقایسه کلاس‌های سیل خیزی در شرایط فعلی و آینده نشان می‌دهد که با انجام اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری در آینده، طبقات سیل خیزی زیاد و متوسط به ترتیب ۷/۳ و ۳۹/۷ درصد کاهش خواهد یافت و طبقات با حساسیت کم و خیلی کم به ترتیب ۲۲/۱۸ و ۲۴/۸۲ درصد افزایش خواهد یافت (جدول ۶).

نتایج آزمون‌های آماری نشانه و ویلکاکسون نیز در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به مقادیر Sig (صفر) در هر دو آزمون، فرض صفر که بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در کلاس‌های طبقات سیل در قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری است رد می‌شود. همچنین در هر دو آزمون تعداد نقاط دارای تغییر مثبت ۴۲ و تعداد نقاط دارای تغییر منفی صفر است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری در کاهش رتبه کلاس سیل خیزی منطقه مورد مطالعه است.

است که نتایج مطالعه انجام شده به وسیله عابدینی و لطفی (۱۳۹۸) نیز اهمیت لایه شماره منحنی را در برآورد پتانسیل سیل خیزی منطقه تأیید می‌کند.

از آنجایی که در حوضه مورد نظر ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد لذا بررسی میزان تأثیر اقدامات آبخیزداری با استفاده از روش‌های آماری و مدل‌هایی که نیازمند اعتبارسنجی است امکان‌پذیر نیست. روش مورد استفاده در این تحقیق قادر به کمی نمودن تأثیر اقدامات بیولوژیکی در حساسیت به سیل می‌باشد.

اقدامات بیولوژیکی با تأثیر بر میزان پوشش گیاهی نقش مهمی در کاهش سیل خیزی دارد. زیرا افزایش پوشش گیاهی موجب افزایش نفوذ بارش به خاک و کاهش رواناب می‌شود و لذا منطقه نسبت به سیل آسیب پذیری کمتری خواهد داشت (اتحادی ابری و دیگران، ۱۳۹۸: ۲). در تحقیقاتی که ندیمی و همکاران (۱۳۹۱) و همچنین دهقانی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۳) برای بررسی تأثیر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر کاهش سیل خیزی انجام دادند نیز مشخص شد که اقدامات بیولوژیکی اجرا شده در حوضه با تغییر در میزان پوشش گیاهی و کاهش شماره منحنی باعث بهبود شرایط هیدرولوژیک حوضه گردیده است. در این تحقیق اقدامات بیولوژیکی با افزایش پوشش گیاهی و کاهش شماره منحنی می‌تواند موجب ۴۷ درصد کاهش در حساسیت سیل خیزی منطقه شود. این یافته‌ها می‌تواند برای برنامه‌ریزی آینده منطقه مد نظر قرار گیرد و به مدیران آبخیز در راستای بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک و کاهش خسارات ناشی از سیلاب کمک نماید. پیشنهاد می‌شود روش مورد استفاده در سایر حوضه‌های آبخیز و در سایر شرایط اقلیمی مورد آزمون قرار گیرد.

۶- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری قم که مساعدت لازم را در انجام این تحقیق نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

کنتور فارو و نهال‌کاری، قرق، برنامه متعادل کردن تعداد دام با تولید قابل بهره‌برداری مرتع، انتخاب سیستم چرای مناسب و کنترل زمان ورود و خروج دام به مرتع می‌باشد. در اراضی زراعی نیز در راستای حفاظت خاک و کنترل سیلاب، تغییر الگوی کشت متناسب با شرایط اقلیمی منطقه مد نظر قرار گرفته است. در کاربری باغ نیز برنامه بهبود وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک و در اراضی بدلند بهبود وضعیت خاک از طریق پوشش گیاهی جزء برنامه بیولوژیکی آبخیزداری منطقه می‌باشد. در این تحقیق، از لایه شماره منحنی برای مشخص نمودن میزان تغییر در حساسیت به سیل خیزی منطقه استفاده شده است. انجام اقدامات بیولوژیکی موجب کمتر شدن عدد شماره منحنی در هر یک از کاربری‌ها شده است و تلفیق لایه شماره منحنی قبل و بعد از اقدامات بیولوژیک با سایر لایه‌ها با استفاده از روش AHP نشان می‌دهد که با انجام اقدامات بیولوژیکی سیل خیزی منطقه کاهش خواهد یافت. اگر چه در تحقیقات قبلی از روش AHP برای ارزیابی اثر اقدامات آبخیزداری استفاده نشده است اما بررسی دقت نقشه‌های سیل خیزی که به وسیله شهیری طبرستانی و همکاران (۱۳۹۹)، حمیدی و همکاران (۱۳۹۵)، Souissi و همکاران (۲۰۱۹) و Costache و Bui (۲۰۲۰) تهیه شده نشان می‌دهد کاربرد روش AHP در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی ابزاری توانمند در شناسایی مناطق مستعد به سیل می‌باشد و دارای نتایج قابل قبولی است. روش AHP یک مدل ساده، یگانه و انعطاف پذیر برای حل محدوده وسیعی از مسائل بدون ساختار است که به راحتی قابل درک برای همگان می‌باشد. این فرآیند هم نگرش سیستمی و هم تحلیل جزء به جزء را به صورت توأم به کار می‌برد. این مدل می‌تواند اولویت‌های وابسته به فاکتورها در یک سیستم را در نظر گرفته و بین آن‌ها تعادل برقرار کند. فرد را قادر می‌سازد که بهترین گزینه را بر اساس اهدافش انتخاب کرده و رتبه نهایی هر گزینه را مشخص نماید (علیخواه اصل و فروتن، ۱۳۹۸: ۱۵). نتایج این تحقیق نشان داد لایه شماره منحنی دارای بیشترین اهمیت

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)
 ارزیابی اثر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر سیل خیزی ... / ۱۸۵

ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبخیز استان مازندران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، ۶ محیط‌زیست و مهندسی آب، (۴)، صفحه ۳۳۱-۳۴۴.

۹- عابدینی، لطفی؛ موسی، خداداد؛ ۱۳۹۸. برآورد ارتفاع رواناب جهت تحلیل پتانسیل سیل خیزی با استفاده از روش شماره منحنی در حوضه آبریز شاهرود اردبیل، فصلنامه علمی فضای جغرافیایی، ۱۹(۸)، صفحه ۱۶۳-۱۸۱.

۱۰- عسگری، صفاری، فتحی؛ شمس‌اله، امیر، حجت‌اله؛ ۱۳۹۷. بررسی توان سیل خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۰)، صفحه ۷۷-۹۰.

۱۱- علیخواه اصل، فروتن؛ مرضیه، الهام؛ ۱۳۹۸. ارزیابی توان سرزمین. دانشگاه پیام نور، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۳۲ صفحه.

۱۲- مصطفایی، صالح‌پور جم؛ جمال، امین؛ ۱۳۹۹. ارزیابی کمی اثرات اقدامات آبخیزداری بر وضعیت هیدرولوژیکی حوضه، مطالعه موردی: حوضه آبخیز آکوجان، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۲(۱۲)، صفحه ۵۲۶-۵۳۴.

۱۳- میرموسوی، اسماعیلی؛ سیدحسین، حسین؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی نواحی سیل خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، (مطالعه موردی: شهرستان داراب)، مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۲۷)، صفحه ۲۱-۴۵.

۱۴- ندیری؛ مژگان؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیل خیزی با استفاده از منطق AHP-TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آیدوغموش)، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۹(۳)، صفحه ۲۹۳-۳۰۶.

۱۵- ندیمی، زهتابیان، ملکیان؛ نادیا، غلامرضا، آرش؛ ۱۳۹۱. ارزیابی نقش اقدامات بیولوژیک آبخیزداری بر کاهش سیل (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ینگجه)، پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۶، صفحه ۹۷-۱۰۷.

۱۶- نورعلی، قهرمان؛ مهروز، بیژن؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری بر آبنمود سیل با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گوش و بهره)،

۷- منابع و مأخذ

۱- اتحادی ابری، مجنونیان، ملکیان، جور غلامی؛ مریم، باریس، آرش، مقداد؛ ۱۳۹۸. تأثیر پوشش گیاهی بر میزان رواناب و تولید رسوب در مقیاس پلات در حوضه آبخیز جنگل خیرود، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۲(۱)، صفحه ۱-۱۴.

۲- اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان قم ۱۳۸۹. گزارش حوضه آبخیز پردیسان، قم، ایران. ۱۳۳ صفحه.

۳- امیر احمدی، بهنیافر، ابراهیمی؛ ابوالقاسم، ابوالفضل، مجید؛ ۱۳۹۱. ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، آمایش محیط، ۵(۱۶)، صفحه ۱۷-۳۲.

۴- پرورش، مهدوی، ملکیان، اسماعیل‌پور، حللی ساز؛ الیاس، رسول، آرش، یحیی، ارشک؛ ۱۳۹۸. بررسی عوامل مؤثر و اولویت‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌های آبخیز با استفاده از روش‌های فازی تاپسیس و الکترون نوع ۳. مطالعه موردی: حوضه آبخیز سرخون بندرعباس، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۲)، صفحه ۴۹۳-۵۰۷.

۵- حمیدی، وفاخواه، نجفی؛ نعمت‌اله، مهدی، اکبر؛ ۱۳۹۵. تهیه نقشه خطر پذیری سیلاب در حوضه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۷(۱۴)، صفحه ۱۱-۱۹.

۶- دهقانی فیروزآبادی، جمالی، حسن‌زاده نفوتی؛ نجمه، علی‌اکبر، محمد؛ ۱۳۹۳. بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر کاهش سیل خیزی حوضه آبخیز با کمک مدل ریاضی HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طزرجان یزد)، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۴(۴۷)، صفحه ۱۶۳-۱۸۲.

۷- زیاری، رجایی، داراب خانی؛ کرامت‌اله، سیدعباس، رسول؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در محیط GIS نمونه موردی: شهر ایلام، دو فصلنامه پژوهشی مدیریت بحران، ۱۹، صفحه ۲۱-۳۰.

۸- شهری طبرستانی، ذکایی؛ احسان، محمد سعید؛ ۱۳۹۹.

- 26- Kazakis, N. Kougiyas, I and Patsialis, T. 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment* 2015; 538, pp.555-63.
- 27- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiers, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101612.
- 28- Mahmoud, Sh.H. Gan, Th.Y. (2018). Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production* 196 ,pp. 216-229.
- 29- Meshram, SG. Sharma, SK. and Tignath S. (2017). Application of remote sensing and geographical information system for generation of runoff curve number. *Applied Water Science* 7,pp.1773-1779.
- 30- Rahmati, O. Pourghasemi, H.R. and Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), pp.42-70.
- 31- Rao, K.N. (2020). Analysis of surface runoff potential in ungauged basin using basin parameters and SCS-CN method. *Applied Water Science* January 2020,pp. 10-47
- 32- Saaty, T. L. (1980). *Analytical Hierarchy Process* McGraw Hill Company. NY, USA.
- 33- SCS, U. (1985). *National engineering handbook, section 4: hydrology*. US Soil Conservation Service, USDA, Washington, DC.
- 34- Souissi, D. Zouhri, L. Hammami, S. Msaddek, M.H. Zghibi, A. and Dlala, M. (2019). GIS-based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, pp.1-27.
- 35- Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720.
- 36- Vojtek, M., & Vojteková, J. (2019). Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. *Water*, 11(2), 364,1-17.
- 37- Zhao, G. Pang, B. Xu, Z. Yue, J and Tu, T. (2018). Mapping flood susceptibility in mountainous areas on a national scale in China. *Science of The Total Environment*, 615, pp.1133-1142.
- پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۷(۱۳)، صفحه ۶۰-۷۱.
- ۱۷- نوری، شاهدی، حبیب‌نژاد روشن، کاویان، فرامرزی؛ هاشم، کاکا، محمود، عطاله، مرزبان؛ ۱۳۹۸. مطالعه حساسیت به وقوع سیل در حوضه آبخیز رازآور با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۱۹)، صفحه ۳۵-۵۰.
- 18- Abdel Hamid, H. T., Wenlong, W., & Qiaomin, L. (2020). Environmental sensitivity of flash flood hazard using geospatial techniques. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6(1), 31-46.
- 19- Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environmental modelling & software*, 95, 229-245.
- 20- Costache, R., & Bui, D. T. (2020). Identification of areas prone to flash-flood phenomena using multiple-criteria decision-making, bivariate statistics, machine learning and their ensembles. *Science of The Total Environment*, 712, 136492.
- 21- Dahri, N., & Abida, H. (2017). Monte Carlo simulation-aided analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping in Gabes Basin (southeastern Tunisia). *Environmental earth sciences*, 76(7), 302.
- 22- Das, S. (2018). Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(19), 1-13.
- 23- El-Magd, S. A. A., Amer, R. A., & Embaby, A. (2020). Multi-criteria decision-making for the analysis of flash floods: A case study of Awlad Toq-Sherq, Southeast Sohag, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 162, 103709.
- 24- Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(21), 1-16.
- 25- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A. X., & Chen, W. (2018). Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. *Science of the total environment*, 625, 575-588.