

تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)

فرزانه ساسان‌پور^۱

فاطمه محبی^۲

امیرحسین کاظم^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۸

چکیده

سیل یکی از مخاطرات طبیعی است که هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را به دنبال دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، حاوی اطلاعات پایه و مهم در مطالعات طرح‌های عمرانی دنیا می‌باشند و قبل از هرگونه سرمایه‌گذاری و یا اجرای طرح‌های توسعه، بررسی آن در دستور کار سازمان‌های ذی‌ربط قرار دارد. رودخانه طالقان طی سالیان متمادی با بروز سیلاب‌های متعددی مواجه بوده است. اما تاکنون مطالعات جامعی در این ارتباط صورت نگرفته است. با توجه به اینکه بدون توجه به مخاطره سیل، سکونتگاه‌های چندی در حاشیه شاخه‌های فرعی و اصلی رودخانه احداث گردیده و حتی شهرک طالقان اصلی‌ترین استقرارگاه جمعیتی در منطقه در حاشیه آن قرار دارد، همچنین ساخت و ساز بناهای مسکونی و تجاری در حاشیه رودخانه رو به گسترش است پژوهش حاضر به دنبال این است تا با هدف تعیین پهنه‌های با خطر سیل‌گیری در محدوده حوضه آبخیز طالقان به تعیین مناطقی که بیشترین آسیب از خطر سیل دارند، پرداخته و با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS این اراضی را به صورت نقشه پهنه‌بندی مشخص نماید. تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از روش FuzzyVIKOR و با تعیین وزن از طریق critic برای ۷ معیار مؤثر در ارزیابی پهنه‌های سیل‌گیر شامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهات شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه و میانگین بارش، انجام شد. نتایج این پژوهش که در پنج طبقه تهیه گردیده است، نشان می‌دهد ۸۳ درصد از کل مساحت حوضه شامل پهنه‌های بی‌خطر یا با خطر کم می‌باشد. اما ۱۷ درصد از اراضی آن، دارای خطر سیل‌گیری متوسط و بالا هستند که شامل عرصه‌های اطراف آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی با کاربری‌های مسکونی و کشاورزی در حوضه می‌باشند. بنابراین لزوم رعایت حریم رودخانه طالقان در اراضی پست با شیب کم و متوسط، در توسعه کاربری‌های شهری روستایی منطقه، به منظور کاهش آسیب‌های ناشی از سیل، باید اجرایی گردد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز طالقان، سیل‌گیری، CRITIC، FUZZY، VIKOR.

۱- دانشیار گروه برنامه‌ریزی شهری دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسئول) sasanpour@khu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی، تهران bmohebi85@gmail.com

۳- کارشناس ارشد RS&GIS دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران amirhosseinkazem@gmail.com

۱- مقدمه

مخاطره سیل است، زیرا گرم شدن زمین موجب افزایش میزان تبخیر و رطوبت جو و در نهایت فعال تر شدن چرخه هیدرولوژیکی می شود. از طرفی امروزه افزایش جمعیت و روند رو به رشد صنعت باعث پیشروی جوامع بشری به سوی حریم رودخانه ها و تمرکز فعالیت های اقتصادی در سیلاب دشت ها شده (Markantonis و همکاران، ۲۰۱۳) که این امر موجب افزایش قابل توجه شدت و فراوانی وقوع سیل می گردد (Hudson و همکاران، ۲۰۱۴). خسارات گسترده ناشی از طغیان رودخانه ها در چند سال اخیر در مناطق مختلف کشور ایجاب می نماید برنامه ای جامع در این زمینه تهیه و تدوین گردد.

با توجه به اهمیت موضوع و به منظور کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از آن، روش های متعددی برای تهیه نقشه پهنه بندی سیلاب ارائه شده است که از جمله می توان به روش های استفاده از داغاب سیلاب، مقایسه عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای و تکنیک های سنجش از دور، استفاده از مدل های ریاضی و آنالیزهای تصمیم گیری چندمعیاره اشاره کرد. آنالیز تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM)^{۱۰}، روش و تکنیک مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم گیری پیچیده را که اغلب شامل داده ها و معیارهای غیرقابل مقایسه اند، فراهم می آورد. از سوی دیگر سامانه اطلاعات جغرافیایی توانایی زیادی برای تولید نقشه های پهنه بندی سیلاب با دقت بالا و نمایش بصری آن ها در اختیار کاربران قرار می دهد. در نتیجه در صورت برقراری ارتباط مناسب بین مدل ها و آنالیزهای تصمیم گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی امکان اعمال تغییرات مورد نظر، اصلاح و به روزرسانی نقشه ها و در نتیجه مدیریت سیلاب در اختیار مدیران و کارشناسان قرار می دهند.

مطالعات بسیاری در ارتباط با سیلاب در سطح جهان و ایران صورت گرفته است. نخستین فعالیت ها در مورد کاربرد GIS در مطالعه پدیده سیلاب به دهه ۱۹۸۰ بر

یکی از عمده ترین مسائل و مشکلاتی که بیشتر کلان شهرهای جهان با آن دست به گریبانند، مخاطرات طبیعی است. گاهی اوقات ممکن است کلمه مخاطره^۱ با کلمات مشابه از جمله؛ خطر (آسیب)^۲، بلا^۳، بحران^۴، حادثه^۵، سانحه^۶، ریسک^۷، وضعیت اضطراری^۸، فاجعه^۹، و به جای هم به کار برده شوند. اگر همه این مفاهیم را در کل خطر بدانیم برای تمایز بین آن ها، معیارهای؛ شدت، دوام و آستانه خطر و غیره را می توان در نظر گرفت، یا عوامل مؤثر در طبقه بندی آن ها را می توان وسعت ناحیه ای منطقه زیان دیده، شدت تأثیر در یک نقطه، دوام تأثیر، میزان شروع خطر و قابلیت پیش بینی خطر در نظر گرفت (ساسان پور، ۱۴۰۰).

در این میان مخاطرات طبیعی، به ویژه سیل همواره سکونتگاه های بشر و جان انسان ها را تهدید می کنند و در مدت کوتاهی می توانند خسارات و تلفات بسیار گسترده ای بر جای بگذارند (ساسان پور و موسیوند، ۱۳۹۰). سیل رایج ترین خطر محیطی در سراسر جهان است. دلیل این امر توزیع وسیع جغرافیایی دشت های رودخانه ای و مناطق ساحلی کم ارتفاع است. سیل نتیجه بارندگی شدید یا مداومی است که بیش از ظرفیت جذب خاک و ظرفیت جریان رودخانه ها، نهرها و مناطق ساحلی رخ دهد. به طور کلی، دشت های سیلابی که در مجاورت رودخانه ها و نهرها واقع شده اند در معرض سیلاب های مکرر قرار دارند، بنابراین در صورت داشتن حد قابل قبولی از آسیب پذیری در برابر سیل، برای فعالیت های توسعه ای، خطرناک و نامناسب در نظر گرفته می شوند. محققین بر این باور هستند که گرم شدن کره زمین یکی از دلایل اصلی افزایش فراوانی و شدت

- 1- Hazard
- 2- Danger
- 3- Disaster
- 4- Crisis
- 5- Accident
- 6- Incident
- 7- Risk
- 8- Emergency
- 9- Catastrophe

10- Multi-Criteria Decision Making

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل ... / ۱۶۱

GIS به صورت زوجی مقایسه و ضریب نهایی برای هر لایه به روش AHP^۵ تعیین شد. نقشه نهایی براساس ارزش هر پیکسل به پهنه‌هایی با خطر سیل خیزی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم می‌کند.

خلیلی زاده و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیقی با استفاده از نرم‌افزارهای GIS-ArcView اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل در طول ۱۰/۵ کیلومتر از مسیر رودخانه زیارت کردند و علاوه بر ترسیم نقشه پهنه‌های خطر سیل، مقدار خسارت ناشی از سیل را نیز برآورد کردند.

صفاری و همکاران (۱۳۹۰)، اقدام به ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی در منطقه ۳ تهران نمودند. در این پژوهش معیارهای حریم مسیل رودخانه، ساختار، جهت و عرض شبکه ارتباطی، کاربری زمین، تراکم ساختمان‌ها و توان کلی دفع سیلاب منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیش از ۱۲ درصد از منطقه مورد مطالعه کاملاً آسیب‌پذیر در برابر سیل می‌باشد.

سپهر و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی نقشه حساسیت‌پذیری زمین لغزش در دامنه‌های شمالی بینالود را بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافقی VIKOR تهیه و در آن خطر ریسک در زیر حوضه‌های مختلف را بررسی کردند. آریان‌پور و جمالی (۲۰۱۵)، در مقاله خود، در امیدیه خوزستان، با استفاده از قوانین فازی در مدل SMCE^۶ و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP و ادغام لایه‌های GIS، نقشه شاخصی را که در آن مناطق حساس به سیل مشخص بودند تهیه کردند و در نهایت دلایل وجود سیل در مناطق پر خطر را کمترین زمان تمرکز، شیب بالاتر، نفوذپذیری کم و نزدیکی به تأسیسات نفت و گاز و مناطق مسکونی برشمردند.

نفوتی و خواجه بافقی (۱۳۹۵)، به پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره در

می‌گردد و اولین کارها در این زمینه با آنالیز DEM^۱ها (مدل رقومی ارتفاع)، برای کاربردهای هیدرولوژیک شروع شد. وهابی (۱۳۷۶) با استفاده از سیلاب‌های برآوردی از روش SCS و کاربرد مدل Mike 11 نسبت به پهنه‌بندی خطر سیل در رودخانه طالقان اقدام نمود. در نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، مناطق ممنوع، مشروط و مجاز با ذکر شرایط، مشخص شد.

کوریا^۲ (۱۹۹۹) و همکاران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، در دشت‌های سیلابی که با توسعه شهری همراه است و در معرض خطر سیل قرار دارند، تأثیر کنترل کاربری اراضی در کاهش خطر سیل را ارزیابی و در ادامه اقدام به پهنه‌بندی و آنالیز سیل کردند.

فرناندز و لوتز^۳ (۲۰۱۰) با کمک GIS و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در یکی از استان‌های کشور آرژانتین کردند. این دو با استفاده از پارامترهای فاصله تا کانال‌های زهکشی، ارتفاع منطقه، شیب منطقه، عمق آب زیرزمینی و کاربری اراضی کردند. ایشان با وزن‌دهی به هر یک از این عوامل پنجگانه و به کمک سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره، منطقه موردنظر خود را در پنج پهنه با خطر زیاد، خطر متوسط تا زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی کم پهنه‌بندی کردند.

اوزترک و باتوک^۴ (۲۰۱۱) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره و معرفی برنامه‌ای تحت عنوان MCDA-GIS اقدام به پهنه‌بندی حوضه مرمره ترکیه کردند. این پهنه‌بندی با انتخاب و تهیه لایه‌های مؤثر در ایجاد سیلاب منطقه شامل بارندگی سالانه، مساحت زیر حوضه‌ها، ارتفاع، شیب، جهت شیب و ضریب زهکشی انجام گرفته است. این لایه‌ها در محیط MCDA-

5- Analytic Hierarchy Process

6- Spatial Multi Criteria Evaluation

1- Digital Elevation Model

2- Correia

3- Fernandez, D.S. and M.A. Lutz

4- Ozturk, D. and F. Batuk

رودخانه دائمی به نام طالقان رود در منطقه جریان دارد که در تمام فصول سال در آن آب جاری است. این رودخانه به همراه سایر رودخانه‌هایی که به آن ریخته می‌شوند، شاهرود را تشکیل داده و از اتحاد شاهرود و رودخانه قزل اوزن، سفیدرود به وجود می‌آید. طول رودخانه طالقان از مبدأ تا سد انحرافی سنگبان حدود ۵۸ کیلومتر است. به این رودخانه اصلی حوضه طالقان رودهای فصلی و آبراه‌های زیادی وارد می‌شوند.

میانگین بارش ۲۰ ساله ۴۸۵ میلی‌متر و حداکثر بارندگی در فصل زمستان و بهار می‌باشد. سهم جمعیتی شهرستان نسبت به کل جمعیت استان البرز ۳ درصد بوده که ۷۰ درصد این جمعیت خاستگاه روستایی دارند و اکثراً در حاشیه رودخانه و آبراه‌ها سکونت دارند. مطالعات نشان می‌دهند، رودخانه طالقان در گذشته با سیلاب‌های متعددی مواجه بوده که همواره خسارات فراوانی را در پی داشته است. همچنین در سال‌های اخیر گسترش کاربری‌های اکوتوریسم و گسترش ساخت و سازهای شهری و روستایی در منطقه موجب توسعه بیشتر سکونتگاه‌های دائم و موقت خصوصاً در حریم رودخانه و در نتیجه افزایش سطوح نفوذناپذیری حوضه شده است، که این امر لزوم مطالعات و پهنه‌بندی خطر سیلاب و بررسی نواحی مستعد وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه را روشن می‌سازد.

۲- مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

۲-۱- پهنه‌بندی خطر سیلاب

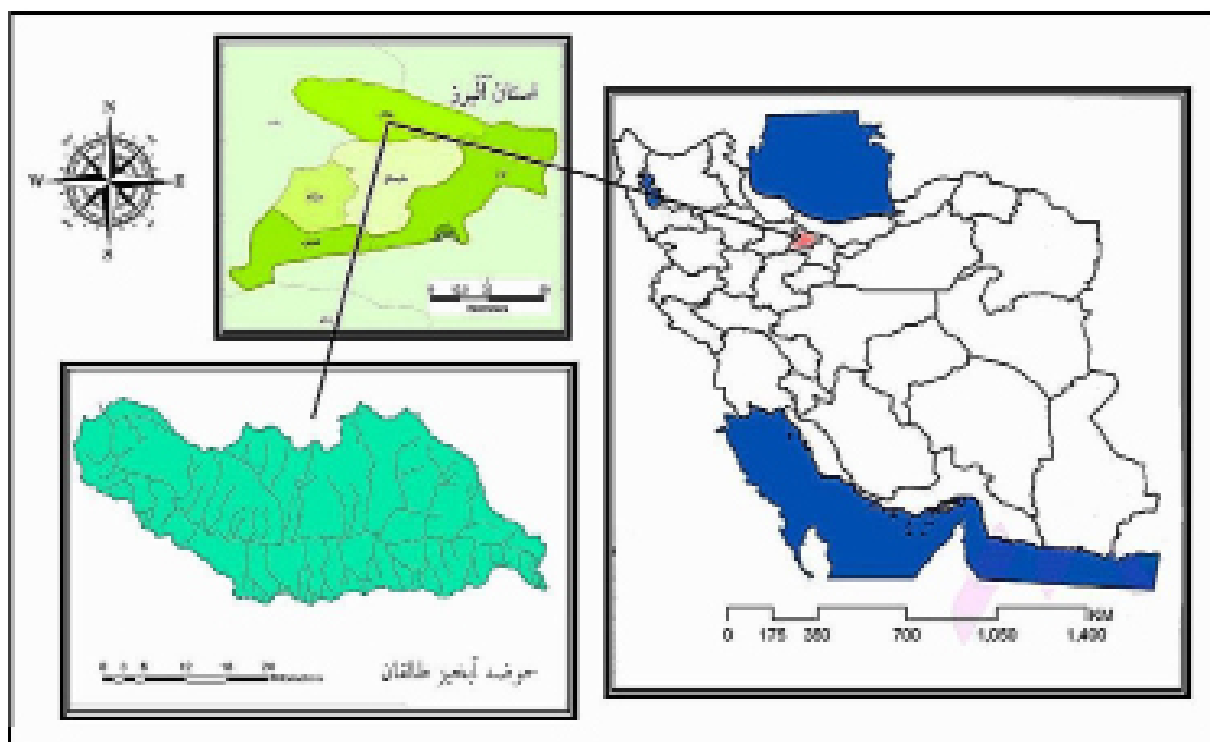
بطور کلی پهنه‌بندی سیلاب را می‌توان به صورت زیر بیان نمود: تعیین ناحیه‌هایی در داخل سیلابدشت که برای کاربری‌های مختلف در اراضی مناسب می‌باشند و شامل فضاهای بازتفریحی، کشاورزی، محوطه‌های صنعتی و کاربری‌هایی از این قبیل است. این محدوده‌ها معمولاً از لحاظ سیلاب، خطرپذیر هستند. تمامی نواحی سیلابدشت به قسمت‌هایی با خطرپذیری متفاوت به منظور کنترل کاربری و توسعه اراضی تقسیم می‌شوند.

حوضه آبخیز شیطور بافق پرداختند و از نظر خطرپذیری سیلاب حوضه را به ۴ بخش تقسیم‌بندی کردند. انتظاری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی مخاطرات زمین لغزش و سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی VIKOR-AHP در سطح استان البرز پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که دو شهرستان کرج و طالقان نسبت به وقوع مخاطرات ژئومورفولوژیک حساس و آسیب‌پذیرند. تحقیق پیش‌رو با هدف تعیین مناطق پرخطر از لحاظ سیلاب‌گیری در حوضه آبخیز طالقان با تلفیق روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور با نرم‌افزار ARC GIS، به پهنه‌بندی می‌پردازد. از نظر روش، توصیفی - تحلیلی و از نظر هدف از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود، که در نهایت با استفاده از نقشه پهنه‌بندی محدوده‌های در معرض سیلاب، به انتخاب محل مناسب برای اقدامات و فعالیت‌های مختلف برای پیشگیری از وقوع سیلاب در مناطق سیلاب‌گیر کمک خواهد کرد.

۱-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (حوضه آبخیز طالقان)، در ۱۲۰ کیلومتری شمال‌غربی تهران در طول بین ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۱۱ دقیقه و ۶ ثانیه و عرض بین ۳۶ درجه و ۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۶ ثانیه واقع شده است، مساحت آن ۱۳۲۵ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۲۲۲۷ متر از سطح دریا می‌باشد. از مشخصات خاص این حوضه ارتفاع زیاد و شیب تند است. به طوری که ارتفاع متوسط آن معادل ۲۵۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۴۳۰۰ متر است. ۸۰٪ حوضه آبخیز طالقان دارای شیب بالای ۴۵٪ و جهت حوضه غربی - شرقی و کمی متمایل به جنوب است. این حوضه دارای حدود ۸۰ روستای کوهستانی است. که از به هم پیوستن چهار منطقه به نام‌های شهرک، گلینک، کولج و پرده سر به وجود آمده است. به علت کوهستانی بودن منطقه و بارندگی زیاد یک

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل ... / ۱۶۳



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز طالقان

پهنه‌بندی برای مشخص و روشن کردن میزان خطرپذیری به سیلاب برای استفاده‌کنندگان محتمل، شناسایی ناحیه‌ها برای بیمه سیل و ایجاد محدودیت‌های اجباری کاربری در مناطق خطرپذیری قابل استفاده می‌باشد. پهنه‌بندی معمولاً در نواحی مجاور مناطق توسعه یافته و بر طبق نقشه‌های خطرپذیری صورت می‌گیرد و بایستی قدرت لازم برای اعمال محدودیت‌های ناشی از آن وجود داشته باشد (راهنمای روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب ۱۳۷۹). جدول ۱ پیشینه‌ای از مطالعات گذشته و انواع شاخص‌های به‌کار رفته برای پهنه‌بندی سیل را نشان می‌دهد.

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده برای پهنه‌بندی خطر سیل در مطالعات گذشته

شاخص‌های مورد استفاده برای پهنه‌بندی	سال نشر اثر	محقق
حریم مسیل رودخانه، ساختار، جهت و عرض شبکه ارتباطی، کاربری زمین، تراکم ساختمان‌ها و توان کلی دفع سیلاب منطقه	۱۳۹۰	صفاری و همکاران
زاویه شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، رطوبت، توپوگرافی، قدرت جریان، بارش، لیتولوژی، پوشش گیاهی و نقشه انحنا	۲۰۱۶	خسروی و همکاران
شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، نرخ فرسایش، بافت خاک، بارش سالانه، تراکم زهکشی و پوشش گیاهی	۲۰۱۵	آریان پور و جمالی
حساسیت به فرسایش، کاربری اراضی، نوع خاک، تراکم زهکشی، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از شبکه رودخانه‌ها، انحنا سطوح اراضی، ارتفاع، میزان بارش، شاخص توپوگرافی	۱۳۹۷	انتظاری و همکاران

۲-۲- وزن دهی لایه‌ها با روش CRITIC

روش critic در سال ۱۹۸۲ برای تعیین وزن معیارها ارائه شد. غلامی (۱۳۹۰) در مقاله‌ای مطرح می‌کند که در این روش نظر کارشناسان چندان اهمیتی ندارد. دخالت نداشتن نظر کارشناسان در روش critic می‌تواند یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های این روش محسوب شود (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵). در این روش داده‌ها براساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. این شیوه پردازش، باعث می‌شود که در نتیجه نهایی محاسبات، نقش هر عامل به درستی اعمال گردد. در روش critic برای هر معیار ارزیابی دامنه‌ای از تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده در میان پیکسل‌ها (گزینه) وجود دارد که در قالب یک تابع عضویت بیان می‌شوند. هر کدام از بردارهای تشکیل شده برای معیارهای مورد استفاده، دارای پارامترهای آماری از جمله انحراف معیار هستند. این پارامترها نمایانگر درجه تباین در مقادیر معیار مربوطه می‌باشند.

در فرآیند تعیین وزن معیارها با روش critic، انحراف معیار هر شاخص و همبستگی آن با معیارهای دیگر گنجانده شده است. در این رابطه، وزن زامین معیار W_j نامیده می‌شود. مقدار اطلاعات قابل استخراج از معیار را محاسبه می‌کنیم که از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$C_j = \sigma_j \varepsilon_{i=1}^m (1 - r_{ij}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن σ_j انحراف از معیار i امین معیار است و r_{ij} همبستگی بین دو معیار i و j می‌باشد. در نهایت وزن معیارها را با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آوریم.

$$W_j = \frac{C_j}{\varepsilon_{i=1}^m} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن W_j معرف وزن معیار j و C_j معرف میزان اطلاعات مجموع معیارها است. C_j مقدار اطلاعات استخراج شده از معیار j است.

تعیین مقادیر بالاترین و پایین‌ترین ارزش ماتریس نرمال وزنی بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عدد هر ستون (معیار) تعیین می‌شود. در اینجا منظور از بزرگ‌ترین عدد یعنی عددی که بیشترین ارزش مثبت را دارا و کوچک‌ترین یعنی بیشترین ارزش منفی، پس اگر معیار ما از نوع منفی باشد بزرگ‌ترین عدد برعکس می‌شود، یعنی می‌شود کمترین مقدار و کوچک‌ترین می‌شود بیشترین مقدار و بالعکس.

۳-۲- محاسبه مقدار سودمندی و تأسف معیارها

در این مرحله، با توجه به مقادیر مثبت و منفی محاسبه شده در مرحله قبل، فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل و سپس حاصل جمع آن‌ها برای ارزش نهایی براساس رابطه (۱) محاسبه گردید. به بیانی، در این مرحله سودمندی و پشیمانی (ضرر) حاصل از انتخاب یک گزینه به منزله رتبه برتر محاسبه می‌شود. مقادیر حداقل برای هر دو مقدار معرف کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل (گزینه برتر) است که کمترین پشیمانی (ضرر) و بیشترین سودمندی را همراه دارد (سپهر و همکاران ۱۳۹۲).

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}; \quad R_j = \max_i \left[w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

f^* = بزرگ‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون
 f_{ij} = عدد گزینه مورد نظر برای هر معیار در ماتریس نرمال وزنی

f^- = کوچک‌ترین عدد ماتریس نرمال زونی برای هر ستون
طبیعتاً برای گزینه به ازای هر معیار یک شاخص مطلوبیت به دست می‌آید که مجموع آن‌ها شاخص نهایی S_j گزینه را مشخص می‌کند. بزرگ‌ترین S_j هر گزینه به ازای هر معیار، شاخص نارضایتی (R) آن گزینه می‌باشد.

رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس مقادیر Q:

پس از محاسبه مقادیر سودمندی (S_j) و نارضایتی (R)، مقدار Q (شاخص ویکور) طبق رابطه (۴) برای هر یک از

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل ... / ۱۶۵

استخراج گردید. لایه آبراهه‌ها شامل مسیل و رودخانه‌های دائمی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شد. نقشه خطوط همباران حوضه از سازمان هواشناسی کشور دریافت و براساس اطلاعات خطوط هم بارش و آمار داده‌های بارندگی مربوط به ۵ ایستگاه دیزان، سیانکرانچال، گته ده، جوستان، گلپرد، آرموت و زیدشت، با به‌کارگیری تکنیک Interpolation، نقشه رستری میانگین بارش حوضه تهیه شد.

با استفاده از ابزار Euclidean Distance در نرم‌افزار ARC MAP، اقدام به ایجاد Buffer در فاصله‌های ۲۰ متر و ۱۰۰ متر برای آبراهه‌های فرعی و ۱۵۰ متری از آبراهه اصلی، براساس ارزیابی‌های صورت گرفته در خصوص تعیین حدود سیل‌گیری در این حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف، گردید.

پس از آماده‌سازی نقشه‌ها (GIS READY) و اعمال ویرایش‌های مورد نیاز از قبیل تعریف سیستم مختصات واحد برای نقشه‌ها، حذف خطاهای رخ داده هنگام رقومی‌سازی و کمی‌کردن داده‌های توصیفی از طریق اضافه کردن ستون جدید به جدول اطلاعات توصیفی مربوط به آن، عملیات نرمال‌سازی داده‌های مربوط به معیارها صورت گرفت. بعد از مرحله نرمال‌سازی، تمامی نقشه‌ها از فرمت Vector به Raster تبدیل شدند و در ادامه وزن‌دهی به لایه‌ها از طریق روش critic انجام شد. با استفاده از روش VIKOR و وزن‌های به‌دست آمده با روش critic که در نرم‌افزار Excel محاسبه شدند، مقدار شاخص ویکور (Q) برای هر کدام از گزینه‌ها (پیکسل‌ها) به‌دست آمد. در نهایت با اختصاص مقادیر شاخص ویکور (Q) به‌دست آمده از مرحله قبل به هر کدام از نقاط (گزینه‌های) مربوطه، به‌وسیله نرم‌افزار ARC GIS، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز طالقان به‌دست آمد.

برای پهنه‌بندی خطر ناشی از سیل‌گیری در حوضه آبخیز طالقان، ابتدا هفت معیار اصلی در ارتباط با استعداد حوضه به پدیده سیل در نظر گرفته شد. پس از انتخاب

گزینه‌ها محاسبه گردید.

$$Q_j = v \cdot \frac{S_j - S^-}{S^* - S^-} + (1-v) \cdot \frac{R_j - R^-}{R^* - R^-}$$

رابطه (۴)

V = عدد ثابت ۰/۵

Sj = مجموع مقدار S برای هر گزینه

S⁻ = بزرگ‌ترین عدد شاخص S برای هر گزینه

S^{*} = کوچک‌ترین عدد شاخص S برای هر گزینه

Rj = مجموع مقدار R برای هر گزینه

R⁻ = بزرگ‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه

R^{*} = کوچک‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه

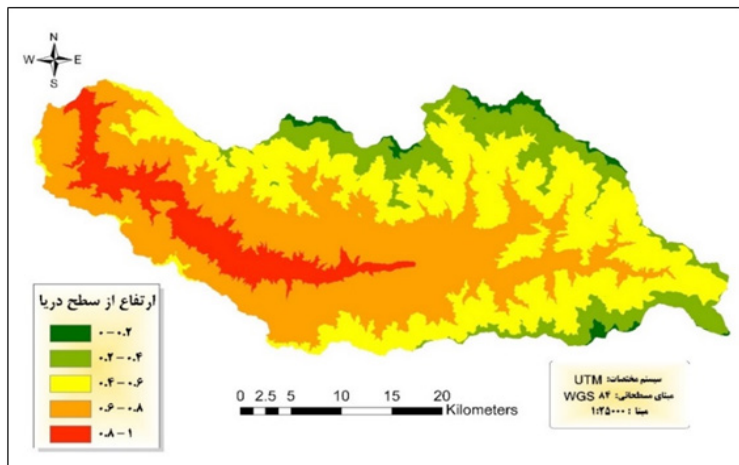
۳- بحث

در پهنه‌بندی سیلاب عوامل زیادی باید در نظر گرفته شوند که هر کدام دارای درجه اهمیت متفاوتی هستند، اما با توجه به محدودیت‌هایی که در تهیه برخی از لایه‌ها وجود دارد و محدودیت‌هایی که به دلیل طولانی بودن فرآیند روش وجود دارد، استفاده از لایه‌های اطلاعاتی فراوان باعث پیچیدگی بیش از اندازه مدل، هزینه و زمان طولانی در تحلیل و پردازش روش می‌گردد. بنابراین براساس تجارب پیشین فاکتورهایی که بیشترین تأثیر را بر رخداد سیلاب در حوضه آبخیز طالقان داشتند در روش VIKOR انتخاب شدند. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مشتمل بر معیارهای ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهات شیب، میانگین بارندگی، فاصله از خطوط آبراهه، کاربری اراضی و سازند می‌باشند که در جهت تعیین پهنه‌های آسیب‌پذیر در برابر وقوع سیل، به‌کار گرفته شدند. بخشی از داده‌های مورد نیاز شامل مدل رقومی ارتفاع، نقشه کاربری اراضی منطقه و نقشه سازندهای زمین‌شناسی به‌صورت خام با فرمت shape file در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، جمع‌آوری شد. نقشه‌های ارتفاع و شیب و جهات جغرافیایی از DEM ۱۰متر



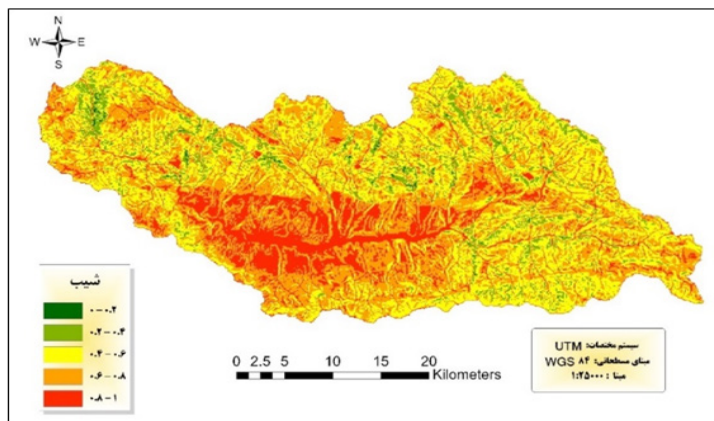
نگاره ۲: فلوجارت روش مطالعاتی انجام گرفته برای رسیدن به نقشه بهینه‌بندی خطر سیل با استفاده از روش ویکور

معیارهای اصلی و آماده‌سازی نقشه‌های مربوطه، در مرحله بعد، نرمال‌سازی نقشه‌های هر کدام از معیارها از طریق تابع Fuzzy Membership و با در نظر داشتن اثرات مثبت و منفی آنها بر پدیده سیلاب، صورت گرفت و مقادیر هر کدام از معیارها در بازه‌ای بین صفر و یک طبقه‌بندی گردید. در مطالعه بهینه‌بندی خطر سیل‌گیری عامل ارتفاع از سطح دریا به عنوان عاملی با اثر عکس در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب که با کاهش ارتفاع، خطر سیل‌گیری افزایش می‌یابد. معیار شیب نقش زیادی در هدایت و سکون آب‌های سطحی و حجم سیلاب دارد بدین ترتیب که با افزایش و کاهش مقدار شیب در یک محل، می‌توان محل جمع شدن یا حرکت رواناب‌ها را تعیین نمود. این عامل با پدیده سیلاب رابطه معکوس دارد و با کاهش مقدار شیب حوضه خطر سیلاب افزایش می‌یابد و بالعکس.



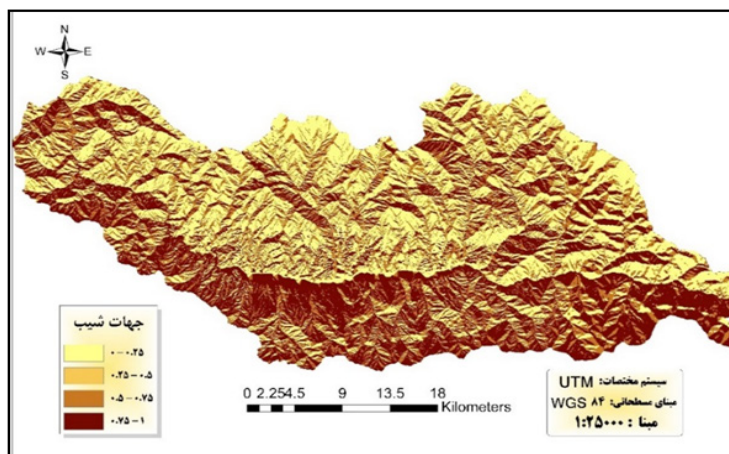
نگاره ۳: نقشه نرمال شده ارتفاع از سطح دریا

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل ... / ۱۶۷

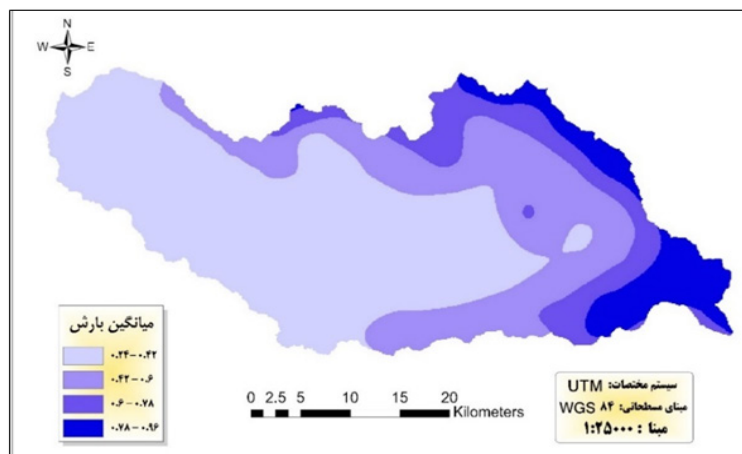


نگاره ۴: نقشه نرمال شده شیب

نگاره ۵: نقشه نرمال شده جهات شیب



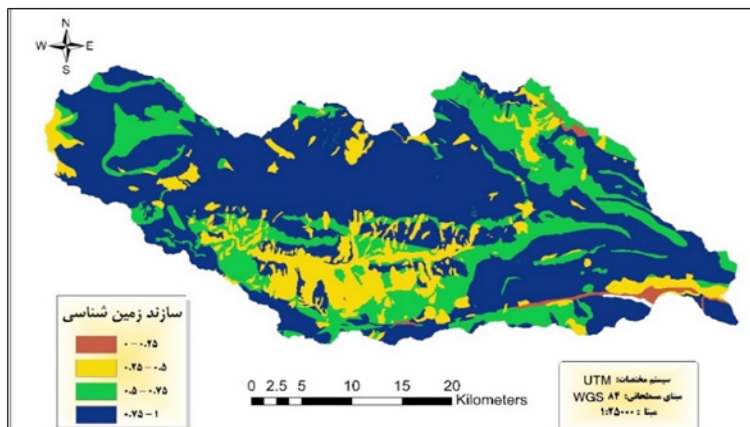
نگاره ۶: نقشه نرمال شده میانگین بارش



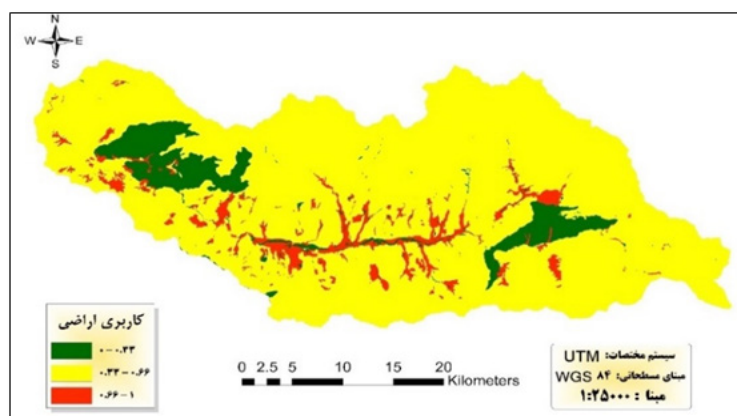
در بروز و ظهور هر روان آبی در حوضه‌های آبخیز است و مقدار و شدت آن در بروز سیلاب، زمان تمرکز و هیدروگراف سیل مؤثر است (نفوتی و همکاران: ۱۳۹۵).

سازندهای زمین‌شناسی با توجه به میزان نفوذپذیری رواناب، در هدایت یا جذب آب‌های سطحی نقشی اساسی

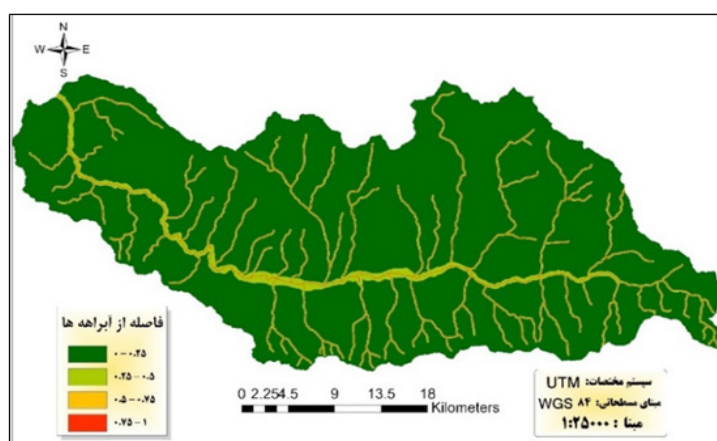
معیار جهات شیب، در هدایت و پخش رواناب‌ها به بخش‌های مختلف نقش برجسته‌ای دارد. از طرفی با توجه به تأخیر در ذوب برف دامنه‌های شمالی، خطر بروز سیل در فصل بهار در این دامنه‌ها بیشتر است. بارندگی سالانه از عوامل اقلیمی و مؤثر انکارناپذیر



نگاره ۷: نقشه نرمال شده سازند زمین شناسی



نگاره ۸: نقشه نرمال شده کاربری اراضی



نگاره ۹: نقشه نرمال شده فاصله از آبراهه ها

یا تند کردن سرعت حرکت، میزان نفوذ آب و در نتیجه شدت سیلاب دارد. اراضی دارای پوشش درختی و مراتع غنی، دارای خطرپذیری کمتری نسبت به زمین های بایر هستند. همچنین کاربری مسکونی در صورت دارا نبودن سیستم زهکشی

ایفا می کنند. تهیه نقشه کاربری اراضی در حوضه طالقان که از تنوع کاربری متنوعی چون: مراتع و جنگل ها، زمین کشاورزی، باغات، مناطق مسکونی و کوهستان ها، برخوردار است در کار پهنه بندی سیلاب از اصلی ترین و ضروری ترین اقدامات است. نوع کاربری های موجود تأثیر بسزایی در کند

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل ... / ۱۶۹

جدول ۲: وزن معیارهای به کار رفته در پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری

معیار	جهت شیب	میانگین بارش	ارتفاع	شیب	فاصله از آبراهه‌ها	زمین‌شناسی	کاربری اراضی
وزن	۰/۱۳۱۱	۰/۱۶۲۵	۰/۱۱۴۲	۰/۱۰۲۹	۰/۲۸۱۶	۰/۰۷۹۸	۰/۱۲۶۹

جدول ۳: کلاس‌بندی کمی و کیفی پتانسیل سیل‌گیری

پتانسیل خطرپذیری	کلاس (طبقه)	مقدار کمی ویکور (Q)
بی خطر	I	۰-۰/۲
کم خطر	II	۰/۲-۰/۴
خطر متوسط	III	۰/۴-۰/۶
خطرناک	IV	۰/۶-۰/۸
خطر زیاد	V	۰/۸-۱

از لحاظ پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری، مطابق جدول ۴، می‌توان نتیجه را چنین بیان کرد که ۲۷ روستا و سکونتگاه از بین ۶۸ روستای منطقه، در عرصه‌های پرخطر قرار دارند که در این میان روستاهای اسکان، گته ده، ناریان، پراچان، مهران، جویستان، نساء علیا، حسنجون، جزن، و موچان در معرض بیشترین خطر می‌باشند.

مناسب در هنگام بارندگی‌های شدید با افزایش حجم رواناب موجب آب‌گرفتگی در سطح معابر و گذرگاه‌ها می‌شود.

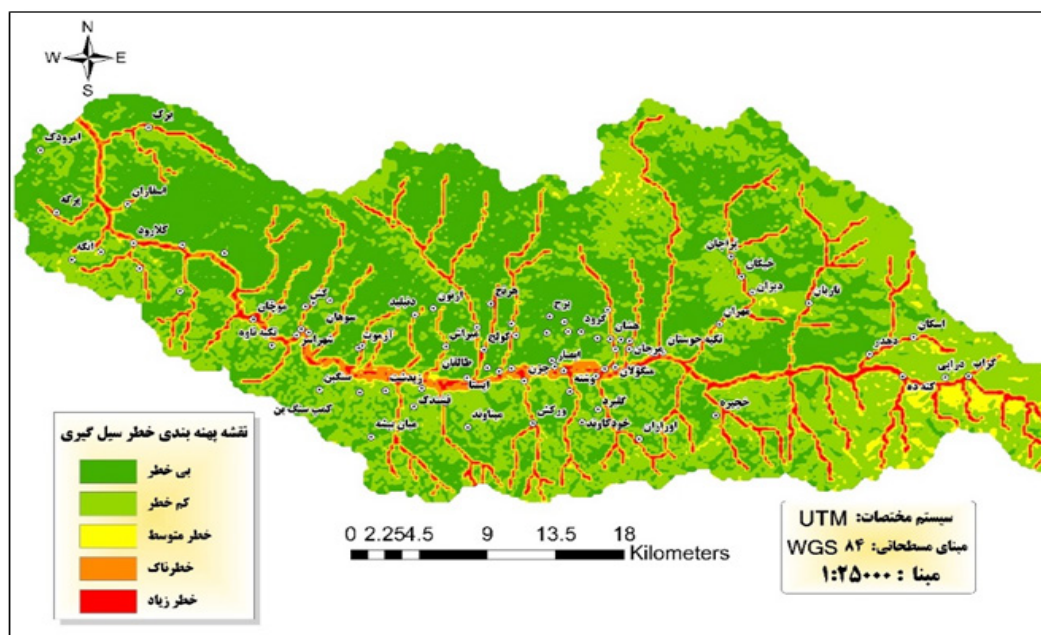
در مرحله وزن‌دهی به معیارها، ابتدا به منظور استخراج داده‌های توصیفی هر لایه، نمونه‌برداری ۲۰۰ متر مربعی در نظر گرفته شد و مقادیر هر یک از معیارها استخراج گردید و در اطلاعات توصیفی فایل نقطه‌ای وارد شد.

در مرحله بعد اطلاعات توصیفی این لایه نقطه‌ای برای انجام محاسبات، به فایل Excel تبدیل شد. بعد از به‌کارگیری روش critic و انجام محاسبات آن، وزن معیارها در نرم‌افزار Excel مطابق جدول ۲ به دست آمد.

بر پایه مقادیر به دست آمده از شاخص ویکور (Q)، مطابق جدول ۳، مناطق در پنج کلاس براساس میزان خطرپذیری در برابر سیل طبقه‌بندی شدند.

جدول ۴: پتانسیل سیل‌گیری در شهرستان و روستاهای حوضه آبخیز طالقان

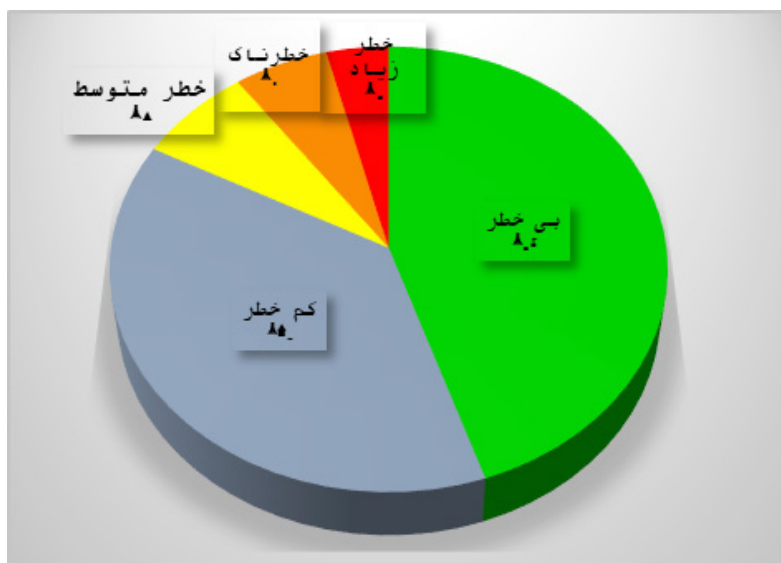
پتانسیل خطر سیل	روستا/ شهرستان
کم خطر	دراپی - هشان - ابصار - گرود - سکران چال - بزج - نوزیک - اوانک - طالقان - هرنج - ارتون - میناوند نوز علیا - خچیره - اوزان - گلیرد - خودکاووند - وشته - فشندک - زیدشت - کمپ سنگ بن - میان بیشه سوهان - کش - تکیه ناوه - کجیران - انگه - امرودک - کرکبود
خطر متوسط	دهدر - دیزان - کیا محله - منگولان - گوران - جزینان - خسبان - گلینک - محمودکلاویه - اسفاران - مرجان
خطر زیاد	اسکان - پراچان - نساء علیا - سیچ خانی - ایستا - پرده سر - حسنجون - میراش - دنبلید - باریکان - آرموت شهراسر - موچان - یرک - پرگه - گراب - گته ده - ناریان - خیکان - حصیران - محسن آباد - ورکش - جزن کولج - کلارود - جویستان - مهران



نگاره ۱۰: نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری حوضه آبخیز طالقان

نتایج بررسی نقشه پهنه‌بندی سیل‌گیری نشان می‌دهد ۸۳ درصد از کل مساحت حوضه شامل پهنه‌های بی‌خطر یا با خطر کم می‌باشد. اما ۱۷ درصد از این مساحت دارای خطر سیل‌گیری متوسط و بالا هستند که اکثراً شامل سکونتگاه‌های شهری، روستایی، باغات و زمین‌های کشاورزی می‌باشند که لزوم توجه به مدیریت صحیح در این مناطق را بیشتر قوت می‌بخشد.

با استفاده از روش VIKOR و وزن‌های به‌دست آمده با روش critic که در نرم‌افزار Excel محاسبه شدند، مقدار شاخص ویکور (Q) برای هر کدام از گزینه‌ها (پیکسل‌ها) به‌دست آمد. در نهایت با اختصاص مقادیر Q به هر کدام از نقاط (گزینه‌های) مربوطه، به‌وسیله نرم‌افزار ARC GIS، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری در حوضه آبخیز طالقان به‌دست آمد (نگاره ۱۰).



نگاره ۱۱: درصد مساحت حوضه آبخیز طالقان از لحاظ سیل‌گیری

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان چنین بیان کرد که فاصله از آبراهه در حوضه آبخیز طالقان تأثیر بسزایی در میزان سیل‌گیری آن داشته است و با فاصله گرفتن از آبراهه اصلی و آبراهه‌های فرعی حوضه، از خطر بروز سیلاب و سیل‌گیری کاسته می‌شود. در بین معیارهای در نظر گرفته شده، بارش بعد از فاصله از آبراهه‌ها، به عنوان دومین عامل مؤثر در زمینه سیل‌گیری حوضه معرفی می‌شود. طوری که در جهت شرقی حوضه با میانگین بارش بالا، خطر سیل‌گیری بالاتری در اطراف آبراهه‌ها مشاهده می‌گردد. همچنین، بررسی نتایج پژوهش‌های پیشین از جمله پژوهشی که توسط انتظاری و همکاران در خصوص تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک در استان البرز، که با روش FR صورت گرفته نیز حاکی از آن است که شهرستان طالقان به علت شرایط طبیعی از لحاظ شاخص‌های مورد ارزیابی مانند حساسیت به فرسایش، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه‌ها، میزان بارش و میزان و جهت شیب، از پتانسیل بالایی برای رویداد سیل برخوردار می‌باشد و ۲۷ روستا و سکونتگاه از بین ۶۸ روستای منطقه، در عرصه‌های پر خطر قرار دارند که در این میان روستاهای اسکان، گته ده، ناریان، پراچان، مهران، جوستان، نساء علیا، حسن‌جون، جزن، و موچان در معرض بیشترین خطر می‌باشند. از آنجا که تمامی این سکونتگاه‌ها در کناره و حریم آبراهه‌های حوضه قرار گرفته‌اند و با توجه به اهمیت عرصه‌های دشت سیلابی در اقتصاد و زندگی ساکنان این منطقه، برای تضمین زندگی و سرمایه‌های موجود، لازم است رودخانه در ترازهای مشخصی نگهداری شود و یا اینکه مانع پیشروی و توسعه در مناطق خطرناک گردد. از این رو لازم است با وضع قوانین و اجرای مقررات عمران دشت‌های سیلابی که یکی از مکانیزیم‌های مستقیم کنترل کاربری اراضی در این مناطق می‌باشد، کاربری نادرست اراضی اطراف رودخانه اصلی طالقان و آبراهه‌های فرعی مستعد خطر، به کاربری‌های مجاز تبدیل شوند و حریم رودخانه مشخص گردد.

۵- منابع و مأخذ

- ۱- امیراحمدی، بهنیا، ابراهیمی؛ ابوالقاسم، ابوالفضل، مجید (۱۳۹۰)، ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، مجله آمایش محیط: ۱۶-۱.
- ۲- انتظاری، خدادادی، ساسان‌پور؛ مژگان، فاطمه، فرزانه (۱۳۹۷)، تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های VIKOR-AHP و FR، فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۱: ۱۹۹-۱۸۳.
- ۳- بزرگی، ابراهیمی لویه؛ بابک، عادل، (۱۳۸۵)، بررسی نقش آموزش و ارتباطات در ارتقاء آگاهی‌های عمومی با هدف مدیریت ریسک سیلاب، کارگاه فنی هم‌زیستی با سیلاب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ۷۴-۶۰.
- ۴- پایگاه علمی - پژوهشی پارس مدیر. www.ParsModir.com
- ۵- حافظ‌نیا؛ محمدرضا، (۱۳۹۵)، مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، چاپ ۲۱، ۴۲۰ صفحه.
- ۶- حسن‌زاده نفوتی، خواجه بافقی؛ محمدحسن، حبیب ... (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره، مطالعه موردی حوضه آبخیز شیطان بافق، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۴: ۳۷-۲۹.
- ۷- خلیلی‌زاده، مساعدی، نجفی‌زاده؛ مجتبی، ابوالفضل، علی (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی خطر سیل در بخشی از محدوده رودخانه زیارت در حوضه آبخیز شهری گرگان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۲: ۱۴۶-۱۳۸.
- ۸- رحمانی رضاییه، امیر پوردیلیمی؛ آیدین، افشین (۱۳۹۲)، بررسی خطر سیل و تحلیل آماری سیلاب‌های بخشی از رودخانه طالقان، مطالعه موردی ایستگاه هیدرومتری کماکان، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، ۷.
- ۹- رضائی، تاجدار، میرقاسمی؛ پرویز، خسرو، سیداسماعیل

با استفاده از منطق فازی AHP-TOPSIS، در محیط GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز آیدوغموش)، فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال نهم، شماره ۳: ۳۰۶-۲۹۳.

۱۸- نصرتی؛ عبدا... (۱۳۷۹)، پهنه‌بندی سیل در حوضه آبخیز گاو رود با استفاده از GIS و RS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۹- نوحه‌گر، قصرالدشتی، روشن، رضائی؛ احمد، محمد، محمد، پیمان (۱۳۹۱)، بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل سیل‌خیزی، مطالعه موردی حوضه آبخیز تنگ بستانک شیراز، فصلنامه علمی - پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۲: ۴۱-۲۸.

۲۰- 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.

21- Arianpour, M., & Jamali, A. A. (2015). Flood hazard zonation using spatial multi-criteria evaluation (SMCE) in GIS (case study: Omidieh-Khuzestan). *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 4(1), pp-39.

22- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability*, 8(9), 948.

23- Change, I. P. O. C. (2014). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

24- Correia, F. N., Da Silva, F. N., & Ramos, I. (1999). Floodplain management in urban developing areas. Part II. GIS-based flood analysis and urban growth modelling. *Water Resources Management*, 13(1), 23-37.

25- England Jr, J. F., Julien, P. Y., & Velleux, M. L. (2014). Physically-based extreme flood frequency with stochastic storm transposition and paleoflood data on large watersheds. *Journal of Hydrology*, 510, 228-245.

26- Fernández, D. S., & Lutz, M. A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using

(۱۳۹۳)، تعیین گستره سیل رودخانه مرغک در محیط Hec-GeoRAS، دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری، ۱۴.

۱۰- ساسان‌پور، موسیوند؛ فرزانه، جعفر (۱۳۹۰)، تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان شهری با کاربرد منطق فازی و GIS، فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۱۶، بهار ۱۳۸۹، ۲۹-۴۱.

۱۱- ساسان‌پور؛ فرزانه (۱۴۰۰) مخاطرات محیط زیست شهری، جهاد دانشگاهی، تهران.

۱۲- سپهر، بهنیافر، محمدیان، عبدالهی؛ عادل، ابوالفضل، عباسعلی، ابوالفضل (۱۳۹۲)، تهیه نقشه حساسیت‌پذیری زمین لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۲، شماره ۱: ۳۶-۱۹.

۱۳- صفاری، ساسان‌پور، موسیوند؛ امیر، فرزانه، جعفر (۱۳۹۰)، ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی، مطالعه موردی منطقه سه تهران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۱، شماره ۲۰: ۱۵۰-۱۲۹.

۱۴- علایی طالقانی، همایونی؛ محمود، صدیقه (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی حوضه دینور از نظر تولید سیلاب با استناد به مؤلفه‌های ژئومورفولوژی، پژوهشنامه جغرافیایی، شماره ۱.

۱۵- کرم، درخشان؛ امیر، فرزانه (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی سیل‌خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آب‌های سطحی در حوضه‌های شهری، مطالعه موردی: حوضه آبشوران در کرمانشاه، مجله جغرافیای طبیعی، دوره ۵، شماره ۱۶: ۵۴-۳۷.

۱۶- گرشاسبی؛ پرویز (۱۳۸۱)، شناخت ژئومورفولوژی کواترنر و بررسی قابلیت آن برای توسعه کشاورزی، منابع طبیعی و حفاظت خاک درحوضه آبخیز طالقان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۸۲ صفحه.

۱۷- ندیری؛ مژگان (۱۳۹۸)، پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل ... / ۱۷۳

Province, Iran. Geocarto International, 31(1), 42-70.

36- Sinnakaudan, S. A., Ab Ghani, A., & Kiat, C. C. (2002, September). Flood inundation analysis using HEC and ArcView GIS 3.2 a. In 5th International Conference on Hydrosience and Engineering, Warsaw, Poland.

37- Yang, Y. E., Ray, P. A., Brown, C. M., Khalil, A. F., & Winston, H. Y. (2015). Estimation of flood damage functions for river basin planning: a case study in Bangladesh. *Natural Hazards*, 75(3), 2773-2791.

GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111(1-4), 90-98.

27- Godschalk, D. R. (2003). Urban hazard mitigation: creating resilient cities. *Natural hazards review*, 4(3), 136-143.

28- Hudson, P. G. M. B., Botzen, W. J. W., Kreibich, H., Bubeck, P., & Aerts, J. C. J. H. (2014). Evaluating the effectiveness of flood damage mitigation measures by the application of propensity score matching. *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 14, 1731-1747.

29- Islam, M. M., & Sado, K. (2000). Development of flood hazard maps of Bangladesh using NOAA-AVHRR images with GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 45(3), 337-355.

30- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*, 83(2), 947-987.

31- Liang, S., & Mohanty, C. R. C. (1997). Optimization of GIS -Based flood hazard zoning- A cased study at the Mahanady Command area in cuttack district, orrisa, India.

32- Mailhot, A., Duchesne, S., Caya, D., & Talbot, G. (2007). Assessment of future change in intensity-duration-frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of hydrology*, 347(1-2), 197-210.

33- Ozturk, D., & Batuk, F. (2011). Implementation of GIS-based multicriteria decision analysis with VB in ArcGIS. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10(06), 1023-1042.

34- Perera, E. D. P. Hiroe, A. Shrestha, D. Fukami, K. Basnyat, D. B. Gautam, S. Hasegawa, A. Uenoyama, T. Tanaka, S. Using GIS and Multicriteria Decision Analysis. *Research Engineering Geology*, 111: 90-9.

35- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan

