

پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز جنگل‌های ارسباران مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز ستن‌چای - عاشقلو)
قباد رستمی زاد، جمشید یاراحمدی و شاهرخ محسنی

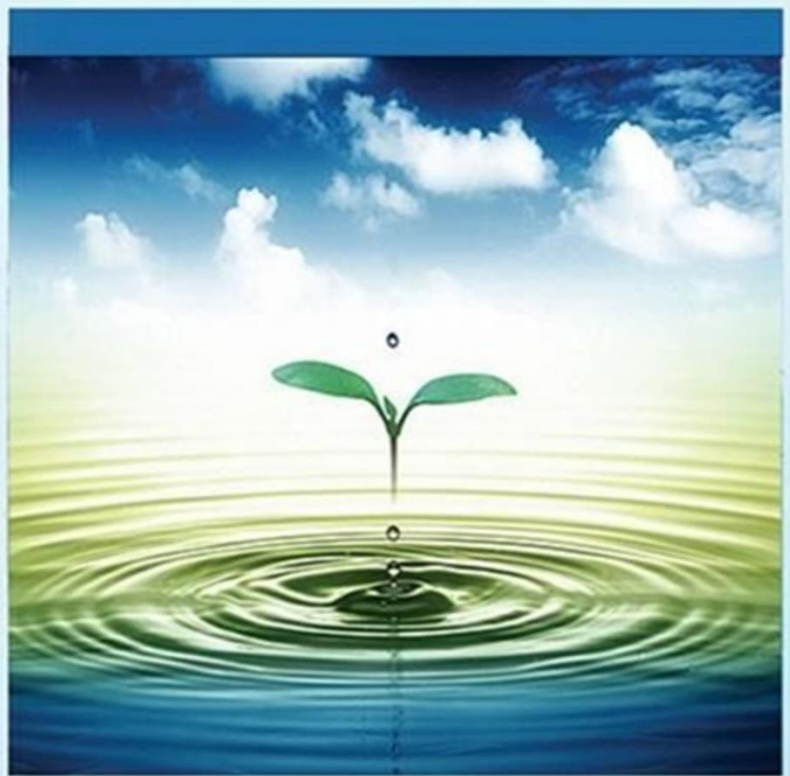
دوره ۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صفحات ۵۱۹-۵۰۷

Vol. 7(3), Autumn 2021, 507-519

DOI: 10.22034/jewe.2021.259722.1474

**Zoning of Arasbaran Forests Flood Hazard
Based on Analytic Hierarchy Process and
GIS (Study Area: Sotanchai-Asheghloo
Watershed)**

Rostamizad, G., Yarahmadi, J. and Mohseni, S.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

رستمی‌زاد، ق.، یاراحمدی، ج. و محسنی، ش. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز جنگل‌های ارسباران مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز ستن‌چای - عاشقلو). محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۳، صفحات: ۵۱۹-۵۰۷.

Citing this paper: Rostamizad, G., Yarahmadi, J. and Mohseni, S. (2021) Zoning of Arasbaran forests flood hazard based on analytic hierarchy process and GIS (study area: Sotanchai-Asheghloo Watershed). Environ. Water Eng., 7(3), 507-519. DOI: 10.22034/jewe.2021.259722.1474

مقاله موردی

پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز جنگل‌های ارسباران مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و GIS (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز ستن‌چای – عاشق‌لو)

قباد رستمی‌زاد^{۱*}، جمشید یاراحمدی^۲ و شاهرخ محسنی^۳

^۱استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
^۲استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
^۳کارشناس محقق ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

*نویسنده مسئول: gh.rostamizad@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

چکیده

برای جلوگیری از رخداد سیلاب، باید مناطقی را شناسایی کرد که دارای پتانسیل بالایی در ایجاد این پدیده هستند. این پژوهش با هدف برآورد ضریب رواناب، شناخت عوامل مؤثر در سیل‌خیزی و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در جنگل‌های ارسباران، حوزه آبخیز ستن‌چای، انجام شد. برای این منظور ابتدا داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز شامل آمار حداکثر بارش روزانه، لایه‌های گروه‌های هیدرولوژیک خاک، شیب، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی و تراکم زهکشی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. در ادامه با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به هریک از شش عامل مؤثر در سیل‌خیزی حوضه وزن مؤثر اختصاص داده شد. سپس با تلفیق این لایه‌ها در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ yr تهیه شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۵ تا ۱۹٪ مساحت حوضه طی دوره بازگشت‌های ۱۰ تا ۱۰۰ yr در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی متوسط و ۱ تا ۱۳٪ در طبقه پتانسیل زیاد قرار گرفت. در طی دوره بازگشت‌های ۱۰ و ۲۵ yr هیچ منطقه‌ای از حوضه در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد قرار نگرفتند اما در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ yr به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۹۶٪ از سطح حوضه در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد قرار گرفتند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت با توجه به تراکم خوب جنگل و پوشش گیاهی، سیل‌خیزی منطقه کم بوده و مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا در مکان‌هایی که جنگل تخریب گردیده، واقع شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل سیل‌خیزی؛ پهنه‌بندی؛ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی؛ جنگل‌های ارسباران؛ دوره بازگشت



۱- مقدمه

سیلاب یکی از پدیده‌های محیطی است که با تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر زندگی انسان، باعث آسیب‌های شدید اقتصادی در سراسر جهان می‌شود (Khan et al. 2011). علاوه بر این که تغییرات اقلیمی و آب و هوایی و دخالت‌های غیرمعمول انسان از قبیل ساخت‌وسازهای بی‌رویه در بستر و سواحل رودخانه‌ها، صنعتی شدن، تغییر کاربری‌ها و سایر فعالیت‌ها جهت تأمین نیازهای خود و متعاقباً فشار بیش‌ازحد بر منابع طبیعی، باعث افزایش شدت و فراوانی رخداد سیلاب در اکثر مناطق جهان شده است (Jonkman and Dawson 2012؛ Huong and Pathirana 2007؛ Zhu et al. 2012؛ Kundzewicz and Stoffel 2016). مجموعه عواملی که باعث می‌شوند جریان رودخانه از حالت طبیعی و تعادل خود خارج شده و به یک عامل مخرب تبدیل شود عبارت‌اند از: تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی، درجه اشباع شدن خاک، تجاوز به حریم رودخانه‌ها، شدت و مدت بارندگی، شیب و نفوذپذیری حوضه (Enayati and Jha et al. 2005؛ Zevenbergen et al. 2010؛ Yamani 2012). در ایران وقوع سیل بیش از آنکه ناشی از بارش‌های رگباری باشد در رابطه با برهم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی و فیزیولوژیکی منطقه می‌باشد (Ghanavati et al. 2014). در مواقعی که رودخانه نتواند رواناب تولیدشده در حوضه را به‌خوبی انتقال دهد شرایطی پیش می‌آید که آب به زمین‌های اطراف بستر رودخانه سرریز می‌شود و سیل رخ می‌دهد. هر قسمتی از حوزه آبخیز پتانسیل مشخصی در تولید رواناب و سیل دارد. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی روشی است که با در نظر گرفتن این ویژگی‌ها و همچنین میزان تولید رواناب در هر بخش، حوضه را بر اساس توان سیل‌خیزی پهنه‌بندی می‌کند. نتایج تحلیل تجربی خطر سیل با استفاده از داده‌های تاریخی در توکیو نشان داد که در نظر نگرفتن معیارهای مؤثر در کاهش اثرات سیل ممکن است آگاهی از خطر سیل را کاهش دهد و هشدارهای خطر سیل ارائه‌شده در نقشه خطر سیل ممکن است توجه مورد انتظار را جلب نکند. یافته‌ها همچنین نشان می‌دهند که سرمایه‌گذاری در کاهش سیل ارزشمند بوده و می‌تواند انعطاف‌پذیری در مناطق آسیب‌پذیر را افزایش دهد.

علاوه بر این، اقدامات احتیاطی ساکنین و تأیید اثربخشی معیارهای سازگاری جهت کاهش تلفات آتی به کاهش خطرات سیل کمک می‌کند (Sado-Inamura and Fukushi 2019). دینامیک ژئومورفولوژیک و پهنه‌بندی خطر سیل در رودخانه بلانکویتو در شمال غربی آرژانتین موردبررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد برخی زیرساخت‌ها در سیلاب‌های رخ داده آسیب‌های جدی دیده‌اند (مانند تخریب ۳۰۷ پل در جاده‌های استانی). از عمده دلایل این رخدادها این است که رشد شهری در طول ۳۰ y گذشته قابل‌توجه و بدون برنامه‌ریزی بوده است و موانع زیادی در مسیر رودخانه در سراسر مراکز شهری ایجادشده است (Peña-Monné et al. 2018). در بنگلادش مطالعه‌ای با هدف تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل و ارزیابی آسیب‌پذیری اراضی کشاورزی و مسکونی در مناطق مستعد سیل انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد اغلب مناطق آسیب‌پذیر در مناطق کم ارتفاع و محدوده اراضی کشاورزی واقع شده‌اند (Bhuiyan and Baky 2014).

یک مطالعه با هدف تعیین پتانسیل سیل‌خیزی سیلاب‌های شدید در استان کامپونگ اسپو با استفاده از فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتب (AHP)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و اطلاعات ماهواره‌ای انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که طبقات سیل‌خیزی با خطر بالا و بسیار بالا در قسمت شمال غربی استان کامپونگ اسپو (کامبوج) به‌ویژه در امتداد رودخانه‌ها شناسایی شده است (Koem and Tantane 2020). همچنین پهنه‌بندی خطر سیل در استان کوروم (ترکیه) با استفاده از AHP مبتنی بر GIS بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد استان کوروم در پنج کلاس خطر سیل (بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم) طبقه‌بندی شده است. همچنین مشخص شد که ۳٪ از کل منطقه در طبقه خطر سیل بسیار زیاد و ۲۵٪ نیز در طبقه خطر سیل بالا قرار گرفته است (Ozturk et al. 2021).

Maleki et al. (2013) محاسبه مقدار دبی سیلاب و شناخت عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی حوضه رازآور استان کرمانشاه با استفاده از روش SCS، رگرسیون چندگانه، ساده و لگاریتمی را موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل‌های ارائه‌شده با سطح اعتماد ۰/۰۱ قابل‌قبول بوده و



۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز ستن‌چای - عاشق‌لو به مساحت ۱۴۶۱۵ ha از نظر موقعیت جغرافیایی ۳۴° ۴۰' ۴۶" تا ۳۳° ۵۳' ۴۶" طول شرقی و ۵۰° ۵۲' ۵۰" تا ۳۸° ۴۷' ۷۴" عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع منطقه m ۲۳۰۳ و حداقل ارتفاع آن نیز در خروجی حوزه در مناطق پست ساحلی رودخانه ارس معادل m ۳۱۴ از سطح دریا می‌باشد. حوزه مطالعاتی در دامنه‌های شمالی قره‌داغ (ارسباران) در استان آذربایجان شرقی با بارش متوسط بین ۶۰۰ - ۳۵۰ mm در سال قرار دارد. تیپ درختی این جنگل مرمرز-بلوط و یا بلوط-مرمرز و تیپ درختچه‌ای آن قره‌تیکان و قره‌میخ به همراه گیلان درختچه‌ای می‌باشد. بیشترین وسعت مراتع این حوزه از تیپ مراتع مشجر، گراس‌لندها، گون، تیپ آویشن و در نهایت تیپ فورب با زیر تیپ‌های مربوطه می‌باشد. کاربری منطقه مورد مطالعه جنگل و در وسعت محدود مرتع می‌باشد. در حال حاضر بخش قابل توجهی از سطح حوزه در محدوده آبادی‌ها با تحمیل تغییر کاربری از بین رفته است.

۲-۲- روش پژوهش

به منظور پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی مبتنی بر مدل AHP در حوزه آبخیز ستن‌چای - عاشق‌لو، از مطالعه‌های مربوط به فیزیوگرافی، اقلیم‌شناسی، خاکشناسی، ژئومورفولوژی، جنگل و مرتع و کاربری اراضی در حوزه آبخیز ستن‌چای استفاده شد. با استفاده از توزیع پرسشنامه در بین کارشناسان و مدیران مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی و تجزیه و تحلیل نتایج آن‌ها با استفاده از روش AHP، در نهایت با توجه به وزن هر عامل، شش عامل شامل شیب حوزه، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، رواناب منطقه، تراکم زهکشی، تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی به عنوان مهم‌ترین لایه‌های مؤثر و تأثیرگذار در سیل‌خیزی شناخته شدند و مورد بررسی قرار گرفتند. در همین راستا برای پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوزه آبخیز ستن‌چای - عاشق‌لو لازم بود که لایه‌های مؤثر ذکر شده تهیه شوند. این امر با

عوامل مساحت حوزه آبخیز، زمان تأخیر و CN مؤثرترین عامل در سیل‌خیزی حوزه به شمار می‌روند. (Mahmoodzadeh and Bakoei 2018) با استفاده از فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بررسی نه معیار فاصله از رودخانه، ضریب رواناب، CN، تراکم جمعیت، مناطق مسکونی، شیب، کاربری اراضی، قدمت ابنیه و فضای باز به پهنه‌بندی سیلاب در شهر ساری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۲۴/۱۲٪ از محدوده منطقه در طبقه خیلی زیاد و ۳۷/۰۵٪ در طبقه با خطر خیلی کم قرار دارد. Esmaeili et al. (2016) پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز گلندرد در استان مازندران با استفاده از روش تاپسیس^۱ را مورد مطالعه قرار دادند. بعد از تقسیم حوزه مورد مطالعه به ۱۲ زیرحوزه و تحلیل ۱۲ عامل مؤثر در سیل‌خیزی، نتایج آن‌ها نشان داد که زیر حوزه‌های ۱۲، ۱۰ و ۳ با ضریب ۰/۵۴۸، ۰/۴۸۶ و ۰/۴۶۲ به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم زیرحوزه‌های سیل‌خیز قرار گرفتند.

با توجه به رژیم بارشی کشور، بارش‌های رگباری و نیز ذوب برف‌های زمستانه پدیده سیل و پیامدهای ناگوار آن را در مقیاس‌های مختلف شاهد هستیم. از طرفی چون حوزه مطالعاتی در دامنه‌های شمالی قره‌داغ (ارسباران) در استان آذربایجان شرقی با بارش متوسط بین ۶۰۰ - ۳۵۰ mm واقع گردیده، از شرایط مناسب اقلیمی و ادا فیزیکی جهت رخداد این پدیده برخوردار است. به همین دلیل در حال حاضر بخش قابل توجهی از سطح حوزه در محدوده آبادی‌ها با تغییر کاربری - های صورت گرفته، تخریب شده است. وجود همین امر در منطقه و نیز با توجه به وسعت و توپوگرافی، حوزه مورد مطالعه پتانسیل بالایی را در تولید رواناب دارد. علاوه بر این تبدیل کاربری‌های زمین از مرتع و جنگل به کشاورزی و از بین رفتن پوشش گیاهی، زمینه مناسبی را برای تشدید سیلاب‌ها فراهم کرده است؛ بنابراین این پژوهش با هدف برآورد ضریب رواناب، شناخت عوامل مؤثر در سیل‌خیزی و پهنه - بندی پتانسیل سیل‌خیزی در جنگل‌های ارسباران، حوزه آبخیز ستن‌چای، انجام شد.

¹Topsis



Fig. 1 Geographical location of the study area

جهت برآورد رواناب سطحی از رابطه (۱) و مدل CN استفاده شده است (Mahdavi 2002).

که، Q میزان ارتفاع رواناب برحسب mm ، P ارتفاع بارندگی h در دوره بازگشت‌های مختلف، S حداکثر توان نگهداشت سطحی برحسب mm است. در رابطه (۱) مقدار تلفات کل یا S با استفاده از رابطه (۲) برحسب mm که با یک عامل بدون بعد به نام CN ارتباط دارد محاسبه شده است (Mahdavi 2002).

در راستای اهداف این مطالعه و تعیین پتانسیل سیل خیزی منطقه، ابتدا اقدام به تهیه لایه‌های فوق شده و سپس تلفیق آن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS به شرح ذیل، انجام شد.

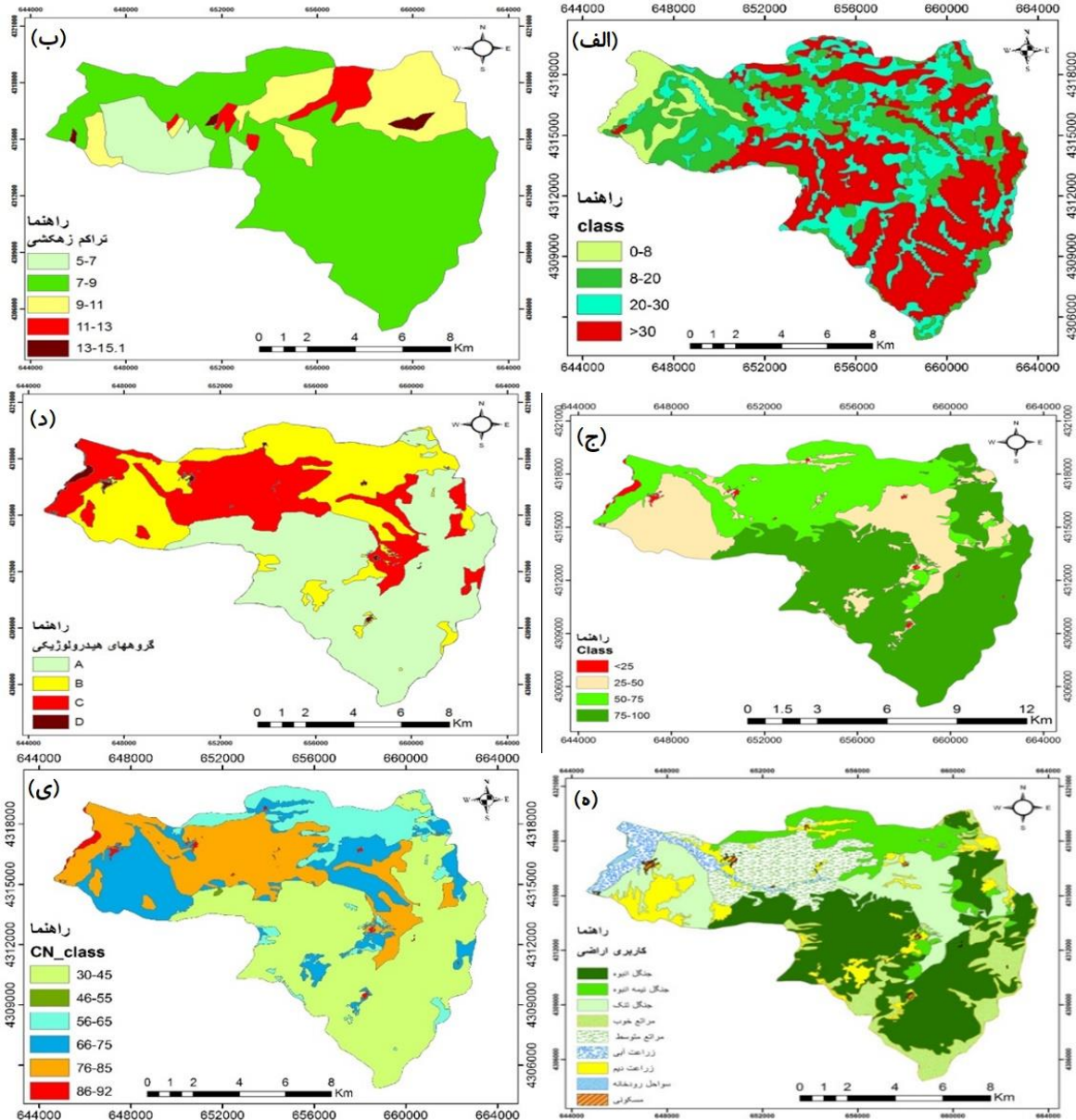
۳-۱- تهیه لایه عوامل مؤثر در سیل خیزی

برای انجام مدل سازی، ابتدا لایه های شش عامل مؤثر در سیل خیزی حوضه شامل شیب، گروه های هیدرولوژیک خاک، رواناب، تراکم زهکشی، تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شد. با توجه به نقشه شیب بیشترین مساحت حوضه در درجه اول در طبقه چهار با شیب بالای ۳۰٪ با مساحت ۶۴۳۷ ha و در درجه دوم شیب های بین ۲۰-۳۰٪ با مساحت ۳۷۵۳ ha را شامل می- شوند. که نشان دهنده کوهستانی بودن منطقه می باشد. در این پژوهش برای تعیین وضعیت زهکشی ابتدا کل حوضه را به ۳۱ زیر حوضه تقسیم شد و سپس تراکم زهکشی در

بعد از آماده‌سازی لایه‌های مذکور اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه شد. روش به‌کاررفته برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه، روش AHP می‌باشد که یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. برای انجام روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، با تدوین پرسشنامه و توزیع آن‌ها در بین کارشناسان مجرب بخش حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی در تخصص‌های آبخیزداری، هواشناسی، خاکشناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، منابع آب و همچنین

که بر اساس مطالعات میدانی به دست می‌آید. مطابق نقشه‌های پوشش جنگل و مرتع ستن‌چای-عاشقلو، بیشترین تراکم پوشش گیاهی را مناطق حاشیه رودخانه‌ای و شیب‌های شمالی حوضه در ارتفاعات دارا هستند. برای تهیه لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، اراضی حوضه بر اساس توان ایجاد رواناب، در چهار گروه (A,B,C,D) تقسیم‌شده است.

بخش‌های مختلف آن محاسبه شد؛ بنابراین به‌طور متوسط تراکم زهکشی در حوضه بین $۵/۲۳$ تا $۱۵/۰۷ \text{ km/km}^2$ می‌باشد. لایه شماره منحنی (CN) با توجه به اطلاعاتی از قبیل گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی (نوع بهره‌وری از زمین)، تراکم پوشش گیاهی و وضعیت هیدرولوژیکی اراضی برحسب تراکم پوشش و بارش حوضه CN تهیه گردید. نقشه تراکم پوشش گیاهی به‌عنوان یک پارامتر تأثیرگذار در تهیه نقشه CN بسیار حائز اهمیت است



شکل ۲- طبقه‌بندی لایه‌های عوامل مؤثر در سیل‌خیزی حوزه آبخیز ستن‌چای - عاشقلو: الف) - شیب، ب) - تراکم زهکشی، ج) - تراکم پوشش گیاهی، د) - گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، ه) - کاربری اراضی، و ی) - شماره منحنی

Fig.2 Classification of flood factors in Satan chai-Asheghloo Watershed a) Slope, b) Drainage Density, c) Density of Rangeland and Forest Cover, d) Soil Hydrologic Groups, e) Landuse, and f) CN

در گام بعدی پهنه‌های بارشی ۲۴ h با دوره‌های بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ از روی داده‌های مربوط به حداکثر بارش روزانه مطابق آمار هواشناسی و اقلیم منطقه انتخاب و طبق رابطه (۱) ارتفاع رواناب منطقه برای دوره‌های بازگشت مختلف به تفکیک برای هریک از زیرحوضه‌ها به دست آمد (جدول ۱).

برای تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک از اطلاعات مربوط به مطالعات خاکشناسی منطقه، تعیین نوع خاک و شدت نفوذپذیری آن استفاده شد. در حوزه آبخیز ستن چای - عاشقلو شامل کاربری‌های جنگل، مرتع، زراعت دیم، زراعت آبی، مناطق مسکونی و نیز اراضی ساحل رودخانه وجود دارد که لایه آن در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. نقشه لایه‌های ذکرشده به تفکیک در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- تعیین مقدار رواناب زیرحوضه‌های آبخیز ستن چای - عاشقلو با دوره بازگشت‌های مختلف بارش ۲۴ h

Table 1 Determining of runoff in the sub-basins of Satan Chai-Asheghloo watershed using 24-hour Rainfall in different return periods

Subbasin	Area (km ²)	CN	S (mm)	P10	P25	P50	P100	Q10	Q25	Q50	Q100
S1	9.75	69.85	109.64	55.56	66.9	75.31	83.66	7.9	13.08	17.48	22.24
S2	31.74	72.43	96.68	55.56	66.9	75.31	83.66	9.87	15.68	20.52	25.7
S2-1	3.03	62.45	152.73	55.56	66.9	75.31	83.66	3.52	6.99	10.15	13.71
S2-2	9.71	55.46	203.99	55.56	66.9	75.31	83.66	1	2.96	4.99	7.44
S2-3	0.92	49.97	254.3	55.56	66.9	75.31	83.66	0.09	0.95	2.14	3.75
S2-4	3.06	44.5	316.79	55.56	66.9	75.31	83.66	0	0.04	0.43	1.22
S2-5	12.98	42.36	345.62	55.56	66.9	75.31	83.66	0	0	0.11	0.59
S3	41.92	41	365.51	55.56	66.9	75.31	83.66	0	0	0.01	0.3
S4	17.84	38.85	399.8	55.56	66.9	75.31	83.66	0	0	0	0.03
S5	9.35	68.49	116.86	55.56	66.9	75.31	83.66	6.95	11.81	15.98	20.52
M1	0.7	63.33	147.07	55.56	66.9	75.31	83.66	3.95	7.61	10.92	14.62
M2	0.85	79.02	67.44	55.56	66.9	75.31	83.66	16.16	23.61	29.57	35.78
M3	0.2	79	67.52	55.56	66.9	75.31	83.66	16.14	23.58	29.54	35.75
M4	0.53	79	67.52	55.56	66.9	75.31	83.66	16.14	23.58	29.54	35.75
M5	0.32	79.41	65.86	55.56	66.9	75.31	83.66	16.6	24.14	30.17	36.44
M6	0.45	79	67.52	55.56	66.9	75.31	83.66	16.14	23.58	29.54	35.75
M7	1.04	79.03	67.4	55.56	66.9	75.31	83.66	16.17	23.62	29.58	35.8
M8	4.99	72.39	96.88	55.56	66.9	75.31	83.66	9.84	15.64	20.47	25.64
M9	1.52	70.2	107.82	55.56	66.9	75.31	83.66	8.15	13.42	17.88	22.69
M10	1.97	45.15	308.57	55.56	66.9	75.31	83.66	0.13	0.09	0.57	1.46
M11	0.38	60.79	163.83	55.56	66.9	75.31	83.66	2.78	5.89	8.77	12.06
M12	1.09	32.99	515.93	55.56	66.9	75.31	83.66	0	0	0	0
M13	1.26	36.8	436.22	55.56	66.9	75.31	83.66	0	0	0	0
M14	1.49	54.57	211.46	55.56	66.9	75.31	83.66	0.78	2.57	4.46	6.77
M15	1.73	62.81	150.39	55.56	66.9	75.31	83.66	3.69	7.24	10.46	14.07
M16	0.33	78.42	69.9	55.56	66.9	75.31	83.66	15.51	22.8	28.66	34.79
M17	0.21	78.3	70.39	55.56	66.9	75.31	83.66	15.38	22.64	28.48	34.59
M18	1.57	70.25	107.57	55.56	66.9	75.31	83.66	8.19	13.47	17.94	22.76
M19	0.82	74.6	86.48	55.56	66.9	75.31	83.66	11.74	18.08	23.29	28.81
M20	0.59	72.84	94.71	55.56	66.9	75.31	83.66	10.21	16.12	21.03	26.27
M21	0.15	74.36	87.58	55.56	66.9	75.31	83.66	11.52	17.81	22.98	28.46

تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. برای انجام روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شش معیار موردنظر، در جمع کارشناسان مجرب بخش حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی در تخصص‌های آبخیزداری، هواشناسی، خاکشناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و منابع آب و همچنین جنگل و

۳-۲- پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی مبتنی بر مدل تحلیل سلسله مراتبی

روش به‌کاررفته برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد که یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای

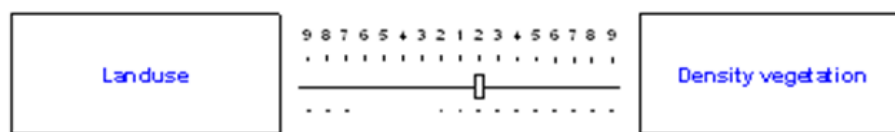
مرتفع مشورت و میزان تأثیر پارامترهای فوق در سیل‌خیزی محیط نرم‌افزار Expert Choice 11 مقایسه دوجه‌دویی و حوزه آبخیز ستن‌چای - عاشقلو، با امتیاز بین ۱ تا ۹ ارزش - وزن‌دهی شدند (شکل ۳). گذاری شد (جدول ۲). سپس پارامترهای شش‌گانه فوق در

جدول ۲- مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی

Table 2 Preference values for pairwise comparisons

Description	Definition	Degree of Importance
The two elements are equally important	Same importance	1
One element is relatively preferable to the other	Relative preference	3
One element is much preferred over another	High preference	5
One element is much preferred over another	Too much preference	7
One element has a great advantage over the other.	Extremely high preference	9
Intermediate values in judgments	Intermediate	2-4-6-8

Numerical Assessment



Compare the relative preference with respect to: Goal: Flooding

	Runoff	Drainage Density	Slope	Landuse	Density vegetation	hydro soil group
Runoff		4.0		7.0	6.0	8.0
Drainage Density			2.0	5.0	5.0	6.0
Slope				4.0	4.0	5.0
Landuse					(2.0)	3.0
Density vegetation						2.0
hydro soil group	Incon: 0.06					

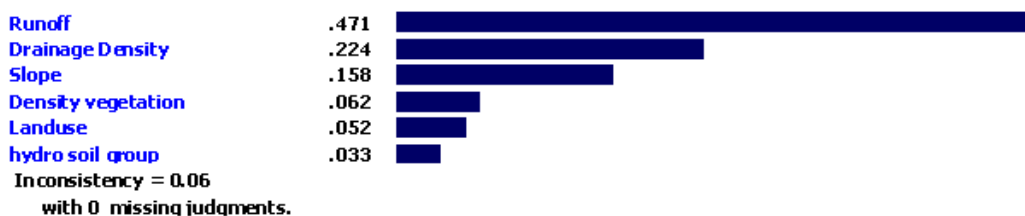
شکل ۳- ماتریس مقایسه زوجی معیارها در روش AHP

Fig. 3 Paired comparison matrix of criteria in AHP method

و همچنین به لیل آنکه تأثیر مستقیم آن در سیل‌خیزی نسبت به سایر عوامل کم است کم‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است. در رتبه بعدی عوامل ضریب زهکشی و شیب قرار گرفته است که به دلیل تأثیری که در تمرکز رواناب و سرعت آن دارند وزن بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند.

بعد از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و تجزیه و تحلیل معیارها با استفاده از روش AHP، وزن معیارها به دست آمد (شکل ۴). در بین عوامل مورد بررسی، عامل رواناب بیشترین وزن را به خود اختصاص داد که دلیل آن تأثیر مستقیم حجم رواناب در ایجاد سیل است. در بین سایر عوامل، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به لیل استفاده شدن در تهیه لایه رواناب

Priorities with respect to:
Goal: Flooding



شکل ۴- وزن‌دهی هر یک از فاکتورها در روش AHP

Fig. 4 Weighting of each factor in AHP method

۳-۳- امتیازدهی لایه‌ها

(جدول ۳). این امتیازدهی به خاطر این است که لایه‌های

پس از وزن‌دهی لایه‌ها، تک‌تک آن‌ها را در محیط GIS طبقه‌بندی و بر اساس نظر کارشناسی و مشخصات منطقه به هر یک از طبقات امتیازی از ۱ - ۰ اختصاص داده شد. درونی هر معیار از خود رفتار یکسانی را در رابطه باهدف نشان نمی‌دهند. درنهایت لایه‌ها باهم تلفیق‌شده و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی به دست آمد.

جدول ۳- امتیازدهی طبقات لایه‌های مختلف جهت تهیه رواناب حوزه آبخیز ستن چای - عاشقلو

Table 3 Scoring the classes of different layers for the preparation of runoff from Sotan Chay watershed Asheghloo

Criteria	Class	Score	Layer W.
Land use	Dense forest	0.05	0.052
	Semi-dense forest	0.1	
	Thin forest	0.15	
	Good pastures	0.05	
	Medium rangelands	0.15	
	watery Agriculture	0.15	
	Dry farming	0.2	
	River bed	0.3	
	Village	0.3	
Vegetation density	Dense	0.1	0.062
	Semi-Dense	0.2	
	Poor	0.3	
	Very poor	0.4	
	0-8	0.1	
Slope (%)	8-20	0.2	0.158
	20-30	0.3	
	30<	0.4	
	0-6	0.05	
	6-12	0.1	
Runoff (mm)	12-18	0.15	0.47
	18-24	0.2	
	24-30	0.25	
	30-37	0.3	
	A	0.1	
	B	0.2	
Soil Hydrologic Groups	C	0.3	0.033
	D	0.4	
	5-7	0.05	
	7-9	0.1	
Drainage Density (Km/km ²)	9-11	0.2	0.224
	11-13	0.25	
	13-15.1	0.35	

تلفیق شدند و نقشه پتانسیل سیل‌خیزی برای حوضه به‌دست آمد.

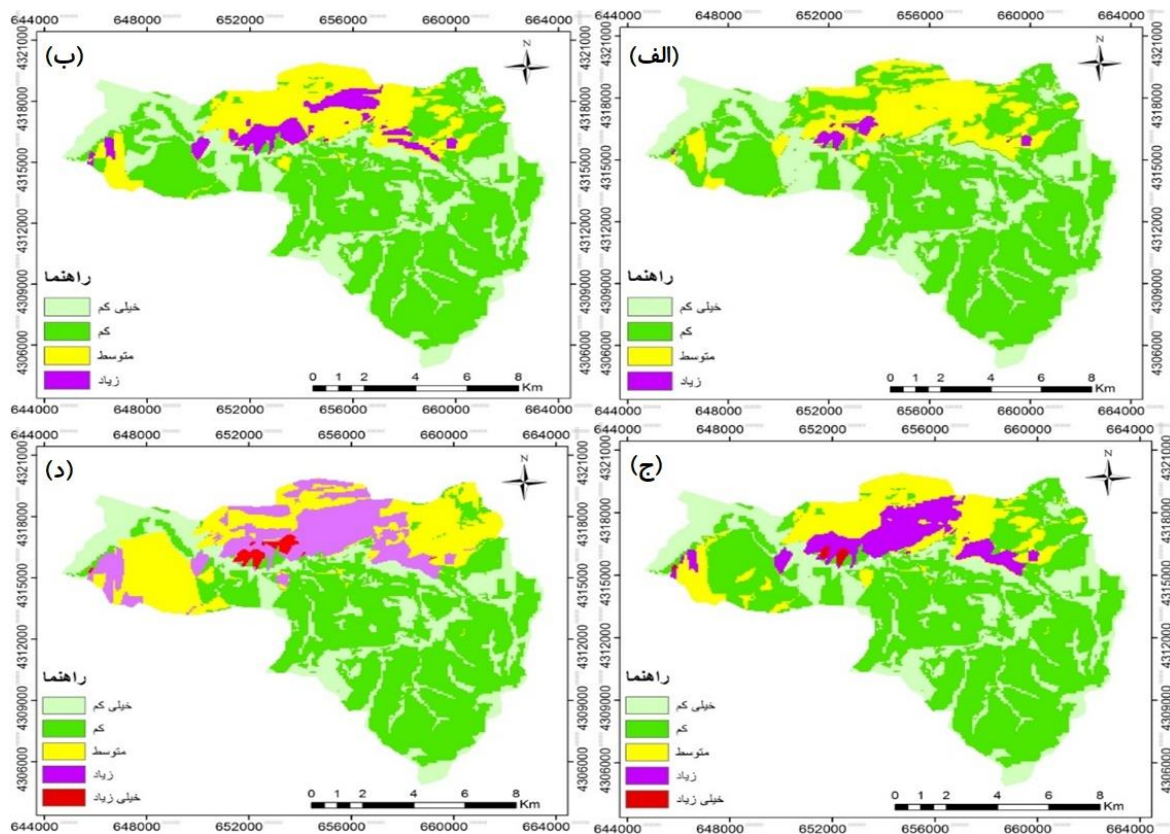
۳-۴- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه لایه‌ها درنهایت برای تعیین پهنه‌های سیل‌خیز، لایه‌ها با توجه به رابطه (۳) در محیط ArcGIS با یکدیگر

$$Y = 0.47a + 0.158b + 0.224c + 0.062d + 0.052e + 0.033f \quad (3)$$

که در آن: Y = سیل‌خیزی حوضه، a = رواناب، b = شیب، c = تراکم زهکشی، d = تراکم پوشش گیاهی، e = کاربری اراضی، f = گروه‌های هیدرولوژیک خاک با اجرای رابطه فوق بر روی لایه‌ها با دستور Raster Calculator در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه پتانسیل سیل‌خیزی با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ y حوضه به‌دست آمد (شکل ۵)





شکل ۵- پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوزه آبخیز ستن چای - عاشق‌لو با دوره بازگشت‌های مختلف: (الف) ۱۰، (ب) ۲۵، (ج) ۵۰، و (د) ۱۰۰ y

Fig.5 Zoning of flood potential in Sotan Chay-Asheghlou watershed with different return periods: a) 10, b) 25, c) 50, and d) 100 y

دلیل وجود شرایطی همچون پوشش گیاهی متراکم‌تر، تراکم زهکشی پایین و نیز کاربری جنگل و مرتع با وضعیت بهتر باعث شده است که این مناطق در طبقه با پتانسیل سیل‌خیزی کم و خیلی کم تا متوسط قرار گیرند. شیب زمین در این مناطق در کمترین حد خود و زیر ۱۵٪ است و همچنین این مناطق به دلیل دارا بودن گروه هیدرولوژیکی خاک نوع A رواناب کمی را تولید می‌کند که به نوبه خود تأثیر بسزایی در سیل‌خیزی یک منطقه ایفا می‌کند. مناطق جنوبی حوزه به دلیل پوشش گیاهی متراکم از جنگل و خاک مناسب معمولاً از مالی سل^۱ و دارا بودن شرایط هیدرولوژیکی مناسب با گروه‌های هیدرولوژیکی خاک A حتی در دوره بازگشت‌های ۱۰۰ y از پهنه سیل‌خیزی خیلی کم برخوردار می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Lotfifar, Abedini and Fathi 2015; Nasrinnejhad et al. 2014).

همانطور که شکل (۵) نشان می‌دهد پهنه‌های سیل‌خیز برای دوره‌های بازگشت مختلف الگوی یکسانی را نشان می‌دهند. طبق نقشه‌ها بیش‌ترین پتانسیل سیل‌خیزی در مناطق شمالی و در شیب‌های جنوبی حوضه است که به ارتفاع‌های میانی ستن‌چای معطوف می‌شود. بررسی لایه‌های به کاررفته در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه نشان می‌دهد که این مناطق از لحاظ شیب زمین بیشترین مقدار را دارا هستند. همچنین کاربری این زمین‌ها بیشتر از نوع بایر و مراتع ضعیف و یا درختچه متشکل از سیاه‌تلو و قره‌تیکان با زیر اشکوب مراتع فرسوده است که شرایط مناسبی را برای ایجاد سیل به وجود می‌آورد. این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Esmaili et al. 2016; Mousavi et al. 2016).

در رابطه با مناطق غربی حوضه باید گفت که اگرچه رواناب تولیدی در این مناطق به اندازه ارتفاعات شمالی است اما به-

¹Molisol

حوضه در طبقه پتانسیل خیلی زیاد قرار گرفتند (جدول ۴). بر همین اساس می‌توان جهت مدیریت سیل در سطح منطقه و شناسایی مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا، جهت جلوگیری از بروز خسارت‌های احتمالی اقدامات مدیریتی مناسب در نظر گرفت.

نتایج نشان داد که حدود ۱۵ تا ۱۹٪ از مساحت حوضه طی دوره‌های ۱۰ تا ۱۰۰ y دارای پتانسیل سیل‌خیزی متوسط بوده و ۱ تا ۱۳٪ دارای پتانسیل زیاد می‌باشد. در طی دوره‌های بازگشت ۱۰ و ۲۵ هیچ مناطقی از حوضه در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد قرار نگرفتند اما در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ y به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۹۶٪ از سطح

جدول ۴- درصد مساحت طبقات سیل‌خیز برای دوره‌های بازگشت مختلف بارش

Table 4 Percentage of flood hazard classes area for rainfall in different return periods

N	Tr		The flood hazard classes					Total
			Very low	Low	Medium	Very	Very High	
1	10	Area (ha)	3035.13	8576.56	2108.1	691.59	21.35	14433.46
		Area (%)	21.03	59.42	14.61	4.79	0.15	100
2	25	Area (ha)	3529.65	7841.65	2070.36	882.73	109.07	14433.46
		Area (%)	24.45	54.33	14.34	6.12	0.76	100
3	50	Area (ha)	3520.26	8218.31	1768.21	787.91	139	14433.46
		Area (%)	24.39	56.94	12.25	5.46	0.96	100
4	100	Area (ha)	7783.92	3149.9	2277.42	1084.84	138.36	14433.46
		Area (%)	53.93	21.82	15.78	7.52	0.96	100

سیل‌خیزی بالا و همچنین برای جلوگیری از بروز خسارت‌های احتمالی، لازم است اقدامات مدیریتی مناسب در نظر گرفته شود.

۳- با روی هم‌اندازی نقشه کاربری اراضی و نقشه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مشخص شد مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا در مکان‌هایی با کاربری جنگل تنک و مراتع با وضعیت متوسط و ضعیف واقع شده‌اند؛ بنابراین می‌توان گفت که تخریب جنگل و چرای بیش از حد باعث از بین رفتن پوشش در برخی مناطق و متعاقباً باعث افزایش حساسیت منطقه به سیل‌خیزی شده است.

سپاسگزاری

از مدیر کل و کارشناسان محترم اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی و همچنین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان مخصوصاً پرسنل بخش تحقیقاتی حفاظت خاک و آبخیزداری که در انجام این مطالعه کمال همکاری را داشته‌اند، مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را اعلام می‌داریم.

نحوه دسترسی به داده‌ها

داده‌ها در صورت نیاز، از طریق ایمیل از طرف نویسنده مسئول ارسال خواهد شد.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف برآورد ضریب رواناب، شناخت عوامل مؤثر در سیل‌خیزی و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز انجام شد. برای این منظور ابتدا عوامل مؤثر در سیل‌خیزی منطقه مشخص و درنهایت با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به هریک از این عوامل وزن مؤثر اختصاص داده شد. سپس با تلفیق این لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰) تهیه شد. به‌طور کلی با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و تعیین میزان حساسیت منطقه به وقایع سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت با توجه به تراکم خوب جنگل و پوشش گیاهی، سیل‌خیزی منطقه کم بوده و درصد کمی از منطقه از حساسیت بالایی برخوردار است.

۲- هیچ سطحی از حوضه در دوره بازگشت‌های پایین در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد قرار نگرفتند، اما در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ y به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۹۶٪ از سطح حوضه در طبقه پتانسیل خیلی زیاد قرار گرفتند. بر همین اساس می‌توان جهت مدیریت سیل در سطح منطقه، شناسایی مناطق با پتانسیل

References

- Abedini, M. and Fathi, M. H. (2015). Flood risk zoning using network analysis process (Case study: Khiav chai watershed, Hydrogeo. 1(3), 99-120 [In Persian].
- Bhuiyan, S. R. and Baky A. A. (2014), Digital elevation-based flood hazard and vulnerability study at various return periods in Sirajganj Sadar Upazila, Bangladesh. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 10, 48-58.
- Enayati, M. and Yamani, M. (2005). Relationship between geomorphological characteristics of the basins and flood capability (Flood data analysis by geomorphological comparisons of Fashand and Behjat Abad basins). *Geogra. Res.*, 54, 112-123 [In Persian].
- Esmaeili, R. Jokar Sarghangi, I. and Lilanco, P. (2016). Determination of flood potential using TOPSIS method (case study of Mazandaran province, Golindrood watershed). *Nat. Geogra.*, 9(1), 87-77 [In Persian].
- Ghanavti, A. A., Saffari, A., Beheshti Javid, A. and Mansourian, A. (2014). Flood risk zonation using compilation CN model and AHP via GIS (Case study: River Basin Balekhlo). *Nat. Geogr.*, 7(25), 67-80 [In Persian].
- Huong, H. T. L. and Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17(1), 379-394.
- Jha, A. K., Bloch, R. and Lamond, J. (2012). Cities and flooding a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. Washington, DC, USA: The World Bank.
- Jonkman, S. N. and Dawson, R. J. (2012), Issues and challenges in flood risk management-editorial for the special issue on flood risk management. *Water*, 4(4), 785-792.
- Khan, S. I., Hong, T., Wang, J., Yilmaz, K. K., Gourley, J. J., Adler, R. F., Brakenridge, G. R., Policelli, F., Habib, S. and Irwi, D. (2011). Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria Basin: implications for hydrologic prediction in ungauged basins. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 49(1), 85-95.
- Koem, C. and Tantanee, S. (2020). Flash flood hazard mapping based on AHP with GIS and satellite information in Kampong Speu Province, Cambodia. *Int. J. Disaster Resil. Built Environ.*, Doi: 10.1108/IJDRBE-09-2020-0099
- Kundzewicz, Z. W., Kundzewicz, Z., Stoffel, M., Niedźwiedź, T., Wyżga, B. and Stoffel, M. (2016). Anatomy of flood risk. In: *Flood risk in the Upper Vistula Basin*. 39-52.
- Lotfifar, T. (2016). Classification and weighting of the most effective factors in the flood waters of the Razavar watershed. *Res. Sci., Eng. Technol.*, 3(2), 43-51 [In Persian].
- Mahdavi, M. (2002). applied hydrology. Volume II. Tehran University Press [In Persian].
- Mahmoud Zadeh, H. and Bakoei, M. (2018). Flood zoning using fuzzy analysis (case study: Sari city). *Nat. Hazard.*, 7(18), 51-68 [In Persian].
- Maleki, A., Homayoun, H. and Piroozinejad N. (2013). Estimating flood values and providing flood model in Razavar watershed. *Geogra. Urban Plan.*, 17(46), 239-223 [In Persian].
- Mosavi, S. M., Negahban, S., Rakhshani Moghadam, H. and Husseinazadeh, S. M. (2016). Evaluation and zoning of flood hazard using fuzzy logic TOPSIS in GIS environment (case study: Baghmalak Basin). *Environmental hazards*. (10), 79-98 [In Persian].
- Nasrinnejad, N. A., Rangzan, K., Kalantari, N. and Saberi, A. (2014). Flood hazard potential zonation of Baghan watershed using fuzzy analytic hierarchy process method (FAHP). *J. RS GIS Nat. Resour.*, 5(4), 15-34 [In Persian].
- Ozturk, D., Yilmaz, I. and Kirbas, U. (2021). Flood hazard assessment using AHP in Corum, Turkey. *Tecnología y ciencias del agua.*, 12(2), 1-26.



- Peña-Monné, J. L., Sampietro-Vattuone, M. M., Sánchez-Fabre, M. and Bertini-Sampietro, M. S. (2018). Geomorphological dynamics and flood hazards of the Blanquito River (Tafí del Valle, NW Argentina). *J. South Am. Earth Sci.*, 86, 231-243.
- Sado-Inamura, Y. and Fukushi, K. (2019). Empirical analysis of flood risk perception using historical data in Tokyo, *Land Use Policy.*, 82, 13-29.
- Zevenbergen, C., Cashman, A., Evelpidou, N., Pasche, E., Garvin, S. and Ashley, R. (2010). *Urban flood management*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Zhu, T., Lund, J. R., Jenkins, M. W., Marques, G. F. and Ritzema, R. S. (2007). Climate change, urbanization, and optimal long-term floodplain protection. *Water Resour. Res.*, 43, 1-11.

Case Report

The Zoning of Arasbaran Forests Flood Hazard Based on Analytic Hierarchy Process and GIS (Study Area: Sotanchai-Asheghloo Watershed)

Ghobad Rostamizad^{1*}, Jamshid Yarahmadi² and Shahrokh Mohseni³

¹Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

²Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

³Expert Researcher, Soil Conservation and Watershed Management Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

*Corresponding author: gh.rostamizad@areeo.ac.ir

Received: November 29, 2020 **Revised:** January 01, 2020

Accepted: January 19, 2020

Abstract

To prevent the occurrence of floods, it is necessary to identify areas having high potential for this phenomenon. The aim of this research was to estimate runoff coefficient, understanding the effective factors in flooding, and the flood hazard of Arasbaran forests (Sotanchai basin). For this purpose, first, the required data, including the maximum daily precipitation, soil, slope, land use, vegetation density and drainage density layers, were prepared in geographic information system (GIS) environment. In the following using the analytic hierarchy process (AHP) method, an effective weight was assigned to each of the six factors influencing the flood hazard of the basin. Through applying the weight of each layer and combining it, the flood hazard zonation map of the basin was prepared with different return periods (10, 25, 50, and 100 years). The results showed that 15 - 19% of the basin area had a medium flood potential during the period of 10 to 100 years and 1-13% had a high flood hazard. During the 10- and 25-year return periods, no area of the basin was in the flood hazard category, but in the 50- and 100-year return periods, 0.32 and 0.96% of the basin area were in the very high flood hazard category, respectively. Generally, it can be concluded that due to good forest density and vegetation, flood hazard was low in the region, instead areas with high flood hazard were located in areas, where forests have been destroyed.

Keywords: Analytic Hierarchy Process (AHP); Arasbaran Forests; Flood Hazard; Return Period; Zoning