

ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوزه‌های آبخیز استان مازندران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

احسان شهیری طبرستانی و محمدسعید ذکایی

دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۳۳۱-۳۴۴

Vol. 6(4), Winter 2020, 331 – 344

DOI: 10.22034/jewe.2020.235593.1370

Assessment of Flood Hazard using Analytic
Hierarchy Process Method (AHP) in Mazandaran
Province, Iran

Shahiri Tabarestani E. and Zokaei M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

شهیری طبرستانی ا. و ذکایی م. (۱۳۹۹). ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوزه‌های آبخیز استان مازندران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP). محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، صفحات: ۳۳۱-۳۴۴.

Citing this paper: Shahiri Tabarestani E. and Zokaei M. (2020). Assessment of flood hazard using analytic hierarchy process method (AHP) in Mazandaran Province, Iran. Environ. Water Eng., 6(4), 331-344. DOI: 10.22034/jewe.2020.235593.1370.

ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوزه‌های آبخیز استان مازندران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

احسان شهیری طبرستانی^{۱*} و محمد سعید ذکایی^۲

^۱ دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
^۲ استاد، گروه مطالعات فرهنگی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: ehsan_shahiri96@civileng.iust.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۳/۲۸]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۶/۲۸]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۶/۲۹]

چکیده

یکی از مهم‌ترین اقدامات لازم برای پیشگیری و مقابله با اثرات مخرب سیلاب، شناسایی مناطق با بیش‌ترین پتانسیل سیل خیزی در سطح حوزه آبخیز و زیرحوزه‌های آن می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مناطق با بیش‌ترین ظرفیت تولید رواناب و سیل در حوزه آبخیز استان مازندران تعیین شود. در این راستا از لایه‌های ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شدت جریان تجمعی و شدت بارش استفاده شد. پس از محاسبه وزن نهایی هرکدام از عوامل ورودی با استفاده از مدل فرآیند سلسله مراتبی در نرم‌افزار ARC-GIS 10.5، از ترکیب لایه‌های ورودی برای ساخت نقشه درجه سیل خیزی محدوده مطالعاتی در پنج دسته مختلف شامل خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که ۳۶/۷۹٪ سطح استان مازندران معادل با وسعت $9244/82 \text{ km}^2$ دارای خطر سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد است. هم‌چنین تقریباً نیمی از سطح این استان، معادل با وسعت $12028/51 \text{ km}^2$ ، در محدوده سیل خیزی متوسط قرار دارد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که میزان خطر سیل خیزی در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری، با مشاهدات واقعی تعداد سیلاب‌ها که عمدتاً با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال هستند تا حد مطلوبی منطبق می‌باشد. این موضوع بیانگر دقت بالای روش به‌کار گرفته‌شده و صحت وزن‌های تخصیص‌یافته به هر یک از عوامل مؤثر است که قابلیت بهره‌برداری از نتایج پژوهش برای اقدامات پیشگیرانه آتی را روشن می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز، مازندران؛ خطر سیل خیزی؛ مقایسات زوجی.

۱- مقدمه

رسوب‌گذاری باعث تغییرات مورفولوژیکی می‌شود و دخالت‌های انسانی می‌تواند باعث تغییر دینامیک رسوبات در هر واقعه سیلاب شود. Kuei- Hsien Liao et al. (2019) به ارزیابی خطر بالقوه جاری شدن سیلاب‌های شهری و شناسایی عوامل مؤثر در کاهش خطر سیل پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر آن است که رفتار انسان با محیط، عوامل محیطی و انسداد در شبکه‌های فاضلاب شهری از عوامل تأثیرگذار هستند.

هم‌چنین به‌منظور کاهش خطر سیلاب پیشنهاد شده است که به‌جای مسدود کردن مسیر سیلاب، به‌سازگاری جریان سیلابی با محیط طبیعی پرداخته شود. منظور از سازگاری جریان سیلابی با محیط طبیعی، کاهش خطرات و آسیب‌های مخرب سیلاب به محیط پیرامون از طریق احداث سازه‌های هیدرولیکی کاهنده انرژی از قبیل تونل‌های انحراف و سرریزهای جانبی با کمترین میزان دخل و تصرف در مسیر حرکت طبیعی سیلاب می‌باشد. به‌منظور حداقل نمودن اثرات مخرب سیلاب‌ها، نقشه‌های خطر سیل‌خیزی و طرح‌های کاهش خطرات سیل بایستی با در نظر گرفتن ملاحظات ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی حاکم بر حوزه مورد مطالعه، تهیه و آماده شوند (Prime et al. 2016). از آنجایی که سیلاب‌ها دارای ماهیت چندبعدی (دو و حتی سه‌بعدی) با تغییرات مکانی قابل توجهی هستند، استفاده از ابزار GIS برای تحلیل آن‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد (Zerger 2002). تاکنون مطالعاتی با استفاده از نرم‌افزار GIS برای ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق و حوزه‌های آبخیز مختلف صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Kyung- Soo et al. (2013) به بررسی کمیت آسیب‌پذیری خطر سیل در ۱۶ استان کره جنوبی با در نظر گرفتن تغییرات آب و هوایی با استفاده از رویکرد چندمعیاره فازی و روش وزن مجموع پرداختند. پس از بررسی نتایج، دقت تحلیل بر اساس مشاهدات عینی محرز گردید. سازمان‌های مسئول، در مناطق با ریسک خطر سیل‌خیزی بالا سامانه‌های هشداردهنده را تقویت نمودند. این سامانه‌ها بر اساس تغییرات پیوسته آب و هوایی، خطر رخداد پدیده سیلاب را پیش‌بینی کرده و در مواقع لازم دستور تخلیه مناطق را به ساکنین اعلام می‌نمود. Ismail

فرآیند ارزیابی مخاطرات محیط‌زیستی به‌عنوان ابزاری مناسب برای کمک به برنامه‌ریزی صحیح و وسعت بخشیدن به پروژه‌های موجود پایه‌ریزی شده است. شناسایی اثرات محیط‌زیستی، سنجش اهمیت و اولویت‌بندی آن‌ها و ارائه روش‌های کاهش اثرات منفی از اهداف ارزیابی اثرات محیط‌زیستی به‌شمار می‌آیند. از گام‌های اساسی در جهت کاهش آثار زیان‌بار ناشی از سیلاب، شناخت مناطق سیل‌گیر و درجه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل است تا بر اساس نتایج حاصله بتوان در رابطه با نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف، تصمیم‌گیری نمود و زیان‌های ناشی از وقوع سیل را کاهش داد (Vatanfada 2002).

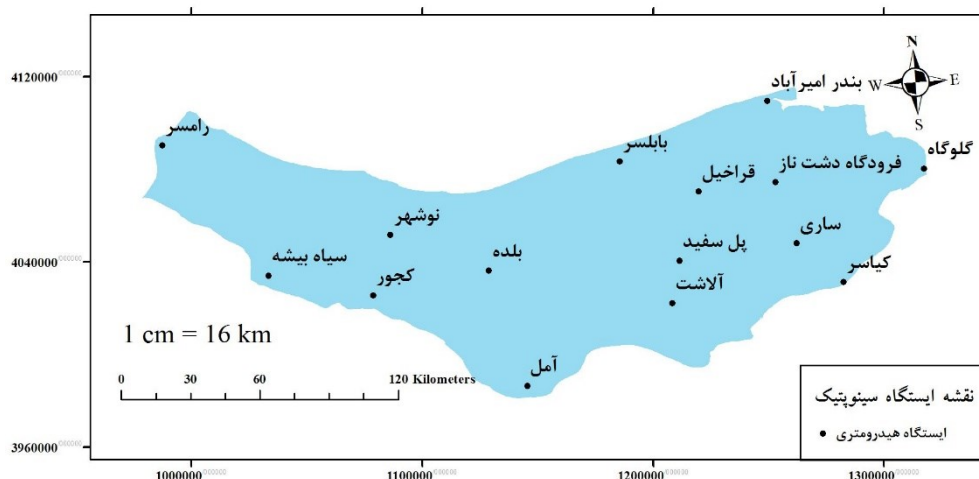
Boudaghpour et al. (2014) به بررسی اثرات محیط‌زیستی سیلاب با استفاده از فن نقشه‌های ناحیه سیلابی در هلیل‌رود کرمان با توجه به سیلاب سال ۱۹۹۲ پرداختند. آن‌ها نشان دادند که سد جیرفت باعث کاهش منطقه سیلابی از ۲۶۰ ha به ۲۲۵ ha و هم‌چنین کاهش ۲۰ درصدی شدت پیک سیلاب شده است. از جمله تغییرات ناشی از این سیلاب می‌توان به زیر آب رفتن ۶۰٪ زمین‌های اطراف، کاهش برخی از گونه‌های حیوانات و آبیان به دلیل از بین رفتن زیستگاهشان، فراتر رفتن میزان مس و آهن از حد مجاز استاندارد آن و در نتیجه تغییر کیفیت آب‌های سطحی و تغییر مشخصات خاک منطقه به دلیل انتقال ذرات ریزتر به پایین‌دست اشاره کرد. Kargar and Shams (2014) به بررسی تأثیر سیلاب بر جنبه‌های فیزیکی و بیولوژیکی محیط‌زیست پرداختند و راهکارهایی جهت کنترل اثر سیل بر محیط‌زیست از جمله سازه‌های کنترل (مانند ایجاد مخازن ذخیره آب) و مدیریت طبیعی سیلاب (مانند ایجاد پوشش گیاهی در کناره رودخانه، مدیریت رسوبات و افزایش نفوذپذیری خاک با استفاده از فراهم نمودن امکان زهکشی) ارائه کردند. Tu et al. (2017) تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها شامل فرآیند فرسایش و رسوب‌گذاری را با استفاده از مدل هیدرودینامیک و مدل مورفولوژیکی انتقال رسوب تحت اثر سیلاب‌های شدید بررسی کردند. آن‌ها با بررسی تغییرات بستر در سیلاب‌هایی با دوره‌های بازگشت متفاوت، نشان دادند که هر سیلاب با توجه به فرآیند فرسایش و

به‌ویژه در حوزه‌های آبخیز بزرگ، نقش مهمی داشته باشد. هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین پتانسیل سیل خیزی حوزه‌های آبخیز استان مازندران بر اساس تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر GIS بود.

۲- مواد و روش‌ها

با توجه به موضوع و هدف تحقیق که تعیین مناطق سیل-خیز در استان مازندران است و همچنین بر اساس تجارب و مطالعات قبلی، داده‌ها و لایه‌های مورداستفاده از اطلاعات سینوپتیکی ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ استان مازندران، نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی ۱:۲۵۰۰۰ استان مازندران، تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ لندست و تصویر ماهواره‌ای IRS-LISS III استفاده شد.

(2013) Saanyol and به بررسی فن‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور تولید نقشه آسیب‌پذیری سیل در بخشی از رودخانه کادانا واقع در ایالت گجورات در کشور هند پرداختند. بخش میانی رودخانه ناحیه وسیعی را پوشش می‌دهد و از میان کلان‌شهر کادانا عبور می‌کند و در صورت بروز سیل آسیب‌های بسیاری به مناطق اطراف وارد می‌شود. آن‌ها در این مطالعه با استفاده از تصاویر هوایی و مدل رقومی ارتفاع نواحی مستعد سیل را شناسایی کردند و مدل جریان تجمعی را به کمک مدل رقومی ارتفاع به طبقات ریسک بالا، ریسک متوسط و ریسک پایین طبقه‌بندی کردند. بر این اساس ناحیه شمال‌غربی تا جنوب‌غربی حوضه کادانا در خطر آسیب‌پذیری بالایی قرار دارد. تعیین مناطق مستعد سیل خیزی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل خیزی می‌تواند در مدیریت بهتر سیلاب



شکل ۱- موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های هیدرومتری در استان مازندران
Fig.1 Location of hydrometric stations in Mazandaran province

شامل اراضی زراعی، جاده‌ها و مناطق مسکونی است. استان مازندران از نظر منابع آب سطحی شامل مجموعه رودخانه-هایی است که بین رامسر تا انتهای خلیج گرگان به مساحت 25642 km^2 واقع شده و از ارتفاعات شمالی البرز سرچشمه گرفته و به دریای مازندران می‌ریزند. این رودها از نظر مساحت سطحی به سه دسته بزرگ (۱۰ رود)، متوسط (۱۶ رود) و کوچک (۲۱ رود) طبقه‌بندی می‌گردند (Hosseinzade 2015). بیش‌تر رودهای جاری در مازندران دائمی هستند. از سال ۱۳۷۳ تاکنون حدود ۱۰ مورد سیل در برخی از شهرستان‌های مازندران از جمله

۲-۱- مشخصات حوضه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش استان مازندران می‌باشد که با وسعتی معادل 23833 km^2 حدود $1/46\%$ از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. حداقل ارتفاع این استان از سطح دریا 40 m - و حداکثر 5595 m می‌باشد. پوشش گیاهی در ارتفاعات بالای 2000 m از سطح دریا شامل پوشش گیاهی مرتعی (با غلبه گیاهان بالشتکی، گراس‌های پایا و درمنه در مناطق با اقلیم نیمه-خشک) و در ارتفاعات کم‌تر از 2000 m شامل پوشش گیاهی جنگلی به همراه زیراشکو علفی و در مناطق ساحلی

شبکه‌ای از سلول‌های ریز و منظم با نام پیکسل می‌شود. لایه رستری جریان تجمعی یکی از راه‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری مساحت یک حوزه آبخیز می‌باشد که با فاصله گرفتن از مرز حوضه و حرکت به سمت خروجی حوضه (در راستای رودخانه) مقدار آن افزایش می‌یابد (Schauble et al. 2008). مقادیر زیاد و کم شبکه جریان تجمعی در یک سلول به ترتیب به معنی خطر سیل‌خیزی بیشتر و کمتر نسبت به سایر سلول‌ها می‌باشد. پارامترهای توپوگرافیکی شیب و ارتفاع نیز با پیدایش و شکل‌گیری سیلاب دارای رابطه‌ای عکس هستند (Kwak and Kondoh 2008). مناطق با ارتفاع و شیب کم نسبت به مناطق مرتفع و پرشیب از احتمال سیل‌خیزی به مراتب بالاتری برخوردار هستند. در مناطق با ارتفاع و شیب کم، رودخانه از توانایی لازم برای حمل جریان برخوردار نبوده و همین مسئله موجب افزایش احتمال ایجاد مناطق اشباع و متعاقب آن افزایش احتمال سیل‌خیزی بازه موردنظر خواهد شد (Azizian and Shokoohi 2015). در بسیاری از حوزه‌های آبخیز شدت بارش و شرایط رطوبتی خاک از پارامترهای بسیار مهم در شکل‌گیری سیلاب می‌باشند (Ballesteros et al. 2011). نقشه کاربری اراضی بیانگر پوشش گیاهی مختلف و میزان تراکم آن در محدوده مطالعاتی است. همچنین ساختار زمین‌شناسی یک حوضه نیز به عنوان عاملی شتاب‌دهنده در تولید رواناب بشمار می‌آید (Svoboda 1991). عامل مهمی دیگری که در تولید سیلاب نقش مهمی دارد، شدت بارش می‌باشد که کم و یا زیاد بودن آن به ترتیب منجر به تولید سیلاب کم و زیاد خواهد گردید. در این تحقیق و برای ساخت نقشه مکانی شدت بارش از شاخصی به نام شاخص فورنیر اصلاح‌شده که رابطه آن به صورت (۱) است، استفاده شده است (Morgan 2005). همچنین لازم به ذکر است که برای محاسبه نقشه مزبور، از اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک استان مازندران در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۹۲ استفاده شده است.

$$MFI = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{p_i^2}{p} \quad (1)$$

نوشهر، چالوس، کلاردشت، بهشهر، نکا، محمودآباد و سوادکوه جاری شده که خسارت زیادی را به این مناطق وارد کرده است (Mazandaran Province Water Organization 2015). در این پژوهش از اطلاعات ۱۵ ایستگاه هیدرومتری واقع در سطح استان مازندران استفاده شده است که موقعیت قرارگیری آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. این اطلاعات شامل موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و میزان بارش روزانه در طول سالیان مختلف است.

۲-۲- ساخت مدل تحلیلی

۲-۲-۱- انتخاب عوامل مؤثر

یکی از مهم‌ترین کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مطالعات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی، انجام طبقه‌بندی مناطق سیل‌خیز و تهیه نقشه‌های مربوط به هر عامل در محیط نرم‌افزار ARC-GIS می‌باشد. از این نرم‌افزار در تهیه و استفاده از نقشه، گردآوری داده‌های جغرافیایی، تحلیل اطلاعات بر مبنای نقشه، تولید و به اشتراک‌گذاری اطلاعات جغرافیایی، به‌کارگیری نقشه‌ها و اطلاعات جغرافیایی در دیگر نرم‌افزارها در یک پایگاه داده استفاده می‌شود. در این پژوهش برای تعیین وضعیت سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز استان مازندران از شش عامل مختلف مانند نقشه رستری جریان تجمعی، نقشه رستری شیب، نقشه رستری مدل رقومی ارتفاعی (DEM²) نقشه رستری شدت بارش، نقشه کاربری اراضی و نقشه زمین‌شناسی استفاده شده است. علت انتخاب شش عامل مذکور، تأثیر بالای آن‌ها در تولید سیلاب می‌باشد که این امر تاکنون توسط محققان مختلفی گزارش شده است (Kazakis et al. 2015).

همچنین امکان دسترسی به بسیاری از پارامترهای مذکور که دارای تغییرات مکانی در سطح حوضه می‌باشند، نیز یکی دیگر از علل اصلی انتخاب آن‌ها در این پژوهش می‌باشد. لایه‌های رستری شامل مجموعه‌ای از نقاط یا سلول‌هایی است که عوارض زمین را در یک شبکه منظم می‌پوشاند. به‌طوری‌که کل سطح گرافیکی نقشه به

¹ Geographical Information System (GIS)

² Digital Elavation Model (DEM)

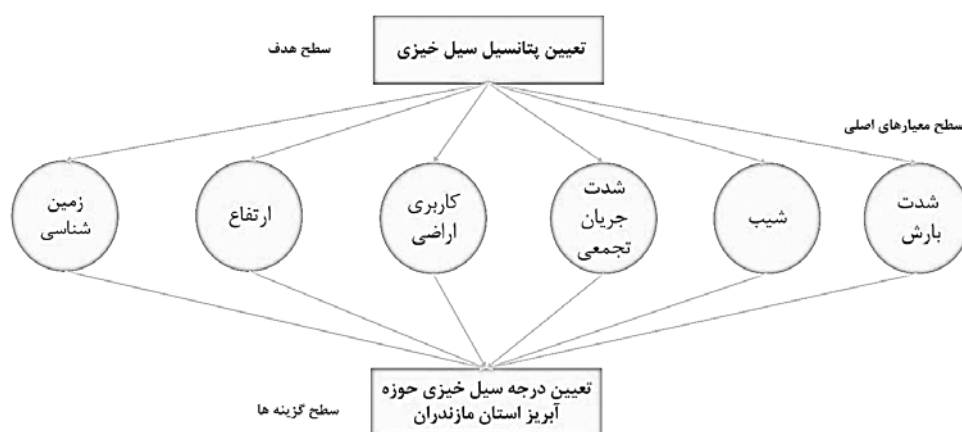
³ Modified Fournier Index

هستند، نشان‌دهنده میزان خطر سیلاب بسیار کم می‌باشند. همچنین در نقشه کاربری اراضی مناطقی که از نظر پوشش گیاهی دارای وضعیت ضعیفی هستند، نشان‌دهنده میزان خطر سیلاب خیلی زیاد می‌باشند. برای شناسایی مناطق مستعد سیل خیزی ضروری است که تمامی لایه‌ها با یک وزن مشخص با یکدیگر ادغام شوند.

۲-۲-۲- تحلیل سلسله مراتبی

در این پژوهش از روش مدل فرآیند سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. AHP تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد که اثرات متقابل و هم‌زمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کنند. این فرآیند، تصمیم‌گیرندگان را یاری می‌کند تا اولویت‌ها را بر اساس اهداف، دانش و تجربه خود تنظیم نمایند؛ به نحوی که قضاوت‌های خود را به‌طور کامل در نظر گیرند. برای حل مسائل تصمیم‌گیری از طریق AHP، تمامی جزئیات آن به‌دقت تبیین می‌شود و جزئیات آن به‌صورت ساختار سلسله مراتبی ترسیم می‌گردد. AHP بر سه اصل: (۱) ترسیم درخت سلسله مراتبی، (۲) تدوین و تعیین اولویت‌ها و (۳) سازگاری منطقی قضاوت‌ها استوار است (Asgharizade 2019). در این پژوهش با توجه به عوامل تأثیرگذار در تعیین پتانسیل سیل-خیزی سطح استان مازندران، درخت سلسله مراتبی مطابق شکل (۲) ترسیم می‌شود.

که، MFI^۲ شاخص فورنیر اصلاح‌شده، \sum مجموع ۱۲ ماه، P_i میانگین بارش ماهانه و P میانگین بارش سالانه هر ایستگاه هواشناسی است. این شاخص مبین مجموع مقادیر متوسط شدت بارش ماهانه به سالانه در یک ایستگاه می‌باشد که در پژوهش حاضر برای ساخت نقشه مکانی رستری آن از روش درون‌یابی IDW^۱ استفاده شده است. از میان عوامل مورداستفاده شبکه جریان تجمعی، شبکه شیب، ارتفاع و شدت بارش دارای مقادیر عددی هستند درحالی‌که نقشه‌های کاربری اراضی و زمین‌شناسی به‌صورت کیفی می‌باشند. لذا برای همسان‌سازی لایه‌های مزبور، تأثیر هر عامل به پنج دسته خطر سیل خیزی (الف) خیلی زیاد، (ب) زیاد، (ج) متوسط، (د) کم و (ه) بسیار کم تقسیم گردید. در عواملی که دارای مقدار عددی هستند از روش کلاستر بندی Jenk's Natural Breaks در منوی Symbology برای ساخت پنج دسته مذکور در محیط نرم‌افزار استفاده شد. این روش طوری داده‌های موجود را به دسته‌های دلخواه تقسیم‌بندی می‌نماید. اعضای هر کدام از دسته‌ها دارای کم‌ترین واریانس بوده و در عین حال با دسته‌های دیگر دارای بیشترین واریانس باشند. همچنین برای عواملی که دارای مقادیر عددی نمی‌باشند، نحوه دسته‌بندی را می‌توان بر اساس تأثیر عامل موردنظر در تولید سیلاب، در نظر گرفت. به‌عنوان مثال، در نقشه زمین-شناسی مناطقی از حوضه که دارای ساختار گچی و آهکی



شکل ۲- سلسله مراتب تعیین پتانسیل سیل خیزی استان مازندران

Fig. 2 Hierarchy for determining the flood potential of Mazandaran province

² Analytic Hierarchy Process (AHP)

^۱Inverse Distance Weighting (IDW)

در روش AHP برای انجام مقایسات زوجی از مقیاس ۱ تا ۹ به شرح جدول (۱) استفاده می‌شود. تخصیص مقیاس‌های زوجی بین عوامل تأثیرگذار با استناد بر پژوهش‌های معتبر در این زمینه می‌باشد (Kazakis et al. 2015). این مقیاس‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین نرخ سازگاری برای مقایسات زوجی صورت گرفته مقدار ۰/۰۱۵۴ می‌باشد که کمتر بودن آن از عدد ۰/۱ بیانگر سازگاری مناسب مابین سطوح مقیاس‌های انتخاب شده می‌باشد (Asgharizade 2019).

جدول ۱- مقیاس AHP (Asgharizade 2019)

Table 1 AHP scale

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	2, 4, 6, 8

جدول ۲- مقیاس‌های زوجی عوامل تأثیرگذار در تعیین سیل خیزی (Kazakis et al. 2015)

Table 2 Couple scales of effective factors in determining flood risk

Criteria	Cumulative Flow	Slope	Land use	Precipitation	Geology	Elevation
Cumulative Flow	1	0.5	0.20	1	0.20	0.143
Slope	2	1	0.50	2	0.333	0.167
Land use	5	2	1	5	1	0.333
Precipitation	1	0.5	0.20	1	0.20	0.143
Geology	5	3	1	5	1	0.333
Elevation	7	6	3	7	3	1
Total	21	13	5.9	21	5.733	2.119

و عوامل شدت جریان تجمعی و بارش با درصد وزنی حدود ۴٪ کم‌ترین تأثیر را در تعیین وضعیت پتانسیل سیل خیزی منطقه داشته‌اند.

۲-۳- صحت‌سنجی

با ارزیابی تعدادی از جریان‌های سیلابی خسارت‌زای رخ داده در هر حوضه، وضعیت سیل خیزی آن‌ها نیز به پنج دسته سیل خیزی (الف) خیلی زیاد، (ب) زیاد، (ج) متوسط، (د) کم و (ه) بسیار کم تقسیم شد. جهت تأیید دبی ثبت شده به‌عنوان دبی سیلابی روش‌های متعددی وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها مدل‌سازی هیدرولیک جریان، استفاده از مفهوم دبی غالب و بررسی سیلاب‌های منجر شده به

پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی برای عوامل، مقادیر آن‌ها به‌نحی دیگر بدین منظور هر کدام از درایه‌های ماتریس بر جمع ستون‌ها تقسیم شده و میانگین حسابی هر سطر محاسبه شد. در جدول (۳) دامنه تغییرات تمامی عوامل به همراه میزان خطر سیل خیزی آن‌ها آمده است. در ستون پنجم این جدول، مقادیر وزن نسبی محاسبه شده برای تمامی عوامل نشان داده شده است. همچنین به ترتیب به سطح خطر سیل خیزی خیلی زیاد و خیلی کم امتیازهای ۵ و ۱ اختصاص یافته است و مابقی سطوح خطر سیل خیزی در این فاصله قرار دارند. طبق محاسبات صورت گرفته (جدول ۳) عامل ارتفاع با درصد وزنی ۴۴٪ بیش‌ترین تأثیر

خسارت‌های مالی و جانی می‌باشد. دبی غالب، حداکثر میزان دبی جریان در مجرای آبراهه می‌باشد که بر اساس مشخصات هیدرولیکی مجرا از قبیل مساحت، محیط خیس شده پیرامون و شعاع هیدرولیکی به دست می‌آید. استفاده شد. چنانچه دبی جریان از دبی غالب بیشتر شود، جریان از مجرای طبیعی خود خارج شده و وارد سیلاب‌دشت پیرامون آبراهه خواهد شد. با توجه به داده‌های موجود از روش ۳

جدول ۳- محاسبه وزن نهایی عوامل مؤثر در تعیین وضعیت پتانسیل سیل خیزی

Table 3 final weight of the effective factors for determination of the flood potential

Criteria	Range	Flood potential	Score	Weight (AHP method)
Elevation (m)	0-488	Very high	5	44%
	488-1244	High	4	
	1244-2029	Average	3	
	2029-2843	Low	2	
	2843-5595	Very low	1	
Cumulative Flow (Pixel)	328000-486867	Very high	5	4/5%
	185000-328000	High	4	
	84000-185000	Average	3	
	19000-84000	Low	2	
	0-19000	Very low	1	
Slope (Degree)	0-5.62	Very high	5	8%
	5.62-14.46	High	4	
	14.46-22.76	Average	3	
	22.76-32.14	Low	2	
	32.14-68.3	Very low	1	
Precipitation (MFI)	210-280	Very high	5	4/5%
	148-210	High	4	
	101-148	Average	3	
	68-101	Low	2	
	0-68	Very low	1	
Land use	Urban-coastal areas	Very high	5	2%
	Herbaceous plants - groves	High	4	
	Fruit trees - agricultural lands	Average	3	
	Forest lands - agriculture	Low	2	
	Dense forest - mountainous areas	Very low	1	
Geology	Areas with impermeable rock layers	Very high	5	19%
	Areas with clay soils - basalt - granite	High	4	
	Areas with fine sand - mixed soils	Average	3	
	Areas with conglomerate-travertine-coarse-grained texture	Low	2	
	Areas with gypsum-lime structure	Very low	1	
Total				100%

سیل خیزی هر کدام از ایستگاه‌های مذکور و بر اساس تعداد سیلاب‌های رخ داده شده به ۵ دسته مختلف تقسیم گردید. دسته‌هایی که دارای بیشترین حکم‌ترین تعداد سیلاب ثبت شده می‌باشند، وضعیت سیل خیزی در آن‌ها به ترتیب خیلی زیاد و خیلی کم به دست آمد. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۴) میزان خطر سیل خیزی استان مازندران متوسط به بالا می‌باشد که این امر اهمیت تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب و انجام اقدامات آبخیزداری در سطح حوزه را نشان می‌دهد.

جدول ۴- دسته‌بندی میزان سیل خیزی ایستگاه‌ها بر اساس سیلاب‌های مشاهداتی (۱۳۷۰-۱۳۹۲)

Table 4 Category of flood hazard at stations based on observational floods

Station	Number of Floods	Flood Risk	Station	Number of Floods	Flood Risk
Alasht	22	Average	Siah Bishe	10	Low
Amol	26	Average	Dashte naz	28	Average
Babolsar	38	High	Gharakhil	37	High
Baladeh	27	Average	Kajour	28	Average
AmirAbad	41	Average	Kiasar	21	Average
Pol Sefid	28	Average	Gelogah	18	Low
Ramsar	22	Average	Nowshahr	24	Average
			Sari	29	Average

خزر به سمت ارتفاعات بالا حرکت شود از خطر سیل خیزی کاسته می‌شود. بر اساس نقشه شدت بارش نیز محدوده مطالعاتی به پنج دسته مختلف از نظر سیل خیزی تقسیم گردید که نتایج آن در شکل (۳-ب) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، بخش‌های واقع در غرب محدوده مطالعاتی دارای خطر سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد می‌باشند. همچنین مناطق ساحلی دریای خزر به دو بخش کم‌بارش (شرق ناحیه ساحلی) و پر بارش (غرب ناحیه ساحلی) تقسیم می‌شود. حوضه‌های واقع در بخش‌های جنوبی محدوده مطالعاتی به ترتیب از نظر وضعیت سیل-خیزی در دسته کم و خیلی کم قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که این اطلاعات مربوط به میانگین بارش‌های رخ داده طی سال‌های ۱۳۷۳-۱۳۹۴ می‌باشد. در این سال استان مازندران با بارش‌های کمتری نسبت به میانگین بارش در طول سالیان گذشته مواجه بوده است. در شکل (۳-ج) نیز مناطق مستعد سیل خیزی بر اساس نقشه جریان

بررسی آرشیو شرکت آب منطقه‌ای مازندران حاکی از وجود اطلاعات بسیار ارزشمندی در زمینه سیلاب‌های خسارت‌زا می‌باشد که علیرغم مشکلات متعدد در زمینه دسترسی به آن‌ها، در این پژوهش در ۱۵ حوضه، آمار تعداد سیلاب‌های خسارت‌زا و مقدار دبی متناسب با آن‌ها جمع‌آوری و مورداستفاده قرار گرفت. در جدول (۴) تعداد سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در محدوده مطالعاتی ارائه شده است. همچنین برای ارزیابی هر چه بهتر روش تحلیل سلسله مراتبی، وضعیت

۳- یافته‌ها و بحث

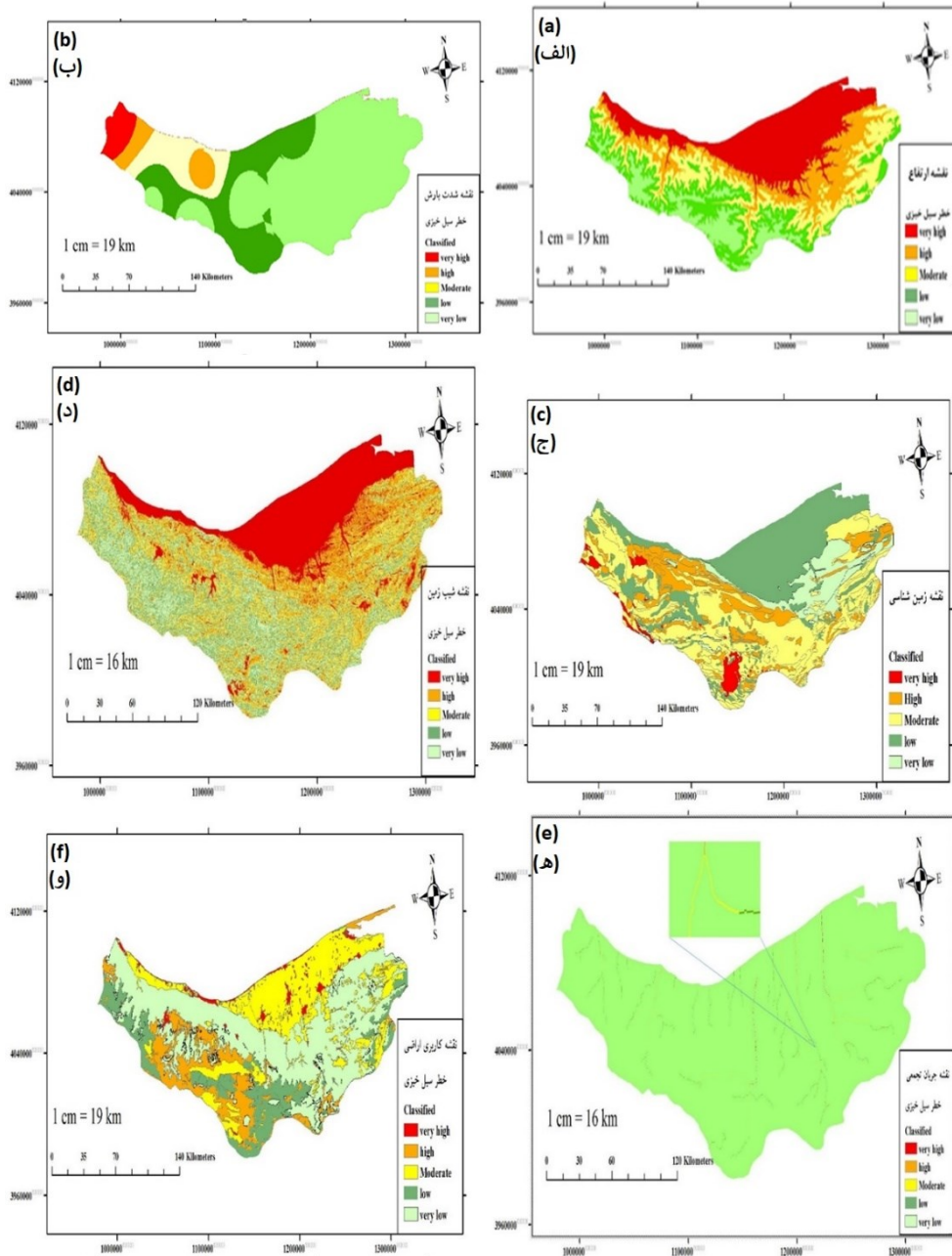
در این بخش نقشه عوامل مؤثر در تعیین پتانسیل سیل-خیزی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شده و در نهایت با قابلیت موجود در نرم‌افزار ARC-GIS، ارزش مربوط به هر پیکسل با یکدیگر تلفیق گشت. نقشه نهایی درجه خطر سیل خیزی استان مازندران بر اساس معیارهای ۶ گانه وزن‌دار خروجی تحلیل سلسله مراتبی است.

۳-۱- تهیه نقشه عوامل مؤثر

در شکل (۳-الف) نقشه خطر سیل خیزی برای مناطق مختلف محدوده مطالعاتی و بر اساس لایه ارتفاعی منطقه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، بخش‌های قابل توجهی از حوضه مطالعاتی در خطر سیل خیزی خیلی زیاد و زیاد قرار دارند. بر اساس لایه ارتفاعی، نواحی ساحلی دریای خزر به علت دارا بودن کمترین مقدار ارتفاع در محدوده مناطق مستعد سیل خیزی (با خطر خیلی زیاد و زیاد) شناسایی شده‌اند و به ترتیب هرچه از حاشیه دریای

شود از مقدار جریان تجمعی متعاقب آن پتانسیل تولید سیلاب سلول خواهد شد. لذا با توجه به توضیحات مذکور سلول‌هایی که در مسیر جریان رودخانه‌ها (به‌ویژه رودخانه اصلی و بزرگ) قرار دارند از نظر وضعیت سیل-خیزی در دسته زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند.

تجمعی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، سلول‌های واقع در مسیر جریان و خط‌القعر رودخانه به علت دارا بودن مقدار جریان تجمعی بالاتر، دارای پتانسیل تولید سیلاب بیشتری می‌باشند و هرچه به سمت دامنه‌ها، بخش‌های سطح‌الارض و مرزهای حوضه حرکت



شکل ۳- وضعیت سیل خیزی بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی بر اساس عوامل الف) ارتفاع، ب) شدت بارش ج) زمین‌شناسی، د) شیب، ه) شبکه انباشت جریان، و) کاربری اراضی

Fig 3. Flood hazard of different sections based on factors a) height, b) rainfall c) geology d) slope, e) flow accumulation and f) land use

ارزیابی درجه سیل خیزی بر اساس عامل شیب نیز حاکی از آن است که نواحی شمالی حوضه و حاشیه دریای خزر محدود به پتانسیل تولید سیلاب زیاد و بسیار زیاد قرار

خیلی زیاد قرار دارند. هرچند لازم به ذکر است که وسعت چنین مناطقی نسبت به مناطقی که دارای کاربری‌های کشاورزی، جنگلی و مرتع هستند به مراتب کمتر می‌باشد و لذا می‌توان چنین عنوان نمود که برخلاف حوضه‌های خشک و فاقد پوشش گیاهی، حوضه‌های واقع در اقلیم‌های پر بارش و مرطوب از نظر وضعیت پوشش گیاهی در وضعیت مطلوبی به سر می‌برند و همین عامل منجر به کاهش احتمال تولید سیلاب خواهد شد. یکی از به‌روزترین مباحث در زمینه کاهش خطرات سیل‌خیزی، ساخت محیط شهری با محوریت محیط‌زیست است. نگاهی سازگار با محیط‌زیست پیرامون، چندین سال است که در طراحی مهندسی شهرسازی در کشورهای اروپایی و آسیای شرقی بکار گرفته می‌شود (Vatanfada 2002).

۳-۲- استخراج نقشه درجه سیل‌خیزی

با تلفیق عوامل مختلف و اعمال وزن‌های مربوطه مندرج در جدول (۳)، توزیع مکانی خطر سیل‌خیزی در سطح استان مازندران به دست آمد که نتایج آن در شکل (۴) قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به شکل (۴)، مناطق با خطر سیل‌خیزی زیاد عمدتاً در بخش‌های شمالی (اراضی با ارتفاع و شیب کم) و نیز محدوده‌های واقع در اطراف رودخانه‌های اصلی و همچنین محدوده‌های شهری قرار دارند. بخش‌های جنوبی و تا حدی مرکزی حوضه نیز از خطر سیل‌خیزی به مراتب کمتری برخوردار هستند. بررسی نتایج به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی حاکی از آن است که وضعیت سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری بابلسر، بندر امیرآباد، پل سفید، قراخیل و نوشهر در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. همچنین لازم به ذکر است که در این ایستگاه‌ها عمده سیلاب‌ها دارای دوره بازگشت بزرگ‌تر از ۵۰ و ۱۰۰ ساله هستند. میزان خطر سیل‌خیزی تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول (۵) نشان داده شده است. با مقایسه جداول (۴) و (۵) مشاهده می‌شود، نتایج به دست آمده از تحلیل سلسله

می‌گیرند (شکل ۳-۵). همچنین هرچه از حاشیه ساحلی فاصله گرفته می‌شود از خطر سیل‌خیزی نیز کاسته می‌شود، به طوری که نواحی جنوبی حوضه بر اساس این عامل عمدتاً دارای خطر سیل‌خیزی بسیار کمی می‌باشند. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین عنوان نمود که نواحی شمالی و مرکزی محدوده مطالعاتی به دلیل دارا بودن شیب کمتر، پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند. نقشه زمین‌شناسی یکی از لایه‌های اطلاعاتی به کاررفته در این پژوهش است.

همان‌طور که در جدول (۳) نیز عنوان شد، مناطقی که دارای ساختار و پوشش نفوذناپذیر می‌باشند دارای پتانسیل تولید سیلاب بالایی هستند و لذا در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد قرار می‌گیرند. مناطقی که دارای ساختار ریزدانه چسبنده (مانند خاک رس و رس لومی) می‌باشند نیز از منظر تولید سیلاب در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد قرار می‌گیرند. همچنین مناطقی که از نظر زمین‌شناسی دارای ساختار درشت‌دانه (شن و ماسه) با نفوذپذیری بالا هستند، در دسته مناطق با خطر سیل‌خیزی متوسط و مناطق دارای ساختار کنگولومرا، کارستی و آهکی هستند در دسته نواحی با خطر سیل‌خیزی کم و خیلی کم قرار می‌گیرند. با توجه به شکل (۳-۵)، عمده نواحی واقع در بخش‌های جنوبی حوضه به علت واقع شدن در مناطق کوهستانی از نظر وضعیت سیل‌خیزی در دسته سیل‌خیزی زیاد قرار می‌گیرند. بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی نیز به فراخور ساختار زمین‌شناسی متفاوتشان در درجات مختلف سیل‌خیزی قرار می‌گیرند. آخرین عامل مهم در این پژوهش وضعیت کاربری اراضی محدوده مطالعاتی است. با توجه به شکل (۳-۵) می‌توان چنین نتیجه گرفت که عمده بخش‌های محدوده مورد مطالعه در دسته نواحی با خطر سیل‌خیزی متوسط تا کم قرار دارند. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش میزان خطرات ناشی از پدیده سیلاب تغییر کاربری اراضی و دخل و تصرف در محیط‌های طبیعی است که نمونه‌هایی از این آسیب‌ها در سیلاب‌های اخیر استان لرستان و فارس مشاهده شد. تغییر کاربری منجر به خروج جریان آب از حالت طبیعی خود گشته و چنانچه دبی جریان از ظرفیت مجرای آبراهه بیشتر گردد؛ منجر به بروز خسارات بسیار زیادی خواهد شد. نواحی با کاربری شهری، تالاب‌ها، نواحی برفی/یخی و خاک‌های برهنه و ... در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و

۴- نتیجه‌گیری

از گام‌های اساسی در جهت کاهش آثار زیان‌بار ناشی از سیلاب شناخت مناطق سیل‌خیز و درجه-بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل است. بر اساس نتایج حاصله می‌توان در رابطه با نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف از جمله توسعه بهینه آبی شهرها و روستاها، کشاورزی، خدماتی و تولیدی تصمیم‌گیری نمود و زیان‌های ناشی از وقوع سیل را کاهش داد. موارد ذیل نتایج اصلی به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌باشند:

۱- حدود ۳۷٪ سطح استان مازندران معادل با وسعت $9244/82 \text{ km}^2$ دارای خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد است و تقریباً نیمی از سطح این استان، معادل با وسعت $12028/51 \text{ km}^2$ در محدوده سیل‌خیزی متوسط قرار دارد.

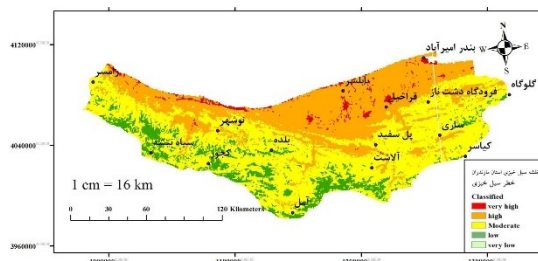
۲- نتایج اعتبارسنجی حاکی از عملکرد مناسب روش تحلیل سلسله‌مراتبی در شناسایی مناطق با قابلیت سیل-خیزی زیاد و خیلی زیاد است. ایستگاه‌های هیدرومتری بابلسر، بندر امیرآباد، پل سفید، قراخیل و نوشهر در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند.

۳- نتایج خروجی از تحلیل ایستگاه‌های هیدرومتری بلده، کجور، پل سفید و نوشهر، اندکی با سیلاب‌های مشاهداتی تفاوت دارد که علت اصلی آن کمبود تعداد داده‌های برداشت‌شده در این ایستگاه‌ها می‌باشد.

۴- در ایستگاه‌های هیدرومتری که دارای طول آماری بالای ۲۰ سال هستند و تعداد سیلاب‌های خسارت‌زای بیشتری ثبت شده است، تحلیل سلسله‌مراتبی نتایج تقریباً یکسانی را با سیلاب‌های مشاهداتی نشان می‌دهد.

پس از تهیه نقشه سیل، سازمان‌های ذیربط موظفاند اقداماتی مؤثر در راستای افزایش آگاهی مردم منطقه در زمان قبل، حین و بعد از وقوع سیل انجام دهند تا میزان خسارات مالی و جانی را کاهش دهند. از طرفی اختصاص مناسب بودجه بر اساس اولویت‌بندی سطح خطر مناطق برای احداث سازه‌های هیدرولیکی از دیگر اقداماتی است که می‌بایست توسط تصمیم‌گیران انجام شود.

مراتبی با سیلاب‌های رخ داده تطابق مطلوبی دارند که این موضوع بیانگر کارکرد مناسب این روش جهت پیش‌بینی سیل‌خیزی استان می‌باشد.



شکل ۴- نقشه نهایی مناطق مستعد سیل‌خیزی در محدوده مطالعاتی

Fig 4. Final map of flood-prone areas in the study area

جدول ۵- دسته‌بندی میزان سیل‌خیزی ایستگاه‌ها بر اساس تحلیل سلسله‌مراتبی

Table 5 Classifications of flood hazard of stations based on hierarchical analysis

Station	Flood Risk	Station	Flood Risk
Alasht	Average	Siah Bishe	Low
Amol	Average	Dashte naz	Average
Babolsar	High	Gharakhil	High
Baladeh	Low	Kajour	Low
Amirabad	Veri High	Kiasar	Average
Pol Sefid	Average	Gelogah	Low
Ramsar	Average	Nowshahr	High
		Sari	Average

همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، نتایج خروجی از تحلیل ایستگاه‌های هیدرومتری بلده، کجور، پل سفید و نوشهر، اندکی با سیلاب‌های مشاهده‌شده تفاوت دارد که علت اصلی آن می‌تواند به تعداد کم سال‌های آماری کم داده‌های سیلاب و طول کم بازه زمانی برداشت داده در این ایستگاه‌ها مربوط باشد. همچنین لازم به ذکر است که در ایستگاه‌های هیدرومتری که دارای طول آماری بالای ۲۰ سال هستند و همچنین تعداد سیلاب‌های خسارت‌زای بیشتری ثبت شده است، تحلیل سلسله‌مراتبی نتایج تقریباً یکسانی را با سیلاب‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که این مسئله با یافته‌های (Dalal ughli et al. (2017) و (Rostami and Kazemi (2017) مطابقت دارد.

۵- سیاست‌گذاری

ارزیابی اقتصاد اجتماعی فرهنگی بحران‌های زیست‌محیطی انجام شده است.

این پژوهش با حمایت مالی طرح شماره ۴۲ دوره چهارم شهید احمدی روشن بنیاد نخبگان استان تهران با عنوان

References

- Asgharizade, E. (2019). Multi-characteristic decision techniques, University of Tehran Publications [In Persian].
- Azizian A. and Shokoohi A. R. (2015). "Investigation of the Effects of DEM Creation Methods on the Performance of a Semi distributed Model: TOPMODEL". *Journal of Hydrologic Engineering* 20 (11), 1-9.
- Ballesteros C. J. A., Eguibar M., Bodoque M. J., DiezHerrero A., Stoffel M. and Gutierrez-Perez I. (2011). "Estimating flash flood discharge in an ungauged mountain catchment with 2D hydraulic models and dendrogeomorphic palaeostage indicators". *Hydrol. Process.* 25 (6), 970-979.
- Boudaghpour, S., Bagheri, M., and Bagheri, Z. (2014). Estimation of Flood Environmental Effects Using Flood Zone Mapping Techniques in Halilrood Kerman, Iran. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(3), 659-675.
- Chau VN., Holland J., Cassells S. and Tuohy M. (2013). "Using GIS to map impacts upon agriculture from extreme floods in Vietnam". *Appl. Geogr.* 41, 65-74.
- Dalal ughli A., Fathi M. and khoshdel K. (2017). Application of new multi-criteria decision making methods for the estimation of flooding potential with emphasis on geomorphic factors (Case Study: Ajorlu Basin). *Geographic space*, 17(59), 67-82.
- Hosseinzade, M. (2015). River geomorphology, University of Shahid Beheshti. Tehran, Iran [In Persian].
- Ismail M. and Saanyol IO. (2013). Application of remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) in flood vulnerability mapping: case study of River Kaduna. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 3(3), 618-627.
- Kargar Novin, B. and Shams Zahraei, M. (2014). Investigating the environmental effects of floods and ways to control it, National Flood Management Conference, Tehran [In Persian].
- Kazakis N., Kougiass 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". *Sci. Total Environ.* 538, 555-563.
- Kuei-Hsien L., Hui j. and Yin-Ling H. (2019). Environmental justice and flood prevention: The moral cost of floodwater redistribution, *Landscape and Urban Planning*. 189, 36-45.
- Kwak Y. and Kondoh A. (2008). "A study on the extraction of multifactor influencing floods from RS image and GIS data; a case study in Nackdong basin, S. Korea. Beijing: The International Archives of the Photogrammetry", *Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII (Part B8)*, 421-426.
- Kyung-Soo J, Eun-Sung Ch., Young-Gyu Kim and Yeonjoo. K. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change, *Expert Systems with Applications*, 40 (4), 1003-1013.
- Morgan RPC. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Prime T., Brown JM. and Plater AJ. (2016). Flood inundation uncertainty: the case of a 0.5% annual, *Environmental Science & Policy*. 59(2), 1-9.
- Rostami R. and Kazemi Y. (2017). Flood risk zoning in the city of Ilam using the

- method. *Journal of Spatial Analysis of Natural Hazards*. 6(1), 179-193.
- Mazandaran Water Organization. (2015). Discharge of Mazandaran watersheds and forecast of flood areas of the province. Unpublished report [in Persian].
- Schauble H., Marinoni O. and Hinderer M. (2008). "A GIS-based method to calculate flow accumulation by considering dams and their specific operation time". *Comput. Geosci.* 34(6), 635-646.
- Svoboda A. (1991). Changes in flood regime by use of the modified curve number method. *Hydrol. Sci. J.* 36(5), 461-470.
- Tu T., Carr KJ. and Ercan A. (2017). Assessment of the effects of multiple extreme floods on flow and transport processes under competing flood protection and environmental management strategies. *The Science of the Total Environment*. 31(2), 613-622.
- Vatanfada J. (2002). Investigating the flood situation in the country and difficulties. Tamab organization. Unpublished report [in Persian].
- Zerger A. (2002). Examining GIS decision utility for natural hazard risk modeling. *Environ. Model. Software*. 17(3), 287-294.

Assessment of Flood Hazard using Analytic Hierarchy Process Method (AHP) in Mazandaran Province, Iran

Ehsan Shahiri Tabarestani¹, Mohammad saeid Zokaei^{2*}

¹PhD student, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

²Professor, Department of Cultural Studies, Faculty of Social Sciences, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran

*Corresponding author: ehsan_shahiri96@civileng.iust.ac.ir

Original Paper

Received: June 17, 2020

Revised: September 18, 2020

Accepted: September 19, 2020

Abstract

One of the most important steps to prevent and deal with the destructive effects of floods is to identify areas with the highest flood potential in the watershed and its sub-basins. In this research, an attempt was made to determine the regions with the highest capacity of runoff and flood production in Mazandaran Province basin using the hierarchical analysis process (AHP) model. On this basis, six factors including heights, slope, land use, geology, flow accumulation, and rainfall were used. After calculating the final weight of each input factor using the hierarchical process model in ArcGIS (V. 10.5) software, a combination of input layers was used to construct a flooding map of the study area in five different categories including very high, high, Medium, low, and very little. Results showed that 38.79% of the Mazandaran Province, equivalent to the area of 9244.82 km², has a high and very high flooding hazard. Moreover, almost half of this province, equivalent to the area of 12028.51 km² has a moderate flooding hazard. The results reveal that flooding hazard at each hydrometric stations was in good agreement with the historical observations of floods, that most of them have the return periods of 50- and 100-year. It implies the high accuracy of the method and the weights assigned to each of the effective factors. This clarifies the usability of this research results for future preventive implementation.

Keywords: Flooding Hazard Degree; GIS; Mazandaran Basin; Pair Comparison.