

تعیین درجه خطر سیل خیزی حوضه‌های آبریز استان مازندران با استفاده از یک روش توزیعی مبتنی بر GIS

شیما رحمانی¹، اصغر عزیزیان^{2*} و امیر صمدی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
2 و 3- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

* azizian@eng.ikiu.ac.ir

(دریافت مقاله: 97/8/20؛ پذیرش مقاله: 97/11/3)

چکیده - مهمترین گام اصلی برای پیشگیری و مقابله با اثرات مخرب سیلاب، شناسایی مناطق مستعد سیل خیزی در سطح حوضه آبریز و زیرحوضه‌های آن می‌باشد. برای تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز روش‌های مختلفی وجود دارد که استفاده از تکنیک‌های روی‌هم‌گذاری لایه‌ها در بستر GIS از پرکاربردترین آنها می‌باشد. در پژوهش حاضر برای محاسبه وزن‌های مناسب عوامل مؤثر در شکل‌گیری سیلاب از یک روش متفاوت که در آن اندرکنش بین عوامل مورد استفاده نیز در نظر گرفته می‌شود، استفاده شده است. پس از محاسبه ضرائب تأثیر هر کدام از عوامل ورودی و بدست آمدن وزن نهایی آنها، از ترکیب خطی لایه‌های ورودی برای ساخت نقشه درجه سیل‌خیزی محدوده مطالعاتی در پنج دسته مختلف (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم)، استفاده شد. صحت‌سنجی نتایج حاصل از این روش توزیعی با سیلاب‌های خسارت‌زای مشاهداتی مقایسه گردید که نتایج بدست آمده حاکی از عملکرد بالای این روش به ویژه در شناسایی مناطق با درجه سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد دارد. به عنوان نمونه، نتایج بدست آمده از روش توزیعی حاکی از آن است که وضعیت سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری شیرگاه-تالار، رزن-نور، سلیمان تنگه، قرآن-تالار و دوآب-چالوس در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند که کاملاً با نتایج حاصل از سیلاب‌های مشاهداتی منطبق (که عمدتاً دارای سیلاب‌های با دوره بازگشت بزرگتر 50 و 100 سال هستند) می‌باشند. یکی از ویژگی‌های قابل توجه دیدگاه توزیعی این است که در این دیدگاه تغییرات مکانی مناطق در خطر سیل بدست می‌آید و با استفاده از آن می‌توان مناطق پرخطر را بهتر و با دقت بیشتری شناسایی نمود.

کلیدواژگان: پتانسیل سیل‌خیزی، دیدگاه توزیعی، سیلاب و مدیریت بحران.

1- مقدمه

و خسارت‌های ناشی از آن می‌شود و لذا تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پروژه‌های کنترل سیل و مدیریت جامع آبخیزها از ضرورت اساسی برخوردار می‌باشد (Djordjevic and Brack, 1998; Thieken et al., 2007; Wang et al., 2011; Morelli et al., 2014). مهم‌ترین انواع سیلابی که در یک منطقه ممکن است رخ دهد عبارتند از: سیلاب‌های رودخانه‌ای، سیلاب‌های آبی، سیلاب‌های شهری،

سیلاب همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی می‌باشد که هر ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را به جوامع انسانی تحمیل می‌نماید. گسترش روزافزون جوامع بشری (به ویژه در حاشیه رودخانه‌ها)، افزایش ساخت و سازها در حواشی رودخانه‌ها، تغییر کاربری سطح حوضه و نیز تغییر اقلیم موجب افزایش احتمال وقوع سیل

بسیاری از آنها حاکی از عملکرد بسیار بالای چنین تحلیل‌هایی می‌باشد (Liu et al., 2003; Van Der Veen and Logtmeijer, 2005; Kourgialas and Karatzas, 2015; Chau et al., 2013; Kazakis et al., 2011). در کشور ایران نیز تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه‌های برآورد پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز به انجام رسیده است که بسیاری از آنها از تکنیک متداول روی هم‌گذاری (بدون لحاظ نمودن وزن عوامل ورودی) استفاده نموده‌اند (امیدوار و همکاران، 1389؛ نصرتی و همکاران، 1392؛ Servati et al., 2014) و در برخی دیگر نیز از تکنیک‌های پیچیده مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی² (AHP) و یا فازی³ (FAHP) برای تعیین وزن‌های ورودی حاصل شده است (Lajevardi et al., 2014؛ ملکیان و همکاران، 1391؛ نیکجوی و روحانی، 1394؛ نسرین‌نژاد و همکاران، 1393؛ موسوی و همکاران، 1395؛ رضوی‌زاده و شاهدی، 1395) که تا حدود زیادی وابسته به نظرات کارشناسی تصمیم‌گیرندگان می‌باشد. روش‌های AHP و FAHP بر پایه مقایسه‌های زوجی و پرسشنامه‌ای استوار هستند که در تعیین وزن عوامل ورودی دخالت زیادی داشته و از سوی دیگر مقایسه‌های زوجی انجام گرفته توسط کارشناسان به دلیل عدم اشراف کامل آنها نسبت به تمامی عوامل مؤثر در تولید سیلاب، از نظر علمی و آماری ممکن است دارای انحراف قابل توجهی باشد. به عبارت بهتر در این روش‌ها برای تعیین وزن عوامل ورودی، پرسشنامه‌ای تهیه می‌شود که در آن سوالاتی در مورد هر کدام از عوامل و ارتباط آنها با هم پرسیده می‌شود. در نهایت پس از توزیع این پرسشنامه در میان تعدادی از کارشناسان و جمع‌آوری نظرات آنها، وزن هر کدام از عوامل بدست می‌آید. همچنین در عمده مطالعات انجام شده تنها به تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی پرداخته شده و آنچه که تاکنون در کمترین تحقیقی مورد بررسی قرار گرفته است، اعتبارسنجی نتایج حاصل از روش‌های مذکور با استفاده از داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

با توجه به توضیحات فوق، هدف پژوهش حاضر ارائه یک دیدگاه توزیعی مبتنی بر GIS برای تعیین وضعیت

سیلاب‌های ناشی از شکست سدها و سیلاب‌های ساحلی. در حوضه‌های آبریز کوچک مقیاس که دارای اراضی پرشیب و نفوذپذیری پائینی می‌باشند، بارش با شدت بالا می‌تواند منجر به سیلاب‌های آبی شود و از آنجایی که این گونه سیلاب‌ها از نظر زمانی بسیار کوتاه مدت می‌باشند، پیش‌بینی و مقابله با آنها بسیار مشکل و سخت می‌باشد (Belmonte and Beltran, 2001; Kourgialas et al., 2011). علاوه بر این، در مناطق کوهستانی که در آنها ذوب برف و بارش‌های سنگین سریعاً منجر به تولید رواناب می‌شوند، سیلاب‌های آبی از متداول‌ترین انواع سیلاب بشمار می‌آیند. در بسیاری از مناطق جهان چنین سیلاب‌هایی به واسطه توان حمل بالا به عنوان یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی که منجر به خسارات مالی و جانی قابل توجهی می‌گردد، شناخته می‌شوند (Ballesteros et al., 2011). به منظور حداقل نمودن اثرات مخرب سیلاب‌ها، نقشه‌های خطر سیل‌خیزی و طرح‌های کاهش خطرات سیل بایستی با در نظر گرفتن ملاحظات ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی حاکم بر حوضه مورد مطالعه، تهیه و آماده شوند (Liu et al., 2013; Prime et al., 2016). تاکنون روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مختلف برای تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز مورد استفاده قرار گرفته است که نیازمند حجم زیادی داده به عنوان ورودی می‌باشند. در حوضه‌های فاقد آمار و یا در کشورهای در حال توسعه که امکان فراهم نمودن داده‌های ورودی مدل‌های مذکور میسر نمی‌باشد، استفاده از چنین روش‌هایی به هیچ وجه مقرون به صرفه نمی‌باشد و لذا می‌توان از تحلیل‌های چند معیاره¹ مبتنی بر GIS به عنوان یک ابزار سودمند و کارا استفاده نمود. از آنجایی که سیلاب‌ها دارای ماهیت چند بعدی (دو و حتی سه بعدی) با تغییرات مکانی قابل توجهی هستند، استفاده از ابزار GIS برای تحلیل آنها می‌تواند بسیار مفید باشد (Zerger, 2002; Wang et al., 2011). در طول دو دهه اخیر مطالعات زیادی در زمینه تعیین مناطق در خطر سیل با استفاده از تحلیل‌های چند معیاره در نقاط مختلف دنیا به انجام رسیده است که نتایج

² Analytical Hierarchy Process (AHP)

³ Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

¹ Multi-Criteria analysis

غلبه گیاهان بالشتکی، گراسهای پایا و درمنه در مناطق با اقلیم نیمه خشک) و در ارتفاعات کمتر از 2000 متر شامل پوشش گیاهی جنگلی به همراه زیراشکوب علفی و در مناطق ساحلی شامل اراضی زراعی، جاده‌ها و مناطق مسکونی است. بیشتر رودهای جاری در مازندران دایمی هستند. در نواحی کوهستانی در فصل زمستان و اوایل بهار پر آب و در تابستان‌ها کم آب و گاهی خشک است. طول رودهای غرب این استان به دلیل نزدیک بودن کوه به دریا کوتاه‌تر و رودهای شرقی طولانی‌تر است. آمارهای رسمی نشان می‌دهد که از یک دهه پیش تاکنون این استان شاهد وقوع سیلاب‌های متعددی بوده که خسارت‌های سنگینی بر بخش زیرساخت‌ها، ابنیه، تاسیسات زیربنایی و واحدهای مسکونی بر جای گذاشتند به نحوی که همچنان خرابی‌های ناشی از این بلای طبیعی در بسیاری از مناطق روستایی و شهری باقی است. از سال 1373 تاکنون حدود 10 مورد سیل در برخی از شهرستان‌های مازندران از جمله نوشهر، چالوس، کلاردشت، بهشهر، نکا، محمودآباد، سوادکوه جاری شده که خسارت‌های سنگینی به این مناطق وارد کرده است (راهنمای ارزیابی خسارات سیل، 1385). نتیجه بررسی‌ها نشانگر این است که رعایت نکردن ملاحظات ژئوتکنیکی (بررسی شرایط زمین برای ایجاد و پایدارسازی سازه‌ها)، هیدروژئولوژیکی (بررسی آب زیرزمینی) و مهندسی رودخانه در اجرای طرح‌های عمرانی از علت‌های اساسی وقوع سیل در مازندران و تشدید خسارت‌های وارده به زیرساخت‌های شهری و روستایی و سایر حوضه‌ها بوده است. در این پژوهش و با در نظر گرفتن ایستگاه‌های هیدرومتری موجود، 27 زیرحوضه مختلف حاصل گردید که موقعیت جغرافیایی آنها در شکل 1 نشان داده شده است.

2-2- شناسایی درجه سیل‌خیزی با استفاده از دیدگاه توزیعی

با افزایش روز افزون کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدرولیکی، انجام این طبقه‌بندی در محیط GIS و تهیه نقشه‌های مربوط به هر عامل به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد.

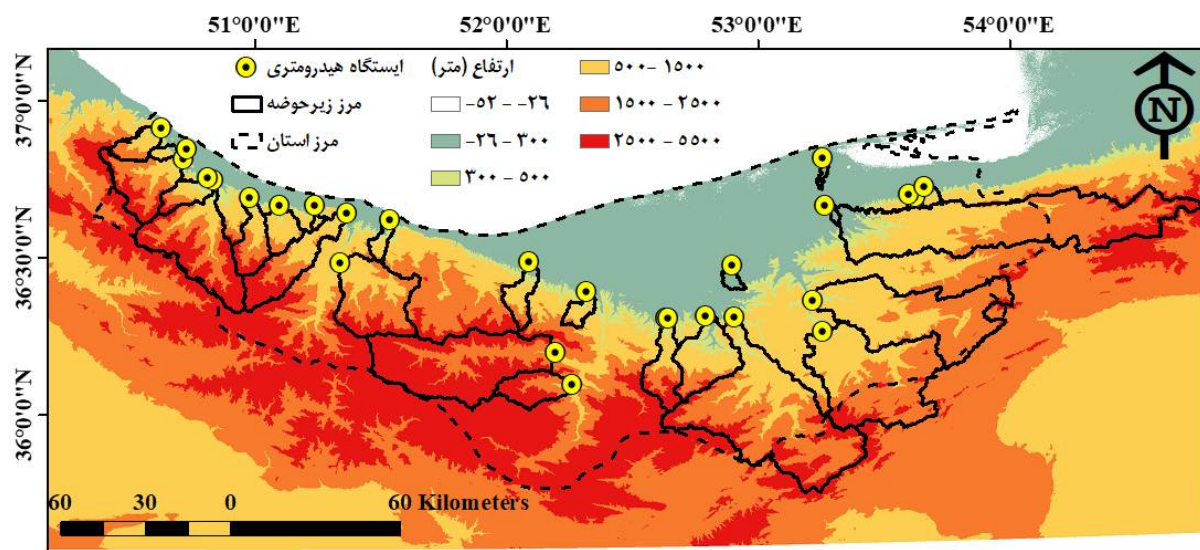
سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز واقع در استان مازندران می‌باشد. علت انتخاب این محدوده مطالعاتی این است که استان مازندران از جهت تعداد و نیز طول رودخانه‌ها در مقایسه با دیگر استان‌های کشور در ردیف اول قرار داشته و بروز سیلاب‌های متعدد در طول سال در استان، ایجاب می‌کند که اقدامات لازم برای شناسایی مناطق مستعد سیل‌خیزی، کنترل و مدیریت سیلاب در دستور کار قرار گیرد. در دیدگاه توزیعی مورد استفاده در این تحقیق، به جای استفاده از تکنیک‌های پرسشنامه‌ای از مستندات علمی حاصل از محققان برجسته در زمینه‌های هیدرولوژی، محیط‌زیست، هیدرولیک سیلاب و سنجش از دور (Eimers et al., 2000; Belmonte and Beltran, 2001; Liu et al., 2003; Gemitz et al., 2006; Shaban et al., 2006; Malby et al., 2007; Schauble et al., 2008; Chenini et al., 2010, Yahya et al., 2010; Brocca et al., 2011; Kazakis et al., 2015; Prime et al., 2016)، برای محاسبه میزان تأثیر و وزن هر کدام از عوامل مؤثر در شکل‌گیری سیلاب استفاده شده است. لذا این دیدگاه دارای این مزیت است که خطای ناشی از نظرات کارشناسان در خروجی هیچ تأثیری ندارد. عوامل در نظر گرفته شده در پژوهش حاضر برای ساخت نقشه سیل‌خیزی در محدوده مطالعاتی (حوضه‌های آبریز واقع در استان مازندران) عبارتند از: نقشه ارتفاعی، نقشه شیب، شبکه انباشت جریان¹، نقشه کاربری اراضی، نقشه شدت بارش و نقشه زمین‌شناسی. همچنین برای اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد دیدگاه مذکور نیز از سیلاب‌های ثبت شده در 27 ایستگاه هیدرومتری واقع در محدوده مطالعاتی استفاده بعمل آمده است.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مشخصات حوضه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش استان مازندران می‌باشد که با وسعتی معادل 23756/4 کیلومتر مربع حدود 1/46 درصد از مساحت کشور را دربر داشته است. حداقل ارتفاع این استان از سطح دریا 40- متر و حداکثر 5671 متر می‌باشد. پوشش گیاهی در ارتفاعات بالای 2000 متر از سطح دریا شامل پوشش گیاهی مرتعی (یا

¹ Flow Accumulation



شکل 1 موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری و حوضه‌های آبریز واقع در بالادست آنها

استفاده از ترکیب خطی عوامل مؤثر در سیل‌خیزی در محیط GIS یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها جهت شناسایی مناطق مستعد سیل‌خیزی در یک حوضه بشمار می‌آید (Schauble et al., 2008; Yahaya et al., 2010). در این پژوهش برای تعیین وضعیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استان مازندران از شش عامل (متغیر) مختلف مانند: نقشه رستری جریان تجمع، نقشه رستری شیب، نقشه رستری مدل رقومی ارتفاعی¹ (DEM)، نقشه رستری شدت بارش، نقشه کاربری اراضی و نقشه زمین‌شناسی استفاده به عمل آمد. علت انتخاب شش عامل مذکور، تأثیر بالای آنها در تولید سیلاب می‌باشد که این امر تاکنون توسط محققان مختلفی گزارش شده است (Eimers et al., 2000; Schauble et al., 2008; Yahaya et al., 2010; Kourgialas and Karatzas, 2011; 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.

لایه رستری جریان تجمع یکی از راه‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری مساحت یک حوضه آبریز 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 تجمع در یک سلول به ترتیب به معنی خطر سیل‌خیزی بیشتر و کمتر نسبت به سایر سلول‌ها می‌باشد. پارامترهای توپوگرافیکی شیب و ارتفاع نیز از جمله عواملی هستند که با پیدایش و شکل‌گیری سیلاب دارای رابطه‌ای عکس هستند (Kwak and Kondoh, 2008). به عبارت بهتر 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 مسأله موجب افزایش احتمال ایجاد مناطق اشباع و متعاقب آن افزایش احتمال سیل‌خیزی بازه موردنظر خواهد گردید (Beven, 1997; Azizian and Shokoohi, 2015). بسیاری از حوضه‌های آبریز شدت بارش و شرایط رطوبتی خاک از پارامترهای بسیار مهم در شکل‌گیری سیلاب (به ویژه سیلاب‌های آبی) می‌باشند (Belmonte and Beltran, 2001). نقشه کاربری اراضی به وابسته دارا بودن پوشش‌های گیاهی مختلف در مقدار بارشی که بر روی سطح خاک وارد می‌شود، تأثیر قابل توجهی ایجاد می‌نماید. همچنین ساختار زمین‌شناسی یک حوضه نیز به عنوان عاملی شتاب‌دهنده در تولید رواناب بشمار می‌آید. به عنوان مثال، زیرحوضه‌هایی که از نظر زمین‌شناسی دارای ساختار کارستی هستند، موجب کاهش مقدار

¹ Digital Elevation Model (DEM)

حال با دسته‌های دیگر دارای بیشترین واریانس می‌باشند (McMaster, 2013).

همچنین برای عواملی که دارای مقادیر عددی نمی‌باشند، نحوه دسته‌بندی را می‌توان بر اساس تأثیر عامل موردنظر در تولید سیلاب، در نظر گرفت. به عنوان مثال، در نقشه زمین‌شناسی مناطقی از حوضه که دارای ساختار کارستی 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. همچنین لازم به ذکر است که برای هر کدام از دسته‌های خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم به ترتیب از مقادیر عددی 10، 8، 5، 2 و 1 استفاده شده است. البته لازم به توضیح است که انتخاب اعداد مذکور تنها برای نشان دادن وضعیت هر کدام از دسته‌های خطر می‌باشد و لذا انتخاب اعداد دیگری به جای اعداد مذکور، بر روی خروجی نهایی تأثیری ندارد. برای شناسایی مناطق مستعد سیلخیزی ضروریست که تمامی لایه‌ها با یک وزن مشخص با یکدیگر ادغام شوند.

در این پژوهش از متدولوژی ارائه شده توسط Shaban et al. (2001) که در آن تأثیر هر عامل بر عوامل دیگر نیز لحاظ می‌گردد، استفاده شده است. اندرکنش بین عوامل مورد استفاده در این پژوهش در شکل 2 نشان داده شده است. در این شکل، خطوط توپر و خط چین به ترتیب نشان‌دهنده تأثیر اصلی² (مستقیم) و فرعی³ (غیرمستقیم) هر کدام از عوامل نسبت به هم می‌باشند. به عنوان مثال، نقشه ارتفاع به ترتیب دارای تأثیر مستقیم و فرعی بر نقشه شدت بارش و نقشه شیب می‌باشد. به منظور کمی‌سازی دو تأثیر مذکور، مقدار 1 و 0/5 به ترتیب برای اندرکنش‌هایی که دارای تأثیر مستقیم و فرعی هستند در نظر گرفته شد. سپس با تجمیع تمامی مقادیر عددی تأثیرات اصلی و فرعی مربوط به هر عامل، شدت تأثیر⁴ عامل موردنظر حاصل گردید.

جریان به ویژه در سطح‌الارض خواهند گردید (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 اصلاح شده (Morgan, 2005) که رابطه آن به صورت (1) است، استفاده شده است. همچنین لازم به ذکر است که برای محاسبه نقشه مزبور، از اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک استان مازندران در بازه زمانی 1360-1392 استفاده بعمل آمد.

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

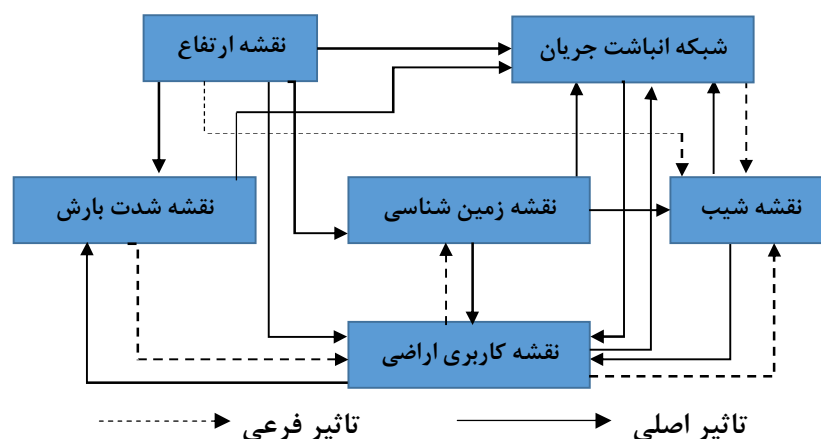
در رابطه (1)، MFI شاخص فورنیر اصلاح¹ شده، \sum مجموع 12 ماه، P_i میانگین بارش ماهانه و P میانگین بارش سالانه هر ایستگاه هواشناسی می‌باشند. این شاخص مبین مجموع مقادیر متوسط شدت بارش ماهانه در یک ایستگاه می‌باشد که در پژوهش حاضر برای ساخت نقشه مکانی آن از روش درونیابی Spline استفاده شده است. اگرچه برای ساخت توزیع مکانی بارش، روش‌های درونیابی متعددی توسط محققان مختلف توسعه داده شده است، اما طبق تحقیقات صورت گرفته توسط (Huang et al., 1998; Hutchinson, 1998; Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005) روش درونیابی Spline به عنوان مناسب‌ترین روش به ویژه در مواردی که تعداد ایستگاه‌های موجود کم می‌باشد، توصیه شده است. از میان عوامل مورد استفاده، شبکه جریان تجمعی، شبکه شیب، ارتفاع و شدت بارش دارای مقادیر عددی هستند در حالیکه نقشه‌های کاربری اراضی و زمین‌شناسی به صورت کیفی می‌باشند. لذا برای همسان‌سازی لایه‌های مزبور، تأثیر هر عامل به پنج دسته خطر سیل‌خیزی الف) خیلی زیاد، ب) زیاد، ج) کم و ه) بسیار کم تقسیم گردید. در عواملی که دارای مقدار عددی هستند از روش کلاستر بندی Jenk's Natural Breaks برای ساخت پنج دسته مذکور در محیط GIS استفاده بعمل آمد. این روش طوری داده‌های موجود را به دسته‌های دلخواه تقسیم‌بندی می‌نماید که اعضای هر کدام از دسته‌ها دارای کمترین واریانس بوده و در عین

² Major Effect

³ Minor Effect

⁴ Effect Rate

¹ Modified Fournier Index



شکل 2 طرح شماتیک اندرکنش بین عوامل مؤثر در سیل خیزی حوضه

دبی غالب، 3) بررسی سیلاب‌هایی که منجر به ایجاد خسارت‌های مالی و جانی شده‌اند و 4) روش آماری Z برای تشخیص داده‌های غیر نرمال. با توجه به داده‌های موجود در پژوهش حاضر از روش 3 استفاده گردید.

بررسی آرشيو شرکت آب منطقه‌ای مازندران و نیز سازمان‌هایی همچون اداره منابع طبیعی و آبخیزداری حاکی از وجود اطلاعات بسیار ارزشمندی در زمینه سیلاب‌های خسارت‌زا می‌باشد که با وجود مشکلات متعدد در زمینه دسترسی به آنها، در این پژوهش و در حدود 27 حوضه، آمار تعداد سیلاب‌های خسارت‌زا و مقدار دبی متناسب با آنها جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفت. در جدول 1، تعداد سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در محدوده مطالعاتی ارائه شده است. همچنین لازم به ذکر است که برای ارزیابی هرچه بهتر روش توزیعی، وضعیت سیل خیزی هر کدام از ایستگاه‌های مذکور و بر اساس تعداد سیلاب‌های رخ داده شده به 5 دسته مختلف تقسیم گردید. دسته‌هایی که دارای بیشترین و کمترین تعداد سیلاب ثبت شده می‌باشند، وضعیت سیل خیزی در آنها به ترتیب بسیار بالا و بسیار پائین بدست آمد.

3- نتایج

3-1- برآورد وزن عوامل مؤثر در تعیین سیل خیزی

با استفاده از دیدگاه توزیعی

نتایج حاصل از اندرکنش بین 6 عامل تأثیرگذار در

پس از محاسبه شدت تأثیر هر عامل بایستی آن را در مقادیر عددی در نظر گرفته شده (منظور اعداد 5، 8، 10، 2 و 1 می‌باشند) ضرب نمود تا وزن نهایی هر عامل بدست آید (Shaban et al., 2006). در نهایت با تجمیع وزن نهایی هر عامل و تقسیم آن بر جمع کل وزن‌های تمامی عوامل می‌توان درصد وزنی هر عامل را بدست آورد. پس از مشخص شدن درصد وزنی هر کدام از عوامل می‌توان از رابطه (2) استفاده و نقشه نهایی مناطق مستعد سیل خیزی را بدست آورد (Gemitzi et al., 2006):

$$\text{Flood-Hazard-Level} = \sum w_i x_i \quad (2)$$

در رابطه (2)، Flood-Hazard-Level: درجه سیل خیزی هر سلول، w_i وزن مربوط به هر عامل (درصد) و x_i لایه مربوط به هر عامل می‌باشند. همچنین لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر از محیط Model Builder در بستر GIS استفاده گردید تا فرایند روی هم‌گذاری عوامل ورودی انجام و نقشه نهایی سیل خیزی حاصل گردد.

2-3- صحت‌سنجی دیدگاه توزیعی در شناسایی

مناطق مستعد سیل خیزی

با ارزیابی تعداد جریان‌های سیلابی خسارت‌زا 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 گردید. جهت تعیین اینکه دبی ثبت شده دبی سیلابی است یا خیر روش‌های متعددی وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

1) مدل‌سازی هیدرولیکی جریان، 2) استفاده از مفهوم

طبق محاسبات صورت گرفته (جدول 3)، عامل ارتفاع با درصد وزنی 0/29 بیشترین تأثیر و عوامل شدت بارندگی و جریان تجمعی با دارا بودن درصد وزنی کمتر از 10 درصد، کمترین تأثیر را در تعیین وضعیت سیل خیزی حوضه در بر دارند. در شکل 3- 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) شناسایی شده‌اند و به ترتیب هرچه از حاشیه دریای 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 3- ب نشان داده شده است. با توجه به این شکل، بخش‌های واقع در شمال غربی محدوده مطالعاتی دارای خطر سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد می‌باشند. همچنین مناطق ساحلی دریای خزر و حوضه‌های واقع در بخش‌های جنوبی محدوده مطالعاتی به ترتیب از نظر وضعیت سیل خیزی در دسته با خطر زیاد و کم قرار می‌گیرند.

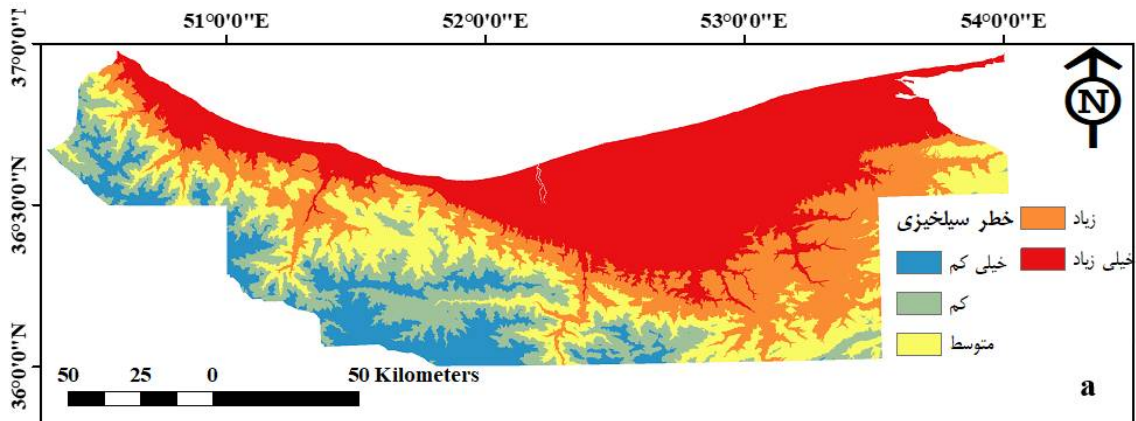
وضعیت سیل خیزی حوضه مورد مطالعه در جدول 2 ارائه گردیده است. همان‌طور که عنوان شد، ارتباط بین عوامل می‌تواند به صورت اصلی یا فرعی باشد. به عنوان مثال، نقشه ارتفاع به ترتیب دارای تأثیر مستقیم و فرعی بر نقشه شدت بارش و نقشه شیب می‌باشد. بدین صورت که می‌توان گفت با افزایش و کاهش ارتفاع میزان شدت بارندگی نیز به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. در نتیجه ارتفاع با شدت بارندگی رابطه مستقیم دارد در صورتی که افزایش و کاهش ارتفاع حتماً به معنای افزایش و یا کاهش شیب نمی‌باشد. هرچند در مناطق با ارتفاع زیاد مقدار شیب زیاد و در مناطق کم ارتفاع مقدار شیب کمی می‌باشد. هرچند این ارتباط یک امر مسلم و قطعی نمی‌باشد و در مناطق کم ارتفاع ممکن شیب زیادی رویت شود و یا برعکس. لذا رابطه بین ارتفاع با شیب یک رابطه فرعی می‌باشد. همین مسأله برای دیگر عوامل نیز قابل تفسیر و بیان می‌باشد که در این بخش و جهت رعایت اختصار از ارائه آنها صرف‌نظر شده است. به منظور کمی‌سازی دو تأثیر مذکور، مقدار 1 و 0/5 به ترتیب برای اندرکنش‌هایی که دارای تأثیر اصلی و فرعی هستند در نظر گرفته شد. سپس با تجمیع تمامی مقادیر عددی تأثیرات اصلی و فرعی مربوط به هر عامل، شدت تأثیر عامل مورد نظر حاصل گردید.

جدول 1 دسته‌بندی خطر سیل خیزی بر اساس سیلاب‌های مشاهداتی

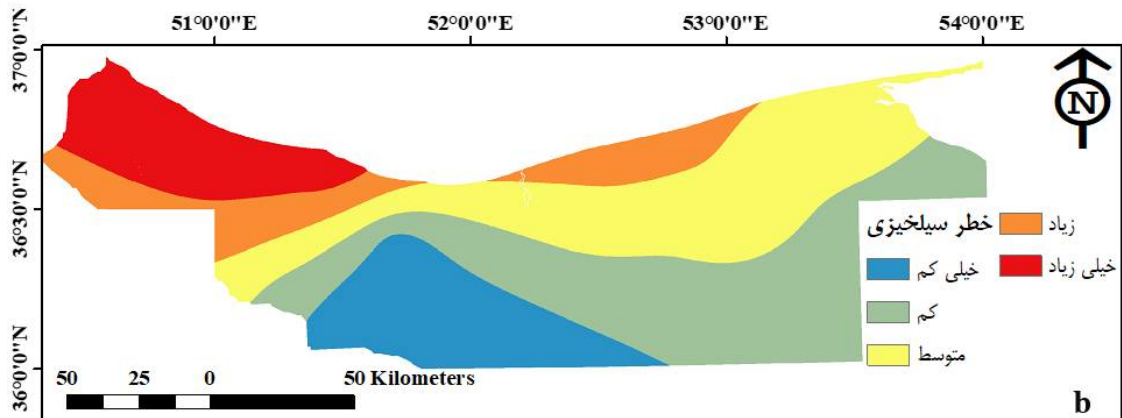
نام ایستگاه	تعداد سیلاب‌ها	سطح خطر سیلاب	نام ایستگاه	تعداد سیلاب‌ها	سطح خطر سیلاب
آبلو	21	متوسط	نور	44	خیلی زیاد
علی تپه	1	خیلی کم	نوذر آباد	2	خیلی کم
بندپی	13	کم	اسکو محله	12	کم
چالوس	30	زیاد	پنجاب	21	متوسط
چشمه کیله	31	خیلی زیاد	پاسند	3	خیلی کم
دینار سرا	23	زیاد	پلتان	14	متوسط
قرآن-تالار	34	خیلی زیاد	پل جاده	30	زیاد
کنگسر	24	زیاد	رامسر	22	متوسط
کلارآباد	9	کم	رودکنار	10	کم
خلیل محله	2	خیلی کم	ساروکلا	8	کم
ماشل آباد	17	متوسط	شیرگاه-تالار	32	خیلی زیاد
نهر آبلو	5	خیلی کم	سلیمان-تنگه	42	خیلی زیاد
تنگ لایچ	19	متوسط	وارن	23	زیاد

جدول 2 اندرکنش 6 عامل تأثیرگذار در تعیین سیل خیزی حوضه

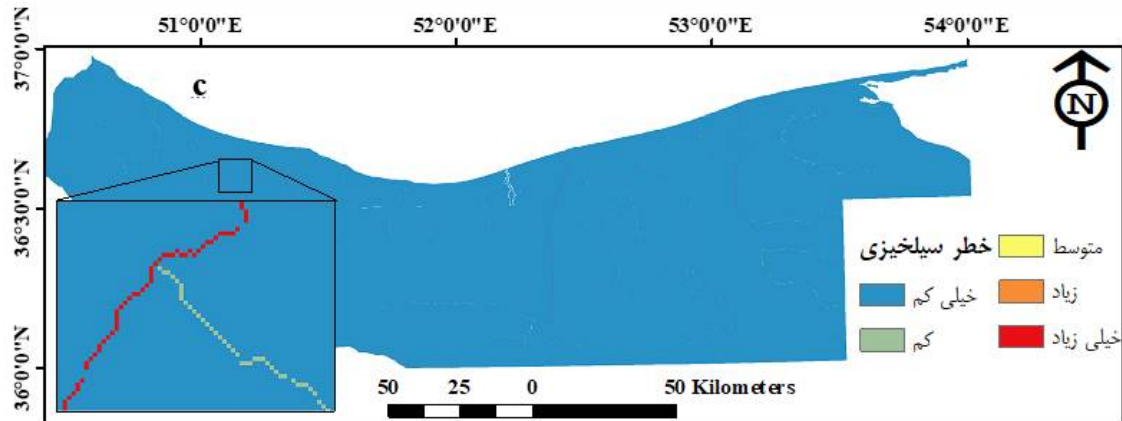
عامل	تأثیر اصلی	تأثیر فرعی	شدت اثر
جریان تجمعی (FAC)	L	S	اصلی (1)=1/5 + فرعی (0/5)
شیب (S)	FAC, L	-	اصلی (2)=2 + فرعی (0)
کاربری اراضی (L)	FAC, R	G, S	اصلی (2)=3 + فرعی (2)
شدت بارش (R)	FAC	L	اصلی (1)=1/5 + فرعی (1)
زمین شناسی (G)	FAC, L, S	-	اصلی (3)=3 + فرعی (0)
ارتفاع (E)	FAC, L, G,R	S	اصلی (4)=4/5 + فرعی (1)



(الف)

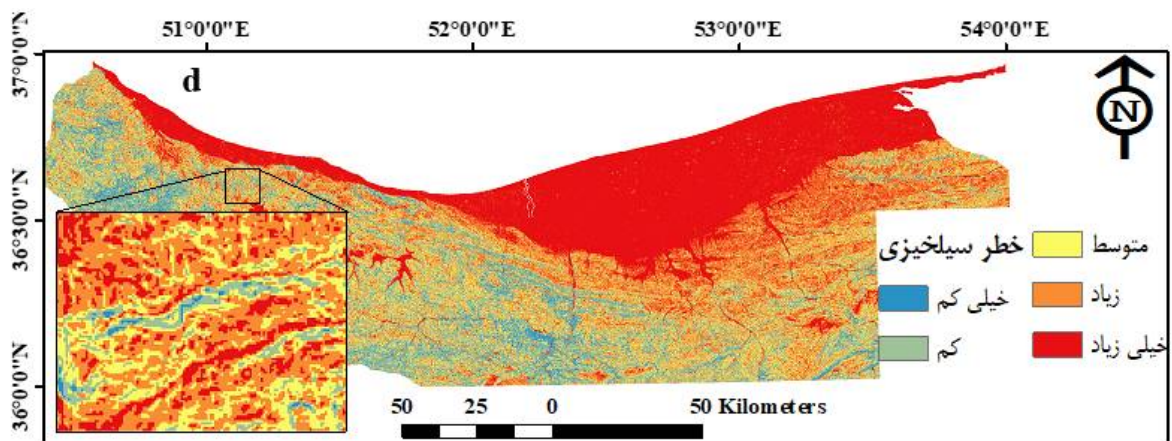


(ب)

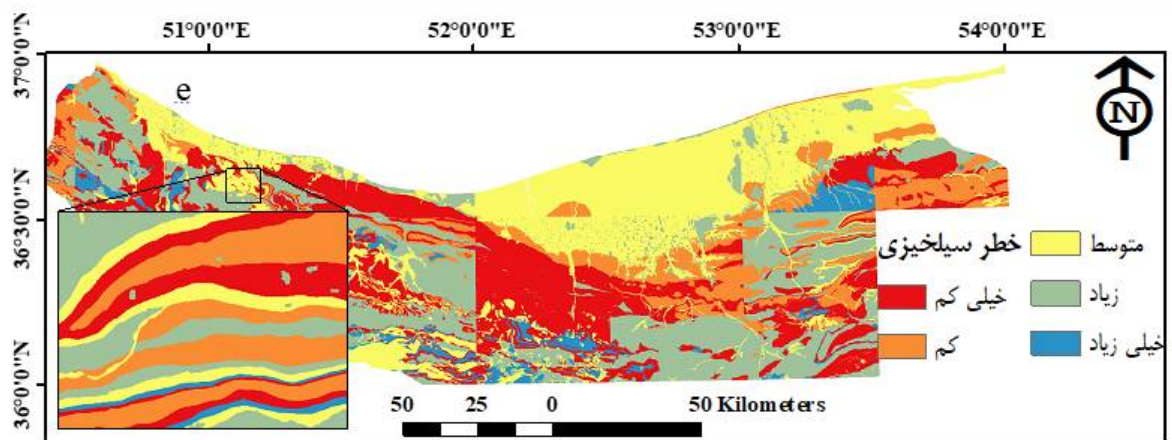


(ج)

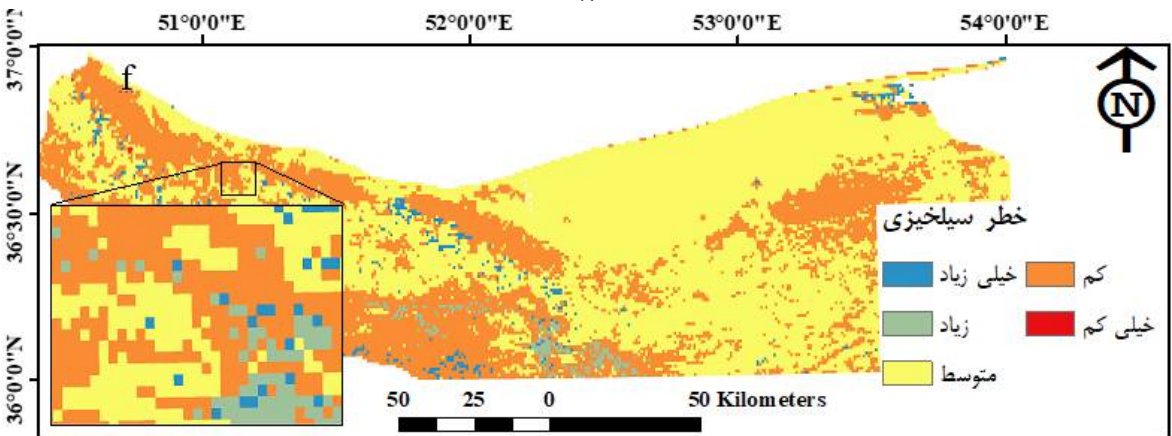
شکل 3 وضعیت سیل خیزی بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی بر اساس عوامل الف) ارتفاع، ب) شدت بارش، ج) شبکه انباشت جریان،



(د)



(ه)



(و)

ادامه شکل 3 وضعیت سیل خیزی بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی بر اساس عوامل (د) شیب، (ه) زمین‌شناسی، و (و) کاربری اراضی

تجمعی بالاتر، دارای پتانسیل تولید سیلاب بیشتری می‌باشند و هرچه به سمت دامنه‌ها، بخش‌های سطح‌الارض¹ و مرزهای حوضه حرکت شود از مقدار جریان

در شکل 3- ج نیز مناطق مستعد سیل‌خیزی بر اساس نقشه جریان تجمعی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، سلول‌های واقع در مسیر جریان و خط‌القعر رودخانه به علت دارا بودن مقدار جریان

¹ Overland

ارزیابی درجه سیل خیزی بر اساس عامل شیب نیز حاکی از آن است که نواحی شمالی حوضه و حاشیه دریای خزر به علت واقع شدن در مناطق کم ارتفاع و عمدتاً مسطح در محدوده با پتانسیل تولید سیلاب زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرند (شکل 3-د).

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

جدول 3 محاسبه وزن نهایی عوامل مؤثر در تعیین وضعیت سیل خیزی

عامل	دامنه تغییرات	سطح خطر سیل	شدت اثر وزن دهی		جمع وزنها	درصد وزنی هر عامل (%)
			شدت اثر وزن دهی شده (a×b)	وزن پیشنهادی (a)		
جریان تجمعی (سلول)	310000-500000	خیلی زیاد	10		15	9/68
	1650000-310000	زیاد	8		12	
	750000-1650000	متوسط	5	1/5	7/5	
	200000-750000	کم	2		3	
	0-200000	خیلی کم	1		1/5	
شیب (درجه)	0-7/3	خیلی زیاد	10		20	12/90
	7/3-16/4	زیاد	8		16	
	16/4-25/6	متوسط	5	2/0	10	
	25/6-35/9	کم	2		4	
	35/9-77/6	خیلی کم	1		2	
شدت بارش (در واحد MFI)	123-153	خیلی زیاد	10		15	9/68
	93-123	زیاد	8		12	
	67-93	متوسط	5	1/5	7/5	
	44-67	کم	2		3	
	20-44	خیلی کم	1		1/5	
کاربری اراضی	مناطق شهری و اراضی لخت	خیلی زیاد	10		30	19/35
	گیاهان علفی	زیاد	8		24	
	درختان میوه، اراضی کشاورزی	متوسط	5	3/0	15	
	مرتع، اراضی جنگلی-کشاورزی	کم	2		6	
	اراضی جنگلی متراکم	خیلی کم	1		3	
ارتفاع (متر)	-39-422	خیلی زیاد	10		45	29/03
	422-1133	زیاد	8		36	
	1133-1920	متوسط	5	4/5	22/5	
	1920-2749	کم	2		9	
	2749-4350	خیلی کم	1		4/5	
زمین‌شناسی	مناطق دارای لایه‌های سنگی نفوذناپذیر	خیلی زیاد	10		30	19/35
	مناطق دارای خاک رسی	زیاد	8		24	
	مناطق دارای ماسه ریزدانه	متوسط	5	3/0	15	
	مناطق دارای بافت درشت‌دانه و گنگلومرا	کم	2		6	
	مناطق کارستی با ساختار آهکی	خیلی کم	1		3	
جمع					403	100

نیز به فراخور ساختار زمین‌شناسی متفاوتشان در درجات مختلف سیل‌خیزی قرار می‌گیرند.

3-2- استخراج نقشه درجه سیل‌خیزی

با تلفیق عوامل مختلف و اعمال وزنهای مربوطه توزیع مکانی خطر سیل‌خیزی در سطح استان مازندران بدست آمد که نتایج آن در شکل 4 قابل مشاهده می‌باشد.

با توجه به شکل 4، 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 شکل گرفته است. بخش‌های جنوبی و تا حدی مرکزی حوضه نیز از وضعیت سیل‌خیزی به مراتب کمتری برخوردار هستند.

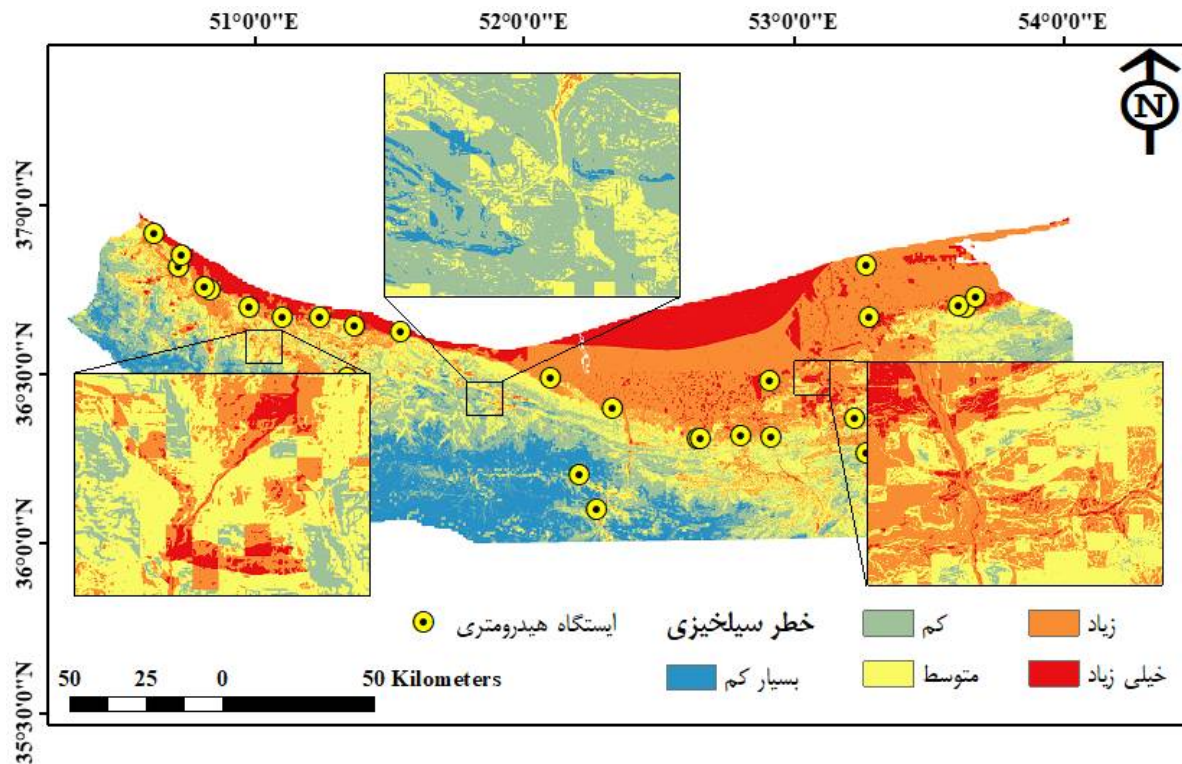
بررسی نتایج بدست آمده از روش توزیعی حاکی از آن است که وضعیت سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری شیرگاه-تالار، رزن-نور، سلیمان تنگه، قرآن-تالار و دوآب-چالوس در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند که کاملاً با نتایج حاصل از سیلاب‌های مشاهداتی منطبق می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که در این ایستگاه‌ها عمده سیلاب‌ها دارای دوره بازگشت بزرگتر از 50 و 100 ساله هستند. در شکل‌های 5 تا 7 توزیع مکانی درجه سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری، نشان داده شده است.

در شکل 8 نیز عملکرد روش توزیعی در تعیین وضعیت سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری پنجاب، نهرآبلو، وارن، کانگسر و چشمه کیله نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در ایستگاه‌های وارن و کانگسر وضعیت سیل‌خیزی طبق روش توزیعی در دسته زیاد قرار دارد که کاملاً با نتایج حاصل از داده‌های مشاهداتی منطبق می‌باشد. همچنین در ایستگاه‌های پنجاب و چشمه کیله نیز که وضعیت سیل‌خیزی (طبق روش توزیعی) به ترتیب در دسته‌های متوسط و خیلی زیاد قرار دارد، نتایج با داده‌های مشاهداتی کاملاً منطبق می‌باشد. بر خلاف موارد مذکور، در ایستگاه نهر آبلو وضعیت سیل‌خیزی بر اساس داده‌های مشاهداتی در دسته بسیار کم قرار می‌گیرد و این در حالیست که طبق دیدگاه توزیعی این محدوده در دسته با سیل‌خیزی زیاد قرار

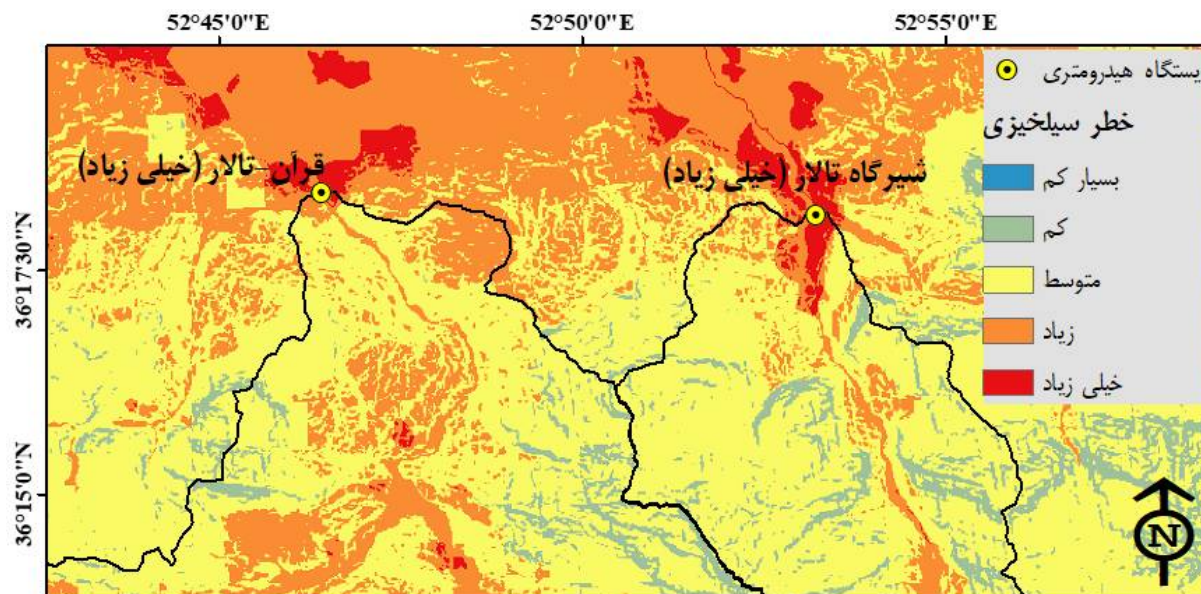
همچنین هرچه از حاشیه ساحلی فاصله گرفته می‌شود از خطر سیل‌خیزی نیز کاسته می‌شود، به طوری که نواحی جنوبی حوضه بر اساس این عامل عمدتاً دارای خطر سیل‌خیزی بسیار کمی می‌باشند. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین عنوان نمود که نواحی شمالی و مرکزی محدوده مطالعاتی به دلیل دارا بودن شیب کمتر، پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند. با توجه به شکل 3- و نیز می‌توان چنین نتیجه گرفت که بر اساس وضعیت کاربری اراضی محدوده مطالعاتی، عمده بخش‌های محدوده مورد مطالعه در دسته نواحی با خطر سیل‌خیزی متوسط تا کم قرار دارند. نواحی با کاربری شهری، تالاب‌ها، نواحی برفی/یخی و خاک‌های برهنه و ... در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و 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 بر خلاف حوضه‌های خشک و فاقد پوشش گیاهی، حوضه‌های واقع در اقلیم-های پر بارش و مرطوب از نظر وضعیت پوشش گیاهی در وضعیت مطلوبی به سر می‌برند و همین عامل منجر کاهش احتمال تولید سیلاب خواهد گردید. آخرین عامل مهمی که در روش توزیعی مدنظر می‌باشد، نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی می‌باشد. همان‌طور که در جدول 3 نیز عنوان شد، مناطقی که دارای ساختار و پوشش نفوذ ناپذیر می‌باشند دارای پتانسیل تولید سیلاب بالایی می‌باشند و لذا در دسته با خطر سیل‌خیزی خیلی زیاد قرار می‌گیرند. نواحی‌ای 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 (3-ه)، عمده نواحی واقع در بخش‌های جنوبی حوضه به علت واقع شدن در مناطق کوهستانی از نظر وضعیت سیل‌خیزی در دسته با سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی

این پژوهش حاکی از آن است که تعداد سیلاب‌های ثبت شده ایستگاه نهرآبلو تنها در حدود 8 سال می‌باشد که نسبت به بسیاری از ایستگاه‌های مورد استفاده کمتر می‌باشد.

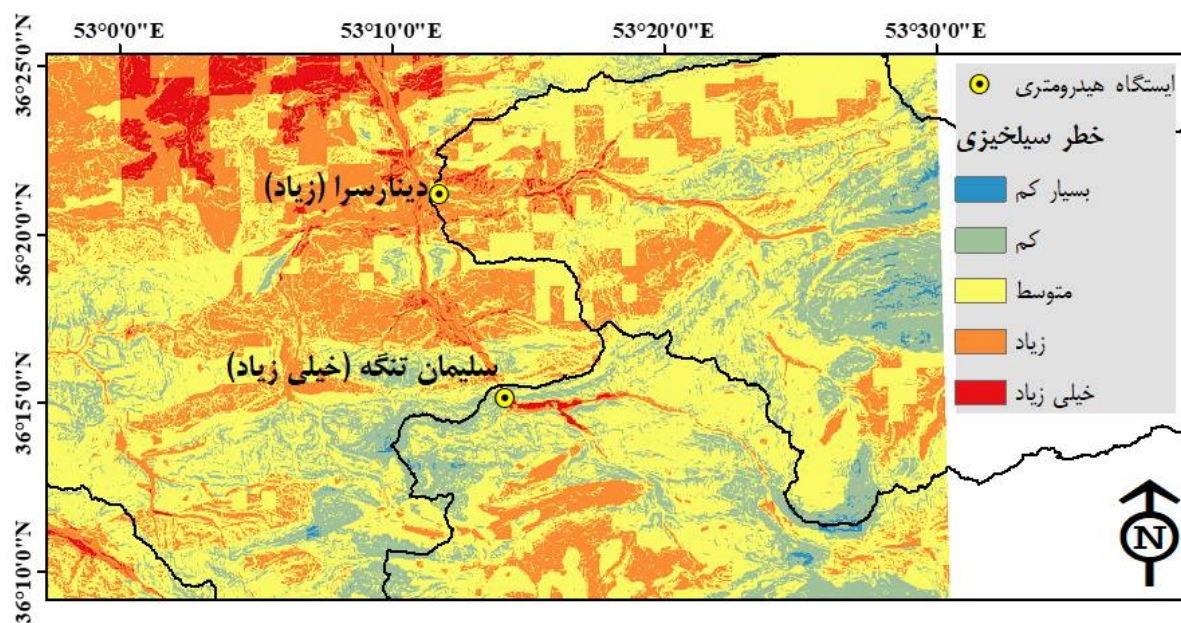
می‌گیرد که کاملاً با نتایج مشاهداتی متفاوت می‌باشد. یکی از علل اصلی این تفاوت را می‌توان به تعداد سال‌های آماری کم داده‌های سیلاب ثبت شده مرتبط نمود. بررسی سال‌های آماری ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در



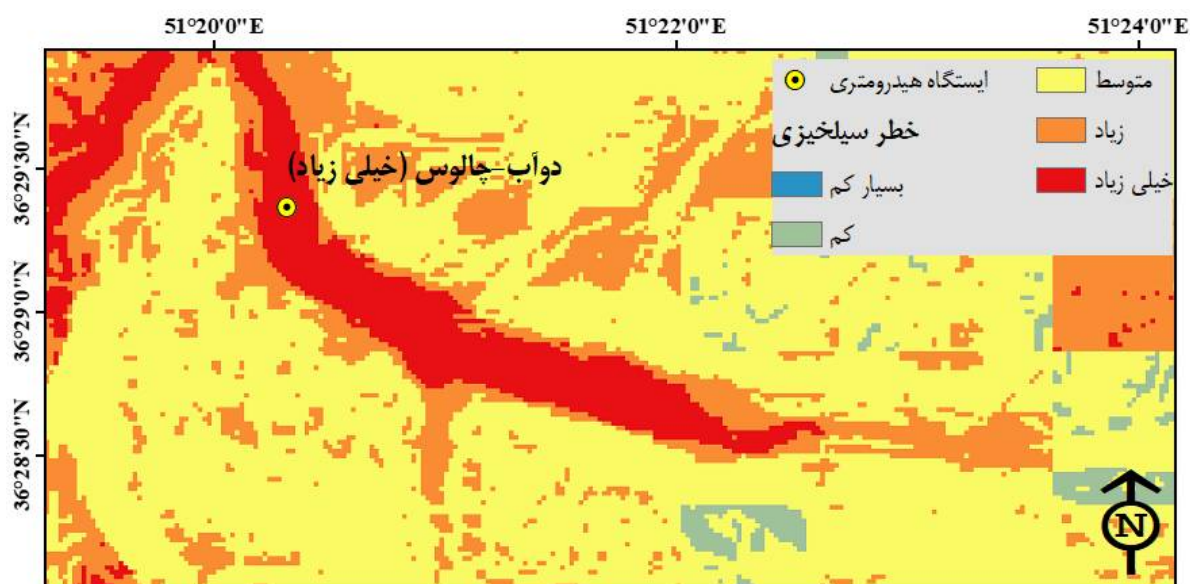
شکل 4 نقشه نهایی مناطق مستعد سیل خیزی در محدوده مطالعاتی



شکل 5 عملکرد روش توزیعی نسبت به داده‌های مشاهداتی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری قران-تالار و شیرگاه-تالار



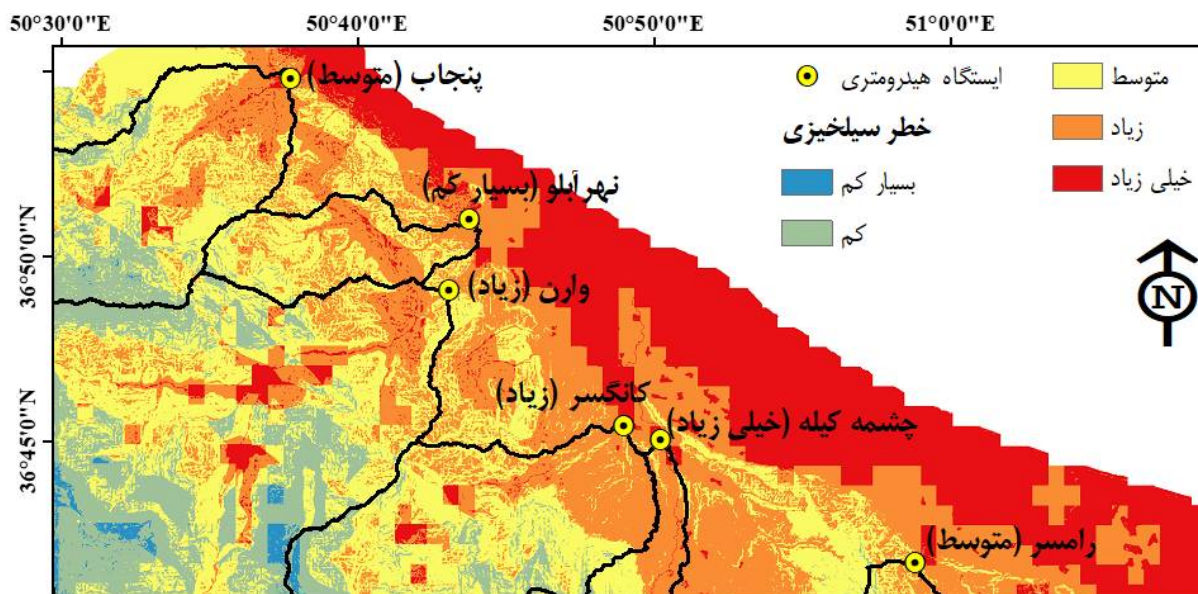
شکل 6 عملکرد روش توزیعی نسبت به داده‌های مشاهداتی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری سلیمان تنگه و دینارسرا



شکل 7 عملکرد روش توزیعی نسبت به داده‌های مشاهداتی در محل ایستگاه هیدرومتری چالوس

ناچیزی داشته و در عمده موارد نتیجه یکسانی را بدست می‌دهند. با توجه به توضیحات فوق می‌توان چنین عنوان نمود که روش توزیعی مورد استفاده در این پژوهش از توانائی لازم برای تعیین مناطق مستعد سیل خیزی به ویژه با اولویت زیاد و خیلی زیاد (که در مبحث مدیریت سیل و نیز اقدامات آبخیزداری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند)، می‌باشد.

مشابه این اختلاف در عملکرد روش توزیعی و داده‌های مشاهداتی در چند ایستگاه مختلف از جمله ایستگاه‌های هیدرومتری پاسبند، علی تپه، نوذر آباد و خلیل محله نیز وجود دارد که علت اصلی این امر نیز طول کم بازه زمانی برداشت داده می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که در ایستگاه‌های هیدرومتری‌ای که دارای طول آماری بالای 20 سال هستند و همچنین تعداد سیلاب‌های خسارت‌زای بیشتری ثبت شده است، عملکرد دو روش مذکور اختلاف



شکل 8 عملکرد روش توزیعی نسبت به داده‌های مشاهداتی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری پنجاب، نهر آبلو، وارن، کانگسر و چشمه کیله

4- نتیجه‌گیری

تعیین مناطق مستعد سیل خیزی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل خیزی می‌تواند در مدیریت بهتر سیلاب به ویژه در حوضه‌های آبریز بزرگ، نقش مهمی داشته باشد. روش‌های مختلفی برای اولویت بندی و تعیین پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبریز وجود دارد که در این پژوهش از دیدگاه توزیعی مبتنی بر GIS استفاده گردیده است. در بسیاری از مطالعات فرایند روی هم‌گذاری عوامل مؤثر در شکلگیری سیلاب، بدون در نظر گرفتن وزن و تأثیر واقعی هر کدام از آنها صورت گرفته می‌گیرد که این مسأله با شکل‌گیری سیلاب کاملاً مغایر می‌باشد. به همین منظور، در پژوهش حاضر برای محاسبه وزن‌های مناسب هر عامل از روشی استفاده شد که در آن اندرکنش بین عوامل مختلف مؤثر در سیلاب در نظر گرفته شده است. در این روش هر عامل بر عامل دیگر می‌تواند دارای دو تأثیر اصلی و فرعی باشد که تأثیر اصلی در حالیکه عامل اول با عامل دوم در ارتباط مستقیم می‌باشد. پس از مشخص شدن ضرائب تأثیر هر کدام از عوامل و بدست آمدن وزن نهایی آنها، از ترکیب خطی لایه‌های ورودی (با لحاظ نمودن وزن‌ها) برای ساخت نقشه وضعیت سیل خیزی محدوده مطالعاتی استفاده

به‌عمل آمد. همچنین اعتبارسنجی نتایج حاصل از این روش توزیعی با سیلاب‌های مشاهداتی خسارت‌زای بدست آمده از ایستگاه‌های هیدرومتری مقایسه گردید که نتایج حاصل حاکی از عملکرد بالای این روش در شناسایی مناطق با قابلیت سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد دارد. به عنوان نمونه، بررسی نتایج بدست آمده از روش توزیعی حاکی از آن است که وضعیت سیل خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری شیرگاه-تالار، رزن-نور، سلیمان تنگه، قرآن-تالار و دوآب-چالوس در دسته با خطر سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند که کاملاً با نتایج حاصل از سیلاب‌های مشاهداتی که عمدتاً دارای دوره بازگشت بزرگتر از 50 سال هستند، منطبق می‌باشد. یکی از ویژگی‌های قابل توجه دیدگاه توزیعی این است که در این دیدگاه تغییرات مکانی مناطق در خطر سیل بدست می‌آید و با استفاده از آن می‌توان مناطق پر خطر را بهتر و با دقت بیشتری شناسایی نمود. بر خلاف دیدگاه‌های یکپارچه که تنها از خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه استفاده می‌نمایند، در دیدگاه توزیعی علاوه بر برآوردهای کلی، تغییرات مکانی مناطق مستعد سیل خیزی نیز حاصل می‌شود که برای اقدامات مدیریتی سیلاب می‌تواند حائز اهمیت باشد. با مشخص شدن توزیع مکانی

Azizian A, Shokoohi AR (2015). "Investigation of the Effects of DEM Creation Methods on the Performance of a Semi distributed Model: TOPMODEL". *Journal of Hydrologic Engineering* 20(11): 05015005(1-9).

Ballesteros CJA, Eguibar M, Bodoque MJ, Diez-Herrero A, Stoffel M, 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.

Brocca L, Melone F, Moramarco T (2011). "Distributed rainfall-runoff modelling for flood frequency estimation and flood forecasting". *Hydrol. Process.* 25: 2801–2813.

Chau VN, Holland J, Cassells S, Tuohy M (2013). "Using GIS to map impacts upon agriculture from extreme floods in Vietnam". *Appl. Geogr.* 41: 65–74.

Chenini I, Mammou AB, May MEL (2010). "Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in central Tunisia (Maknassy Basin)". *Water Resour. Manage.* 24: 921–939.

Eimers JL, Weaver JC, Terziotti S, Midgette RW (2000). "Methods of rating unsaturated zone and watershed characteristics of public water supplies in North Carolina. Raleigh", NC: *Water Resour. Invest. Report* 99–4283.

Gemitzi A, Petalas C, Tzihrintzis VA, Pisinaras V (2006). "Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques". *Environ. Geol.* 49(5): 653–673.

Goovaerts P (2000). "Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall". *J. Hydrol.* 228(1-2): 113–129.

Huang Y, Wong P, Gedeon T (1998). "Spatial interpolation using fuzzy reasoning and genetic algorithms". *J. Geogr. Info Decision Analysis.* 2(2): 204–214.

Kazakis N, Kougias I, 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.

Kourgialas NN, Karatzas GP (2011). "Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas: a case study". *Hydrol. Sci. J.* 56 (2): 212–225.

Kourgialas NN, Karatzas GP, Nikolaidis NP

مناطق مستعد سیل‌خیزی، ارگان‌های مسئول (مانند: سازمان مدیریت بحران، استانداری، شهرداری، اداره آب منطقه‌ای و ...) با دقت بیشتری می‌توانند نسبت به اعلام هشدار، اقدامات فنی پیشگیرانه در راستای کاهش خسارات، تعیین طرح‌های فرار و تخلیه و نصب و توزیع علائم هشدار دهنده (مانند پوسترها، بروشورها و نقشه‌ها در سطح شهر) اقدام نمایند.

5- منابع

امیدوار، ک؛ کیانفر، آ؛ عسکری، ش. (1389). "پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز کنجانچم"، *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره 72، دوره 42، ص.ص. 25-35.

رضوی‌زاده، س؛ شاهدی، ک. (1395). "اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS"، *فصل‌نامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، دوره 7، شماره 4، ص.ص. 33-46.

ملکیان، آ؛ افتادگان خوزانی، ا؛ عشوری زاده، غ. (1391). "پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی"، *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره 44، شماره 4، ص.ص. 131-152.

موسوی، م؛ نگهبان، س؛ رخشانی مقدم، ح؛ حسین‌زاده، م. (1395). "ارزیابی و پهنه بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده منطق فازی TOPSIS در محیط GIS"، *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، دوره 5، شماره 10، ص.ص. 79-98.

نسرین‌نژاد، ن؛ رنگزن، ک؛ کلانتری، ن؛ صابری، ع. (1393). "پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی"، *نشریه سنجش از دور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، دوره 5، شماره 4، ص.ص. 15-34.

نصرتی، ک؛ احمدی، م؛ ثروتی، م؛ مزبانی، م. (1392). "تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز دره شهر بر اساس مناطق همگن هیدرولوژیک"، *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، دوره 3، شماره 3، ص.ص. 119-137.

نیکجوی، م؛ روحان، ح. (1394). "پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز قورچای رامیان"، *مجله ترویج و توسعه آبخیزداری*، دوره 3، شماره 10، ص.ص. 30-42.

- probability flood event". *Environ. Sci. Policy* 59: 1–9.
- Schäuble H, Marinoni O, 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.
- Shaban A, Khawlie M, Abdallah C (2006). "Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon". *Journal of Hydrogeology.* 14(4): 433–443.
- Svoboda A (1991). "Changes in flood regime by use of the modified curve number method". *Hydrol. Sci. J.* 36(5): 461–470.
- Thielen AH, Kreibich H, Müller M, Merz B (2007). "Coping with floods: preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002". *Hydrol. Sci. J.* 52: 1016–1037.
- Van Der Veen A, Logtmeijer C (2005). "Economic hotspots: visualizing vulnerability to flooding". *Nat. Hazards* 36 (1–2): 65–80.
- Wang Y, Zhongwu L, Zhenghong T, Guangming Z (2011). "A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China". *Water Resour. Manag.* 25 (13): 3465–3484.
- Yahaya S, Ahmad N, Abdalla RF (2010). "Multicriteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'are River basin, Nigeria". *Eur. J. Sci. Res.* 42(1): 71–83.
- Zerger A (2002). "Examining GIS decision utility for natural hazard risk modeling". *Environ. Model. Software.* 17(3): 287–294.
- (2010). "An integrated framework for the hydrologic simulation of a complex geomorphological river basin". *J. Hydrol.* 381: 308–321.
- Kwak Y, 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.
- Liu YB, Gebremeskel S, De Smedt F, Hoffmann L, Pfister L (2003). "A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling". *J. Hydrol.* 283 (1–4): 91–106.
- Lloyd, C. D. (2005). "Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain". *J. Hydrol.* 308(1–4), 128–150.
- Malby AR, Whyatt JD, Timmis RJ, Wilby RJ, Orr HG (2007). "Long-term variations in orographic rainfall: analysis and implications for upland catchments". *Hydrol. Sci. J.* 52(2): 276–291.
- Morelli S, Battistini A, Catani F (2014). "Rapid assessment of flood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data: application to the Arno river case study (Firenze, northern Italy)". *Appl. Geogr.* 54: 35–53.
- Morgan RPC (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Prime T, Brown JM, Plater AJ (2016). "Flood inundation uncertainty: the case of a 0.5% annual

Determining flood hazard level of mazandaran sub-basins using a gis-based distributed method

Shima Rahmani¹, Asghar Azizian^{2*} and Amir Samadi³

1- MSc. in Water Structure, Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2, 3- Assistant Professor, Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

* azizian@eng.ikiu.ac.ir

Abstract

The most important step for prevention of flood's destructive effects is determining the flood-prone areas over the catchment. There are several approaches for flood prioritization and flood hazard mapping when it comes to flood subject, but the distributed and GIS-based methods are one of the best ones and widely used. Most of the studies that have carried out on this topic were based on analytical hierarchy process (AHP) or fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) for estimating the weight of factors affecting the formation of the flood. These methods depend on experts comments and owing to their unfamiliarity with all factors that affect the flood formation, it maybe leads to significant biases in the final results and unreasonable analyses. On this basis, a new method which considers the interaction between the effective factors is used in this study. Finally, by using a linear combination the flood hazard map is created for the study area and divided into five classes including very high, high, moderate, low and very low. Verification of this approach by using recorded destructive floods at different hydrometric stations indicates that the performance of this method, especially on identifying areas with very high and high hazard levels, is very remarkable. For example, the results of distributed approach in Shirgah-Talar, Razan-Noor, SoleimanTange, Ghoran-Talar and Doab-Challos hydrometric stations are completely matched with recorded historical floods that most of them have the return periods higher than 50-year and 100-year. One of the great advantages of this approach is that it can predict and determine the spatial pattern of flood-prone areas which is more important especially for local authorities and persons who are in areas with high danger of floods. After identifying the flood-hazard areas, the local authorities can set preventive measures for reducing flood damages, design evacuation plans and run campaigns such as posters and maps to inform the residents about the hazardous areas.

Keywords: Flood Potential, Distributed Approach, Flood, Risk Management, Flood Hazard Level.