راه‌کارهای بازدارنده برای جلوگیری از سیل به کمک سنجش از دور و رویکردهای تلفیقی منطق فازی و مدل‌سازی عامل‌مبنا

زهرا رضائی[1] محمدحسن وحیدنیا[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

****

چکیده

ایران یکی از کشورهایی است که در معرض سوانح طبیعی بسیاری قرار دارد که سیل یکی از جدی‌ترین آن‌هاست. چگونگی پایش و کنترل سوانح، ارزیابی خسارت و امدادرسانی از مهم‌ترین مشکلات دولت و کارشناسان مدیریت بحران محسوب می‌شوند. در صورت نظارت مستمر قبل از وقوع، ارزیابی دقیق در حین و بعد از وقوع سانحه، می‌توان از دامنه خسارات و هدررفت منابع انسانی و مادی جلوگیری کرد. جلوگیری از خطرات ناشی از سیل، ساماندهی و مدیریت سیل در رودخانه‌ها و نهایتاً بهسازی رودخانه‌ها، نیازمند تشخیص و تعیین پهنه‌های سیل‌خیز است. مدل‌سازی عامل‌مبنا (ABM)[3] رویکردی برای ارائه سیستم‌های شبیه‌سازی و انتزاعی به‌منظور کشف و بررسی الگوهای برآمده از عوارض مرتبط به محیط‌های مورد مطالعه می‌باشد. به‌عبارت دیگر، مدل‌سازی عامل‌مبنا به‌عنوان رویکردی نوین برای توسعه ابزارهای شبیه‌سازی در پدیده‌های پیچیده‌ی حوزه‌های مختلف از جمله بلایای طبیعی، مطالعات بیولوژیکی و شرایط امداد و نجات سیل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق، از دو رویکرد استنتاج فازی با درنظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر وقوع سیلاب و با بهره‌گیری از داده‌های حاصل از سنجش از دور و مدل‌سازی عامل‌مبنا برای تهیه نقشه خطر سیل به‌عنوان راه‌کارهای بازدارنده در جلوگیری از مخاطرات سیل در راستای مدیریت و تصمیم‌گیری قبل از وقوع سیل استفاده شده است. در نهایت نیز به مقایسه این دو رویکرد و بررسی کارکردهای آن‌ها پرداخته شده است. نتایج نشان‌دهنده پیچیدگی و دقت بیشتر روش‌های چند معیاره‌ای مانند استنتاج فازی می‌باشد. در حالی‌که روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و مدل‌سازی عامل‌مبنا سریع‌تر بوده و پیچیدگی این روش به‌دلیل استفاده از برنامه‌های نسبتاً آماده کمتر و در عین حال، دقت این روش نیز در مقایسه با روش منطق فازی کمتر است.

واژه‌های کلیدی: نقشه پهنه‌بندی خطر سیل، استنتاج فازی، مدل‌سازی عامل‌مبنا، استان گیلان

****

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات (نویسنده مسئول) Rezaee.ncc@gmail.com
۲- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقاتو vahidnia84@gmail.com
۳- Agent Based Modelling

۱- مقدمه

رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی در دهه‌های اخیر موجب شده تا سیلاب به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در جهان شناخته شود. از این رو شناخت پدیده سیلاب و روش‌های مقابله با آن و همچنین اثرات ناشی از آن، از مهم‌ترین مسائلی است که برنامه‌ریزان مدیریت بحران و سیاستگذاران مناطق شهری و روستایی باید به آن توجه کنند. در گذشته از روش‌های مقابله با سیلاب با رویکرد سازه‌ای مانند ساخت سیل‌بندها، آبشکن‌ها و دیواره‌سازی کناره‌های رودخانه به‌عنوان روش‌های کنترل سیل استفاده می‌شد. اما در سال‌های اخیر رویکرد غیرسازه‌ای کنترل و مدیریت سیلاب به‌عنوان روش بهینه مطرح شده است. عوامل گوناگونی در جاری شدن سیل دخالت دارند که از جملهٔ آن: شدت بارندگی، شیب حوضه، نفوذپذیری زمین، شرایط توپوگرافی، ویژگی‌های پوشش گیاهی و درجه اشباع شدن خاک را می‌توان به‌عنوان عوامل مؤثر در جاری شدن سیلاب نام برد *(یمانی و دیگران، ۱۳۸٤)*، ***(Vatanfada, 2009)***. در برخی مطالعات نیز عامل تغییر کاربری اراضی و افزایش شدت بهره‌برداری از مراتع و متعاقباً افزایش تولید رواناب به‌صورت جریان سطحی بررسی شده و میزان تأثیر آن در افزایش وقوع سیلاب اثبات گردیده است *(مصطفی‌زاده و دیگران، ۱۳۹۷)*.

از آنجایی‌که سیل با گذشت زمان شکل می‌گیرد، بازرسی و پایش مداوم مسیل‌ها قبل از وقوع سیل می‌تواند به برنامه‌ریزی صحیح برای پیشگیری و کاهش خطرات کمک کند. در این راستا، تصاویر ماهواره‌ای منابع مفید اطلاعات را در اختیار قرار می‌دهند. درواقع در مطالعات سیل روش‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور می‌تواند در نقشه‌سازی گستره سیل، ارزیابی اثرات و خسارات، کاهش خسارات به زیربناها در سیلاب دشت‌ها، مشخص نمودن روند تغییرات سیلاب‌ها و ارزیابی تکنیک‌های پیشگیری از سیل کمک شایانی کند. تهیه نقشه‌های سیلاب یکی از گام‌های مدیریت جامع سیل در هر سیلاب دشت می‌باشد. در این تحقیق، از روش‌های مدل‌سازی عامل‌مبنا در کنار فناوری سنجش از دور در تهیه نقشه خطر سیل به‌عنوان راه‌کار بازدارنده برای جلوگیری از سیل استفاده می‌شود. نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیل از انواع نقشه‌های سیل هستند که اطلاعات سیلاب در یک منطقه را به‌صورت نقشه‌هایی گویا و کاربردی در اختیار برنامه‌ریزان و ذینفعان قرار می‌دهند. به‌منظور شناسایی مستعدترین مناطق سیلاب و تهیه نقشه ریسک، می‌توان هفت عامل مؤثر را به طور کلی نظر گرفت. عوامل این نقشه‌ها عبارتند از: شدت بارندگی، ارتفاع، شیب، کاربری زمین، انباشت جریان، فرسایش‌پذیری و جنس خاک و فاصله از زهکشی شبکه‌ها. اهمیت نسبی هر پارامتر برای وقوع سیل و شدت آن با توجه به مقادیر وزن آن‌ها به مقادیر وزن مرتبط می‌باشد. به‌این منظور باید اطلاعات پارامترهای مختلف بر روی هم قرار گرفته، و در نتیجه نقشه خطر سیل ایجاد شود *(س ب ک، ۱۳۹۹)*، ***(Richard J & et al, 2011)***

به‌منظور تهیه نقشه خطر سیل و پایش تاریخچه وقوع سیلاب‌های رخ داده، نیاز به ابزارهای زمانی - مکانی می‌باشد. غالباً سامانه‌های GIS محدودیت‌هایی در خصوص پایش تغییرات عوارض در طول زمان دارند که این نواقص شامل عدم امکان نمایش مناسب از تغییرات مداوم پدیده‌ها می‌باشند. از این‌رو اکثر سامانه‌های GIS صرفاً قابلیت مدل‌سازی‌های ابتدایی را دارند. با این وجود، موارد متعددی برای توجیه دلیل استفاده یا ارتباط GIS با شبیه‌سازی / مدل‌سازی وجود دارد. مدل‌سازی در زمانی‌که تحلیل‌های زمانی و مکانی مورد نیاز باشد، از ابزارهای مؤثر می‌باشد *(س ب ک، ۱۳۹۹)*، ***(Andrew & et al, 2012)***.

۱-۱- ضرورت انجام تحقیق

در پژوهش‌های مختلف، از مدل‌سازی عامل‌مبنا به‌عنوان رویکردی برای ارائه سیستم‌های شبیه‌سازی و انتزاعی به‌منظور کشف و مطالعه الگوهای برآمده از عوارض مرتبط به محیط‌های مورد مطالعه استفاده می‌کنند. با این حال،

بهینه‌سازی و اعتبارسنجی مؤثر مدل‌های مبتنی بر عامل بدون داده‌های دنیای واقعی با کیفیت بالا دشوار است ***(Richard & et al, 2021)***.

استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل (ABM) برای مقابله با چالش‌های خطر مربوط به سیل در سال‌های اخیر به طور فزاینده‌ای محبوب شده است. در یک مدل عامل‌مبنا، بازیگران (یا عوامل) با استفاده از دستورالعمل‌های تجویز شده و رفتارهای مشاهده شده از سیستم تعامل می‌کنند ***(Juste & et al, 2020)***. مدیریت مؤثر حوادث سیل (FIM)[1] مستلزم عملکرد موفقیت‌آمیز سیستم‌های پیچیده و متقابل انسان و فناوری است ***(Richard J & et al,2011)***.

با توجه به روند رو به افزایش سیل در سال‌های اخیر که اکثر مناطق حاشیه دریای خزر در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارات و تلفات جانی و مالی سیل رو به افزایش است، برای پیش‌گیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند تعیین و شناسایی شوند تا بتوان حتی‌الامکان از بروز خسارات آتی پیشگیری نمود. از این‌رو در تحقیق حاضر، یکی از مناطق پربارش و سیل‌خیز کشور، استان گیلان که تاکنون به‌دلیل رخداد سیلاب‌های متعدد متحمل خسارات جانی و مالی بسیاری شده، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. از طرفی، با توجه به تعدد و پیچیدگی‌های عوامل دخیل در وقوع سیل، درک بهتر پویایی این چنین مخاطرات اقلیمی و در نظر گرفتن تلفیق دو عنصر اساسی زمان و مکان و تعیین روند پایش آن از اهداف این پژوهش می‌باشد. به‌این دلیل در یک رویکرد، بر اساس پارامترهای بااهمیت پایش وقوع سیل و تهیه نقشه ریسک آن با استفاده از منطق فازی نقشه ریسک سیل تهیه می‌شود. سپس با روش دیگری، عمل شبیه‌سازی در پایش مناطق مستعد سیل با استفاده از هوش مصنوعی صورت می‌پذیرد. در نهایت نتایج حاصله شامل نقشه‌های پیش‌بینی ریسک سیل بوده که با کمک شبیه‌سازی عامل‌مبنا و همچنین تصاویر ماهواره‌ای، به‌عنوان ابزارهای مناسب به‌منظور مدیریت بهینه بحران سیل در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌گیرند.

۱-۲- مروری بر تحقیقات گذشته

(ریچارد[2] و همکاران ،۲۰۱۱) در تحقیقی، با ارائه یک مدل عامل‌مبنای پویا از فرآیندهای FIM استفاده کردند. در این مدل، اطلاعاتی همچون داده‌های توپوگرافی، ساختمان‌ها و شبکه‌های جاده‌ای را که به‌صورت سنجش از دور جمع‌آوری شده، با داده‌های نقشه‌برداری تجربی به‌منظور تناسب‌دهی با ویژگی‌های جوامع خاص ادغام کرده و با استفاده از شبیه‌سازی چندعاملی همراه با یک مدل هیدرودینامیکی تلفیقی، آسیب‌پذیری افراد را در برابر طغیان رودخانه‌ها در حین طوفان، سناریوهای نقض دفاعی، زمان هشدار سیل و استراتژی‌های تخلیه تخمین زدند. مزایای این سیستم، تجزیه و تحلیل خطرات ناشی از سیل برای مردم، پشتیبانی از برنامه‌ریزی اضطراری در هنگام سیل و مدیریت بهینه بحران سیل می‌باشد ***(Richard J & et al,2011)***.

(فلاویو[3] و همکاران، ۲۰۱۵) در تحقیقی یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی ایجاد کردند تا با استفاده از ترکیب شبکه سنسورهای وای‌فای (WSN)[4] و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در ترکیب با شبکه سنسورهای وای‌فای بتواند در مدیریت خطرات سیل مفید باشد. این ادغام WSN,VGI می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های سازمان‌های تصمیم‌گیر در شرایط بحرانی کمک کند، زیرا برای مناطقی که شبکه سنسورهای وای‌فای‌دار آن ضعیف یا از نظر تراکم، کم‌تراکم باشد می‌توان از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه برای پوشش این مناطق استفاده نمود ***(Flávio & et al,2015)***.

(مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷) در تحقیقی با به‌کارگیری تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[5]،

1- Flood Incident Management

2- Richard

3- Flávio

4- Wifi Sensor Network

5- Multiple-Criteria Decision-Making

به جانمایی بهترین مکان‌های سدهای کنترلی و بررسی و مشخصات فیزیکی مورد نیاز احداث این سازه‌ها درراستای برنامه‌ریزی پروژه‌های کنترل سیل پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از توزیع مکانی این سازه‌ها، تعداد و ارتفاع سدهای کنترلی، چندین سناریو برای مدیریت سازه‌ها تدوین شد و برای هر سناریو، هیدروگراف‌های سیل را برای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی کردند. نتیجه این تحقیق، نشان‌دهنده کارآمدی رویکرد اجرا شده در تخصیص سازه‌های کنترل سیلاب در مناطق مورد مطالعه می‌باشد ***(Mostafazadeh & et al,2017)***.

(آبب[1] و همکاران، ۲۰۱۹) در تحقیقی یک چارچوب مدل‌سازی با امکان ادغام هوش انسانی و مؤلفه‌های فیزیکی ریسک سیل تشریح کردند که، در این سیستم قابلیت مدیریت خطر سیل وجود دارد. در این تحقیق، از مدل‌های عامل‌مبنا در شبیه‌سازی افراد و مؤسسات و مدل‌های عددی سیل استفاده شده است. در مدل‌های مطالعاتی این تحقیق چگونگی تغییر خطر سیل در طول زمان نسبت به پویایی انسان در محیط شهری بررسی شد. در نهایت نیز مدل‌های عامل‌مبنای سیل برای تجزیه و تحلیل گزینه‌های خطر سیل و آسیب‌پذیری جوامع و حمایت از تصمیم‌گیری سیاست‌های مختلف استفاده و تشریح شدند ***(Abebea & et al,2019)***.

(متیو[2] و همکاران، ۲۰۱۹) در تحقیقی، به بررسی مخازن آب باران و حوادثی ناشی از آن که منجر به سیل شده، پرداختند. در این تحقیق از سیستم‌های هوشمند عامل‌مبنا در بررسی مخارن آب ناشی از نزولات جوی استفاده شد. به‌این منظور، مخازن هوشمندی برای باز و بسته شدن خودکار به‌منظور کاهش خسارات جریان‌های شدید طراحی شدند. در ارزیابی روش به‌کار گرفته، از مدل شبیه‌سازی بهینه‌سازی با اتصال به یک الگوریتم ژنتیک چند هدفه SWMM استفاده شد. با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق، کاهش مداوم جریان شدید برای یک طوفان ۲٤ ساعته در طیف وسیعی از الگوهای بارندگی و اندازه مخازن، محقق شد. هدف از به‌کارگیری این سیستم‌های هوشمند، کاهش هزینه زیرساخت‌های آب حاصل از طوفان می‌باشد ***(Matteo & et al,2019)***.

(ژنگ[3] و همکاران، ۲۰۱۹) در تحقیقی، به بررسی مدل‌های تجزیه و تحلیل انتزاعی پدیده‌ها و فرآیندهای جغرافیایی که با مسائل زیست‌محیطی مرتبط هستند، پرداختند. آن‌ها در این تحقیق، به مدل‌سازی و شبیه‌سازی مشترک با استفاده از مدل‌ها در محیط وب باز برای تحقیقات جغرافیایی و زیست‌محیطی؛ به منظور ایجاد، مدیریت و انتشار خدمات مدل plug-and-play پرداختند. هدف این پروژه طراحی و توسعه یک سیستم مبتنی بر مدل‌های تجزیه و تحلیل و سرویس به کاربران بوده و نهایتاً، شکاف بین تولیدکنندگان داده‌های شبیه‌سازی شده مکانی و کاربران با توجه به استانداردهای گردش کار، مدیریت خدمات و فراخوانی خدمات مدل تعاملی، برطرف شده است ***(Zhang & et al,2019)***.

(لوژوا[4] و داوی هنب، ۲۰۲۰) در تحقیقی، در خصوص نتایج برگرفته از مطالعه بالغ بر ٦۰ مقاله علمی تحقیقاتی، به مزایا و محدودیت‌های رویکردهای عامل‌مبنا در مدیریت خطر سیل پرداختند. در این خصوص، سه موضوع مشخص مدیریت اضطراری سیل در زمان واقعی، برنامه‌ریزی سازگاری طولانی مدت با سیل و مدل‌سازی هیدرولوژیکی سیل جزء چالش‌های تحقیقاتی سال‌های اخیر بوده‌اند. مطالعات نشان‌دهنده آن است که به‌کارگیری ABM در مدیریت ریسک سیل در آینده به کاربردهای عملی آن در تصمیم‌گیری در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های عملیاتی بسیار حیاتی می‌باشد. از جمله نواقصی که در این رویکردها وجود دارد، پیاده‌سازی‌های موقت تصمیم‌گیری و شبیه‌سازی رفتاری در مدل‌های ABM بوده که باعث می‌شود این برنامه‌ها در این زمینه واقع‌بینی کمتری داشته باشند و باید به‌منظور ارتقا و توسعه این مدل‌ها، اقدامات مؤثری انجام شود ***(Zhang & et al,2020)***.

1- Abebe
2- Matteo
3- Zhang
4- LuZhuoa & DaweiHanb

۲- مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

با توجه به رشد بالای خسارت سیل در کشور، شناسایی مناطق پرخطر در مقابل سیل بسیار ضروری است. استفاده از GIS و تکنیک‌های آن در مهندسی رودخانه، از گام‌های اساسی تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب می‌باشد ***(Dubbelboer & et al,2017)***.

به‌طور کلی در خصوص پدیده سیلاب، سه نوع خطرپذیری وجود دارد که باید مدیریت شود. این موارد عبارتند از:

- **خطرپذیری(ریسک) سیلاب موجود:** در این حالت ارزیابی خطرپذیری سیلاب برای شرایط فعلی سیلاب دشت شامل کاربری اراضی در وضعیت موجود انجام می‌شود.
- **خطرپذیری (ریسک) سیلاب آینده:** خطرپذیری در شرایط توسعه سیلاب دشت در آینده ارزیابی می‌شود. با اطلاع از وضعیت خطرپذیری سیلاب دشت در آینده، برنامه‌ریزی استراتژیک کاربری اراضی برای توسعه سیلاب دشت امکان‌پذیر خواهد بود.
- **خطرپذیری (ریسک) سیلاب باقیمانده:** میزان خطری است که در هر دو منطقه توسعه‌یافته فعلی و آینده، پس از اقدامات مدیریتی نظیر برنامه‌ریزی کاربری اراضی و انجام اقدامات تسکین سیل در منطقه باقی می‌ماند.

اگر چه برای کنترل سیلاب با ارائه برنامه‌های جامع مدیریت سیل، میزان خطرپذیری منطقه در مواجهه با سیل کاهش می‌یابد، اما همچنان بخشی از سیلاب دشت توسط سیل تهدید می‌شود. ارائه برنامه‌های مدیریتی در راستای کاهش خطرپذیری سیلاب، نقش بسزایی در کاهش خطرپذیری باقی‌مانده ایفا می‌کند ***(س ب ک، ۱۳۹۹)***، ***(ملایی و دیگران، ۱۳۹۸)***، ***(یمانی و دیگران، ۱۳۸٤)***. روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه‌های خطر سیل وجود دارد که با توجه به نیاز طرح، کاربرد نقشه‌ها، محدودیت زمانی و مالی، می‌توان یکی از روش‌ها را انتخاب و نقشه‌های سیلاب را بر مبنای آن تهیه نمود. انتخاب روش تهیه نقشه‌های خطر سیلاب به اهداف تهیه نقشه، قابلیت دسترسی به اطلاعات مورد نیاز و سطح علمی متخصصان مربوطه بستگی دارد. در این تحقیق، دو روش مدل‌سازی بر مبنای هوش مصنوعی و روش پارامترهای مؤثر بر سیل و وزن‌دهی به معیارها مورد بررسی قرار گرفته و نتایج با هم مقایسه می‌شوند و درنهایت رویکرد بهینه مبنای کار قرار می‌گیرد.

۳- منطقه مورد مطالعه

استان گیلان یکی از استان‌های شمالی کشور با مساحت ۱٤۷۱۱ کیلومتر مربع می‌باشد. این استان در ۳٦ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ٤۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳٦ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار قرارگرفته است. براساس تقسیمات ارائه شده طرح جامع آب کشور، این استان دارای چهار حوضه آبریز می‌باشد: حوضه آبریز تالش، حوضه آبریز تالاب انزلی، حوضه آبریز سفید رود و حوضه آبریز شرق گیلان. استان گیلان پرباران‌ترین استان کشور محسوب می‌شود به‌نحوی که بارندگی سالیانه در برخی از مناطق آن از ۲۰۰۰ میلی‌متر تجاوز می‌کند. میانگین بارندگی سالانه کشور ۲۵۰ میلی‌متر است میانگین بارندگی در استان گیلان ۱۱۵۵ میلی‌متر می‌باشد.

شرایط اقلیمی مناسب باعث گردیده که این استان به‌عنوان یکی از استان‌های سرسبز و حاصلخیز به‌شمار آید. جنبه دیگر این شرایط، جریان سیلاب‌های شدید همراه با خسارات فراوان است. گیلان از جمله بخش‌هایی از کشور است که در سالیان اخیر، اثرات خشکسالی‌ها و سیلاب‌های ناگهانی را تجربه کرده و وقوع سیلاب در این استان بسیار متعدد بوده و با توسعه جوامع شهری و روستایی، فشار برمنابع طبیعی افزایش یافته و علاوه بر شرایط طبیعی مانند میزان بارندگی، شرایط اقلیمی و توپوگرافی عوامل دیگری که ناشی از تأثیر انسان‌ها بر محیط می‌باشد مانند بهره‌برداری نادرست از منابع آب و خاک و همچنین عدم مدیریت صحیح نیز در این مسأله مؤثرند. علی‌رغم اهمیت رودخانه‌های استان و تأثیر اقتصادی زیاد آن‌ها، تاکنون توجه زیادی به آن‌ها نشده است و در هیچکدام از رودخانه‌های

نگاره۱: نمایش موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به‌همراه DEM و رودخانه‌ها

استان متأسفانه ساماندهی و مهار سیلاب جامعی انجام نشده است *(ملاشاهی و دیگران، ۱۳۹۷)*.

٤- روش‌ها و تکنیک‌ها

عموماً تعیین میزان آسیب‌پذیری یک منطقه در مواجهه با سیلاب می‌تواند با استفاده از روش‌های زیر تعیین شود:

- روش داده‌های خسارت سیلاب‌های گذشته
- روش توابع آسیب‌پذیری
- روش وزن‌دهی به معیارها (شاخص‌های آسیب‌پذیری FVI)[1]

روش وزن‌دهی به معیارها: علاوه بر روش‌های تاریخی و ژئومورفولوژی و هیدرولیکی روش‌های وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره در سال‌های اخیر مورد استفاده محققین قرار گرفته است. در روش وزندهی برای هر یک از معیارهای آسیب‌پذیری شاخص‌هایی تعریف می‌شود که با وزن‌دهی به هر یک از شاخص‌ها و جمع وزنی آن‌ها میزان آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب تخمین زده می‌شود. در این روش می‌توان آسیب‌پذیری هر معیار را به‌طور جداگانه یا ترکیب آسیب‌پذیری چندین معیار را با یکدیگر اندازه‌گیری نمود ***(Büchele & et al, 2006)*** ،***(Dilley & et al, 2005)*** . روش این تحقیق بر پایه روش تحلیلی استوار بوده است و تکنیک کار، کمیت‌پذیری هر یک از متغیرهای مؤثر در سیل‌خیزی (جنس خاک، شیب، و...) می‌باشد.

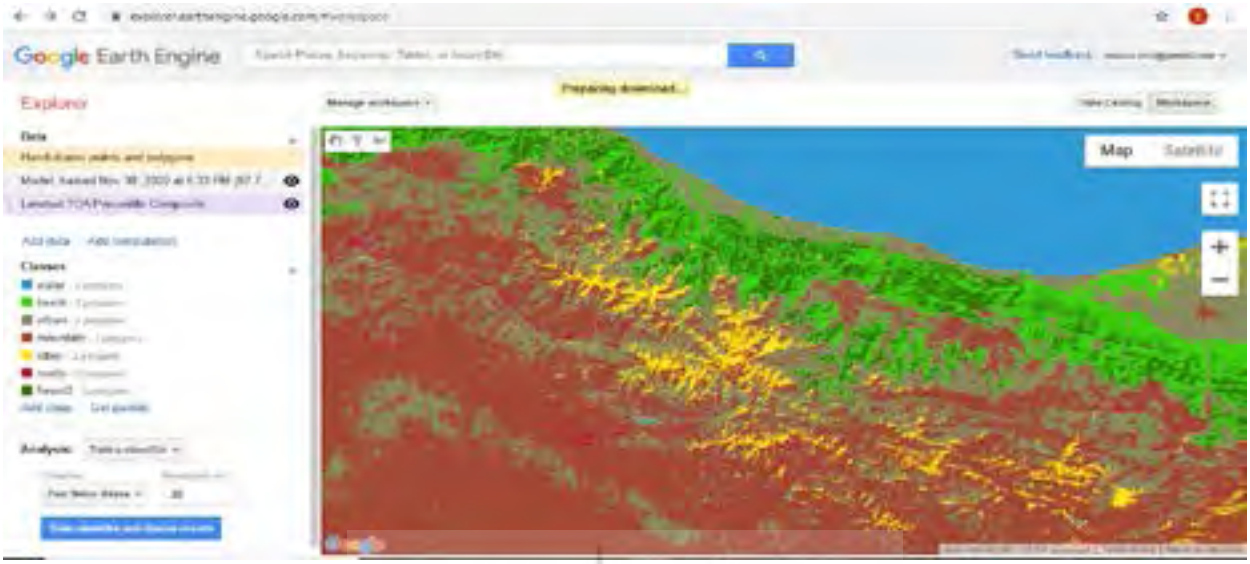
٤-١- داده‌ها و پارامترهای مؤثر

به‌منظور طراحی و پیاده‌سازی اولیه، داده‌های مرتبط با پدیده سیلاب در استان گیلان به‌شرح زیر، گردآوری گردید.

- نقشه شیب منطقه به‌دست آمده از لایه DEM
- نقشه کاربری اراضی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای
- نقشه فاصله از رودخانه‌ها و مسیل‌ها
- نقشه جنس خاک (ویژگی‌های فیزیکی خاک) و استخراج مناطق با پوشش خاک مستعد بروز سیل

در این روش، می‌توان با درنظر گرفتن تکنیک‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و درنظر گرفتن نمونه‌های مناسب، به طبقه‌بندی تصویر و نهایتاً نقشه کاربری اراضی منطقه رسید. منظور از نمونه‌های مناسب در این روش، تعیین عوارض مشخصی است که معرف طبقه‌بندی اراضی در کلاس‌های مختلفی همچون زراعی، جنگل، مناطق شهری، کوهستانی و غیره، می‌باشد. در ادامه روند اجرا، تمامی لایه‌های فوق، با استفاده از توابع تحلیلی موجود در ArcGIS به‌صورت رستری و قابل استفاده در محاسبات

1- Flood Vulnerability Index



نگاره۲: تکنیک طبقه‌بندی تصاویر و اخذ نمونه‌های مناسب برای طبقه‌بندی عوارض در تهیه نقشه کاربری اراضی

منطق فازی، فازی‌سازی شده و برای تهیه نقشه خطر سیل پردازش شدند.

٤-۲- رویکرد اول؛ به‌کارگیری منطق فازی در پهنه‌بندی نقشه ریسک سیل

با توجه به اینکه پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت‌تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صددرصدی نیستند، بنابراین بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به جای استفاده از مدل بولین که لازمه آن داده‌های دقیق و کمی است، از مدل فازی استفاده شود. با استفاده از نظریه فازی می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی درآورد *(محمودزاده و دیگران، ۱۳۹۷)*.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

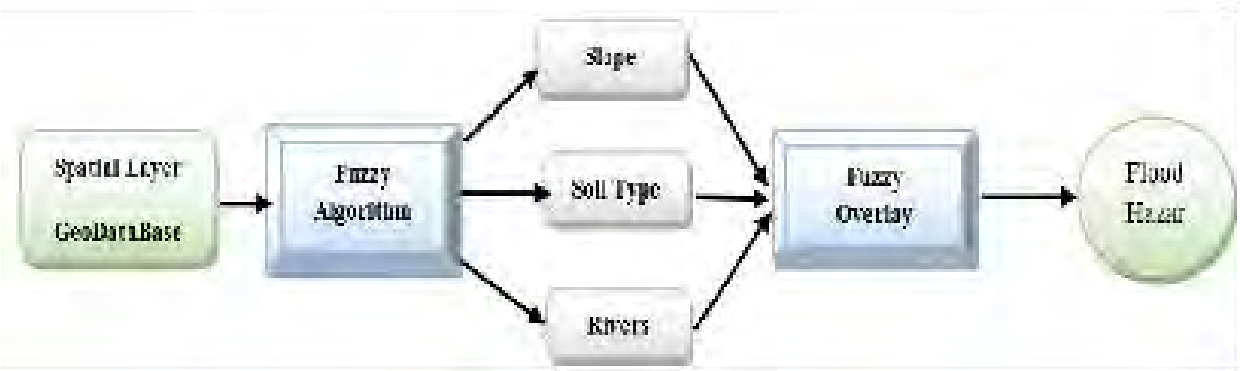
رابطه(۱)

بنیاد منطق فازی بر شالوده نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموعه هست یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک و باینری تبعیت می‌کند. اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی - و نه کاملاً - عضو یک مجموعه باشد *(مختاری و دیگران، ۱۳۹۵)*.

٤-۲-۱- عملگر گامای فازی (Gamma) در محاسبات برهمپوشانی[1] اطلاعات

این عملگر، حالت کلی از ضرب و جمع فازی است که در آن فاکتورها طبق رابطه(۲) تلفیق می‌شوند. در این رابطه مقدار γ بین اعداد صفر تا یک قابل تعیین است. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی از شواهد کاهشی و اثر برخی دیگر افزایشی باشد. قابلیت روانابی، پارامتری است که به خصوصیات فیزیکی حوضه بستگی داشته و مقادیر آن به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شرایط و نوع پوشش خاک، رطوبت خاک و غیره وابسته می‌باشد. بنابراین، این درصد در کاربری‌های مختلف اراضی متغیر بوده و در مناطقی که قابلیت نفوذ آب در آن‌ها کمتر باشد مانند مناطق باز و مسطح با فقر پوشش گیاهی و جنس خاک غیرقابل نفوذ همچون انواع خاک با پایه رس در شیب‌های تند، میزان تشکیل و تجمع رواناب بالاتر رفته و خطر سیلاب در این مناطق بیشتر می‌شود ***(Yitea & et al, 2015)***. در این تحقیق، پس

1- Overlay



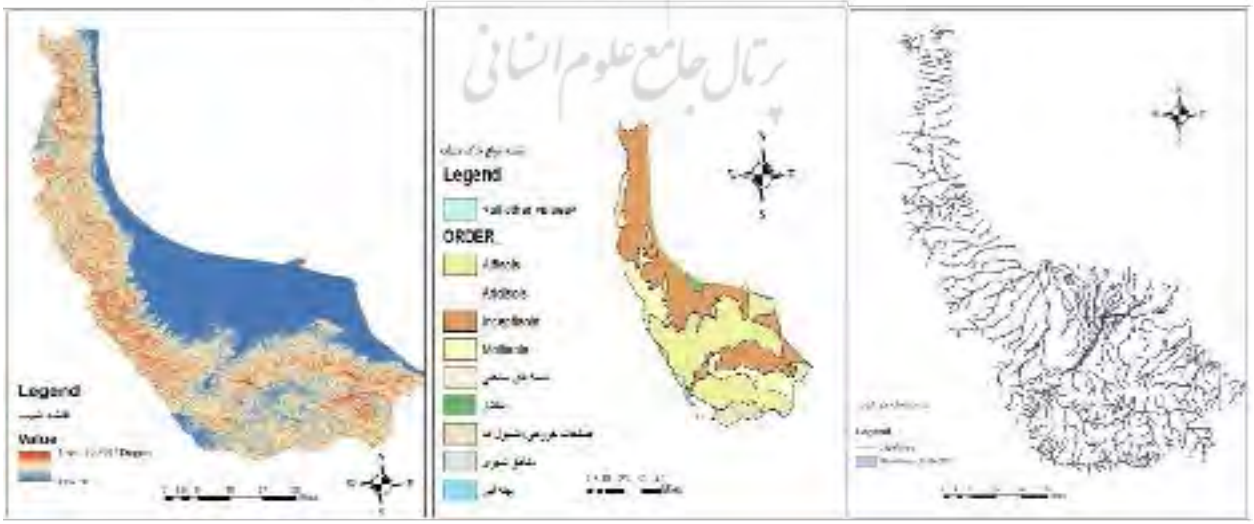
نگاره۳: مدل مفهومی محاسبات فازی پارامترها

از تعیین معیارها و فاکتورهای مناسب، از نقشه‌های رقومی موجود و داده‌های مختلف برای تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز اولیه استفاده شد که این اطلاعات پس از ویرایش و تعریف روابط توپولوژیک وارد فضای تحلیلی نرم‌افزار ArcGIS شدند.

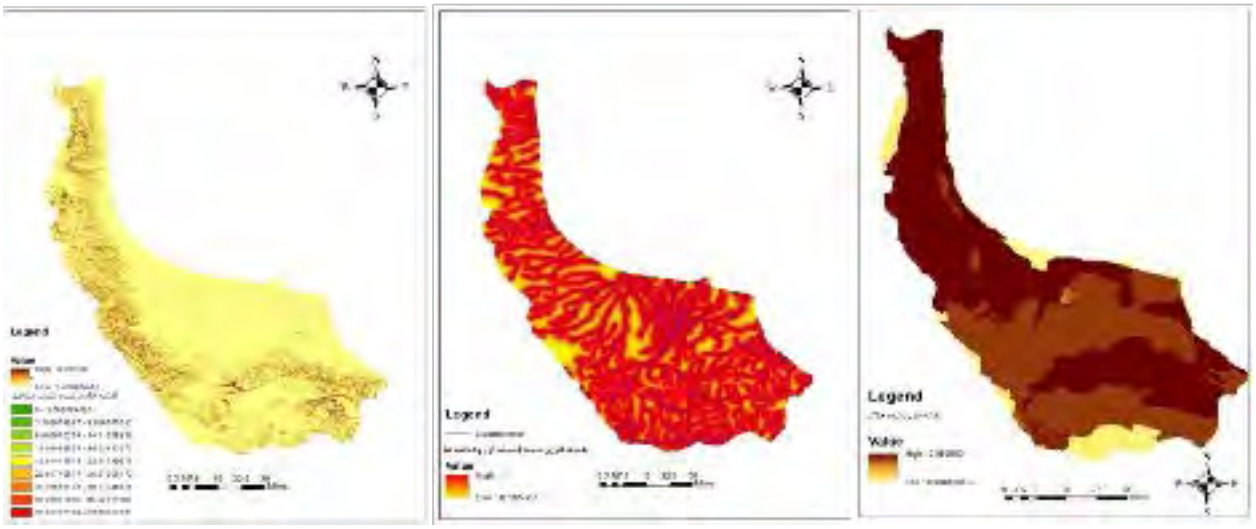
$$\mu_{Combination} = (Sum)^{\gamma}_{\alpha} (Product)^{1-\gamma}$$

رابطه(۲)

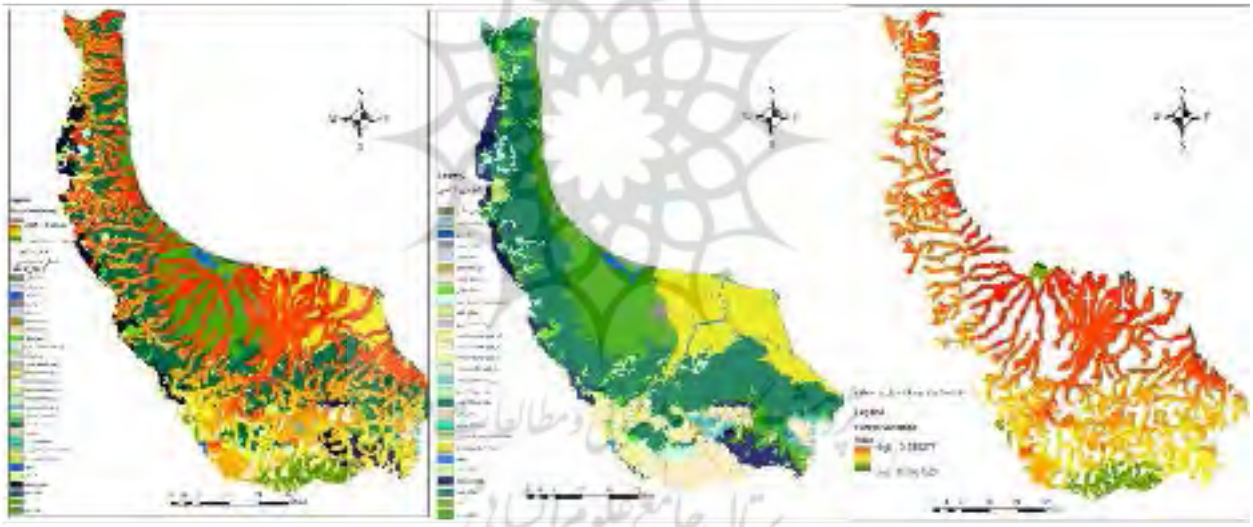
در نگاره۳، مدل مفهومی محاسبات پارامترهای پهنه‌بندی خطر سیل به روش منطق فازی نشان داده شده است. در سری تصاویر نگاره‌های (٤و٥)، نقشه‌های پارامترهای مؤثر بر وقوع سیل همچون شیب، جنس خاک و رودخانه‌ها و نقشه فازی شده آن‌ها نشان داده شده و نهایتاً از مدل Fuzzy Overlay به‌منظور برهم‌نهی فازی شده این پارامترها برای تعیین محل‌های خطر استفاده شد. در این محاسبات، از عملگر گاما فازی برای برهم‌نهی فازی نهایی استفاده شد. عملگر گاما نقش تعدیلی نسبت به جمع و ضرب فازی دارد و حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. این عملگر درواقع، برحسب حاصل‌ضرب جبری فازی و و حاصل‌جمع جبری فازی تعریف می‌شود. مقدار در نظر گرفته شده برای گاما مقادیری در خروجی ایجاد کرده که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهشی ضرب جبری فازی سازگاری دارد. بنابراین، انتخاب صحیح



نگاره٤: نقشه پراکندگی پارامترهای مؤثر بر سیل (از راست به چپ) رودخانه‌های منطقه، جنس خاک و شیب



نگاره۵: نقشه فازی شده پارامترهای مؤثر بر سیل (چپ به راست) پوشش جنس خاک منطقه، فاصله از رودخانه‌ها و شیب



نگاره٦: نمایش مناطق مستعد بروز سیل، کاربری اراضی و نقشه برهم‌نهی شده کاربری اراضی و مناطق مستعد سیل

مقدار گاما در ارتقای دقت کار بسیار مهم است. با توجه به مطالعات انجام شده و نتایج آن‌ها و نیز اجرا و مقایسه مقادیر مختلف گاما، در نهایت از گامای ۰/۸ استفاده شد. نتیجه خروجی تحلیل این نقشه‌ها و برهمپوشانی آن‌ها براساس روش Fuzzy Overlay در نگاره٦ ارائه شده است. در این نگاره، مناطق مستعد بروز سیل با رنگ قرمز تیره نمایش داده شده‌اند و با توجه به فازی بودن خروجی نهایی، هرچه رنگ مناطق قرمز و نارنجی تیره‌تر باشد، پتانسیل سیل در این نواحی بیشتر می‌باشد. در کنار این نقشه، نقشه رستری شده کاربری اراضی استان گیلان نیز به منظور مقایسه زمین- ه‌ای مستعد سیل و نقشه برهم‌نهی این دو به‌منظور مقایسه و ارزیابی نهایی نتیجه آورده شده است. با مقایسه نتایج برهم‌نهی این نقشه‌ها مشخص می‌شود اکثرا نواحی سیل‌خیز در مناطقی پوشیده از جنس خاک Affisols (جنس خاک با پایه غنی از رس) و در اراضی زراعی و باغات که غالباً در نواحی کم ارتفاع و پست واقع شده، می‌باشند.

٤-۳- هوش مصنوعی و مدل‌سازی عامل‌مبنا

ظهور رایانش سریع امکان رویارویی با مشکلات پیچیده‌تر را فراهم کرده و با قابلیت ایجاد مدل‌های پیچیده‌تر و تحلیل آن‌ها از عهده حل مشکلات بسیاری برآمده است. هوش مصنوعی شاخه‌ای از علوم کامپیوتر است که به مطالعه‌ی عامل‌های هوشمند (Intelligent Agents) می‌پردازد. عامل هوشمند وسیله‌ای است که با درک دنیای پیرامون، احتمال دستیابی به اهدافش را بیشینه می‌کند ***(Andrew & et al, 2012) (Krzysztof & et al, 2020)***.

یک تعریف واضح‌تر از هوش مصنوعی عبارت است از: توانایی یک سیستم برای تفسیر داده‌های خارجی. این سیستم با دیدن داده‌ها، یاد می‌گیرد و آموخته‌های خود را برای رسیدن به اهداف خاصی به کار می‌بندد. مهم‌ترین مفهوم در هوش مصنوعی، الگوریتم‌ها هستند. الگوریتم‌ها فرمول‌های ریاضی هستند که یک کامپیوتر معمولی را قادر ساخته تا به‌صورت هوشمندانه به حل مسئله بپردازند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی در واقع کامپیوتر را قادر می‌کنند تا به‌صورت مستقل به یادگیری بپردازد ***(Richard & et al, 2021)***. در این تحقیق، در دومین رویکرد، از فناوری هوش مصنوعی برای شبیه‌سازی سیل در منطقه مورد مطالعه استفاده شده و در ادامه مقایسه خروجی‌های این دو روش و نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

٤-۳-۱- رویکرد دوم؛ شبیه‌سازی با استفاده از هوش مصنوعی در تعیین مناطق سیل‌خیز

مدل‌سازی امکان مشاهده و بررسی یک وضعیت یا شرایط را با پیش‌فرض‌های کمتر فراهم کرده، زیرا می‌تواند پویایی اساسی یک موقعیت را بررسی کند. مدل‌سازی عامل‌مبنا روش جدیدی را با انجام آزمایش‌های مبتنی بر رایانه برای حصول علم ارائه می‌دهد. ABM برای سیستم‌های پیچیده‌ای که در زمینه‌های طبیعی، اجتماعی و مهندسی تعبیه شده‌اند، در دامنه‌هایی از مهندسی تا محیط‌زیست قابل استفاده است. AI-GIS ترکیبی از فناوری AI با توابع مختلف GIS است، از جمله الگوریتم‌های پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی (GeoAI) که از فناوری AI استفاده می‌کند، و اصطلاحی کلی برای یک سری فناوری‌های توانمندسازی توأمان AI و GIS می‌باشد ***(Abebea & et al, 2019) (Macal & et al, 2010)***. از این‌رو به منظور شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز و مناطق تحت ریسک سیل می‌توان از روش مدل‌سازی هیدرولیکی استفاده نمود. مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به‌منظور شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌ها و مناطق اطراف آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً در این روش‌ها به جزییات مدل‌سازی سیلاب نیز پرداخته می‌شود و محدوده گسترده‌ای از مدل‌سازی رواناب و تخمین میزان سیلاب در یک حوضه آبریز تا مدل‌سازی یک یا دو بعدی جریان سیلاب در یک رودخانه را شامل می‌شود *(ملایی و دیگران، ۱۳۹۸)*. برای پیاده‌سازی مدل‌های عامل‌مبنا ابزارهای متعددی طراحی شده‌اند که یکی از پرکاربردترین آن‌ها Netlogo می‌باشد. از افزونه GIS در NetLogo می‌توان برای پیاده‌سازی مدل‌های عامل محور به‌منظور بررسی پدیده سیلاب برپایه به‌کارگیری مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده نمود (www.ccl.northwestern.edu). در این مدل، جریان قطرات باران در سرازیری روی سطح زمین شبیه‌سازی می‌شود. در این تحقیق، از لایه رستری DEM منطقه گیلان برای محاسبه شیب[1] (زاویه عمودی) و جهت شیب[2] (زاویه افقی) سطح زمین استفاده شده است. سپس شبیه‌سازی جریان قطره‌های باران که با حرکت مرتب به جلو و با سرعت ثابت به سمت و سوی دیگر تغییر جهت دارند، و در سطوح پایین سرازیر می‌شوند شبیه‌سازی می‌شوند.

٤-۳-۲- محاسبات ریاضی و هندسی شیب و جهت شیب مورد استفاده در مدل‌های رقومی ارتفاعی

برای محاسبه شیب بین دو نقطه، مطابق نگاره۷ اختلاف ارتفاع دو نقطه ابتدا و انتها را محاسبه و بر فاصله آن دو

1- slope
2- aspect

تقسیم می‌کنند. اما وقتی برای یک پیکسل از DEM منطقه شیب مد نظر باشد، محاسبات پیچیده‌تر می‌شود. زیرا در هریک از جهات هشتگانه می‌توان یک شیب داشت. بنابراین با استفاده از میانگین‌گیری تغییرات ارتفاع در راستای محورهای X و Y، می‌توان شیب آن نقطه را محاسبه نمود.

$$S_{angle} = \tan^{-1}(y / x)$$

$$slope_radians = atan\left(\sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)}\right)$$

$$slope_degrees = atan\left(\sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)}\right) * 57.29578$$

رابطه(۳)

جهت شیب (Aspect)، نیز مطابق نگاره۷ زاویه اصلی شیب اصلی را در مقایسه با جهت شمال نشان می‌دهد. به همین ترتیب جهت شیب هم برای یک پیکسل از رابطه (٤) محاسبه می‌شود :

```
Aspect = 57.29578 * atan2 ([dz/dy], - [dz/dx])
if aspect < 0
cell = 90.0 - aspect
else if aspect > 90.0
cell = 360.0 - aspect + 90.0
else
cell = 90.0 – aspect
```

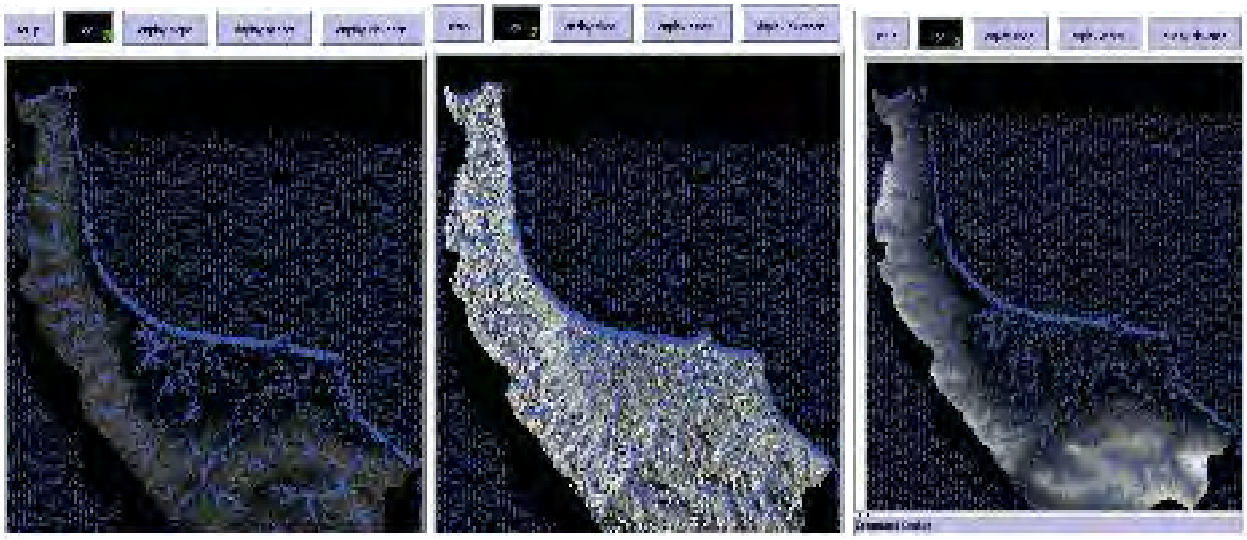
رابطه (٤)

در ادامه، مراحل اجرای مدل‌سازی پدیده جریان بارش در محیط Netlogo ارائه شده است. مطابق تصویر در نگاره۸

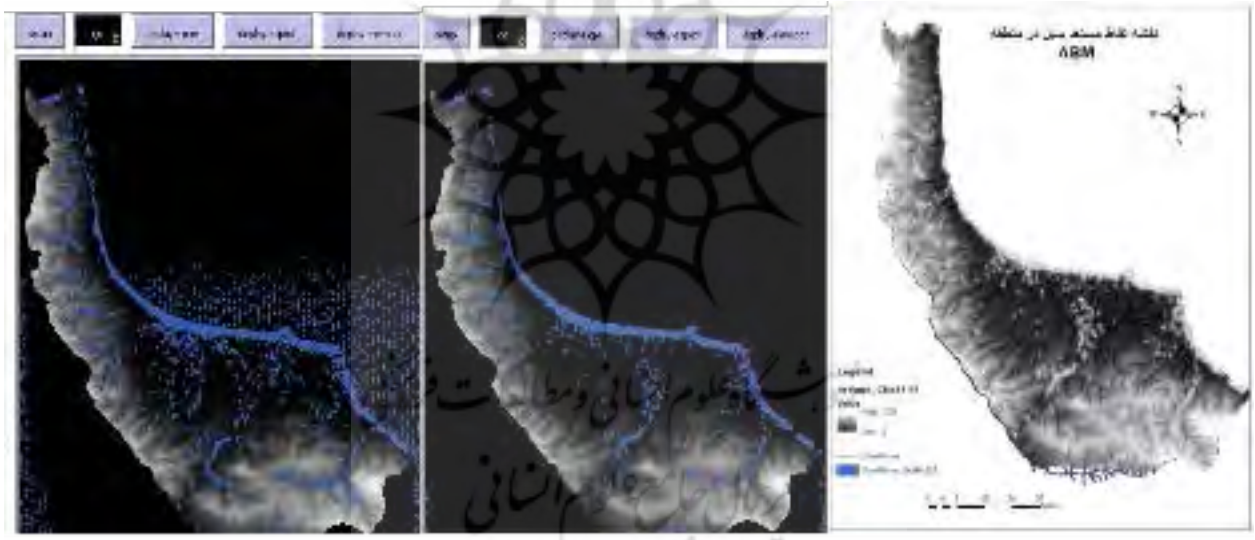
همانطور که نشان داده شده، عامل‌ها با گذشت زمان، به سمت مناطق خاصی حرکت کرده و تجمع می‌کنند. این مدل عامل‌مبنا نشان‌دهنده نواحی جمع‌آوری رواناب و سیلاب با گذشت زمان می‌باشد.

همانطور که در ترتیب تصاویر نگاره‌های (۸ و ۹) مشخص است، هرچه زمان بیشتری از بارش بگذرد، مناطق تشکیل‌دهنده سیلاب متمرکزتر شده و در نهایت رواناب حاصله به دریا، رودخانه‌ها و دریاچه و سد ریزش خواهد کرد. از این‌رو، با استفاده از این نرم‌افزارها که برپایه هوش مصنوعی طراحی شده‌اند، می‌توان مناطق مستعد سیلاب را شناسایی و نقشه خطر سیل را تهیه نمود. تصویر نهایی مدل عامل‌مبنا با گذشت زمان در کنار نقشه رودخانه‌ها و DEM منطقه در نگاره۹ ارائه شده است. همانطور که در تصاویر مشخص است، حرکت و تجمع عامل‌ها در کنار رودخانه‌ها و اطراف آن‌ها و در مناطقی که ارتفاع کمتری دارند، بیشترین تعداد را دارد. این موضوع تأیید کننده خطر بروز سیل در حریم رودخانه‌ها و نواحی پست می‌باشد. از برهم‌نهی تصاویر ژئورفرنس شده نقاط مستعد سیل در منطقه (عامل‌های نشان داده شده در DEM) و نقشه کاربری اراضی و نقشه پوشش خاک منطقه مطابق با تصاویر نگاره۱۰ می‌توان مشاهده نمود که نواحی با کاربری کشاورزی و زراعت و جنس خاک Affisols دارای حرکت و تجمع بیشترین تعداد عامل (علائم سفید رنگ در نقشه)

نگاره۷: نمایش هندسه slope و aspect



نگاره۸: نمایش شیب، جهت شیب و حرکت زمانمند عامل‌ها در منطقه در نرم‌افزار Netlogo

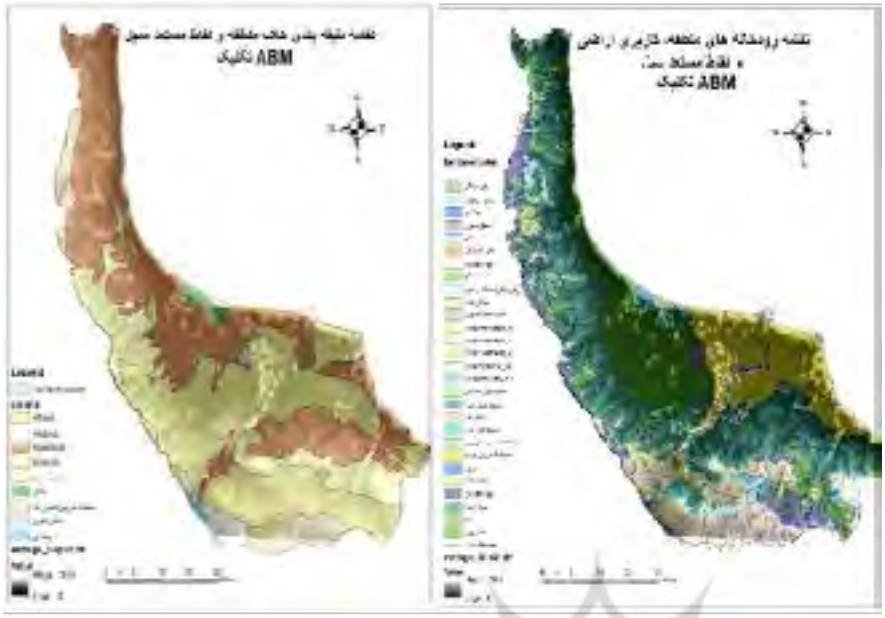


نگاره۹: شبیه‌سازی وقوع سیل با روش مدل‌سازی عامل‌مبنا در نرم‌افزار Netlogo **در زمان‌های مختلف و نقشه پراکندگی مکانی عامل‌های تجمع رواناب**

و میزان نسبتاً متوسط‌تر عامل‌ها در زمین‌های زراعی و با پوشش خاک نوع Inceptisols می‌باشد. همانطور که گفته شد این عامل‌ها میزان تجمع رواناب حاصل از بارش‌های جوّی را شبیه‌سازی کرده و نتیجه‌ای که گرفته می‌شود این است که مدل‌های شبیه‌سازی شده بارش با استفاده از هوش مصنوعی تقریباً به همان یافته‌های حاصل از تحلیل فازی پارمترهای مؤثر بر وقوع سیل منتج گردید.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به خصوصیات فیزیکی استان گیلان همچون شیب تند برخی مناطق، نفوذپذیری کم، پایین بودن زمان تمرکز، به همراه عوامل مؤثر دیگر نظیر قطع بی‌رویه جنگل‌ها، تخریب اراضی مرتعی بر اثر چرای مفرط و... به‌ویژه در سال‌های اخیر باعث شده تا ارتفاع رواناب حوضه درحد بالایی قرار گیرد و هر از چند سالی سیلاب‌های مخرب



نگاره۱۰: نقشه‌های برهم‌نهی شده از مدل‌سازی تجمع رواناب با نقشه‌های جنس خاک و کاربری اراضی

باعث به‌وجود آوردن مشکلاتی برای منطقه شده است. در نقاط مرطوب، پوشش گیاهی از فرسایش و جابه‌جایی‌های شدید ذرات به‌خصوص خاک جلوگیری می‌کند و همین امر اهمیت حفظ پوشش گیاهی را در سطح‌های شیب‌دار نشان می‌دهد.

هدف از تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل، مشخص کردن محدوده‌های در معرض خطر سیل است. ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین نقشه‌های خطرپذیری سیل، نقشه‌های پهنه یا گستره سیل هستند که می‌توانند برای دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شوند. اما پهنه سیل به تنهایی بیانگر میزان خطر سیل و یا آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیلاب نمی‌باشد. عواملی مانند سرعت جریان، عمق جریان، تمرکز جمعیت در حاشیه رودخانه‌ها، کاربری اراضی واقع در سیلاب دشت‌ها، استقرار صنایع در مسیر عبور سیلاب و سازه‌های زیربنایی مهم در معرض خطر سیل بیانگر میزان خطر و بروز خسارت سیل هستند که باید در مدیریت سیلاب و ارائه راه‌کارهای کاهش خسارات سیل مد نظر قرار گیرند.

در این تحقیق، خطر سیل در منطقه استان گیلان، با استفاده از دو تکنیک منطق فازی و شبیه‌سازی عامل‌مبنا انجام شد. در رویکرد منطق فازی، از لایه‌های مکانی شیب، رودخانه‌ها و مسیل‌ها و جنس خاک به‌عنوان پارامترهای مؤثر (سایرپارامترها همچون لایه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های هواشناسی و غیره نیز در این حوزه مرتبط هستند و می‌توان در تحقیقات آتی از پارامترهای کامل‌تری به‌منظور مقایسه این دو رویکرد استفاده نمود) بر سیلاب استفاده شد. سپس پارامترهای فوق‌الذکر با توجه به تأثیر بر پدیده سیل، فازی‌سازی شده و درنهایت به‌منظور تخمین مناطق تحت خطر سیل با استفاده از تکنیک Fuzzy Overlay Gamma برهمپوشانی داده شده و مناطق هدف مشخص شدند. در روش مدل‌سازی عامل‌مبنا با به‌کارگیری لایه DEM و الگوریتم هوش مصنوعی، منطقه مورد مطالعه با شبیه‌سازی جریان و گذشت مدت زمان، تحت بررسی قرار گرفت و مناطق مستعد خطر سیلاب با توجه به حرکت عامل‌های شبیه‌ساز تجمع رواناب در محدوده مکانی خاصی مشخص شدند.

با مقایسه روش‌های به‌کارگرفته فوق در این تحقیق، مزایا و معایب هردو روش با توجه به جدول۱ حائز نکات قابل توجهی می‌باشند:

به‌طور کلی، با درصد تقریب نسبتاً خوبی می‌توان اذعان داشت هر دو روش به نتایج یکسانی منجر شده و در

جدول۱: مقایسه عملکرد دو روش چندمعیاره و مدل‌سازی عامل‌مبنا

	پارامترهای استفاده شده	دقت نهایی	سرعت	پیچیدگی
روش چند معیاره	لایه‌های شیب، جنس خاک، رودخانه‌ها	نسبتاً بالا	آماده‌سازی داده‌ها و پردازش‌ها کند	عملیات متعدد و پیچیده فازی‌سازی
روش مدل‌سازی عامل‌مبنا	یک لایه DEM	تقریباً مناسب	سرعت نسبتاً بالاتر	سفارشی‌سازی کتابخانه GIS در Netlogo

شناسایی مناطق مستعد خطر ریسک هر دو روش دارای بازدهی مناسبی می‌باشند. نکات قابل توجهی در مقایسه این دو روش وجود دارد که این موارد عبارتند از:

• رویکرد منطق فازی و پارامترهای مختلف استفاده شده در این روش، از دقت بالاتر و پرداختن به جزئیات بیشتری برخوردار است و به‌منظور بررسی همه‌جانبه پارامترهای مؤثر از این رویکرد به نتایج بهتری می‌توان دست یافت و در عین حال، نیاز به منابع متعدد اطلاعات و صرف زمان‌های نسبتاً وقت‌گیر برای پردازش این اطلاعات از جمله معایب این روش در حین مدیریت بحران می‌باشد.

• رویکرد مدل‌سازی عامل‌مبنا با توجه به برنامه‌های پیشرفته و توسعه‌یافته مبتنی بر هوش مصنوعی از توان‌مندی سرعت بالاتر و امکان به‌کارگیری ابتکارات بیشتری برخوردار است. این مسأله در خصوص مدیریت بهینه بحران‌های طبیعی که یکی از المان‌های اساسی در زمان بحران، سریع‌ترین و بهترین راه‌حل در تصمیم‌سازی بوده، یکی از بهترین امکانات را در اختیار مسئولین قرار می‌دهد. از طرفی این فناوری، با توجه به پیچیدگی برنامه‌ها و در حال توسعه بودن آن، از دقت و واقع‌بینی کمتری نسبت به برنامه‌های دقیق پردازشی مرسوم برخوردار است. لذا، با توجه به موارد فوق، پیشنهاد می‌شود، به منظور بهره‌گیری بهینه از مزایای هردو رویکرد و رفع کاستی‌های موجود، روش‌های تلفیقی استفاده همزمان در مدیریت بهینه بحران‌های زیست‌محیطی و کمک به برنامه‌ریزان در خصوص تصمیم‌سازی‌های زیربنایی به‌کار گرفته شود.

منابع و مآخذ

۱- سازمان برنامه و بودجه کشور، راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب، ضابطه شماره ۸۲۱

۲- محمودزاده، باکویی؛ حسن، مائده؛ ۱۳۹۷، پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری)، مجله مخاطرات طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۸

۳- مختاری، رحیمی؛ حسین، داریوش؛ ۱۳۹۵، پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۱ بهار ۱۳۹۵

٤- مصطفی‌زاده، مهری؛ رئوف، سونیا؛ ۱۳۹۷، روند تغییرات ضریب سیلابی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز.

۵- ملاشاهی، امان‌محمد؛ شکوفه، کلته؛ ۱۳۹۷، تحلیل فراوانی وقوع سیل در استان گیلان، سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست ۱۰ و ۱۱ مهرماه، دانشگاه محقق اردبیلی

٦- ملایی، داوری، انصاری؛ زینب، کامران، حسین؛ ۱۳۹۸، تهیه نقشه خطر سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی و اطلاعات ژئومورفولوژیک مطالعه موردی: «مخروطه‌افکنه فریزی» در استان خراسان رضوی، مجله پژوهش آب ایران، بهار ۱۳۹۸

۷- یمانی، عنایتی؛ مجتبی، مریم ۱۳۸٤، ارتباط ویژگی‌های ژئومرفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه

و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومرفولوژیک حوضه‌های فشند و بهجت‌آباد)، پژوهش‌های جغرافیایی - شماره٥٤ ،زمستان ١٣٨٤

8- Andrew T. Crooks and Christian J.E. Castle,2012, the Integration of Agent-Based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation

9- Binh Thai Pham, Chinh Luu, Tran Van Phong, Huu Duy Nguyen, Hiep Van Le, Thai Quoc Tran, Huong Thu Ta, Indra Prakash, Flood risk assessment using hybrid artificial intelligence models integrated with multi-criteria decision analysis in Quang Nam Province, Vietnam, Journal of Hydrology, Volume 592, 2021

10- Büchele, B, et al. 2006, 'Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of Extreme events and associated risks', Natural Hazards and Earth System Science, vol. 6, No. 4

11- Dilley, M, Chen, RS, Deichmann, U, 2005, Natural disaster hotspots: a global risk analysis, the World Bank, Hazard Management Unit, Washington, DC.

12- Dubbelboer, J., Nikolic, I., Jenkins, K., Hall, J., 2017. An agent-based model of flood risk and insurance. JASSS 20, 6.

13- Fengyuan Zhang, MinChena, DanielP.Ames, ChaoranShen, SongshanYue, YongningWen, GuonianLü , 2019, Design and development of a service-oriented wrapper system for sharing and reusing distributed geoanalysis models on the web, Environmental Modelling & Software

14- Flávio E.A.; Horita, A. Lívia C. Degrossi, S. Eduardo M, Mendiondo, J. 2015. Development of a spatial decision support system for flood risk management in Brazil that combines volunteered geographic information with wireless sensor networks. Computers &Geosciences, 80: 84 -94

15- Krzysztof Janowicz,Song Gao, Grant McKenzie, Yingjie Hu, &Budhendra BhadurI, 2020, GeoAI: spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond, International Journal of Geographical Information Science, Volume 34,

16- LuZhuoa, DaweiHanb, 2020, Agent-based modelling and flood risk management: A compendious literature review, Journal of Hydrology ,Volume 591, 125600

17- Macal, C.M., North, M.J., 2010. Tutorial on agent-based modelling and simulation. J of Sim 4, 151–162. https://doi.org/10.1057/jos.2010.3.

18- Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A. et al. 2017, Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision-making technique in Northeast Iran. Nat Hazards 87, 1827–1846

19- M.Di Matteo, R.Liang, H.R.Maier, M.A.Thyer, A.R.Simpson, G.C.Dandy, B.Ernstc, 2019, Controlling rainwater storage as a system: An opportunity to reduce urban flood peaks for rare, long duration storms, Environmental Modelling & Software ,Volume 111, Pages 34-41

20- Richard J. Dawson, Roger Peppe , Miao Wang, 2011, An agent-based model for risk-based flood incident management, Natural Hazards volume 59, pages167–189

21- Richard Wen, Songnian Li,2021, A review of the use of geosocial media data in agent-based models for studying urban systems

22- Vatanfada, J. 2009, "Flood management of Iran (country report)", Flood Prevention Committee.

23- Yared Abayneh, AbebeaAmineh, GhorbanibIgor, NikolicbZoran, Vojinovicacde, ArlexSancheza , 2019, A coupled flood-agent-institution modelling (CLAIM) framework for urban flood risk management, Environmental Modelling & Software, Volume 111, Pages 483-492

24- Yitea Seneshaw Getahun, Sintayehu Legesse Gebre, 2015, Flood Hazard Assessment and Mapping of Flood Inundation Area of the Awash River Basin in Ethiopia using GIS and HEC-GeoRAS/HEC-RAS Model. Civil and Environmental Engineering

25- https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی