Archive of SID.ir

University of Sistan and Baluchestan

Journal of Natural Environment Hazards

Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385

Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.11, Issue 31, Spring 2022

Presenting an integrated spatial-based model for flood hazard zoning, a case study: Maneh and Samalqan County

Parham Pahlavani[1*], Mohamad Hasanloo[2], Behnaz Bigdeli[3], Seyed Ahmad Eslaminezhad[4]

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor at School of Surveying and Geospatial Engineering, University of Tehran, Iran.
2. GIS M.Sc., School of Surveying and Geospatial Engineering, University of Tehran, Iran.
3. Assistant Professor at School of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Iran.
4. GIS M.Sc., School of Surveying and Geospatial Engineering, University of Tehran, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 06 November 2020
Revised: 15 April 2021
Accepted: 12 May 2021

Keywords:
Flood hazard zoning,
Geographically weighted regression,
Binary Particle Swarm Optimization.

ABSTRACT

Due to the increase in the occurrence of floods, especially in the cities, and the emergence of human, financial, and environmental risks due to its increase, the flood zoning areas are of great importance. Therefore, in this study, it was tried zoning the areas of floods with the help of determining effective criteria. The criteria used in this research include Modified Fournier Index, Topographic Position Index, Curve Number, Flow Accumulation, Slope, Digital elevation model, Topographic Wetness Index, Vertical Overland Flow Distance, Horizontal Overland Flow Distance, and Normalized difference vegetation index. The novelty of this study is to present a new combination approach to determine the effective criteria in flood hazard zoning (Maneh and Samalqan County). In this regard, the combination of geographically weighted regression (Gaussian and tri-cube kernels) and binary particle swarm optimization algorithm was used. The recommended combination method is suitable for spatial regression problems because it is compatible with two unique properties of spatial data, i.e. spatial autocorrelation and spatial non-stationarity. The best value of the fitness function ($1-R^2$) for Gaussian and tri-cube kernels were obtained 0.0745 and 0.0022, respectively, which indicates higher compatibility of the tri-cube kernel than the Gaussian kernel. It was also found that the criteria used have a significant effect on the rate of flooding in the study area.

Cite this article: Pahlavani, P., Hasanloo, M., Bigdeli, B., Eslaminezhad, S. (2022). Presenting an integrated spatial-based model for flood hazard zoning, a case study: Maneh and Samalqan County. Journal of Natural Environmental Hazards, 11(31), 173 -192. DOI: 10.22111/jneh.2021.36392.1724

© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.36392.1724

* Corresponding Author Email: pahlavani@ut.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۱، بهار ۱۴۰۱

ارائه مدل ترکیبی مکان‌مبنا جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب (منطقه مورد مطالعه: شهرستان مانه و سملقان)

پرهام پهلوانی[1*]، محمد حسنلو[2]، بهناز بیگدلی[3]، سید احمد اسلامی نژاد[4]

۱. استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)
۲. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران
۳. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود
۴. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

واژه‌های کلیدی:
پهنه‌بندی خطر سیلاب،
رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی،
الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات گسسته.

چکیده

باتوجه به بالارفتن وقوع سیلاب به‌ویژه در سطح شهرها و به وجودآمدن خطرهای جانی، مالی و محیط‌زیستی ناشی از افزایش آن، پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین در این پژوهش سعی شد مناطق وقوع سیلاب به کمک تعیین معیارهای مؤثر پهنه‌بندی شود. معیارهای مورداستفاده در این پژوهش شامل شاخص فورنیه اصلاح‌شده، شاخص موقعیت توپوگرافی، منحنی رواناب، جریان تجمعی، شیب، مدل رقومی ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله قائم تا رواناب، فاصله افقی تا رواناب و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی است. نوآوری این مطالعه، ارائه روش ترکیبی جدید برای تعیین معیارهای مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیل (شهرستان مانه و سملقان) است. در این راستا از ترکیب رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (هسته‌های گوسین و مکعبی سه‌گانه) و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته استفاده گردید. روش ترکیبی پیشنهادی مناسب برای مسائل رگرسیون مکانی است؛ زیرا این روش با دو خواص منحصربه‌فرد داده‌های مکانی یعنی خودهمبستگی مکانی و ناایستایی مکانی سازگار است. بهترین مقدار تابع برازش (R^2-۱) برای هسته‌های گوسین و مکعبی سه‌گانه به‌ترتیب ۰/۰۷۴۵ و ۰/۰۰۲۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری بالای هسته مکعبی سه‌گانه نسبت به هسته گوسین با معیارهای مؤثر است. هم‌چنین مشخص شد که معیارهای به‌کاربرده‌شده تأثیر قابل‌توجهی بر میزان سیل‌خیزی در منطقه موردمطالعه دارند.

استناد: پهلوانی، پرهام، حسنلو، محمد، بیگدلی، بهناز، اسلامی نژاد، سید احمد. (۱۴۰۱). ارائه مدل ترکیبی مکان‌مبنا جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب (منطقه مورد مطالعه: شهرستان مانه و سملقان). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۱)، ۱۹۲-۱۷۳. DOI: 10.22111/jneh.2021.36392.1724

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© پرهام پهلوانی، محمد حسنلو، بهناز بیگدلی، سید احمد اسلامی نژاد.

*- پرهام پهلوانی (نویسنده مسئول)
Email: pahlavani@ut.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقدمه

یکی از تعاریف جامع واژه سیل را می‌توان به‌این‌ترتیب ذکر نمود که هر جریان سطحی آب صرف‌نظر از معیار ایجادکننده آن در صورتی سیل تلقی می‌گردد که جریان آب در مقطع خاصی از رودخانه بیش از جریان عادی باشد، تداوم زمانی آن محدود باشد و جریان آب از بستر طبیعی خود تجاوز کند (شریفی پیچون و همکاران، ۱۳۹۸). سیل در حقیقت افزایش ارتفاع آب رودخانه و مسیل و بیرون‌زدن آب از آن و اشغال بخشی از دشت‌های حاشیه رودخانه می‌باشد که می‌تواند با غرقاب‌نمودن منطقه باعث واردآمدن خسارت‌های عمومی شده و تلفات انسانی و غیرانسانی به همراه داشته باشد (پاپایوانو[1] و همکاران، ۲۰۱۵). در مواردی نیز سیل می‌تواند ناشی از افزایش سطح آب دریاچه و یا دریا باشد که در این موارد جریان بادهای شدید تأثیر زیادی خواهد داشت. در هنگام بارش باران و برف، مقداری از آب جذب خاک و گیاهان می‌شود، درصدی تبخیر می‌گردد و باقیمانده جاری شده و رواناب نامیده می‌شود. سیلاب زمانی روی می‌دهد که خاک و گیاهان نتوانند بارش را جذب نموده و در نتیجه کانال طبیعی رودخانه کشش گذردهی رواناب ایجادشده را نداشته باشد (عفیفی، ۱۳۹۸). باتوجه به افزایش وقوع سیل به‌ویژه در سطح شهرها و به وجودآمدن خطرهای جانی، مالی و محیط‌زیستی ناشی از آن، شناسایی معیارهای مؤثر بر وقوع سیل از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. ازاین‌رو با شناسایی این معیارها می‌توانیم در جهت پیشگیری هرچه بیشتر این پدیده با استفاده از آموزش عمومی به مردم، وضع قوانین و سیاست‌های مدیریتی کارآمد و نظارت بیشتر در جهت مقابله با معیارهای محرک افزایش میزان سیل برآییم. یکی از روش‌ها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب، استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و تلفیق آن با مدل‌های هیدرولیکی است. نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب در مطالعات مدیریت دشت‌های سیلابی کاربرد وسیعی دارد. از موارد کاربرد این نقشه‌ها می‌توان به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، پیش‌بینی و هشدار سیل، عملیات امداد و نجات و بیمه سیل اشاره نمود (هادسون[2] و بوتزن[3]، ۲۰۱۹؛ پورقاسمی[4] و همکاران، ۲۰۲۰، محمودزاده و باکویی،۱۳۹۷). سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد گردیده است. به‌عبارتی ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۲۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد است (روستایی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین ایران جزء مناطق سیل‌خیز جهان است و یکی از راه‌های کاهش خسارت ناشی از سیل تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب هست تا بدین وسیله مناطق مستعد شناسایی گردد. همچنین تهیه این نقشه‌ها می‌تواند محوری جهت فعالیت‌های عمرانی و سایر فعالیت‌های آتی باشد. باتوجه به پژوهش پیشین، پهنه‌بندی سیلاب توسط روش‌های ادغام در دو دسته کلی دانش‌محور و داده‌محور قابل‌دسته‌بندی می‌باشند (گوئوارا[5] و همکاران، ۲۰۱۸؛ وانگ[6] و لیو[7]، ۲۰۱۹). روش‌های داده‌محور در مناطق شناخته‌شده یا مناطقی که از لحاظ آماری تعداد شواهد شناخته‌شده کافی می‌باشند، کارآیی بالایی دارند. در این روش‌ها هدف مشخص‌کردن مکان‌های جدید برای کارهای تفصیلی‌تر است، درحالی‌که در روش‌های دانش‌محور در محیط‌های که کمتر شناخته شده‌اند و یا تعداد کمی از اهداف موردنظر در

[1] Papaioannou
[2] Hudson
[3] Botzen
[4] Pourghasemi
[5] Guevara
[6] Wang
[7] Liu

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

محدوده وجود دارند، کارآمد هستند. تخمین وزن‌ها برای نقشه‌های شاهد و تخمین کلاس‌ها در هر نقشه شاهد بر اساس قضاوت کارشناس و باتوجه به ویژگی‌های نشانه‌ها است که در تمام موارد تصمیم‌گیری قابل‌اجرا هستند و نیازی به وجود شواهدی از جواب ندارند (گوئوارا[1] و همکاران، ۲۰۱۸؛ وانگ[2] و لیو[3]، ۲۰۱۹). مطالعات متعددی در خصوص پهنه‌بندی خطر سیلاب با رویکردهای مبتنی بر روش‌های ادغام دانش‌محور و داده‌محور صورت پذیرفته که می‌توان به مواردی چند اشاره نمود. زهرا فیضی و همکاران (۱۳۹۵) هفت معیار شیب، نفوذپذیری سطحی، قابلیت انتقال آب در آبرفت، کیفیت آبرفت، کاربری اراضی، حجم رواناب و ضخامت منطقه تهویه را به‌عنوان معیارهای مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی جنوب دشت کاشان درنظر گرفتند. پس از تهیه لایه‌های رقومی موردنظر، با استفاده از روش فرآیند سلسله‌مراتبی فازی (FAHP[4]) وزن هرکدام از معیارها تعیین گردید. درنهایت نقشه‌های وزن‌دار حاصل و با یکدیگر ادغام شد. شیاو[5] و همکاران (۲۰۱۷) یک چارچوب تجزیه‌وتحلیل چندمعیاره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[6])، روش FAHP و روش میانگین وزن‌دار مرتبه‌یافته (OWA[7]) برای ارزیابی خطر سیلاب تهیه کردند. اهمیت نسبی معیارها با روش FAHP تعیین شد. روش OWA برای تحلیل اثرات نگرش‌های مختلف ریسک گیرنده تصمیم‌گیرنده بر نتایج ارزیابی استفاده کردند. روش میانگین محاسبه‌شده را با استفاده از مزایای متغیر فضایی متغیر در محیط GIS برای ادغام معیارها اجرا کردند. کنعانی سادات[8] و همکاران (۲۰۱۹) چارچوبی را برای تهیه نقشه‌های مناطق مستعد سیلاب استان کردستان با ادغام GIS، منطق فازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه دادند. برای دستیابی به این هدف مجموعه‌ای از معیارهای ژئوفیزیکی، ژئومورفولوژیکی، هواشناسی، هیدرولوژیکی و جغرافیایی را موردبررسی قرار دادند. سپس با درنظرگرفتن عدم قطعیت و ابهام نظرات خبرگان، نظریه فازی را با DEMATEL[9] ادغام کردند. درنهایت، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP[10]) را برای محاسبه وزن نهایی هر یک از معیارها به کار گرفتند. جهت ارزیابی نقشه آسیب‌پذیری سیل در منطقه موردمطالعه، نقشه حوادث تاریخی سیلاب را در استان کردستان مورداستفاده قرار دادند. حدود ۸۵٪ از مساحت اعتبارسنجی تحت عنوان "وقوع سیلاب بسیار زیاد " طبقه‌بندی شدند که به کارایی چارچوب پیشنهادی اشاره داشت. علاوه بر این، برای ارزیابی عملکرد چارچوب پیشنهادی در مقایسه با رویکردهای سنتی، روش AHP نیز پیاده‌سازی گردید. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل ANP-DEMATEL فازی دقت عملکرد بالاتری در مقایسه با مدل AHP داشت. آردینسیا[11] و سامونار[12] (۲۰۲۰) از روش‌های وزن‌دهی و امتیازدهی (بر اساس کمی یا کیفی‌بودن معیارهای مؤثر بر سیلاب) امتیازی را برای هر کدام از کلاس‌های (محدوده‌های) تعریف‌شده معیار مؤثر و وزنی را برای معیار مؤثر درنظر گرفتند. درنهایت وزن‌ها و امتیازهای تخصیص داده‌شده به معیارهای مؤثر، جهت شناسایی

[1] Guevara
[2] Wang
[3] Liu
[4] Analytical Hierarchy process
[5] Xiao
[6] Geographic information system
[7] Ordered weighted averaging
[8] Kanani-Sadat
[9] Decision making trial and evaluation laboratory
[10] Analytic Network Process
[11] Ardiansyah
[12] Sumunar

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مناطق آسیب‌پذیر وقوع سیلاب وارد تحلیل همپوشانی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که سه سطح آسیب‌پذیری سیل یعنی سطح آسیب‌پذیری سیل کم برابر با ۳۳۸/۳۴ هکتار، سطح آسیب‌پذیری سیل متوسط برابر با ۴۵۹۵/۶۲ هکتار و سطح آسیب‌پذیری سیل زیاد برابر با ۰/۷۶ هکتار در حوضه آبخیز منطقه موردمطالعه وجود دارد. خسروی و همکاران (۱۳۹۵) پس از تهیه ۱۰ معیار مؤثر در وقوع سیل که شامل شیب، انحنای زمین، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت، توپوگرافی، شاخص توان آبراهه، بارندگی و کاربری اراضی از رگرسیون لجستیک جهت تهیه نقشه وقوع سیل استفاده کردند. نتیجه نشان داد که رگرسیون لجستیک دارای صحت قابل‌قبول جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می‌باشد. هم‌چنین مشخص گردید که طبق مدل رگرسیون لجستیک، مهم‌ترین معیارهای مؤثر در وقوع سیل به‌ترتیب شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای زمین و شیب می‌باشند. قوامی و محمدی‌نیا (۱۳۹۶) به پیش‌بینی مکانی مناطق سیل‌خیز استان گیلان (پربارش‌ترین استان کشور) با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و هفت معیار دما، رطوبت، بارش، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی و فاصله از رودخانه پرداختند. ازاین‌رو آن‌ها از دو روش رگرسیون خطی و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده کردند و مشخص گردید که رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دقت بالاتری در پیش‌بینی مناطق سیل‌خیز دارد. شفاپور[1] و همکاران (۲۰۱۷) جهت تهیه نقشه حساسیت وقوع سیلاب در کشور چین از روش‌های رگرسیون لجستیک، روش وزن شواهد (WOE[2]) استفاده کردند. نتیجه نشان داد که روش WOE رگرسیون لجستیک، روش دقیق‌تری را در راستای پیش‌بینی مناطق مستعد سیلاب ارائه می‌دهد. پهنه‌بندی خطر سیلاب موضوعی است که تاکنون زیاد بدان پرداخته شده است؛ اما در میان مطالعات صورت‌پذیرفته، نکاتی وجود دارد که کم‌تر بدان توجه شده است. اول این‌که در هیچ یک از این مطالعات ترکیب مناسب و کافی از معیارها برای پهنه‌بندی خطر سیلاب درنظر گرفته نشده است. دوم این‌که تحلیل مناسبی برای تعیین ترکیب بهینه معیارهای مؤثر و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب بر اساس تأثیرات معیارهای مؤثر به‌کار برده نشده است. بنابراین در این پژوهش سعی شد تا ضمن برطرف‌کردن کاستی‌های مطالعات پیشین، به معرفی رویکرد ترکیبی مناسبی جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب بر مبنای تعیین ترکیب بهینه معیارهای مؤثر پرداخته شود که نوآوری این پژوهش نیز می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، این پژوهش به دنبال پاسخ به این سؤال می‌باشد که چه مدل مناسبی می‌توان برای پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان مانه و سملقان بر مبنای تعیین ترکیب بهینه معیارهای مؤثر ارائه داد؟ این شهرستان از مناطق حادثه‌خیز سیل در کشور ایران به شمار می‌رود که در چندین سال اخیر، وقوع سیل خسارت‌های فراوانی را به زیرساخت‌های این منطقه وارد کرده است.

داده‌ها و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه

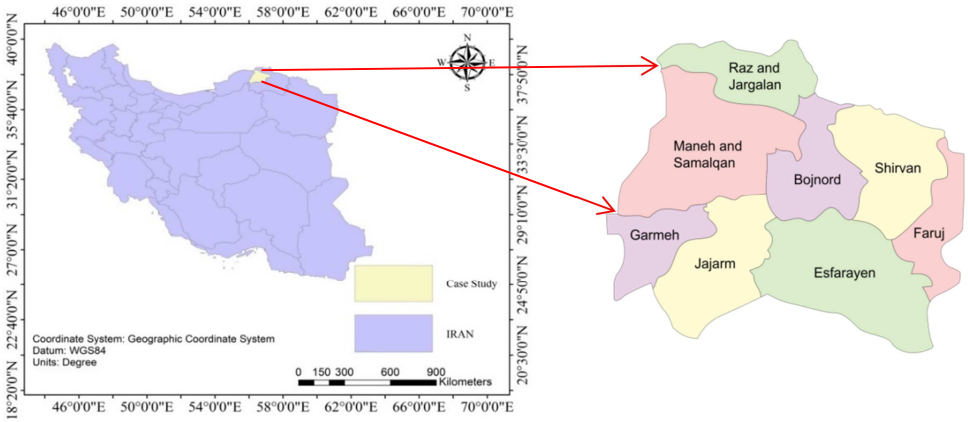
شهرستان مانه و سملقان در شمال غربی استان خراسان شمالی قرار دارد که از شمال با شهرستان راز و جرگلان، از غرب به استان گلستان، از جنوب به شهرستان‌های جاجرم و گرمه و از شرق به بجنورد محدود گردیده است. این شهرستان دارای ۸ کیلومتر مرز مشترک با کشور ترکمنستان می باشد. ازلحاظ موقعیت جغرافیایی این شهرستان بین

[1] Shafapour
[2] Weight of Evidence

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مدار جغرافیایی ۳۷درجه و۱۷دقیقه تا ۳۸درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۵ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. شهرستان مانه و سملقان دارای۶۰۵۳ کیلومترمربع وسعت است. این شهرستان به‌طورکلی دارای پستی و بلندی‌های متنوعی است. این شهرستان در ناحیه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک واقع شده و توزیع مکانی و زمانی بارش باران در این منطقه نیز کاملاً متغیر و نیمه یکنواخت است، به گونه‌ای که اغلب بارش‌ها در استان در فصل سرد و مرطوب رخ می‌دهد و این شرایط، ضرایب سیل‌خیزی و فرسایش‌پذیری خاک در شهرستان مانه و سملقان را افزایش داده است. هم‌چنین وجود شیب‌های تند، بهره‌برداری برخی معادن شن و ماسه از مسیل‌ها و عدم وجود پوشش گیاهی و درخت ازجمله موارد دیگری هستند که موجب به وجودآمدن سیلاب در چند سال اخیر در این منطقه شده است و سالیانه خسارت‌های مالی و جانی فراوانی را بر جای گذاشته است. شبکه هیدروگرافی در سطح شهرستان مانه و سملقان شامل رودخانه‌های فصلی و دائمی بوده که جزء حوضه آبریز اترک است. این رودخانه‌ها از ارتفاعات خارج از شهرستان سرچشمه گرفته و مسیر خود را بر اساس شیب عمومی طی می‌کند. شکل (۱) محدوده شهرستان مانه و سملقان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: محدوده منطقه مطالعاتی

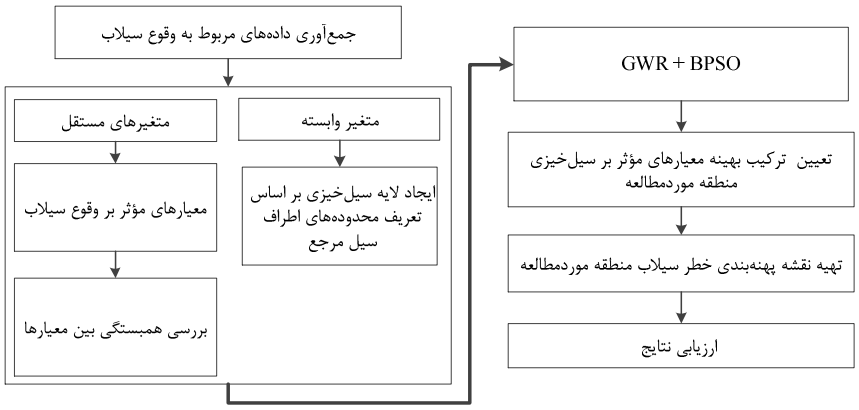
روش‌های داده‌محور و معیارهای مکانی مؤثر بر سیلاب

در این بخش معیارهای مکانی مؤثر بر سیلاب، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR[1]) و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات گسسته (BPSO[2]) بررسی شده است. در شکل (۲) فلوچارت روش پیشنهادی پژوهش نشان داده شده است.

[1] Geographically weighted regression
[2] Binary Swarm Particle Optimization

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۲: فلوچارت روش پیشنهادی پژوهش

الف- معیارهای مکانی مؤثر بر سیلاب

پهنه‌بندی سیلاب وابسته به معیارهای مختلف می‌باشد که در این پژوهش از معیارهای زیر استفاده شده است:

❋ فاصله افقی تا رواناب:

فاصله افقی تا رواناب، جابه‌جایی واقعی آب از یک سلول به سلول دیگر است. هرچه فاصله افقی از جریان کم باشد، پتانسیل ایجاد سیلاب بیشتر خواهد بود (کنعانی سادات و همکاران، ۲۰۱۹؛ پورقاسمی و همکاران، ۲۰۲۰).

❋ شاخص پوشش گیاهی:

این شاخص برآوردکننده معیار پوشش گیاهی است. هر چه مقدارش کمتر باشد، خطرپذیری بیشتر سیلاب را به همراه دارد که از رابطه (۱) به‌دست می‌آید (خسروی[1] و همکاران، ۲۰۱۶):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (۱)$$

که NIR باند مادون قرمز نزدیک و R باند قرمز تصاویر ماهواره‌ای است.

❋ فاصله قائم تا رواناب:

فاصله قائم تا رواناب، بیانگر فاصله قائم بین ارتفاع هر سلول و ارتفاع محاسبه‌شده برای شبکه جریان می‌باشد. هرچه فاصله قائم از جریان کم باشد، پتانسیل ایجاد سیلاب بیشتر خواهد بود (کنعانی سادات و همکاران، ۲۰۱۹؛ پورقاسمی و همکاران، ۲۰۲۰).

❋ شاخص رطوبت توپوگرافی:

شاخص رطوبت توپوگرافی ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه می‌باشد. این معیار هر چه مقدارش کمتر باشد، خطرپذیری بیشتر سیلاب را به‌همراه دارد که طبق رابطه (۲) به‌دست می‌آید (جانسیوکز[2] و همکاران، ۲۰۱۹):

[1] Khosravi
[2] Jancewicz

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$TWI = \ln(\frac{A_S}{Tan\beta}) \quad (۲)$$

که A_s مساحت حوزه بالادست و β زاویه شیب است.

*** مدل رقومی ارتفاعی:**

مدل رقومی ارتفاع دربرگیرنده مقادیر معرف ارتفاع سطح زمین می‌باشد. این معیار هر چه مقدارش کمتر باشد، خطرپذیری بیشتر سیلاب را به‌همراه دارد (پاپایوانو و همکاران، ۲۰۱۵؛ هادسون و بوتزن، ۲۰۱۹).

*** شیب:**

وجود شیب‌های زیاد نشان می‌دهد که منطقه موردنظر از اراضی مسطح کمتری برخوردار است که این امر می‌تواند در صورت وقوع باران‌های شدید، سبب بروز سیلاب‌های مخرب گردد که طبق رابطه (۳) و شکل (۳) به‌دست می‌آید (پاپایوانو و همکاران، ۲۰۱۵):

$$Slope = \text{atan}(\sqrt{(\frac{dz}{dx})^2 + (\frac{dz}{dy})^2}) \quad (۳)$$

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

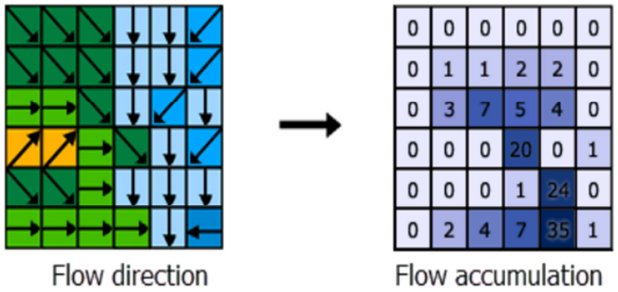
$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

a	b	c
d	e	f
g	h	i

شکل ۳: نحوه محاسبه شیب (پاپایوانو[1] و همکاران، ۲۰۱۵)

*** جریان تجمعی:**

شبکه تجمع جریان، دربرگیرنده تعداد تجمعی سلول‌های بالادست یک سلول است و میزان جریانی که از سلول‌های بالادستی به آن سلول ختم می‌شود را نشان می‌دهند. طبق شکل (۴) هر چه مقدار این معیار بیشتر باشد، پتانسیل ایجاد سیلاب بیشتر خواهد بود.



شکل ۴: نحوه محاسبه جریان تجمعی (وجتک[1] و وجتکوا[2]، ۲۰۱۹)

[1] Papaioannou

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

*** منحنی رواناب:**

پتانسیل رواناب حوزه را تعریف می‌کند. این معیار هر چه مقدارش بیشتر باشد خطرپذیری بیشتر سیلاب را به‌همراه دارد. این معیار از رابطه (۴) به‌دست می‌آید (اینی[3] و همکاران، ۲۰۲۰):

$$CN = \frac{R}{p} \quad (۴)$$

که R ارتفاع رواناب مستقیم و P ارتفاع بارندگی است.

*** شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI):**

شاخص موقعیت توپوگرافی، اختلاف ارتفاع هر سلول با میانگین ارتفاعات سلول‌های همسایه آن را نشان می‌دهد. این معیار هر چه مقدارش کمتر باشد، خطرپذیری بیشتر سیلاب را به‌همراه دارد که طبق رابطه (۵) به‌دست می‌آید (آلام[4] و همکاران، ۲۰۲۰):

$$TPI = Z_0 - \frac{\sum_{i=1}^{n} Z_i}{n} \quad (۵)$$

که Z_0 ارتفاع سلول موردنظر و $\frac{\sum_{i=1}^{n} Z_i}{n}$ میانگین ارتفاع سلول‌های همسایه است.

*** شاخص فورنیه اصلاح‌شده (MFI):**

نقشه شدت بارندگی با استفاده از روش شاخص فورنیه اصلاح‌شده ایجاد می‌شود. این معیار هر چه مقدارش بیشتر باشد، خطرپذیری بیشتر سیلاب را به‌همراه دارد که طبق رابطه (۶) به‌دست می‌آید (سا-رکیوجو[5] و همکاران، ۲۰۱۹):

$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i^2}{p} \quad (۶)$$

که P_i میانگین بارندگی برای ماه i ام و p میانگین بارندگی سالیانه است.

ب- رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR):

باتوجه به اینکه داده‌های مکانی دارای ویژگی‌های خودهمبستگی مکانی و ناایستایی مکانی هستند، ازاین‌رو کم‌تر می‌توان از رگرسیون‌های پایه استفاده کرد (مارای[6] و همکاران، ۲۰۲۰). در روش GWR، وابستگی‌های مکانی مشاهدات به صورت ماتریس‌های وزن‌دار درنظر گرفته می‌شوند و به‌دلیل ناهمگونی محیط و وجود ناایستایی مکانی، ضرایب رگرسیون به‌صورت محلی به‌دست می‌آیند (وو[7]، ۲۰۲۰). معادله روش GWR از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد (فادرینگام[8] و اوشان[9]، ۲۰۱۶):

---

[1] Vojtek
[2] Vojteková
[3] Eini
[4] Alam
[5] Saa-Requejo
[6] Murray
[7] Wu
[8] Fotheringham
[9] Oshan

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$y_i = \sum_{j=1}^{n} \beta_j(u_i,v_i)x_j + \varepsilon_i \quad (۷)$$

که y_i متغیر وابسته (میزان سیل‌خیزی)، x_j متغیرهای مستقل (معیارهای مؤثر بر وقوع سیلاب)، n تعداد متغیرهای مستقل (تعداد نقاط تصادفی تعریف‌شده در منطقه)، ε_i باقیمانده مدل و β_j ضرایب رگرسیون هستند. در این روش، جهت محاسبه ماتریس وزن مکانی نیاز به مشخص‌کردن تابع هسته است. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین، در این پژوهش از دو هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه استفاده شد که از روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود (فادرینگام و اوشان، ۲۰۱۶؛ اوشان و همکاران، ۲۰۱۹):

$$W(u_i,v_i) = \varphi(\frac{d_{ij}}{b}) \quad (۸)$$

$$W(u_i,v_i) = \begin{cases} (1-(\frac{d_{ij}}{b})^3)^3 & |d_{ij}| < b \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۹)$$

که d_{ij} فاصله اقلیدسی بین دو نقطه i و j ، φ تابع توزیع نرمال استاندارد و b پهنای باند است. در روش GWR، تغییرهای محلی و ناایستایی مکانی ضرایب توسط انحراف استاندارد از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید (وو، ۲۰۲۰):

$$v_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\beta_{ij}-\beta_j)^2/n} \quad (۱۰)$$

که β_{ij} ضریب رگرسیون عامل j ام در مشاهده i ام، β_j میانگین ضریب رگرسیون عامل j ام در کل مشاهدات و n تعداد مشاهدات است. خروجی GWR شامل پارامترهای متعددی است که از آن میان معمولاً پارامتر ضریب تشخیص R^2 برای سنجش مناسبت برازش مدل و پارامتر خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[1]) جهت سنجش توزیع باقیمانده‌های مدل به‌کار می‌روند که به‌ترتیب، طبق روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌شوند (فادرینگام و اوشان، ۲۰۱۶):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\overline{y})^2} \quad (۱۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i-\hat{y}_i)^2} \quad (۱۲)$$

که n تعداد مشاهدات، y_i مشاهده i ام، $\hat{y}_i$ مقدار پیش‌بینی‌شده مشاهده i ام و $\overline{y}$ میانگین مشاهدات است.

ج- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات گسسته (BPSO):

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) یک الگوریتم جستجوی جمعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان و ماهی‌ها مدل شده است (آقباشلو[2] و همکاران، ۲۰۱۹). الگوریتم PSO یک الگوریتم بهینه‌سازی تصادفی

[1] Root Mean Square Error
[2] Aghbashlo

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مبتنی بر جمعیت است که باعث می‌شود کمتر در مینیمم محلی گرفتار شود (عابد[1] و احمد[2]، ۲۰۲۰). در این الگوریتم کیفیت جواب مسیر پیشنهادی به جمعیت اولیه وابسته نیست و با شروع از هر نقطه در فضای جستجو، جواب مسئله به جواب بهینه همگرا می‌شود (عابد و احمد، ۲۰۲۰). بنابراین باتوجه به فضای مسئله، این الگوریتم می‌تواند در دو حالت پیوسته و گسسته تعریف شود. باتوجه به هدف این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته (BPSO) استفاده شده است. در حالت گسسته این الگوریتم ذرات به داشتن متغیرهای صفر و یک محدود می‌شوند که بردار سرعت و موقعیت ذرات از طریق روابط (۱۳) و (۱۴) به‌روزرسانی می‌شوند (بهشتی[3]، ۲۰۲۰):

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + c_1 r_1\big(\text{Pbest} - X_i(t)\big) + c_2 r_2\big(\text{Gbest} - X_i(t)\big) \quad (۱۳)$$

$$X_i(t+1) = \begin{cases} 1 \;\; if\; \rho \le \dfrac{1}{1+e^{-V_i(t+1)}} \\ 0 \qquad Otherwise \end{cases} \quad (۱۴)$$

در روابط (۲۳) و (۲۴) $V_i(t)$ سرعت ذره i ام، $X_i(t)$ موقعیت ذره i ام، $V_i(t+1)$ سرعت ذره i ام در موقعیت بعدی، $X_i(t+1)$ موقعیت ذره i ام در موقعیت بعدی، $Pbest$ بهترین موقعیت تجربه‌شده برای ذره i ام، $Gbest$ بهترین موقعیت تجربه‌شده در کل ذرات، c_1 ضریب یادگیری شخصی، c_2 ضریب یادگیری جمعی، w وزن داخلی و r_1، r_2 و ρ اعداد تصادفی در محدوده [۰,۱] هستند. مراحل الگوریتم BPSO به شرح ذیل است (بهشتی، ۲۰۲۰):

۱- در ابتدا مقداردهی اولیه ذرات صورت می‌گیرد.

۲- سپس ذرات ازنظر تابع برازندگی موردبررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳- در مرحله سوم، بهترین موقعیت شخصی و سراسری برای هر ذره شناسایی می‌شود.

۴- سپس سرعت و موقعیت ذرات به‌روزرسانی می‌شود.

در مرحله آخر، شرایط خاتمه بررسی می‌گردد. درغیر این‌صورت مراحل ۲ تا ۴ ادامه پیدا می‌کند تا اینکه مسئله به همگرایی برسد.

نتایج و بحث

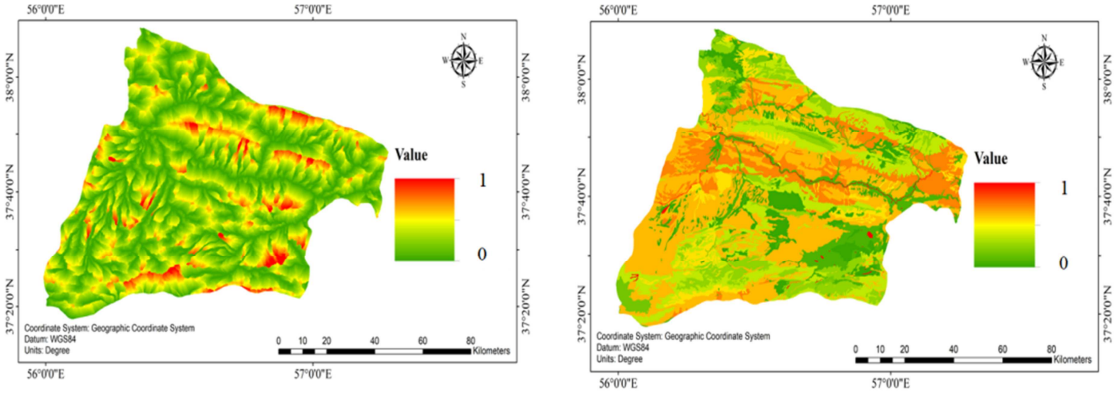
معیارهای مستقل مورداستفاده در این پژوهش شامل ده معیار جریان تجمعی، فاصله افقی تا رواناب، شاخص فورنیه اصلاح‌شده، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله قائم تا رواناب، مدل رقومی ارتفاعی و منحنی رواناب می‌باشد که به‌عنوان متغیرهای مستقل در روش GWR درنظر گرفته می‌شود. این داده‌ها مربوط به ماه خرداد سال ۱۳۹۶ می‌باشند که از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور اخذ شده است. جهت پیاده‌سازی، هر کدام از معیارها در قالب نقشه رستری با اندازه پیکسل ۳۰ متر تولید شد که نقشه هر کدام از این معیارها در شکل (۵) به‌صورت نرمال‌شده نشان داده شده است. ازاین‌رو به‌منظور تهیه لایه DEM از تصاویر SRTM[4] استفاده شد. هم‌چنین از باند ۴ و ۵ تصاویر لندست ۸ جهت تولید لایه NDVI استفاده گردید. به-

[1] Abed
[2] Ahmad
[3] Beheshti
[4] Shuttle Radar Topography Mission

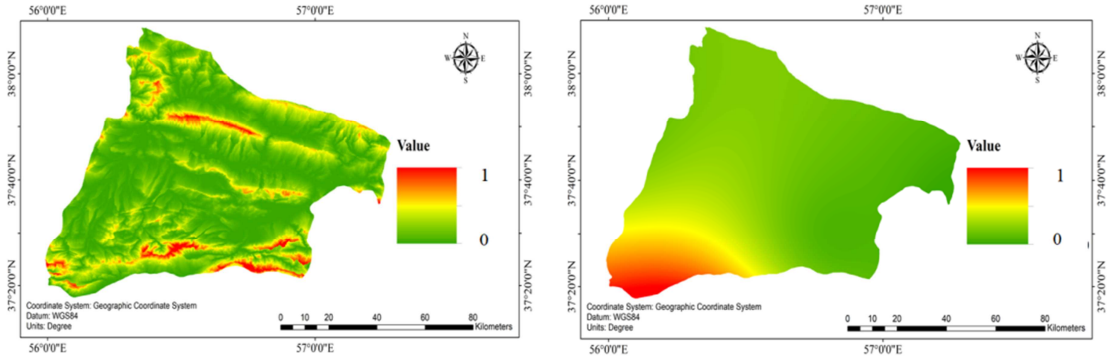
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

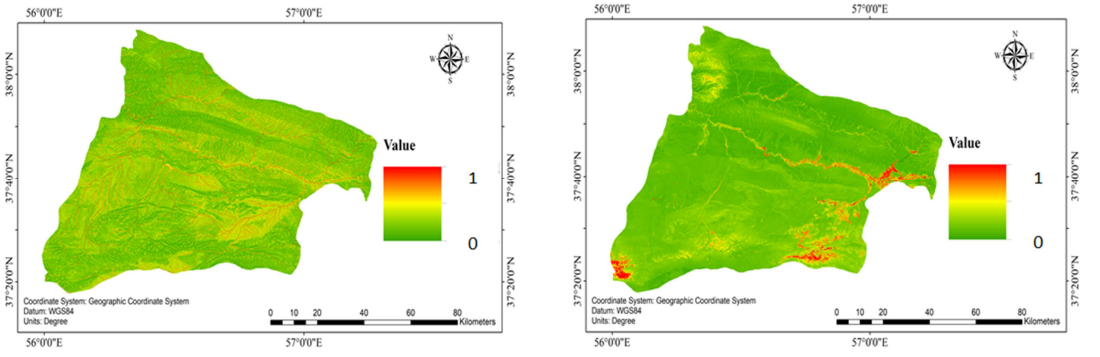
منظور محاسبه مقدار MFI، شش ایستگاه سینوپتیک به‌کار برده شدند. لایه CN نیز از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. سایر لایه‌ها به کمک تحلیل‌های مناسب در نرم‌افزار Arc Map و SAGA GIS ایجاد شدند.



(ب) (الف)



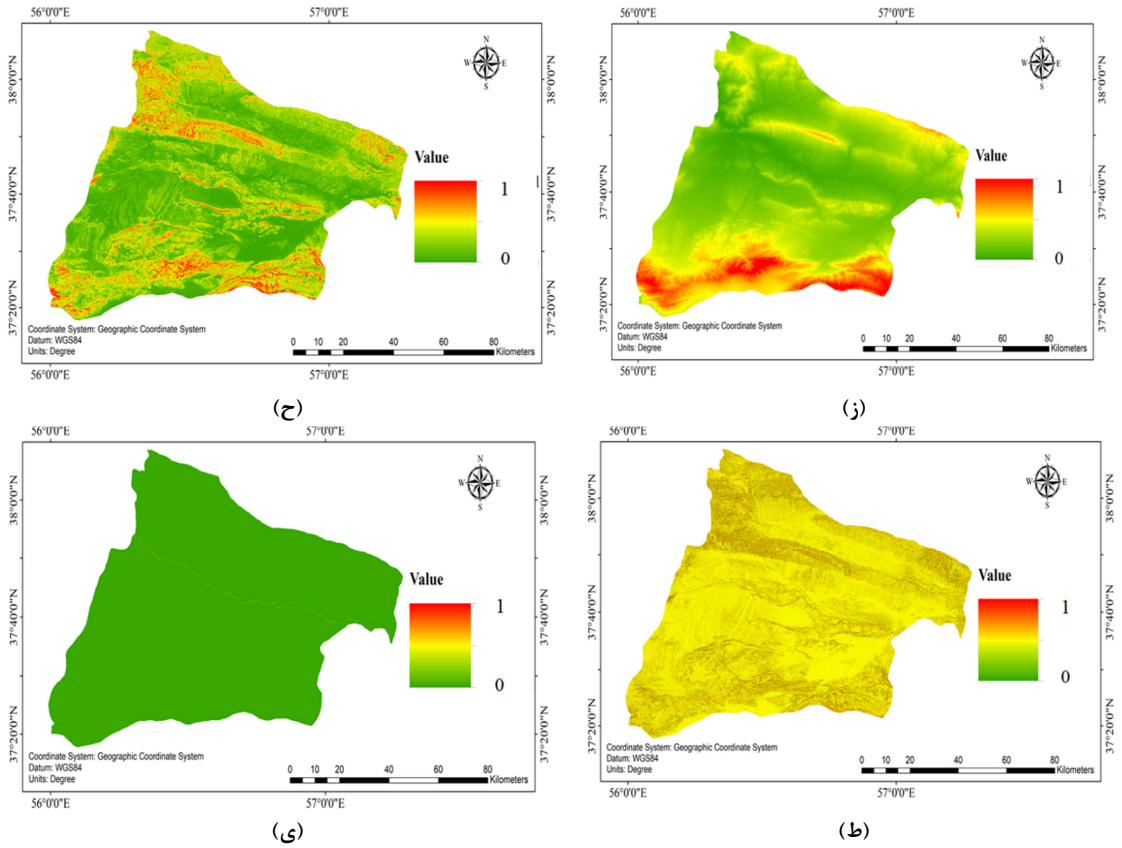
(د) (ج)



(و) (ه)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

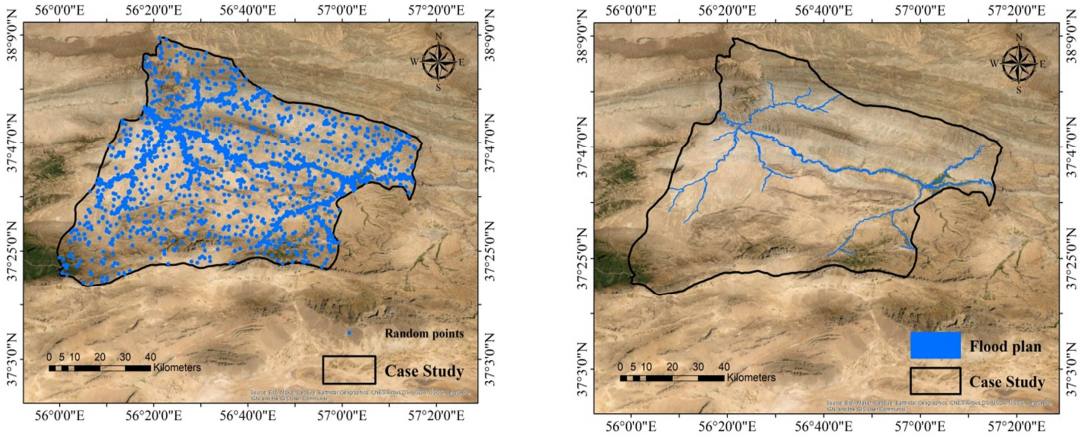


شکل ۵: برخی از معیارهای به‌کاربرده‌شده در منطقه موردمطالعه (الف) منحنی رواناب (ب) فاصله افقی تا رواناب (ج) شاخص فورنیه اصلاح‌شده (د) فاصله قائم تا رواناب (ه) شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (و) شاخص رطوبت توپوگرافی (ز) مدل رقومی ارتفاعی (ح) شیب (ط) شاخص موقعیت توپوگرافی (ی) جریان تجمعی

جهت پیاده‌سازی روش‌های پیشنهادی، نیاز به تولید نقاط پراکنده در منطقه موردنظر است. ازاین‌رو، بر اساس تحلیل Multiple ring buffer، محدوده‌هایی اطراف نقشه مرجع سیلاب (شکل ۶ (الف)، جدول (۱)) تعریف شد. سیلاب حاصل از نقشه مرجع مربوط به خرداد سال ۱۳۹۶ می‌باشد که از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور اخذ شده است. سپس طبق شکل (۶-ب)، ۲۰۰۰ نقطه به‌صورت تصادفی و یکنواخت در منطقه موردمطالعه تولید شد. از بین ۲۰۰۰ نقطه تصادفی ایجادشده در منطقه موردمطالعه، ۱۰۰۰ نقطه خارج از محدوده نقشه مرجع سیلاب و محدوده‌های تعریف‌شده اطراف آن و ۱۰۰۰ نقطه در داخل محدوده نقشه مرجع سیلاب و محدوده‌های تعریف‌شده اطراف آن می‌باشد. سپس مقادیر تمامی معیارهای اطلاعاتی موجود (متغیرهای مستقل و وابسته) برای این نقاط محاسبه (به‌صورت نرمال‌شده) گردید. از این تعداد نقاط ۷۰٪ برای آموزش و ۳۰٪ برای آزمایش به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌صورت یکسان برای تمامی روش‌ها مورداستفاده قرار گرفت. مدل ترکیبی این پژوهش در محیط برنامه‌نویسی Matlab 2015 پیاده‌سازی و اجرا گردید و جهت نمایش خروجی نقشه‌ها از نرم‌افزار Arc Map 10.5 استفاده شد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



(ب) (الف)

شکل ۶: (الف) نقشه مرجع سیلاب (ب) نقاط تصادفی ایجادشده

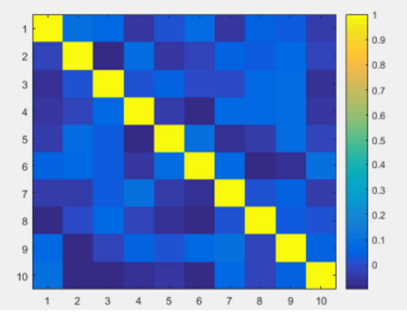
جدول (۱)، نحوه تعریف (امتیازدهی) متغیر وابسته (میزان سیل‌خیزی) را بر اساس محدوده‌های تعریف‌شده در اطراف نقشه مرجع سیلاب نشان داده شده است (آردینسیا[1] و سامونار[2]، ۲۰۲۰).

جدول ۱: تعریف متغیر وابسته بر اساس محدوده‌های تعریف‌شده

موقعیت مکانی نقاط تصادفی ایجادشده	محدوده نقشه مرجع	۱۰۰ متر	۲۰۰ متر	۳۰۰ متر	۴۰۰ متر	خارج محدوده
مقدار امتیاز لحاظ‌شده	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰

پیش از اجرای الگوریتم‌ها، ابتدا همبستگی بین داده‌ها بررسی گردید. شکل (۷) ماتریس همبستگی (همبستگی پیرسون) معیارهای مکانی وقوع سیلاب را نشان می‌دهد (هوتاهائین[3]، ۲۰۱۹). مقادیر ضریب همبستگی بین معیارها بین اعداد ۰ و ۰/۳ به‌دست آمد که نشان از عدم همبستگی بین معیارها مورداستفاده می‌باشد. بنابراین از تمام معیارها در الگوریتم‌ها استفاده گردید.

شماره	معیار مکانی
۱	جریان تجمعی
۲	فاصله افقی تا رواناب
۳	شاخص قورنیه اصلاح شده
۴	شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی
۵	شیب
۶	شاخص موقعیت توپوگرافی
۷	شاخص رطوبت توپوگرافی
۸	فاصله قائم تا رواناب
۹	مدل رقومی ارتفاعی
۱۰	منحنی رواناب



شکل ۷: ماتریس همبستگی متغیرهای مستقل

[1] Ardiansyah
[2] Sumunar
[3] Hutahaean

Archive of SID.ir

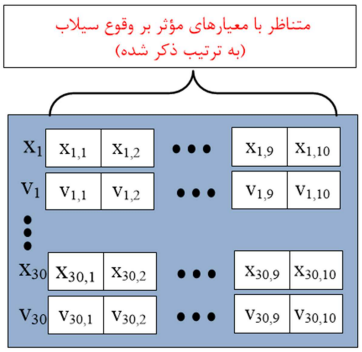
Archive of SID.ir

باتوجه به‌اینکه یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی روش‌های چندمعیاره، پارامتر ضریب تشخیص R^2 است، ازاین‌رو تابع برازش الگوریتم BPSO[1]، کمینه‌کردن مقدار $1- R^2$ انتخاب شده است تا میزان سازگاری مدل با معیارهای مؤثر بر وقوع سیل بررسی شود (فادرینگام[2] و اوشان[3]، ۲۰۱۶). طبق جدول (۲) مقادیر بهینه پارامترهای اولیه الگوریتم BPSO، بر اساس روش سعی و خطا انتخاب شد. شرط توقف جهت ساده‌سازی روند پیاده‌سازی، تعداد اجرای خاص درنظر گرفته شده است.

جدول ۲: پارامترهای مورداستفاده در الگوریتم BPSO

پارامتر	مقدار
اندازه ذرات	۳۰
تعداد اجرا (شرط خاتمه)	۱۰۰
ضریب یادگیری شخصی و جمعی	۲
وزن داخلی	۱
بیشترین و کمترین سرعت	[-۴،۴]

شکل (۸)، ساختار ازدحام الگوریتم BPSO را نشان می‌دهد که معیارهای ذکرشده در شکل (۷)، به‌ترتیب ابعاد آن را تشکیل می‌دهند.



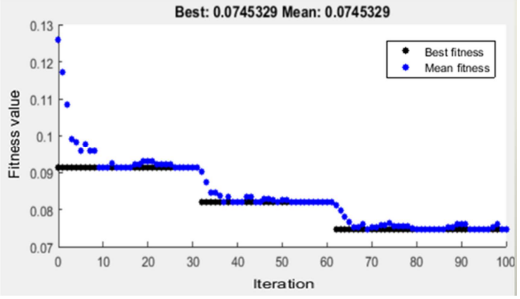
شکل ۸: ساختار ازدحام الگوریتم BPSO در این تحقیق

پس از اجرای الگوریتم GWR با هسته گوسین، بهترین مقدار تابع برازش برابر با ۰/۰۷۴۵ به‌دست آمد و ۹ معیار فاصله افقی تا رواناب، شاخص فورنیه اصلاح‌شده، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله قائم تا رواناب، مدل رقومی ارتفاعی و منحنی رواناب به‌عنوان معیارهای مؤثر بر سیل‌خیزی شناخته شد. شکل‌های (۹) و (۱۰) نتایج حاصل از ترکیب روش GWR با هسته گوسین و الگوریتم BPSO را نشان می‌دهد.

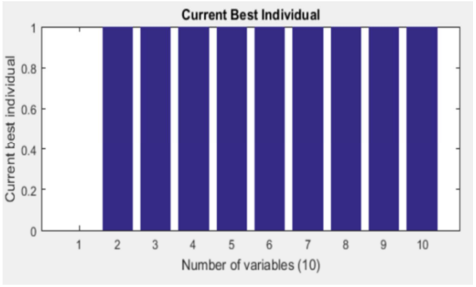
[1] Binary particle swarm optimization
[2] Fotheringham
[3] Oshan

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

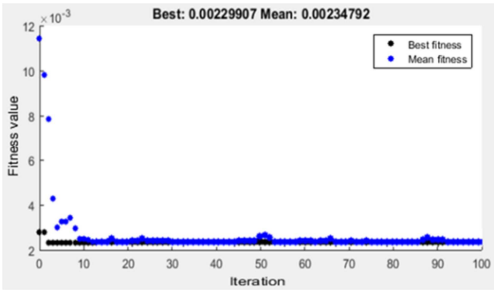


شکل ۹: بهترین مقدار و میانگین مقادیر تابع برازش برای ترکیب روش GWR با هسته گوسین و الگوریتم BPSO

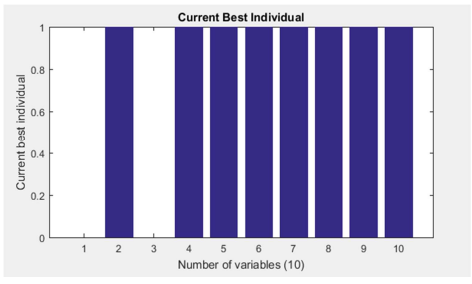


شکل ۱۰: بهترین ترکیب انتخاب‌شده از معیارها توسط ترکیب روش GWR با هسته گوسین و الگوریتم BPSO

هم‌چنین برای هسته مکعبی سه‌گانه بهترین مقدار تابع برازش برابر با ۰/۰۰۲۲ به‌دست آمد و ۸ معیار فاصله افقی تا رواناب، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله قائم تا رواناب، مدل رقومی ارتفاعی و منحنی رواناب به‌عنوان معیارهای مؤثر شناخته شد. شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نتایج حاصل از ترکیب روش GWR با هسته مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: بهترین مقدار و میانگین مقادیر تابع برازش برای ترکیب روش GWR با هسته مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO

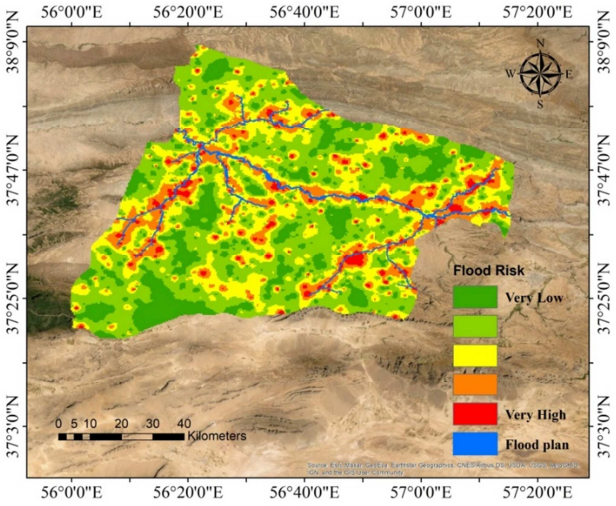


شکل ۱۲: بهترین ترکیب انتخاب‌شده از معیارها توسط ترکیب روش GWR با هسته مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO

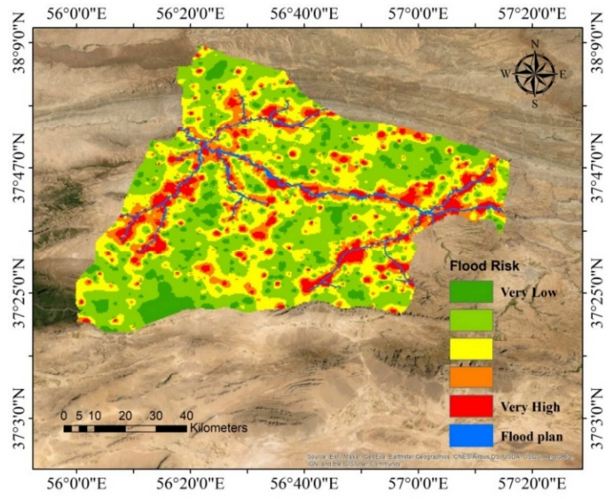
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نشان‌دهنده نقشه خطر وقوع سیلاب در منطقه موردمطالعه با استفاده از ترکیب روش GWR با دو هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO (بر اساس تأثیرات ترکیب بهینه معیارهای مؤثر) در ۵ کلاس برابر می‌باشد.



شکل ۱۳: نقشه خطر وقوع سیلاب با ترکیب روش GWR با هسته گوسین و الگوریتم BPSO



شکل ۱۴: نقشه خطر وقوع سیلاب با ترکیب روش GWR با هسته مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO

مقادیر R^2 و RMSE حاصل‌شده از ترکیب روش GWR دو هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO با استفاده از داده‌های آزمایش محاسبه شده‌اند که در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳: مقادیر R^2 و RMSE حاصل از ترکیب روش GWR با هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO

هسته	R^2	RMSE
گوسین	۰/۹۲۵۵	۰/۳۶۲۵
مکعبی سه‌گانه	۰/۹۹۷۸	۰/۲۱۴۲

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول (۳) نشان می‌دهد که هسته مکعبی سه‌گانه دقت و سازگاری بالاتری را نسبت به هسته گوسین در پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز در منطقه موردمطالعه داشته است. جدول (۴)، انحراف استاندارد ضرایب رگرسیون ترکیب روش GWR با دو هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO را جهت محاسبه میزان تغییرات محلی و ناایستایی مکانی نشان می‌دهد.

جدول ۴: انحراف استاندارد ضرایب ترکیب روش GWR با دو هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO

معیارها	هسته گوسین	هسته مکعبی سه‌گانه
جریان تجمعی	-	-
فاصله افقی تا رواناب	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
شاخص فورنیه اصلاح‌شده	۰/۰۷۱	-
شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی	۰/۰۰۲۴	۰/۰۱۱
شیب	۰/۰۴۲	۰/۰۳۲
شاخص موقعیت توپوگرافی	۰/۱۲	۰/۰۲۱
شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۰۹۸	۰/۰۲۸
فاصله قائم تا رواناب	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۹۸
مدل رقومی ارتفاعی	۰/۰۷۷	۰/۰۳۵
منحنی رواناب	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۲۱

باتوجه به جدول (۴) در روش GWR با هسته گوسین، رابطه معیار شاخص موقعیت توپوگرافی و سیل‌خیزی منطقه با تغییر مکان بیشترین تغییر و رابطه معیار منحنی رواناب و سیل‌خیزی منطقه با تغییر مکان کمترین تغییر را می‌کند. هم‌چنین برای هسته مکعبی سه‌گانه، رابطه معیار مدل رقومی ارتفاعی و سیل‌خیزی منطقه با تغییر مکان بیشترین تغییر و رابطه معیار منحنی رواناب و سیل‌خیزی منطقه با تغییر مکان کمترین تغییر را می‌کند. درنهایت از شاخص سراسری موران جهت تعیین خودهمبستگی مکانی باقیمانده‌های مدل GWR استفاده شد که از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود (فادرینگام[1] و اوشان[2]، ۲۰۱۶):

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{ij}(x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{S_0 \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2} \qquad (۱۵)$$

که x_i و x_j به‌ترتیب مقادیر سیل‌خیزی نقاط تصادفی i و j ، W_{ij} وزن مکانی بین دو نقطه تصادفی i و j، S_0 مجموع کلیه وزن‌ها، $\bar{X}$ متوسط مقادیر سیل‌خیزی برای نقاط تصادفی و n تعداد کل نقاط تصادفی در منطقه موردمطالعه است. جدول (۵) مقادیر شاخص سراسری موران را برای باقیمانده‌های مدل GWR با هسته مکعبی سه‌گانه نشان می‌دهد. چنانچه فرآیند سرشکنی خطاها به‌درستی انجام شود، می‌باید باقیمانده‌های مدل دارای توزیع مکانی تصادفی باشند و مقدار این آماره نزدیک به صفر شود که دراین‌صورت نشان‌دهنده توانایی بالای GWR در مدل‌سازی خودهمبستگی مکانی مشاهدات می‌باشد.

[1] Fotheringham
[2] Oshan

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۵: مقایسه شاخص سراسری موران برای ترکیب روش GWR با دو هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO

نوع هسته	شاخص موران	شاخص مورد انتظار	Z-Score	P-Value
گوسین	۰/۱۰۹	۰/۰۰۰۸۱۲	۱۶/۴۲۱	۰/۰۰۰
مکعبی سه‌گانه	۰/۰۸۲	۰/۰۰۰۸۱۲	۱۷/۱۰۰	۰/۰۰۰

طبق جدول (۵) برای روش GWR با هسته مکعبی سه‌گانه، شاخص موران دارای مقدار نزدیک‌تری به صفر (نسبت به هسته گوسین) است که نشان از توانایی بالای هسته مکعبی سه‌گانه در مدل‌سازی خودهمبستگی مکانی مشاهدات دارد.

نتیجه‌گیری

با بررسی مطالعات صورت‌پذیرفته مشخص گردید در پژوهش‌های پیشین، تحلیل مناسبی برای تعیین ترکیب بهینه معیارهای مؤثر در برآورد خطر سیل انجام نگرفته است و تنها از رویکردهای داده‌محور و دانش‌محور جهت پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی استفاده شده است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۵؛ قوامی و محمدی‌نیا، ۱۳۹۶؛ شفاپور[1] و همکاران، ۲۰۱۷؛ شیاو[2] و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، در این پژوهش سعی شد بخشی از معیارهای مؤثر بر وقوع سیل شهرستان مانه و سملقان شناسایی شود و برای این کار از ترکیب تابع ادغام داده‌محور GWR با دو هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات گسسته (BPSO) استفاده شد. نتایج نشان داد که ترکیب روش GWR با هسته مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO نتایج بهتری را نسبت به هسته گوسین در اختیار قرار می‌دهد. مقدار R^2 حاصل از ترکیب روش GWR با هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO به‌ترتیب برابر ۰/۹۲۵۵ و ۰/۹۹۷۸ به‌دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری بالای هسته مکعبی سه‌گانه با داده‌های این پژوهش می‌باشد. همچنین مقدار RMSE حاصل از ترکیب روش GWR با هسته گوسین و مکعبی سه‌گانه و الگوریتم BPSO به ترتیب برابر ۰/۳۶۲۵ و ۰/۲۱۴۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای هسته مکعبی سه‌گانه است. بر اساس نقشه مرجع سیل (شهرستان مانه و سملقان) اخذشده از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، نتایج حاصل از روش GWR بیانگر مناسب‌بودن انتخاب مدل یادشده جهت پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز در منطقه موردمطالعه بوده است. بر این اساس، نتایج نشان داد که مناطق با آسیب‌پذیری سیل زیاد در محدوده نقشه مرجع سیل برآورد شده‌اند که نیازمند اقدام-های مناسب در راستای مدیریت و مهار سیلاب در این محدوده می‌باشد. علاوه بر این، بررسی کارهای مشابه در زمینه پهنه‌بندی سیل نیز تاییدکننده این نتایج (تأثیرات قابل‌توجه معیارهای مکانی بر وقوع سیل) می‌باشد (کنعانی سادات[3] و همکاران، ۲۰۱۹؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۵؛ قوامی و محمدی‌نیا، ۱۳۹۶). باتوجه به موفقیت روش ادغام داده‌محور مکان‌مبنا به‌کار برده‌شده در این تحقیق پیشنهاد می‌گردد برای پژوهش‌های آتی از دیگر روش‌های ادغام داده‌محور مکان‌مبنا مانند تخمین گشتاورهای تعمیم‌یافته برای مدل خود برگشت‌پذیر مکانی[4] (GMM-SAR) و

[1] Shafapour
[2] Xiao
[3] Kanani-Sadat
[4] Generalized Method of Moments Estimation for Spatial Autoregressive

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ماتریس نمایی مشخصات مکانی[1] (MESS) و ترکیب GWR با شبکه‌های عصبی جهت مقایسه با مدل پیشنهادی پژوهش استفاده نمود.

منابع

خسروی خ بات؛ معروفی نیا ادریس؛ نوحانی ابراهیم؛ چپی کامران (۱۳۹۵)، ارزیابی کارایی مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، شماره ۴، ۸۷۶-۸۶۳. DOI: 10.22059/JRWM.2017.61187

روستایی شهرام؛ موسوی رمضان؛ علیزاده گرجی غلامرضا (۱۳۹۶)، تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN وGIS/RS ،پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی،۶ (۱)، تابستان ۱۳۹۶. ۱۱۸-۱۰۸. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78078.html

شریفی پیچون محمد؛ امیدوار کمال؛ متذکر کوثر (۱۳۹۸)، استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و رگرسیون چندمتغیره در ارزیابی پتانسیل-سنجی سیلاب با تأکید بر پارامترهای هیدروژئومورفولوژیکی (مورد مطالعه: حوضه آبخیز رودخانه مارون). مخاطرات محیط طبیعی, ۸(۲۱). DOI: 10.22111/JNEH.2018.22519.1336

عفیفی محمدابراهیم (۱۳۹۸)، ارزیابی عوامل مؤثر بر مخاطرات سیلاب و تهیه نقشه حساسیت و احتمال وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد)، مدیریت مخاطرات طبیعی، دوره ۶، شماره ۲، تابستان ۹۸، صفحه ۱۶۷-۱۴۹. DOI: 10.22059/JHSCI.2019.279717.462

فیضی زهرا؛ کشتکار امیررضا؛ ملکیان آرش؛ قاسمیه هدی (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی اراضی مستعد پخش سیلاب با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مطالعه موردی: جنوب دشت کاشان)، نشریه علوم آب‌وخاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۲۰، شماره ۷۶،تابستان ۱۳۹۵، ۱۲۹ - ۱۴۱.URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3339-fa.html

قوامی زینب؛ محمدی‌نیا علی (۱۳۹۶)، پیش‌بینی مکانی مناطق سیل‌خیز با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق، اراک، وزارت نیرو.https://civilica.com/doc/711268

محمودزاده حسن؛ باکویی مائده (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری). مخاطرات محیط طبیعی, ۷(۱۸), ۵۱-۶۸. DOI: 10.22111/JNEH.2018.19885.1238

Abed, K.A., Ahmad, A.A., (2020), The best parameters selection using pso algorithm to solving for ito system by new iterative technique. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 18(3), pp.1638-1645. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.90.112016

Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Nadian, M.H., Davoodnia, V. and Soltanian, S., (2019), Prognostication of lignocellulosic biomass pyrolysis behavior using ANFIS model tuned by PSO algorithm. Fuel, 253, pp.189-198. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.169

Alam, A., Ahmed, B., Sammonds, P., (2020), Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. Quaternary International. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.047

Ardiansyah, A., Sumunar, D.R.S., (2020), Flood Vulnerability Mapping Using Geographic Information System (GIS) in Gajah Wong Sub Watershed, Yogyakarta County Province. Geosfera Indonesia, 5(1), pp.47-64. https://doi.org/10.19184/geosi.v5i1.9959

Beheshti, Z., (2020), A time-varying mirrored S-shaped transfer function for binary particle swarm optimization. Information Sciences, 512, pp.1503-1542. https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.10.029

Eini, M., Kaboli, H.S., Rashidian, M., Hedayat, H., (2020), Hazard and vulnerability in urban flood risk mapping: Machine learning techniques and considering the role of urban districts". International Journal of Disaster Risk Reduction, p.101687. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101687

Fotheringham, A.S., Oshan, T.M., (2016), Geographically weighted regression and multicollinearity: dispelling the myth. Journal of Geographical Systems, 18(4), pp.303-329. https://doi.org/10.1007/s10109-016-0239-5

Guevara, J., Zadrozny, B., Buoro, A., Lu, L., Tolle, J., Limbeck, J., Wu, M. and Hohl, D., (2018), A hybrid data-driven and knowledge-driven methodology for estimating the effect of completion parameters on the cumulative production of

1 Matrix Exponential Spatial Specification

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

horizontal wells. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers. https://doi.org/10.2118/191446-MS
Hudson, P., Botzen, W.W., (2019), Cost-benefit analysis of flood-zoning policies: A review of current practice. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 6(6), p.e1387. https://doi.org/10.1002/wat2.1387
Hutahaean, S., (2019), Correlation of Weighting Coefficient at Weighted Total Acceleration with Rayleigh Distribution and with Pierson-Moskowitz Spectrum. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 6(3). DOI: 10.22161/ijaers.6.3.33
Jancewicz, K., Migoń, P. and Kasprzak, M., (2019), Connectivity patterns in contrasting types of tableland sandstone relief revealed by Topographic Wetness Index". Science of The Total Environment, 656, pp.1046-1062. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.467
Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., Nasseri, M., (2019), A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi-criteria decision-making method". Journal of Hydrology, 572, pp.17-31. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034
Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., Pourghasemi, H.R., (2016), A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with a multi-criteria decision- making technique. Nat. Hazards 83 (2), 947–987. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2
Murray, A.T., Xu, J., Baik, J., Burtner, S., Cho, S., Noi, E., Pludow, B.A. and Zhou, E., (2020), Overview of Contributions in Geographical Analysis: Waldo Tobler". Geographical Analysis.
Oshan, T. M., Li, Z., Kang, W., Wolf, L. J, Fotheringhm, A.S., (2019), MGWR: A Python implementation of multiscale geographically weighted regression for investigating process spatial heterogeneity and scale, ISPRS International Journal of Geo-Information, 8 (6), p. 269. https://doi.org/10.3390/ijgi8060269
Papaioannou, G., Vasiliades, L., Loukas, A., (2015), Multi-criteria analysis framework for potential flood-prone areas mapping. Water resources management, 29(2), 399-418. https://doi.org/10.1007/s11269-014-0817-6
Pourghasemi, H.R., Razavi-Termeh, S.V., Kariminejad, N., Hong, H. and Chen, W., (2020), An assessment of metaheuristic approaches for flood assessment. Journal of Hydrology, 582, p.124536. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124536
Saa-Requejo, A., Martin-Sotoca, J.J., Valencia, J.L., Rodriguez-Sinobas, L., Tarquis, A.M., (2019), Modified Fournier index as a new metric of integrated degradability index ". In Geophysical Research Abstracts (Vol. 21).
Shafapour, M., Shabanihttps, F., Neamah Jebur, M., Honghttps, H., Chenhttps, W., Xie, X, (2017), GIS-based spatial prediction of flood-prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, the weight of evidence and their ensemble techniques, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8:2, 1538-1561. DOI: 10.1080/19475705.2017.1362038
Vojtek, M., Vojteková, J., (2019), Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. Water, 11(2), p.364. https://doi.org/10.3390/w11020364
Wang, X., Liu, H., (2019), A Knowledge-and Data-Driven Soft Sensor Based on Deep Learning for Predicting the Deformation of an Air Preheater Rotor. IEEE Access, 7, pp.159651-159660. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950661
Wu, D., (2020), Spatially and Temporally Varying Relationships between Ecological Footprint and Influencing Factors in China's Provinces Using Geographically Weighted Regression (GWR). Journal of Cleaner Production, p.121089. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121089
Xiao, Y., Yi, S., Tang, Z., (2017), Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. Sci. Total Environ, 599, 1034. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.2.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Afifi, M., (2019), Flood Hazards Susceptibility Map and its Occurrence Probability using Shannon Entropy Model (Case Study: Firoozabad River Basin). Environmental Management Hazards, 6(2), 149-167. DOI: 10.22059/JHSCI.2019.279717.462. [In Persian]

Feyzi, Z., Keshtkar, A., Malekian, A., Ghasemieh, H., (2016), Fuzzy AHP Application for Flood Spreading Site Selection (Case Study: South of Kashan Plain). Journal of Water and Soil Science; 20 (76):129-141. URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3339-fa.html.[In Persian]

Ghavami, Z., Mohamadinia, A., (2017), Spatial forecasting of flood-prone areas using Geographic Information System (GIS). 4th national conference on Application of GIS in Water and Electric Industries, ARAK-2017- 13 & 14 Dec. https://civilica.com/doc/711268. [In Persian]

Khosravi, K., Marufinia, E., Nohani, E., Chapy, K., (2017), Evaluation of Logistic Regression Efficiency in Mapping Flood Susceptibility. Journal of Range and Watershed Management, 69(4), 863-876. DOI: 10.22059/JRWM.2017.61187. [In Persian]

Mahmoudzadeh, H., Bakoi, M., (2018), Flood zoning using fuzzy analysis (case study: Sari city). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(18), 51-68. DOI: 10.22111/JNEH.2018.19885.1238. [In Persian]

Roustaei, Sh., Mousavi, R., Alizade Gorji, GH., (2018), Watershed Flood Zoning Map Preparation Using CN and GIS/RS Methods: A Case Study on Nekarood. Quantitative Geomorphological Research, 6(1), 108-118. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78078.html. [In Persian]

Sharifi Paichoon, M., Omidvar, K., Motazaker, K., (2019), Assessment of flooding using cluster analysis and multivariable regression methods with emphasis on hydro geomorphological parameters (Case study: Maroon catchment). Journal of Natural Environmental Hazards, 8(21), 75-92. DOI: 10.22111/JNEH.2018.22519.1336. [In Persian]

References (in English)

Abed, K.A., Ahmad, A.A., (2020), The best parameters selection using PSO algorithm to solving for ito system by new iterative technique. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 18(3), pp.1638-1645. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.90.112016

Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Nadian, M.H., Davoodnia, V. and Soltanian, S., (2019), Prognostication of lignocellulosic biomass pyrolysis behavior using ANFIS model tuned by PSO algorithm. Fuel, 253, pp.189-198. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.169

Alam, A., Ahmed, B., Sammonds, P., (2020), Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. Quaternary International. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.047

Ardiansyah, A., Sumunar, D.R.S., (2020), Flood Vulnerability Mapping Using Geographic Information System (GIS) in Gajah Wong Sub Watershed, Yogyakarta County Province. Geosfera Indonesia, 5(1), pp.47-64. https://doi.org/10.19184/geosi.v5i1.9959

Beheshti, Z., (2020), A time-varying mirrored S-shaped transfer function for binary particle swarm optimization. Information Sciences, 512, pp.1503-1542. https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.10.029

Eini, M., Kaboli, H.S., Rashidian, M., Hedayat, H., (2020), Hazard and vulnerability in urban flood risk mapping: Machine learning techniques and considering the role of urban districts". International Journal of Disaster Risk Reduction, p.101687. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101687

Fotheringham, A.S., Oshan, T.M., (2016), Geographically weighted regression and multicollinearity: dispelling the myth. Journal of Geographical Systems, 18(4), pp.303-329. https://doi.org/10.1007/s10109-016-0239-5

Guevara, J., Zadrozny, B., Buoro, A., Lu, L., Tolle, J., Limbeck, J., Wu, M. and Hohl, D., (2018), A hybrid data-driven and knowledge-driven methodology for estimating the effect of completion parameters on the cumulative production of horizontal wells. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers. https://doi.org/10.2118/191446-MS

Hudson, P., Botzen, W.W., (2019), Cost-benefit analysis of flood-zoning policies: A review of current practice. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 6(6), p.e1387. https://doi.org/10.1002/wat2.1387

Hutahaean, S., (2019), Correlation of Weighting Coefficient at Weighted Total Acceleration with Rayleigh Distribution and with Pierson-Moskowitz Spectrum. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 6(3). DOI: 10.22161/ijaers.6.3.33

Jancewicz, K., Migoń, P. and Kasprzak, M., (2019), Connectivity patterns in contrasting types of tableland sandstone relief revealed by Topographic Wetness Index". Science of The Total Environment, 656, pp.1046-1062. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.467

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., Nasseri, M., (2019), A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi-criteria decision-making method". Journal of Hydrology, 572, pp.17-31. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034

Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., Pourghasemi, H.R., (2016), A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with a multi-criteria decision- making technique. Nat. Hazards 83 (2), 947–987. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2

Murray, A.T., Xu, J., Baik, J., Burtner, S., Cho, S., Noi, E., Pludow, B.A. and Zhou, E., (2020), Overview of Contributions in Geographical Analysis: Waldo Tobler". Geographical Analysis.

Oshan, T. M., Li, Z., Kang, W., Wolf, L. J, Fotheringhm, A.S., (2019), MGWR: A Python implementation of multiscale geographically weighted regression for investigating process spatial heterogeneity and scale, ISPRS International Journal of Geo-Information, 8 (6), p. 269. https://doi.org/10.3390/ijgi8060269

Papaioannou, G., Vasiliades, L., Loukas, A., (2015), Multi-criteria analysis framework for potential flood-prone areas mapping. Water resources management, 29(2), 399-418. https://doi.org/10.1007/s11269-014-0817-6

Pourghasemi, H.R., Razavi-Termeh, S.V., Kariminejad, N., Hong, H. and Chen, W., (2020), An assessment of metaheuristic approaches for flood assessment. Journal of Hydrology, 582, p.124536. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124536

Saa-Requejo, A., Martin-Sotoca, J.J., Valencia, J.L., Rodriguez-Sinobas, L., Tarquis, A.M., (2019), Modified Fournier index as a new metric of integrated degradability index ". In Geophysical Research Abstracts (Vol. 21).

Shafapour, M., Shabanihttps, F., Neamah Jebur, M., Honghttps, H., Chenhttps, W., Xie, X, (2017), GIS-based spatial prediction of flood-prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, the weight of evidence and their ensemble techniques, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8:2, 1538-1561. DOI: 10.1080/19475705.2017.1362038

Vojtek, M., Vojteková, J., (2019), Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. Water, 11(2), p.364. https://doi.org/10.3390/w11020364

Wang, X., Liu, H., (2019), A Knowledge-and Data-Driven Soft Sensor Based on Deep Learning for Predicting the Deformation of an Air Preheater Rotor. IEEE Access, 7, pp.159651-159660. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950661

Wu, D., (2020), Spatially and Temporally Varying Relationships between Ecological Footprint and Influencing Factors in China's Provinces Using Geographically Weighted Regression (GWR). Journal of Cleaner Production, p.121089. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121089

Xiao, Y., Yi, S., Tang, Z., (2017), Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. Sci. Total Environ, 599, 1034. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.2.

Archive of SID.ir