



Assessing the Vulnerability of Power Distribution Network to Natural Flood Hazards: A Case Study of the Behdan Watershed in Birjand County

Ali Ashrafi^{a*}, Javad Mikaniki^b, Morteza Dehghani^c, Hassan Sabeghi^d

^a Assistant Professor in Remote Sensing and Geographic information system, University of Birjand, Birjand, Iran

^b Associate Professor in Rural Geography, University of Birjand, Birjand, Iran

^c PhD in Watershed Management, Birjand, Iran

^d MA in Geography, University of Birjand, Birjand, Iran

Received: 17 March 2023

Revised: 19 April 2023

Accepted: 1 June 2023

Abstract

According to the South Khorasan Province Electricity Distribution Company report, almost all the villages of the province are equipped with electricity and related services. Since the density of settlements as well as industrial and service centers and consequently the electricity distribution network in the Shahroud watershed located in Birjand county is higher than other basins of the province, as well as, considering the damage caused to the masts and transmission beams of the electricity network in the past years, this study investigated the zoning of the vulnerability of the electricity distribution network against natural hazards in the Behdan watershed as a case to implement the model and estimate possible damages. To conduct this research, first, a map of the bases, the 20 kV network and other facilities of the electricity distribution company was prepared, topographical maps were used and matched with the electricity distribution network, and the effective lines were identified. Due to the absence of a hydrometric station in the studied area, the flood discharge of the studied basin was determined using the experimental-analytical method. In order to determine the flood zones, the transverse profile of the canals was first taken using the DGPS device. Using a photogrammetry drone, images were taken and, a digital elevation model was prepared. Then, the 100-year flood height model in each sub-basin was determined using Hec Ras software, and the flood area was determined using Hec Geo Ras extension in ArcGIS. Finally, the facilities related to the electricity distribution company exposed to flood damage and the possible costs caused by the flood were calculated for a representative basin.

Keywords: Flood Zoning, Vulnerability, Electricity Distribution Network, Birjand County, Behdan Watershed

*. Corresponding author: Ali Ashrafi:

Email: aashrafi@birjand.ac.ir

Tel:+989358307269

How to cite this Article: Ashrafi, A., Mikaniki, J., Dehghani, M., & Sabeghi, H. (2024). Assessing the vulnerability of power distribution network to natural flood hazards: A case study of the Behdan Watershed in Birjand County. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 87-108.

DOI: 10.22067/geoeh.2023.81604.1348



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024

<https://geoeh.um.ac.ir>


 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.81604.1348> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شماره چهل و نهم، بهار ۱۴۰۳، صص ۸۷-۱۰۸

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی سیل

(مورد مطالعه: حوضه بهدان، شهرستان بیرجند)

 علی اشرفی^۱ - استادیار سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

جواد میکانیکی - دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

مرتضی دهقانی - دکتری آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.

حسن سابقی - دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا، گرایش مخاطرات محیطی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۳/۱۱

چکیده

بر اساس گزارش شرکت توزیع برق استان خراسان جنوبی تقریباً تمامی روستاهای استان از نعمت برق و خدمات مرتبط برخوردارند. در این تحقیق با توجه به اینکه تراکم آبادی‌ها و همچنین مراکز صنعتی و خدماتی و به تبع آن شبکه توزیع برق در حوضه آبریز شاهرود بیرجند نسبت به سایر حوضه‌های استان بیشتر است از طرفی، با توجه به آسیب‌های وارد شده به دکل‌ها و تیرهای انتقال شبکه برق در سنوات گذشته، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی در حوضه آبخیز بهدان به‌عنوان نمونه برای اجرای مدل و برآورد خسارت‌های احتمالی مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای انجام تحقیق حاضر در ابتدا نقشه پایه‌ها و شبکه ۲۰ کیلوولت و سایر تأسیسات شرکت توزیع برق اخذ شد، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تطبیق آن با شبکه توزیع برق مسیل‌های تأثیرگذار مشخص شدند. با توجه به عدم وجود

Email: aashrafi@birjand.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۸۳۰۷۲۶۹

نحوه ارجاع به این مقاله:

اشرفی، علی، میکانیکی، جواد، دهقانی، مرتضی، سابقی، حسن؛ ۱۴۰۳. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق در برابر مخاطره طبیعی سیل (مورد مطالعه: حوضه بهدان، شهرستان بیرجند). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳(۱). صص ۸۷-۱۰۸

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.81604.1348>

ایستگاه هیدرومتری در محدوده مطالعاتی، دبی سیلابی حوضه مورد مطالعه با استفاده از روش تجربی-تحلیلی تعیین گردید. برای تعیین پهنه‌های سیلاب ابتدا با استفاده دستگاه DGPS پروفیل عرضی مسیل‌ها برداشت شد. با استفاده از دستگاه پهپاد فتوگرامتری اقدام به برداشت تصاویر و تهیه مدل ارتفاع رقومی شد. سپس مدل ارتفاع سیلاب ۱۰۰ ساله در هر زیر حوضه با استفاده از نرم‌افزار Hec Ras تعیین و با استفاده از افزونه Hec Geo Ras پهنه سیلاب مشخص گردید. در نهایت تأسیسات مربوط به شرکت توزیع برق در معرض آسیب سیلاب و هزینه‌های احتمالی ناشی از سیل برای یک حوضه معرف محاسبه گردید.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی سیل، آسیب‌پذیری، شبکه توزیع برق، شهرستان بیرجند، حوضه آبخیز بهدان.

۱- مقدمه

شریان‌های حیاتی و زیرساخت‌های یک جامعه، بنیان‌های اساسی آن محسوب می‌شود که عملکرد صحیح جامعه به آن وابسته است. بروز هرگونه اختلال در آن‌ها، فعالیت‌های روزمره را با مشکل مواجهه ساخته و در موارد شدیدتر، زمینه‌ساز بحران‌های اجتماعی می‌گردد. در بین زیرساخت‌های حیاتی و حساس، سیستم قدرت و به تبع آن شبکه‌های توزیع نیروی برق، نقش اساسی در فرایند زندگی روزمره جوامع پیشرفته دارد. این نقش نه تنها به دلیل اهمیت انرژی الکتریکی است، بلکه ادامه حیات دیگر زیرساخت‌ها نیز به انرژی مطمئن و پایدار برق وابستگی دارد. با عنایت به اینکه اختلال در تأمین انرژی الکتریکی، منجر به هزینه‌های بالای اقتصادی و اجتماعی می‌شود، تأمین انرژی پایدار موردنیاز خصوصاً برای زیرساخت‌های از پیش تعریف شده و در نتیجه آن ایجاد شرایطی برای استمرار فعالیت‌های اساسی و ضروری مردم، تضمین تداوم نیازهای حیاتی و اداره امور کشور، در شرایط بحران ناشی از بروز بلایای طبیعی همچون سیل از طریق برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های تابآورانه و کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، تأسیسات و تجهیزات حیاتی و حساس، ضروری است. از این رو بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع برق در برابر حوادث طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در خصوص موضوع پهنه‌بندی سیل مطالعات زیادی در ایران و خارج از ایران انجام شده است.

۲- پیشینه مطالعات

۲-۱- مرور منابع داخلی

مختاری هشی و رحیمی (۱۳۹۵)، در پژوهشی پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی را با استفاده از منطق فازی ارزیابی نمودند. در این پژوهش از روش‌های زمین آمار و

تحلیل‌های فضایی و رتبه‌بندی فاکتورهای مؤثر در سیلاب و شاخص‌های *Dunn Index*، *FCM* و *ASW* استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بخش زیادی از جوامع انسانی ساکن در استان خراسان جنوبی شامل ۹ شهر و ۱۵۳ روستا با مجموع بیش از ۲۵۰ هزار نفر جمعیت که بیش از ۳۷ درصد جمعیت استان را تشکیل می‌دهد، در معرض خطر سیل قرار دارند. همچنین شمار زیادی از مراکز مهم و حیاتی استان از جمله فرودگاه، دانشگاه، نیروگاه برق و بیمارستان نیز در خطر قرار گرفته‌اند. این امر نشان می‌دهد که در گذشته فعالیت‌های توسعه‌ای و مکان‌یابی و تخصیص کاربری‌های اراضی با اصول و ضوابط علمی انجام نشده است.

صادقی خمایی و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی کاربرد GIS و الزامات آن در تدوین اطلس آسیب‌پذیری و ریسک شبکه‌های توزیع شبکه برق استان کرمانشاه که در معرض تهدیدات طبیعی قرار دارند را ارزیابی نمودند. برای انجام این پژوهش کلیه اطلاعات شبکه با استفاده از GIS برداشت شده و ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه و تأسیسات در برابر مخاطرات طبیعی مشخص شد. همچنین نقاط، تأسیسات و شبکه‌های آسیب‌پذیر در برابر تهدیدات مختلف شناسایی و اطلس آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع در برابر تهدیدات طبیعی تهیه گردید. نتایج نشان داد با اجرای این سناریو می‌تواند یک تصویر کلان از وضعیت آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع برق کشور و تأمین امکانات لازم جهت کاهش ریسک و اتخاذ راهکارهای پیشگیرانه را ارائه نماید.

صراف و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با بهره‌گیری از تصاویر *Orthophoto* پهنه‌بندی سیلاب رودخانه شاپورخشت در شهرستان کازرون استان فارس را انجام دادند. در این پژوهش از جدیدترین تصویر *Orthophoto* برای تعیین عوارض و محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. همچنین با استفاده از مدل *HEC-RAS* و نرم‌افزارهای GIS و *HEC-GeoRAS* سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد به لحاظ پهنه سیل خیزی، تفاوت چشم‌گیری بین دوره‌های بازگشت مختلف وجود ندارد و در زمان انجام مطالعه جریان آب در منطقه زیر حالت بحرانی است.

مددی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با استفاده از تلفیق روش‌های *SCS-CN* و *WLC* پهنه‌بندی سیلاب در حوضه خیاو چای مشکین‌شهر را ارزیابی نمودند. برای این پژوهش ده عامل شیب، ارتفاع، بارش، *CN*، ارتفاع رواناب، فاصله از رودخانه، خاک، لیتولوژی، پوشش گیاه و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر در بروز سیلاب در نظر گرفته شدند. همچنین برای وزن‌دهی عوامل از روش کرتیک استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با اوزان ۰/۱۷۳، ۰/۱۶۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۳ بیش‌ترین تأثیر را بر رخداد سیلاب داشته‌اند. همچنین طبقه‌های پرخطر و بسیار پرخطر به ترتیب مساحتی بالغ بر ۴۱/۴۵۷ و ۷۵/۸۷۵ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌اند.

گودرزی و فاتحی فر (۱۳۹۸)، در پژوهشی پهنه‌بندی خطر سیلاب تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از مدل SWAT و GIS در حوضه آذرشهرچای را ارزیابی نمودند. برای انجام این پژوهش از داده‌های اقلیمی دما و بارش مدل CanESM2 تحت سناریوی RCP8.5 استفاده شده، ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها با استفاده از مدل SDSM انجام و سپس مقادیر دما و بارش برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۶۰ محاسبه و این اعداد به‌عنوان ورودی مدل SWAT مد نظر قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد ۴۱/۵۵ درصد حوضه در طبقه بسیار کم و کم، ۲۷/۲۳ درصد در طبقه متوسط و ۳۱/۲ درصد در طبقه زیاد و خیلی زیاد به لحاظ خطر سیلاب قرار گرفتند.

صابری فر و شکری (۱۳۹۸)، در پژوهشی پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند را با استفاده از مدل AHP و نرم‌افزارهای ExportChoice و ArcGIS ارزیابی نمودند. در این پژوهش از داده‌های کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مشخصات آبراهه، شیب، تراکم مسکونی و جمعیت، CN، رواناب، قدمت ابنیه و فضاهای باز استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد تمام وسعت شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارد. باوجود این، پهنه‌های جنوب و جنوب شرقی که نزدیک به ۲۰ درصد از وسعت شهر را به خود اختصاص داده‌اند، در معرض خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند. بخش‌های شمال غربی و جنوب غربی با ۵۰ درصد وسعت، در محدوده خطرپذیری متوسط و سایر بخش‌های شهر که دارای کمتر از ۳۰ درصد وسعت می‌باشند، در پهنه خطرپذیری کم و بسیار کم طبقه‌بندی شدند.

حجازی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با استفاده از مدل HEC-RAS و HEC-GEO-RAS خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز ورکش‌چای را پهنه‌بندی نمودند. بر این اساس پس از تعیین پلان رودخانه، کرانه‌های راست و چپ و سرعت جریان، مناطق سیل‌گیر حاشیه رودخانه برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله تعیین گردید. نتایج نشان داد در حاشیه رودخانه ۱۰۰ کیلومتر در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله و ۶۳ کیلومتر در معرض خطر سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله قرار دارد.

احمدی (۱۳۹۸) در پژوهشی پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبریز فرخی را با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش متغیرهای ارتفاع، بارش، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه اصلی، زمین‌شناسی، شیب، شبکه زهکشی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر بر سیلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد بیش‌ترین خطر سیلاب در مرکز و ارتفاعات غربی آبخیز افین است. همچنین روستاهای ورزق، ورزگ، عباس‌آباد، گرگنج و برج محمد در معرض خطر سیلاب شدید قرار دارند. روستاهای فرخی، مهدی‌آباد و خشک در طبقه وقوع سیلاب کم و خیلی کم قرار گرفتند.

ولی‌زاده، کامران و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی تأثیر آن بر اراضی پیرامون رودخانه ليقوان پرداختند. در این پژوهش پس از پردازش داده‌ها با نرم‌افزار HEC-GeoRAS، ورودی‌ها به مدل HEC-RAS وارد و دبی‌های سیل در

دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال برآورد گردید. سپس نقشه پهنه‌بندی با نقشه کاربری اراضی تلفیق شدند. نتایج پژوهش نشان داد با افزایش دوره بازگشت، پهنه‌های سیل‌خیز افزایش یافته به طوری که در دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به ترتیب ۶/۲۴، ۶/۱۳، ۶/۷۵، ۷/۸۰، ۹/۶۹، ۱۰/۳۶ و ۱۱/۴۴ هکتار تحت تأثیر سیلاب قرار خواهد گرفت.

درفشی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی الگویی مناسب برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در منطقه ۱۰ و ۲۲ شهر تهران را بررسی نمودند. به این منظور از بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و نزدیکی به پل‌ها به عنوان متغیرهای فیزیکی، شیب و شبکه آبراهه به عنوان متغیرهای تشدیدکننده سیلاب در روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. نتایج نشان داد متغیرهای تراکم جمعیت و آبراهه به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۸۲۵ و ۰/۰۴۲۸ بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را در پهنه‌بندی سیلاب داشته‌اند. همچنین منطقه ۱۰ نسبت به منطقه ۲۲ از ریسک سیل‌گیری بیش‌تری برخوردار است.

شفیعی مطلق و عبادتی (۱۳۹۹)، در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه مارون در جنوب غرب ایران را ارزیابی نمودند. در این پژوهش نقش‌های کاربری اراضی، توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نرم‌افزار GIS استخراج گردید. از نرم‌افزار HEC-GeoRAS برای تهیه مشخصات شبکه و هندسه آبراهه استفاده گردید. سپس از مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد مساحت سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب برابر با ۱۲۶۵، ۱۶۵۱، ۲۳۳۴ و ۴۴۵۰ هکتار و تعداد روستاهای در معرض خطر به ترتیب برابر با ۲، ۳، ۵ و ۹ هستند.

گروه GIS و مطالعات فنی سیستم شرکت توزیع برق خراسان جنوبی (۱۳۹۹) در مطالعه موردی لایه شبکه فشار متوسط را با لایه حریم رودخانه‌ها در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی تلفیق نموده که بر اساس این مطالعه مشخص شده است که تعداد ۶۰۰ عدد پایه در حریم سیلاب قرار دارند.

۲-۲- مرور منابع خارجی

پردهان^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی در منطقه ترانگو، مالزی، دقت استفاده از SAR^۲ و به‌ویژه داده‌های TerraSAR-X را برای تعیین مناطق سیل‌زده را ارزیابی نمودند. برای انجام این پژوهش از برنامه تجزیه و تحلیل بافت با استفاده از ماتریس هم‌وقوع سطح خاکستری (GLCM^۳) برای طبقه‌بندی مبتنی بر

1 Pradhan

2 synthetic aperture radar

3 Gray-Level Co-occurrence Matrix

پیکسل و شیء استفاده شده است. نتایج نشان داد نقشه‌های موضوعی به‌دست‌آمده از روش پیکسلی نتوانستند به تفسیر بصری قابل قبولی دست یابند این در حالی است که دقت کلی به‌دست‌آمده با روش مبتنی بر شیء ۸۳/۶۳ درصد با ضریب کاپا ۰/۸ بود. نتایج طبقه‌بندی بافت تصویر نشان داد که برنامه پیشنهادی قابلیت تحلیل بافت در تصویر TerraSAR-X را دارد و می‌تواند در بسیاری از کاربردها مانند نقشه‌برداری کاربری/پوشش زمین (LULC)، مطالعات خطر و بسیاری کاربردهای دیگر استفاده گردد.

وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی تاب‌آوری سیستم‌های برق قدرت آمریکا را در برابر بلایای طبیعی مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش ۱۵ عامل خاموشی‌های بزرگ در ایالت متحده از نظر درصد، میزان انرژی توزیع نشده و تعداد مشترکین درگیر مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل شامل طوفان هاریکان، زلزله، ترنادو، آتش‌سوزی، خطای اپراتور، کاهش ولتاژ، طوفان یخ، هوای بسیار سرد بودند. رتبه عوامل از نظر تعداد مشترک متأثر به ترتیب عبارتند از طوفان هاریکان، زلزله، طوفان یخ، سایر عوامل خارجی، افت ولتاژ، باد و باران و حملات عمدی قرار گرفت.

پانتلی^۲ و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی تغییرات آب‌وهوا بر قابلیت اطمینان و عملکرد اجزای سیستم قدرت را بررسی نمودند. در این مقاله چالش‌ها و الزامات ارزیابی اثر تغییرات شدید آب و هوایی بر فرکانس و مدت‌زمان خاموشی‌های سیستم برق مورد بحث قرار گرفته و در نهایت یک چارچوب و مدل جامع تحقیقاتی برای تقویت انعطاف‌پذیری سیستم برق در برابر حوادث شدید آب و هوایی ارائه شده است که می‌تواند به فهمیدن و مدل‌سازی تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی بر شبکه‌های توزیع برق و چگونگی کاهش اثرات مذکور در آینده کمک نماید.

منسا و اوسوریو^۳ (۲۰۱۶)، در پژوهشی تاب‌آوری سیستم‌های الکتریکی را در منطقه هریس، تگزاس؛ تحت تأثیر حوادث اقلیمی ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش تطابق مناسبی پس از شبیه‌سازی با شرایط واقعی نشان داده است. مدل ارزیابی خاموشی همچنین نشان می‌دهد چگونه یک برنامه‌ترمیم و اصلاح تاب‌آوری شبکه عملکرد سیستم را به‌طور قابل توجهی به‌ویژه پس از حوادث طوفان بهبود می‌بخشد. چارچوب استفاده شده ابزاری کارآمد برای کاوش گسترده و طیف وسیعی از سناریوها در سیستم‌های واقعی بزرگ در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

چن^۴ و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرودینامیکی دو بعدی InfoWorks ICM در شهر جینان چین پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد مدل استفاده شده در این پژوهش عملکرد خوب و قابل قبولی داشته است. همچنین نتایج پهنه‌بندی خطر سیل حاکی از آن است که

1 Wang

2 Panteli

3 Mensah & Osorio

4 Cheng

بارندگی‌های با دوره بازگشت بیش‌تر مناطق بزرگ‌تری را با خطر سیلاب متوسط تا شدید مواجه ساخته است.

سینگ^۱ و کاسینگ (۲۰۱۷)، در پژوهشی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای تشخیص مناطق سیل‌زده در جنوب چین را انجام دادند. برای انجام این پژوهش از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس الگوریتم ژنتیک (GA^۲) و شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBFNN^۳) استفاده شد. همچنین تصاویر Landsat 8 OLI از دریاچه Dongting مورد استفاده قرار گرفت. پس از ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و تهیه ماتریس خطا، نتایج نشان داد این روش دقت تولیدکننده، دقت مصرف‌کننده و مقدار ضریب کاپا را در بازه مناسب ارائه می‌دهد و روشی بسیار مؤثر و کارآمد در این زمینه است.

محمد^۴ (۲۰۱۹)، در پژوهشی با ادغام داده‌های سنجش‌ازدور با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مدل‌سازی فضایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل در شهر قنا مصر را انجام داد. در این پژوهش ده عامل بارندگی، خاک، زمین‌شناسی، شیب، ارتفاع، جهت جریان، شبکه زهکشی، پوشش زمین، کل جمعیت و تراکم جمعیت برای پهنه‌بندی استفاده گردید. نتایج نشان داد مناطق شهری قنا، قس، نقده و دیشنا به ترتیب با ۲۵/۳، ۱۴/۹، ۱۲/۳ و ۹/۸ درصد آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر سیلاب‌های ناگهانی هستند. همچنین ۷/۶۶ و ۴۳/۳۶ درصد از جمعیت در گروه‌های با آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا قرار گرفتند.

سانچز مونوز^۵ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی ریسک شبکه برق در برابر جاری شدن سیل در شهرهای بارسلونا و بریستول را ارزیابی کردند. برای انجام این پژوهش انواع متغیرها همچون عمق آب، منحنی‌های شکنندگی، منحنی‌های آسیب، دوره بازگشت‌های با سناریوهای مختلف محاسبه گردید. نتایج نشان داد ۳۶۳ پست توزیع در شهر بارسلونا و ۶۲۳ پست توزیع در شهر بریستول در معرض خطر قرار دارند.

کیتی پونگ‌ویز^۶ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی با استفاده روش AHP-GIS خطر سیل در جوامع نزدیک به سایت میراث جهانی در جزیره آیوتایا در تایلند را ارزیابی نمودند. همچنین در این روش میزان آمادگی افراد در مواجهه با سیلاب از طریق پرسشنامه ارزیابی گردید. بر اساس تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تقریباً نیمی از کل منطقه (۵۲/۶۳٪) و سایت میراث فرهنگی (۴۴/۸٪) در معرض خطر بالای سیل قرار دارند. همچنین رواناب و تراکم جاده از عوامل اصلی وقوع سیل شناسایی شدند. تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد که بین تجربه سیل گذشته و آمادگی ساکنان در برابر سیل همبستگی منفی وجود دارد.

1 Singh

2 Genetic Algorithm

3 Radial Basis Function Neural Network

4 Mohamed

5 Sánchez-Muñoz

6 Kittipongvises

مونوز^۱ و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر سیلاب بر بخش برق را با استفاده از رویکرد تغییر اقلیم در شهر بارسلون اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش دو سناریوی سیل در شرایط فعلی و سیل در شرایط سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) تغییر اقلیم و همچنین اقدامات اعمال شده در بخش آب از جمله افزایش ظرفیت زهکشی شهر و بهبود ظرفیت‌های سیستم فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد بهبودهای ایجاد شده در شبکه برق با اقدامات انجام شده با هم مرتبط هستند و به‌طور قابل توجهی ایمنی شبکه برق را بهبود می‌بخشند. همچنین پیامدهای ناشی از حوادث شدید سیل را تا ۶۰٪، احتمال خرابی را تا ۵۰٪ و هزینه‌ها را تا ۷۷٪ کاهش می‌دهند.

مارچزینی و همکاران^۲ (۲۰۲۱) در پژوهشی بر اساس روش Flood-SHE در ۲۳ حوضه رودخانه مرجع در ایتالیا و با استفاده از اطلاعات مربوط به وجود یا عدم وجود سیل و شش متغیر هیدرومورفومتریکی محاسبه شده از مدل ارتفاع رقومی ۱۰ متری، سیل‌خیزی را بررسی نمودند. در این پژوهش ۹۶ مرتبه مدل برای هر زیربخش با استفاده از ۳۲ ترکیب از متغیرهای کمکی هیدرومورفومتریکی برای سه دوره بازگشت اجرا شد. نتایج نشان داد در همه زیرحوضه‌ها مناطق بالقوه سیل‌گیر دقیقاً با تقسیم‌بندی پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مسیریابی سیل مطابقت داشت. همچنین نتایج حاکی از آن است که تعداد کمی از متغیرهای هیدرومورفومتریکی زمین برای ترسیم پهنه‌بندی دقیق سیلاب کافی است و امکان استفاده از Flood-SHE در مناطق دیگر را فراهم می‌کند.

داده‌یچ^۳ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای SAR در جنوب تایلند به ارزیابی سیلاب پرداختند. برای انجام این پژوهش نقشه‌های کاربری-پوشش اراضی از گوگل ارث انجین و بر اساس طبقه‌بندی جنگل تصادفی (RF^۴) صورت پذیرفت. همچنین طبقه‌بندی برای طبقه زمین‌های زراعی و مناطق مسکونی از تصاویر ماهواره‌ای SAR باند Sentinel-1C ارائه شده توسط ESA (آژانس فضایی اروپا) استفاده شد. در ادامه مجموعه داده‌های قبل و بعد از حادثه سیل اخذ شده و با استفاده از جعبه‌ابزار Sentinel پردازش شدند. نتایج نشان داد اثربخشی Sentinel-1C-band SAR برای نقشه‌برداری سیلاب و طبقه‌بندی پوشش زمین مناسب است و از این رویکرد می‌توان برای برآورد دقیق خسارات/خطرات ناشی از سیلاب‌ها استفاده کرد.

سوتو^۵ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی تاب‌آوری سیستم برق در برابر سیل با استفاده از رویکردهای مدل‌سازی، ارزیابی تأثیر و استراتژی‌های کاهش میان‌مدت را در سایت‌های تگراس ارزیابی نمودند. در این

1 Muñoz

2 Marchesini

3 Dadhich

4 Random Forest

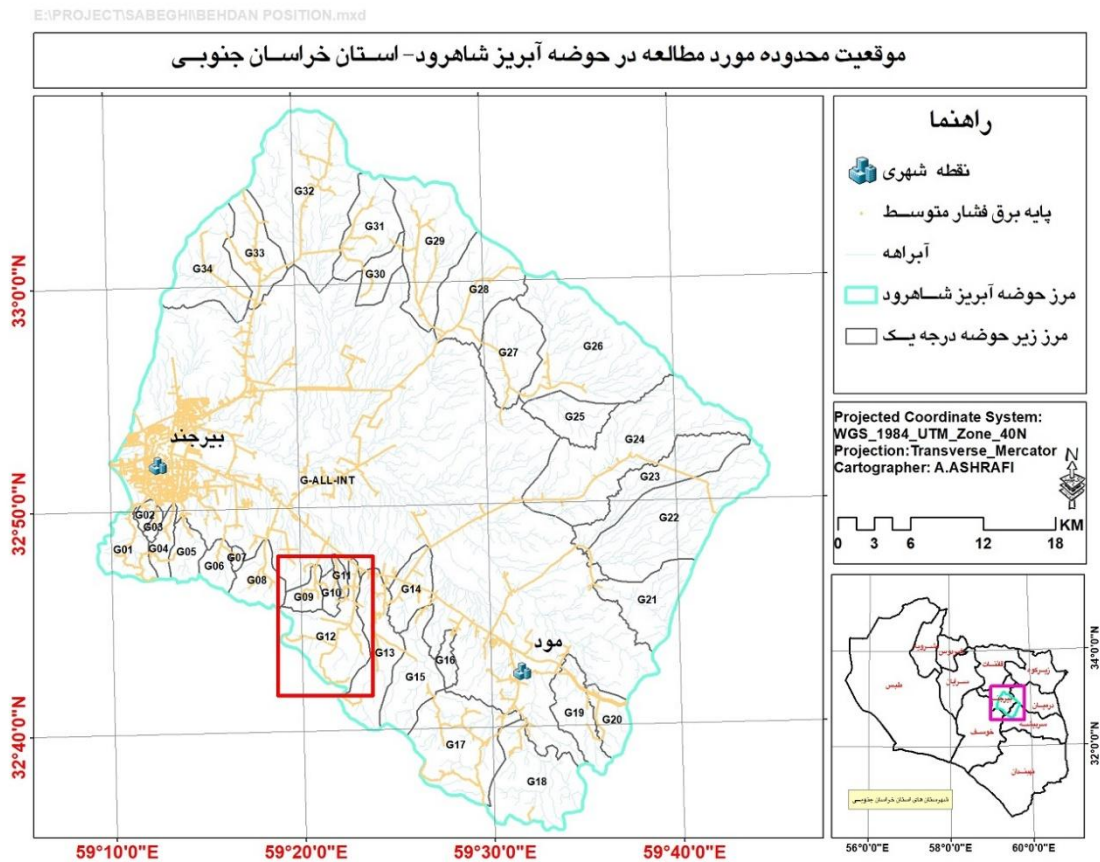
5 Souto

پژوهش از رابطه برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط (MILP) و سناریوهای "بدون تغییر" و "استفاده از برنامه‌ریزی‌های تاب‌آوری" استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد احداث پست‌های برق در مکان‌های استراتژیک باعث افزایش انعطاف‌پذیری سایت‌ها در برابر سیلاب و کاهش اثرات منفی آن می‌شود. همچنین انتخاب مناسب‌ترین مکان سبب کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز می‌گردد.

۳- مواد و روش

۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع شده است. این شهرستان بین مدار ۳۲ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و مدار ۵۸ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شهرستان بیرجند با مساحت ۴۰۰۴ کیلومترمربع ۲/۷ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، شهرستان بیرجند دارای ۱ بخش، ۱ شهر و ۷ دهستان است. این شهرستان از شمال به شهرستان قاینات، از شمال شرق به شهرستان زیرکوه، از شرق به شهرستان‌های درمیان و سریشه، از جنوب به شهرستان خوسف و از غرب به شهرستان سراپان محدود است. از آنجاکه محدوده‌های سیاسی و تقسیمات کشوری در بعضی مناطق با مرز حوضه‌های آبخیز تطابق ندارد. دو حوضه آبریز اصلی در شهرستان بیرجند، حوضه آبریز شاهرود و حوضه آبریز چاهک موسویه است. بخشی از حوضه آبریز شاهرود در شهرستان سریشه قرار دارد. همچنین بخشی از حوضه‌های آبریز چاهک موسویه در محدوده شهرستان بیرجند و بخشی در شهرستان قاینات واقع شده است و خروجی اصلی این حوضه خارج از شهرستان بیرجند است. این تحقیق در حوضه آبخیز بهدان (زیر حوضه G12) از زیر حوضه‌های آبریز شاهرود انجام شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز بهدان در حوضه آبریز شاهرود، شهرستان بیرجند و استان خراسان جنوبی

۳-۲- روش‌ها

هدف از مطالعه حاضر پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه توزیع در برابر مخاطره طبیعی سیل در حوضه آبخیز بهدان است. بدین منظور مراحل تحقیق در چند گام اصلی شامل اخذ موقعیت مکانی تجهیزات شبکه توزیع برق و مکان‌محور کردن آن، نقشه‌برداری مقاطع عرضی و طولی رودخانه بهدان با دستگاه DGPS و پهباد فتوگرامتری، تحلیل سیلاب، مدل‌سازی و روندیابی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار Hec RAS، تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع رودخانه و سیلاب دشت، تبدیل ارتفاع سیلاب به پهنه سیلابی با برنامه Hec GeoRAS و تحلیل‌های مکانی و توصیفی صورت پذیرفته است.

۳-۲-۱- آماده‌سازی داده‌ها

برای انجام این پژوهش ابتدا اطلاعات مکانی مربوط به تجهیزات شبکه توزیع شامل پایه‌های فشار متوسط، ترانسفورماتورها و کلیدها از شرکت توزیع برق شهرستان بیرجند اخذ شد. اطلاعات اقلیمی و محیطی مانند آمار مربوط به بارندگی از اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ گردید. برای تهیه مدل ارتفاع رقومی اقدام به برداشت تصاویر پهپاد با مقیاس خروجی ۱:۵۰۰۰ شد. سایر لایه‌های اطلاعاتی مانند کاربری اراضی و پوشش اراضی از اداره کل منابع طبیعی استان خراسان جنوبی اخذ شد.

۳-۲-۲- نقشه‌برداری مقاطع عرضی و طولی رودخانه

شرط اصلی تعیین ارتفاع سیلاب و پهنه مرتبط با آن داشتن مقاطع طولی و عرضی رودخانه با دقت و مقیاس مناسب است (مهدوی، ۱۳۹۵، لینسلی^۱، ۱۹۷۶). در این تحقیق برای افزایش دقت، در مسیل‌های شناسایی شده در مراحل قبلی اقدام به برداشت پروفیل عرضی با استفاده از دستگاه PSDG و تا فاصله ۱۰۰ متری از مرکز مسیل با استفاده از پهپاد فتوگرامتری اقدام به برداشت داده شد. از تصاویر رنگی و مدل ارتفاع رقومی استخراج شده برای تهیه مقاطع عرضی و طولی مسیل‌ها استفاده شد.

۳-۲-۳- تحلیل‌های هیدرولوژیکی

با توجه به عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در حوضه آبخیز بهدان و حتی شهرستان بیرجند، در این تحقیق به منظور محاسبه دبی سیلابی از روش‌های تجربی پرکاربرد در ایران استفاده شده است. مدل‌های تجربی کریگر، فولر، منحنی پوش، دیکن، استدلالی و SCS از پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده برای برآورد سیلاب حوضه‌های فاقد آمار (مهدوی، ۱۳۹۵، چوو و همکاران^۲، ۱۹۹۶، سینگه^۳، ۲۰۱۷) است. بر اساس بررسی مستندات موجود در گزارش‌های مطالعات حریم بستر رودخانه‌های استان خراسان جنوبی (شرکت آب منطقه‌ای) و همچنین گزارش‌های هیدرولوژی مطالعات آبخیزداری (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری) این مدل‌ها در ایران و استان خراسان جنوبی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج قابل قبولی داشته است. بر این اساس در این تحقیق ضمن استفاده از این روش‌ها برای افزایش دقت محاسبات برآورد سیلاب، ضرایب منطقه‌ای مدل‌های اعلام شده نیز بر اساس اطلاعات ایستگاه هیدرومتری افین (به‌عنوان ایستگاه تقریباً مشابه حوضه که از نظر دوره آماری و صحت و همگنی آمار شرایط مناسبی دارد) و همچنین سایر ایستگاه‌ها (افین، منصورآباد، خونیک، عباس‌آباد) واسنجی شده است. برای تعیین ضریب منطقه‌ای در

1 Linsley

2 Chow et al

3 Singh

دوره بازگشت مختلف نیز ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Hyfa مقادیر دبی سیلابی ایستگاه معرف (و سایر ایستگاه‌ها) با استفاده از توزیع‌های مختلف آماری (نرمال، لوگ نرمال، لوگ نرمال سه پارامتره، گمبل، پیرسون و لوگ پیرسون III) محاسبه (مهدوی، ۱۳۹۵) و سپس توزیع مناسب بر اساس آزمون خی ۲ و همچنین معیار اطلاع بیزی-شوارتز^۲ انتخاب گردید و در مرحله بعدی ضرایب منطقه‌ای هر مدل در دوره بازگشت مختلف تعیین گردید. انتخاب نهایی دبی سیلابی بر اساس مستندات موجود در آرشیو ستاد حوادث غیرمترقبه، شرکت آب منطقه‌ای و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری (گزارش‌های هیدرولوژی حوضه‌های فاز ۱، ۲ و ۳ باقران، آبخوان بیرجند و حوضه آبخیز ارتفاعات شمالی آبخوان بیرجند) و همچنین مصاحبه با جوامع محلی به خصوص کارشناسان دانشگاهی ساکن و یا متولد در حوضه و همچنین بررسی داغ‌آب رودخانه اصلی تعیین و در نهایت نتایج روش دیکن که بر اساس ایستگاه‌های هیدرومتری افین، منصورآباد، خونیک و عباس‌آباد واسنجی شده است انتخاب گردید. برای بررسی دقیق‌تر نتایج انتخابی از تلفیق هم‌زمان داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ نیز استفاده شده است برای این منظور با توجه به اینکه شدیدترین واقعه بارندگی ۳۰ ساله اخیر ایستگاه باران‌سنجی بیرجند در تاریخ چهارم شهریورماه ۱۳۹۹ اتفاق افتاده است مقدار سیلاب حوضه بهدان بر اساس این واقعه بارش و همچنین با کمک آثار داغ‌آب (شواهد میدانی و اطلاعات جوامع محلی مطلع) به دو روش واقعه بارش-سیلاب و برعکس محاسبه گردید. نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر دبی پیک سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف در زیر حوضه‌های فرعی بهدان

نام حوضه	مساحت حوضه (KM ²)	دبی پیک در دوره‌های بازگشت					
		Q100	Q50	Q25	Q10	Q5	Q2
کل حوضه	۳۶۷۴	۶/۵۷	۵/۰۷	۳/۷۳	۲/۲۴	۱/۳۴	۰/۴۵
شماره ۱	۱۶۹۷	۳/۶۸	۲/۸۴	۲/۰۹	۱/۲۵	۰/۷۵	۰/۲۵
شماره ۲	۶/۸۳	۱/۸۶	۱/۴۴	۱/۰۶	۰/۶۳	۰/۳۸	۰/۱۳
شماره ۳	۱۲/۹۲	۳/۰۰	۲/۳۲	۱/۷۰	۱/۰۲	۰/۶۱	۰/۲۰

1 Chi-squared test

2 Bayesian information criterio

۳-۲-۴- محاسبه ارتفاع سیلاب

برای تعیین ارتفاع سیلاب ابتدا با استفاده از پروفیل عرضی و طولی آبراهه اصلی که بر اساس داده‌های DGPS و تصویربرداری پهبادی به دست آمده است مدل هیدرولوژی رودخانه در برنامه Hec-Ras طراحی و سپس با استفاده از مقادیر مختلف پیک سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با فرض شرایط هیدرولوژیکی جریان ماندگار و رژیم غیر بحرانی و همچنین شرایط مرزی (عمق نرمال آب) اجرا گردید مقادیر ضریب مانینگ برای رودخانه بر اساس مقادیر ارائه شده توسط مهدوی (۱۳۹۵) به نقل از کتاب مرجع هیدرولوژی (چو^۱ و همکاران، ۱۹۹۶) و ضرایب تنگ‌شدگی و گشادشدگی مقطع رودخانه و نیز روش آزمون‌وخطا بر اساس وضعیت رودخانه تعیین شده است.

۳-۲-۵- تعیین مدل رقومی ارتفاع رودخانه و سیلاب دشت

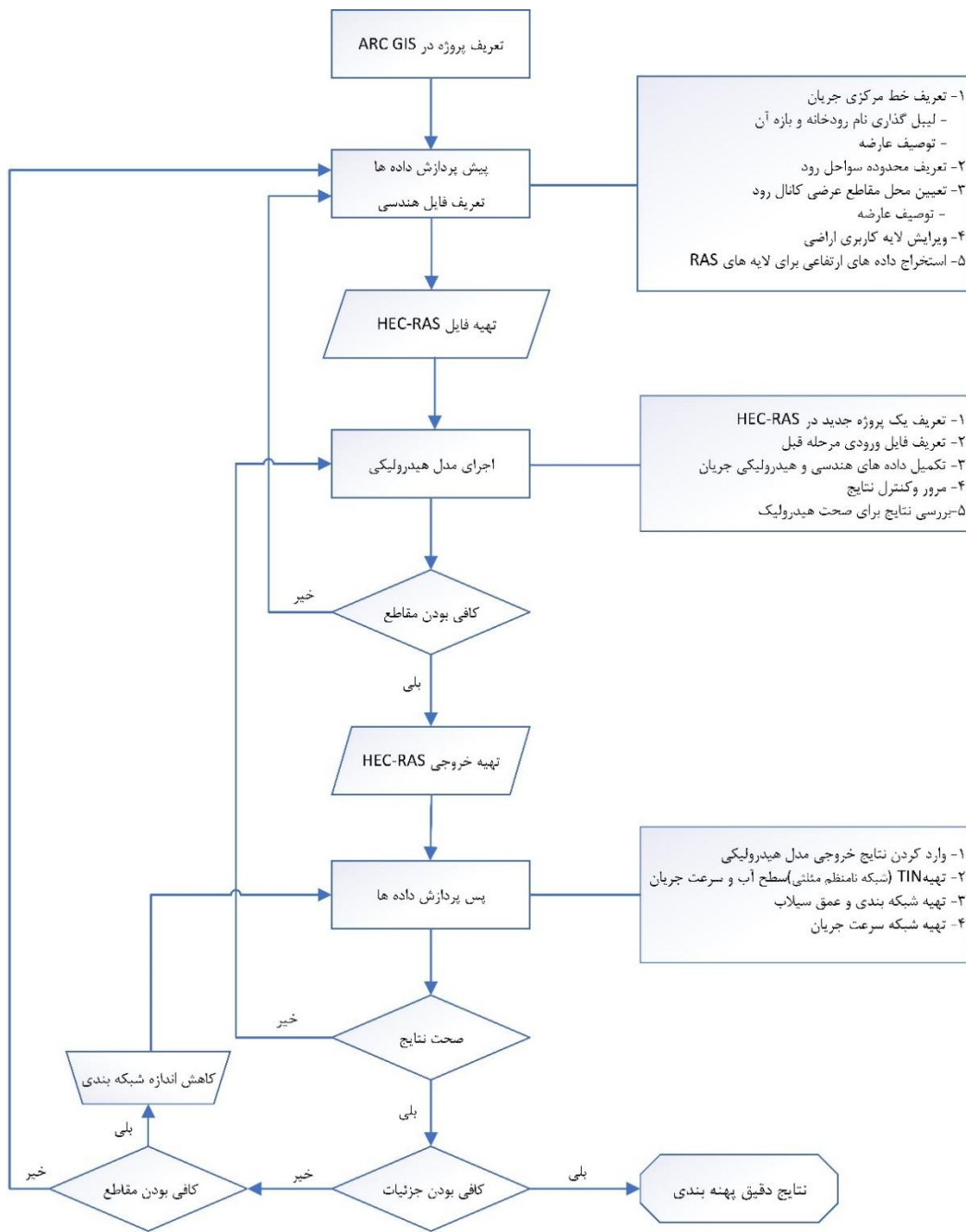
مدل رقومی ارتفاع مقطع طولی و عرضی رودخانه و حریم آن با استفاده از تلفیق اطلاعات نقشه‌برداری شده توسط پهباد و همچنین برداشت‌های میدانی با دستگاه DGPS در نرم‌افزار Agisoft Metashape تهیه شده است.

۳-۲-۶- تعیین پهنه سیلابی

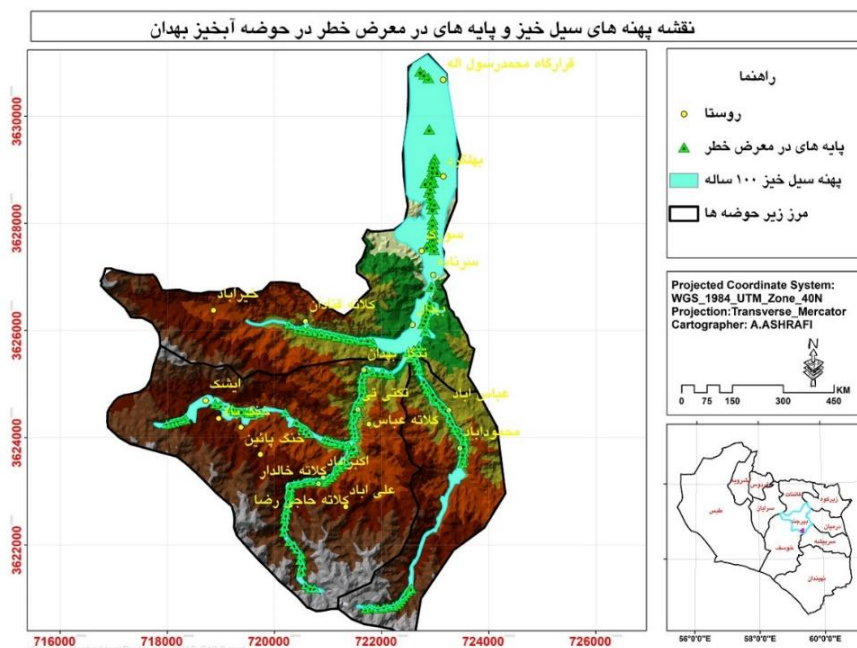
برای تعیین پهنه سیلاب از افزونه (Geo-Hec-Ras) در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 استفاده شده است.

۳-۲-۷- تعیین بخش‌های آسیب‌پذیر شبکه توزیع برق

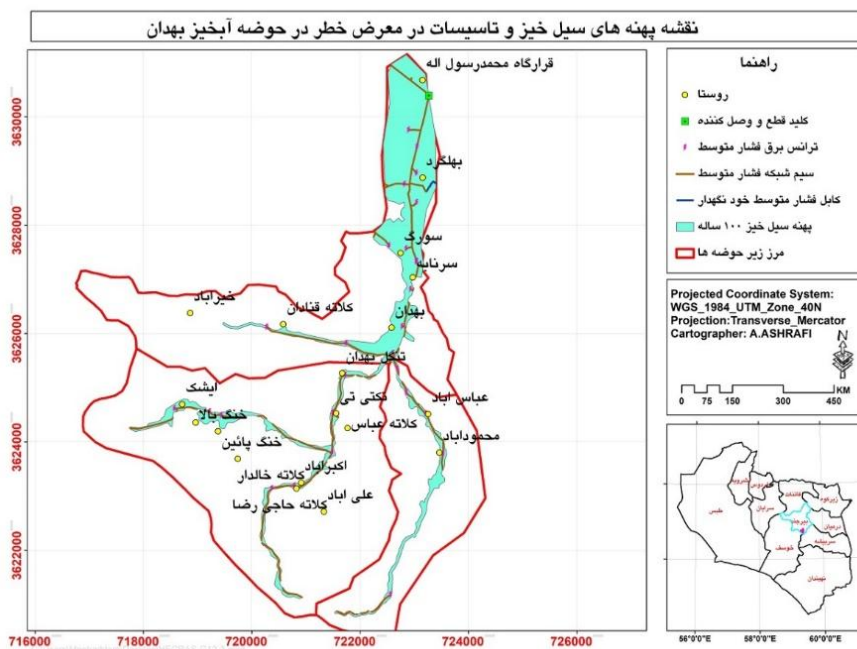
پس از پهنه‌بندی سیل در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و تطبیق پهنه‌های تهیه شده با موقعیت دکل‌های شبکه توزیع برق مشخص گردید در محدوده حوضه بهدان ۲۰۴ پایه دکل، یک تابلو قطع و وصل‌کننده برق، ۲۷ دستگاه ترانسفورماتور برق و ۲۲/۳ کیلومتر سیم شبکه فشار متوسط در معرض خطر سیل قرار دارد.



شکل ۲- نمودار جریان تحقیق



شکل ۳- پهنه‌های سیل خیز و پایه‌های ۲۰ کیلوولت شبکه توزیع برق در معرض خطر در حوضه آبخیز بهدان



شکل ۴- پهنه‌های سیل خیز و تأسیسات شبکه توزیع برق در معرض خطر در حوضه آبخیز بهدان

۳-۲-۸- هزینه‌های خسارات احتمالی به تأسیسات مدیریت توزیع در صورت وقوع سیل با دوره بازگشت

۱۰۰ ساله

هرچند تعداد زیادی از پایه‌های فشار متوسط واقع در مسیر آبراهه‌ها توسط دیوارهای ساحلی و یا افزایش استحکام پایه مقاوم‌سازی شده‌اند، همچنین وجود بند خاکی به‌دان در افزایش زمان تمرکز نقش بسیار مهمی دارد و تمامی تأسیسات شرکت توزیع در پایین‌دست بند در شرایط بهینه می‌تواند از مناطق آسیب‌پذیر حذف شوند. با این حال، اگر احتمال شکستن بند خاکی را در محاسبات وارد کنیم میزان خسارت می‌تواند به مقدار زیادی افزایش پیدا کند. بر اساس تعداد تأسیسات در معرض خطر هزینه‌های احتمالی ناشی از یک سیل با بازگشت ۱۰۰ ساله مطابق جدول (۲) است.

جدول ۲- هزینه‌های خسارات احتمالی ناشی از یک سیل با بازگشت ۱۰۰ ساله

عنوان تأسیسات در معرض خطر	تعداد	واحد	هزینه خرید، نصب و احداث هر واحد	هزینه بازسازی تأسیسات آسیب‌دیده	توضیحات
پایه فشار متوسط	۲۰۴	عدد	۱۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۵,۶۱۰,۰۰۰,۰۰۰	میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵
ترانسفورماتور	۲۷	دستگاه	۳/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۰,۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵
کلید قطع‌کننده اتومات	۱	دستگاه	۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵
سیم شبکه	۲۲۳۲۶	متر	۲/۰۰۰/۰۰۰	۱۱,۱۶۳,۰۰۰,۰۰۰	میزان خسارات وارده حدود ٪۲۵
مجموع			۳۷/۵۲۳/۰۰۰/۰۰۰		

با توجه به اینکه تأسیسات آسیب‌دیده قابل بازسازی و استفاده مجدد می‌باشد بنابراین خسارات وارده بر اساس ٪۲۵ هزینه خرید، نصب و احداث هر واحد تأسیسات محاسبه شده است.

۴- نتایج و بحث

بررسی پیشینه مطالعه نشان می‌دهد روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است، در اکثر مناطق ایران کمبود اطلاعات هیدرومتری لزوم استفاده از روش‌های تجربی را ملموس‌تر می‌کند. روش‌های تجربی بسیار متنوع هستند تعمیم اطلاعات از یک زیر حوضه به حوضه‌هایی با فاصله زیاد و شرایط طبیعی و فیزیکی متفاوت باید با وسواس و قبول ریسک پایین انجام شود. در ضمن ارزیابی‌های دقیق زمینی برای صحت سنجی مدل‌ها انجام شود. عدم توجه به این مبانی علمی می‌تواند نتایج نادرستی را به همراه داشته باشد. همچنین عدم توجه به مبانی علمی در جانمایی زیربنای توسعه‌ای و از جمله شبکه

توزیع برق سبب بروز آسیب و خسارات فراوان به تأسیسات مذکور شده است. لذا تعیین پهنه‌های دقیق مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی اصولی در راستای جانمایی عملیات اجرایی می‌تواند کمک ارزشمندی برای افزایش تاب‌آوری و ارائه خدمات بهتر در زمان نیاز به مدیریت مخاطرات باشد. تجربیات نشان می‌دهد روش‌های مبتنی بر نظر کارشناس نمی‌تواند حداقل‌های یک تصمیم‌گیری مطمئن را تأمین نماید، یا به عبارتی مقیاس خروجی متناسب با نیازهای شرکت توزیع نیست، پهنه‌های استخراج شده در این مدل‌ها بشدت خلاصه‌سازی شده و کلی هستند. در روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و آموزش ماشین اگرچه می‌تواند نتایج بهتر از روش قبلی حاصل شود اما در حوضه‌های کوچک که تنوع واحدهای طبیعی کم است ممکن است نتایج مناسبی حاصل نشود. در مطالعه حاضر مدل‌سازی هیدرولوژیکی بر اساس روش‌های تجربی تعمیمی (حوضه افین) اما مدل‌های هیدرولوژیکی بر اساس داده‌های زمینی انجام شده است، حالت ایده آل این است که در حوضه آبخیز هم داده‌های هیدرولوژیکی وجود داشته باشد و هم لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی با مقیاس بزرگ در این حالت می‌توان در مقیاس اجرایی و کمتر از ۱:۵۰۰۰ نسبت به اتخاذ تصمیم اقدام کرد. در محدوده مطالعاتی حاضر با توجه به اینکه بسیاری از روستاها در مناطق کوهستانی واقع شده‌اند، احداث شبکه، برق‌رسانی، نگهداری شبکه و تعمیرات آن هزینه‌های مربوطه را نسبت به مناطق دیگر چندین برابر افزایش می‌دهد. از طرفی به دلیل صرف جویی در هزینه‌های فوق، شبکه‌های توزیع برق قدیمی و جدید در مسیر آبراهه‌ها ورود خانه‌ها احداث گردیده‌اند، لذا در مواقع مختلف سال با بارش باران‌های رگباری قسمتی از شبکه و تأسیسات توزیع برق واقع در مسیرهای مذکور دچار آسیب و خسارات گردیده که در نتیجه قطع برق کلیه مشترکین مسیر گاه به مدت طولانی (به دلیل عدم امکان دسترسی به شبکه) را به دنبال خواهد داشت. نتیجه آن تأثیرات منفی بر شرایط زندگی مردم در روستاها است. خسارات وارده به محصولات گلخانه‌ها و تلف شدن مرغ‌ها در مرغداری‌ها که عموماً در مسیرهای روستایی احداث می‌گردند، اختلال و قطع ارتباطات و خسارات به لوازم برقی مشترکین از جمله این خسارات است. هزینه‌های مربوط به تأمین برق مردم با استفاده از مولدهای برق اضطراری در طول زمان بازسازی شبکه از دیگر خسارات وارده است. همچنین با توجه به واقع شدن بخش زیادی از شبکه توزیع برق در مسیرهای سیل‌خیز، همه‌ساله وقوع سیل‌های متعدد خسارات زیادی را بر مجموعه توزیع برق شهرستان و به تبع آن شرکت توزیع برق استان وارد می‌کند (به‌عنوان نمونه در شهریورماه ۱۳۹۹ حدود ۲۱/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال خسارت در اثر وقوع سیل به شبکه توزیع برق وارد گردید).

۴-۱- پیشنهادها

۴-۱-۱- پیشنهادهای اجرایی

- ۱- جابجایی شبکه و تأسیسات واقع شده در مسیرهای سیل گیر و آبراهه‌ها
- ۲- تغییر مسیر سیلاب در صورت امکان
- ۳- مقاوم‌سازی شبکه‌ها و تأسیسات واقع شده در مسیرهای سیل گیر و آبراهه‌ها با اقداماتی همچون احداث سیل بند، بتن کاری، ایجاد رمپ، ایجاد دیوار ساحلی و موضوعاتی مشابه و مرتبط
- ۴- اصلاح و بازسازی شبکه‌های قدیمی و فرسوده واقع در مسیرهای روستایی
- ۵- مسیریابی مناسب جهت احداث شبکه‌های جدید

۴-۱-۲- پیشنهادهای پژوهشی

- ۱- انجام طرح‌های پژوهشی تطبیقی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌های سیل خیز در حوضه‌های آبخیز دارای داده هیدرومتری و هواشناسی، روش‌های تجربی، نظر خبرگان و پرسشنامه و مدل‌های مبتنی بر داده
- ۲- ارزیابی دقت مدل‌های مختلف ارتفاعی رقومی در تعیین پروفیل طولی و عرضی آبراهه‌ها و خروجی مدل‌های هیدرولیکی
- ۳- بررسی دقیق نقش سازه‌های ذخیره‌ای در کاهش یا افزایش تخریب سیل
- ۴- بررسی دقیق نقش سازه‌های هیدرولوژیکی و آبخیزداری در کاهش یا افزایش تخریبی سیل

تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد جغرافیا، گرایش مخاطرات محیطی، مصوب و دفاع شده در دانشگاه بیرجند استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از مدیریت و کارشناسان محترم شرکت توزیع نیروی برق خراسان جنوبی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی و شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، به خاطر در اختیار قرار دادن لایه‌های اطلاعاتی مرتبط و نیز هیئت‌داوران پایان‌نامه که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

کتابنامه

- احمدی، عبدالمجید؛ ۱۳۹۸. تحلیل و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در مناطق خشک با استفاده از تحلیل‌های مکانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز فرخی). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره نهم، شماره ۳۶، صص ۴۳-۳۲. <https://sid.ir/paper/380470/fa>
- آذری، آرش؛ بافکار، علیجان؛ آخوندعلی، علی محمد و عبدالله طاهری تیزرو؛ ۱۳۸۶. کالیبراسیون مدل منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش دیکن در مناطق فاقد آمار (مطالعه موردی حوضه شیوند خوزستان). پژوهش کشاورزی، دوره هفتم، شماره ۴ (ب) (ویژه‌نامه)، صص ۱۷۵-۱۸۴. <https://sid.ir/paper/84788/fa>
- اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی
- حجازی، اسداله؛ خدائی قشلاق، فاطمه و لیلا خدائی قشلاق؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز ورکش چای با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEO-RAS. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره نوزدهم، شماره ۵۳، صص ۱۵۵-۱۳۷. <https://sid.ir/paper/102204/fa>
- درفشی، خه‌بات؛ عادل‌ساردو، فاطمه و بهرام‌ملک محمدی؛ ۱۳۹۹. ارائه الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب مطالعه موردی: مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران. مدیریت بحران، دوره نهم، شماره ۱۷، صص ۱۶-۵. <https://sid.ir/paper/389082/fa>
- دهقانی، مرتضی؛ ۱۳۹۷. اثر تغییر اقلیم بر منابع آب، پوشش گیاهی و درآمد بهره‌برداران آبخوان بیرجند؛ رساله دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ رساله دکتری، صص ۲۱۰.
- ساسان پور، فرزانه؛ آهنگری، نوید و صادق حاجی نژاد؛ ۱۳۹۶. ارزیابی تاب‌آوری منطقه ۱۲ کلانشهر تهران در برابر مخاطرات طبیعی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره چهارم، شماره ۳، صص ۹۸-۸۵. <https://sid.ir/paper/264737/fa>
- شرکت توزیع نیروی برق خراسان جنوبی ۹۹
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، ۱۴۰۰
- شفیع مطلق، خسرو و ناصر عبادتی؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS مطالعه موردی: رودخانه مارون-جنوب غرب ایران). اکوهیدرولوژی، دوره هفتم، شماره ۲، صص ۴۰۹-۳۹۷. <https://sid.ir/paper/361673/fa>
- صابری فر، رستم و هومر شکری؛ ۱۳۹۸... پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند. آمایش سرزمین، دوره یازدهم، شماره ۱، صص ۱۷۸-۱۵۹. <https://sid.ir/paper/377591/fa>
- صادقی خمایی، مسعود؛ سپاسیان، محمدصادق و مجید رشیدی؛ ۱۳۹۶. کاربرد GIS و الزامات آن در تدوین اطلس آسیب‌پذیری و ریسک شبکه‌های توزیع در معرض تهدیدات طبیعی (مطالعه موردی: شبکه توزیع برق استان کرمانشاه)، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق، اراک. <https://civilica.com/doc/711356>

- صادقی، سیدحمیدرضا؛ ۱۳۷۴. بررسی علل مؤثر در سیلاب و ارزیابی عوامل قابل کنترل. جنگل و مرتع (جنگل‌ها و مراتع)، دوره دوازدهم، شماره ۲۶. <https://sid.ir/paper/425419/fa>
- صراف، امیرپویا؛ محقق زاده، گلناز و نازنین محقق زاده؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی سیلاب رودخانه شاپورخشت با بهره‌گیری از تصاویر Orthophoto، فضای جغرافیایی، دوره هفدهم، شماره ۵۷، صص. ۱۷۵-۱۹۴. <https://sid.ir/paper/91472/fa>
- گزارش هیدرولوژی حوضه آبخیز افین، ۱۳۹۷. شرکت آبخیزداران دشت توس. ۱-۱۱۶
- گودرزی، محمدرضا و آتیه فاتحی فر؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهر چای). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره نوزدهم شماره ۵۳، صص. ۹۹-۱۱۷. <https://sid.ir/paper/102198/fa>
- محمودی، فرج الله؛ ۱۳۸۳. ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ ششم، تهران.
- مختاری هشی، حسین و داریوش رحیمی؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، دوره بیست و هفتم، شماره ۱ (پیاپی ۶۱)، صص ۱۶-۱۹۹. <https://sid.ir/paper/153180/fa>
- مددی، عقیل؛ پیروزی، الناز و لیلا آقایی؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC (مطالعه موردی: حوضه خیاو چای مشکین شهر). هیدروژئومورفولوژی، دوره پنجم، شماره ۱۷، صص. ۸۵-۱۰۲. <https://sid.ir/paper/408508/fa>
- مطالعات ساماندهی رودخانه‌های بیرجند؛ ۱۳۸۷. وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی. ۱-۱۱۲.
- وفاخواه، مهدی و علیرضا مقدم‌نیا؛ ۱۳۹۷. کنترل سیلاب. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، چاپ اول، ۴۰۴ ص.
- ولی زاده کامران، خلیل؛ دلیرحسن نیا، رضا و خدیجه آذری آملقانی؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی سیلاب و تأثیر آن بر کاربری اراضی محیط پیرامونی با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره دهم، شماره ۳ (پیاپی ۳۶)، صص. ۵۹-۷۵. <https://sid.ir/paper/189492/fa>
- مهدوی، محمد؛ ۱۳۹۵. هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۴۲ ص.
- نجمایی، محمد؛ ۱۳۷۵. هیدرولیک کاربردی (جلد ۱ و ۲)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. ۴۱۶ ص.
- Dadhich, G., Vanama, V. S. K., Miyazaki, H., & Pal, I. (2021). Flood damage assessment with multitemporal earth observation SAR satellite images: A case of coastal flooding in Southern Thailand. In *Disaster Resilience and Sustainability* (pp. 265-276). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85195-4.00021-4>
- Cheng, T., Xu, Z., Hong, S., & Song, S. (2017). Flood risk zoning by using 2D hydrodynamic modeling: A case study in Jinan City. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/5659197>

- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiars, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101612. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101612>
- Panteli, M., & Mancarella, P. (2015). Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: Impacts and possible mitigation strategies. *Electric Power Systems Research*, 127, 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.06.012>
- Pradhan, B., Hagemann, U., Shafapour Tehrany, M., Prechtel, N. 2013. An easy to use ArcMap based texture analysis program for extraction of flooded areas from TerraSAR-X satellite image. *Computers & Geosciences*, 1-34. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.011>
- Linsley, R. K. (1976). *Water-resources engineering*. WW Norton & Company.
- Marchesini, I., Salvati, P., Rossi, M., Donnini, M., Sterlacchini, S., & Guzzetti, F. (2021). Data-driven flood hazard zonation of Italy. *Journal of Environmental Management*, 294, 112986. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112986>
- Mensah, A. F., & Dueñas-Osorio, L. (2016). Efficient resilience assessment framework for electric power systems affected by hurricane events. *Journal of Structural Engineering*, 142(8), C4015013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001423](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001423)
- Mohamed, S. A. (2019). Application of satellite image processing and GIS-Spatial modeling for mapping urban areas prone to flash floods in Qena governorate, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103507. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.05.015>
- Muñoz, D. S., & García, J. L. D. (2021). GIS-based tool development for flooding impact assessment on electrical sector. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128793. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128793>
- Sánchez-Muñoz, D., Domínguez-García, J. L., Martínez-Gomariz, E., Russo, B., Stevens, J., & Pardo, M. (2020). Electrical grid risk assessment against flooding in Barcelona and Bristol cities. *Sustainability*, 12(4), 1527. <https://doi.org/10.3390/su12041527>
- Singh, A., & Singh, K. K. (2017). Satellite image classification using Genetic Algorithm trained radial basis function neural network, application to the detection of flooded areas. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 42, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.11.017>
- Singh, V. P., & Eng, D. (2017). *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill Education.
- Souto, L., Yip, J., Wu, W. Y., Austgen, B., Kutanoglu, E., Hasenbein, J., ... & Santoso, S. (2022). Power system resilience to floods: Modeling, impact assessment, and mid-term mitigation strategies. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 135, 107545. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107545>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1996). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Wang, Y., Chen, C., Wang, J., & Baldick, R. (2015). Research on resilience of power systems under natural disasters—A review. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(2), 1604-1613. <https://ieeexplore.ieee.org/document/71105972>

