



Research paper

(Received 31 Jan., 2025

Accepted 16 Feb., 2025)

## Investigating the vulnerability of urban infrastructure in the face of flood risk, a case study of the water distribution network of Jiroft City

Mohammad Javad Hassani<sup>1\*</sup>, Abbas Sivandi-Pour<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.*

<sup>2</sup> *Civil and surveying faculty, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran*

### Abstract

In this study, flood hazard zoning within the city of Jiroft and its impact on the Jiroft water supply network were examined. Considering the frequent and intermittent occurrence of floods in this area, this study seems necessary. The required data was obtained from Landsat 8 and Google Earth satellite images, the Alos digital elevation model, and field visits, processed by geographic information system, and converted into maps and information layers. These layers were then evaluated using a multivariate fuzzy decision-making system and analytic hierarchy process (AHP) and finally integrated using geographic information system (GIS), the output of which was initially a flood hazard zoning map of the study area. According to the purpose of this research, by combining this output with the soil erodibility layer, vulnerable points of water supply facilities have been extracted and highlighted. The results show that in the event of a flood, many areas will be flooded and waterlogged, causing damage to the water supply system.

**Keywords:** Jiroft, Flood, Vulnerability, Zoning, Urban Infrastructure

---

\*Corresponding Author: Mohammad Javad Hassani

Email: [mjhassani887@gmail.com](mailto:mjhassani887@gmail.com)

Phone: 034337766100



مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱

## بررسی آسیب پذیری زیرساخت های شهری در مواجهه با خطر سیل، مطالعه موردی شبکه توزیع آب شهر جیرفت

محمدجواد حسنی<sup>۱</sup>\*؛ عباس سیوندی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و فناوری پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.  
<sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

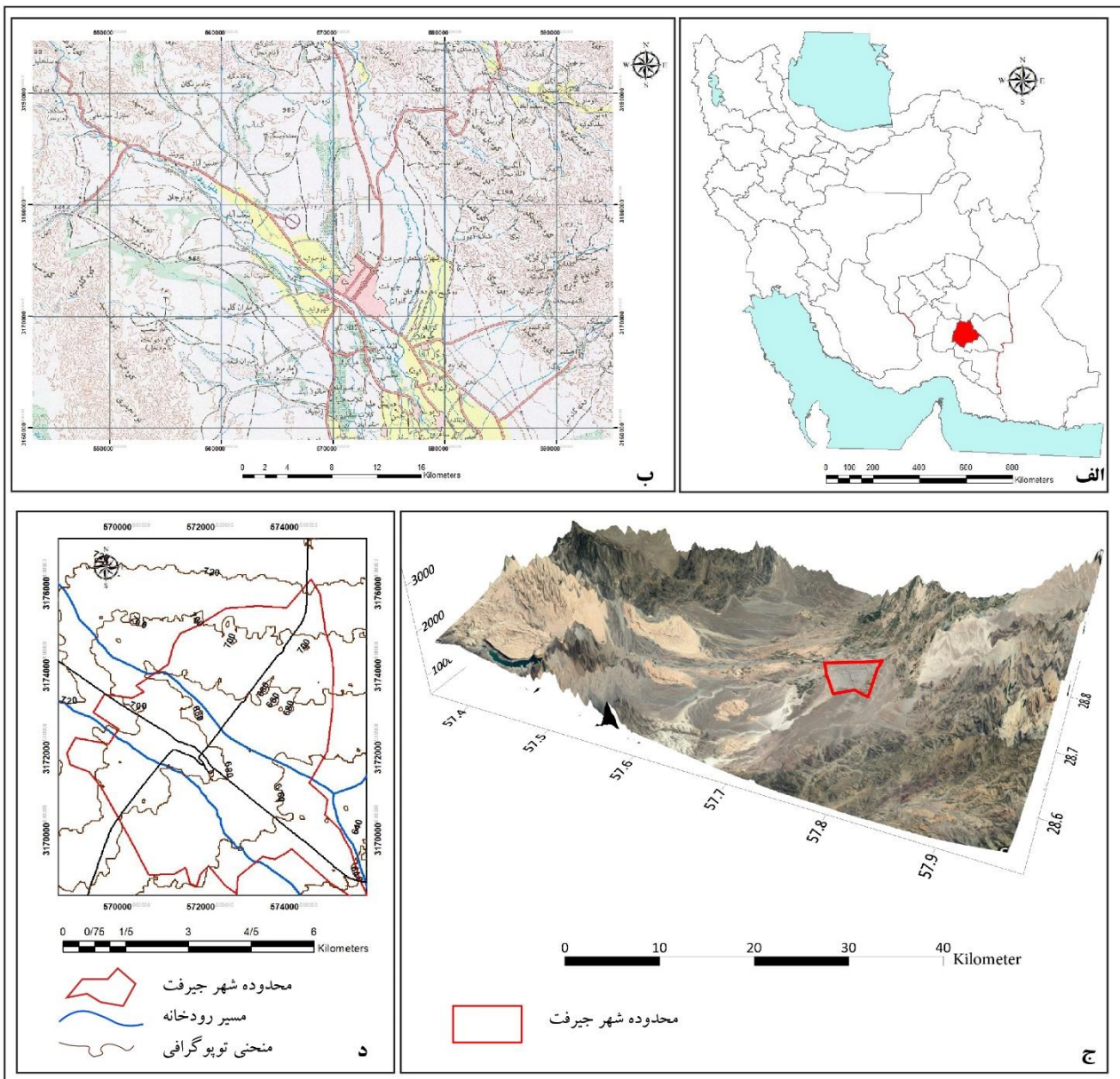
### چکیده

در این پژوهش پهنه بندی خطر سیل در محدوده شهر جیرفت و تاثیر آن بر روی شبکه آبرسانی این شهر مورد بررسی قرار گرفته که با توجه به وقوع مکرر و متناوب سیل در این ناحیه، انجام این مطالعه ضروری به نظر می رسد. داده های مورد نیاز برای انجام این مطالعه از تصاویر ماهواره ای لند ست ۸ و گوگل ارث، مدل ارتفاعی رقومی Alos و بازدیدهای میدانی بدست آمده و توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش شده و تبدیل به نقشه ها و لایه های اطلاعاتی گردیده اند. این لایه ها سپس توسط سیستم تصمیم گیری چند متغیره فازی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن دهی و در نهایت با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) تلفیق شده که خروجی آن در وحله اول نقشه پهنه بندی خطر سیل در محدوده مورد مطالعه بوده است. با توجه به هدف این پژوهش، از تلفیق این خروجی با لایه فرسایش پذیری خاک و نقشه سیستم آبرسانی جیرفت، نقاط آسیب پذیر تاسیسات آبرسانی استخراج و بارز سازی شده است. نتایج نشان میدهند که در صورت بروز سیلاب نقاط زیادی در محدوده شهر دچار آبگرفتگی و آب بردگی گردیده و باعث خسارت به سیستم آبرسانی خواهد شد.

کلمات کلیدی: جیرفت، سیل، آسیب پذیری، پهنه بندی، زیرساخت شهری

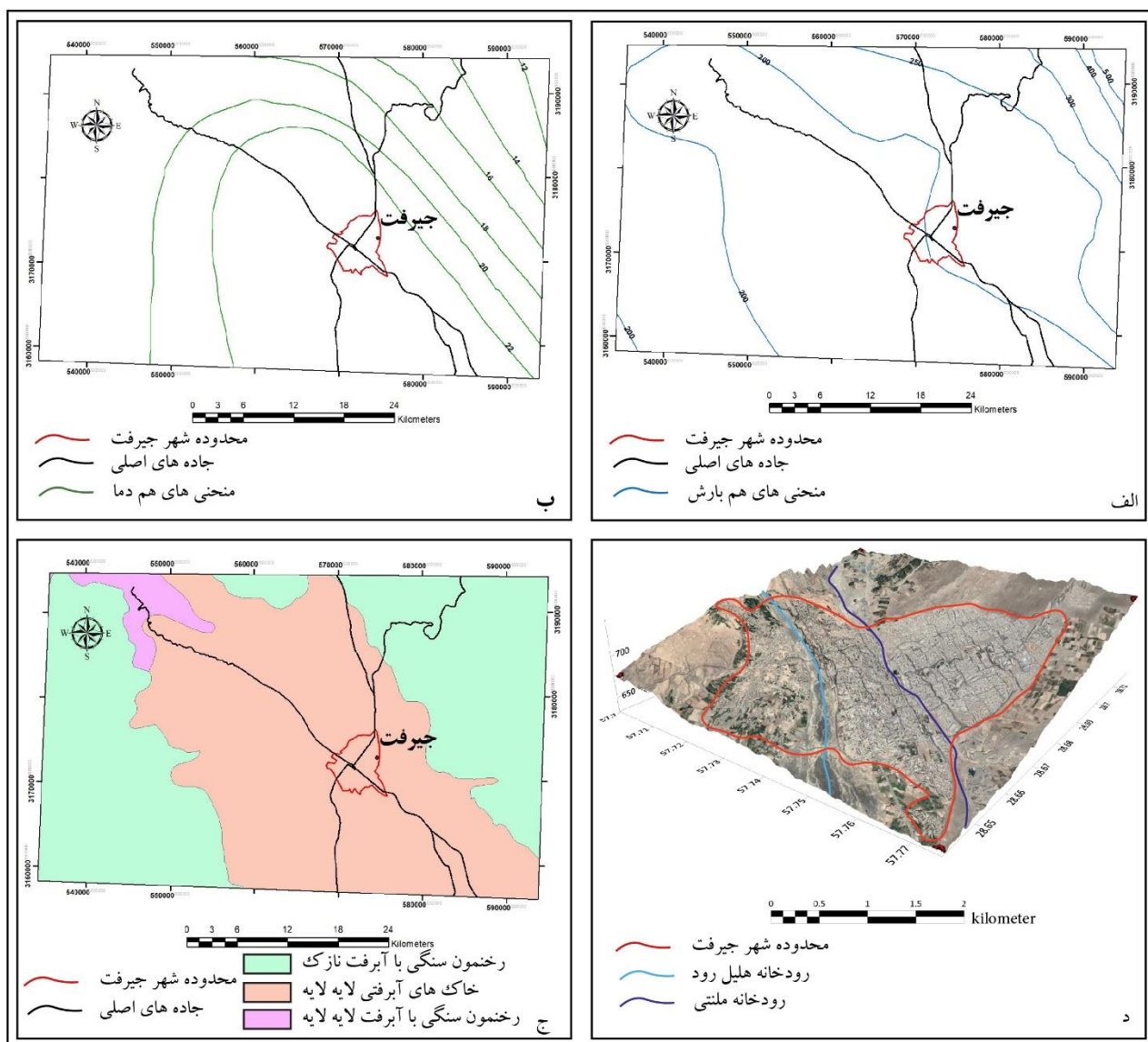
## ۱- مقدمه

پیشرفت جوامع بشری و همچنین افزایش جمعیت در نواحی شهری باعث گسترش افقی و عمودی شهرها بر بستر زمین گردیده است. این گسترش گاهی باعث گردیده تا انسان ناگزیر از ساختن شهرها در اطراف رودخانه ها بوده باشد. از سوی دیگر رودخانه ها در بسیاری از موارد به عنوان منبع آب باعث تمرکز جمعیت و ایجاد جوامع بشری در قالب شهرها و تمدن ها گردیده اند. در هر حال تمامی شهرهایی که در حاشیه رودخانه ها بنا گردیده و یا در اثر گسترش به سمت رودخانه ها کشیده شده اند با خطر سیل روبرو بوده و بایستی که جهت به حداقل رسانیدن خسارات ناشی از آن تمهیدات موثری در برنامه ریزی های شهری اندیشیده شود. در پهنه کشور ایران شهرهای زیادی در مجاورت رودخانه ها بنا یا گسترده شده اند که هر از چند گاهی در دوره های بارندگی مختلف دچار سیل یا آبگرفتگی گردیده و خسارات عمدتاً مالی و گاهی جانی را متحمل می گردند. شدت و دوره تکرار این سیل ها به عواملی همچون رژیم رودخانه ها، مرحله تکامل رودخانه ها، تمهیدات اندیشیده شده در راستای کاهش خسارات و شدت و دوره بازگشت بارندگی ها بستگی دارد. سیلاب به عنوان یکی از بلاهای طبیعی با وسعت زیاد همواره دغدغه ای برای مدیریت و برنامه ریزی شهری بوده است. وقوع سیلاب ها گاهی با ازبین بردن و دفن یک تمدن همراه بوده بطوری که بسیاری از شهرها و تمدن های خاورمیانه و خصوصاً بین النهرین، ایران، هند و آفریقا در اثر وقوع سیلاب نابود گردیده اند. صدمه به زیرساخت های ارتباطی و خدمات رسانی همچون جاده ها، خطوط انتقال نیرو، مخابرات و آبرسانی از پرهزینه ترین و مهمترین آثار و خسارات سیلاب ها در شهرهای کنونی هستند. سیلاب ها همچنین با از بین بردن مزارع و باغات و ایجاد لایه های مختلف رسوبی در سطح زمین های زراعی، گاه امنیت غذایی یک ناحیه را نیز دچار مخاطره نموده اند. در استان کرمان، به عنوان یکی از استانهای کویری تا نیمه کوهستانی، شهرهای بسیاری در مجاورت رودخانه های عمدتاً فصلی بنا شده اند که از جمله مهمترین آنها شهر جیرفت می باشد. سابقه و بررسی های انجام شده در محدوده شهر جیرفت نشان داده که این شهر و محدوده پایین دست آن، بارها دچار سیل های کوچک و بزرگ گردیده اند. رودخانه های جاری در این محدوده شامل سه رودخانه اصلی هلیل رود، رود شور و رود ملنتی بوده که رودخانه هلیل رود بعنوان یکی از رودخانه های مهم ناحیه و پر آب ترین آنها می باشد. شهر جیرفت به عنوان موضوع اصلی این پژوهش در جنوب استان کرمان و جنوب شرقی ایران (شکل ۱-الف)، در ۱۶۵ کیلومتری شهر کرمان واقع گردیده و به شهرهای عنبر آباد، کهنوج، راین، بم و ساردوئیه ارتباط دارد (شکل ۱-ب). این شهر بر روی دشت سیلابی مرتفع بین دو رشته کوه بنا شده (شکل ۱-ج) و خود شهر نیز از شمال تا جنوب بیش از ۱۰۰ متر اختلاف ارتفاع دارد (شکل ۱-د).



شکل ۱- الف، موقعیت شهرستان جیرفت در ایران و استان کرمان؛ ب، راه های دسترسی شهر جیرفت به نواحی مجاور؛ ج، سیمای توپوگرافی محدوده اطراف شهر جیرفت؛ د، نقشه توپوگرافی محدوده شهر جیرفت.

وقوع سیلاب های تاریخی و همچنین بررسی عوامل مهم در سیل خیزی، همچون اقلیم، شیب و رژیم بارندگی، نشان می دهند که محدوده شهر جیرفت و نواحی حومه ای آن تاکنون بارها توسط سیل متاثر گردیده و همچنان نیز در معرض سیل قرار دارند. جیرفت در محدوده اقلیمی گرم و خشک با متوسط بارندگی ۲۰۰ میلیمتر در سال (شکل ۲-الف) و محدوده متوسط دمایی ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتیگراد قرار دارد (شکل ۲-ب). اقلیم این شهر هم متاثر از دشت های پهناور و هم کوهستان های مجاور بوده و لذا دارای خصوصیات مختلط کوهستانی و دشتی می باشد. رودخانه های جاری در این شهر فصلی و موسمی بوده و حوضه آبریز وسیعی داشته و در باران های موسمی به صورت ناگهانی جاری می گردند. بستر شهر جیرفت از نهشته های آبرفتی ضخیم و لایه لایه (Entisole) تشکیل شده است (شکل ۲-ج). این نوع از خاک بسیار فرسایش پذیر بوده و مستعد معلق شدن در زمان وقوع سیلاب و ایجاد جریانات بسیار مخرب می باشد. شهر جیرفت در مجاورت کوهستان بنا شده و شیب کاملاً محسوسی از سمت شمال - شمالغرب به سمت جنوب- جنوب شرق دارد (شکل ۲-د). وجود چنین شیبی باعث شده تا جریانات از سمت بالای شیب (شمال-شمال شرق) به سمت پایین شیب (جنوب-جنوب غرب) به شدت سرعت گرفته و با تخریب بستر، سیل های مخرب تری ایجاد کنند [۱-۲].



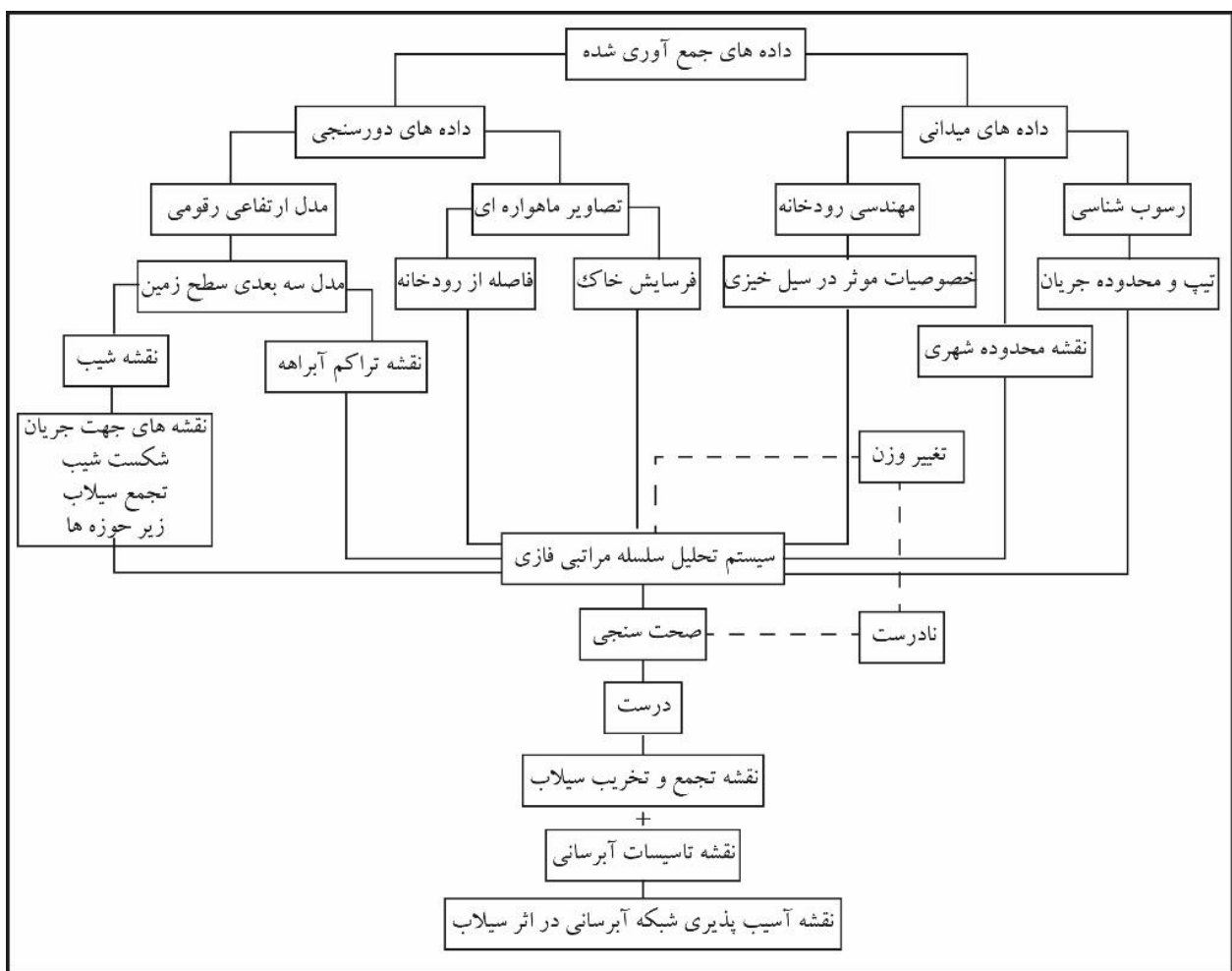
شکل ۲- الف، موقعیت شهر جیرفت در نقشه هم بارش؛ ب، موقعیت شهر جیرفت در نقشه هم دما؛ ج، نقشه خاک های بستر شهر جیرفت و نواحی اطراف آن؛ د، چشم انداز سه بعدی توپوگرافی شهر جیرفت.

بر اساس جستجو های انجام شده متاسفانه تا کنون مطالعاتی از این دست در سطح حوزه آبریز جیرفت به انجام نرسیده و لذا این مطالعه برای نخستین بار به این مهم پرداخته است. از جمله معدود مطالعات انجام شده بر روی سیل سنجی در حوزه جیرفت می توان به مطالعات انجام شده بر روی حوزه هلیل رود و رودخانه های سغدر و شور [۳-۸]. اشاره نمود.

## ۲- روش مطالعه

در این مطالعه، جهت بررسی وضعیت متاثر شدن تاسیسات زیرساختی شهر جیرفت در مقابل خطر سیل، از مدل سازی و پهنه بندی سیل توسط افزونه های هیدرولوژی نرم افزار Arc GIS استفاده شده است. متاسفانه به دلیل عدم وجود داده های کافی همچون میزان بارندگی ها با دوره بازگشت مختلف، عدم وجود آمار ایستگاه های هیدرومتری با توزیع متناسب در سطح حوزه آبریز، عدم وجود ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه های شور و ملنتی، همچنین گستردگی زیاد محدوده آب ریز حوزه جیرفت و سیستم رودخانه ای پیچیده متشکل از چندین رودخانه، استفاده از مدل سازی های معمول با استفاده از سیستم هایی مانند HEC-RAS، SWAT و ..... ممکن نیست. استفاده از مدل های هیدرولوژیکی افزونه هیدرومتری ARC GIS نیز بر پایه آنالیزهای شیب استوار بوده و لذا در

این مطالعه از مدل ارتفاعی رقومی Alos استفاده شده که نسبت به مدل SRTM دقت بالاتری دارد. همچنین جهت پیش بینی بهتر از داده های کاربری اراضی، جنس خاک، فاصله از رودخانه و .... نیز در پیش بینی آسیب پذیری تاسیسات آبرسانی جیرفت استفاده شده است. از تصاویر لند ست ۸ (Landsat 8) و گوگل ارث (Google Earth) نیز جهت استخراج داده های مکانی مورد نیاز بهره برداری شده است. کلیه لایه های ایجاد شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن دهی و جهت خروجی نهایی استفاده شده اند (شکل ۳). برای پهنه بندی خطر سیل در محدوده شهر جیرفت از منطق فازی بر مبنای روش AHP ابتدا به وزن دهی لایه های مورد اشاره در بالا پرداخته شده است. برای انجام وزن دهی از سیستم انتخاب تخصصی (expert chois) و نظرات ۱۵ نفر از محققین و کارشناسان متخصص در مسایل سیل و آب های سطحی استفاده شده است. بر این اساس، وزن لایه های نه گانه شیب، شکست شیب، فاصله تا رودخانه، جهت جریان سیلاب، تیپ و محدوده جریان، تجمع جریان، زیرحوضه های سطحی، تراکم آبراهه، جنس بستر و فرسایش پذیری به ترتیب از ۰/۱ تا ۰/۹ تعیین گردیده اند (جدول ۱). محققین زیادی از این روش و روش های مشابه برای پهنه بندی سیل در جهان و ایران استفاده نموده اند [۹-۵۳].



شکل ۳- نمودار داده ها و مراتب انجام مطالعه

جدول ۱- لایه های اطلاعاتی استفاده شده و وزن هرکدام در تحلیل و نتیجه گیری

ردیف	نام لایه	وزن لایه
۱	شیب	۰/۹
۲	شکست شیب	۰/۸
۳	فاصله تا رودخانه	۰/۷
۴	جهت جریان سیلاب	۰/۶
۵	تیپ و محدوده جریان	۰/۵
۶	تجمع جریان	۰/۴
۷	زیر حوضه های سطحی	۰/۳
۸	جنس و فرسایش پذیری خاک	۰/۲
۹	تراکم آبراهه	۰/۱

### ۳- نتایج و بحث

بررسی های میدانی طبیعت رودخانه های جاری در جیرفت نشان می دهند که این رودخانه ها در دسته رودخانه های بالغ تقسیم بندی شده که این بدان معنی است که در زمان وقوع سیلاب یا جریانات طبیعی، رودهای ملنتی، شور و هلیل رود با تخریب دیواره ها و ایجاد تراس های آبرفتی (اشکال ۴ و ۵) باعث عریض تر شدن کانال رودخانه و تخریب تاسیسات مجاور خود خواهند شد [۱-۲]. رودخانه های ملنتی، شور و هلیل رود در محدوده شهر جیرفت بر بستری آبرفتی جریان دارند (شکل ۶). این حالت هم دارای ابعاد مثبت و هم دارای ابعاد منفی است. وجود بستر آبرفتی و غیرسنگی اجرای طرح های حفاظتی و مدیریتی را آسان تر نموده و از طرفی در زمان وقوع سیلاب باعث شناور شدن ذرات بستر آبرفتی در جریان و بالارفتن قدرت تخریب سیلاب خواهد شد [۱-۲].



شکل ۴ - بستر و پادگانه های آبرفتی مرتفع رودخانه ملنتی



شکل ۵- بستر و پادگانه های آبرفتی مرتفع رودخانه هلیل رود

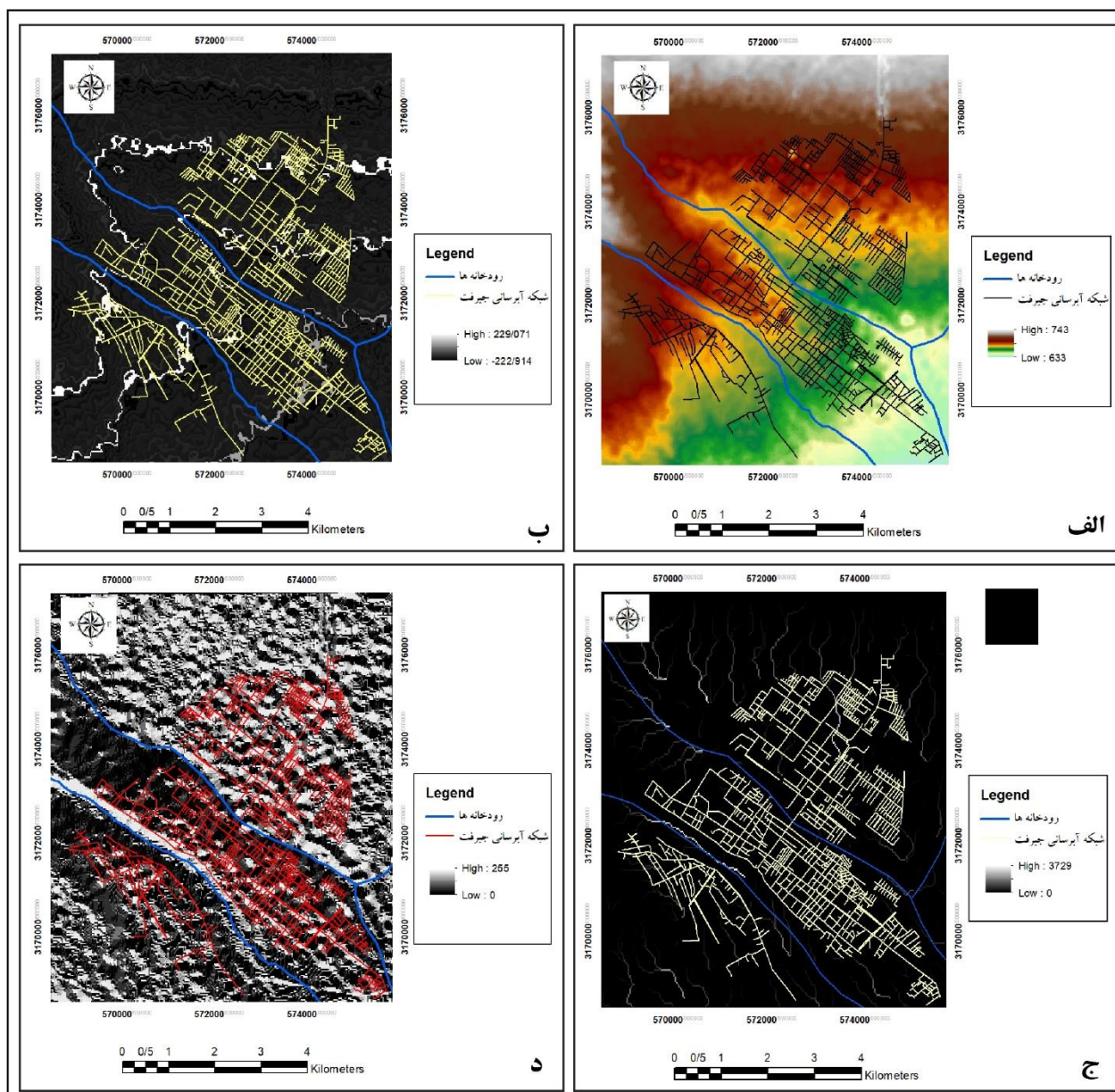


شکل ۶ - بستر آبرفتی رودخانه هلیل رود

با نگاهی به رودخانه های محدوده شهر جیرفت می توان بیان نمود که رودهای ملنتی و هلیل رود دارای زبری بیشتر بوده و به نوع کوهستانی شباهت بیشتری دارند. رود شور نیز در محدوده شمال شهر جیرفت زبری کمتری داشته و بیشتر به انواع دشتی قرابت دارد. این حقیقت نشان دهنده قدرت بالاتر رودهای ملنتی و هلیل رود در زمان سیلاب بوده که باعث ایجاد روان آبهایی سریع با بار رسوبی دانه درشت می باشند در حالی که سیل های ناشی از رودخانه شور بیشتر جریانات گل آلود با ذرات معلق بالا می باشند. این امر با مطالعات میدانی انجام شده نیز مطابقت کامل دارد. مشاهدات میدانی همچنین نشان می دهند که رودخانه های هلیل رود و ملنتی با دامنه های پرشیب، پادگانه های آبرفتی مرتفع و مسیر مستقیم به وضوح در حال کف کنی و رسوب گذاری بوده و در اثر همین فرایند سیل هایی با بار رسوبی بالا ایجاد می نمایند [۱-۲]. مشاهدات میدانی همچنین نشان می دهد که دیواره های این رودخانه

ها از لایه های سخت نشده رسوبی تشکیل شده اند. این حالت در زمان وقوع سیلاب به دلیل تخریب سریع دیواره ها و اضافه شدن بار رسوبی زیاد به جریان سیل، بسیار در افزایش حجم و قدرت سیلاب موثر بوده و باعث خسارات بسیار زیادی می گردد [۱-۲]. دقت در بستر و مسیل رودخانه ملنتی نشان می دهد که این رودخانه را می توان از نوع پله ای- آبگیر در محدوده بالادست و خارج از شهر جیرفت دانست که در محدوده شهر جیرفت با دخالت انسان به نوع صاف- مسطح تبدیل شده است. رودخانه هلیل رود نیز در محدوده خارج از شهر به صورت آبگیر- خیزاب بوده و در محدوده شهر جیرفت با دخالت انسان ابتدا بصورت صاف- مسطح و سپس به صورت تپه ای - بستری در آمده است. شایان ذکر است که در زمان سیلاب بسته به طبیعت رودخانه، جریان آب باعث تخریب دستکاری های بشری شده و خسارات ناشی از سیل افزایش پیدا می کنند.

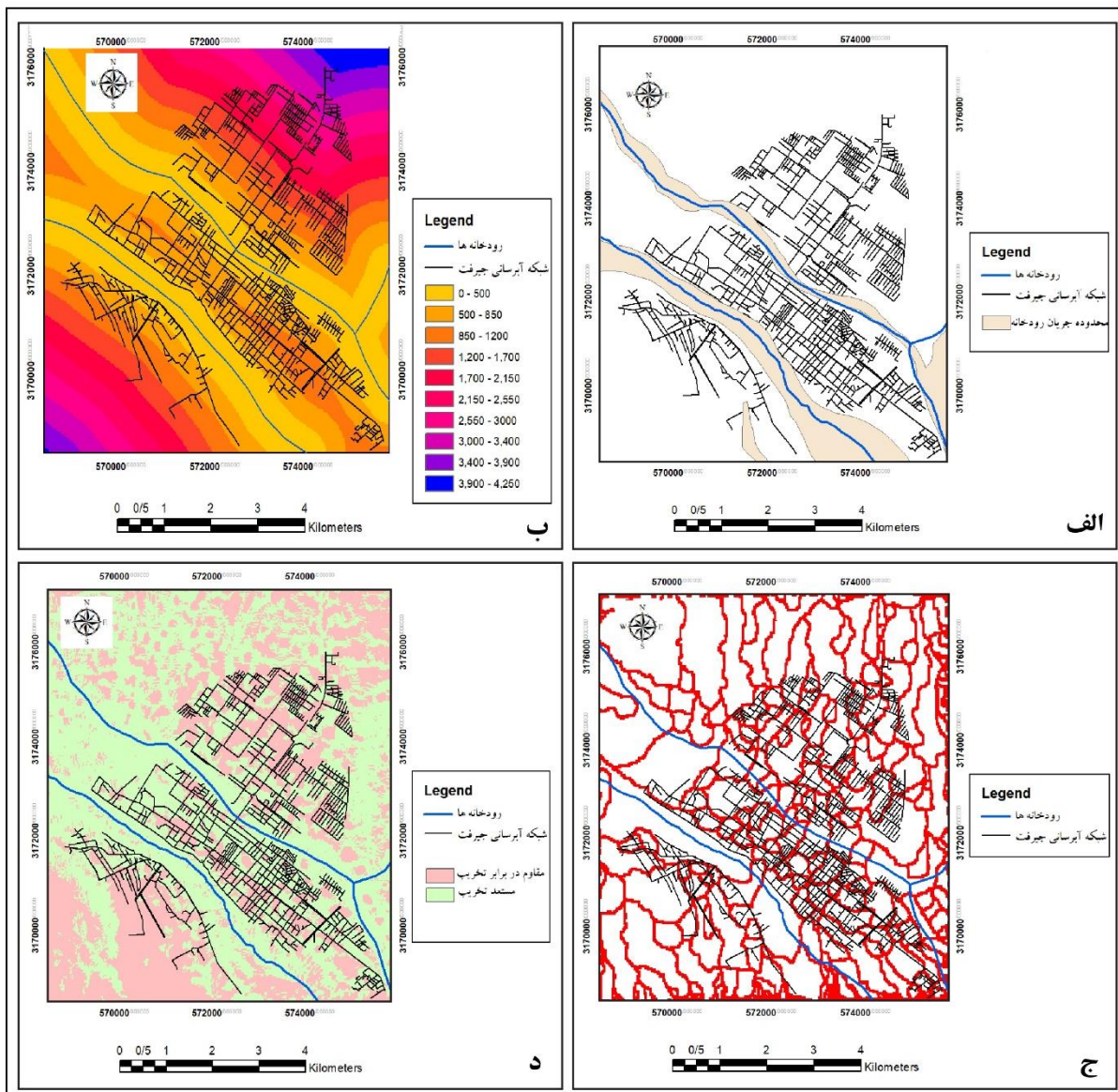
از مهمترین فاکتورهای اثرگذار در سیل خیزی و بررسی الگوی رفتاری سیل شیپ توپوگرافی می باشد [۵۴ - ۵۵]. به همین منظور یکی از کلیدی ترین فعالیت های مدیریت شهری بایستی تهیه نقشه های توپوگرافی دقیق از پهنه شهرها و نواحی اطراف آن باشد. در مورد شهر جیرفت با پیگیری های انجام شده چنین لایه اطلاعاتی وجود نداشته و لذا برای شبیه سازی شیب زمین از مدل ارتفاعی رقومی ALOS با دقت دوازده و نیم متر استفاده شده است. این مدل ارتفاعی در محیط GIS پردازش شده و در شکل ۷-الف نشان داده شده است. سیل و آب گرفتگی ناشی از خروج آب از کانال رودخانه حاصل دو عامل اصلی انسداد مسیر سیل و بالاتر رفتن تراز آب از تراز سطح می باشد. بنابراین، شناسایی نواحی که تغییرات شیب زمین به صورت ناگهانی بوده و می تواند باعث کاهش ناگهانی سرعت سیل و به اصطلاح تلنبار شدن آب و خروج آن از کانال رودخانه گردد ضروری بنظر می رسد. این لایه بر اساس مدل ارتفاع رقومی به دست آمده که حاصل آن سه سطح شکست ناگهانی شیب می باشد (۷-ب). این مرزها در حقیقت جایی هستند که سیلاب با رسیدن به آنها کاهش سرعت داده و عقبه سیل که با سرعت بالاتر در جریان است به پیشانی سیل اضافه شده و باعث ارتفاع گرفتن سیلاب و خروج آن از کانال رودخانه می شود. یکی دیگر از داده های قابل استخراج از مدل رقومی ارتفاعی، لایه اطلاعاتی محل تجمع جریان بوده که به شناسایی نواحی مستعد تجمع جریان در مسیر رودخانه که می تواند با خروج سیلاب از کانال رودخانه همراه باشد می پردازد (۷-ج). نکته جالب توجه این است که این لایه تطابق بالایی با لایه شکست شیب نشان می دهد. جهت پیش بینی جهت حرکت سیلاب از پردازش جهت جریان سیلاب استفاده شده است. در این لایه اطلاعاتی با تلفیق داده های توپوگرافی و تجمع جریان به شبیه سازی جهت حرکت سیلاب در صورت خروج سیل از مسیر رودخانه پرداخته شده است (۷-د). همانگونه که در نقشه مشهود است در صورت وقوع سیلاب جهت حرکت سیل از شمال - شمال شرق به سمت جنوب- جنوب غرب خواهد بود.



شکل ۷- الف، وضعیت تغییرات شیب در محدوده شهر جیرفت و نواحی اطراف آن بر اساس مدل ارتفاعی رقومی؛ ب، لایه محدوده تغییرات ناگهانی (شکست) شیب در پهنه شهر جیرفت؛ ج، نقشه محل تجمع سیلاب در پهنه مورد مطالعه؛ د، نقشه جهت جریان سیلاب در پهنه مورد مطالعه.

از نکات حائز اهمیت در مطالعات مربوط به سیل، توجه به وضعیت جاری رودخانه ها و سیستم زهکشی ناحیه بوده چرا که رودخانه ها، فارغ از زمان سیل، در اثر فعالیت معمول و طبیعی نیز باعث ایجاد تغییر و تخریب در محدوده ای که بستر طبیعی آنهاست می باشند. رودخانه های ملنتی و هلیل رود در پهنه شهر جیرفت و محدوده بالادست آن در حال حاضر با جریان و فرسایش دیواره ها، مسیری با پهنای مختلف را برای خود ایجاد نموده اند که در نقشه شکل ۸-الف نشان داده شده است. شناسایی این حدود بر مبنای تصاویر ماهواره ای و مربوط به سال ۲۰۲۳ می باشد. در بررسی و پیش بینی خطرات ناشی از سیل، یکی از مهمترین فاکتور ها فاصله ناحیه مورد بررسی از رودخانه می باشد. این لایه اطلاعاتی بر اساس سنجش فاصله اقلیدسی از رودخانه ها در محیط GIS انجام شده است (شکل ۸-ب). اهمیت این لایه در نگاه نخست بسیار بالا بوده ولی در عمل برای نواحی با شیب کم یا شیب یکنواخت و ملایم اهمیت زیادی دارد. اهمیت این لایه برای نواحی مانند شهر جیرفت که شیب عمومی دو جهته بوده و همچنین سطوح شکست شیب نیز وجود دارند به اندازه نواحی کم شیب یا مسطح نمی باشد. با توجه به اینکه تمامی پهنه های سطح یک محدوده، بر اساس توپوگرافی

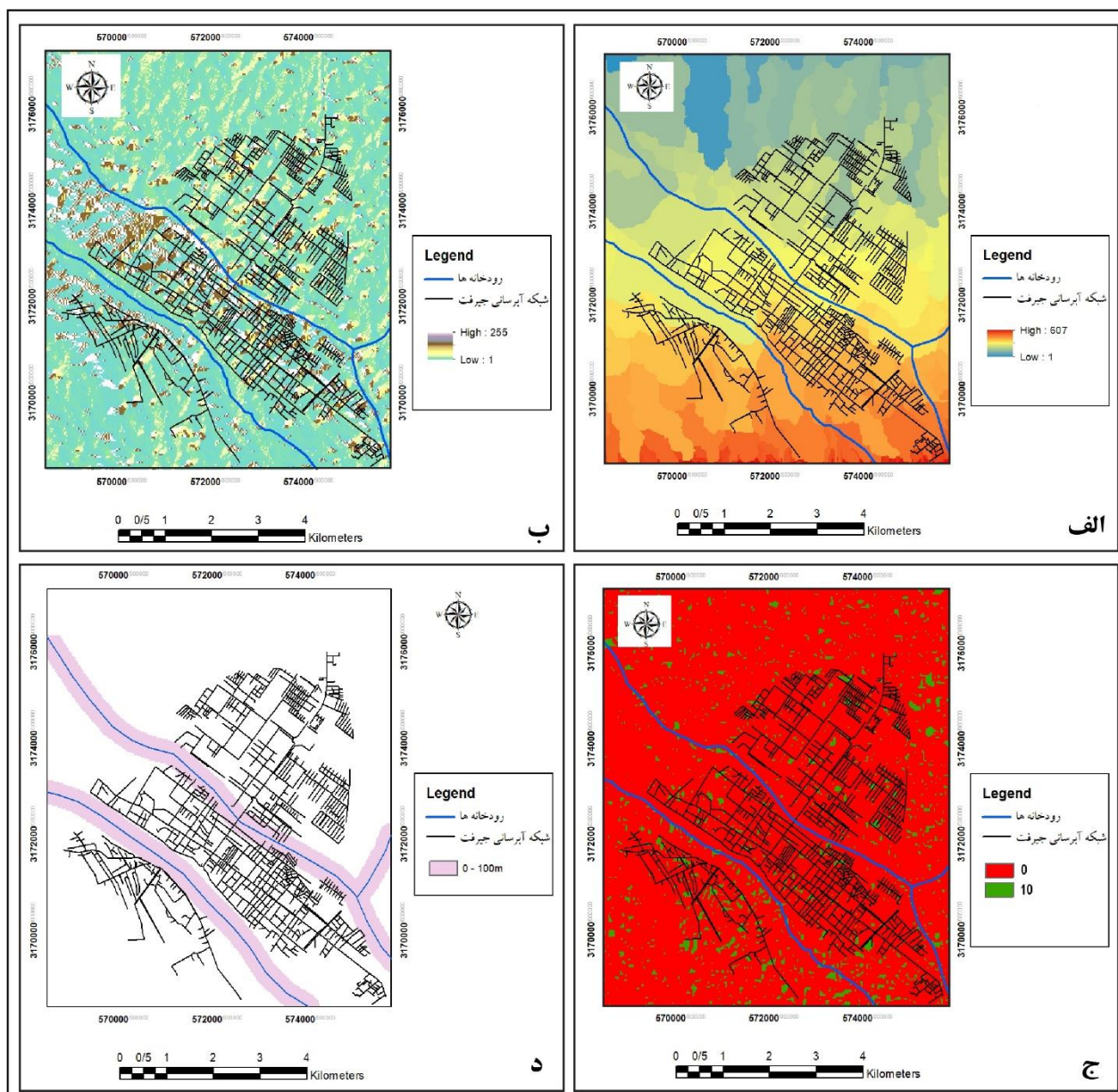
و شیب، می توانند دارای یک ورودی و یک خروجی باشند، تعیین تعداد و میزان یکنواختی این پهنه ها و به اصطلاح سلول بندی سطح حوضه برای تعیین اثر سیلاب در هر یک از زیرپهنه ها اهمیت زیادی دارد. بر این اساس، با پردازش لایه های شیب و جهت جریان سیلاب و لحاظ پوشش شهری، سطح محدوده مورد بررسی به ۹۰ سلول مجزا تقسیم بندی شده است (شکل ۸-ج). این تقسیم بندی در زمان بررسی اثر سیلاب در هر بخش در پردازش ها در روی پهنه بندی خطر سیلاب اثر به سزایی دارد. با توجه به سوابق تاریخی، مهمترین تاثیر سیل پس از ایجاد آبگرفتگی، تخریب بستر نواحی سیل زده با تخریب خاک آنها می باشد. تلفیق داده های خاک شناسی، جهت جریان سیلاب، نواحی تجمع سیلاب و نواحی شکست شیب در قالب نقشه فرسایش خاک در نقشه شکل ۸-د نشان داده شده است. در این نقشه جهت بارز سازی و ساده سازی، اراضی محدوده شهر جیرفت و حومه به دو کلاس مستعد تخریب و مقاوم در برابر تخریب تقسیم شده اند.



شکل ۸- الف، نقشه محدوده فعلی بستر رودخانه ها در محدوده شهر جیرفت؛ ب، نقشه فاصله از رودخانه؛ ج، نقشه زیر پهنه های محدوده مورد بررسی؛ د، نقشه نواحی مستعد فرسایش و تخریب در اثر سیلاب

#### ۴- نتیجه گیری

نتیجه نهایی حاصل از پردازش و تلفیق داده ها در محیط GIS باعث گردید تا مساحت شهر جیرفت و نواحی مجاور آن از نظر خطر وقوع سیلاب پهنه بندی گردیده به طوری که سه محدوده کاملاً واضح قابل تشخیص می باشد (شکل ۹-الف). همانگونه که در این شکل قابل مشاهده است، عمده پهنه بندی تحت تاثیر شیب توپوگرافی، فاصله از رودخانه، شکست شیب و زیرحوضه های سطحی می باشد. در این پهنه بندی یک سوم جنوبی شهر خطر سیل بالا، یک سوم میانی شهر خطر سیل متوسط و یک سوم بالایی آن خطر سیل پایین را نشان میدهند بطوری که در نواحی با خطر سیل بالا احتمال وقوع سیلاب ۶۰۷ برابر نواحی با کمترین خطر سیل است (شکل ۹-الف). تطابق یافته های حاصل از پهنه بندی با سوابق وقوع سیلاب در محدوده شهر جیرفت نیز تایید کننده نتایج پهنه بندی حاضر می باشد. با توجه به اینکه هدف اصلی از انجام مطالعه حاضر بررسی آثار سیل بر روی شبکه آبرسانی شهر جیرفت بوده و این حقیقت که شبکه آبرسانی عمدتاً زیرزمینی بوده و تنها در صورت تخریب سطح زمین دچار آسیب می گردد، در پردازشی جداگانه سعی گردیده تا با بالابردن اهمیت لایه فرسایش پذیری خاک، به پهنه بندی آسیب پذیری بستر ناشی از سیل پرداخته شود. در این پهنه بندی، خروجی بدست آمده به عنوان پهنه بندی سیل دارای بالاترین درجه اهمیت و لایه فرسایش پذیری در درجه دوم اهمیت قرار داده شده اند. نقشه به دست آمده از این تلفیق (شکل ۹-ب) بخش های آسیب پذیر در زمان وقوع سیلاب را مشخص نموده است. همانگونه که در نقشه شکل ۹-ب قابل مشاهده است، نقاط قهوه ای و سفید رنگ معرف بخش هایی هستند که در زمان وقوع سیلاب متحمل بیشترین تخریب بستر گردیده و لذا شبکه آبرسانی در آنها میتواند آسیب پذیرتر باشد. در هر حال خطر آب بردگی بستر در همه جا یکسان نبوده و برای بارزسازی بخش های بحرانی نقشه شکل ۹-ب ساده سازی و بارزسازی شده و در شکل ۹-ج نشان داده شده است. در این نقشه (شکل ۹-ج) بخش های سبز رنگ بحرانی ترین نقاط از نظر آسیب پذیری شبکه آبرسانی در زمان وقوع سیل هستند. بر اساس مطالعات انجام شده، شاید مهمترین و اساسی ترین رویکرد در رابطه با کاهش خطرات ناشی از سیل، رعایت حریم رودخانه ها باشد چرا که سواحل رودخانه ها به نوعی آسیب پذیرترین نواحی در زمان وقوع سیلاب هستند. بنابراین، یکی از مهمترین فعالیت ها برای مدیریت سیلاب ها و کاهش خسارات ناشی از سیل، در اولین گام جلوگیری از ساخت و ساز و ایجاد تاسیسات در نزدیکی سواحل رودخانه می باشد. متأسفانه این مهم در شهر جیرفت رعایت نگردیده و محله های نوسازی در مجاورت رودخانه ملنتی در حال احداث بوده که بایستی هرچه زودتر نسبت به مدیریت ساخت و ساز در این محله ها اقدام گردد. در حال حاضر نیز بخشی از شبکه آبرسانی شهر جیرفت در حریم رودخانه ملنتی قرار گرفته (شکل ۹-د) که بایستی مقاوم سازی گردد. با توجه به احداث سد جیرفت بر روی رودخانه هلیل رود و کنترل بخش مهمی از سیلاب های این رودخانه، پیشنهاد می گردد که عمده فعالیت های محافظتی و مقاوم سازی بر روی نواحی آسیب پذیر اطراف رودخانه های ملنتی و شور متمرکز شوند.



شکل ۹- الف، نقشه پهنه بندی خطر سیل در محدوده شهر جیرفت و نواحی اطراف آن؛ ب، نقشه نقاط آسیب پذیر شبکه آبرسانی شهر جیرفت در اثر سیل و تخریب بستر؛ ج، نقشه بارز سازی شده نواحی مستعد بیشترین تخریب در اثر سیل؛ د، نقشه محدوده فاصله فعلی سیستم آبرسانی جیرفت از رودخانه های هلیل رود و ملانتی.

## ۵- منابع

۱. نیک صفت، غ. و داندن مهر، ع.، اصول مهندسی رودخانه. دیباگران تهران، تهران، ۱۳۹۸. ۲۸۶ صفحه.
۲. مجد زاده طباطبایی، م.ر. و نیک سخن، م.ح.، اصول مهندسی رسوب و رودخانه، آوای قلم، تهران، ۱۴۰۳. ۳۳۴ صفحه.
۳. هوتی، ر.، ارزیابی خطر سیل رودخانه هلیل از محل سد جیرفت تا انتهای شهر جیرفت قبل و بعد از احداث سد. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۴. ۱۱۳ صفحه.
۴. پایدار، ا. و سنجری، ا.، ارزیابی آسیب پذیری محلات شهر جیرفت در مقابل سیلاب و ارایه راهکارهای محافظتی، نشریه مطالعه نواحی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۵. ۸ (۳) ص. ۲۱-۴۲.

۵. قاضی زاده، او گنجی، ز. و اژدری، خ. پهنه بندی خطر سیل با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS در مقیاس ۱:۲۰۰۰ (مطالعه موردی: رودخانه هلیل رود، شهرستان جیرفت)، دومین کنفرانس علوم، مهندسی و فناوری های محیط زیست، ۱۳۹۵. ص. ۱-۸.
۶. غضنفرپور، ح. و صداقت کیش، م.، سلیمانی دامنه، م. و صباحی گراغانی، ی.، سنجش واکنش مدیران شهری در رویارویی با مخاطره محیطی سیل با تأکید بر تاب آوری (مطالعه موردی: شهر جیرفت)، جغرافیا و پایداری محیط، ۱۳۹۸. ۳۰ (۰)، ص. ۱۰۷-۱۲۷.
۷. ابراهیمی مقدم، ف.، موسی اکبری، ا. و کردی کریم آبادی، ف. و پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل دو بعدی HEC-RAS و نرم افزار GIS (منطقه مورد مطالعه: رودخانه سغدر، حوضه آبریز شور جیرفت)، ششمین کنفرانس بین المللی و هفتمین کنفرانس ملی عمران، معماری، هنر و طراحی شهری، ۱۴۰۳. ص. ۱-۱۱.
۸. سلیمانی ساردو، ف.، تحلیل منطقه ای سیل با استفاده از روش های نوین (مطالعه موردی: حوزه سد جیرفت)، جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، ۱۳۹۴. ۴ (۲۰)، ص. ۱۰۱-۱۱۴.
9. Ajin, R., et al., *Flood hazard assessment of Vamanapuram River basin, Kerala, India: an approach using remote sensing & GIS techniques*. Advances in Applied Science Research, 2013. 4(3): p. 263-274.
10. AR., A.-A., et al., *Assessment analysis of flood susceptibility in Tropical Desert area: a case study of Yemen*. Remote Sensing, 2022. 14(16): p. 4050-4078.
11. Haq, M., et al., *Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan*. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2012. 15(2): p. 135-141.
12. Isma'il, M. and I. Saanyol, *Application of remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) in flood vulnerability mapping: case study of River Kaduna*. International Journal of Geomatics and Geosciences, 2013. 3(3): p. 618-627.
13. Kourgialas, N. and G. Karatzas, *Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study*. Hydrological Sciences Journal—Journal des Sciences Hydrologiques, 2011. 56(2): p. 212-225.
14. Sinha, R., et al., *Flood risk analysis in the Kosi River Basin, north Bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process (AHP)*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2008. 36: p. 335-349.
15. Uddin, K., et al., *Application of remote sensing and GIS for flood hazard management: a case study from Sindh Province, Pakistan*. American Journal of Geographic Information System, 2013. 2(1): p. 1-5.
16. Youssef, A.M. and M.A. Hegab, *Flood-hazard assessment modeling using multicriteria analysis and GIS: a case study—Ras Gharib Area, Egypt*. Spatial modeling in GIS and RS for earth and environmental sciences, 2019. 1: p. 229-257.
17. Boroumandi, M., M. Khomehchiyan, and M. Nikoudel, *Using of analytic hierarchy process for landslide hazard zonation in Zanjan province, Iran, in Engineering Geology for Society and Territory*. 2015 Springer International Publishing: erlin.
۱۸. حسینی، م.ج.، بررسی عوامل موثر در بروز سیل جهت مدیریت خسارات ناشی از آن در ناحیه گردشگری سیرچ، فصلنامه مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست، ۱۰۴۲. ۱ (۴) ص. ۸۵-۱۰۲.
۱۹. خیری زاده، م.، ج. ملکی، و ع. ح.، پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه ی آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۱۳۹۵. ۱ (۳) ص. ۳۹-۵۶.

۲۰. م. چ. ب.، ح. زن. م.، و ا. خ. ز. مکانیابی عرصه پخش سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی حوزه آبخیز عشق آباد طبس). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۳۹۸. ۴ (۱۳): ص. ۳۱-۳۸.
۲۱. ع. ق. و دیگران، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. جغرافیای طبیعی، ۱۳۹۳. ۷۷ (۲۵): ص. ۶-۸۰.
۲۲. س. ح. م. و ا. ح.، پهنه بندی نواحی سیل خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، مطالعه موردی: شهرستان داراب. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴۰۰. ۱۰ (۲۷): ص. ۲۱-۴۶.
۲۳. آ. م.، ا. خ. ا.، و ع. ن. غ.، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه ی آبخیز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۱۳۹۱. ۴۴ (۴): ص. ۱۳۱-۱۵۲.
۲۴. ب. ا. م.، ا. پ. ز. ر.، و ن. م. س.، پهنه بندی پتانسیل سیل گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان. محیط زیست و مهندسی آب، ۱۴۰۳. ۱۰ (۱): ص. ۹-۹۹۳.
۲۵. م. ح. ن.، آ. ا. ن.، و آ. م.، هنه بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایذه. فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۳۹۶. ۷ (۲): ص. ۴-۵.
۲۶. حسن زاده نفوتی، م. و ح. خواجه بافقی، پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطان بافق). ژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳۹۵. ۷ (۱۴): ص. ۲۹-۳۷.
۲۷. حمیدی، ن. م. و وفاخواه، و ن. ا.، تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳۹۵. ۷ (۱۴): ص. ۱۱-۱۹.
28. Armenakis, C., et al., *Flood risk assessment in urban areas based on spatial analytics and social factors*. Geosciences, 2017. 7(4): p. 123-138.
29. Brandt, S., *Modeling and visualizing uncertainties of flood boundary delineation: algorithm for slope and DEM resolution dependencies of 1D hydraulic models*. Stochastic environmental research and risk assessment, 2016. 30(6): p. 1677-1690.
30. Chignell, S., et al., *Multi-temporal independent component analysis and Landsat 8 for delineating maximum extent of the 2013 Colorado front range flood*. Remote Sensing, 2015. 7(8): p. 9822-9843.
31. Costache, R., et al., *Flash-flood susceptibility assessment using multi-criteria decision making and machine learning supported by remote sensing and GIS techniques*. Remote Sensing, 2019. 12.(۱)
32. Courty, L., J. Soriano-Monzalvo, and A. Pedrozo-Acuña, *Evaluation of open-access global digital elevation models (AW3D30, SRTM, and ASTER) for flood modelling purposes*. Journal of Flood Risk Management, 2019. 12: p. e12550.
33. Das, S., *Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India*. Arabian Journal of Geosciences, 2018. 11(19): p. 576-583.
34. Domeneghetti, A., *On the use of SRTM and altimetry data for flood modeling in data-sparse regions*. 2016; (:). Water Resources Research, 2016. 52(4): p. 2901-2918.
35. Ekeu-Wei, I. and G. Blackburn, *Applications of open-access remotely sensed data for flood modelling and mapping in developing regions*. :(); Hydrology 2018. 5(3): p. 39-51.
36. Ho, L., M. Umitsu, and Y. Yamaguchi, *Flood hazard mapping by satellite images and SRTM DEM in the Vu Gia–Thu Bon alluvial plain, Central Vietnam*. International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information science, 2010. 38(8): p. 275-280.

37. Ireland, G., M. Volpi, and G. Petropoulos, *Examining the capability of supervised machine learning classifiers in extracting flooded areas from Landsat TM imagery: a case study from a Mediterranean flood*. *Remote sensing*, 2015. **7**(3): p. 3372-3399.
38. Jafarzadegan, K. and V. Merwade, *A DEM-based approach for large-scale floodplain mapping in ungauged watersheds*. *Journal of Hydrology*, 2017. **550**: p. 650-662.
39. Kvočka, D., R. Falconer, and M. Bray, *Appropriate model use for predicting elevations and inundation extent for extreme flood events*. *Natural Hazards*, 2015. **79**: p. 1791-1808.
40. Opolot, E., *Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: a review*. *Research Journal of Applied Science Engineering and Technology*, 2013. **6**: p. 1884-1894.
41. Patel, D. and P. Srivastava, *Flood hazards mitigation analysis using remote sensing and GIS: correspondence with town planning scheme*. *Water resources management*, 2013 :<sup>(V)</sup><sub>2V</sub>. p. 2353-2368.
42. Rahman, M. and L. Di, *The state of the art of spaceborne remote sensing in flood management*. *Natural Hazards*, 2017. **85**: p. 1223-1248.
43. Samansiri, S., T. Fernando, and B. Ingirige, *Advanced technologies for offering situational intelligence in flood warning and response systems: A literature review*. *Water* 2022. **14**(13): p. 2091-2112.
44. Shafapour Tehrany, M. and L. Kumar, *The application of a Dempster-Shafer-based evidential belief function in flood susceptibility mapping and comparison with frequency ratio and logistic regression methods*. *Environmental earth sciences*, 2018. **77**: p. 1-24.
45. Shafapour Tehrany, M., B. Pradhan, and M. Jebur, *Spatial prediction of flood susceptible areas using rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS*. *Journal of hydrology*, 2013. **504**: p. 69-79.
46. Shafapour Tehrany, M., et al., *GIS-based spatial prediction of flood prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, weight of evidence and their ensemble techniques*. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2017. **8**(2): p. 1538-1561.
47. Siddayao, G., S.E. Valdez, and P. Fernandez, *Analytic hierarchy process (AHP) in spatial modeling for floodplain risk assessment*. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 2014. **1**(5): p. 450-461.
48. SMJS., S., et al., *Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis: a case study at Kalu-Ganga River, Sri Lanka*. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science* 2010. **38**(8): p. 110-115.
49. Swain, K., C. Singha, and L. Nayak, *Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud*. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020. **9**(12): p. 720-735.
50. V., M., A. Cook, and J. Coonrod, *GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping*. *Environmental Modelling & Software*, 2008. **23**(10-11): p. 1300-1311.

51. Wang, X. and H. Xie, *A review on applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in water resources and flood risk management*. *Water* 2018. **10**(5): p. 608-618.
52. Yan, K., G. Di Baldassarre, and D. Solomatine, *Exploring the potential of SRTM topographic data for flood inundation modelling under uncertainty* *Journal of hydroinformatics*, 2013. **15**(3): p. 849-861.
53. Yan, K., et al., *Exploring the potential of SRTM topography and radar altimetry to support flood propagation modeling: Danube case study*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2015. **20**(2): p. 4041-4048.
54. Davenport, F., M. Burke, and N. Diffenbaugh, *Contribution of historical precipitation change to US flood damages*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021. **118**(4): p. 2017524118.