

Spatial Analysis of the Factors Effective on Flood Occurrence in Ilam City

Qobad Tahmasebi¹, Alireza Mohammadi^{2*}, Mohammad Hossein Bouchani³

- 1. PhD Student, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*
- 2. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*
- 3. PhD Holder in Geography and Urban Planning, Head of Tehran Urban Research and Planning Center, Tehran, Iran*

(Received: August 17, 2020; Accepted: October 24, 2020)

Abstract

The topic of climate change and the dangers that lie ahead is part of the debate in land management. The dynamics of global change and the sovereign approach of global governments have opened new perspectives on land management issues. One of the hidden challenges in this regard is the increasing risk of the occurrence of floods. The purpose of this study was to undertake metric or measurement model as a spatial basis unit to predict flood occurrence. In the present article, in line with using MikeUrban 2019 software, a wide range of tools and quantitative processing steps were used in accordance with the research objectives. In order to predict floods, the past incident factors were studied, namely a review of the principles and operational indicators related to each parcel using the OLI sensor images of Landsat 8 satellite in the year 2020 through the integrated interpretation method and an examination of the basic map of Ilam city in wet seasons (autumn, winter, and spring). Then, the city coverage map was prepared in two uses, i.e., False Color (Urban) and Land / Water. Next, Google Earth images were used to determine the accuracy and precision of the coverage maps. By combining four selected measures with the highest spatial correlation in 50 random points of the city, hexagonal measures with optimal areas were selected and spatial patterns were analyzed. According to the results, in the actual event (1), eight spatial measures with an area of 68 hectares and coverage of 1.5% of the entire city are at risk of flood. In events 0.8 and 0.9, 19 measures with an area of 170 hectares, 3.6% of the land use coverage of the area, are at potential risk. While there is a high correlation between flood event and type of measure, amount and direction of slope, as well as density and width of road network on one side and drainage network on the other side, in high events (1-8), 28 measures in the residential uses in the detailed design scale with an area of 76.5 hectares, barren and enclosed uses with an area of 70.55 hectares, roads network with an area of 29.75 hectares, and parks and green spaces with 17 hectares were identified as the uses targeted by the flood danger. Among all risky user groups, 29.5% were identified in the newly built group, 44.5% in the maintainable group, and 18% in the decayed urban environment group.

Keywords

Spatial planning, Flood risk, Land use, Spatial analysis, Ilam.

* **Corresponding Author, Email:** a.mohammadi@uma.ac.ir

تحلیل فضایی عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب در شهر ایلام

قباد طهماسبی^۱، علی‌رضا محمدی^{۲*}، محمدحسین بوچانی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳. دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، رئیس مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳)

چکیده

گفت‌مان تغییر اقلیم و مخاطرات پیش رو بخشی از مباحثی است که آمایش سرزمین به آن ورود کرده است. پویایی تغییرات جهانی و رویکرد حاکمیتی دولت‌های جهان شمول چشم‌اندازهای جدیدی را به روی مباحث آمایش سرزمین گشوده است. یکی از مواردی که از آن به عنوان چالش پنهان یاد می‌شود پیشامد سیلاب به منزله یک مخاطره روزافزون است. هدف این پژوهش مدل‌سازی متریک یا سنجه به منزله واحد پایه فضایی جهت پیش‌بینی رخداد سیلاب است. در مقاله حاضر، ضمن به‌کارگیری نرم‌افزار MikeUrban 2019، متناسب با اهداف پژوهش، از طیف وسیعی از ابزارها و مراحل پردازش کمی استفاده شد. به منظور پیش‌بینی سیلاب، عوامل رخدادی گذشته شامل: مرور مبانی و مطالعه شاخص‌های عملیاتی به صورت پارسل، با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مرتبط با سال ۲۰۲۰ با روش تفسیر تلفیقی، نقشه پایه شهر ایلام در فصول ترسالی سال (پاییز و زمستان و بهار) تحلیل و ساخت نقشه پوشش شهر در دو کاربری False Color (Urban) و Land/Water تهیه و انجام و در ادامه به منظور تعیین صحت و دقت نقشه‌های پوششی از تصاویر Google Earth استفاده شد. با ترکیب چهار سنجه منتخب با بیشترین همبستگی فضایی در ۵۰ نقطه تصادفی شهر، سنجه‌های شش ضلعی با مساحت‌های بهینه انتخاب و الگوهای فضایی تحلیل شدند. مطابق نتایج، در پیشامد بالفعل ۱ تعداد ۸ سنجه فضایی با مساحتی معادل ۶۸ هکتار و پوشش ۱/۵ درصدی از کل محدوده شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارند. در پیشامدهای ۰/۸ و ۰/۹ تعداد ۱۹ سنجه با مساحت ۱۷۰ هکتار، ۳/۶ درصد از پوشش کاربری‌های محدوده در معرض خطر بالقوه قرار دارند. ضمن اینکه بین پیشامد سیلاب با نوع سنجه و میزان و جهت شیب و همچنین تراکم و عرض شبکه معابر از یک طرف و شبکه زهکشی همبستگی بالایی وجود دارد، در پیشامدهای زیاد (۱ - ۰/۸) تعداد ۲۸ سنجه در گروه کاربری‌های مسکونی در مقیاس طرح تفصیلی با مساحت ۷۶/۵ هکتار، بایر و محصور شده با ۷۰/۵۵، شبکه معابر با ۲۹/۷۵، و پارک و فضای سبز با ۱۷ هکتار خطرپذیرترین کاربری‌ها تشخیص داده شدند. از میان همه گروه‌های کاربری خطرپذیر، ۲۹/۵ درصد در گروه نوساز، ۴۴/۵ درصد در گروه قابل نگهداری، و ۱۸ درصد در گروه بافت فرسوده تشخیص داده شدند.

کلیدواژگان

آمایش سرزمین، ایلام، تحلیل فضایی، کاربری اراضی، مخاطره سیل.

* رایانامه نویسنده مسئول: a.mohammadi@uma.ac.ir

بیان مسئله

در دهه‌های گذشته، مصون ماندن از پیامدهای سیل بر اساس اقدامات فنی، مانند ایجاد و مدیریت مسیل‌ها و سدها و موانع طوفان، طراحی و برای اطمینان از استانداردهای ایمنی بالا در برابر این مخاطرات نگهداری و ساخته می‌شد (Meng et al 2020:7). با این حال، این اقدامات فنی برای محافظت در برابر آب دیگر راه‌حل کافی برای مواجهه با تغییر اقلیم نیست (Gralepois 2020:11). اتخاذ رویکردی یکپارچه در مورد ایمنی آب می‌تواند نقش جدیدی در آمایش سرزمین داشته باشد (Meng et al 2019: 97). ازین رو پیوند دامنۀ مدیریت آب با حوزه برنامه‌ریزی مکانی با هدف کاربست در پیشگیری از سیل و کاهش پیامدهای آن دنبال می‌شود (Mustafa et al 2018: 194)؛ بدین صورت که پیش‌بینی‌های اقلیمی و آب‌وهوایی شیوۀ برخورد با آب را از یک سیاست مبتنی بر واکنش از اقدامات ایمنی در برابر فاجعه به سمت یک رویکرد مبتنی بر سازگاری برای پیش‌بینی آنچه ممکن است پیش‌آید تغییر داده است (Francesch-Huidobro et al 2017: 7). این رویکرد جدید در مورد پیشامد آب حوزه‌های مدیریت آب و آمایش سرزمین را به چالش کشیده است (Ran & Nedovic-Budic 2018: 53). نه تنها سیستم آب در این رویکرد جدید مدیریتی گنجانده شده است، بلکه اقدامات لازم برای استفاده پایدار از اراضی و واکنش در برابر بلایا را نیز شامل می‌شود. این امر مستلزم ادغام یکپارچه آمایش سرزمین و تضمین ایمنی در برابر پیامدهای آب است (Ran & Nedovic-Budic 2016: 70). در عمل، یکپارچگی اغلب به روشی برای تقویت ارتباط بین مکان‌ها، همکاری بین بخش‌ها، یا ارتباطات متقابل میان سیاست‌ها اشاره دارد (Thaler et al 2020: 170). رویکرد یکپارچه در مورد مدیریت مخاطره سیلاب می‌تواند نقش جدیدی در آمایش سرزمین باشد. پیوند دامنۀ مدیریت آب با حوزه برنامه‌ریزی فضایی و آمایش سرزمین نتیجه پیشگیری از سیل و کاهش پیچیدگی‌ها و جاه‌طلبی دولتهاست. زیرا خواستار همکاری بسیاری از بازیگران در سطح محلی و منطقه‌ای و در تلاش برای دستیابی به گفت‌وگو قوی تفاهم اقلیمی از سوی دولتها و مشاغل و سازمان‌های جامعه مدنی است (Löschner & Nordbeck 2020: 17). اخیراً واحد کمیسیون

برنامه‌ریزی فضایی اروپا^۱ به اتخاذ یک رویکرد جدید در برابر سیل تأکید می‌کند. بر این اساس بخشنامه ای در مورد ارزیابی و مدیریت سیل در حال تدوین است. طبق بخشنامه پیشنهادی، کشورهای عضو برای شناسایی مناطق بالقوه طغیان سیلاب، مانند حوضه‌های رودخانه‌ای و مناطق ساحلی و سایر مناطق سیل خیز، همکاری خواهند کرد. هر منطقه سیل خیز در مورد ظرفیت رخداد خسارت بالفعل و بالقوه سیل تجزیه و تحلیل خواهد شد. نتیجه این تجزیه و تحلیل تهیه «نقشه‌های خطر سیل» است که از تولید برنامه‌های اقدام محلی تا منطقه‌ای بر اساس پیشگیری و حفاظت و آمادگی پشتیبانی خواهد کرد. شواهد موجود نشان می‌دهد سیلاب به یک مشکل جدی در سرتاسر جهان تبدیل شده و موجب خسارات جانی و اقتصادی فراوان شده است (Gao et al 2019; Kundzewicz et al 2014 & 2013; Svetlana et al 2015; Flores et al 2020: 1). درک پویایی تغییرات عوامل اقلیمی و ساخت فضای جغرافیایی برای تعیین خطر سیل ضروری است. نوسانات بارش طبیعی ممکن است بر رژیم هیدرولوژیکی تأثیر بگذارد و منجر به جاری شدن سیل یا طغیان آب شود که تهدیدی جدی برای سکونتگاه‌های شهری و روستایی است (Anni et al 2020: 2). در مناطق شهری و پیراشهری پیامدهای سیل ممکن است در زمان‌ها و مکان‌های مختلف رخ دهد و از نظر شدت و مدت و محدوده فضایی متفاوت باشد. بنابراین پدیده‌های پیچیده‌ای را تشکیل می‌دهد که از پیوند بین گسترش شهری و پویایی سیستم هیدرولوژیکی حاصل می‌شود (Gonzalez 2006; Lindon 1989; Minciardi et al 2006; Pascale et al 2009). به همین دلیل، ارزیابی و مدیریت خطر سیل به یک روش قوی برای تعیین ماهیت و میزان فاجعه با تجزیه و تحلیل حوادث احتمالی سیل و آنالیز شرایط مواجهه موجود نیاز دارد (UNIDSR 2016). تحلیل شرایط بالفعل و بالقوه رخداد سیل به کمک سامانه‌های اقلیمی و مدل‌سازی کمی و بصری به وسیله نرم‌افزارهای جدید روشی کاراست که مستلزم تلفیق دقیق سنجه‌های فضایی در مطالعات آمایش شهری و سرزمینی است. بر اساس آمارهای منتشرشده، ایران به لحاظ حوادث غیرمترقبه جزء ده کشور بلاخیز جهان است (Shi et al., 277). شهر ایلام با داشتن موقعیت میان‌کوهی، شیب و توپوگرافی میان‌حوضه‌ای، آسیب‌پذیری بافت، مسکن و

1. Space Program of the Union and the European Union Agency for the Space Program and Repealing Regulations

زیرساخت ها، 277 عدم توجه به موضوع مدیریت در برابر سوانح طبیعی، تصرف بسترهای رودخانه‌ای، احداث سازه‌های نامناسب و بافت فرسوده، عدم توجه به اصول فنی و مهندسی و استفاده از مصالح ساختمانی ضعیف و نامقاوم در رابطه با مخاطره سیل مواجه است. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر مدل‌سازی کمی آمایش شهری و مدیریت مخاطره سیل با استفاده از سنجه‌های فضایی است. برای دستیابی به این هدف، باید به یک پرسش پاسخ داد:

۱. در صورت رخداد سیلاب کدام مناطق و کاربری‌های شهر ایلام خسارت بیشتری خواهند دید؟

پیشینه نظری پژوهش

سیل در مناطق شهری به منزله یک «چالش پنهان»^۱ در حال ظهور و گسترش است. میان همه بلایا، سیل حدود ۳۲ درصد از خسارات و حداکثر ۲۶ درصد از تلفات را در سطح جهانی ایجاد می‌کند (Ke et al 2020: 148). در سال‌های اخیر، جاری شدن سیل در شهرها به دلیل تشدید شرایط جوئی، شهرنشینی سریع، و تغییرات آب‌وهوایی هم از نظر شدت هم از نظر تعداد در سرتاسر جهان افزایش یافته است و مخاطراتی را برای زندگی انسان، سلامتی، منابع، زیرساخت‌ها، و محیط زیست افزایش داده است (Mahmoud & Gan 2018: 154; Galloway et al 2018: 203). شهرنشینی سریع همچنین با رشد جمعیت، فقر، عدم آمادگی و تدارک، نگهداری ضعیف از امکانات موجود، و برنامه ریزی ناکافی مرتبط است. چون گسترش شهری جایگزین پوشش گیاهی می‌شود و نفوذپذیری و تراکم خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین نفوذ را کاهش و حجم و سرعت رواناب را افزایش می‌دهد (Kundzewicz 2001: 12; Vogel et al 2011: 466). اگرچه سیلاب‌ها پدیده‌های مکرر هستند، به دلیل عوامل مختلف، تغییرات دوره‌ای را از خود بروز می‌دهند. این عوامل یا عوامل آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی قابل پیش‌بینی یا غیرقابل پیش‌بینی (بی‌نظم) هستند که تغییرات آن‌ها معمولاً با استفاده از مدل‌های تبدیل باران—رواناب تجزیه و تحلیل می‌شود که می‌تواند با هیدروگراف مشاهده‌شده یا لیمونوگرافی^۲ در تضاد باشد (Perrin et al 2003: 277; Beven 2012: 41; Crooks et al 2014: 68; Elga et al 2015: 69;)

1. Hidden Challenge

۲. ابزاری که برای اندازه‌گیری سطح آب دریاچه استفاده می‌شود.

بارندگی شدید بیش از ظرفیت سیستم زهکشی شهری باشد. حوادث شدید بارشی اخیر آگاهی مقامات و شهروندان را در زمینه چالش‌های پیش‌بینی و مدیریت سیلاب ناشی از بارش افزایش داده است. در ژوئیه ۲۰۱۹، باران شدید باعث حداقل ۱۸ کشته و بروز اختلالات حمل‌ونقل گسترده در بمبئی هند شد. در همان حال، پس از باران‌های سنگین، خیزش سیلاب فوری در جنوب غربی ایران و در ورودی شهر شیراز حداقل ۲۳ کشته و ۱۱۰ مجروح بر جای گذاشت (BBC 2019). استفاده از آستانه بارندگی بر اساس مدل‌های داده‌محور می‌تواند یک راه‌حل آسان و بصری را ارائه دهد. با مقایسه میزان بارندگی فعلی - پیش‌بینی شده با آستانه، می‌توان به طور مستقیم احتمال طغیان شهر را تخمین زد. آثاری که سیلاب شهری بر افراد و جوامع می‌تواند داشته باشد بسیار زیاد است؛ به‌ویژه هنگام در نظر گرفتن پیامدهای اقتصادی مانند ضرر اموال و دارایی، از دست دادن دستمزد ساعتی برای کسانی که نمی‌توانند به محل کار خود برسند، ساعت ازدست‌رفته در تغییر مسیر ترافیک و چالش‌های ترافیک، اختلالات در زنجیره‌های تأمین محلی و منطقه‌ای و ملی، تعطیلی مدارس با تأثیر نتیجه بر والدین، قطع ناگهانی برق، اختلال در سیستم‌های ارتباطی، آلودگی منابع آب، گسترش بیماری‌های مرتبط با آب و تهدیدهای سلامت انسان (Weber 2019: 10; EPA 2019: 408; Walsh et al 2016: 407; Hoang & Fenner 2016: 744). مطالعات موجود نشان می‌دهد رویکرد مطالعاتی آمایش سرزمین در کشورهای توسعه‌یافته در حال تحول و دگرگونی است (قربانی و همکاران ۱۳۹۹: ۴۸۰). اینکه آمایش سرزمین نوعی از برنامه‌ریزی است که به تنسيق فضای کالبدی و هدایت فعالیت‌های آینده در تناسب با پایداری و مناسب بودن آن‌ها می‌پردازد اصلی پذیرفته‌شده است (Kidd & Shaw 2007: 15; Larsson 2006: 108). برنامه‌ریزان در این سطح بر توزیع فضایی انواع کاربری زمین - مانند حمل‌ونقل، مسکونی، سازمانی، تجاری، صنعتی - تمرکز می‌کنند. بنابراین، معمولاً از آمایش سرزمین به عنوان برنامه‌ریزی کاربری زمین یا برنامه‌ریزی شهری - منطقه‌ای یاد می‌شود (Davidoff & Reiner 1962: 107). انتظار می‌رود، در مناطق مستعد سیل، آمایش سرزمین به کاهش سیل و مخاطرات مربوط به آن نیز کمک کند (Howe & White 2004: 419; White & Richards 2007: 518).

عمدتاً به این دلیل که می‌تواند با تنظیم مکان فعالیت‌ها انواع کاربری‌های زمین، مقیاس‌های توسعه، و طرح‌های سازه‌های فیزیکی بر بروز سیلاب و آسیب‌های ناشی از آن تأثیر بگذارد (Neuvel & Van Der Knaap 2010: 291; White & Richards 2007: 515). مثلاً، رویکرد اعمال‌شده در آلمان «ایجاد اتاقک رودخانه»^۱ با هدف مدیریت آب در سطوح بالاتر رودخانه و کاهش سطح دشت سیلابی، ایجاد میانگیر آب، جابه‌جایی سطح آب، افزایش عمق کانال‌های جانبی، و ساخت کنارگذر سیل است و در هلند از طریق تنظیم کاربری زمین بر جلوگیری از بروز سیل و جلوگیری از طغیان آب در مناطق نگه‌دارنده دشت سیلابی تأکید شده است (Krieger 2013: 239; Van Heezik 2008). در مقابل، پروژه «ساخت فضای نگهداری آب» در انگلیس بر پیامدهای معادله خطر و عدم امکان پیشگیری کامل از سیل تأکید دارد. سیستم برنامه ریزی آمایش فرانسه از نظر اهداف (مثلاً، کاهش قرار گرفتن در معرض به جای جلوگیری از احتمال) مانند مدل انگلیس است؛ اما از نظر کارایی از تأثیر نسبتاً کمتری برخوردار است (Beucher 2009: 104; Pottier et al 2005: 5).

پیشینه تجربی پژوهش

در ارتباط با مدیریت یکپارچه مخاطره سیل مبتنی بر رویکرد آمایش سرزمین بسیاری از کشورها به اقدامات مدیریتی در سطوح مختلف در ارتباط با پایش و تهیه زیرساخت‌های اطلاعاتی مطابق جدول ۱ اقدام کرده‌اند.

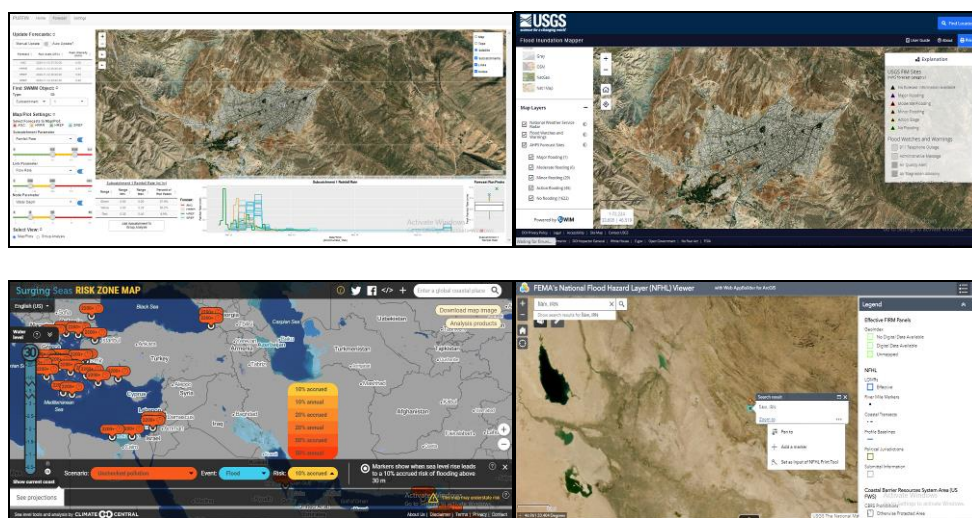
-
1. Room for the River Programme
 2. Buffer

جدول ۱. تعدادی از پروژه‌های زیرساخت اطلاعاتی آمایش سرزمین در ارتباط با مدیریت مسائل سیلاب
(Nedovic-Budic 2016: 73; Morelli et al 2012: 208)

نام مجموعه (سامانه)	محدوده سرزمینی	اهداف	نوع داده و اطلاعات
مرکز جهانی داده‌های رواناب ^۱	جهانی	تسهیل تبادل داده با هدف پشتیبانی اطلاعات از دانشمندان علوم زمین برای تجزیه و تحلیل کلان روندهای جهانی آب و هوا و ارزیابی تأثیرات-مخاطرات زیست‌محیطی	آرشیو مرزهای حوضه آبخیز تخلیه رودخانه‌ای تا دویست سال قبل
زیرساخت اطلاعات فضایی جامعه اروپا ^۲ (INSPIRE)	اروپا	امکان اشتراک اطلاعات فضایی زیست‌محیطی بین سازمان‌های بخش دولتی و تسهیل دسترسی عمومی به اطلاعات مکانی در اروپا	پیوست داده‌های مرتبط با سه موضوع مناطق با ریسک سیل خیزی، مناطق ناپایدار، مناطق با مخاطرات طبیعی
پورتال سیل اروپا ^۳	اروپا	گردآوری اطلاعات حاصل از تحقیقات فعال در مورد سیلاب رودخانه‌ای و مخاطره سیل در اروپا	خطر سیل، جاری شدن سیل، پیش‌بینی سیل، تأثیر تغییرات آب‌وهوایی
مرکز داده‌های آب آژانس محیط زیست اروپا ^۴	اروپا	فراهم کردن نقطه ورود به اروپا برای داده‌های مربوط به آب به عنوان بخشی از سیستم اطلاعات آب اروپا	طیف گسترده‌ای از داده‌ها درباره آب، آلودگی، سیل، زیست‌شناسی، و غیره در قالب‌های مختلف؛ مثلاً متن، جدول، تصویر، نقشه
Myplan Viewer ^۵	ایرلند	ایجاد «سامانه واحد» اطلاعات درباره برنامه‌ها؛ داده‌های مربوط به تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی	مناطق برنامه‌ریزی، سرشماری، میراث فرهنگی، الگوهای توسعه مسکن و نقشه‌های سیل وضعیت کمیّت و کیفیت آب، مخاطرات، اهداف و اقدامات
پهنه‌بندی مخاطره سیل ^۷	ایرلند	ارائه اطلاعات در ارتباط با مکان‌های با بیشترین فراوانی وقوع سیل در ایرلند	مکان‌های وقایع تاریخی سیل و گزارش‌ها، عکس‌ها و مقالات مطبوعاتی مرتبط با سیل
سیستم اطلاعات سرزمینی ^۸	ایتالیا	ارائه اطلاعات پایه‌ای مفید جهت تخمین کافی آسیب‌پذیری هیدرولیک و حساس به سیل	ساختمان‌ها، املاک و مستغلات، پل‌ها، عملیات هیدرولیکی، آبراهه‌ها، محل‌های تخلیه زهکشی، آبریزها، حاشیه رودخانه‌ها، آسیب‌های ساختاری، میله‌های رودخانه‌ها، مناطق در معرض فرسایش
نقشه میزان بیمه سیل ^۹	امریکا	ارائه اطلاعات عمومی درباره خطرهای پیش‌بینی شده سیل در مناطق مسکونی و جوامع محلی	نقشه‌های مقدماتی میزان بیمه سیل، گزارش‌های مطالعه بیمه سیل و پایگاه داده بیمه حوادث سیل
پورتال ملی اطلاعات مخاطره سیل ^{۱۰}	استرالیا	امکان در دسترس قرار دادن داده‌های خطر سیل نسبت به یک مکان مرکزی	محدوده وقوع سیل، عمق آب، سایر مطالعات سیل

1. http://www.bafg.de/GRDC/EN/Home/homepage_node.html
2. <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/48>
3. <https://data.jrc.ec.europa.eu/collection/floods>
4. <http://www.eea.europa.eu/themes/water/dc>
5. <http://www.myplan.ie>
6. http://watermaps.wfdireland.ie/NsShare_Web/Viewer.aspx?Site=NsShare&ReloadKey=True
7. <http://www.floodmaps.ie/>
8. <http://sitweb.provincia.fi.it/website/plantario/viewer.htm>
9. <http://hazards.fema.gov/femaportal/prelimdownload/>
10. <http://www.ga.gov.au/flood-study-search/>

همچنین بسیاری از سامانه‌های جهانی به صورت برخط^۱ به پایش سیل و ارائه شاخص‌های آن می‌پردازند که کاربران با دسترسی آسان به این سامانه‌ها می‌توانند به تجزیه و تحلیل‌های آماری، اخذ نقشه سری‌های زمانی، و دریافت داده‌های مورد نیاز سیل اقدام کنند.



شکل ۱. چهار سامانه برخط پیش‌بینی و مدل‌سازی کمی و کیفی رخدادهای سیلاب (PUFFIN, USGS, Surging Seas, FEMA)

در منابع داخلی در ارتباط با ادغام و مدیریت یکپارچه مخاطره سیل و آمایش سرزمین به صورت محدود به این موضوع پرداخته شده است. عبدالله‌زاده و همکارانش (۱۳۹۵)، با تحلیل گزارش فنی، محدودیت توسعه کاربری سکونتگاهی ناشی از سیلاب و ضریب رواناب در چارچوب آمایش سرزمین در حوزه آبخیز زیارت‌گراگان و پریسای و همکارانش (۱۳۹۶) با ارزیابی اثر سناریوی کاربری آمایشی در خطر و خسارت سیل حوزه آبخیز سد بوستان با استفاده از روش‌های کمی به نتایج ارزشمندی دست یافته‌اند. اما، حجم بسیار زیادی از مطالعات روش‌شناسی و شاخص‌های مورد استفاده به گزارش‌ها و مقالات و منابع خارجی اختصاص دارد. در این ارتباط منگ^۲ و همکارانش (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای تحت عنوان «تقویت انعطاف‌پذیری در برابر سیل و سازگاری با اقلیم، وضعیت هنر و مسیرهای جدید در آمایش سرزمین»، با اشاره به

1. Online
2. Meng

اینکه نیاز به پاسخگویی به افزایش خطر سیل، تغییرات اقلیم و توسعه سریع شهری سیاست‌ها و شیوه‌های ابتکاری آمایش سرزمین را در دهه‌های اخیر در بسیاری از کشورها شکل داده است، به مثابه یک مداخله ابزاری- فنی برنامه ریزی عمدتاً برای بهبود محیط فیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، اجرای مداخلات فیزیکی پیشنهادی اغلب چالش‌برانگیز است و کمک به روش‌هایی مانند ارزیابی اقلیم، مطالعات سیاسی، جوامع مدنی، و منابع اقتصادی را ضروری می‌سازد. بروز دیدگاه‌های گسترده موجب شکل‌گیری بسیاری از حوزه‌های تحقیقاتی جدید در حوزه آمایش سرزمین در ابعاد زیست‌محیطی، مدیریت بلایا، اقتصادی- اجتماعی، و نهادی شده است. گرلیپوا^۱ (۲۰۲۰) در مقاله‌ای بنیادی از ابزار برنامه‌ریزی (آمایش) برای پیشگیری از سیل مبتنی بر چالش‌های حکمرانی در اروپا یاد می‌کند. وی با بیان اینکه انتخاب ابزارهای برنامه‌ریزی در پیشگیری از سیل می‌تواند برای دستیابی به شناخت بهتر از حاکمیت حیاتی باشد اعلام می‌کند این انتخاب در مباحث مدیریت سیل دست‌کم گرفته شده است. در این پژوهش، با بررسی منطق انتخاب ابزار، خلأ دانش در حاکمیت مدیریت سیل پر می‌شود. در ادامه بر اساس یک مطالعه مقایسه‌ای ابزار برنامه‌ریزی در پیشگیری از سیل در سه کشور اروپایی انگلیس و فرانسه و هلند بررسی می‌شود. پیشگیری از سیل از طریق آمایش سرزمین یک مثال خاص است. زیرا اجرای دستورالعمل سیل نقش آمایشی را در مناطق مختلف شهری فعال کرده است. این مدل بیشتر به دلیل تنش بین ارجحیت انتخاب ابزار حقوقی یا فنی یا علمی و تفاوت فرهنگ حرفه‌ای بین برنامه‌ریزی و پیشگیری پیچیده شده است.^۲ منابع مرتبط با اهداف پژوهش نشان می‌دهد مطالعات بسیاری در رابطه با رخداد سیلاب و همچنین طیف گسترده‌ای از شاخص‌ها مورد استفاده و تحلیل قرار گرفته‌اند. اما منابعی که مشخصاً در ارتباط با سیل و در حوزه آمایش شهری و سرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند محدودند؛ که به طور خلاصه به مهم‌ترین آن‌ها در جدول ۲ اشاره می‌شود.

1. Gralepois

۲. در این میان برخی کارشناسان نقض قوانین آمایش سرزمینی را عمده‌ترین عامل وقوع سیل در کشور و خسارات بالای عمرانی و شهری می‌دانند (دکتر مجید مخدوم در گفت‌وگو با/یرانا، ۲۹ فروردین ۱۳۹۸).

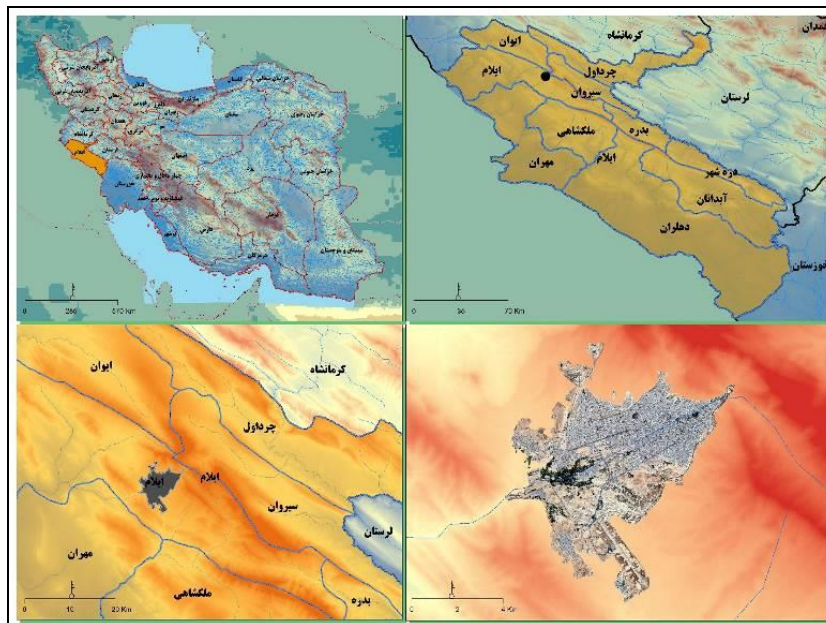
جدول ۲. فهرست مهم‌ترین شاخص‌های مستخرج از مبانی نظری در مطالعات مربوط به سیل

محقق (محققان)	شاخص یا ابزار تحلیل
Shi et al 2017	مساحت شبکه زهکشی (کیلومتر مربع)
UNISDR 2016	ماژول جریان (m^3/s)، میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر)، جهت شیب، شاخص توان رودخانه (SPI)
Meng et al 2019	فاصله از راه اصلی، شیب
Mustafa et al 2018	ویژگی‌های زمین‌شناسی
Gao et al 2019	تراکم شبکه آبراهه، فضای باز
Angel et al 2005	مساحت حوضه، جهت شیب، ماژول جریان
Taubenbock et al 2012	بافت فرسوده، تراکم جمعیت، فاصله از پل، شیب به درجه
Benza et al 2016	جهت و میزان شیب، تراکم شبکه هیدروگرافی
Kantakumar et al 2016	قدمت بنا، کیفیت بنا، تراکم ساختمانی
Shahtahmassebi et al 2016	فاصله از مسیل، شدت جریان، پوشش گیاهی
MacLachlan et al 2017	ضریب رواناب سالیانه، عمق جریان، تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی ثابت
عبدالله‌زاده و همکاران ۱۳۹۵	تجزیه و تحلیل تغییرات در الگوهای استفاده از زمین در مناطق شهری و حومه‌ای، الگوی رشد شهری، کاربری اراضی
پریسای و همکاران ۱۳۹۵	میزان و جهت شیب، کاربری اراضی
کاردان و همکاران ۱۳۹۶	توپوگرافی، جهت جریان، مساحت حوضه آبخیز
عفیفی ۱۳۹۸	میانگین شیب توپوگرافی (متر بر کیلومتر)، طبقات ارتفاعی، پوشش گیاهی (NDVI)

محدوده و قلمرو مورد مطالعه

شهر ایلام در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. موقعیت جغرافیایی شهر به گونه‌ای است که داخل یک دشت میان‌کوهی، که از اطراف به وسیله ارتفاعات محصور شده، واقع شده است (انصاری‌لاری و همکاران ۱۳۹۰: ۱۴). برابر با آمار، ایلام در سال ۱۳۱۵ شهر شده است. این شهر بین ۲۵ شهر استان در سال ۱۳۹۵ با ۱۹۳۰۹۳ نفر جمعیت در رتبه اول قرار داشته است. اطلاعات موجود نشان می‌دهد در اولین سرشماری قابل استناد در سال ۱۳۳۵ ایلام از ۸۳۴۶ نفر جمعیت طی یک دوره شصت‌ساله حدود ۲۳ برابر شده است که رشدی برابر ۵/۴ درصد را نشان می‌دهد. مقایسه رشد سالیانه شهر ایلام با جمعیت شهری کشور طی این دوره نشان می‌دهد در کل دوره رشد، جمعیتی بیش از متوسط شهری

کشور داشته است (مرکز آمار ایران ۱۳۹۵). بر اساس مطالعات کالبدی طرح جامع وسعت شهر با محدوده تعریف شده حدود ۱۸۰۰ هکتار به چهار منطقه تقسیم شده است. شهر ایلام با قرارگیری بر دشت ایلام و احاطه شدن بین کوه‌ها و تپه‌های اطراف با سازندهای سست-شامل آهک، گچ، مارن، شیل- دارای موقعیت خاصی است و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود ۱۴۴۰ متر است (مهمان دوستی و همکاران ۱۳۹۸: ۸۴). ایلام از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در بخش زاگرس چین‌خورده یا در بخش خارجی حوزه زاگرس قرار گرفته و امتداد ناهمواری‌ها به تبعیت از سیستم زاگرس شمال غربی- جنوب شرقی است. ایلام بخشی از حوضه آبریز اصلی ناحیه مرزی غرب کشور و زیرحوضه ایلام است که بر اساس داده‌های سی‌ساله ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک متوسط بارندگی سالیانه این ایستگاه ۶۱۶ میلی‌متر است. به طور کلی، رژیم حوضه به گونه‌ای است که حدود ۵۰ درصد بارندگی در فصل زمستان، ۲۰ درصد در فصل بهار، ۲۹ درصد در فصل پاییز، و ۱ درصد در فصل تابستان ریزش می‌کند (خداقلی و صبوچی ۱۳۹۲: ۲۹۴).



شکل ۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه

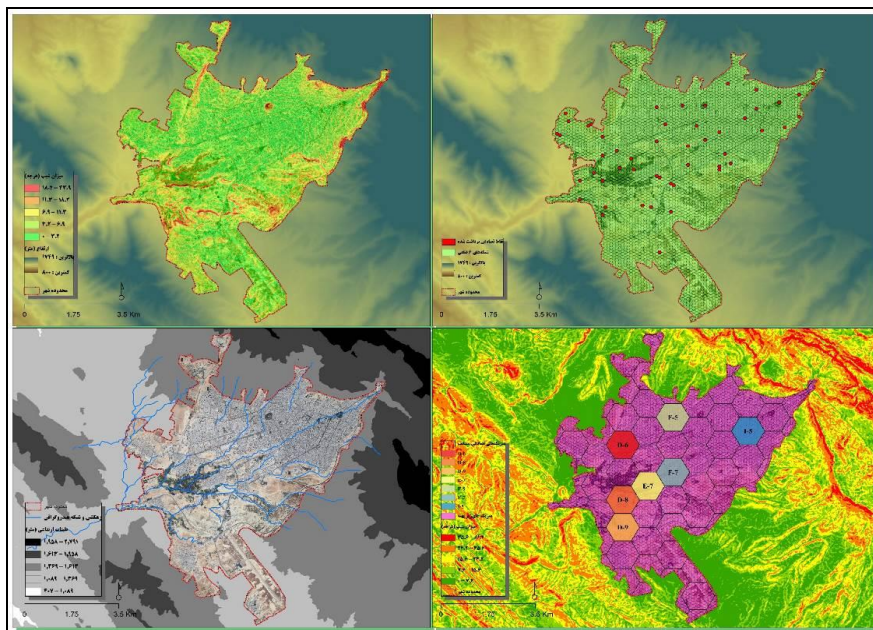
بارندگی سالیانه فراوان از یک سو و نقش استان به منزله زهکش آب‌های سطحی سلسله‌جبال زاگرس از سوی دیگر موجب پیدایش شبکه‌های هیدروگرافی فعال شده است که شهر را در مواجهه با خطر سیلاب فراگیر تحت تأثیر قرار داده است. برابر با آمار موجود، ایلام در ۸ آبان ۱۳۹۴ دچار سیل شد که موجب خسارات مالی و مرگ هشت نفر شد. از عوامل تشدید این مشکل ساخت‌وسازهای غیرمجاز در حریم رودخانه و مسیل‌ها و ریختن نخاله‌های ساختمانی در بستر و کنار رودخانه‌ها بود که موجب تخریب و ریزش پل‌ها شد. این سیلاب به بیش از ۲۰۰۰۰ واحد مسکونی و تجاری برابر با ۴۰ درصد از مکان‌های عمومی شهر ۲۵۰۰۰۰ نفری ایلام آسیب‌های شدید وارد کرد. هزینه‌های این سیل ۶۰۰۰ میلیارد ریال تخمین زده شد. بارش حدود ۳۲۴ میلی‌متری باران در سه روز یک هفته، که باعث سیل شد، بی‌سابقه‌ترین بارندگی تاریخ ایلام تا زمان حاضر و برابر با بارش‌های یک سال زراعی شمال تهران بوده است. عرصه‌های زیست‌محیطی، از جمله زیستگاه گوزن ایرانی، در این سیل آسیب جدی دیدند. این در حالی است که در ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ و به دنبال وقوع سیلاب سراسری این شهر نیز، علاوه بر زیان‌دیدگی مادی، شاهد جرح و مفقودی و فوت تعدادی از هموطنان بوده است (خبرگزاری مهر ۱۳۹۴؛ خبرگزاری جمهوری اسلامی ۱۳۹۸).

روش و ابزار تحقیق

به منظور پیش‌بینی رخداد سیلاب در پهنه شهر ابتدا به بررسی و تجزیه و تحلیل سیل‌های ثبت‌شده بر اساس آمار و اندازه‌گیری‌های معتبر وزارت نیرو و تحقیقات منابع آب ایران پرداخته شد.^۱ چون هر گونه پیش‌بینی منوط به صحت وقایع سیلابی گذشته و شکل حساسیت وقوع سیل دارد. در این پژوهش با هدف مدل‌سازی و مدیریت مخاطره سیل از منابع اطلاعاتی چندگانه استفاده شد. به این منظور، اطلاعات مرتبط با وضعیت بارش حوضه، تجزیه و تحلیل آمار مرتبط با حوزه آبخیز ناحیه، مقدار بارش، شبکه هیدروگرافی-زهکشی، و وضعیت شیب منطقه و شهر استخراج و مطالعه شد. از آنجا که سنجش‌های سرزمین در مطالعات ساختار فضایی آرایش مکانی و الگوهای فضایی را به

۱. مطابق آمار دفتر مهندسی و اطلاعات سازمان جنگل‌ها، مراتع، و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۸، ۸۵ مورد سیلاب در دوره آماری ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۳ در استان گزارش و ثبت شده است که بیش از نیمی از آن‌ها در حوضه آبخیز و شهر ایلام به وقوع پیوسته است.

صورت مجموعه‌های واحد، دارای هویت معین و به صورت کمی، بیان می‌کنند لازمه چنین کاری در اختیار داشتن نقشه صحیح سنجه‌های فضایی ایلام است که با توجه به محدودیت منابع اطلاعاتی و به دلیل نبود چنین سنجه‌هایی از منطقه باید داده‌های مرتبط با ساختار فضایی شهر با گونه‌ای از داده‌های ماهواره‌ای تهیه می‌شد که اطمینان بالایی از دقت و صحت آن‌ها حاصل شود.



شکل ۳. پیش‌پردازش شاخص‌های منتخب و نحوه برداشت میدانی نقاط تصادفی با محتمل‌ترین رخداد

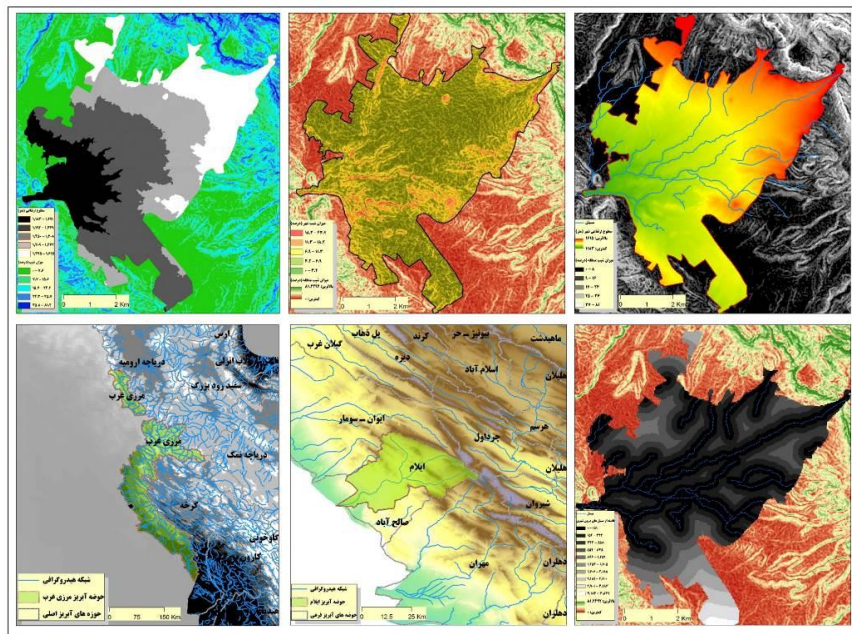
بر این مبنای استفاده از تصاویر سنجنده^۱ OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۹^۲ به روش تفسیر تلفیقی مطابق جدول ۱، تفسیر چشمی بر روی صفحه نمایش^۳، ابتدا نقشه محدوده مادرشهر ایلام با بررسی تصاویر فصول ترسالی^۴ سال (پاییز و زمستان و بهار) تحلیل و سپس نقشه پوشش شهر در دو کاربری (Urban) False Color و Land/Water تهیه شد (شکل ۵ و ۶).

1. Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1/ID: LC08_L1TP_167037_20201010_20201016_01_T1
Acquisition Date: 2020-10-10 Path: 167 Row: 37

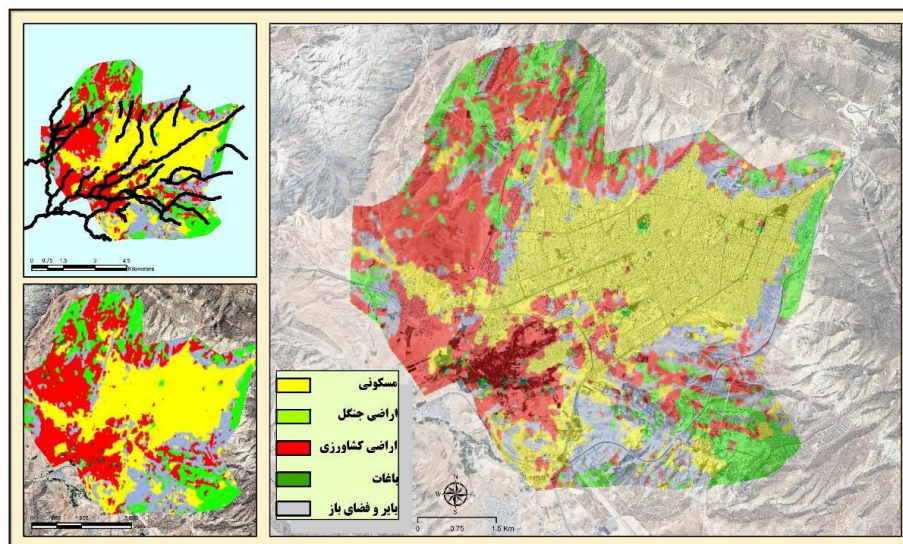
۲. قابل دریافت از سایت: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3. On-Screen Digitizing

۴. با پوشش ابر کمتر از ۱۰ درصد/



شکل ۴. استخراج و تعیین مهم‌ترین پارامترهای طبیعی شهر ایلام



شکل ۵. کاربری اراضی (Landcover) برداشتی

به منظور تعیین صحت و دقت نقشه‌های پوششی از تصاویر Google Earth استفاده شد و در ادامه برای این منظور نقاط تصادفی روی نقشه پوشش سرزمین انتخاب شد و با روی هم‌گذاری^۱ متریک‌های منتخب بر تصاویر Google Earth نوع سنجه مربوط به هر نقطه برداشتی با اطلاعات متناظر آن در محیط Google Earth مقایسه شد. سنجه‌های منتخب پس از تعیین واحد پایه تحلیل و تعیین همبستگی فضایی، به دلیل دقت بالا، به صورت شش ضلعی^۳ برای پهنه شهر ترسیم و پس از محاسبات سه متغیر طول و تعداد شبکه زهکشی، میزان شیب، کاربری اراضی و شبکه معابر در ارتباط با پیش‌بینی وقوع سیلاب در نظر گرفته شدند. گفتنی است برای تلفیق منابع، برداشت و مشاهده میدانی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و واقعیت‌های موجود از نرم‌افزارهای Google Frastats 4.2، ENVI 5.3، Arc GIS 10.4، و افزونه MikeUrban2019 استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از آنجا که داده‌های GIS در ارتباط با زیرساخت‌های سیل در اکثر کشورهای در حال توسعه به راحتی در دسترس نیستند، لایه‌های هیدروگرافی و خصوصیات ارتفاعی را می‌توان از روی نقشه‌های زمین‌شناسی استنباط کرد یا با تجزیه و تحلیل سنجش از دور به دست آورد. به منظور کمی‌سازی الگوهای مکانی و ساختارهای مورد مطالعه شامل False color (Urban) و Land Water با مدل‌سازی سنجه‌های فضایی شهر ایلام، سیمای شهر به شبکه‌ای از پهنه‌های دقیق با سنجه مشخص تقسیم شد و محاسبات لازم بر آن‌ها صورت گرفت. در بخش ورودی، نخست از افزونه Mike Urban برای تعیین اندازه مناسب هر سنجه فضایی با روش‌های منتخب شامل چهار سنجه NP، Division، PD، و LPI که بیشترین همبستگی فضایی را با هم داشته باشند و مشخصات متفاوتی از سیمای سیل ارائه دهند ترکیب شدند. در پنجاه نقطه تصادفی شهر سنجه‌های شش ضلعی با مساحت‌های ۱ و ۳ و ۵ هکتار در محیط Arc GIS به صورت توأمان در هر پهنه انتخاب و الگوهای فضایی تحلیل شدند. پس از تحلیل‌های فضایی مرتبط، با رسم منحنی نتایج هر

1. Overlay

۲. برای محاسبه اندازه شش ضلعی‌ها از تقسیم مساحت پوششی محدوده بر تعداد متریک‌ها استفاده شده است.

3. Hexagon

سنجه در پهنه‌های مورد بررسی و تحلیل، دقیق‌ترین ابزار سنجه تعیین شد؛ بدین صورت که پهنه‌هایی که مساحت آن در منحنی هر سنجه بالاترین همبستگی را داشت به صورت بیشترین خطرپذیری تعیین شدند.

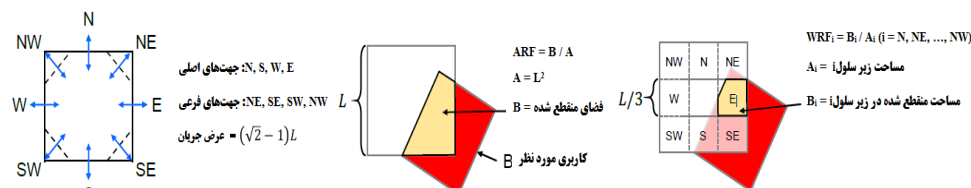
جدول ۳. مشخصات سنجه‌های فضایی مورد تحلیل (<http://www.umass.edu/>) و نرم‌افزار (Fragstats)

ویژگی	واحد تحلیل	حروف اختصاری	رابطه	واحد	دامنه
	تعداد متریک	NP	n_i	-	$NP > 0$
	تراکم متریک	PD	$\frac{n_i}{A} 100000$	تعداد در صد	$PD > 0$
Level	مساحت متریک	AREA_MN	$a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$	هکتار	$AREA \geq 0$
Density	درصد متریک	PLAND	$\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	درصد	$0 \leq PLAND \leq 100$
Margin	شاخص از هم‌گسستگی	MESH	$\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A} \left(\frac{1}{10000} \right)$	متر مربع	\leq چشم‌انداز \leq MESH مساحت پهنه
		DIVISION	$1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2$	نسبی	$0 \leq DIVISION < 1$
Shape	میانگین شاخص شکل متریک	SHAPE_MN	$\frac{0.25 P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$	بدون واحد	$SHAPE \geq 1$
Contiguity proximity	میانگین فاصله اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه	ENN_MN	h_{ij}	متریک	$ENN > 0$

(n_i): تعداد متریک بر اساس نوع؛ A : مساحت متریک؛ a_{ij} : مساحت متریک منحصربه‌فرد؛ P_{ij} : محیط متریک؛ h_{ij} : فاصله با نزدیک‌ترین متریک؛ x_{ij} : ارزش مجاورت؛ V : مجموع ارزش‌ها در هر متریک)

با تعیین اندازه و سنجه‌های بهینه برای پهنه شهر ایلام، هر چهار سنجه مورد نظر، که در جدول ۱ معرفی شدند، در نهایت در هفت پهنه (تصادفی) ایجاد شدند و پس از تحلیل‌های فضایی مرتبط در سطح کلاس مقادیر خروجی به صورت فرمت txt و xls ذخیره و به منزله ورودی مراحل بعدی

وارد نرم افزار شدند. از آنجا که هیچیک از سنجه‌های فضایی به تنهایی نمی‌توانند به طور کامل بیانگر وضعیت همبستگی و تغییرات مورد نظر باشند، باید همانند یک رابطه چندمتغیره مجموعه‌ای از متریک‌ها با اوزان (ضرایب) متناسب با هم ترکیب شوند.



شکل ۸. فرآیند تعیین، تشخیص و محاسبه سلول‌های مرتبط با هر سنجه

برای این کار با اجرای تحلیل شاخص‌ها یا ابزارهای اصلی (PCA) مطابق جدول ۲ بر نتایج سنجه‌ها و استفاده از مقادیر ویژه (Eigen value) و بار عاملی (Loading) حاصل از آن، ضرایب مدل انجام می‌شود. از آنجا که دامنه تغییرات مقادیر هر یک از متریک‌ها متفاوت است، برای ورود به تحلیل PCA و با توجه به اهمیت تغییرات داده در اطراف میانگین، ابتدا مقادیر سنجه‌ها به روش انحراف معیار استانداردسازی و سپس وارد تحلیل PCA شدند. در نهایت، بر پایه نتایج تجزیه و تحلیل‌های اصلی، سنجه‌های تأثیرگذار در احتمال پیشامد یا رخداد سیلاب بر اساس مقادیر ویژه هر یک گروه‌بندی شدند و با استفاده از بار عاملی آن‌ها، به منزله ضریب هر سنجه در مدل، مدل پیشامد سیلاب بر پایه دو شاخص اول (کاربری اراضی و مسیل) در پهنه شهر تهیه شد. رابطه ۱ فرم کلی مدل پیش‌بینی سیلاب بر اساس ابزارهای پژوهش را نشان می‌دهد:

$$OI = N_1 \times (L_1 \times M_1 + \dots + L_n \times M_n) + E_2 \times (L_1 \times M_1 + \dots + L_n \times M_n) + \dots + E_n (L_1 \times M_1 + \dots + L_n \times M_n) \quad (1)$$

OI: شاخص پیشامد یا رخداد (Occurrence Index)

N: تعداد سنجه‌ها (No. of each metric)

E: مقدار ویژه مؤلفه یا معیار (Component's Eigen Value)

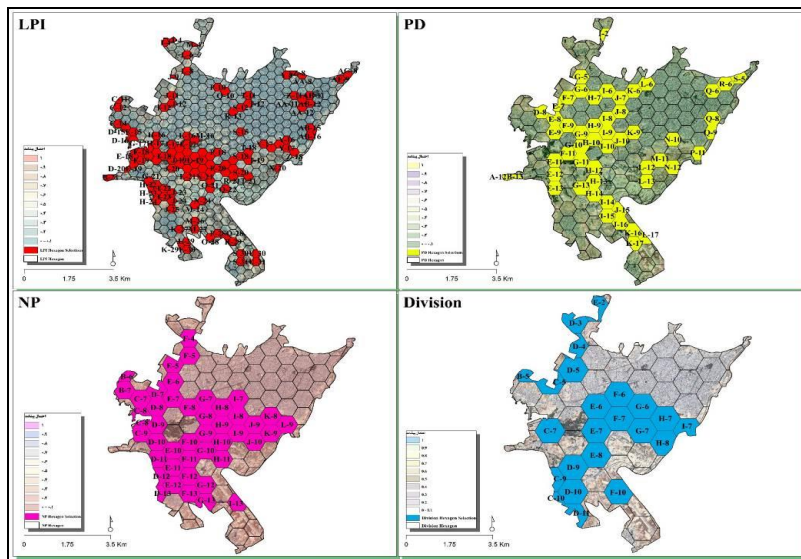
L_i : بار عاملی هر متریک در مؤلفه (Loading of each metric in the component)

M_i : مقدار استاندارد شده سنجه‌ها (Standardized value of metric)

جدول ۴. نتایج پردازش سنج‌های فضایی در ارتباط با واحدهای تحلیل (PCA)

Std	Prob. ^۱	r ^۲	a ^۴	a ^۳	a ^۲	a ^۱	واحد (ایزار) تحلیل	ترکیب بانندی
۲,۰۱۱	۰,۰۰۱	۰,۳۰۱	-۰,۲۰۴	۰,۰۳۲۵	۰,۴۹۷	۱,۰۳۲	شبکه معابر و سلسله‌مراتب دسترسی	۲,۳۰۴ Natural Color
۲,۳۶۰	۰,۰۰۳	۰,۲۵۸	۰,۰۳۱	۰,۰۴۴۱	۰,۳۶۹	۱,۵۲۴	مساحت و تعداد قطعات	۴,۶۰۷ False Color (Urban)
۲,۳۳۱	۰,۰۰۰	-۰,۰۳۶	-۰,۰۲۱۴	۰,۰۱۴۷	۰,۵۵۹	۲,۰۳۴	نوع کاربری	
۱,۰۲۱	۰,۰۰۰	۰,۶۱۰	۰,۲۳۵	۰,۳۶۱	۰,۶۳۰	۳,۰۱۱	فاصله از شبکه هیدروگرافی کرانه	
۱,۰۰۶	۰,۰۰۰	۰,۸۰۲	۰,۰۰۴	۰,۳۳۱	۰,۵۲۱	۵,۳۶۰	میزان و جهت شیب	۴,۶۰۵ Land Water
۰,۹۱۴	۰,۰۰۰	۰,۷۷۱	۰,۰۰۱	۰,۲۲۷	۰,۴۹۷	۴,۷۹۲	شبکه زهکشی	
۰,۶۰۷	۰,۰۰۰	۰,۵۰۹	۰,۰۲۱	۰,۳۲۴	۰,۵۵۱	۳,۹۷۴	پراکنش و طول مسیل	

**a^۱/NP; a^۲/Division; a^۳/PD; a^۴/LPI.



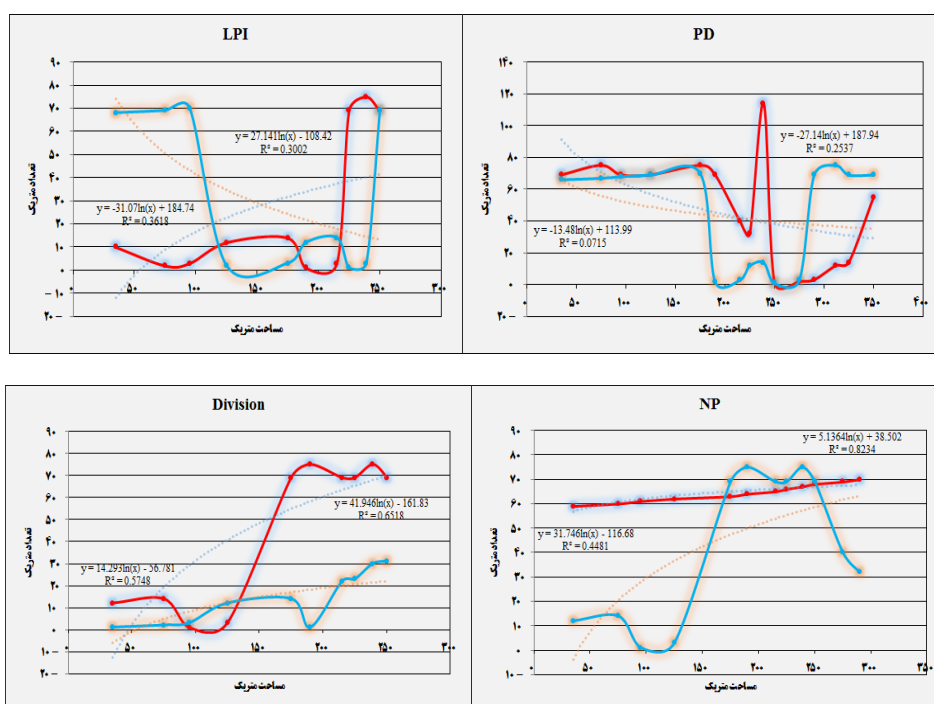
شکل ۹. پردازش شاخص‌های منتخب با میزان محتمل‌ترین رخداد در هر متریک فضایی

۱. از آنجا که به دلیل مقادیر با احتمالات مختلف متغیر xi دارای احتمال وقوع pi است، انحراف معیار به صورت زیر

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N p_i (x_i - \mu)^2}, \mu = \sum_{i=1}^N p_i x_i$$

محاسبه شده است:

مدل حاصل در همه پنجاه نقطه تصادفی و هفت نقطه برداشتی پهنه به طور جداگانه اجرا شد و شاخص پیشامد در پهنه هر سنجه محاسبه و از مجموع آن‌ها شاخص یا میزان پیشامد نهایی تهیه شد. از مجموع پهنه‌هایی که سنجه NP (تعداد لکه) در آن‌ها کمتر از مقدار مورد انتظار بود در محیط ArcGIS یک محدوده به منزله پهنه‌های بدون رخداد تهیه و در نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل اعمال شد.



شکل ۱۰. نتایج اعتباریابی پردازش (PCA) مقادیر شاخص‌های انتخابی در سنجه‌های نمونه با مساحت‌های تعیین‌شده و میزان همبستگی با محتمل‌ترین رخداد در هر سنجه فضایی

یافته‌های پژوهش

مطابق شکل‌های ۹ و ۱۰، نمودار نتایج اعتباریابی پردازش مقادیر شاخص‌های انتخابی در سنجه‌های نمونه با مساحت‌های تعیین‌شده و میزان همبستگی با محتمل‌ترین رخداد در هر سنجه فضایی در نقاط تصادفی در پهنه‌هایی با مساحت‌های مختلف، بر اساس تفاسیر بصری و میزان

همبستگی، می‌توان پهنه‌های ۱۰/۳۲ هکتاری (LPI) را به مثابه پهنه‌های با سطح بهینه برای محاسبه سنج‌ها و تقسیم مناطق به این پهنه‌ها انتخاب کرد. مطابق نتایج تحلیل PCA بر مقادیر استاندارد شده سنج‌ها چهار معیار دوم (میزان و جهت شیب، فاصله از شبکه هیدروگرافی کرانه، شبکه زهکشی، پراکنش و طول مسیل) خروجی تحلیل ۶۸/۷۸ درصد از واریانس پراکنش داده‌های چهار سنج مورد استفاده را شامل می‌شوند.

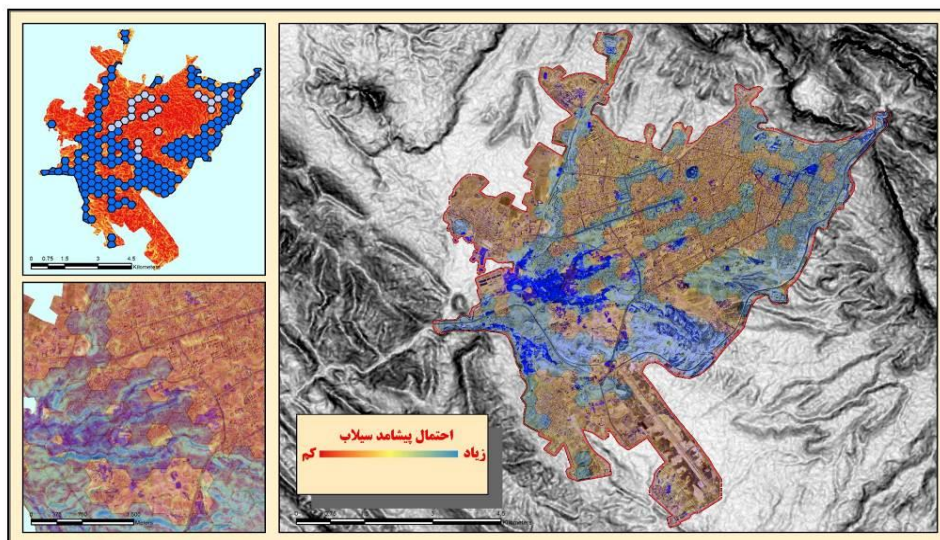
جدول ۵. نتایج خروجی تحلیل واریانس ابعاد و معیارهای سنج‌های فضایی

Var.Per	Max	Min	Var.	Mean	n	PCI	wij
۱۵,۲	۴,۱۱۲	۰,۰۲۱۷	-۰,۰۲۵۴	۰,۱۴۷۸	۴	شبکه معابر و سلسله‌مراتب دسترسی	کاربری
۸۸	۳,۲۷۴۵	۰,۰۷۴۲۰	۰,۳۶۵۰	۰,۱۳۰۲	۴	مساحت و تعداد قطعات	اراضی
۷,۲۲	۱,۹۴۸۷	۰,۰۰۳۲	۰,۰۲۰۱	۰,۲۳۶۴	۴	نوع کاربری	
۱۴,۳۶	۳,۳۳۰۱	۰,۰۳۷۴۱	-۰,۱۲۰۴	۰,۱۷۲۳	۴	فاصله از شبکه هیدروگرافی کرانه	
۲۹,۰۱	۰,۱۹۸۰۷	۰,۰۱۱۳۰	۰,۳۲۱۱	۰,۱۳۰۰۲	۴	میزان و جهت شیب	مسیل
۱۳,۰۹	۰,۱۷۴۸۰	۰,۰۳۶۰۰	۰,۱۹۳۶	۰,۳۲۱۴	۴	شبکه زهکشی	
۱۲,۳۲	۱,۳۶۵۰	۰,۳۰۰۴	۰,۰۰۲۱	۰,۲۳۶۵	۴	پراکنش و طول مسیل	

مطابق نتایج جدول ۵، به ترتیب میزان و جهت شیب، شبکه معابر و سلسله‌مراتب دسترسی، فاصله از شبکه هیدروگرافی کرانه، شبکه زهکشی، پراکنش و طول مسیل و مساحت، و تعداد قطعات بیشترین واریانس داده‌ای را شامل می‌شوند. با توجه به این نتایج، مدل نهایی پیش‌بینی با تلفیق مقادیر ویژه همه معیارها، مقادیر بار عاملی سنج‌ها به منزله ضرایب و مقادیر ترکیب بانندی، به نحوی که در رابطه ۲ نشان داده شده است، برای محدوده شهر محاسبه و تشکیل شد:

$$DI = ((\text{False Color (Urban) Land Water})) N_1 \times (L_1 \times NP_1 \times L_2 \times PD_i + L_3 \times \text{SHAPE}_{MNI} + L_4 \times \text{FRAC}_{MNI} + L_1 \times \text{CONTIG}_{MNI} + L_2 \times \text{ENN}_{MNI} + L_3 \times \text{DIVISION}_i + E_1 \times (L_4 \times \text{PLAND}_i + L_2 \times \text{LPI}_i + L_3 \times \text{AREA_MNI}_i + L_1 \times \text{MESH}_i) + E_2 \times (L_1 \times \text{SPLIT}_i) \quad (2)$$

مطابق نتایج با اجزای مدل پیش‌بینی در رابطه ۲ و شکل ۱۱ در همه ۵۵۷ سنج ایجاد شده ۲۰۴ پهنه با توجه به هیستوگرام و دامنه پراکنش پیشامد سیلاب که ۰ تا ۱ بوده است در ۱۰ کلاس با دامنه پیشامد کم (۰) تا زیاد (۱) تعیین و نقشه طبقات به صورت یکپارچه تهیه شد.



شکل ۱۱. نتایج نهایی تلفیق سنجه‌ها به منزله ضرایب و مقادیر ترکیب باندی

جدول ۶. میزان پیشامد سیلاب بر اساس نوع سنجه و مساحت

نوع سنجه	میزان پیشامد	تعداد سنجه	مساحت (هکتار)	درصد از مساحت
NP	۰ - ۱	۳۴۷	۲۹۴۹,۵	۶۳,۰
LPI	۰,۲	۴۱	۳۴۸,۵	۷,۴
NP	۰,۳	۵۳	۴۵۰,۵	۹,۶
LPI	۰,۴	۲۱	۱۷۸,۵	۳,۸
Division	۰,۵	۱۹	۱۶۱,۵	۳,۴
LPI	۰,۶	۲۵	۲۱۲,۵	۴,۵
Division	۰,۷	۱۷	۱۴۴,۵	۳,۱
LPI	۰,۸	۹	۷۶,۵	۱,۶
Division	۰,۹	۱۱	۹۳,۵	۲,۰
NP	۱	۸	۶۸	۱,۵
جمع		۵۵۱	۱۴۶۸۳,۵	۱۰۰,۰

۱. گفتنی است مساحت محدوده تعیین شده متناسب با هدف تحقیق حاضر است. بنابراین، مساحت خالص کاربری‌های شهری در مطالعات طرح تفصیلی (موجود) ۱۸۰۰ هکتار برآورد شده است.

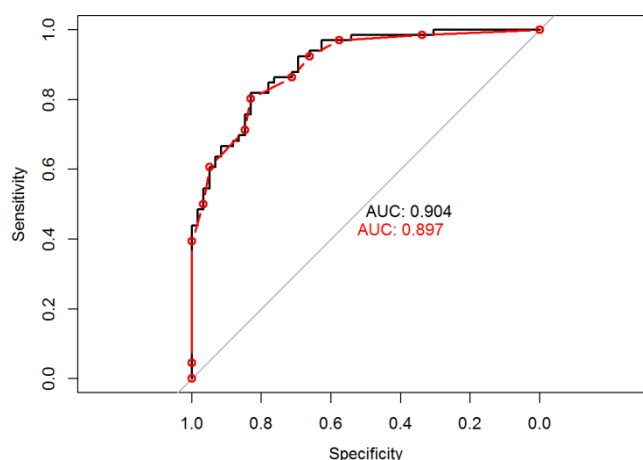
برابر با تحلیل‌های انجام‌گرفته در پیشامد بالفعل (۱)، تعداد هشت سنجه فضایی با مساحتی معادل ۶۸ هکتار و پوشش ۱/۵ درصدی از کل محدوده شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارند. همچنین در پیشامدهای ۰/۸ و ۰/۹ تعداد ۱۹ سنجه با مساحت ۱۷۰ هکتار، یعنی ۳/۶ درصد از پوشش کاربری‌های محدوده، در معرض خطر بالقوه قرار دارند. در پیشامدهای ۰/۶ و ۰/۷ تعداد ۴۴ سنجه با مساحت ۳۵۷ هکتار، ۷/۶ درصد از پوشش کاربری‌های محدوده، در پیشامد ۰/۴ و ۰/۵ تعداد ۴۰ سنجه با مساحت ۳۴۰ هکتار، ۷/۲ درصد از پوشش کاربری‌های محدوده، و همچنین در پیشامدهای ۰/۲ و ۰/۳ تعداد ۹۴ سنجه با مساحت ۷۹۹ هکتار، ۱۷ درصد و در کمترین پیشامد تعداد ۳۴۷ سنجه با مساحت ۲۹۴۹/۵ هکتار، ۶۳ درصد از پوشش کاربری محدوده شهر را پوشش داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد بین میزان پیشامد سیلاب با نوع متریک و میزان و جهت شیب و همچنین تراکم و عرض شبکه معابر با شبکه زهکشی همبستگی بالایی وجود دارد. ازین‌رو، بالاترین احتمال پیشامد سیلاب در مناطقی وجود دارد که شیب عمومی بیش از ۱۵ درصد است و شبکه معابر در جهت جریان موافق با شبکه زهکشی است و عمق و عرض معابر کم است.

جدول ۷. میزان رخداد سیلاب در پیشامد زیاد (۱ - ۰/۸) به تفکیک گروه کاربری عمده شهری

کاربری	تعداد متریک (تجمیعی)	مساحت (هکتار)	درصد از مساحت
شبکه معابر	۳,۵	۲۹,۷۵	۱۲,۵۰
مسکونی	۹	۷۶,۵	۳۲,۱۴
تجاری	۱,۵	۱۲,۷۵	۵,۳۶
تأسیسات و تجهیزات شهری	۲	۱۷	۷,۱۴
پارک و فضای سبز	۲	۱۷	۷,۱۴
فرهنگی و مذهبی	۱,۲	۱۰,۲	۴,۲۹
اداری و انتظامی	۰,۵۰	۴,۲۵	۱,۷۹
بایر و محصورشده	۸,۳	۷۰,۵۵	۲۹,۶۴
جمع	۲۸	۲۳۸	۱۰۰

در مرحله نهایی، به منظور ارزیابی دقت و کارایی روش مورد استفاده برای مدل‌سازی خطر سیلاب، از منحنی ROC و سطح زیر منحنی AUC و تعدادی نقاط نمونه مربوط به پیشامد وقوع و

عدم وقوع سیلاب استفاده شد. بدین منظور نقاط برداشت شده و مقادیر عددی متناظر با آن‌ها در نقشه نهایی پیشامد سیلاب به صورت xls و Ascii.txt وارد محیط نرم‌افزار SPSS شد و منحنی ROC و سطح زیر آن AUC محاسبه شد. بر این اساس، سطح زیر منحنی برابر با ۸۹ درصد است که عملکرد رضایت‌بخش روش و کارایی آن جهت پیشامد مخاطره سیلاب را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. نتایج اعتبارسنجی مدل

همچنین در رابطه با میزان پوشش کاربری اراضی توسط سیلاب در پیشامدهای زیاد (۱ - ۰/۸) تعداد ۲۸ سنجه در گروه کاربری‌های عمده استخراج شد. مطابق نتایج جدول ۷، به ترتیب گروه‌های کاربری مسکونی با مساحت ۷۶/۵ هکتار، بایر و محصورشده با مساحت ۷۰/۵۵، شبکه معابر با مساحت ۲۹/۷۵، و پارک و فضای سبز با مساحت ۱۷ هکتار خطرپذیرترین کاربری‌های تشخیص داده شدند. همچنین، در ارتباط با تحلیل تفصیلی تر یافته‌ها، از میان همه گروه‌های کاربری خطرپذیر ۲۹/۵ درصد در گروه نوساز، ۴۴/۵ درصد در گروه قابل نگهداری، و ۱۸ درصد در گروه بافت فرسوده تشخیص داده شدند. تحقیقات متعدد و بسیاری در ارتباط با خطرپذیری سیلاب انجام شده که اکثراً جنبه خاصی از مسائل و معضلات شهری را مورد توجه قرار داده‌اند و با شاخص‌های مستخرج از پیشینه خطرپذیری به ارزیابی پرداخته‌اند. شواهد موجود نشان می‌دهد این تحقیقات از جنبه کلی برخوردارند که پیوند آن‌ها با واقعیت‌های عینی سخت و تا حدودی ناممکن است. امروزه مشکلات

موجود در حوزه توسعه شهری لزوم توجه بیش از پیش به مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با مبحث مخاطرات بالقوه را می‌طلبد. ازین‌رو، جنبه نوآوری این پژوهش نگاهی ویژه به الگوی توسعه با هدف کاربست متریک‌های فضایی در تعیین احتمال پیشامد سیلاب و در وهله دوم با تأکید بر رویکرد سنج‌های سیمای سرزمین نوع روش پژوهش و تجزیه و تحلیل اطلاعات است. نتایج این پژوهش ضمن صحت‌گذاری و تأیید نتایج پژوهش‌های عبدالله‌زاده و همکارانش (۱۳۹۵)، پریسای و همکارانش (۱۳۹۵)، کاردان و همکارانش (۱۳۹۶)، و عقیفی (۱۳۹۸) نشان می‌دهد مطابق با تحلیل‌های انجام‌گرفته دقت و احتمال وقوع سیلاب با توجه به روش مورد بررسی بالاتر از میانگین متوسط است.

امروزه شهرها مکان اصلی کار و زندگی بخش عمده جمعیت شده‌اند؛ طوری که قریب ۶۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند. ازین‌رو، توجه به وضعیت مخاطرات طبیعی مسئله‌ای حیاتی است. نظر به مشکلات متعدد شهر ایلام در ارتباط با مسائلی همچون فرسودگی بافت، ترازد حاشیه‌نشینی، افزایش ناپایداری محیطی، رشد پراکنده و تمرکزگرایی منابع و امکانات در محورهای یا برخی مناطق شهر، رویکردهای مختلفی برای ارتقا و بهبود شرایط زندگی در آن‌ها پیشنهاد و مطرح می‌شود. به نظر می‌رسد تحلیل و ارزیابی مخاطرات شهری به منزله یک اصل راهنما در چارچوب گفتمان پایداری در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی شهر می‌تواند عوامل متعددی که اثر منفی بر پایداری مکان‌های شهری دارند به ارائه راهبردها و تقویت ایمنی و امنیت، کارایی و نگهداری محیط زیست بپردازد. بنابراین ایمن بودن یک شهر یا فضاهای شهری در برابر بحران‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از راه‌های شناخت مخاطرات شهرها و فضاهای شهر استفاده از منابع و ابزارهای به‌روز است. با توجه به اینکه مدل‌های مختلفی برای سنجش و اندازه‌گیری وضعیت بروز سیلاب شهرها ارائه شده است، می‌توان به طیف متنوعی از مدل‌های کمی و کیفی و اخیراً شاخص‌ها یا سنج‌های فضایی اشاره کرد. نکته‌ای که باید در مورد استفاده از این مدل‌ها و ابزارها مورد توجه قرار گیرد این است که بهترین شکل استفاده از این مدل‌ها این است که ضمن مقایسه مناطق شهر به صورت فضایی، قابلیت نمایش فرم، الگو و زمینه‌خطرپذیری مناطق و نواحی را در مقایسه با یک‌دیگر داراست. اخیراً روش‌های کمی به منزله روشی برای طبقه‌بندی سیستماتیک و تحلیل مباحث مخاطره سیلاب شهری ضروری شده است. با این حال، کاربرد این روش‌ها تنها به مطالعات موردی یا زمینه‌های ملی به‌ویژه در

کشورهای توسعه‌یافته محدود شده است. یکی از روش‌ها و مدل‌های جدید ارائه‌شده در این زمینه، سنجه‌ها یا متریک‌های فضایی هستند که خصوصیت شکلی، هندسی، و ماهیت پراکنش و توزیع اجزای ساختاری شامل لکه‌ها یا قطعات را در بستر سنجه‌های فضایی قابل تعریف و ضمن مقایسه کمی، تفاوت‌ها را با عدد و رقم بیان می‌کنند؛ هرچند از این روش عمدتاً برای بررسی فرم‌های کالبدی-فیزیکی شهرهای کشورهای توسعه‌یافته استفاده شده و قابلیت و توانایی بالای خود را در تشخیص و اندازه‌گیری اشکال شهری به اثبات رسانده است.

جدول ۸. مقایسه نتایج پژوهش با پژوهش‌های انجام‌شده

پژوهش‌های انجام‌شده	پژوهش حاضر
نویسنده(گان)	مقایسه و نتایج (تمایز)
UNISDR 2016	در این پژوهش نگارندگان با استعانت از منابع و پیشینه تجربی موجود در خصوص مرور مبانی نظری، مفاهیم، و مطالعات روش‌شناسی موضوع ضمن صحنه‌گذاری بر نتایج هر یک بر آن‌اند که ضعف عمده در بررسی مفهوم خطرپذیری پیشامد سیلاب به مطالعات روش‌شناسی برمی‌گردد. چون استفاده از روش‌های گاه یکسان مبتنی بر ابزار و داده‌های غیر قابل اتکا و عموماً محقق‌ساخته منجر به شتاب‌زدگی و تقلیل‌گرایی و درک نادرست از مفهوم خطرپذیری شده است. در این پژوهش نگارندگان برای نخستین بار ضمن استفاده از داده‌های کمی مبتنی بر آمار مرجع استفاده از واحدهای پایه فضایی (به مثابه حلقه واسط برنامهریزی مبتنی بر مطالعات فضای شهری) را پیشنهاد می‌کنند. هرچند کاربرد واحدهای پایه فضایی (سنجه یا متریک) متناسب با سه اصل وسعت محدوده، موضوع و هدف پژوهش، و داده‌های مورد تحلیل متفاوت است، کاربرد این روش بنا به سه دلیل دقت (Accuracy)، قابلیت پیوند (Link)، و اشتراک‌گذاری (Sharing) پیشنهاد می‌شود. چون با الصاق (Join) اطلاعات مورد تحلیل در سطوح فضایی و اضافه کردن آن‌ها از مقادیر بسیار کوچک (پارسل و بلوک) تا شیت‌های بزرگ‌تر (کاربری اراضی) می‌توان وضعیت ایمنی در برابر سیلاب مناطق را به واحد مسکونی، محله، ناحیه، و مناطق شهری مرتبط کرد.
Mustafa et al 2018	کاربردی: توصیفی-تحلیلی بنیادی و مبتنی بر روش کیفی و فراتحلیل
Shahmahmassebi et al 2016	کاربردی: توصیفی-تحلیلی مبتنی بر روش تحلیل بنیادی
عبدالله‌زاده و همکاران ۱۳۹۵	کاربردی: توصیفی-تحلیلی مبتنی بر روش کمی
پریشای و همکاران ۱۳۹۵	کاربردی: توصیفی-تحلیلی مبتنی بر روش مدل‌سازی
کاردان و همکاران ۱۳۹۶	کاربردی: توصیفی-تحلیلی
عفیقی ۱۳۹۸	کاربردی و بنیادی: توصیفی-تحلیلی مبتنی بر روش آمیخته

نتیجه و پیشنهاد

رویکرد آمایش سرزمین در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته به دلیل ماهیت تغییرات جهانی، سیاسی، و حکمروایی از یک طرف و طیف بسیار وسیع موضوعات کاربردی در حال پوست‌اندازی است. ازین رو رویکرد ادغام یکپارچه آمایش سرزمین با محوریت موضوعات سلامت، تغییر اقلیم، آب، سیاست‌گذاری اجتماعی و فضایی به‌شدت توسط دولت‌های اروپایی دنبال می‌شود.^۱ یکی از ابعاد بسیار مهم در این زمینه چالش تغییر اقلیم و پیامدهای مرتبط با آن شامل انواع مخاطرات و کیفیت مدیریت منابع آب است. در این رابطه سیلاب به دلیل فراوانی وقوع و بروز خسارت‌های جانی و مالی در مناطق شهری به یک معضل جهانی تبدیل شده است. به دنبال بروز گسترده چنین مسئله‌ای بسیاری از کشورها اقدام به پایش و پیش‌بینی این مخاطره به کمک طیف وسیعی از ابزارهای کاربردی کرده‌اند. در این پژوهش نگارندگان با طرح عنوان سنجه یا متریک فضایی به منزله ابزاری دقیق و کاربردی در پهنه‌بندی و شناسایی مخاطره سیلاب و پیش‌بینی بروز آن به کمک شاخص‌های مبنا ضرورت توسعه این ابزار را جهت پایش مخاطره سیلاب در رویکرد داخلی مدیریت آمایش شهری و سرزمینی مطرح کرده‌اند؛ بر پایه این اصل که سنجه‌های پوششی نباید تحت تأثیر خطای نقشه ورودی قرار گیرند. از طرف دیگر برای بیان اندازه دقت فرایند تهیه سنجه نیاز به ارزیابی صحت داده بود. به منظور تعیین صحت این نقشه که دارای دو طبقه کلی False Color (Urban) و Land Water است از شبکه‌های شش ضلعی نقاط تصادفی و روی هم‌گذاری اطلاعات نقاط برداشتی بر تصاویر Google Earth استفاده شد. نتایج ارزیابی صحت کاربری‌های مربوط به شبکه نقاط بیانگر صحت ۹۳/۶۸ درصدی متریک‌های پوششی با روش تفسیر تلفیقی انجام شده است. شبکه‌های سنجه NP، Division، PD، و LPI ضمن تناسب با وسعت شهر، بیشترین همبستگی فضایی با میانگین مساحت و چگونگی پراکنش آن‌ها را نشان می‌دهند. هرچند شیوه مورد استفاده برای تعیین سطح مناسب سنجه در این تحقیق متناسب با اهداف پژوهش در سطح فضای پوششی شهر بوده است^۲ بر

1. Strydom, W., Puren, K., & Drewes, E. (2018). "Exploring theoretical trends in placemaking: towards new perspectives in spatial planning", *Journal of Place Management and Development*.

۲. در مطالعات آمایش سرزمین هرچند متناسب با سطح و اهداف طرح متریک‌های مطالعاتی متفاوت است، تعیین واحدهای پایه فضایی عمدتاً کوچک‌مقیاس است.

اساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد سطوح شبکه با تفاوت زیاد تأثیر معناداری بر سنجه نهایی پیش‌بینی گذاشته‌اند و ضمن شناسایی و تلفیق اطلاعات قابلیت تدقیق با واقعیت‌های زمینی بیشتری دارند. مطابق نتایج پژوهش، اعتباریابی پردازش مقادیر شاخص‌های انتخابی در سنجه‌های نمونه با مساحت‌های تعیین‌شده و میزان همبستگی با محتمل‌ترین رخداد در هر سنجه فضایی در نقاط تصادفی در پهنه‌های با مساحت‌های مختلف بر اساس تفاسیر بصری و میزان همبستگی، سنجه‌های ۱۰/۳۲ هکتاری (LPI) به عنوان سطح بهینه برای محاسبه و تقسیم مناطق انتخاب شدند. مطابق نتایج تحلیل PCA بر مقادیر استانداردشده سنجه، چهار معیار میزان و جهت شیب، فاصله از شبکه هیدروگرافی کرانه، شبکه زهکشی، و پراکنش و طول مسیل خروجی تحلیل ۶۸/۷۸ درصد از واریانس پراکنش داده‌های چهار سنجه مورد استفاده را شامل شده‌اند. مدل نهایی پیش‌بینی با تلفیق مقادیر ویژه همه معیارها شامل مقادیر بار عاملی سنجه‌های و ضرایب مقادیر ترکیب باندی برای محدوده شهر محاسبه و تشکیل شد. در ارتباط با اهداف و سؤالات مطرح‌شده پژوهش با تحلیل‌های انجام‌گرفته در پیشامد بالفعل ۱ تعداد هشت سنجه فضایی با مساحتی معادل ۶۸ هکتار و پوشش ۱/۵ درصدی از کل محدوده شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارند. همچنین در پیشامدهای ۰/۸ و ۰/۹ تعداد ۱۹ سنجه با مساحت ۱۷۰ هکتار، یعنی ۳/۶ درصد از پوشش کاربری‌های محدوده، در معرض خطر بالقوه قرار دارند. نتایج نشان می‌دهد بین میزان پیشامد سیلاب با نوع سنجه، میزان و جهت شیب، و همچنین تراکم و عرض شبکه معابر با شبکه زهکشی همبستگی بالایی وجود دارد. ازین‌رو بالاترین احتمال پیشامد سیلاب در مناطقی وجود دارد که شیب عمومی بیش از ۱۵ درصد، شبکه معابر در جهت جریان موافق با شبکه زهکشی، و عمق و عرض معابر کم است. همچنین در رابطه با میزان پوشش کاربری اراضی توسط سیلاب در پیشامدهای زیاد (۱ - ۰/۸) تعداد ۲۸ سنجه در گروه کاربری‌های عمده استخراج شد. مطابق نتایج جدول ۷، به ترتیب گروه‌های کاربری مسکونی با مساحت ۷۶/۵ هکتار، بایر و محصورشده با ۷۰/۵۵ هکتار، شبکه معابر با ۲۹/۷۵ هکتار، و پارک و فضای سبز با ۱۷ هکتار خطرپذیرترین کاربری‌ها تشخیص داده شدند. همچنین در ارتباط با تحلیل تفصیلی‌تر یافته‌ها از میان همه گروه‌های کاربری خطرپذیر ۲۹/۵ درصد در گروه نوساز، ۴۴/۵ درصد در گروه قابل نگهداری، و ۱۸ درصد در گروه بافت فرسوده تشخیص داده شدند. نتایج پیشامد طیفی

(۱ - ۰) نشان می‌دهد در دامنه بالا گسستگی منافذ، ساخت‌وساز کم، پراکنش غیرمتمرکز پهنه‌ها در معرض آسیب‌اند. در پیشامد بالا (۱ - ۰/۸) با پوشش ۱/۵ درصد پهنه‌ها با لکه‌های مسکونی و تجاری زیادی دیده می‌شوند که بیشتر در حاشیه مسیل‌های عبوری و شبکه زهکشی و شبکه معابر با عرض کم قرار دارند. پهنه‌های مسکونی در این طبقه نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب این نواحی از شهر از نظر پیشامد است. زیرا مساحت کاربری‌ها کوچک و فاصله آن‌ها از هم کم است و در مجموع مساحت زیادی را اشغال می‌کنند. توسعه و ایجاد شبکه معابر شریانی و درجه دو در جهت موافق با شیب عمومی شهر (غربی- شرقی و شمالی- جنوبی) به‌ویژه موافق با شبکه زهکشی و مسیل اصلی شهر پیشامد سیلاب را بالفعل کرده است. بروز چنین پدیده‌ای ضمن تشدید حرکت سیلاب و افزایش حجم رواناب در منتهی‌الیه شرقی شهر، جایی که شیب عمومی شهر تا ۴۰ درجه افزایش می‌یابد، لزوم توجه به مدیریت آب در حوضه‌های فرادست شهر را ضروری ساخته است. ازین‌رو در ارتباط با یافته‌های پژوهش پیشنهادهای زیر مطرح می‌شود:

- استفاده از ابزارهای به‌روز و کارآمد شناسایی پیشامد بالقوه سیلاب را مقدور ساخته است. توسعه فناوری‌های سنجش از دور، سامانه‌های پیش‌بینی آب‌وهوایی، و سایر ابزارهای دقیق جهت پایش تغییر اقلیم و پیش‌بینی انواع مخاطرات توسط بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته هم‌اکنون انجام می‌شود. توسعه و راه‌اندازی واحد زیرساخت داده‌های مکانی^۱ و تلفیق نتایج تحلیل فضایی در شهرداری‌ها از یک طرف و ادغام یکپارچه نقشه‌های خطر در مطالعات آمایش شهری و سرزمینی ضمن شناسایی سناریوهای آتی می‌تواند رویکردی اثرگذار جهت آمادگی با پیشامدهای غیرمترقبه باشد.
- در شهر ایلام آنچه بیش از هر چیز دیگری مخاطرات ناشی از پیشامد سیلاب را تشدید می‌کند توسعه و شکل‌گیری شبکه معابر در جهت جریان موافق با مسیل‌ها و شبکه‌های زهکشی است. این در حالی است که استخوان‌بندی عمق و عرض شبکه معابر غیر از سه محور شریانی (بلوار امام خمینی، بلوار شهید بهشتی، بلوار شهید مدرس- دانشجو) با نفوذپذیری کم و تراکم زیاد همراه است؛ یعنی جایی که دقیقاً هسته اولیه شهر با بافت

فرسوده و دانه‌بندی ریز ریسک‌پذیری را افزایش داده است. ازین‌رو، با تهیه نقشه‌های دقیق برآورد میزان مخاطره می‌توان اقدامات پیشگیرانه کرد و به تدوین دستورالعمل‌های راهنما و برنامه‌های مقاوم‌سازی پرداخت.

- با توجه به موقعیت و محدودیت توسعه فیزیکی شهر، افزایش تراکم مسکونی و بلندمرتبه‌سازی متناسب با اهداف و اصول شهر فشرده امری اجتناب‌ناپذیر است. پیشنهاد می‌شود در محورهای بالقوه بروز سیلاب به‌خصوص در حریم‌های تعیین شده از مسیرها توسط وزارت نیرو، شرکت آب و فاضلاب، و جهاد کشاورزی حتی‌الامکان ساخت‌وسازی صورت نگیرد و کاربری‌های موجود مقاوم‌سازی و ساماندهی شوند.
- می‌توان با بهره‌گیری از جهت شیب عمومی شهر، لای‌رویی و تجدید ساختار شبکه زهکشی، و هدایت جریان سیلاب از طریق ایجاد کانال‌های فرعی و متعاقباً کاهش حجم رواناب از آب‌گرفتی معابر پیش‌گیری کرد.
- تحلیل کمیت کاربری‌های شهری نشان می‌دهد یکی از مسائل بسیار مهم شهر ایلام کمبود سرانه فضای سبز و نقش بسیار مهم آن در کاهش مخاطره سیلاب از طریق حفظ بافت خاک و کاهش سرعت سیلاب است. توسعه فضای سبز از طریق غرس درختان راهکاری اساسی جهت مقابله با شدت جریان است.
- توسعه و استفاده از تکنولوژی‌های مهار، افزایش ضریب اصطکاک و تثبیت بستر^۱، تدوین قوانین عدم برداشت از حجم بستر مسیرها، و مقاوم‌سازی جداره متناسب با اصول طراحی شهری گامی مؤثر جهت کاهش مخاطرات ناشی از سیلاب است.
- تدوین سند بازآفرینی و احیای مسیرها متناسب با اهداف گردشگری و کشاورزی و عملکردهای پشتیبان شهری با رعایت همه دستورالعمل‌ها می‌تواند اقدامی اساسی جهت ساماندهی مسیر رودخانه و کنترل حجم رواناب باشد.
- توسعه عملیات آبخیزداری در حوضه‌های آبخیز اصلی و فرعی، جلوگیری از قطع درختان و سایر گیاهان، نگاه‌داشت دامنه پیرامون شهر اقدامی مؤثر جهت کاهش سرعت و تخریب رواناب است.

1. <https://www.earthmagazine.org/article/dutch-masters-netherlands-exports-flood-control-expertise>

منابع

- اسدی مهمان دوستی، الهام؛ جهان‌بخش دانشیان؛ محمدفرید محمدپناه (۱۳۹۸). «بررسی ویژگی‌های رسوبی- دیاژنزی و ژئوشیمیایی سازند ایلام در شمال غرب آبدانان، کبیرکوه»، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۵(۴)، صص ۷۷ - ۱۰۴. doi: 10.22108/jssr.2019.118968.1117.۱۰۴
- انصاری لاری، احمد؛ اسماعیل نجفی؛ سیده فاطمه نوربخش (۱۳۹۰). «قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی توسعه فیزیکی شهر ایلام»، آمایش محیط، د ۴، ش ۱۶، صص ۱ - ۱۶.
- پریسای، زهرا؛ مجید اوتق؛ شیخ: واحدبردی؛ عبدالرضا بهره مند (۱۳۹۶). «ارزیابی اثر سناریوی کاربری آمایشی در خطر و خسارت سیل حوضه آبخیز سد بوستان»، مدیریت بحران، د ۶، ش ۱، شماره پیاپی ۱۱، صص ۱۳۳ - ۱۴۳.
- خدقلی، مرتضی؛ راضیه صبحی (۱۳۹۲). «پهنه‌بندی اقلیمی با تأکید بر متغیرهای باد در استان‌های ایلام، خوزستان، و بوشهر»، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۵(۴)، صص ۲۸۹ - ۲۹۸. doi: 10.22092/ijwmse.2014.101883.
- درفشی، خه‌بات؛ فاطمه عادل؛ بهرام ملک‌محمدی (۱۳۹۹). «ارائه الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب (مطالعه موردی: مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران)، مدیریت بحران، ۱۷(۱)، صص ۵ - ۱۶.
- عبدالله‌زاده، علی؛ مجید اوتق؛ امیر سعدالدین؛ رئوف مصطفی‌زاده (۱۳۹۵). «گزارش فنی: محدودیت توسعه کاربری سکونتگاهی ناشی از سیلاب و ضریب رواناب در چارچوب آمایش سرزمین (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت گرگان)»، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸(۲)، صص ۲۳۱ - ۲۳۵. doi: 10.22092/ijwmse.2016.106462.۲۳۵
- عقیفی، 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 محیطی، ۶(۲)، صص ۱۴۹ - ۱۶۷. doi: 10.22059/jhsci.2019.279717.462.
- قربانی، رامین؛ کرامت‌الله زیاری؛ مریم سجودی؛ ابراهیم فرهادی؛ شاخوان عبدالله حسین (۱۳۹۹). «تحلیل برهم‌کنش کارکرد آموزش عالی و صنعت در ایران از منظر آمایش سرزمین»، آمایش سرزمین، ۱۲(۲)، صص ۴۷۹ - ۵۱۹. doi: 10.22059/jtccp.2020.304165.670123

کاردان، نازیلا؛ یوسف حسن زاده؛ ابوالفضل ارزن لو (۱۳۹۶). «شبیه سازی دوبعدی جریان های سیلابی شهری با مدل CCHE2D (مطالعه موردی: شهر آق قلا)»، دریا فنون، ۴(۴)، صص ۲۵ - ۳۶.

مرکز آمار ایران، سرشماری عمومی نفوس و مسکن (۱۳۹۵). نتایج تفصیلی سرشماری استان ایلام، مطالعات جمعیتی به تفکیک شهرستان، شهرستان ایلام، شهر ایلام.

References

- Abdollahzadeh, A., Ownegh, M., Sadoddin, A., Mostafazadeh, R. (2016). Technical Note: Constraints to residential land use development arising from flood and runoff coefficient in a land use planning framework, case study: Ziarat Watershed, Golestan Province. *Watershed Engineering and Management*, 8(2), 221-235. doi: 10.22092/ijwmse.2016.106462. (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), pp. 149-167. doi: 10.22059/jhsci.2019.279717.462. (in Persian)
- Angel, S., Sheppard, S., Civco, D. L., Buckley, R., Chabaeva, A., Gitlin, L., & Perlin, M. (2005). "The dynamics of global urban expansion (p. 205)", *Washington ed. c dc: World Bank, Transport and Urban Development Department*.
- Anni, A. H., Cohen, S., & Praskievicz, S. (2020). "Sensitivity of Urban Flood Simulations to Stormwater Infrastructure and Soil Infiltration", *Journal of Hydrology*, 125028.
- Ansarilari, A., Najafi, I., & Nourbakhsh, S.F. (2011). "Geomorphological capabilities and limitations of physical development of Ilam city", *Environmental planning*, Vol. 4, No. 16, pp. 1-16. (in Persian)
- Asadi Mehmandousti, E., Daneshian, J., & Mohammadpanah, M.F. (2019). "Investigation of sedimentary-diagenetic and geochemical characteristics of Ilam Formation in the northwest of Abdanan, Kabirkuh", *Stratigraphic and Sedimentological Research*, 35 (4), pp. 77-104. doi: 10.22108 / jssr.2019.118968.1117. (in Persian)
- BBC (2019). Mumbai: Heaviest rain in decade triggers chaos [WWW Document]. URL <https://www.bbc.com/news/world-asia-india-48835828>.
- Benza, M., Weeks, J.R., Stow, D.A., Lopez-Carr, D., & Clarke, K.C. (2016). "A pattern-based definition of urban context using remote sensing and GIS", *Remote Sens. Environ.* 183, pp. 250-264.
- Beucher, S. (2009). "National/local policy tensions in flood risk management: an international comparison", *Environmental Hazards*, 8(2), pp. 101-116.
- Beven, K. (2012). "Rainfall-Runoff Modelling: The Primer", second ed. *Wiley-Blackwell*, Chichester, UK.
- Coron, L., Thirel, G., Delaigue, O., Perrin, C., & Andreassian, V. (2017). "The suite of lumped GR hydrological models in an R package", *Environ. Model. Software*, 94, pp. 166-171.
- Crooks, S., Kay, A., Davies, H., & Bell, V. (2014). "From catchment to national scale rainfallrunoff modelling: demonstration of a hydrological modelling framework",

- Hydrology*, 1, pp. 63–88.
- Davidoff, P. & Reiner, T. A. (1962). “A choice theory of planning”, *Journal of the American Institute of Planners*, 28(2), pp. 103-115.
- Derafshi, Kh., Adeli, F., & Malek-Mohammadi, B. (2020). “Provide a model for analyzing and zoning the level of vulnerability of urban areas at flood risk; Case study: Districts 10 and 22 of Tehran”, *Two Quarterly Journal of Crisis Management*, 9 (1) 17, pp. 16-5. (in Persian)
- Douben, K. J. (2006). Characteristics of river floods and flooding: a global overview, 1985–2003. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 55(S1), S9-S21.
- Elga, S., Bronders, J., & Batelaan, O. (2015). “Hydrological modelling of urbanized catchments: a review and future directions. J.”, *Hydrology*, 529, pp. 62–81.
- EPA (2019). Polluted Runoff: Nonpoint Source (NPS) Pollution- Low Impact Development, <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development>.
- Flores, A. P., Giordano, L., & Ruggerio, C. A. (2020). A basin-level analysis of flood risk in urban and periurban areas: A case study in the metropolitan region of Buenos Aires, Argentina. *Heliyon*, 6(8), e04517.
- Francesch-Huidobro, M., Dabrowski, M., Tai, Y., Chan, F., & Stead, D. (2017). “Governance challenges of flood-prone delta cities: Integrating flood risk management and climate change in spatial planning”, *Progress in Planning*, 114, pp. 1-27.
- Galloway, E.G., Reilly, A., Ryoo, S., Riley, A., Haslam, M., Brody, S., Highfield, W., Gunn, J., Rainey, J., & Parker, S. (2018). “The Growing Threat of Urban Flooding: A National Challenge 2018”, *University of Maryland and Texas A&M University*.
- Gao, L., Tao, B., Miao, Y., Zhang, L., Song, X., Ren, W., He, L., & Xu, X. (2019). “A global dataset for economic losses of extreme hydrological events during 1960-2014”, *Water Resour. Res.*, pp. 5165–5175.
- Ghorbani, R., Ziari, K., Sejoudi, M., Farhadi, E., & Abullah Hussein, S. (2020). “An Evaluation of the Interaction of Higher Education and Industry Functions from the Spatial Planning Perspective”, *Town and Country Planning*, 12(2), pp. 479-519. doi: 10.22059/jtcp.2020.304165.670123. (in Persian)
- Gonzalez, S. (2006). “O planejamento urbano e a construção do risco por inundações na cidade de Buenos Aires”, In: *Alessandri Carlos, A.F. (Ed.), Geografias Das Metrópoles. Contexto, San Pablo, Brasil*, pp. 467–484.
- Gralepois, M. (2020). “What Can We Learn from Planning Instruments in Flood Prevention? Comparative Illustration to Highlight the Challenges of Governance in Europe”, *Water*, 12(6), 1841.
- Hoang, L. & Fenner, R.A. (2016). “System interactions of storm water management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure”, *Urban Water Journal*, 13 (7), pp. 739–758.
- Howe, J. & White, I. (2004). “Like a fish out of water: The relationship between planning and flood risk management in the UK”, *Planning Practice and Research*, 19(4), pp. 415-425.
- Jones, P. R. & Sanderson, D. (2017). Urban resilience: informal and squatter settlements in the Pacific region.

- Kantakumar, L.N., Kumar, S., & Schneider, K. (2016). "Spatiotemporal urban expansion in Pune metropolis, India using remote sensing", *Habitat Int*, 51, pp. 11–22.
- Kardan, N., Hassanzadeh, Y., & Arzanloo, A. (2018). "Two-dimensional simulation of urban flood flows with CCHE2D model (Case study: Aqqala city)", *Scientific Quarterly of Marine Technologies*, 4 (4), pp. 25-36. (in Persian)
- Ke, Q., Tian, X., Bricker, J., Tian, Z., Guan, G., Cai, H., & Liu, J. (2020). "Urban pluvial flooding prediction by machine learning approaches—a case study of Shenzhen city, China", *Advances in Water Resources*, 145, 103719.
- Khodagholi, M. & Saboohi, R. (2013). "Climatic zoning with emphasis on wind variables in Ilam, Khuzestan and Bushehr provinces", *Watershed Engineering and Management*, 5 (4), pp. 298-289. Doi: 10.22092 / ijwmse.2014.101883. (in Persian)
- Kidd, S. & Shaw, D. (2007). "Integrated water resource management and institutional integration: realising the potential of spatial planning in England", *Geographical Journal*, 173(4), pp. 312-329.
- Krieger, K. (2013). "The limits and variety of risk-based governance: The case of flood management in Germany and England", *Regulation & Governance*, 7(2), pp. 236-257.
- Kundzewicz, Z. (2001). "Non-structural flood protection and sustainability", In: *Simonovic, S.P. (Ed.), Non Structural Measures for Water Management Problems, PHI-UNESCO*, pp. 8–27.
- Kundzewicz, Z.W., Kanae, S., Seneviratne, S.I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L.M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G.R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K., & Sherstyukov, B. (2014). "Flood risk and climate change: global and regional perspectives", *Hydrol. Sci. J.* 59, pp. 1–28.
- Larsson, G. (2006). "Spatial planning systems in Western Europe: an overview", *Ios Press*.
- Lindon, A. (1989). "La problemática de las inundaciones en áreas urbanas como proceso de ocupación, un enfoque espacio-temporal", El caso de la ciudad de Buenos Aires. In: *Actas Encuentro de Geógrafos de América Latina*.
- Löschner, L. & Nordbeck, R. (2020). "Switzerland's transition from flood defence to flood-adapted land use—A policy coordination perspective", *Land Use Policy*, 95, 103873.
- MacLachlan, A., Biggs, E., Roberts, G., & Boruff, B. (2017). Urban growth dynamics in Perth, Western Australia: using applied remote sensing for sustainable future planning. *Land* 6, 9.
- Mahmoud, S.H. & Gan, T.Y. (2018). "Urbanization and climate change implications in flood risk management: developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping", *Science of The Total Environment*, 636, pp. 152–167.
- Meng, M., Dabrowski, M., & Stead, D. (2020). "Enhancing Flood Resilience and Climate Adaptation: The State of the Art and New Directions for Spatial Planning", *Sustainability*, 12(19), 7864.
- Meng, M., Dąbrowski, M., Tai, Y., Stead, D., & Chan, F. (2019). "Collaborative spatial planning in the face of flood risk in delta cities: A policy framing perspective", *Environmental Science & Policy*, 96, pp. 95-104.
- Minciardi, R., Sacile, R., Taramasso, A.C., Trasforini, E., & Traverso, S. (2006). "Modeling the vulnerability of complex territorial systems: an application to hydrological risk", *Environ. Model. Software*, 21, pp. 949–960.

- Morelli, S., Segoni, S., Manzo, G., Ermini, L., & Catani, F. (2012). "Urban planning, flood risk and public policy: The case of the Arno River, Firenze, Italy", *Applied Geography*, 34, pp. 205–218. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.020>.
- Mustafa, A., Bruwier, M., Archambeau, P., Erpicum, S., Piroton, M., Dewals, B., & Teller, J. (2018). "Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments", *Journal of environmental management*, 225, pp. 193-204.
- Neuvel, J. M. M. & Van Der Knaap, W. (2010). "A spatial planning perspective for measures concerning flood risk management", *International Journal of Water Resources Development*, 26(2), pp. 283-296.
- parisay, Z., Ownegh, M., sheikh, V., bahreman, A. (2017). Assessing land use planning scenario impacts on flood hazard and risk in Bustan dam basin. *Journal of Emergency Management*, 6(1), 133-143. (in Persian)
- Pascale, S., Giosa, L., Sdao, F., & Sole, A. (2009). "Assessment of systemic vulnerability in flood prone areas", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 120, pp. 933-942.
- Perrin, C., Michel, C., & Andreassian, V. (2003). "Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. J.", *Hydrol.* 279, pp. 275–289.
- Pottier, N., Penning-Rowsell, E., Tunstall, S., & Hubert, G. (2005). "Land use and flood protection: contrasting approaches and outcomes in France and in England and Wales", *Applied Geography*, 25(1), pp. 1-27.
- Ran, J. & Nedovic-Budic, Z. (2016). "Integrating spatial planning and flood risk management: A new conceptual framework for the spatially integrated policy infrastructure", *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, pp. 68-79.
- Ran, J. & Nedovic-Budic, Z. (2018). "Designing an information infrastructure for policy integration of spatial planning and flood risk management", *International Journal of E-Planning Research (IJEPR)*, 7(1), pp. 53-85.
- S. Borah, Assam (2019). Guwahati Gets a Big Boost in its Fight against Water-Logging, <https://www.eastmojo.com/assam/2019/10/16/assam-guwahati-gets-abig-boost-in-its-fight-against-waterlogging>. (Accessed 10 December 2019).
- Shahtahmassebi, A. R., Song, J., Zheng, Q., Blackburn, G. A., Wang, K., Huang, L. Y., & Deng, J. S. (2016). "Remote sensing of impervious surface growth: A framework for quantifying urban expansion and re-densification mechanisms", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 46, pp. 94-112. (in Persian)
- Shi, Y., Wu, J., & Shi, S. (2017). "Study of the simulated expansion boundary of construction land in Shanghai based on a SLEUTH model", *Sustainability*, 9(6), 876.
- Shi, P., Shaw, R., Ardalan, A., Chan, E. Y. Y., Choudhury, J. R., Cui, P., ... & Yang, S. (2018). Fourteen actions and six proposals for science and technology-based disaster risk reduction in Asia. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(2), 275-279.
- Statistics Center of Iran, General Population and Housing Census (2016). Detailed results of Ilam province census, population studies by Country, Ilam Country, Ilam city.
- Svetlana, D., Radovan, D., & Ján, D. (2015). "The economic impact of floods and their importance in different regions of the world with emphasis on Europe", *Procedia Economics and Finance*, 34, pp. 649-655.
- Taubenböck, H., Esch, T., Felbier, A., Wiesner, M., Roth, A., & Dech, S. (2012).

- “Monitoring urbanization in mega cities from space”, *Remote sensing of Environment*, 117, pp. 162-176.
- Thaler, T., Nordbeck, R., Löschner, L., & Seher, W. (2020). “Cooperation in flood risk management: understanding the role of strategic planning in two Austrian policy instruments”, *Environmental Science & Policy*, 114, pp. 170-177.
- UNISDR (2016). “Report of the Open-Ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology Relating to Disaster Risk Reduction (No. A/71/644), Sustainable Development: Disaster Risk Reduction”, *General Assembly United Nations*.
- Vogel, R. M., Yaindl, C., & Walter, M. (2011). “Nonstationarity: flood magnification and recurrence reduction factors in the United States 1”, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 47(3), pp. 464-474.
- Walsh, C. J., Booth, D. B., Burns, M. J., Fletcher, T. D., Hale, R. L., Hoang, L. N., & Wallace, A. (2016). “Principles for urban stormwater management to protect stream ecosystems”, *Freshwater Science*, 35(1), pp. 398-411.
- Weber, A. (2019). What is urban flooding. Natural Resources Defense Council (NRDC), <https://www.nrdc.org/experts/anna-weber/what-urban-flooding>.
- White, I. & Richards, J. (2007). “Planning policy and flood risk: The translation of national guidance into local policy”, *Planning, practice & research*, 22(4), pp. 513-534.