

Analyzing the Impacts of Urban Sprawl on Flood and Runoff Patterns with a Sustainable Urban Management Approach: A Case Study of Ahvaz

Mohsen Niroomand¹  | Parham Pahlavani²  | Behnaz Bigdeli³ 

1. Department of GIS, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: k.niroomand@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of GIS, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: Pahlavani@ut.ac.ir
3. Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: bigdeli@shahroodut.ac.ir

Article Info		ABSTRACT
Article type:	Research Article	Urban sprawl, defined as the uncontrolled and scattered expansion of urban areas, is a common pattern of urban growth. It leads to increased impervious surfaces and reduced green spaces, resulting in various hazards, including the intensification of flooding and runoff phenomena. This study aims to evaluate the impact of urban sprawl on flooding and runoff occurrences in the city of Ahvaz. In this context, Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images were utilized to monitor land use changes and analyze runoff and flood patterns from 2017 to 2023. The images were classified into two categories, built-up and non-built-up areas, using the XGBoost model, achieving an overall accuracy of 93.25%. The Shannon entropy index, used as a metric for assessing urban sprawl, increased from 0.8725 in 2017 to 0.8804 in 2023, indicating a rise in land dispersion and imperviousness. The results of flood and runoff mapping revealed the effects of urban sprawl in increasing the intensity and extent of these phenomena. Over 2 hectares of built-up areas were affected by runoff during the study period, and more than 15 hectares of areas developed in the year preceding the floods of April 2019 and December 2020 were impacted by flooding. Regression analysis indicated that urban sprawl, with a coefficient of 0.106, alongside precipitation, plays a significant role in increasing flooding and runoff occurrences. The findings of this study highlight the necessity of adopting comprehensive management strategies and developing appropriate infrastructure to promote sustainable development and address the challenges posed by urban sprawl and urban flooding.
Article history:		
Received .. October		
Received in revised form .. November		
Accepted ..November		
Published online .. June		
Keywords:		
Urban Sprawl, Flood, Otsu Thresholding Method, Sentinel Satellite Images, XGBoost Machine Learning Method		
Cite this article: Niroomand, M. Pahlavani, P. & Bigdeli, B. (2025). Analyzing the Impacts of Urban Sprawl on Flood and Runoff Patterns with a Sustainable Urban Management Approach: A Case Study of Ahvaz. <i>Town and Country Planning</i> , 56 (1), 1-20. DOI: http://doi.org/00000000000000000000		
		
© Mohsen Niroomand, Parham Pahlavani, Behnaz Bigdeli. Publisher:University of Tehran Press.		
DOI: http://doi.org/00000000000000000000		

تحلیل اثرات گسترش افقی شهری بر سیلاب و رواناب با رویکرد مدیریت پایدار شهری: مطالعه موردی شهر اهواز

محسن نیرومند^۱ | پرهام پهلوانی^۲ | بهناز بیگدلی^۳

۱. گروه مهندسی سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: k.niroomand@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران رایانامه: Pahlavani@ut.ac.ir
۳. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، رایانامه: bigdeli@shahroodut.ac.ir

اطلاعات	چکیده
مقاله	
نوع مقاله:	گسترش افقی شهری به عنوان توسعه کنترل نشده و پراکنده مناطق شهری، یکی از الگوهای رایج رشد شهرها به شمار آمده که با گسترش سطوح نفوذناپذیر و کاهش فضای سبز، سبب بروز مخاطرات مختلف از جمله تشدید پدیده‌های سیلاب و رواناب می‌گردد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر گسترش افقی شهری بر وقوع سیلاب و رواناب در شهر اهواز انجام شده است. در این راستا، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲ در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ به منظور پایش تغییرات کاربری اراضی و تحلیل الگوهای رواناب و سیلاب به کار گرفته شده‌اند. طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از مدل $XGBoost$ و در دو کلاس مناطق ساخته شده و ساخته نشده با دقت کلی ۹۳٫۲۵٪ صورت پذیرفته است. مقدار آنتروپی شانون به عنوان معیاری جهت ارزیابی گسترش افقی شهری، از ۰٫۸۷۲۵ در سال ۱۳۹۶ به ۰٫۸۸۰۴ در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته که بیانگر رشد پراکندگی و نفوذ ناپذیری اراضی است. نتایج پهنه‌بندی سیلاب و رواناب، اثرات گسترش افقی شهری بر افزایش شدت و گستره این پدیده‌ها را آشکار ساخته است. به طوری که بیش از ۲ هکتار از مناطق ساخته شده طی بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ تحت تأثیر پدیده رواناب و بیش از ۱۵ هکتار از مناطقی که در بازه زمانی یک‌ساله پیش از وقوع سیل‌های فروردین ۱۳۹۸ و آذر ۱۳۹۹ ساخته شده‌اند، تحت تأثیر سیلاب قرار گرفته‌اند. نتایج تحلیل رگرسیون، نشان می‌دهد که متغیر گسترش شهری با ضریب ۰٫۱۰۶، به همراه متغیر بارندگی نقش مهمی در افزایش وقوع سیلاب و رواناب دارد. یافته‌های این پژوهش لزوم اتخاذ رویکردهای جامع مدیریتی و توسعه زیرساخت‌های مناسب در راستای توسعه پایدار و مقابله با چالش‌های گسترش افقی و سیلاب‌های شهری را برجسته می‌سازد.
تاریخ دریافت:	
تاریخ بازنگری:	
تاریخ پذیرش:	
تاریخ انتشار:	
کلیدواژه‌ها:	گسترش افقی شهری، سیلاب، روش آستانه-گذاری اوتسو، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel، روش یادگیری ماشین $XGBoost$.

استناد: نیرومند، محسن؛ پهلوانی، پرهام؛ و بیگدلی، بهناز (۱۴۰۳). تحلیل اثرات گسترش افقی شهری بر سیلاب و رواناب با رویکرد مدیریت پایدار شهری: مطالعه موردی شهر اهواز. *آمایش سرزمین*، ۲ (۴)، ۱-۲۰.
DOI: <http://doi.org/00000000000000000000000000000000>



ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
بیگدلی.

DOI: <http://doi.org/00000000000000000000000000000000>

پذیرش نشره

مقدمه

طی دهه‌های گذشته، افزایش جمعیت شهرنشین و ضرورت پاسخ‌گویی به نیازهای شهروندان، سبب توسعه و بروز تغییرات بسیاری در مناظر شهری نقاط مختلف جهان شده است. پدیده گسترش افقی شهری^۱، به عنوان یکی از الگوهای متداول توسعه شهری محسوب می‌شود (Brueckner, 2000). این پدیده، با توسعه غیرمتمرکز، پراکنده و اغلب برنامه‌ریزی نشده مناطق شهری شناخته شده و می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر ساختارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی سکونتگاه‌ها داشته باشد (Wei & Ewing, 2018). اخلاص در چرخه هیدرولوژیکی و بروز وقایع سیلاب^۲ و رواناب^۳، از جمله پیامدهای مخرب این پدیده به شمار می‌روند.

گسترش افقی شهری، عمدتاً سبب افزایش ساخت‌وساز در نواحی پیرامونی شهرها می‌گردد و در نتیجه این پدیده، فضای سبز، باغات، اراضی بایر و زمین‌های کشاورزی به مناطق ساخته‌شده تبدیل می‌شوند (Hatab et al., 2019). تغییر پوشش اراضی، سبب افزایش مناطق نفوذ ناپذیر از جمله آسفالت و بتن می‌گردد. این امر، ظرفیت خاک جهت جذب و ذخیره آب را به شدت کاهش داده و با ایجاد تغییرات عمده در چرخه هیدرولوژیکی منجر به وقوع پدیده‌های رواناب و سیلاب می‌گردد (Ding et al., 2024).

رواناب، به آب‌هایی اطلاق می‌گردد که به واسطه بارش بر سطح زمین جاری شده و به مسیرهای آبی هدایت می‌گردند (Karvonen, 2011). توسعه‌ی شهری و گسترش مناطق نفوذ ناپذیر سبب تبدیل مستقیم سهم بالایی از آب بارندگی به رواناب‌ها می‌شود. کاهش پوشش گیاهی، سبب تسریع حرکت آب‌های جاری شده و در نتیجه آن حجم و سرعت رواناب‌ها به طور چشمگیری افزایش می‌یابد (Jacobson, 2011). در صورت عملکرد ناکارآمد سیستم‌های زهکشی، تجمع و جاری شدن سریع حجم بالا آب در مناطق شهری منجر به وقوع سیلاب‌های ناگهانی می‌گردد (Karvonen, 2011). این امر به ویژه در کشورهای توسعه‌نیافته و در حال توسعه منجر به بروز خسارات فراوانی می‌شود.

¹ Urban Sprawl

² Flood

³ Runoff

به این ترتیب، گسترش افقی شهری، سبب تغییر الگوی جریان آب شده و با فشار بر سیستم‌های زهکشی، موجب مدیریت ناکارآمد آب‌های جاری و بروز سیلاب می‌گردد. به طوری که شدت، مدت و محدوده مکانی وقوع سیلاب در مناطق شهری و پیراشهری، از پیوند میان گسترش شهری و پویایی سیستم هیدرولوژیکی حاصل می‌شود (طهماسبی *et al.*, 2021). این امر نشان می‌دهد که مقابله با چالش‌های ناشی از گسترش افقی و در نتیجه آن سیلاب شهری، نیازمند شناخت و بررسی ارتباط میان این پدیده‌ها است. در راستای تحقق بند یازدهم از اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد^۱ که بر ایجاد شهرها و سکونتگاه‌های انسانی پایدار، ایمن و مقاوم در برابر مخاطرات تأکید دارد، شناخت ارتباط میان گسترش افقی شهری و سیلاب‌ها می‌تواند زمینه‌ساز برنامه‌ریزی مؤثر و مدیریت پایدار منابع طبیعی و شهری گردد. مطالعات و تصمیم‌گیری‌های هدفمند در این زمینه منجر به حصول توسعه پایدار، مدیریت منابع آبی و بهبود تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب‌ها می‌شود (Franci *et al.*, 2015).

امروزه، بهبود وضوح مکانی و زمانی تصاویر ماهواره‌ای و توسعه علوم سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS^۲)، فرصت‌های جدیدی جهت ارزیابی دقیق تغییرات کاربری زمین و تأثیر آن بر پدیده‌های هیدرولوژیکی فراهم نموده است (Mesvari & Shah-Hoseini, 2024). با توجه به اهمیت مسئله و چالش‌های مرتبط با گسترش افقی شهرها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، یک بررسی جامع و کمی از این رابطه می‌تواند به ارائه راهکارهای مدیریتی مؤثر جهت کاهش خسارات ناشی از سیلاب و بهبود کیفیت زندگی شهری منجر گردد. در این راستا، مطالعه حاضر به ارزیابی گسترش افقی شهری و بررسی تأثیر آن در رشد رواناب و سیلاب‌های مناطق شهری اهواز با توجه به میزان بارش در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ می‌پردازد. شهر اهواز، واقع در جنوب غربی کشور ایران، طی سالیان گذشته سیلاب‌های بزرگی را تجربه نموده است.

به این منظور، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱^۳ و سنتینل-۲^۴ جهت نقشه‌برداری سیلاب و پایش گسترش مناطق ساخته‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تصاویر اپتیک و رادار دهانه مصنوعی (SAR^۵)، با توانایی تصویربرداری در تمامی شرایط آب‌وهوایی، منابع ارزشمندی جهت بررسی ارتباط گسترش افقی شهری و سیلاب‌ها به شمار می‌-

¹ <https://sdgs.un.org/goals>

² Geospatial Information System

³ Sentinel-1

⁴ Sentinel-2

⁵ Synthetic Aperture Radar

اهداف و سوالات پژوهش

گسترش افقی سریع شهرها در دهه‌های اخیر، منجر به پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی زیان‌باری در نقاط مختلف جهان به خصوص کشورهای در حال توسعه گشته است. در این میان، سیلاب و رواناب‌ها سبب تحمیل خسارات فراوانی به اماکن شهری و جمعیت شهرنشین شده‌اند. این امر لزوم شناخت صحیح ارتباط میان گسترش افقی شهری و چرخه هیدرولوژیکی جهت مدیریت و برنامه‌ریزی هدفمند در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار را نمایان می‌سازد. به این منظور، تحقیق حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های GIS به ارزیابی ارتباط گسترش افقی شهری و بروز وقایع سیلاب و رواناب در محدوده شهری اهواز طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ می‌پردازد. اهداف زیر در ضمن این تحقیق پیگیری می‌گردند.

- بررسی توزیع مکانی و کمی‌سازی گسترش افقی شهری
 - بررسی گستره و تحلیل مکانی مناطق ساخته‌شده تحت سیلاب و رواناب
 - بررسی وقایع سیلاب و رواناب شهری با توجه به دو عامل کلیدی گسترش افقی و بارندگی
- با توجه به اهداف مورد نظر، سوالات زیر در راستای هدایت مسیر تحقیق مطرح می‌گردند.
- تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های GIS چگونه در راستای پایش گسترش افقی شهری و پهنه‌بندی سیلاب و رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
 - مناطق تازه ساخته‌شده چگونه تحت تاثیر سیلاب و رواناب قرار می‌گیرند؟
 - سهم هر کدام از عوامل کلیدی گسترش افقی و میزان بارش در وقوع سیلاب و رواناب چگونه است؟

پیشینه پژوهش

گسترش افقی شهری و تاثیر آن بر وقوع پدیده‌های سیلاب و رواناب، لزوم مطالعه، برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیم‌های هوشمندانه جهت تحقق اهداف توسعه پایدار در این زمینه را نمایان می‌سازد. با پیشرفت علوم در حوزه‌های هوش مصنوعی، سنجش از دور^۱ و GIS،

¹ Remote sensing

مطالعات گوناگونی در زمینه پایش گسترش مناطق ساخته شده، اخلاص در چرخه هیدرولوژیکی و مدیریت چالش های ناشی از آن ها صورت پذیرفته است.

آیدوو و ژو (۲۰۲۳) به بررسی ارتباط الگوهای گسترش شهری و خطر وقوع سیلاب در دوازده کلان شهر سراسر جهان پرداختند. رشد شهری در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ را با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست^۱ مورد ارزیابی قرار داده و الگوهای مختلف گسترش افقی شهری را شناسایی نمودند. همچنین، داده های وقایع تاریخی سیل مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان دهنده همبستگی بالا گسترش نواری و جهش یافته با افزایش احتمال وقوع سیلاب است (Idowu & Zhou, 2023). استاملو و همکاران (۲۰۲۱)، با بهره گیری از GIS و اتوماتای سلولی، مدلی جهت ارزیابی گسترش افقی شهری و حساسیت به سیلاب در حوضه رودخانه اراسیانوس در کشور یونان ایجاد نمودند. به این منظور، از مدل های تحلیل سلسله مراتبی و SLUETH جهت تهیه نقشه های حساسیت به سیلاب و پیش بینی گسترش شهری استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد مناطق شهری با بیشترین میزان بارش، بالاترین حساسیت به سیلاب را تجربه می کنند (Stamellou et al., 2021). عباس و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی اثرات گسترش افقی شهری و کاهش فضاهای سبز در بروز سیلاب در کوماسی، غنا پرداختند. این پژوهش با بهره گیری از مشاهدات میدانی، تصاویر ماهواره ای لندست و روش طبقه بندی بیشینه احتمال، به تهیه نقشه های پوشش اراضی پرداخته و افزایش ۵۴ درصدی اراضی ساخته شده در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ را نشان داده است. نتایج این مطالعه بر اهمیت کنترل توسعه نامنظم شهری در کاهش مخاطرات سیل و ضرورت اجرای سیاست های رشد هوشمند و تقویت فضاهای سبز به منظور مدیریت مؤثر سیلاب تأکید می نماید (Abass et al., 2020). دوی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۷ و ۸ به ارزیابی تأثیر گسترش افقی شهری و تغییرات اقلیمی بر سیلاب های منطقه چنای هند پرداختند. نتایج مدل سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در این مطالعه نشان می دهد که گسترش شهری و افزایش بارش به ترتیب سبب افزایش ۲۲٪ و ۳۴٪ مساحت سیلاب ها شده و میزان آسیب پذیری ساختمان ها را به شدت افزایش داده اند (Devi et al., 2019). فرانچی و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر گسترش افقی شهری و تغییرات کاربری اراضی بر خطر وقوع سیلاب را در داکا، بنگلادش مورد بررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از تصاویر چندزمانه ای لندست و ASTER، تغییرات پوشش زمین بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ و مناطق آسیب پذیر در برابر رواناب ها و رخداد های شدید

¹ Landsat

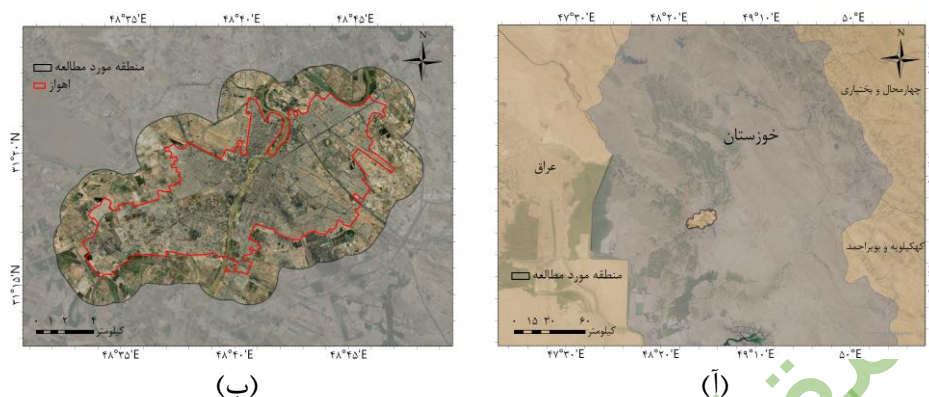
همچون سیلاب سال ۲۰۰۴ را شناسایی نمودند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد گسترش سریع مناطق شهری و کاهش اراضی زراعی به تشدید خطر سیلاب کمک کرده است (Franci et al., 2015).

مطالعه حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲، مدل یادگیری ماشین و همچنین روش‌های آماری، به بررسی کمی و مکانی گسترش شهری و آب‌های جاری می‌پردازد. این پژوهش با تفکیک پدیده‌های رواناب و سیلاب شهری از یکدیگر، به بررسی نقش گسترش سطوح نفوذناپذیر در افزایش آب‌های جاری می‌پردازد. همچنین، نقش این پدیده در گسترش رواناب و سیلاب شهری را در کنار عامل میزان بارندگی مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج حاصل می‌تواند در شناخت علل وقوع سیل و تبیین سیاست‌های بازدارنده راهگشا باشد.

منطقه مورد مطالعه و داده‌های تحقیق

محدوده و قلمروی مورد مطالعه

اهواز، مرکز استان خوزستان و یکی از کلان‌شهرهای جنوب غربی ایران، به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیم گرم و خشک خود، در معرض چالش‌های زیست‌محیطی متعددی قرار دارد. این شهر در حاشیه رودخانه کارون، بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه ایران واقع شده است که نقش مهمی در تأمین منابع آبی و توسعه کشاورزی و صنعت منطقه ایفا می‌نماید. بارش‌های این منطقه، عمدتاً به صورت رگبارهای سنگین از سامانه‌های مدیترانه‌ای و دریای سرخ رخ داده و در کنار تغییرات وسیع کاربری اراضی طی دهه‌های اخیر، موجب بروز رواناب و سیلاب‌های گسترده‌ای شده است. به طوری که اهواز در سال‌های اخیر به ویژه در فروردین‌ماه ۱۳۹۸ و آذرماه ۱۳۹۹ تحت تأثیر سیلاب‌های بزرگی قرار گرفته است. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی شهر اهواز در استان خوزستان و حریم محدوده مطالعاتی را نمایش می‌دهد. جهت بررسی میزان ساخت‌وساز در حاشیه شهر، مطابق شکل حریم دو کیلومتری اهواز به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱. (آ) موقعیت اهواز در استان خوزستان (ب) حریم محدوده مورد مطالعه

مجموعه داده‌ها

داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲ در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تصاویر سنتینل-۱ با وضوح مکانی ۱۰ متر و قطبش VV در باند C، با بهره‌گیری از فناوری راداری SAR، امکان ثبت اطلاعات سطح زمین را در تمامی شرایط جوی و نوری فراهم می‌آورند. این داده‌ها با دوره تناوب زمانی شش روزه، جهت پایش تغییرات سطح زمین در بازه‌های زمانی کوتاه مدت مناسب هستند (Mesvari & Shah-Hoseini, 2024). داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۲ در ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ میانی اطلاعات متنوعی از پوشش سطح زمین فراهم می‌نمایند. وضوح مکانی این داده‌ها در باندهای مرئی و فروسرخ نزدیک، ۱۰ متر و در سایر باندها ۲۰ و ۶۰ متر است. تصاویر سنتینل-۲ با دوره تناوب زمانی پنج تا ده روزه، به شناسایی دقیق تغییرات مکانی و زمانی در سطح زمین کمک کرده و امکان تحلیل‌های طیفی و بررسی تغییرات پوشش اراضی را به شکل دقیق مهیا می‌سازند (Phiri et al., 2020).

همچنین، مجموعه داده‌های آب‌های دائمی *JRC Global Surface Water* و همچنین بارش روزانه ^۱CHIRPS نیز در روند تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و رواناب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شکل ۲ نقشه آب‌های دائمی اهواز بر اساس مجموعه داده مورد استفاده را نشان می‌دهد.

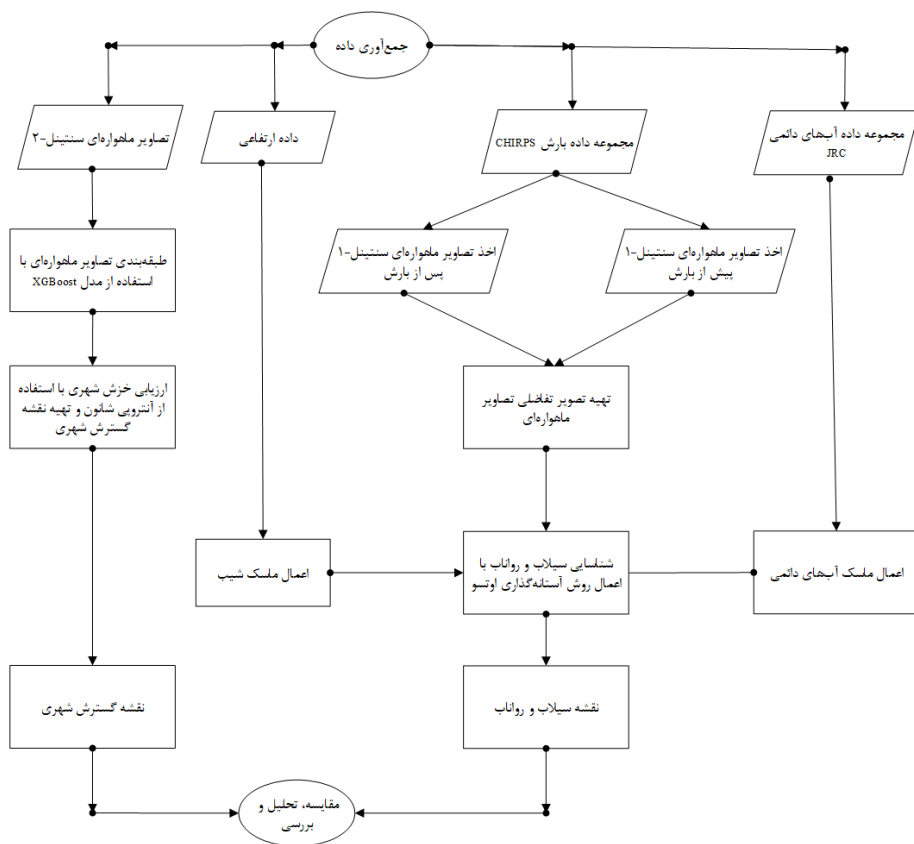
¹ Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data



شکل ۲. نقشه آب‌های دائمی شهر اهواز

روش و ابزار تحقیق

مطالعه حاضر با هدف بررسی ارتباط گسترش افقی شهری با گسترش رواناب و سیلاب به تهیه نقشه‌های پوشش اراضی و پهنه‌بندی وقایع سیلاب و رواناب شهر اهواز می‌پردازد. در این راستا، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ جهت تهیه نقشه‌های پوشش اراضی با استفاده مدل یادگیری ماشین *XGBoost* صورت می‌پذیرد. پهنه‌بندی سیلاب و رواناب، با توجه به زمان بارش‌های منطقه مورد مطالعه و با اعمال روش حد‌آستانه‌گذاری اوتسو بر روی تصاویر سنتینل-۱ انجام می‌گیرد. تحلیل و بررسی نقشه‌ها با استفاده از روش‌های *GIS* و تکنیک‌های آماری صورت می‌پذیرد. شکل ۳ روش تحقیق پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



شکل ۳. روش تحقیق پیشنهادی

روش‌های تحلیل و مدل‌سازی

پس از اخذ تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی مطلوب، پیش-پردازش داده‌ها شامل تصحیحات اتمسفریک صورت می‌پذیرد. پس از آن، پردازش و مدل-سازی داده‌ها جهت تهیه نقشه‌های پوشش اراضی، ارزیابی گسترش افقی و پهنه‌بندی سیلاب و رواناب صورت می‌پذیرد.

طبقه‌بندی پوشش اراضی

در این پژوهش، از مدل یادگیری ماشین *XGBoost* به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در دو کلاس ساخته‌شده و ساخته‌نشده استفاده شده است. کلاس ساخته‌شده شامل سطوح نفوذناپذیر نظیر ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها، جاده‌ها و پیاده‌راه‌ها

می‌گردد.

به‌منظور افزایش دقت طبقه‌بندی، شاخص‌های طیفی^۱ $NDBI$ ، UI ^۲، $BAEI$ ^۳، $SAVI$ ^۴ و $NDVI$ ^۵ از داده‌های ماهواره‌ای استخراج گردیده و به‌کار گرفته شده‌اند (*Estoque* & Murayama, 2015; Hislop et al., 2018; Javed et al., 2021). این شاخص‌ها با بهره‌گیری از ویژگی‌های بازتاب طیفی، امکان تفکیک کارآمدتر مناطق ساخته‌شده را فراهم می‌سازند. داده‌های آموزشی و آزمایشی بر اساس سلول‌های تصاویر ماهواره‌ای گردآوری شده و برای آموزش و ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بهینه‌سازی هایپرپارامترهای مدل از طریق روش جست‌وجوی گریدی صورت پذیرفته است (Putatunda & Rama, 2018). عملکرد مدل با استفاده از معیارهای ارزیابی شامل دقت کلی، ضریب کاپا، صحت، یادآوری^۶ و $F1-Score$ سنجیده شده است (Cohen, 1960; Powers, 2020).

تحلیل گسترش شهری

شاخص آنتروپی شانون به‌عنوان معیاری برای سنجش پراکندگی و توزیع مکانی پدیده‌ها در تحلیل گسترش افقی شهری و ارزیابی توسعه مناطق ساخته‌شده استفاده می‌شود (Biney & Boakye, 2021). در این راستا، منطقه مورد مطالعه به نواحی متحدالمرکز تقسیم شده و مساحت مناطق ساخته‌شده در هر ناحیه استخراج گردیده است. آنتروپی شانون نرمال شده مطابق رابطه ۱ مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در این رابطه n نشان‌دهنده تعداد نواحی و P_i بیان‌گر نسبت مناطق ساخته‌شده در هر ناحیه است (Biney & Boakye, 2021).

$$P_i = -\frac{1}{\log(n)} \sum_{i=1}^n P_i \log(P_i) \quad (1)$$

مقدار این شاخص در بازه ۰ تا ۱ متغیر است. مقادیر بالاتر نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر و مقادیر پایین‌تر بیانگر ساخت‌وساز متمرکزتر است. این شاخص ابزاری مؤثر جهت تحلیل تغییرات مکانی و کمی‌سازی الگوهای توسعه شهری در طول زمان محسوب

¹ Normalized Difference Built-up Index

² Urban Index

³ Built-up Area Extraction Index

⁴ Soil Adjusted Vegetation Index

⁵ Normalized Difference Vegetation Index

⁶ Recall

می‌شود (Biney & Boakye, 2021).

پهنه‌بندی سیلاب و رواناب

پژوهش حاضر به پهنه‌بندی سیلاب و رواناب با بهره‌گیری از تصاویر راداری سنتینل-۱ در قطبش VH می‌پردازد. قطبش VH به دلیل حساسیت بالاتر نسبت به تغییرات سطحی، توانمندی بیشتری نسبت به قطبش VV در شناسایی مناطق سیلابی، به‌ویژه در محیط‌های شهری، دارد (Mesvari & Shah-Hosseini, 2023). به‌منظور کاهش اثرات ناشی از زاویه دید ماهواره و تغییرات هندسی تصاویر، صرفاً داده‌های مربوط به گذر نزولی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در ادامه مراحل به‌کارگیری این فرایند ذکر می‌شود.

۱. پیش‌پردازش داده‌ها

در مرحله پیش‌پردازش، تصاویر قبل و بعد از سیلاب موزاییک شده و محدوده مطالعه استخراج گردیده‌اند. جهت کاهش نویز لکه‌ای ذاتی تصاویر راداری، فیلتر مکانی با شعاع ۵۰ متر اعمال گشته است (Senthilnath et al., 2013).

۲. شناسایی مناطق سیلابی

در مرحله پردازش، تصویر اختلافی بین داده‌های پیش و پس از سیلاب ایجاد شده و برای تعیین حد آستانه بهینه، از روش حد آستانه‌گذاری اوتسو استفاده شده است. (Moharrami et al., 2021). این روش مقدار آستانه را به‌گونه‌ای تعیین می‌کند که حداکثر جداسازی بین پس‌زمینه و پیش‌زمینه تصویر حاصل شود (Xu et al., 2011). مطابق رابطه ۲، مقدار آستانه t به نحوی انتخاب می‌شود که واریانس بین‌کلاسی σ_B^2 بیشینه گردد (Xu et al., 2011).

$$\sigma_B^2 = \omega_0 \times \omega_1 \times (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (2)$$

در این رابطه ω_0 و ω_1 نسبت پیکسل‌های پیش‌زمینه و پس‌زمینه به کل پیکسل‌های تصویر را نشان می‌دهند. همچنین μ_0 و μ_1 به ترتیب میانگین شدت خاکستری در این دو بخش است.

۳. تفکیک و حذف نواحی غیرسیلابی

به‌منظور تمرکز بر آب‌های مقطعی، نواحی آبی دائمی با تداوم بیش از ده ماه در

¹ Otsu's Thresholding

سال بر پایه داده‌های *JRC Global Surface Water* شناسایی و حذف شده‌اند (Pekel et al., 2016). در گام بعد، نواحی با مساحت کمتر از هشت سلول همسایه به‌عنوان نویز در نظر گرفته شده و از فرایند تحلیل حذف می‌شوند. همچنین، مدل ارتفاع رقومی به‌منظور ماسک کردن نواحی با شیب بیش از پنج درصد به کار گرفته می‌شود، زیرا این مناطق عمدتاً مستعد جریان سطحی بوده و احتمال تجمع آب در آن‌ها اندک است.

۴. اعتبارسنجی نتایج

اعتبارسنجی نتایج با استفاده از نمونه‌های مرجع سیلابی و غیرسیلابی جمع‌آوری شده و با استفاده از معیارهای دقت کلی، ضریب کاپا و *F1-Score* انجام شده است (Cohen, 1960; Powers, 2020).

مقایسه و تحلیل آماری

مقایسه و تحلیل نقشه‌های پوشش اراضی و پهنه‌بندی سیلاب و رواناب، همراه با ارزیابی مناطق ساخته‌شده تحت تأثیر سیلاب، با بهره‌گیری از ابزارهای سامانه اطلاعات مکانی صورت می‌پذیرد. در این راستا، از روش‌هایی نظیر آمار ناحیه‌ای^۱ و تحلیل همپوشانی^۲ به‌منظور بررسی روابط مکانی و ارزیابی میزان تأثیرپذیری مناطق مختلف استفاده شده است (Unwin, 1996; Unwin, 2019). همچنین، تحلیل رگرسیون چندگانه جهت بررسی نقش هر یک از دو متغیر کلیدی بارش و گسترش شهری در وقوع رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه به این تحلیل پرداخته می‌شود.

تحلیل رگرسیون چندگانه

رگرسیون چندگانه یک روش آماری است که جهت مدل‌سازی رابطه بین یک متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل استفاده می‌شود. در این روش، تأثیر چندین عامل بر یک نتیجه بررسی می‌شود تا پیش‌بینی دقیقی از رفتار متغیر وابسته صورت پذیرد. مدل رگرسیون چندگانه به شکل رابطه ۳ ارائه می‌شود (Stolzenberg, 2004).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3)$$

در این رابطه Y متغیر وابسته، X_n متغیر مستقل n ام، β_0 جز ثابت مدل و β_n ضریب رگرسیون متغیر n ام و ε خطا مدل را نشان می‌دهند. ضرایب رگرسیون، بیانگر تأثیر هر متغیر مستقل است.

¹ Zonal Statistic

² Overlay

تجزیه و تحلیل داده ها

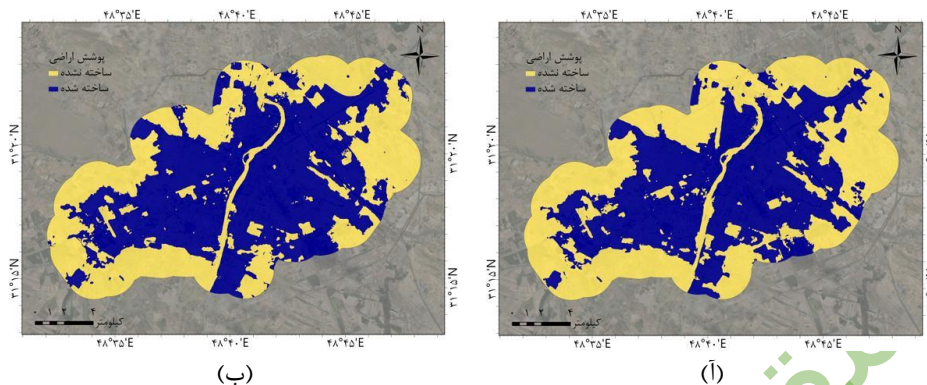
نقشه‌های پوشش اراضی

تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ بر مبنای مدل *XGBoost* به دو کلاس ساخته‌شده و ساخته‌نشده طبقه بندی می‌گردد. بدین منظور ۲۴۴۵۸ سلول از تصویر ماهواره‌ای سال ۱۴۰۲ به عنوان نمونه آموزشی و ۱۱۱۲۵ سلول به عنوان نمونه آزمایشی جمع‌آوری می‌شود. هاپرپارامترهای مدل مورد نظر بر اساس جست‌وجوی گریدی تنظیم می‌گردند. نرخ یادگیری مدل *XGBoost* معادل ۰,۰۵ در نظر گرفته می‌شود. همچنین در روند آموزش، ۲۰۰ درخت تصمیم با حداکثر عمق ۸، مورد استفاده قرار می‌گیرند. پس از آموزش، مدل ایجاد شده جهت طبقه‌بندی تصاویر تمامی سال‌ها به کار گرفته می‌شود. جدول ۱ مقادیر معیارهای اعتبارسنجی مدل یادگیری مورد نظر را نشان می‌دهد.

جدول ۱. معیارهای اعتبارسنجی مدل یادگیری ماشین *XGBoost*

دقت کلی	صحت (ساخته‌شده)	Recall (ساخته‌شده)	F1-Score (ساخته‌شده)
۹۳/۲۵٪	۹۵/۲۹٪	۹۱٪	۹۳/۰۹٪
ضریب کاپا	صحت (ساخته‌نشده)	Recall (ساخته‌نشده)	F1-Score (ساخته‌نشده)
۸۵/۶۷٪	۹۱/۳۹٪	۹۵/۵۰٪	۹۳/۳۹٪

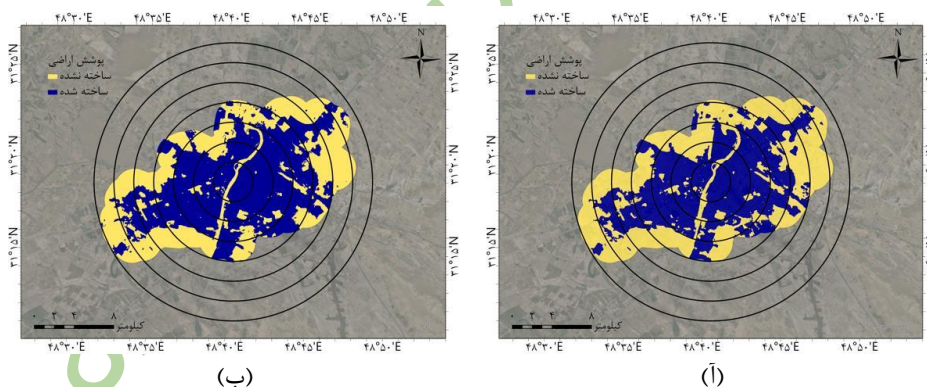
نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در دو طبقه ساخته‌شده و ساخته‌نشده برای سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ تهیه می‌گردد. طبقه ساخته‌شده سطوح نفوذناپذیر و طبقه ساخته‌نشده سطوح نفوذپذیر را نشان می‌دهند. شکل ۴ نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۶ و ۱۴۰۲ را نمایش می‌دهد.



شکل ۴. نقشه پوشش اراضی سال (آ) ۱۳۹۶ و (ب) ۱۴۰۲ اهواز

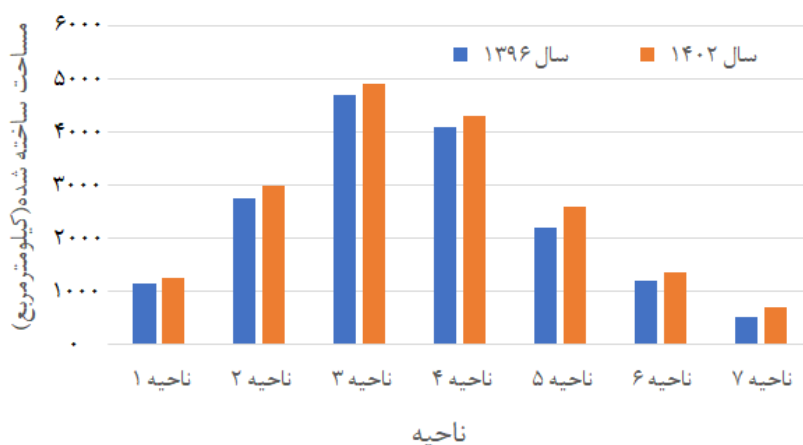
ارزیابی گسترش افقی شهری

تحلیل نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ نشان‌دهنده توسعه مناطق ساخته‌شده طی این بازه زمانی است. به طوری میزان این اراضی در بازه زمانی هفت ساله ۱۲,۱۳٪ افزایش یافته است. به منظور ارزیابی گسترش افقی شهری در شهر اهواز از تحلیل آنتروپی شانون استفاده می‌شود. در این راستا، مطابق شکل ۵ منطقه مورد مطالعه به هفت ناحیه با فاصله دو کیلومتری تقسیم می‌گردد.



شکل ۵. نواحی تحلیل آنتروپی شانون در سال (آ) ۱۳۹۶ و (ب) ۱۴۰۲

مساحت مناطق ساخته‌شده هر یک از نواحی هفت‌گانه در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۲ در شکل ۶ نمایش داده می‌شود. بر این اساس، مقدار آنتروپی شانون نرمال برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۲ به ترتیب برابر ۰,۸۷۲۵ و ۰,۸۸۰۴ محاسبه می‌گردد. این امر گسترش کنترل نشده ساخت‌وساز در نواحی پیرامونی شهر را نشان می‌دهد.



شکل ۶. مساحت اراضی ساخته شده نواحی تحلیل آنتروپی شانون در سالهای ۱۳۹۶ و ۱۴۰۲

پهنه‌بندی رواناب و سیلاب

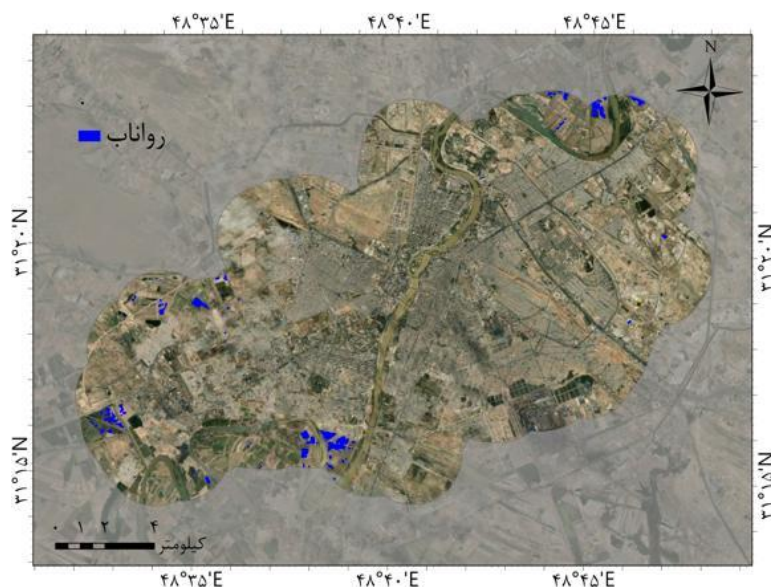
جهت بررسی نحوه گسترش رواناب در منطقه مورد مطالعه، پهنه‌بندی رخداد این پدیده برای بازه زمانی معینی در هر یک از سالهای ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ صورت می‌پذیرد. به این جهت، میزان بارندگی اردادیهشت‌ماه در هر سال، با استفاده از مجموعه داده CHIRPS استخراج می‌گردد. انتخاب اردادیهشت به سبب بارش یاران در این ماه طی سالهای ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ بوده است. بیشینه مقدار بارندگی بر اساس مجموعه داده CHIRPS طی این بازه زمانی در جدول ۲ نمایش داده می‌شود.

جدول ۲. بیشینه بارش اردادیهشت ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ شهر اهواز

تاریخ	بیشینه مقدار بارش (میلی‌متر)
۱۰ اردادیهشت ۱۳۹۶	۲,۳۷۶۰
۲ اردادیهشت ۱۳۹۷	۴,۵۸۸۱
۱۹ اردادیهشت ۱۳۹۸	۱,۸۰۴۱
۱۹ اردادیهشت ۱۳۹۹	۱,۶۴۱۰
۸ اردادیهشت ۱۴۰۰	۲,۴۸۲۱
۷ اردادیهشت ۱۴۰۱	۲,۷۴۷۸
۱۹ اردادیهشت ۱۴۰۲	۳,۸۵۷۰

تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲ جهت پوشش منطقه مطالعاتی در هر یک از تاریخ‌های وقوع بیشینه مقدار بارندگی اخذ شده و پس از اعمال ماسک‌های آب‌های دائمی و پوشش گیاهی، پهنه‌بندی رواناب‌ها با استفاده از روش حد آستانه‌گذاری خودکار

اوتسو صورت می‌پذیرد. شکل ۷ نقشه رواناب‌های رخ داده در مناطق ساخته شده اهواز بعد از بارندگی ۲ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹ و روزهای پس از آن را نمایش می‌دهد.



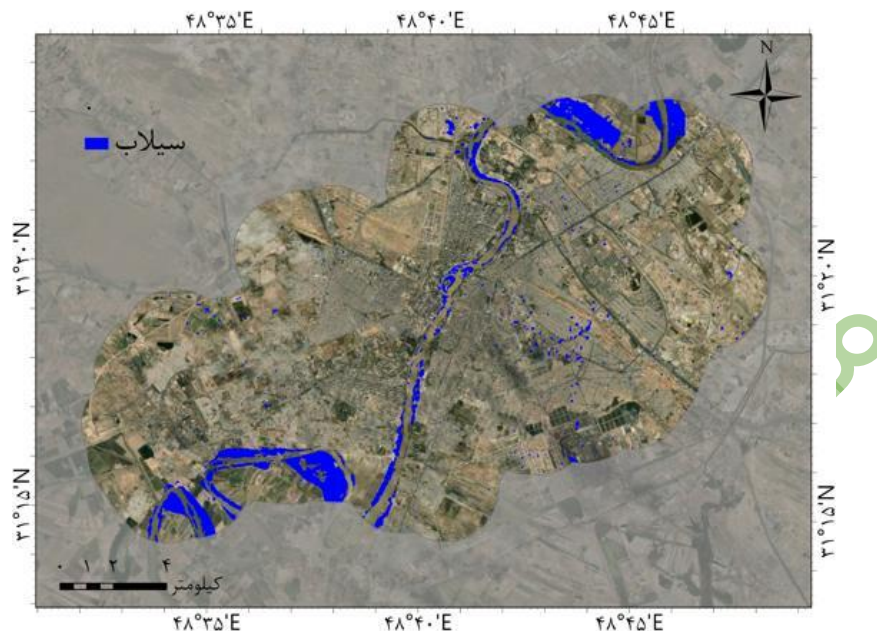
شکل ۷. رواناب شهری اردیبهشت ۱۳۹۹ شهر اهواز

میزان بارش طی بازه زمانی وقوع دو سیلاب بزرگ شهر اهواز در سال‌های اخیر با استفاده از مجموعه داده CHIRPS استخراج گشته و بیشینه مقدار آن‌ها در جدول ۳ نمایش داده می‌شود.

جدول ۳. بیشینه بارش طی وقوع سیلاب‌های بزرگ شهر اهواز

تاریخ	بیشینه مقدار بارش (میلی‌متر)
۱۱ فروردین ۱۳۹۸	۲۰,۹۳۴۳
۱۶ آذر ۱۳۹۹	۴۲,۲۳۶۰

نقشه پهنه‌بندی سیلاب‌ها در زمان وقوع این بارش‌ها و روزهای پس از آن، با به کارگیری روش حد آستانه‌گذاری اوتسو بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲ تهیه می‌گردد. شکل ۸، نقشه سیلاب شهر اهواز در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. این نقشه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دو روز پس از وقوع سیلاب تهیه شده است.



شکل ۸. سیلاب شهری فروردین ۱۳۹۸ شهر اهواز

در راستای ارزیابی نتایج، به مقایسه نقشه‌های سیلاب و رواناب با نمونه‌های آزمایشی جمع‌آوری شده پرداخته می‌شود. نتایج اعتبارسنجی، در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

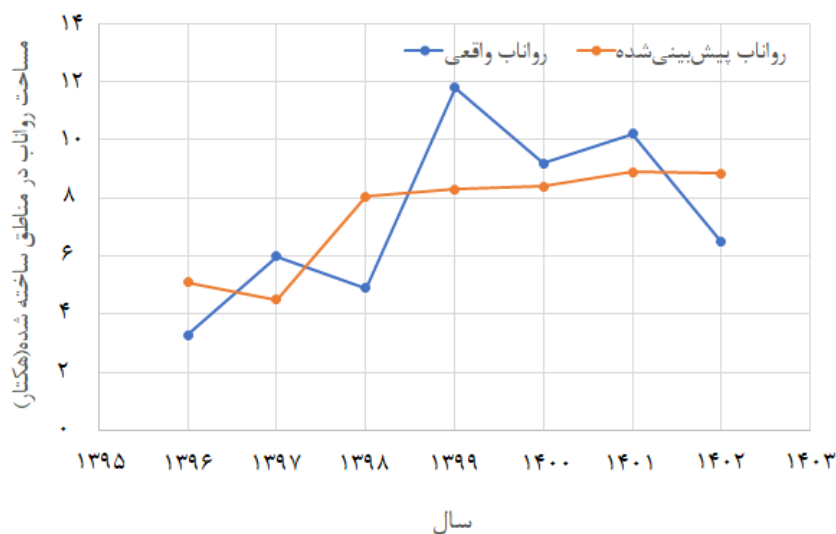
جدول ۴. اعتبارسنجی پهنه‌بندی سیلاب و رواناب

رواناب	دقت کلی	ضریب کاپا	F1-score
	٪۷۸,۳۵	٪۶۵,۴۲	٪۷۲,۱۸
سیلاب	دقت کلی	صحت	F1-score
	٪۸۵,۴۷	٪۷۸,۱۲	٪۸۲,۳۴

یافته‌های پژوهش

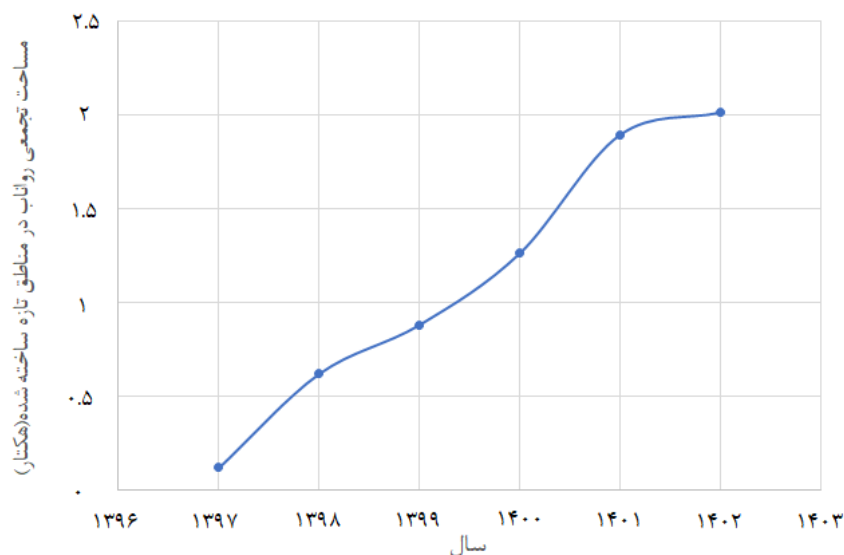
تحلیل رگرسیون خطی چندگانه، جهت بررسی تاثیر گسترش افقی شهری و بارش، به عنوان دو عامل مهم اثرگذار بر گستره مناطق ساخته‌شده تحت رواناب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۹، مساحت مناطق تحت رواناب واقعی و پیش‌بینی شده بر اساس مقدار گسترش مناطق شهری و بارش در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس

این شکل، بیش از ۱۱ هکتار از نواحی با سطوح غیر قابل نفوذ در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹ تحت تاثیر رواناب قرار گرفته‌اند. تحلیل رگرسیون خطی چندگانه نشان می‌دهد میزان بارش با ضریب ۰,۶۵۱ و گسترش شهری با ضریب ۰,۱۰۶ در گستره نواحی تحت رواناب تاثیرگذارند. این امر ضمن آن که نقش عمده بارندگی در وقوع رواناب را نشان می‌دهد، تاثیر برجسته میزان ساخت‌وساز در رخداد این پدیده و در پی آن سیلاب را برجسته می‌سازد.



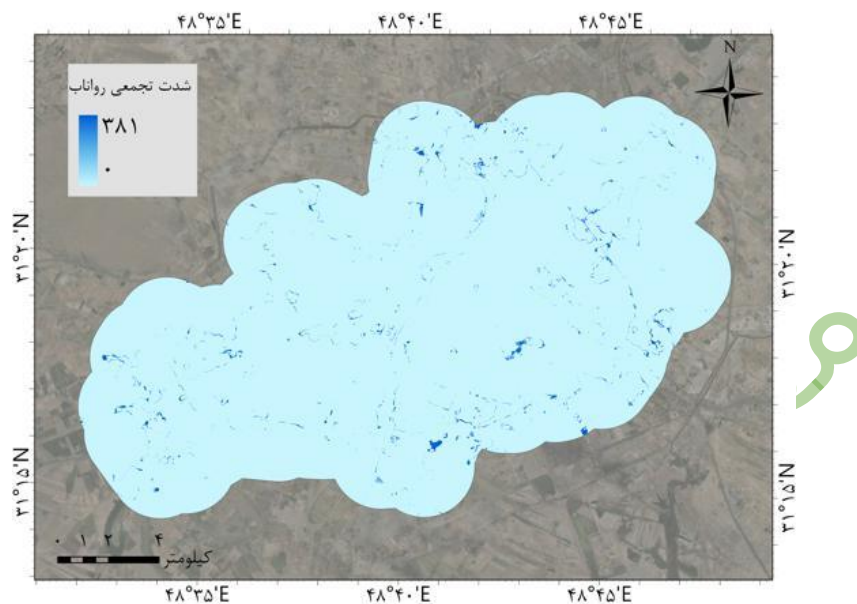
شکل ۹. مساحت مناطق تحت تاثیر رواناب

جهت بررسی میزان تاثیر ساخت‌وساز بر رواناب‌ها، مساحت مناطق تازه ساخته‌شده تحت تاثیر رواناب در هر سال محاسبه می‌گردد. شکل ۱۰، مقادیر تجمعی مساحت رواناب به وقوع پیوسته در مناطق تازه ساخته‌شده در هر سال را نشان می‌دهد. براین اساس، بیش از ۲ هکتار از اراضی ساخته‌شده در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ پدیده رواناب را تجربه نموده‌اند.



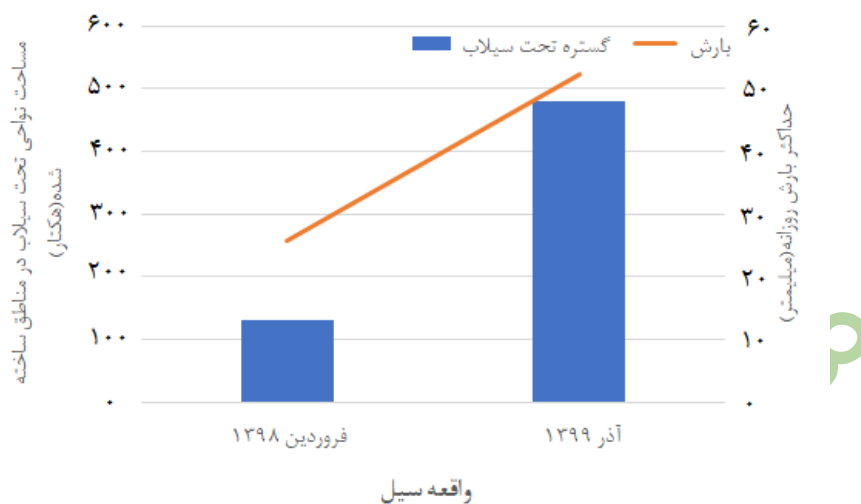
شکل ۱۰. مساحت تجمعی مناطق تازه ساخته شده تحت تاثیر رواناب

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تجمعی رواناب، توسعه ساخت و ساز طی دوره زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ به افزایش گستره رواناب در مناطق تازه ساخته شده منجر شده است. شکل ۱۱، شدت تجمعی رواناب در مناطقی که از کاربری غیر ساخته شده به ساخته شده تغییر یافته اند، نشان می دهد. این معیار، به مجموع جریان های سطحی تولید شده در یک منطقه مشخص طی یک دوره زمانی معین اطلاق می شود. در شکل ۱۱، نواحی با مقادیر سلولی بالاتر بیانگر مناطقی هستند که به دلیل تغییر پوشش، بیشترین میزان رواناب را تجربه کرده اند. این الگو بر نقش مؤثر تبدیل اراضی طبیعی به مناطق ساخته شده در افزایش رواناب و تأثیر آن بر توزیع مکانی و گستره رواناب دلالت دارد. شدت تجمعی بالا رواناب در نواحی پیرامونی اهواز، تأثیر وقوع گسترش افقی شهری بر افزایش مساحت رواناب ها را نشان می دهد.



شکل ۱۱. شدت تجمعی رواناب در مناطق تازه ساخته شده بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ شهر اهواز

شکل ۱۲، مساحت مناطق ساخته شده تحت تاثیر سیل در زمان وقوع دو سیلاب مورد نظر را نشان می‌دهد. مناطقی که پوشش آن‌ها در بازه زمانی یک‌ساله پیش از وقوع سیل به ساخته شده بدل گشته است، میزان بالایی از سیلاب را تجربه نموده‌اند. به طوری که بیش از ۱۰ هکتار از ارضی تازه ساخته‌شده، در فروردین‌ماه ۱۳۹۸ دچار پدیده سیلاب گشته‌اند. بر اساس شکل ۱۲ و داده‌های بارش، بارندگی شدید و سریع در نیمه آذر ۱۳۹۹، منجر به افزایش گستره مکانی مناطق تحت تاثیر سیل شده است. از سوی دیگر، شدت پایین‌تر اما متداوم بارندگی در فروردین ۱۳۹۸ نیز سبب وقوع پدیده سیلاب در بخش بزرگی از نواحی ساخته‌شده شهر اهواز شده است؛ این امر نشان می‌دهد دو عامل بارش و گسترش شهری در کنار یکدیگر سبب افزایش شدت و فراوانی سیلاب‌ها در مناطق شهری می‌گردند؛ به نحوی که توسعه شهری مانع از نفوذ آب به سطوح طبیعی شده و مدیریت آب‌های جاری را مشکل می‌نماید.



شکل ۱۲. مساحت مناطق شهری تحت تاثیر سیلاب

نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گسترش افقی شهر اهواز طی دوره ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ تأثیر قابل توجهی بر افزایش گستره رواناب و سیلاب داشته است. افزایش مساحت نواحی ساخته شده، که از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی با مدل *XGBoost* شناسایی شده‌اند، موجب گسترش سطوح نفوذناپذیر و در نتیجه کاهش ظرفیت نفوذ آب به خاک شده است. این تغییرات، علاوه بر کاهش نرخ نفوذ، منجر به افزایش گستره رواناب سطحی، تشدید سرعت جریان و در نهایت افزایش فراوانی و شدت وقوع سیلاب در محدوده‌های شهری شده است.

تحلیل آنتروپی شانون بیان‌گر آن است که توسعه شهری در این دوره به صورت پراکنده و نامتراکم رخ داده است. این الگوی رشد، به همراه افزایش بارندگی، زمینه‌ساز تشدید فرایندهای هیدرولوژیکی نظیر رواناب و سیلاب بوده است. مقایسه تغییرات مکانی نشان می‌دهد که بیش از ۲ هکتار از اراضی ساخته شده در بازه زمانی مطالعه تحت تأثیر رواناب قرار گرفته‌اند. همچنین، بیش از ۱۵ هکتار از مناطق توسعه یافته در سال منتهی به وقوع سیلاب‌های فروردین ۱۳۹۸ و آذر ۱۳۹۹، در جریان این سیلاب‌ها دچار آبگرفتگی شده‌اند. افزون بر آن، نتایج تحلیل رگرسیون چندمتغیره نشان می‌دهد که گسترش

شهری، با ضریب تأثیر ۰,۱۰۶، به همراه بارندگی، با ضریب ۰,۶۵۱، از عوامل مؤثر بر افزایش وقوع رواناب و سیلاب محسوب می‌شوند.

این نتایج، بر ضرورت بازنگری در سیاست‌های توسعه شهری تأکید دارد. اتخاذ راهکارهای مدیریتی از جمله استفاده از زیرساخت‌های نفوذپذیر، توسعه فضاهای سبز، بهینه‌سازی شبکه‌های زهکشی و طراحی هوشمندانه کاربری اراضی می‌تواند از تأثیرات منفی گسترش شهری بر فرایندهای هیدرولوژیکی بکاهد. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های سنجش از دور، GIS و مدل‌های یادگیری ماشین به‌منظور پایش مستمر تغییرات پوشش اراضی و پیش‌بینی پیامدهای آن، می‌تواند نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع آب و کاهش خسارات ناشی از سیلاب ایفا نماید.

با توجه به اهمیت این مسئله، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثرات تغییرات اقلیمی بر شدت و تناوب بارندگی، در کنار گسترش شهری، مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، ارزیابی کارآمدی راهکارهای کاهش رواناب، از جمله استفاده از پوشش‌های نفوذپذیر و بهبود سامانه‌های زهکشی شهری، می‌تواند به توسعه راهبردهای اثربخش در مدیریت سیلاب‌های شهری کمک کند.

منابع

۱. طهماسبی، قباد، محمدی، علی‌رضا، & بوچانی. (۲۰۲۱). تحلیل فضایی عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب در شهر ایلام. *مجله علمی*, ۱۳(۱), ۲۱-۵۶.

References

1. Tahmasebi, Gh., Mohammadi, A., & Bochani. (2021). *Spatial Analysis of Factors Influencing Flood Occurrence in Ilam City*. *Scientific Journal*, 13(1), 21-56. (In Persian).
2. Abass, K., Buor, D., Afriyie, K., Dumedah, G., Segbefi, A. Y., Guodaar, L., Garsonu, E. K., Adu-Gyamfi, S., Forkuor, D., & Ofosu, A. (2020). *Urban sprawl and green space depletion: Implications for flood incidence in Kumasi, Ghana*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101915.
3. Biney, E., & Boakye, E. (2021). *Urban sprawl and its impact on land use land cover dynamics of Sekondi-Takoradi metropolitan*

- assembly, Ghana. *Environmental Challenges*, 4, 100168.
4. Brueckner, J. K. (2000). Urban sprawl: Diagnosis and remedies. *International regional science review*, 23(2), 160-171.
 5. Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
 6. Devi, N. N., Sridharan, B., & Kuiry, S. N. (2019). Impact of urban sprawl on future flooding in Chennai city, India. *Journal of Hydrology*, 574, 486-496.
 7. Ding, Y., Jia, L., Wang, C., & Wang, P. (2024). Urban sprawl and its effects on water competition between building industry and residents: Evidence from 31 provinces in China. *Water-Energy Nexus*, 7, 26-38.
 8. Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2015). Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices. *Ecological indicators*, 56, 205-217.
 9. Franci, F., Mandanici, E., & Bitelli, G. (2015). Remote sensing analysis for flood risk management in urban sprawl contexts. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(5-7), 583-599.
 10. Hatab, A. A., Cavinato, M. E. R., Lindemer, A., & Lagerkvist, C.-J. (2019). Urban sprawl, food security and agricultural systems in developing countries: A systematic review of the literature. *Cities*, 94, 129-142.
 11. Hislop, S., Jones, S., Soto-Berelov, M., Skidmore, A., Haywood, A., & Nguyen, T. H. (2018). Using landsat spectral indices in time-series to assess wildfire disturbance and recovery. *Remote Sensing*, 10(3), 460.
 12. Idowu, D., & Zhou, W. (2023). Global Megacities and Frequent Floods: Correlation between Urban Expansion Patterns and Urban Flood Hazards. *Sustainability*, 15(3), 2514.
 13. Jacobson, C. R. (2011). Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of environmental management*, 92(6), 1438-1448.
 14. Javed, A., Cheng, Q., Peng, H., Altan, O., Li, Y., Ara, I., Huq, E., Ali, Y., & Saleem, N. (2021). Review of spectral indices for urban remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 87(7), 513-524.
 15. Karvonen, A. (2011). Politics of urban runoff: nature,

technology, and the sustainable city. MIT Press.

16. Mesvari, M., & Shah-Hoseini, R. (2024). Detection and segmentation of flood-affected areas using satellite images and deep learning methods. *Irrigation and Water Engineering*, 14(3), 342-357.
17. Mesvari, M., & Shah-Hosseini, R. (2023). Flood Detection Based on UNet++ Segmentation Method Using Sentinel-1 Satellite Imagery. *Earth Observation and Geomatics Engineering*, 7(1).
18. Moharrami, M., Javanbakht, M., & Attarchi, S. (2021). Automatic flood detection using sentinel-1 images on the google earth engine. *Environmental monitoring and assessment*, 193(5), 248.
19. Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *nature*, 540(7633), 418-422.
20. Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291.
21. Powers, D. M. (2020). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. *arXiv preprint arXiv:2010.16061*.
22. Putatunda, S., & Rama, K. (2018). A comparative analysis of hyperopt as against other approaches for hyper-parameter optimization of XGBoost. *Proceedings of the 2018 international conference on signal processing and machine learning*,
23. Senthilnath, J., Shenoy, H. V., Rajendra, R., Omkar, S., Mani, V., & Diwakar, P. (2013). Integration of speckle de-noising and image segmentation using Synthetic Aperture Radar image for flood extent extraction. *Journal of earth system science*, 122, 559-572.
24. Stamellou, E., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Tsesmelis, D. E., Louka, P., Apostolidis, V., & Tsatsaris, A. (2021). A GIS-cellular automata-based model for coupling urban sprawl and flood susceptibility assessment. *Hydrology*, 8(4), 159.
25. Stolzenberg, R. M. (2004). Multiple regression analysis. *Handbook of data analysis*, 165-208.
26. Unwin, D. (2019). Integration through overlay analysis. In

- Spatial analytical perspectives on GIS* (pp. 127-138). Routledge.
27. Unwin, D. J. (1996). *GIS, spatial analysis and spatial statistics*. *Progress in Human Geography*, 20(4), 540-551.
28. Wei, Y. D., & Ewing, R. (2018). *Urban expansion, sprawl and inequality*. In (Vol. 177, pp. 259-265): Elsevier.
29. Xu, X., Xu, S., Jin, L., & Song, E. (2011). *Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications*. *Pattern recognition letters*, 32(7), 956-961.

مقاله پذیرش شده