

Physical Development Planning

Investigating the physical development of Zahedan city against urban flooding in January ۲۰۱۹ using the US Soil Conservation Service (SCS) method

Samad Fotouhi , Masoud Saeedi , Leili Latifi 

۱. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

۲. Ph.D. Student in Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

۳. Ph.D. Student in Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

*Correspondence

Samad Fotouhi

Email: fotouhi@gep.usb.ac.ir

Received: ۱۱/Sep/۲۰۲۵

Accepted: ۰۱/Dec/۲۰۲۵

How to cite

Fotouhi, S.; Saeedi, M; Latifi, L. (۲۰۲۵). Investigating the physical development of Zahedan city against urban flooding in January ۲۰۱۹ using the US Soil Conservation Service (SCS) method. *Physical Development Planning*, ۱۲ (۳), ۳۹, ۱۰۱-۱۲۲.

<https://doi.org/10.24297/psp.۲۰۲۶.۷۵۷۷۰.۲۷۸۴>

ABSTRACT

Natural hazards, including floods, cause significant financial and human losses every year. Therefore, identifying flood-prone areas in cities is of great importance. The urban development of Zahedan in recent decades has had a considerable impact on increasing surface runoff and the risk of urban flooding. The analysis of four stages of urban development using the SCS-CN model indicates a reduction in water retention capacity from ۳۰,۸۱ mm to ۰,۰۸ mm and an increase in runoff percentage from ۲۴.۲۱% to ۸۳.۲۲%. Additionally, the flood peak discharge in the hydrograph has risen from ۲۰,۴۴ cubic meters per second in the first development stage to ۹۹,۸۰ cubic meters per second in the fourth stage, demonstrating the increased intensity of water flow during flood events. The main factors contributing to this trend include intense short-term precipitation, unplanned urban development, reduced soil permeability, and encroachment on floodplain areas. Given these findings, implementing sustainable urban management policies, developing efficient drainage systems, and utilizing permeable materials are essential measures to mitigate urban flood risks.

KEYWORDS

GIS, SCS-CN model, Surface Runoff, Urban Development, Urban Flood Zahedan.



برنامه ریزی توسعه کالبدی

original work is properly cited.

«مقاله پژوهشی»

تحلیل توسعه فیزیکی شهر زاهدان در برابر سیلاب شهری (مورد مطالعه: دی ۱۳۹۸ با روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS))

صمد فتوحی^۱، مسعود سعیدی^۲، لیلی لطیفی^۳

چکیده

هر ساله مخاطرات طبیعی از جمله سیل، خسارات مالی و جانی زیادی به همراه دارد. از این رو شناسایی مناطق مستعد به سیل در شهرها از اهمیت زیادی برخوردار است. توسعه شهری زاهدان در چند دهه گذشته تأثیر قابل توجهی بر افزایش رواناب سطحی و خطر وقوع سیلاب‌های شهری داشته است. بررسی چهار مرحله توسعه شهری با استفاده از مدل SCS-CN بیانگر کاهش ظرفیت نگهداشت آب از ۳۵/۸۱ میلی‌متر به ۵/۰۸ میلی‌متر و افزایش درصد رواناب از ۲۴/۲۱ درصد به ۸۳/۲۲ درصد است. همچنین دبی پیک هیدروگراف سیل از ۲۵/۴۴ مترمکعب بر ثانیه در مرحله اول توسعه، به ۹۹/۸۵ مترمکعب بر ثانیه در مرحله چهارم توسعه شهری رسیده که نشان‌دهنده افزایش شدت جریان آب در زمان وقوع سیلاب است. عوامل اصلی مؤثر در این روند شامل بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت، توسعه بی‌برنامه شهری، کاهش نفوذپذیری خاک، و تجاوز به حریم مسیل‌ها هستند. با توجه به یافته‌ها، اجرای سیاست‌های مدیریت شهری پایدار، توسعه سیستم‌های زهکشی کارآمد، و استفاده از مصالح نفوذپذیر برای کاهش خطرات سیلاب‌های شهری ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی

سیلاب شهری زاهدان، مدل SCS-CN، رواناب سطحی، توسعه شهری، GIS.

۱. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۳. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

نویسنده مسئول: صمد فتوحی

ایمانامه: fotohi@gep.usb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰

استناد به این مقاله:

فتوحی، صمد؛ سعیدی، مسعود؛ لطیفی، لیلی (۱۴۰۴). تحلیل توسعه فیزیکی شهر زاهدان در برابر سیلاب شهری (مورد مطالعه: دی ۱۳۹۸ با روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)). فصلنامه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۱۲ (۳)، ۳۹-۱۰۱-۱۲۲.

<https://doi.org/10.2473/psp.2026.70770.2784>

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۴ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-NonCommercial ۴.۰ International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

سیلاب یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی به‌شمار می‌رود که در اثر افزایش بیش از حد جریان آب در رودخانه‌ها، کانال‌های طبیعی یا مصنوعی و خروج آن از بستر اصلی رخ می‌دهد. این پدیده می‌تواند منجر به تخریب زیرساخت‌ها، نابودی اراضی کشاورزی، خسارات اقتصادی گسترده و تلفات انسانی شود. در دهه‌های اخیر، وقوع سیلاب‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر تغییرات اقلیمی، توسعه شهری بی‌رویه و ناپایداری‌های محیطی، به‌ویژه در مناطق شهری، به یک بحران فراگیر تبدیل شده است. یکی از نمودهای بارز تغییر اقلیم، افزایش بارش‌های شدید و ناگهانی است که به‌طور مستقیم در تشدید سیلاب‌های شهری نقش دارند. رشد سریع شهرنشینی و گسترش سطوح غیرقابل نفوذ مانند آسفالت و بتن، موجب کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش حجم رواناب سطحی شده است. همچنین، ساخت‌وسازهای شهری اغلب مسیرهای طبیعی جریان آب را تغییر داده و در مواردی موجب انسداد یا کاهش ظرفیت مسیل‌ها و آبراهه‌های طبیعی می‌شود. این عوامل در کنار ضعف زیرساخت‌های زهکشی و عدم مدیریت صحیح رواناب‌های سطحی، شدت و فراوانی سیلاب‌های شهری را افزایش داده و پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی قابل‌توجهی را به‌دنبال داشته‌اند. بر اساس گزارش‌های سازمان ملل متحد، سیلاب و طوفان بیشترین سهم را در میان مخاطرات طبیعی از حیث میزان خسارات وارده به سکونتگاه‌های انسانی داشته‌اند؛ به‌طوری‌که طی یک دهه، خسارات ناشی از این پدیده‌ها بالغ بر ۲۱ میلیارد دلار برآورد شده است، در حالی‌که خسارات ناشی از زلزله در همان دوره زمانی حدود ۱۸ میلیارد دلار بوده است (ابراهیمی‌پور، ۱۳۹۷). این آمار نشان‌دهنده اهمیت توجه به مدیریت سیلاب در برنامه‌ریزی شهری و توسعه پایدار است. در این میان، شهر زاهدان به‌عنوان یکی از مراکز شهری واقع در اقلیم گرم و خشک ایران، با چالش‌های فزاینده‌ای در زمینه مدیریت سیلاب‌های شهری مواجه است. بارش‌های سیل‌آسا، نفوذپذیری پایین خاک، شیب اندک حوضه آبریز و توسعه

فیزیکی بی‌رویه شهر، از جمله عواملی هستند که موجب افزایش رواناب سطحی و تشدید خطر سیلاب در این منطقه شده‌اند. تخریب یا انسداد مسیرهای طبیعی جریان آب، افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و فقدان زیرساخت‌های مناسب دفع آب‌های سطحی، شرایط بحرانی‌تری را رقم زده‌اند. با توجه به این شرایط، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات توسعه فیزیکی شهر زاهدان بر وقوع سیلاب شهری دی‌ماه ۱۳۹۸، تلاش دارد تا با بهره‌گیری از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، نقش عوامل مؤثر در افزایش خطر سیلاب را تحلیل کرده و راهکارهای مناسبی برای مدیریت بهینه رواناب سطحی و ارتقای تاب‌آوری شهری ارائه دهد.

در همین رابطه فتوحی (۱۳۹۳) با بررسی توسعه شهر داراب و استفاده از روش SCS، نشان داد که گسترش فیزیکی شهر موجب افزایش وقوع سیلاب شده است (فتوحی، ۱۳۹۳). حجازی و مزبانی (۱۳۹۴) با مدل CN، نقش مساحت و تراکم زهکشی را در سیل‌خیزی حوضه سراب دره‌شهر بررسی کردند (حجازی و مزبانی، ۱۳۹۴). آبی‌ل و همکاران (۱۳۹۸) با GIS و AHP، آسیب‌پذیری محیطی زاهدان را بررسی کردند و نقش توسعه شهری در افزایش خطر سیلاب را نشان دادند (آبی‌ل، طاوسی و خسروی، ۱۳۹۸). در پژوهش حسام و همکاران (۱۳۹۸)، مشخص شد که توسعه شهری گنبدکاووس بدون توجه به مسیرهای طبیعی آب، آسیب‌پذیری منطقه را افزایش داده است. بررسی ۵۴ عامل و نظر کارشناسان نشان داد که برنامه‌ریزی اجرایی دقیق، کلید کاهش خطر سیلاب است. نقشه‌ها نیز خطر بالای سیلاب در بیشتر مناطق شهر را تأیید کردند (حسام، ضرابی و تقوایی، ۱۳۹۸). در مطالعه رستمی خلیج و همکاران (۱۳۹۸)، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در شهرک امام علی مشهد با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) انجام شد. با بهره‌گیری از شش لایه اطلاعاتی، نقشه پتانسیل خطر تهیه و مشخص شد که ۲/۸ درصد از منطقه، به‌ویژه در اطراف خروجی حوضه و کانال اصلی، دارای بالاترین

مؤثرترین عوامل دانستند (کوک و ایشیک، ۲۰۲۱). ژونگ شا^۷ و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر رقابت فضایی شهری بر جریان آب و افزایش خطر سیلاب را بررسی کردند (ژونگ شا و همکاران، ۲۰۲۱). جیانوی لی^۸ و همکاران (۲۰۲۳) با خوشه‌بندی داده‌ها، مناطق پرخطر شهر لانژو^۹ را شناسایی کرده و نقش بارش شدید، شیب کم، ارتفاع پایین و تراکم جمعیت را در افزایش خطر سیلاب نشان دادند (جیانوی لی و همکاران، ۲۰۲۳). این مجموعه مطالعات نشان می‌دهد که عوامل متعددی از جمله توسعه فیزیکی، ساختار زیرساختی، اقلیم و ویژگی‌های هیدرولوژیکی در وقوع سیلاب‌های شهری نقش دارند. توجه به این عوامل و استفاده از مدل‌های مناسب، می‌تواند در کاهش خطرات و برنامه‌ریزی پایدار شهری مؤثر باشد.

داده‌ها و روش کار

حوضه مورد نظر در جهت شمال شرقی-جنوب غربی، بین طول‌های جغرافیایی (۶۰ درجه ۵۸ دقیقه ۰۵ ثانیه) تا (۶۱ درجه ۰۲ دقیقه ۹۴ ثانیه) و عرض‌های (۲۹ درجه ۱۳ دقیقه ۷۴ ثانیه) و (۲۹ درجه ۷۴ دقیقه ۷۹ ثانیه)، در شهرستان زاهدان واقع شده است. زاهدان، مرکز استان سیستان و بلوچستان و بزرگ‌ترین شهر آن، بین طول‌های ۴۸' ۶۰° تا ۵۴' ۶۰° شرقی و عرض‌های ۲۹°۳۲' تا ۲۹°۳۲' شمالی قرار دارد.

خطر سیلاب است (رستمی خلیج و همکاران، ۱۳۹۸). رشیدی و حسین‌زاده (۱۳۹۸)، نقش زیرحوضه‌های مشرف به شهر ایزد در وقوع سیلاب‌های شهری را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییر مسیر رودخانه‌ها به کانال‌های مصنوعی بدون در نظر گرفتن ظرفیت عبوری، و عدم توسعه کانال‌ها در بالادست، موجب افزایش رواناب و تشدید سیلاب‌های مخرب در شهر شده است (رشیدی و حسین‌زاده، ۱۳۹۸). در مطالعه زاهدی خامنه و خدشناس (۱۴۰۰)، زیرحوضه‌های مناطق ۱۰ و ۱۱ مشهد با رویکرد آنالیز ریسک برای جانمایی توسعه‌های کم‌اثر (LID) بررسی شدند. نتایج نشان داد که سیستم جمع‌آوری رواناب پاسخ‌گوی سیلاب‌های بزرگ نیست و ۶/۶ درصد از زیرحوضه‌ها، معادل ۲۲/۸ درصد از مساحت منطقه، در محدوده ریسک بالا قرار دارند (زاهدی خامنه و خدشناس، ۱۴۰۰). پهلوانی و همکاران (۱۴۰۱) با مدل مکان‌مبنا، خطر سیلاب در شهرستان مانه و سملقان را تحلیل کردند (پهلوانی و همکاران، ۱۴۰۱). نوری آرا و همکاران (۱۴۰۱) نقش سامانه‌های جوی در بارش‌های سنگین زاهدان و قشم را تحلیل کردند (نوری آرا و همکاران، ۱۴۰۱). شیرواند و همکاران (۱۴۰۱) بارندگی‌های شدید دی‌ماه ۱۳۹۸ در سیستان و بلوچستان را بررسی کرده و تأثیر شرایط جوی خاص را در وقوع سیلاب‌های گسترده تأیید کردند (شیرواند و همکاران، ۱۴۰۱). رهنماری و الهی چورن (۱۴۰۲) تاب‌آوری شهرهای غرب مازندران را ارزیابی کرده و نوشهر را مقاوم‌ترین شهر در برابر خطر سیلاب معرفی کردند (رهنماری و الهی چورن، ۱۴۰۲). در مطالعات بین‌المللی، جینگ هوانگ^۱ و همکاران (۲۰۲۳) با مدل بیزی^۲، احتمال وقوع سیلاب در شهر جینگ‌دژن^۳ چین را ارزیابی کردند (جینگ هوانگ و همکاران، ۲۰۲۳). کریم کوک^۴ و زینپ ایشیک^۵ (۲۰۲۱) با روش مونت‌کارلو^۶، ۳۵ عامل خطر سیلاب شهری را تحلیل کرده و زیرساخت، کاربری اراضی و ظرفیت نهادی را

^۱. Jing Huang

^۲. Bayesian Model

^۳. Jingdezhen

^۴. Kerim Koc

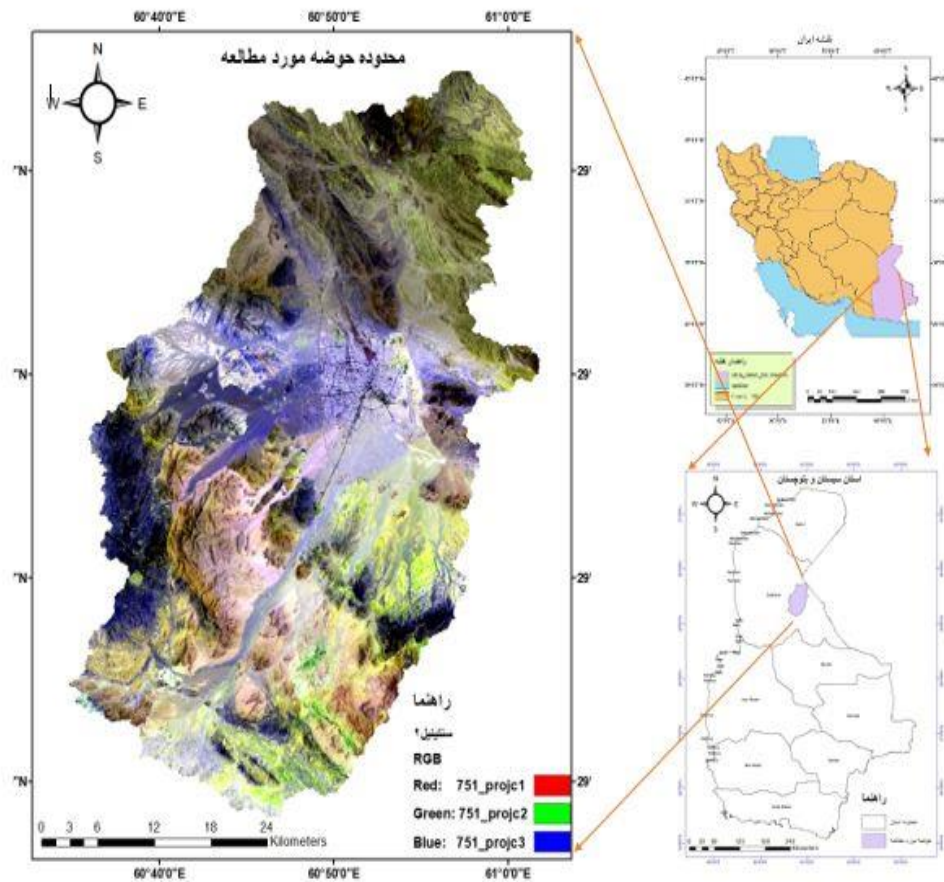
^۵. Zeynep Işık

^۶. Monte Carlo

^۷. Yongzhong Sha

^۸. Jianwei Li

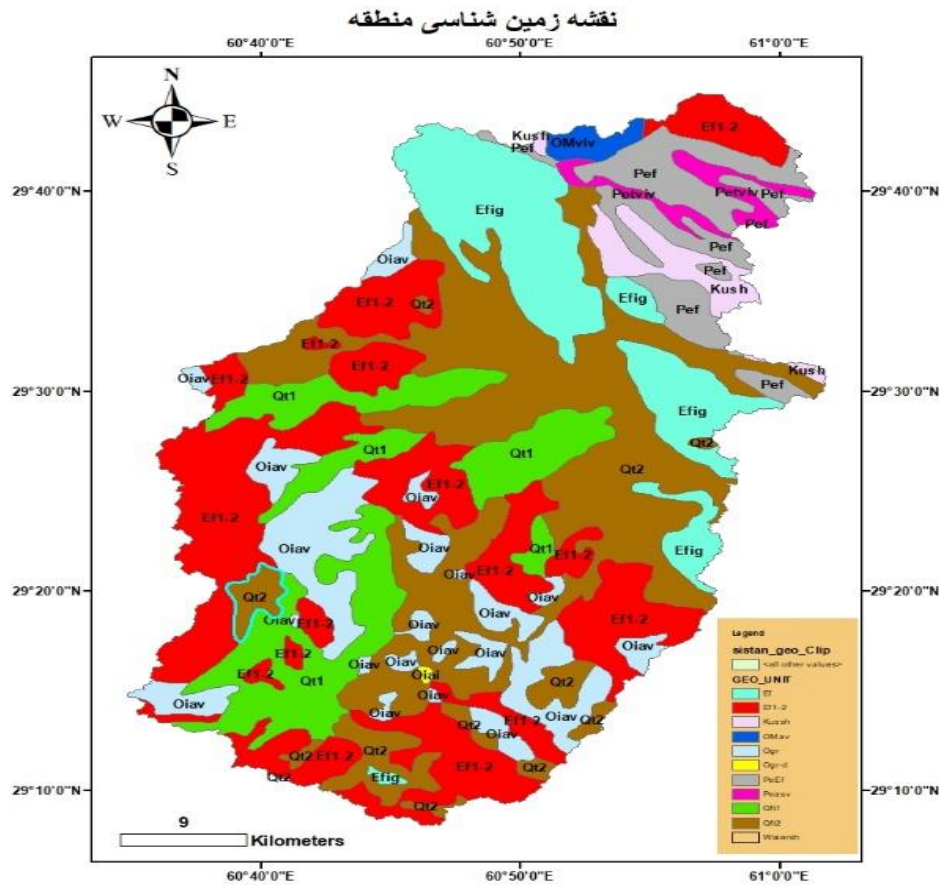
^۹. Lanzhou



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

بخش‌هایی از منطقه دارای ارتفاعات و بخشی دیگر هموار و آبرفتی است. این ارتفاعات با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق، بخشی از باتولیت گرانیتوئیدی زاهدان هستند که درون توالی‌های فلیشی نفوذ کرده و با نهشته‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای پوشیده شده‌اند. بلندترین قله، لوچان با ارتفاع ۲۵۶۵ متر و میانگین ارتفاع منطقه حدود ۲۲۰۰ متر است. گرانیت‌های منطقه دارای مورفولوژی متنوعی بوده و از فرایندهای تکتونیک و هوازدگی تأثیر گرفته‌اند (رهنما راد، صاحب‌زاده و میر حاجی زاده، ۱۳۸۷).

زاهدان در اقلیم گرم، خشک و بیابانی قرار دارد و با نوسانات شدید دمای روزانه و سالانه مواجه است. بررسی داده‌های ۳۰ ساله (۱۳۷۳ تا ۱۴۰۲) نشان می‌دهد که بیشترین دما ۴۳٫۰۸ درجه سانتی‌گراد در تیر ۱۴۰۲ و کمترین دما منفی ۱۳ درجه در دی ۱۳۹۲ ثبت شده که اختلافی ۵۷ درجه‌ای را نشان می‌دهد. بیشترین بارش ثبت‌شده در این دوره، ۴۱٫۰۶ میلی‌متر در آذر ۱۳۸۸ بوده که به‌صورت باران رخ داده است. جنوب زاهدان شامل واحدهای سنگی فلیشی دگرگون‌شده با سن ائوسن و نفوذ دایک‌های بازیک و سنگ‌های نیمه‌عمیق با سن الیگوسن-میوسن است (رحمانی و قربانی، ۱۴۰۱).



Qt₂: نهشته‌های مخروط افکنه کوهپایه‌ای و تراس‌های دره‌ای سطح پایین، Efig: ماسه سنگ و شیل با لایه‌بندی منظم به همراه مقادیر کمتری سیلتستون، سنگ آهک، کنگلومرا، توف و سنگ‌های آتشفشانی بازیک تا حدواسط، Qt₁: رسوبات مخروط افکنه کوهپایه‌ای و تراس‌های دره‌ای سطح بالا، Pef: ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک و سنگ‌های آتشفشانی، Kush: شیل خاکستری تیره (برای شن و ماسه)، Oiaiv: گرانودیوریت به همراه سایر انواع سنگ‌های حدواسط و اسیدی، Ef₁₋₂: عمدتاً شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا و مقدار کمی سنگ آهک، Oiaiv: بیوتیت - گرانودیوریت، OMivi: برش آتشفشانی با ماتریس بازالتی، Petviv: گلسنگ نازک لایه سبز و بنفش، شیل سبز، سیلتستون، سنگ آهک فراوان محلی و توف‌های جزئی

شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز مورد مطالعه

محیط نرم‌افزار ArcGIS برای تحلیل‌های فضایی مورد استفاده قرار گرفتند.

داده‌های اقلیمی شامل حداکثر، حداقل و میانگین دما، بارش و رطوبت، از اداره کل هواشناسی زاهدان برای دوره زمانی ۴۰ ساله دریافت شد. جدول ۱ داده‌های هواشناسی مربوط به دی‌ماه ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد که شامل اطلاعات بارندگی و رطوبت در زمان وقوع سیلاب مورد مطالعه است.

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر توسعه فیزیکی شهر زاهدان بر وقوع سیلاب‌های شهری، طی بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۴ انجام شده است. در مرحله نخست، روند گسترش شهر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth در چهار دهه گذشته مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های توسعه شهری تهیه گردید. تصاویر مذکور پس از پردازش، به فرمت SHAPEFILE تبدیل شده و در

جدول ۱. داده‌های هواشناسی دی‌ماه ۱۳۹۸

سال	ماه	حداکثر مطلق دما	حداقل مطلق دما	حداکثر مطلق رطوبت	حداقل مطلق رطوبت	میانگین رطوبت	میزان بارندگی	حداکثر بارندگی
۱۳۹۸	دی	۱۹/۹	-۴/۲	۱۰۰	۱۰	۶۲	۵۲/۸	۲۵/۴

$$t = 0.133 \times tc$$

رابطه ۶

برای تعیین زمان تأخیر اصلاح شده (tlr)، از رابطه (۷) استفاده شد.

$$tlr = tl + 0.125(tr - td)$$

رابطه ۷

نقطه پیک رواناب (tp) که بیانگر زمان رسیدن جریان به حداکثر دبی است، از رابطه (۸) محاسبه گردید.

$$tp = t/2 + tl$$

رابطه ۸

در نهایت، دبی پیک هیدروگراف سیلاب (Qp) با استفاده از رابطه پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (رابطه ۹) محاسبه شد.

$$Qp = (0.208 \times A \times Q) / Tp$$

رابطه ۹

این مقدار نشان‌دهنده بیشترین حجم جریان آب در واحد زمان بوده و نقش مهمی در طراحی زیرساخت‌های کنترل سیلاب و مدیریت رواناب سطحی ایفا می‌کند. کلیه داده‌های به‌دست‌آمده در قالب نقشه‌های توسعه شهری و تحلیل‌های هیدرولوژیکی، جهت بررسی تأثیر توسعه فیزیکی شهر زاهدان بر شدت و فراوانی سیلاب‌های شهری مورد تحلیل قرار گرفت.

شرح و تفسیر نتایج

در ۱۸ دی‌ماه ۱۳۹۸، اداره هواشناسی سیستان و بلوچستان نسبت به بارش‌های شدید هشدار داد. این بارندگی‌ها در روزهای ۱۹ تا ۲۱ دی منجر به سیلاب و آب‌گرفتگی گسترده شد که تا ۲۴ دی ادامه داشت و خسارات زیادی به زیرساخت‌ها و زندگی روزمره مردم وارد کرد. زاهدان، بزرگ‌ترین شهر جنوب شرق کشور، طی دهه‌های اخیر با گسترش نامتوازن شهری مواجه بوده و بخش زیادی از جمعیت آن در مناطق حاشیه‌نشین زندگی می‌کنند. محدوده قانونی شهر در سال ۱۴۰۴ به ۱۲۵۰۰ هکتار رسید و شامل کاربری‌های متنوعی است، اما توسعه شهری به اراضی خارج از محدوده نیز نفوذ کرده است. نبود قوانین مشخص، ضعف در اجرای

در ادامه، اطلاعات مربوط به شیب زمین، شبکه رودخانه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری اراضی جمع‌آوری شده و تحلیل‌های فضایی با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شد. نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، شیب زمین، خطوط کنتور و شبکه آبراه‌های منطقه پیش از توسعه شهری تهیه گردید و مرزهای حوضه‌های آبریز مشخص شد.

برای مدل‌سازی رواناب و تهیه هیدروگراف سیلاب، از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شد. در این روش، ابتدا میزان نفوذپذیری سطح شهر (CN) در چهار دوره مختلف محاسبه گردید. گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و نوع پوشش سطحی حوضه تعیین شدند و مقدار عامل نگهداشت آب سطحی (S) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$S = (1000 / CN) - 10$$

رابطه ۱

سپس حجم رواناب (Q) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$Q = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)$$

رابطه ۲

در مرحله بعد، ارتفاع رواناب با توجه به شیب زمین و ضریب رواناب محاسبه شد. ابتدا شیب زمین از رابطه (۳) زیر تعیین گردید.

$$S = \Delta H / L$$

رابطه ۳

سپس ضریب رواناب با استفاده از جدول علیزاده (۱۳) استخراج شد و ارتفاع رواناب با رابطه (۴) به‌دست آمد.

$$R = C \times P$$

رابطه ۴

برای تعیین شدت و زمان‌بندی رواناب، مدل‌سازی هیدرولوژیکی انجام شد. زمان تمرکز (tc) که بیانگر مدت زمان لازم برای رسیدن جریان آب از بالادست به پایین‌دست حوضه است، از رابطه (۵) محاسبه گردید.

$$tc = (0.871L^3 / H)^{0.385}$$

رابطه ۵

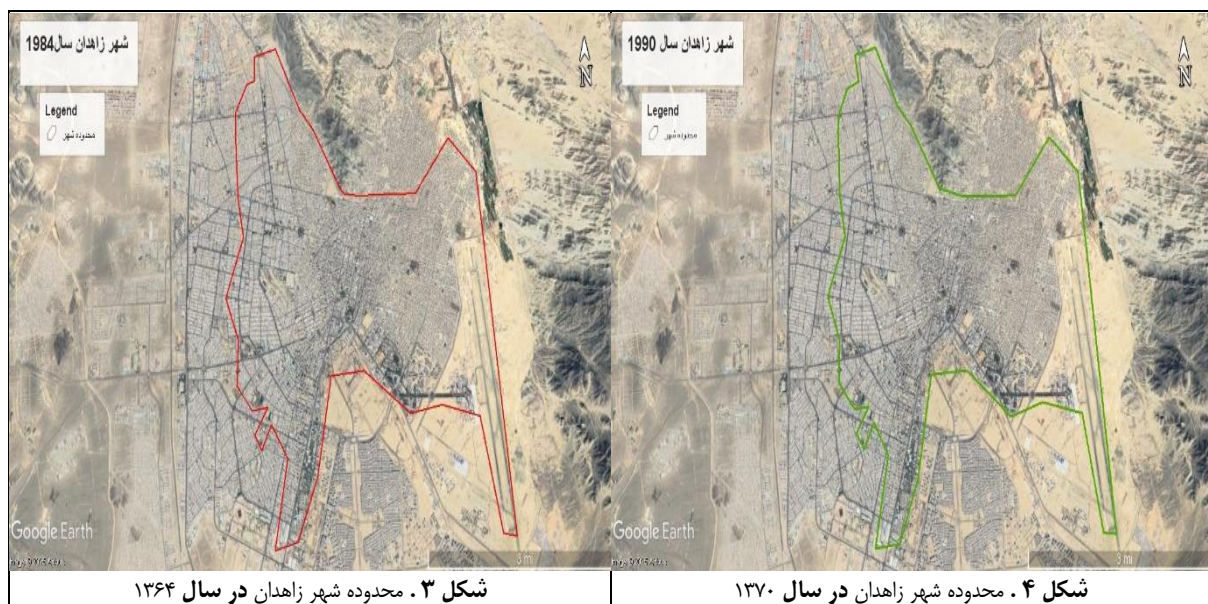
مدت زمان بارندگی (t) نیز با توجه به توصیه سازمان SCS به‌صورت زیر (رابطه ۶) محاسبه شد.

مناطق مختلف را تسهیل کرده و زمینه‌ساز توسعه مناطق جدید می‌شود. همچنین، دسترسی به کاربری‌های شهری مانند مراکز آموزشی، درمانی، خدماتی و تجاری نقش مهمی در جذب جمعیت و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی دارد. تصاویر ماهواره‌ای Google Earth بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۴، رشد سریع و بی‌برنامه شهر را به خوبی نشان می‌دهند و توسعه فیزیکی زاهدان در چهار دوره زمانی مورد بررسی قرار گرفته است.

مرحله نخست توسعه شهری زاهدان بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۰ با رشد محدود و پراکنده همراه بود، در این دوره، مساحت شهر از حدود ۳۲ به ۳۳ کیلومتر مربع رسید (رشد ۰.۸ درصدی). توسعه عمدتاً در امتداد مسیرهای ارتباطی شکل گرفت: در شرق تا فرودگاه و بیمارستان خاتم، در جنوب تا نزدیکی خیابان دانشجو، در غرب تا بلوار مزاری، و در شمال تا فلکه یادگار امام و بلوار کشاورز.

مقررات، پراکندگی ساخت‌وساز و تصرفات غیرقانونی، مدیریت شهری را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده‌اند. برای کنترل این روند، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و سیاست‌های اجرایی مؤثر وجود دارد تا توسعه شهر به صورت منظم و پایدار انجام شود.

رشد شهر زاهدان عمدتاً به صورت طبیعی و بدون برنامه‌ریزی و تحت تأثیر مسیرهای ارتباطی و گسترش حاشیه‌ای صورت گرفته است. طبق مطالعات اکبری و همکاران (۱۴۰۲)، توسعه آتی شهر ابتدا با افزایش تراکم در نواحی مرکزی آغاز می‌شود و سپس در امتداد محدوده‌های موجود، به ویژه در بخش‌های غربی و جنوبی که از نظر زمین و دسترسی مناسب‌تر هستند، گسترش می‌یابد (اکبری، اسکندری ثانی، و اسماعیل‌نژاد، ۱۴۰۲). این روند گسترش افقی و پراکنده موجب کاهش تراکم جمعیتی در هر هکتار خواهد شد. عامل اصلی در رشد شهر، دسترسی به شبکه حمل‌ونقل است که ارتباط بین

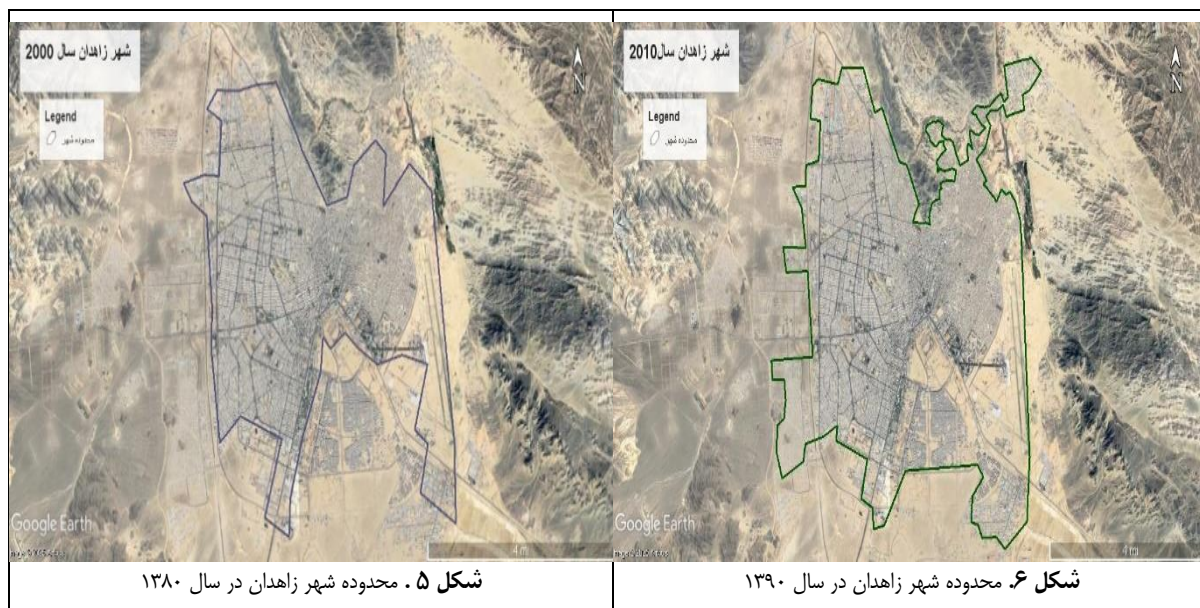


شکل ۳. محدوده شهر زاهدان در سال ۱۳۶۴

شکل ۴. محدوده شهر زاهدان در سال ۱۳۷۰

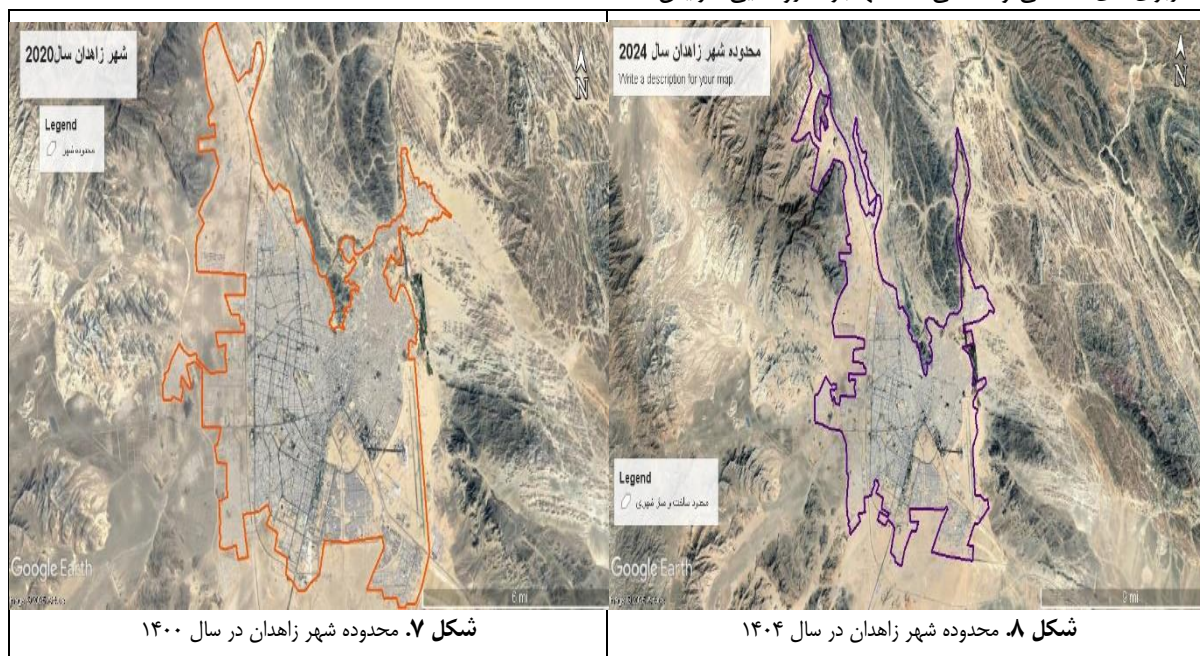
انقلاب نیز گسترش یافت و منطقه شیرآباد بدون برنامه‌ریزی مشخص شکل گرفت. ساختار جدید شهری در این دوره، نه تنها بر وسعت شهر افزود، بلکه مسیرهای ارتباطی و مناطق مسکونی را نیز دستخوش تغییراتی اساسی کرد و محدوده‌های تازه‌ای را وارد بافت شهری نمود.

در مرحله دوم توسعه شهری زاهدان (۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰)، مساحت شهر با رشد چشمگیر به حدود ۵۴ کیلومتر مربع رسید. این گسترش به طور عمده در بخش غربی و جنوب شرقی رخ داد، با توسعه شهرک صنعتی، خیابان دانشگاه، و ساخت‌وساز در اطراف بلوار بزرگمهر، پرستار، دانشجو و جمهوری. شهر در امتداد بلوار آزادی و



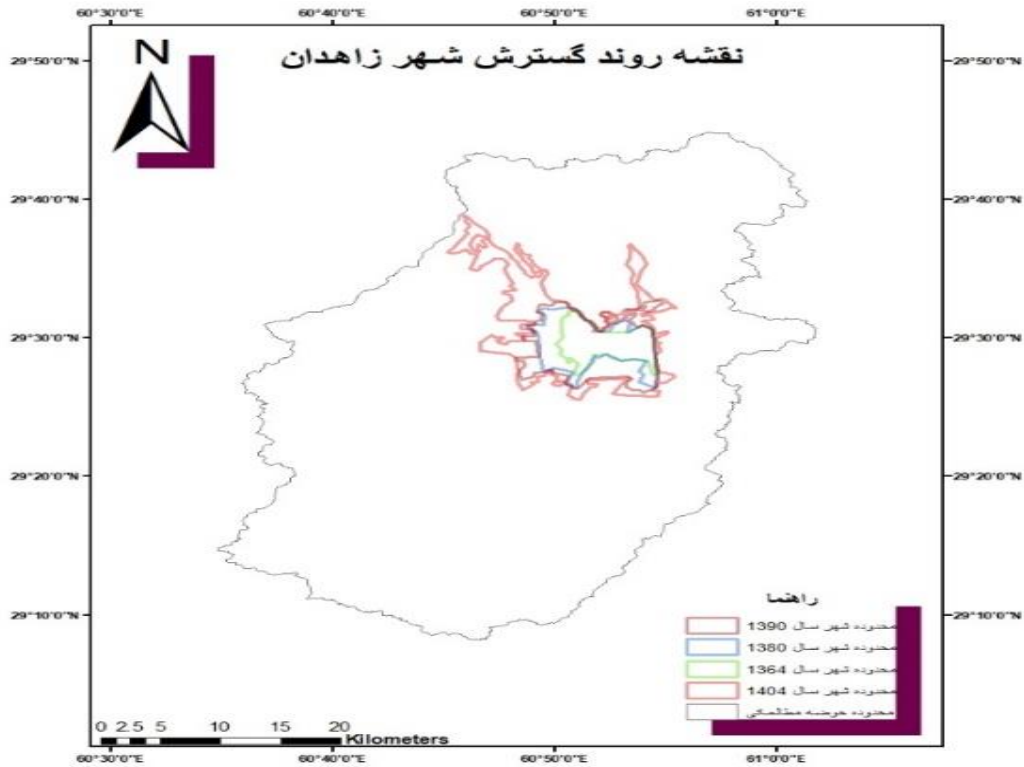
یافت و برخی سکونتگاه‌ها به مناطق خوابگاهی تبدیل شدند (جمشیدزهی شه‌بخش و قنبری، ۱۳۹۹). همچنین، زیباشهر در ابتدای این دوره و شهرک جهاد و شهرک برق در ادامه به عنوان نقاط جدید شهری شکل گرفتند و نقش مهمی در تغییر سیمای شهری ایفا کردند و زمینه‌ای برای گسترش خدمات و زیرساخت‌های شهری فراهم آوردند.

در مرحله سوم توسعه (سال ۱۳۹۰)، شهر زاهدان با رشد ۲۰۰۸ درصدی به ۸۰ کیلومتر مربع رسید. گسترش به‌طور عمده به سمت شمال شرق و شمال غرب بود و روستاهایی مانند همت‌آباد، دایی‌آباد، سیادک و مجتمع گاوداران به بافت شهری پیوستند. این تحول موجب کاهش فعالیت‌های کشاورزی، افزایش تراکم ساختمانی و تبدیل زمین‌ها به کاربری‌های خدماتی و صنعتی شد. مهاجرت روستایی افزایش



بود. مهرشهر در جنوب شرق، مسکن ملی در غرب، و غدیرشهر در شمال غرب به‌عنوان نقاط جدید شهری شکل گرفتند و نقش مهمی در توسعه زیرساخت‌ها و تغییر بافت شهری ایفا کردند.

در مرحله چهارم توسعه (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۴)، مساحت شهر زاهدان از ۱۰۸ به ۱۲۵ کیلومتر مربع رسید و رشد ۲۲،۴ درصدی و سپس ۱۳/۶ درصدی را تجربه کرد. این گسترش با اجرای طرح‌های مسکن مهر و ملی همراه

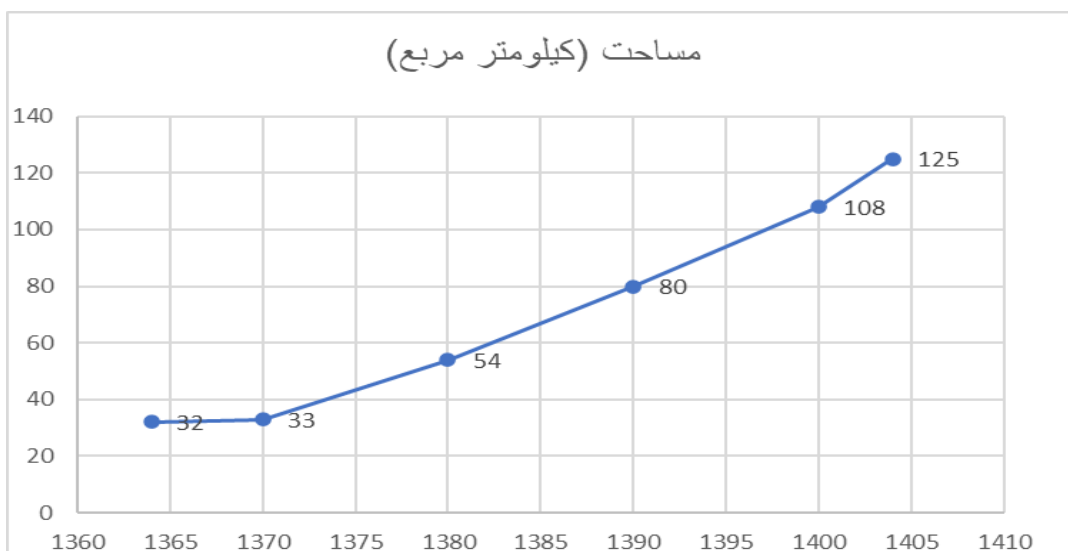


شکل ۹. روند توسعه شهری در ۴۰ سال گذشته

در چهار دهه گذشته (۱۳۶۴ تا ۱۴۰۴)، شهر زاهدان با رشد ۷۴،۴ درصدی، از ۳۲ به ۱۲۵ کیلومتر مربع گسترش یافته و تقریباً چهار برابر بزرگ‌تر شده است. این توسعه سریع موجب شکل‌گیری مناطق جدید مسکونی، تجاری و صنعتی، افزایش تراکم ساختمانی، تغییر الگوی سکونت و تبدیل فضاهای باز به ساخت‌وساز شده و در کنار فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی، چالش‌هایی در مدیریت شهری و توسعه پایدار ایجاد کرده است.

جدول ۲. آمار توسعه شهر زاهدان در چهار دهه

سال (خورشیدی)	سال (میلادی)	مساحت تقریبی شهر زاهدان (کیلومتر مربع)	میزان رشد	درصد رشد
۱۳۶۴	۱۹۸۴	۳۲	۲۵/۶	۰
۱۳۷۰	۱۹۹۰	۳۳	۲۶/۴	۰/۸
۱۳۸۰	۲۰۰۰	۵۴	۴۳/۲	۱۶/۸
۱۳۹۰	۲۰۱۰	۸۰	۶۴	۲۰/۸
۱۴۰۰	۲۰۲۰	۱۰۸	۸۶/۴	۲۲/۴
۱۴۰۴	۲۰۲۴	۱۲۵	۱۰۰	۱۳/۶

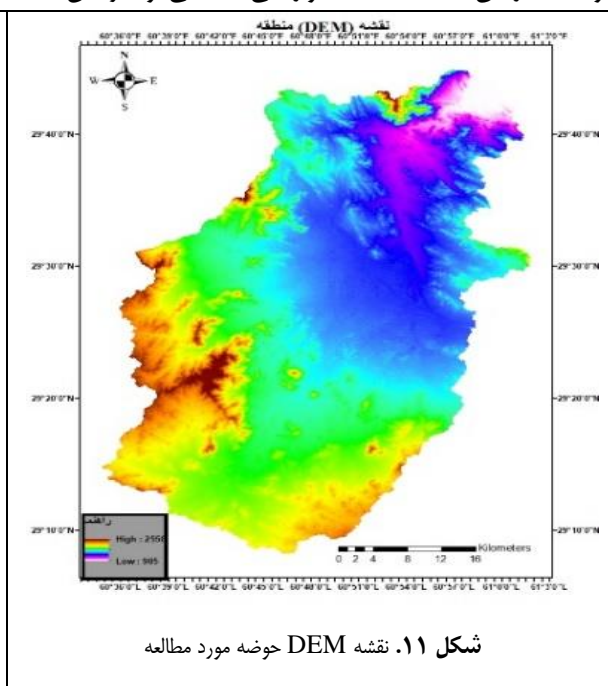
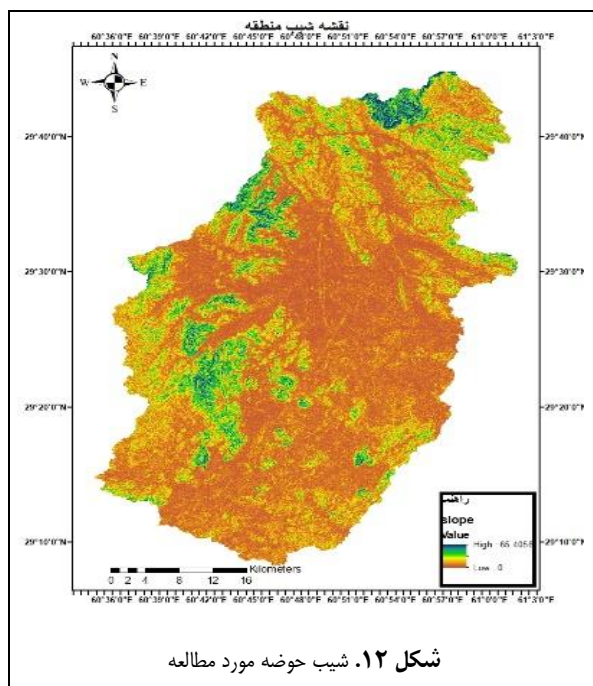


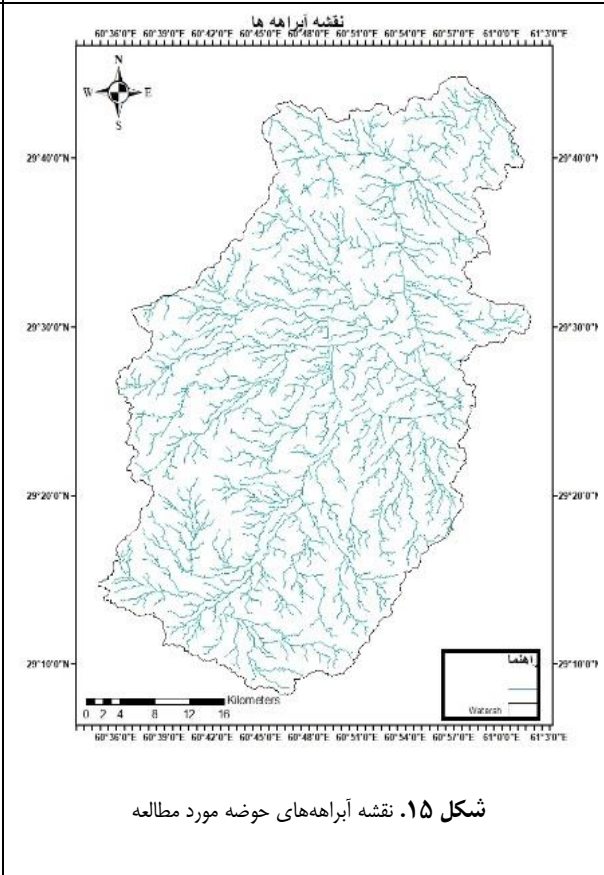
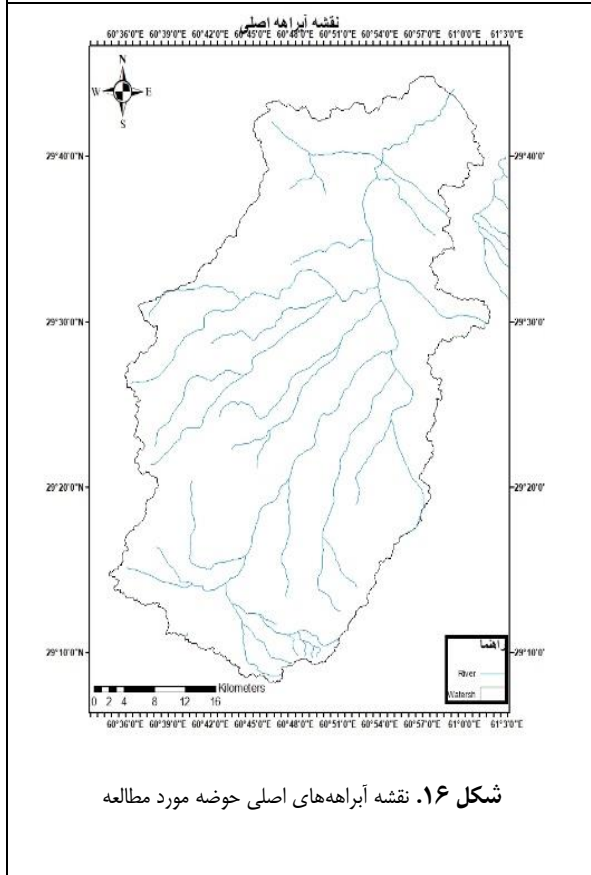
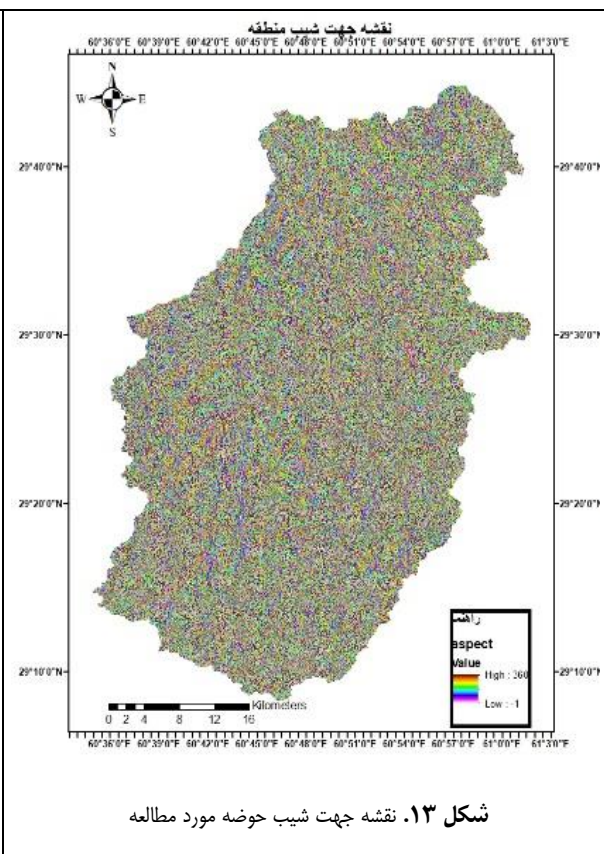
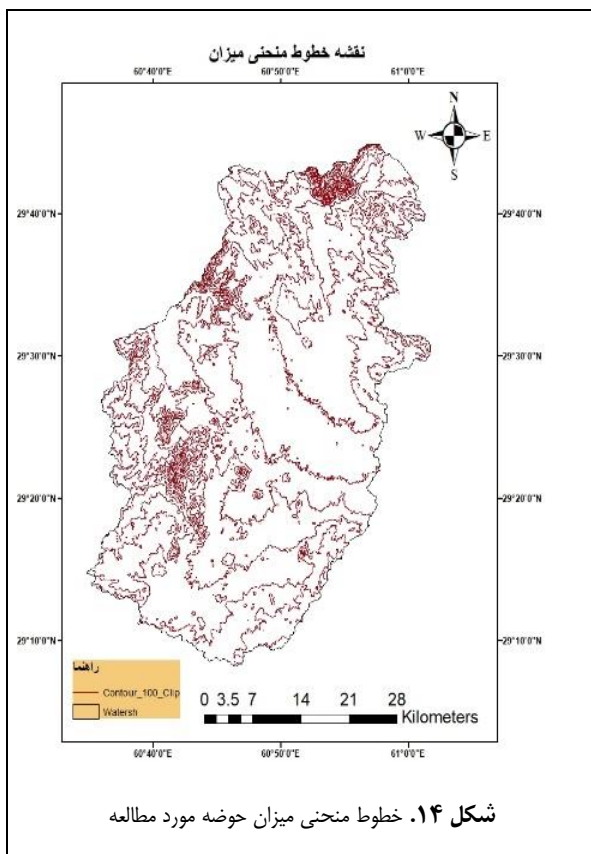
شکل ۱۰. توسعه شهر زاهدان در چهار دهه

سیلاب‌های فصلی شده‌اند. بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت موجب رواناب زیاد و هدررفت منابع آبی می‌شوند. موقعیت شهر روی دشت سیلابی و توسعه بی‌برنامه، خطر سیلاب‌های دوره‌ای را افزایش داده است. حوضه آبریز زاهدان از جنوب‌غرب و غرب شهر آغاز می‌شود و مساحتی حدود ۱۷۹۸ کیلومتر مربع دارد. شیب متوسط آن ۲۰۵۳ درصد است که از غرب (۴۰۹ درصد) به شرق (۲۰۴ درصد) کاهش می‌یابد. طول آبراهه اصلی ۳۷ کیلومتر است و زیرحوضه‌ای ندارد. اختلاف ارتفاع حوضه حدود ۹۳۹ متر است (از ۹۲۳ تا ۱۸۶۲ متر).

ارزیابی حوضه از نظر سیل خیزی به روش حفاظت خاک آمریکا (SCS-CN)

روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN) از ساده‌ترین و پرکاربردترین مدل‌ها برای برآورد رواناب در مناطق فاقد داده‌های دبی است. این مدل، با در نظر گرفتن نوع خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و رطوبت پیشین، رواناب سطحی را تخمین می‌زند و در حوضه‌های کوچک شهری و کشاورزی کاربرد زیادی دارد (مهدوی، ۱۳۸۶). در زاهدان، بارش‌های کم و نامنظم، پوشش گیاهی ضعیف، و شیب زمین باعث تشدید هوازدهی سطحی و افزایش

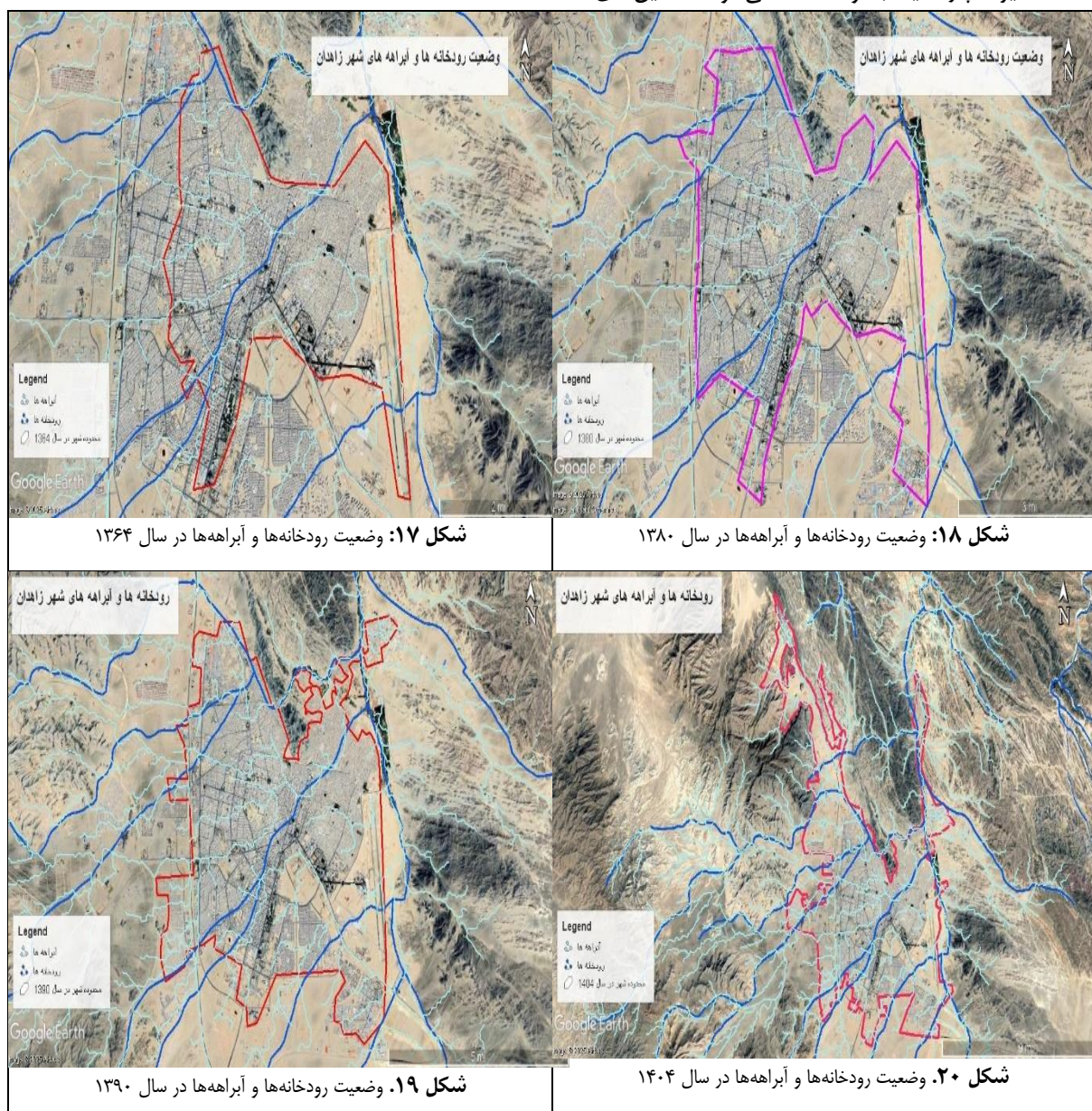




دیگر از شهرک غدیر، بلوار مکران، بعثت، گاوآران و ابوذر عبور کرده و در نهایت به مسیل سیستان می‌پیوندند. حدود نیمی از رواناب شهر از طریق این مسیل زهکشی می‌شود، اما در بارندگی‌های شدید، مناطق مسکونی اطراف با خطر جدی مواجه‌اند. در مجموع، توسعه فیزیکی شهر باعث تنگ‌شدن حریم آبراهه‌ها، قطع مسیرهای زهکشی و افزایش خطر آب‌گرفتگی شده است. مدیریت اصولی زیرساخت‌های زهکشی و اجرای طرح‌های شهری مناسب برای کاهش این مشکلات ضروری است.

وضعیت رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در مراحل گسترش شهر زاهدان

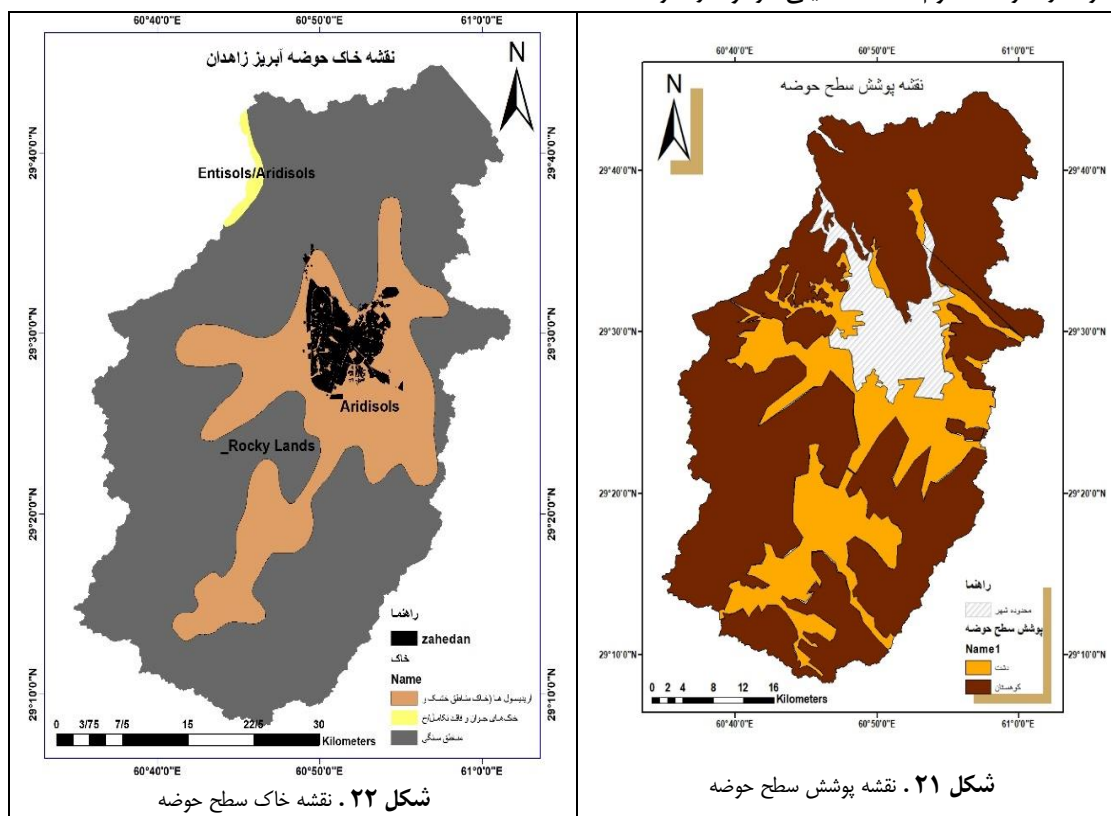
گسترش شهر زاهدان از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۴ تأثیر زیادی بر حریم مسیل‌های جنوب، جنوب‌شرق و غرب شهر داشته است. ساخت‌وسازها در مناطقی مانند مهرشهر، شهرک صنعتی، زیباشهر و کامبوزیا موجب تجاوز به مسیرهای طبیعی جریان آب شده‌اند. آبراهه‌های اصلی از جنوب‌غرب وارد شهر شده و از شهرک جهاد، مسکن ملی و خیابان‌های دانش، قائم، قلنبر و هفت‌تیر عبور می‌کنند. در نبود کانال‌کشی مناسب، این مسیرها با بارش‌های اندک نیز دچار سیلاب و انسداد می‌شوند. مسیل‌های



چهارم ۵/۰۸ میلی‌متر به دست آمد. حوضه زاهدان شامل دو گروه هیدرولوژیکی C و D است. گروه C نفوذپذیری کم و گروه D نفوذپذیری بسیار پایین دارند (علیزاده، ۱۳۸۵: ۴۹۲). با توسعه شهر، سهم گروه D افزایش یافته و در مرحله چهارم به ۱۰۰ درصد رسیده است، که نشان‌دهنده کاهش شدید نفوذپذیری خاک و افزایش خطر سیلاب است.

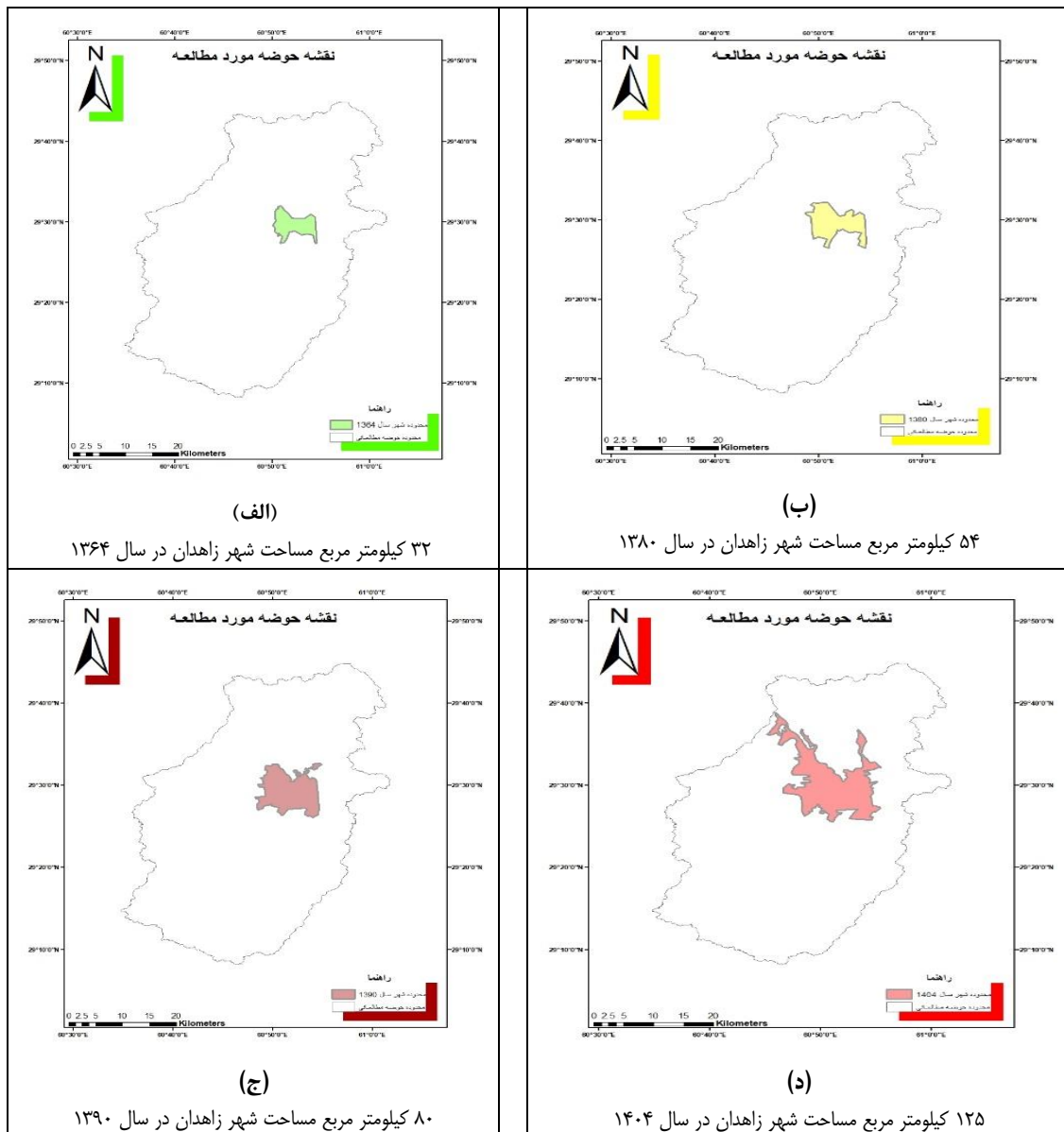
محاسبه رواناب با روش SCS-CN

روش SCS-CN برای برآورد رواناب در مناطق فاقد داده‌های دبی، بر اساس نوع خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و رطوبت پیشین عمل می‌کند (حجازی و مزبانی، ۱۳۹۴). پارامتر S (ظرفیت نگهداشت آب) با توسعه شهری کاهش می‌یابد. ظرفیت نگهداشت آب در مرحله اول ۳۵/۸۱ میلی‌متر، در مرحله دوم ۲۷/۹۴ میلی‌متر، در مرحله سوم ۱۹/۰۵ میلی‌متر و در مرحله



مرحله سوم ۱۱/۴۶ میلی‌متر و در مرحله چهارم به ۲۱/۱۹ میلی‌متر رسید. در سال ۱۳۶۴، تنها ۲۴ درصد بارش به رواناب تبدیل می‌شد، اما در سال ۱۴۰۴ این مقدار به ۸۳ درصد رسید. با مساحت حوضه ۱۲۵ کیلومتر مربع، رواناب کل به ۲۶۴۸/۷۷ مترمکعب می‌رسد. این افزایش نشان‌دهنده تأثیر توسعه شهری بر کاهش نفوذپذیری و افزایش خطر سیلاب است.

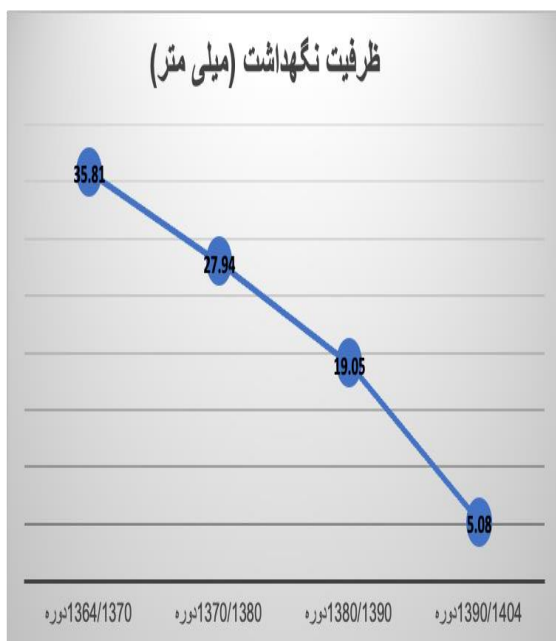
با استفاده از خروجی نقشه پوشش سطح حوضه و نقشه خاک در نرم افزار ArcGIS، میانگین CN در چهار مرحله توسعه به ترتیب ۸۷/۵۷، ۹۰/۰۴، ۹۲/۹۶ و ۹۸ به دست آمد. افزایش CN بیانگر کاهش جذب آب و افزایش رواناب سطحی است. مقدار رواناب مستقیم (Q) نیز در چهار مرحله به ترتیب افزایش یافته و در مرحله اول ۶/۱۵ میلی‌متر، در مرحله دوم ۸/۲۲ میلی‌متر، در



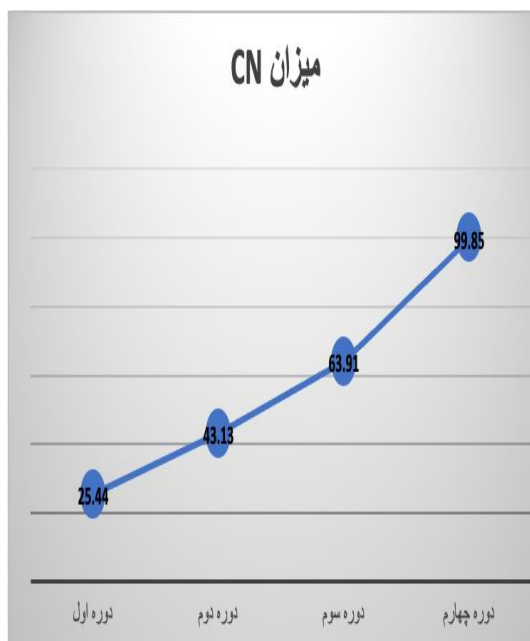
شکل ۲۳. مساحت شهر زاهدان از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۴

جدول ۳. مساحت سطح ساخت و ساز و میزان CN در چهار دوره مورد مطالعه

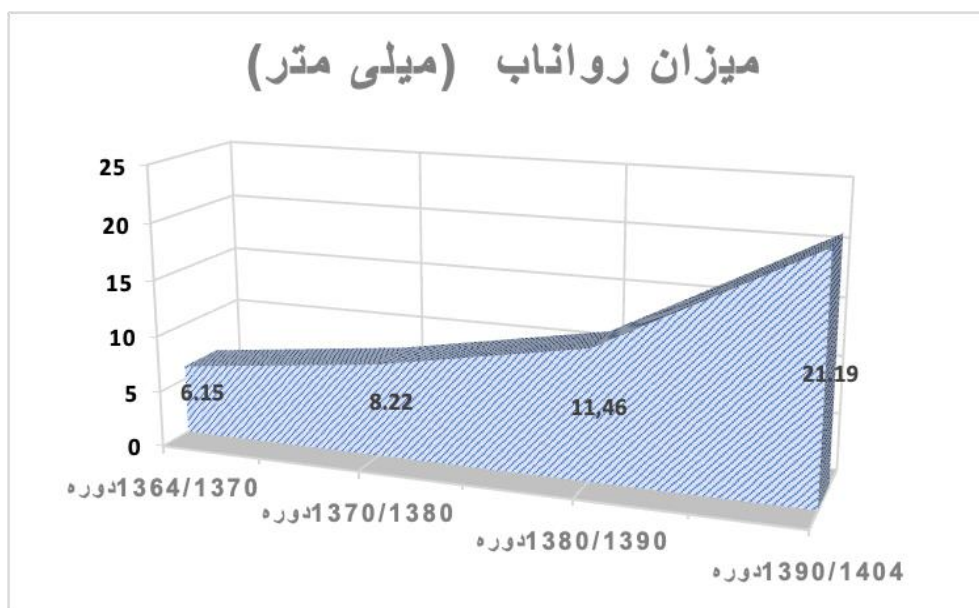
مرحله اول توسعه سال ۱۳۶۴		مرحله دوم توسعه سال ۱۳۸۰		مرحله سوم توسعه سال ۱۳۹۰		مرحله چهارم توسعه سال ۱۴۰۴		کیلومتر مربع
میزان وسعت شهر	میزان وسعت دشت	میزان وسعت شهر	میزان وسعت دشت	میزان وسعت شهر	میزان وسعت دشت	میزان وسعت شهر	میزان وسعت دشت	
۳۲	۹۳	۵۴	۷۱	۸۰	۴۵	۱۲۵	-	
۲۵/۶	۷۴/۴	۴۳/۲	۵۶/۸	۶۴	۳۶	۱۰۰	-	درصد
۹۸	۸۴	۹۸	۸۴	۹۸	۸۴	۹۸	-	CN
۸۷/۵۷		۹۰/۰۴		۹۲/۶۹		۹۸		



شکل ۲۵. ظرفیت نگهداشت در چهار دوره مورد مطالعه ضریب رواناب را با استفاده از رابطه ۴ به دست می آوریم. البته قبل از آن بایستی میزان شیب حوضه را با استفاده از رابطه ۳ به دست آوریم.



شکل ۲۴. میزان CN در چهار دوره مورد مطالعه بر اساس جدول شماره ۱-۱۳ (علیزاده، ۱۳۸۵: ۵۰۵) ضریب رواناب (C) در حوضه مورد نظر را به دست می آوریم. با توجه به درصدپوشش سطح حوضه میانگین



شکل ۲۶. میزان رواناب در چهار دوره مورد مطالعه

است. این مقدار تحت تأثیر توسعه شهری، کاهش نفوذپذیری خاک و ضعف زیرساخت های زهکشی افزایش یافته است. در مناطق با پوشش گیاهی و خاک نفوذپذیر، بخش زیادی از بارش جذب زمین شده و به تغذیه آب زیرزمینی کمک می کند، اما در مناطق شهری، آسفالت و بتن مانع جذب آب شده و رواناب سطحی را افزایش می دهند.

شیب متوسط حوضه (S) از تقسیم اختلاف ارتفاع (۹۳۹ متر) بر طول آبراهه اصلی (۳۷،۰۰۰ متر) به دست می آید که برابر با $\frac{2}{53}$ یا درصد ۰/۲۵ درجه است. این مقدار نشان دهنده کاهش ارتفاع در طول مسیر جریان آب است. بر اساس رابطه ۴، ارتفاع رواناب $\frac{12}{0.6}$ میلی متر محاسبه شده که بیانگر حجم آب سطحی پس از بارندگی

محاسبه هیدروگراف واحد حوضه

در روش SCS برای تهیه هیدروگراف واحد حوضه، ابتدا زمان تأخیر (tl) با استفاده از روابط تجربی محاسبه می‌شود، سپس زمان تمرکز (tc) از رابطه (۵) می‌شود، $tc = (0.47L^2/H)$ به دست می‌آید. مدت بارندگی (t) باید از 0.25 برابر tc کمتر باشد و مقدار پیشنهادی SCS برای آن 0.133 برابر tc است. زمان رسیدن به پیک برابر با $t/2 + tl$ و زمان پایه هیدروگراف برابر با $t + tl + t$ در نظر گرفته می‌شود. دبی پیک (QP) نیز از رابطه $QP = 0.208A/tp$ محاسبه می‌گردد. این مراحل امکان ترسیم هیدروگراف واحد را فراهم می‌کند.

زمان تمرکز (Tc) با استفاده از طول آبراهه (L) و اختلاف ارتفاع (ΔH) محاسبه می‌شود. با جایگذاری داده‌ها، Tc برابر با ۲۶۴ دقیقه یا ۴ ساعت و ۲۴ دقیقه به دست آمد که نشان‌دهنده زمان حرکت آب از بالادست تا خروجی حوضه است.

مدت زمان بارندگی (t) برای حوضه‌های کوچک مانند زاهدان بر اساس بارش ۶ ساعته (علیزاده، ۱۳۸۵: ۴۹۲) از رابطه $t = 0.133 \times 264$ محاسبه می‌شود. با توجه به زمان تمرکز ۲۶۴ دقیقه، مقدار t برابر با $11/35$ دقیقه به دست می‌آید. این زمان نشان‌دهنده دوره مؤثر بارش در مدل‌سازی بارش-رواناب بوده و به‌عنوان ورودی کلیدی در طراحی هیدروگراف سیلاب استفاده می‌شود.

زمان تأخیر اصلاح‌شده (tlr) با استفاده از رابطه (۷) $tlr = 264 + 0.25(60 - 35, 11) = 270, 22$ محاسبه می‌شود. با

فرض زمان تأخیر اولیه ۲۶۴ دقیقه، مدت بارش td برابر با $35/11$ دقیقه و مدت طراحی بارش tr برابر با ۶۰ دقیقه، مقدار tlr برابر با $270/22$ دقیقه یا ۴ ساعت و ۳۰ دقیقه به دست می‌آید. این زمان برای تعیین نقطه اوج هیدروگراف و تحلیل دقیق رواناب سطحی کاربرد دارد.

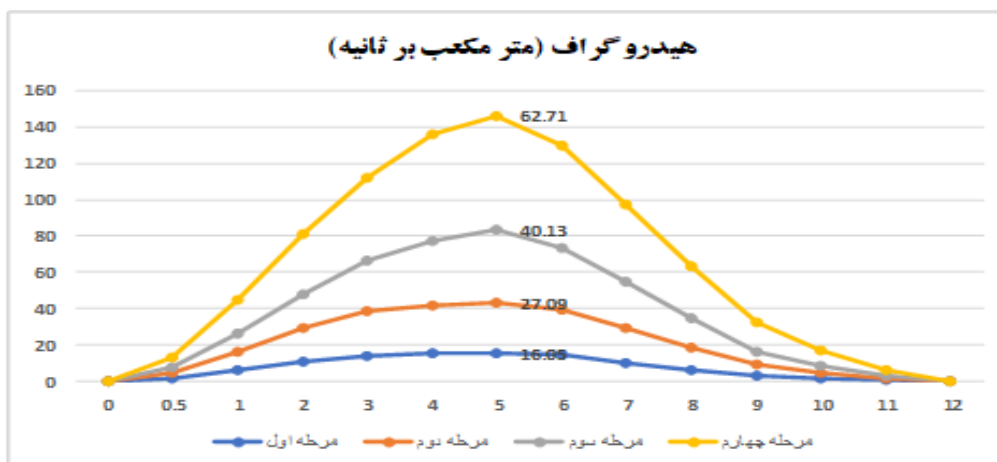
زمان رسیدن به نقطه پیک (tp) از رابطه (۸) $tp = 270, 22 + 60/2$ محاسبه گردید. با در نظر گرفتن مدت بارندگی ۶۰ دقیقه و زمان تأخیر اصلاح‌شده $270, 22$ دقیقه، مقدار tp برابر با $300/22$ دقیقه یا حدود ۵ ساعت به دست می‌آید. این زمان نشان‌دهنده لحظه اوج دبی رواناب پس از شروع بارش است.

محاسبه دبی پیک (Qp)

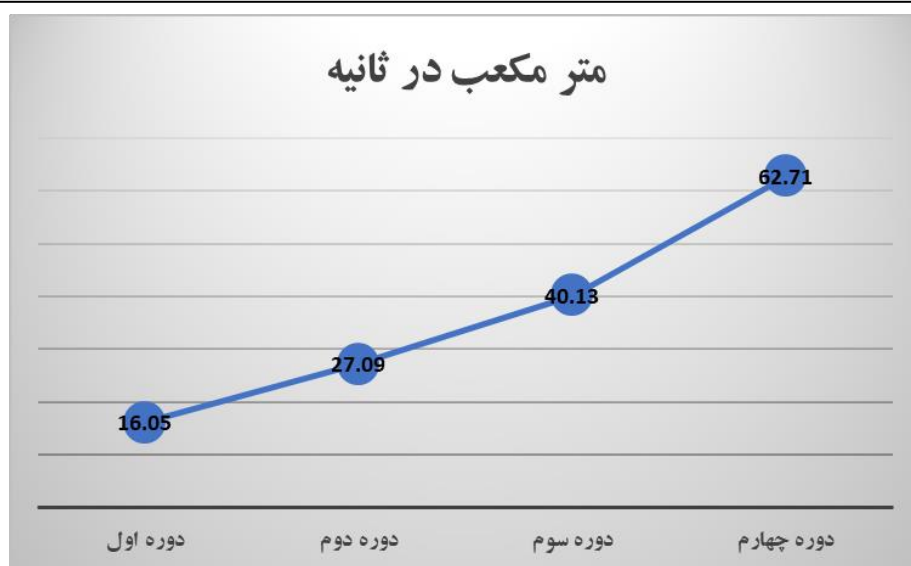
روش SCS یکی از پرکاربردترین مدل‌های تجربی در پروژه‌های هیدرولوژی، مدیریت رواناب و طراحی سیستم‌های زهکشی شهری است. این روش با سادگی و دقت بالا، امکان محاسبه دبی لحظه‌ای سیلاب را فراهم می‌کند و در بسیاری از مطالعات شهری و نیمه‌طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبه دبی پیک (Qp)، از رابطه ۹ استفاده شد:

$$Qp = \frac{0.208 \times A \times Q}{Tp}$$

در این رابطه (A) مساحت حوضه به کیلومتر مربع، (Q) ارتفاع رواناب به میلی‌متر و (Tp) زمان رسیدن به نقطه پیک به دقیقه است.



شکل ۲۷. هیدروگراف واحد یک ساعته حاصل بارش $25/4$ میلی متری



شکل ۲۸. دبی پیک هیدروگراف در چهار دوره توسعه شهری

به ۶۲/۷۱ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت. این روند نشان می‌دهد که توسعه فیزیکی شهر، کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش سطوح آسفالتی، موجب افزایش حجم و شدت رواناب سطحی شده‌اند. در شرایط بارندگی شدید، این دبی بالا فشار زیادی بر مسیل‌ها، پل‌ها و زیرساخت‌های شهری وارد می‌کند و احتمال وقوع سیلاب‌های ناگهانی را افزایش می‌دهد. بنابراین، مدیریت دبی پیک سیلاب اهمیت زیادی دارد. طراحی دقیق سیستم‌های زهکشی، استفاده از مصالح نفوذپذیر در معابر، احداث حوضچه‌های تأخیری و گسترش فضاهای سبز می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خطرات ناشی از رواناب سطحی و افزایش تاب‌آوری شهری ایفا کند.

نشان‌دهندهٔ افزایش قابل توجه خطر آب‌گرفتگی و فرسایش خاک در منطقه است. با افزایش مناطق نفوذناپذیر شهری، دبی پیک هیدروگراف سیل نیز به ۶۲/۷۱ مترمکعب بر ثانیه رسید، که بیانگر شدت بالای جریان آب در زمان وقوع سیلاب است. همچنین افزایش مناطق نفوذناپذیر شهری باعث کاهش چشمگیر نفوذپذیری خاک و تشدید رواناب سطحی شده است. با افزایش جمعیت و گسترش ساخت‌وسازها، فشار بر زیرساخت‌های شهری از جمله شبکه زهکشی و سیستم‌های دفع آب افزایش یافته و مشکلات عدیده‌ای نظیر آب‌گرفتگی معابر، اختلال در عبور و مرور و آسیب به ساختمان‌ها ایجاد کرده است.

با توجه به داده‌های حوضه زاهدان، مقدار Q برابر با ۱۲,۰۶ میلی‌متر و T_p برابر با ۳۰۰/۲۲ دقیقه محاسبه شده است. با پیشرفت مراحل توسعه شهری، تغییرات قابل توجهی در مساحت حوضه و میزان نفوذپذیری سطح زمین رخ داده که به‌طور مستقیم بر دبی پیک تأثیر گذاشته‌اند. در مرحله اول توسعه، با وجود سطح بالای نفوذپذیری و فضای سبز، دبی پیک برابر با ۱۶,۰۵ مترمکعب بر ثانیه بود. در مرحله دوم، با افزایش ساخت‌وساز و کاهش پوشش طبیعی، این مقدار به ۲۷/۰۹ مترمکعب بر ثانیه رسید. در مرحله سوم، گسترش مناطق مسکونی و تجاری موجب افزایش بیشتر دبی پیک تا ۴۰/۱۳ مترمکعب بر ثانیه شد. در نهایت در مرحله چهارم، با تبدیل کامل سطح شهر به مناطق نفوذناپذیر، دبی پیک

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که توسعه شهری زاهدان تأثیر قابل توجهی بر رواناب سطحی و افزایش خطر سیلاب‌های شهری داشته است. نتایج مدل SCS-CN نشان داد که ظرفیت نگهداشت آب در سطح زمین از ۳۵/۸۱ میلی‌متر در مرحله اول توسعه به ۵/۰۸ میلی‌متر در مرحله چهارم کاهش یافته است. میزان رواناب تولیدی نیز از ۶/۱۵ میلی‌متر (۲۴/۲۱ درصد بارش) در مرحله اول به ۲۱/۱۹ میلی‌متر (۸۳/۲۲ درصد بارش) در مرحله چهارم افزایش پیدا کرد. در مرحله چهارم، مجموع رواناب تولیدی ۲۶۴۸/۷۷ میلی‌متر محاسبه شد، که



شکل ۲۹. آبگرفتگی در خیابان هفت تیر مقابل اداره منابع طبیعی شهر زاهدان

برای کاهش خطر سیلاب در زاهدان، اجرای مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی و مهندسی ضروری است. ابتدا باید سیستم‌های زهکشی شهری بهبود یابند، از جمله ایجاد کانال‌های هدایت آب و مخازن تأخیری کنترل سیلاب در نقاط بحرانی و فضاهای ذخیره‌سازی موقت، می‌تواند در کاهش خطر سیلاب مؤثر باشد. استفاده از مصالح نفوذپذیر در خیابان‌ها، پیاده‌روها و فضاهای عمومی می‌تواند به جذب بهتر بارش‌ها کمک کند. همچنین توسعه فضای سبز شهری و کاشت گیاهان مقاوم در برابر خشکسالی، پارک‌های نفوذپذیر و تکنیک‌های توسعه کم‌اثر (LID) علاوه بر کاهش رواناب سطحی، به تقویت سفره‌های آب زیرزمینی کمک خواهد کرد. کنترل ساخت‌وساز در مناطق پرخطر، نظارت بر گسترش شهری و ممنوعیت تجاوز به حریم مسیل‌ها از جمله راهکارهای کلیدی برای کاهش خطر سیل است. پل‌ها، جوی‌ها و معابر شهری باید بر اساس معیارهای هیدرولوژیکی دقیق طراحی شوند تا توانایی عبور سیلاب‌های با شدت بالا را داشته باشند. همچنین، اجرای طرح‌های مدیریت جامع سیلاب شامل بهره‌گیری از

بررسی داده‌های هواشناسی نشان می‌دهد که بارش‌های کوتاه‌مدت و شدید از مهم‌ترین عوامل وقوع سیل‌های ناگهانی در زاهدان محسوب می‌شوند. شیب نامناسب زمین، تجاوز به حریم مسیل‌ها و ناکارآمدی سیستم‌های دفع آب از دیگر عوامل افزایش خطر سیلاب در این منطقه به‌شمار می‌روند. همچنین توسعه شهری بی‌برنامه موجب تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی و حذف فضاهای سبز شده که تأثیر منفی بر نفوذ آب در خاک و کاهش ظرفیت نگهداشت آب داشته است.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که شهر زاهدان به دلیل شرایط اقلیمی و توسعه شهری بی‌برنامه در معرض خطر سیلاب‌های مخرب قرار دارد. بدون اجرای راهکارهای مدیریتی مناسب، این روند می‌تواند در آینده باعث تشدید مشکلات زیرساختی و افزایش خسارات مالی و انسانی ناشی از سیلاب‌های شهری شود. بنابراین، لازم است سیاست‌گذاری‌های شهری بر اساس مطالعات علمی و مدل‌سازی‌های دقیق به‌گونه‌ای تنظیم شود که از وقوع سیلاب‌های پرخطر جلوگیری شده و توسعه پایدار شهری تحقق یابد.

این اقدامات با ایجاد زیرساخت‌های مقاوم، مدیریت بهینه منابع آب، و هماهنگی میان نهادهای شهری، می‌توانند از وقوع سیلاب‌های شدید جلوگیری کرده و شرایط زندگی را بهبود بخشند.

فناوری‌های پیش‌بینی سیلاب، نصب حسگرهای باران‌سنجی و سیستم‌های هشدار سریع، و برنامه‌های آموزشی برای ساکنان مناطق در معرض خطر، می‌تواند تأثیر چشمگیری در کاهش آسیب‌های ناشی از سیل داشته باشد.

References

- Abil, E., Tavousi, T., & Khosravi, M. (۲۰۱۹). Analysis of potential areas exposed to urban flood hazards: Case study of Zahedan city. *Geography and Regional Development*, ۱۷(۵۴), ۹۱-۱۰۶. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/gdij.2019.4306>
- Akbari, A., Eskandari Sani, M., & Esmailnejad, M. (۲۰۲۳). Identification of driving factors for future urban expansion and growth (Case study: Expansion of Zahedan urban area). *Geography and Regional Development Journal*, ۲۱(۱), ۱۱۱-۱۴۱. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/jgrd.2023.74275.1098>
- Alizadeh, A. (۲۰۰۶). Principles of Applied Hydrology. Mashhad: Imam Reza University & Astan Quds Razavi Publications, p. ۴۹۲. [In Persian]
- Ebrahimi Pour, M., & Ziari, K. A. (۲۰۱۸). Zoning of urban lands against flood risk with a physical resilience approach (Case study: Cheshmeh Kileh River). *New Perspectives in Human Geography*, ۱۱(۱), ۳۹-۵۶. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_663683.html
- Fotouhi, S. (۲۰۱۴). Investigation of the effect of physical development of Darab city on urban floods. *Geography and Environmental Planning*, ۲۵(۴), ۲۲۱-۲۳۶. [In Persian] https://journals.ui.ac.ir/article_18697.html
- Hejazi, A., & Mezaabani, M. (۲۰۱۵). Estimation of peak runoff height and discharge using the Curve Number (CN) method (Case study: Sarab-Darehshahr watershed). *Hydrogeomorphology Journal*, ۲(۵), ۶۳-۸۱. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.238332254.1394.2.5.4.9>
- Hejazi, A., Negahban, S., Mousavi, S. M., & Aminzadeh, M. H. (۲۰۲۴). Investigation and zoning of flood hazards in urban watersheds using fuzzy VIKOR and weighted linear methods (Case study: Izeh watershed, Khuzestan). *Journal of Physical Geography*, ۱۳(۲), ۵۱-۷۰. [In Persian] https://www.geomorphologyjournal.ir/article_197
- Hesam, R., Zarrabi, A., & Taghvaei, M. (۲۰۱۹). Urban flood hazard potential assessment with a safe urban development approach (Case study: Gonbad-e Kavus city). *Journal of Environmental Hazard Management*, ۶(۱), ۱۷-۳۲. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jhsci.2019.280517.465>
- Jamshidzahi Shahbakhsh, A., & Ghanbari, S. (۲۰۲۰). Urban sprawl and spatial-physical transformations of peri-urban settlements in Zahedan. *Journal of Peri-Urban Space Development*, ۲(۱), ۸۵-۱۰۴. [In Persian] https://www.jpUSD.ir/article_114037.html
- Jianwei, L., Anna, Z., Wei, G., Nairwita, B., Yanji, Z., & Qianfeng, W. (۲۰۲۳). Urban flood risk assessment based on DBSCAN and K-means clustering algorithm. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, ۱۴(۱). <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2250527>

- Jing, H., Lu Z., Jingwen, S., Jinle, K., Zhenzhen, L., & Huimin, W. (۲۰۲۳). Urban Flood Inundation Probability Assessment Based on an Improved Bayesian Model. *Natural Hazards Review*, ۲۴(۴). <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG-1۷۲۶>
- Kerim, K., & Zeynep, I. (۲۰۲۱). Assessment of Urban Flood Risk Factors Using Monte Carlo Analytical Hierarchy Process. *Natural Hazards Review*, ۲۲(۴). [http://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1027-7996,0000516](http://doi.org/10.1061/(asce)nh.1027-7996,0000516)
- Mahdavi, M. (۲۰۰۷). Applied Hydrology (Volume ۲). Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]
- Nouri Ara, R., Daryabari, S. J., Alijani, B., & Borna, R. (۲۰۲۲). Synoptic analysis of torrential rainfall in April ۲۰۱۹ in Iran (Case study: Lorestan Province). *Iranian Climatology Journal*, ۵۲, ۲۱-۳۶. [In Persian] https://clima.irimo.ir/article_۱۶۴۶۲۰.html
- Pahlavani, P., Hasanlu, M., Beigdeli, B., & Eslaminejad, S. A. (۲۰۲۲). Presentation of a location-based hybrid model for flood hazard zoning (Case study: Maneh and Samalqan County). *Natural Environmental Hazards*, ۱۱(۳۱), ۱۷۳-۱۹۲. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/jneh.2021,37392,1724>
- Rahmani, H., & Ghorbani, M. (۲۰۲۲). Geology, petrography, geochemistry, and petrogenesis of intermediate semi-deep units in southern Zahedan, Sistan and Baluchistan Province, Iran. *Economic Geology Journal*, ۱۴(۳), ۱۵۵-۱۸۳. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/jneh.2023,41127,1866>
- Rahmani, H., and Ghorbani, M. (۲۰۲۲). Geology, stonewriting, earthquake and petrolyce units with a composition of the southern Zahedan area, Sistan and Baluchistan province, Iran. *Journal of Economic Geology*, ۱۴ (۳), ۱۸۳-۱۵۵. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/econg.2022,77188,1048>
- Rahnama Rad, J., Sahebzadeh, B., & Mir Hajizadeh, A. A. (۲۰۰۸). Description of weathering and loosening in Zahedan granitoid from a rock engineering perspective. *Journal of Geotechnical Geology*, ۴(۴), ۲۴۷-۲۵۷. [In Persian] [Magiran | Journal of Geotechnical Geologist, Volume: ۴ Issue: ۴, ۲۰۰۸](https://doi.org/10.22111/jneh.2023,41127,1866)
- Rahnama, M. R., & Elahi Churan, M. A. (۲۰۲۳). Assessment of urban resilience dimensions against floods in the cities of western Mazandaran Province. *Natural Environmental Hazards*, ۱۲(۳۸), ۱-۲۲. <https://doi.org/10.22111/jneh.2023,41127,1866>
- Rashidi, M., & Hossein Zadeh, M. M. (۲۰۱۹). The role of sub-basins adjacent to the city in urban flooding in Izeh (Khuzestan). *Geography and Environmental Hazards*, ۸(۱), ۲۵-۴۲. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geo.v.i0,78800>
- Rostami Khalaj, M., Hassami, D., Salmani, H., & Timourian, T. (۲۰۱۹). Urban flood hazard zoning using a multi-criteria decision-making approach (Case study: Imam Ali Township, Mashhad). *Journal of Environmental Science and Technology*, ۲۱(۱۱), ۱۷۳-۱۸۵. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/journal/jest/article/83703>
- Shiravand, H., Asadi Eskuei, A., Hosseini, S. A., & Tahan, Z. (۲۰۲۲). Statistical and synoptic analysis of the storm system leading to the January ۲۰۱۹ flood in southern and southeastern Iran. *Climate and Drought Crisis Management Journal*, ۱۳(۴۹), ۱۴۹-۱۶۲. [In Persian]

https://clima.irimo.ir/article_۱۲۰۱۲۵.html.

Yongzhong, S., Ruihua, S., Li, Lu., & Chunhua, N. (۲۰۲۱). Estimating the Impact of Urban Space Competition on Flood Risk: Case Study of the Lanzhou Reaches of Yellow River, China. *Natural Hazards Review*, ۲۲ (۳).

[http://doi.org/۱۰.۱۰۶۱/\(ASCE\)NH.۱۵۲۷-۶۹۹۶,۰۰۰۰۴۶۸](http://doi.org/۱۰.۱۰۶۱/(ASCE)NH.۱۵۲۷-۶۹۹۶,۰۰۰۰۴۶۸)

Zahedi Khameneh, H., & Khodashenas, S. R. (۲۰۲۱). Risk analysis and sub-basin ranking for LID placement in urban flood control (Case study: Districts ۱۰ and ۱۱ of Mashhad). *Journal of Range and Watershed Management*, ۷۴(۲), ۳۷۳-۳۹۲. [In Persian]

<https://doi.org/۱۰.۲۲۰۵۹/jrwm.۲۰۲۱,۳۱۸۷۷۸,۱۵۷۱>