



Investigation of the impact of climate change on runoff in the Kahneh Joghtai watershed using the HadGEM3-GC31-LL model and the SCS curve number method

Mostafa Dastorani^{1✉} | Elahe Akbari² | Malihe Qaderi³

1. Corresponding Author, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. m.dastorani@hsu.ac.ir

2. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. e.akbari@hsu.ac.ir

3. Department of Environment, South Khorasan Province, Birjand, Iran. qaderim350@gmail.com

Article Information

Research Paper

Vol:	16
No:	61
P:	87-99
Received:	2025-01-31
Revised:	2025-05-11
Accepted:	2025-05-11
Published:	2025-11-01

Keywords:

- Runoff
- Khorasan
- CMIP6
- Scenario
- Degradation

Cite this Article:

Dastourani, Mostafa., Akbari, Elahe & Qaderi, Malihe. (2025). Climate Change and Vegetation Cover in the Kahneh Watershed, Khorasan Razavi, Using Remote Sensing in the GEE Environment. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(61): 87-99.

doi: 10.22034/JARGS.2025.503695.1172

Publisher: Hakim Sabzevari University

Authors retain the copyright and full publishing rights.



10.22034/JARGS.2025.503695.1172

Abstract

Aim: This study investigates the impact of climate change and land use on runoff in the Kahneh watershed, located in a semi-arid region of Khorasan Razavi.

Materials & Methods: The study employed the SCS method to estimate runoff. The ArcGIS watershed tool was used to identify sub-watersheds, resulting in the delineation of eight sub-watersheds. A 72-mm, 24-hour rainfall event was used to simulate runoff. This approach enabled a comprehensive understanding of how various land uses and climatic factors contribute to runoff generation.

Findings: The results showed that the highest runoff production occurred in sub-basin K3 with 65.5 mm, while the lowest runoff was observed in K7 with 30.5 mm. At the watershed scale, the total runoff produced reached 359.2 mm. When calculating runoff per unit area (in million cubic meters), sub-basins 2 and 8 showed the highest runoff production. In total, the overall runoff volume produced across the entire watershed amounted to approximately 6 million cubic meters. To assess the potential impacts of climate change on future runoff patterns, rainfall simulation was also conducted in this study. The results of this research clearly demonstrate that climate change, particularly reduced precipitation under the SSP245 and SSP5 scenarios, could lead to a significant decrease in runoff across the watershed and its sub-basins.

Conclusion: The HadGEM3-GC31-LL climate model was employed to simulate climate change effects in two scenarios: SSP245 and SSP585 from 2024 to 2050. The findings revealed that precipitation is expected to decrease in both scenarios, with greater variability and an increased likelihood of intense rainfall events in the SSP585 scenario.

Innovation: The results highlight the importance of proactive flood-risk management and water-conservation strategies in semi-arid regions to safeguard both water resources and agricultural productivity.

Extended Abstract

1. Introduction

Climate change and land use modifications represent two of the most pressing environmental challenges of the 21st century, with significant implications for hydrological systems. Semi-arid regions like the Kahneh Joghatai watershed in Razavi Khorasan Province are particularly vulnerable due to their delicate ecological balance and dependence on seasonal precipitation patterns. These areas face compounded risks from increasing temperatures, altered rainfall distribution, and changing land cover characteristics, which collectively influence runoff generation, soil erosion rates, and water resource availability. Understanding these dynamics is crucial for developing effective water management strategies in water-stressed environments. This study examines the integrated effects of climate change and land use alterations on runoff generation patterns, providing critical insights for sustainable watershed management in semi-arid regions.

2. Materials and methods

The research employed the Soil Conservation Service Curve Number method, a widely recognized hydrological model for runoff estimation. The Soil Conservation Service (SCS) method, developed by the U.S. Department of Agriculture, is a simple yet effective hydrological model for estimating surface runoff from rainfall. It uses a Curve Number (CN) that reflects soil type, land cover, and moisture conditions. Higher CN values indicate greater runoff potential. The method is particularly useful for data-scarce regions and is widely applied in watershed management, flood control, and land-use planning. Its empirical approach balances accuracy with practicality, making it a popular tool in hydrological studies. The study area was divided into eight distinct sub-watersheds using GIS-based watershed delineation techniques. Hydrological data, including a 72 mm rainfall event over 24 hours, served as the baseline for analysis, complemented by land cover classification from satellite imagery and topographical data. Climate projections were derived from the HadGEM3-GC31-LL model for two representative scenarios (SSP245 and SSP585) covering the period 2024-2050. The SSP245 and SSP585 scenarios represent the latest climate change pathways within the IPCC (AR6) framework, modeling different socioeconomic development and greenhouse gas emission trajectories. The SSP245 scenario, known as the intermediate pathway, reflects moderate greenhouse gas emissions and is projected to result in approximately 2-3°C of global warming by the end of this century. This scenario incorporates a combination of climate policies and the development of low-carbon technologies. In contrast, the SSP585 scenario represents the most pessimistic high-emissions pathway, forecasting 4-5°C of global warming by 2100 under conditions of continued heavy reliance on fossil fuels and rapid economic growth without environmental considerations. These scenarios serve as critical tools for understanding potential climate futures under varying human development choices and mitigation efforts. The methodology incorporated spatial analysis in ArcGIS, statistical evaluation of runoff patterns, and climate scenario modeling to assess future hydrological changes.

3. Results and Discussion

The analysis revealed significant spatial variability in runoff generation across the watershed. Sub-watershed K3 exhibited the maximum runoff of 65.5 mm, attributable to its steep slopes and low permeability characteristics, while K7 showed the minimum runoff of 30.5 mm due to its better vegetation cover. The total watershed runoff reached 359.2 mm, equivalent to approximately 6 million cubic meters of water. Climate projections indicated a concerning 12-18% reduction in mean annual precipitation by 2050, coupled with a 23% increase in rainfall intensity. These changes suggest a future scenario of more extreme hydrological events, with longer dry periods interrupted by intense precipitation episodes. The findings align with global observations of climate change impacts on semi-arid regions, highlighting the need for adaptive water management strategies that account for both increased flood risks and overall water scarcity.

4. Conclusion

This study demonstrates the significant impacts of climate change and land use modifications on hydrological processes in the Kahneh Joghatai watershed. The projected reduction in precipitation, combined with increased rainfall intensity, presents a dual challenge for water resource management in this semi-arid region. The spatial variability in runoff generation underscores the importance of sub-watershed-specific management approaches. These findings emphasize the urgent need for integrated water resource management strategies that incorporate climate adaptation measures, including improved water storage

capacity, enhanced vegetation cover, and flood preparedness systems. The research provides a scientific basis for policymakers to develop targeted interventions that address both current water management challenges and future climate scenarios.

5. Acknowledgment & Funding

The authors gratefully acknowledge the support provided by Hakim Sabzevari University for facilitating this research. Special thanks are extended to the technical staff who assisted with data collection and analysis.

6. Conflict of Interest

The authors declare no competing financial interests or personal relationships that could have influenced the work reported in this paper. All data were collected and analyzed objectively, without bias from any external parties.

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز کهنه جغتای با استفاده از

مدل HadGEM3-GC31-LL و روش شماره منحنی SCS

مصطفی دستورانی^۱✉، الهه اکبری^۲، ملیحه قادری^۳

- ۱- نویسنده مسئول، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. m.dastorani@hsu.ac.ir
- ۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. e.akbari@hsu.ac.ir
- ۳- کارشناس آموزش و فرهنگسازی محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست خراسان جنوبی، بیرجند، ایران. qaderim350@gmail.com

چکیده

هدف: این مطالعه به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی بر تولید رواناب در حوضه آبخیز کهنه، واقع در منطقه‌ای نیمه‌خشک در خراسان رضوی می‌پردازد.

روش و داده: در این تحقیق، از مدل شماره منحنی (SCS) برای تعیین میزان رواناب در حوضه آبخیز استفاده شد. برای تعیین زیرحوضه‌ها از ابزارهای آبخیز در نرم‌افزار ArcGIS بهره‌برداری گردید که در نهایت به شناسایی ۸ زیرحوضه اصلی منجر شد. برای ارزیابی رواناب، بارش ۷۲ میلی‌متری در مدت ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشترین میزان تولید رواناب در زیرحوضه K3 به میزان ۶۵/۵ میلی‌متر رخ داده است، در حالی که کمترین میزان رواناب با ۳۰/۵ میلی‌متر در زیرحوضه K7 مشاهده شد. در مقیاس کل حوضه آبخیز، مجموع رواناب تولید شده به ۳۵۹/۲ میلی‌متر رسید. هنگامی که رواناب بر اساس واحد سطح (به ازای هر میلیون متر مکعب) محاسبه شد، زیرحوضه‌های ۲ و ۸ بالاترین میزان تولید رواناب را نشان دادند. در مجموع، حجم کل رواناب تولید شده در سطح کل حوضه آبخیز به حدود ۶ میلیون متر مکعب بالغ گردید که این مقدار برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌منظور ارزیابی اثرات بالقوه تغییرات اقلیمی بر الگوهای رواناب در آینده، شبیه‌سازی بارش نیز در این مطالعه انجام پذیرفت. نتایج حاصل از این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی - به‌ویژه کاهش بارندگی تحت سناریوهای SSP245 و SSP5 - می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه رواناب در سطح حوضه آبخیز و زیرحوضه‌های آن گردد. این کاهش در تولید رواناب پیامدهای مهمی برای مدیریت منابع آب منطقه خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: مدل اقلیمی HadGEM3-GC31-LL برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در دو سناریو SSP245 (انتشار گازهای گلخانه‌ای متوسط) و SSP585 (انتشار گازهای گلخانه‌ای بالا) برای بازه زمانی ۲۰۲۴ تا ۲۰۵۰ به کار رفت. نتایج نشان داد که بارش در هر دو سناریو کاهش خواهد یافت و در SSP585 نوسانات بیشتر و احتمال وقوع بارش‌های شدیدتر بالاتر است.

نوآوری، کاربرد نتایج: این تحقیق بر اهمیت مدیریت پوشش گیاهی و اتخاذ سیاست‌های سازگار با تغییرات اقلیمی تأکید دارد. یافته‌ها به مدیریت منابع آبی و کاهش خطر سیلاب در مناطق نیمه‌خشک کمک می‌کند.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:	۱۶
دوره:	۶۱
صفحه:	۸۷-۹۹
تاریخ دریافت:	۱۴۰۳/۱۱/۱۲
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۴/۰۲/۲۱
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۴/۰۲/۲۱
تاریخ انتشار:	۱۴۰۴/۰۸/۱۰

کلیدواژه‌ها:

- رواناب
- خراسان
- CMIP6
- سناریو
- تخریب

نحوه ارجاع به این مقاله:

دستورانی، مصطفی، اکبری، الهه و قادری، ملیحه. (۱۴۰۴). تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی در حوضه آبخیز کهنه خراسان رضوی با استفاده از سنجش از دور در محیط GEE. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶(۶۱): ۸۷-۹۹.
doi: 10.22034/JARGS.2025.503695.1172

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسندگان حق نشر و حقوق انتشار کامل را حفظ می‌کنند.

۱- مقدمه

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن بیست و یکم شناخته شده است. این پدیده با تغییر در الگوهای بارندگی، دما، و دیگر عوامل اقلیمی می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر منابع آب و مدیریت آن‌ها داشته باشد (Roudier et al., 2014). یکی از اثرات مستقیم تغییر اقلیم، تغییر در رواناب سطحی حوزه‌های آبخیز است. رواناب به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژیکی، تحت تأثیر عواملی مانند شدت و مدت بارندگی، کاربری اراضی، و خصوصیات فیزیکی حوزه قرار می‌گیرد (Bronstert, 2004). با تغییر در الگوهای بارندگی و افزایش شدت وقوع بارش‌های شدید، احتمال افزایش رواناب و وقوع سیلاب‌های مخرب بیشتر می‌شود (Bronstert, 2003; Schreider et al., 2000).

ارزیابی رواناب یکی از گام‌های اساسی در مدیریت منابع آب و پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی رواناب وجود دارد که شامل مدل‌های تجربی، نیمه‌تجربی، و فیزیکی می‌شود (Yu et al., 2001). از جمله مدل‌های تجربی می‌توان به روش شماره منحنی (CN) اشاره کرد که با استفاده از داده‌های ساده‌ای مانند نوع خاک و کاربری اراضی، میزان رواناب را تخمین می‌زند (Suresh Babu et al., 2012). مدل‌های فیزیکی نیز به تحلیل دقیق‌تر فرآیندهای هیدرولوژیکی از جمله نفوذ، تبخیر و جریان سطحی می‌پردازند. ضرورت استفاده از این مدل‌ها به دلیل توانایی آن‌ها در ارائه اطلاعات قابل اعتماد برای مدیریت منابع آب، کاهش خسارات ناشی از سیلاب و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای در حوزه‌های آبخیز است. انتخاب مدل مناسب بسته به اهداف مطالعه، شرایط اقلیمی و داده‌های موجود انجام می‌شود.

روش شماره منحنی که توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) توسعه داده شده، یکی از روش‌های کارآمد برای برآورد رواناب حوزه‌های آبخیز است. این روش بر پایه پارامترهایی مانند نوع خاک، کاربری اراضی و شرایط رطوبتی خاک استوار است. روش CN به دلیل سادگی و دقت مناسب در برآورد رواناب به طور گسترده در مطالعات هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. این روش با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی قادر به تخمین میزان رواناب ناشی از بارندگی است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گیرد (Chung et al., 2010). استفاده از مدل ارزیابی بارش رواناب سابقه طولانی در ایران داشته و موارد متعددی دال بر عملکرد دقیق و مناسب این مدل وجود دارد. برای مثال حسینی و مهجوری نشان دادند که استفاده از مقادیر ثابت برای شماره منحنی (CN) و نسبت آب‌گیری اولیه (λ) در روش SCS-CN می‌تواند منجر به برآوردهای نادرست از حجم رواناب شود. در این مطالعه، پارامترهای CN و λ به‌عنوان پارامترهای کالیبراسیون در نظر گرفته شدند و حساسیت رواناب تخمینی نسبت به این پارامترها بررسی شد. با استفاده از رگرسیون خطی فازی (FLR) و داده‌های گسترده‌ای از رویدادهای طوفانی در چهار حوزه آبخیز ایران، روابط CN و λ با عمق بارندگی (P) استخراج شد. نتایج نشان داد که این روش دقت بیشتری در برآورد حجم رواناب دارد و ابزاری ساده برای ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی CN، λ و P ارائه می‌دهد (Hosseini et al., 2018). مددی و پیروزی در پژوهشی، تأثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب را با استفاده از مدل شماره منحنی (SCS-CN) در حوزه کهنه واقع در منطقه جغتای بررسی کردند. آن‌ها با تحلیل عوامل هیدرولوژیکی و اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی و الگوهای بارندگی را به‌عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار شناسایی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی باعث افزایش پتانسیل رواناب و وقوع سیلاب‌های ناگهانی در این حوزه شده‌اند. این مطالعه بر ضرورت مدیریت پایدار منابع آب برای کاهش اثرات تغییر اقلیم تأکید دارد (Madadi et al., 2019). محمودی و همکاران با استفاده از مدل شماره منحنی (SCS-CN) و فناوری‌های سنجش از دور و GIS، تأثیر تغییرات کاربری اراضی و اقلیم را بر رواناب در حوضه کشف‌رود طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات کاربری اراضی منجر به افزایش ۱۵/۲ درصدی در دبی اوج ۱۳/۷ درصدی در حجم سیلاب شده است. این مطالعه بر ضرورت مدیریت کاربری اراضی برای کاهش خطر سیلاب تأکید دارد (Mahmoodi et al., 2020). صابر و همکاران از مدل SCS-CN برای برآورد رواناب مستقیم بر اساس داده‌های بارش-جریان (P-Q) استفاده کردند. آن‌ها داده‌های ۳۱۲۰۰ رویداد از ۳۰۴ حوزه طبیعی در ایران (۱۹۸۷-۲۰۱۷) را تحلیل کرده و روابط P-CN و P- λ را با دقت بالایی استخراج کردند. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای این مدل در شرایط هیدرو-اقلیمی متنوع است. در این مطالعه، دقت بالای روابط استخراج شده (با میانگین R^2 برابر با ۰/۸۰ و ۰/۸۷) تأییدی بر قابلیت این مدل برای ارزیابی رواناب ناشی از تغییرات اقلیمی است (Saber et al., 2024).

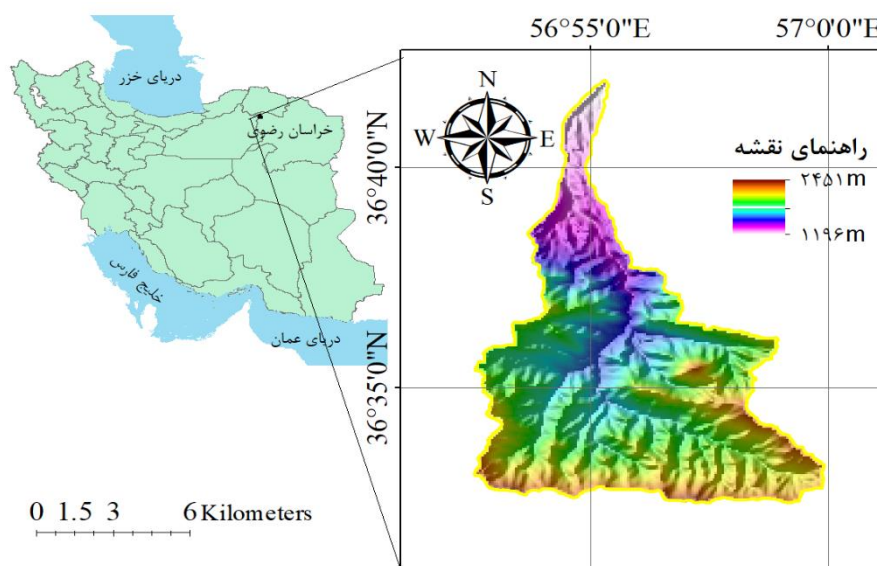
1. Curve Number (CN)
2. Soil Conservation Service (SCS)
3. Fuzzy Linear Regression (FLR)

در حوزه کهنه واقع در منطقه جغتای، تغییرات اقلیمی و تغییر در کاربری اراضی در سال‌های اخیر باعث تغییراتی در رفتار هیدرولوژیکی این حوزه شده است. این منطقه به دلیل قرارگیری در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، حساسیت بالایی به تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد. الگوهای بارندگی در این منطقه به شدت تحت تأثیر افزایش دما و کاهش بارش‌های منظم قرار گرفته است. در چنین شرایطی، تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر رواناب این حوزه با استفاده از روش CN می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت منابع آب و پیشگیری از خطرات سیلاب ارائه دهد. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه کهنه با استفاده از روش CN است. این مطالعه همچنین به بررسی اثرات مختلف تغییرات اقلیمی بر ساختار هیدرولوژیکی حوزه و ارائه راهکارهایی برای مدیریت منابع آب در این منطقه می‌پردازد. نتایج این تحقیق می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان در اتخاذ تصمیمات بهتر برای مدیریت منابع آب و کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم کمک کند.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کهنه با مساحتی در حدود ۸۵۹۱/۲ هکتار در حوزه آبریز کویر مرکزی و از نظر سیاسی در محدوده شهرستان جغتای واقع شده است. منطقه مطالعاتی در بازه طول جغرافیایی $33^{\circ} 52' 56''$ الی $53^{\circ} 59' 56''$ شرقی و $36^{\circ} 32' 53''$ الی $36^{\circ} 42' 06''$ شمالی واقع شده است. حوزه کهنه جغتای دارای متوسط بارندگی سالانه 308 میلی‌متر است. بیشترین بارندگی ماهانه در این حوزه مربوط به ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین به ترتیب با مقادیر $55/6$ ، $55/3$ و $54/9$ میلی‌متر است. در فصل تابستان، میزان بارندگی به حدود $5/5$ میلی‌متر کاهش می‌یابد. بارندگی سالانه در این حوزه بین 226 میلی‌متر در مناطق پست و 334 میلی‌متر در مناطق مرتفع متغیر است. میانگین دمای سالانه این منطقه $8/8$ درجه سانتی‌گراد است. متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه به ترتیب $2/8$ و $14/9$ درجه سانتی‌گراد است. حداقل مطلق دما در سال به $20/7$ - و حداکثر مطلق آن به $40/9$ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بیشترین تعداد روزهای یخبندان در ماه بهمن با 30 روز ثبت شده و مجموع روزهای یخبندان سالانه به 109 روز می‌رسد. بر اساس روش آمبرژه و دومارتن، اقلیم منطقه نیمه‌خشک است. همچنین، با استفاده از روش منحنی آمپروترمیک، دوره مرطوب این منطقه از اواخر مهر تا اوایل اردیبهشت محاسبه شده است. حوزه آبخیز کهنه جغتای بخشی از زون افیولیتی سبزوار محسوب می‌شود. این مجموعه افیولیتی^۱، یکی از نوارهای حلقوی ایران مرکزی است که از شمال تربت حیدریه تا سبزوار گسترش دارد. محدوده مطالعاتی و موقعیت آن نسبت به کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز کهنه در استان خراسان رضوی و ایران به همراه ناهمواری های منطقه مطالعاتی نمایش داده شده با نقشه رقمی ارتفاعی

1. Ophiolite

۲-۲- روش پژوهش

• مدل بارش رواناب SCS-CN

روش شماره منحنی یکی از روش‌های رایج برای تخمین رواناب سطحی در حوزه‌های آبخیز است. این روش توسط سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (NRCS)^۱ توسعه یافته و بر اساس رابطه بین بارش، رواناب و ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز کار می‌کند. شماره منحنی (CN) نشان‌دهنده قابلیت نفوذپذیری خاک و نوع پوشش زمین است. ارتفاع رواناب به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (۱)$$

که در آن Q ارتفاع رواناب به میلی‌متر، P میزان بارش به میلی‌متری (در اینجا از بارش میانگین سالانه استفاده شده است)، I_a به معنی میزان تلفات اولیه بارش است، S به میزان حداکثر ذخیره پتانسیل خاک (میلی‌متر) اطلاق می‌شود. پارامتر S به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۲)$$

که در آن CN همان شماره منحنی است. میزان تلفات اولیه نیز به شکل زیر محاسبه می‌گردد:

$$I_a = 0.2S \quad (۳)$$

شماره منحنی بر اساس نوع خاک، پوشش زمین، و شرایط هیدرولوژیک حوزه تعیین می‌شود. برای انواع خاک (شرایط هیدرولوژیکی) و پوشش زمین CN از جدول استاندارد به دست می‌آید. در این تحقیق از داده‌های پوشش متعلق به در این تحقیق، داده‌های پوشش زمین برای سال ۲۰۲۱، از داده‌های ESA WorldCover با وضوح ۱۰ متر استفاده گردید. از آنجا که در منطقه مطالعاتی روستا و فعالیت انسانی برقرار نیست این داده برای کل بازه تحقیقاتی معتبر در نظر گرفته شده و به‌عنوان یک پارامتر ثابت تلقی شد.

• مدل بارش رواناب SCS-CN

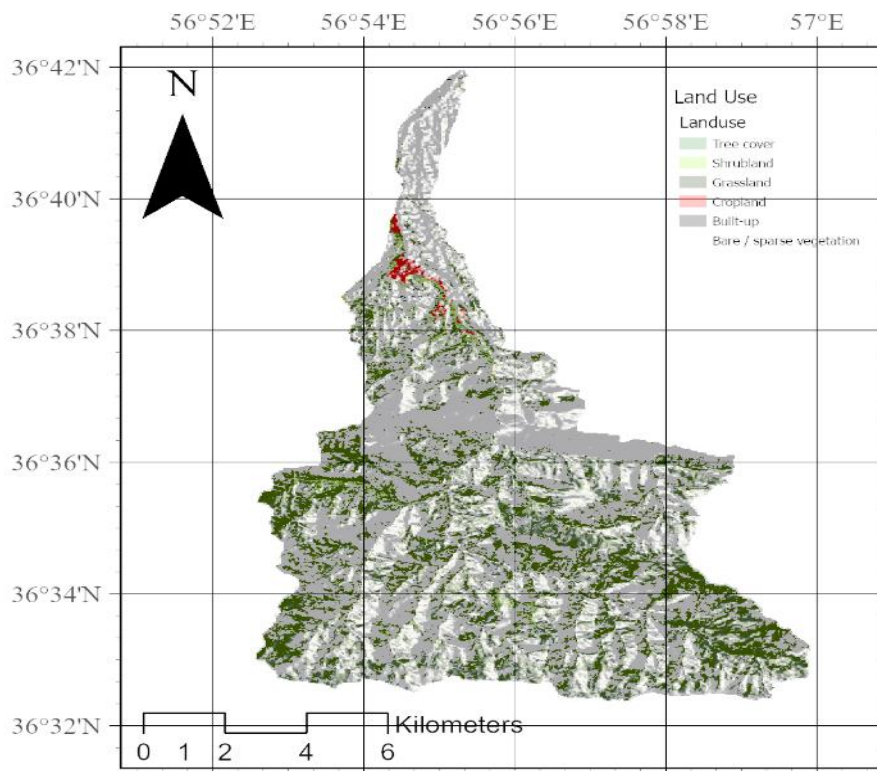
در تحقیق حاضر، از مدل اقلیمی HadGEM3-GC31-LL برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در دو سناریو SSP245 (انتشار گازهای گلخانه‌ای متوسط) و SSP585 (انتشار گازهای گلخانه‌ای بالا) در بازه زمانی ۲۰۲۴ تا ۲۰۵۰ استفاده شده است. داده‌های بارش از مجموعه داده‌های NASA GDDP CMIP6 در محیط Google Earth Engine استخراج گردیده‌اند. به‌منظور تبدیل مقادیر بارش که به واحد $\text{kg/m}^2/\text{s}$ ارائه شده‌اند به میلی‌متر در روز، مقادیر بارش در ۸۶۴۰۰ (تعداد ثانیه‌های یک روز) ضرب شده‌اند. سپس داده‌های بارش به‌صورت سالانه برای هر سال در بازه زمانی مورد نظر محاسبه و برای نقطه خاصی و به فرمت CSV برای تحلیل‌های بعدی صادر شده‌اند.

۳- یافته‌ها

۳-۱- توزیع کاربری در منطقه مطالعاتی

نقشه پوشش اراضی (کاربری) حوزه آبخیز کهنه به طور دقیق تهیه و تحلیل شده است (شکل ۲). بر اساس این نقشه، منطقه دارای انواع مختلفی از کاربری‌ها است. پوشش درختی با مساحت ۳۹ هکتار، بخش کوچکی از اراضی را تشکیل داده و عمدتاً در نزدیکی خروجی حوزه مشاهده می‌شود. اراضی درختچه‌ای با مساحت ۲۰۸ هکتار در مناطق خاصی از حوزه پراکنده‌اند و در کنار مراتع که ۲۶۴۳ هکتار از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، سهم قابل توجهی در کاربری‌های طبیعی دارند. اراضی مرتعی که بخش وسیعی از حوزه را پوشش می‌دهند، از نظر حفاظت خاک و کنترل رواناب نقش مهمی دارند. زمین‌های کشاورزی نیز با مساحت

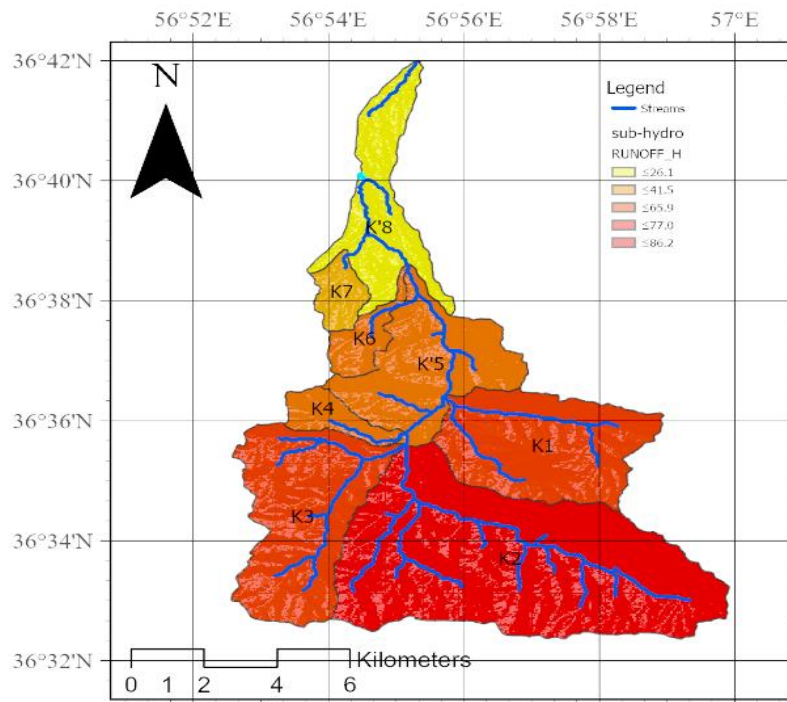
۵۰ هکتار در منطقه وجود دارند؛ اما این اراضی عمدتاً در مجاورت خروجی حوزه قرار گرفته و در سایر نقاط پراکندگی ندارند. این زمین‌ها به دلیل موقعیت جغرافیایی خود و نزدیکی به منابع آبی، برای کشاورزی مناسب تشخیص داده شده‌اند. بخش عمده‌ای از اراضی منطقه را زمین‌های بایر تشکیل می‌دهند که مساحت آن‌ها به ۵۷۷۴ هکتار می‌رسد. این زمین‌ها عموماً در مناطق با شیب بالا یا خاک نامناسب برای کشت قرار دارند و نقش کمی در تولید رواناب یا نفوذپذیری ایفا می‌کنند. با توجه به نبود سکونتگاه‌های مهم در منطقه و ثابت بودن وضعیت کاربری اراضی در دوره تحقیق، پارامتر پوشش اراضی در طول تحقیق به‌عنوان یک عامل ثابت در نظر گرفته شد. این تحلیل نشان می‌دهد که کاربری اراضی تأثیر مستقیمی بر رفتار هیدرولوژیکی منطقه داشته و تغییرات احتمالی آن در آینده می‌تواند بر تولید رواناب و مدیریت منابع آب اثرگذار باشد.



شکل ۲. نقشه توزیع پوشش زمین در منطقه مطالعاتی که بر روی نقشه رقومی ارتفاعی همپوشانی شده است

زیرحوزه‌های منطقه در شکل ۳ نمایش داده شده است. این منطقه دارای ۸ زیرحوزه کوچک‌تر بوده که توزیع مساحت آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات ارائه شده در این جدول، K2 و K8 بزرگ‌ترین زیرحوزه‌های منطقه با مساحت‌های به ترتیب ۳۲ و ۲۱ کیلومتر مربع هستند. در منطقه مطالعه شده، توزیع زیرحوزه‌های آبخیز به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گرفته است. زیرحوزه K1 با مساحت ۱۳/۱۵ کیلومتر مربع و محیط ۱۶/۵۶ کیلومتر، دارای ارتفاع حداقل ۱۵۵۴ متر و حداکثر ۲۳۹۵ متر است و طول آبراهه اصلی آن ۶/۶ کیلومتر است. ضریب گراویلیوس برای این زیرحوزه ۱/۲۸ و زمان تمرکز آن ۰/۶۳ ساعت محاسبه شده است. ضریب گراویلیوس یک شاخص هندسی است که نسبت محیط حوزه به محیط دایره‌ای با همان مساحت را نشان می‌دهد. این ضریب هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، شکل حوزه به دایره نزدیک‌تر است و هرچه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، حوزه کشیده‌تر و مستطیل شکل‌تر است. زمان تمرکز به مدت‌زمانی گفته می‌شود که طول می‌کشد تا آب از دورترین نقطه حوزه به خروجی آن برسد. این زمان به عوامل مختلفی مانند شیب، طول آبراهه، پوشش گیاهی، و نوع خاک بستگی دارد و نقش مهمی در ارزیابی رفتار هیدرولوژیکی حوزه دارد. بزرگ‌ترین زیرحوزه، K2، با مساحت ۳۲/۸۴ کیلومتر مربع و محیط ۲۷/۰۳ کیلومتر، ارتفاع حداقل ۱۶۱۹ متر و حداکثر ۲۴۶۲ متر دارد و طول آبراهه اصلی آن ۱۱/۲ کیلومتر است. ضریب گراویلیوس این زیرحوزه ۱/۳۲ و زمان تمرکز آن ۱/۱۵ ساعت است. زیرحوزه K3 با مساحت ۱۴/۲ کیلومتر مربع، ارتفاع متوسط ۱۹۴۲ متر و طول آبراهه اصلی ۷/۶ کیلومتر، دارای زمان تمرکز ۰/۷۴ ساعت است. زیرحوزه K4 کوچک‌ترین زیرحوزه منطقه با مساحت ۲/۲ کیلومتر مربع است که ارتفاع آن از ۱۵۹۹ متر تا ۲۰۴۱

متر متغیر است و ضریب گراویلیوس آن ۱/۴۵ است. زمان تمرکز این زیرحوضه ۰/۴ ساعت تخمین زده شده است. زیرحوضه K5 با مساحت ۱۰/۸۵ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۱۶۷۰ متر، طول آبراهه اصلی ۸/۷ کیلومتر و زمان تمرکز ۰/۹۵ ساعت مشخص شده است. زیرحوضه K6 با مساحت ۲/۲۶ کیلومتر مربع، ارتفاع حداقل ۱۳۸۸ متر و حداکثر ۲۰۴۸ متر، دارای شیب آبراهه اصلی ۹/۲۳ درصد و زمان تمرکز ۰/۴۳ ساعت است. زیرحوضه K7، با مساحت ۲ کیلومتر مربع و محیط ۶/۶ کیلومتر، دارای ارتفاع متوسط ۱۵۲۰ متر و زمان تمرکز ۰/۲۶ ساعت است. زیرحوضه K8 با مساحت ۲۱ کیلومتر مربع، ارتفاع حداقل ۱۱۹۶ متر و حداکثر ۱۶۰۱ متر، بیشترین طول آبراهه اصلی (۱۲/۲ کیلومتر) و بیشترین ضریب گراویلیوس (۲/۳) را داراست. زمان تمرکز این زیرحوضه نیز ۱.۷ ساعت است.



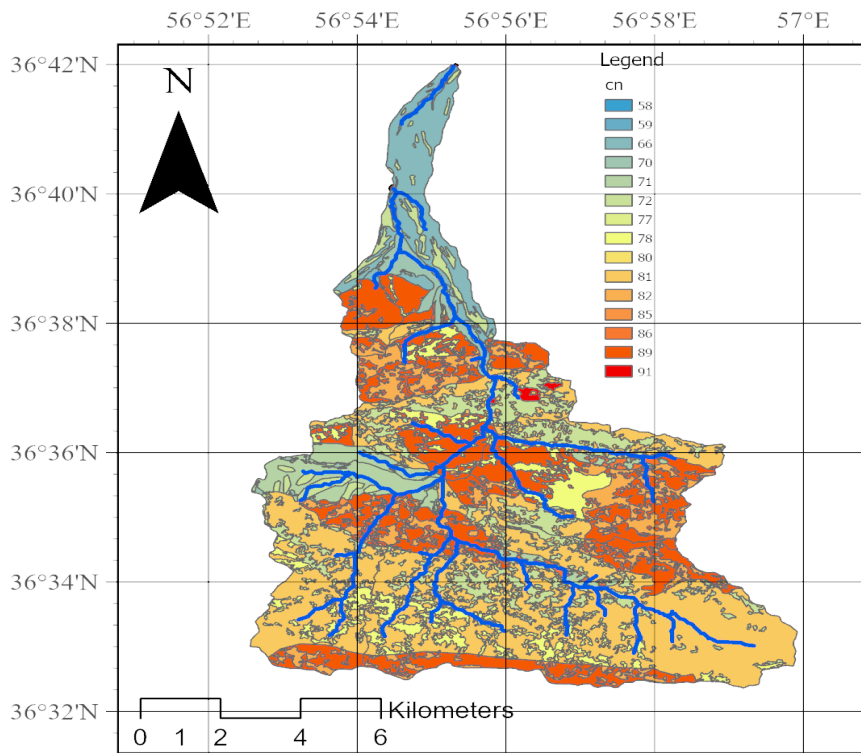
شکل ۳. نقشه زیر حوضه‌های آبخیز منطقه مطالعاتی به همراه نقشه آبراهه های آن

۳-۲- رواناب تولیدی در حوضه آبخیز

میزان رواناب تولیدی در زیرحوضه‌های مختلف منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. بالاترین شماره منحنی در زیرحوضه K7 به میزان ۸۶ و کمترین در زیر حوضه K4 به میزان ۷۶ بوده است. از نظر زمان تمرکز بالاترین زمان دوباره در زیر حوضه K2 به میزان ۶۹/۲ دقیق و کمترین در زیر حوضه K4 به میزان ۲۴/۲ دقیقه بوده و مجموع زمان تمرکز حوضه یعنی از دورترین نقطه حوضه تا خروجی آن نزدیک به ۱۵۲/۸ دقیقه بوده است. برای این محاسبات از بارش ۲۴ ساعته ایستگاه محمدآباد به میزان ۷۲ میلی‌متر استفاده شده است. بر همین اساس بیشترین رواناب تولیدی در حوضه K3 به میزان ۶۵/۵ میلی‌متری و کمترین ارتفاع در زیر حوضه K7 به میزان ۳۰/۵ میلی‌متر بوده است. همچنین مجموع رواناب تولیدی در حوضه ۳۵۹/۲ میلی‌متر بوده است. از نظر میزان تولید رواناب در واحد میلیون متر مکعب، بیشترین تولید رواناب بر اساس مساحت در زیر حوضه های ۲ و ۸ رخ داده و مجموع رواناب تولیدی حوضه نزدیک به ۶ میلیون متر مکعب بوده است. میزان رواناب تولیدی سالانه با متوسط بارش ۳۰۸ میلی‌متری محاسبه شد.

جدول ۱. زیر حوزه‌های منطقه مطالعاتی و مساحت هر کدام از آنها

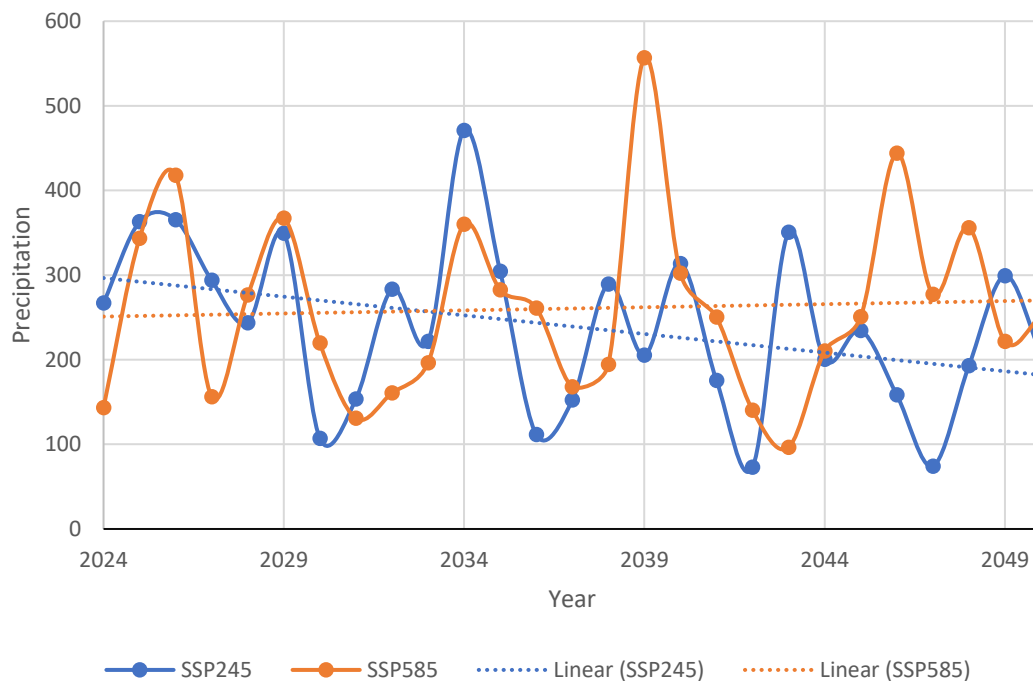
زیرحوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	متوسط شماره منحنی	زمان تمرکز (دقیقه)	ارتفاع رواناب تولیدی (میلی متر)	حجم رواناب تولیدی (میلیون متر مکعب)	رواناب تولیدی سالانه (میلیون متر مکعب)
K1	۱۳	۸۲	۳۷/۵	۵۵/۸	۰/۷۳۴	۳/۰۸
K2	۳۲	۸۱	۶۹/۲	۶۳/۳	۲/۰۸۰	۸/۹۴
K3	۱۴	۷۹	۴۴/۶	۶۵/۵	۰/۸۰۲	۳/۴۴
K4	۲	۷۶	۲۴/۲	۴۸/۴	۰/۱۰۹	۰/۴۶
K6	۲	۸۳	۲۵/۶	۴۲/۵	۰/۰۹۶	۰/۴۱
K7	۲	۸۶	۱۵/۹	۳۰/۵	۰/۰۶۱	۰/۲۶
K8	۲۱	۸۱	۶۵/۴	۵۳/۲	۲/۰۴۰	۸/۷۷
کل	۸۶	-	۱۵۲/۸	۳۵۹/۲	۵/۹۹۲	۲۵/۳۶



شکل ۴. نقشه شماره منحنی منطقه مطالعاتی

۳-۳- تغییرات اقلیمی در منطقه

تغییرات بارش در منطقه مطالعاتی با استفاده از مدل HadGEM و در دو سناریو SSP245 و SSP585 در شکل ۵ نمایش داده شده است. بر این اساس نتایج به دست آمده بارش در هر دو سناریو روند کاهشی خواهد داشت. به شکلی که در سناریو SSP245 و SSP585 نسبت به دوره حاضر ۰/۷۷ و ۰/۸۴ خواهد بود. با این وجود نوسانات اقلیمی و بارش در سناریو حداکثری SSP585 بیشتر شده و سال‌های بیشتری دارای بارش‌های حداکثری خواهد بود که می‌تواند احتمال سیلاب‌های شدیدتر با دوره بازگشت‌های بالاتر را فراهم کند. به صورت متوسط ۱۹/۷ و ۲۱/۵ میلیون متر مکعب در برابر ۲۵/۴ میلیون متر مکعب حال حاضر در دو سناریو SSP245 و SSP585 رخ خواهد داد.



شکل ۵. روند تغییرات بارش در منطقه مطالعاتی با استفاده از مدل HadGEM و در دو سناریو SSP245 و SSP585

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه در توزیع کاربری اراضی، تولید رواناب و تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آبی منطقه است. توزیع کاربری اراضی در منطقه نشان می‌دهد که بیشتر اراضی به پوشش‌های مرتعی (۲۶۴۳ هکتار) و زمین‌های بایر (۵۷۷۴ هکتار) اختصاص دارند، در حالی که اراضی کشاورزی و پوشش درختی به طور محدود در نزدیکی خروجی حوزه وجود دارند. این توزیع نشان می‌دهد که تأثیرات تغییرات اقلیمی می‌تواند بیشتر در مناطق مرتعی و بایر که مساحت بیشتری دارند، نمایان شود. همچنین، ثابت بودن پارامتر پوشش اراضی در طول تحقیق، شرایط را برای مدل‌سازی و تحلیل تغییرات در سایر متغیرها، از جمله بارش و رواناب، مناسب‌تر کرده است. تحقیقات بسیاری نشان داده‌اند که تغییرات کاربری اراضی، به‌ویژه کاهش پوشش گیاهی و افزایش زمین‌های بایر، می‌تواند منجر به افزایش رواناب و کاهش نفوذ آب به خاک شود. مولینا و همکاران نشان دادند که تبدیل اراضی مرتعی به زمین‌های بایر یا کشاورزی باعث افزایش رواناب سطحی و کاهش ذخیره آب زیرزمینی می‌شود. بر اساس یافته‌های این محققین، منطقه‌های کوهستانی استوایی تحت تأثیر تغییرات سریع در کاربری/پوشش اراضی قرار دارند که می‌تواند تهدیدی برای عملکردهای هیدرولوژیکی آنها باشد (Molina et al., 2007). در بخش تولید رواناب، بالاترین رواناب تولیدی در زیرحوزه K3 به میزان ۶۵/۵ میلی‌متر و کمترین در زیرحوزه K7 به میزان ۳۰/۵ میلی‌متر مشاهده شده است. این نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی و توپوگرافی هر زیرحوزه نقش مهمی در میزان تولید رواناب دارد. زمان تمرکز نیز به وضوح تفاوت‌های قابل توجهی بین زیرحوزه‌ها نشان می‌دهد، که می‌تواند تأثیرات مستقیم بر مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های سیلاب در منطقه داشته باشد. به طور خاص، زمان تمرکز طولانی‌تر در زیرحوزه K2 می‌تواند به این معنا باشد که سیلاب‌ها دیرتر به نقطه خروجی حوزه می‌رسند، که ممکن است بر تحلیل سیلاب‌های آبی و تدابیر احتیاطی تأثیر بگذارد.

در بخش تغییرات اقلیمی، نتایج مدل HadGEM در دو سناریو SSP245 و SSP585 نشان می‌دهد که در هر دو سناریو، بارش‌ها به طور کلی روند کاهشی دارند، که می‌تواند تأثیرات منفی بر منابع آبی منطقه داشته باشد. این پیش‌بینی با تحقیقات بلک و همکاران (Black et al., 2010) و زیتیس و همکاران (Zittis et al., 2022) در خصوص کاهش بارش و رواناب در منطقه خاور میانه همخوانی دارد. کاهش بارش در این دو سناریو به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۸۴ میلی‌متر نسبت به دوره حاضر پیش‌بینی شده است، که به وضوح نشان‌دهنده کاهش دسترسی به منابع آبی در آینده است. نوسانات بیشتر بارش در سناریوی SSP585، به ویژه در سال‌های با

بارش‌های حداکثری، می‌تواند احتمال وقوع سیلاب‌های شدیدتر را افزایش دهد. این امر به ویژه برای زیرحوزه‌هایی که در آن‌ها تولید رواناب بالاتر است، مانند زیرحوزه‌های K2 و K8، مهم است.

نتایج محاسبات رواناب با متوسط بارش سالانه ۳۰۸ میلی‌متر، نشان می‌دهد که مجموع رواناب تولیدی در حوزه در سناریوهای SSP245 و SSP585 به ترتیب ۱۹/۷ و ۲۱/۵ میلیون مترمکعب خواهد بود، که نسبت به مجموع رواناب تولیدی در حال حاضر (۲۵ میلیون مترمکعب) کاهش قابل توجهی دارد. این تغییرات می‌تواند به معنی کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی آب و افزایش خطر کمبود منابع آبی در سال‌های آینده باشد. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده لزوم اتخاذ تدابیر مدیریتی مناسب در زمینه مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی برای مقابله با تأثیرات تغییرات اقلیمی به‌ویژه در مناطق با تولید رواناب بالا و پوشش‌های زمین حساس به تغییرات اقلیمی است. تحقیقات بسیاری بر لزوم تطبیق استراتژی‌های مدیریت منابع آب با تغییرات اقلیمی تأکید کرده‌اند. برای نمونه می‌توان به تحقیقات زیتیس و همکاران (Zittis et al., 2022) و ولف (Wolf, 2023) اشاره کرد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی، به‌ویژه کاهش بارش‌ها در دو سناریو SSP245 و SSP585، می‌تواند منجر به کاهش رواناب تولیدی در سطح حوزه و زیرحوزه‌های مختلف شود. این کاهش بارش و رواناب، به‌ویژه در سناریو SSP585 که نوسانات بیشتری را نشان می‌دهد، می‌تواند خطر وقوع سیلاب‌های شدیدتر و بحران‌های آبی را افزایش دهد. به همین دلیل، ضروری است که سیاست‌های مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های مربوط به سیلاب‌ها و منابع آبی با توجه به تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی‌های مدل‌های مختلف اصلاح شوند. با این حال، برخی محدودیت‌ها و کمبودها در این تحقیق وجود دارند که ممکن است بر دقت نتایج تأثیر بگذارند. اولاً، استفاده از تنها مدل HadGEM برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی ممکن است نتایج متفاوتی در مقایسه با مدل‌های دیگر به همراه داشته باشد. ترکیب مدل‌های مختلف می‌تواند دقت بیشتری را به ارمغان آورد. دوم، داده‌های بارش استفاده شده در تحقیق به طور خاص از ایستگاه محمدآباد به دست آمده‌اند که پوشش مکانی محدودی دارد. استفاده از داده‌های ایستگاه‌های مختلف و مدل‌های بارش جهانی می‌تواند تنوع بیشتری به نتایج بیفزاید. سوم، ثابت در نظر گرفتن پارامترهای پوشش اراضی در طول تحقیق می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. تغییرات احتمالی در کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌تواند بر تولید رواناب تأثیرگذار باشد. برای بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و درک بهتر تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آبی، تحقیقات آینده باید شامل استفاده از مجموعه داده‌های بیشتر و متنوع‌تر برای بارش، دما و کاربری اراضی از ایستگاه‌ها و مدل‌های مختلف باشد. همچنین، استفاده از مدل‌های مختلف اقلیمی مانند CMIP6 با سناریوهای مختلف می‌تواند کمک کند تا تأثیرات تغییرات اقلیمی به شکل دقیق‌تری بررسی شوند. علاوه بر این، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان یک پارامتر متغیر در طول زمان، به‌ویژه در مناطق با تغییرات سریع در فعالیت‌های کشاورزی یا شهری، می‌تواند تأثیرات بیشتری را در تحلیل‌ها فراهم کند. همچنین، بررسی دقیق‌تر و مدل‌سازی پیشرفته‌تر برای تحلیل سیلاب‌های آبی و بهبود استراتژی‌های مدیریت سیلاب‌ها به‌ویژه در زیرحوزه‌هایی با رواناب بالاتر و خطر سیلاب بیشتر، ضروری است. این تحقیقات می‌توانند به مسئولین و مدیران منابع آب کمک کنند تا راهکارهای مناسب‌تری برای مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش خطرات ناشی از آن ارائه دهند.

۵- سپاس‌گزاری

این مقاله با حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه حکیم سبزواری انجام شده است و نویسندگان مایلند از دانشگاه حکیم سبزواری، سردبیر محترم و داوران گرامی که به بهبود کار کمک شایانی نمودند قدردانی نمایند.

۶- فهرست منابع

- محمودی، مهدی، هنرمند، مهدی، ناصری، فرزین و محمدی، صدیقه. (۱۳۹۹). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل رودخانه کشف‌رود با تحلیل نتایج روش SCS-CN. آب و خاک، ۳۴ (۱)، ۵۴-۴۳.
- مددی، عقیل، پیروزی، الناز و آقایی، لیلیا. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC (مطالعه‌ی موردی: حوضه ی خیاو چای مشکین شهر). هیدروژئومورفولوژی، ۱۷ (۱۷)، ۱۰۲-۸۵.

References

- Black, E., Brayshaw, D. J., & Rambeau, C. M. (2010). Past, present and future precipitation in the Middle East: insights from models and observations. *Philosophical Transactions of the Royal Society A:*

- Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1931), 5173–5184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0199>
- Bronstert, A. (2003). Floods and climate change: interactions and impacts. *Risk Analysis: An International Journal*, 23(3), 545–557. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1539-6924.00335>
- Bronstert, A. (2004). Rainfall-runoff modelling for assessing impacts of climate and land-use change. *Hydrological Processes*, 18(3), 567–570.
- Chung, W., Wang, I., & Wang, R. (2010). Theory-based SCS-CN method and its applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(12), 1045–1058. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000281](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000281)
- Hosseini, S. M., & Mahjouri, N. (2018). Sensitivity and fuzzy uncertainty analyses in the determination of SCS-CN parameters from rainfall–runoff data. *Hydrological sciences journal*, 63(3), 457–473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1437272>
- Madadi, A., Pirouzi, E., & Aghayari, L. (2018). Flood Hazard Zoning Using the Integration of SCS-CN and WLC Methods (Case Study: Khiav Chai Watershed of Meshkin Shahr). *Hydrogeomorphology*, 17(17), 85–102. **[In Persian]**
- Mahmoudi, M., Honarmand, M., Naseri, F., & Mohammadi, S. (2020). Investigating the Effect of Land Use Change on the Flood Hydrograph of Kashafrud River by Analyzing the Results of the SCS-CN Method. *Water and Soil*, 34(1), 43–54. **[In Persian]**
- Molina, A., Govers, G., Vanacker, V., Poesen, J., Zeelmaekers, E., & Cisneros, F. (2007). Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. *Catena*, 71(2), 357–370. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.04.002>
- Roudier, P., Ducharne, A., & Feyen, L. (2014). Climate change impacts on runoff in West Africa: a review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(7), 2789–2801. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-18-2789-2014>
- Saber, M., Parizi, E., Nikraftar, Z., Khojeh, S., Mbuva, R., Rabiei-Dastjerdi, H., & Hosseini, S. M. (2024). Enhancing Estimation of Catchment Direct Runoff Using Inverse Modelling of Scs-Cn: Case Studies Across Iran. *Available at SSRN 5031053*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5031053>
- Schreider, S. Y., Smith, D., & Jakeman, A. (2000). Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change*, 47, 91–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1005621523177>
- Suresh Babu, P., & Mishra, S. (2012). Improved SCS-CN–inspired model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(11), 1164–1172. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000435](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000435)
- Wolf, A. T. (2023). *Middle East water conflicts and directions for conflict resolution* (Vol. 12). Intl Food Policy Res Inst.
- Yu, P.-S., Yang, T.-C., & Chen, S.-J. (2001). Comparison of uncertainty analysis methods for a distributed rainfall–runoff model. *Journal of Hydrology*, 244(1-2), 43–59. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00328-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00328-6)
- Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinicolaou, P., & Howari, F. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of geophysics*, 60(3), e2021RG000762. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2021RG000762>