

Simulation of the precipitation-runoff process using the HEC-HMS model and the use of geographic information systems (Case study: Nooreh Basin, Kurdistan Province)

Sina Peikari¹ , Mohsen Isari^{2✉} , Mohanna Tajnesaie³ , Seyed Dana Parizadi⁴ ,
Jamil Bahrami⁵

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan Iran. Email: sinapkri@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran. Email: yasaminnoo4@gmail.com
3. Department of Civil Engineering, Bij.C., Islamic Azad University, Bijar, Iran. Email: mohanna.tajnesaie@iau.ac.ir
4. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran. Email: dana.parizadi@uok.ac.ir
5. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran. Email: jbahrami@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received

2025-09-21

Received in revised form

2025-11-14

Accepted

2025-12-20

Available online

2025-12-24

Keywords:

Rainfall-runoff model,
HEC-HMS,
Dikken method,
Nooreh Basin

ABSTRACT

Flooding is one of the most destructive natural disasters, causing significant damage to infrastructure, the environment, and human communities each year. The dry and semi-arid climate of Iran, along with the uneven distribution of precipitation, exacerbates the occurrence of flood flows, making optimal management of this phenomenon essentials. In this study, the HEC-HMS model was employed to simulate the rainfall-runoff process in the Noreh Basin (Koh-e-Abidar, Sanandaj). Precipitation data and basin characteristics were processed using a Geographic Information System (GIS) and used as inputs to the model. The results showed that combining the HEC-HMS model with GIS increased the accuracy of estimating hydrological parameters, such as the curve number (CN) and time of concentration, while reducing the modeling time. Peak discharge estimates for different return periods (2 to 100 years) indicated that the maximum discharge produced in this basin ranged from 2.63 to 19.93 cubic meters per second. Furthermore, comparison of the HEC-HMS model results with the empirical Dikken method showed that the HEC-HMS model is more accurate. Finally, the analysis of the capacity of existing hydraulic structures in the region revealed that some of these structures are not effective when confronted with the designed peak discharges. This study can provide valuable information for flood risk management and the design of water structures in the Noreh Basin, and contribute to improving hydrological planning in similar areas.

Cite this article: Peikari, Sina., Isari, Mohsen., Tajnesaie, Mohanna., Parizadi, Seyed Dana., & Bahrami, Jamil. (2025). Simulation of the precipitation-runoff process using the HEC-HMS model and the use of geographic information systems (Case study: Nooreh Basin, Kurdistan Province). *Advanced Modeling in Civil Engineering*, 2(2), 101-114.

DOI: 10.22126/amcen.2025.13253.1054



© The Author(s).

DOI: 10.22126/amcen.2025.13253.1054

Publisher: Razi University

Introduction

Flooding poses significant risks to infrastructure and communities in dry and semi-arid regions such as western Iran. Accurate estimation of peak discharge is essential for managing flood hazards and designing reliable hydraulic structures. This study aims to simulate the rainfall–runoff process in the Noreh Basin (Sanandaj, Kurdistan Province) using the HEC-HMS model supported by GIS-based watershed data. The research further evaluates model-derived peak discharges for different return periods and compares these results with those obtained from the empirical Dikken method. Additionally, the hydraulic capacity of existing culverts in the basin is assessed to determine their adequacy under flood conditions.

Method

Geospatial information, including land use, soil characteristics, topographic data, and precipitation inputs, was processed using a Geographic Information System (GIS) to derive hydrological parameters such as curve number (CN) and time of concentration. These parameters were incorporated into the HEC-HMS model to simulate runoff for return periods of 2 to 100 years. Peak discharge values were also independently estimated using the Dikken method for comparison. Furthermore, Manning’s equation was used to evaluate the flow-conveyance capacity of two culverts located near the basin outlet.

Results

Integrating GIS with the HEC-HMS model enhanced the accuracy of hydrological parameter estimation and reduced overall modeling time. Simulated peak discharges ranged from 2.63 m³/s for the 2-year return period to 19.93 m³/s for the 100-year return period. Comparison with the Dikken method revealed that HEC-HMS predicts higher discharges, primarily due to its consideration of additional physical factors such as infiltration, slope, and land cover. Analysis of structural capacity showed that the older culvert in the basin is unable to safely convey flows greater than a 50-year return period, while the newer culvert can accommodate peak discharges up to a 100-year return period.

Conclusions

The combination of GIS-based watershed analysis and the HEC-HMS rainfall–runoff model provides reliable estimates of peak flow in the Noreh Basin. The results underscore the importance of incorporating detailed physical characteristics in flood modeling and demonstrate that empirical methods alone may underestimate peak discharge. The study concludes that some existing hydraulic structures, particularly older culverts, are inadequate for large flood events, emphasizing the need for infrastructure upgrades to reduce flood risk in the region.

Author Contributions

author participated in writing and revising the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS و به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه نوره، استان کردستان)

سینا پیکری^۱، محسن ایثاری^۲✉، مهنا تاج نسایی^۳، سید دانا پریزادی^۴، جمیل بهرامی^۵

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران. رایانامه: sinapkri@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران. رایانامه: m.isari@uok.ac.ir

۳. گروه مهندسی عمران، واحد بیجار، دانشگاه آزاد اسلامی، بیجار، ایران. رایانامه: mohanna.tajnesaie@iau.ac.ir

۴. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران. رایانامه: dana.parizadi@uok.ac.ir

۵. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران. رایانامه: jbahrami@uok.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۶/۳۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۹/۲۹

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۱۰/۰۳

کلیدواژه‌ها:

مدل بارش-رواناب،

HEC-HMS.

دیکن،

حوضه نوره

سیل یکی از مخرب ترین بلایای طبیعی است که هر ساله خسارات قابل توجهی به زیرساخت ها، محیط زیست و جوامع انسانی وارد می کند. اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، به همراه پراکنش نامناسب بارش، وقوع جریان های سیلابی را تشدید کرده و مدیریت بهینه این پدیده را ضروری ساخته است. جهت بررسی رابطه بارش-رواناب، به دلیل محدودیت در آمار موجود و در دسترس، می بایست مدلی انتخاب گردد که بتواند رواناب را با کمترین پارامترها و با دقت قابل قبولی شبیه سازی نماید. در این پژوهش، با هدف شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب در حوضه نوره (کوه آبیدر سنندج)، مدل HEC-HMS به کار گرفته شده است. داده های مربوط به بارش و خصوصیات حوضه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش و به عنوان ورودی مدل استفاده شده اند. نتایج نشان داد که ترکیب مدل HEC-HMS و GIS دقت برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی، مانند شماره منحنی (CN) و زمان تاخیر، را افزایش داده و زمان مدلسازی را کاهش داده است. برآورد دبی اوج لحظه ای برای دوره های بازگشت مختلف (۲ الی ۱۰۰ سال) نشان می دهد که مقدار دبی حداکثری تولید شده در این حوضه بین ۲/۶۳ تا ۱۹/۹۳ مترمکعب بر ثانیه متغیر است. همچنین، نتایج مدل HEC-HMS با روش تجربی دیکن مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر محاسباتی به روش دیکن از مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل HEC-HMS کمتر می باشد. دلیل این امر آن است که در روش دیکن تاثیر مساحت به تنهایی در نظر گرفته می شود اما در مدل بارش-رواناب مورد استفاده تاثیر سایر عوامل فیزیکی نیز در تولید رواناب در نظر گرفته می شوند در نهایت، تحلیل ظرفیت عبور سازه های هیدرولیکی موجود در منطقه نشان داد که برخی از این سازه ها در مواجهه با دبی های حداکثری طراحی شده، کارایی لازم را ندارند.

استناد: پیکری، سینا؛ ایثاری، محسن؛ تاج نسایی، مهنا؛ پریزادی، سید دانا؛ بهرامی، جمیل. (۱۴۰۴). شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS و به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه نوره، استان کردستان). *مجله مدل سازی پیشرفته در مهندسی عمران*، ۲(۲)، ۱۰۱-۱۱۴. DOI: 10.22126/amcen.2025.13253.1054



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی.

۱. مقدمه

سیلاب یکی از بلایای طبیعی است که هر ساله خسارات جانی و مالی قابل توجهی را در مناطق مختلف جهان به همراه دارد. تحلیل و برآورد دقیق حجم و زمان وقوع سیلاب، نقش مهمی در کاهش اثرات آن دارد اما تعیین زمان و مکان دقیق وقوع سیلاب، همچنان چالشی اساسی در مهندسی منابع آب و هیدرولوژی است. فرآیند رواناب و رابطه بین بارش و رواناب از بنیادی‌ترین موضوعات در هیدرولوژی آب‌های سطحی به شمار می‌رود که در مطالعات مهندسی برای طراحی سازه‌ها، مدیریت سیلاب و برنامه‌ریزی منابع آب مورد توجه قرار می‌گیرد [۷].

محدوده‌ی نوره از توابع بخش مرکزی شهرستان سنندج در استان کردستان، به دلیل تصرفات صورت گرفته در بستر رودخانه، تخریب منابع طبیعی توسط معدن، تبدیل زمین‌های کشاورزی به واحدهای صنعتی-گردشگری و احداث خانه باغ‌های ویلایی و مسکونی و همچنین تجمع رسوبات حمل شده توسط رواناب در محل پل‌های موجود، همواره با خطر زیاد بروز سیلاب مواجه است. بنابراین، برآورد رواناب حداکثر عبوری در این محدوده ضروری است تا بتوان از نتایج آن در جهت کاهش خسارات و بهبود مدیریت سیلاب بهره برد. روش‌های مختلفی برای برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز با ویژگی‌ها و پارامترهای ورودی خاص خود، وجود دارد که برخی از آن‌ها شامل فرمول‌های ریاضی ساده مانند رابطه استدلالی (برای حوضه‌های کوچک)، روابط مدت-مساحت، روش دیکن، و روابط توسعه‌یافته مانند روابط ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا و غیره می‌باشند. این روش‌های سنتی با وجود ارائه نتایج اولیه، به دلیل عدم در نظر گرفتن تمامی پارامترهای تأثیرگذار بر رواناب و محدودیت دقت، برای مطالعات دقیق مناسب نیستند. از اینرو، استفاده از مدل‌های کامپیوتری هیدرولوژیکی سبب افزایش دقت برآوردها و کاهش هزینه و زمان تحلیل شده است.

در این پژوهش، از مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب HEC-HMS که یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی قدرتمند و پرکاربرد در مطالعات جهانی برای شبیه‌سازی پاسخ حوضه در برابر بارش می‌باشد، بهره گرفته شده است. کاربردهای HEC-HMS در شبیه‌سازی سیلاب، برآورد دبی پیک و رواناب کل حتی در حوضه‌های فاقد آمار نیز

گزارش شده‌اند، به‌ویژه زمانی که با سامانه اطلاعات جغرافیایی و داده‌های ماهواره‌ای یکپارچه شود [۱۱].

جهت افزایش دقت شبیه‌سازی در این مطالعه، از سامانه اطلاعات جغرافیایی برای برآورد ویژگی‌های فیزیکی حوضه نظیر زمان تأخیر، شماره منحنی، مساحت زیرحوضه‌ها و همچنین تقسیم‌بندی محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. HEC-HMS با استفاده از داده‌های خاک، پوشش گیاهی و ویژگی‌های توپوگرافی منطقه، پارامترهای مورد نیاز برای توصیف فرآیندهای هیدرولوژیکی را برآورد می‌کند. سپس، با وارد کردن داده‌های بارش و مشخصات حوضه، هیدروگراف خروجی و دبی‌های حداکثر رواناب برای دوره‌های بازگشت مختلف تحلیل می‌شود، که این نتایج می‌تواند برای مدیریت سیلاب و برنامه‌ریزی سازه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که HEC-HMS در بسیاری از موارد قابلیت شبیه‌سازی دقیق بارش-رواناب را دارا بوده و برای پیش‌بینی سیلاب، مدیریت منابع آب و تحلیل اثر تغییرات کاربری اراضی و اقلیم مناسب است. در پژوهشی نوری و همکاران [۸] حوضه‌ی آبخیز گرین را جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر رواناب حوضه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بدین منظور از مدل SWAT جهت برآورد رواناب و نقشه کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده نمودند. همچنین جهت پیش‌بینی اقلیم در آینده از مدل HadCM3 در بستر LARS-WG و جهت پیش‌بینی کاربری اراضی در سال ۲۰۲۴ از مدل مارکوف و CA مارکوف استفاده شده است. علم شاهی و همکاران [۲] جهت بررسی سیلاب حوضه اسالم از داده‌های منبع بارشی PERSIANN-CCs با توان تفکیک مکانی ۰/۰۴ درجه و با استفاده از سه سناریوی زمانی ۱، ۳ و ۶ ساعته و سه سناریوی مکانی Thiessen، Lumped و Link-Lumped بهره گرفتند. بهترین نتیجه‌ی حاصل از سناریوهای مکانی و زمانی جهت برآورد هیدروگراف سیل، مربوط به استفاده از سناریوی مکانی Link-Lumped در گام زمانی ۳ و ۶ ساعته بود. به علاوه بهترین حالت جهت برآورد حداکثر دبی سیلاب، استفاده از سناریوی مکانی Thiessen و استفاده از بارش متوسط حوضه بود. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که استفاده از داده‌های منبع بارشی PERSIANN-CCs در حوضه‌های فاقد آمار و یا دارای آمار ناکافی می‌تواند کارایی بالایی داشته باشد. پورانتظاری و همکاران

کاهش پیدا کرده است. چودری و همکاران [۶]، حوضه‌ی آبخیز اودیشا را در کشور هند با استفاده از مدل HEC-HMS مدل‌سازی کردند. آن‌ها تعدادی از وقایع بارشی رخ داده طی سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۳ را جهت معرفی به مدل به کار گرفتند. روش‌های مورد استفاده آن‌ها در این مدل‌سازی برای برآورد رواناب و تلفات، روش SCS، جهت روندیابی جریان، روش ماسکینگام و برای برآورد جریان پایه، روش بازگشتی بود.

در شبیه‌سازی رویداد بزرگ بارش-رواناب در آبخیز Irawan فیلیپین، کاکل و همکاران [۴] از مدل HEC-HMS استفاده کردند. آن‌ها در برآورد تلفات، روندیابی حوضه آبخیز و روندیابی رودخانه به ترتیبی از روش های SCS-CN، هیدروگراف واحد کلارک و ماسکینگام استفاده کردند. در یک آبخیز روستایی در تایوان، چیانگ و همکاران [۵] کاربرد مدل HEC-HMS و SVR را بر اساس ۱۳ رویداد بارش-رواناب مقایسه و ارزیابی کردند. آن‌ها در اعتبارسنجی مدل HEC-HMS از دو نوع روش واسنجی پارامترها (پارامترهای واسنجی شده توسط SVR و میانگین پارامترهای واسنجی شده رویدادها) استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان دهنده عملکرد مناسبی هر دو مدل در شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب است.

با توجه به موفقیت مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی دقیق بارش-رواناب و همچنین اهمیت برآورد رواناب حوضه نوره در شهرستان سنندج، در این مطالعه به شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب در حوضه مورد بررسی به کمک مدل HEC-HMS پرداخته شده است. در منطقه‌ی مورد بررسی دو سازه‌ی زیرگذر با ابعاد مختلف نیز وجود دارند، که یکی از آن‌ها قدیمی بوده و در زمان آیت‌الله مردوخ ساخته شده و دیگری جدید بوده و توسط راه و شهرسازی احداث گردیده است. از این رو در این پژوهش توانایی این سازه‌ها در عبور رواناب برآورد شده توسط مدل HEC-HMS نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

روستای نوره روستایی از توابع شهرستان سنندج واقع در استان کردستان است که در فاصله‌ی ۲۰ کیلومتری از شهر سنندج و در مختصات ۳۵°۱۸'۴۹" شمالی ۴۶°۵۳'۳۰" شرقی قرار دارد. این

[۹] جهت برآورد هیدروگراف خروجی در حوضه کشف‌رود داده‌های بارش ERA5 را در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه مورد استفاده قرار دادند و نتایج را با هیدروگراف خروجی به دست آمده از داده‌های بارش مربوط به ایستگاه زشک و سایر پارامترهای معرف حوضه آبخیز زشک مقایسه کردند. نتایج نشان داد که رواناب به دست آمده از داده‌های بارش ERA5 به دلیل کم برآورد کردن بارش، دارای کم-برآوردی است. آن‌ها نشان دادند که با توجه به غیر قابل قبول بودن ضرایب NSE و PBias داده‌های ERA5، این منبع بارش، جهت برآورد رواناب کارایی ندارد. اسفندیاری درآباد و همکاران [۱۰] جهت تهیه نقشه‌های خطر سیل، حوضه نیرچای در استان اردبیل را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای شبیه‌سازی رواناب منطقه از مدل HEC-HMS و جهت روی هم گذاری لایه‌های موضوعی و به دست آوردن نقشه خطر سیل از منطق فازی استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل مورد استفاده جهت مدل‌سازی حوضه و برآورد دبی‌های حداکثر بسیار توانمند بوده و نتایج مطلوبی ارائه می‌کند، اما در برآورد حجم سیلاب دقت بالایی ندارد. بهرام آرا [۳] در تحقیقی به منظور ارزیابی عملکرد مدل بارش-رواناب HEC-HMS دشت قروه-دهگلان در استان کردستان را مورد بررسی قرار داد. وی در این تحقیق از داده‌های بارش دو ایستگاه تبخیر سنجی بلبان‌آباد و سنگ سیاه جهت برآورد رواناب و از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری حسن‌خان برای کالیبراسیون مدل بهره گرفت. نتایج مطالعه‌ی وی نشان داد که مدل مورد استفاده برای منطقه‌ی مورد بررسی عملکرد مناسبی داشته و قابل استفاده در مناطق با شرایط مشابه می‌باشد.

ابوشندی و مرکل [۱۱] برای یک حوضه‌ی خشک در اردن و با استفاده از یک واقعه بارش، رواناب خروجی حوضه را به کمک مدل‌های HEC-HMS و IHACRES برآورد نمودند. نتایج نشان داد که هر دو مدل مورد استفاده نتایج قابل قبولی را در محاسبه حجم رواناب ارائه کردند. وربیرن و همکاران [۱۲] تاثیر افزایش شهرنشینی را در حوضه رودخانه تولکا بر روی رواناب ساعتی آن مطالعه کردند. در این پژوهش از مدل Wet Spa و تکنیک سنجش از دور استفاده گردید. آن‌ها سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۶ را که منطقه شهری گسترش پیدا کرده بررسی کردند و دریافتند که دبی پیک افزایشی چشمگیر داشته و همچنین زمان رسیدن جریان به پیک ۲ الی ۳ ساعت

بارندگی‌های معین طراحی شده است. این مدل، حوضه آبخیز را به عنوان یک سیستم بهم پیوسته با مولفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد. هر مولفه مدل یک جنبه از فرایند بارش-رواناب را در داخل بخشی از حوضه که معمولاً به عنوان زیرحوضه در نظر گرفته می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند. به عبارت دیگر مولفه‌های مختلفی برای شبیه‌سازی سیستم فیزیکی حوضه ترکیب می‌شوند و هر مولفه قسمتی از محاسبات لازم را برای یک هیدروگراف کامل انجام می‌دهد.

۳-۲. معرفی مدل HEC-GeoHMS

مدل‌سازی هیدرواقليمی با شیوه‌های نوین با توجه به فراهم شدن فرصتی برای به اشتراک گذاشتن اطلاعات مکانی از طریق اینترنت توسط سازمان‌های دولتی، فروشنده‌گان تجاری و شرکت‌های خصوصی، همراه با الگوریتم‌های فضایی قدرتمند و همچنین ادغام با سیستم قدرتمند GIS، روشی مناسب و مقرون به صرفه برای جایگزینی سیستم‌های قدیمی قلمداد شده است. قابلیت انجام تجزیه و تحلیل فضایی برای توسعه پارامترهای هیدرواقليمی فشرده و توزیع آن، نه تنها موجب صرفه‌جویی زمان و نیروی کار، بلکه باعث بهبود دقت و صحت نسبت به روش‌های سنتی شده است. افزون بر این، مدل‌سازی مذکور با در نظر گرفتن تکنیک‌های پیشرفته و مکان‌مند کردن بارش برای مدل‌سازی حوضه‌ها در سطح شبکه قابل طراحی و پیاده‌سازی می‌باشد. کیفیت و فرایند ریزش باران و نفوذ آن را می‌توان با جزئیات بیشتر نسبت به روش‌های سنتی محاسبه‌ی حوضه‌ها از این طریق به دست آورد.

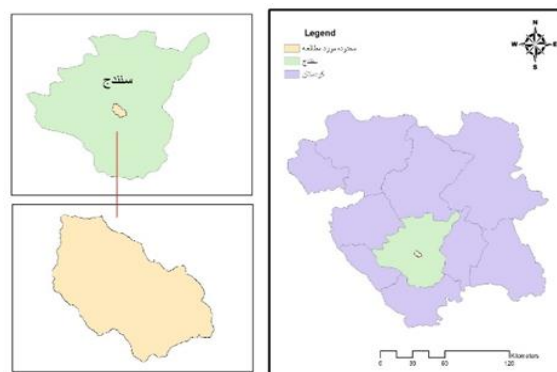
۴-۲. نقشه‌های محدوده مورد مطالعه

با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) استان کردستان با تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و مشخص نمودن مرز محدوده مورد بررسی، نقشه DEM منطقه به دست آمد که در شکل ۲ الف نشان داده شده است. این نقشه پایه‌ای‌ترین نقشه‌ی مورد نیاز جهت مدل‌سازی می‌باشد که جهت انجام تمامی پردازش‌هایی که در نرم‌افزار GIS جهت حوضه‌بندی محدوده و به دست آوردن خصوصیات فیزیکی حوضه صورت می‌گیرد، از آن استفاده شد. در سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان به طور دقیق با استفاده از

روستا از طرف شرق و شمال شرقی به کوه آبدر بزرگ، از طرف شمال غرب به کوه و زمان و از طرف جنوب غربی به کوه تایلان می‌رسد. اطراف این روستا گردنه‌های سخت و دره‌های عمیقی وجود دارد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به گردنه‌ی گرماش در سمت شمال غربی، دره‌ی یاران یا به زبان کردی دول یاران در سمت شمال شرقی، دره‌ی چهارگاه در سمت جنوب شرقی و دول زیارتان در سمت غرب و شمال غربی اشاره کرد. در شکل ۱ الف تصاویری از روستای نوره و شکل ۱ ب موقعیت محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهند.



(الف)



(ب)

شکل ۱. الف) تصاویری از روستای نوره ب) موقعیت محدوده مورد مطالعه

۲-۲. مدل HEC-HMS

این مدل نسخه توسعه‌یافته HEC-1 و تحت ویندوز است که برای شبیه‌سازی پاسخ رواناب سطحی یک حوضه آبخیز نسبت به

استخراج می‌باشند. همچنین با استفاده از این اطلاعات و همچنین فرمول‌های مربوطه می‌توان سایر خصوصیات فیزیکی حوضه را محاسبه کرد.

۳. نتایج و بحث

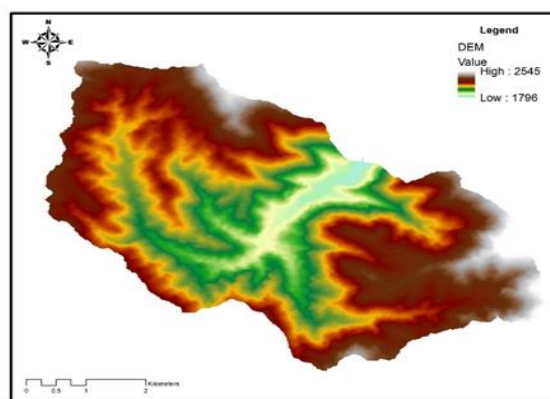
۳-۱. معرفی شماره منحنی و زمان تاخیر به مدل

شماره منحنی حوضه در واقع بیان‌کننده‌ی توانایی نفوذ خاک می‌باشد. در اینجا برای محاسبه‌ی مقادیر شماره منحنی در هر زیرحوضه در نرم‌افزار GIS از ترکیب لایه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک استفاده شده است. هر قدر شماره منحنی بزرگتر باشد، به این معنی است که حوضه توانایی بیشتری در تولید رواناب دارد و بالعکس از آنجا که در این پژوهش برای برآورد تلفات بارش حوضه، از روش شماره منحنی SCS بهره گرفته شده است، الزامی است که داده‌های شماره منحنی (CN) تمامی زیرحوضه به مدل معرفی گردد. به طریقی که در بخش قبل اشاره شد، مقادیر شماره منحنی زیرحوضه‌ها برآورد گردید و به مدل HEC-HMS معرفی گردید. همچنین به دلیل اینکه، جهت برآورد انتقال، روش هیدروگراف واحد SCS مد نظر قرار گرفت، داده‌های مربوط به زمان تاخیر نیز در نرم‌افزار GIS محاسبه و به مدل منتقل گردید. در جدول ۱ مقادیر شماره منحنی (بدون واحد) و زمان تاخیر (بر حسب دقیقه) متناظر با هر زیرحوضه ارائه شده است.

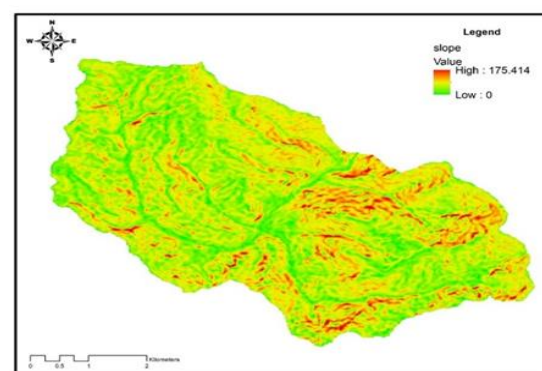
جدول ۱. شماره منحنی و زمان تاخیر مربوط به زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	CN	t lag	زیرحوضه	CN	t lag
W1000	۷۱/۲۴	۵/۸۰	W610	۷۷/۰۰	۶/۲۲
W1010	۷۷/۰۰	۴/۸۸	W620	۷۷/۰۰	۶/۳۳
W500	۷۷/۰۰	۱۴/۴۹	W630	۷۶/۸۷	۱۶/۰۹
W510	۷۷/۰۰	۱۲/۳۵	W640	۶۲/۰۷	۹/۸۳
W520	۷۷/۰۰	۷/۳۷	W650	۷۷/۰۰	۱۱/۱۸
W530	۷۷/۸۵	۶/۷۰	W660	۵۸/۰۰	۶/۰۴
W540	۷۷/۰۰	۱۲/۶۵	W670	۷۱/۶۲	۱۰/۸۴
W550	۷۸/۰۴	۵/۳۷	W680	۷۶/۹۶	۱۲/۳۲

نقشه‌ی DEM محدوده، نقشه شیب منطقه را ترسیم کرد که در شکل شماره ۲ ب ارائه شده است. در این نقشه شیب حوضه بر حسب درصد به دست آمده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) نقشه DEM منطقه‌ی مورد مطالعه ب) نقشه شیب محدوده مورد مطالعه بر حسب درصد

پس از پردازش‌هایی که با استفاده از افزونه‌های ArcHydro و HEC-GeoHMS در نرم‌افزار GIS و بر روی نقشه‌ی DEM منطقه و همچنین استفاده از آبراهه‌های موجود صورت گرفت، حوضه مورد مطالعه به واحدهای هیدرولوژیکی تحت عنوان زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. تمامی زیرحوضه‌های بدست آمده دارای خصوصیات فیزیکی مخصوص به خود می‌باشند. همانگونه که در بخش‌های قبلی اشاره شد، برخی از مشخصات فیزیکی حوضه با استفاده از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع و پردازش‌هایی که بر روی آن صورت می‌گیرد و منجر به ساختن زیرحوضه‌ها می‌گردد، قابل

۲ از آن ها تحت عنوان پل های موجود در منطقه نام برده شده است. خروجی حوضه در واقع محلی است که معدن موجود در این محدوده پس از تسطیح محوطه ی اطراف خود، تمامی مصالح حاصل از تسطیح را در مسیر جریان قرار داده است. در واقع یکی از مشکلات این منطقه و یکی از اهداف انتخاب محدوده ی روستای نوره جهت برآورد رواناب، اشغال کردن مسیر جریان آب توسط معدن مورد اشاره است. این مسئله به این دلیل حائز اهمیت می باشد که در شرایط سیلابی، مواد قرار گرفته در مسیر جریان همانند یک بند عمل کرده و امکان برگشت آب و سرازیر شدن آن به زمین های اطراف و مناطق بالادست محل وجود دارد. همچنین گل و لای و سایر مواد فرسایشی که توسط آب حمل می شوند، در این نقطه ته نشین شده و رسوب می کنند که این موضوع سبب افزایش خطر اشاره شده می گردد.

۳-۱-۲. محاسبه ی دبی سیل با روش SCS

معادله ی SCS که توسط سازمان خاک آمریکا پیشنهاد شده است، روشی است تجربی که بیانگر مقدار حجم رواناب و دبی ایجاد شده بر اثر مقدار مشخصی از بارندگی می باشد که داده ها و متغیرهای ورودی این معادله شامل: میزان بارش در یک بازه ی زمانی مشخص (P)، شماره ی منحنی رواناب حوضه (CN)، حداکثر پتانسیل نگهداشت رطوبت پس از شروع بارندگی (S) و تلفات اولیه ی بارش می شود (Ia) در فرمول زیر Q_d ارتفاع رواناب می باشد که در برخی از کتاب ها با R نیز نشان داده شده است. (علیزاده، ۲۰۰۸)

$$Q_d = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (1)$$

تلفات اولیه ی بارش شامل آب جذب شده توسط چالاب ها و یا میزان برگاب است که این تلفات همچنین شامل میزان نفوذ و تبخیر و تعرق نیز می شود که برای شرایط کلی این پارامتر به صورت زیر محاسبه می شود.

$$I_a = 0.2S \quad (2)$$

۸/۸۵	۷۷/۲۷	W690	۱۶/۷۷	۷۶/۹۹	W560
۱۱/۹۲	۷۳/۲۲	W700	۱۲/۱۳	۷۷/۰۰	W570
۸/۶۵	۷۷/۰۰	W710	۸/۱۷	۷۶/۳۶	W580
۹/۷۰	۷۷/۸۰	W720	۱۱/۵۹	۷۷/۰۰	W590
۱۳/۰۸	۶۹/۹۲	W730	۱۱/۳۰	۷۷/۰۰	W600
t lag	CN	زیرحوضه	t lag	CN	زیرحوضه
۱۱/۹۱	۷۷/۰۰	W880	۱۳/۳۲	۱۲/۱۹	W740
۱۱/۰۵	۷۷/۰۳	W890	۱۲/۵۳	۷۲/۷۷	W750
۱۱/۲۹	۷۷/۰۰	W900	۱۶/۸۰	۶۹/۶۷	W760
۱۵/۳۶	۷۷/۰۰	W910	۱۸/۷۹	۷۶/۳۴	W770
۱۳/۶۱	۷۶/۹۷	W920	۷/۹۰	۵۸/۰۰	W780
۸/۲۲	۷۷/۰۰	W930	۱۷/۳۵	۶۱/۱۲	W790
۱۱/۴۵	۷۶/۸۱	W940	۲۷/۷۶	۷۶/۵۱	W800
۱۵/۹۹	۶۴/۹۳	W950	۱۶/۹۴	۷۶/۷۳	W820
۹/۲۸	۷۶/۶۵	W960	۱۱/۱۴	۷۶/۱۶	W830
۱۱/۰۹	۷۶/۰۸	W970	۵/۸۹	۷۷/۰۰	W840
۷/۵۷	۷۷/۰۰	W980	۹/۹۸	۷۷/۰۰	W850
			۶/۸۲	۷۷/۰۰	W860
			۱۱/۰۳	۷۷/۰۰	W870

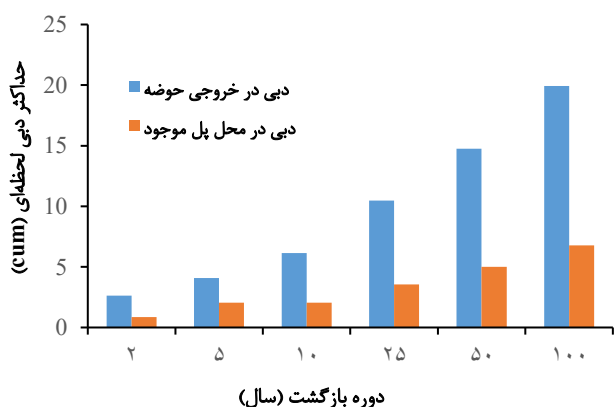
۳-۲. نتایج برآورد دبی پیک

هدف نهایی از مدل سازی توسط مدل بارش-رواناب HEC-HMS برآورد حداکثر دبی رواناب برای یک حوضه و تمامی زیرحوضه ها و آبراهه های مربوط به آن است تا در صورت لزوم جهت اهداف مختلف مورد استفاده کارشناسان قرار گیرد. دبی های پیک رواناب مربوط به برخی نقاط حوضه که دارای اهمیت می باشند به همراه مساحت مربوط آن ارائه شده است. به دلیل نزدیک بودن پل ساخته شده در زمان آیت الله مردوخ و پل ساخته شده توسط راه و شهرسازی به هم، اعداد برآورد شده ی رواناب برای هر دو یکی می باشد و در جدول

جدول ۲. حداکثر دبی رواناب به ازای دوره بازگشت‌های مختلف بر حسب مترمکعب بر ثانیه

زیر حوضه	مساحت بالادست	دوره بازگشت					
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
خروجی	۲۳/۳۵	۲/۶۳	۴/۰۸	۶/۱۳	۱۰/۴۴	۱۴/۷۵	۱۹/۹۳
حوضه							
پل‌های							
موجود	۷/۶۳	۰/۱۸۶	۲/۰۶	۲/۰۶	۳/۵۴	۵/۰۱	۶/۷۸
در منطقه							

نمودار شکل ۳ نشان‌دهنده دبی پیک لحظه‌ای (برحسب مترمکعب بر ثانیه) در محل خروجی حوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف (بر حسب سال) طبق برآورد مدل HEC-HMS می‌باشد.



شکل ۳. نمودار ستونی مقادیر دبی پیک لحظه‌ای خروجی حوضه و پل موجود به ازای دوره بازگشت‌های مختلف به روش SCS

همان‌گونه که واضح است مساحت تاثیر بسیاری در تولید رواناب حوضه دارد. بنابراین انتظار می‌رود با افزایش مساحت، رواناب حوضه نیز افزایش یابد. جهت بررسی این نظریه مقادیر به دست آمده دبی پیک لحظه‌ای برای دوره بازگشت‌های مختلف برای تمامی زیرحوضه‌ها به همراه مساحت آن‌ها را در جدولی آورده و مساحت حوضه‌ها را به صورت صعودی مرتب نموده و داده‌های متناظر با آن‌ها

حداکثر پتانسیل نگهداشت رطوبت بستگی به نوع خاک، پوشش گیاهی و ویژگی‌های حوضه‌ی مورد مطالعه دارد که مقدار آن در سیستم متریک به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۳)$$

زمان تمرکز حوضه نیز از دیگر پارامترهای مهم در بحث اندازه‌گیری حجم رواناب حوضه می‌باشد که مقدار آن با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود. در این فرمول L نشان دهنده طول آبراهه‌ی اصلی بر حسب متر (m)، CN شماره‌ی منحنی و S متوسط شیب حوضه بر حسب $\frac{M}{M}$ می‌باشد و همچنین واحد زمان تمرکز ساعت (hr) است.

$$T_c = \frac{L^{0.8} \left[\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right) \right]^{0.7}}{4470 \times S} \quad (۴)$$

پس از محاسبه‌ی زمان تمرکز باید زمان رسیدن دبی به اوج محاسبه شود که این مقدار وابسته به مقدار زمان تمرکز است و از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$T_p = 0.6T_c + \sqrt{T_c} \quad (۵)$$

برای تعیین شماره‌ی منحنی (CN) نیز باید ابتدا گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه و یا سرعت نفوذ آن مشخص شود، سپس با در نظر گرفتن خصوصیات پوششی حوضه مقدار این پارامتر محاسبه می‌شود.

هدف از محاسبه‌ی این فرمول‌ها به دست آوردن پارامترهای لازم برای فرمول زیر است، که با استفاده از آن میزان حجم رواناب بر حسب $\frac{M}{S}$ محاسبه می‌شود. در این فرمول مساحت حوضه بر حسب هکتار می‌باشد.

$$Q_p = \frac{0.0208 \times A \times Q_d}{T_p} \quad (۶)$$

برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای برای دوره بازگشت‌های ۲ الی ۱۰۰ ساله و با استفاده از ۳ مدل توزیع آماری ارائه شده است.

جدول ۳. برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف برای توزیع‌های آماری مورد استفاده

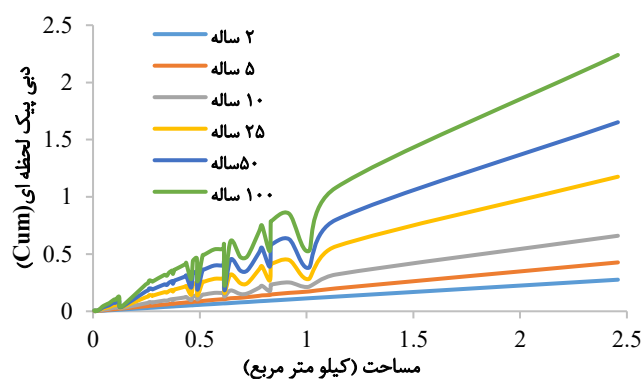
توزیع‌های آماری	ایستگاه چهل گزی-تونل		
	gamma	wakeby	gen.logistic
دوره بازگشت			
۲	۱۶/۸۶	۱۶/۶۲	۱۶/۹۸
۵	۳۴/۷۴	۳۳/۱	۳۱/۶۷
۱۰	۴۷/۶۳	۴۶/۳	۴۳/۹۲
۲۵	۶۴/۲۹	۶۵/۸	۶۳/۸۴
۵۰	۷۶/۷۲	۸۲/۳۸	۸۲/۹۶
۱۰۰	۸۹/۰۴	۱۰۰/۷۴	۱۰۶/۷۴

در این جدول جهت بررسی نتایج حاصل، از آماره Anderson-Darling برای مقایسه برازش چندین توزیع استفاده شده است. برای اینکه مشخص نمود که یک توزیع بهترین است آماره اندرسون-دارلینگ آن باید به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از بقیه باشد. آماره اندرسون-لینگ برای سه روش ژن لوجیستیک، گاما و توزیع ویکبای به ترتیب ۰/۲۸، ۰/۲۲ و ۰/۲ بدست آمد با توجه به اینکه آزمون اندرسون-دارلینگ برای روش ویکبای نسبت به دو روش دیگر کمترین عدد بدست آمده است. لذا نتایج حاصل از توزیع آماری ویکبای جهت استفاده در روش دیکن انتخاب شد.

۳-۲-۳. برآورد دبی پیک سیلاب به روش دیکن

پس از برآورد حداکثر دبی لحظه‌ای در محل ایستگاه هیدرومتری چهل گزی-تونل برای دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار Easyfit و انتخاب بهترین توزیع، نتایج حاصل از آن جهت استفاده در روش دیکن مورد بهره قرار گرفت. در جدول ۴ نتایج حاصل از برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای به روش دیکن آورده شده است.

را در ستون‌های دیگر جدول قرار داد. در نهایت نمودار حاصل از این داده‌ها ترسیم شد که در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۴. تغییرات دبی پیک لحظه‌ای در مقابل مساحت

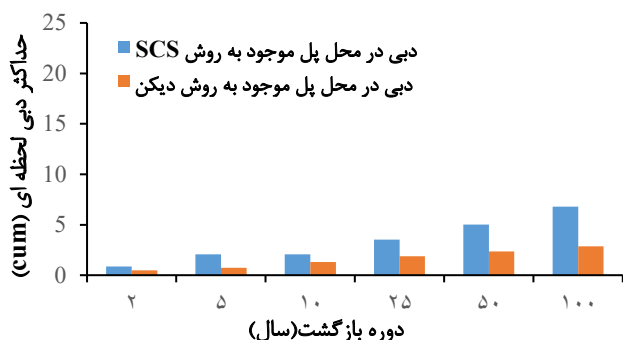
همانگونه که انتظار می‌رفت در اکثر موارد با افزایش مساحت، دبی پیک لحظه‌ای نیز روندی افزایشی داشته است. اما تمامی نقاط نمودار این روند را نشان نمی‌دهند بلکه در این موارد هرچند مساحت افزایش داشته اما دبی پیک لحظه‌ای نسبت به حوضه‌ی با مساحت کمتر، مقدار کمتری را نشان می‌دهد. دلیل این امر دخیل بودن سایر پارامترهای فیزیکی حوضه شامل شیب، نوع خاک، پوشش گیاهی، نفوذپذیری و ... در تولید رواناب می‌باشد. با در نظر گرفتن موارد اشاره شده، به طور کلی می‌توان انتظار داشت که حوضه‌های با مساحت بیشتر، پتانسیل بیشتری برای تولید رواناب داشته باشند.

۳-۲-۳. بررسی داده‌های ایستگاه هیدرومتری

همانگونه که پیش‌تر اشاره شد، داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه چهل گزی-تونل جهت بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی انتخاب گردیدند. به دلیل اینکه مقادیر دبی پیک لحظه‌ای برآورد شده توسط مدل برای دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشند، لذا لازم است ابتدا داده‌های هیدرومتری مورد نظر نیز به همین فرم تبدیل شوند. در این تحقیق جهت برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای به ازای دوره بازگشت‌های معین از نرم‌افزار Easy fit استفاده شده است. داده‌های موجود حداکثر دبی لحظه‌ای سال‌های آماری موجود در نرم‌افزار Easy fit وارد شدند و پردازش روی این داده‌ها با استفاده از توزیع‌های آماری مختلف صورت گرفت. در جدول ۳ نتایج حاصل از

جدول ۴. مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای بر حسب مترمکعب بر ثانیه به روش دیکن برای دوره بازگشت‌های مختلف

محل مورد نظر	دوره بازگشت					
	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲
خروجی حوضه	۸/۸۶	۷/۱۷	۵/۷۲	۴/۰۳	۲/۸۸	۱/۴۵
محل زیرگذرها	۲/۸۶	۲/۳۴	۱/۸۷	۱/۳۲	۰/۹۴	۰/۴۷



(ب)

شکل ۵. الف) مقایسه مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای برای خروجی حوضه با استفاده از روش‌های دیکن و SCS، ب) مقایسه مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای در محل پل حوضه با استفاده از روش‌های دیکن و SCS

مقدار خطای مدل عددی پژوهش حاضر در مقایسه داده‌های بدست آمده به روش دیکن با معادله میانگین خطای ریشه مربع نرمال شده محاسبه شده‌است. روابط (۷) و (۸) در زیر معرف معادله میانگین خطای ریشه نرمال شده است:

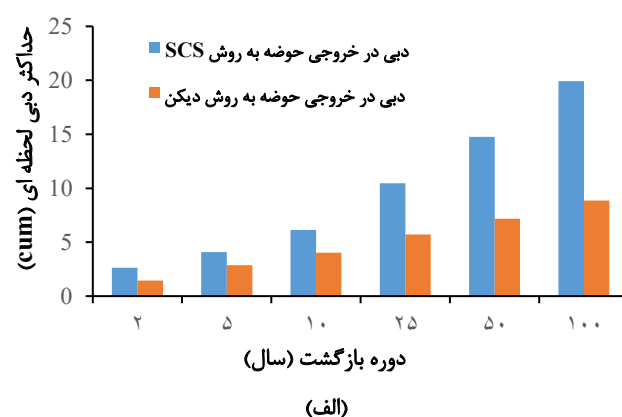
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_n - x_p)^2} \quad (۷)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad (۸)$$

در معادله (۷) n تعداد داده‌ها، x_n مقدار اندازه‌گیری شده، x_p مقدار محاسبه شده‌است. $\bar{x}$ در رابطه (۸) میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده است. مقدار خطای مدل عددی برای پیک لحظه‌ای در خروجی حوضه و در محل پل موجود در مقایسه با روش دیکن ۲۲ و ۳۹ درصد است. این اختلاف خطا به این دلیل است که در روش دیکن تاثیر مساحت به تنهایی در نظر گرفته می‌شود اما در مدل بارش-رواناب مورد استفاده تاثیر سایر عوامل فیزیکی نیز در تولید رواناب در نظر گرفته می‌شوند.

نمودار همبستگی آن‌ها در شکل ۶ نمایش داده شده است.

جهت مقایسه‌ی نتایج حاصل از روش دیکن و مدل HEC-HMS در شکل ۵ نمودار ستونی مربوط به هردوی این روش‌ها به ترتیب برای خروجی حوضه و محل زیرگذرها ارائه شده است. لازم به ذکر است که در این نمودارها منظور از روش SCS، همان روش به کار برده شده در مدل HEC-HMS می‌باشد. همانطور که در این نمودارها مشاهده می‌شود مقادیر حاصل از مدل HEC-HMS بیشتر از روش دیکن است. این تفاوت به دلیل تاثیرگذاری پارامترهای مختلف در این دو روش است. به طوریکه در روش دیکن فقط تاثیر مساحت حوضه در نظر گرفته شده ولی در روش SCS علاوه بر مساحت، تاثیر پارامترهایی همچون شماره منحنی نفوذ، زمان تاخیر، پوشش گیاهی و ... در نظر گرفته شده‌اند. در نظر گرفتن نتایج مربوط به هرکدام از این روش‌ها، به نظر کارشناسی و کاربرد و استفاده‌ی آن‌ها در مطالعات و طراحی‌های مختلف بستگی دارد.



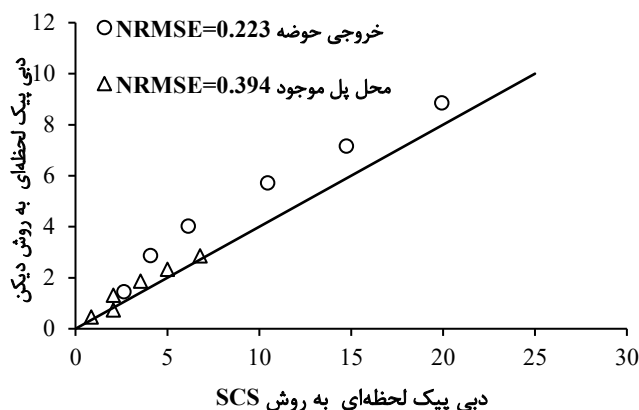
(الف)

جدول ۵. پارامترها و محاسبات رابطه مانینگ برای زیر گذرهای منطقه

پارامترها	n	R	S	A	PW	V	Q
زیرگذر قدیمی	۰/۰۶۵	۰/۵۶۵	۰/۰۰۸۸	۴/۷	۸/۳۲	۰/۹۹	۴/۶۴
زیرگذر جدید	۰/۰۶۵	۱/۱۸۴	۰/۰۰۸۸	۲۲.۵	۱۹	۱.۶۲	۳۶/۳۵

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده و بررسی محدودی مورد مطالعه و همچنین نتایج حاصل از بررسی‌های سایر پژوهشگران می‌توان نتیجه گرفت که مدل مورد استفاده دقت قابل قبولی در برآورد حداکثر دبی لحظه‌ای دارد. همچنین استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به طور چشمگیری سبب افزایش دقت و کاهش زمان مدلسازی شود. در بررسی تاثیر مساحت بر تولید رواناب در زیرحوضه‌های محدوده، این نتیجه حاصل شد که به طور معمول مساحت تاثیر مستقیمی در تولید رواناب دارد به گونه‌ای که هرچه مساحت زیرحوضه‌ای بیشتر باشد، رواناب تولیدی آن نیز افزایش می‌یابد. اما در مواردی نیز این مسئله صادق نمی‌باشد و دلیل آن تاثیر سایر پارامترها در تشکیل رواناب است. جهت بررسی نتایج حاصل از مدلسازی، نتایج با روش دیکن مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر محاسباتی به روش دیکن از مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-HMS کمتر می‌باشد. دلیل این امر آن است که در روش دیکن تاثیر مساحت به تنهایی در نظر گرفته می‌شود اما در مدل بارش-رواناب مورد استفاده تاثیر سایر عوامل فیزیکی نیز در تولید رواناب در نظر گرفته می‌شوند. در نهایت با توجه به ابعاد اندازه‌گیری شده برای سازه‌های زیرگذر موجود در منطقه، مقادیر آبگذری آن‌ها با توجه به روابط مربوطه محاسبه شد و با نتایج حاصل از مدلسازی مقایسه گردید. با توجه به مقادیر محاسبه شده، می‌توان نتیجه گرفت که زیرگذر ساخته شده توسط راه و شهرسازی توانایی عبور دبی سیلابی ۱۰۰ ساله را نیز داراست و در زمان تشکیل دبی‌های پیک در آن نقطه مشکلی به وجود نمی‌آید. اما زیرگذر ساخته شده در زمان آیت‌الله مردوخ، توانایی عبور دبی سیلابی ۵۰ سال و بالاتر را نخواهد داشت. در نظر گرفتن این نکته ضروری است که مقادیر محاسبه شده جهت بررسی آبگذری سازه‌ها در شرایطی



شکل ۶. نمودار پراکندگی بین داده‌های روش SCS و دیکن

نتایج استفاده از روش دیکن نشان می‌دهد که مقادیر محاسباتی از مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-HMS کمتر می‌باشد. دلیل این امر آن است که در روش دیکن تاثیر مساحت به تنهایی در نظر گرفته می‌شود اما در مدل بارش-رواناب مورد استفاده تاثیر سایر عوامل فیزیکی نیز در تولید رواناب در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۳. بررسی آبگذری زیرگذرهای منطقه

سازه‌های موجود در منطقه در واقع زیرگذرهای جاده‌ای می‌باشند که برای انتقال آب از زیر جاده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری‌های انجام شده مربوط به زیرگذرهای محدوده مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشند: عرض زیرگذر ساخته شده در زمان آیت‌الله مردوخ ۲ متر و ارتفاع با در نظر گرفتن قوس آن ۲/۵ متر می‌باشد. همچنین عرض زیرگذر ساخته شده توسط راه و شهرسازی ۴/۵ متر و ارتفاع آن ۵ متر می‌باشد. در جدول ۵ سایر پارامترهای مربوط به رابطه مانینگ و نتایج حاصل از برآورد سرعت و دبی جریان برای هر دو زیرگذر موجود در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول و نتایج به دست آمده از مدل HEC-HMS می‌توان نتیجه گرفت که پل قدیمی منطقه در شرایط سیلابی برای دوره بازگشت ۵۰ ساله و بیشتر قادر به عبور سیلاب از خود نمی‌باشد. این در حالی است که زیرگذر جدید توانایی عبور جریان سیلابی تا دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را نیز داراست.

است که هیچ مانعی در این سازه‌ها وجود نداشته باشد که باعث سد شدن مسیر عبور جریان گردد.

References

- <https://www.doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i10o.4374>.
- [8] Nouri, H. , Ildoromi, A. , Naderi, M. , Aghabeigi Amin, S. and Zeinivand, H. (2018). Comparison of Land Use and Climate Change Impacts on Runoff in a Small Mountainous Catchment (Case Study: Garin Dam Catchment). *Physical Geography Research*, 50(4),775-790.Doi:10.22059/jphgr.2019.140937.1006810.
- [9] Pourentezari, S., Esmaili, K., Faridhosseini, A. R., & Ghafari, E. (2022). Evaluation of Streamflow Hydrograph using ERA5 Precipitation Data in HEC-HMS Model. *Water and Soil*, 36(4), 525-539. Doi: 10.22067/jsw.2022.74417.1129.
- [10] Sfandyary darabad F, kheirizade M, rahimi M. (2022). Spatial Analysis of Flood Hazard in Nirchay River Basin Using HEC-HMS Model and and fuzzy logic. *jgs*. 22(66), 79-103 Doi:dx.doi.org/10.52547/jgs.22.66.79.
- [11] Turkar, R., Shrivastava, R., Awasthi, M., & Lodhi, A. (2015). A Comprehensive Review of the HEC-HMS Rainfall-Runoff Simulation Model and Its Hydrological Applications. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 26 (5). 128-139. DOI: 10.9734/jaeri/2025/v26i5711.
- [12] Verbeiren, B., Van de Voorde, T., Canters, F., Binard, M., Cornet, Y., & Batelaan, O. (2013). Assessing urbanisation effects on rainfall-runoff using a remote sensing supported modelling strategy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 92-102. Doi: doi.org/10.1016/j.jag.2012.08.011.
- [1] Abushandi, E., & Merkel, B. (2011). Rainfall estimation over the Wadi Dhuliel arid catchment, Jordan from GSMaP_MVK+. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(1), 1665-1704. Doi: doi.org/10.5194/hessd-8-1665-2011.
- [2] AlamShahi, H., Azizian, A., & Brocca, L. (2020). Integration of HEC-HMS Model with the Satellite-based High Spatiotemporal Resolution Dataset for Applying in Flood Simulation. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(3), 724-739. Doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.3.1.8>.
- [3] Bahram Ara, S., (2013). Rainfall-runoff modeling of Qorveh-Dehgolan plain using HEC-HMS model, 7th International Conference on Development of Water Science Technology, Watershed Management and River Engineering, Tehran, <https://civilica.com/doc/1796717>.
- [4] Cacal, J. C., Austria, V. C. A., & Taboada, E. B. (2023). Extreme event-based rainfall-runoff simulation utilizing GIS techniques in Irawan Watershed, Palawan, Philippines. *Civil Engineering Journal*, 9(1), 220-232. Doi: doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-01-017.
- [5] Chiang, S., Chang, C. H., & Chen, W. B. (2022). Comparison of rainfall-runoff simulation between support vector regression and HEC-HMS for a rural watershed in Taiwan. *Water*, 14(2), 191. Doi: doi.org/10.3390/w14020191.
- [6] Choudhari, K., Panigrahi, B., & Paul, J. C. (2014). Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5(2),253-265.URL: ipublishing.co.in/jggsarticles/volfive/EIJGGS5021.pdf.
- [7] Labade, P., Ayare, B., Bhange, H., Ingle, H., & Kolhe, P. (2025). A comprehensive review on rainfall-runoff modelling using HEC-HMS. *International Journal of Research in Agronomy*, 8(10): 1130-1138.Doi: