

Research Paper



Assessing flood regulation with ecosystem services approach Case study: Roudehen-Boumehen catchment



Leila Malekani¹, Somaiyeh Khaleghi², Mahdijeh Sabzaliyan³

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering of Marand, University of Tabriz, Tabriz, Iran. lmalekani@tabrizu.ac.ir

2- Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. s_khaleghi@sbu.ac.ir

3- MSc of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. sabzaliyanm@gmail.com

Keywords

Ecosystem Services,
Regulatory Services,
Flood, Land Use,
Roudehen-Boumehen
Catchment, Tehran.

A B S T R A C T

Introduction

One of the strategies for reducing flood damage is the zoning of flood potential of watersheds. In other words, the separation of flood-prone areas and determining the contribution of factors affecting floods can be of particular importance in developing an appropriate solution for medium-term and long-term policies in the optimal use of land. In this context, ecosystem services have been considered as a solution to reduce problems arising from unsustainable management of natural resources. Flood damage reduction is a regulatory service that shows the moderating effect of the ecosystem on flood damage, sedimentation of water bodies, infiltration of salt water into groundwater, and salinization of dry lands. Studying the capacity of land cover types and a combination of permeability, peak flow, and surface runoff characteristics in an area reduces the likelihood of dangerous floods due to the ability of that area to absorb water.

Methodology

In this study, in order to investigate the potential for flooding in the Boumehen and Roudehen catchment, first the soil hydrological groups were determined, and then a land use map of the catchment was prepared using Landsat 2021 satellite images. In the next step, precipitation-runoff simulation was performed using the SCS method using Arc-GIS and Model Builder software. In this method, information on previous soil moisture, 2021 land use type, and soil permeability were used, and a map of soil hydrological groups was prepared, precipitation from climatological stations inside and around the catchment, and catchment slope were used, and the potential runoff height was predicted using the Arc CN-Runoff tool and modeling in a GIS environment.

Receive: 2025/11/11

Accepted: 2026/06/30

Published: 2026/09/23

*Corresponding Author: Somaiyeh Khaleghi, s_khaleghi@sbu.ac.ir

Malekani, Leila., Khaleghi, Somaiyeh., & Sabzaliyan, Mahdijeh. (2026). Assessing flood regulation with ecosystem services approach (Case study: Roudehen-Boumehen catchment). *Hydrogeomorphology*, 13(48): 69-85.

DOI: [10.22034/hyd.2026.69835.1823](https://doi.org/10.22034/hyd.2026.69835.1823)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

Results and Discussion

The results showed that the soil moisture conditions during the study period were dry conditions and in terms of soil hydrological group and permeability of the region, it included group A 25.08 km² (12.71%), group B 67.66 km² (34.30%), group C 89.61 km² (45.42%), group D 14.94 km² (57.7%). Group C, with the largest area, has low permeability and high runoff production capacity. According to the results, the potential for runoff production in the southwestern and somewhat western parts (a part with good permeability due to the type of soil hydraulic group) is low, and in the northern and southern parts of the catchment, due to poor pasture use and urban areas, they have a higher runoff production potential. The potential for runoff production in this catchment is relatively high because the Roudehen-Boumehen region is a mountainous region and its slope is high. Also, from a geological perspective, the rock types are mostly green tuff, tuff shale, agglomerate, and andesite-basalt rocks and some of the Karaj Formation, which are impermeable, so they produce a higher amount of runoff during heavy rainfall. According to the results, the potential for runoff production is low in the southwestern and somewhat western parts of the basin, and higher in the northern and southern parts. The travel time in highlands and areas with lower infiltration is the fastest possible. The runoff production calculation showed that considering that 70 percent of the basin area has low permeability soil of two groups D and C. Also, more than 60 percent of the basin has a slope above 30 percent, therefore it contributes to the production of runoff in the shortest possible time. What is important is that a very large part of the region has an altitude of more than 1500 meters. Rangelands and residential areas that cover a large area of the region have a high flood production potential. The results of the integration of the runoff map and the flood control service potential of the land uses showed that in the urban land use, the potential demand for flood control is high, in the rangeland land use, it is medium, and in the orchard land use, it is low. Finally, the flood control service budget map indicates that the supply of flood control service (74.95 %) is more than the demand for flood control (16.86 %) and there is a lack of demand and supply in about 8.18% of the catchment. The southern area of the catchment, where the cities of Roudehen and Boumehen are located, has a higher demand for flood control than other areas, and for this reason, the ecosystems of these areas are not able to absorb and control the volume of water that is generated during rainfall, which increases the likelihood of flooding. In contrast, in the center of the catchment, the use of pastures and orchards and soil types A and B has the ability to control floods and the supply of this type of service is high here. Also, in the north of the catchment, there are areas with flood regulation supply that correspond to pastures with soil type C, but in areas where there is rock outcrop, there is no flood regulation supply and due to the lack of human settlement, there is no demand. Therefore, the use of flood regulation supply zones to prevent and reduce floods in areas of demand is essential for flood control and to prevent human threats.

Conclusions

The urban catchment of Roudehen and Boumehen is a mountainous catchment with impermeable rocky mountains, which in terms of geology are mostly green tuff, layers of lime and shale or sandstone, which affects the amount of runoff and the lack of penetration in the soil. Shallow soil, high slope and low vegetation density cover contribute to the flow and cause runoff and soil erosion. Therefore, the hydrological model of the SCS method and the determination of CN values were used to estimate the runoff caused by heavy rainfall. The potential for runoff production in the southwestern and somewhat western parts of the catchment is low, and in the central and southern parts of the catchment due to poor land use and urban areas have a higher runoff production capacity, and also the northeastern parts of the catchment produce the most runoff due to high slope, poor pasture land use and low permeability. The discharge rate is high in areas with high slopes and urban areas. The travel time is the fastest in highlands and areas with lower infiltration rates. Quantifying and predicting ecosystem services based on runoff regulation services and erosion reduction will help prioritize and zone areas prone to runoff and erosion to explain management and prevention strategies. In the urban area, the potential for ecosystem service demand is high, in the rangeland area it is medium, and in the garden area it is low. The catchment also has the potential to store surface runoff. Because 26 percent of the catchment is made up of soils with good permeability, which, due to their location on a lower slope and low elevation, can be suitable for surface water containment and flood control. Rangelands and residential areas, which cover a large area of the region, have a high flood-producing potential and, as a result, a high demand for flood regulation.



ارزیابی تنظیم سیلاب با رویکرد خدمات اکوسیستم مطالعه موردی: حوضه آبریز رودهن-بومهن



لیلا ملکانی^۱، سمیه خالقی^۲، مهدیه سبزیعلی‌یان^۳

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی مرند، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. lmalekani@tabrizu.ac.ir

۲- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. s_khaleghi@sbu.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی و آمایش محیط، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. sabzaliyanm@gmail.com

چکیده

کاهش خسارت سیلاب یک خدمت تنظیمی اکوسیستم است و مطالعه ظرفیت انواع پوشش زمین و ترکیبی از ویژگی‌های نفوذپذیری، جریان پیک و رواناب سطحی در یک منطقه احتمال وقوع سیل‌های خطرناک را به دلیل توانایی آن منطقه برای جذب آب کاهش می‌دهد. در این تحقیق به منظور بررسی پتانسیل ایجاد سیلاب‌های حوضه آبریز رودهن-بومهن ابتدا گروه‌های هیدرولوژیک خاک مشخص شده و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۲۱، نقشه کاربری اراضی حوضه تهیه گردید. در مرحله بعد با استفاده از آمار حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های منطقه، شبیه‌سازی بارش-رواناب به کمک روش SCS انجام شد. با توجه به نتایج، پتانسیل تولید رواناب در قسمت‌های جنوب غربی و تا حدودی غرب کم و در قسمت شمال و جنوب حوضه بیشتر است. زمان پیمایش در ارتفاعات و مناطقی که میزان نفوذ کمتر است، سریع‌ترین حالت ممکن را دارد. محاسبه تولید رواناب نشان داد که با توجه به این که ۷۰ درصد از مساحت حوضه دارای خاک با نفوذپذیری کم از دو گروه D و C می‌باشد. همچنین، بیش از ۶۰ درصد حوضه شیب بالای ۳۰ درصد دارد، بنابراین به تولید رواناب در کمترین زمان ممکن دامن می‌زند. آنچه اهمیت دارد، بخش بسیار زیادی از منطقه دارای ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر است. مراتع و مناطق مسکونی که وسعت زیادی از منطقه را دربر گرفته، پتانسیل تولید سیل بالا می‌باشد. نتایج تلفیق نقشه رواناب و پتانسیل خدمت تنظیم سیل کاربری‌ها نشان داد که در قسمت کاربری شهری، پتانسیل تقاضا جهت کنترل سیل، زیاد، در کاربری مراتع، متوسط و در کاربری باغ، کم می‌باشد. در نهایت نقشه بودجه خدمت تنظیم سیل بیانگر این است که عرضه خدمت تنظیم سیل (۷۴/۹۵٪) بیش از تقاضا برای کنترل سیل (۱۶/۸۶٪) است و حدود ۸/۱۸٪ حوضه عدم تقاضا و عرضه وجود دارد. محدوده جنوبی حوضه که شهرهای رودهن و بومهن قرار دارند، تقاضا برای کنترل سیل بیشتر از سایر نقاط است و به همین دلیل، اکوسیستم‌های این نواحی قادر به جذب و کنترل حجم آبی که در زمان بارندگی ایجاد می‌شود، نیستند و این امر احتمال جاری شدن سیل را افزایش می‌دهد. در مقابل در مرکز حوضه، با کاربری مراتع و باغات و خاک از نوع A و B توانایی کنترل سیل را داشته و عرضه این نوع خدمت در اینجا بالادست. همچنین در شمال حوضه، قسمت‌هایی دارای عرضه تنظیم سیل می‌باشند که منطبق بر مراتع با نوع خاک C می‌باشند اما در قسمت‌هایی که برونزدگی سنگی وجود دارد، عرضه تنظیم سیل وجود نداشته و به دلیل نبود استقرار انسان، تقاضایی هم وجود ندارد. بنابراین، استفاده از پهنه‌های عرضه تنظیم سیل جهت جلوگیری و کاهش سیل در پهنه‌های مورد تقاضا برای کنترل سیل و جلوگیری از تهدیدات انسانی ضروری است.

کلیدواژه‌ها

خدمات اکوسیستم، خدمات تنظیمی، سیلاب، کاربری اراضی، حوضه آبریز رودهن-تهران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

ارجاع به این مقاله: ملکانی، لیلا؛ خالقی، سمیه؛ سبزیعلی‌یان، مهدیه (۱۴۰۵). ارزیابی تنظیم سیلاب با رویکرد خدمات اکوسیستم، مطالعه موردی: حوضه آبریز رودهن-بومهن. هیدروژئومورفولوژی، ۱۳ (۴۸): ۶۹-۸۵.

* نویسنده مسئول: سمیه خالقی
s_khaleghi@sbu.ac.ir

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2026.69835.1823



Copyright: © 2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

عوامل گوناگونی همانند عوامل آب وهوایی، زیستی، هیدرولوژیکی و غیره منجر به وقوع یا تشدید سیل می گردند. انسان به واسطه تغییراتی که در زمینه تغییر کاربری اراضی و افزایش گرمایش جهانی ایجاد کرده عملاً به صورت تدریجی موجب افزایش خطر سیلاب می گردد. این فجایع طبیعی در صورت وقوع منجر به از دست رفتن جان و مال آدمیان و عقب ماندگی اقتصادی کشورهای مختلف می گردد. رواناب در سطح زمین مشکلاتی مانند فرسایش خاک، وقوع سیلاب، کاهش حاصل خیزی خاک و پوشش گیاهی و حتی کاهش منابع آب زیرزمینی را در برخواهد داشت. یکی از راهکارهای کاهش خسارت سیلاب، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه های آبریز است. به عبارت دیگر تفکیک نواحی سیل خیز و تعیین سهم عوامل مؤثر در سیل می تواند در تدوین راهکار مناسبی برای سیاست گذاری های میان مدت و بلندمدت در بهره برداری بهینه از اراضی اهمیت ویژه ای داشته باشد. در این زمینه خدمات اکوسیستم به عنوان راهکاری در جهت کاهش مسائل ناشی از مدیریت ناپایدار منابع طبیعی، طی دو دهه گذشته مورد توجه قرار گرفته است. واژه خدمات اکوسیستم، مانند مفهوم اکوسیستم واژه نسبتاً جدیدی است که برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ به کار گرفته شد. در این زمان با هدف حفاظت از طبیعت، ارزش گذاری اقتصادی فرایندهای طبیعت و اکوسیستم برای جامعه مورد توجه قرار گرفت. وستمن ۱۹۷۷ پیشنهاد کرد که با هدف اتخاذ تصمیمات مدیریتی آگاهانه تر به وسیله جامعه می توان، منافع همگانی حاصل از اکوسیستم را برشمرد و آن ها را خدمات طبیعت نامید. تعدیل سیل یک خدمت تنظیم کننده است که شامل دو قسمت از خدمات تنظیم کننده اکوسیستم می باشد تنظیم جریان آب و حفاظت از خطرات طبیعی. مطالعه ظرفیت انواع پوشش زمین و ترکیبی از ویژگی های نفوذپذیری، جریان پیک و رواناب سطحی در یک منطقه احتمال وقوع سیل های خطرناک را به دلیل توانایی آن منطقه برای جذب آب کاهش می دهد. ترسیم نقشه های خدمت تنظیم کنندگی سیلاب توسط اکوسیستم مهم می باشد. با افزایش سریع جمعیت انسانی و مصرف بیش از حد منابع طبیعی، تقاضا برای خدمات اکوسیستم از ظرفیت تأمین آن ها فراتر رفته است. خدمات اکوسیستم مزایا و منافع هستند که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم بر رفاه انسان اثر می گذارند. با توجه به این که خدمات اکوسیستم، سامانه های طبیعی و جامعه بشری را به هم متصل می کنند، لذا برای رونق اقتصادی، رفاه و ادامه حیات بشر ضروری هستند. خدمات اکوسیستم برای توضیح منافع همگانی عرضه شده از طرف اکوسیستم ها معرفی شد. خدمات اکوسیستم در چهار طبقه تولیدی، پشتیبانی، تنظیمی و فرهنگی قابل شناسایی هستند (قابل نظام و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۳۹) در زمینه پهنه بندی سیل مطالعات زیادی صورت گرفته اما در رابطه با خدمت تنظیمی اکوسیستم جهت کنترل سیل مطالعات اندکی آن هم در سایر کشورها صورت گرفته است که به مواردی اشاره می شود.

حفظ و نگهداشت آب و کنترل سیل از مهمترین کارکردهای تنظیمی اکوسیستم های طبیعی است که به سبب جلوگیری از حوادثی چون سیل و خشکسالی، جایگاه مهمی در تأمین رفاه و امنیت بشر دارد (حسینی و همکاران ۲۰۱۵: ۳۵۶). استفاده از مدل های هیدرولوژیکی دقیق در کنار بهره مندی از GIS علاوه بر سرعت بخشیدن به محاسبه رواناب موجب افزایش نتایج دقیق نیز می شود (خالقی و ملکانی، ۲۰۱۶: ۵۸۹). قابل نظام و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی به بررسی اهمیت خدمات اکوسیستم آبخیز با تأکید بر نقش تولید رواناب و کاهش فرسایش پرداخته اند و ضمن مرور کاملی از مطالعات انجام شده با اهداف مختلف، طبقه بندی انواع خدمات اکوسیستم، رویکردهای مورد استفاده در ارزیابی این خدمات مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نیز به چارچوب ارزیابی اکوسیستم هزاره (MEA) در رابطه با تعامل بین خدمات اکوسیستم و رفاه انسان پرداخته شده است. در نتیجه بیان داشته اند که با توجه به این که مسئله رواناب و فرسایش جهان و به ویژه ایران یک مسئله جدی است؛ بنابراین اقدامات شناسایی عوامل، کنترل و حفاظت از مناطق مستعد تولید رواناب، رسوب از مهم ترین وظایف و اقدامات ملی در کشور است. بر این اساس می توان با گسترده تر کردن مطالعات و تحقیقات و ارائه درو فرسایش روش هایی برای کمی نمودن و پیش بینی خدمات اکوسیستم مبتنی بر خدمات تنظیمی رواناب و کاهش فرسایش به اولویت بندی و پهنه بندی مناطق مستعد رواناب و فرسایش برای تبیین راهبردهای مدیریتی و بازدارندگی کمک شایانی نمود. بورخارد^۱ و همکاران (۲۰۰۹) کاربری اراضی ناشی از سنجش از دور و GIS، می توان اثرات فعالیت های انسانی را ارزیابی کرد و با بررسی الگوهای ظرفیت های

¹ Burkhard

اکوسیستم‌های مختلف برای ارائه خدمات اکوسیستم، رویکرد پیشنهادی اطلاعات یکپارچه مفیدی را برای مدیریت زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی چشم‌انداز، با هدف استفاده پایدار از خدمات ارائه‌شده توسط طبیعت، ارائه دادند. والز^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، به دو شاخص ساده برای اندازه‌گیری نگهداشت زمین در کنترل سیل در کشور آلمان پرداختند. مناطقی برای کنترل سیل از یک طرف و از طرف دیگر نسبت مناطق مسکونی در مناطق پرخطر سیلابی کنونی. نتایج مربوط به ۷۹ رودخانه بزرگ در آلمان نشان می‌دهد که دشت‌های سیلابی هنوز نقش مهمی به‌عنوان کنترل‌کننده‌های طبیعی سیل دارند. همچنین به نقش افزایش شهرک‌سازی و رفت و آمد کنترل سیل می‌پردازد. والسیلو^۲ و همکاران (۲۰۲۰)، به اندازه‌گیری کمی خدمات اکوسیستم در کنترل سیل با طراحی یک آزمایش چهار مرحله‌ای پرداخته‌اند. ارزش دلاری خدمات اکوسیستم در سال ۲۰۱۲ تخمین زده شده است. همچنین با ارایه راه‌حلی‌هایی به دنبال افزایش نقش خدمات اکوسیستم طبیعی در کنترل سیل بودند. کوآگلیلو^۳ و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی تجربی سیلاب از طریق کاهش خطر سیل شهری (مطالعه موردی شهرهای ساحلی لیگوریا)، از طریق به‌کارگیری ابزار ارزیابی یکپارچه خدمات و معاملات اکوسیستم InVEST توسعه یافته توسط پروژه سرمایه طبیعی^۴، مدل کاهش خطر سیل شهری را مد نظر قرار دادند. مدل در سه قلمرو ساحل شهر لیگوریا (ایتالیا) میزان رواناب ناشی از دو رویداد بارندگی شدید را برای هر حوضه آبخیز در نظر گرفته شده را تخمین زده است. این نتایج محاسبه به تعریف نمونه‌هایی از اقدامات حفظ منابع آبی در هر نوع کاربری اراضی کمک می‌کند تا به‌عنوان راه‌حل‌های پایدار جهت کاهش رواناب صورت گیرد. در نهایت تجزیه و تحلیل حساسیت محلی را جهت درک تأثیر پارامترهای ورودی ناشی از تغییرات بارش بر روی مدل انجام دادند. مارینو^۵ و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی به بررسی ارتباط کاهش خطر سیل و امنیت غذایی به عنوان تجزیه و تحلیلی از تغییر کاربری زمین در منطقه شهری رم پرداخته‌اند. در این مقاله تغییرات کاربری و پوشش زمین (LULCCs) در رم، با هدف شناسایی تغییرات هم‌افزایی در عرضه اکوسیستم کاهش سیل و تولید کشاورزی خدمات اکوسیستم انجام گرفت. این روش مبتنی بر تجزیه و تحلیل GIS است که فرآیندهای دگرگونی و ماندگاری‌های مرتبط با پوشش زمین را شناسایی می‌کند. نتایج یک تغییر منفی خالص در عرضه خدمات اکوسیستم را نشان می‌دهد که عمدتاً ناشی از شهرنشینی است. این کاهش در عرضه خدمات اکوسیستم با سایر انتقالات تغییر کاربری و پوشش زمین جبران نمی‌شود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل هم‌افزایی و مبادله بین خدمات اکوسیستم، کاهش سیل و کشاورزی تولید خدمات اکوسیستم (در زمین‌های زراعی، باغ‌ها، تاکستان‌ها و باغ‌های زیتون) نشان می‌دهد که کاهش زمین کشاورزی بر هر دوی خدمات اکوسیستم تأثیر منفی می‌گذارد.

با توجه به این‌که در کشور ایران هر ساله شاهد وقوع سیلاب‌های شدید و ویرانگر هستیم استفاده از پتانسیل حوضه‌ها جهت کنترل سیل و تنظیم آن خصوصاً از دید کاربری اراضی مهم بنظر می‌رسد. در این زمینه، حوضه آبریز رودهن-بومهن در شرق تهران به دلیل دخالت‌های انسانی و تغییرات کاربری، ساخت و ساز روی شیب و تخریب محیط توسط انسان همواره در طی سال‌های اخیر بعد از وقوع بارش‌های شدید دچار سیل می‌شود، لذا هدف این مطالعه پهنه‌بندی این حوضه با رویکرد خدمات اکوسیستم خصوصاً خدمت اکوسیستم برای تنظیم سیلاب می‌باشد، و میزان عرضه و تقاضای کنترل سیل را با توجه به پتانسیل اکوسیستم حوضه آبریز رودهن-بومهن بر مبنای ادبیات موجود در خدمات اکوسیستم نشان می‌دهد. پیش‌بینی خدمات اکوسیستم مبتنی بر خدمات تنظیمی رواناب و کاهش سیل به اولویت‌بندی و پهنه‌بندی مناطق مستعد رواناب و سیلاب برای تبیین راهبردهای مدیریتی و بازدارندگی کمک شایانی خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

حوضه شهری رودهن و بومهن حوضه‌ای کوهستانی و با ارتفاع ۳۵۰۰-۱۵۰۰ متری در شمال شرق تهران با مساحتی در حدود ۱۹۷.۲۸ کیلومتر مربع قرار دارد. محدوده مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز رودخانه جاجرود است و تقریباً تمام مرز محدوده طبیعی تأثیرگذار

¹ Walz

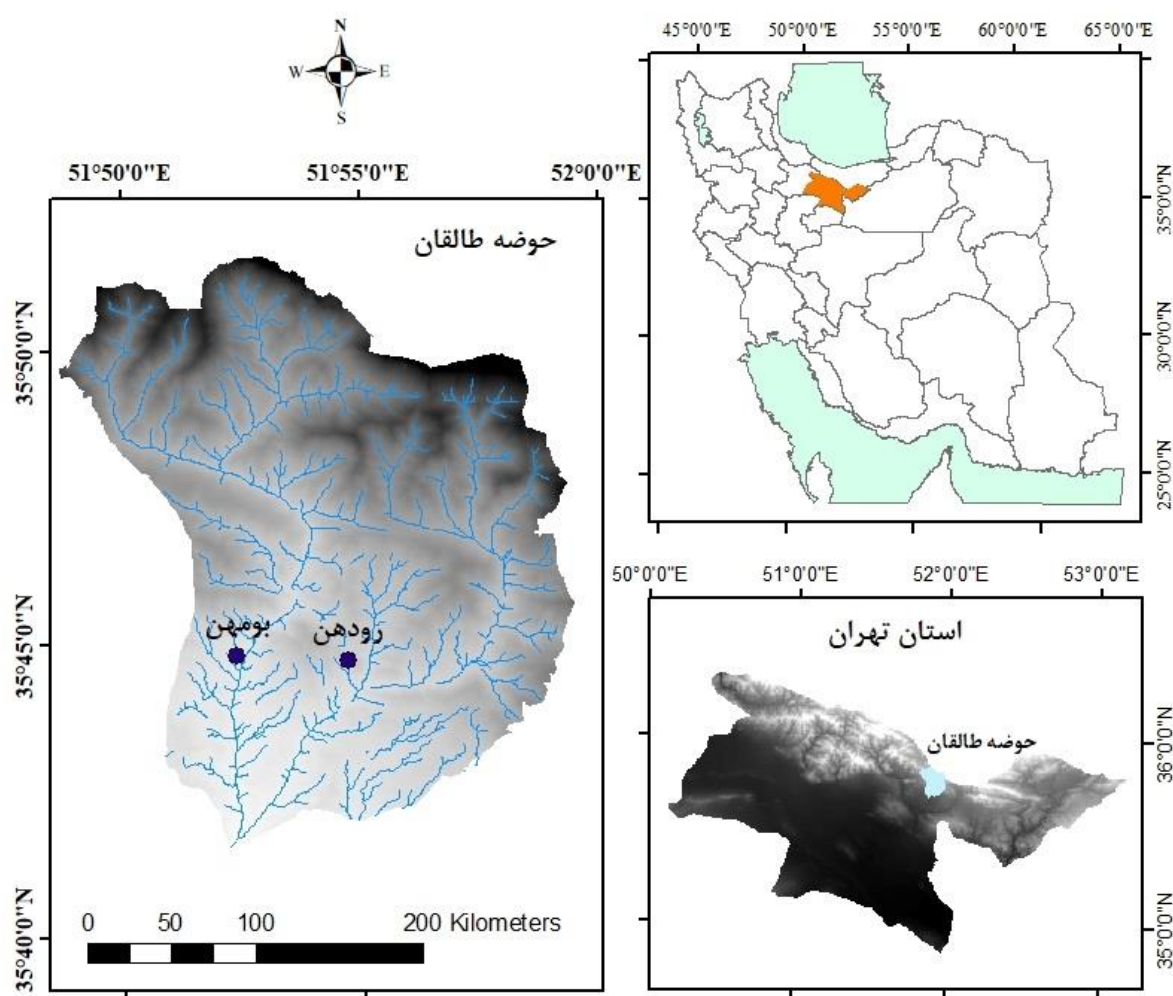
² Vallecillo

³ Quagliolo

⁴ Natural Capital Project

⁵ Marino

بر حوزه رودهن و بومهن منطبق بر آبراهه‌هایی است که در نهایت به جاجرود می‌پیوندند. رودخانه دماوند و سرشاخه رودبار آن حدود شمال شرقی، شرقی و جنوبی محدوده را در برمی‌گیرد و رودخانه جاجرود حد غربی و سرشاخه‌های رودخانه‌های شاه‌نشین ایرا و آه که توسط گردنه‌هایی به هم متصل می‌شوند حد شمالی محدوده را شامل می‌شوند (شکل ۱). کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه شامل کاربری مرتع، برون زد سنگی، باغ و شهر می‌باشد. این منطقه از نظر زمین‌شناسی بخشی از زون البرز مرکزی می‌باشد که مرز شمالی آن محدود به گسل البرز و در شرق به صورت تدریجی به زون بینالود و در غرب به گسل‌های تبریز و ارومیه محدود می‌شود و مجموعاً جزئی از زون زمین ساختی البرز - آذربایجان به‌شمار می‌آید از نظر زمین ساختی این زون از یک تاقدیس مرکب تشکیل شده است. قدیمی‌ترین سازندها، بایندر متعلق به دوران پرکامبرین و جدیدترین آن‌ها را آبرفت‌های جوان عهد حاضر تشکیل می‌دهند. سازمان جنگل‌ها و مراتع، پهنه اقلیمی استان تهران را از نظر خشکی و نوسان دما به ده کلاس تقسیم کرده است. در این تقسیم‌بندی، منطقه مورد مطالعه، در اقلیم نیمه خشک با زمستان‌های خیلی سرد و تابستان‌های گرم قرار گرفته است. البته بلندی‌های شمالی، در اقلیم مرطوب واقع شده و هوای آبادی‌های آن سردتر و زمستانش سخت‌تر است.



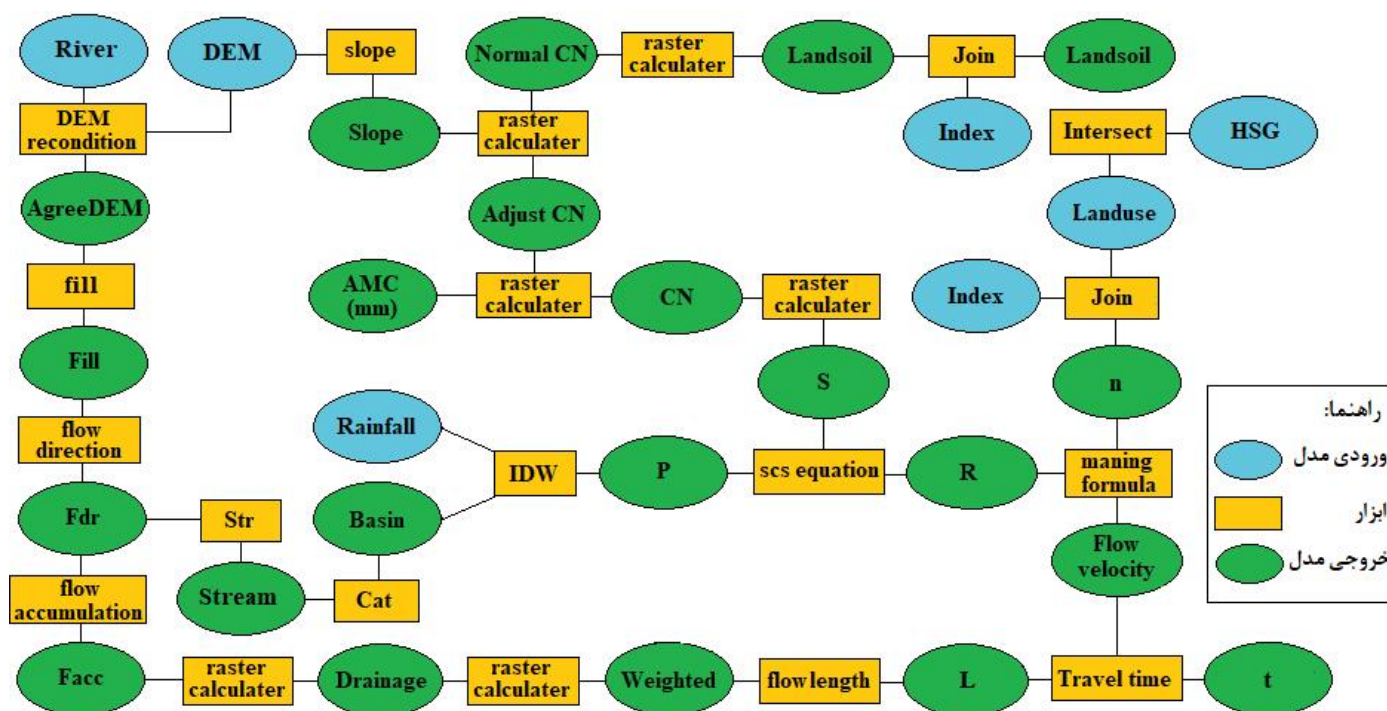
شکل (۱): موقعیت حوزه آبریز رودهن-بومهن

Figure (1): Location of the Roudehen-Boumehen catchment

روش پژوهش

در این تحقیق از داده‌های مختلفی استفاده شده از جمله مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با اندازه ۱۲/۵ متر (منبع: سایت Vertex Alaska)، داده‌های خاک، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (مربوط به سال ۲۰۲۱) و داده‌های بارش. برای برآورد ارتفاع رواناب و دبی، از روش شماره

منحنی استفاده شده است. لذا، لایه‌ها و اطلاعات مورد نیاز مانند کاربری اراضی، حداکثر بارش ۲۴ ساعته منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های آبعلی، دماوند، فیروزکوه، فیروزکوه ۲، لواسان، شمال رودهن، در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۲) تهیه گردید. نقشه شماره منحنی رواناب بر اساس تلفیق نقشه‌های گروه هیدرولوژیک خاک (HSG) و کاربری اراضی منطقه و با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شد (شکل ۲).



شکل (۲): فلوچارت مراحل مدل‌سازی سیلاب در حوضه آبریز رودهن-بومهن

Figure (2): Flowchart of flood modeling steps in the Roudehen-Boumehen catchment

در روش SCS استفاده از شماره منحنی امکان برآورد نزدیک به واقعیت رواناب حوضه آبریز وجود دارد (غفاری گیلانده و همکاران، ۲۰۱۷). ارتفاع رواناب در روش SCS توسط رابطه ۱ محاسبه شد که در آن Q ارتفاع رواناب، P ارتفاع بارش ۲۴ ساعته، S مقدار نگهداشت آب در خاک است. با توجه به رابطه ۱، ۲۰ درصد ذخیره سطحی خاک قبل از شروع جریان رواناب و ۸۰ درصد بقیه در طی جریان رواناب جذب خاک می‌شود و میزان آن بستگی به نوع پوشش گیاهی، نحوه بهره‌برداری از زمین، وضعیت خاک از نظر نفوذپذیری و شرایط خاک پیشین دارد (خالقی و ملکانی، ۲۰۱۶: ۵۹۵، چاو^۱ و همکاران، ۱۹۸۸: ۱۴۸).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (1)$$

میزان S یا نگهداشت ویژه خاک از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. در این رابطه CN یک عدد بدون بعد است که بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است. در عدد ۱۰۰، CN خاک توان جذب بارندگی را ندارد و در نتیجه ارتفاع رواناب با بارندگی مساوی است (خالقی و ملکانی، ۲۰۱۶: ۵۹۵).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

لازمه تعیین رواناب سطحی شناخت گروه هیدرولوژیک خاک است. سازمان حفاظت خاک، خاک‌ها را به چهار گروه هیدرولوژیکی A، B، C و D تقسیم کرده است. گروه A، شامل خاک‌هایی است که پتانسیل تولید رواناب ضعیفی دارند. این خاک‌ها بافت سبک داشته و حتی در مواقعی که کاملاً مرطوب هستند نفوذپذیری و آب‌گذری بالایی دارند. گروه B، شامل خاک‌هایی است که وقتی مرطوب هستند نفوذپذیری متوسط دارند. این خاک‌ها بافت نسبتاً ریز تا درشت داشته و دارای زهکشی متوسط تا خوب و آب‌گذری متوسط و پتانسیل تولید رواناب متوسط می‌باشد. گروه C، شامل خاک‌هایی است که وقتی مرطوب هستند نفوذپذیری کم دارند. غالباً دارای لایه‌ای هستند

¹ Chow

که مانع نفوذ آب به قسمت‌ها پایین‌تر می‌شود و دارای بافت ریز تا نسبتاً ریز است که آب‌گذری کم و پتانسیل تولید رواناب نسبتاً زیاد دارند. گروه D، شامل خاک‌هایی است که وقتی مرطوب هستند نفوذپذیری بسیار کم دارند. خاک‌های رسی که دارای یک سفره آب دائمی در نزدیکی سطح زمین است و یا خاک‌های با لایه غیرقابل نفوذ رس در زمین و یا در نزدیکی سطح زمین و یا خاک‌هایی خیلی کم عمق که بر روی لایه غیرقابل نفوذ از نوع سنگ مادر می‌باشند. در این تحقیق، از نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک که توسط موسوی (2020) برای منطقه رودهن و بومهن تهیه شده بود، استفاده گردید. جدول ۱ پتانسیل تولید رواناب مربوط به هر گروه خاک را نشان می‌دهد.

جدول (۱): گروه هیدرولوژیک خاک (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۰:۲۰۱۹)

Table (1): Hydrological Soil Group (Hoseinzadeh et al, 2019)

شاخص HSG	توصیف	گروه خاک
۰-۵	پتانسیل خیلی کم تولید رواناب	A
۶-۱۰	پتانسیل کم تولید رواناب	B
۱۱-۱۵	پتانسیل متوسط تولید رواناب	C
<۱۶	پتانسیل زیاد تولید رواناب	D

نقشه کاربری اراضی که برای محاسبه میزان CN مورد نیاز است با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۲۱ تهیه و پردازش گردید. این مرحله شامل اعمال فرآیند پردازش تصاویر (مرحله پیش پردازش، پردازش و پس از پردازش) و ارزیابی دقت طبقه‌بندی در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 جهت تشخیص کاربری‌ها در محیط Arc GIS 10.8 می‌باشد. نقشه CN بر مبنای نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی بدست آمد.

اصلاح CN

نقشه CN بدست آمده از مرحله قبل، برای شرایط نرمال (خاک دارای رطوبت متوسط باشد و شیب بیشتر از ۵ درصد نباشد)، تهیه شد. در صورت عدم برقراری شرایط نرمال انجام تصحیح CN ضروری است. با توجه به شیب‌دار بودن اراضی حوضه مورد مطالعه، تصحیح CN بر اساس شیب با بهره‌گیری از رابطه رایج زیر انجام گرفت (خالقی و ملکانی، ۲۰۱۶: ۵۹۵).

$$CNII\alpha = CNII * \frac{322.79 + 15.63\alpha}{\alpha + 323.52} \quad (3)$$

در اینجا CNII، شماره منحنی برای شرایط رطوبتی متوسط و α شیب زمین و در محدوده ۰/۱۴ الی ۱/۴ (۱۴ الی ۱۴۰ درصد) می‌باشد. شرایط رطوبتی اولیه خاک یکی از مهمترین خصوصیات مکانی بوده که تأثیر معنی‌داری بر حرکت آب در خاک‌ها و ذخیره آب در خاک دارد و بایستی بررسی و در صورت لزوم از روی جدول SCS تصحیح انجام گیرد.

زمان تمرکز یکی از پارامترهای اساسی است که در مدل‌های هیدرولوژیکی مدرن به کار می‌روند و در جوامع علمی پذیرفته شده‌اند. اما این پارامتر هنوز تعریف جهانی یکسانی ندارد. روش‌های گوناگونی برای تعیین زمان پیمایش^۱ وجود دارد که بسته به داده‌های موجود در حوضه می‌توان از آن بهره برد. روش تجربی SCS یا روش زمان تاخیر بهترین روش برای تعیین زمان تاخیر تنها با مشخصات فیزیوگرافی حوضه می‌باشد (خالقی و ملکانی، ۲۰۱۶، ۵۹۶، نیری و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۱).

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900 y^{0.5}} \quad (4)$$

$$t_{lag} = \frac{2.587 L^{0.8}(\frac{1000}{CN} - 9)^{0.7}}{1900 y^{0.5}} \quad (5)$$

¹ Travel time

در این رابطه t_{lag} زمان تاخیر بر حسب ساعت، y متوسط شیب حوضه (بر حسب درصد)، طول هیدرولیکی حوضه به متر، شیب به درصد و CN بدون واحد می‌باشد. با استفاده از رابطه سرعت مانینگ زمان پیمایش قابل محاسبه است:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \xrightarrow{R=y} V = \frac{1}{n} y^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \xrightarrow{V=\frac{L}{t}} \frac{L}{t} = \frac{1}{n} y^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \rightarrow t = \frac{nL}{y^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

در رابطه فوق t ، زمان پیمایش، S_0 شیب زمین، n ضریب زبری مانینگ است. V سرعت جریان بر اساس متر بر ثانیه، R شعاع هیدرولیکی و y عمق جریان است (خالقی و ملکانی، ۲۰۱۶، ۵۹۷).

در ادامه، جهت تهیه نقشه بارش از داده‌های بارش ایستگاه‌های واقع در حوضه و اطراف آن از جمله ایستگاه‌های آبعلی، دماوند، فیروزکوه، فیروزکوه ۲، لواسان، شمال رودهن، در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۲ استفاده گردید. سپس در محیط GIS نقشه رستری با استفاده از روش درون‌یابی IDW^۱ که کمترین خطا را برای این نوع داده دارد، تهیه شد. سرانجام پس از محاسبه P (بارش)، CNI (شماره منحنی اصلاح شده) و S (ظرفیت نگهداشت آب توسط خاک)، میزان رواناب (Q) محاسبه گردید.

بعد از محاسبه رواناب، رویکرد خدمات اکوسیستم جهت تنظیم سیل و بر مبنای کاربری اراضی به کار گرفته شد. مدلسازی خدمات اکوسیستم^۲ به عنوان راهکاری در جهت کاهش مسائل ناشی از مدیریت ناپایدار منابع طبیعی، طی دو دهه گذشته مورد توجه بوده است و اکوسیستم مرتبط با آب در میان بیشترین مطالعات قرار دارند. برای ارزیابی ظرفیت انواع پوشش زمین برای ارائه خدمات اکوسیستمی، از یک ماتریس استفاده شد. بر روی محور y این ماتریس، ۴۴ نوع پوشش زمین قرار گرفته است. در محور x ، ۲۹ سرویس اکوسیستم قرار داده شده است. ارزش‌های مربوط به ماتریس ارزیابی پوشش زمین در مقابل خدمات اکوسیستم بیانگر $0 =$ عدم ظرفیت مناسب، $1 =$ ظرفیت کم، $2 =$ ظرفیت مناسب، $3 =$ ظرفیت مناسب متوسط، $4 =$ ظرفیت مناسب بالا و $5 =$ ظرفیت مناسب بسیار بالا می‌باشد (بوخارد^۳ و همکاران، ۲۰۰۹: ۶). با توجه به ماتریس ارزیابی، برای حوضه مورد مطالعه، ارزش کاربری‌های غالب حوضه از نظر کنترل سیل شامل مناطق ساخته شده (۰)، باغات (۲)، مراتع (۱) و برونزدگی سنگی (۱) می‌باشد. در نهایت، تجزیه و تحلیل فضایی به منظور تعیین ارتباط نتایج حاصل از مدل هیدرولوژیکی با پوشش زمین و داده‌های خاک و خدمات، در محیط ArcGIS انجام گرفت و نقشه پتانسیل عرضه (ذخیره) و تقاضا برای تنظیم سیل محدوده مورد مطالعه تهیه گردید.

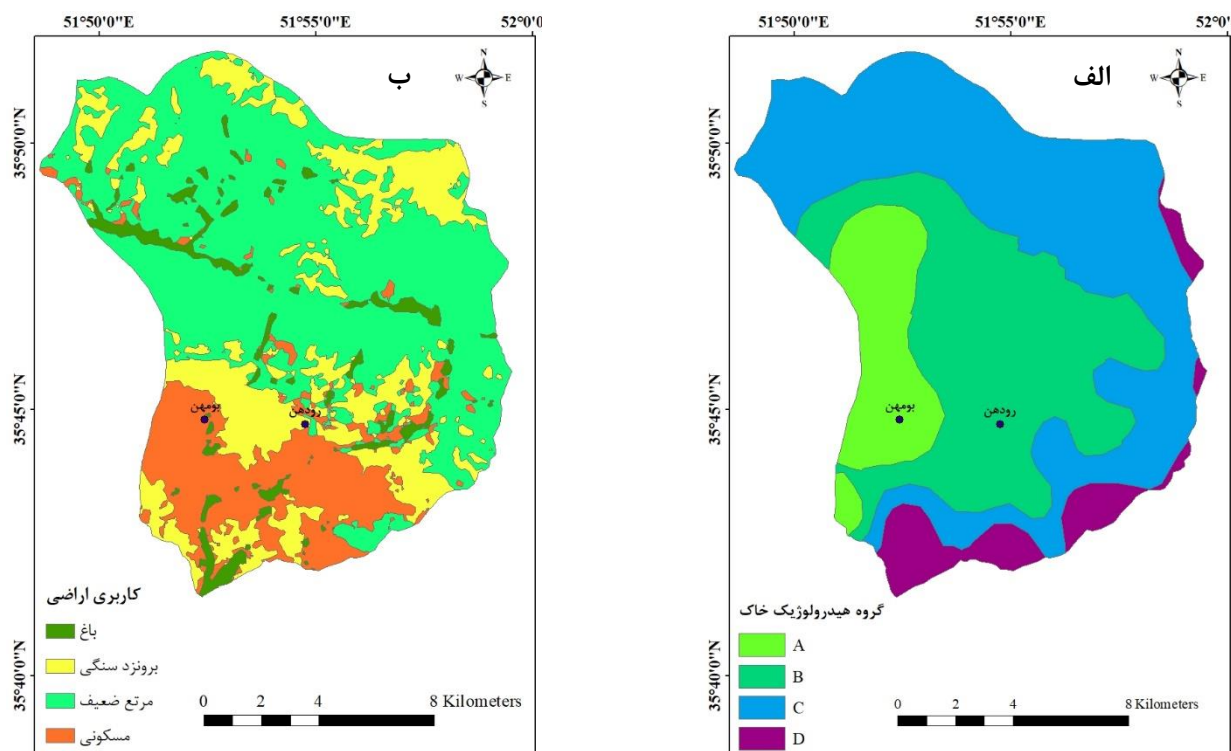
یافته‌ها و بحث

نوع کاربری اراضی در سطح حوضه آبریز مهمترین پارامتر تعیین کننده بوده و بر رواناب حوضه تاثیرگذار می‌باشد. پس از تعیین گروه هیدرولوژیکی خاک (شکل ۳-الف) نیاز به تعیین کاربری‌های مختلف و مشخص نمودن وضعیت هر یک از آن‌ها می‌باشد. نقشه کاربری اراضی از ماهواره‌ای لندست ۸، ۲۰۲۱ استخراج شد و پس از تصحیحات لازم بر روی تصاویر، کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه (شکل ۳-ب) مشخص شد. طبق مطالعات خاک انجام شده توسط موسوی (۲۰۲۰)، حوضه مورد مطالعه دارای چهار گروه خاک A، B، C و D می‌باشد که از نظر وسعت و گستردگی گروه C دارای بیشترین مساحت است. این گروه دارای نفوذ نسبتاً کم و پتانسیل تولید رواناب نسبتاً بالایی دارد. گروه هیدرولوژیکی D که کمترین مساحت از حوضه را شامل می‌شود، نفوذ بسیار کم و تولید رواناب بسیار بالایی دارد. در مناطقی که گروه‌های A و B وجود دارد به علت نفوذ بالای آنها کنترل سیلاب در این مناطق بیشتر دیده می‌شود اما در گروه C و D که به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت خاک‌های منطقه را تشکیل می‌دهند به علت نفوذپذیری پایین این گروه‌ها کنترل سیلاب هم کاهش پیدا می‌کند و این مناطق مستعد داشتن خطر سیلاب هستند.

¹ Inverse distance weighting

² Ecosystem Services

³ Burkhard



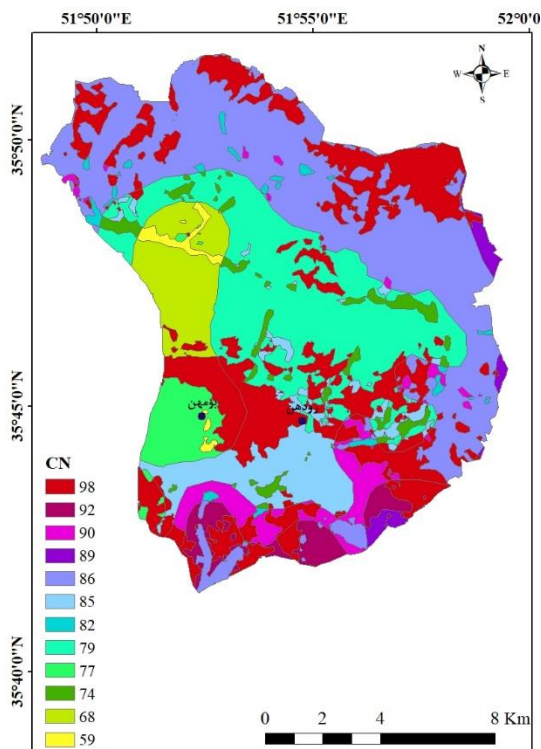
شکل (۳): (الف) نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و (ب) کاربری اراضی سال ۲۰۲۱

Figure (3): Map of hydrological soil groups and (b) land use in 2021

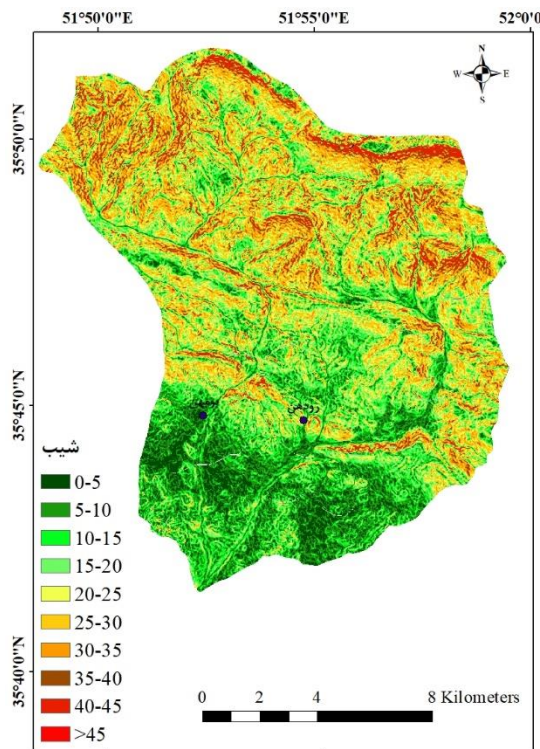
برای محاسبه ارتفاع رواناب با رابطه SCS نیاز به شماره منحنی رواناب (CN) می‌باشد. عدد CN مقداری بین ۱ تا ۱۰۰ دارد و شماره منحنی بالا به معنی نفوذپذیری کم و تبدیل بیشتر بارش به رواناب است و شماره پایین، نشان دهنده نفوذپذیری بیشتر و رواناب کمتر است. بر اساس تلفیق نقشه‌های HSG و کاربری اراضی و به کمک جداول SCS، نخست نقشه CN برای شرایط نرمال (خاک دارای رطوبت متوسط باشد و شیب بیش از ۵ درصد نباشد) تهیه گردید. شیب زمین و میزان رطوبت خاک عامل تاثیرگذار در میزان شماره منحنی رواناب است، با افزایش شیب توان حفظ رطوبتی خاک کاهش و رواناب افزایش می‌یابد. همچنین در شرایطی که خاک دارای رطوبت اولیه باشد نیز میزان نفوذ آب کاهش یافته و رواناب افزایش می‌یابد. پس از بررسی رطوبت پیشین خاک، وضعیت ماه‌های سال بر اساس نوع AMC خشک شناخته شد. نقشه شیب منطقه نیز بدست آمد (شکل ۴) و با توجه به شیب‌دار بودن اراضی حوضه مورد مطالعه و به دلیل برقرار نبودن شرایط نرمال، شماره منحنی اصلاح شده بر اساس شرایط خشک و شیب منطقه بدست آمده و در شکل (۵) نشان داده شده است. ظرفیت نگهداشت خاک حداکثر توان نگهداری و نفوذ میزان آب در خاک و ذخیره سطحی است. طبق رابطه (۲) و نقشه شماره منحنی رواناب اصلاح شده، نقشه مربوط به ظرفیت نگهداشت آب توسط خاک بدست آمد (شکل ۶). سرانجام پس از محاسبه بارش، شماره منحنی اصلاح شده و ظرفیت نگهداشت آب توسط خاک، میزان رواناب محاسبه گردید (شکل ۷).

طبق شکل ۷، پتانسیل تولید رواناب در قسمت‌های جنوب غربی و تا حدودی غرب (قسمتی با توجه به نوع گروه هیدرولوژیکی خاک از نفوذپذیری خوبی برخوردار است) کم و در قسمت مرکزی و جنوب حوضه به دلیل کاربری ضعیف و مناطق شهری توان تولید رواناب بالاتر است و همچنین بخش‌های شمال شرقی حوضه به دلیل شیب زیاد، کاربری مرتع ضعیف و نفوذپذیری پایین، بیشترین رواناب را تولید می‌کند.

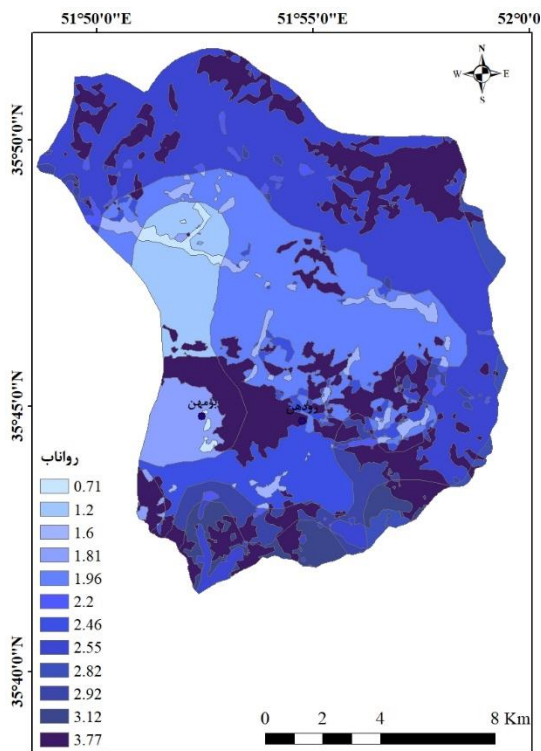
همچنین زمان پیمایش از نسبت طول جریان به سرعت جریان به دست می‌آید. بنابراین با معلوم شدن عمق جریان و با استفاده از رابطه مانینگ، سرعت جریان به دست آمد. زمان پیمایش در ارتفاعات و مناطقی که میزان نفوذ کمتر است، سریع‌ترین حالت ممکن را دارد. با استفاده از نقشه خطوط هم‌پیمایش (شکل ۸) و با داشتن ارتفاع رواناب می‌توان دبی پیک سیل را بدست آورد.



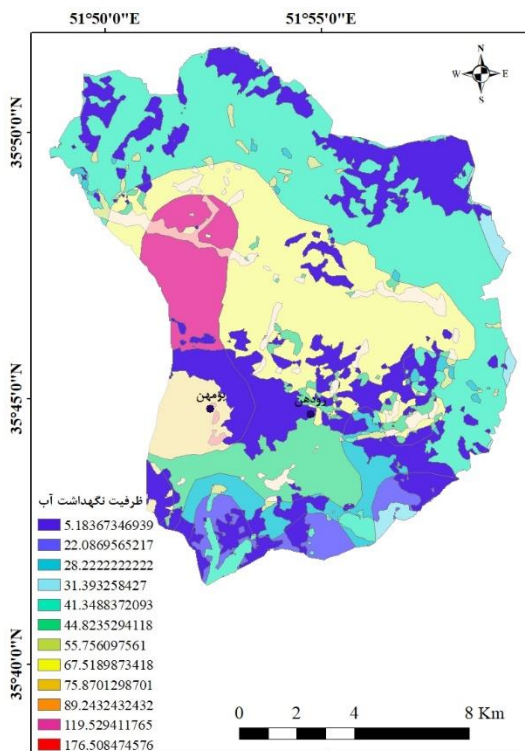
شکل (۵): نقشه شماره منحنی رواناب
Figure (5): Map of runoff curve number



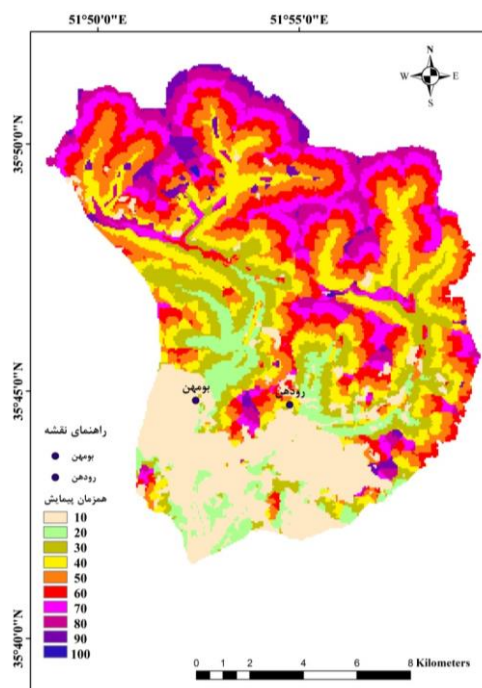
شکل (۴): نقشه شیب حوضه
Figure (4): Map of the catchment Slope



شکل (۷): نقشه رواناب حوضه
Figure (7): Map of the catchment runoff



شکل (۶): نقشه ظرفیت نگهداشت سطحی خاک حوضه
Figure (6): Map of the catchment surface soil retention capacity



شکل (۸): نقشه همزمان پیمایش حوضه با فواصل ۱۰ دقیقه

Figure (8): Map of the catchment travel time with 10 minutes intervals

مطالعه پارامترهای خدمت اکوسیستمی، اعم از پارامترهای فیزیکی (شامل توپوگرافی، ارتفاع، شیب، خاک، سنگ مادر، بارندگی، دما و ...) و پارامترهای زیستی (شامل تراکم پوشش گیاهی و مناطق حفاظت شده) که در کاربری توسعه شهری مؤثرند، شناسایی و نقشه‌سازی این پارامترها در منطقه رودهن - بومهن به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام گردید. که در قسمت کاربری شهری، پتانسیل تقاضا خدمت تنظیم سیل اکوسیستم زیاد، در کاربری مراتع متوسط و در کاربری باغ کم می‌باشد (جدول ۲).

جدول (۲): ظرفیت پوشش زمینی حوضه آبریز رودهن - بومهن برای کاربری‌های مختلف

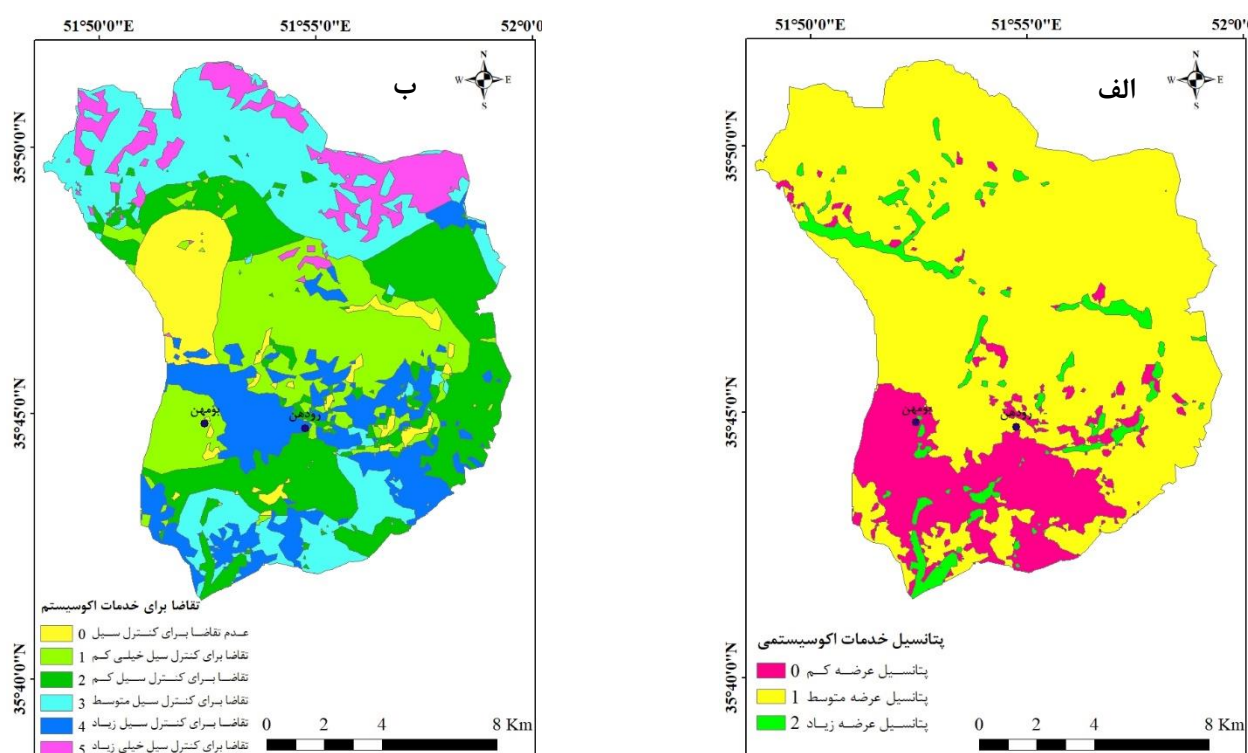
Table (2): Land cover capacity of the Roudheh-Boumehen catchment for various land uses

کاربری	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	ارزش کاربری بر اساس خدمت تنظیمی سیل
مناطق شهری	۳۳/۵۸	۱۷/۰۲	۰
مرتع	۱۵۳/۴۶	۷۷/۷۹	۱
باغ	۱۰/۲۴	۵/۱۹	۲

ظرفیت‌های عرضه خدمات اکوسیستم برای انواع پوشش‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه (شکل ۹-الف) ارزیابی شد. این ظرفیت‌ها نشان دهنده وضعیت فعلی عملکرد تنظیم سیل است. طبقه‌بندی مقادیر ظرفیت ۰-۵ برای انواع مختلف پوشش زمین بر اساس تحلیل‌های فضایی داده‌های کاربری زمین همراه با مدل‌سازی هیدرولوژیکی انجام شده است. این مقادیر نشان‌دهنده توانایی نسبی آن منطقه در ارائه خدمت تنظیم سیل هستند. بر اساس شکل ۹-الف، مناطقی که با مقدار صفر مشخص شده‌اند، هیچ ظرفیتی برای تنظیم سیل ندارند و ۱۶/۸۷٪ از مساحت حوضه را شامل می‌شوند. این بدان معناست که این مناطق به احتمال زیاد در کاهش رواناب سطحی و به تاخیر انداختن جریان آب ناشی از بارندگی نقشی ایفا نمی‌کنند و حتی ممکن است به دلیل ویژگی‌های خود، به افزایش رواناب کمک کنند. مقادیر ۱ و ۲ نشان‌دهنده ظرفیت‌های میانی عرضه خدمات تنظیم سیل هستند. مقدار ۱ (۷۸/۰۵٪) بیانگر ظرفیت نسبتاً پایین و مقدار ۲ (۵/۰۸٪) ظرفیت متوسط را نشان می‌دهد. بخش‌هایی که با مقادیر ۲ مشخص شده‌اند، مهم‌ترین مناطق از نظر تنظیم سیل در حوضه به شمار می‌روند و حفظ و تقویت آن‌ها برای کاهش خطر سیلاب ضروری است. همان‌طور که از شکل ۹-الف مشخص است، پهنه‌هایی با مقدار ۳، ۴ و ۵ در محدوده مورد مطالعه جود ندارند. مقدار ۳، ۴ و ۵ دارای بالاترین

ظرفیت برای تنظیم سیل هستند. این نواحی به طور موثری می توانند رواناب را جذب کرده، سرعت جریان آب را کاهش داده و از وقوع سیلاب های ناگهانی جلوگیری کنند.

پارامترهای ناهمواری (به ویژه ارتفاع و شیب) نیز تأثیر قابل توجهی بر عملکردهای تنظیم سیل دارند. مناطقی که در قسمت های مرتفع کوهستان ها قرار دارند معمولاً میزان بارندگی بیشتری دارند و شیب های تندتر حرکت سریع تر آب به سمت پایین را تسهیل می کند. پوشش گیاهی در آنجا نقش بسیار مهمی در تنظیم تعادل آب دارد. شمال شرقی منطقه پتانسیل لازم برای کنترل سیل را ندارد و بیشترین پتانسیل برای کنترل سیل در غرب و مرکز حوضه آبریز و بقیه مناطق ظرفیت متوسط تا کمی برای کنترل سیلاب دارند. تقاضا برای تنظیم سیل با مزایایی که مردم از این خدمات به دست می آورند مرتبط است. در منطقه مورد مطالعه رودهن-بومهن، منافع حفاظت از اموال مانند زیرساخت خانه ها، زمین های کشاورزی و البته جان انسان ها است. اگر قرار است حفاظت و کاهش موثر سیل طبیعی در این منطقه حاصل شود، عرضه خدمات اکوسیستم تنظیم کننده سیل توسط طبیعت از یک سو باید از نظر فضایی با خواسته های جامعه مطابقت داشته باشد. مناطق غربی که در حوضه آبریز رودهن-بومهن واقع شده اند، کمک زیادی به تنظیم سیل می کنند که از سکونت گاه ها در سرازیری ها محافظت می کند. یک مقیاس نسبی مشابه از ۰ تا ۵- برای ارزیابی تقاضا برای تنظیم سیل استفاده شد (شکل ۹-ب). مطابق این شکل، پهنه های با مقادیر صفر، عدم تقاضا برای کنترل سیل است (۰/۸/۱۰) و با مقادیر ۱-، تقاضا برای کنترل سیل خیلی کم است (۱۹/۰۷). در پهنه های با مقادیر ۲- (۲۳/۵۸) و ۳- (۲۶/۴۵) تقاضا برای کنترل رواناب کم تا متوسط است. مناطق غربی و تا حدودی مرکز حوضه آبریز مورد مطالعه بیشترین عدم تقاضا را برای کنترل سیل دارند و بیشترین تقاضا یعنی مقادیر ۴- (۱۴/۶۰) و ۵- (۸/۱۹) در ارتفاعات و مناطق شهری وجود دارد.

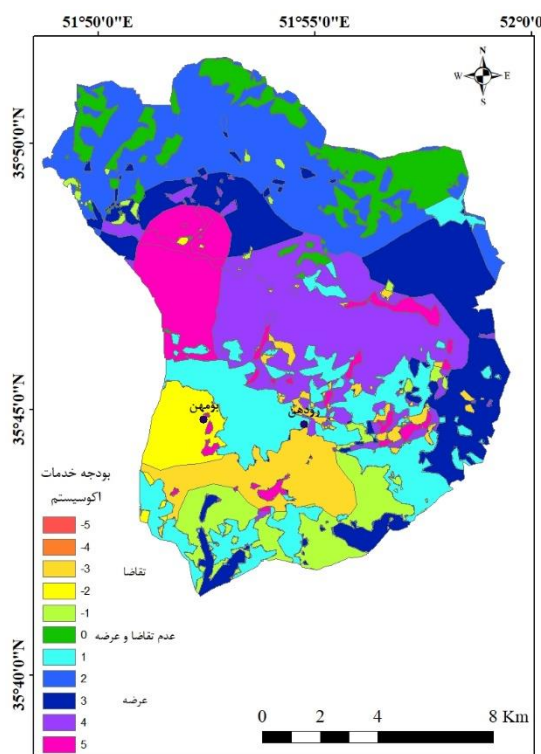


شکل (۹): نقشه پتانسیل (عرضه) (الف) و تقاضا برای کنترل سیل (ب)

Figure (9): Map of the potential (supply) (a) and demand for flood control in the catchment (b)

نقشه بودجه مربوط به عرضه و تقاضای تنظیم سیل (شکل ۱۰) نشان می دهد که در بیشتر موارد مناطق با تقاضای بالا در مکان هایی با ظرفیت های عرضه پایین قرار دارند. طبق جدول ۳ مساحت بیشتری از محدوده مورد مطالعه، عرضه خدمت تنظیم سیل (۷۴/۹۵ درصد)

بیش از تقاضا برای کنترل سیل (۱۶/۸۶ درصد) است و حدود ۸/۱۸ درصد حوضه عدم تقاضا و عرضه وجود دارد. وضعیت ۲، ۳ و ۴ که بیشترین مساحت را از نظر عرضه دارند، این مناطق نشان‌دهنده مازاد قابل توجهی در بودجه تنظیم سیل هستند. این نواحی دارای ظرفیت بالایی برای تنظیم رواناب هستند که بیشتر از تقاضای محلی است. وضعیت ۱-، ۲-، و ۳- نیز که بیشترین مساحت را از نظر تقاضا برای تنظیم سیل دارند، احتمالاً دارای بیشترین کسری در بودجه تنظیم سیل هستند. این بدان معناست که تقاضا برای تنظیم سیل در این نواحی بسیار بالا است، در حالی که ظرفیت اکوسیستم برای ارائه این خدمت بسیار پایین است. این مناطق به شدت در معرض خطر سیل قرار دارند و نیاز به مدیریت خطر سیل وجود دارد. مناطق وسیعی در حوضه شناسایی شده‌اند که در آن‌ها عرضه برای تنظیم سیل به میزان ۴ تا ۵ واحد بیشتر از تقاضا است. محدوده جنوبی حوضه که شهرهای رودهن و بومهن قرار دارند، تقاضا برای کنترل سیل بیشتر از سایر نقاط است و به همین دلیل، در معرض خطر بالای وقوع سیل و خسارات ناشی از آن قرار دارند. به عبارت دیگر، اکوسیستم‌های این نواحی قادر به جذب و کنترل حجم آبی که در زمان بارندگی ایجاد می‌شود، نیستند و این امر احتمال جاری شدن سیل را افزایش می‌دهد. در مقابل در مرکز حوضه، با کاربری مراتع و باغات و خاک از نوع A و B توانایی کنترل سیل را داشته و عرضه این نوع خدمت در اینجا بالادست (شکل ۱۰ و جدول ۳). همچنین در شمال حوضه، قسمت‌هایی دارای عرضه تنظیم سیل باشند که منطبق بر مراتع با نوع خاک C می‌باشند اما در قسمت‌هایی که برونزدگی سنگی وجود دارد، عرضه تنظیم سیل وجود نداشته و به دلیل نبود استقرار انسان، تقاضایی هم وجود ندارد.



شکل (۱۰): نقشه بودجه خدمات اکوسیستم برای تنظیم سیل

Figure (10): Ecosystem services budget map for flood regulation

جدول (۳): مساحت بودجه خدمات اکوسیستم جهت تنظیم سیل
Table (3): Area of ecosystem services budget for flood regulation

بودجه	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (درصد)
-۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱	۱۶/۸۶
-۴	۰/۱۲	۰/۰۶	
-۳	۰/۵۵	۶/۹۷	
-۲	۶/۶۲	۳/۳۷	
-۱	۱۲/۶۶	۶/۴۵	
۰	۲۹/۱۹	۸/۱۸	۸/۱۸
۱	۲۸/۱۱	۱۴/۳۳	۷۴/۹۵
۲	۳۹/۲۵	۲۰/۰۰	
۳	۳۳/۱۳	۱۶/۸۸	
۴	۳۰/۸۰	۱۵/۷۰	
۵	۱۵/۷۸	۸/۰۴	

بحث و نتیجه گیری

با کمی نمودن و پیش‌بینی خدمات اکوسیستم مبتنی بر خدمات تنظیمی رواناب می‌توان به اولویت‌بندی و پهنه‌بندی مناطق مستعد رواناب و فرسایش برای تبیین راهبردهای مدیریتی و بازدارندگی کمک شایانی نمود. مطالعه پتانسیل کنترل سیل با توجه به خدمت تنظیم سیل اکوسیستم در حوضه آبریز رودهن - بومهن نشان داد که پتانسیل تولید رواناب در قسمت‌های جنوب‌غربی و تا حدودی غرب کم و در قسمت مرکزی و جنوب حوضه به دلیل کاربری ضعیف و مناطق شهری توان تولید رواناب بالاست و همچنین بخش‌های شمال شرقی حوضه به علت شیب زیاد، کاربری مرتع ضعیف و نفوذپذیری پایین، بیشترین رواناب را تولید می‌کند. دانکر و فین^۱ (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای درباره مدیریت سیلاب در اروپا بیان کردند که ظرفیت اکوسیستم‌ها برای جذب رواناب به شدت تحت تأثیر کاربری زمین، شرایط خاک و شیب منطقه است و همواره در مناطق مختلف یکنواخت نیست. همچنین، بارتلت^۲ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تغییرات کاربری زمین و اثرات آن بر رژیم‌های هیدرولوژیک، نشان دادند که در مناطقی با نفوذپذیری خاک متوسط و شیب‌های زیاد، ظرفیت تنظیم سیل به شدت محدود می‌شود. با توجه به پتانسیل رواناب تولید شده و تلفیق آن با نقشه کاربری و پوشش اراضی، پهنه‌های تقاضا برای کاهش سیلاب و پهنه‌های عرضه خدمت تنظیم سیل بدست آمده نشان داد که در حوضه آبریز رودهن-بومهن، عرضه خدمت تنظیم سیل بیش از تقاضا برای کنترل سیل است. عرضه بالا در این مناطق نشان‌دهنده مازاد قابل توجهی در بودجه تنظیم سیل است. این نواحی دارای ظرفیت بالایی برای تنظیم رواناب هستند که بیشتر از تقاضای محلی است. در حالی که، تقاضای بالا در این حوضه نشان‌دهنده بیشترین کسری در بودجه تنظیم سیل است. این بدان معناست که تقاضا برای تنظیم سیل در این نواحی بسیار بالا است، در حالی که ظرفیت اکوسیستم برای ارائه این خدمت بسیار پایین است. این مناطق به شدت در معرض خطر سیل قرار دارند. در قسمت کاربری شهری، پتانسیل تقاضا خدمت اکوسیستم زیاد، در کاربری مراتع متوسط و در کاربری باغ کم می‌باشد. محدوده جنوبی حوضه که شهرهای رودهن و بومهن قرار دارند، تقاضا برای کنترل سیل بیشتر از سایر نقاط است و به همین دلیل، در معرض خطر بالای وقوع سیل و خسارات ناشی از آن قرار دارند. به عبارت دیگر، اکوسیستم‌های این نواحی قادر به جذب و کنترل حجم آبی که در زمان بارندگی ایجاد می‌شود، نیستند و این امر احتمال جاری شدن سیل را افزایش می‌دهد. در مقابل در مرکز حوضه، با کاربری مراتع و باغات و خاک از نوع A و B توانایی کنترل سیل را داشته و عرضه این نوع خدمت در اینجا بالاست. طبق گفته ژانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی درباره تأثیر کاربری اراضی بر تنظیم سیل نشان دادند که پوشش‌های گیاهی متراکم مانند باغات و جنگل‌ها با افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش

¹ Dankers & Feyen

² Bartlett

³ Zhang

رواناب، نقش مهمی در کنترل سیل دارند. همچنین در شمال حوضه، قسمت‌هایی دارای عرضه تنظیم سیل باشند که منطبق بر مراتع با نوع خاک C می‌باشند اما در قسمت‌هایی که برونزدگی سنگی وجود دارد، عرضه تنظیم سیل وجود نداشته و به دلیل نبود استقرار انسان، تقاضایی هم وجود ندارد. نتیجه این که طبق گفته والز و همکاران (۲۰۱۹) کاربری‌هایی که نقش مهمی به عنوان کنترل کننده‌های طبیعی سیل دارند، باید جهت کاهش خطر سیل مورد توجه قرار گرفته و حفظ شوند. در حوضه آبریز رودهن-بومهن نیز هر چند دشت سیلابی و مزارع به عنوان کنترل کننده‌های سیل وجود ندارد اما می‌توان از ظرفیت باغات و همچنین حفظ و جلوگیری از تخریب مراتع به عنوان اکوسیستم‌های تنظیم سیلاب جهت کنترل رواناب در مناطق مسکونی پایین دست حوضه استفاده کرد.

بنابراین، یافته‌های این تحقیق، تبیین کننده این واقعیت هستند که مدیریت خطر سیل نیازمند رویکرد منطقه‌ای و توجه به ناهمگونی‌های فضایی اکوسیستم است. مناطق مسکونی که وسعت زیادی از منطقه را دربر گرفته، پتانسیل تولید سیل بالا و در نتیجه تقاضا برای تنظیم سیل زیاد می‌باشد اما حوضه آبریز رودهن-بومهن پتانسیل ذخیره رواناب‌های سطحی را نیز دارد. زیرا حدود ۷۵ درصد از حوضه را دارای ظرفیت تنظیم (عرضه خدمت تنظیم سیل) هستند و بستر مناسبی برای مهار آب سطحی و کنترل سیلاب می‌باشند.

References

- Bartlett, M. S., Parolari, A. J., McDonnell, J. J., & Porporato, A. (2016). Beyond the SCS-CN method: A theoretical framework for spatially lumped rainfall-runoff response. *Water Resources Research*, 52(6), 4608-4627. <https://doi.org/10.1002/2015WR018439>.
- Boyanova, K., Nedkov, S., & Burkhard, B. (2014). Quantification and mapping of flood regulating ecosystem services in different watersheds—case studies in Bulgaria and Arizona, USA. In *Thematic cartography for the society* (pp. 237-255). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08180-9_18.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services-A concept for land-cover based assessments. *Landscape online*, 15-15. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>.
- Chow, V. T. (1965). *Bibliography: 1) Handbook of applied hydrology*. <https://doi.org/10.1061/9780784401385>.
- Dankers, R., & Feyen, L. (2009). Flood hazard in Europe in an ensemble of regional climate scenarios. *Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D16). <https://doi.org/10.1029/2008JD011523>.
- Ghabelnezam, E., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., & Hazbavi, Z. (2022). The importance of watershed ecosystem services with emphasis on runoff yield and erosion control. *Human and Environment*, 62, 137-155. <https://sanad.iaui.ir/en/Journal/he/Article/847705>.
- Ghafari Gilandeh, A., Sobhani, B., & Ostadi Babakandi, E. (2017). Estimation of Curve Number and Runoff in ArcGIS (A Case Study of Meshkin Shahr City). *Hydrogeomorphology*, 3(9), 159-175. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1395.3.9.8.8>.
- Hosseini, S. M., Jafar-Beiglu, M., & Geravand, F. (2015). Modeling of Hydraulic Behavior of Kashkan River and Determination of Floodplain Limits Using HEC-Geo-RAS. *Environmental Management Hazards*, 2(3), 355-369. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.58102>.
- Hoseinzadeh, M. M., Nosrati, K., & Imeni, S. (2019). Determining curve number and estimating runoff yield in Hesarak catchment. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(51), 133-150. <http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.51.133>.
- Khaleghi, S., & Malekani, L. (2016). Simulation of flood hazard using GIS-based cellular automata (Case study: Chirchir Catchment). *Physical Geography Research*, 48(4), 589-605. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60829>.

- Laal Mousavi, B.N., (2020), Potential of runoff hazard in urbanized catchment of Roudehen-Boumehen in order of sustainable development, Msc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran.
- Marino, D., Palmieri, M., Marucci, A., Soraci, M., Barone, A., & Pili, S. (2023). Linking flood risk mitigation and food security: an analysis of land-use change in the metropolitan area of Rome. *Land*, 12(2), 366. <https://doi.org/10.3390/land12020366>
- Nayyeri, H. , Amani, K., & Ganjaeian, H. (2016). Survey the Tarval Drainage Watershed Hydro Geomorphology and Hydrology Indicators. *Hydrogeomorphology*, 3(7), 19-38. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1395.3.7.2.8>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Quagliolo, C., Comino, E., & Pezzoli, A. (2021). Experimental flash floods assessment through urban flood risk mitigation (UFRM) model: the case study of Ligurian coastal cities. *Frontiers in Water*, 3, 663378. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.663378>
- Vallecillo, S., Kakoulaki, G., La Notte, A., Feyen, L., Dottori, F., & Maes, J. (2020). Accounting for changes in flood control delivered by ecosystems at the EU level. *Ecosystem Services*, 44, 101142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101142>
- Walz, U., Richter, B., & Grunewald, K. (2019). Indicators on the ecosystem service “regulation service of floodplains”. *Ecological Indicators*, 102, 547-556. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.073>
- Zhang, Y., Zhao, Y., Wang, Q., Wang, J., Li, H., Zhai, J., ... & Li, J. (2016). Impact of land use on frequency of floods in Yongding River Basin, China. *Water*, 8(9), 401. <https://doi.org/10.3390/w8090401>