Research Paper

Determining suitable locations for rainwater harvesting using GIS and FAHP

Farhad Faghihi [1], Hossein Jahantigh [2*]

[1] Department of Surveying Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

2 faculty member of Saravan Higher Education Complex, Iran

10.22125/IWE.2023.168323

Received:
June 14, 2022
Accepted:
October 14, 2022
Available online:
April 18, 2023

Keywords:
Water scarcity, hierarchical analysis, fuzzy, rain, GIS.

Abstract

Rapid population growth, economic and social development, urbanization, and increased food demand have put pressure on freshwater resources in different regions of the world. Increasing demand for water leads to overexploitation of water resources and water shortage. Therefore, there is a need for effective alternative solutions to deal with this problem. Collecting and harvesting rainwater is one of the practical solutions to deal with water shortage. However, the selection of potential areas for the location of rainwater harvesting structures in a watershed requires the examination of several factors, including topography, land slope, soil type, rainfall intensity, land use cover, drainage, river flow, and socio-economic criteria. This shows that the planning and implementation of rainwater harvesting projects is a multi-objective and multi-criteria problem that depends on several criteria. Therefore, the integration of geographic information system (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approaches is essential. In this research, a GIS-based model with a combination of fuzzy logic and AHP was used to determine suitable areas for the construction of rainwater harvesting structures in the Golidagh watershed for 2018. The results showed that 9.92% of the studied area has very high potential, 25.7% high, 21.58% moderate, and 42.8% poor rainwater harvesting potential. According to the findings, it is suggested to create suitable rainwater collection structures in designated places to reduce water shortage.

1. Introduction

Water is the driving force behind food security, industrial production and the preservation of ecosystems, as well as a country's social development. In recent years, increasing population growth, rapid industrialization and urbanization combined with poor water management have exacerbated water scarcity and environmental problems around the world. This has made planning and managing water resources a complex and challenging task. In recent years, the use of rainwater has emerged as a useful strategy around the world to address water scarcity. Rainwater is considered one of the best and most cost-effective water sources, because rainwater can be easily harvested and can be used for non-drinking purposes without significant treatment. The main benefits of rainwater harvesting (RWH) include the optimal use of available natural resources, an increase in existing supply capacity, reduction of pollutant loads into water bodies, reduction of sewerage network load, reduction of soil erosion, reduction of flood and drought risks and environmental protection. Therefore, rainwater harvesting and artificial

* **Corresponding Author:** Hossein Jahantigh
Address: faculty member of Saravan Higher Education Complex, Iran
Email: drhoseynjahantigh@gmail.com
Tel: +989330507661

groundwater recharge are supported as promising tools for addressing water scarcity and adapting to climate change issues. In urban areas, RWH involves concentrating, collecting, storing, and treating rainwater from roofs, terraces, grounds, and other impermeable building surfaces for on-site use. In practice, the primary purpose of water harvesting (WH) is to collect runoff from an area with sufficient water, store it and make it available where and when water shortages occur. However, selecting potential areas for the location of WH structures in a watershed requires consideration of several factors, including location, slope, soil type, rainfall intensity, land use, drainage, river flow, and socio-economic criteria. Remote sensing and GIS techniques have become valuable tools and can be used to protect, manage and plan watersheds. Planning and implementing rainwater harvesting projects is a multi-objective and multi-criteria problem that depends on several criteria. Therefore, the integration of GIS approaches and multi-criteria decision analysis (MCDA) is essential, which will help develop a framework for identifying potential RWH sites and groundwater recharge sites.

2. Materials and Methods

Locating suitable places for rainwater harvesting is based on the problem of several factors and has many goals. Remote sensing data is used to prepare a thematic input database using ArcGIS. In this research, four main steps have been adapted and assumed as follows:

1- Selecting rainwater harvesting criteria.

2- Levels of evaluation of the appropriateness of the selected criteria.

3- Determining the weight of this criterion.

4- Generate a map using GIS tools

The choice of factors used to study the potential of one region for rainwater harvesting varies from region to region. In this study, five factors were used to evaluate the rainwater harvesting potential in the Golidagh watershed, which include slope (%), soil hydrological group (HSG), land cover, runoff potential, and soil texture. The main factors were assessed by remote sensing analysis based on the interpretation of satellite images.

3. Results

The results showed that the southern, southeastern, southwestern, and some areas of the north and northwest Golidagh watershed due to forest vegetation and soil texture have a low capacity for rainwater harvesting and are in a very weak class (16.46%) and poor (34.34%) are located. These areas occupy a total of 42.8% of the area of the Golidagh watershed. The middle class is located in the eastern, northwestern, and central areas of the basin and covers 21.58% of the basin area. Many and very many floors are observed in the central, eastern, and northeastern parts of the Golidagh watershed, which are 25.7% and 9.92% of the basin area, respectively. Areas with high and very high potential are generally located in sloping and hydrological groups of soil C that have low permeability and high runoff. Five factors of the slope, soil texture, runoff generation potential, soil hydrology group, and land use were used as input for decision making and the weight of each factor was determined by the AHP technique. The results showed that in the southern, southeastern, and southwestern and some areas of the north and northwest Golidagh watershed due to forest vegetation and soil texture have a low capacity for rainwater harvesting and in a very weak class (16.46%) and poor (34.34%) are located. These areas occupy a total of 42.8% of the area of the Golidagh watershed. The middle class is located in the eastern, northwestern and central areas of the basin and covers 21.58% of the basin area. Many and very many floors are observed in the central, eastern and northeastern parts of the Golidagh watershed, which are 25.7% and 9.92% of the basin area, respectively. Areas with high and very high potential are generally located in sloping and hydrological groups of soil C that have low permeability and high runoff. The decision-making process for the best viable method for water abstraction depends on the socio-economic and cultural factors of the region. One of the vital social aspects of success is stakeholder participation. All stakeholders should be involved in the planning, design and implementation of the water abstraction structure. Rainwater harvesting is based on the use of runoff and requires a runoff production area and a runoff receiving area, and due to the intermittent nature of runoff events, storage is an integral part of

the water collection system. Water harvesting initiatives and interventions require projects to improve the existing practices of individual farmers in water harvesting in the Golidagh watershed, and before choosing a specific method, the social and cultural aspects of the region should be considered, because they are very important and successful. Or affects the failure of the technique performed.

Discussion and Conclusion

The purpose of this research is to identify the suitable areas for harvesting rainwater in the Golidagh watershed. GIS, hierarchical analysis, and fuzzy logic are techniques that have proven to be very effective in determining suitable locations for rainwater harvesting. Therefore, in this research, these techniques were used to identify suitable places for rainwater harvesting in the Golidagh watershed. There is the potential for rainwater harvesting in Golidagh watershed, which can create opportunities for maximizing water access and sustainable development for agricultural purposes and meeting the water needs of the environment. The map produced in this research can help to choose the appropriate location of rainwater harvesting structures and therefore to preserve water resources in the studied area.

Six important references

1) Al-Abadi, A. M., Shahid, S., Ghalib, H. B., & Handhal, A. M. (2017). A GIS-based integrated fuzzy logic and analytic hierarchy process model for assessing water-harvesting zones in Northeastern Maysan Governorate, Iraq. Arabian Journal for Science and Engineering, 42(6), 2487-2499.
2) Buraihi, F. H., & Shariff, A. R. M. (2015). Selection of rainwater harvesting sites by using remote sensing and GIS techniques: a case study of Kirkuk, Iraq. Jurnal Teknologi, 76(15).
3) Haldar, S., & Majumder, A. (2022). Identifying suitable location for Surface Rainwater Harvesting using GIS and Analytical Hierarchy Process. Papers in Applied Geography, 1-18.
4) Karmakar, M., & Ghosh, D. (2022). A GIS-based approach for identification of optimum runoff harvesting sites and storage estimation: a study from Subarnarekha-Kangsabati Interfluve, India. Applied Geomatics, 1-14.
5) Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. Expert Systems with Applications, 161, 113738.
6) Mishra, A. K., Deep, S., & Choudhary, A. (2015). Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(2), 181-193.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to …..

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه و یک . بهار ۱۴۰۲

تعیین مکان‌های مناسب برداشت آب باران با استفاده از GIS و FAHP

فرهاد فقیهی[۱]،حسین جهانتیغ[۲]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۷/۲۲

مقاله پژوهشی

چکیده

رشد سریع جمعیت، توسعه اقتصادی و اجتماعی، شهرنشینی و افزایش تقاضای مواد غذایی باعث فشار بر منابع آب شیرین در مناطق مختلف دنیا شده است. افزایش تقاضا برای آب منجر به بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب و کمبود آب می‌شود. بنابراین نیاز به راهکارهای جایگزین مؤثر برای مقابله با این مشکل وجود دارد. جمع‌آوری و برداشت آب باران یکی از راه‌حل‌های کاربردی برای مقابله با کمبود آب هست. با این‌حال انتخاب مناطق بالقوه برای مکان‌یابی سازه‌های برداشت آب باران در یک حوضه آبخیز نیاز به بررسی عوامل متعددی ازجمله، توپوگرافی، شیب زمین، نوع خاک، شدت بارندگی، پوشش کاربری زمین، زهکشی، جریان رودخانه و معیارهای اجتماعی-اقتصادی دارد. این نشان می‌دهد برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های برداشت آب باران یک مشکل چندهدفه و چند معیاره است که به معیارهای متعددی بستگی دارد. بنابراین، ادغام رویکردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) ضروری است. در این پژوهش از یک مدل مبتنی بر GIS با ترکیب منطق فازی و AHP برای تعیین مناطق مناسب برای ساخت سازه‌های برداشت آب باران در حوضه آبخیز گلیداغ برای سال ۱۳۹۸ استفاده شد. نتایج نشان داد که ۹/۹۲ درصد از منطقه موردمطالعه دارای پتانسیل بسیار زیاد، ۲۵/۷ درصد زیاد، ۲۱/۵۸ درصد متوسط و ۴۲/۸ درصد دارای پتانسیل ضعیف برداشت آب باران است. طبق یافته‌ها پیشنهاد می‌شود برای کاهش کمبود آب سازه‌های مناسب جمع آوری آب باران در مکان‌های تعیین شده ایجاد گردد.

واژه‌های کلیدی: کمبود آب، تحلیل سلسله‌مراتبی، فازی، باران، GIS.

[۱] گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.Email: ff.iust2014@gmail.com

۲ عضو هیئت علمی مجتمع آموزش عالی سراوان، ایران Email: drhoseynjahantigh@gmail.com

مقدمه

آب نیروی محرکه امنیت غذایی، تولید صنعتی، حفظ اکوسیستم‌ها و توسعه اجتماعی یک کشور است. در سال‌های اخیر، رشد روزافزون جمعیت، صنعتی شدن سریع و شهرنشینی همراه با مدیریت ضعیف منابع آب منجر به تشدید کمبود آب و مشکلات زیست‌محیطی در سراسر جهان شده است. این موضوع برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب را به یک مسئله پیچیده و چالش‌برانگیز تبدیل کرده است (Umugwaneza et al. 2022).

در سال‌های اخیر استفاده از آب باران به‌عنوان یک راهکار مفید برای رسیدگی به مشکل کمبود آب ظاهرشده است. آب باران یکی از بهترین و مقرون به‌صرفه‌ترین منابع آب در نظر گرفته می‌شود، زیرا آب باران را می‌توان به‌راحتی برداشت کرد و بدون تصفیه قابل‌توجهی می‌توان از آن برای مصارف غیر شرب استفاده کرد (Yegizaw et al. 2022). از مزایای عمده برداشت آب باران (RWH)[1] می‌توان به استفاده بهینه از منابع طبیعی موجود، افزایش ظرفیت تأمین موجود، کاهش بارهای آلاینده وارد بدنه‌های آبی، کاهش بار شبکه فاضلاب، کاهش فرسایش خاک، کاهش خطرات سیل و خشک‌سالی و حفاظت از محیط‌زیست اشاره کرد. بنابراین، برداشت آب باران و تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به‌عنوان ابزار امیدوارکننده‌ای برای رسیدگی به کمبود آب و سازگاری با مسائل مربوط به تغییرات آب و هوایی موردحمایت قرار می‌گیرد (Muleta et al. 2022).

بارندگی منبع اولیه آب است، ازاین‌رو استفاده از چنین منابع طبیعی ارزشمندی باید بسیار دقیق انجام شود. حوضه آبخیز به‌عنوان واحدی ایدئال برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و اراضی به شمار می‌رود. برداشت آب مجموعه‌ای از رواناب‌های سطحی است که می‌تواند بیشتر برای کشاورزی و مصارف خانگی مورداستفاده قرار گیرد (Karmakar and Ghosh 2022). در عمل، هدف اصلی برداشت آب (WH)[2] جمع‌آوری رواناب از یک منطقه با آب کافی، ذخیره آن و در دسترس قرار دادن آن در مکان و زمانی که کمبود آب رخ می‌دهد است. با این‌حال انتخاب مناطق بالقوه برای مکان‌یابی سازه‌های WH در یک حوضه آبخیز نیاز به بررسی عوامل متعددی ازجمله، موقعیت، شیب زمین، نوع خاک، شدت بارندگی، پوشش کاربری اراضی، زهکشی، جریان رودخانه و معیارهای اجتماعی-اقتصادی دارد. سنجش‌ازدور و تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS به ابزار ارزشمندی تبدیل‌شده‌اند و می‌توانند برای حفاظت، مدیریت و برنامه‌ریزی حوضه‌های آبخیز استفاده شوند (Al-Abadi et al. 2017).

برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های برداشت آب باران یک مشکل چندهدفه و چند معیاره است که به معیارهای متعددی بستگی دارد. بنابراین، ادغام رویکردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA)[3] که به توسعه چارچوبی برای تعیین و شناسایی مناطق بالقوه RWH و سایت‌های تغذیه آب زیرزمینی کمک کند ضروری است (Al-Abadi et al. 2017). در میان رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یک روش پرکاربرد در فرآیندهای تصمیم‌گیری درزمینه‌های مختلف است. درواقع، استراتژی AHP مبتنی بر GIS به‌طور گسترده توسط جامعه دانشگاهی جهانی به‌عنوان یک تکنیک قدرتمند برای تجزیه‌وتحلیل مشکلات تصمیم‌گیری فضایی مورد تائید قرارگرفته است (Muleta et al. 2022).

تحقیقات متعددی در مناطق مختلف دنیا به بررسی مکان‌های مناسب برداشت آب باران پرداخته‌اند. Surve et al. (2022) در تحقیقی به بررسی مکان مناسب برای

[1] Rainwater harvesting
[2] Water harvesting
[3] Multi criteria decision analysis

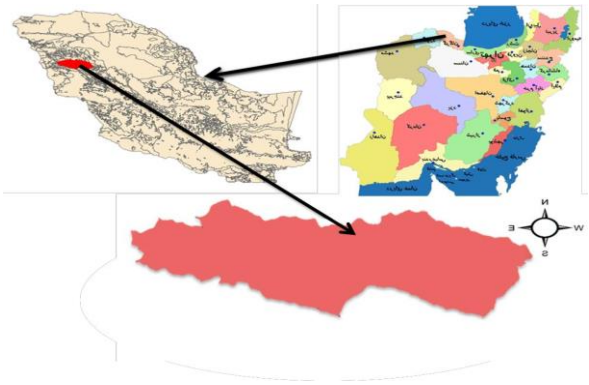
برداشت آب در حوضه آبخیز تتوالی[1] واقع در کشور هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS پرداختند. نتایج نشان داد از کل مساحت حوضه تتوالی، ۲۷۸/۳۶ هکتار مناسب برای ساخت سازه برداشت آب و ۱۰۳/۶۴ هکتار از مساحت حوضه آبخیز برای سازه‌های برداشت آب نامناسب است. Ouali et al. (2022) به تعیین نقاط مناسب برداشت آب باران در حوضه آبخیز تودقا[2] واقع در جنوب شرقی مراکش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و تحلیل سلسله‌مراتبی پرداختند. نتایج نشان داد در این منطقه، سازه‌های جمع‌آوری آب باران نقش بسزایی در کاربرد تأمین آب دارند و مدیریت یکپارچه آب را تضمین می‌کنند. مکان‌های بالقوه برای سازه‌های جمع‌آوری آب باران، به‌ویژه سدهای تپه‌ای، ۵/۹۳٪ از کل مساحت را تشکیل می‌دهند. Karmakar and Ghosh (2022) به بررسی مکان‌های مناسب برداشت آب باران در سوبارنارخا-کانگ ساباتی اینترفلیو کشور هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و تحلیل سلسله‌مراتبی پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که حدود ۴۶/۴۱ درصد از مناطق دارای تناسب بالا تا بسیار بالا برای برداشت رواناب حاصل از آب باران هستند. Haldar and Majumder (2022) به بررسی مکان‌های مناسب برداشت آب باران در منطقه بتول-چیندوارا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS پرداختند. یافته‌ها نشان داد که این منطقه دارای دامنه محدودی از آب باران است. Umugwaneza et al. (2022) تحقیقی را باهدف شناسایی مکان‌های مناسب برای برداشت آب باران در حوضه آبریز نیابوگوگو واقع در رو اندا با ادغام یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر اطلاعات جغرافیایی انجام دادند. یافته‌ها نشان داد حدود ۴/۸ و ۱۶/۳۵ درصد از منطقه مورد مطالعه به ترتیب به‌عنوان مناطق بسیار مناسب و مناسب برای برداشت آب باران طبقه‌بندی می‌شوند. نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) به تعیین مکان های مناسب برداشت آب باران در حوضه آبخیز سراب صید علی الشتر با کمک GIS پرداختند که یافته‌ها نشان داد ۱۴۰ کیلومتر از مساحت حوضه دارای پتانسیل بالا است. دارابی و ایلدرمی (۱۴۰۰) به مکانیابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران در حوضه آبریز سیاه خور کرمانشان پرداختند که یافته‌ها نشان داد ۲۹ درصد از مساحت حوضه برای جمع‌اوری آب باران مناسب است. بررسی منابع نشان داد که انتخاب مکان‌های مناسب برداشت آب برای برنامه‌ریزان و مدیران برای مقابله با کمبود آب رو به رشد و مشکلات زیست‌محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است. علیرغم اهمیت فوق‌العاده آن، استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و تکنیک‌های GIS در مدیریت منابع آب و تحقیقات آن در ایران بسیار محدود است. به‌طور خاص، هیچ تحقیقی برای شناسایی مکان‌های مناسب برای برداشت آب باران در منطقه موردمطالعه با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS انجام‌نشده است. برای مطالعه حاضر، یک مدل مبتنی بر GIS با ترکیب منطق فازی و AHP برای ترسیم مناطق مناسب برای ساخت سازه‌های برداشت آب باران پیشنهاد می‌شود. با توجه به نقش محوری برداشت آب باران در مدیریت پایدار آب، این مطالعه با استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS و منطق فازی انجام می‌شود. موارد مطرح‌شده تاکنون کمتر موردتوجه محققین قرارگرفته و بررسی بیشتر این موارد جنبه نوآوری، ضرورت و هدف تحقیق حاضر هست.

منطقه مورد مطالعه

در شکل (۲) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز گلیداغ ارائه شده است. حوضه آبخیز گلیداغ از جنوب به شهرستان مراوه‌تپه و از شمال به شهرستان کلاله متصل است. مساحت حوضه حدود ۱۲۸۹۵ هکتار می‌باشد. حوضه آبخیز گلیداغ بخشی از حوضه گرگانرود است که ۲۸/۰۴ کیلومتر طول دارد. میانگین بارندگی سالانه در حوضه آبخیز ۸۱۳ میلی‌متر می‌باشد.

[1] Tetavali

[2] Toudgha



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

مکان‌یابی مکان‌های مناسب برای برداشت آب باران بر اساس مشکل عوامل متعددی است و اهداف زیادی دارد. داده‌های سنجش‌ازدور برای تهیه پایگاه داده ورودی موضوعی با استفاده از ArcGIS استفاده می‌شود. در این تحقیق چهار مرحله اصلی به شرح زیر اقتباس و فرض شده است:

۱- انتخاب معیارهای برداشت آب باران.
۲- سطوح ارزیابی تناسب معیارهای انتخاب‌شده.
۳- تعیین وزن این معیار.
۴- تولید نقشه با استفاده از ابزار GIS

انتخاب عوامل مورداستفاده برای مطالعه پتانسیل یک منطقه برای برداشت آب باران از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. در این مطالعه از پنج فاکتور برای بررسی پتانسیل برداشت آب باران در حوضه آبخیز گلیداغ استفاده شد که شامل شیب (٪)، گروه هیدرولوژیکی خاک (HSG)، پوشش زمین، پتانسیل ایجاد رواناب و بافت خاک هست. فاکتورهای اصلی با تجزیه‌وتحلیل سنجش‌ازدور بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی شدند (Muleta et al. 2022). در این مطالعه با استفاده از اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای موجود در Google Earth و سازمان نقشه‌برداری کشور و بهره‌گیری از قابلیت‌های نرم‌افزار جامع GIS به بررسی خصوصیات توپوگرافی حوضه گلیداغ پرداخته شده است.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

AHP روشی است منعطف، قوی و ساده که برای شناسایی و تصمیم‌گیری بهینه در موقعیت‌های پیچیده و در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، استفاده می‌شود. هدف AHP این است که اهمیت نسبی معیارهای زوجی متعدد را برای دستیابی به یک هدف متمایز کند. یک روش اساسی برای آزمون روش AHP، روش مقایسه دوتایی است (Liu et al. 2020). هنگامی‌که ماتریس مقایسه ساخته شد، وزن نسبی مؤلفه‌های مختلف به‌عنوان بخش‌هایی از بردار ویژه نرمال شده که به مقدار ویژه‌ماتریس مقایسه آن‌ها متصل است، محاسبه می‌شود. سپس وزن‌های مرکب با تجمیع وزن‌ها بر اساس سلسله‌مراتب دیکته می‌شوند. نتیجه نهایی یک بردار استانداردشده از وزن کلی سیستم است. Saaty (1980) برای بررسی سازگاری ماتریس مقایسه فرمول زیر را پیشنهاد کرد (Mishra et al. 2015):

(۱)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

که در آن CI نسبت سازگاری و RI شاخص ثبات یک ماتریس مقایسه است. اگر CR بزرگ‌تر از ۰/۱ باشد، مجموعه قضاوت‌ها ناسازگار است. اگر CR برابر ۰ باشد، آنگاه قضاوت کاملاً سازگار است.

(۲)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - 1}{n - 1}$$

که در آن λmax بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ماتریس مقایسه و n مرتبه ماتریس مربع مقایسه است. وزن‌های مختلف اختصاص داده‌شده از طریق AHP به لایه‌ها در جدول (۱) ارائه‌شده است.

جدول(۱): وزن‌های مختلف اختصاص‌یافته به لایه‌ها از طریق AHP

	پتانسیل رواناب	شیب	گروه هیدرولوژیکی خاک	بافت خاک	پوشش زمین
پتانسیل رواناب	۱	۲	۳	۴	۵
شیب	۱/۲	۱	۲	۳	۴
گروه هیدرولوژیکی خاک	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۳
بافت خاک	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱	۲
پوشش زمین	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱

منطق فازی

درحالی‌که نظریه کلاسیک مجموعه‌های واضح می‌تواند فقط عضویت یا عدم عضویت را در یک مجموعه توصیف کند، منطق فازی می‌تواند مقداری از ۰ تا ۱ به‌صورت رابطه (۳) داشته باشد:

(۳)

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

که در آن X به مجموعه کلی تعریف‌شده در یک مسئله خاص و μA (x) درجه عضویت برای عنصر x در مجموعه فازی A اشاره دارد. مجموعه واضح یک مورد خاص از مجموعه‌های فازی است که در آن تابع عضویت برای هر عنصر تنها یکی از دو مقدار ۰ یا ۱ را می‌گیرد. در این تحقیق از الگوریتم‌های فازی سازی بزرگ و کوچک استفاده‌شده است. این عملگرهای فازی سازی در اینجا برای نشان دادن اینکه مقادیر کوچک و بزرگ مجموعه واضح، عضویت بزرگ‌تر مجموعه فازی هستند استفاده شدند. الگوریتم فازی سازی بزرگ به‌صورت ریاضی به‌صورت رابطه (۴) نوشته‌شده است (Vahidnia et al. 2008):

(۴)

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x}{f2})^{-f1}}$$

درحالی‌که الگوریتم فازی سازی کوچک به‌صورت رابطه (۵) نوشته‌شده است:

(۵)

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x}{f2})^{f1}}$$

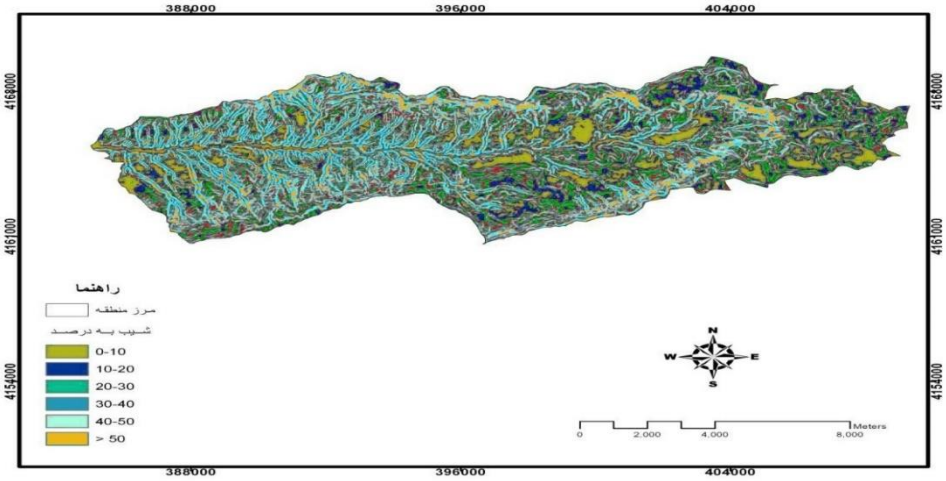
که در آن f 1 گسترش انتقال از مقدار عضویت ۰-۱ است و f 2 نقطه میانی است. در این مطالعه، از رویکرد منطق فازی برای عوامل استانداردشده در محدوده ۰-۱ استفاده شد. ابزار تابع عضویت فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS برای استخراج توابع عضویت برای فاکتورهای مورداستفاده برای استخراج سطوح تناسب فضایی منطقه موردمطالعه استفاده شد.

نتایج و بحث

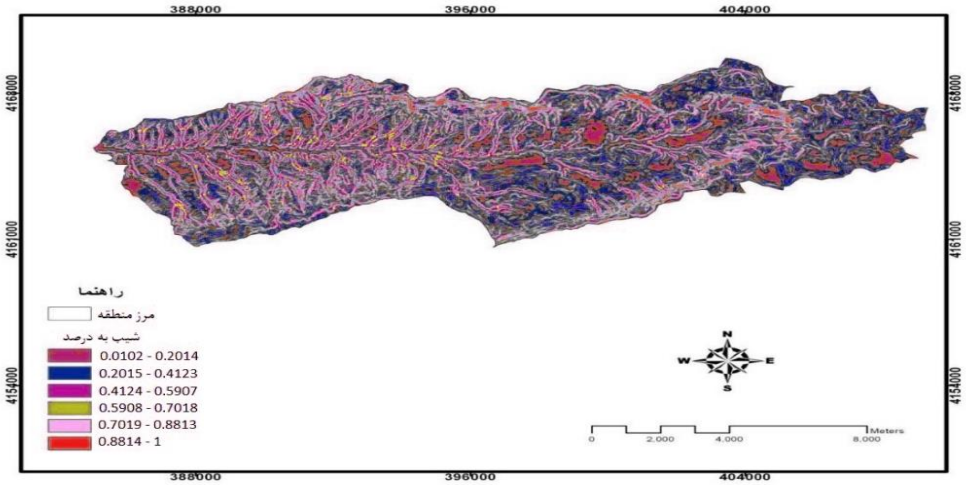
شیب

شیب حوضه آبریز یکی از عوامل مهمی است که بر انتخاب سازه برداشت آب باران تأثیر می‌گذارد (Yegizaw et al. 2022). زیرا که سرعت آب به‌طور مستقیم با زاویه شیب زمین مرتبط است. در شکل (۱) نقشه شیب حوضه آبخیز گلیداغ ارائه‌شده است. ۱۳/۲۰ درصد از مساحت حوضه آبخیز گلیداغ تحت شیب ۱۰٪-۰٪، ۲۲/۹۸ درصد تحت شیب ۲۰٪-۱۰٪، ۲۰/۶۸ درصد تحت شیب ۳۰٪-۲۰٪، ۱۴/۹۷ درصد تحت شیب ۴۰٪-۳۰٪، ۱۰/۲۹ درصد تحت شیب ۵۰٪-۴۰٪ و ۱۷/۸۶ درصد از مساحت حوضه آبخیز گلیداغ تحت شیب بیش از ۵۰٪ قرار دارد. شیب یک عامل

کلیدی برای انتخاب مکان‌های برداشت آب باران به‌منظور به دست آوردن حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی آب است. شیب‌های ملایم مناسب‌ترین گزینه برای ایجاد تأسیسات برداشت آب باران می‌باشند. به دلیل اینکه شیب‌بر حجم رواناب و نفوذ آب در خاک تأثیر می‌گذارد، مکان برداشت آب باران به‌شدت به شیب بستگی دارد (Yegizaw et al. 2022). برای استانداردسازی لایه موضوعی شیب با استفاده از منطق فازی، از الگوریتم فازی سازی کوچک[1] که در شکل (۲) ارائه‌شده استفاده شد. Buraihi, and Shariff (2015) نیز برای تعیین مناطق مناسب برداشت آب باران در استان کرکوک عراق از شیب به‌عنوان یکی از معیارهای مهم ایجاد سازه‌های برداشت آب باران استفاده کردند.



شکل (۱): نقشه شیب حوض آبخیز گلیداغ



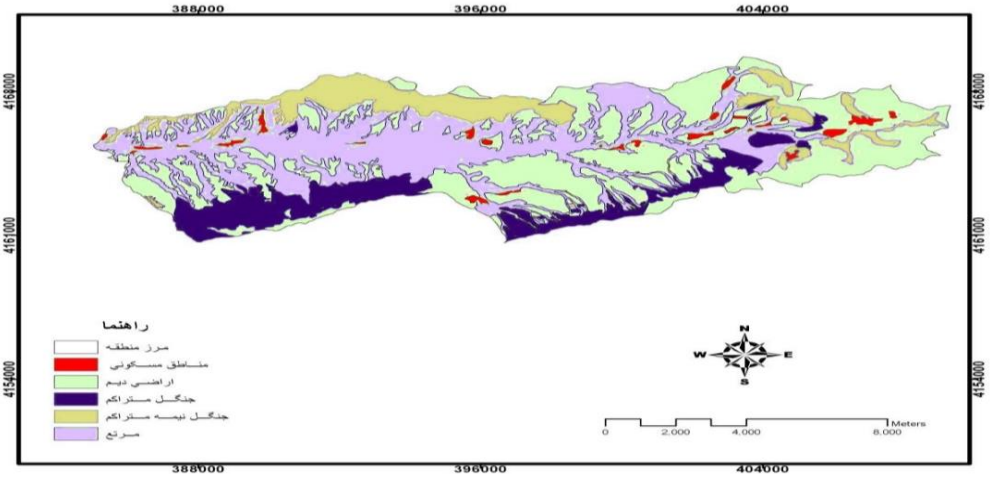
شکل (۲): نقشه عضویت فازی لایه شیب طبقه‌بندی‌شده حوضه آبخیز گلیداغ

پوشش زمین

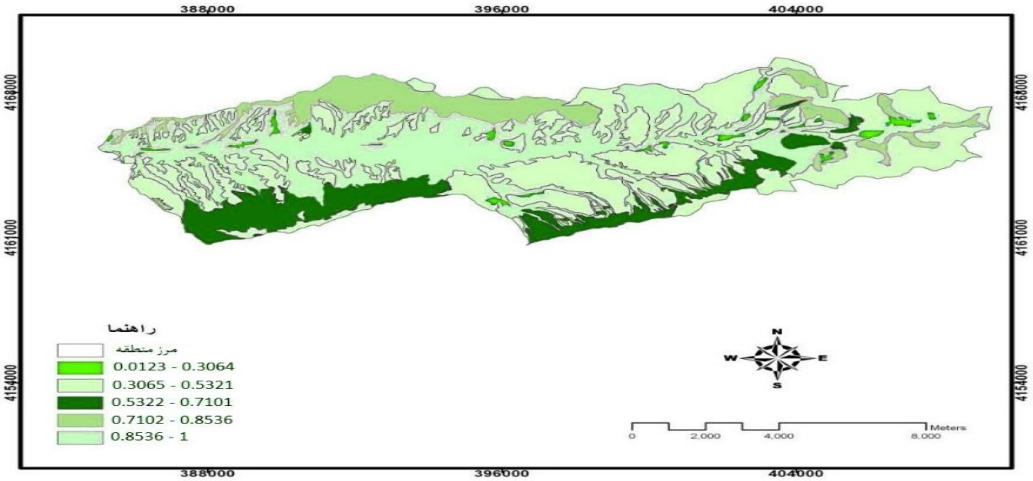
اصطلاح پوشش زمین اغلب به‌طور هم‌زمان برای توصیف نقشه‌ای استفاده می‌شود که اطلاعاتی را در مورد انواع ویژگی‌های موجود در سطح زمین (پوشش گیاهی) و فعالیت‌های انسانی مرتبط با آن‌ها (کاربری زمین) ارائه می‌دهد. در برخی موارد، یک رویکرد ترکیبی منجر به ترسیم پوشش زمین و کاربری زمین باهم می‌شود. الگوی

[1] small fuzzification algorithm

کاربری اراضی هر حوضه آبخیز بر رواناب و تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد (Al-Abadi et al. 2017). برای محاسبه دقیق‌تر عناصر هیدرولوژیکی، نقشه کاربری زمین و پوشش زمین دقیق‌تر موردنیاز است. نقشه کاربری پوشش زمین از داده‌های سنجش‌ازدور تهیه‌شده است که برای برنامه‌ریزی، ارزیابی زیست‌محیطی و مطالعات توسعه قابل‌اجرا هستند. کاربری اراضی و پوشش زمین شاخص مهمی برای انتخاب مکان‌های مناسب برای برداشت آب باران است. طبقات عمده کاربری پوشش زمین منطقه موردمطالعه عبارت‌اند از اراضی کشاورزی، جنگل انبوه، جنگل متراکم، جنگل نیمه متراکم و مناطق مسکونی است. توزیع فضایی طبقات کاربری پوشش زمین در منطقه موردمطالعه در شکل (۳) نشان داده‌شده است. بخش عمده‌ای از منطقه موردمطالعه تحت کشاورزی (۴۰/۵۷٪)، پس‌ازآن مراتع (۳۴/۹۹٪)، جنگل‌های متراکم (۱۲/۹۴٪)، (۱۱/۴۸٪) جنگل‌های نیمه متراکم و (۰/۰۲٪) مناطق مسکونی قرار دارد. روش فازی سازی بزرگ نیز برای فازی سازی داده‌های پیکسلی نقشه پوشش زمین (شکل ۴) استفاده شد.



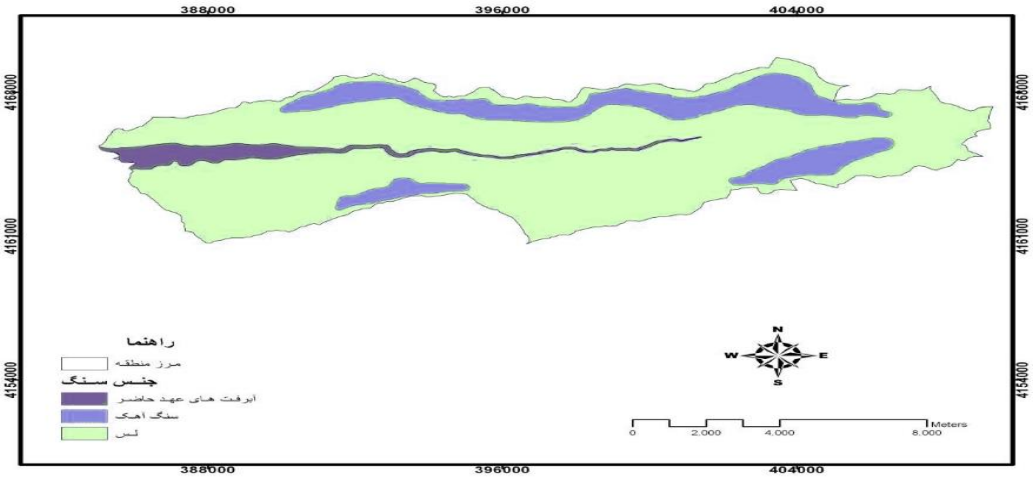
شکل (۳): نقشه پوشش زمین حوضه آبخیز گلیداغ



شکل (۴): نقشه عضویت فازی لایه پوشش زمین طبقه‌بندی‌شده

بافت خاک

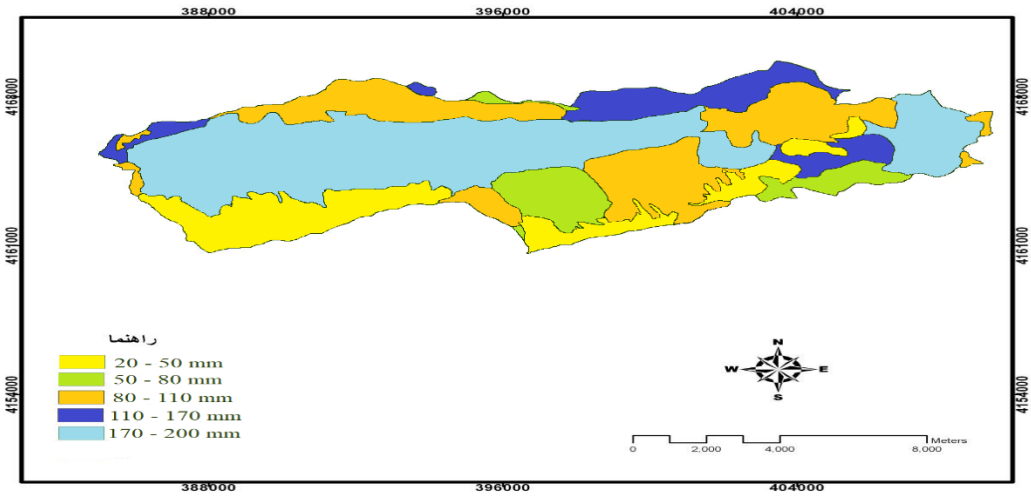
خاک‌ها یکی دیگر از متغیرهای ورودی مهم در این مطالعه هستند. میزان نفوذ خاک تعیین‌کننده نوع ساختاری است که برای برداشت آب باران مورداستفاده قرار می‌گیرد و پتانسیل رواناب سطحی نیز به بافت خاک منطقه بستگی دارد. در شکل (۵) طبقات مختلف بافت خاک منطقه موردمطالعه ارائه‌شده است. خاک‌های لسی، آبرف و آهک طبقات اصلی بافت خاک را در حوضه آبخیز گلیداغ شامل می‌شوند. ۷۹/۶۱٪ از مساحت حوضه آبخیز گلیداغ از جنس خاک لس، ۱۶/۵۱٪ از جنس آهک و ۳/۸۷٪ از جنس آبرف هست. خاک‌های از جنس آهک بخش عمده‌ای از شمال، شمال شرق، شمال غرب و بخش اندکی از جنوب شرق و جنوب حوضه آبخیز گلیداغ را به خود اختصاص داده است. خاک‌های آبرفتی عموماً در بخش‌های مرکزی و خاک‌های از جنس لس طبقه غالب منطقه است.



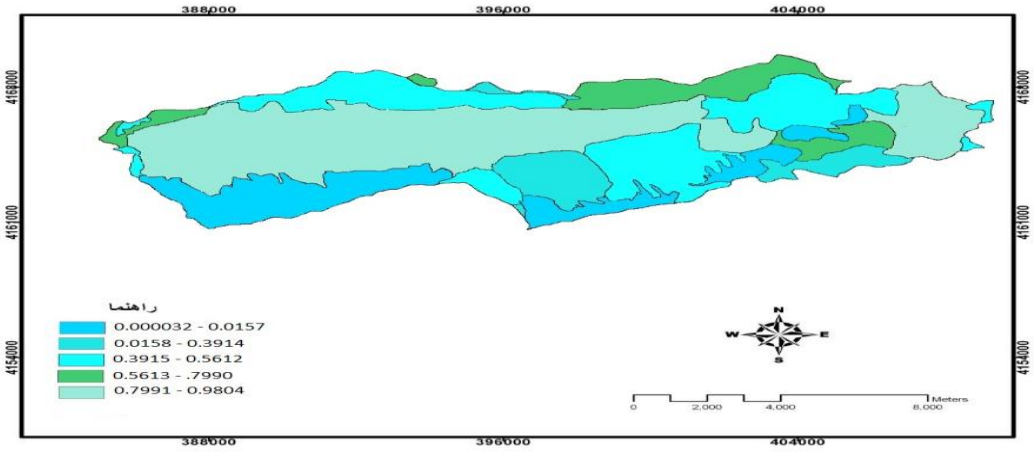
شکل (۵): بافت خاک منطقه موردمطالعه

پتانسیل رواناب

شکل (۶) پتانسیل رواناب حوضه آبخیز گلیداغ را نشان می‌دهد. پتانسیل رواناب در منطقه موردمطالعه به پنج ناحیه بسیار خوب (۲۰۰-۱۷۰ mm)، خوب (۱۷۰-۱۱۰ mm)، متوسط (۱۱۰-۸۰ mm)، ضعیف (۸۰-۵۰ mm) و بسیار ضعیف (۵۰-۲۰ mm) دسته‌بندی می‌شود. نقشه به‌وضوح نشان می‌دهد که عمق رواناب در مناطق مرکزی، شرقی و شمال شرقی زیاد بوده و توانایی هیدرولوژیکی بالایی برای تولید رواناب در این نواحی وجود دارد. همچنین در مناطق غربی و جنوبی کاهش پتانسیل رواناب تولید کاهش می‌یابد. نواحی با پتانسیل رواناب بالا برای برداشت آب باران مناسب‌تر است. نقشه رواناب منطقه با استفاده از روش فازی سازی بزرگ فازی شدند (شکل ۷).



شکل (۶): نقشه پتانسیل رواناب منطقه موردمطالعه

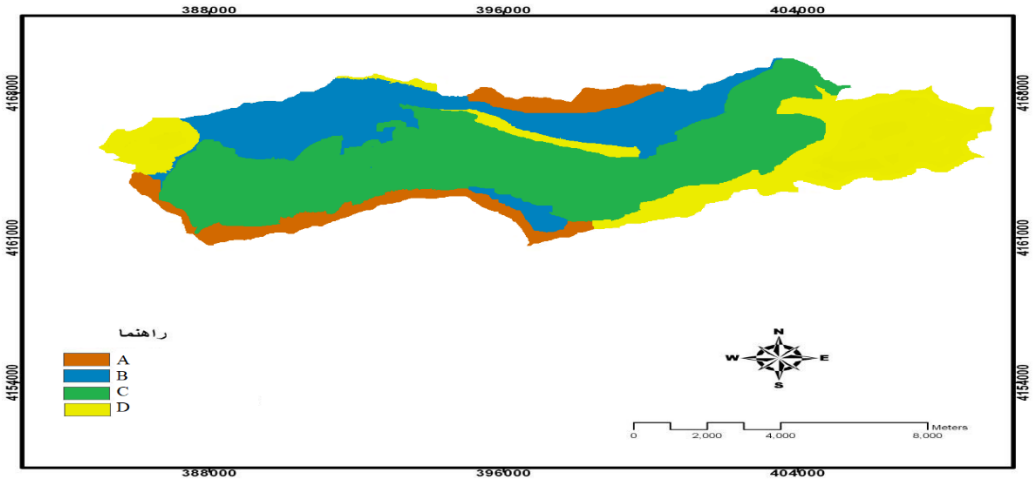


شکل (۷): نقشه عضویت فازی پتانسیل رواناب حوضه آبخیز گلیداغ

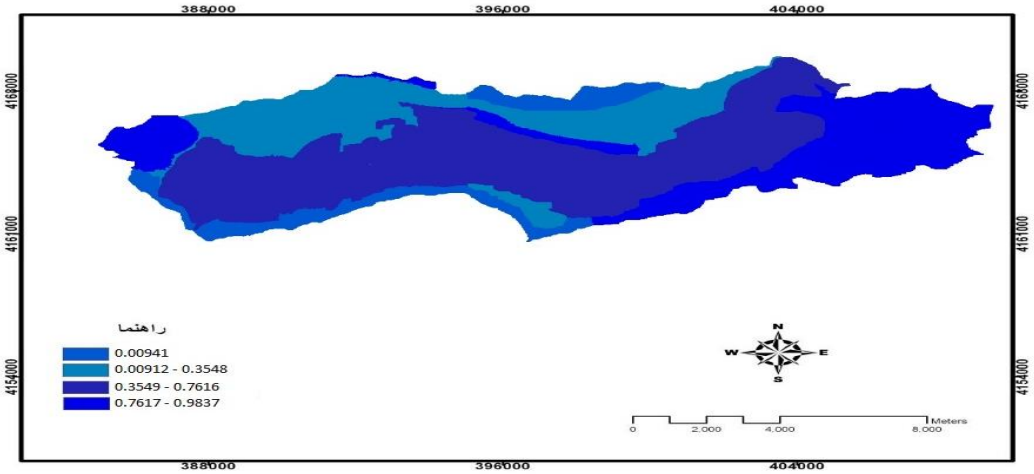
گروه هیدرولوژیکی خاک

گروه هیدرولوژیکی خاک در تخمین رواناب در یک حوضه بسیار مفید است زیرا خاک به‌شدت بر تولید رواناب تأثیر می‌گذارد. سرویس حفاظت از منابع طبیعی[1] نوع گروه هیدرولوژیکی خاک را بسته به نفوذ، ترکیب خاک و سایر معیارها به چهار گروه طبقه‌بندی کرده است. نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک نیز در شکل (۸) ارائه‌شده است. گروه هیدرولوژیکی A عموماً در قسمت‌های جنوبی و شمالی حوضه آبخیز گلیداغ وجود دارد. گروه B عمدتاً در قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و شمال غربی منطقه یافت شد. گروه‌های C و D خاک عمدتاً در قسمت‌های مرکزی، شرقی، شمال شرقی، جنوبی و جنوب غربی منطقه یافت شد. گروه هیدرولوژیکی خاک از منطقه ای به منطقه دیگر متفاوت است اما یافته های Al-Abadi (2017) نشان داد درجنوب استان عراق بافت خاک عموما از نوع D است. از الگوریتم فازی سازی بزرگ نیز برای ایجاد توابع عضویت لایه گروه هیدرولوژیکی خاک استفاده شد که در شکل (۹) ارائه‌شده است.

[1] Natural Resource Conservation Service



شکل (۸):گروه هیدرولوژیکی خاک



شکل (۹): عضویت فازی گروه هیدرولوژی خاک

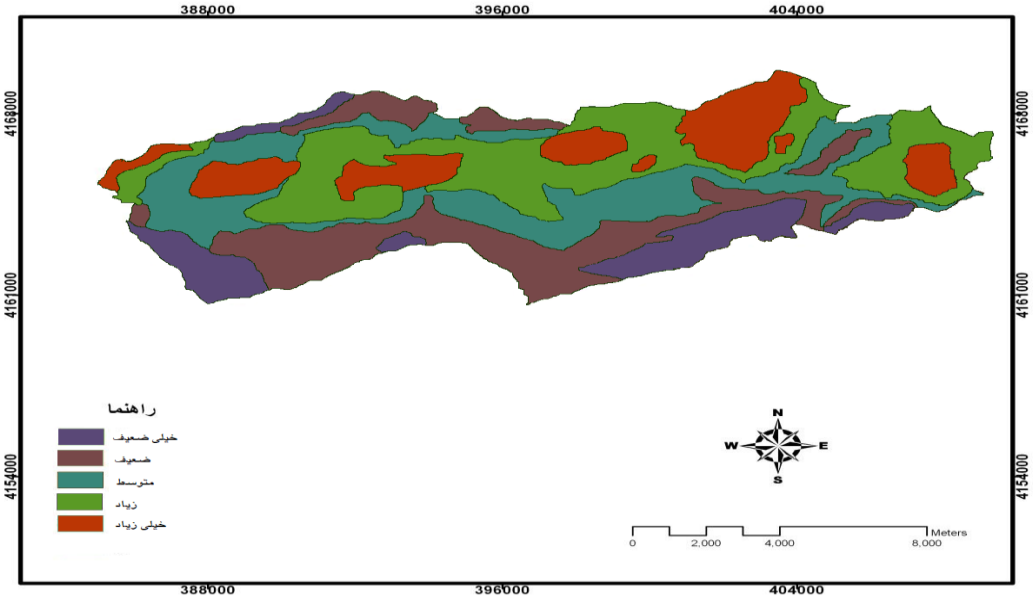
مکان‌های مناسب

در شکل (۱۰) مناطق مناسب جهت ایجاد سازه‌های برداشت آب باران ارائه‌شده است. نتایج نشان داد در قسمت‌های جنوبی، جنوب شرقی، جنوب غربی و برخی از مناطق شمال و شمال غربی حوضه آبخیز گلیداغ به دلیل پوشش گیاهی جنگلی و بافت خاک ظرفیت پایینی برای برداشت آب باران‌دارند و در طبقه خیلی ضعیف (۱۶/۴۶ درصد) و ضعیف (۲۶/۳۴ درصد) قرار می‌گیرند. این نواحی درمجموع ۴۲/۸ درصد از مساحت حوضه آبخیز گلیداغ را به خود اختصاص می‌دهند. طبقه متوسط در نواحی شرقی، شمال غربی و مرکزی حوضه قرار دارد و ۲۱/۵۸ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود. طبقه زیاد و خیلی زیاد در قسمت‌های مرکزی، شرق و شمال شرقی حوضه آبخیز گلیداغ مشاهده می‌شود که به ترتیب ۲۵/۷ و ۹/۹۲ درصد از مساحت حوضه هستند. مناطق دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد عموماً در نواحی شیب‌دار و گروهی هیدرولوژیکی خاک C که دارای قابلیت نفوذ کم و ایجاد رواناب بالا هستند قرا دارند.

این نتایج با نتایج Al-Abadi et al. (2017)، Surve et al. (2022) و Muleta et al. (2022) همخوانی دارد. زیرا در تحقیق Al-Abadi et al. (2017) که در استان میسان در جنوب عراق انجام‌شده بود مشخص شد ۱۸درصد از

مساحت منطقه موردمطالعه برای ایجاد سازه‌های برداشت آب باران در وضعیت نامناسب و ضعیف، ۲۶ درصد در وضعیت متوسط و ۵۶ درصد وضعیت خوب و خیلی خوب دارد. مناطق خوب و عالی عمدتاً در ناحیه شرقی و جنوب شرقی استان میسان واقع بودند. نواحی خوب و عالی برای برداشت آب باران دارای گروه هیدرولوژیکی خاک C و D و نواحی شیب بین ۲ – ۸ درصد واقع‌شده بودند. یافته‌های Surve et al. (2022) که در حوضه آبخیز تتوالی انجام‌شده بود نشان داد ۷۲/۸۶ درصد از مساحت حوضه برای سازه‌های برداشت آب باران مناسب است که بخش اعظم آن را مراتع شیب‌دار تشکیل می‌دهد. همچنین ۲۷/۱۴ درصد از مساحت حوضه برای جمع‌آوری آب باران نامناسب است. نتایج Muleta et al. (2022) نیز نشان داد ۸/۲ درصد از مساحت منطقه درالابو واقع در شرق اتیوپی به دلیل داشتن شیب ۱۸ درصد و گروه هیدرولوژیکی بافت خاک D برای برداشت آب باران دارای پتانسیل خیلی زیاد، ۱۶/۶ درصد پتانسیل زیاد، ۶۳/۵ درصد پتانسیل متوسط و ۷/۵ درصد به دلیل داشتن عمق کم خاک پتانسیل کمی برای برداشت آب باران دارند. این مقایسه با نتایج سایر محققین نشان می‌دهد فاکتورهای پتانسیل رواناب، میزان شیب، بارندگی و گروه هیدرولوژیکی بافت خاک از عوامل مهم تأثیرگذار بر میزان تجمع و برداشت آب باران در مناطق مختلف دنیا هست. همسو با نتایج تحقیق، در تحقیقات دیگر نیز از این عوامل برای تعیین مناطق مناسب ایجاد سازه‌های برداشت آب باران استفاده‌شده است.

در خصوص فرآیند تصمیم‌گیری در مورد بهترین روش قابل‌اجرا برای برداشت آب به عوامل اجتماعی-اقتصادی و فرهنگی منطقه بستگی دارد. یکی از جنبه‌های اجتماعی حیاتی موفقیت، مشارکت ذینفعان است. همه ذینفعان باید در برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای ساختار برداشت آب مشارکت کنند. برداشت آب باران بر اساس استفاده از رواناب است و به یک منطقه تولید رواناب و یک منطقه دریافت رواناب نیاز دارد و به دلیل ماهیت متناوب وقایع رواناب، ذخیره بخشی جدایی‌ناپذیر از سیستم برداشت آب است. ابتکارات و مداخلات برداشت آب نیاز به پروژه‌هایی باهدف بهبود شیوه‌های موجود کشاورزان فردی در برداشت آب در حوضه آبخیز گلیداغ دارد و قبل از انتخاب یک روش خاص، باید به جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی حاکم در منطقه موردتوجه قرار گیرد، زیرا بسیار مهم هستند و بر موفقیت یا شکست تکنیک اجراشده تأثیر می‌گذارد.



شکل (۱۰): مناطق مناسب سازه‌های برداشت آب باران

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش شناسایی مناطق مناسب برداشت آب باران در حوضه آبخیز گلیداغ هست. سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی تکنیک‌هایی هستند که ثابت کرده‌اند در تعیین مکان‌های مناسب برداشت آب باران بسیار مؤثرند. بنابراین در این پژوهش از این تکنیک‌ها برای شناسایی مکان‌های مناسب برداشت آب باران در حوضه آبخیز گلیداغ استفاده شد. پنج عامل شیب، بافت خاک، پتانسیل ایجاد رواناب، گروه هیدرولوژی خاک و کاربری زمین به‌عنوان ورودی برای تصمیم‌گیری انتخاب و وزن هر عامل با تکنیک AHP تعیین شد. نتایج نشان داد در قسمت‌های جنوبی، جنوب شرقی، جنوب غربی و برخی از مناطق شمال و شمال غربی حوضه آبخیز گلیداغ به دلیل پوشش گیاهی جنگلی و بافت خاک ظرفیت پایینی برای برداشت آب باران‌دارند و در طبقه خیلی ضعیف (۱۶/۴۶ درصد) و ضعیف (۲۶/۳۴ درصد) قرار می‌گیرند. این نواحی درمجموع ۴۲/۸ درصد از مساحت حوضه آبخیز گلیداغ را به خود اختصاص می‌دهند. طبقه متوسط در نواحی شرقی، شمال غربی و مرکزی حوضه قرار دارد و ۲۱/۵۸ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود. طبقه زیاد و خیلی زیاد در قسمت‌های مرکزی، شرق و شمال شرقی حوضه آبخیز گلیداغ مشاهده می‌شود که به ترتیب ۲۵/۷ و ۹/۹۲ درصد از مساحت حوضه هستند. مناطق دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد عموماً در نواحی شیب‌دار و گروهی هیدرولوژیکی خاک C که دارای قابلیت نفوذ کم و ایجاد رواناب بالا هستند قرا دارند. بنابراین پتانسیل برداشت آب باران در حوضه آبخیز گلیداغ وجود دارد که می‌تواند فرصت‌هایی را برای حداکثر کردن دسترسی به آب و توسعه پایدار جهت مصارف کشاورزی و تأمین نیاز آبی محیط‌زیست ایجاد کند. نقشه تولیدشده در این پژوهش می‌تواند به انتخاب مکان مناسب سازه‌های برداشت آب باران و ازاین‌رو به حفظ منابع آب در منطقه موردمطالعه کمک کند.

منابع

نورمحمدی، پ.، ح، علی.، ط. ن.، و ح، زینی وند. ۱۳۹۵. شناسایی مکان های دارای پتانسیل استحصال آب باران حوضهٔ آبخیز سراب صیدعلی الشتر با استفاده از دو روش NRCS- CN و سیستم پشتیبانی تصمیم گیری (DSS) مبتنی بر GIS. اکوهیدرولوژی, ۳(۲), ۲۹۱-۲۷۹.

دارابی، ف.، و ع، ایلدرمی. ۱۴۰۰. تعیین عوامل موثر در مکانیابی مناطق مستعد جمع‌آوری رواناب و استحصال آب باران حوضه آبریز سیاه خور کرمانشاه. هیدروژئومورفولوژی, ۸(۲۸), ۱-۱۸.

Al-Abadi, A. M., Shahid, S., Ghalib, H. B., and Handhal, A. M. 2017. A GIS-based integrated fuzzy logic and analytic hierarchy process model for assessing water-harvesting zones in Northeastern Maysan Governorate, Iraq. Arabian Journal for Science and Engineering, 42(6), 2487-2499.

Buraihi, F. H., and Shariff, A. R. M. 2015. Selection of rainwater harvesting sites by using remote sensing and GIS techniques: a case study of Kirkuk, Iraq. Jurnal Teknologi, 76(15).

Drought-Prone Areas, South Gonder Zone, Northwest Ethiopia. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 1-11.

Haldar, S., and Majumder, A. 2022. Identifying suitable location for Surface Rainwater Harvesting using GIS and Analytical Hierarchy Process. Papers in Applied Geography, 1-18.

Karmakar, M., and Ghosh, D. 2022. A GIS-based approach for identification of optimum runoff harvesting sites and storage estimation: a study from Subarnarekha-Kangsabati Interfluve, India. Applied Geomatics, 1-14.

Liu, Y., Eckert, C. M., and Earl, C. 2020. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. Expert Systems with Applications, 161, 113738.

Mishra, A. K., Deep, S., and Choudhary, A. 2015. Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(2), 181-193.

Muleta, B., Seyoum, T., and Assefa, S. 2022. GIS-Based Assessment of Suitability Area of Rainwater Harvesting in Daro Labu District, Oromia, Ethiopia. American Journal of Water Science and Engineering, 8(1), 21-35.

Ouali, L., Hssaisoune, M., Kabiri, L., Slimani, M., El Mouquaddam, K., Namous, M and Bouchaou, L. 2022. Mapping of potential sites for rainwater harvesting structures using GIS and MCDM approaches: case study of the Toudgha watershed, Morocco. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, 7(1), 49-64.

Surve, R. R., Bhange, H. N., Ayare, B. L., Ingle, P. M., and Kolhe, P. R. 2022. Site selection for water harvesting structures in Tetavali watershed using remote sensing and GIS.

Umugwaneza, A., Chen, X., Liu, T., Mind'je, R., Uwineza, A., Kayumba, P. M and Maniraho, A. P. 2022. Integrating a GIS-based approach and a SWAT model to identify potential suitable sites for rainwater harvesting in Rwanda. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 71(3), 415-432.

Vahidnia, M. H., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., and Bassiri, A. 2008. Fuzzy analytical hierarchy process in GIS application. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37(B2), 593-596.

Yegizaw, E. S., Ejegu, M. A., Tolossa, A. T., Teka, A. H., Andualem, T. G., Tegegne, M. A., and Dirar, T. M. 2022. Geospatial and AHP Approach Rainwater Harvesting Site Identification in

Determining suitable locations for rainwater harvesting using GIS and FAHP

Farhad Faghihi[1] **Hossein Jahantigh** [2]

Abstract

Rapid population growth, economic and social development, urbanization, and increased food demand have put pressure on freshwater resources in different regions of the world. Increasing demand for water leads to overexploitation of water resources and water shortage. Therefore, there is a need for effective alternative solutions to deal with this problem. Collecting and harvesting rainwater is one of the practical solutions to deal with water shortage. However, the selection of potential areas for the location of rainwater harvesting structures in a watershed requires the examination of several factors, including topography, land slope, soil type, rainfall intensity, land use cover, drainage, river flow, and socio-economic criteria. This shows that the planning and implementation of rainwater harvesting projects is a multi-objective and multi-criteria problem that depends on several criteria. Therefore, the integration of geographic information system (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approaches is essential. In this research, a GIS-based model with a combination of fuzzy logic and AHP was used to determine suitable areas for the construction of rainwater harvesting structures in the Golidagh watershed for 2018. The results showed that 9.92% of the studied area has very high potential, 25.7% high, 21.58% moderate, and 42.8% poor rainwater harvesting potential. According to the findings, it is suggested to create suitable rainwater collection structures in designated places to reduce water shortage.

Keywords:Water, scarcity, hierarchical, analysis, fuzzy,rain,GIS

[1] Department of Surveying Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.
[2] faculty member of Saravan Higher Education Complex, Iran