Hakim Sabzevari University

Arid Regions Geographic Studies

Homepage: jargs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-7167
E- ISSN: 2981-1910

Locating remediation and restoration operations with MCDM and AHP and ANP methods (Case study: Saqezchi-Chay watershed in Namin county)

Rouhollah Dabiri[1]| Hirad Abghari[2]✉ | Ardavan Ghorbani[3]

1. Department of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran. Dabiri.watershed@Yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran. h.abghari@urmia.ac.ir
3. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. a_ghorbani@uma.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol:	15
No:	55
P:	71-91
Received:	2023-05-25
Revised:	2023-09-08
Accepted:	2023-09-12
Published:	2024-05-01

Keywords:

- *AHP*
- *ANP*
- *Prioritization*
- *Seedling*
- *Pitting*
- *Watershed Management*

Cite this Article:

Dabiri, R., Abghari, H., Ghorbani, A,. (2024). Locating remediation and restoration operation with MCDM and AHP and ANP methods (Case study: Saqezchi-Chay watershed in Namin county. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 15(55): 71-91.
doi: 10.22034/JARGS.2023.398993.1034

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)

10.22034/JARGS.2023.398993.1034

Abstract

Aim: Saqezchi-Chay watershed is important because of suitable ecological factors, high plant and animal production, and a water reservoir dam in the outlet part of this watershed. However, it is heavily used, overgrazed, and degraded. Therefore, this research aimed to locate different watershed management operations using a multi-criteria approach and compare AHP and ANP decision support methods in the geographic information system environment at the level of the Saqezchi-Chay watershed.

Material & Method: The research criteria and sub-criteria include soil (depth and texture), climate (climate type and precipitation amount), land use and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), hydrological factors and soil protection (sedimentation rate, and curve number), topography (elevation, slope, and aspect), and economic and social (distance from the village, distance from the road and distance from the spring) were selected. Expert judgments for weighting were collected through a questionnaire in the field with a statistical population of 29 experts and academic staff members.

Finding: The results of this research showed that the spatial prioritization of planting and pitting operations by the ANP method has a significant correlation with the AHP method at the 95% level and with an intensity of 0.937 and 0.957, respectively.

Conclusion: According to the field visit and the evaluation of the success of the executive operations in the watershed, the ANP method prioritizes more accuracy and resolution due to its network nature and increasing the range of changes.

Innovation: In this research, an attempt has been made to develop a new operational framework for extracting and introducing different watershed projects based on information-based methods and mapping and using the AHP and ANP frameworks by removing expert opinions (especially when the expert does not have enough experience) to choose the best project in the best place.

Extended Abstract

1. Introduction

In recent decades, the loss of watershed soil resources has increased due to the unprincipled use of resources. This increases the occurrence of floods, increases the sediment production rate, and reduces the useful life of tanks. Therefore, biological and mechanical operations to improve rangeland conditions, increase vegetation, and increase livestock production should be implemented in rangelands, especially in degraded areas. Knowing about the impact and evaluating the performance of watershed measures in vulnerable areas, especially in the downstream and flood plains, can help managers make the right decision. Within the field, various factors have very complex relationships and affect the success rate of field operations. Today, watershed management and sustainable development require the most suitable and fastest method of obtaining and integrating information for optimal management and planning. Managing watersheds and sustainable development today requires the most appropriate and fastest method of obtaining and combining information for optimal management and planning. In this context, geographic information systems (GIS) can play an important role. The current research aims to locate mechanical watershed management operations in the Saqezchi-Chay watershed using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) and AHP and ANP methods in Ardabil province. Saqezchi-Chay watershed due to its natural potential and location on the edge of the forest as a source of livestock and vegetable production, the existence of an earthen reservoir dam, and the importance of the issue and the vegetation status of the area as the continuation of rangeland degradation in the case of inappropriate selection of the implementation site of watershed operation, prior to any action, it is necessary to prioritize the appropriate location of executive operations.

2. Materials and Methods

This research was conducted from 2013 to 2014 and aimed to select the location of restoration operations, including mechanical ones (drywall, gabion, stone mortar, and coastal wall), so the criteria and layers needed to continue the study process were prepared. This research uses 14 information layers and a digital elevation model, slope, and aspect for locating biological operations with a multi-criteria AHP and ANP decision support methods approach. AHP and ANP decision support methods were exerted to locate biological operations using a multi-criteria approach. Research criteria and sub-criteria were included as soil (depth and texture), climate (climate type and precipitation amount), land use and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), hydrological factors and soil protection (sedimentation rate, and curve number), topography (elevation, slope, and aspect), and economic and social (distance from the village, distance from the road and distance from the spring). Expert judgments for weighting were collected through a questionnaire in the field method with a statistical population of 29 experts and academic staff members.

3. Results and Discussion

According to the maps and results, compared to the AHP method, the ANP method has defined the range of results and the suitable locations of watershed operations more clearly. Also, the field observations of planting and pitting operations carried out in the Saqezchi-Chay area were compared with the maps obtained for the location of these operations. The results showed that the spatial prioritization of planting and pitting operations by the ANP method significantly correlates with the AHP method at the 95% level and with the intensity of 0.937 and 0.957, respectively. Based on the research findings, it can be said that according to the field visit and the review of the success of the executive operations in the watershed, the ANP method has been prioritized with more accuracy and resolution due to its network nature and increasing the range of changes.

4. Conclusions

The AHP method can be used to solve problems with no relationship between options and criteria; if they are interdependent, the ANP method is suggested. In the ANP method, where the variables are used in the GIS environment by the fuzzy logic method, in addition to reducing the cost and time of studying and locating watershed management operations due to its high accuracy, it reduces human errors resulting from the lack of experienced experts. Today, the study and review of sustainable development indicators in different dimensions can be a suitable criterion for determining the location of regions in terms of spatial distribution facilities and a factor in solving problems to achieve urban residents' economic, social, cultural, and environmental well-being. In order to reduce the cost of watershed management projects and

not to manipulate rangelands during their implementation, it is suggested to correctly locate suitable areas to evaluate different methods of multi-criteria decision-making about more criteria and field evaluation of the results, taking into account the benefits of the rangelands and the income of the beneficiaries of these projects.

5. Acknowledgment and Funding

This article is taken from the master's thesis of Mr.Rouhollah Dabiri entitled "Location and value engineering of watershed operation with MCDM approach and AHP and ANP method in the Saqzachi Chai watershed of Ardabil province" which was done with the financial and spiritual support of Urmia University.

6. Conflict of Interest

There is no conflict of interest for the authors.

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دانشگاه حکیم سبزواری

IAGRP

مکان‌یابی عملیات اصلاح و احیاء با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی‌چای شهرستان نمین)

روح‌الله دبیری[۱]، هیراد عبقری[۲]✉، اردوان قربانی[۳]

۱- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. Dabiri.watershed@Yahoo.com

۲- نویسنده مسئول، مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران. h.abghari@urmia.ac.ir

۳- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. a_ghorbani@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

دوره: ۱۵

شماره: ۵۵

صفحه: ۹۱-۷۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

کلیدواژه‌ها:

- *تحلیل سلسله مراتبی*
- *تحلیل شبکه‌ای*
- *اولویت‌بندی*
- *نهال‌کاری*
- *پیتینگ*
- *آبخیزداری*

نحوه ارجاع به این مقاله:

دبیری، روح‌الله.، عبقری، هیراد.، قربانی، اردوان. (۱۴۰۳). مکان‌یابی عملیات اصلاح و احیاء با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی‌چای شهرستان نمین) *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۴(۵۳): ۹۱-۷۱.

doi: 10.22034/JARGS.2023.398993.1034

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری

© نویسنده(گان).

10.22034/JARGS.2023.398993.1034

چکیده:

هدف: عوامل اکولوژیکی مناسب، تولیدات گیاهی و دامی بالا، وجود سد مخزنی خاکی در بخش خروجی حوزه آبخیز سقزچی‌چای، به شدت مورد استفاده و عرصه‌های طبیعی تخریب یافته هستند. از جانب دیگر یکی از چالش‌های آبخیزداری در مرحله تهیه طرح و اجرای عملیات اصلاحی و احیایی، انتخاب محل مناسب و صحیح هر یک از عملیات مدیریتی، بیولوژیکی، بیومکانیکی و مکانیکی است، تا حداکثر بهره‌وری و اثربخشی لازمه را داشته باشند؛ بنابراین، هدف از این تحقیق مکان‌یابی عملیات مختلف آبخیزداری با استفاده از رویکرد چندمعیاره و با استفاده و مقایسه روش‌های پشتیبان تصمیم‌گیری AHP و ANP در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی در سطح حوزه آبخیز سقزچی بوده است.

روش و داده: تحقیق حاضر برای مکان‌یابی عملیات بیولوژیکی با رویکرد چندمعیاره از روش پشتیبان تصمیم‌گیری AHP و ANP استفاده شد. معیارها و زیر معیارهای تحقیق شامل: خاک (عمق و بافت)، اقلیم (نوع اقلیم و میزان بارش)، کاربری اراضی و پوشش سطحی (NDVI)، عوامل هیدرولوژیکی و حفاظت خاک (میزان رسوب‌دهی و شماره منحنی)، پستی و بلندی (ارتفاع، شیب و جهت) و اقتصادی و اجتماعی (فاصله از روستا، فاصله از جاده و فاصله از چشمه) بوده است. قضاوت‌های کارشناسی جهت وزن‌دهی، از طریق پرسش‌نامه و به روش میدانی با جامعه آماری ۲۹ نفر از متخصصان و اساتید دانشگاه جمع‌آوری شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که اولویت‌بندی مکانی عملیات نهال‌کاری و پیتینگ به روش ANP در سطح ۹۵ درصد و به ترتیب با شدت ۰/۹۳۷، ۰/۹۵۷ همبستگی معنی‌داری با روش AHP دارد.

نتیجه‌گیری: بر مبنای یافته‌های تحقیق می‌توان عنوان کرد که با توجه به بازدید میدانی و بررسی موفقیت عملیات اجرایی درون حوزه آبخیز، روش ANP به دلیل شبکه‌ای بودن و افزایش دامنه تغییرات، با صحت و قدرت تفکیک بیش‌تری به اولویت‌بندی پرداخته است.

نوآوری، کاربرد نتایج: در این تحقیق تلاش بر این بوده که یک چهارچوب عملیاتی نوین استخراج و معرفی پروژه‌های مختلف آبخیزداری بر اساس روش‌های مبتنی بر اطلاعات و نقشه‌سازی و استفاده از چهارچوب AHP و ANP با حذف نظرات کارشناسی (به خصوص زمانی که کارشناس از تجربه کافی برخوردار نباشد) به منظور انتخاب بهترین پروژه در بهترین مکان بوده است.

۱- مقدمه

حوزه آبخیز بوم‌سازگانی است که در آن موجودات به هم پیوسته و به‌صورت پویا برهم‌کنش دارند و پایگاه بسیاری از جوامع محلی و منبع مهمی برای بهره‌برداری از آن است (Zhao & Huang, 2022). در دهه‌های اخیر، از دست دادن منابع خاک حوزه‌های آبخیز در اثر بهره‌برداری غیراصولی از منابع شدت فزاینده‌ای یافته است. این امر ضمن تشدید وقوع سیلاب‌ها و افزایش نرخ تولید رسوب باعث کاهش عمر مفید مخازن می‌شود (Mushtaq et al., 2023). سیلاب، یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هرساله خسارت‌های فراوانی را به دنبال دارد. سیلاب‌ها در طول تاریخ، از جمله رایج‌ترین، مرگبارترین و پرهزینه‌ترین خطرات در میان مخاطرات طبیعی بوده‌اند. خطر وقوع سیل طی زمان افزایش یافته است (Management & Planning Organization, 2002)؛ به ویژه از زمانی که بسیاری از کشورها مجوز ساخت‌وساز در دشت‌های سیلابی را صادر کردند و حتی رشد تجاری و مسکونی در این مناطق را مورد حمایت قرار دادند (Kusky, 2008). امروزه کاهش منابع اراضی ناشی از سیلاب و فرسایش خاک، هرساله خسارات فراوان جانی و مالی را در پی دارد (Abeddini et al., 2022). منطقه شمال غرب کشور، به دلیل داشتن اقلیمی نیمه‌خشک و کوهستانی و در نتیجه تغییرپذیری بالای بارش، از جمله مناطقی است که در معرض سیلاب‌های مخرب قرار دارد (Kheyrizadeh Arouq et al., 2013). در این راستا، ایران کشوری است که در معرض بلایای طبیعی است که در سال‌های اخیر تحت تأثیر شدیدی قرار گرفته است. طبق گزارش محمدی‌نیا و همکاران در ۵ اسفند ۱۳۹۷ بارندگی شدید منجر به جاری شدن سیل در مناطق شمالی ایران شد و استان‌های مرکزی و غربی کشور نیز تحت تأثیر قرار گرفتند، به گونه‌ای که وضعیت روند بحرانی پیدا کرد (Mohammadinia et al., 2021). فرسایش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فرایندهای ژئومورفولوژیک، به دلیل خسارات قابل توجه مخصوصاً تخریب اراضی، کاهش حاصل‌خیزی و اثرات محیط زیستی بر اکوسیستم‌های آبی به‌عنوان یک مخاطره محیطی نیز مطرح است (Esfandyari Darabad et al., 2023)؛ بنابراین برای کاهش اثرات سیلاب و فرسایش ضرورت دارد، با ایجاد سدهای مختلف بزرگ و کوچک در کنار مزیت‌های قابل توجه در کنترل و مدیریت آب‌های سطحی و استفاده چندمنظوره در تأمین منابع آبی و انرژی برقابی، با تغییر کاربری‌های وسیع و اثرات زیست‌محیطی، در راستای توسعه پایدار گام‌های مؤثری برداریم (Esavi et al., 2012).

مدیریت منابع تجدیدشونده و توسعه پایدار امروزه نیازمند مناسب‌ترین و سریع‌ترین روش تهیه و تلفیق اطلاعات برای مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی است. با توجه به هزینه‌های تعلق‌گرفته به اجرای طرح‌های منابع طبیعی، انجام مطالعات دقیق و کاربردی ضروری است؛ چرا که عدم پاسخ مثبت طرح‌های انجام‌شده، هدررفت سرمایه انسانی و بودجه مالی و عدم اعتماد ساکنین حوزه‌های آبخیز به مجریان طرح‌ها و ادارات منابع طبیعی را در پی خواهد داشت (Jafarian et al., 2018). اصلاح و توسعهٔ مرتع عبارت از مجموعه عملیاتی مدیریتی، بیولوژیکی و بیومکانیکی است که در عرصه مراتع به ویژه مراتع تخریب یافته به منظور بهبود وضعیت مرتع و افزایش پوشش گیاهی و درنهایت افزایش تولید دام اجرا شوند (Mesdaghi, 2015). پیتینگ از جمله روش‌های کاربردی بیولوژیکی اصلاح و احیا مراتع است که با ایجاد چاله‌های کوچک در سطح مراتع به منظور افزایش نفوذ آب حاصل از نزولات آسمانی به داخل خاک و مهار رواناب ناشی از آن می‌شود (Jangjou, 2010 و Esmali & Abdollahi, 2014). انتخاب بهترین مکان و عملیات آبخیزداری که دارای بیش‌ترین احتمال موفقیت باشد، به دلیل هزینه‌های زیاد و زمان‌بر بودن پروژه‌ها و نیز تأثیری که در حفاظت آب و خاک دارند از اهمیت خاصی برخوردار است؛ بنابراین یافتن مناسب‌ترین مکان و تعیین اولویت مکانی برای اجرای طرح‌های بهسازی و توسعه مرتع تنها برای مدیریت پایدار مرتع ضروری نیست؛ بلکه به نسبت بودجه و زمان صرف شده، نتیجه قابل اعتمادتر و کارآمدتری از پروژه‌های اجرا شده می‌سازد (Dehghani et al., 2013). عملیات آبخیزداری باید طوری تعریف شوند که با استراتژی مدیریت و توسعه پایدار ارتباط داشته و اهداف آن‌ها به‌درستی تعیین شوند. در درون حوزه آبخیز عوامل مختلفی وجود دارد که دارای روابط بسیار پیچیده هستند و بر روی میزان موفقیت عملیات آبخیزداری تأثیر می‌گذارند؛ لذا به دلیل اهمیتی که پروژه‌ها دارند روش‌ها و معیارهای گوناگونی جهت مکان‌یابی عملیات آبخیزداری وجود دارد از جمله روش‌ها، استفاده از روش AHP[1] و ANP[2] است که با رویکرد MCDM[3] به یکپارچه کردن معیارهای کمّی و کیفی پرداخته تا بتواند مناسب‌ترین پروژه‌ها را برای بهترین مکان‌ها انتخاب نماید که محدودیت‌های سازمان را برحسب ذخایر بالقوه، هزینه پیاده‌سازی و زمان اتمام پروژه‌ها را جبران کند (Rajabi et al., 2020). کامل‌ترین روش مورد استفاده در اقدامات پهنه‌بندی آمایش برای ارزیابی توسعه

1. Analytical hierarchy process (AHP)
2. Analytical network process (ANP)
3. Multi criteria decision making

گردشگری، روش‌های به‌کارگیری ارزیابی چند عامله اراضی است که در تحلیل توان اکولوژیکی نمایش بهتری را از توان سرزمین در معرض قضاوت قرار می‌دهد. برخی از مدل‌های مورد استفاده در این‌گونه فرایندها که امکان نمایش دقیق از سرزمین را فراهم می‌کنند شامل مدل‌های آماری خطی، فازی، AHP، ANP و ANN هستند (Makhdoum, 2013). استفاده از سیستم GIS[1] و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بر اساس شرایط لازم برای انجام برنامه‌های اصلاحی می‌تواند در تعیین مکان مناسب برنامه‌های اصلاحی مفید باشد (Azarnivand et al., 2008).

در همین راستا، امیدی و همکاران در تحقیق خود، در ارزیابی بهره‌وری آب با رویکرد استفاده از روش‌های AHP، ANP، FAHP و FANP، به این نتیجه رسیدند که بهره‌وری فیزیکی – اقتصادی آب و بهره‌وری کل به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های ارزیابی بهره‌وری بوده و همچنین اقلیم و قیمت آب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بهره‌وری آب تعیین شدند. نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های AHP و ANP ابزارهای کاربردی و قدرتمندی برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به شمار می‌روند. روش ANP از قدرت تحلیل بهتری در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره برخوردار است (Omidi et al., 2014). همچنین رن و همکاران از روش PSR AHP به ارزیابی سلامت تالاب پویانگ[2] واقع در چین پرداختند. در این تحقیق از روش AHP برای تلفیق و تعیین وزن شاخص‌ها استفاده شد. سپس شاخص‌ها برای ورود به مدل تاپسیس معرفی شدند. در مجموع بوم‌سازگان از نظر سلامت ناسالم و بسیار تحت تأثیر دخالت‌های انسانی مثل توسعه شهر و گردشگری ارزیابی شد (Ren et al., 2014). مدن و همکاران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی مناطق مناسب بانکت و سد اصلاحی در حوزه بینپور پرداختند و مناطق بالقوه در حوزه مورد مطالعه را به سه دسته خوب و متوسط و ضعیف تقسیم کردند (Madan et al., 2014). جوانی و عنابستانی در پژوهشی در مورد تحلیل مقایسه‌ای روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و ANP در مکان‌یابی فضاهای سبز روستایی در روستای چنار شهرستان کلات به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از ارزیابی دقت این دو روش با استفاده از تعیین ضریب کاپا نشان داده که مدل ANP با ضریب کاپای ۰/۷۱ نسبت به مدل AHP با ضریب کاپای ۰/۵۹ از دقت بالاتری برخوردار است (Javani & Anabostani, 2016). جعفریان و همکاران در ارزیابی صحت مکانی برنامه‌های اصلاح و احیاء پیشنهادی در طرح مرتع‌داری حوزه آبخیز میخوران کرمانشاه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به روش بولین به این نتیجه رسیدند که در طی طرح اجراشده در بهار ۱۳۸۵ کپه‌کاری در مساحت ۳، نهال‌کاری در ۷/۶۸، مدیریت چرای دام در مرتع ۵۱/۸۱، حفاظت از اراضی حساس در ۱۵/۲۷ و تبدیل دیمزارهای کم‌بازده به مرتع در ۲/۰۶۷ کیلومترمربع از سطح مراتع این حوزه اجرا شده است که با تطبیق این دو نقشه، ضریب کاپا برابر ۰/۲۷ به‌دست‌آمده که نشان‌دهنده تطابق کم بود. ایشان در تحقیق خود گزارش کردند که این نتیجه مبین عدم تناسب عملیات اصلاحی و احیایی اجراشده با عملیات مناسب بر اساس شرایط موجود در منطقه است (Jafarian et al., 2018). جبار و همکاران با یک روش جدید برای ارزیابی حساسیت در حوزه با استفاده از فرایند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP) و تجزیه و تحلیل لایه‌بندی وزنی در حوزه Eagle Creek در آمریکا پرداختند. برای تهیه نقشه‌هایی که مناطق مستعد در یک حوزه آبریز را نشان می‌دهند، از ترکیب ارزیابی حساسیت در حوزه آبخیز و ابزار تجزیه و تحلیل مکانی GIS استفاده شد؛ نتایج ایشان نشان داد که بین شاخص کیفیت آب (WQI) و آسیب‌پذیری همبستگی منفی زیادی (R^2 = ۰/۷۷) وجود دارد؛ همچنین بر اساس نتایج، این روش می‌تواند با موفقیت برای ارزیابی حساسیت حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گیرد (Jabbar et al., 2019). دهقان و همکاران در مکان‌یابی اقدامات حفاظت آب و خاک با استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر GIS به منظور تعیین مکان مناسب احداث تراس و بانکت‌بندی و اولویت‌بندی آن، در حوزه کاخک استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که ۴ و ۷ درصد از سطح حوزه به ترتیب بسیار مناسب و مناسب برای احداث تراس است و ۵ و ۱۴ درصد به ترتیب بسیار مناسب و مناسب برای احداث بانکت است (Dehghan et al., 2019). همچنین، نفرزادگان و همکاران در مطالعه ترکیبی از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تحلیل منطقه‌ای سیلاب به منظور اولویت‌بندی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز دهبار از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل AHP، VIKOR و Permutation استفاده نمودند، سپس نتایج این مدل‌ها با روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب مقایسه شد. مقایسات بین معیارهای در نظر گرفته شده بر اساس روش AHP انجام شد و وزن نسبی هر یک از معیارها نیز به دست آمد (Nafarzadegan et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر، رجبی و همکاران در مکان‌یابی عرصهٔ مناسب برای پروژه‌های اصلاح و توسعه در مراتع دشت قاین، ایران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای اقداماتی از جمله بذرپاشی و

1. Geographic Information Systems
2. Poyang

بذرکاری، کپه‌کاری، کنتورفارو، پیتینگ و پخش سیلاب به این نتیجه رسیدند که در مکان‌یابی عرصهٔ مناسب برای عملیات پیتینگ، مقدار بارش و شیب منطقه و برای عملیات پخش سیلاب شیب، حجم رواناب و نفوذپذیری خاک اهمیت بیشتر دارند. به علاوه، معیار اقلیم و شیب اهمیت نسبی بیشتری در تعیین عرصهٔ مناسب برای بذرپاشی و بذرکاری؛ بارندگی بیش‌ترین اهمیت نسبی در مکان‌یابی عرصه برای عملیات کپه‌کاری و در نهایت در تعیین عرصهٔ مناسب برای عملیات کنتورفارو، شیب و حجم رواناب بیش‌ترین اهمیت نسبی را نشان دادند (Rajabi et al., 2020). بر اساس مطالعه آروین و همکاران در شناسایی و اولویت‌بندی محرک‌های بهره‌گیری از شهر فشرده در شهر اهواز با استفاده از تکنیک ANP برای اولویت‌بندی محرک‌ها، محرک افزایش جمعیت بالاترین امتیاز و بعد اجتماعی بالاترین وزن را کسب کرده است (Arvin et al., 2022). تاجبخش و همکاران در مطالعه اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید با استفاده از روش فازی – تاپسیس در شهرستان چناران خراسان رضوی نتیجه گرفتند که مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دلیل قابلیت استفاده از چندین معیار به‌صورت کمی و کیفی و پیشنهاد بهترین مکان با توجه به هدف، می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در زمینه اولویت‌بندی عملیات اجرایی در راستای مدیریت جامع حوزه آبخیز ارائه نماید (Tajbakhsh et al., 2022). شعبانی و احمدزاده در مطالعه و ارزیابی عملکرد عملیات بیولوژیکی در حوزه آبخیز بوشکان استان بوشهر بر اساس معیارهای فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی چهار سناریو از عملیات بیولوژیکی در منطقه که شامل کاشت، کاشت با ایجاد گودال‌های منحنی، شیار کانتور و شیار کانتور همراه با کاشت را ارزیابی کردند و نتیجه‌گیری کردند که سناریوی ۴ (شیار کانتور همراه با کاشت) بهترین سناریو در حوزه آبخیز بوشکان است (Shabani & Ahmadzadeh, 2022). طبق مطالعه متقیان و همکاران در ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری بر تغییر رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک به مقایسه فرسایش و رسوب قبل و بعد از عملیات با استفاده از مدل برآوردی مطالعات اولیه (MPSIAC) پرداختند و اثربخشی و کارایی عملیات آبخیزداری بر فرسایش و رسوب، سیل و پوشش گیاهی را مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد میزان فرسایش ویژه از ۸/۷۴ تن در هکتار به ۷/۴۶ تن در هکتار رسیده است و میزان رسوب نیز کاهش محسوسی داشته است و تغییرات زمانی شاخص NDVI برای کل حوزه دارای روند مثبت بوده و از سال ۲۰۱۸ به بعد با اجرای عملیات بیومکانیکی در عرصه موردنظر مقدار این شاخص نسبت به میانگین بلندمدت کل حوزه، افزایش یافته است (Motaghian et al., 2023).

در حال حاضر مشکل اصلی موفقیت کم اکثر پروژه‌های آبخیزداری پیشنهادی مشاوران منابع طبیعی و آبخیزداری، آن‌هم با صرف هزینه‌های بالا است که نتوانسته جلوی سیلاب‌ها را بگیرد و خسارات ناشی از سیل نیز افزایش یافته است. طبق مرور منابع، گزارش‌های موجود در خصوص مجموعه اقدامات اصلاحی، احیایی و توسعه‌ای در حوزه‌های آبخیز، همگی بر این موضوع تأکید دارند که بازدهی و عملکرد اقدامات مذکور، آن‌چنان موفق نیست (Motamedi & Sheidai, 2018). در این خصوص یکی از علل امر، عدم مکان‌یابی صحیح عملیات اصلاح و احیاء، بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی و خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز است.

در پژوهش حاضر با استفاده از ۱۴ معیار تأثیرگذار و به کمک دو تکنیک قوی پشتیبان تصمیم‌گیری AHP و ANP اقدام به مکان‌یابی عملیات اصلاح و احیاء (بذرپاشی، بذرکاری، کپه‌کاری، نهال‌کاری، پیتینگ) شده است. نتایج هر دو تکنیک با هم مقایسه شده و میزان دقت هر یک از روش‌ها توسط هر یک از عملیات اجرا شده در سطح حوزه، ارزیابی شد.

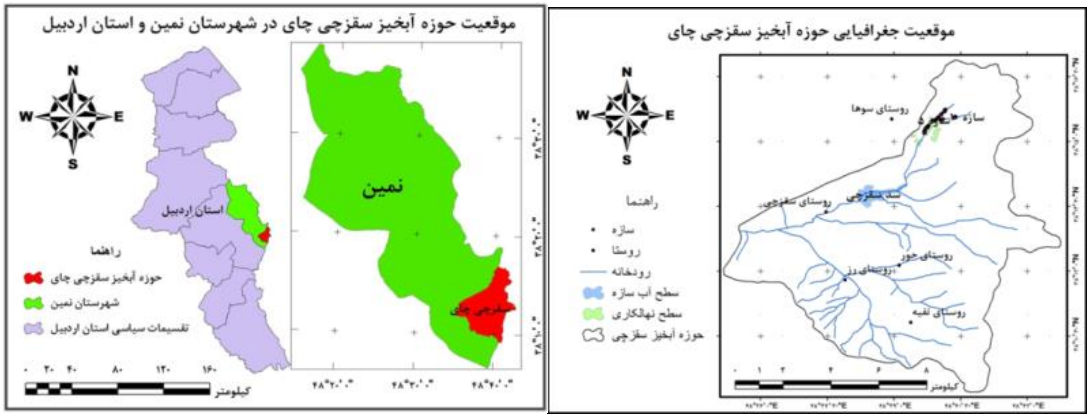
حوزه آبخیز سقزچی‌چای به علت دارا بودن پتانسیل‌های طبیعی، به عنوان منبع تولید محصولات دامی و گیاهی، وجود سد مخزنی خاکی در منطقه و با توجه به اهمیت موضوع و وضعیت پوشش گیاهی منطقه، همچنین ادامه تخریب مرتع در صورت اجرای عملیات آبخیزداری، برای جلوگیری از فرسایش و تخریب منابع بیش‌تر قبل از هر اقدامی، ضرورت دارد اولویت‌بندی مکانی عملیات اجرایی انجام شود. در این تحقیق هدف اصلی استفاده از نرم‌افزارهای روز از جمله GIS به‌منظور استفاده از منطق فازی و وزن‌دهی مناسب بین AHP و ANP با توجه به پیچیدگی و تأثیر متقابل متغیرهای تأثیرگذار در زیست‌محیطی، برای مکان‌یابی دقیق و موفقیت‌آمیز عملیات اصلاح و احیاء در سطح حوزه‌های آبخیز با صرف کمترین هزینه و زمان است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سقزچی‌چای از لحاظ مکانی با مساحت تقریباً ۷۶۰۰ هکتار در شهرستان نمین، در شرق شهرستان اردبیل واقع شده است. حوزه مورد مطالعه دارای مختصات ″۱۴ ′۳۵ °۴۸ تا ″۴۹ ′۴۲ °۴۸ طول شرقی و″۱۱ ′۹ °۳۸ تا ″۵۲ ′۱۶ °۳۸ عرض شمالی است. مناطق مسکونی داخل حوزه عبارت‌اند از: سقزچی، حور، رز و تفیه. پایین‌ترین ارتفاع حوزه ۱۴۰۰ متر و بالاترین ارتفاع حوزه ۲۳۸۰ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی منطقه ۳۵۰ میلی‌متر است. از نظر تقسیمات کشور روستاهای حوزه مورد مطالعه در

شهرستان نمین، بخش ویلکیج در دهستان ویلکیج جنوبی واقع است. از نظر موضوعی این پژوهش مکان‌یابی عملیات اصلاح و احیاء با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP و به صورت موردی در حوزه آبخیز سقزچی‌چای مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز سقزچی‌چای و عملیات آبخیزداری در سطح استان اردبیل

۲-۲- روش مطالعه و تجزیه و تحلیل داده‌ها

➢ سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره

الف: روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک، امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد (Ghodsipour, 2019). از مزایای مهم روش AHP استفاده از آن در تصمیم‌گیری گروهی است به طوری که می‌توان بر اساس معیارها و گزینه‌های مؤثر در تصمیم‌گیری، گزینه مناسب‌تر را انتخاب نمود (Azar & Memariani, 1995).

کاربرد AHP بر سه اصل استوار است (Malczewski, 2004):

الف) برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای برای مسئله

ب) برقراری اولویت‌ها از طریق مقایسه‌های زوجی

ج) برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها

در روش AHP در نرم‌افزار Expert Choice فرد تصمیم‌گیرنده باید برای هر جفت از معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری یک مقایسه انجام دهد که این قیاس در مرحله اول به شکل توصیفی و در مرحله بعد به شکل کمیتی در یک مقیاس از یک تا نه انجام می‌شود که درنهایت از این قیاس جفتی یک ماتریکس به دست می‌آید. به‌واسطه مقایسه دودویی در روش AHP از طریق قضاوت‌هایی که به صورت شفاهی، عددی یا حتی گرافیکی انجام می‌گیرد. وزن‌ها یا اولویت‌ها برای معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری با توجه به هدف، طبق جدول (۱) استخراج می‌شود که به شکل اعداد نسبی هستند نه به شکل عدد صحیح (Saaty, 1980). روش AHP یکی از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده در ارزیابی حساسیت محیطزیستی است (Ying et al., 2007).

جدول ۱. تعیین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از نظرات افراد

ارزش عددی	ارزش نظری بر مبنای مقایسه بین دو معیار	
۱	Equal preference	دارای ارزش یکسان و برابر
۳	Weak preference	ارزش یکی نسبت به دیگری کمی بیشتر است
۵	Strong preference	ارزش یکی نسبت به دیگری بیشتر است
۷	Demonstrated preference	ارزش یکی نسبت به دیگری مسلماً بیشتر است
۹	Absolute preference	ارزش یکی نسبت به دیگری مطلقاً بیشتر است
۲،۴،۶،۸	Intermediate values	ارزش‌های بینابین

ب: روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرض اصلی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وجود استقلال زیرمعیارها یا معیارها با هم است (Sadegh Amal Nik et al., 2010). با این حال، یکی از مشکلات بارز این روش، فرض سلسله مراتبی برای تمام مسائل است و روابط درونی بین معیارها و همچنین میان معیارها و گزینه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین ساعتی[1] گام را فراتر نهاد و با معرفی فرایند تحلیل شبکه نسبت به رفع این ضعف اقدام نمود (Shafabakhsh et al., 2012). فرایند ANP، نظریه جدیدی است که در آن ساختار شبکه‌ای، جانشین ساختار سلسله مراتبی شده است. این ویژگی سبب می‌شود که به صورت نظام‌مند، وابستگی‌ها و بازخوردهای بین معیارها و زیرمعیارها بررسی شود. فرایند تحلیل شبکه‌ای، یک تئوری ریاضی است که به طور سیستماتیک با انواع وابستگی‌ها سر و کار داشته و به طور موفقیت‌آمیزی در زمینه‌های گوناگون به کار گرفته شده است.

روش ANP که در نرم‌افزار Super Decisions انجام می‌گیرد که یک روش پشتیبان تصمیم شبکه است. روش ANP یک قالب کلی را ایجاد می‌کند که در آن به وابستگی بین عناصر بالاتر به پایین و وابستگی عناصر بین خودشان تأکید می‌کند (Momeni & Shrifi Salim, 2012). علت موفقیت مدل، همبستگی بسیار نتایج آن با دنیای واقعی و تصمیم‌گیری مردمی و در دنیای واقعی با پیچیدگی‌هایش است. این مدل برای پر کردن خلأ عدم ایجاد ارتباطات بین عناصر و معیارها در مدل سلسله مراتبی به وجود آمد و اساس آن شکل‌دهی یک شبکه‌ای از ارتباطات و وابستگی‌ها و پیوندها و بین عناصر و خوشه‌ها است. در روش AHP وابستگی‌ها باید به صورت خطی، از بالا به پایین و بالعکس باشد. اگر وابستگی دوطرفه باشد، یعنی وزن معیارها نسبت به هم و به وزن گزینه‌ها و همچنین وزن گزینه‌ها نیز به وزن معیارها وابسته باشد، مسئله از حالت سلسله مراتبی خارج شده و تشکیل یک شبکه یا سیستم غیرخطی یا سیستم با بازخور را می‌دهد که در این صورت برای محاسبه وزن عناصر نمی‌توان از قوانین و فرمول‌های سلسله مراتبی استفاده کرد. در این حالت برای محاسبه وزن عناصر باید از تئوری شبکه‌ها استفاده کرد (Saaty, 1980).

برخی اظهارنظرها در مجامع علمی روش‌های سازه‌ای را به کلی نفی می‌کنند و یا روش‌های بیولوژیک را بی‌اثر می‌دانند، هیچ‌کدام از این عقاید بدون در نظر گرفتن ملاحظات فنی (که در حیطه علمی متخصصین علم آبخیزداری است)، نمی‌تواند صحیح باشد. حوزه آبخیز به‌عنوان یک واحد برنامه‌ریزی متأثر از عوامل متعددی هست که نیاز به مطالعه و بررسی دقیق دارد. انتخاب روش پس از انجام مطالعات مختلف چون خاک‌شناسی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، هواشناسی و غیره انجام می‌شود و بر اساس عملیات انتخابی، تکنیک‌های توصیه و محاسبات فنی، اقتصادی و اجرایی آن انجام می‌شود (Esmali & Abdollahi, 2014).

در هر تحقیق تهیه چارچوب علمی تحقیق، روند کار پژوهشی را روشن‌تر نموده و میزان دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده را افزایش می‌دهد. این تحقیق به لحاظ تجزیه و تحلیل عددی داده‌ها به منظور مکان‌یابی عملیات آبخیزداری با رویکرد MCDM، تحقیق کمّی است. تحقیق حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی است و برحسب روش گردآوری داده‌ها از نوع پیمایشی و ستادی است. در این تحقیق از میان انواع روش‌های DSS سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری ANP و AHP استفاده می‌شود.

هدف این پژوهش مکان‌یابی عملیات آبخیزداری اعم از بیولوژیکی و بیومکانیکی (خشکه‌چین، گابیون، سنگی ملاتی و دیوار ساحلی) است؛ بنابراین معیارها و لایه‌های مورد نیاز برای ادامه روند تحقیق تهیه شد. در ابتدا اطلاعات فیزیوگرافی حوزه آبخیز و نقشه‌های پایه تهیه و تولید شد که در این راستا با توجه به اهمیت و دقت در مکان‌یابی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه تهیه و شبکه زهکشی، خطوط تراز، شبکه راه دسترسی، نقاط ارتفاعی، مرز حوزه آبخیز و زیرحوزه‌ها در ۹ واحد هیدرولوژیکی تولید شد. برای ارزیابی صحت و دقت نقشه پایه از طریق Google Earth بررسی شد. با استفاده از خطوط کنتور تراز، نقاط ارتفاعی، شبکه زهکشی و مرز حوزه آبخیز نقشه TIN[2] (نقشه سه‌بعدی با شبکه مثلثی) تهیه و با استفاده از لایه TIN نقشه DEM (مدل رقومی ارتفاع) با اندازه سلول ۵ در ۵ متر به دست آمد و با استفاده از آن نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی و تجمع جریان تهیه شد.

سایر معیارهای لازم برای اکثر عملیات آبخیزداری از قبیل نقشه‌های هم‌باران، نقشه فرسایش و رسوب حوزه آبخیز، تاج‌پوشش گیاهی، عمق خاک و بافت خاک، کاربری اراضی فعلی (آب، منطقه مسکونی، باغات، زراعت آبی، زراعت دیم کاربری نامناسب و مرتع، جنگل و حریم رودخانه مناسب برای مکان‌یابی)، گروه هیدرولوژیکی خاک و نقشه شماره منحنی (CN) تولید شد.

1. Saaty, Tomass
2. Triangulated Irregular Network

نقشه هم‌باران از روی رابطه گرادیان ارتفاعی به روش کریجینگ تهیه شد. رابطه گرادیان ارتفاعی استان اردبیل توسط صالحی و همتی تحت عنوان برآورد مکانی دما و بارش ارائه شده است (Salahi & Hemmati, 2012). نقشه فرسایش و رسوب حوزه مورد مطالعه از روی روش MPSIC با توجه به مطالعات میدانی صورت گرفته، در سطح حوزه آبخیز سقزچی‌چای تهیه شد. برای تعیین میزان سبزینگی یا تاج‌پوشش گیاهی سطح حوزه، شاخص NDVI با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به خرداد سال ۲۰۱۴ تهیه شده و استفاده شد. نقشه مربوط به خصوصیات خاک (گروه هیدرولوژیکی، عمق و بافت) از مطالعات تفضیلی اجرایی اداره منابع طبیعی استان اردبیل استخراج شد. همچنین نقشه کاربری اراضی حوزه از روی مطالعات در حال اجرا برای تهیه جامع کاربری اراضی استان اردبیل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ توسط کاکه‌ممی و همکاران استخراج شد (Kakehmami et al., 2016). برای تهیه نقشه شماره منحنی حوزه، نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با یکدیگر تلفیق شده است و شماره منحنی هر یک از واحدهای همگن با توجه به جدول شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا تهیه شد و همچنین موقعیت مکانی چشمه‌ها، روستاها و عملیات آبخیزداری صورت گرفته شامل نهال‌کاری، پیتینگ و بندهای سنگی ملاتی به روش میدانی و با GPS ثبت شد.

نمودار شاخه درختی معیارها و زیرمعیارهای اجرای عملیات بیولوژیکی و بیومکانیکی ارائه شد. مدل مفهومی تصمیم‌گیری در این تحقیق دارای ۵ سطح می‌باشد.

سطح ۱: هدف کلی سلسله مراتب، در بالاترین سطح قرار می‌گیرد. در اینجا هدف اصلی یافتن بهترین مکان برای اجرای عملیات اصلاح و احیاء می‌باشد.

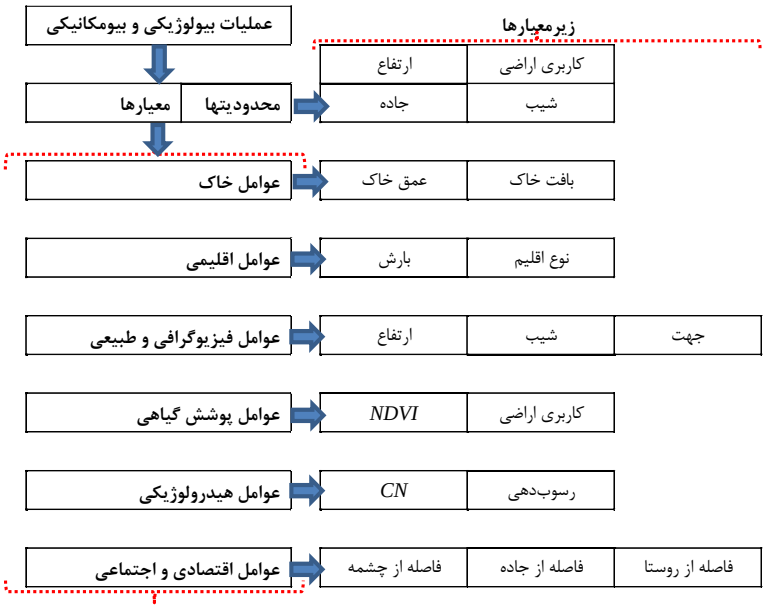
سطح ۲: در این سطح معیارهایی که برای انتخاب مکان‌های مناسب اصلاح و احیاء مدنظر هستند، تعیین می‌شود؛ که ۶ معیار شامل عوامل فیزیوگرافی و طبیعی، عوامل اقلیمی، عوامل خاک‌شناسی، عوامل هیدرولوژیکی، عوامل پوشش‌گیاهی و عوامل اقتصادی و اجتماعی می‌باشند.

سطح ۳: در این سطح معیارهای سطح (۲) به معیارهای جزئی‌تری تقسیم شده تا امکان مدل‌سازی فضایی و یافتن مکانهای مناسب جهت اجرای عملیات اصلاح و احیاء تعیین شود. در این سطح معیارهایی نظیر ارتفاع، عملیات بیومکانیکی در ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر مجاز نمی‌باشد. عملیات بیولوژیکی بیش از ۳۵۰۰ متر و نهال‌کاری بیش از ۲۰۰۰ متر مناسب نیست. شیب، در شیبهای بیش از ۲۰ درصد ماشین‌آلات کارایی ندارند و عملیات بیولوژیکی باید به صورت دستی انجام شود. راه ارتباطی یکی از عوامل تعیین‌کننده در کاهش هزینه‌های اجرایی و ارزش اقتصادی مکان می‌باشد. نوع و نحوه دسترسی به راه‌های ارتباطی اهمیت بسیاری در مکان‌یابی‌ها دارد. نوع کاربری زمین، تغییر در نوع کاربری به ویژه در مناطقی که با محدودیت خاک‌های مناسب و دارای فرسایش زیاد، خیلی مهم می‌باشد. عوامل فوق بخشی از سومین سطح تحلیلی را تشکیل می‌دهند که برای نمونه به اختصار بیان شدند.

سطح ۴: با توجه به معیارهای سطح (۳) و ماهیت این معیاره، مقایسه آن‌ها به صورت زوج، مشکل می‌باشد. برای مثال در مقایسه ارتفاع و بارش، هر مکان دارای ارتفاع معینی است که وزن‌های متفاوتی می‌تواند به آن اختصاص یابد. برای بارش نیز چنین موضوعی صادق است. بنابراین برای هر کلاس ارتفاعی و بارش، باید یک مقایسه انجام داد و از سویی باید به ارتباط آن با سایر ترکیبات نیز توجه داشت (موضوعی که بسیار سخت می‌باشد). در این حالت برای کاهش تعداد سطوح و عناصر و معیارها باید از نوعی مقیاس‌بندی استفاده شود تا ضمن در نظر گرفتن زیر معیارها از پیچیدگی آن کاسته شود. در اینجا با توجه به داده‌های موجود از ۹ کلاس (بسیار عالی ۹، عالی ۸، بسیار خوب ۷، خوب ۶، نسبتاً خوب ۵، متوسط ۴، نسبتاً ضعیف ۳، ضعیف ۲ و خیلی ضعیف ۱) استفاده شد.

سطح ۵: پایین‌ترین سطح سلسله مراتب مکانی، گزینه‌های مختلف برای انتخاب مکان‌ها می‌باشد که در اینجا کل منطقه براساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) شبکه‌های منظمی پیکسل بوده و مقادیر معیارهای مرحله قبل برای تمام آن‌ها محاسبه میشوند. بنابراین با توجه به اندازه سلول‌ها و وسعت منطقه، تعداد زیادی مکان در مدل کاندید می‌باشند.

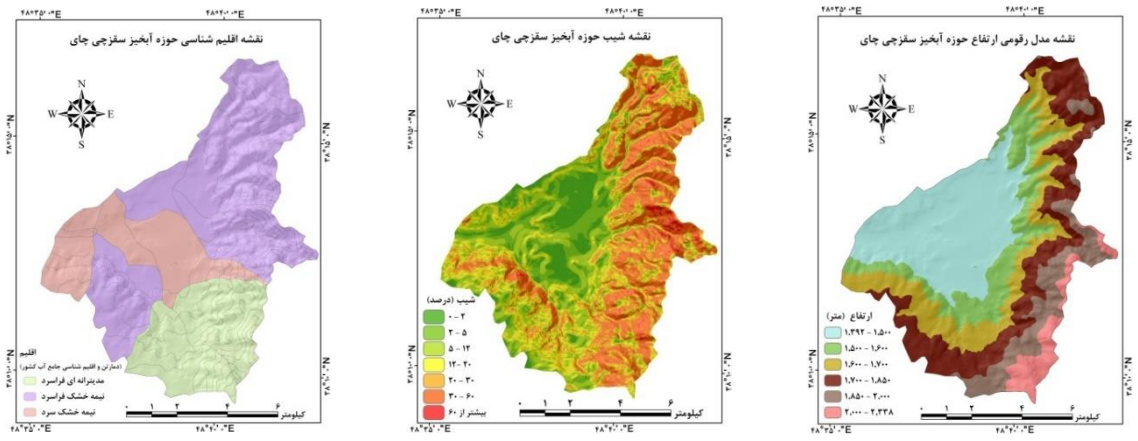
در مرحله آخر نیز به ترتیب برای هر عملیات به طور جداگانه در محیط نرم‌افزاری GIS، وزن نهایی هر معیار در داده‌های لایه آن اعمال شده و برای هر واحد کاری (پیکسل) یک وزن به دست می‌آید که بالاترین وزن اولویت دارد. نتایج به دست آمده در شش اولویت (بسیار مناسب ۱، مناسب ۲، نسبتاً مناسب ۳، متوسط ۴، نامناسب ۵ و کاملاً نامناسب ۶) طبقه‌بندی شد (شکل ۲).

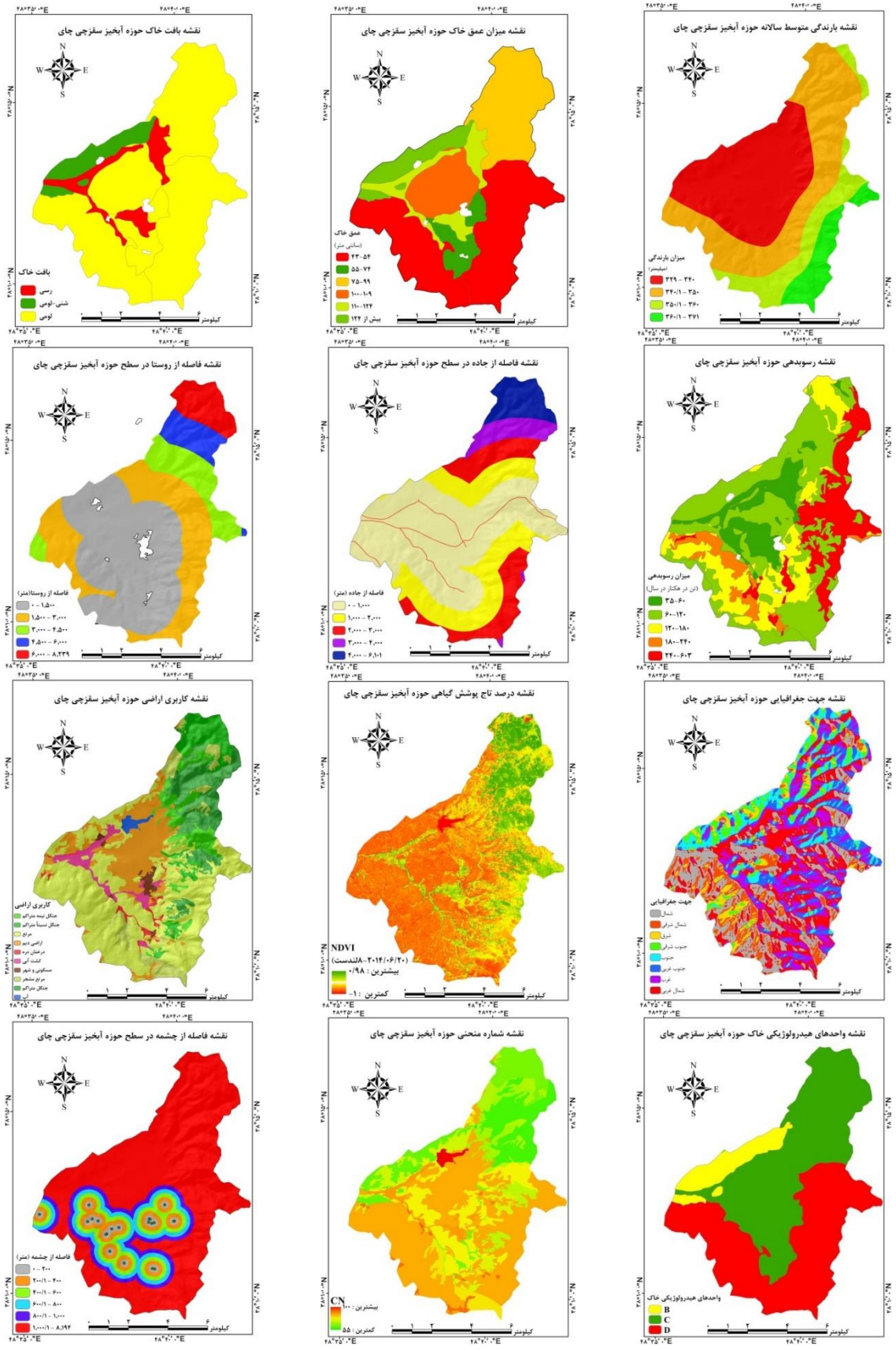


شکل ۲. مراحل تحلیل سلسله مراتبی در عملیات بیولوژیکی و بیومکانیکی

۳- یافته‌ها

برای انجام این پژوهش با استفاده از ۱۴ لایه اطلاعاتی و مدل رقومی ارتفاع، معیارهای شیب، جهت جغرافیایی محاسبه شد. معیار نوع اقلیم از گزارش مطالعات تفضیلی اجرایی حوزه توسط اداره کل منابع طبیعی استخراج شد. معیار بارندگی متوسط سالانه حوزه با استفاده از نتایج مطالعات صالحی و همتی تحت عنوان برآورد مکانی دما و بارش برای استانداری اردبیل، محاسبه شد (Salahi & Hemati, 2012). معیار عمق و بافت خاک به دلیل زمان‌بر بودن و هزینه‌های زیاد از گزارش مطالعات تفضیلی اجرایی حوزه توسط اداره کل منابع طبیعی استخراج شد. معیار رسوب‌دهی حوزه با استفاده از روش امپسیاک محاسبه شد. معیارهای فاصله از چشمه، جاده و روستا با استفاده از نقاط ثبت شده با GPS در بازدیدهای میدانی تهیه شد. معیار NDVI یا همان شاخص سبزینگی از روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ تهیه شد. معیار کاربری اراضی از پژوهش کاکه‌ممی و همکاران با عنوان تهیه کاربری اراضی کل استان اردبیل در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ استخراج شد (Kakehmami et al., 2016). معیار گروه‌های هیدرولوژیکی خاک از گزارش مطالعات تفضیلی اجرایی اداره کل منابع طبیعی استخراج شد و در نهایت معیار CN یا شماره منحنی با استفاده از معیار کاربری اراضی و معیار گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تهیه شد که کلیه معیارها به شرح ذیل ارائه می‌شود (شکل ۳):



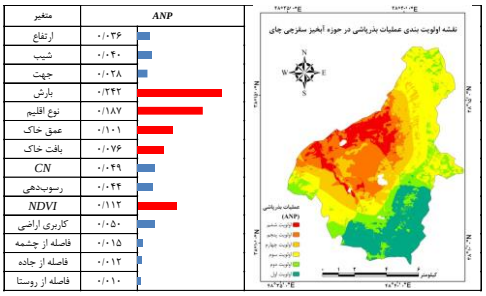


شکل ۳. نقشه معیارهای مورد بررسی حوزه آبخیز سقزچی‌چای

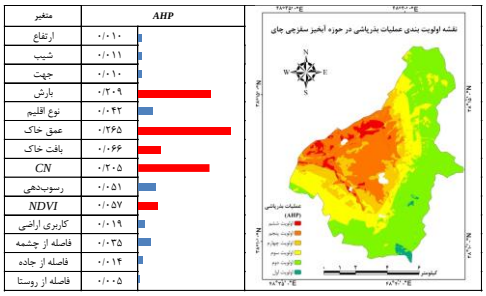
با توجه به نتایج شکل (۴ و ۵) که ضرایب حاصل از مقایسات زوجی در نرم‌افزار Expert Choice و نرم‌افزار Super Decisions بر متغیرهای هر یک از مکان‌یابی‌ها ضرب شد و نقشه حاصل در مکان‌یابی عملیات بذرپاشی به روش AHP با ۳/۳۱ کم‌ترین امتیاز و ۸/۶۳ بیش‌ترین امتیاز را برای اولویت‌بندی مکان مناسب اجرای عملیات بذرپاشی به دست آمد و در روش ANP این مقدار با ۳/۲۰ و ۸/۵۷ کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بود. در مکان‌یابی عملیات بذرکاری روش AHP با ۳/۱۷ کم‌ترین امتیاز و ۸/۴۹ بیش‌ترین امتیاز را برای اولویت‌بندی مکان مناسب اجرای عملیات بذرکاری به دست آمد و در روش ANP این مقدار با ۳/۱۵ و ۸/۴۸ کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بود. در مکان‌یابی عملیات کپه‌کاری و نهال‌کاری روش AHP به ترتیب با ۲/۶۰ و ۲/۷۴ کم‌ترین امتیاز و ۸/۸۲ و ۷/۵۳ بیش‌ترین امتیاز را برای اولویت‌بندی مکان مناسب اجرای عملیات کپه‌کاری و نهال‌کاری ارائه نمود و در روش ANP این مقدار به ترتیب با ۲/۸۲ و ۴/۶۷ کم‌ترین و ۹/۰۵ و ۱۲/۶۴ بیش‌ترین مقدار برای مکان‌یابی کپه‌کاری و نهال‌کاری است. برای مکان‌یابی عملیات پیتینگ روش AHP با ارائه ۳/۲۸ به‌عنوان کم‌ترین و ۱۳/۳۹ بیش‌ترین امتیاز و روش ANP با ارائه ۳/۰۶ و ۲۰/۸۵ کم‌ترین و بیش‌ترین امتیاز، به‌عنوان مکان مناسب برای عملیات پیتینگ به دست آمد که با توجه به نقشه‌ها و نتایج، روش ANP نسبت به روش AHP دامنه نتایج حاصله بیش‌تر و مکان‌های مناسب عملیات آبخیزداری را با تفکیک بیش‌تری تعیین کرده است (جدول ۲).

همچنین، مشاهدات میدانی عملیات نهال‌کاری و پیتینگ اجرا شده در حوزه سقزچی‌چای، با نقشه‌های حاصله برای مکان‌یابی عملیات نهال‌کاری و پیتینگ مقایسه شد. در روش AHP برای عملیات نهال‌کاری، پیتینگ به طور میانگین امتیاز ۵/۶۶ و ۶/۲۵ و با روش ANP به ترتیب ۴/۹۸ و ۸/۴۵ به دست آمد (شکل‌های ۶ تا ۹).

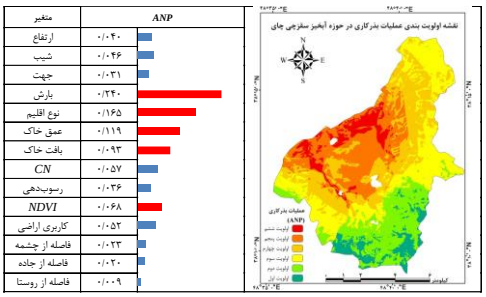
متغیر	ANP
ارتفاع	۰/۰۳۶
شیب	۰/۰۴۰
جهت	۰/۰۲۸
بارش	۰/۲۴۲
نوع اقلیم	۰/۱۸۷
عمق خاک	۰/۱۰۱
بافت خاک	۰/۰۷۶
CN	۰/۰۴۹
رسوب‌دهی	۰/۰۴۴
NDVI	۰/۱۱۲
کاربری اراضی	۰/۰۵۰
فاصله از چشمه	۰/۰۱۵
فاصله از جاده	۰/۰۱۲
فاصله از روستا	۰/۰۱۰



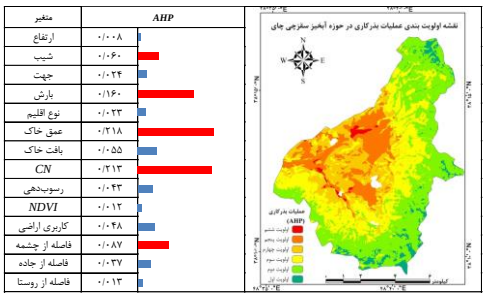
متغیر	AHP
ارتفاع	۰/۰۱۰
شیب	۰/۰۱۱
جهت	۰/۰۱۰
بارش	۰/۳۰۹
نوع اقلیم	۰/۰۴۲
عمق خاک	۰/۲۶۵
بافت خاک	۰/۰۶۶
CN	۰/۲۰۵
رسوب‌دهی	۰/۰۵۱
NDVI	۰/۰۵۷
کاربری اراضی	۰/۰۱۹
فاصله از چشمه	۰/۰۳۵
فاصله از جاده	۰/۰۱۴
فاصله از روستا	۰/۰۰۵



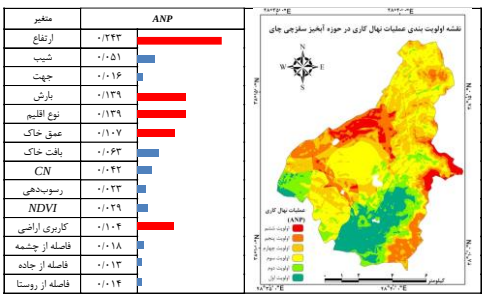
متغیر	ANP
ارتفاع	۰/۰۴۰
شیب	۰/۰۴۶
جهت	۰/۰۳۱
بارش	۰/۲۴۰
نوع اقلیم	۰/۱۶۵
عمق خاک	۰/۱۱۹
بافت خاک	۰/۰۹۳
CN	۰/۰۵۷
رسوب‌دهی	۰/۰۳۶
NDVI	۰/۰۶۸
کاربری اراضی	۰/۰۵۲
فاصله از چشمه	۰/۰۲۳
فاصله از جاده	۰/۰۲۰
فاصله از روستا	۰/۰۰۹



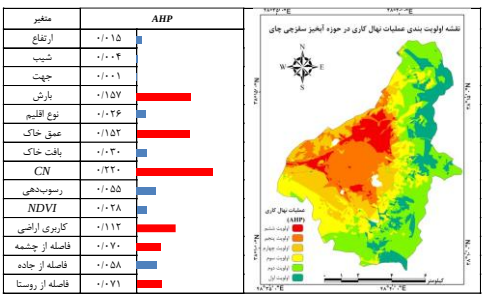
متغیر	AHP
ارتفاع	۰/۰۰۸
شیب	۰/۰۶۰
جهت	۰/۰۲۴
بارش	۰/۱۶۰
نوع اقلیم	۰/۰۲۳
عمق خاک	۰/۲۱۸
بافت خاک	۰/۰۵۵
CN	۰/۲۱۳
رسوب‌دهی	۰/۰۴۳
NDVI	۰/۰۱۲
کاربری اراضی	۰/۰۴۸
فاصله از چشمه	۰/۰۸۷
فاصله از جاده	۰/۰۳۷
فاصله از روستا	۰/۰۱۳

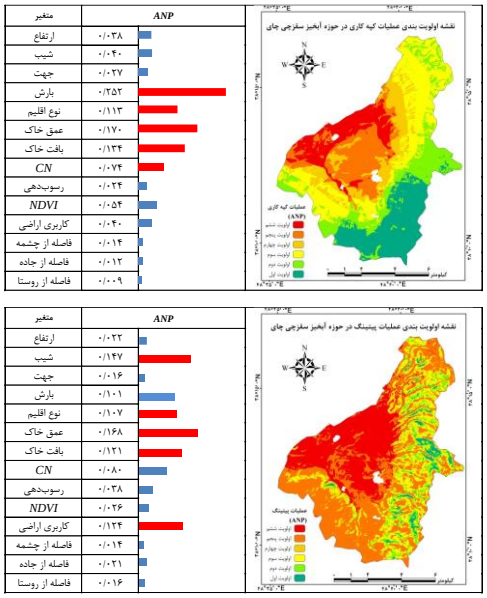


متغیر	ANP
ارتفاع	۰/۲۴۳
شیب	۰/۰۵۱
جهت	۰/۰۱۶
بارش	۰/۱۳۹
نوع اقلیم	۰/۱۳۹
عمق خاک	۰/۱۰۷
بافت خاک	۰/۰۶۳
CN	۰/۰۴۲
رسوب‌دهی	۰/۰۲۳
NDVI	۰/۰۲۹
کاربری اراضی	۰/۱۰۴
فاصله از چشمه	۰/۰۱۸
فاصله از جاده	۰/۰۱۳
فاصله از روستا	۰/۰۱۴

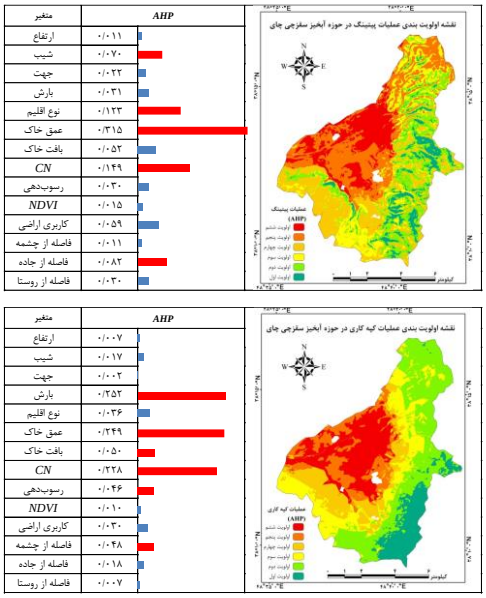


متغیر	AHP
ارتفاع	۰/۰۱۵
شیب	۰/۰۰۴
جهت	۰/۰۰۱
بارش	۰/۱۵۷
نوع اقلیم	۰/۰۲۶
عمق خاک	۰/۱۵۲
بافت خاک	۰/۰۳۰
CN	۰/۲۲۰
رسوب‌دهی	۰/۰۵۵
NDVI	۰/۰۲۸
کاربری اراضی	۰/۱۱۲
فاصله از چشمه	۰/۰۷۰
فاصله از جاده	۰/۰۵۸
فاصله از روستا	۰/۰۷۱





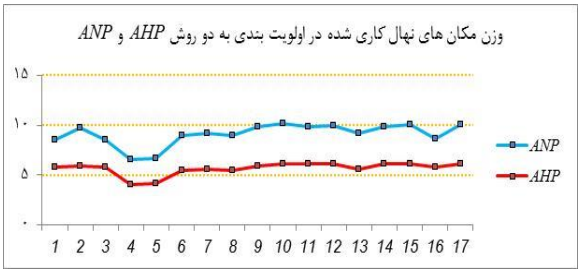
شکل ٤. نقشه وزن‌دهی و اولویت‌بندی عملیات اجرایی به روش ANP در حوزه آبخیز سقزچی‌چای



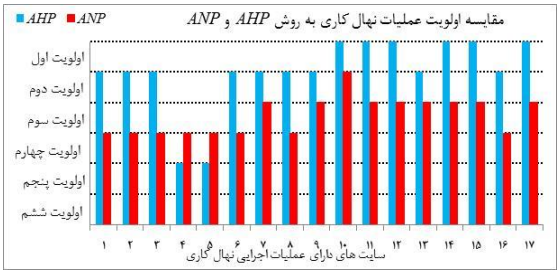
شکل ٥. نقشه وزن‌دهی و اولویت‌بندی عملیات اجرایی به روش AHP در حوزه آبخیز سقزچی‌چای

جدول ۲. میزان همبستگی نتایج روش AHP و ANP در اولویت‌بندی مکانی عملیات آبخیزداری

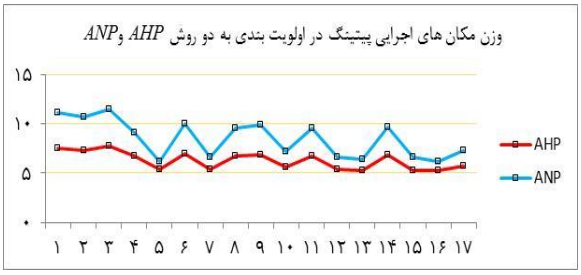
نوع عملیات	همبستگی پیرسون	سطح معنی‌داری
پیتینگ	۰/۹۵۷	٪۹۵
نهال‌کاری	۰/۹۳۷	٪۹۵



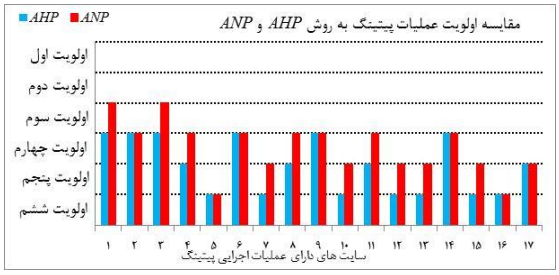
شکل ٦. دامنه تغییرات نتایج روش AHP و ANP در اولویت‌بندی مکانی عملیات نهال‌کاری



شکل ۷. مقایسه نتایج روش AHP و ANP در اولویتبندی مکانی عملیات نهال‌کاری



شکل ۸. دامنه تغییرات نتایج روش AHP و ANP در اولویت‌بندی مکانی عملیات پیتینگ



شکل ۹. مقایسه نتایج روش AHP و ANP در اولویتبندی مکانی عملیات پیتینگ

قربانی و همکاران در گزارش ارزیابی طرح باغات دیم، با ارزیابی عملیات نهال‌کاری حوزه آبخیز سقزچی‌چای به این نتیجه رسیدند که میزان موفقیت نهال‌کاری در حد ۲ درصد است و طرح نهال‌کاری شکست خورده است (Ghorbani et al., 2010). بر اساس نتایج این پژوهش، روش AHP در سطح ۹۵ درصد همبستگی خوبی با نتایج روش ANP دارد. مناطق نهال‌کاری شده در نقشه اولویتبندی به روش AHP، در اولویت اول، دوم و سوم (بسیار مناسب و مناسب) قرار دارد در حالی که به روش ANP در اولویت سوم به بعد (متوسط و ضعیف) است که نتایج روش ANP به گزارش ارزیابی طرح باغات دیم نزدیک‌تر و تأییدکننده آن هست. با توجه به بازدید میدانی و بررسی موفقیت عملیات اجرایی درون حوزه آبخیز، روش ANP به دلیل شبکه‌ای بودن و افزایش دامنه تغییرات، با صحت و قدرت تفکیک بیش‌تری به اولویت‌بندی پرداخته است.

برای عملیات پیتینگ، نتایج روش AHP در سطح ۹۵ درصد همبستگی خوبی با نتایج روش ANP دارد. مناطقی که عملیات پیتینگ اجرا شده، در نقشه اولویتبندی به روش AHP، در اولویت چهارم به بعد (متوسط و نامناسب) قرار دارد در حالی که به روش ANP در اولویت سوم به بعد (نسبتاً خوب و متوسط) است (شکل ۶ تا ۹). با توجه به نتایج دبیری و همکاران در مطالعه نقش عملیات آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب با استفاده از مدل تجربی MPSIAC در واحدهایی که اقدامات آبخیزداری انجام نشده است مقدار فرسایش و رسوب با افزایش بیش از دوبرابری همراه بوده و شدیداً نیازمند اجرای اقدامات آبخیزداری است؛ ولی در واحدهایی که عملیات آبخیزداری اجرا شده نسبت به قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری، با کاهش فرسایش و رسوب حوزه در منطقه همراه است (لازم به ذکر است قبل از انجام اقدامات آبخیزداری نیز، میزان فرسایش و رسوب حوزه با روشMPSIAC محاسبه شده بود (Dabiri et al., 2016). بر اساس مقایسه اولویت‌بندی هر دو روش، بیانگر آن است که نتایج روش ANP به واقعیت نزدیک‌تر و بهتر است.

در عملیات بذرپاشی نتایج نشان داد که با روش AHP معیارهای عمق خاک، بارش و شماره منحنی بیش‌ترین و فاصله از روستا کم‌ترین وزن را به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۱، ۰/۲۰، ۰/۰۰۵ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ داشتند ولی با روش ANP معیارهای بارش، اقلیم و تاج پوشش بیش‌ترین و فاصله از روستا کم‌ترین وزن به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۱۹، ۰/۱۱، ۰/۰۰۹ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ به دست آمد. برای عملیات بذرکاری نتایج نشان داد که با روش AHP معیارهای عمق خاک، شماره منحنی و بارش بیش‌ترین و ارتفاع کم‌ترین وزن را به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۲۱، ۰/۱۶، ۰/۰۰۸ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۳ داشتند ولی با روش ANP معیارهای بارش، اقلیم و عمق خاک بیش‌ترین و فاصله از روستا کم‌ترین وزن به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۱۶، ۰/۱۲، ۰/۰۰۵ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ به دست آمد. برای عملیات کپهکاری نتایج نشان داد که با روش AHP معیارهای بارش، اقلیم و شماره منحنی بیش‌ترین و جهت کم‌ترین وزن را به ترتیب ۰/۲۵۲، ۰/۲۴۹، ۰/۲۳، ۰/۰۰۲ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۵ داشتند ولی با روش ANP معیارهای بارش، عمق خاک و بافت خاک بیش‌ترین و فاصله از روستا کم‌ترین وزن به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۱۷، ۰/۱۳، ۰/۰۰۹ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ به دست آمد. برای عملیات نهال‌کاری نتایج نشان داد که با روش AHP معیارهای شماره منحنی، بارش و عمق خاک بیش‌ترین و جهت کم‌ترین وزن را به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۱۶، ۰/۱۵، ۰/۰۰۱ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ داشتند ولی با روش ANP معیارهای ارتفاع، بارش و اقلیم بیش‌ترین و فاصله از جاده کم‌ترین وزن به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۱۴، ۰/۱۳۸، ۰/۰۱۳ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ به دست آمد. برای عملیات پیتینگ نتایج نشان داد که با روش AHP معیارهای عمق خاک، شماره منحنی و اقلیم بیش‌ترین و فاصله از چشمه و ارتفاع کم‌ترین وزن را به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۱۵، ۰/۱۲، ۰/۰۱۱ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ داشتند و با روش ANP معیارهای عمق، شیب و نوع کاربری بیش‌ترین و فاصله از چشمه کم‌ترین وزن به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۱۵، ۰/۱۲، ۰/۰۱ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۰ به دست آمد.

٤- بحث و نتیجه‌گیری

آبخیزها به‌عنوان پهنه‌ای که تمام رواناب ناشی از بارش را دریافت می‌کنند، مهم‌ترین بخش در برنامه‌ریزی‌های مرتبط با استفاده بهینه از منابع آب و خاک، محسوب می‌شوند. کنترل آب و خاک در آبخیز که با انجام عملیات آبخیزداری صورت می‌گیرد، تلاشی هماهنگ و یکپارچه است، تا بازده یک آبخیز را به لحاظ کشاورزی، منابع طبیعی و انسانی، اقتصادی سازد. محققینی نظیر دوتی و نوبل که در خصوص ارزیابی نقش عملیات مکانیکی و بیولوژیکی آبخیزداری در کاهش رسوب و رواناب، مطالعاتی انجام داده‌اند، در مجموع به این نکته تأکید دارند که موفقیت اقدامات آبخیزداری به دو عامل متناسب بودن سازه‌های حفاظت خاک و آب با ویژگی‌ها و خصوصیات حاکم بر آبخیزها و تأثیر آن‌ها در استقرار پوشش گیاهی به‌عنوان عامل پایداری و جزء اصلی و طبیعی هر آبخیز، بستگی دارد (Doty, 1971; Noble, 1963).

با توجه به مطالب ذکر شده، برای استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مطالعات محیط‌زیستی، نخست باید هدف یا اهداف موردنظر را بر اساس اهداف کلی ذکرشده در بالا مشخص نمود و سپس بر اساس هدف یا اهداف، انواع مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره محیط‌زیستی و کاربرد آن‌ها را برای آن هدف خاص مطالعه کرد و همزمان، سابقه استفاده از آن مدل برای نیل به آن هدف و همچنین امکان نوآوری در مدل را مورد بررسی قرار داد و سرانجام مدل یا مدل‌های متناسب را انتخاب نمود. فرضیه اصلی در تحلیل سلسله مراتبی، استقلال سطوح بالاتر نسبت به سطوح پایین‌تر و نسبت به معیارها و عوامل دیگر در هر سطح است؛ یعنی عناصر هر سطح صرفاً به عناصر سطوح بالاتر وابسته‌اند؛ بنابراین از AHP برای حل مسائلی می‌توان استفاده کرد که میان گزینه‌ها و معیارها ارتباط وجود نداشته باشد. در صورتی که آن‌ها با هم وابستگی متقابل داشته باشند، استفاده از روش ANP پیشنهاد شده است (Hemmati et al., 2016).

نتایج نشان داد که تلفیق روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و شبکه‌ای و قابلیت و امکانات نرم‌افزار ArcGIS دقت نتایج را به نحو چشمگیری افزایش داده و از این طریق هزینه‌های اجرایی را به میزان زیادی کاهش می‌دهد (Rajabi et Al-Zubi, 2009; Garcia & Guitart, 2022; Tajbakhsh et al., 2022; al., 2020). نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد اولویت‌بندی مکانی عملیات نهال‌کاری و پیتینگ به روش ANP در سطح ۹۵ درصد و به ترتیب با شدت ۰/۹۳۷، ۰/۹۵۷ همبستگی معنی‌داری با روش AHP دارد و روش ANP به دلیل شبکه‌ای بودن با قدرت تفکیک بیش‌تر و دقیق‌تر محل اجرای پروژه‌های اصلاح و احیاء را مکان‌یابی می‌کند. در همین راستا، نتایج به دست آمده در این زمینه با نتایج جوانی و عنابستانی، قربانی و همکاران، دبیری و همکاران، رجبی و همکاران و شعبانی و احمدزاده مطابقت دارد (Javani & Anabostani, 2016; Ghorbani et al., 2010; Rajabi et al., 2020; Dabiri et al., 2016; Shabani & Ahmadzadeh; 2022; Dabiri et al., 2023). طبق نتایج قربانی و همکاران در گزارش ارزیابی طرح باغات دیم، موفقیت در سطح ۲ درصد بوده و روش ANP محل‌های اجرای طرح باغات دیم را جزو اولویت متوسط و ضعیف اعلام کرده است (Ghorbani et al., 2010). همچنین در محل‌هایی که روش ANP عملیات پیتینگ را خوب و متوسط مکان‌یابی کرده بود بر اساس نتایج دبیری و همکاران در مطالعه اثربخشی عملیات آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب با استفاده از مدل تجربی MPSIAC در زیرحوزه‌های آبخیز فاقد عملیات آبخیزداری، میانگین فرسایش و رسوب به ترتیب ۱/۴۸ و ۰/۶۷ تن در هکتار در سال افزایش دارد و با افزایش بیش از دوبرابری همراه بوده و شدیداً نیازمند اجرای اقدامات آبخیزداری است؛ ولی در واحدهایی که عملیات آبخیزداری از جمله پیتینگ اجرا شده است نسبت به قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری، با کاهش فرسایش و رسوب حوزه در منطقه همراه است که نشان‌دهنده دقت این روش در مکان‌یابی است (Dabiri et al., 2016 & 2023). در واقع در بخش‌هایی که عملیات پیتینگ اجرا شده، سبب کاهش فرسایش و رسوب شده است که با نتایج پژوهش حاضر در اولویت‌بندی مکانی عملیات نهال‌کاری و پیتینگ تطابق دارد. طبق نتایج مطالعه حاضر در مکان‌یابی عرصهٔ مناسب با روش ANP برای عملیات بذرپاشی معیارهای بارش، اقلیم و تاج‌پوشش و برای عملیات بذرکاری معیارهای بارش، اقلیم و عمق خاک و برای عملیات کپه‌کاری معیارهای بارش، عمق خاک و بافت خاک و برای عملیات نهال‌کاری معیارهای ارتفاع، بارش و اقلیم و برای عملیات پیتینگ معیارهای عمق، شیب و نوع کاربری بیش‌ترین اهمیت نسبی را دارند و با روش AHP برای عملیات بذرپاشی معیارهای عمق خاک، بارش و شماره منحنی و برای عملیات بذرکاری معیارهای عمق خاک، شماره منحنی و بارش و برای عملیات کپه‌کاری معیارهای بارش، اقلیم و شماره منحنی و برای عملیات نهال‌کاری معیارهای شماره منحنی، بارش و عمق خاک و برای عملیات پیتینگ معیارهای عمق خاک، شماره منحنی و اقلیم بیش‌ترین اهمیت نسبی را دارند. با توجه به معیارهای مورد ارزیابی و هدف مطالعات مختلف، معیارهای مؤثر در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای اهداف مختلف نیز متفاوت است که نتایج مطالعات رجبی و همکاران، عابدینی و همکاران و جوکار سرهنگی و لرستانی از نظر فاکتورهای مؤثر با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد (Jokar Sarhangi & lorestani, 2022; Abeddini et al., 2022; Rajabi et al., 2020). بر این اساس، طبق مطالعه رجبی و همکاران در مطالعه مکان‌یابی عرصهٔ مناسب برای پروژه‌های اصلاح و توسعه در مراتع دشت قاین، ایران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) طبق معیارهای اندازه‌گیری شده، به این نتیجه رسیدند که در مکان‌یابی عرصهٔ مناسب برای عملیات پیتینگ، مقدار بارش و شیب منطقه و برای عملیات پخش سیلاب، شیب، حجم رواناب و نفوذپذیری خاک اهمیت بیشتر دارند. به علاوه، معیار اقلیم و شیب اهمیت نسبی بیشتری در تعیین عرصهٔ مناسب برای بذرپاشی و بذرکاری؛ بارندگی بیش‌ترین اهمیت نسبی در مکان‌یابی عرصه برای عملیات کپه‌کاری و در نهایت در تعیین عرصهٔ مناسب برای عملیات کنتورفارو، شیب و حجم رواناب بیش‌ترین اهمیت نسبی را نشان دادند که با نتایج پژوهش حاضر در معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی عملیات بذرپاشی و

بذرکاری، کپه‌کاری و پیتینگ مطابقت دارد (Rajabi et al., 2020). مطالعه جوکار سرهنگی و لرستانی در ارزیابی خطر فرسایش بدلندی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی در حوضه آبریز کلرز گرمسار دو عامل جنس زمین و شیب بر وقوع و گسترش فرسایش بدلندی بیش‌ترین اهمیت را دارد (Jokar Sarhangi & lorestani, 2022).

با توجه به هزینه‌بر بودن پروژه‌های اصلاح و توسعهٔ مراتع و دستکاری قابل توجه در بوم‌سازگان طبیعی مرتع در حین اجرای آن‌ها، مکان‌یابی صحیح عرصهٔ مناسب برای پروژه‌ها با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه استفاده از قابلیت‌ها و توانمندی‌های سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) پیشنهاد می‌شود. به علاوه، ارزیابی و پایش آثار اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی پروژه‌های اجراشده باید توسط سازمان‌ها و دستگاه‌های ذی‌ربط مورد توجه جدی قرار گیرد؛ چرا که هرگونه خطا در اجرا و یا نتیجهٔ نامطلوب و منفی حاصل از اجرای پروژه‌ها، نه‌تنها موجب هدررفت سرمایهٔ انسانی و مالی می‌شود؛ بلکه سلب اعتماد بهره‌برداران و جوامع محلی نسبت به مجریان طرح‌ها و دستگاه‌های مربوطه را نیز در پی خواهد داشت. همچنین تأکید می‌شود که لازمهٔ تداوم و استمرار آثار مطلوب اجرای پروژه‌های اصلاح و توسعه بر بوم‌سازگان مرتع، مدیریت صحیح چرا در منطقهٔ اجرای پروژه‌ها است؛ در غیر این صورت، همهٔ هزینه‌های صرف‌شده و تلاش‌های انجام شده به هدررفت خواهد رفت.

در روش ANP که متغیرها در محیط GIS به روش منطق فازی استفاده شده است، علاوه بر کاهش هزینه و زمان مطالعه و مکان‌یابی عملیات آبخیزداری، به دلیل دقت بالا باعث کاهش خطاهای انسانی حاصل از کمبود کارشناس مجرب و خبره است (Garcia & Guitart, 2022; Tajbakhsh et al., 2022). امروزه مطالعه و بررسی شاخص‌های توسعه پایدار در ابعاد مختلف می‌تواند معیار مناسبی هم برای تعیین جایگاه نواحی و مناطق به لحاظ توزیع فضایی و مکانی مناسب امکانات و هم عاملی در جهت رفع مشکلات برای دستیابی به رفاه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی ساکنین شهری باشد (vafaei, 2021)؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود حین استفاده از روش‌های مکان‌یابی به‌روز و کاربردی‌تر در زمینه اصلاح و احیاء مراتع، اولویت‌هایی نظیر رفاه و منفعت ذی‌نفعان یا مرتع‌داران و درآمدزایی بهره‌برداران از این طرح‌ها و عملیات آبخیزداری نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

۵- سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای روح‌الله دبیری با عنوان «مکان‌یابی و مهندسی ارزش عملیات آبخیزدای با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP در حوزه آبخیز سقزچی چای استان اردبیل» است که با حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه ارومیه انجام شده است.

٦- فهرست منابع

آذر، عادل، و معماریانی، عزیزاله. (۱۳۷۴). AHP تکنیکی نوین برای تصمیم‌گیری گروهی، دانش مدیریت، شماره۲۷ و ۲۸، صص ۳۲- ۲۲.

آذرنیوند، حسین، نامجویان، رضا، ارزانی، حسین، جعفری، محمد، و زارع چاهوکی، محمدعلی. (۱۳۸۶). مکان یابی برنامه‌های اصلاح و احیاء مراتع با استفاده از GIS و مقایسه آن با پروژه‌های پیشنهادی در طرح‌های مرتعداری مراتع منطقه لار، مرتع، دوره۱، شماره۲، صص ۱۵۹-۱۶۹.

آروین، محمود، پوراحمد، احمد، زیاری، کرامت‌اله، و زنگنه شهرکی، سعید. (۱۴۰۱). شناسایی و اولویت‌بندی محرک‌های بهره‌گیری از شهر فشرده (مطالعه‌ی موردی: شهر اهواز). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۱۲، دوره ۴۵، صص ۵۷-۳۶.

اسفندیاری، فریبا، ینصری، مهیا، ادهمی، مریم، و مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری و رویکرد فازی در حوضه خیاوچای مشگین‌شهر. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک.

اسمعلی، اباذر، و عبداللهی، خدایار. (۱۳۸۹). آبخیزداری و حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، چاپ دوم، اردبیل.

امیدی، فریماه، بابازاده، حسین، و سرائی تبریزی، مهدی. (۱۳۹۲). ارزیابی بهره‌وری آب با رویکرد استفاده از روش‌های ANP، AHP، FAHP و FANP، اولین همایش ملی بهینه‌سازی مصرف آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

تاج‌بخش، سید محمد، گوهری، زهرا، و محمودزاده وزیری، اسداله. (۱۴۰۱) . اولویت بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه های آبخیز فریزی و ریگ سفید با استفاده از روش فازی-تاپسیس. مدلسازی و مدیریت آب و خاک، دوره ۲، شماره۴، صص ۷۶-۶۴.

جنگجو، محمد. (۱۳۸۸). اصلاح و توسعهٔ مرتع، انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول، مشهد.

جعفریان، زینب، پروینی، سمیرا، و کاویان، عطاالله. (۱۳۹۷). ارزیابی صحت مکانی برنامه‌های اصلاح و احیاء پیشنهادی در طرح مرتع‌داری حوزه آبخیز میخوران کرمانشاه. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره۹، شماره۲، صص ۴۶-۳۳.

جوانی، خدیجه، و عنابستانی، علی اکبر. (۱۳۹۴). تحلیل مقایسه‌ای روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و ANP در مکان‌یابی فضاهای سبز روستایی. برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره ۱۹، شماره ۴، صص۳۲-۱.

جوکار سرهنگی، عیسی، لرستانی، قاسم، و علیزاده، میثم. (۱۴۰۱). ارزیابی خطر فرسایش بدلندی با استفاده از مدل تحلیل سسله مراتبی فازی مطالعه موردی: حوضه آبریز کلرز گرمسار. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره ۱۳، شماره ۴۹، صص ۱۱۵-۹۸.

خیری‌زاده، منصور، ملکی، جبرئیل، و عمونیا، حمید. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوزه‌ی آبریز مردق‌چای با استفاده از مدل ANP. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، دوره ۱، شماره ۳، صص ۵۶-۳۹.

دبیری، روح الله، عبقری، هیراد، نظرنژاد، حبیب، و قربانی، اردوان. (۱۳۹۵). نقش عملیات آبخیزداری در کنترل فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل. یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یاسوج، ایران.

دبیری، روح‌الله، عبقری، هیراد، و قربانی، اردوان. (۱۴۰۲). اثربخشی عملیات آبخیزداری در کاهش فرسایش و رسوب با استفاده از مدل تجربی MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل). جغرافیا و مطالعات محیطی. پذیرش شده.

دهقان، مطهره، آذری، محمود، و سپهر، عادل. (۱۳۹۸). ارائه یک سامانه پشتیبان تصمیم مبتنی بر GIS برای مکان یابی اقدامات حفاظت آب وخاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کاخک). جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۸ شماره ۲۹،صص ۸۲-۶۵.

دهقانی، مرتضی، قاسمی، حسین، و ملکیان، آرش. (۱۳۹۲). اولویت‌بندی مکانی عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش با استفاده از روش منطق فازی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز فورگ)، مرتع و آبخیزداری. دوره ۶۶، شماره ۱، صص ۸۸-۷۳.

رجبی، علی، آجورلو، مجید، و دهقانی، مرتضی. (۱۳۹۹). مکان‌یابی عرصه مناسب برای پروژه‌های اصلاح و توسعه در مراتع مطالعه موردی: مراتع دشت قاین، جغرافیا و توسعه، دوره ۱۸، شماره ۶۰، صص ۱۳۶-۱۱۷.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها. (۱۳۸۰). راهنمای مهار سیلاب رودخانه (روش‌های سازه‌ای)، شماره ۲۴۲.

شفابخش، غلامغلی، علیزاده، حسنا، و اکبری، مهدی. (۱۳۹۱). شناسایی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز با روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای(ANP) ۷ قوس محور هراز، مطالعات مدیریت ترافیک، دوره ۷، شماره ۲۴، صص ۱۸-۱.

صادق عمل‌نیک، محسن، انصاری‌نژاد، ایوب، انصاری‌نژاد، صمد، و میری، سینا. (۱۳۸۹). یافتن روابط علی و معلولی و رتبه‌بندی عوامل بحرانی موفقیت و شکست پروژه‌های پیاده‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی به کمک ترکیب روش‌های ANP و DEMATEL فازی گروهی، مهندسی صنایع، دوره ۴۴، شماره ۲، صص ۲۱۲-۱۹۵.

صلاحی، برومند، و همتی، رسول. (۱۳۹۱). برآورد مکانی دما و بارش در استان اردبیل. طرح مطالعاتی استانداری اردبیل، دانشگاه آزاد اردبیل.

عابدینی، موسی، جوادی علی‌بابالو، سجاد، مصطفی زاده، رئوف، و پاسبان، امیرحسام. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی بر اساس فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از پسیاک اصلاح‌شده (MPSIAC) در محیط GIS. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۳، شماره ۴۹، صص ۳۹-۱۸.

عیسوی، وحید، کرمی، جلال، علیمحمدی، عباس، و نیک نژاد، علی. (۱۳۹۱). مقایسه دو روش تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy-AHP در مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی در منطقه طالقان، علوم زمین، دوره ۲۲، شماره ۸۵، صص ۳۴-۲۷.

قدسی‌پور، سید حسن. (۱۳۹۸). فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، چاپ دوازدهم، تهران.

قربانی، اردوان، دبیری، روح الله، کاکه‌ممی، آزاد، و کاویان‌پور، حسین. (۱۳۸۹). گزارش ارزیابی طرح باغات دیم در حوزه آبخیز سقزچی‌چای، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل.

کاکه‌ممی، آزاد. (۱۳۹۵). تهیه نقشه کاربری اراضی استان اردبیل با دو روش تفسیر چشمی و رقومی و مقایسه آن‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری‌های کشاورزی و منابع طبیعی، اردبیل.

متقیان، مسعود، علوی نیا، سید حسن، و قضاوی، رضا. (۱۴۰۲). ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری بر تغییر رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در مناطق خشک و نیمه خشک. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک.

مخدوم، مجید. (۱۳۹۱). شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سیزدهم، تهران.

مصداقی، منصور. (۱۳۹۴). مرتع داری در ایران، دانشگاه صنعتی سجاد، چاپ هفتم، مشهد.
معتمدی جواد، شیدای کرکج اسماعیل. (۱۳۹۷). ضرورت توجه به معیارها و شاخص‌های موثر در مکان‌یابی عملیات مدیریتی و بیولوژیکی اصلاح مرتع (مطالعه موردی: مراتع کوهستانی هندوان، خوی، آذربایجان غربی). مرتع. دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۳۶۹-۳۵۴.
مؤمنی، منصور. و شریفی سلیم، علیرضا. (۱۳۹۰). مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چندشاخصه، نشر مؤلفین، چاپ اول، تهران.
وفایی، ابوذر. (۱۴۰۰). رویکردی نوین از تحلیل سطوح پایدار شهری با مدل‌های ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره، DEMATEL، ANP & TOPSIS (مورد پژوهی: شهر کاشان). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره ۱۲، شماره ۴۳، صص ۱۲۴-۱۰۳.
همتی، بهنام، فروزانی، معصومه، یزدان پناه، مسعود، و خسروی‌پور، بهمن. (۱۳۹۴). مقایسه کاربرد فرایند تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تحلیل شاخص فقر آبی کشاورزی: مورد مطالعه شهرستان دزفول، علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۲۲۱-۲۰۳.

References

Abeddini, M., JavadiٔAlibabalo, S., Mostafazadeh, R., & Pasban, A. (2022). Prioritization of Kozetopraghi sub-watersheds based on estimated soil erosion and sediment yield using modified PSIAC model and GIS. Journal of Arid Regions Geographic Studies, 13(49): 39-18. doi: 10.22034/jargs.2023.373965.0 **[In Persian]**

Al-Zubi, Y.A (2009). Application of analytical hierarchy process for the evaluation of climate change impact on echo-hydrology: the case of Azraq Basin in Jordan. Journal of Applied Sciences, 9(1): 135-141.

Amalnick, M.S., Ansarinejad, A., Ansarinejad, S., & Miri, S. (2011). Finding Casual Relationship and Ranking of CSFs in Information System Implementations Project by Using the Combination of Fuzzy ANP and Fuzzy DEMATEL, Journal of Advances in Industrial Engineering, 44(2): 195-212. **[In Persian]**

Arvin, M., Pourahmad, A., Ziyari, K., & Zangenh Shahraki, S. (2022). Identify and investigate the drivers to use the compact city (Case study: Ahvaz city). Journal of Arid Regions Geographic Studies, 12(45): 36-57. **[In Persian]**

Azar, A., & Memariani A. (1995). AHP is a new technique for group decision making .Management Knowledge. 27&28: 22-32. **[In Persian]**

Azarnivand, H., Namjoyan, R., Arzani, H., Jafari, M., & Zare Chahouki, M.A. (2007). Localization of range improvement plans using GIS and comparing with suggested projects of range management plans in Lar region. Rangeland, 1(2): 159-169. **[In Persian]**

Dabiri, R., Abghari, H., & Ghorbani, A. (2023). Effectiveness of watershed operations in controlling erosion and sedimentation using MPSIAC experimental model (Case study: Saqezchi-Chay watershed, Ardabil province). Journal of Geography and Environmental Studies. **[In Persian]**

Dabiri, R., Abgari, H., Nazarnejad, H., & Ghorbani, A. (2016). The role of watershed operations in controlling erosion and sedimentation in the Saqzchi-chai watershed of Ardabil province. The 11th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran. **[In Persian]**

Dehghan, M., Azari, M., & Sepehr, A. (2019). A GIS-based Decision Support System to Identify Potential Sites for Soil and Water Conservation Measures (Case Study: Kakhk Watershed). Geography and Environmental Hazards, 8(29): 65-82. **[In Persian]**

Dehghani, M., Ghasemi, H., & Malekian, A. (2013). Spatial Prioritization of flood mitigation and soil erosion control practices using Fuzzy Logic approach (case study: Foorg watershed). Journal of Range and Watershed

Management (Iranian Journal of Natural Resources), 66(1), 73-88. **[In Persian]**

Doty, R.D. (1971). Contour trenching effects on stream flow from a Utah watershed. USDA. Forest Service Res. Paper INT.98 Intermountain Forest & Range Experiment Station, Ogden, Utah.

Esavi, V., Karami, J., Alimohammadi, A., & Niknezhad, S. A. (2012). Comparison the AHP and FUZZY-AHP Decision Making Methods in Underground DAM Site Selection in Taleghan Basin. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 22(85): 27-34. doi: 10.22071/gsj.2012.54018 **[In Persian]**

Esfandyari Darabad, F., Yansori, M., Adhami, M., & Mostafazadeh, R. (2023). Evaluation and zoning of soil erosion potential using geomorphometric indexes and Fuzzy approach in Khiavchai watershed, Meshginshahr. Journal of Arid Regions Geographic Studies. doi: 10.22034/jargs.2023.385049.1013 **[In Persian]**

Esmali, A., & Abdollahi, Kh. (2014). Watershed management and soil conservation, Publisher: Mohahegh, second edition, Ardabil. **[In Persian]**

Garcia, D. J. & Guitart, V. E. (2022) Comparative analysis between AHP & ANP in prioritization of ecosystem services - A case study in a rice field area raised in the Guadalquivir marshes (Spain), Ecological Informatics, 70: 101739.

Ghodsipour, S.H. (2019). Analytical Hierarchy Process (AHP). Amirkabir University Press, 12th edition, Tehran. **[In Persian]**

Ghorbani, E., Dabiri, R., Kakemami, A., & Kavianpour, H. (2010). Evaluation report of rainfed gardens project in Saqzchichai watershed, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Ardabil province. **[In Persian]**

Hemmati, B., Forouzani, M., Yazdanpanah, M., & Khosravipour, B. (2016). Comparison Application of the Analytic Network Process (ANP) and Analytic Hierarchy Process (AHP) in Analysis of the Agricultural Water Poverty Index: The Case of Dezful County. Iranian Agricultural Extension and Education Journal, 11(2): 203-221. **[In Persian]**

Jabbar, F.K., Grote, K. & Tucker, R.E. (2019). A novel approach for assessing watershed susceptibility using weighted overlay & analytical hierarchy process (AHP) methodology: a case study in Eagle Creek Watershed, USA. Environmental Science and Pollution Research, 26: 31981–31997.

Jangjou, M. (2010). Improvement and development of rangelands. Jahad University Publications, first edition, Mashhad. **[In Persian]**

Jafarian, Z., Parvini, S., & Kavian, A. (2018). Assessment spatial accuracy of restoration programs in the range management plan for the Maikhoran watershed in Kermansha. RS & GIS for Natural Resources, 9(2): 33-46. **[In Persian]**

Javani, Kh., & Anabostani, A.A. (2016). Comparative Analysis of Multi Criteria ANP & AHP Decision Making green spaces in rural location. MJSP, 19 (4): 1-32. URL: http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-5742-fa.html **[In Persian]**

Jokar Sarhangi, E., & lorestani, G. (2022). Evaluation of badland Erosion Risk Using Fuzzy Hierarchical Analysis Model Case study: kelerz basin in Garmsar. Journal of Arid Regions Geographic Studies, 13(49): 98-115. doi: 10.22034/jargs.2023.373874.0 **[In Persian]**

Kakememi, A. (2016). Preparing the land use map of Ardabil province with two methods of visual and digital interpretation and comparing them. Master's thesis, Mohaghegh Ardabili University, Faculty of Agricultural Technologies and Natural Resources, Ardabil. **[In Persian]**

Kheyrizadeh Arouq, M., Maleki, J., & Amonia, H. (2013). Zoning of flood risk potential in Murdu Chay catchment area using ANP model. Quantitative geomorphological research, 1(3): 39-56. **[In Persian]**

Kusky, T. (2008). Floods: Hazards of Surface and Groundwater Systems, Facts on File publishing, New York.

Madan, K.J., V. M. Chowdary. & Y. Kulkarni. B. C. Mal., (2014). Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis.Resources. Conservation and Recycling, 83: 96-111.

Makhdoum, M. F. (2013). Fundamental of landuse Planning. Tehran University Press, 13th edition, Tehran.

Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis; acritical overview. Progress in planning, 62: 3- 65.

Management & Planning Organization. (2002). Guideline for River Flood Control (Structural Measures), 242.

Mesdaghi, M. (2015). Rangelands management in Iran, Sajjad University of Technology, 7th edition, Mashhad. **[In Persian]**

Mohammadinia, L., Ahmadi Marzaleh. M. & Peyravi, MR. (2021). Report of Field Assessment in the Flooded Areas of Iran, Health in Emergencies and Disasters Quarterly, 6(2): 73-78 .

Momeni, M., & Shrifi Salim, A. (2012) Madm models and software's, Authors Publishing House, first edition, Tehran. **[In Persian]**

Motaghian, M., Alavinia, S. H., & Ghazavi, R. (2023). Evaluation of watershed management measures on changing the hydrological behavior of the watershed in arid and semi-arid areas. Journal of Arid Regions Geographic Studies, doi: 10.22034/jargs.2023.397286.1029 **[In Persian]**

Motamedi, J., & Sheidai E. (2018). Importance of evaluating criteria and indicators to use for allocating management and biological practices for rangeland improvement (Case study: Hendowan mountainous rangelands, Khoy, West Azarbaijan). Rangeland. 12(3): 354-369. URL: http://rangelandsrm.ir/article-1-649-fa.html **[In Persian]**

Mushtaq, F., Farooq, M., Tirkey, A.S. & Sheikh, B.A. (2023). Analytic Hierarchy Process (AHP) Based Soil Erosion Susceptibility Mapping in Northwestern Himalayas: A Case Study of Central Kashmir Province. Conservation. 3: 32–52.

Nafarzadegan, A. R., Mohammadifar, A. A., Vagharfard, H., & Foruzanfard, M. (2019). Combination of Multi-criteria Decision-making Models and Regional Flood Analysis Technique to Prioritize Sub-

watersheds for Flood Control (Case study: Dehbar Watershed of Khorasan). Journal of Geography and Environmental Hazards, 8(2): 27-45. doi: 10.22067/geo.v0i0.76607

Noble, E.L. (1963). Sediment Reduction through watershed rehabilitations. Interagency Sedimentation Conf. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Region.

Omidi, F., Babazadeh, H., & Sarai Tabrizi, M. (2014). Evaluation of water efficiency with the approach of using ANP, AHP, FAHP and FANP methods, the first national conference on water consumption optimization, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. **[In Persian]**

Rajabi, A., ajorlo, M., & Dehghani, M. (2020). Site Suitability Analysis for Rangeland Improvement and Development Practices (A Case Study in the Rangelands of Ghayen Plain, Iran). Geography and Development, 18(60): 117-136. doi: 10.22111/gdij.2020.5652 **[In Persian]**

Ren, R., Liu, J.T., Ni, J.J. & Xiang, X.Y. (2014). Health evaluation of a lake wetland ecosystem Based on the TOPSIS method. Polish Journal of environmental studies, 23(6):2183- 2190.

Saaty, T. L. (1980). The Analytical Hierarchy Process, Mathy Modelling, Mc-Graw Hill, New York, 9(3-5): 161-176.

Salahi, B., & Hemmati, R. (2011). Spatial estimation of temperature and precipitation in Ardabil province. Study project of Ardabil Governorate, Ardabil Azad University. **[In Persian]**

Shabani, M., & Ahmadzadeh Rishehri, S. (2022). Evaluation of Biological Operations Performance in Bushkan Watershed of Bushehr Province. Watershed Management Research Journal, 35(4), 63-76. doi: 10.22092/wmrj.2022.358221.1462

Shafabakhsh, Gh., Alizadeh, H., & Akbari, M. (2012). Identifying and prioritizing Hot Spots Using an Analytical Network Process (Case Study of Seven Horizontal Curves of Haraaz Route) (Mazandaran Province), Traffic Management Studies, 7(24): 1-18. **[In Persian]**

Tajbakhsh, S. M., Gohari, Z., & Mahmoodzadeh Vaziri, A. (2022). Prioritizing watershed management practices in the Ferizi and Rig-Sefid watersheds using Fuzzy-TOPSIS Method. Water and Soil Management and Modelling, 2(4): 64-76. doi: 10.22098/mmws.2022.10465.1084 **[In Persian]**

Vafaei, A. (2021). A New Approach to Analyzing Urban Sustainable Levels via Multi-Criteria Decision-Making Combination Models: DEMATEL, ANP & TOPSIS (Case Study: Kashan). Journal of Arid Regions Geographic Studies, 12(43): 103-124. **[In Persian]**

Ying, X., Zeng, G. M., Chen, G. Q., Tang, L., Wang, K. L. & Huang, D. Y. (2007). Combining AHP with GIS in Synthetic Evaluation of Eco-Environment Quality-A Case Study of Hunan Province, China. Ecological Modelling. 209(2-4): 97-109.

Zhao, X., & Huang, G. (2022). Urban watershed ecosystem health assessment and ecological management zoning based on landscape pattern and SWMM simulation: A case study of Yangmei River Basin. Environmental Impact Assessment Review, 95: 106794.